

修士学位論文

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部
に関する設計法の提案

Proposal for Design Method of Pile Caps for Single Pile with
Horizontal Two-Way Eccentricity

陸井健太郎

2024年1月

高知工科大学大学院

論文要旨

本研究は、「水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案」と題し、当該部材の構造性能および応力伝達の把握することによる構造設計法の提案を目的とした実験的および解析的研究である。

本論文は全5章から構成されている。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的を示すと共に本研究に関連する既往の研究を整理した。

第2章「柱と杭が水平2方向に偏心する杭頭接合部の構造性能に関する研究」では、柱と杭の水平二方向偏心を有する杭頭接合部に関する構造性能の把握を目的とした静的載荷実験を実施した。その結果、本論に示した試験体では基礎梁断面形状の差異に拘わらず柱コンクリートの圧縮破壊が確認された。また、杭頭接合部下端筋の応力はRC規準に示される応力伝達モデルから求まる応力の値と比べて極めて低く、杭頭接合部の残留ひび割れ幅は短期許容圧縮耐力を超えた後にひび割れ幅の制限値に達する傾向が認められた。一方で、既往の研究で提案された杭頭接合部終局圧縮耐力の計算値は両試験体の最大耐力の7割程度であり、改善が必要であることを示した。

第3章「水平二方向偏心を有する柱を除去した水平二方向偏心を有する杭頭接合部の構造性能に関する研究」では、水平二方向偏心を有する柱を除去した杭頭接合部の構造性能の把握を目的とした静的載荷実験を実施した。その結果、基礎梁主筋を普通強度とした試験体の最大耐力は高強度とした試験体のものに比べて低く、基礎梁主筋強度の差による影響が確認された。一方で、柱支点を偏心させた試験体の最大耐力と剛性は柱支点を偏心させていない試験体のものに比べて低く、柱支点を偏心させたことによる影響が認められた。また、杭頭接合部下端筋を十分に配していないにも拘らず長期許容圧縮耐力以前で応力の増加は確認されなかった。

第4章「水平二方向偏心一本杭頭接合部の応力状態および釣合いモデルに関する解析的研究」では、水平二方向偏心一本杭頭接合部の応力状態把握および釣合いモデルの提案を目的

として非線形三次元有限要素法解析を実施した。解析モデルは短期許容応力度設計レベルまでの復元力特性および損傷状況の実験結果を概ね再現した。また、杭頭接合部に生じる圧縮主応力は局所的なものを除き柱に生じるものと比べて低い。よって、杭頭接合部における安全性は杭頭接合部および柱のコンクリート強度を同程度とすることで確保される。さらに、基礎梁のせん断応力および部材せい方向のひずみは建物内側で高くなる傾向がみられた。ゆえに、基礎梁ではコンクリート強度とせん断補強筋量の余裕が求められる。また、三本の斜め圧縮ストラットで表される杭頭接合部に関する力の釣合いモデルが提案された。これらの斜め圧縮力は下部で基礎梁圧縮力および杭の圧縮力と釣合う。そのため、杭頭接合部下端において上記圧縮力を結ぶ引張鉄筋は不要である。

第5章「本研究のまとめ」では、本論文全体をまとめた。柱と杭が水平二方向偏心する一本杭頭接合部を対象とした2種類の静的載荷実験およびFEM解析から構造性能および応力伝達機構を把握することで力の釣合いモデルを提案した。本研究では、文献3)に示された杭頭接合部耐力評価法を用いて杭頭接合部が先行破壊するような設計を行った。静的載荷実験の結果、2実験の基準試験体を比べた際、柱がある試験体では柱コンクリートの圧縮破壊、柱がない試験体では基礎梁上端と柱隅角部および杭内側の圧縮破壊が確認された。また、杭頭接合部下端筋を十分に配していないにも拘らず長期許容圧縮耐力以前で応力の増加は確認されなかった。FEM解析の結果、三本の斜め圧縮ストラットで表される杭頭接合部に関する力の釣合いモデルが提案された。このモデルでは杭頭接合部下端における引張鉄筋は不要である。

Treatise Abstract

This research entitled "Proposal for Design Method of Pile Caps for Single Pile with Horizontal Two-Way Eccentricity" is an experimental and analytical research aimed at proposal of a structural design method by understanding the structural performance and stress transmission of pile caps.

This treatise consists of five chapters.

Chapter 1 entitled "Introduction" presents the background and purpose of this study, and summarizes past research related to this study.

Chapter 2 entitled "Research on the Structural Performance at Pile Caps with Horizontal Two-Way Eccentricity Between Column and Pile" conducted static loading experiments to understand the structural performance of pile caps with horizontal two-way eccentricity between column and pile. As a result, in the test specimen presented in this treatise compressive failure of the column concrete was confirmed regardless of the difference in the cross-sectional shape of the foundation beam. Also, the stress in the reinforcing bar at the bottom of the pile caps is extremely low compared to the stress value determined from the stress transfer model shown in the RC standard, and the tendency to reach the crack width limit after exceeding the short-term permissible compressive strength was observed in the width of residual cracks at the pile caps. On the other hand, calculated value of ultimate compressive strength of pile caps proposed in previous research was approximately 70% of the maximum strength of both specimens, indicating that improvement is necessary.

Chapter 3 entitled "Research on Structural Performance of Pile Caps without Column with Horizontal Two-Way Eccentricity" conducted static loading experiments to understand the structural performance of pile caps without column with horizontal two-way eccentricity. As a result, the maximum yield strength of the specimen with normal strength foundation beam main reinforcements was lower than that of the specimen with high strength foundation beam main reinforcements, confirming the influence of the difference in the strength of the foundation beam main reinforcements. On the other hand, the maximum yield strength and stiffness of the specimen with eccentric column support was lower than that of the specimen not eccentric to column support, indicating the influence of the eccentricity of the

column support. Also, increase in stress before long-term allowable compressive strength was not confirmed despite the fact that sufficient lower end reinforcement of pile cap was not provided.

Chapter 4 entitled "Analytical Research on Stress States and Equilibrium Models of Pile Caps for Single Pile with Horizontal Two-Way Eccentricity" conducted nonlinear FEM analysis aimed at understanding stress states and proposing equilibrium models of pile caps for single pile with horizontal two-way eccentricity. The analytical model generally reproduced the experimental results of restoring force characteristics and failure mode up to the short-term allowable stress design level. Also, the compressive principal stress occurring at the pile cap is lower than that occurring at the column, except for local stress. Therefore, safety at the pile cap is ensured by keeping the concrete strength of the pile cap and column at the same level. Moreover, the shear stress of the foundation beam and the strain in the member depth direction tended to be higher inside the building. Therefore, foundation beams require sufficient concrete strength and sufficient shear reinforcement. Also, force equilibrium models for pile caps represented by three diagonal compression struts were proposed. These diagonal compressive forces are balanced by the foundation beam compressive force and the pile compressive force at the bottom. Therefore, there is no need for tension reinforcing bars to connect the above compressive force at the lower end of pile caps.

Chapter 5 entitled "summary of this research" summarizes the entire treatise. By understanding structural performance and stress transmission mechanism from two types of static loading experiments and FEM analysis for pile caps for single pile with horizontal two-way eccentricity between column and pile, we proposed force equilibrium models. In this research, the pile caps were designed to fail in advance using the pile caps resistance evaluation method described in reference 3). As a result of the static loading experiment, when comparing the reference specimens of the two experiments, compressive failure of the column concrete was observed in the test specimen with columns, and compressive failure was observed at the top of the foundation beam, at the corner of the column, and on the inside of the pile in the specimen without columns. Also, increase in stress before long-term allowable compressive strength was not confirmed despite the fact that sufficient lower end reinforcement of pile cap was not provided. As a result of FEM analysis, force equilibrium models for pile caps represented by three diagonal compression struts were proposed. This model does not require

tension reinforcement at the lower end of the pile caps.

〈本研究に関する既発表論文〉

1. 陸井健太郎, 久保田八重, 鈴木卓, 市之瀬敏勝: 柱と杭が水平 2 方向に偏心する杭頭接合部における静的載荷実験(その 1) 実験計画, 日本建築学会四国支部研究報告集, No.22, pp.25-26, 2022.7
2. 陸井健太郎, 久保田八重, 鈴木卓, 市之瀬敏勝: 柱と杭が水平 2 方向に偏心する杭頭接合部における静的載荷実験(その 2) 実験結果, 日本建築学会四国支部研究報告集, No.22, pp.27-28, 2022.7
3. 陸井健太郎, 鈴木卓, 市之瀬敏勝: 柱と杭が水平 2 方向に偏心する杭頭接合部の構造性能に関する研究, 日本建築学会大会学術講演会梗概集 (北海道), 構造IV, pp.465-466, 2022.7
4. 鈴木卓, 陸井健太郎, 市之瀬敏勝: 水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部の構造性能および終局耐力評価, 日本建築学会構造系論文集, Vol.88, No.808, pp.995-1003, 2023.6
5. 市之瀬敏勝, 陸井健太郎, 鈴木卓: 水平二方向に偏心する一本杭頭接合部の構造性能 その 1 実験計画, 日本建築学会大会学術講演会梗概集 (近畿), 構造IV, pp.501-502, 2023.7
6. 陸井健太郎, 鈴木卓, 市之瀬敏勝: 水平二方向に偏心する一本杭頭接合部の構造性能 その 2 実験結果, 日本建築学会大会学術講演会梗概集 (近畿), 構造IV, pp.503-504, 2023.7
7. 陸井健太郎, 鈴木卓, 市之瀬敏勝, 田中翔大: 柱と杭の水平二方向偏心を有する杭頭接合部の構造性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.2, pp.535-540, 2023.7

〈目次〉

| | |
|--|----|
| 第 1 章 序論..... | 13 |
| 1.1 研究背景と目的..... | 2 |
| 1.2 既往研究..... | 4 |
| 1.2.1 場所打ちコンクリート杭の杭頭接合部に関する実験研究 ⁴⁾ | 4 |
| 1.2.2 SC 杭を使った杭頭接合部に関する研究 ⁵⁾⁶⁾ | 4 |
| 1.2.3 高強度コンクリート 1 階柱に及ぼす基礎梁コンクリート強度の影響に関する研究 ⁷⁾ | 6 |
| 1.2.4 斜め方向水平力を受ける RC 造隅柱・基礎梁接合部に関する実験的研究 ⁸⁾ | 7 |
| 1.2.5 水平力を受ける場所打ち杭ー基礎梁部分架構の力学特性に関する研究 ⁹⁾ | 8 |
| 1.2.6 側柱下の場所打ち杭ー基礎梁部分架構の耐震性能に関する研究 ¹⁰⁾ | 9 |
| 1.2.7 柱と杭が一軸偏心した基礎接合部における軸力伝達機構 ¹¹⁾ | 10 |
| 1.2.8 2 本群杭で支持されたパイルキャップの鉛直載荷実験 ¹²⁾ | 12 |
| 1.2.9 高耐力 SC 杭の杭頭接合部の構造性能 ¹⁴⁾ | 13 |
| 1.2.10 地震荷重を受ける場所打ち杭頭接合部の 3 次元非線形 FEM 解析 ¹⁵⁾ | 14 |
| 1.2.11 Deformations in the Strut of Two Pile Caps ¹⁶⁾ | 15 |
| 1.2.12 幅広基礎梁主筋に機械式定着を用いたト形接合部に関する実験的研究 ¹⁷⁾ | 16 |
| 1.2.13 ト形部分架構を有するパイルキャップの耐震性能に関する実験研究 ^{18),19)} | 17 |
| 1.2.14 既存建物の外柱ー杭ー基礎梁接合部の部分架構実験 ²¹⁾ | 18 |
| 1.2.15 大口径杭の偏心に対する基礎のせん断設計について ²³⁾ | 19 |
| 1.2.16 機械式定着とした二段配筋の基礎梁と外柱・杭との接合部の正負交番載荷実験 ²⁴⁾ | 20 |
| 1.2.17 実大ト形杭頭接合部部分架構の曲げ抵抗機構に関する研究 ²⁵⁾ | 21 |

| | | |
|--------|---|----|
| 1.2.18 | 柱と杭が偏心した基礎接合部の合理的な設計法の開発 ³⁾ | 22 |
| 1.2.19 | 柱と杭が水平2方向に偏心する杭頭接合部の非線形FEM解析 ²⁶⁾ | 25 |
| 1.2.20 | ト形部分架構パイルキャップにおける杭頭接合部に関する検討 ²⁷⁾ | 26 |
| 第2章 | 柱と杭が水平2方向に偏心する杭頭接合部の構造性能に関する研究..... | 29 |
| 2.1 | 実験概要..... | 30 |
| 2.1.1 | 試験体概要..... | 30 |
| 2.1.2 | 使用材料の力学特性（コンクリートおよび無収縮モルタル）..... | 40 |
| 2.1.3 | 使用材料の力学特性（鉄筋）..... | 46 |
| 2.1.4 | 載荷計画..... | 48 |
| 2.1.5 | 計測計画..... | 50 |
| 2.2 | 実験結果..... | 64 |
| 2.2.1 | 破壊性状..... | 64 |
| 2.2.2 | ひび割れ図および破壊状況..... | 66 |
| 2.2.3 | 荷重－変位関係..... | 70 |
| 2.2.4 | 残留ひび割れ幅推移..... | 72 |
| 2.2.5 | 杭頭接合部下端補強筋の応力推移..... | 74 |
| 2.2.6 | 終局耐力計算（柱および杭圧縮耐力）..... | 76 |
| 2.2.7 | 終局耐力計算（基礎梁曲げ耐力）..... | 77 |
| 2.2.8 | 終局耐力計算（基礎梁せん断耐力）..... | 80 |
| 2.2.9 | 終局耐力計算（杭頭接合部圧縮耐力）..... | 81 |
| 2.2.10 | 杭軸力換算方法..... | 84 |
| 2.2.11 | 終局耐力計算結果および実験値との比較..... | 85 |
| 2.3 | まとめ..... | 86 |

| | |
|---|-----|
| 第3章 柱を除去した水平二方向偏心を有する杭頭接合部の構造性能に関する研究 | 89 |
| 3.1 実験概要 | 90 |
| 3.1.1 試験体概要 | 90 |
| 3.1.2 使用材料の力学的特性（コンクリートおよび無収縮モルタル） | 95 |
| 3.1.3 使用材料の力学的特性（鉄筋） | 101 |
| 3.1.4 載荷計画 | 103 |
| 3.1.5 計測計画 | 105 |
| 3.2 実験結果 | 115 |
| 3.2.1 破壊性状 | 115 |
| 3.2.2 荷重－変位関係 | 124 |
| 3.2.3 変形性状（変形角の算出方法） | 126 |
| 3.2.4 変形性状（変形状態と杭軸力－部材角関係） | 128 |
| 3.2.5 応力状態（基礎梁の応力分布） | 132 |
| 3.2.6 応力状態（柱の応力分布） | 134 |
| 3.2.7 応力状態（杭頭接合部の応力分布および応力推移） | 136 |
| 3.2.8 残留ひび割れ幅の推移 | 139 |
| 3.3 まとめ | 141 |
| 第4章 水平二方向偏心一本杭頭接合部の応力状態および釣合いモデルに関する解析的研究 | 143 |
| 4.1 FEM解析 | 144 |
| 4.1.1 解析モデル | 144 |
| 4.1.2 材料特性 | 146 |
| 4.1.3 材料構成則（コンクリート） | 147 |

| | | |
|-------------------|--------------------|-----|
| 4.1.4 | 材料構成則（鉄筋） | 153 |
| 4.1.5 | 材料構成則（付着） | 154 |
| 4.2 | 実験結果と解析結果の比較 | 155 |
| 4.3 | 内部応力状態 | 157 |
| 4.4 | 力の釣合いの検討 | 161 |
| 4.5 | 杭頭接合部の釣合いモデル | 165 |
| 4.6 | まとめ | 167 |
| 第5章 | 本研究のまとめ | 169 |
| 5.1 | 研究結果のまとめ | 170 |
| <参考文献> | | 172 |
| <謝辞> | | 176 |
| <付録 FEM 解析のプログラム> | | 177 |

〈図目次〉

| | | |
|----------|---|----|
| 図 1.1.1 | 隅柱部の杭頭接合部 | 3 |
| 図 1.1.2 | 応力伝達モデル | 3 |
| 図 1.2.1 | 荷重と杭体変位の関係 | 4 |
| 図 1.2.2 | 水平力と杭固定度の関係（溶接接合法 14-D22） | 6 |
| 図 1.2.3 | 荷重－水平変位関係（600/600 試験体） | 7 |
| 図 1.2.4 | 包絡線および破壊経過（L 形） | 8 |
| 図 1.2.5 | 荷重－加力点変位関係 | 9 |
| 図 1.2.6 | 杭のせん断力と変位の関係 | 10 |
| 図 1.2.7 | ひび割れ推移状況 | 11 |
| 図 1.2.8 | 荷重－最大せん断変形角関係 | 13 |
| 図 1.2.9 | 荷重－変位関係 | 14 |
| 図 1.2.10 | 杭頭接合部水平断面の XZ せん断応力コンター | 15 |
| 図 1.2.11 | 応力伝達モデル | 16 |
| 図 1.2.12 | 荷重－変形関係 | 17 |
| 図 1.2.13 | 予想される抵抗機構 | 18 |
| 図 1.2.14 | 履歴特性および破壊状況 | 19 |
| 図 1.2.15 | せん断応力度 τ_{xy} (N/mm ²) | 20 |
| 図 1.2.16 | 最終破壊時のひび割れ状況 | 21 |
| 図 1.2.17 | ひび割れ状況（R＝－1.5%時） | 22 |
| 図 1.2.18 | 水平二方向偏心を有する杭頭接合部の軸力伝達機構 | 24 |
| 図 1.2.19 | 杭頭接合部コンクリートの Z 方向応力度分布 | 26 |
| 図 1.2.20 | 最大耐力時および最終変形時の損傷状況 | 27 |

| | | |
|----------|----------------------------|----|
| 図 2.1.1 | E39 試験体形状..... | 32 |
| 図 2.1.2 | E88 試験体形状..... | 33 |
| 図 2.1.3 | E39 試験体配筋状況（全体）..... | 34 |
| 図 2.1.4 | E39 試験体配筋状況（柱切断面）..... | 35 |
| 図 2.1.5 | E39 試験体配筋状況（杭頭接合部切断面）..... | 36 |
| 図 2.1.6 | E88 試験体配筋状況（全体）..... | 37 |
| 図 2.1.7 | E88 試験体配筋状況（柱切断面）..... | 38 |
| 図 2.1.8 | E88 試験体配筋状況（杭頭接合部切断面）..... | 39 |
| 図 2.1.9 | 試験体 E39 の応力-ひずみ関係..... | 40 |
| 図 2.1.10 | 試験体 E88 の応力-ひずみ関係..... | 40 |
| 図 2.1.11 | スランプ試験時の写真..... | 42 |
| 図 2.1.12 | 応力-ひずみ関係..... | 46 |
| 図 2.1.13 | E39 荷重制御の加力プログラム..... | 48 |
| 図 2.1.14 | E88 荷重制御の加力プログラム..... | 49 |
| 図 2.1.15 | 杭の鉛直変位制御の加力プログラム..... | 49 |
| 図 2.1.16 | 載荷装置..... | 50 |
| 図 2.1.17 | 主筋に張り付けたひずみゲージ..... | 51 |
| 図 2.1.18 | 補強筋に張り付けたひずみゲージ..... | 51 |
| 図 2.1.19 | 試験体 E39 ひずみゲージ貼り付け位置..... | 53 |
| 図 2.1.20 | 試験体 E88 ひずみゲージ貼り付け位置..... | 56 |
| 図 2.1.21 | 試験体 E39 変位計取り付け位置..... | 57 |
| 図 2.1.22 | 試験体 E88 変位計取り付け位置..... | 58 |
| 図 2.2.1 | ひび割れ図および破壊状況..... | 67 |

| | | |
|----------|-----------------------------------|-----|
| 図 2.2.2 | ひび割れ図および破壊状況 | 69 |
| 図 2.2.3 | 荷重－変位関係..... | 71 |
| 図 2.2.4 | 杭軸力－残留ひび割れ幅関係..... | 73 |
| 図 2.2.5 | 杭頭接合部補強筋応力の推移および下端筋応力算出法の概念 | 75 |
| 図 2.2.6 | 杭の面積への変換..... | 76 |
| 図 2.2.7 | 複筋梁の曲げ終局状態..... | 79 |
| 図 2.2.8 | 2 方向偏心を有する杭頭接合部の軸力伝達機構 | 82 |
| 図 2.2.9 | 柱から杭にかけての斜め圧縮力 | 83 |
| 図 2.2.10 | 杭軸力換算の概念 | 84 |
| 図 3.1.1 | 試験体形状..... | 93 |
| 図 3.1.2 | 配筋状況..... | 94 |
| 図 3.1.3 | スランプ試験時の写真..... | 96 |
| 図 3.1.4 | コンクリートの応力－ひずみ関係 | 100 |
| 図 3.1.5 | 鉄筋の応力－ひずみ関係 | 101 |
| 図 3.1.6 | 載荷装置..... | 103 |
| 図 3.1.7 | 荷重制御時の加力プログラム..... | 104 |
| 図 3.1.8 | 鉛直変位制御時の加力プログラム | 104 |
| 図 3.1.9 | 基礎梁のひずみゲージ貼り付け位置..... | 106 |
| 図 3.1.10 | 柱・杭のひずみゲージ貼り付け位置..... | 106 |
| 図 3.1.11 | 杭頭接合部のひずみゲージ貼り付け位置 | 107 |
| 図 3.1.12 | 鉛直変位計の取り付け位置 | 108 |
| 図 3.1.13 | 水平変位計の取り付け位置 | 109 |
| 図 3.2.1 | 試験体 PCA 最終損傷状況－視点① | 116 |

| | | |
|----------|-----------------------|-----|
| 図 3.2.2 | 試験体 PCA 最終損傷状況－視点② | 117 |
| 図 3.2.3 | 試験体 PCB 最終損傷状況－視点① | 119 |
| 図 3.2.4 | 試験体 PCB 最終損傷状況－視点② | 120 |
| 図 3.2.5 | 試験体 PCC 最終損傷状況－視点① | 122 |
| 図 3.2.6 | 試験体 PCC 最終損傷状況－視点② | 123 |
| 図 3.2.7 | 各試験体の荷重－変位関係 | 125 |
| 図 3.2.8 | 変位計の位置 | 127 |
| 図 3.2.9 | 各部材の変形角 | 127 |
| 図 3.2.10 | 載荷点の水平変位 | 128 |
| 図 3.2.11 | 試験体 PCA の最大耐力時の変形状態 | 129 |
| 図 3.2.12 | 試験体 PCA の杭軸力－部材角関係 | 129 |
| 図 3.2.13 | 試験体 PCB の最大耐力時の変形状態 | 130 |
| 図 3.2.14 | 試験体 PCB の杭軸力－部材角関係 | 130 |
| 図 3.2.15 | 試験体 PCC の最大耐力時の変形状態 | 131 |
| 図 3.2.16 | 試験体 PCC の杭軸力－部材角関係 | 131 |
| 図 3.2.17 | ひずみの計測位置 | 132 |
| 図 3.2.18 | 基礎梁の応力分布 | 133 |
| 図 3.2.19 | 柱の応力分布 | 135 |
| 図 3.2.20 | 杭頭接合部の応力分布 | 137 |
| 図 3.2.21 | 杭頭接合部の応力推移 | 138 |
| 図 3.2.22 | 残留ひび割れ幅の推移とひび割れ幅の測定位置 | 140 |
| 図 4.1.1 | 解析モデル | 145 |
| 図 4.1.2 | コンクリートの応力－ひずみ関係 | 148 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 図 4.1.3 | ひび割れ後の Tension-Stiffening 特性..... | 150 |
| 図 4.1.4 | ひび割れ後のせん断伝達モデル..... | 151 |
| 図 4.1.5 | 履歴則..... | 152 |
| 図 4.1.6 | 鉄筋の応力-ひずみ関係..... | 153 |
| 図 4.1.7 | 付着応力-すべり関係..... | 154 |
| 図 4.2.1 | 両試験体の実験と解析における杭軸力-基礎梁変形角関係の比較..... | 155 |
| 図 4.2.1 | 両試験体における実験の最終破壊性状と解析の最大耐力時の破壊性状..... | 156 |
| 図 4.3.1 | 両試験体の軸力約 1,000kN 到達時におけるコンクリートの最小主応力ベクトル..... | 158 |
| 図 4.3.3 | 杭頭接合部の最小主応力の高さ方向分布..... | 159 |
| 図 4.3.5 | Z 方向ひずみコンター..... | 160 |
| 図 4.4.1 | 釣合い検討用のコンクリート最小主応力ベクトル..... | 162 |
| 図 4.4.2 | 杭頭接合部断面の分割状況..... | 162 |
| 図 4.4.3 | 法線応力とせん断応力コンター..... | 163 |
| 図 4.4.4 | ストラット・タイモデルの詳細図..... | 164 |
| 図 4.5.1 | 試験体 E39 におけるストラット・タイモデル..... | 165 |
| 図 4.5.2 | 試験体 E88 におけるストラット・タイモデル..... | 166 |
| 図 4.5.3 | 基礎梁下端筋位置の最小主応力ベクトル..... | 166 |

〈表目次〉

| | | |
|----------|---------------------------------------|-----|
| 表 2.1.1 | 試験体概要 | 31 |
| 表 2.1.2 | コンクリートの配合表 | 41 |
| 表 2.1.3 | 無収縮モルタルの配合表 | 41 |
| 表 2.1.4 | コンクリートの圧縮試験結果 | 43 |
| 表 2.1.5 | コンクリートの割裂試験結果 | 44 |
| 表 2.1.6 | 無収縮モルタルの圧縮試験結果 | 45 |
| 表 2.1.7 | スランプ試験結果 (左 : f_c40 , 右 : f_c24) | 45 |
| 表 2.1.8 | 鉄筋の引張試験 | 47 |
| 表 2.1.9 | 各載荷回におけるひび割れの色 | 59 |
| 表 2.1.10 | E39 計測リスト | 60 |
| 表 2.1.11 | E88 計測リスト | 62 |
| 表 2.2.11 | 終局耐力計算結果の一覧 | 85 |
| 表 3.1.1 | 断面詳細 | 91 |
| 表 3.1.2 | 実験変数 | 91 |
| 表 3.1.3 | コンクリートの配合表 | 95 |
| 表 3.1.4 | 無収縮モルタルの配合表 | 95 |
| 表 3.1.5 | コンクリートのスランプ試験 | 96 |
| 表 3.1.6 | コンクリートの圧縮試験結果 | 97 |
| 表 3.1.7 | コンクリートの割裂試験結果 | 98 |
| 表 3.1.8 | 無収縮モルタルの圧縮試験結果 | 99 |
| 表 3.1.9 | 鋼材の引張試験結果 | 102 |
| 表 3.1.10 | 加力プログラムとひび割れの色 | 110 |
| 表 3.1.11 | 計測リスト | 111 |
| 表 4.1.1 | コンクリートの材料特性 | 146 |
| 表 4.1.2 | 鉄筋の材料特性 | 146 |
| 表 4.4.1 | 断面 B および C における領域幅 (単位 : mm) | 164 |
| 表 4.2.2 | 合力の値 (単位 : kN) | 164 |

第 1 章

序論

1.1 研究背景と目的

建築構造ではどの部材も重要な役割を果たしているが、中でも基礎は地中にあるため最も地震の影響を受けやすいと考えている。また、柱と杭が水平二方向に偏心するものの研究は不十分であり、設計法を構築することができれば世の中の役に立つことができると考えたため、水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部を研究の題材として選択した。海外の建物基礎に関する研究では杭のものは多くみられるのに対して杭頭接合部のものは多くはない。一方で、国内に着目すると杭だけでなく杭頭接合部のものも増えつつある。近年、大口径の場所打ち杭や高支持力杭の普及により鉄筋コンクリート造の建物において従来の複数本の杭で柱を支持する手法から杭一本による杭基礎形式が増加している。加えて、建物を敷地境界線一杯に建設する場合は柱芯と杭芯が偏心し、特に隅柱では水平二方向偏心を有する杭頭接合部がみられる。図 1.1.1 に偏心がない場合とある場合の隅柱部における杭頭接合部を示す。

日本建築学会の 2018 年度版鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説¹⁾ (以下、RC 規準)における水平二方向に偏心する杭頭接合部の設計法では、図 1.1.2 に示す応力伝達モデルが定義されている。この手法では、長期荷重時を対象に柱芯から杭芯にかけて形成される斜めのコンクリート圧縮束および杭頭接合部下端に生じる引張力が検討されている。一方で杭頭接合部下端に大量の鉄筋を必要とするため、現実的な設計法とは言い難いことが指摘されている²⁾。そのため、実験に基づいた耐力評価法の構築が必要である。しかしながら、水平二方向偏心を有する杭頭接合部の研究例は少ない。田中らの研究³⁾で検討された試験体では杭頭接合部下端筋に大きな応力は生じていないことが示されている。しかしながら、同文献で検討対象とされている試験体では、杭が鋼管で拘束されており、本研究対象の構造形式とは異なる。

以上を背景として本研究では、水平二方向偏心を有する杭頭接合部のコンクリートの破壊性状や鉄筋の応力状態などの構造性能把握を目的とした第 2 章および第 3 章に示す 2 種類の静的載荷実験を実施した。また、杭頭接合部の応力伝達機構を把握することによる設計法の提言を目的とした第 2 章についての非線形三次元有限要素法(以下、FEM)解析を行った。本論の第 2 章、第 3 章では実験計画および実験の検討結果を、第 4 章では実験と解析の復元力特性と破壊性状の比較から解析モデルの妥当性を示し、応力伝達機構の検討結果から水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部の構造設計法を提案する。

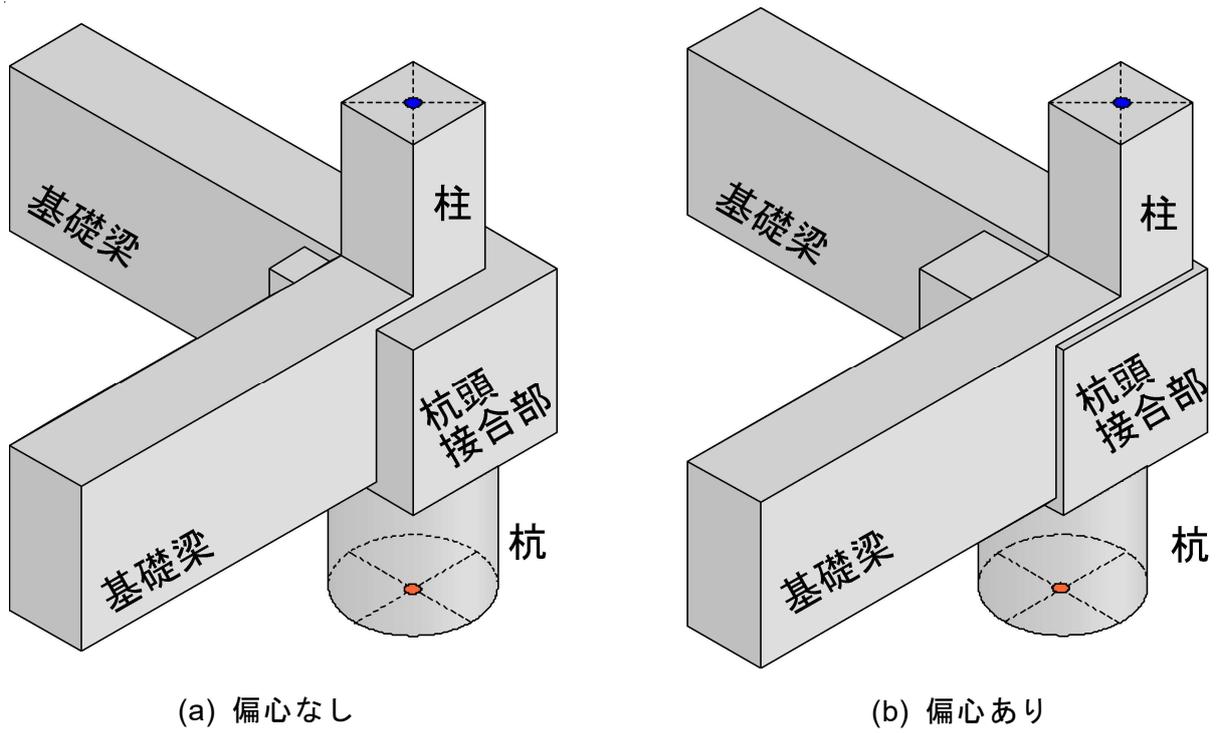


図 1.1.1 隅柱部の杭頭接合部

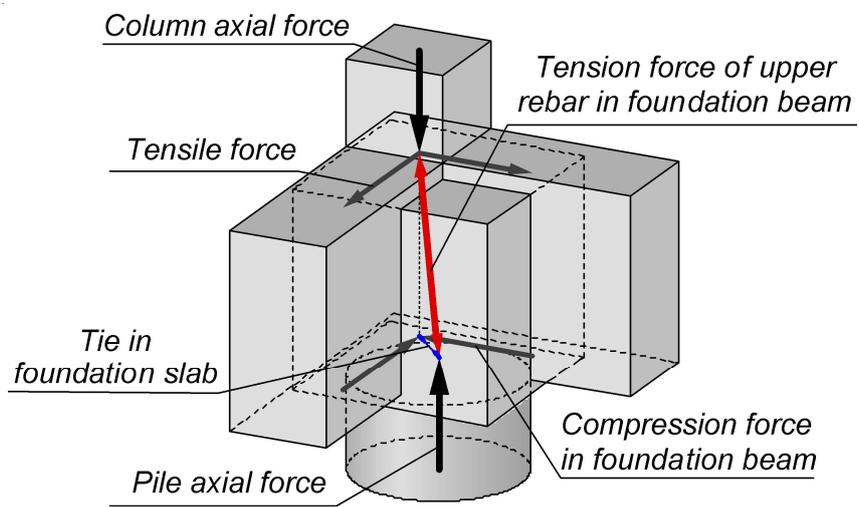


図 1.1.2 応力伝達モデル

1.2 既往研究

1.2.1 場所打ちコンクリート杭の杭頭接合部に関する実験研究⁴⁾

私の研究は杭頭接合部を題材としているため、本研究を選択した。平出、杉村らは場所打ちコンクリート杭を用い、杭主筋の定着長さを変化させた杭頭接合部を再現した2種類の試験体に対し、曲げせん断実験を行った。

その結果、最大荷重および初期剛性に大きな差はみられなかった。しかし、定着長さが短い試験体の最大変位は長いものと比べて約2倍大きく、差が確認された。最終的には、杭の曲げ変形により荷重が上がらなくなり耐力が決定した。杭は载荷による曲げ変形に伴いフーチングに対しては杭体下面側では押し込み、杭体上面側では抜け出すような動きをしていると考えられる。また、杭主筋の引張ひずみが大きな値を示していることから、曲げによる引張応力をこの部分の鉄筋が負担していると考えられる。

私は定着長さが長ければ変位も大きくなるため、その分地震のエネルギーを吸収しやすいと考えた。

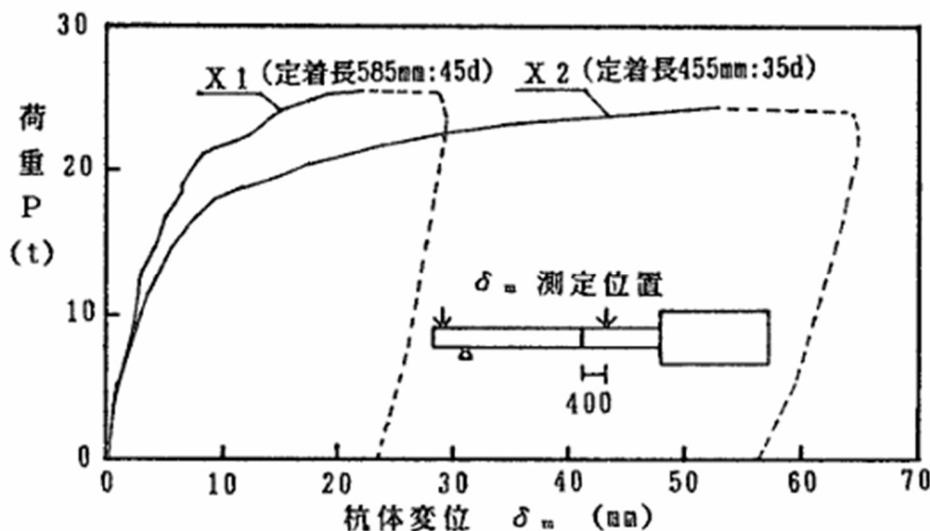


図 1.2.1 荷重と杭体変位の関係

1.2.2 SC 杭を使った杭頭接合部に関する研究⁵⁾⁶⁾

私の研究は杭頭接合部を題材としているため、本研究を選択した。SC 杭の杭頭接合方

法としては、溶接接合法と中詰め接合法がある。いずれの接合法においても、杭頭部の力学的挙動は未解明な点が多く、接合部を設計する際、設計者の判断に任されていることが多い。河合、都築、稲田、萩原、山岸、宮田らは溶接接合法と中詰め接合法について、それぞれ軸力を0, 100, 200tfに変化させた場合の杭頭部の力学的挙動を、実大の杭を使った実験を行い、結果を確認した。

軸力および接合法を変えた8体の試験体が作成された。試験体は基礎スラブ上に杭がある形状とし、この試験体に片持ち梁方式の曲げせん断実験が実施された。杭頭部は、杭を基礎スラブ内に10cm埋め込み、かつ基礎スラブに接合鉄筋を35d埋め込んで定着されている。

水平力と加力点変位の関係では、接合鉄筋の引張降伏以降に加力点水平変位の急増が確認された。また、軸力が大きくなると接合方法によらず負担水平力が大きくなる傾向が認められた。接合方法間の比較をすると、溶接接合法14-D22の場合の耐力が最も大きく、溶接接合法8-D22の方が中詰め接合法の場合よりやや大きい耐力であった。基礎スラブ表面のひび割れに着目すると、接合鉄筋が引張降伏するまでは少ない。溶接接合法では、接合鉄筋から放射方向にひび割れがわずかに生じ、中詰め接合ではひび割れが生じていない。

溶接接合法および中詰め接合法のいずれも接合鉄筋が降伏すると固定度の低下が顕著にみられた。また、接合方法による相違とともに軸力の大きさによって、固定度に大きな差が確認された。接合鉄筋が降伏するときの曲げモーメントはいずれの接合方法の場合も杭径+20cmの直径を持つ仮想円柱の場合が実験値とよく一致している。最終状態の曲げモーメントはいずれの接合方法の場合も実験値は計算値の約1.4倍となっている。ゆえに、杭径+20cmの仮想鉄筋コンクリート円柱を想定すれば、接合部の耐力を計算する場合に設計的な対応ができることが判明した。

私は接合鉄筋が降伏すると固定度の低下が顕著であったため、接合鉄筋を降伏させないような設計が重要であると考えた。

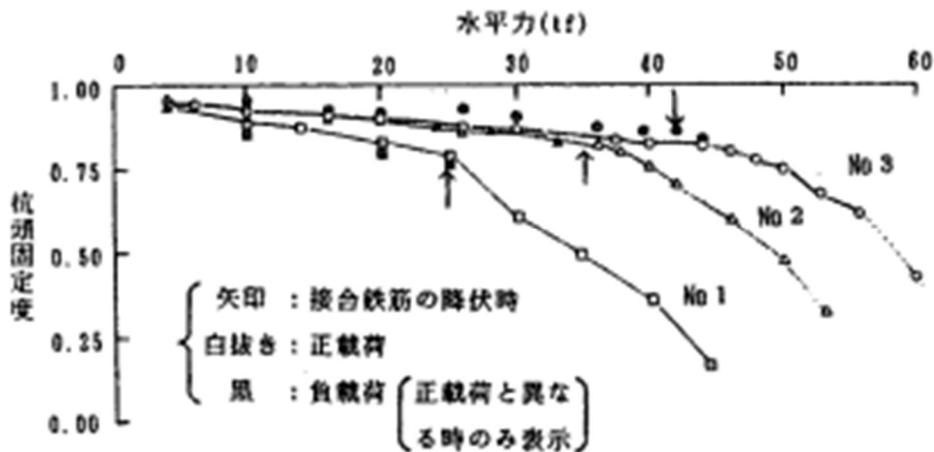


図 1.2.2 水平力と杭固定度の関係（溶接接合法 14-D22）

1.2.3 高強度コンクリート 1 階柱に及ぼす基礎梁コンクリート強度の影響に関する研究⁷⁾

私の研究では基礎梁主筋強度を実験変数とした試験体があるため、本研究を選択した。高強度コンクリートを用いる 1 階柱に対して、基礎梁は普遍強度程度のコンクリートを用いる場合が多い。宮本、野村、衣笠らは、この強度差が 1 階柱・基礎梁接合部、また柱の曲げ圧縮破壊性状に及ぼす影響を明らかにするため、まず基礎的性状を求めることを目的として柱軸方向の一方向単調載荷実験を実施した。

その結果、基礎梁の平面形状が十字形である場合には、基礎梁部の圧縮強度が直上柱の 1/3 程度でも、一軸圧縮時において特に問題は確認されなかった。また、隅柱や外柱下基礎梁は柱から高圧縮力を受けるばかりでなく、基礎梁の平面形状が L 形や T 形の非対称となり、柱軸力に対する応力集中が大きくなり、柱と基礎梁の強度差が大きいと基礎梁部で破壊する恐れがあると考えられる。しかし、基礎梁部強度が柱部強度に比較して小さい場合には、柱の軸力と曲げによる局部圧縮に対する基礎梁部の割裂及び支圧応力に関する検討の必要性が指摘された。

私の研究では隅柱部を対象としているため、本研究のように SC 杭とした場合は基礎梁を張出し部分を設けた十字形とすることが望ましいと考えた。

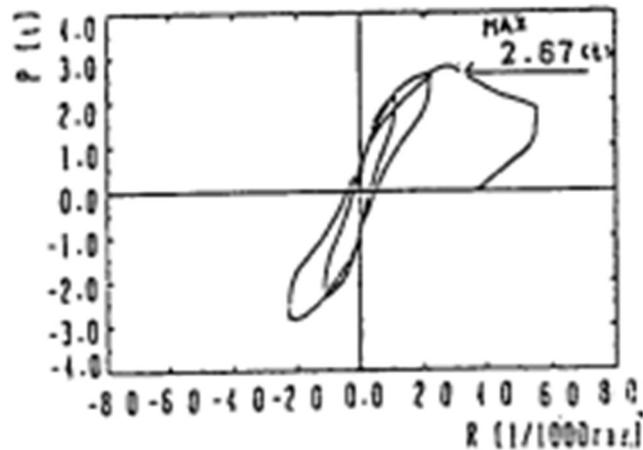


図 1.2.3 荷重－水平変位関係（600/600 試験体）

1.2.4 斜め方向水平力を受ける RC 造隅柱・基礎梁接合部に関する実験的研究⁸⁾

私の研究で用いている隅柱部かつ基礎の接合部が題材のため、本研究を選択した。野村，宮本，衣笠らはコンクリート強度差が高強度コンクリートを用いた 1 階柱・基礎梁接合部に及ぼす影響を明らかにするため，まず基礎的性状を求めることを目的として前述の実験および解析的研究を実施した。本研究の特徴は，前述の実験で基礎梁をべた基礎として扱ったものをより現実的なモデルとし，さらに標準的な基礎梁を持つ試験体モデルを採用したこと，及び，隅柱・基礎梁接合部に対する一方向および二方向水平加力実験とその比較を行ったことである。

その結果，隅柱・基礎梁接合部は，コンクリート強度差が大きいと応力集中が大きくなり基礎梁の破壊で最大耐力に達し，特に二方向水平力を同時に受けると接合部耐力が大きく低下した。また，基礎梁部分の圧縮強度を上げると，基礎梁に縦ひび割れは生じたが，柱の曲げ破壊で最大耐力に達し接合部耐力が上昇した。基礎梁の平面形状が L 形の試験体に張り出し部分を設けることで，最大耐力・破壊状況において大きな補強効果を得た。

L 形にすると大きな補強効果が得られているため，他の形のために大きな補強効果を得る方法の検討について期待したい。

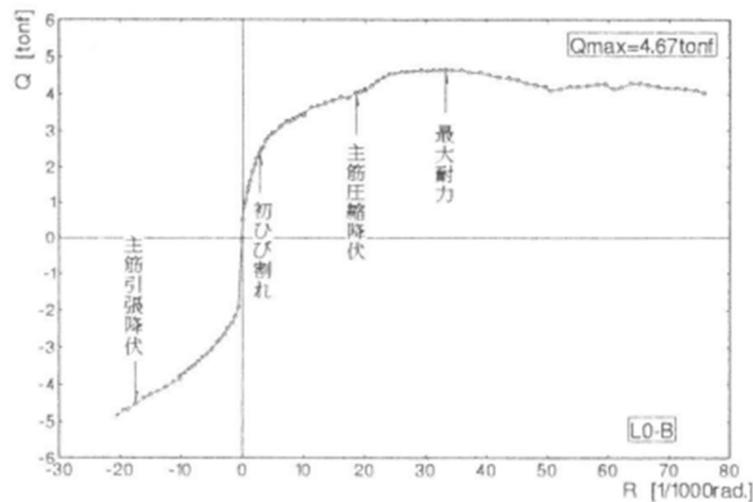


図 1.2.4 包絡線および破壊経過 (L 形)

1.2.5 水平力を受ける場所打ち杭－基礎梁部分架構の力学特性に関する研究⁹⁾

私の研究で用いている基礎の接合部が題材のため、本研究を選択した。上部構造の耐震設計においては既に大地震に対する設計が一般的に行われており、さらに信頼性設計あるいは性能設計へ移行する趨勢にある。それに対して杭基礎に関しては、二次設計が義務付けられていなかったこともあり、大地震時を対象とした設計を行う場合、その変形性能を合理的に評価する手法が確立していないのが現状である。そこで、小林，丸，大西，寺岡，和田らは大地震時における場所打ち杭の変形特性を考慮した合理的な力学的モデルの作成を目的として杭と基礎梁一体の架構部分の正負交番漸増繰返し加力実験を実施した。

その結果、杭頭部の曲げ耐力と破壊状況に関し、基礎梁の曲げ引張領域に位置する杭頭接合部に杭主筋を定着していることの影響が、若干はあるものの支配的要因とはならず、大変形時まで安定した履歴性状を示していたことが確認された。また、杭主筋降伏発生までの変形特性は、杭材の曲げ変形およびせん断変形の計算値、杭主筋の杭頭接合部からの拔出しによる変位成分の評価値、基礎梁の変形とそれに伴う杭頭接合部の回転による変位成分の測定値を合計することによって評価できる。

私は杭頭接合部の設計において杭主筋の定着に関しては注視する部分ではないと考えた。

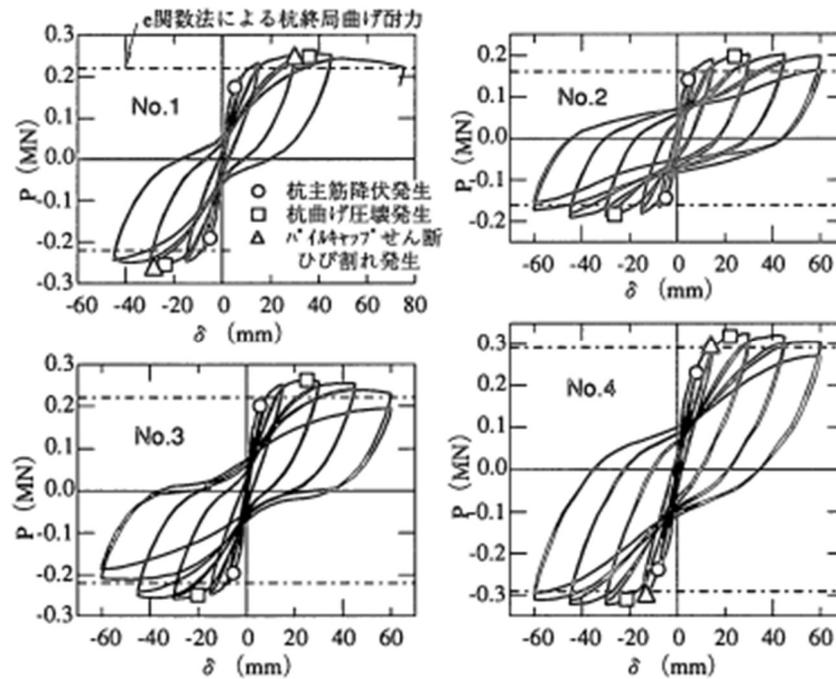


図 1.2.5 荷重－加力点変位関係

1.2.6 側柱下の場所打ち杭－基礎梁部分架構の耐震性能に関する研究¹⁰⁾

私の研究で用いている基礎の接合部が題材のため、本研究を選択した。高層建物等の側柱下に設置された杭においては、大きな変動軸力を受けるのみならず、変形が対象でないことから、軸力の変動方向によって、杭頭接合部周辺の応力状態が異なる。小林，丸，大西，寺岡，和田らは前節に引き続き、側柱下の場所打ち杭に関して、杭と基礎梁からなる部分架構の正負交番水平載荷を実施し、部分架構の耐震性能評価に重要な杭頭接合部内の杭主筋および基礎梁主筋の定着性能および杭頭接合部のせん断性能を分析し、各部材の耐力および変形特性の評価を行った。

その結果、杭主筋降伏までの杭の変形特性に関して、中柱下の杭において前節で提案された評価方法を適用することができることが確認された。また、杭頭接合部のせん断ひび割れ耐力は、ひび割れ発生状況を考慮して有効体積を仮定し、平均せん断応力度を算定することによって、主応力度式を用いた評価が概ね可能であったことが示された。基礎梁の終局曲げ耐力および軸力増大時の変形特性に関しては、基礎梁の有効スパンを設定することで、概ね実験値との対応が良好であった。しかし、軸力減少時に基礎梁主筋が降伏した試験体の降伏時変形については、実験値を過小評価していた。これは基礎

梁主筋定着部に位置する杭頭接合部の損傷による影響であると判断された。

本研究の実験結果からか杭主筋の付着による影響が確認されたため、前節とは異なり注視しなければならないと考えた。

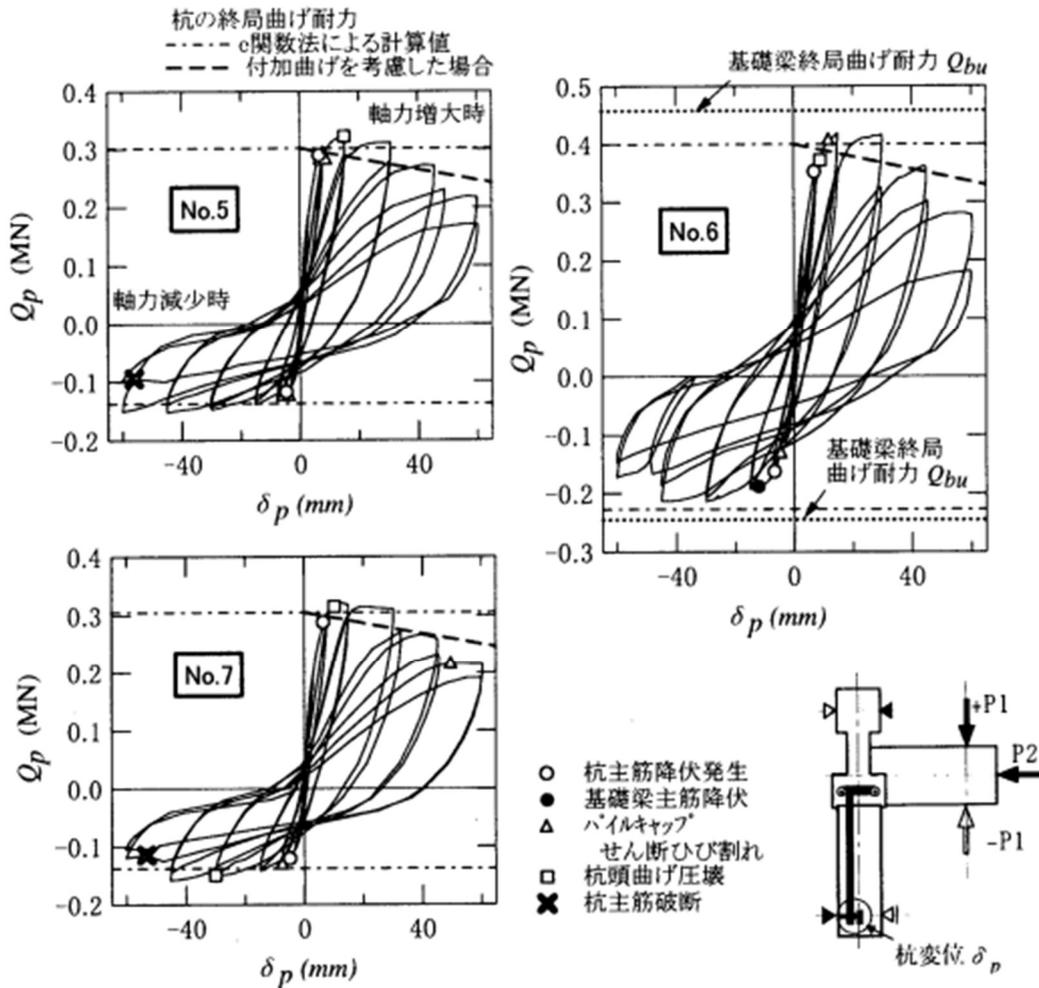


図 1.2.6 杭のせん断力と変位の関係

1.2.7 柱と杭が一軸偏心した基礎接合部における軸力伝達機構¹¹⁾

私の研究で用いている偏心を有する杭頭接合部が題材のため、本研究を選択した。我が国には、支持地盤が深い地域や液状化の恐れがある地域が数多く見受けられる。これらの地域では建物の基礎形式として杭基礎を用いる場合が多い。柱1本、杭1本の配置で基礎を計画する場合、柱面と杭頭接合部面を一致させ、根切り量および残土処理費用の低減を図ることが多い。その結果、柱芯と杭芯が偏心した基礎接合部となる。そこで、

杉山，加地，西村らは柱と杭が1方向に偏心した杭頭接合部を対象として静的載荷実験を実施し，軸力伝達機構を実験的および解析的に検討した。実験変数は偏心距離とし，偏心距離が123mmのED123試験体と196mmのED196試験体の計2体が計画された。

結果として，偏心量の小さいED123試験体では最大耐力付近で，杭頭接合部に斜めひび割れおよび柱脚部の圧縮破壊が確認された。一方，偏心量の大きいED196試験体では杭頭接合部に縦ひび割れおよび斜めひび割れが認められた。また，最大耐力付近で柱脚部の圧縮破壊がみられた。提案された軸力伝達機構では，柱と杭が重複する部分の圧縮力は柱から杭へ直接伝達され，重複しない部分の圧縮力はアーチ機構を形成して杭に伝達されるとしている。柱と杭が重複する部分の圧縮耐力と重複しない部分の圧縮耐力の累加によって杭頭接合部の圧縮耐力を求める手法が提案された。解析値と実験値を比較すると若干のばらつきはみられるが，ほぼ対応していることが示された。

本研究で提案された耐力評価式を私の研究で用いているため，非常に重要な研究であると位置づけている。

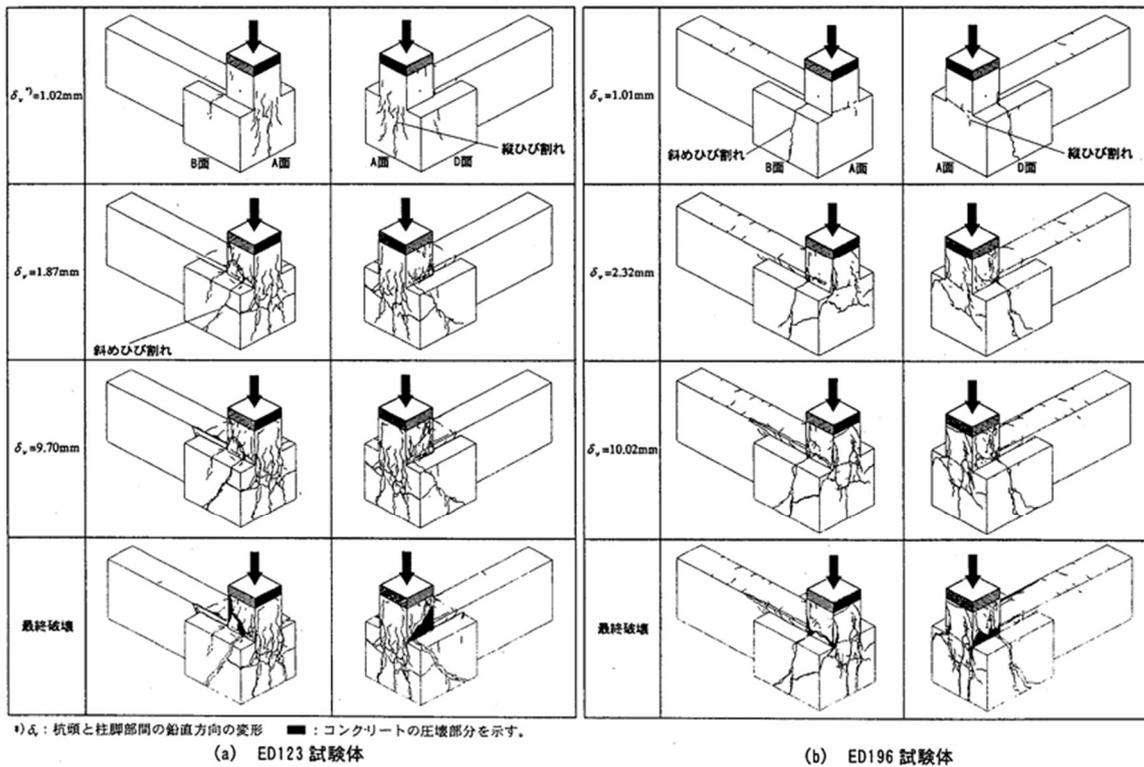


図 1.2.7 ひび割れ推移状況

1.2.8 2本群杭で支持されたパイルキャップの鉛直載荷実験¹²⁾

杭の本数は異なるが、私の研究で用いている杭頭接合部が題材のため、本研究を選択した。最近の既製杭を用いた埋め込み工法は、杭先端の広大掘削に伴う先端支持力の増大、節杭を用いた杭周面抵抗力の増大、杭材の高強度化などにより、高支持力化が進んでいる。このような杭の支持力化に伴い、柱から杭に伝達される荷重も増大する傾向にあり、杭頭接合部から杭への応力伝達機構を明らかにする必要があると考えた田中、岸田、小林、中沼、林らは2本群杭で支持されたパイルキャップの鉛直載荷実験を実施した。実験変数を柱筋およびアンカー筋の有無、梁せいとした約1/6スケールの4体の試験体が作成された。

実験結果として、最大耐力は既往の設計式¹³⁾を用いて算出した耐力計算値を上回る結果となった。最大せん断変形角に関して、載荷荷重がひび割れ発生荷重を超える前においては、その変化量が極めて微小であった。また、載荷荷重がひび割れ発生荷重を超えたあたりから、その変化量が大きくなることがわかった。ひび割れ状況に関して、初期ひび割れの発生が、載荷位置と杭とを結ぶ直線状の中央付近で確認された。荷重の増加に伴って、初期ひび割れ以外にも斜めひび割れが発生し、進展および拡幅した後に破壊へ至った。本研究の実験結果からは、柱筋およびアンカー筋の有無による耐力の増減が認められなかった。

本研究の実験結果からは、柱筋およびアンカー筋の有無による耐力の増減が認められなかった。そのため、実験結果に対する今後のさらなる検討あるいは新たな実験に期待したい。

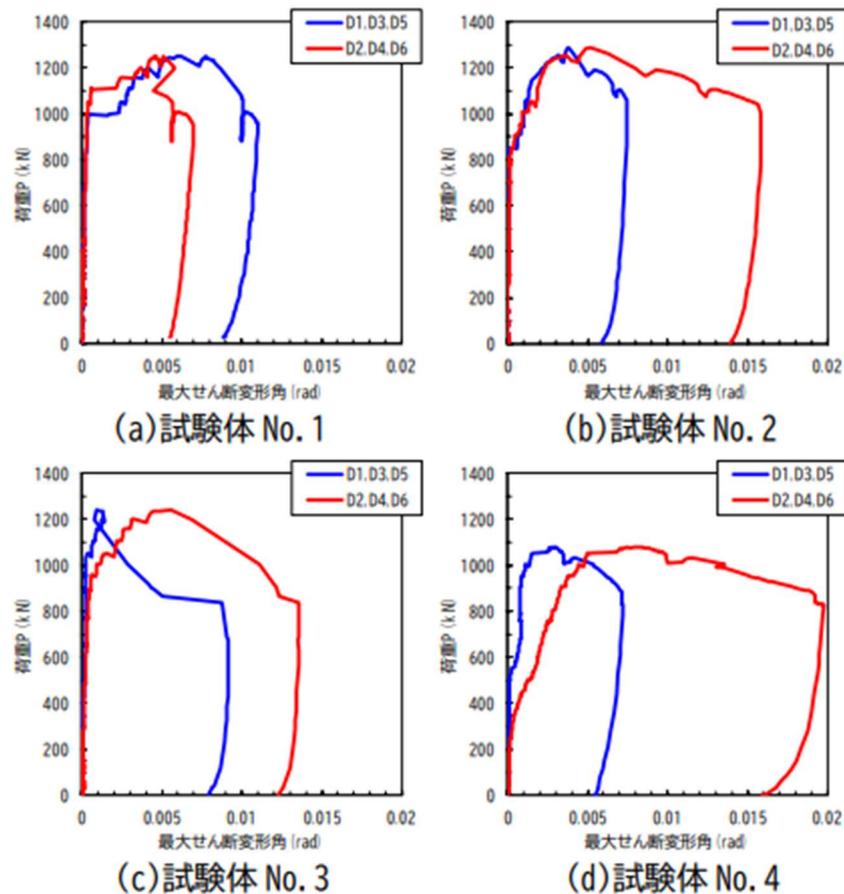


図 1.2.8 荷重－最大せん断変形角関係

1.2.9 高耐力 SC 杭の杭頭接合部の構造性能¹⁴⁾

私の研究で用いている杭頭接合部が題材のため、本研究を選択した。近年、既製埋込み根固め部の拡径による高支持力化が進み、大径化も進んでいる。また、掘削による排土量低減の観点から、より小径の杭に高支持力が望まれている。それに伴い、杭材や杭頭接合部では従来よりも高応力下で地震力を受ける事が予想される。そこで、増田、村上、鈴木、土屋、九嶋、小宅らは高耐力 SC 杭を持つ杭頭接合部の力学特性を把握することを目的として静的載荷実験を実施した。試験体は 5 体で、実験変数は作用軸力、十字リブプレート付鋼板板厚、十字リブプレート付鋼板の有無、埋込み深さの有無であった。

結果としては、破壊性状に対して、軸力比の違いや杭頭の十字リブプレート付き鋼板の板厚、鋼板の有無のそれぞれの実験変数の影響はみられなかった。杭頭部の埋込みの

ない試験体は他の試験体よりひび割れが少ない破壊性状を示した。また、どの試験体も最大耐力後の耐力低下の小さい安定した履歴性状を示し、十字リブプレート付き鋼板の板厚、鋼板の有無や埋込みの有無の影響は小さい。

実験結果からは実験変数の影響がみられなかったため、高耐力 SC 杭は設計の自由度が高いのではないかと考えた。また、新たな変数を提案するなど、構造性能の明確化に期待したい。

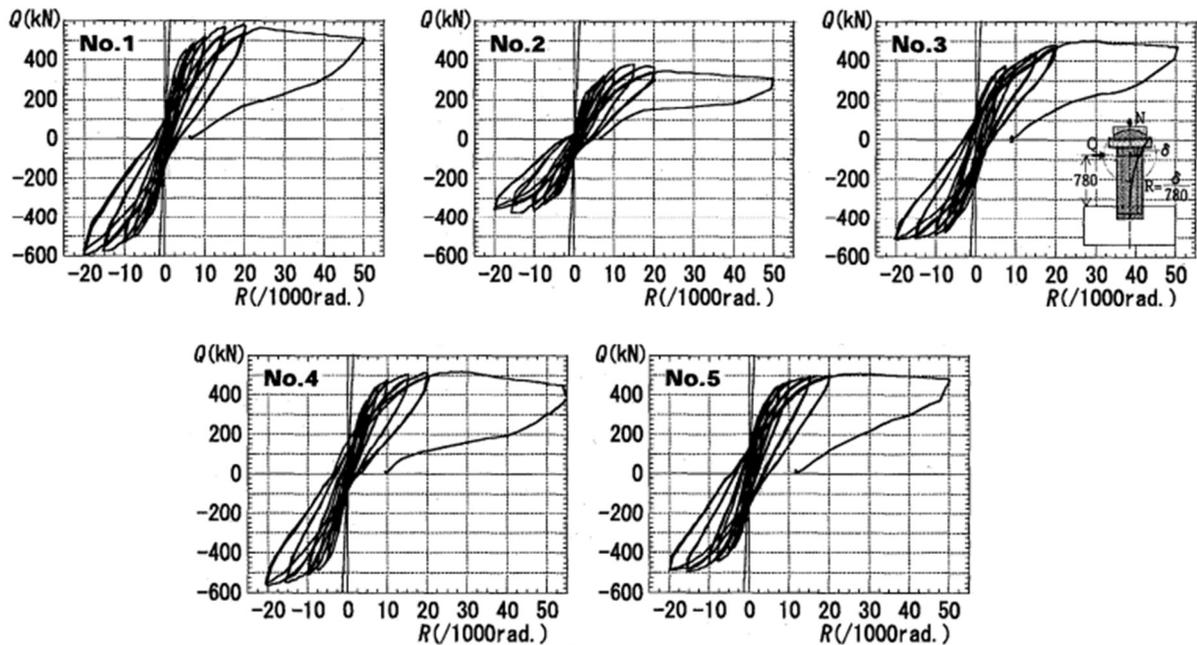


図 1.2.9 荷重－変位関係

1.2.10 地震荷重を受ける場所打ち杭頭接合部の 3次元非線形 FEM 解析¹⁵⁾

私の研究で用いている杭頭接合部および FEM 解析が題材のため、本研究を選択した。震災で多くの基礎の被害事例が報告され、大地震に対する杭基礎の設計が見直され、その要求性能および性能評価に関する議論が行われ始めている。しかし、地震力が作用した場合の杭基礎の構造性能に関する研究例は非常に少なく、その強度および変形性能に関して未解明な部分が多く、合理的な評価手法が確立されていない。そこで、米澤、倉本、井上らは小林らが実施した場所打ち杭－基礎梁部分架構実験^{9),10)}を対象とした 3次元非線形 FEM 解析を行い、地震力が作用する杭頭接合部の強度・変形性能に対する解析手法及び解析モデルの適用性について検討した。さらに、解析結果を用いて杭頭接合

部の応力伝達機構及び変形性状を考察した。

その結果、内柱下及び側柱下の杭頭接合部を想定した合計7体の試験体について、解析により実験の非線形挙動を良好な精度で再現できることが確認された。さらに、解析結果の考察により、杭頭接合部の応力伝達機構及びパイルキャップのせん断有効断面積は内柱下と側柱下で異なり、また、側柱下に関しては、せん断力の方向によっても異なることが認められた。

本研究では鉄筋の付着やすべりが定義あるいは考慮されていなかったため、今後の研究でそれらを考慮した解析を期待したい。

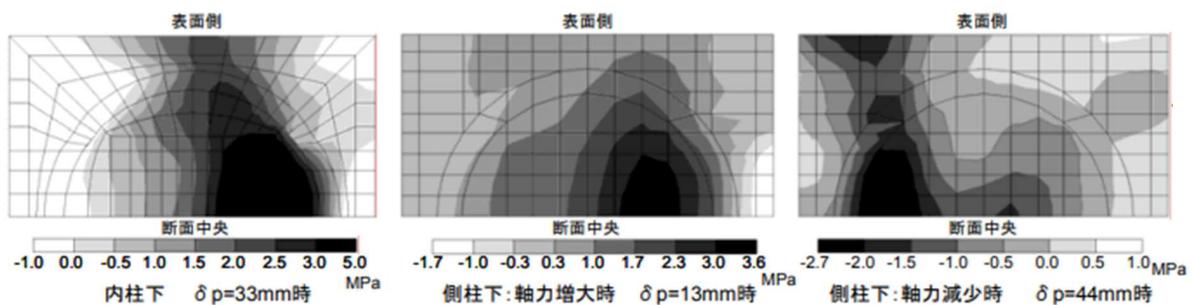


図 1.2.10 杭頭接合部水平断面の XZ せん断応力コンター

1.2.11 Deformations in the Strut of Two Pile Caps¹⁶⁾

R. G. Delalibera and J. S. Giongo らは2つの杭を持つ杭頭接合部に関する応力伝達機構の把握を目的として試験体を14体作成し、静的載荷実験を行った。

結果としては、添え木補強を行った試験体は通常のものよりも約4割高い耐力を示した。また、柱断面を大きくすることでも耐力を高めることができた。杭頭接合部表面のひずみにより得られた結果から図1.2.11のような応力伝達モデルが得られた。杭頭接合部のひずみは、杭から離れるほど大きくなる。これは杭の一部だけがより大きなひずみを受けていることが考えられる。上部では柱の下部に集中的に大きな応力が生じる。このことから、柱断面積の半分が柱の上部に加わる荷重の半分を負担していると考えられる。

本研究では構造実験室の都合上、柱を意図的に短くしているなどの縮小化をしている。しかし、今後は試験体を縮小させる必要のない計画をし、シミュレーションを行ったうえで、実験されることが望ましい。

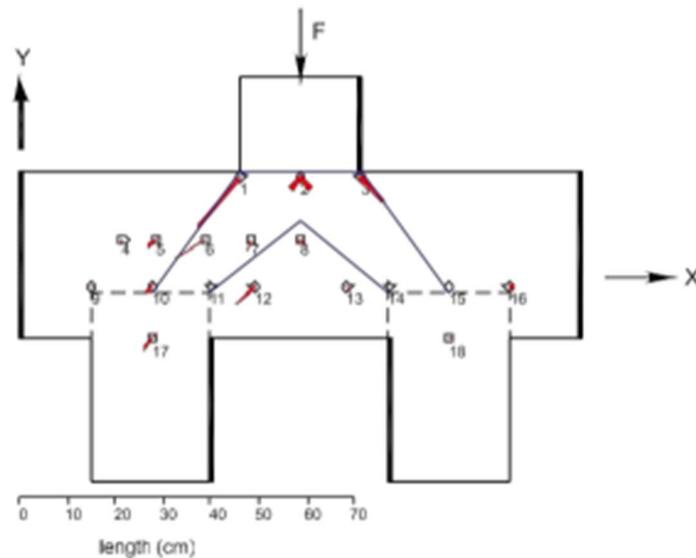


図 1.2.11 応力伝達モデル

1.2.12 幅広基礎梁主筋に機械式定着を用いたト形接合部に関する実験的研究¹⁷⁾

私の研究で用いている基礎梁主筋の機械式定着および杭頭接合部が題材のため、本研究を選択した。近年、建築物の基礎構造のうち基礎梁に多段配筋が用いられる場合が増えている。しかし、設計上、施工上の問題が生じることがある。これを解消するために基礎構造に機械式定着を用いることが必要とされる。そこで、佐川、迫田、前田、趙らは高層鉄筋コンクリート構造純ラーメン架構における基礎構造部分のト形接合部を切り出した部分架構を対象としたせん断力載荷実験を実施した。基礎接合部の幅広梁主筋にそれぞれ U 形定着を用いた U-D 試験体、U-D と同様の配筋で上端 2 段筋と下端 1, 2 段筋に機械式定着を用いた PN-D 試験体の計 2 体で定着部の違いが構造性能へ与える影響が検証された。

その結果、両試験体ともに幅広基礎梁の柱の外側梁主筋の降伏が確認された。最終的に、U-D 試験体では端部コンクリートの剥離とともにせん断破壊の、PN-D 試験体では L 形定着部および機械式定着部が接合部から抜け出すような破壊の発生が認められた。機械式定着の定着性能は柱側に定着された上端 1 段筋を L 形定着とすれば、上端 2 段筋を機械式定着にしても層間変形角 $R=1/50\text{rad}$ まで十分確保された。また、柱より大断面の杭がある場合、下端 1 段筋を機械式定着にしても定着性能は確保された。

今後の検討次第では基礎に対する幅広基礎梁主筋機械式定着のより安全な導入が可能

であり、施工性の簡略化が見込まれると考えた。

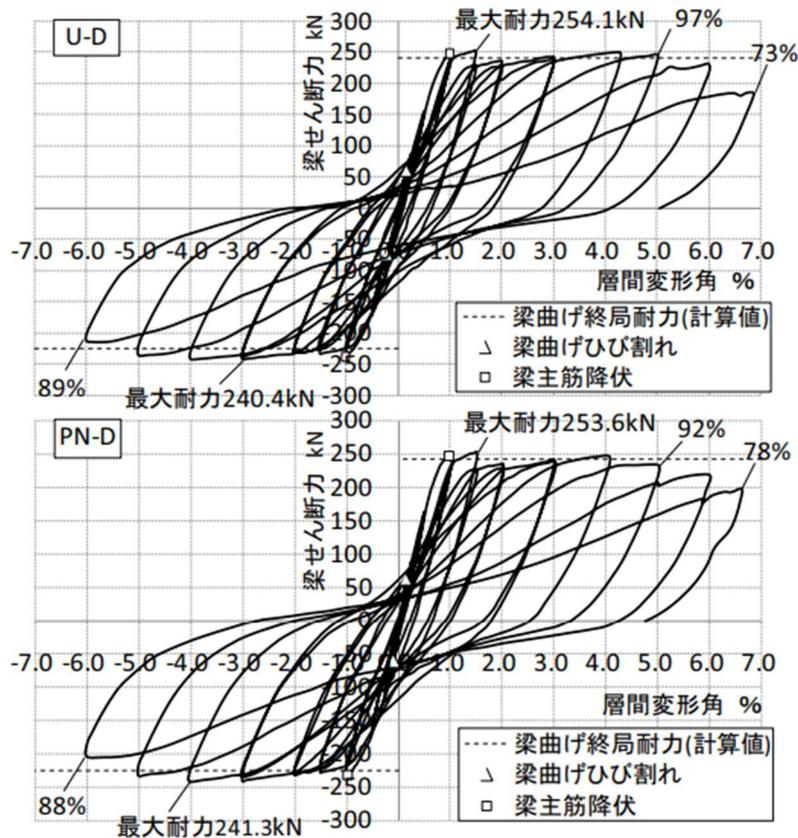


図 1.2.12 荷重－変形関係

1.2.13 ト形部分架構を有するパイルキャップの耐震性能に関する実験研究^{18),19)}

私の研究で用いているパイルキャップが題材のため、本研究を選択した。パイルキャップは基礎構造において、上部構造と杭の応力を相互に伝達する重要な接合部材である。しかし、力学的根拠に基づく設計法が確立されていない。現在設計されているパイルキャップ内の各種鉄筋の補強効果を期待せず、コンクリート断面のみでせん断力を負担させる方法は安全側ではあるが、合理的であるとは言い難い。そこで、富山、大和久、上坂、岸田、林らはト形部分架構を有するパイルキャップの内部応力状態、各補強筋の効果解明及び、合理的な配筋方法の検討を目的とし、正負交番繰返し载荷を実施した。試験体はパイルキャップのせん断破壊を先行させる設計とし、実験変数はパイルキャップ内の配筋方法とした計3体が用意された。それらは杭の埋込み長さを確保するため基礎梁位置を上げた試験体 No.1、縦筋を短くした試験体 No.2、せん断補強筋量を増やした試

験体 No.3 である。

結果としては、全試験体で正負荷荷時共に最大耐力時にパイルキャップせん断補強筋とせん断補強筋が降伏し、最大耐力以降パイルキャップの損傷が顕著であった。特に杭頭周囲に補強筋のない試験体 No.2 で損傷が顕著であった。以上から全試験体で破壊形式はパイルキャップせん断破壊と判断された。最大耐力に関して、試験体 No.3 は他の試験体と比べて正負荷荷時ともに大きく、せん断補強筋の増加による耐力上昇がみられた。

各種鉄筋のひずみに関して、正負荷荷時ともに降伏ひずみに達していた。正荷荷時は平均的にひずみ、パイルキャップ中心で大きくなる傾向が確認された。一方、負荷荷時はパイルキャップ下部でひずみが大きくなる傾向が認められた。ゆえに、負荷荷時はパイルキャップ下部に応力が集中していると考えられる。

パイルキャップせん断強度は、靱性指針接合部せん断強度式²⁰⁾を用いて評価の検討を行った。この方法を用いた場合、有効断面に柱、パイルキャップ、杭を考慮することで精度よく評価できた。

加力方向でストラット抵抗機構の形成が異なることが最大耐力に大きな差異が生じる要因となっているため、その差異をどう克服するのかを今後検討していく必要があると考えた。

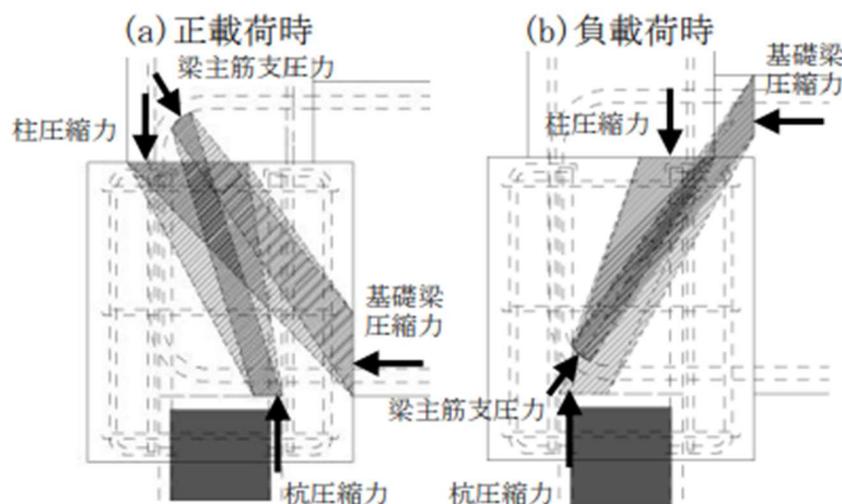


図 1.2.13 予想される抵抗機構

1.2.14 既存建物の外柱－杭－基礎梁接合部の部分架構実験²¹⁾

私の研究で用いている基礎の接合部が題材のため、本研究を選択した。杭基礎の耐震

設計は、目視による確認の困難さに起因して、大地震に対しての議論が十分にされていない²²⁾。そこで、市川、鈴木、柏、真田、倉本らは外柱－杭－基礎梁接合部部分架構の構造性能把握を目的として、兵庫県南部地震で被害を受けた旧耐震基準で設計された建物を対象に計2体の正負繰返し静的載荷実験を実施した。壁なし試験体 No.3 は兵庫県南部地震において被害を受けた建物を想定したものであり、壁あり試験体 No.4 は耐震壁を想定した壁を付帯したものである。

結果としては、被害対象建物はパイルキャップの損傷が顕著であったのに対し、試験体 No.3 ではパイルキャップに顕著な損傷は確認されなかった。この原因として、本実験では柱せん断力に対する慣性力の比を 0.5 倍としたが、静的増分解析の結果では最大で 1.1 倍以上に達したことが挙げられる。試験体 No.4 では正・負載荷ともに杭頭の曲げひび割れが顕著であった。特に、正載荷では杭頭コンクリートの圧壊が確認された。また、最大耐力を迎えた後、パイルキャップにせん断ひび割れが確認された。

壁なし試験体について被害対象建物の損傷状況を模擬できなかった。そのため、今後はその原因の解明をしていくことが重要な課題であると考えた。

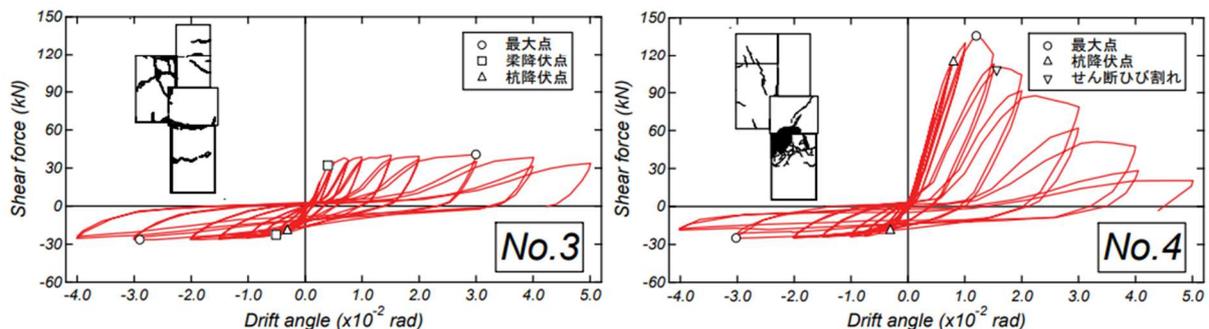


図 1.2.14 履歴特性および破壊状況

1.2.15 大口径杭の偏心に対する基礎のせん断設計について²³⁾

私の研究で用いている大口径杭、偏心基礎および FEM 解析が題材のため、本研究を選択した。柱軸心と偏心した杭では、柱と杭の偏心によるせん断力とモーメントの処理が基礎の設計で必要となる。安井、遠藤、長瀬らは杭偏心に対する建築基礎の設計にディープビームのせん断設計を取り入れることを目的として、大口径の 1 本打ち杭偏心基礎 FEM 解析を行い、偏心した軸力の伝達機構と応力状態を検討した。

せん断スパン比が小さいディープビームのせん断耐力の増大が、圧縮ストラットモデ

ルで説明できることから偏心杭基礎のせん断設計では圧縮軸力の伝達が支配的となる。現実的な偏心基礎モデルの FEM 解析により、矩形柱と円形杭の間で圧縮応力がほぼ一様に分布することが確認された。偏心が長期荷重の問題であることから、ひび割れ状況についても注目した。しかし、ディープビームの構造実験にみられる圧縮ストラットに付随するひび割れは、今回の解析では認められなかった。

杭偏心の多くは長期荷重の問題が大半を占めるため、ひび割れ損傷についての考慮が必要である。しかし、今回の解析では圧縮ストラットに付随するひび割れが確認されなかった。そのため、長期荷重時のひび割れに対しての検討を期待する。

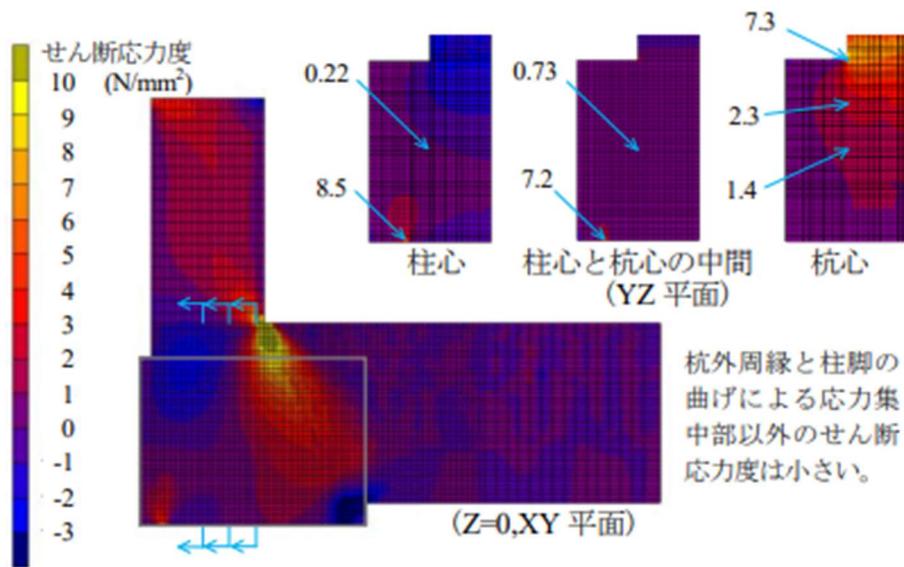


図 1.2.15 せん断応力度 τ_{xy} (N/mm²)

1.2.16 機械式定着とした二段配筋の基礎梁と外柱・杭との接合部の正負交番载荷実験 24)

私の研究で用いている基礎梁主筋の機械式定着および杭頭接合部が題材のため、本研究を選択した。近年、配筋時の施工性から採用されている機械式定着は、RC 規準に定着長さの記述はあるが、柱が曲げ降伏する場合の梁主筋定着具周辺破壊の影響についてはあまり検討されていない。そこで、大西、小路、西村、山口らは機械式定着とした二段配筋の基礎梁と外柱・杭との接合部の正負交番载荷実験を実施し、機械式定着と 90°折曲げ定着の比較を行った。試験体は 2 体で、No.4 は梁主筋を機械式定着とし、No.5 は 90°折曲げ定着とした。

結果としては、No.4 では柱脚における広範囲の損傷が確認されたのに対して、No.5 では梁主筋沿いの損傷が認められた。しかし、No.5 ではみられたパイルキャップにおける縦ひび割れが No.4 では確認されなかった。また、No.4 では梁下端引張時に変形角 2%での荷重低下が認められた。しかし、梁上端引張時では No.5 に比べて No.4 の方が最大耐力は高く、変形角 2%まで著しい荷重低下はみられなかった。

機械式定着の場合、梁主筋定着部周辺のコンクリートの損傷が大きいため、機械式定着独自の対策の検討をしていく必要があると考えた。

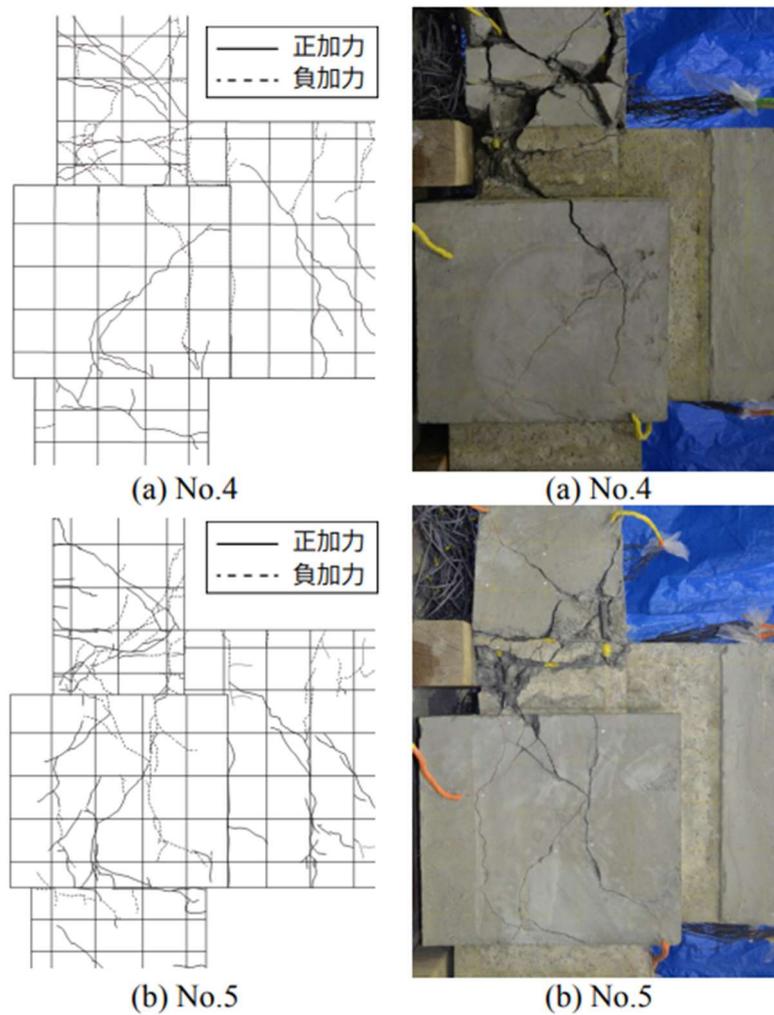


図 1.2.16 最終破壊時のひび割れ状況

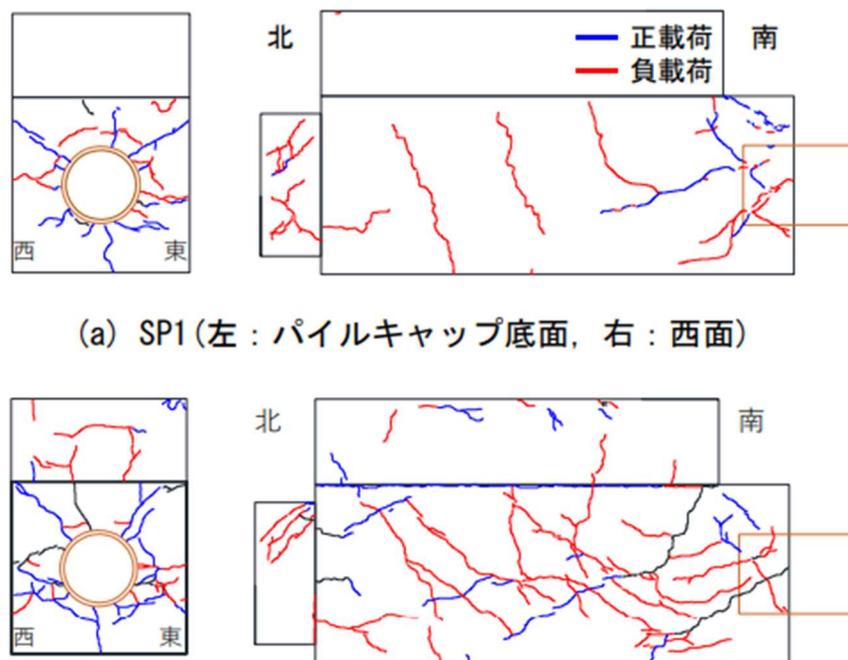
1.2.17 実大ト形杭頭接合部部分架構の曲げ抵抗機構に関する研究²⁵⁾

私の研究で用いている基礎の接合部が題材のため、本研究を選択した。大地震後の継

続使用を可能とする工法を開発する場合には、杭頭部に加えて杭頭接合部の構造性能評価が必要となる。そこで、千濱，土佐内，平尾，向井らは設計法が確立されていない杭頭接合部における曲げ抵抗機構の解明を目的とした杭，杭頭接合部，基礎梁，柱から構成されるト形杭頭接合部部分架構試験体を用いた静的載荷実験を実施した。杭頭定着筋量と変動軸力パスを実験変数とし，杭頭接合部での曲げ破壊を想定した試験体を SP1，杭頭接合部でのせん断破壊を想定した試験体を SP2 の計 2 体が作成された。

その結果，SP1 ではひび割れの拡幅，SP2 ではせん断ひび割れの拡幅が杭頭接合部に顕著にみられた。また，SP2 では杭頭接合部に加えて，基礎梁部，柱部のひび割れも確認された。杭頭接合部における曲げ抵抗機構では埋め込み部でのこ作用による機構および杭頭定着筋と杭頭接合部コンクリートによって形成される機構の存在が確認された。

本研究の 2 試験体では，設計段階で想定されていた破壊とはなっていないため，より明確な構造性能を得るにはそれらを改善する必要があると考えた。



(a) SP1 (左：パイルキャップ底面，右：西面)

(b) SP2 (左：パイルキャップ底面，右：西面)

図 1.2.17 ひび割れ状況 (R=-1.5%時)

1.2.18 柱と杭が偏心した基礎接合部の合理的な設計法の開発³⁾

本研究で用いられている杭頭接合部耐力評価式を私の研究で用いているため，非常に

重要な研究である。田中，杉山，西村らは柱と杭が水平二方向に偏心した杭頭接合部の軸力伝達機構およびその機構に基づく耐力評価法を提案し，その妥当性を実験的に検討した。

図 1.2.1 に提案された軸力伝達機構を示す。軸力伝達機構では支障なく軸力伝達を行うために杭頭接合部下端に補強筋を配する必要があるとしている。しかしながら，杭頭接合部下端の補強筋に発生するひずみは小さいことが示された。そのため，当該鉄筋の効果については不明瞭な点が多く，さらなる検討の必要性が指摘された。

提案された耐力評価法は，柱と杭が重複する部分 A の圧縮耐力と重複しない部分 B の圧縮耐力を累加する手法である。柱と杭が重複する部分 A の圧縮力 N_A は図 1.2.1 に示すように杭へ直接伝達されると考えられる。その時の圧縮耐力 ${}_A N_u$ は式(1.2.1)で表される。一方，柱と杭が重複しない部分 B の圧縮力 N_B は I 点で基礎梁の曲げ引張力 T および杭頭接合部に形成される斜めのコンクリート圧縮束に作用する圧縮力 R_I によって釣合系を構成すると考えられる。II 点では圧縮力 R_I ，基礎梁に形成されるコンクリート圧縮束に作用する圧縮力 R_2 および杭からの反力 P_B によって釣合系を構成すると考えられる。したがって，圧縮耐力 ${}_B N_u$ は杭頭接合部のコンクリート圧縮束による耐力 N_C と鉄筋に依存する耐力 N_I より式(1.2.2)で評価される。

杭頭接合部のコンクリート圧縮束による耐力 N_C は式(1.2.3)で与えられる。鉄筋に依存する耐力 N_I は基礎梁主筋の引張降伏による耐力 N_t と基礎梁主筋の定着性能による耐力 N_b より式(1.2.4)で表される。基礎梁主筋の引張降伏による耐力 N_t と基礎梁主筋の定着性能による耐力 N_b は式(1.2.5)および式(1.2.6)で求められる。

水平二方向偏心を有する杭頭接合部の圧縮耐力 N_u は式(1.2.1)および式(1.2.2)より式(1.2.7)で評価される。

本研究の杭は鋼管コンクリート杭である。これが杭頭接合部下端に生じるはずだった引張力を負担している可能性が考えられるため，RC 杭で実験してみることが望まれる。これを踏まえて私の研究では RC 杭とした純粋な RC 構造としている。

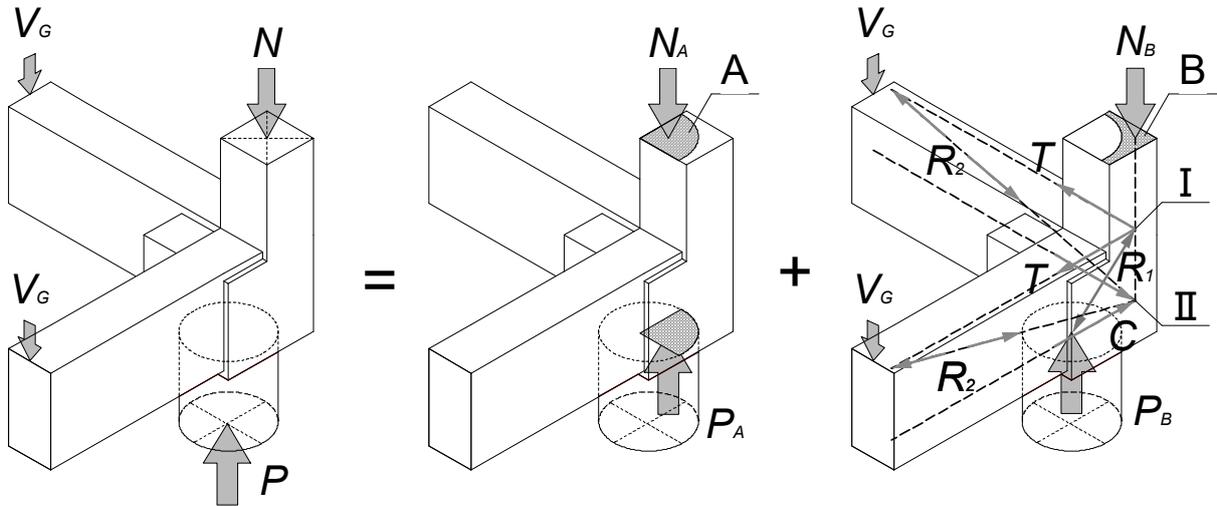


図 1.2.18 水平二方向偏心を有する杭頭接合部の軸力伝達機構

$${}_A N_u = A \sigma_B \quad (1.2.1)$$

$${}_B N_u = \min. (N_c, N_t) \quad (1.2.2)$$

$$N_c = B \sigma_B \cos^2 \alpha \quad (1.2.3)$$

$$N_t = \min. (N_y, N_b) \quad (1.2.4)$$

$$N_y = \frac{\sqrt{2} \sigma_y a_t}{\tan \alpha} \quad (1.2.5)$$

$$N_b = \frac{\sqrt{2} f_u a_t}{\tan \alpha} \quad (1.2.6)$$

$$N_u = {}_A N_u + {}_B N_u \quad (1.2.7)$$

記号

A : 柱と杭が重複する部分の面積

B : 柱と杭が重複しない部分の面積

σ_B : コンクリートの圧縮耐力

α : 柱材軸と圧縮束の方向余弦

σ_y : 基礎梁主筋の降伏強度

a_t : 基礎梁引張側主筋の断面積

f_y : 基礎梁主筋の定着強度

${}_A N_u$: 杭頭接合部の圧縮耐力

${}_B N_u$: 杭頭接合部のアーチ機構による耐力

N_c : 杭頭接合部のコンクリート圧縮束による耐力

N_t : 杭頭接合部の鉄筋に依存する耐力

N_y : 杭頭接合部の基礎梁主筋の引張降伏による耐力

N_b : 杭頭接合部の基礎梁主筋の定着性能による耐力

N_u : 水平二方向偏心を有する杭頭接合部の圧縮耐力

1.2.19 柱と杭が水平2方向に偏心する杭頭接合部の非線形 FEM 解析²⁶⁾

私の研究では、本研究で提案された解析モデルもとに試験体を作成した。そのため非常に重要な研究である。近年、杭頭接合部の寸法の増大などの理由から大口径の場所打ち杭や高支持力杭の普及により杭1本で柱を支持する杭基礎形式の使用が一般的となりつつある。このような1本杭を用いる場合、様々な要因により柱芯と杭芯のずれに伴う偏心が生じる。鈴木、市之瀬らは基礎梁の断面形状を変数とした水平二方向偏心を有する杭頭接合部の解析モデルを対象とした三次元 FEM 解析を実施し、当該解析モデルの損傷状況および軸力伝達機構を検討した。解析モデルは一般的な梁を持つ基準モデル E37 と扁平梁を持つ扁平モデル E76 である。

その結果、基礎梁の断面形状に拘らず同程度の最大耐力を記録し、柱脚直下の杭頭接合部においてコンクリートの圧縮破壊の発生が確認された。杭頭接合部内では、柱から杭にかけて柱芯付近を伝達する圧縮力および柱から両側梁と杭の境界付近を伝達する圧縮力の2種類の応力伝達機構が確認された。基礎梁の危険断面に生じるせん断応力は建物の内側方向で高くなる傾向がみられた。これは柱から両側梁と杭の境界付近にかけての圧縮応力伝達機構に対応する。基準モデル E37 は扁平モデル E76 と比べて、柱芯付近を伝達する圧縮力が小さく、上端柱芯付近から下端の梁と杭の境界付近に伝達される圧縮力が大きくなり、基礎梁断面形状の差異に伴う杭頭接合部の応力負担状況の差異が確認された。

梁上端筋の応力分布をみると、扁平モデルの内側主筋のみ他の主筋の分布と異なる。この要因を今後検討していく必要があると考えた。

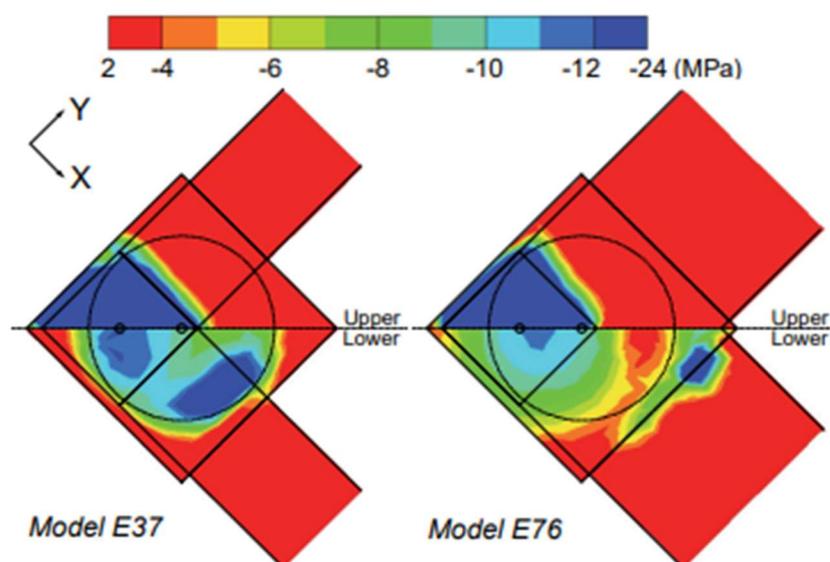


図 1.2.19 杭頭接合部コンクリートの Z 方向応力度分布

1.2.20 ト形部分架構パイルキャップにおける杭頭接合部に関する検討²⁷⁾

私の研究で用いている杭頭接合部が題材のため、本研究を選択した。杭頭接合部の設計に対して、上部構造と下部構造の架構としての性能評価を目的とした実験は少なく、設計法や最大耐力の算定法については、未だ十分に解明されていない。そこで、岸田、向井、渡邊らは埋め込み部における配筋された埋込補強筋の組数の違いによる既製杭を用いた杭頭接合部の破壊性状の検討を目的とした4体のト形部分架構静的載荷実験を実施した。試験体 D-1 では杭頭接合面で破壊するように計画され、埋込補強筋は配筋されていない。試験体 D-2 では柱脚部曲げ破壊するように計画され、埋込補強筋が2組配筋されている。試験体 D-3 および D-4 では杭頭接合面で靱性的に曲げ破壊するように計画され、埋込補強筋が1組配筋されている。ただし、試験体 D-4 に関しては、柱脚の曲げ圧縮破壊を防ぐために柱に鋼板を巻いた。

結果としては、試験体 D-1 では、最大耐力時の正載荷時は定着筋降伏後の杭頭部破壊、負載荷時は柱脚部曲げによる圧壊、最終変形時の正載荷時は杭頭部破壊、負載荷時は柱脚部曲げによる圧壊であった。試験体 D-2 では、すべての状態において柱脚部曲げによる圧壊であった。試験体 D-3 では、最大耐力時の正載荷時は定着筋降伏後の杭頭部破壊、負載荷時は柱脚部曲げによる圧壊、最終変形時の正負載荷時ともに柱脚部曲げによる圧壊であった。試験体 D-4 では、最大耐力時の正載荷時は定着筋降伏後の杭頭部破壊、負

載荷時は柱脚部曲げによる圧壊，最終変形時の正載荷時は杭頭部破壊，負載荷時は柱脚部曲げによる圧壊であった。埋込補強筋を配筋することで架構の耐力は上昇し，杭頭部の脆性的な破壊を防ぐことができた。しかし，柱脚から派生したひび割れが杭頭接合部上部に進展し，ひび割れが拡幅したために，今回の実験範囲の最小寸法ならば，補強筋が必要となる。あるいは杭頭接合部断面寸法を大きくする必要がある。

本研究では杭頭定着筋の曲げ降伏や杭頭埋込部周辺の損傷が顕著であったため，杭頭接合部耐力についての検討がなされた。しかし，耐力評価の精度が良くないと判断されたため，この精度を良くしていくことが今後の課題であると考えた。

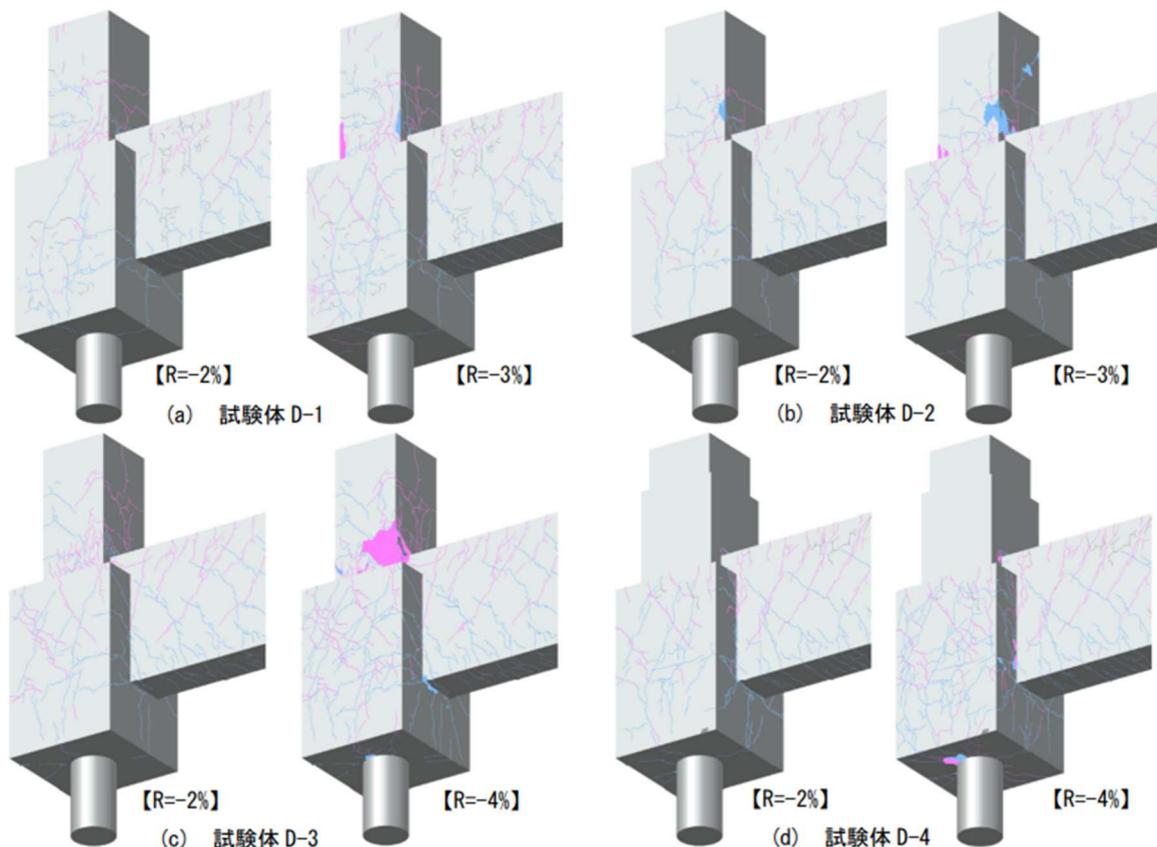


図 1.2.20 最大耐力時および最終変形時の損傷状況

第 2 章

柱と杭が水平 2 方向に偏心する 杭頭接合部の構造性能に関する研究

2.1 実験概要

2.1.1 試験体概要

試験体は実大の1/5スケールのもので2体である。表2.1.1に試験体概要を、図2.1.1, 2.1.2に試験体の形状および寸法を、図2.1.3~8に試験体の配筋状況をそれぞれ示す。試験体は荷重の都合により上下を反転して作成された。本論では、柱軸方向をZ軸、両基礎梁の軸方向をそれぞれX軸とY軸、および基礎梁軸方向の二等分線方向をS軸と定義した。柱端には鉄板(PL-28×300×300mm)とその下にピン支点を模擬した球座(GW70-AW)が、各方向の基礎梁上端(以降、上端と下端は実構造物を想定したものとする)にはローラー支点を模擬した丸鋼($\phi 50$)がそれぞれ設置されている。柱断面は200mm角、杭径は339mm、杭頭接合部の寸法は400×400×400mmである。柱芯から杭芯までの偏心距離 e は113mmである。柱端のピン支点から杭端のピン支点までの高さは1,311mm、柱芯から両基礎梁ローラー支点までの距離は1,000mmである。

実験変数は偏心距離 e を基礎梁の応力中心間距離 j ($=7d/8$, d :基礎梁の有効せい)で除した比率 e/j (以下、偏心比と呼称)である。本研究では e を定数、 j を変数とすることで基礎梁形状の違いによる影響の把握を狙いとした。試験体E39は偏心比が0.39である。基礎梁断面 $b \times D$ は200×400mm、 d は334mmである。試験体E88は偏心比が0.88と試験体E39のもの約2倍である。 $b \times D$ は360×220mm、 d は148mmである。両試験体の基礎梁主筋は原則として機械式定着である。ただし、試験体E88における二段筋上端の一部は折り曲げ定着とした。なお、本試験体における杭頭接合部下端筋の配筋量(E39:42mm², E88:84mm²)はRC規準¹⁾の長期荷重に対する計算手法から求まる配筋量(E39:401mm², E88:591mm²)と比べて少ない。以下の式(2.1.1)~(2.1.4)に算出方法を示す。

$$C = 0.8BD\sigma_j / \sqrt{j^2 + e^2} \quad (2.1.1)$$

$$N = Cj / \sqrt{j^2 + e^2} \quad (2.1.2)$$

$$T = \sqrt{2}Ne / j \quad (2.1.3)$$

$$a_t = T / f_t \quad (2.1.4)$$

記号

- C : コンクリート斜め圧縮束の軸力
 BD : 柱断面積
 σ : コンクリートの長期許容圧縮応力度
 j : 基礎梁の応力中心間距離
 e : 偏心距離
 N : 柱長期軸力
 T : 杭頭接合部下端筋引張力
 a_t : 杭頭接合部下端筋総断面積
 f_t : 鉄筋の長期許容応力度

表 2.1.1 試験体概要

| 解析モデル | | E39 | E88 |
|---------------------|----------------------------|-----------------|---------------|
| 柱芯と杭芯の偏心距離 e (mm) | | 113.1 | |
| 偏心比 e/j | | 0.39 | 0.88 |
| 柱 | 断面 $d \times D$ (mm) | 200×200 | |
| | 主筋, 鉄筋比 | 12-D10, 3.8% | |
| | せん断補強筋, せん断補強筋比 | 19-D4@35, 0.4% | |
| 基礎梁 | $b \times D \times L$ (mm) | 200×400×720 | 360×220×720 |
| | 有効せい d (mm) | 327.5 | 147.5 |
| | 上端筋, 引張鉄筋比 | 5-D13, 0.97% | 12-D13, 2.86% |
| | 下端筋 | 3-D13 | 6-D13 |
| | せん断補強筋 | 29-D4@35 | 25-D6@35 |
| 杭 | 杭径 | 339 | |
| | 主筋, 鉄筋比 | 12-D10, 1.6% | |
| | せん断補強筋, せん断補強筋比 | 12-D4@35, 0.27% | |
| 杭頭接合部 | 寸法 (mm) | 400×400×400 | |

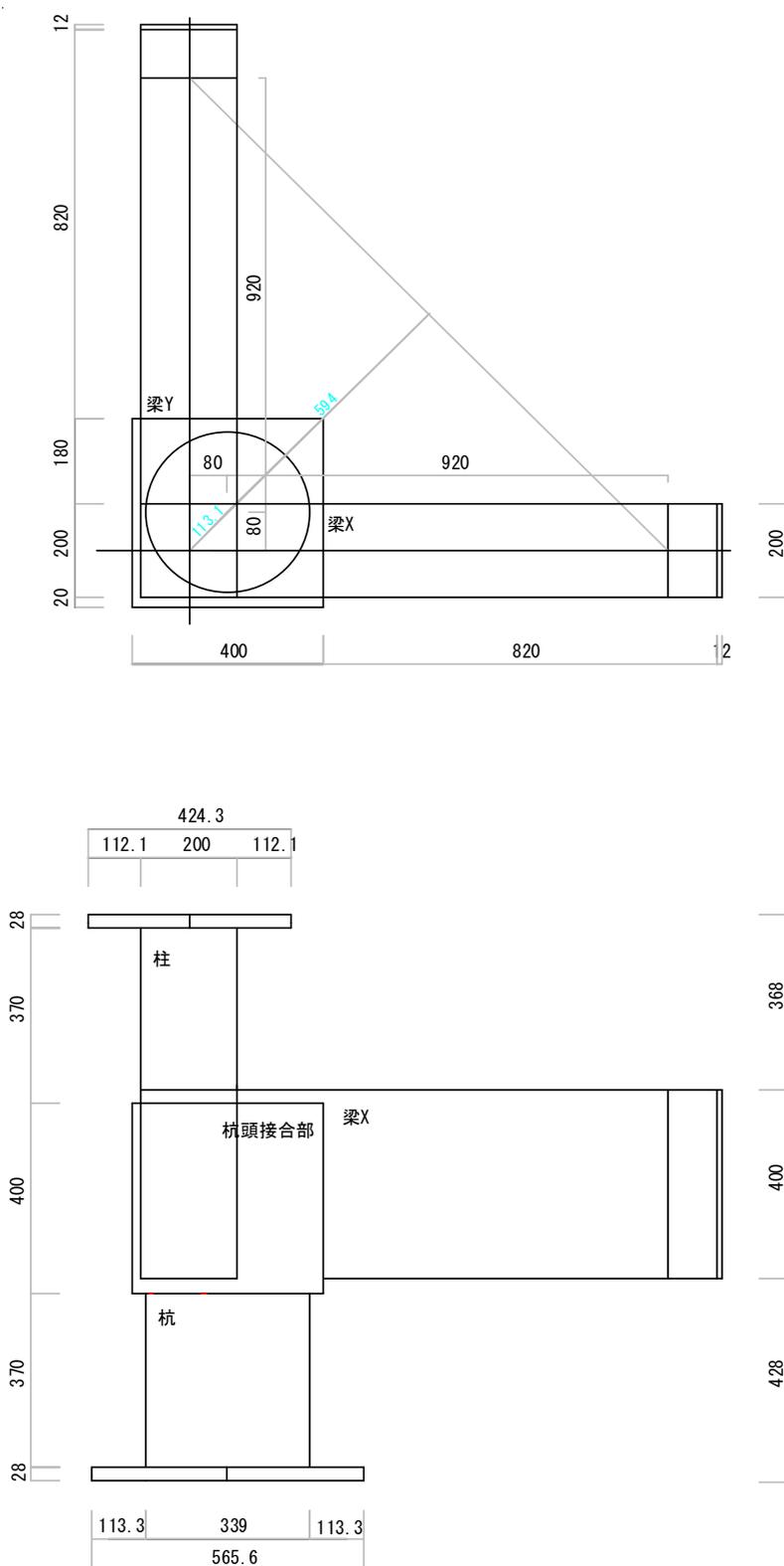


図 2.1.1 E39 試験体形状

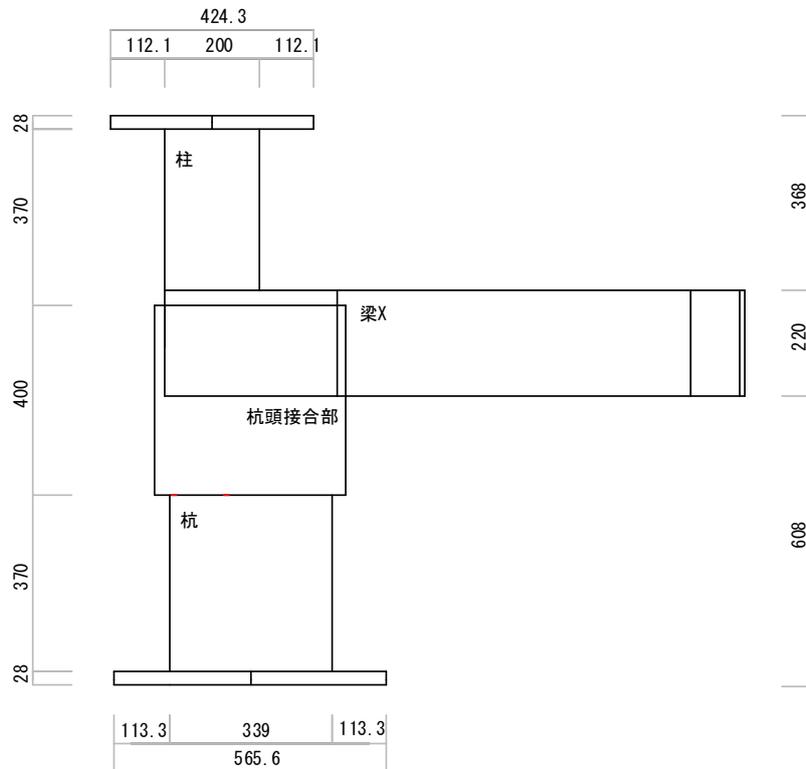
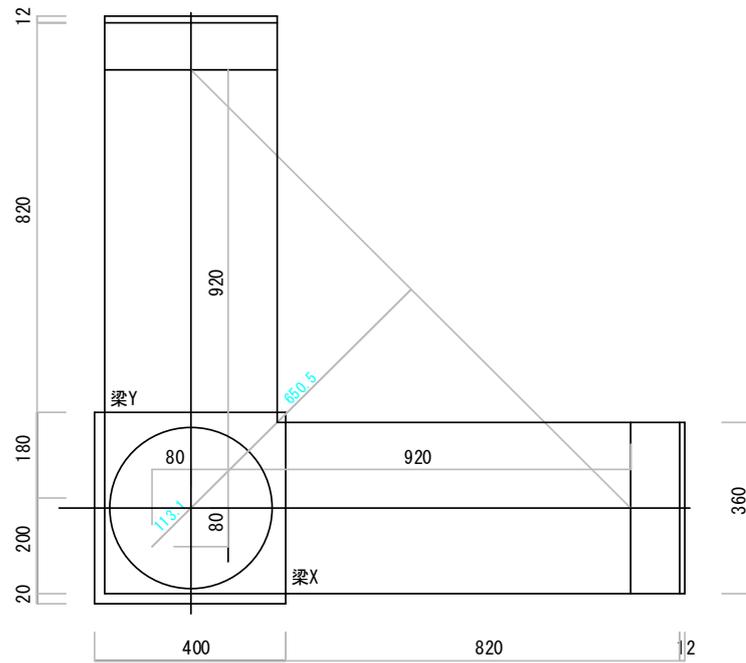


図 2.1.2 E88 試験体形状

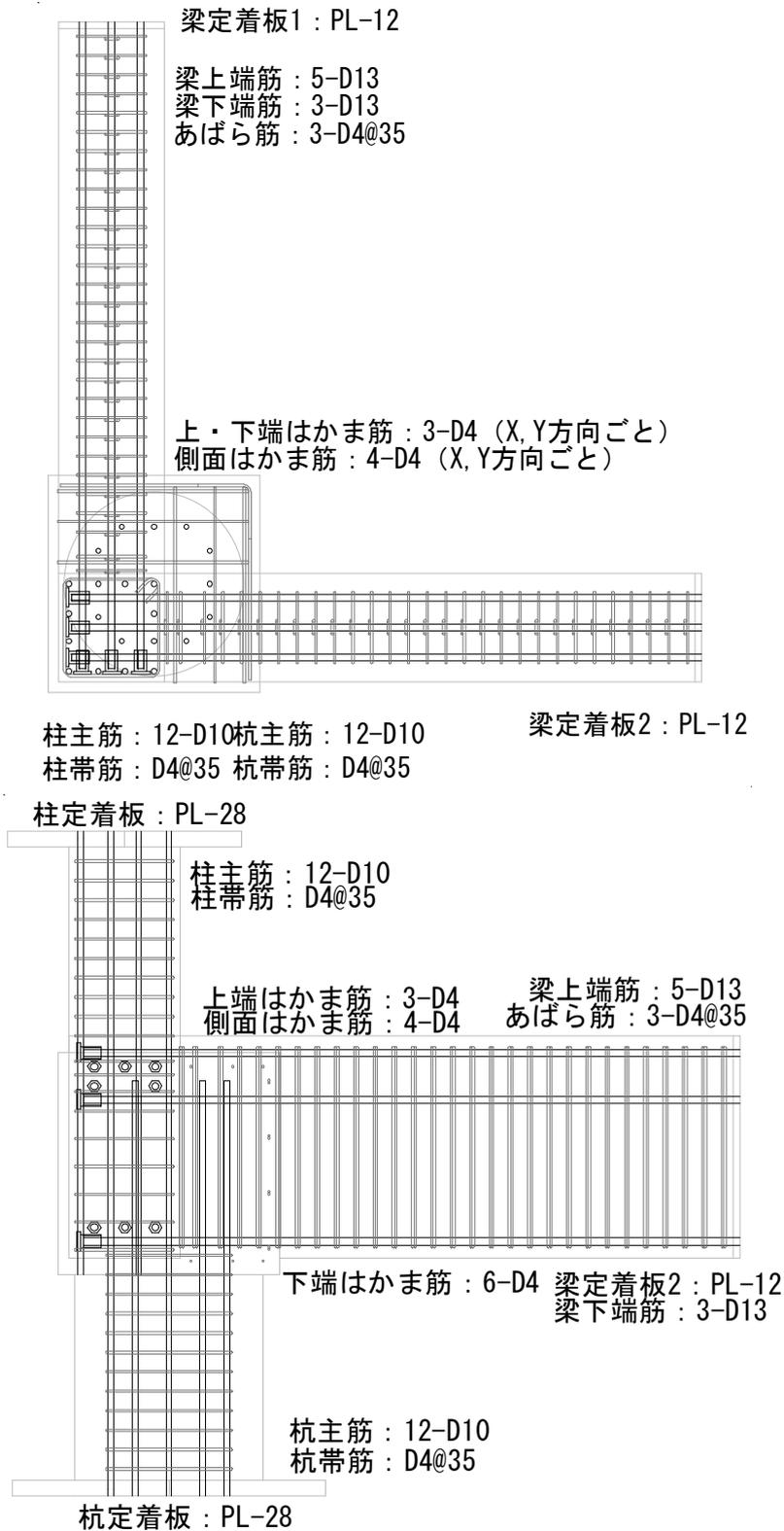


図 2.1.3 E39 試験体配筋状況 (全体)

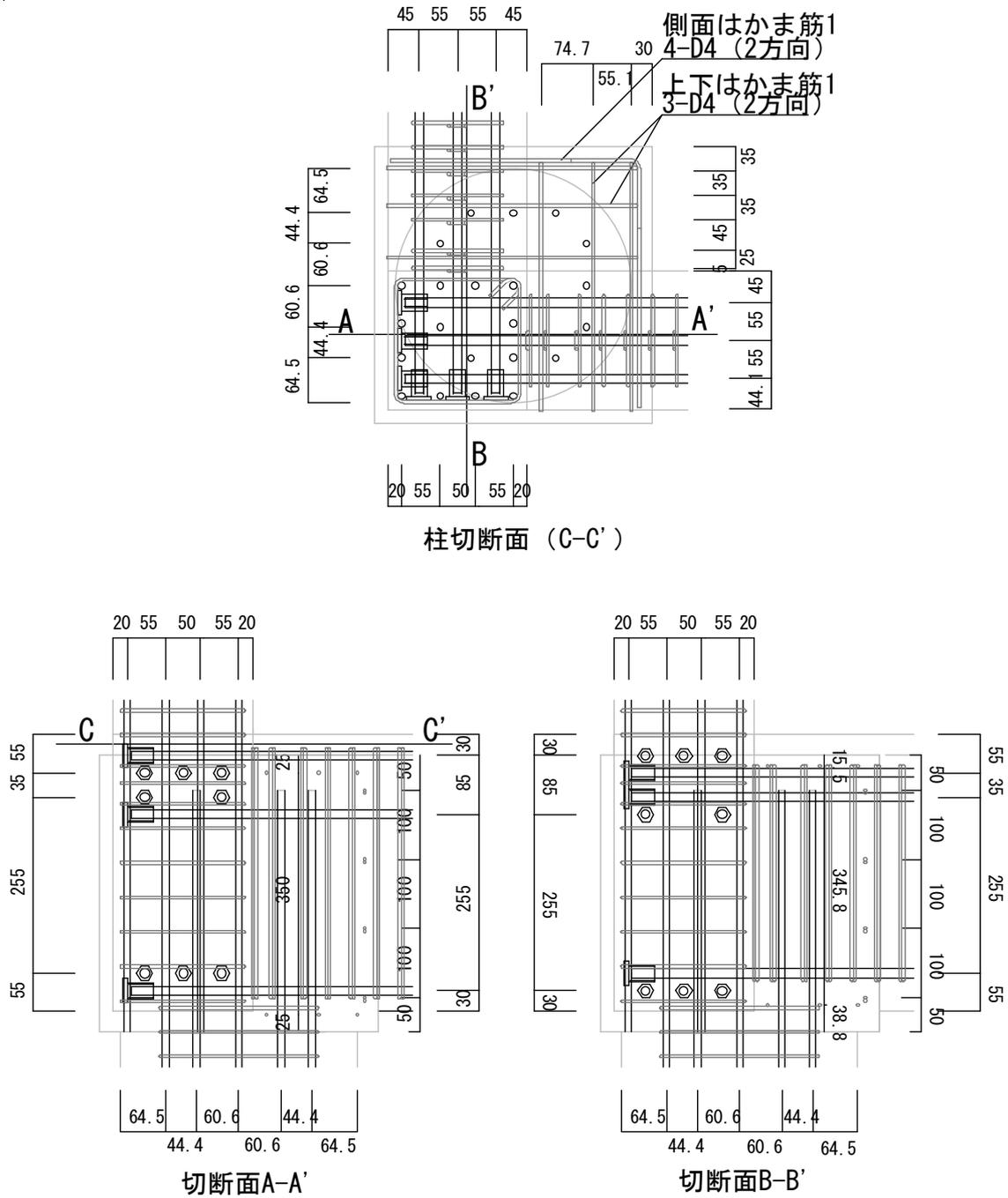
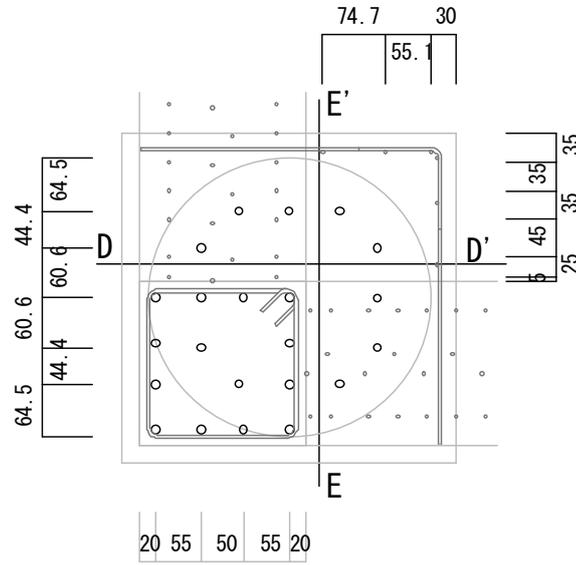


図 2.1.4 E39 試験体配筋状況 (柱切断面)



杭頭接合部切断面F-F'

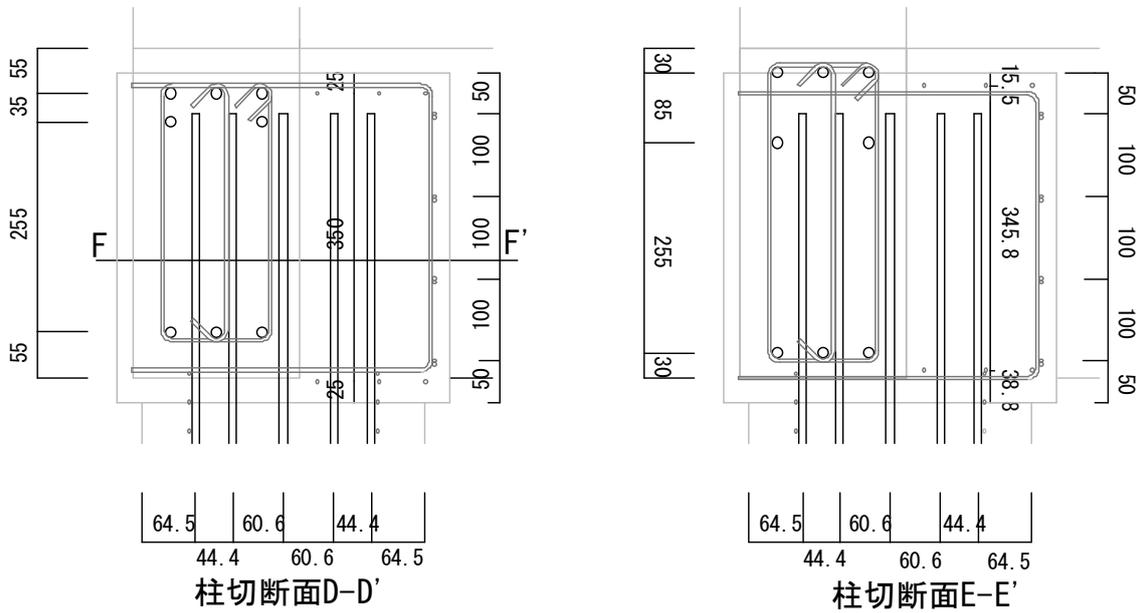


図 2.1.5 E39 試験体配筋状況 (杭頭接合部切断面)

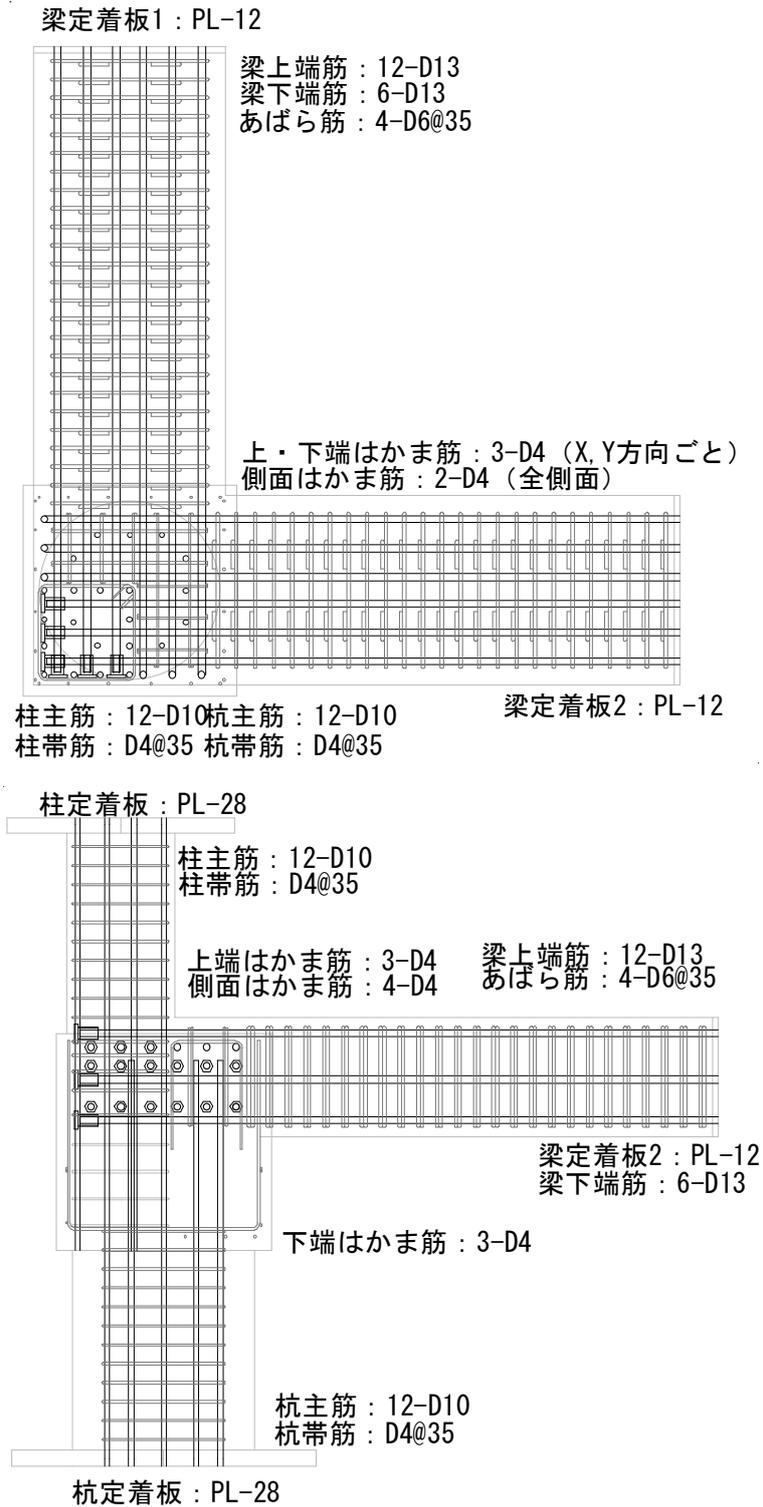


図 2.1.6 E88 試験体配筋状況 (全体)

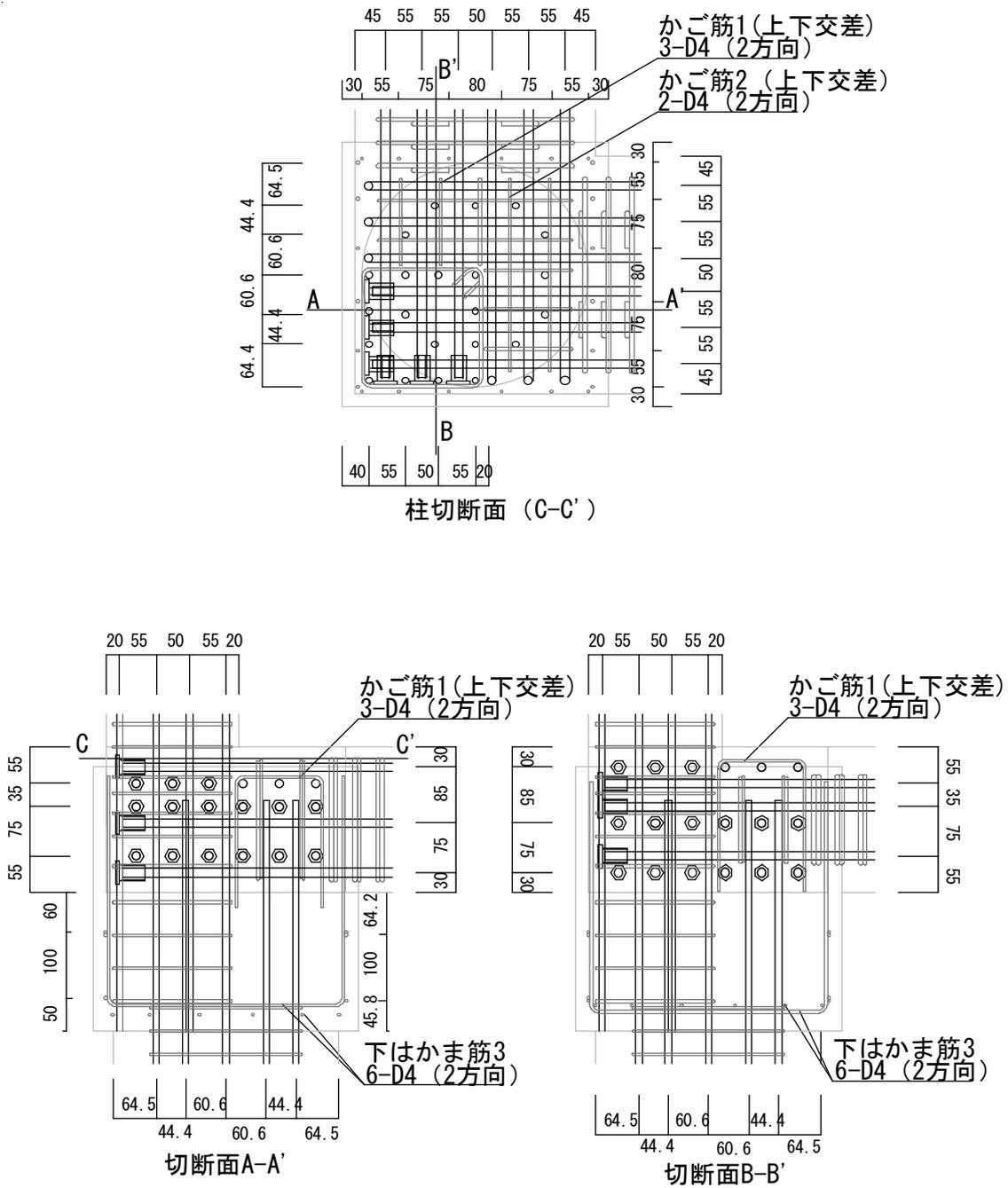


図 2.1.7 E88 試験体配筋状況 (柱切断面)

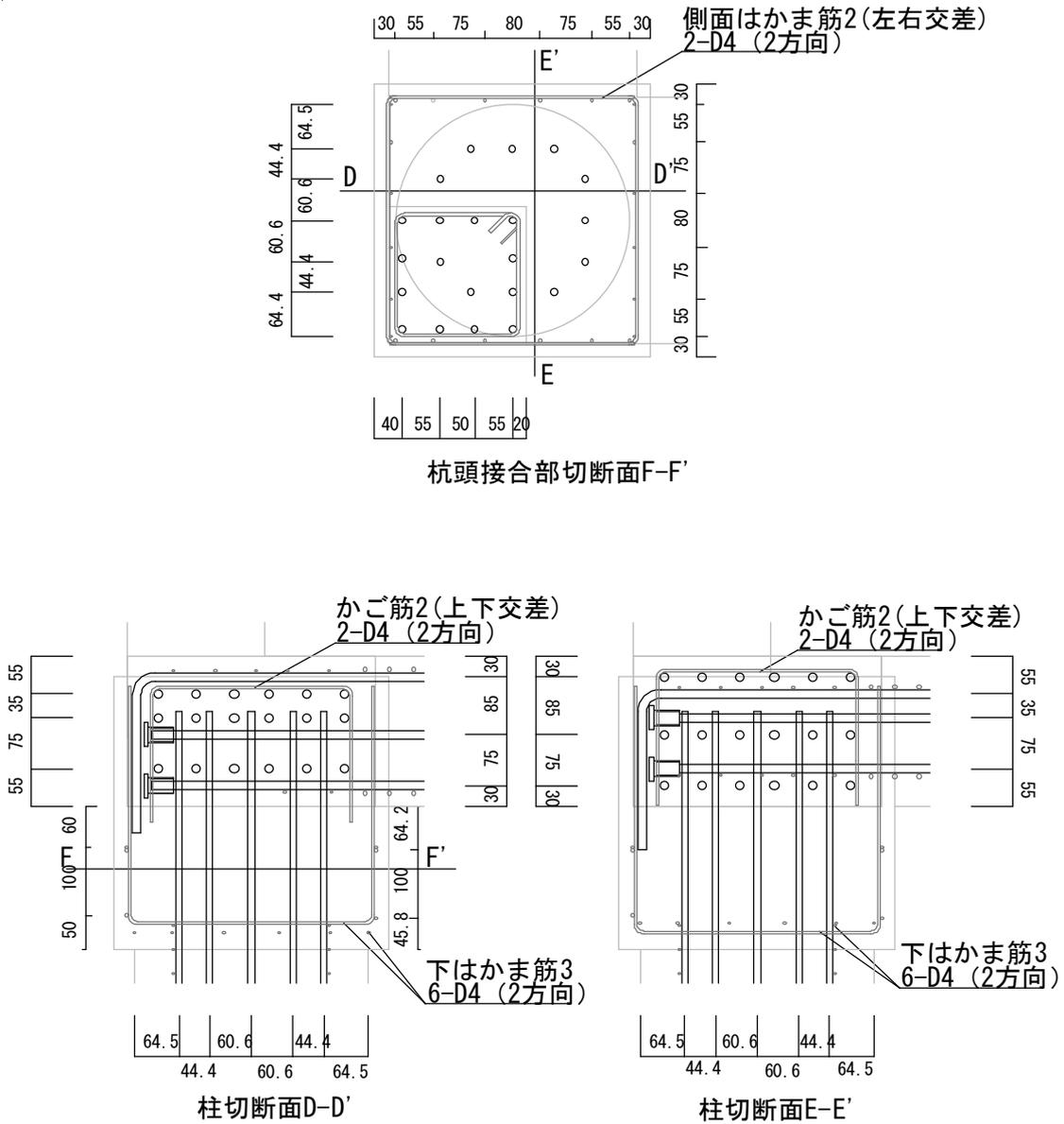


図 2.1.8 E88 試験体配筋状況 (杭頭接合部切断面)

2.1.2 使用材料の力学特性（コンクリートおよび無収縮モルタル）

図 2.1.9, 2.1.10 にコンクリートの応力-ひずみ関係のグラフ, 表 2.1.2 にコンクリートの配合表を, 表 2.1.2 に無収縮モルタルの配合表をそれぞれ示す。

本試験体では, 柱に普通コンクリート (Fc40) を, 柱以外に普通コンクリート (Fc24) を使用した。

表 2.1.3 にコンクリートの圧縮試験, 表 2.1.4 にコンクリートの割裂試験, 表 2.1.5 に無収縮モルタルの圧縮試験, 表 2.1.6, 2.1.7 にスランプ試験の結果を示す。

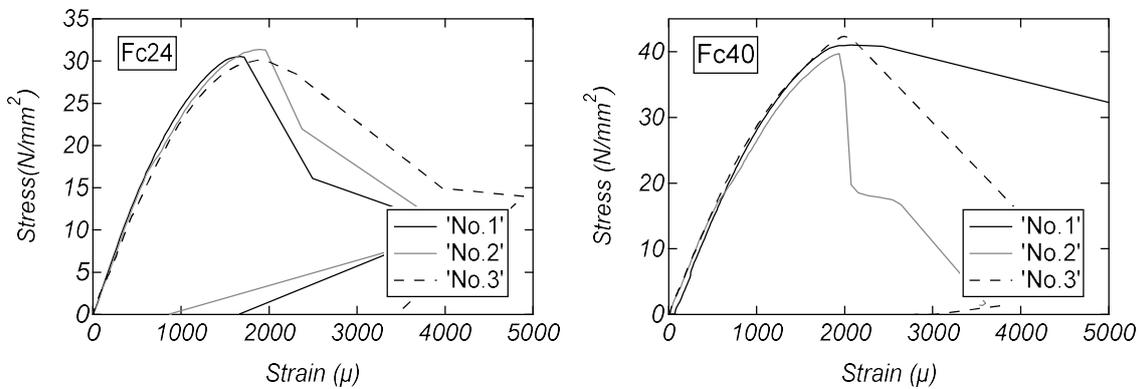


図 2.1.9 試験体 E39 の応力-ひずみ関係

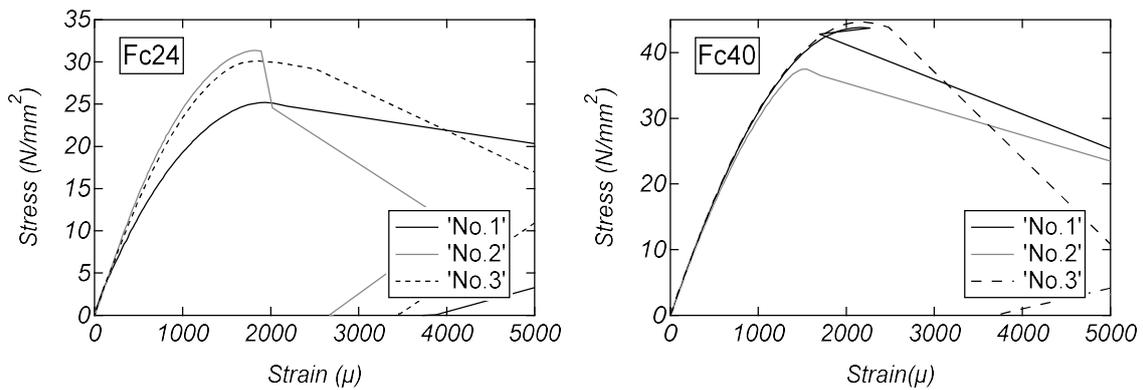


図 2.1.10 試験体 E88 の応力-ひずみ関係

表 2.1.2 コンクリートの配合表

| F _c (N/mm ²) | 水セメント比 W/C (%) | 細骨材率 S/a (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | |
|--|-------------------|--------------------|--------------------------|-----------|----------|-----|----------|--------|------|
| | | | 水 W | セメント C | 細骨材 S | | 粗骨材 G | 混和剤 | |
| | | | | | 砕砂 | 砂 | | AE 減水剤 | AE 剤 |
| 24 | 59.7 | 50.1 | 174 | 291 | 630 | 266 | 910 | 2.18 | 5.6 |
| 40 | 46.1 | 47.4 | 173 | 375 | 575 | 240 | 923 | 3.15 | 7.74 |

表 2.1.3 無収縮モルタルの配合表

| 練上り温度範囲 (°C) | 単位量 (kg/m ³) | | | 圧縮強度 (N/mm ²) (28 日) | | | |
|-----------------|--------------------------|---------------|-------------|-------------------------------------|------|------|------|
| | 太平洋プレューロックス (kg) | 練混ぜ水量 (kg) | 練上げ量 (ℓ) | 養生温度 (°C) | | | |
| | | | | 5 | 10 | 20 | 30 |
| 5~35 | 1,875 | 338 | 1,000 | 52.9 | 61.4 | 65.4 | 70.1 |



図 2.1.11 スランプ試験時の写真

表 2.1.4 コンクリートの圧縮試験結果

| | | | 直径 (mm) | | | 高さ (mm) | | | 重さ (kg) | | | 最大強度 (kN) | 圧縮強度 (N/mm ²) | |
|-----|-------------------|------|---------|-------|-------|---------|--------|--------|---------|-------|-------|--------------|---------------------------|-------|
| | | | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | | | 平均 |
| E39 | F _c 24 | No.1 | 99.60 | 99.75 | 99.68 | 196.90 | 196.85 | 196.88 | 3.396 | 3.365 | 3.381 | 237.50 | 30.44 | 30.60 |
| | | No.2 | 99.55 | 99.75 | 99.65 | 198.70 | 199.10 | 198.90 | 3.433 | 3.437 | 3.435 | 242.70 | 31.12 | |
| | | No.3 | 99.55 | 99.70 | 99.63 | 197.45 | 196.95 | 197.20 | 3.430 | 3.432 | 3.431 | 235.70 | 30.24 | |
| | F _c 40 | No.1 | 99.50 | 99.70 | 99.60 | 196.50 | 196.40 | 196.45 | 3.503 | 3.503 | 3.503 | 317.20 | 40.71 | 40.78 |
| | | No.2 | 99.45 | 99.75 | 99.60 | 194.45 | 194.60 | 194.53 | 3.456 | 3.458 | 3.457 | 309.70 | 39.75 | |
| | | No.3 | 99.60 | 99.70 | 99.65 | 197.50 | 197.80 | 197.65 | 3.544 | 3.540 | 3.542 | 326.70 | 41.89 | |
| E88 | F _c 24 | No.1 | 99.50 | 99.60 | 99.55 | 197.30 | 197.20 | 197.25 | 3.435 | 3.436 | 3.436 | 245.70 | 31.57 | 30.68 |
| | | No.2 | 99.50 | 99.70 | 99.60 | 199.35 | 199.30 | 199.33 | 3.438 | 3.482 | 3.460 | 240.20 | 30.83 | |
| | | No.3 | 99.80 | 99.65 | 99.73 | 200.35 | 200.70 | 200.53 | 3.485 | 3.480 | 3.483 | 231.50 | 29.64 | |
| | F _c 40 | No.1 | 99.70 | 99.60 | 99.65 | 196.85 | 196.75 | 196.80 | 3.541 | 3.541 | 3.541 | 336.20 | 43.11 | 41.33 |
| | | No.2 | 99.90 | 99.55 | 99.73 | 199.20 | 199.35 | 199.28 | 3.576 | 3.576 | 3.576 | 288.50 | 36.94 | |
| | | No.3 | 99.60 | 99.80 | 99.70 | 196.60 | 196.50 | 196.55 | 3.578 | 3.578 | 3.578 | 343.20 | 43.96 | |

表 2.1.5 コンクリートの割裂試験結果

| | | | 直径 (mm) | | | 高さ (mm) | | | 最大強度 (kN) | 引張強度 (N/mm ²) | |
|-----|-------------------|------|---------|--------|--------|---------|--------|---------|--------------|---------------------------|------|
| | | | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | | | 平均 |
| E39 | F _c 24 | No.1 | 99.50 | 99.40 | 99.45 | 198.80 | 198.80 | 198.80 | 73.1 | 2.35 | 2.49 |
| | | No.2 | 99.60 | 99.60 | 99.60 | 198.10 | 198.00 | 198.05 | 80.7 | 2.60 | |
| | | No.3 | 99.60 | 99.75 | 99.68 | 199.45 | 199.35 | 199.40 | 78.1 | 2.50 | |
| | F _c 40 | No.1 | 99.60 | 99.90 | 99.75 | 198.50 | 198.45 | 198.48 | 75.9 | 2.44 | 2.26 |
| | | No.2 | 99.70 | 99.90 | 99.80 | 195.00 | 194.95 | 194.98 | 75.3 | 2.46 | |
| | | No.3 | 99.25 | 100.00 | 99.63 | 198.95 | 198.00 | 198.48 | 57.8 | 1.86 | |
| E88 | F _c 24 | No.1 | 99.65 | 99.65 | 99.65 | 198.65 | 198.55 | 198.60 | 95.1 | 3.06 | 2.77 |
| | | No.2 | 99.9 | 99.55 | 99.725 | 198 | 198.1 | 198.05 | 80.6 | 2.60 | |
| | | No.3 | 99.6 | 99.8 | 99.7 | 197.4 | 197.35 | 197.38 | 82.0 | 2.65 | |
| | F _c 40 | No.1 | 99.65 | 99.6 | 99.625 | 198.55 | 198.6 | 198.575 | 97.5 | 3.14 | 2.72 |
| | | No.2 | 99.55 | 99.65 | 99.6 | 197.75 | 198.4 | 198.075 | 87.7 | 2.83 | |
| | | No.3 | 99.6 | 99.6 | 99.6 | 197.45 | 198.2 | 197.825 | 68.0 | 2.20 | |

表 2.1.6 無収縮モルタルの圧縮試験結果

| | | 直径 (mm) | | | 高さ (mm) | | | 重さ (kg) | | | 最大強度 (kN) | 圧縮強度 | |
|-----|------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | | 平均 | |
| E39 | No.1 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 97.50 | 97.20 | 97.35 | 0.423 | 0.423 | 0.423 | 108.70 | 55.36 | 62.55 |
| | No.2 | 49.95 | 49.95 | 49.95 | 96.00 | 96.80 | 96.40 | 0.417 | 0.418 | 0.418 | 132.60 | 67.67 | |
| | No.3 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 95.25 | 95.15 | 95.20 | 0.410 | 0.411 | 0.411 | 126.90 | 64.63 | |
| E88 | No.1 | 49.90 | 49.95 | 49.93 | 96.45 | 96.55 | 96.50 | 0.413 | 0.413 | 0.413 | 132.40 | 67.63 | 67.72 |
| | No.2 | 49.95 | 49.95 | 49.95 | 95.10 | 94.10 | 94.60 | 0.410 | 0.410 | 0.410 | 134.00 | 68.38 | |
| | No.3 | 49.95 | 49.95 | 49.95 | 96.55 | 96.70 | 96.63 | 0.417 | 0.417 | 0.417 | 131.60 | 67.16 | |

表 2.1.7 スランプ試験結果 (左 : f_c40 , 右 : f_c24)

| 配合 | 外気温(°C) | コンクリート温度 | | 配合 | 外気温(°C) | コンクリート温度(°C) | |
|--------------------------|---------|----------|------|--------------------------|---------|--------------|------|
| 40-18-15N | 23 | 24 | | 24-18-15N | 28 | 27 | |
| スランプ | 空気量(%) | TP(本) | | スランプ | 空気量(%) | TP(本) | |
| 18.0 | 4.8 | 3 | | 17 | 4.8 | 3 | |
| 塩化物量(kg/m ³) | | | | 塩化物量(kg/m ³) | | | |
| No.1 | No.2 | No.3 | 平均 | No.1 | No.2 | No.3 | 平均 |
| 0.026 | 0.026 | 0.026 | 0.03 | 0.035 | 0.035 | 0.035 | 0.04 |

2.1.3 使用材料の力学特性（鉄筋）

図 2.1.12 に鉄筋の応力-ひずみ関係のグラフ、表 2.1.8 に鋼材の引張試験の結果を示す。

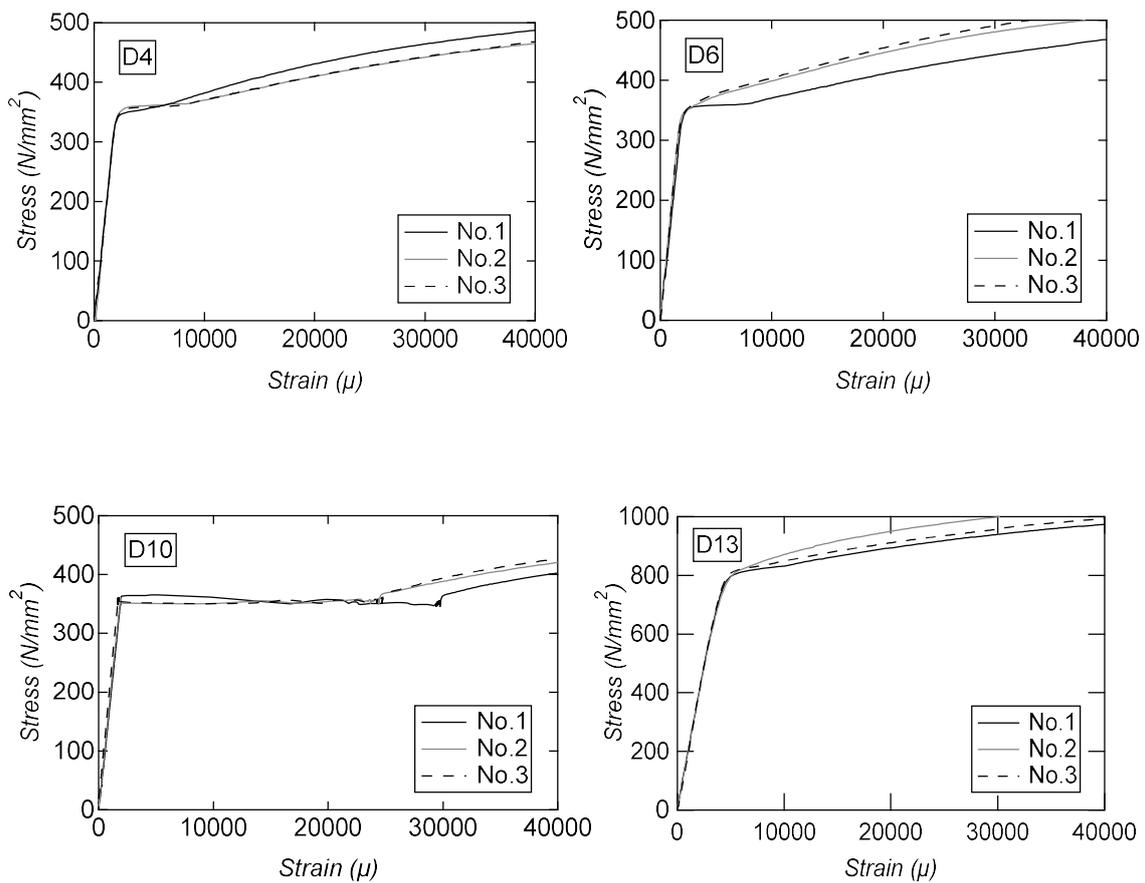


図 2.1.12 応力-ひずみ関係

表 2.1.8 鉄筋の引張試験

| | | しぼり (%) | 評点間距離(mm) | | 伸び (%) | ヤング係数(N/mm ²) | | 最大引張強度 (kN) | 引張強度(N/mm ²) | | 降伏強度 (N/mm ²) |
|---------------|------|------------|-----------|-------|-----------|---------------------------|---------|----------------|--------------------------|----------|------------------------------|
| | | | 破断前 | 破断後 | | | 平均 | | | 平均 | |
| D4 SD295A | No.1 | 62.73 | 33.85 | 39.8 | 17.58 | 190,480.18 | 184,211 | 7.24 | 515.30 | 519.34 | 351 |
| | No.2 | 0.57 | 33.85 | 39.85 | 17.73 | 180,192.24 | | 7.26 | 516.73 | | |
| | No.3 | 0.65 | 33.85 | 40.9 | 20.83 | 181,962.52 | | 7.39 | 525.98 | | |
| D6 SD295A | No.1 | 0.51 | 50.8 | 64.75 | 27.46 | 194,935.60 | 198,016 | 17.67 | 557.94 | 562.78 | 369 |
| | No.2 | 0.42 | 50.8 | 62.4 | 22.83 | 197,466.55 | | 17.75 | 560.47 | | |
| | No.3 | 0.46 | 50.8 | 64.05 | 26.08 | 201,646.34 | | 18.05 | 569.94 | | |
| D10 SD295A | No.1 | 0.59 | 76.25 | | | 186,845.96 | 195,012 | 35.65 | 499.79 | 501.99 | 348 |
| | No.2 | 0.60 | 76.25 | | | 191,872.19 | | 35.95 | 504.00 | | |
| | No.3 | 0.5 | 76.25 | 97.1 | 27.34 | 206,318.72 | | 35.82 | 502.17 | | |
| D13 SD785 | No.1 | 0.61 | 99.5 | 109.4 | 9.95 | 191,050.35 | 188,836 | 128.3 | 1,012.63 | 1,022.10 | 821 |
| | No.2 | 0.59 | 101.5 | 107.8 | 6.21 | 179,674.5 | | 130.8 | 1,032.36 | | |
| | No.3 | 0.54 | 100 | 112.5 | 12.50 | 195,784.25 | | 129.4 | 1,021.31 | | |

2.1.4 載荷計画

図 2.1.13 に E39 の荷重制御の加力プログラム、図 2.1.14 に E88 の荷重制御の加力プログラム、図 2.1.15 に杭の鉛直変位制御の加力プログラムを示す。軸力載荷は、軸力制御と杭の鉛直変位制御とした。加力プログラムに関して試験体 E39 は、荷重制御として 127kN, 254kN, 508kN をそれぞれ 1 回、杭の鉛直変位制御として 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 11.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5mm をそれぞれ 1 回とした。試験体 E88 は、荷重制御として 69kN, 138kN, 276kN をそれぞれ 1 回、杭の鉛直変位制御として 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0mm をそれぞれ 1 回とした。

図 2.1.16 に載荷装置を示す。試験体は杭が上、柱が下になるように回転させて設置した。本研究では、基礎梁を杭頭接合部に接続されている微小区間のみ再現しており、曲げモーメント分布を考慮して、柱と基礎梁の 3 点に載荷させた。柱鉄板の下には球座と 19mm, 37mm の鉄板をそれぞれ 1 枚ずつと約 1mm の薄い鉄板 2 枚を重ねて置き、試験体を持ち上げた。杭鉄板の上には 27mm の鉄板を 4 枚並べ、24mm の鉄板を 3 枚重ねて置いた。基礎梁の下には試験体を支えるように H 鋼とローラー、19mm の鉄板を置いた。H 鋼にはスチフナーを 4 枚溶接した。また、基礎梁外側には基礎梁が動かないように鉄骨を 1 つずつ置いた。実験は鉛直オイルジャッキ（最大容量 3,000kN）によって杭脚に軸力を作用させた。

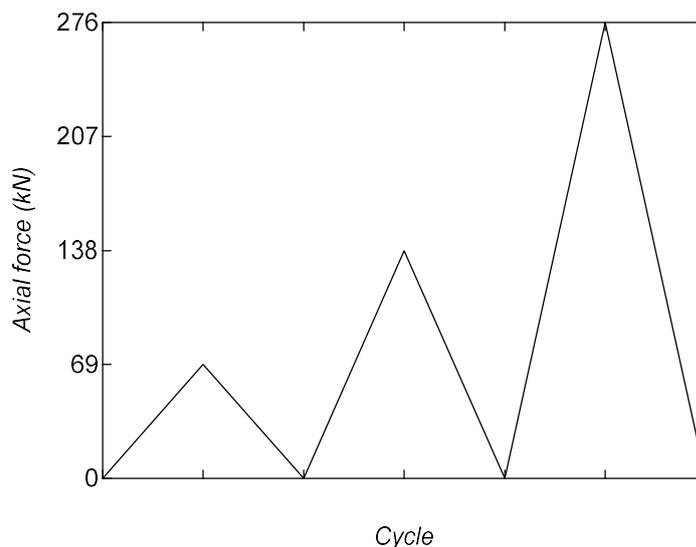


図 2.1.13 E39 荷重制御の加力プログラム

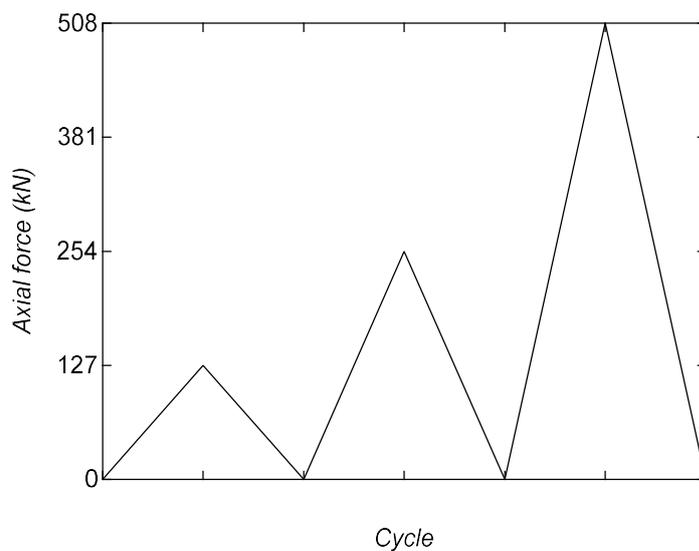


図 2.1.14 E88 荷重制御の加カプログラム

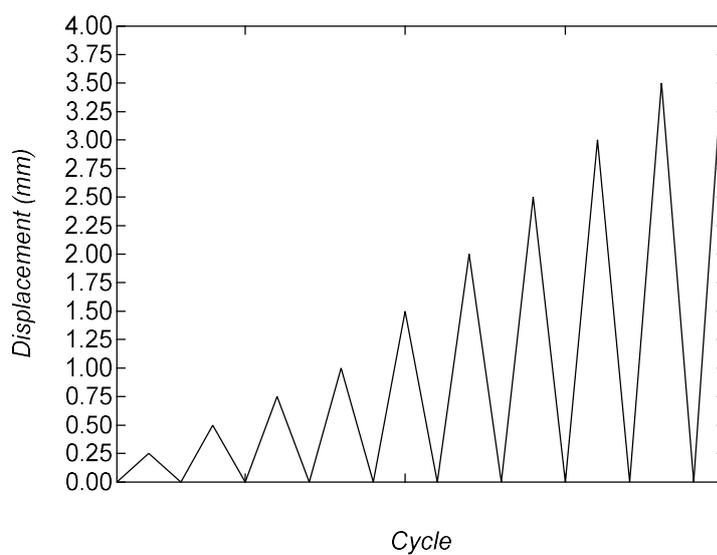


図 2.1.15 杭の鉛直変位制御の加カプログラム

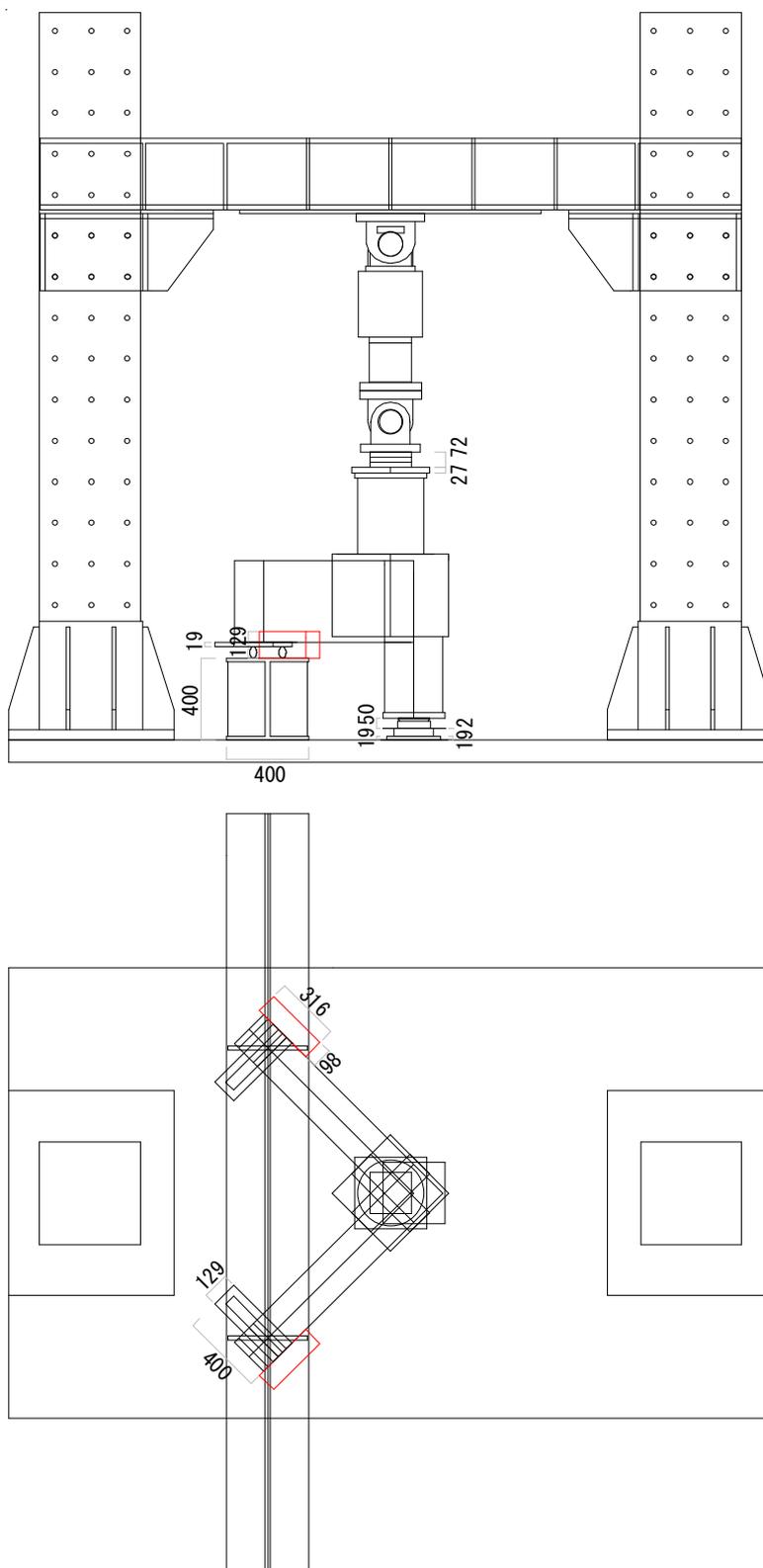


図 2.1.16 載荷装置

2.1.5 計測計画

図 2.1.17, 2.1.18 に使用したひずみゲージを, 図 2.1.19, 2.1.20 に各試験体のひずみゲージ貼り付け位置を示す。主筋に係数が 2.09 のひずみゲージを, 補強筋に係数が 2.11 のひずみゲージを張り付けた。

図 2.1.21, 2.1.22 に各試験体の変位計取り付け位置を示す。

ひび割れの観察は载荷によって生じた亀裂を目視により確認し, 载荷回ごとに表 2.1.9 に示した対応する色のマーカーによってひび割れを記録し, 併せて, ひび割れの発生状況および载荷ステップを用紙に記録した。また, ピーク時および除荷時の主要なひび割れ幅をクラックスケールにより測定した。

表 2.1.10, 2.1.11 に各試験体の計測リストを示す。

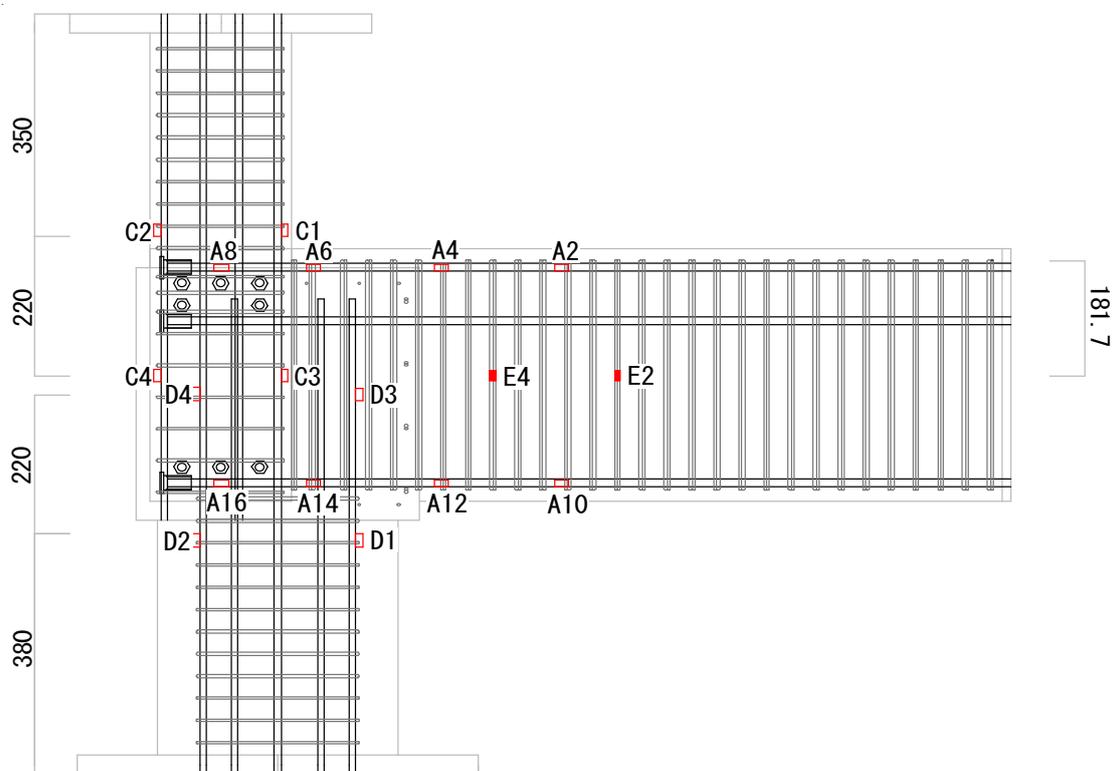
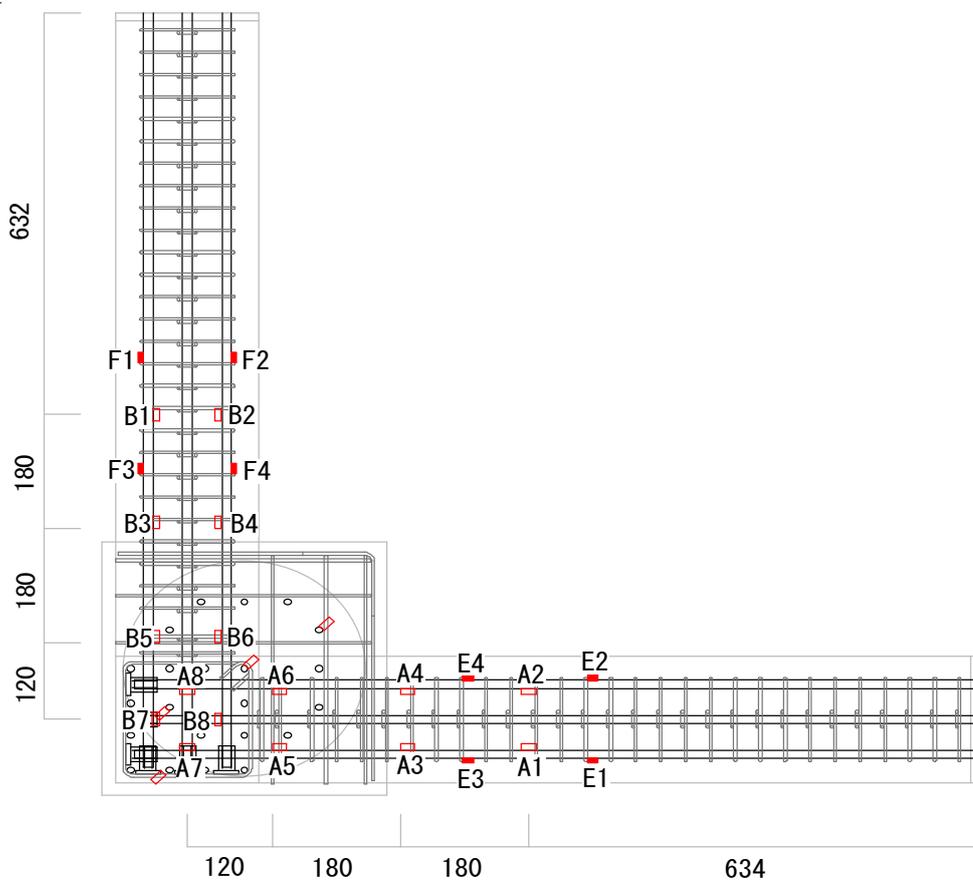


図 2.1.17 主筋に張り付けたひずみゲージ



図 2.1.18 補強筋に張り付けたひずみゲージ

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
第2章 柱と杭が水平2方向に偏心する杭頭接合部の構造性能に関する研究



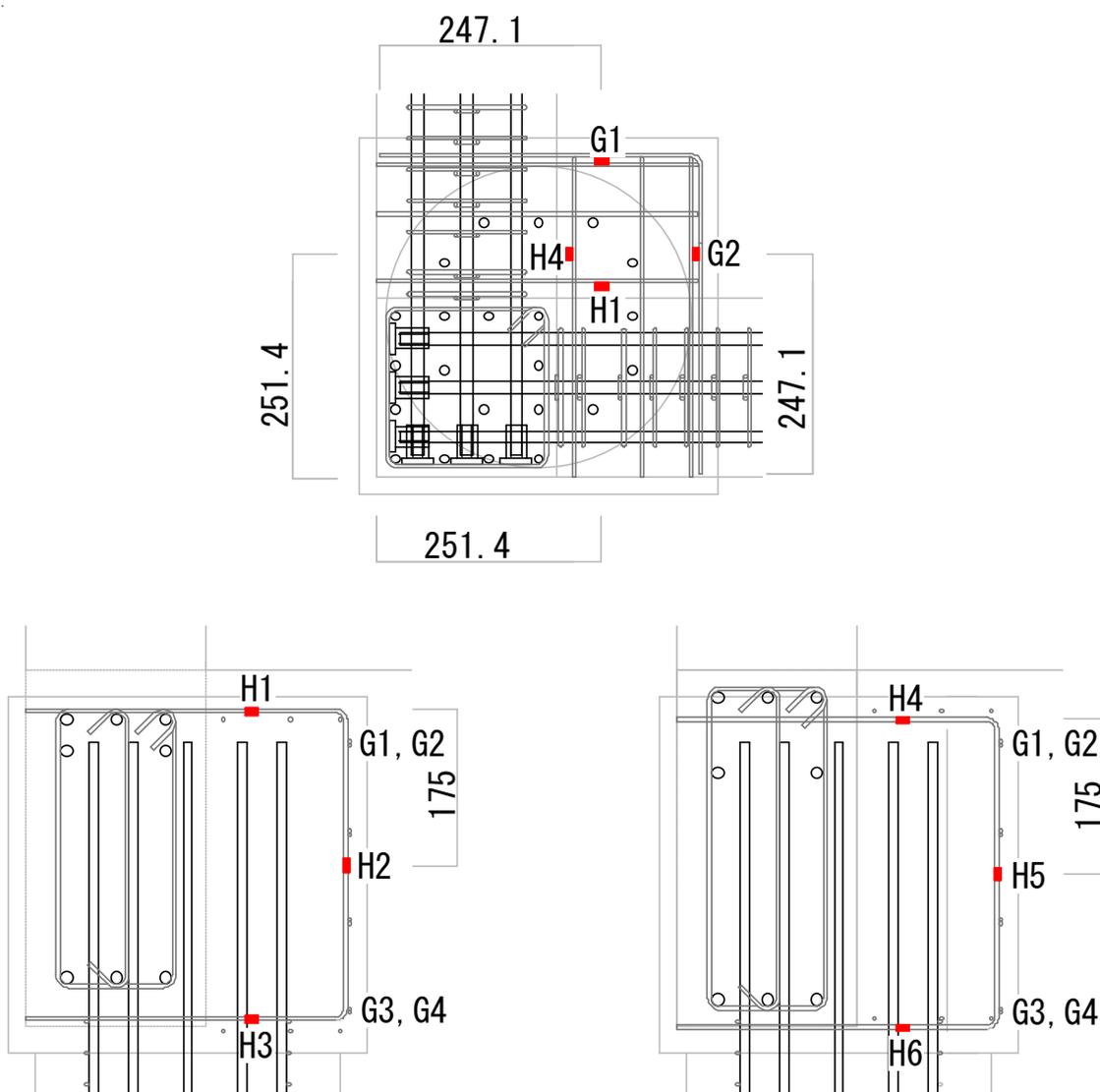
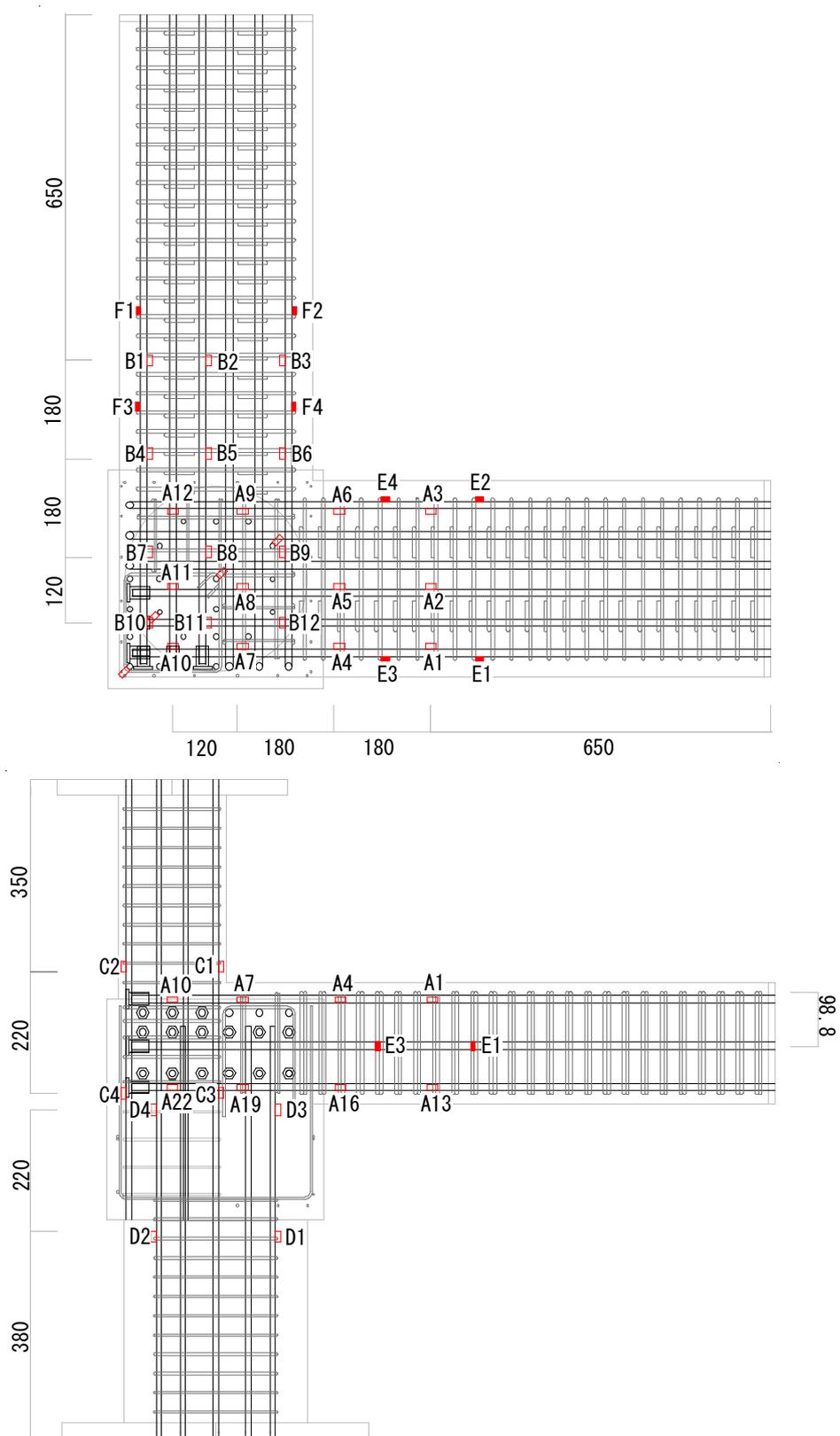
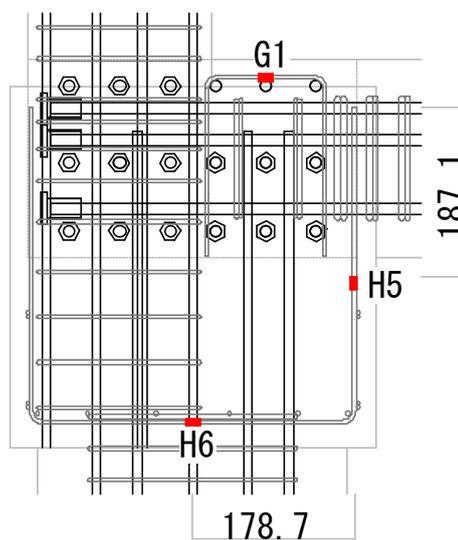
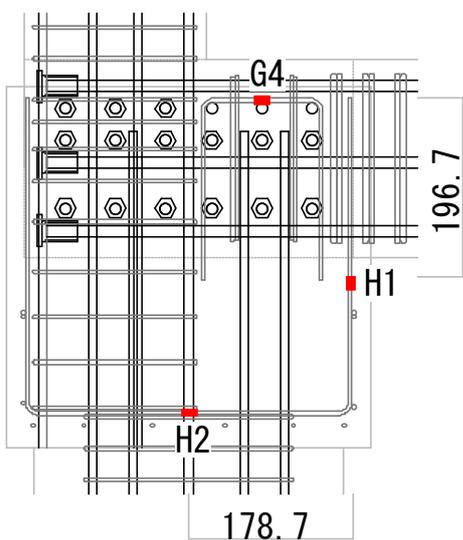
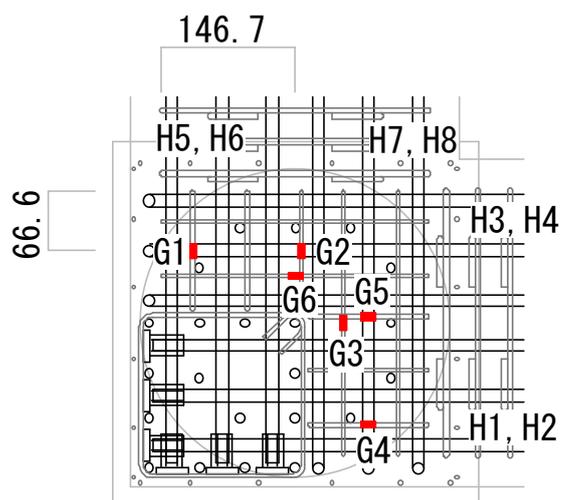


図 2.1.19 試験体 E39 ひずみゲージ貼り付け位置

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
第2章 柱と杭が水平2方向に偏心する杭頭接合部の構造性能に関する研究





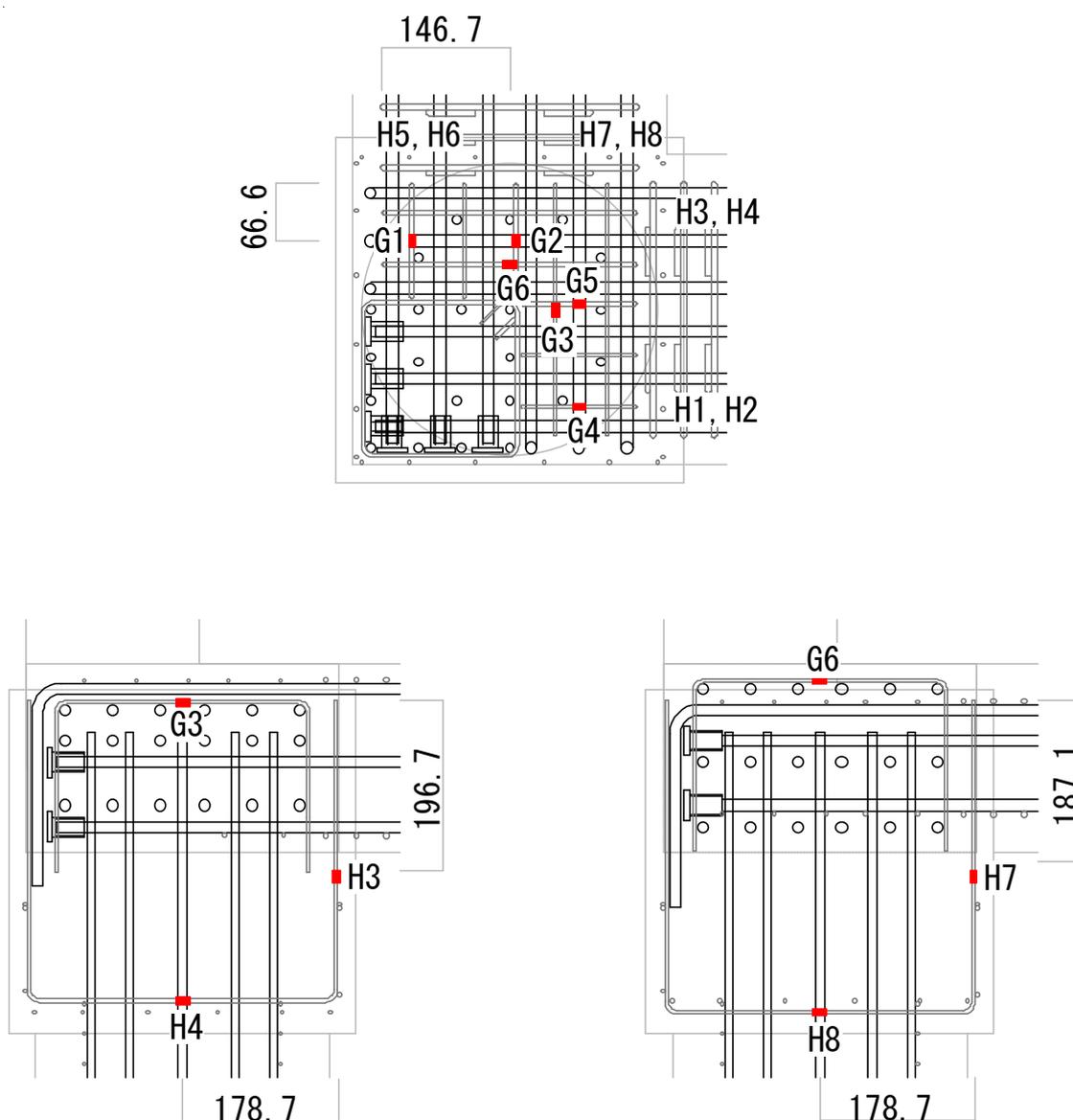


図 2.1.20 試験体 E88 ひずみゲージ貼り付け位置

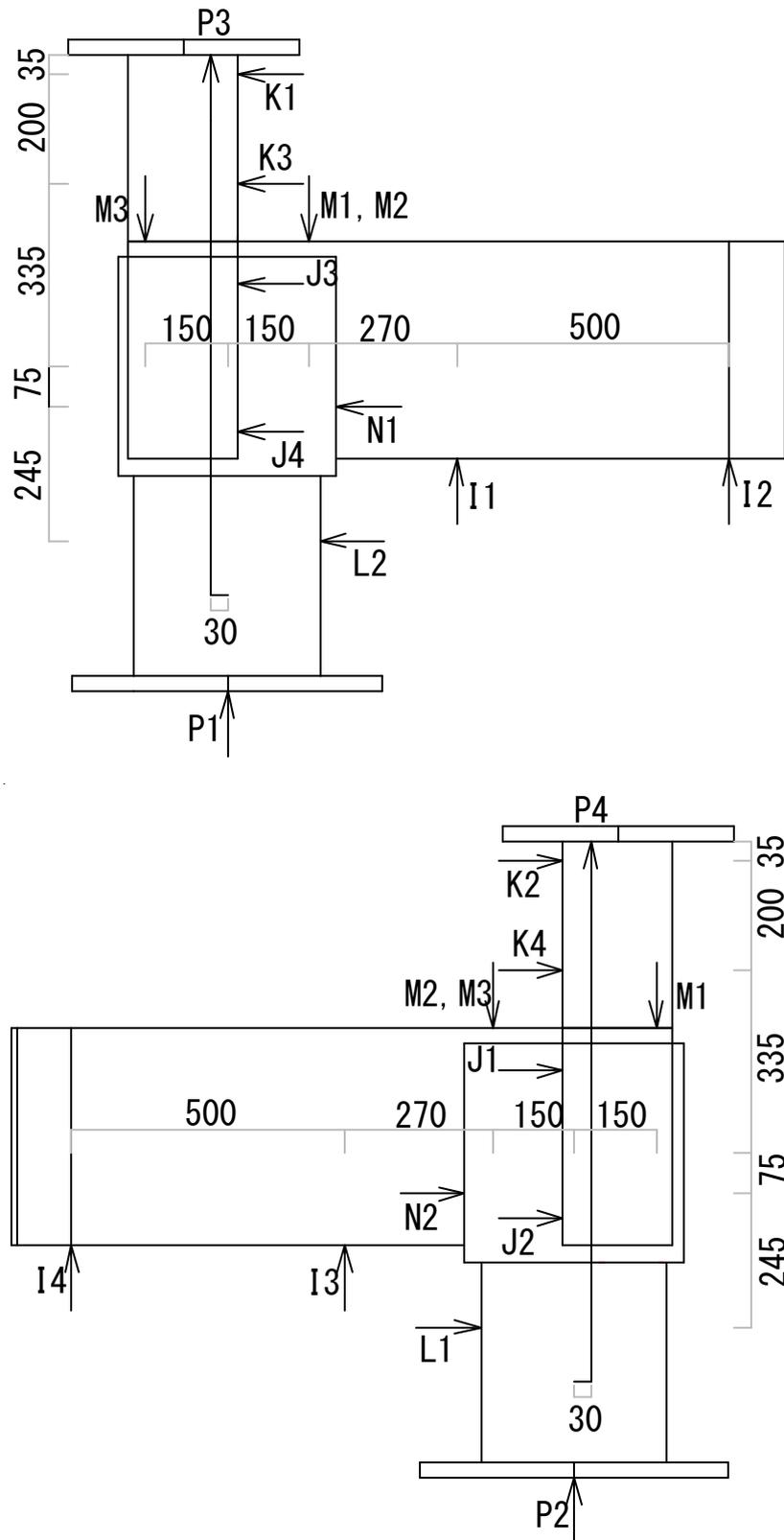


図 2.1.21 試験体 E39 変位計取り付け位置

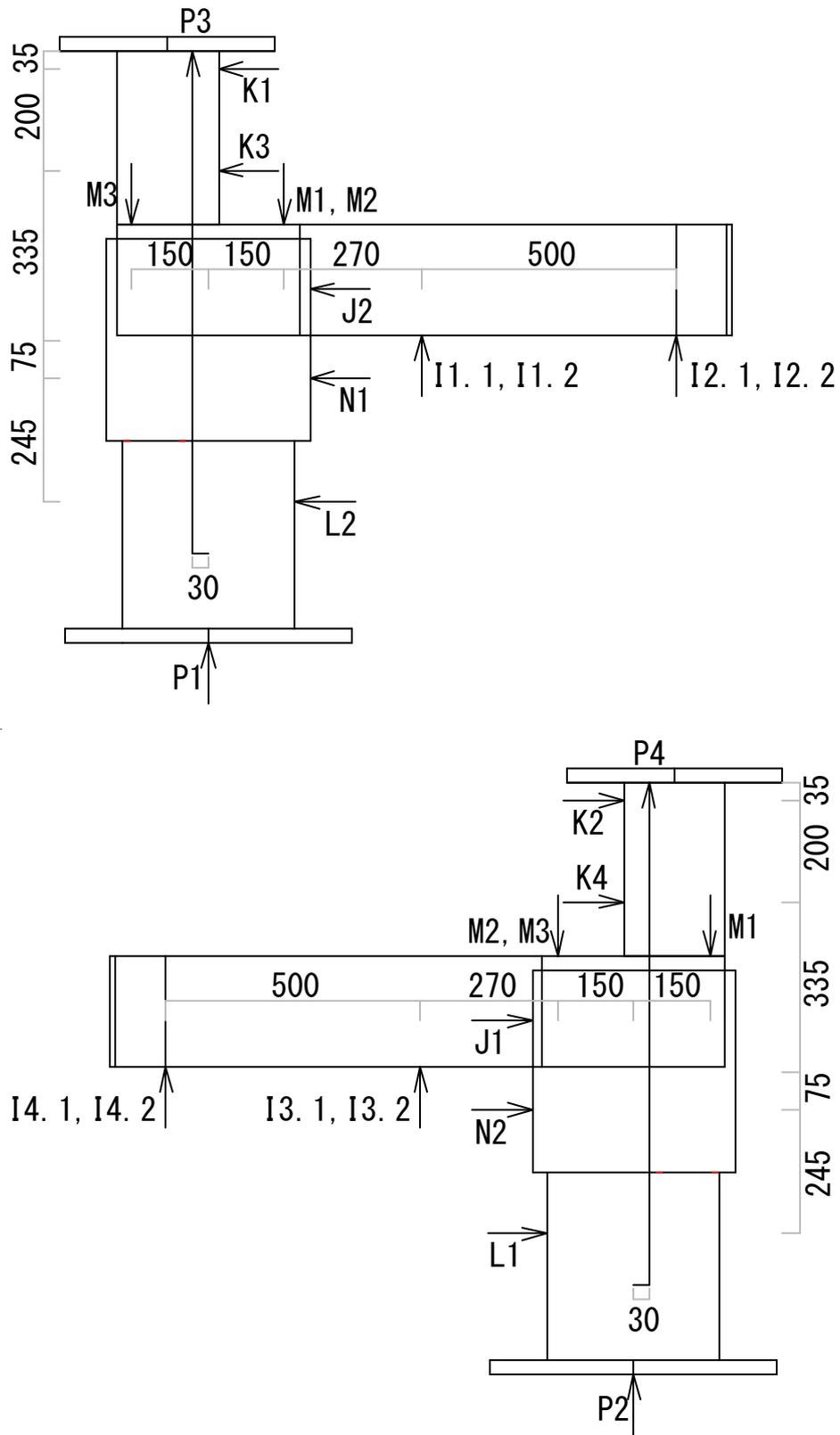


図 2.1.22 試験体 E88 変位計取り付け位置

表 2.1.9 各載荷回におけるひび割れの色

| E39 | E88 | 色 |
|----------------------------|---------------------------------|---|
| 初期ひび割れ | | — |
| $P_d/2=127\text{kN}$ 1回 | $P_d/2=69\text{kN}$ 100kNでも可 | — |
| $P_c=254\text{kN}$ 1回 | $P_c=138\text{kN}$ | — |
| $2P_c=508\text{kN}$ 1回 | $2P_c=276\text{kN}$ | — |
| 0.25mm 1回 | | — |
| 0.5mm 1回 | | — |
| 0.75mm 1回 | | — |
| 1.0mm 1回 | | — |
| 1.5mm 1回 | | — |
| 2.0mm 1回 | | — |
| 2.5mm 1回 | | — |
| 3.0mm 1回 | | — |
| 3.5mm 1回 | | — |
| 4.0mm 1回 | | — |

表 2.1.10 E39 計測リスト

| CH | 番号 | 単位 | 位置 | 計測器 | 係数 | No |
|-------|--------|----|---------|---------|--------|-------|
| 0 | 軸力 | kN | 鉛直ジャッキ | | 1 | 2 |
| 2 | I1 | mm | 梁 Z | CDP100 | 0.01 | 3 |
| 3 | I2 | mm | 梁 Z | CDP100 | 0.01 | 4 |
| 4 | I3 | mm | 梁 Z | CDP100 | 0.01 | 5 |
| 5 | I4 | mm | 梁 Z | CDP100 | 0.01 | 6 |
| 6 | J1 | mm | 梁 Y | CDP100 | 0.01 | 7 |
| 7 | J2 | mm | 梁 Y | CDP100 | 0.01 | 8 |
| 8 | J3 | mm | 梁 X | CDP100 | 0.01 | 9 |
| 9 | J4 | mm | 梁 X | CDP100 | 0.01 | 10 |
| 10 | K1 | mm | 柱 | CDP50 | 0.005 | 11 |
| 11 | K2 | mm | 柱 | CDP50 | 0.005 | 12 |
| 12 | K3 | mm | 柱 | CDP50 | 0.005 | 13 |
| 13 | K4 | mm | 柱 | CDP50 | 0.005 | 14 |
| 14 | L1 | mm | 杭 Y | CDP10 | 0.001 | 15 |
| 15 | L2 | mm | 杭 X | CDP10 | 0.001 | 16 |
| 16 | M1 | mm | 杭頭接合部 Z | CDP10 | 0.001 | 17 |
| 17 | M2 | mm | 杭頭接合部 Z | CDP10 | 0.001 | 18 |
| 18 | M3 | mm | 杭頭接合部 Z | CDP10 | 0.001 | 19 |
| 19 | N1 | mm | 杭頭接合部 X | CDP50 | 0.005 | 20 |
| 20 | N2 | mm | 杭頭接合部 Y | CDP50 | 0.005 | 21 |
| 23 | P1 | mm | 杭上 | CDP25NS | 0.002 | 22 |
| 24 | P2 | mm | 杭上 | CDP25NS | 0.002 | 23 |
| 1 | P3 | mm | 柱杭間 | CDP50 | 0.005 | 24 |
| 25 | P4 | mm | 柱杭間 | CDP50 | 0.005 | 25 |
| | | | | | | |
| 26~41 | A1~A16 | μ | 梁 X | | 2/2.09 | 26~41 |
| 43~58 | B1~B16 | μ | 梁 Y | | 2/2.09 | 42~57 |
| 60 | C1 | μ | 柱 | | 2/2.10 | 58 |

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
 第2章 柱と杭が水平2方向に偏心する杭頭接合部の構造性能に関する研究

| CH | 番号 | 単位 | 位置 | 計測器 | 係数 | No |
|----|----|----|-------|-----|--------|----|
| 61 | C2 | μ | 柱 | | 2/2.10 | 59 |
| 62 | C3 | μ | 柱 | | 2/2.10 | 60 |
| 63 | C4 | μ | 柱 | | 2/2.10 | 61 |
| | | | | | | |
| 65 | D1 | μ | 杭 | | 2/2.10 | 62 |
| 66 | D2 | μ | 杭 | | 2/2.10 | 63 |
| 67 | D3 | μ | 杭 | | 2/2.10 | 64 |
| 68 | D4 | μ | 杭 | | 2/2.10 | 65 |
| | | | | | | |
| 70 | E1 | μ | 梁 X | | 2/2.11 | 66 |
| 71 | E2 | μ | 梁 X | | 2/2.11 | 67 |
| 72 | E3 | μ | 梁 X | | 2/2.11 | 68 |
| 73 | E4 | μ | 梁 X | | 2/2.11 | 69 |
| | | | | | | |
| 75 | F1 | μ | 梁 Y | | 2/2.11 | 70 |
| 76 | F2 | μ | 梁 Y | | 2/2.11 | 71 |
| 77 | F3 | μ | 梁 Y | | 2/2.11 | 72 |
| 78 | F4 | μ | 梁 Y | | 2/2.11 | 73 |
| | | | | | | |
| 80 | G1 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 74 |
| 81 | G2 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 75 |
| 82 | G3 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 76 |
| 83 | G4 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 77 |
| | | | | | | |
| 85 | H1 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 78 |
| 86 | H2 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 79 |
| 87 | H3 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 80 |
| 88 | H4 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 81 |
| 89 | H5 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 82 |
| 90 | H6 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 83 |

表 2.1.11 E88 計測リスト

| CH | 番号 | 単位 | 位置 | 計測器 | 係数 | No |
|-------|--------|----|---------|---------|--------|-------|
| 0 | 軸力 | kN | 鉛直ジャッキ | | 1 | 2 |
| 1 | I1.1 | mm | 梁 Z | CDP25NS | 0.002 | 3 |
| 2 | I1.2 | mm | 梁 Z | CDP25NS | 0.002 | 4 |
| 3 | I2.1 | mm | 梁 Z | CDP100 | 0.01 | 5 |
| 4 | I2.2 | mm | 梁 Z | CDP100 | 0.01 | 6 |
| 5 | I3.1 | mm | 梁 Z | CDP25NS | 0.002 | 7 |
| 6 | I3.2 | mm | 梁 Z | CDP25NS | 0.002 | 8 |
| 7 | I4.1 | mm | 梁 Z | CDP100 | 0.01 | 9 |
| 8 | I4.2 | mm | 梁 Z | CDP100 | 0.01 | 10 |
| 9 | J1 | mm | 梁 Y | CDP100 | 0.01 | 11 |
| 10 | J2 | mm | 梁 X | CDP100 | 0.01 | 12 |
| 11 | K1 | mm | 柱 | CDP50 | 0.005 | 13 |
| 12 | K2 | mm | 柱 | CDP50 | 0.005 | 14 |
| 13 | K3 | mm | 柱 | CDP50 | 0.005 | 15 |
| 14 | K4 | mm | 柱 | CDP50 | 0.005 | 16 |
| 15 | L1 | mm | 杭 Y | CDP10 | 0.001 | 17 |
| 16 | L2 | mm | 杭 X | CDP10 | 0.001 | 18 |
| 17 | M1 | mm | 杭頭接合部 Z | CDP10 | 0.001 | 19 |
| 18 | M2 | mm | 杭頭接合部 Z | CDP10 | 0.001 | 20 |
| 19 | M3 | mm | 杭頭接合部 Z | CDP10 | 0.001 | 21 |
| 20 | N1 | mm | 杭頭接合部 X | CDP50 | 0.005 | 22 |
| 21 | N2 | mm | 杭頭接合部 Y | CDP50 | 0.005 | 23 |
| 22 | P1 | mm | 杭上 | CDP25NS | 0.002 | 24 |
| 23 | P2 | mm | 杭上 | CDP25NS | 0.002 | 25 |
| 24 | P3 | mm | 柱杭間 | CDP50 | 0.005 | 26 |
| 25 | P4 | mm | 柱杭間 | CDP50 | 0.005 | 27 |
| | | | | | | |
| 27~50 | A1~A24 | μ | 梁 X | | 2/2.09 | 28~51 |

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
 第2章 柱と杭が水平2方向に偏心する杭頭接合部の構造性能に関する研究

| CH | 番号 | 単位 | 位置 | 計測器 | 係数 | No |
|---------|--------|----|-------|-----|--------|--------|
| 52~75 | B1~B24 | μ | 梁 Y | | 2/2.09 | 52~75 |
| | | | | | | |
| 77 | C1 | μ | 柱 | | 2/2.10 | 76 |
| 78 | C2 | μ | 柱 | | 2/2.10 | 77 |
| 79 | C3 | μ | 柱 | | 2/2.10 | 78 |
| 80 | C4 | μ | 柱 | | 2/2.10 | 79 |
| | | | | | | |
| 82 | D1 | μ | 杭 | | 2/2.10 | 80 |
| 83 | D2 | μ | 杭 | | 2/2.10 | 81 |
| 84 | D3 | μ | 杭 | | 2/2.10 | 82 |
| 85 | D4 | μ | 杭 | | 2/2.10 | 83 |
| | | | | | | |
| 87 | E1 | μ | 梁 X | | 2/2.11 | 84 |
| 88 | E2 | μ | 梁 X | | 2/2.11 | 85 |
| 89 | E3 | μ | 梁 X | | 2/2.11 | 86 |
| 90 | E4 | μ | 梁 X | | 2/2.11 | 87 |
| | | | | | | |
| 92 | F1 | μ | 梁 Y | | 2/2.11 | 88 |
| 93 | F2 | μ | 梁 Y | | 2/2.11 | 89 |
| 94 | F3 | μ | 梁 Y | | 2/2.11 | 90 |
| 95 | F4 | μ | 梁 Y | | 2/2.11 | 91 |
| | | | | | | |
| 97 | G1 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 92 |
| 98 | G2 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 93 |
| 99 | G3 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 94 |
| 100 | G4 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 95 |
| 101 | G5 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 96 |
| 102 | G6 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 97 |
| | | | | | | |
| 104~111 | H1~H8 | μ | 杭頭接合部 | | 2/2.11 | 98~105 |

2.2 実験結果

2.2.1 破壊性状

- ・試験体 E39

各載荷回終了時における試験体の破壊性状を以下に述べる。2回の再実験を行い、計3回実験が行われた。

- ・1回目

$P_c=254\text{kN}$ の載荷回では、Y方向基礎梁においてひび割れの発生が確認された。

$\delta=0.25\text{mm}$ の載荷回では、Y方向基礎梁、X方向杭頭接合部下部、Y方向杭頭接合部と基礎梁の境界部分においてひび割れの発生が見られた。

- ・2回目

$P_c=254\text{kN}$ の載荷回では、Y方向基礎梁と丸鋼との接触部分においてひび割れの発生が確認された。

- ・3回目

$P_c=127\text{kN}$ の載荷回では、Y方向基礎梁において1回目ひび割れの拡大が確認された。

$P_c=254\text{kN}$ の載荷回では、X方向およびY方向柱において曲げひび割れの発生が見られた。

$P_c=508\text{kN}$ の載荷回では、X方向基礎梁下端において曲げひび割れの発生が確認された。

$\delta=0.75\text{mm}$ の載荷回では、X方向杭頭接合部と柱の境界部分においてひび割れの発生が確認された。

$\delta=1.0\text{mm}$ の載荷回では、X方向およびY方向杭頭接合部と柱の境界部分において剥離の発生が確認された。また、X方向杭頭接合部下端においてひび割れの発生が確認された。

$\delta=1.5\text{mm}$ の載荷回では、Y方向杭頭接合部においてひび割れの発生が確認された。

$\delta=2.0\text{mm}$ の載荷回では、X方向およびY方向柱において圧縮ひび割れの発生が確認された。

$\delta=2.5\text{mm}$ の載荷回では、X 方向基礎梁下端において付着ひび割れ、および Y 方向柱下側において縦ひび割れの発生が確認された。

$\delta=3.0\text{mm}$ の載荷回では、Y 方向杭頭接合部においてひび割れの拡大が確認された。

・試験体 E88

各載荷回終了時における試験体の破壊性状を以下に述べる。

$P_c=276\text{kN}$ の載荷回では、X 方向基礎梁下端において曲げひび割れの発生が確認された。また、Y 方向基礎梁下端、Y 方向柱においてひび割れの発生が確認された。

$\delta=0.25\text{mm}$ の載荷回では、X 方向基礎梁においてひび割れの拡大が確認された。また、Y 方向杭頭接合部においてひび割れの発生が確認された。

$\delta=1.0\text{mm}$ の載荷回では、Y 方向柱、X 方向柱において縦ひび割れの発生が確認された。

$\delta=1.5\text{mm}$ の載荷回では、X 方向柱付け根部分において剥離が確認された。

$\delta=2.0\text{mm}$ の載荷回では、X 方向柱において横ひび割れの発生が確認された。

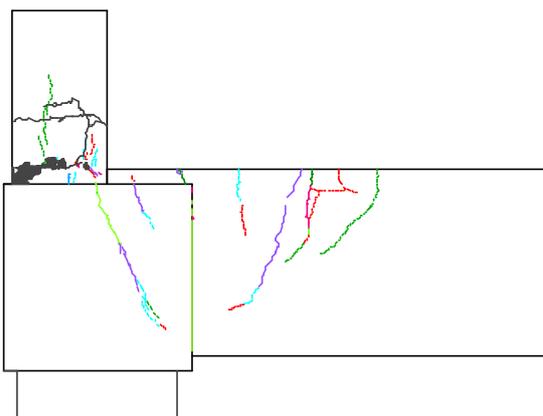
$\delta=2.5\text{mm}$ の載荷回では、Y 方向柱において圧壊の兆候が認められた。また、X 方向杭頭接合部において斜めひび割れの発生が確認された。

2.2.2 ひび割れ図および破壊状況

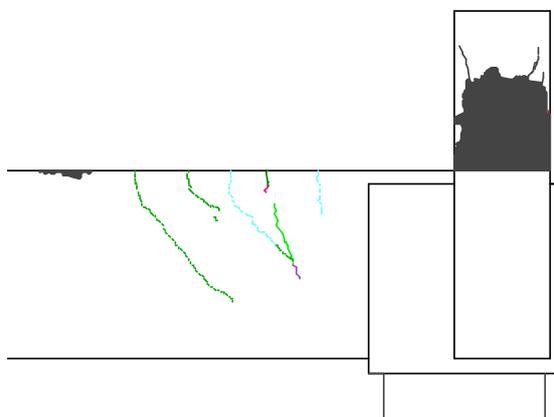
両試験体の最大耐力時におけるひび割れ図および破壊状況を図2.2.1および図2.2.2に示す。

・試験体 E39

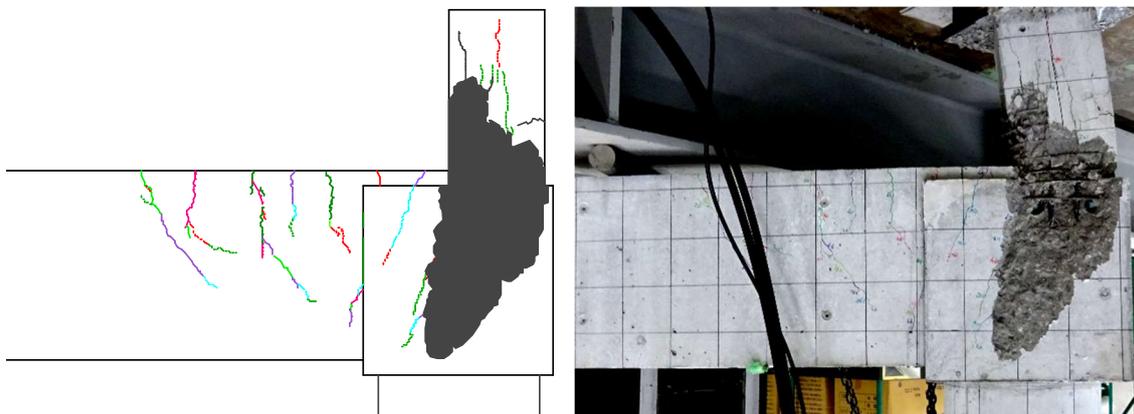
・X方向外側



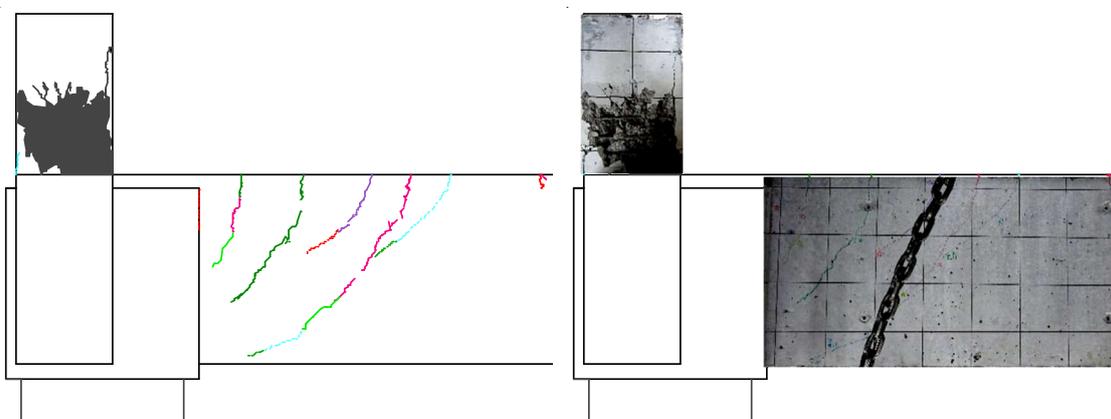
・X方向内側



・ Y 方向外側



・ Y 方向表面



・ 上端面

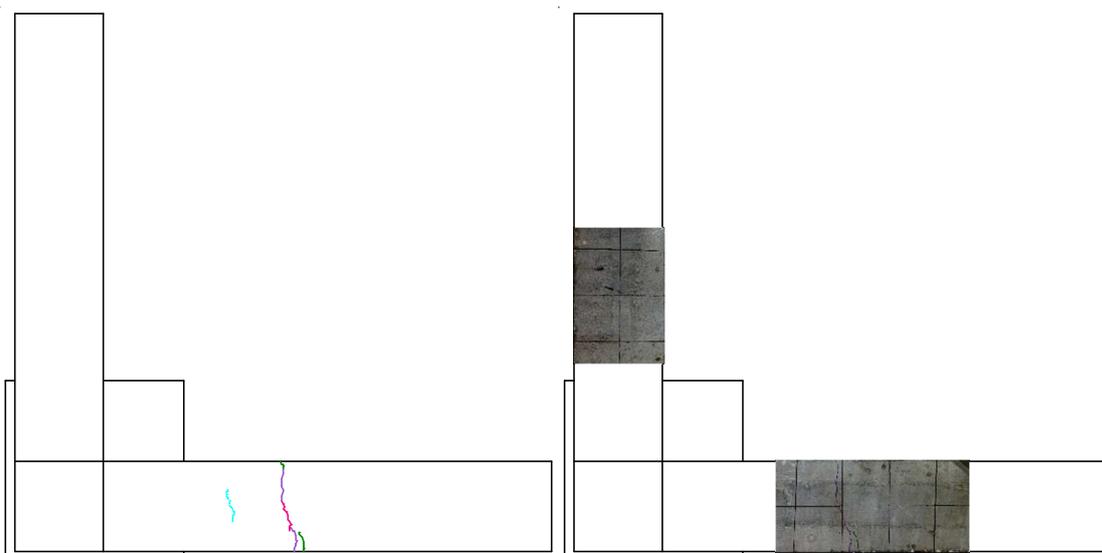
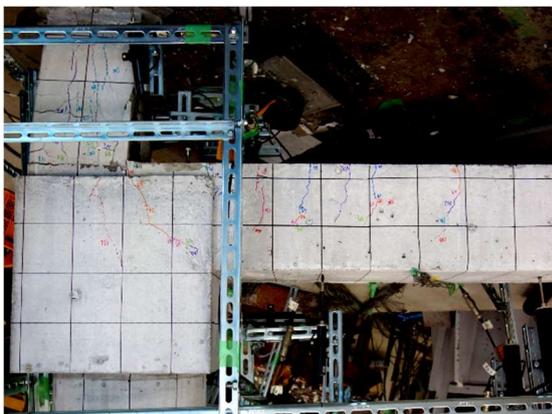
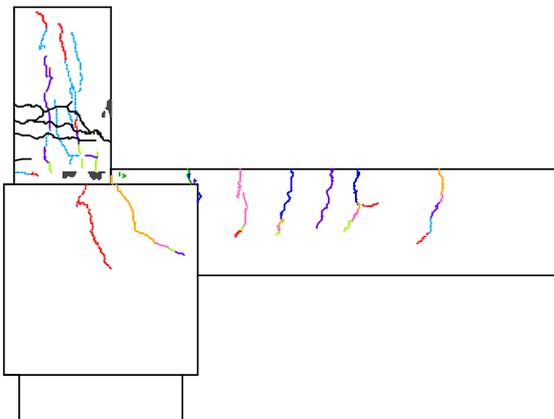


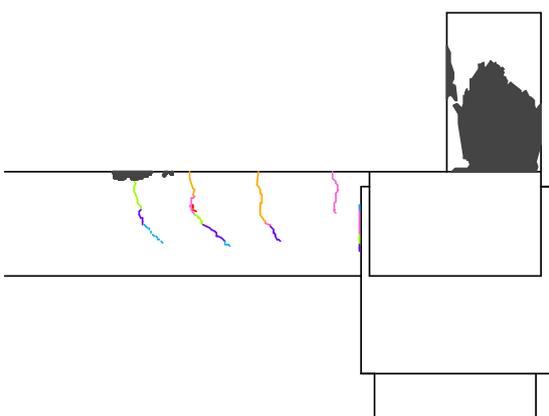
図 2.2.1 ひび割れ図および破壊状況

・試験体 E88

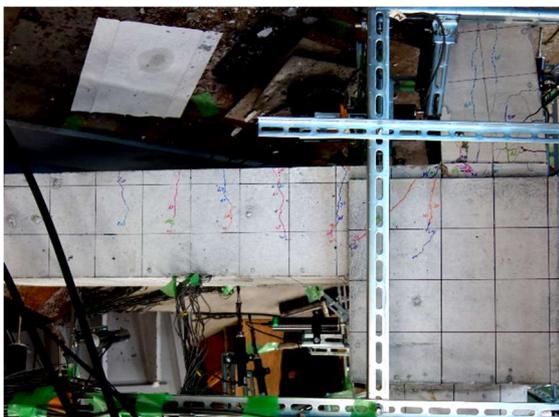
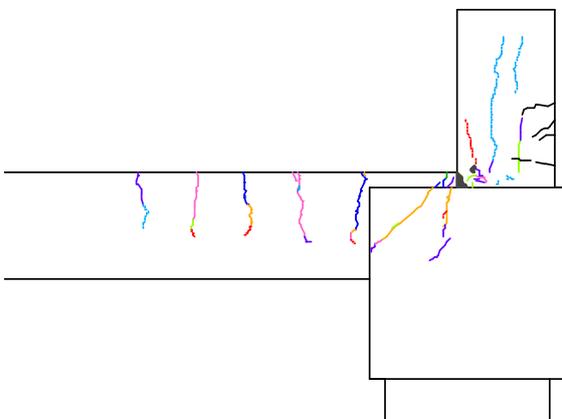
・X 方向表面



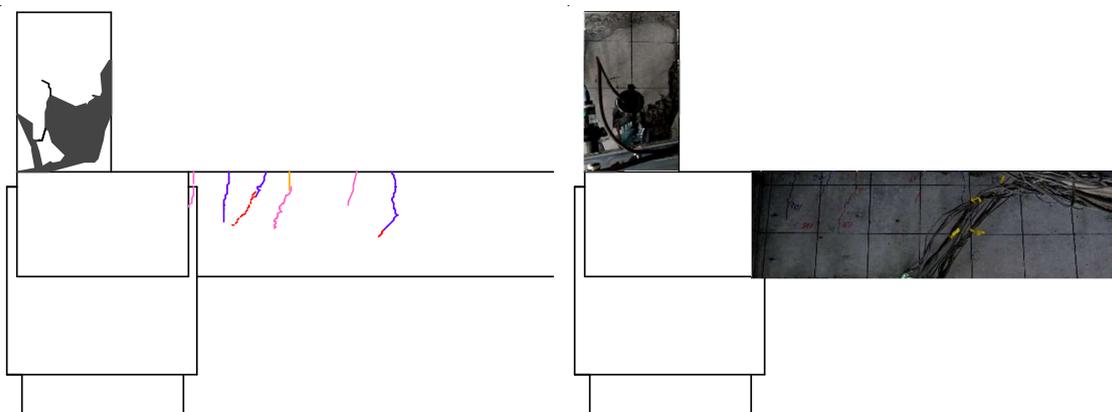
・X 方向裏面



・Y 方向表面



・ Y 方向表面



・ 上端面

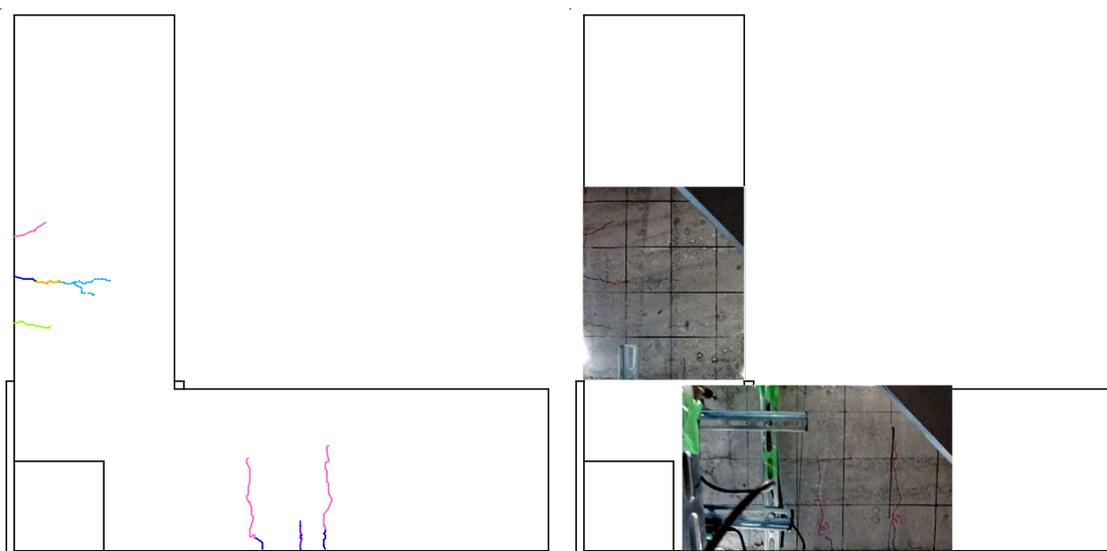


図 2.2.2 ひび割れ図および破壊状況

2.2.3 荷重－変位関係

図 2.2.3 に両試験体の杭軸力 (N_p)－基礎梁の変形角 (R) 関係を示す。なお、最大耐力以降の低下部分の変位は試験体の大きな変形により計測フレームと接触し信頼性が低いと考えられるため、記載していない。同図中の点線は柱の終局圧縮耐力を、一点鎖線は杭頭接合部の終局圧縮耐力を、○は最大耐力点を、□は柱主筋の降伏点を、△は杭頭接合部補強筋の降伏点を、▽は基礎梁の曲げひび割れ発生点を示す。

両試験体ともに荷重初期において基礎梁に生じた曲げひび割れによる剛性低下がみられた。また、両試験体ともに小振幅において柱主筋の圧縮降伏が認められた。これは柱と杭頭接合部の境界付近に生じたジャンカの影響によるものと考えられる。しかしながら、柱主筋の降伏点前後で剛性に大きな変化がみられないことから、以降は実験に対するジャンカの影響が小さいものとして議論を進める。

基準試験体 E39 では、 $R=0.2\times 10^{-2}\text{rad}$ 付近において杭頭接合部に曲げひび割れの発生がみられた。 $R=0.4\times 10^{-2}\text{rad}$ 付近において杭頭接合部上端筋の引張降伏が認められた。 $R=0.65\times 10^{-2}\text{rad}$ 付近において柱主筋の座屈および柱コンクリートの圧縮破壊に伴い最大耐力が記録された。

扁平試験体 E88 では、 $R=0.3\times 10^{-2}\text{rad}$ 付近において杭頭接合部に曲げひび割れの発生がみられた。 $R=0.8\times 10^{-2}\text{rad}$ 付近において柱主筋の座屈および柱コンクリートの圧縮破壊に伴い最大耐力が記録された。

試験体 E39 における基礎梁曲げひび割れ後の剛性は試験体 E88 と比べて高く、基礎梁断面形状の違いの影響が確認された。一方で両試験体ともに基礎梁、杭頭接合部の曲げひび割れおよび柱の圧縮破壊が顕著であり、破壊性状に大きな違いはみられなかった。

- Maximum strength □ Yield of column main bar
 △ Yield of pile-cap reinforcing bar ▽ Bending crack of foundation beam

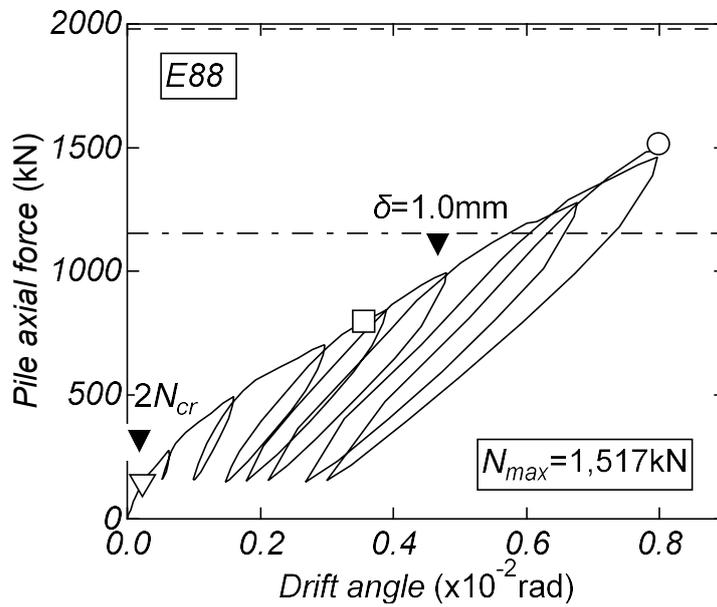
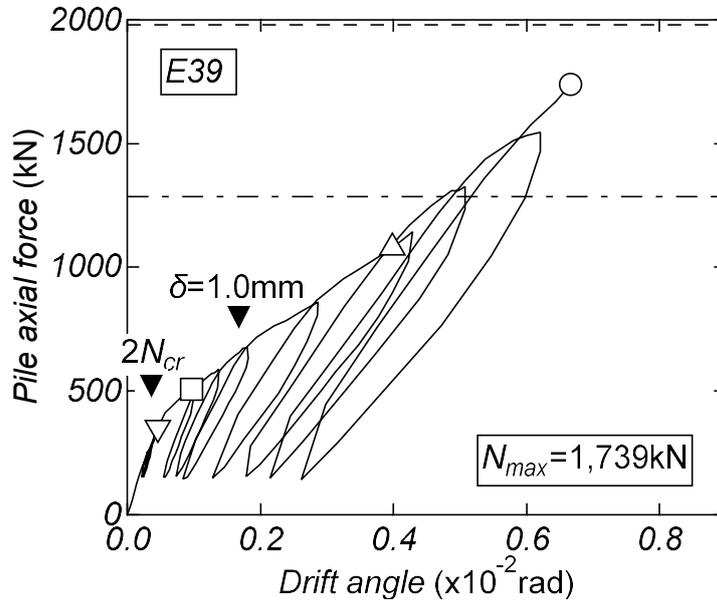


図 2.2.3 荷重-変位関係

2.2.4 残留ひび割れ幅推移

図 2.2.4 に両試験体のピーク時杭軸力－残留ひび割れ幅関係をそれぞれ示す。点線は建物外面におけるひび割れ幅の制限値を，一点鎖線は試験体 E39，二点鎖線は試験体 E88 における杭頭接合部の短期許容圧縮耐力（式(2.2.1)）¹⁾を杭軸力に換算したものである。

$$N_{pc} = 0.8f_c BD \left(j / \sqrt{j^2 + e^2} \right)^2 \quad (2.2.1)$$

記号

N_{pc} : 杭頭接合部の短期許容圧縮耐力

f_c : コンクリートの短期許容圧縮応力度

B : 柱の幅

D : 柱のせい

ひび割れ幅の制限値は文献 1) に示された 0.2mm ~ 0.25mm の平均値 0.225mm にスケール効果を考慮した値である。本研究では実構造物の 1/5 スケールの試験体を用いたため，文献 28) に示される式(2.2.2)に従いスケール効果を考慮して，ひび割れ幅を縮小させた。

$$w_r = n^{0.6} \cdot w_s \quad (2.2.2)$$

記号

w_r, w_s : 実大，縮尺 1/n のピーク時および除荷時におけるひび割れ幅

1/n : 縮尺

本試験体の縮尺は 1/5 である。すなわち，縮小後のひび割れ幅の制限値は 0.086mm となる。なお，試験体 E39 は $N_p=1,326\text{kN}$ ，試験体 E88 は $N_p=1,461\text{kN}$ までひび割れ幅を測定した。

両試験体ともにそれぞれの短期許容圧縮耐力を超えた後にひび割れ幅の制限値に達する傾向が確認された。試験体 E88 のひび割れ幅では杭軸力 700kN 程度から 1,000kN 程度まで拡幅が抑制されている。その後，杭軸力の上限值付近からひび割れ幅の拡幅がみられた。

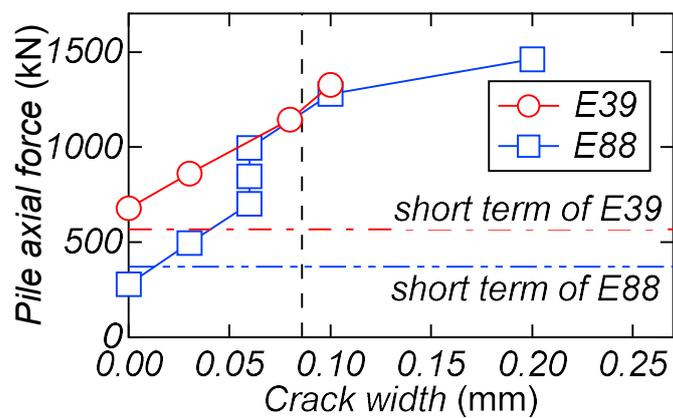


図 2.2.4 杭軸力－残留ひび割れ幅関係

2.2.5 杭頭接合部下端補強筋の応力推移

図 2.2.5 に両試験体のピーク時の杭軸力-接合部補強筋応力の推移および下端筋応力算出法の概念を示す。応力の値はひずみゲージの計測値から履歴特性を完全弾塑性型に仮定して算出した値である。図(b)中の点線は杭頭接合部補強筋の降伏強度を、斜めの赤と青の実線は RC 規準の長期荷重に対する計算手法から予想される下端筋の応力 σ (式(2.2.3))¹⁾を示している。

$$\sigma = \frac{T}{\sqrt{2} a_s} = \frac{N_c \tan \theta}{\sqrt{2} a_s} = \frac{N_c}{\sqrt{2} a_s} \times \frac{e}{j} \quad (2.2.3)$$

記号

T : 杭頭接合部下端筋の引張力

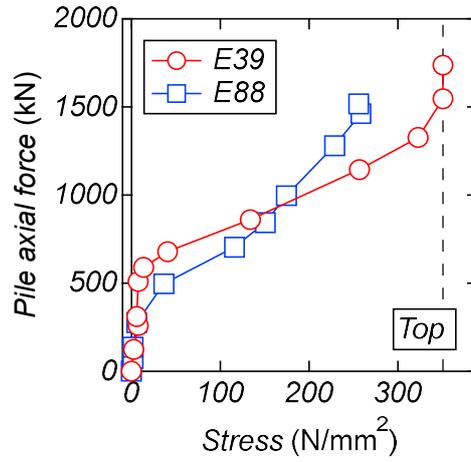
θ : 斜め圧縮力の角度

σ : 杭頭接合部下端筋の応力

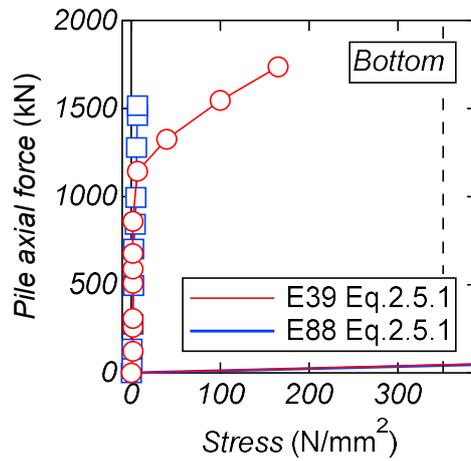
a_s : 一方向の杭頭接合部下端筋の総断面積

E88 の a_s が E39 の 2 倍、E88 の e/j が E39 の 2.3 倍であるため、赤と青の実線はほぼ重なる。

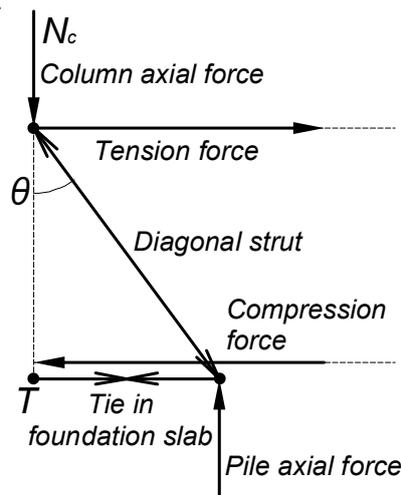
下端筋をみると、基準試験体 E39 では、杭軸力 1,000kN から応力の増大がみられ、最大で降伏強度の 1/2 程度の応力が確認された。この値は式(2.5.1)で必要とされる応力度の 1/80 程度と極めて小さかった。また、扁平試験体 E88 では応力の増加がほとんど認められなかった。第 1 章で述べたように文献 1)では長期荷重に対して下端筋の必要性が示されている。しかし、本試験体ではその必要性が認められなかった。一方の上端筋をみると、両試験体ともに杭軸力 300kN 程度まで $0\text{N}/\text{mm}^2$ に近い値を示す傾向がみられた。その後、応力の増大がみられ、試験体 E39 では降伏強度に達する傾向が認められた。



(a) 上端筋



(b) 下端筋



(c) 式(2.5.1)の概念

図 2.2.5 杭頭接合部補強筋応力の推移および下端筋応力算出法の概念

2.2.6 終局耐力計算（柱および杭圧縮耐力）

柱と杭の圧縮耐力は材料強度に基づく最大圧縮耐力として算定した（式(2.2.4)）。ただし、杭は図 2.2.6 のように円の面積として算出した。

$$N_{max}=0.85(bD-a_g)f_c+a_g\sigma_y \quad (2.2.4)$$

記号

b : 幅(mm)

D : せい(mm)

a_g : 全主筋の断面積(mm²)

f_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)

σ_y : 鉄筋の降伏強度(N/mm²)

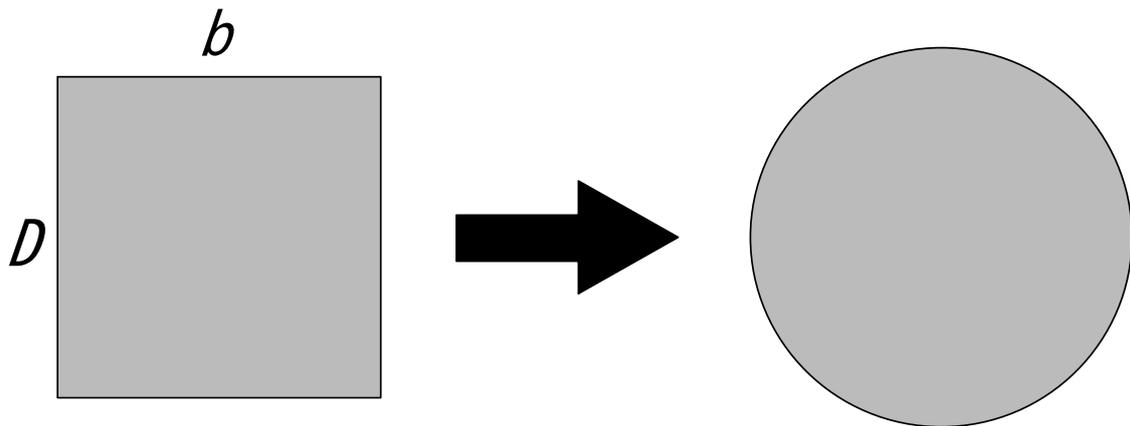


図 2.2.6 杭の面積への変換

2.2.7 終局耐力計算（基礎梁曲げ耐力）

基礎梁の曲げ終局耐力は文献(29)に従い、ストレスブロック法を用いて算定を行った。図2.2.7に複筋梁の断面と終局状態を示す。圧縮鉄筋および引張鉄筋のひずみ ε_{sc} および ε_t はコンクリートの圧縮縁ひずみ ε_{cu} と中立軸深さ x_n によって式(2.2.5)および式(2.2.6)で与えられる。

$$\varepsilon_{sc} = \frac{(x_n - d_c)\varepsilon_{cu}}{x_n} \quad (2.2.5)$$

$$\varepsilon_t = \frac{(d - x_n)\varepsilon_{cu}}{x_n} \quad (2.2.6)$$

したがって、コンクリートの圧縮合力 C_c 、圧縮鉄筋の圧縮合力 C_s および引張鉄筋の圧縮合力 T 、以下の各式で与えられる。

コンクリートの圧縮合力：

$$C_c = k_1 k_3 x_n f_c \quad (2.2.7)$$

圧縮鉄筋の圧縮合力：

鉄筋が降伏 ($\varepsilon_{sc} \geq \frac{\sigma_y}{E_s}$) のとき

$$C_s = \sigma_y a_c \quad (2.2.8a)$$

鉄筋が未降伏 ($\varepsilon_{sc} < \frac{\sigma_y}{E_s}$) のとき

$$C_s = \varepsilon_{sc} E_s a_c \quad (2.2.9b)$$

引張鉄筋の圧縮合力：

鉄筋が降伏 ($\varepsilon_t \geq \frac{\sigma_y}{E_s}$) のとき

$$T = \sigma_y a_t \quad (2.2.10a)$$

鉄筋が未降伏 ($\varepsilon_t < \frac{\sigma_y}{E_s}$) のとき：

$$T = \varepsilon_t E_s a_t \quad (2.2.11b)$$

したがって、釣り合い条件式である $C_c + C_s = T$ に式(2.2.7)~(2.2.11)を代入することによって、中立軸深さが求まる。

実際の計算においては、以下の4つのケースが考えられ、それぞれのケースに対してひずみの適合条件を確認して初めて正しい中立軸深さが得られる。

1) 圧縮鉄筋および引張鉄筋ともに降伏の場合： $\varepsilon_{sc} \geq \frac{\sigma_y}{E_s}$ かつ $\varepsilon_t \geq \frac{\sigma_y}{E_s}$

釣り合い条件 $C_c + C_s = T$ より、式(2.2.12)が得られ、中立軸深さ x_n が求まる。

$$k_1 k_3 b x_n f_c + \sigma_y a_c = \sigma_y a_t \quad (2.2.12)$$

得られた x_n を式(2.2.5)および式(2.2.6)に代入し、 $\varepsilon_{sc} \geq \frac{\sigma_y}{E_s}$ かつ $\varepsilon_t \geq \frac{\sigma_y}{E_s}$ が確認されれば正解

である。

2) 圧縮鉄筋未降伏，引張鉄筋降伏の場合： $\varepsilon_{sc} < \frac{\sigma_y}{E_s}$ かつ $\varepsilon_t \geq \frac{\sigma_y}{E_s}$

釣り合い条件 $C_c + C_s = T$ より，式(2.2.13)が得られ，中立軸深さ x_n が求まる。

$$k_1 k_3 b x_n f_c + \frac{E_s \varepsilon_{cu} a_c (x_n - d_c)}{x_n} = \sigma_y a_t \quad (2.2.13)$$

得られた x_n を式(2.2.5)および式(2.2.6)に代入し， $\varepsilon_{sc} < \frac{\sigma_y}{E_s}$ かつ $\varepsilon_t \geq \frac{\sigma_y}{E_s}$ が確認されれば正解である。

3) 圧縮鉄筋降伏，引張鉄筋未降伏の場合： $\varepsilon_{sc} \geq \frac{\sigma_y}{E_s}$ かつ $\varepsilon_t < \frac{\sigma_y}{E_s}$

釣り合い条件 $C_c + C_s = T$ より，式(2.2.14)が得られ，中立軸深さ x_n が求まる。

$$k_1 k_3 b x_n f_c + \frac{E_s \varepsilon_{cu} a_c (x_n - d_c)}{x_n} = \sigma_y a_t \quad (2.2.14)$$

得られた x_n を式(2.2.5)および式(2.2.6)に代入し， $\varepsilon_{sc} \geq \frac{\sigma_y}{E_s}$ かつ $\varepsilon_t < \frac{\sigma_y}{E_s}$ が確認されれば正解である。

4) 圧縮鉄筋および引張鉄筋ともに未降伏の場合： $\varepsilon_{sc} < \frac{\sigma_y}{E_s}$ かつ $\varepsilon_t < \frac{\sigma_y}{E_s}$

釣り合い条件 $C_c + C_s = T$ より，式(2.2.15)が得られ，中立軸深さ x_n が求まる。

$$k_1 k_3 b x_n f_c + \frac{E_s \varepsilon_{cu} a_c (x_n - d_c)}{x_n} = \frac{E_s \varepsilon_{sc} a_t (d - x_n)}{x_n} \quad (2.2.15)$$

得られた x_n を式(2.2.5)および式(2.2.6)に代入し， $\varepsilon_{sc} < \frac{\sigma_y}{E_s}$ かつ $\varepsilon_t < \frac{\sigma_y}{E_s}$ が確認されれば正解である。

以上，得られた x_n を，鉄筋のひずみ条件を考慮して式(2.2.7)に代入すれば，コンクリートの圧縮合力 C_c ，圧縮鉄筋の圧縮合力 C_s および引張鉄筋の圧縮合力 T が求まり，曲げ終局耐力 M_u が式(2.2.16)のように得られる。ここでは，引張鉄筋位置に関しての算定方法を記載するが，断面のどの位置に仮定しても同じである。

$$M_u = C_s (d - d_c) + (d - k_2 x_n) \quad (2.2.16)$$

記号

ε_{sc} : 圧縮鉄筋のひずみ(-)

ε_t : 引張鉄筋のひずみ(-)

ε_{cu} : コンクリートの圧縮縁ひずみ(-)

x_n : 中立軸深さ(mm)

d_c : コンクリートの圧縮縁から圧縮鉄筋までの長さ(mm)

d : 有効せい(mm)

C_c : コンクリートの圧縮合力(kN)

C_s : 圧縮鉄筋の圧縮合力(kN)

T : 引張鉄筋の圧縮合力(kN)

k_1 : コンクリート圧縮縁ひずみが ϵ_{cu} に到達したときの平均応力を表す係数(-)

k_2 : ひずみが 0 から ϵ_{cu} までの応力ひずみ曲線のひずみ軸方向の重心位置を表す係数(-)

k_3 : 標準シリンダー試験で得られた圧縮強度と部材内圧縮強度の違いを表す係数(-)

f_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)

σ_y : 鉄筋の降伏強度(N/mm²)

E_s : 鉄筋のヤング係数(N/mm²)

a_c : 圧縮鉄筋の総断面積(mm²)

a_t : 引張鉄筋の総断面積(mm²)

M_u : 曲げ終局耐力(kN/m)

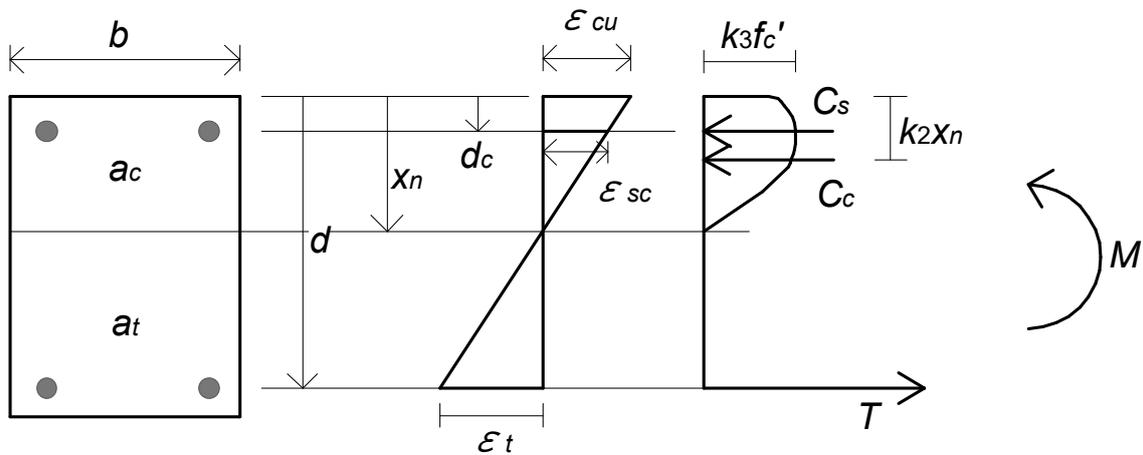


図 2.2.7 複筋梁の曲げ終局状態

2.2.8 終局耐力計算（基礎梁せん断耐力）

基礎梁のせん断終局耐力は文献30)に従い、荒川 mean 式を用いて算定した(式(2.2.17))。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.068 p_t^{0.28} (f_c + 18)}{M / (Qd) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} \right\} bj \quad (2.2.17)$$

記号

p_t : 引張鉄筋比(%)

$M / (Qd)$: せん断スパン比(-)

p_w : せん断補強筋比(-)

σ_{wy} : せん断補強筋の降伏強度(N/mm²)

b : 幅(mm)

j : 基礎梁の応力中心間距離(mm)

2.2.9 終局耐力計算（杭頭接合部圧縮耐力）

2方向偏心を有する杭頭接合部の圧縮耐力は文献3)で提案されている算定式(2.2.18)~(2.2.24)を用いた。

図2.2.8は、柱軸力 N が杭頭接合部を介して杭へと伝達される状況を示したものである。

柱と杭が重複する部分の面積 A の圧縮力 N_A は、図2.6.3(a)に示すように、杭へ直接伝達されると考える。その時の圧縮耐力 ${}_A N_u$ は、

$${}_A N_u = A \sigma_B \quad (2.2.18)$$

として評価する。

一方、柱と杭が重複しない部分 B の圧縮力 N_B は、①点で基礎梁の曲げ引張力 T および杭頭接合部のコンクリート圧縮束に作用する圧縮力 R_1 によって釣り合い系を構成すると考える。②点では、圧縮力 R_2 および杭からの反力 P_B によって釣り合い系を構成すると考える。このアーチ機構によって決まる耐力 ${}_B N_u$ は、杭頭接合部のコンクリート圧縮束によって決定される耐力 N_c と鉄筋に依存する耐力 N_t から、

$${}_B N_u = \min.(N_c, N_t) \quad (2.2.19)$$

として評価する。

コンクリート圧縮束の圧縮強度によって決まる耐力 N_c は、

$$N_c = B \sigma_B \cos^2 \alpha \quad (2.2.20)$$

鉄筋に依存する耐力 N_t は、基礎梁主筋の引張降伏によって決まる耐力 N_y と基礎梁主筋の定着性能によって決まる耐力 N_b から、

$$N_t = \min.(N_y, N_b) \quad (2.2.21)$$

として評価する。ここで、

$$N_y = \frac{\sqrt{2} \sigma_y a_t}{\tan \alpha} \quad (2.2.22)$$

$$N_b = \frac{\sqrt{2} f_u a_t}{\tan \alpha} \quad (2.2.23)$$

である。

2方向偏心を有する杭頭接合部の圧縮耐力 N_u は、(2.6.13)および(2.6.14)式から、

$$N_u = {}_A N_u + {}_B N_u \quad (2.2.24)$$

として評価する。

杭頭接合部の圧縮耐力は柱から杭にかけての斜め圧縮力の傾きにより耐力が変化し、

その傾きが異なる様子を図 2.2.9 に示した。

記号

- A : 柱と杭が重複する部分の柱断面積(mm²)
- σ_B : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)
- B : 柱と杭が重複しない部分の柱断面積(mm²)
- α : 柱材軸と圧縮束の方向余弦(rad)
- σ_y : 基礎梁主筋の降伏強度(N/mm²)
- a_t : 基礎梁引張側主筋の断面積(mm²)
- f_u : 基礎梁主筋の定着強度(N/mm²)
- $A N_u$: 杭頭接合部の圧縮耐力(kN)
- $B N_u$: 杭頭接合部のアーチング機構による耐力(kN)
- N_c : 杭頭接合部のコンクリート圧縮束の圧縮強度による耐力(kN)
- N_t : 杭頭接合部の鉄筋に依存する耐力(kN)
- N_y : 杭頭接合部の基礎梁主筋の引張降伏による耐力(kN)
- N_b : 杭頭接合部の基礎梁主筋の定着性能による耐力(kN)
- N_u : 杭頭接合部の二軸偏心を有する基礎接合部の圧縮耐力(kN)

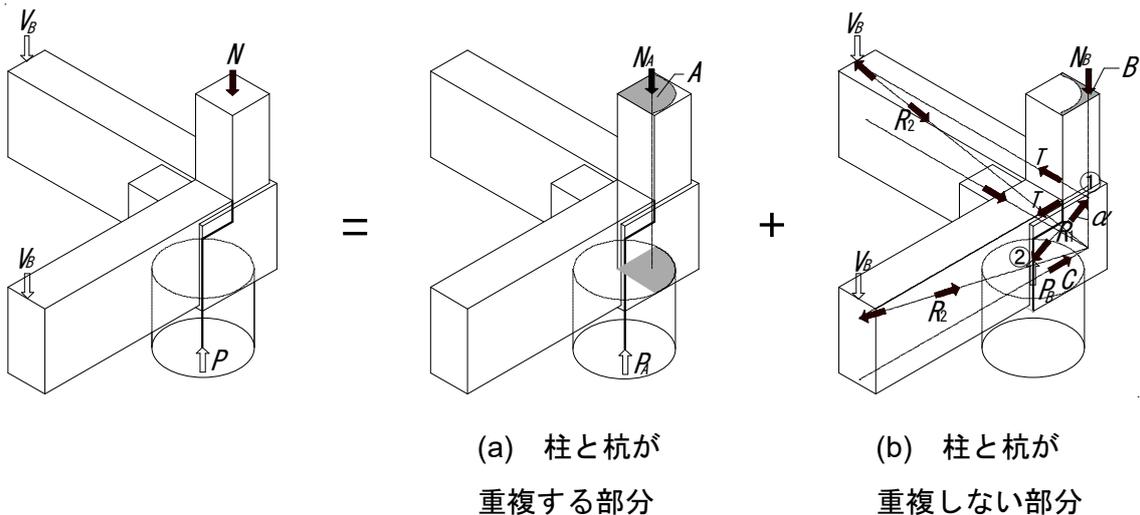
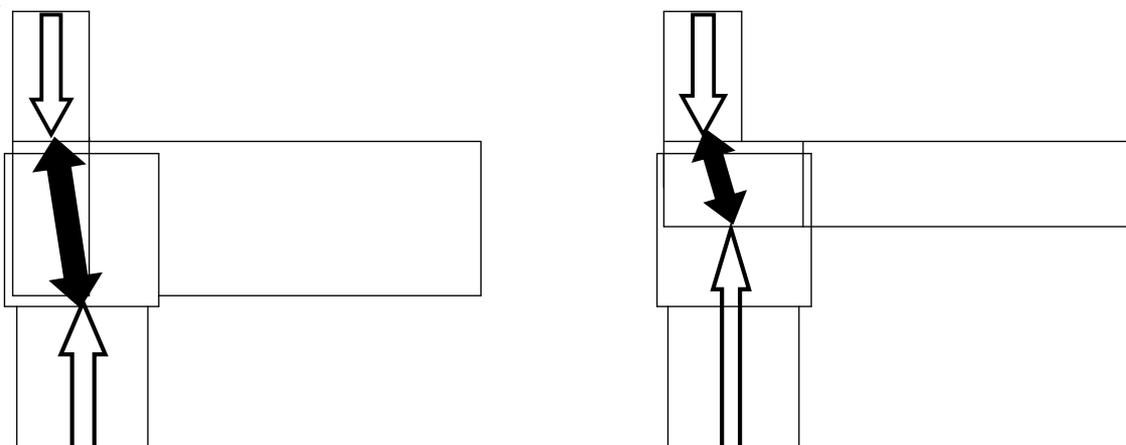


図 2.2.8 2 方向偏心を有する杭頭接合部の軸力伝達機構



(a) 試験体 E39

(b) 試験体 E88

図 2.2.9 柱から杭にかけての斜め圧縮力

2.2.10 杭軸力換算方法

図 2.2.10 に杭軸力換算の概念を示す。 N_c および Q_b 周りのモーメントのつり合いにより，杭軸力 N_p に対する両基礎梁せん断力の合計 $2Q_b$ および柱軸力 N_c の関係は以下の式 (2.2.25) および (2.2.26) となる。

$$2Q_b = \frac{e}{l_{bs}} N_p \quad (2.2.25)$$

$$N_c = \frac{l_{bs} - e}{l_{bs}} N_p \quad (2.2.26)$$

記号

L_{bs} : 基礎梁の長さ (1,000mm) の S 軸方向換算値 (707mm)

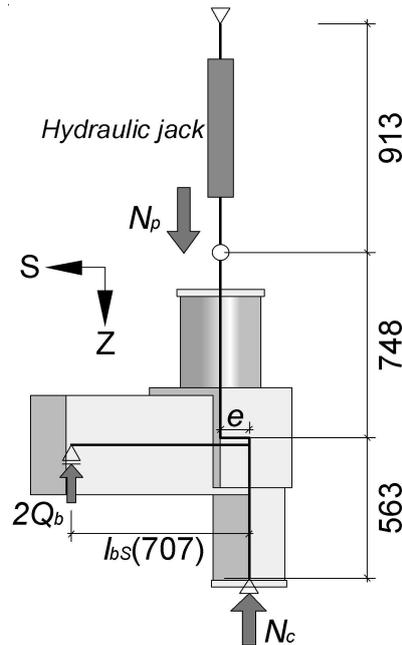


図 2.2.10 杭軸力換算の概念

2.2.11 終局耐力計算結果および実験値との比較

前節までに示した終局耐力計算結果と実験によって得られた最大耐力の値の一覧およびその比較を表 2.2.11 に示す。両試験体ともに杭頭接合部終局圧縮耐力の計算値が最も低く、破壊形式は杭頭接合部の圧縮破壊型となることが想定された。しかし、実験結果では両試験体ともに柱コンクリートの圧縮破壊が顕著であった。また、両試験体の最大耐力値は杭頭接合部終局圧縮耐力の計算値と比べておよそ 1.3 倍であり、杭頭接合部の終局圧縮耐力提案式は本論に示す試験体に対して過小評価する傾向にある。しかし、基礎梁形状の影響による杭頭接合部終局圧縮耐力の計算値の差異は認められた。

表 2.2.11 終局耐力計算結果の一覧

| (kN) | E39 | E88 |
|-----------|-------|-------|
| 実験値の最大耐力 | 1,739 | 1,517 |
| 柱圧縮耐力 | 1,979 | 1,979 |
| 杭圧縮耐力 | 2,638 | 2,638 |
| 梁曲げ耐力 | 2,660 | 1,573 |
| 梁せん断耐力 | 1,903 | 1,877 |
| 杭頭接合部圧縮耐力 | 1,286 | 1,155 |

2.3 まとめ

本章では、柱と杭が水平2方向に偏心する杭頭接合部の構造設計方法の構築を最終目的として見据えた、当該杭頭接合部に関する静的載荷実験を実施した。載荷および計測計画の詳細を述べるとともに、実験の検討結果、当該試験体の耐力評価法を述べた。本節では、本章において示した検討項目および研究成果を総括について述べる。

2.1節では、本研究の背景と目的を示すとともに本研究に関連する既往の研究を整理した。また、試験体の概要として2体の試験体の概形および配筋状況とともに使用材料の力学的特性の詳細を示した。実験計画では軸力載荷の制御方法および試験体の設置方法を述べた。計測計画ではひずみゲージの貼り付け位置、変位計の取り付け位置、ひび割れ記入時の色分けおよび計測リストを示した。

2.2～2.6節では、2.1節において計画した柱と杭が水平2方向に偏心する杭頭接合部の静的載荷実験を実施し、その構造性能について検討した。

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 両試験体ともに基礎梁の曲げひび割れによる剛性低下が確認され、柱主筋の圧縮降伏が確認された。
- 2) 破両試験体ともに柱主筋の座屈および柱コンクリートの圧縮破壊が確認された。
- 3) 基準試験体 E39 の最大耐力が扁平試験体 E88 よりも高く、偏心比が小さいほど最大耐力が高くなることが確認された。
- 4) 各試験体の最大耐力の値は、杭頭接合部の圧縮耐力計算値と比べて約 1.3 倍高く、それ以外の終局耐力計算値に達していない。
- 5) 試験体 E39 における基礎梁曲げひび割れ後の剛性は試験体 E88 と比べて高く、基礎梁断面形状の違いの影響が確認された。一方で両試験体ともに基礎梁、杭頭接合部の曲げひび割れおよび柱の圧縮破壊が顕著であり、破壊性状に大きな違いはみられなかった。

- 6) 両試験体ともにそれぞれの梁の短期許容曲げモーメントを超えた後、ひび割れ幅の制限値に達した。
- 7) 試験体 E88 の当該ひび割れ幅は試験体 E39 のものと比べて大きい。これは、表 4.5.1 に示す梁曲げ終局耐力計算値の結果と対応したものと考えられる。
- 8) 両試験体ともに杭頭接合部の下端筋の応力は RC 規準に示される応力伝達モデルから求まる応力の値と比べて、最大でも 1/80 程度であった。

第 3 章

柱を除去した水平二方向偏心を有する 杭頭接合部の構造性能に関する研究

3.1 実験概要

3.1.1 試験体概要

表 3.1.1 に断面詳細を、図 3.1.1 に試験体の形状および寸法を、図 3.1.2 に試験体の配筋状況を示す。本研究では実構造物を模擬した三体の試験体を実大 1/5 スケールで作成した。試験体は荷重の都合により上下を反転して作成された。本論では、柱軸方向を Z 軸、両基礎梁の軸方向をそれぞれ X 軸と Y 軸、および基礎梁軸方向の二等分線方向を S 軸と定義した。柱端には鉄板 (PL-28×300×300mm) とその下にピン支点を模擬した球座 (GW70-AW) が、各方向の基礎梁上端 (以降、上端と下端は実構造物を想定したものとする) にはローラー支点を模擬した丸鋼 ($\phi 50$) がそれぞれ設置されている。当該試験体は杭頭接合部の損傷性状を観測するため、第 2 章で検討された試験体から柱を取り除いた形状とした。断面寸法は柱が 200×200mm、杭径が 339mm、杭頭接合部が 400×400×400mm、基礎梁が 200×400mm である。柱芯から杭芯までの偏心距離は 113mm である。杭頭接合部の内部には、柱を想定した主筋および帯筋が配されている。また、基礎梁主筋は機械式定着である。なお、本試験体における杭頭接合部下端筋の配筋量 (E39 : 42mm², E88 : 84mm²) は RC 規準¹⁾の長期荷重に対する計算手法から求まる配筋量 (E39 : 401mm², E88 : 591mm²) と比べて少ない。

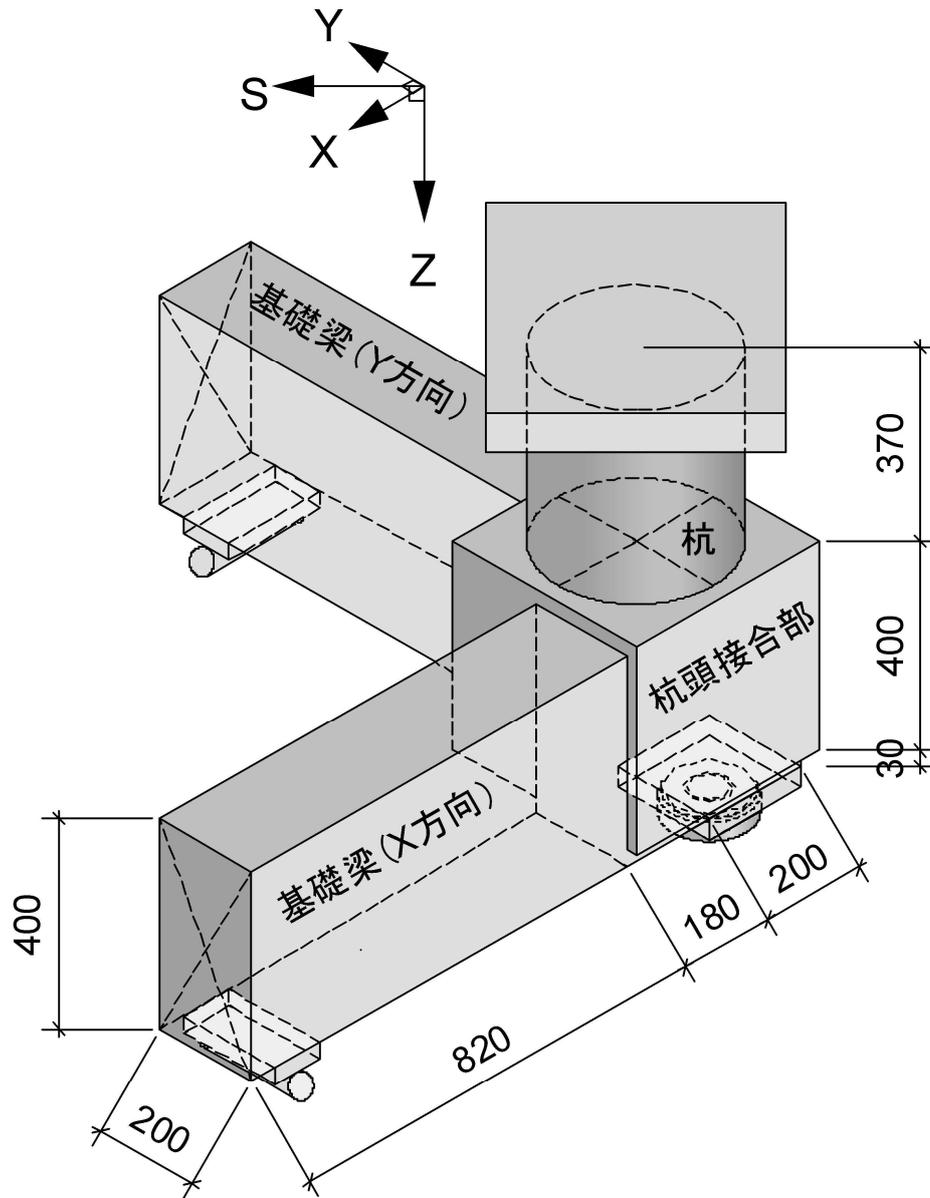
表 3.1.2 に実験変数を示す。実験変数は基礎梁主筋の種類と柱支点の位置である。試験体 PCA と PCC の基礎梁主筋の種類は USD785 であり、試験体 PCB では SD390 を用いた。また、試験体 PCA と PCB では柱支点を柱芯と同じ位置としているのに対して、試験体 PCC では柱支点を柱芯から水平二方向に 56.7mm 偏心させた。

表 3.1.1 断面詳細

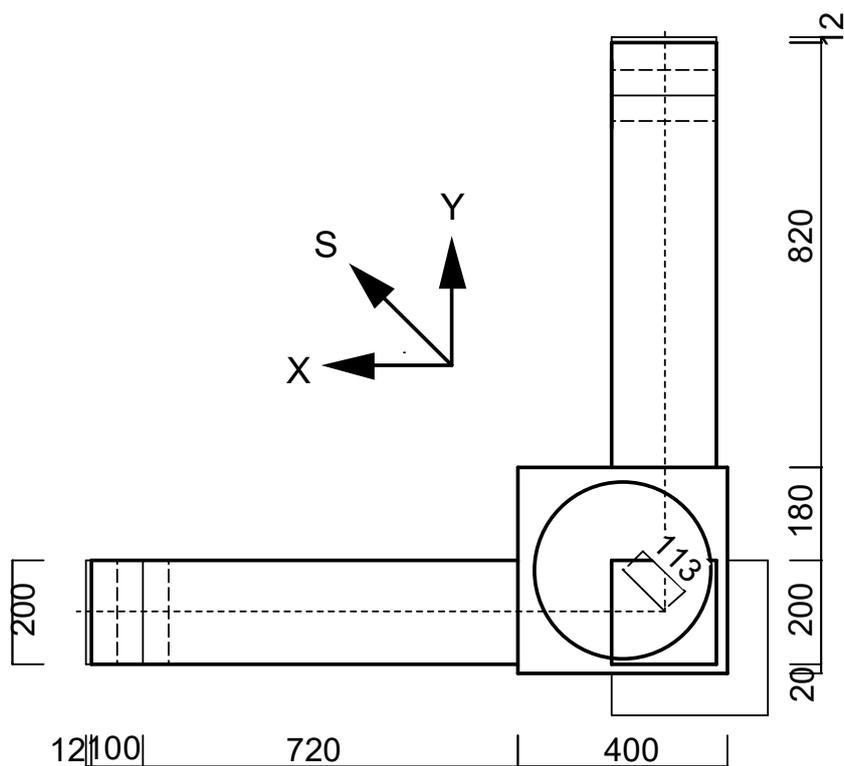
| | | PCA | PCB | PCC |
|-------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 柱 | 断面 $b \times D$ (mm) | 200×200 | | |
| | 主筋, 鉄筋比 | 12-D10, 2.1% | | |
| | せん断補強筋, せん断補強筋比 | D4@35, 0.4% | | |
| 基礎梁 | $b \times D \times L$ (mm) | 200×400×720 | | |
| | 有効せい d (mm) | 327.5 | | |
| | 上端筋, 引張鉄筋比 | 5-D13 (USD785) 0.97% | 5-D13 (SD390) 0.97% | 5-D13 (USD785) 0.97% |
| | 下端筋 | 3-D13 (USD785) | 3-D13 (SD390) | 3-D13 (USD785) |
| | せん断補強筋 | 3-D4@35 | | |
| | 杭 | 杭径 | 339 | |
| | 主筋, 鉄筋比 | 12-D10, 0.95% | | |
| | せん断補強筋, せん断補強筋比 | 12-D4@35, 0.27% | | |
| 杭頭接合部 | 寸法 (mm) | 400×400×400 | | |

表 3.1.2 実験変数

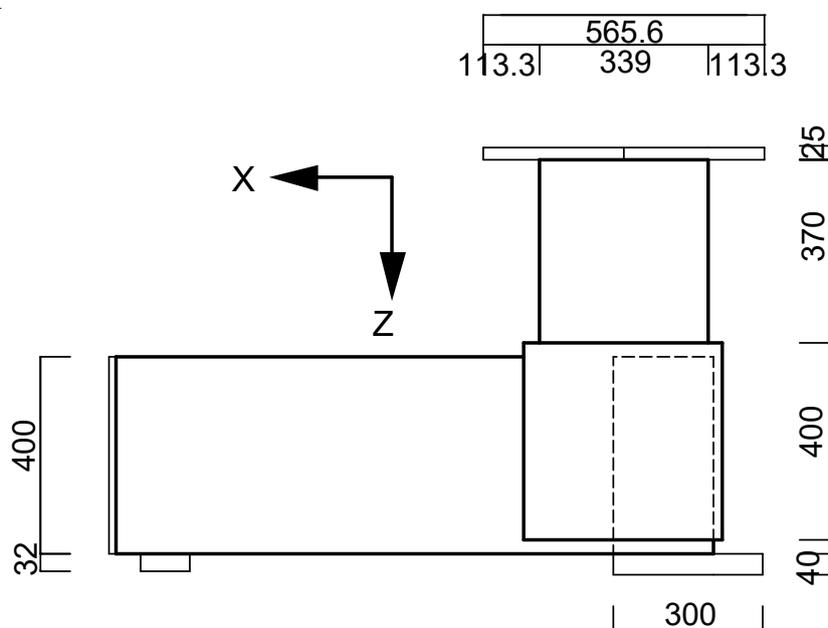
| | PCA | PCB | PCC |
|-----------------------|--------|-------|--------|
| 柱芯と杭芯の偏心距離 e (mm) | 113.1 | | |
| 柱支点と柱芯の偏心距離 e' (mm) | 0 | | 56.7 |
| 偏心距離 $e+e'$ (mm) | 113.1 | | 169.7 |
| 基礎梁主筋の種類 | USD785 | SD390 | USD785 |



(a) 俯瞰図



(b) 平面図



(c) 立面図

図 3.1.1 試験体形状

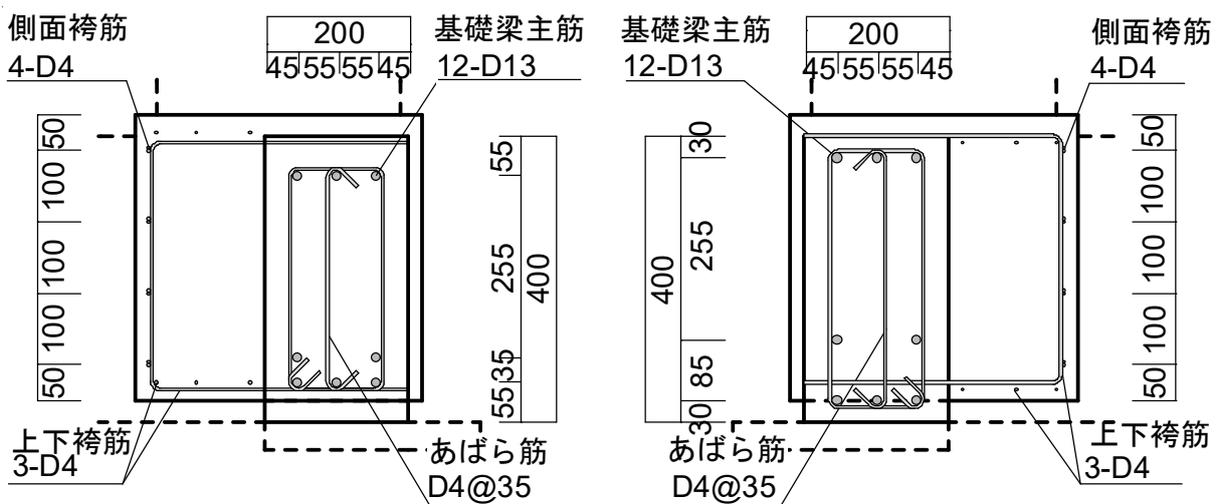
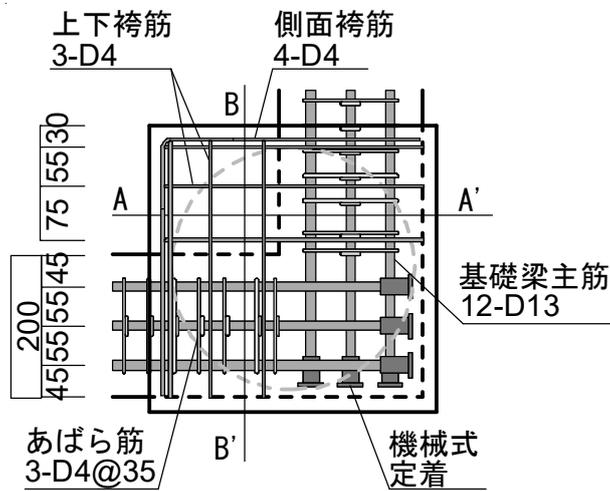
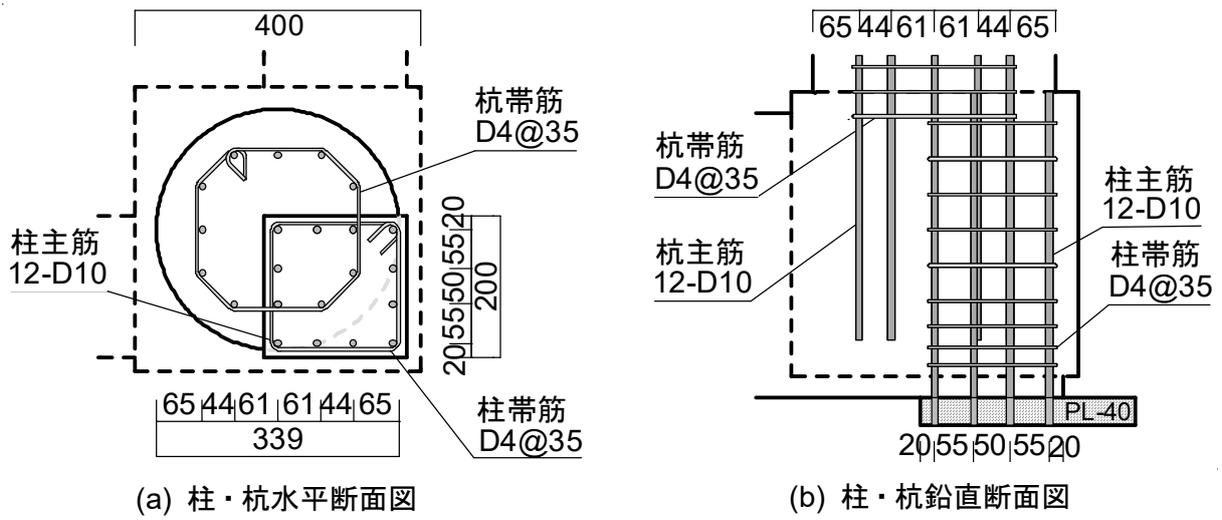


図 3.1.2 配筋状況

3.1.2 使用材料の力学的特性（コンクリートおよび無収縮モルタル）

表 3.1.3 にコンクリートの配合表を，表 3.1.4 に無収縮モルタルの配合表をそれぞれ示す。

本試験体では，普通コンクリートを使用した。また，無収縮モルタルは試験体 PCC においてコンクリートの充填不足が生じた杭上部に使用した。

表 3.1.5 にコンクリートのスランプ試験結果を，図 3.1.3 にスランプ試験時の写真をそれぞれ示す。

表 3.1.6 にコンクリートの圧縮試験結果を，表 3.1.7 にコンクリートの割裂試験結果を，表 3.1.8 に無収縮モルタルの圧縮試験結果をそれぞれ示す。また，図 3.1.4 にコンクリートの応力-ひずみ関係をそれぞれ示す。

表 3.1.3 コンクリートの配合表

| 設計基準 強度 (N/mm ²) | 水セメント 比 W/C(%) | 細骨材率 S/a(%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------|----------------|-------------------------|-----------|----------|-----|----------|------------|---------|
| | | | 水 W | セメント C | 細骨材 S | | 粗骨材 G | 混和剤 | |
| | | | | | 砕砂 | 砂 | | AE 減 水剤 | AE 剤 |
| 24 | 66.7 | 51.4 | 173 | 259 | 660 | 277 | 904 | 1.94 | 5.44 |

表 3.1.4 無収縮モルタルの配合表

| 練上げ温度 範囲(°C) | 単位量(kg/m ³) | | | 圧縮強度(N/mm ²) (28 日) | | |
|-----------------|-------------------------|---------------|-------------|------------------------------------|------|------|
| | 太平洋プレューロックス (kg) | 練混ぜ水量 (kg) | 練上げ量 (ℓ) | 養生温度(°C) | | |
| | | | | 5 | 10 | 20 |
| 10~35 | 25 | 4.0-4.5 | 13 | 59.8 | 66.1 | 70.2 |

表 3.1.5 コンクリートのスランプ試験

| 配合 | 外気温(°C) | コンクリート温度(°C) |
|-----------|---------|--------------|
| 18-18-15N | 12.0 | 13.0 |
| スランプ(cm) | 空気量(%) | TP (本) |
| 19.0 | 4.0 | 27 |



図 3.1.3 スランプ試験時の写真

表 3.1.6 コンクリートの圧縮試験結果

| | | 直径(mm) | | | 高さ(mm) | | | 重さ(kg) | | | 最大強度 (kN) | 圧縮強度 (N/mm ²) | |
|-------|------|--------|------|------|--------|-----|-----|--------|------|------|--------------|------------------------------|------|
| | | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | | | 平均 |
| 7day | No.1 | 99.5 | 99.7 | 99.6 | 193 | 193 | 193 | 3.41 | 3.41 | 3.41 | 125 | 16.1 | 17.5 |
| | No.2 | 99.6 | 99.7 | 99.7 | 197 | 198 | 197 | 3.47 | 3.47 | 3.47 | 145 | 18.6 | |
| | No.3 | 99.6 | 99.6 | 99.6 | 193 | 193 | 193 | 3.39 | 3.39 | 3.39 | 138 | 17.7 | |
| 34day | No.1 | 99.6 | 99.6 | 99.6 | 195 | 195 | 195 | 3.40 | 3.39 | 3.40 | 200 | 25.6 | 23.8 |
| | No.2 | 99.5 | 99.5 | 99.5 | 194 | 194 | 194 | 3.38 | 3.38 | 3.38 | 181 | 23.3 | |
| | No.3 | 99.7 | 99.5 | 99.6 | 195 | 195 | 195 | 3.41 | 3.41 | 3.41 | 175 | 22.4 | |
| PCA | No.1 | 99.7 | 99.5 | 99.6 | 197 | 197 | 197 | 3.43 | 3.42 | 3.42 | 215 | 27.6 | 27.1 |
| | No.2 | 99.8 | 99.7 | 99.7 | 196 | 196 | 196 | 3.41 | 3.41 | 3.41 | 212 | 27.2 | |
| | No.3 | 99.4 | 99.7 | 99.5 | 195 | 195 | 195 | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 205 | 26.4 | |
| PCB | No.1 | 99.6 | 99.6 | 99.6 | 193 | 193 | 193 | 3.36 | 3.36 | 3.36 | 208 | 26.7 | 27.2 |
| | No.2 | 99.8 | 99.7 | 99.8 | 195 | 195 | 195 | 3.38 | 3.38 | 3.38 | 219 | 28.0 | |
| | No.3 | 99.7 | 99.7 | 99.7 | 193 | 193 | 193 | 3.36 | 3.36 | 3.36 | 209 | 26.8 | |
| PCC | No.1 | 99.6 | 99.6 | 99.6 | 197 | 197 | 197 | 3.42 | 3.42 | 3.42 | 211 | 27.1 | 27.2 |
| | No.2 | 99.3 | 99.3 | 99.3 | 197 | 197 | 197 | 3.41 | 3.41 | 3.41 | 210 | 27.1 | |
| | No.3 | 99.5 | 99.5 | 99.5 | 195 | 195 | 195 | 3.39 | 3.39 | 3.39 | 215 | 27.6 | |

表 3.1.7 コンクリートの割裂試験結果

| | | 直径(mm) | | | 高さ(mm) | | | 重さ(kg) | | | 最大強度 (kN) | 引張強度(N/mm ²) | |
|-----|------|--------|------|------|--------|-----|-----|--------|------|------|--------------|--------------------------|------|
| | | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | | | 平均 |
| PCA | No.1 | 99.5 | 99.5 | 99.5 | 195 | 195 | 195 | 3.42 | 3.42 | 3.42 | 67.2 | 2.20 | 2.25 |
| | No.2 | 99.5 | 99.5 | 99.5 | 197 | 197 | 197 | 3.43 | 3.43 | 3.43 | 68.0 | 2.21 | |
| | No.3 | 99.5 | 99.5 | 99.5 | 195 | 195 | 195 | 3.38 | 3.38 | 3.38 | 71.0 | 2.34 | |
| PCB | No.1 | 99.6 | 99.6 | 99.6 | 193 | 193 | 193 | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 69.0 | 2.28 | 2.24 |
| | No.2 | 99.6 | 99.6 | 99.6 | 193 | 193 | 193 | 3.36 | 3.35 | 3.35 | 77.5 | 2.57 | |
| | No.3 | 99.6 | 99.6 | 99.6 | 197 | 197 | 197 | 3.41 | 3.41 | 3.41 | 57.5 | 1.86 | |
| PCC | No.1 | 99.5 | 99.5 | 99.5 | 194 | 194 | 194 | 3.39 | 3.39 | 3.39 | 72.2 | 2.38 | 2.37 |
| | No.2 | 99.4 | 99.4 | 99.4 | 193 | 193 | 193 | 3.36 | 3.36 | 3.36 | 79.2 | 2.64 | |
| | No.3 | 99.6 | 99.6 | 99.6 | 197 | 197 | 197 | 3.43 | 3.43 | 3.43 | 64.5 | 2.09 | |

表 3.1.8 無収縮モルタルの圧縮試験結果

| | | 直径(mm) | | | 高さ(mm) | | | 重さ(kg) | | | 最大強度 (kN) | 圧縮強度 (N/mm ²) | |
|-------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|-------|-------|--------------|------------------------------|------|
| | | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | | | 平均 |
| 34day | No.1 | 49.7 | 50.0 | 49.8 | 94.3 | 94.0 | 94.2 | 0.399 | 0.399 | 0.399 | 116 | 59.4 | 59.6 |
| | No.2 | 49.7 | 49.8 | 49.8 | 96.4 | 96.2 | 96.3 | 0.411 | 0.411 | 0.411 | 110 | 56.4 | |
| | No.3 | 49.9 | 49.4 | 49.6 | 95.9 | 95.8 | 95.9 | 0.409 | 0.409 | 0.409 | 122 | 62.9 | |
| PCC | No.1 | 49.6 | 50.0 | 49.8 | 97.6 | 97.6 | 97.6 | 0.416 | 0.416 | 0.416 | 118 | 60.4 | 60.8 |
| | No.2 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 94.7 | 94.7 | 94.7 | 0.403 | 0.403 | 0.403 | 128 | 65.0 | |
| | No.3 | 49.9 | 49.8 | 49.9 | 95.6 | 95.3 | 95.4 | 0.405 | 0.405 | 0.405 | 111 | 56.9 | |

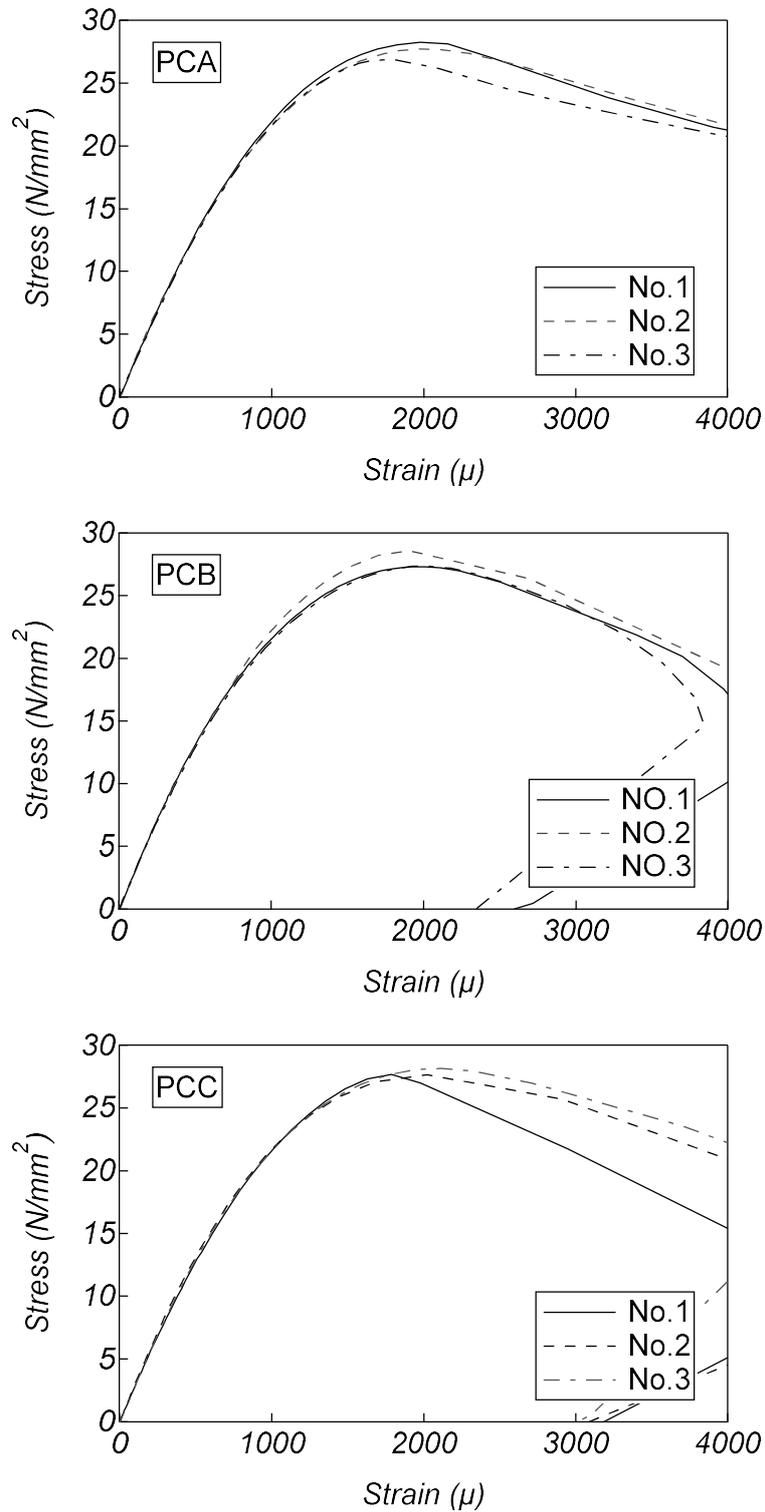


図 3.1.4 コンクリートの応力-ひずみ関係

3.1.3 使用材料の力学的特性（鉄筋）

鉄筋材種は補強筋が D4(SD295)、柱・杭主筋が D10(SD295)、試験体 PCB の基礎梁主筋が D13(SD390)、試験体 PCA と PCC の同鉄筋が D13(USD785)である。

図 3.1.5 に鉄筋の応力-ひずみ関係を、表 3.1.9 に引張試験の結果をそれぞれ示す。

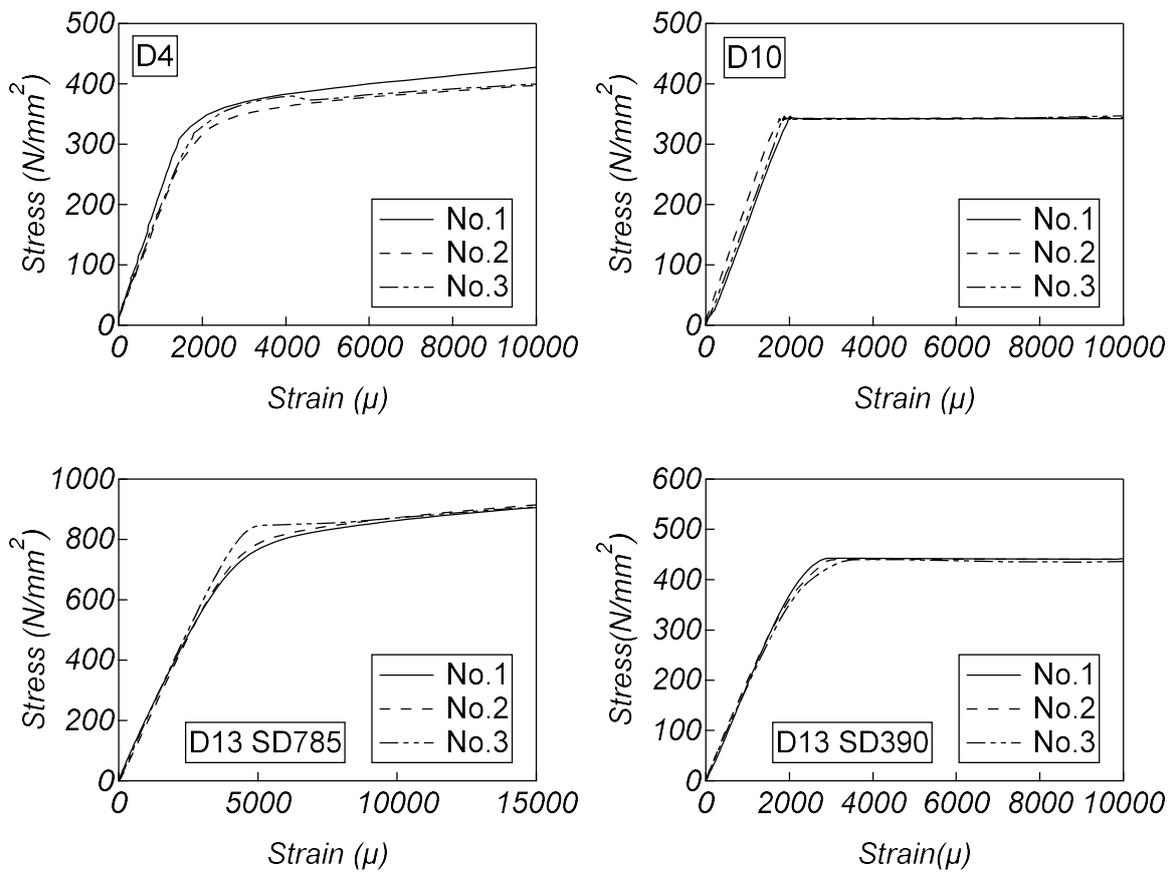


図 3.1.5 鉄筋の応力-ひずみ関係

表 3.1.9 鋼材の引張試験結果

| | | しぼり(%) | | 評点間距離 (mm) | | 伸び(%) | | ヤング係数(N/mm ²) | | 最大荷重 (kN) | 引張強度 (N/mm ²) | | 降伏強度 (N/mm ²) |
|--------------|------|--------|------|---------------|---------|-------|------|---------------------------|--------------------|--------------|------------------------------|-------|------------------------------|
| | | | 平均 | 破断 前 | 破断 後 | | 平均 | | 平均 | | | 平均 | |
| D4 SD295 | No.1 | 70.9 | 68.5 | 36.0 | 43.0 | 19.4 | 20.5 | 2.02×10^5 | 1.91×10^5 | 6.97 | 496 | 492 | 374 |
| | No.2 | 72.1 | | 36.8 | 39.0 | — | | 1.81×10^5 | | 6.92 | 492 | | |
| | No.3 | 62.6 | | 37.0 | 45.0 | 21.6 | | 1.91×10^5 | | 6.85 | 487 | | |
| D10 SD295 | No.1 | 73.5 | 70.9 | 77.5 | 100 | 29.0 | 28.4 | 1.83×10^5 | 1.89×10^5 | 33.4 | 468 | 467 | 342 |
| | No.2 | 69.8 | | 76.0 | 97.5 | 28.3 | | 2.02×10^5 | | 33.3 | 467 | | |
| | No.3 | 69.3 | | 76.6 | 98.0 | 27.9 | | 1.82×10^5 | | 33.4 | 468 | | |
| D13 SD390 | No.1 | 71.3 | 71.8 | 102 | 124 | 20.6 | 19.9 | 1.99×10^5 | 1.95×10^5 | 77.2 | 609 | 609 | 441 |
| | No.2 | 72.0 | | 104 | 125 | 20.4 | | 1.96×10^5 | | 77.0 | 608 | | |
| | No.3 | 72.0 | | 102 | 121 | 18.7 | | 1.86×10^5 | | 77.2 | 609 | | |
| D13 SD785 | No.1 | 75.6 | 76.6 | 103 | 112 | 9.03 | 11.2 | 2.09×10^5 | 2.05×10^5 | 132 | 1044 | 1,038 | 822 |
| | No.2 | 79.1 | | 104 | 115 | 11.0 | | 1.95×10^5 | | 132 | 1040 | | |
| | No.3 | 75.2 | | 104 | 118 | 13.5 | | 2.11×10^5 | | 130 | 1029 | | |

3.1.4 載荷計画

図 3.1.6 に載荷装置を示す。実験では杭が上側となるように上下回転させて設置した。柱鉄板の下には球座を設けることでピン支点とし、基礎梁先端の鉄板下には丸鋼を設けることでローラー支点とした。自由端となる杭端には鉛直オイルジャッキ（最大容量 3,000kN）を設置し、杭軸力 N を載荷した。本研究では、杭頭接合部を破壊させて構造性能を把握することが目的であるため、柱を除去しても現物を表現できていると判断した。

図 3.1.7 に荷重制御時の加力プログラムを、図 3.1.8 に鉛直変位制御時の加力プログラムをそれぞれ示す。荷重制御として文献 1) に示される式(3.1.1)により求めた基礎梁の曲げひび割れ耐力計算値 M_{cr} を杭軸力に換算した値 N_{cr} (PCA, PCB : 271kN, PCC : 195kN) の 0.5 倍、1 倍および 2 倍の 3 サイクルを行った。その後、杭先端から柱頭にかけての鉛直変位 δ による変位制御として 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0mm を 1 サイクルずつ加えた。

$$M_{cr} = 0.56\sqrt{\sigma_B}Z \quad (3.1.1)$$

記号

σ_B : コンクリートの圧縮耐力

Z : コンクリートの断面係数

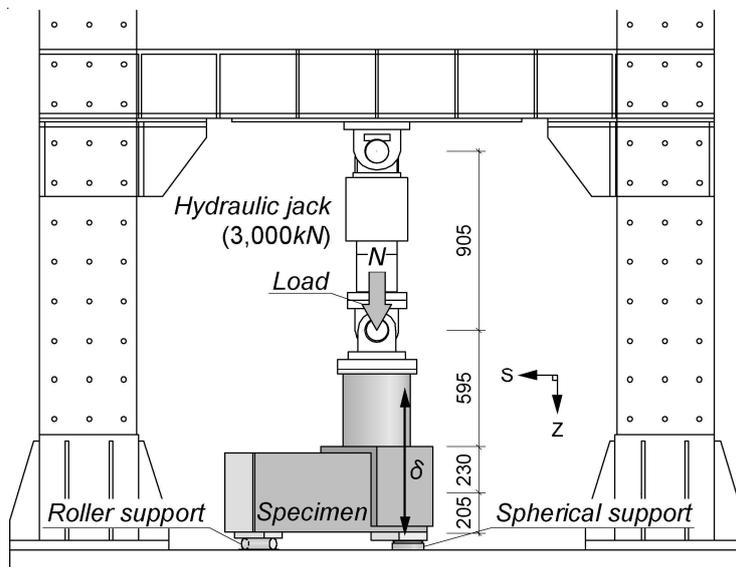


図 3.1.6 載荷装置

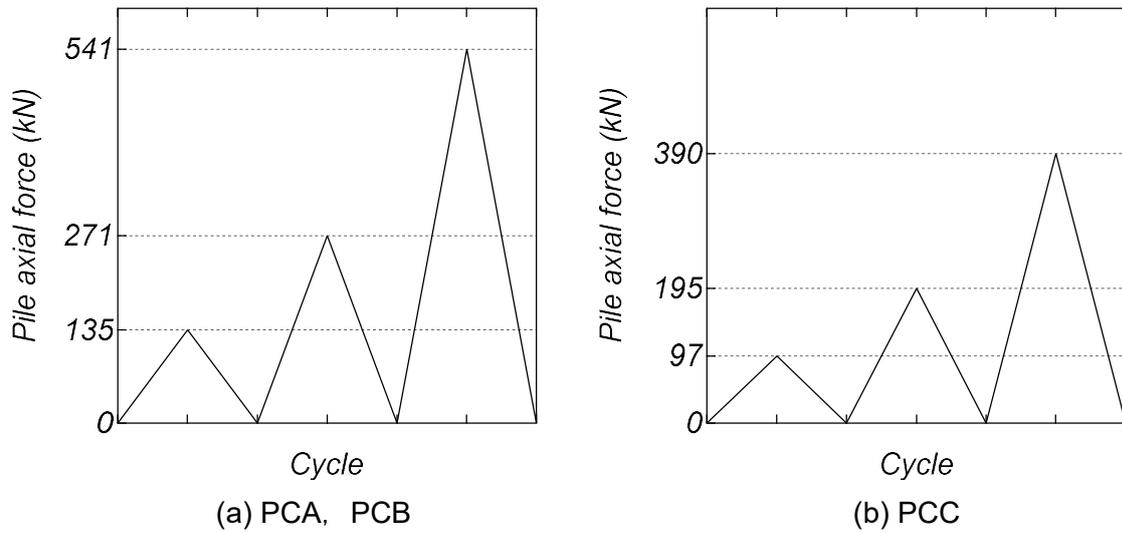


図 3.1.7 荷重制御時の加力プログラム

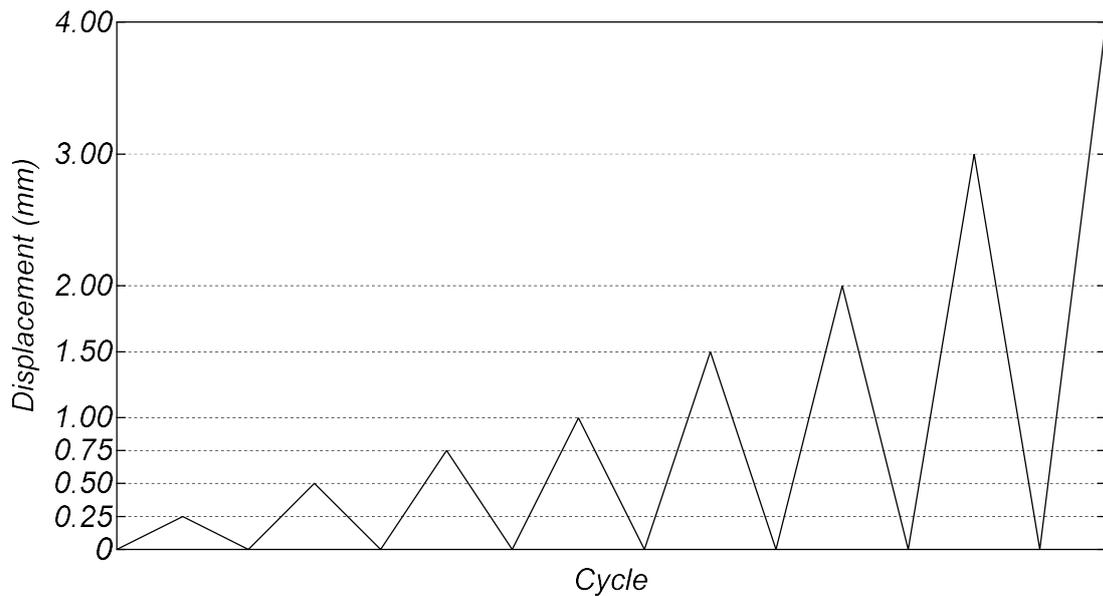


図 3.1.8 鉛直変位制御時の加力プログラム

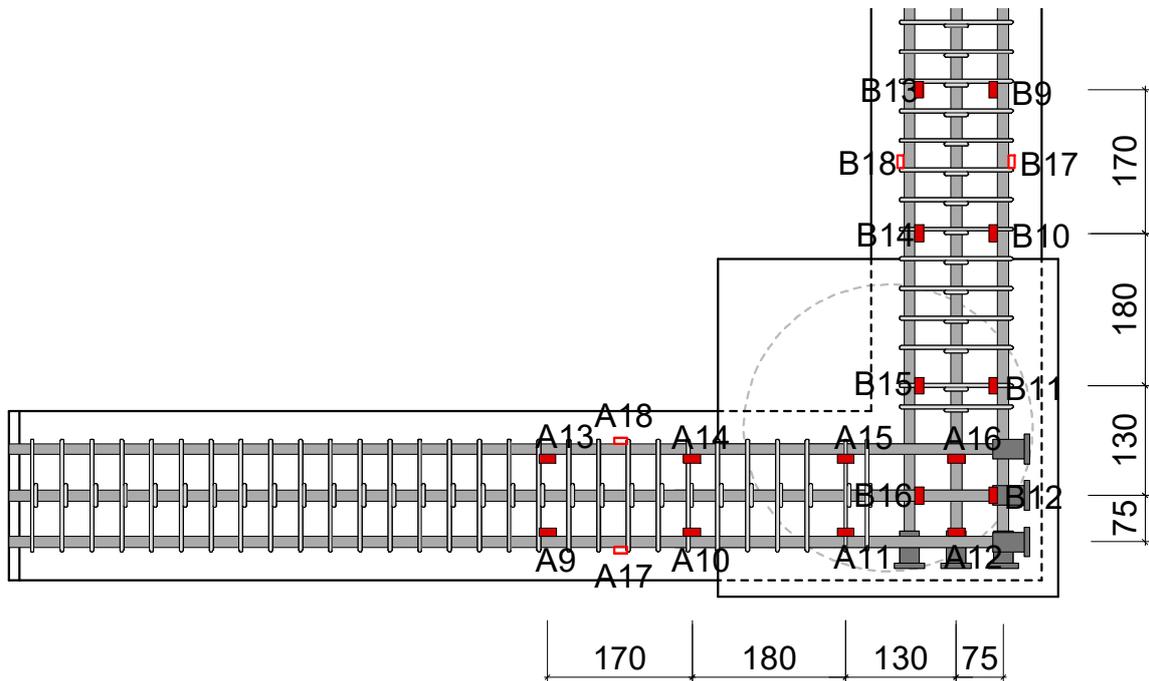
3.1.5 計測計画

図 3.1.9 に基礎梁，図 3.1.10 に柱と杭，図 3.1.11 に杭頭接合部のひずみゲージの貼り付け位置をそれぞれ示す。本実験では，主筋に係数 2.07，補強筋に係数 2.11 のひずみゲージを貼り付けた。

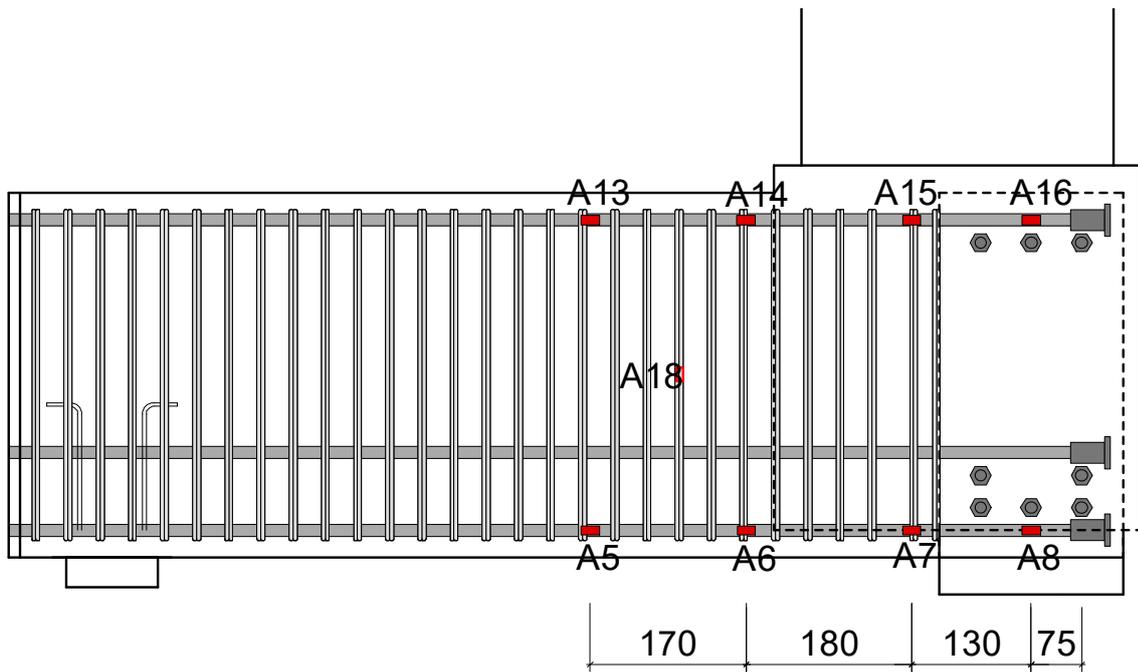
図 3.1.12 と図 3.1.13 に試験体に取り付けた変位計の位置を示す。変位計は CDP10, CDP25, CDP50, CDP100 を用いた。

表 3.1.10 に加力プログラムに対応したひび割れの色を示す。ひび割れの観測は载荷によって生じた亀裂を目視により確認し，ひび割れの発生状況および加力ステップを記録した。また，ピーク時および除荷時の主要なひび割れはクラックスケールを用いて測定した。

表 3.1.11 に試験体の計測リストを示す。荷重，変位およびひずみ度の測定値はそれぞれの電気信号自動デジタルひずみ測定器（DETA : LOGGER TDS540）でデジタル値に変換し，パソコン上において計測ソフト（TDS-7310 : 東京測器）を用いてデータ処理を行った。

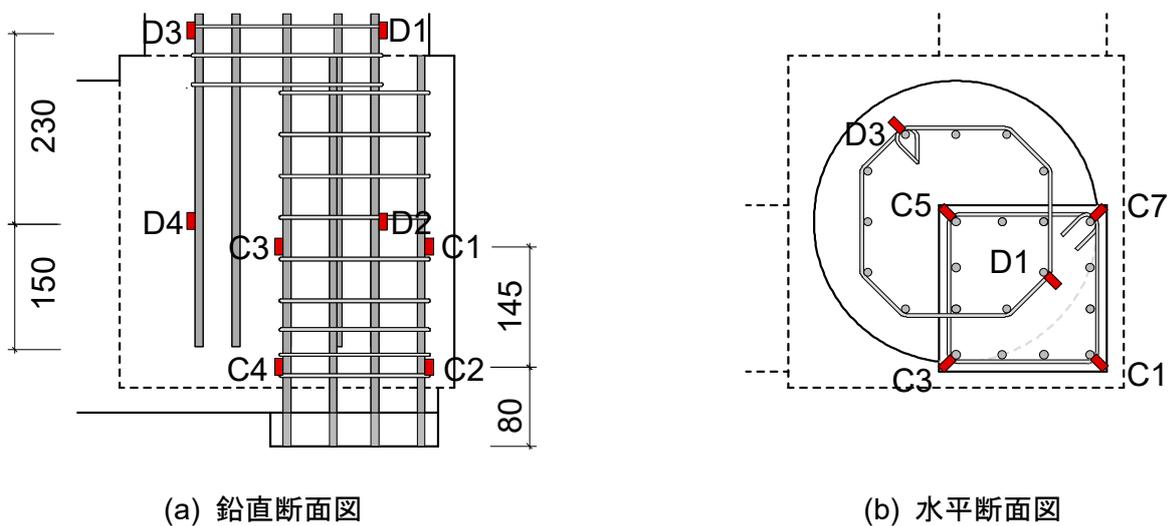


(a) 水平断面図



(b) 鉛直断面図

図 3.1.9 基礎梁のひずみゲージ貼り付け位置



(a) 鉛直断面図

(b) 水平断面図

図 3.1.10 柱・杭のひずみゲージ貼り付け位置

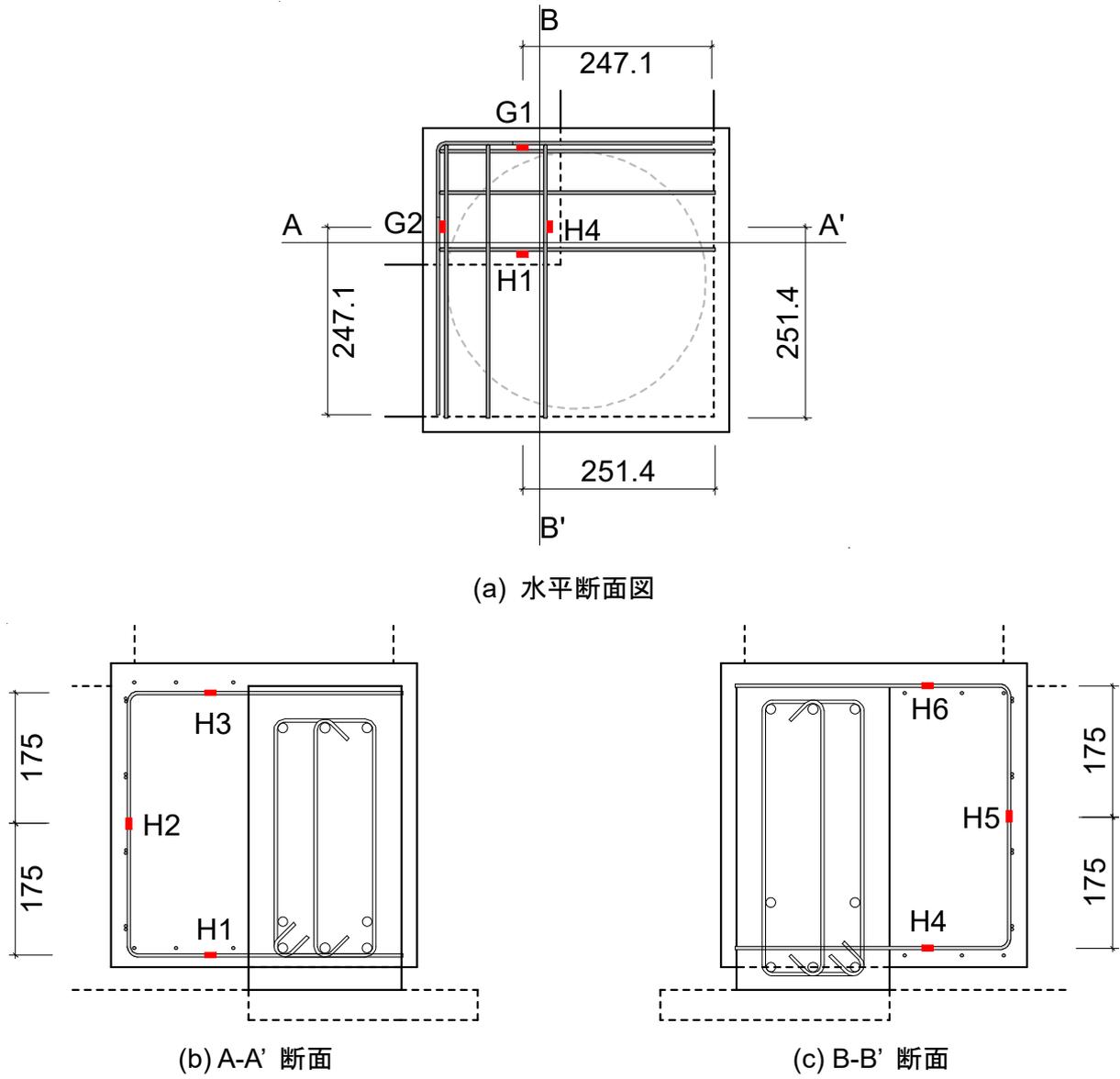
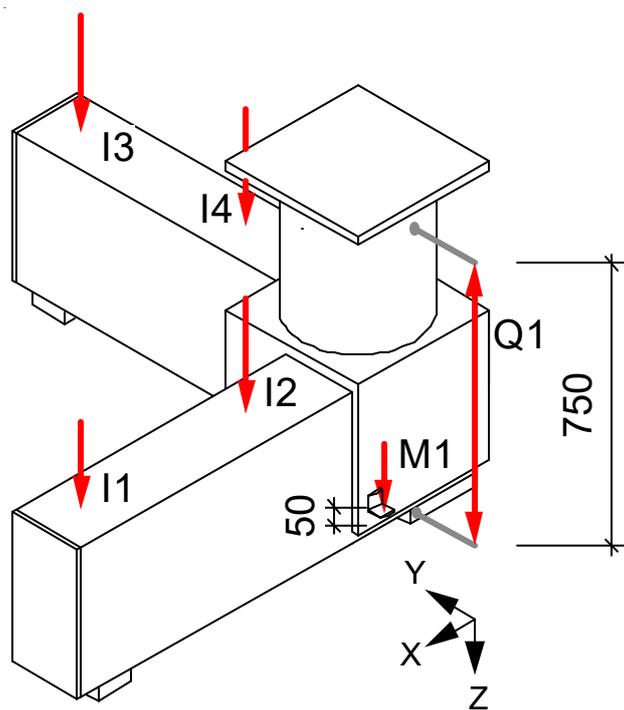
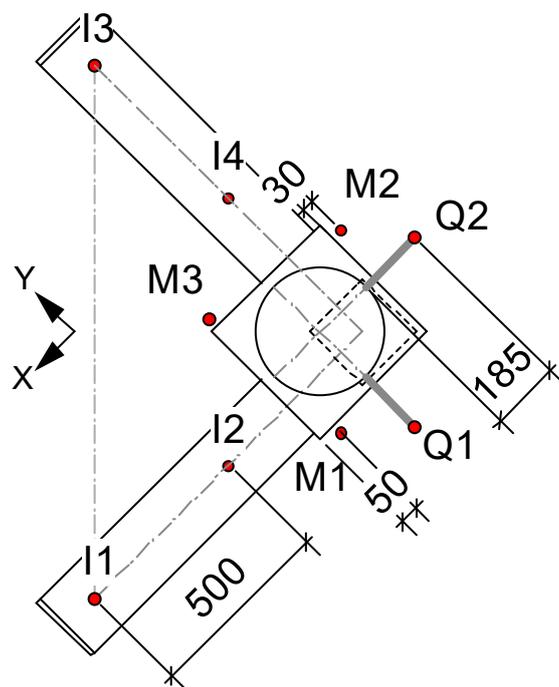


図 3.1.11 杭頭接合部のひずみゲージ貼り付け位置

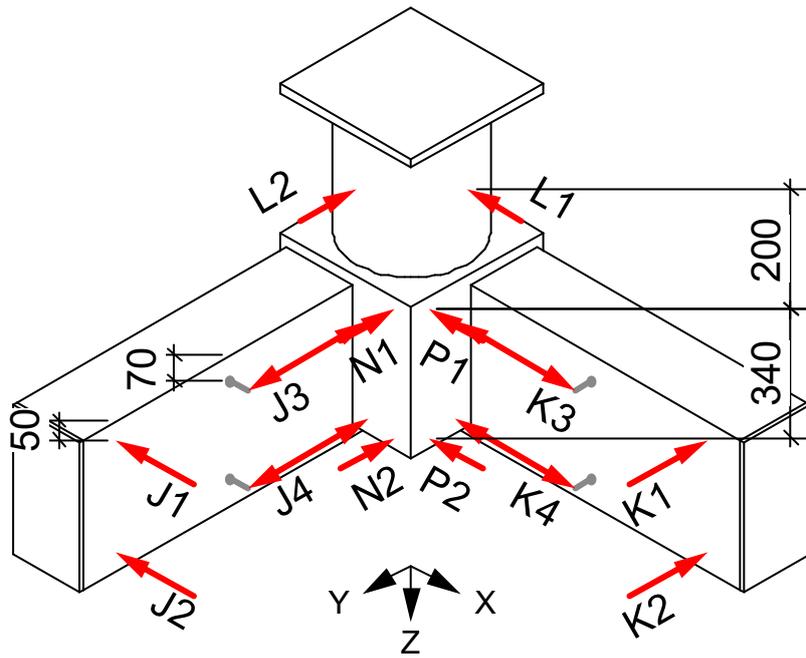


(a) 俯瞰図

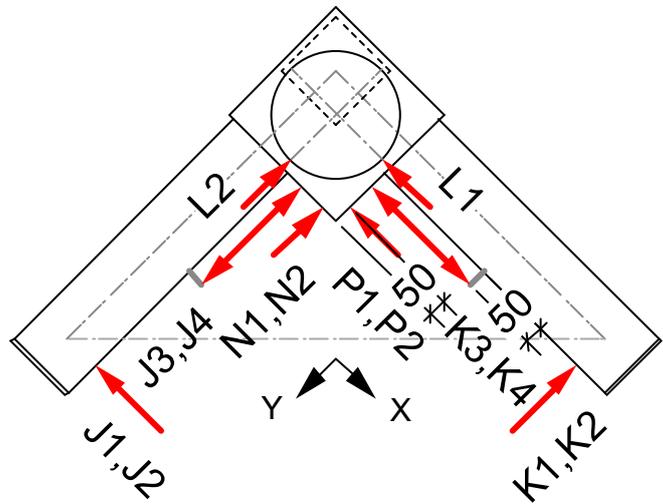


(b) 平面図

図 3.1.12 鉛直変位計の取り付け位置



(a) 俯瞰図



(b) 平面図

図 3.1.13 水平変位計の取り付け位置

表 3.1.10 加力プログラムとひび割れの色

| PCA | PCB | PCC | 色 |
|--------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----------|
| 初期ひび割れ | | | — |
| $N_{cr} / 2 = 135\text{kN}$ 1サイクル | | $N_{cr} / 2 = 97\text{kN}$ 1サイクル | — |
| $N_{cr} = 271\text{kN}$ 1サイクル | | $N_{cr} = 195\text{kN}$ 1サイクル | — |
| $2N_{cr} = 541\text{kN}$ 1サイクル | | $2N_{cr} = 390\text{kN}$ 1サイクル | — |
| 0.25mm 1サイクル | | | — |
| 0.5mm 1サイクル | | | — |
| 0.75mm 1サイクル | | | — |
| 1.0mm 1サイクル | | | — |
| 1.5mm 1サイクル | | | — |
| 2.0mm 1サイクル | | | - - - - - |
| 3.0mm 1サイクル | | | - - - - - |
| 4.0mm 1サイクル | | | — |
| 4.0mm以降 1サイクル | | | — |

表 3.1.11 計測リスト

| CH | 番号 | 単位 | 位置 | 計測器 | 係数 | No |
|----|----|----|---------|--------|--------|----|
| 0 | 軸力 | kN | 鉛直ジャッキ | | 1 | 1 |
| 2 | I1 | mm | 梁 Z | CDP100 | 0.01 | 2 |
| 3 | I2 | mm | 梁 Z | CDP100 | 0.01 | 3 |
| 4 | I3 | mm | 梁 Z | CDP100 | 0.01 | 4 |
| 5 | I4 | mm | 梁 Z | CDP100 | 0.01 | 5 |
| 6 | J1 | mm | 梁 Y | CDP100 | 0.01 | 6 |
| 7 | J2 | mm | 梁 Y | CDP100 | 0.01 | 7 |
| 8 | J3 | mm | 梁 Y | CDP50 | 0.005 | 8 |
| 9 | J4 | mm | 梁 Y | CDP50 | 0.005 | 9 |
| 10 | K1 | mm | 梁 X | CDP100 | 0.01 | 10 |
| 11 | K2 | mm | 梁 X | CDP100 | 0.01 | 11 |
| 12 | K3 | mm | 梁 X | CDP50 | 0.005 | 12 |
| 13 | K4 | mm | 梁 X | CDP50 | 0.005 | 13 |
| 14 | L1 | mm | 杭 Y | CDP10 | 0.001 | 14 |
| 15 | L2 | mm | 杭 X | CDP10 | 0.001 | 15 |
| 17 | M1 | mm | 杭頭接合部 Z | CDP10 | 0.001 | 16 |
| 18 | M2 | mm | 杭頭接合部 Z | CDP10 | 0.001 | 17 |
| 19 | M3 | mm | 杭頭接合部 Z | CDP10 | 0.001 | 18 |
| 20 | N1 | mm | 杭頭接合部 Y | CDP25 | 0.002 | 19 |
| 21 | N2 | mm | 杭頭接合部 Y | CDP25 | 0.002 | 20 |
| 22 | P1 | mm | 杭頭接合部 X | CDP25 | 0.002 | 21 |
| 23 | P2 | mm | 杭頭接合部 X | CDP25 | 0.002 | 22 |
| 24 | Q1 | mm | 柱杭間 | CDP50 | 0.005 | 23 |
| 25 | Q2 | mm | 柱杭間 | CDP50 | 0.005 | 24 |
| 27 | A1 | μ | 梁 X | | 2/2.07 | 25 |

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
第3章 柱を除去した水平二方向偏心を有する杭頭接合部の構造性能に関する研究

| | | | | | |
|----|-----|-------|-----|--------|----|
| 28 | A2 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 26 |
| 29 | A3 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 27 |
| 30 | A4 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 28 |
| 31 | A5 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 29 |
| 32 | A6 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 30 |
| 33 | A7 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 31 |
| 34 | A8 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 32 |
| 35 | A9 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 33 |
| 36 | A10 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 34 |
| 37 | A11 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 35 |
| 38 | A12 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 36 |
| 39 | A13 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 37 |
| 40 | A14 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 38 |
| 41 | A15 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 39 |
| 42 | A16 | μ | 梁 X | 2/2.07 | 40 |
| 43 | A17 | μ | 梁 X | 2/2.11 | 41 |
| 44 | A18 | μ | 梁 X | 2/2.11 | 42 |
| 46 | B1 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 43 |
| 47 | B2 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 44 |
| 48 | B3 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 45 |
| 49 | B4 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 46 |
| 50 | B5 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 47 |
| 51 | B6 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 48 |
| 52 | B7 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 49 |
| 53 | B8 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 50 |
| 54 | B9 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 51 |
| 55 | B10 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 52 |
| 56 | B11 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 53 |
| 57 | B12 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 54 |

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
 第3章 柱を除去した水平二方向偏心を有する杭頭接合部の構造性能に関する研究

| | | | | | |
|----|-----|-------|-------|--------|----|
| 58 | B13 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 55 |
| 59 | B14 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 56 |
| 60 | B15 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 57 |
| 61 | B16 | μ | 梁 Y | 2/2.07 | 58 |
| 62 | B17 | μ | 梁 Y | 2/2.11 | 59 |
| 63 | B18 | μ | 梁 Y | 2/2.11 | 60 |
| 65 | C1 | μ | 柱 | 2/2.07 | 61 |
| 66 | C2 | μ | 柱 | 2/2.07 | 62 |
| 67 | C3 | μ | 柱 | 2/2.07 | 63 |
| 68 | C4 | μ | 柱 | 2/2.07 | 64 |
| 69 | C5 | μ | 柱 | 2/2.07 | 65 |
| 70 | C6 | μ | 柱 | 2/2.07 | 66 |
| 71 | C7 | μ | 柱 | 2/2.07 | 67 |
| 72 | C8 | μ | 柱 | 2/2.07 | 68 |
| 73 | D1 | μ | 杭 | 2/2.07 | 69 |
| 74 | D2 | μ | 杭 | 2/2.07 | 70 |
| 75 | D3 | μ | 杭 | 2/2.07 | 71 |
| 90 | D4 | μ | 杭 | 2/2.07 | 72 |
| 77 | G1 | μ | 杭頭接合部 | 2/2.11 | 73 |
| 94 | G2 | μ | 杭頭接合部 | 2/2.11 | 74 |
| 79 | G3 | μ | 杭頭接合部 | 2/2.11 | 75 |
| 80 | G4 | μ | 杭頭接合部 | 2/2.11 | 76 |
| 92 | H1 | μ | 杭頭接合部 | 2/2.11 | 77 |
| 82 | H2 | μ | 杭頭接合部 | 2/2.11 | 78 |
| 83 | H3 | μ | 杭頭接合部 | 2/2.11 | 79 |
| 84 | H4 | μ | 杭頭接合部 | 2/2.11 | 80 |

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
第3章 柱を除去した水平二方向偏心を有する杭頭接合部の構造性能に関する研究

| | | | | | |
|----|----|-------|-------|--------|----|
| 85 | H5 | μ | 杭頭接合部 | 2/2.11 | 81 |
| 93 | H6 | μ | 杭頭接合部 | 2/2.11 | 82 |

3.2 実験結果

3.2.1 破壊性状

各試験体における2視点の最終損傷状況を図3.2.1～3.2.6にそれぞれ示す。

(1) 標準試験体 PCA

$N=271\text{kN}$ の荷重サイクルでは、Y軸方向の外側基礎梁と杭頭接合部の境界において曲げひび割れの発生が確認された。

$N=541\text{kN}$ の荷重サイクルでは、X軸方向の外側基礎梁および杭頭接合部との境界において曲げひび割れの発生が認められた。また、Y軸方向の内側柱付け根と両方向の基礎梁に曲げひび割れの発生が確認された。

$\delta=0.25\text{mm}$ の荷重サイクルでは、両方向の柱端部から杭頭接合部にかけてひび割れの発生が確認された。また、Y軸方向の杭頭接合部にひび割れの発生、両方向の基礎梁に新たな曲げひび割れの発生および伸展が生じた。

$\delta=0.50\text{mm}$ の荷重サイクルでは、両方向の基礎梁に新たな曲げひび割れの発生および伸展がみられた。

$\delta=0.75\text{mm}$ の荷重サイクルでは、両方向の基礎梁に圧縮ひび割れの発生が確認された。また、X軸方向の杭頭接合部にひび割れの発生が確認された。

$\delta=1.00\text{mm}$ の荷重サイクルでは、杭に圧縮ひび割れの発生が確認された。

$\delta=1.50\text{mm}$ の荷重サイクルでは、柱隅角部の圧縮ひび割れの発生が確認された。また、両方向の基礎梁上端と柱隅角部および杭内側の圧壊がみられた。加えて、杭頭接合部のひび割れの拡幅が確認された。

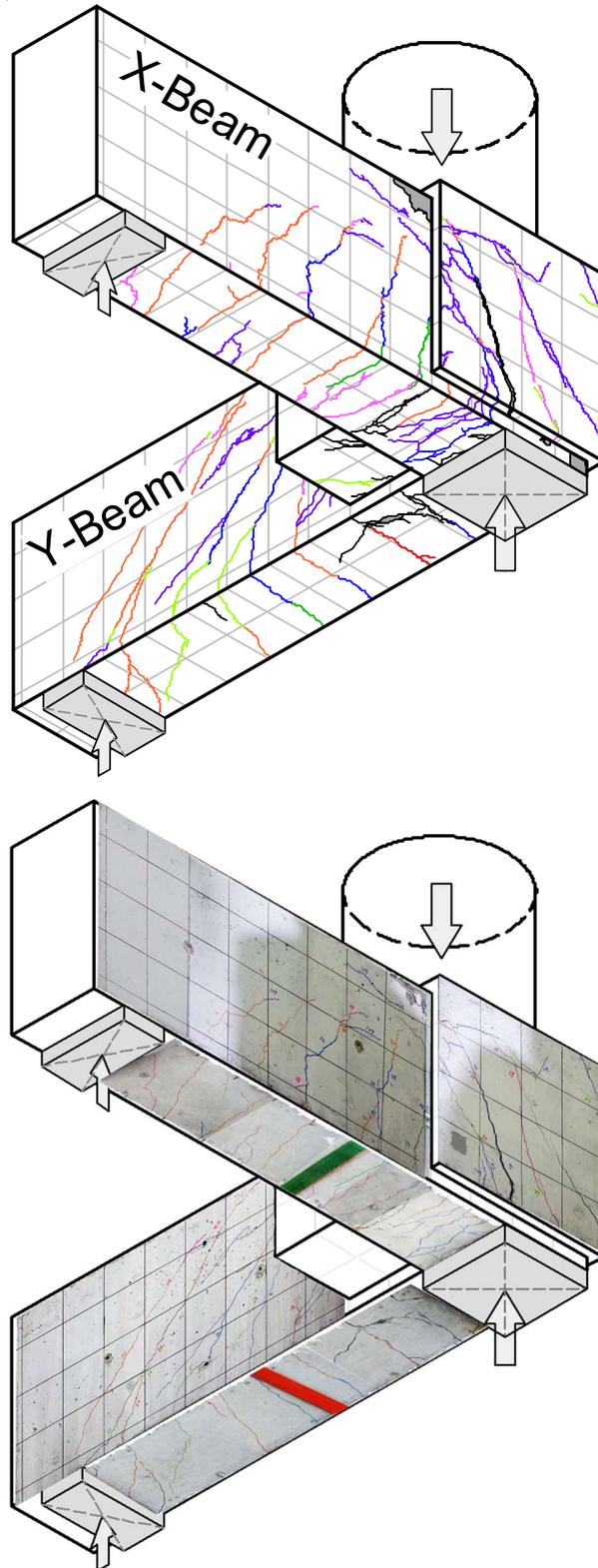


図 3.2.1 試験体 PCA 最終損傷状況一視点①

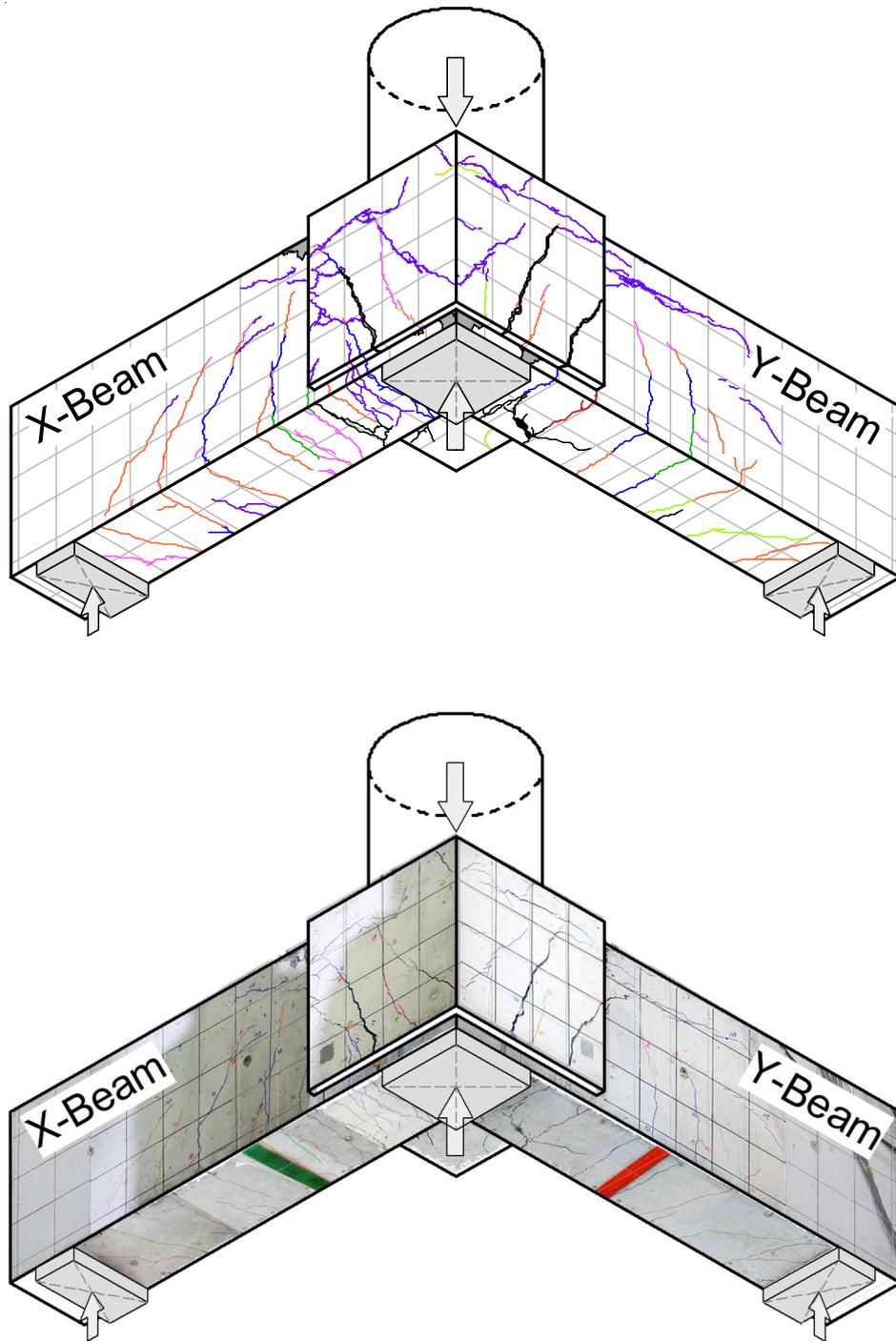


図 3.2.2 試験体 PCA 最終損傷状況—視点②

(2) 梁主筋低強度試験体 PCB

$N=541\text{kN}$ の荷重サイクルでは、Y 軸方向の柱端部から杭頭接合部にかけてひび割れの発生が確認された。また、両方向の基礎梁および杭頭接合部との境界に曲げひび割れの発生が確認された。

$\delta=0.25\text{mm}$ の荷重サイクルでは、両方向の基礎梁に新たな曲げひび割れの発生および伸展がみられた。

$\delta=0.50\text{mm}$ の荷重サイクルでは、両方向の杭頭接合部にひび割れの発生が確認された。また、両方向の基礎梁に新たな曲げひび割れの発生および伸展が認められた。

$\delta=0.75\text{mm}$ の荷重サイクルでは、Y 軸方向の内側基礎梁に曲げせん断ひび割れの発生が確認された。

$\delta=1.00\text{mm}$ の荷重サイクルでは、Y 軸方向の外側基礎梁に付着割裂ひび割れの発生が確認された。

$\delta=1.50\text{mm}$ の荷重サイクルでは、X 軸方向の柱端部から杭頭接合部にかけてひび割れの発生が確認された。また、Y 軸方向の外側基礎梁上端に圧縮ひび割れの発生が確認された。

$\delta=2.00\text{mm}$ の荷重サイクルでは、X 軸方向の柱隅角部に圧壊ひび割れの発生およびコンクリートの剥離がみられた。

$\delta=3.00\text{mm}$ の荷重サイクルでは、両方向の基礎梁および杭頭接合部の上端で圧壊が確認された。

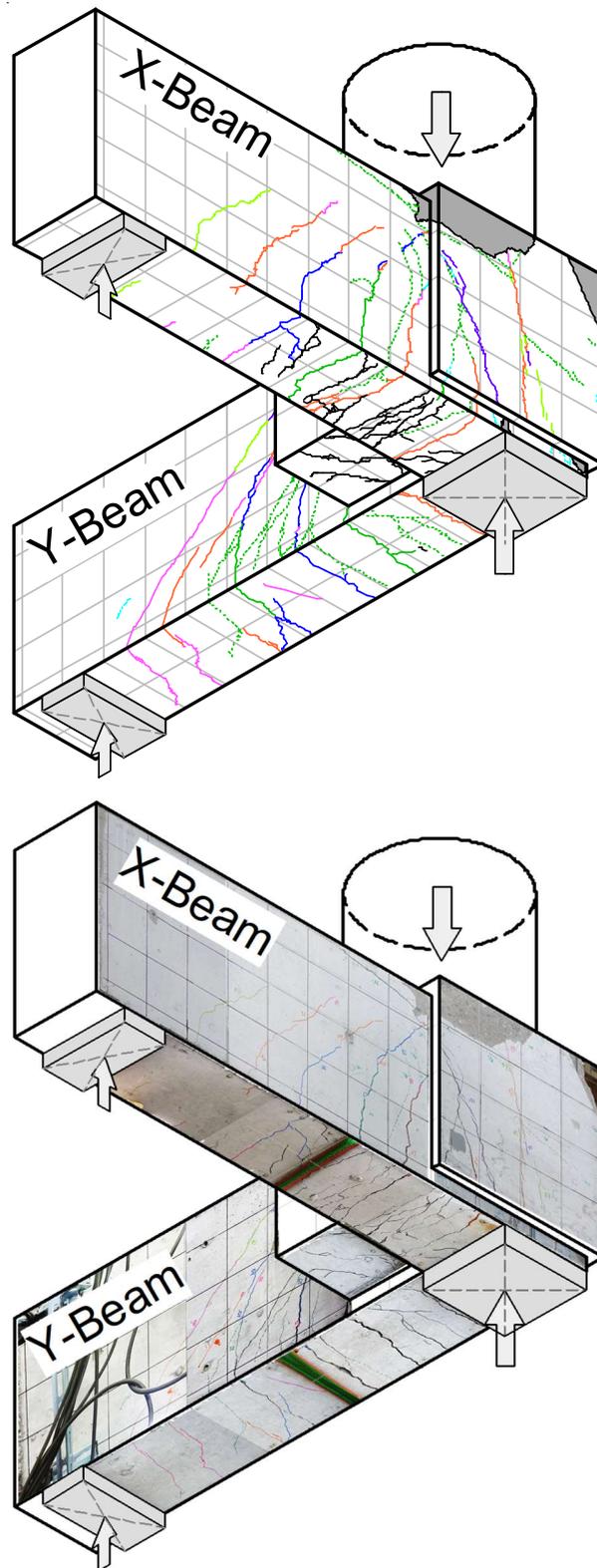


図 3.2.3 試験体 PCB 最終損傷状況一視点①

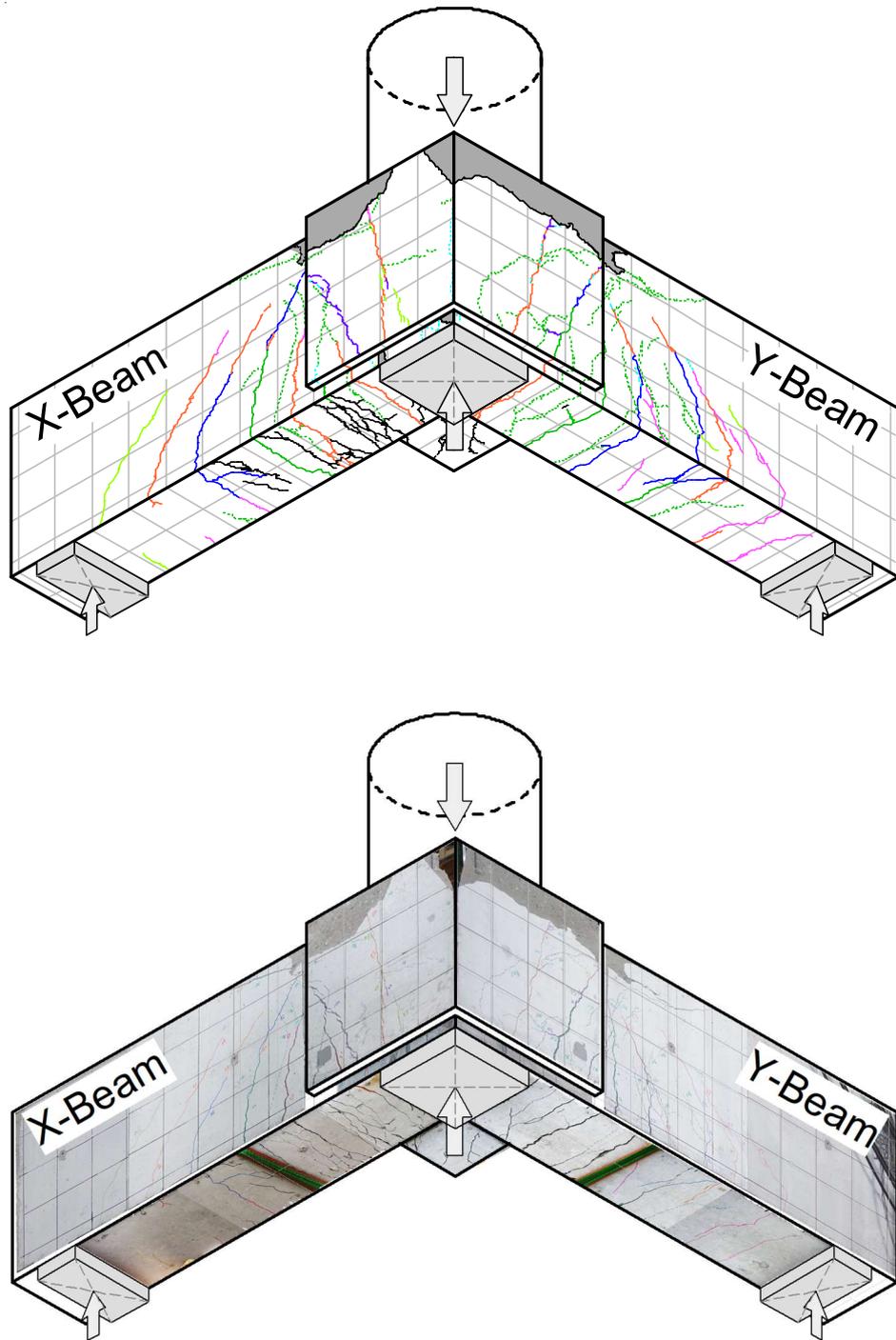


図 3.2.4 試験体 PCB 最終損傷状況—視点②

(3) 柱支点偏心試験体 PCC

$N=195\text{kN}$ の荷重サイクルでは、Y 軸方向の外側基礎梁と杭頭接合部の境界において曲げひび割れの発生が確認された。

$N=390\text{kN}$ の荷重サイクルでは、X 軸方向の外側基礎梁と杭頭接合部の境界および両方向の基礎梁に曲げひび割れの発生が確認された。また、Y 軸方向の柱端部から杭頭接合部にかけてひび割れの発生が確認された。

$\delta=0.25\text{mm}$ の荷重サイクルでは、X 軸方向の柱端部から杭頭接合部にかけてひび割れの発生が確認された。また、両方向の基礎梁に新たな曲げひび割れの発生および伸展が確認された。

$\delta=0.50\text{mm}$ の荷重サイクルでは、杭頭接合部のひび割れの伸展の発生が確認された。また、両方向の基礎梁に新たな曲げひび割れの発生および伸展が確認された。

$\delta=0.75\text{mm}$ の荷重サイクルでは、X 軸方向の柱隅角部に圧縮ひび割れの発生が確認された。また、X 軸方向の外側杭下部と両方向の柱隅角部から杭頭接合部に向けてひび割れの発生が確認された。

$\delta=1.00\text{mm}$ の荷重サイクルでは、Y 軸方向の柱隅角部に圧縮ひび割れの発生が確認された。また、両方向の柱隅角部から杭頭接合部に向けての新たなひび割れの発生および伸展が確認された。

$\delta=1.50\text{mm}$ の荷重サイクルでは、X 軸方向の杭頭接合部中央に縦ひび割れの発生が確認された。また、柱コンクリートの剥離が確認された。

$\delta=2.00\text{mm}$ の荷重サイクルでは、Y 軸方向の柱コンクリートの剥離が確認された。

$\delta=5.00\text{mm}$ 以降の荷重サイクルでは、X 軸方向の杭頭接合部上端の剥離および両方向の杭頭接合部の圧壊が確認された。また、柱主筋の座屈が確認された。

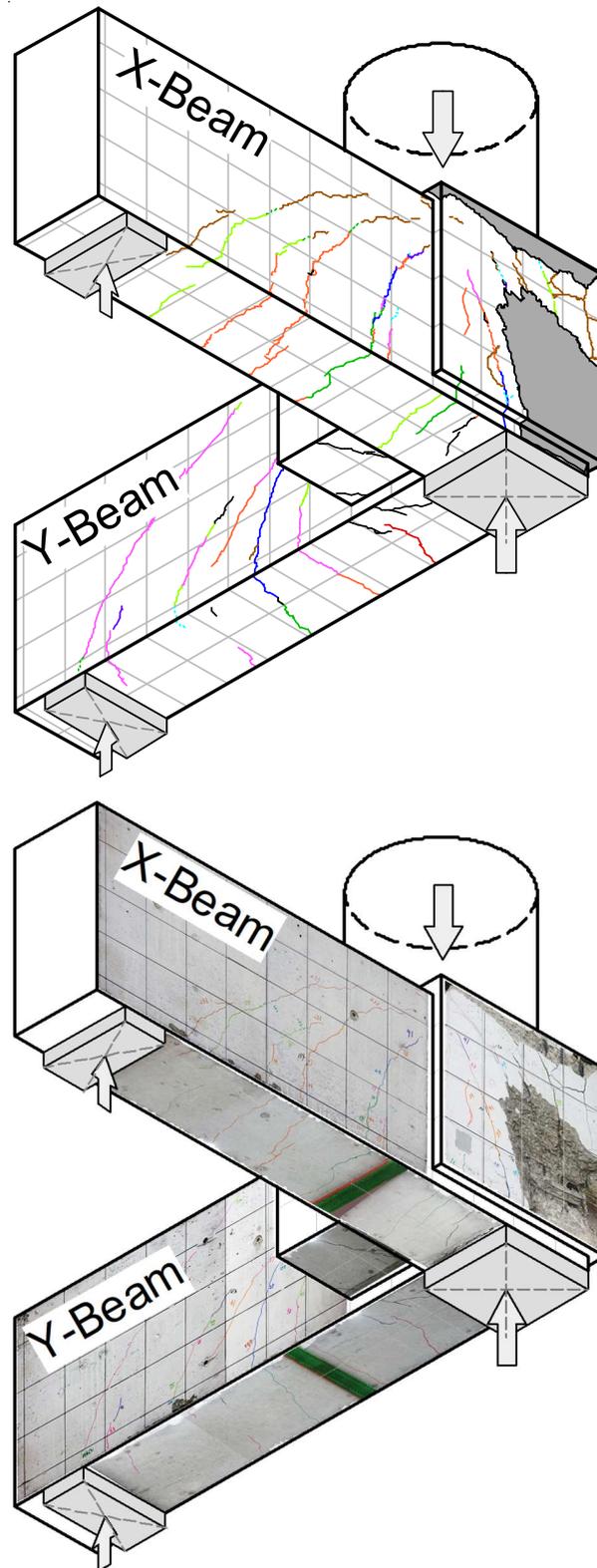


図 3.2.5 試験体 PCC 最終損傷状況一視点①

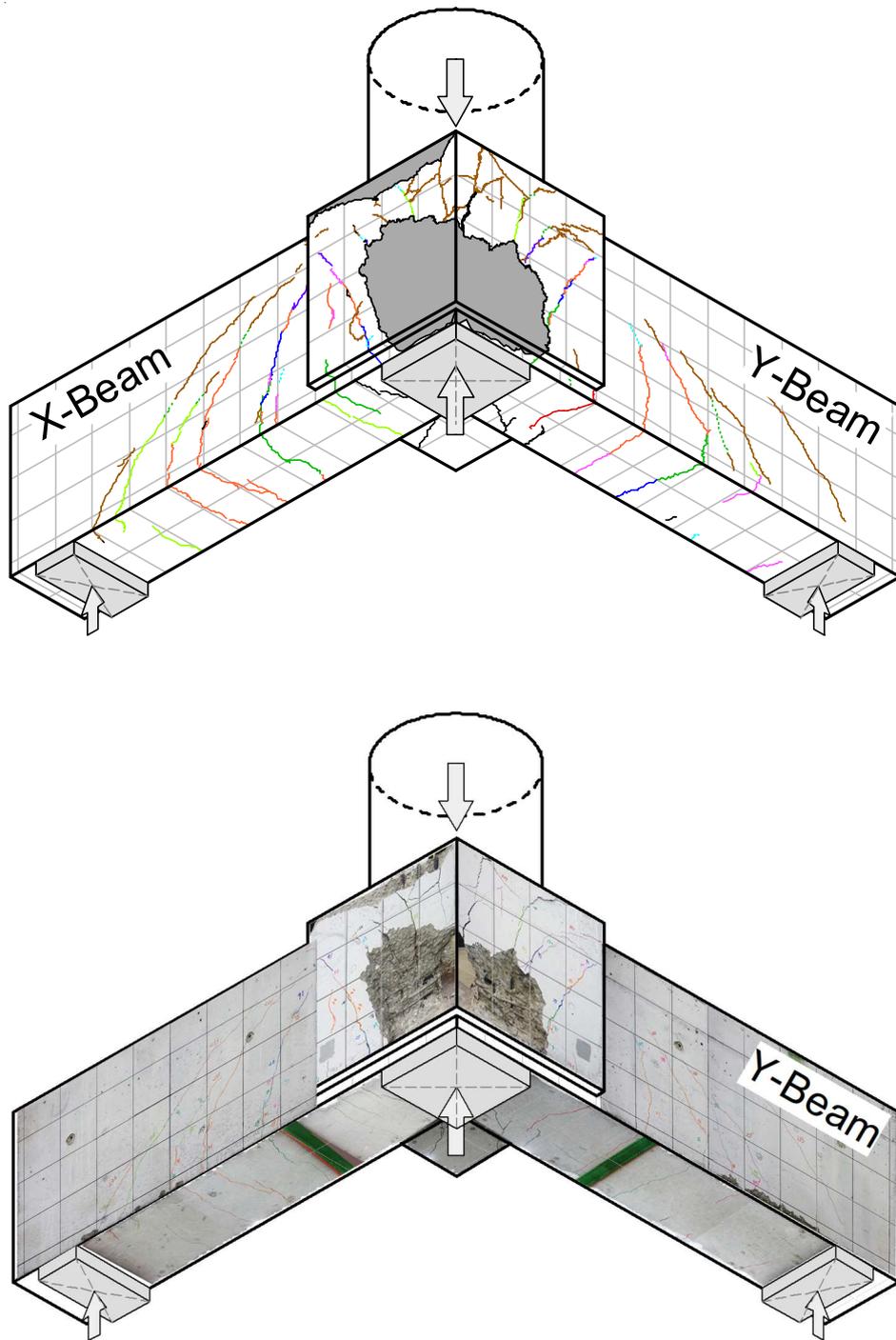


図 3.2.6 試験体 PCC 最終損傷状況－視点②

3.2.2 荷重－変位関係

図3.2.7に各試験体における荷重－変位関係を示す。同図中には基礎梁の曲げひび割れの発生点を▽、柱主筋の降伏を◇、杭頭接合部袴筋の降伏を□、基礎梁主筋の降伏を△、最大耐力を○で併せて示す。

(1) 標準試験体 PCA

$\delta=1.00\text{mm}$ の荷重サイクルでは、柱主筋の降伏が確認された。

$\delta=1.50\text{mm}$ の荷重サイクルでは、杭頭接合部上端筋と基礎梁主筋の降伏が確認された。また、最大耐力 $N_{max}=1,944\text{kN}$ が記録された。

(2) 梁主筋低強度試験体 PCB

$\delta=0.75\text{mm}$ の荷重サイクルでは、基礎梁主筋の降伏が確認された。

$\delta=1.50\text{mm}$ の荷重サイクルでは、柱主筋の降伏が確認された。

$\delta=3.00\text{mm}$ の荷重サイクルで最大耐力 $N_{max}=1,657\text{kN}$ が記録された。

(3) 柱支点偏心試験体 PCC

$\delta=1.00\text{mm}$ の荷重サイクルでは、杭頭接合部上端筋の降伏が確認された。

$\delta=1.50\text{mm}$ の荷重サイクルでは、柱主筋の降伏が確認された。

$\delta=4.00\text{mm}$ 以降の荷重で最大耐力 $N_{max}=1,084\text{kN}$ が記録された。

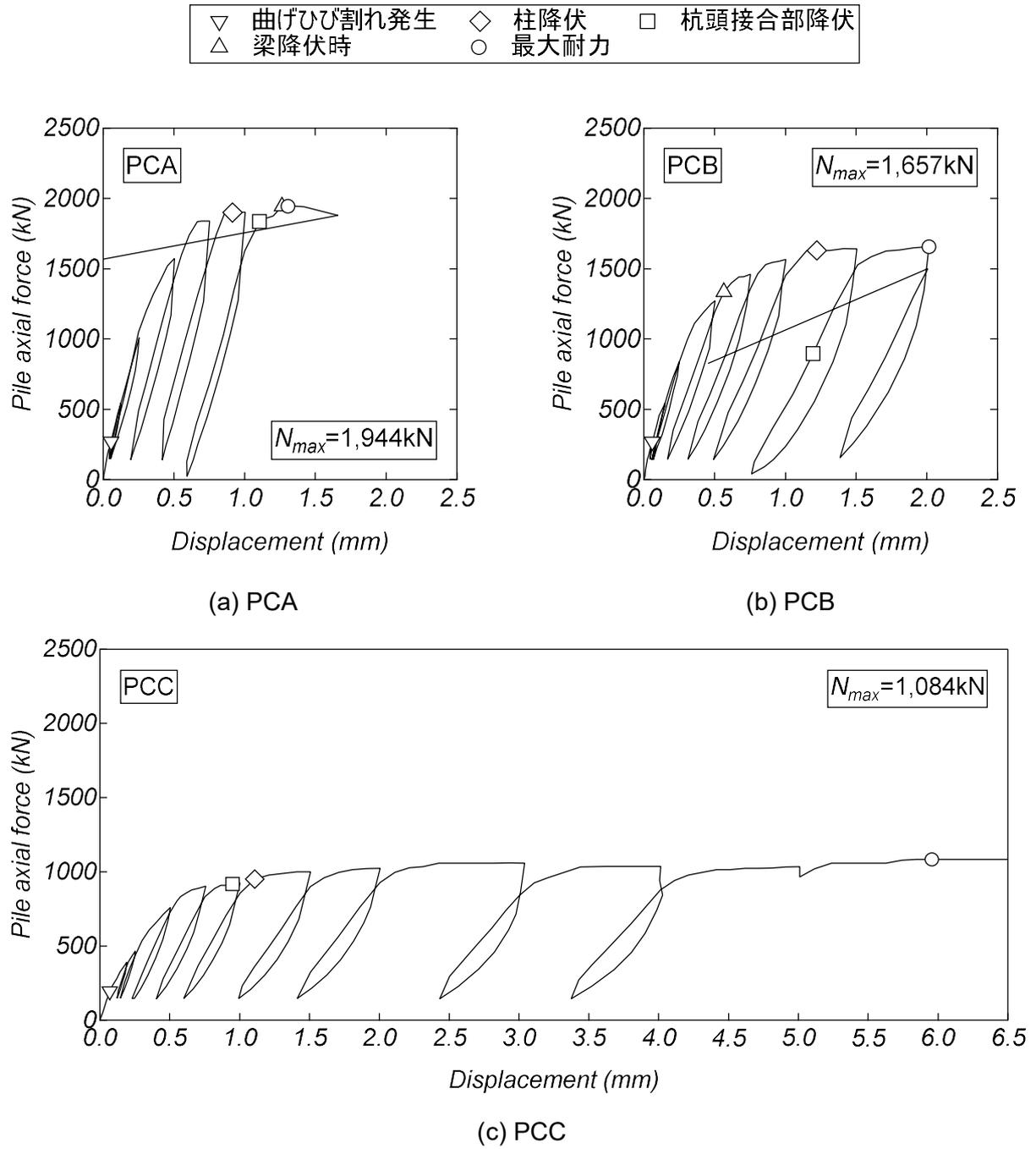


図 3.2.7 各試験体の荷重—変位関係

3.2.3 変形性状（変形角の算出方法）

図 3.2.8 に変形角の算出に用いた変位計の位置を、図 3.2.9 に各部材の変形角を示す。同図の点線は変形前、黒の実線は変形後、灰色の実線は変形に伴うフレームの移動を示している。

各部材の変位角は試験体に取り付けた変位計の計測値を基に算出した。なお、変形角 θ は十分に小さいため、 $\cos\theta=0$ 、 $\theta=\tan\theta=\sin\theta$ とした。また、変形に伴う基礎梁端部の支点移動は十分に小さいものと仮定した。杭頭接合部は球座（柱支点）の中心、基礎梁はローラー支点位置、杭は杭頭接合部との境界における杭芯位置を回転の中心とした。

フレームの変形角 θ_F は基礎梁端部に設けた変位計 I_{bl} の計測値を基礎梁スパン $1,000/\sqrt{2}$ mm で除した値と考えられる。杭の変形角 θ_P は杭と杭頭接合部に設けた変位計 I_p 、 I_{pc} の計測値の差を変位計間距離 200mm で除した値とした。杭頭接合部の変形角 θ_{PC} はフレームの変形角 θ_F から杭の変形角 θ_P を引くことで求められる。

基礎梁中部に設けた変位計 I_{b2} の計測値は杭の変形による変位量 δ_P と基礎梁の変形による変位量 δ_B の合計値と考えられる。基礎梁端部では基礎梁の変形による変位が生じないと考えられるため、変位計 I_{bl} の計測値を 1/2 倍した値を基礎梁中部の杭の変形による変位量 δ_P とした。基礎梁の変形角 θ_B は中部の基礎梁の変形による変位量 δ_B を梁端部までの距離 $500/\sqrt{2}$ mm で除した値とした。各部材の変形角は以下の式より与えられる。

$$\theta_F = \frac{\{(I_{blx}), (I_{bly})\}_{ave}}{1000/\sqrt{2}} \quad (3.2.1)$$

$$\theta_P = \frac{\sqrt{(I_{px})^2 + (I_{py})^2} - \sqrt{(I_{pcx})^2 + (I_{pcy})^2}}{200} \quad (3.2.2)$$

$$\theta_{PC} = \theta_F - \theta_P \quad (3.2.3)$$

$$\theta_B = \frac{\delta_B}{500/\sqrt{2}} = \frac{\{(I_{b2x}), (I_{b2y})\}_{ave} - \delta_P}{500/\sqrt{2}} = \frac{\{(I_{b2x}), (I_{b2y})\}_{ave} - \{(I_{blx}), (I_{bly})\}_{ave}/2}{500/\sqrt{2}} \quad (3.2.4)$$

記号

θ_P : 杭の変形角

θ_{PC} : 杭頭接合部の変形角

θ_J : 鉛直オイルジャッキの変形角

δ_P : 基礎梁中部における杭の変形による変位量

δ_B : 基礎梁中部における基礎梁の変形による変位量

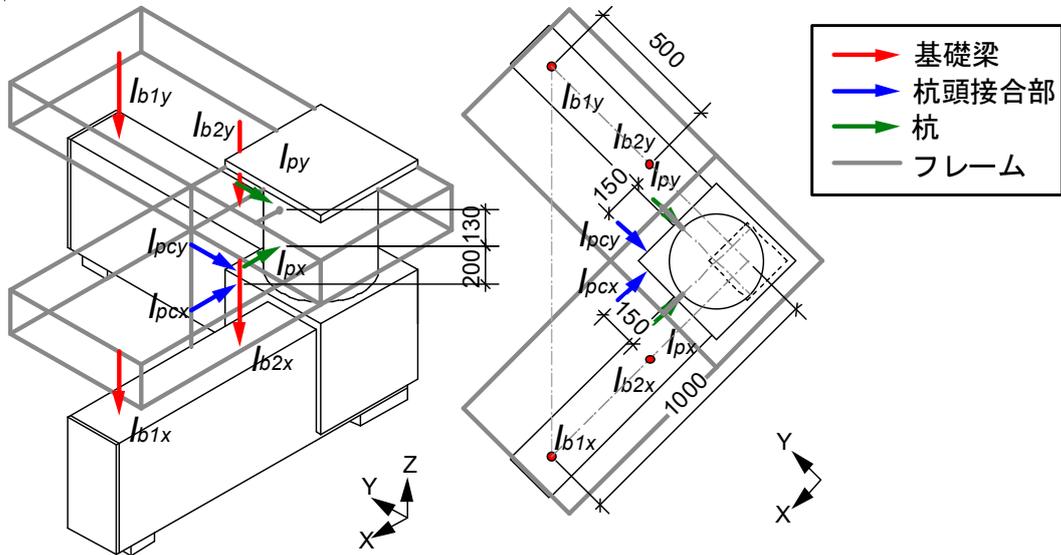


図 3.2.8 変位計の位置

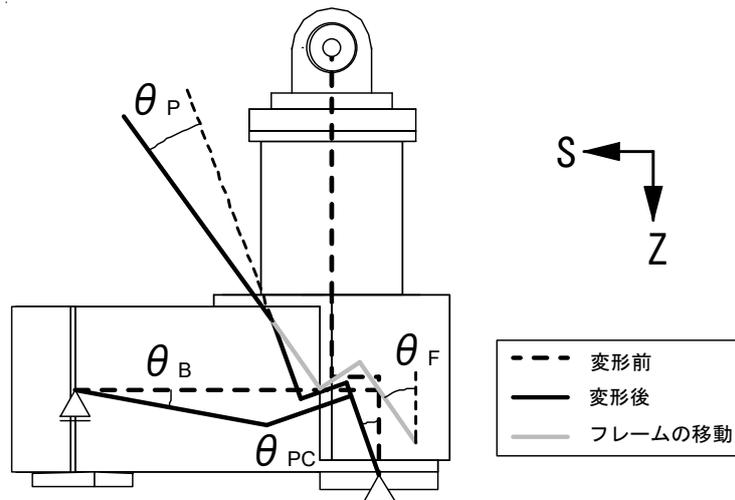


図 3.2.9 各部材の変形角

3.2.4 変形性状（変形状態と杭軸力一部材角関係）

図 3.2.11, 3.2.13, 3.2.15 に各試験体における最大耐力時の変形状態を示す。同図の変形は各部材の変形角を 10 倍にして表現した。また、基礎梁と杭頭接合部の境界付近の変形状態は実験で観測された主要なひび割れを基に作成した。

図 3.2.12, 3.2.14, 3.2.16 に各試験体の杭軸力と柱杭間の部材角 R の関係を示す。同図中には基礎梁の曲げひび割れの発生点を▽、柱主筋の降伏を◇、杭頭接合部褥筋の降伏を□、基礎梁主筋の降伏を△、最大耐力を○で併せて示す。柱杭間の部材角 R は図 3.2.10 に示す載荷点の水平変位 δ_S を求め、これを載荷点から柱支点までの距離 1,030mm で除した値とした。式 (3.2.5) に載荷点の水平変位 δ_S 、式(3.2.6)に柱杭間の部材角 R の算定式を示す。

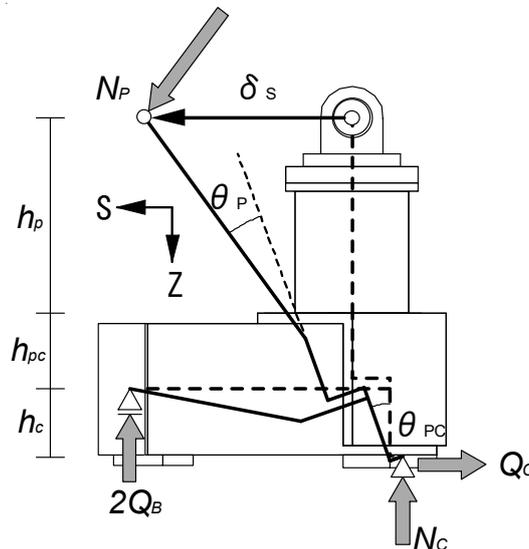


図 3.2.10 載荷点の水平変位

$$\delta_S = (h_p + h_{pc} + h_c) \theta_{PC} + h_p \theta_P \quad (3.2.5)$$

$$R = \delta_S / (h_p + h_{pc} + h_c) \quad (3.2.6)$$

記号

δ_S : 載荷点の水平変位

R : 柱杭間の部材角

h_p : 載荷点から杭下端までの距離

h_{pc} : 杭下端から基礎梁中心までの距離

h_c : 基礎梁中心から柱支点までの距離

(1) 標準試験体 PCA

$R=1.25\%$ rad 付近において柱主筋の圧縮降伏および杭頭接合部上端の補強筋の引張降伏が確認された。

$R=1.50\%$ rad 付近において基礎梁主筋の引張降伏が生じた。

最大耐力は $N_{max}=1,944\text{kN}$ が記録された。

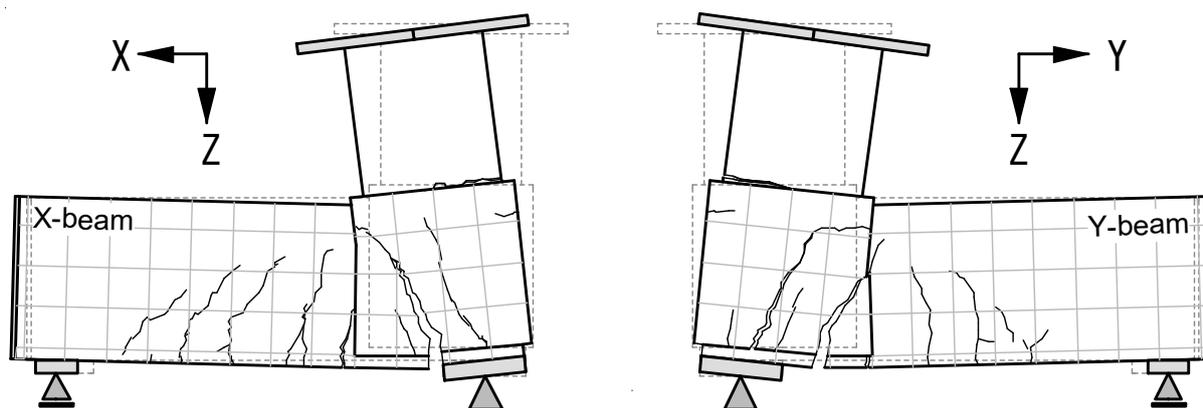


図 3.2.11 試験体 PCA の最大耐力時の変形状態

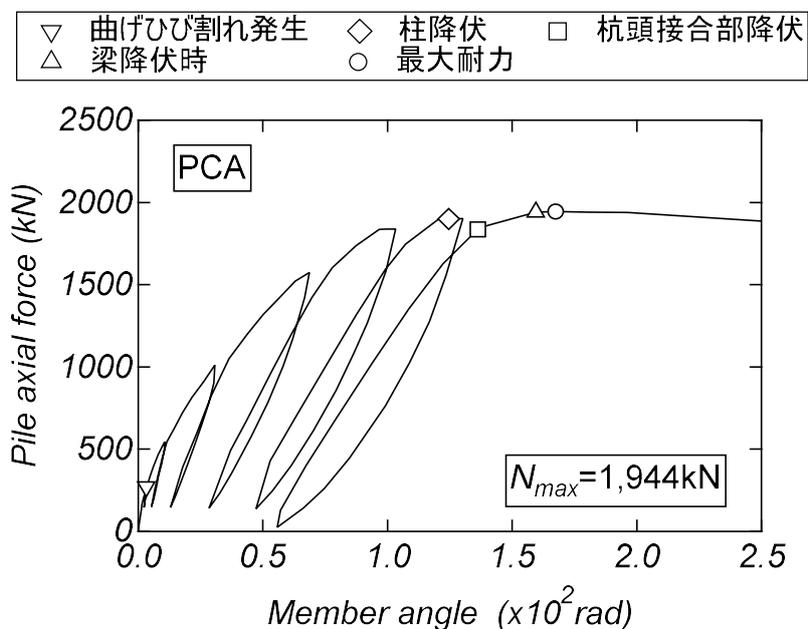


図 3.2.12 試験体 PCA の杭軸力一部材角関係

(2) 梁主筋低強度試験体 PCB

$R=0.50\%$ rad 付近において基礎梁主筋の引張降伏が確認された。

$R=0.75\%$ rad 付近において柱主筋の圧縮降伏および杭頭接合部上端における補強筋の引張降伏が生じた。

最大耐力は $N_{max}=1,657\text{kN}$ が記録された。

最大耐力は試験体 PCA のものと比べて低く、基礎梁主筋強度の差による影響が確認された。

剛性は試験体 PCA とものと比べて大きな差はみられなかった。

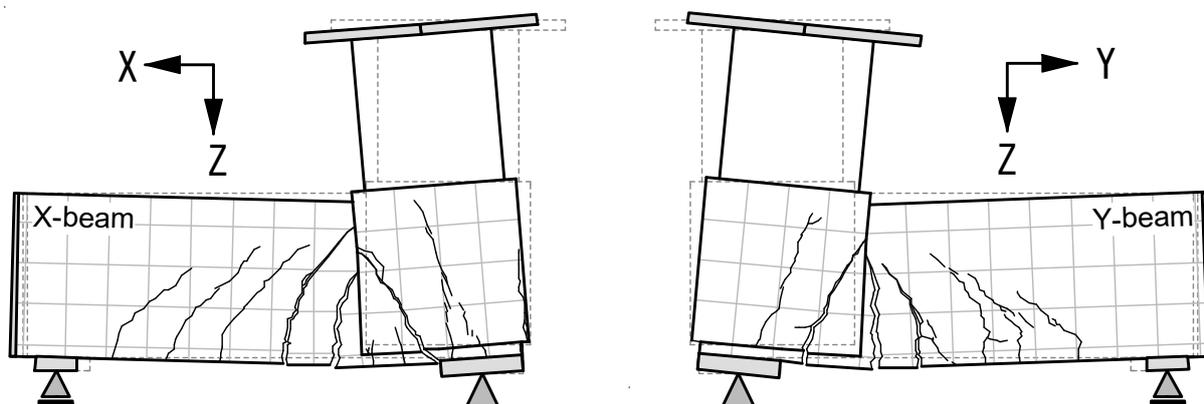


図 3.2.13 試験体 PCB の最大耐力時の変形状態

| | | |
|------------|--------|-----------|
| ▽ 曲げひび割れ発生 | ◇ 柱降伏 | □ 杭頭接合部降伏 |
| △ 梁降伏時 | ○ 最大耐力 | |

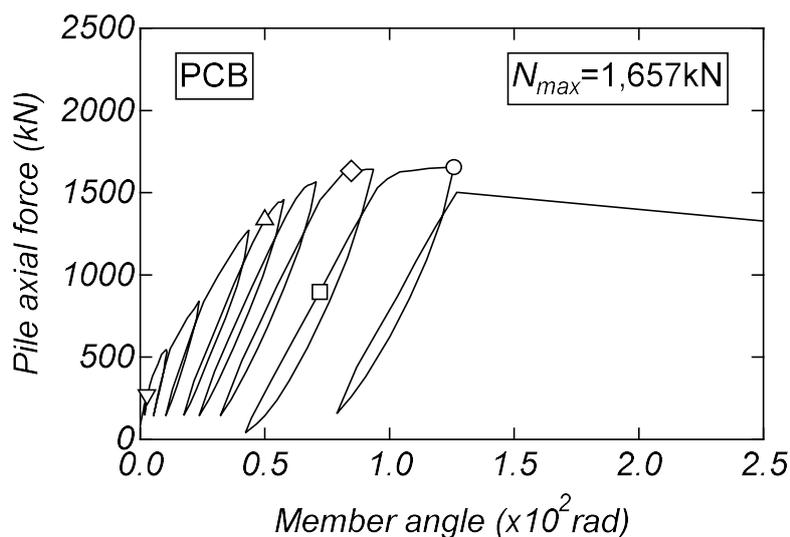


図 3.2.14 試験体 PCB の杭軸力一部材角関係

(3) 柱支点偏心試験体 PCC

$R=0.50\%$ rad 付近で杭頭接合部上端における袴筋の引張降伏と柱主筋の圧縮降伏が確認された。

最大耐力は $N_{max}=1,084\text{kN}$ が記録された。

最大耐力と剛性は試験体 PCA のものと比べて低く、柱支点を偏心させたことによる影響が確認された。

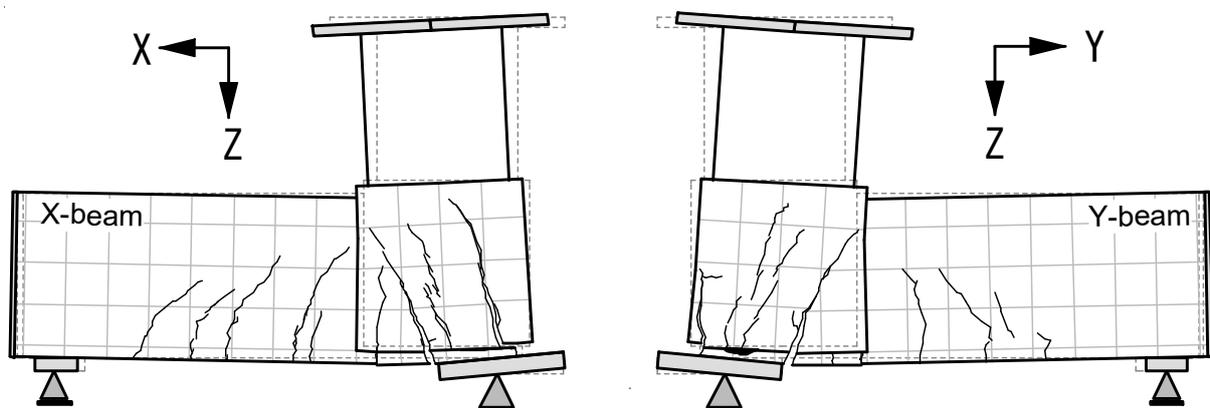


図 3.2.15 試験体 PCC の最大耐力時の変形状態

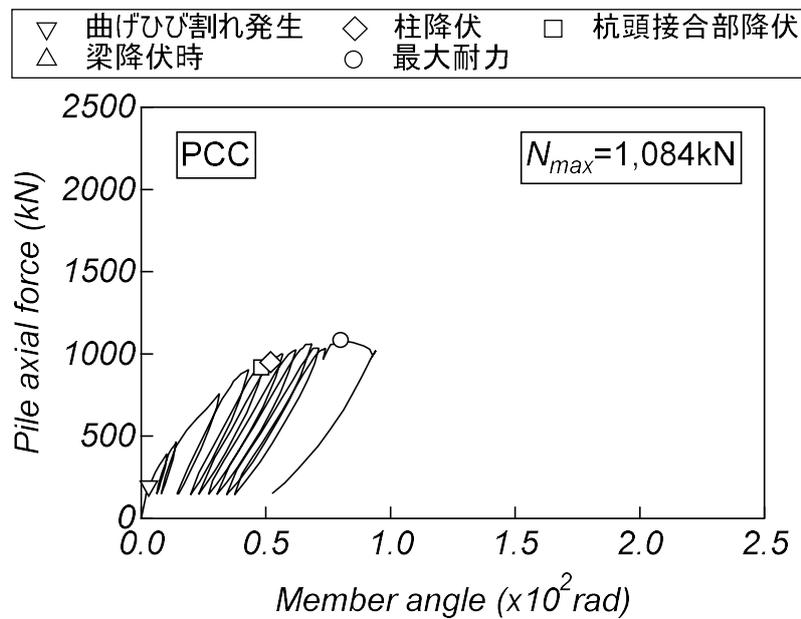


図 3.2.16 試験体 PCC の杭軸力一部材角関係

3.2.5 応力状態（基礎梁の応力分布）

各部材の鉄筋に生じた応力はひずみゲージ計測値から履歴特性を完全バイリニア型に仮定して算出した。応力分布の図中にプロットした値はサイクルのピーク時の応力であり、○は0.25mm、□は0.50mm、△は1.0mmのサイクルである。

図3.2.17にひずみの計測位置を、図3.2.18に各試験体における基礎梁の応力分布をそれぞれ示す。同図の点線は基礎梁主筋の降伏強度を表している。

すべての試験体において鉛直変位の増加に伴う応力の増加が認められた。また、杭頭接合部中心の外側における応力は他の箇所比べて応力の増加は小さい。杭頭接合部と基礎梁の境界付近における応力は他の箇所比べて高い傾向が確認された。

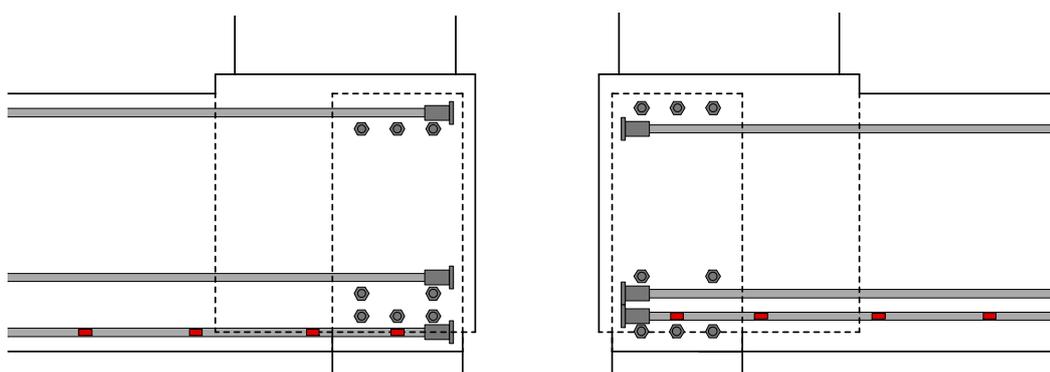
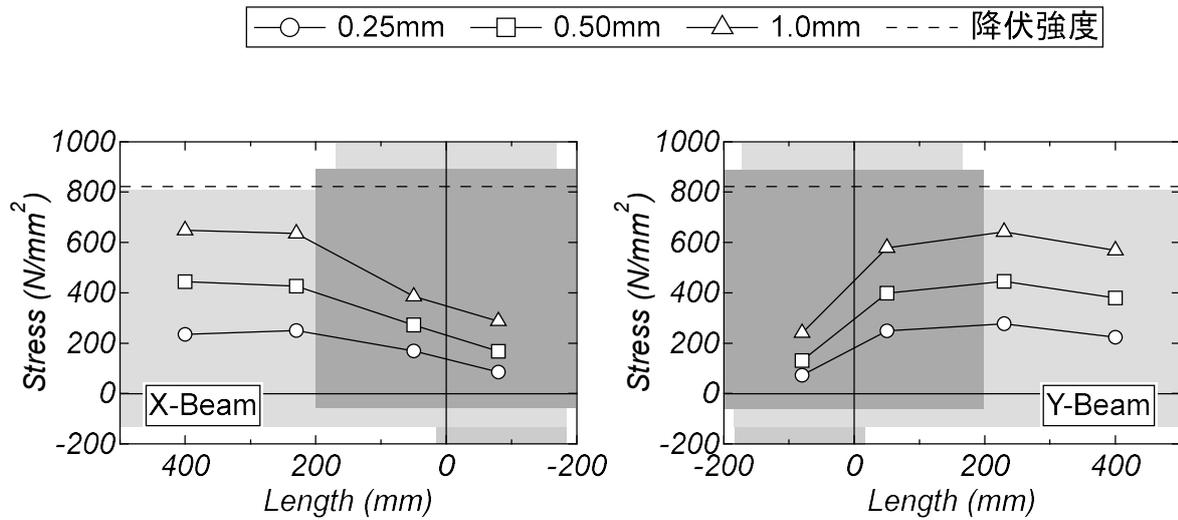
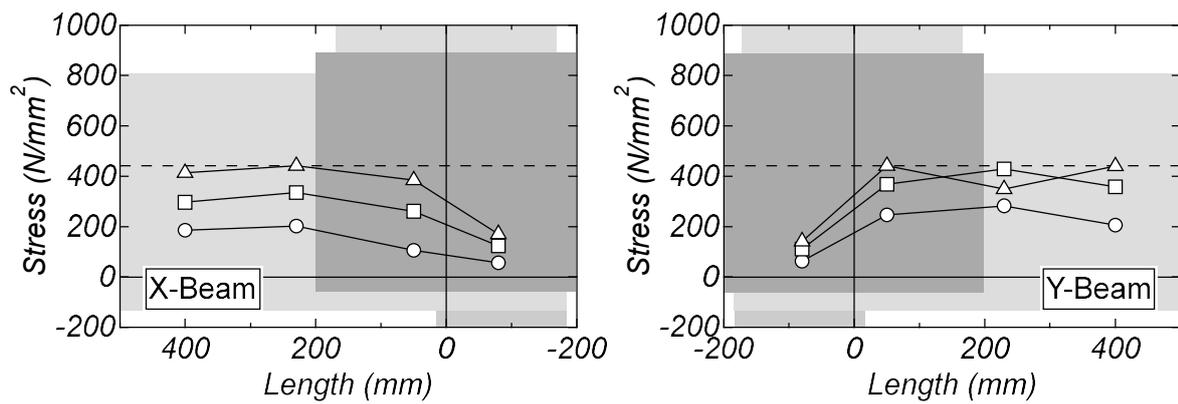


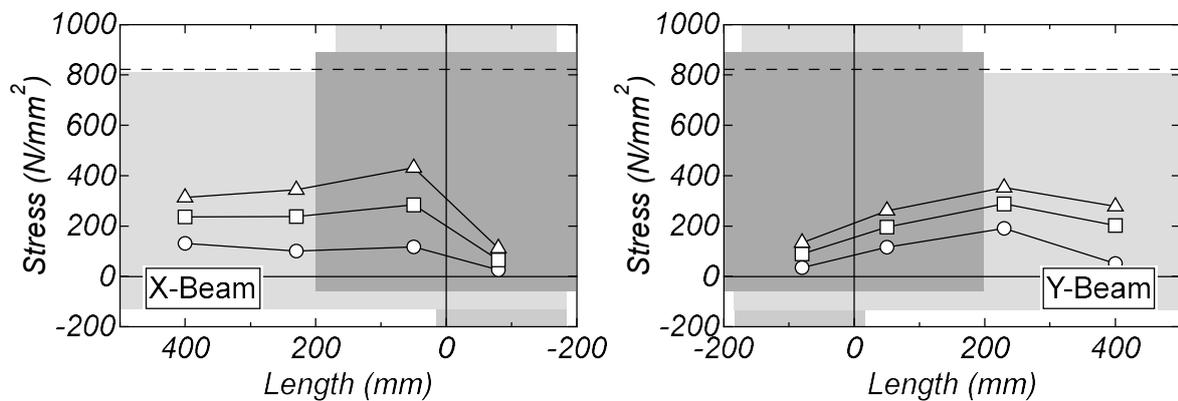
図 3.2.17 ひずみの計測位置



(a) 標準試験体 PCA



(b) 梁主筋低強度試験体 PCB



(c) 柱支点偏心試験体 PCC

図 3.2.18 基礎梁の応力分布

3.2.6 応力状態（柱の応力分布）

図 3.2.19 にひずみの計測位置および各試験体における杭頭接合部内の柱の応力分布をそれぞれ示す。同図の中心はひずみの計測位置を，左側は杭頭接合部内側の応力分布を，右側は外側の応力分布を，点線は柱主筋の降伏強度を表している。

すべての試験体において鉛直変位の増加に伴う応力の増加が認められた。また，杭頭接合部外側の圧縮応力は内側に比べて高くなる傾向が確認された。試験体 PCC では，杭頭接合部内側の柱に引張応力が生じた。

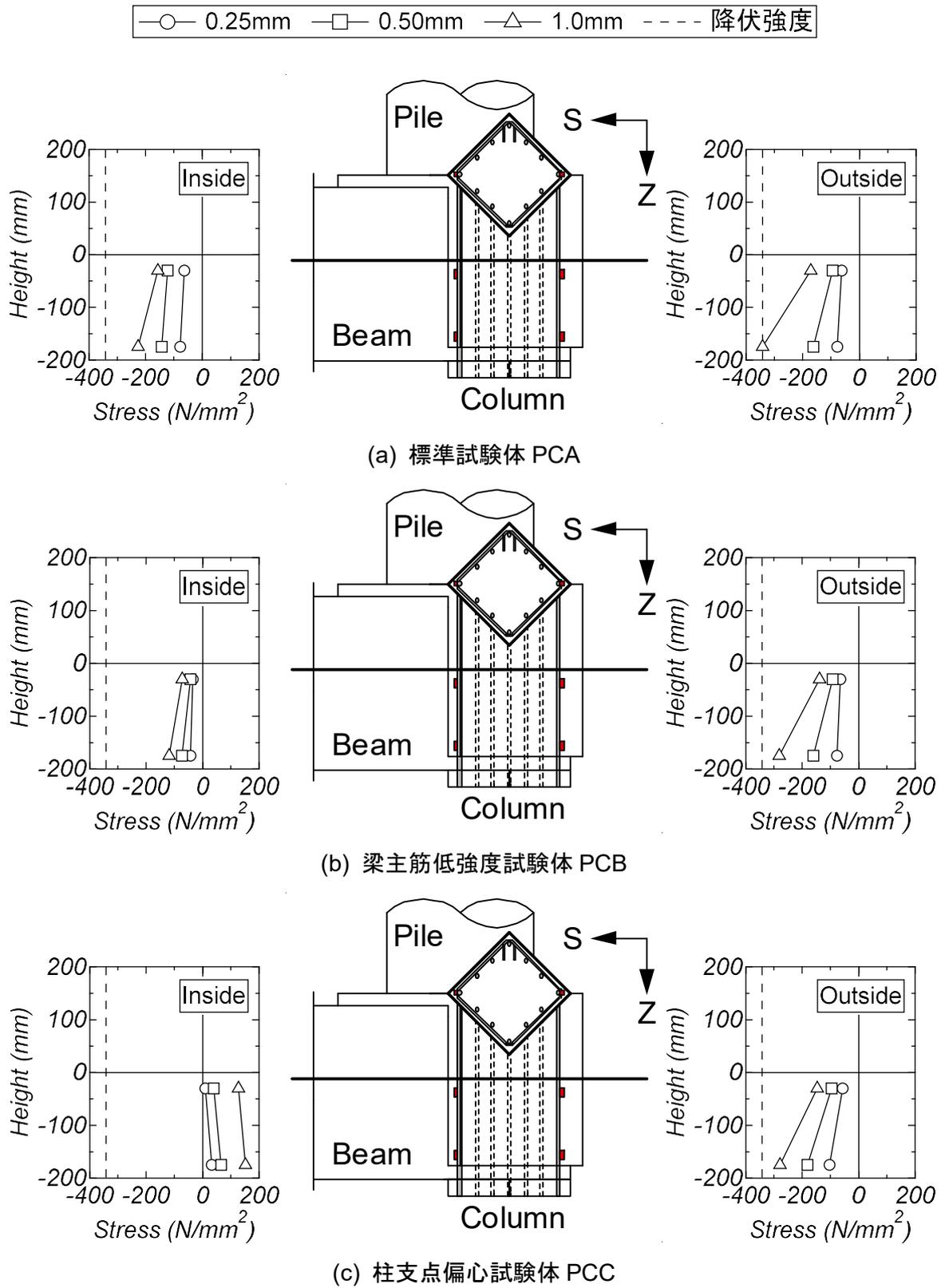


図 3.2.19 柱の応力分布

3.2.7 応力状態（杭頭接合部の応力分布および応力推移）

図 3.2.20 にひずみの計測位置および各試験体における杭頭接合部内の補強筋と基礎梁主筋の応力分布を示す。図中の左側に記載した点線は基礎梁主筋，右側に記載した点線は杭頭接合部補強筋の降伏強度を表している。

試験体 PCA における杭側および柱側の杭頭接合部では，鉛直変位の増加に伴う応力の増加が認められた。中心付近の補強筋の応力は他の箇所比べて顕著な増加は確認されなかった。

試験体 PCB と PCC における杭側の杭頭接合部では，外側袴筋以外で鉛直変位の増加に伴う応力の増加が確認された。柱側の杭頭接合部における補強筋と基礎梁主筋の応力は，杭側に比べて顕著な増加はみられなかった。

図 3.2.21 にひずみの計測位置と杭頭接合部の応力推移を示す。同図中には各サイクルのピーク時の応力を柱側の杭頭接合部は○，杭側は□でプロットしている。一点鎖線は文献 1) に示される式(3.2.7)により求めた杭頭接合部の長期許容圧縮耐力 N_{pc} (PCA, PCB: 251kN, PCC: 214kN)，点線は杭頭接合部補強筋の降伏強度である。

試験体 PCA と PCB における杭側の杭頭接合部では，杭軸力 1,000kN 付近で応力の増加が確認された。一方，試験体 PCC では顕著な応力の増加はみられなかった。柱側の杭頭接合部ではすべての試験体において長期許容圧縮耐力付近で応力の増加が生じた。RC 規準では長期荷重に対して杭側の杭頭接合部に多くの鉄筋が必要であると示されている。しかしながら，本試験体では当該鉄筋を十分に配していないにも拘らず長期許容圧縮耐力以前で応力の増加は小さい。

$$N_{pc} = 0.8f_cBD \left\{ \frac{j}{\sqrt{j^2 + (e+e')}} \right\}^2 \quad (3.2.7)$$

記号

N_{pc} : 杭頭接合部の長期許容圧縮耐力

f_c : コンクリートの長期許容圧縮応力度

BD : 柱の断面積

j : 応力中心間距離

e : 柱芯と杭芯の偏心距離

e' : 柱支点と柱芯の偏心距離

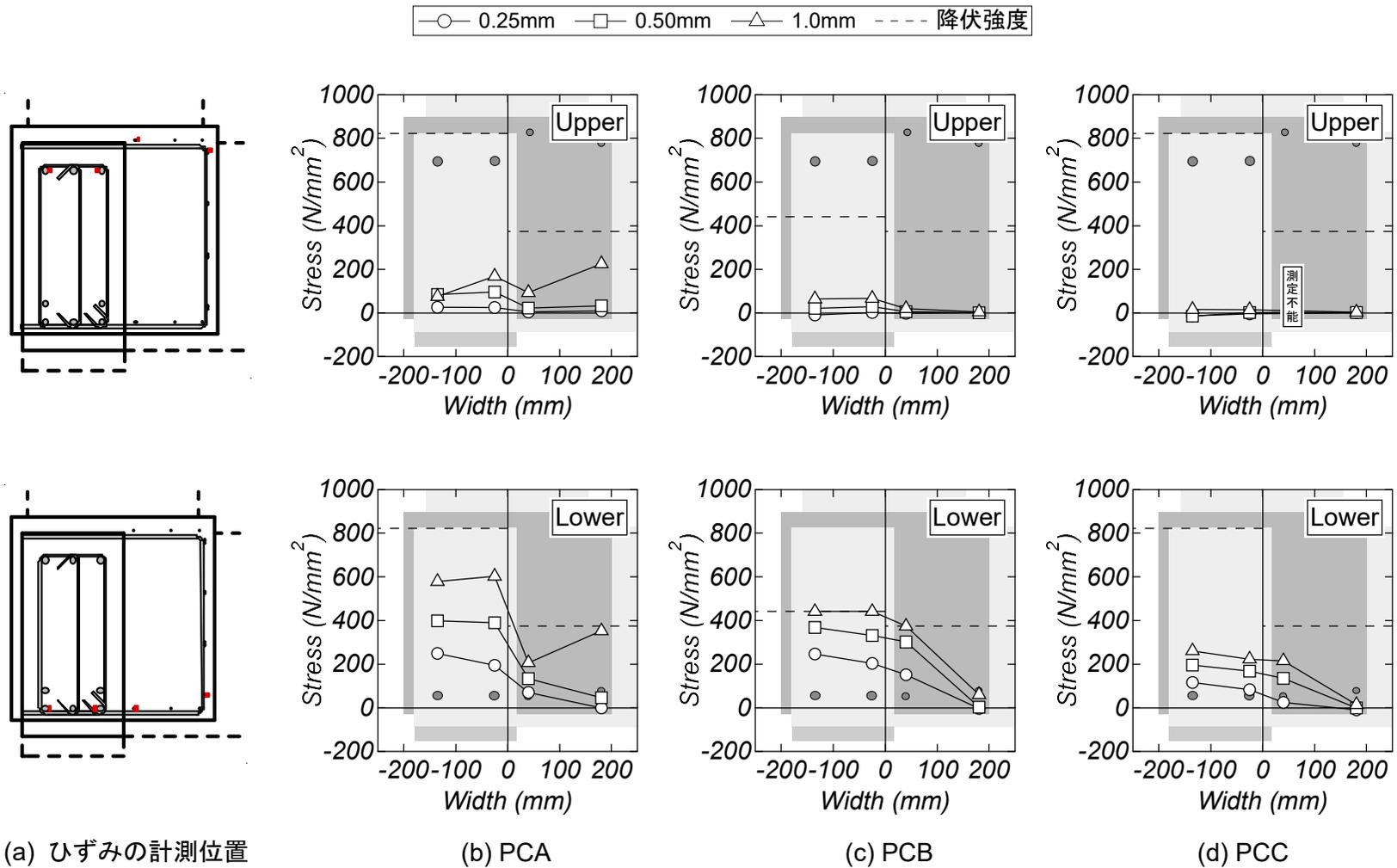


図 3.2.20 杭頭接合部の応力分布

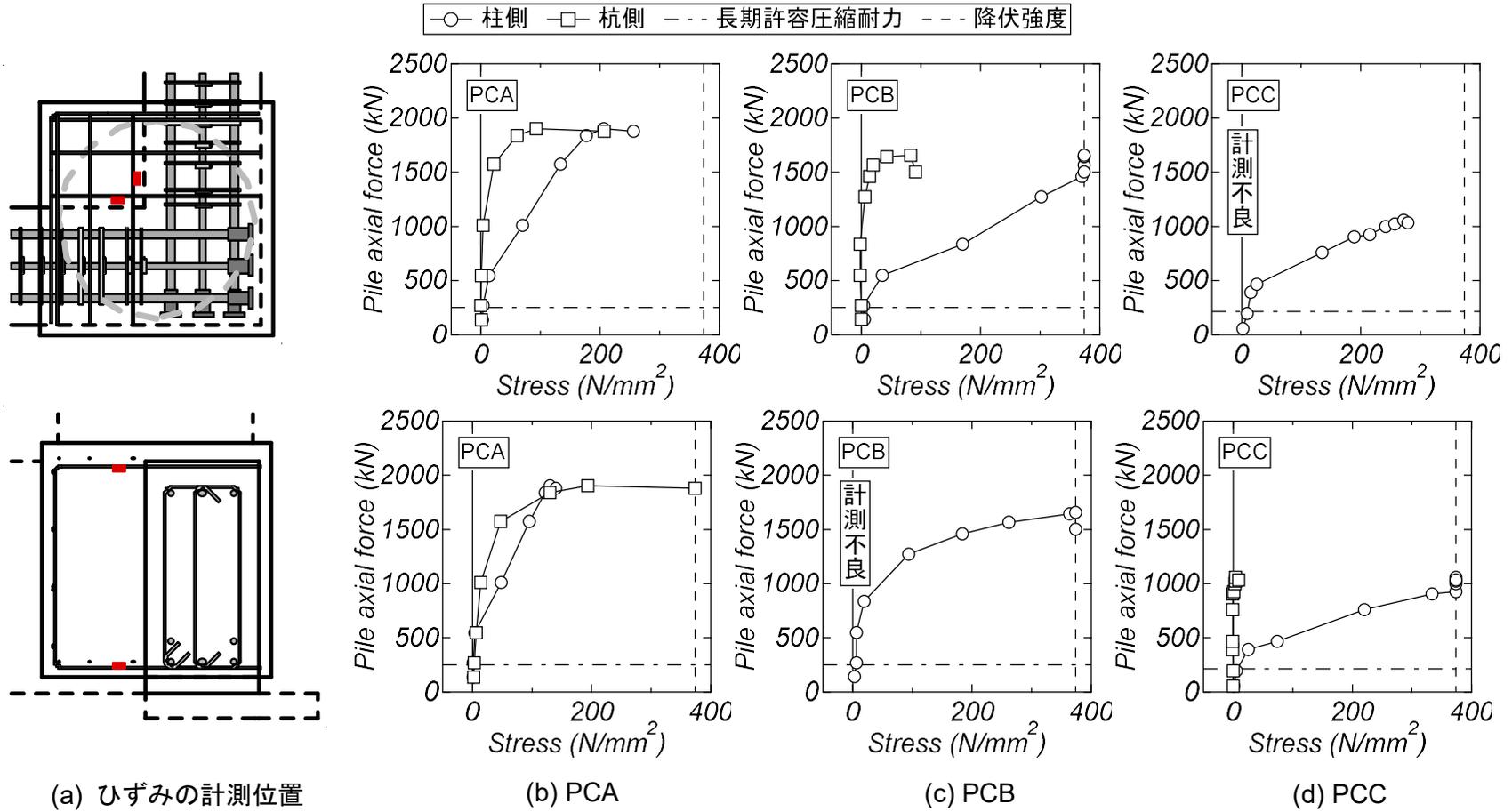


図 3.2.21 杭頭接合部の応力推移

3.2.8 残留ひび割れ幅の推移

図 3.2.22 に各試験体における残留ひび割れ幅の推移とひび割れ幅の測定位置を示す。同図中の○は基礎梁，□は柱端部付近，△は杭頭接合部に発生したひび割れの残留ひび割れ幅を示している。プロットした値は各サイクルにおいて部材ごとに最も拡幅がみられた残留ひび割れ幅とした。点線は建物外面における残留ひび割れ幅の許容値，一点鎖線は文献 1)に示される式(3.5.1)により求めた基礎梁の長期許容曲げ耐力，二点鎖線は前節で求めた杭頭接合部の長期許容圧縮耐力である。

文献 1)では建物外面における残留ひび割れ幅の許容値が 0.2~0.25mm と定められている。しかしながら，本研究では実大 1/5 スケールの試験体を用いたため，文献 28)に示される式(3.5.2)に従いスケール効果を考慮した。

すべての試験体において基礎梁の長期許容曲げ耐力および杭頭接合部の長期許容圧縮耐力以前で残留ひび割れ幅の許容値を超えるひび割れはみられなかった。

$$M_b = \frac{p_t \sigma_B}{3x_{nl}} \left\{ n(1-x_{nl})(3-x_{nl}) - \gamma(n-1)(x_{nl}-d_{cl})(3d_{cl}-x_{nl}) \right\} b d^2 \quad (3.2.8)$$

$$W_r = a^{0.6} \cdot w_s \quad (3.2.9)$$

記号

M_b : 基礎梁の長期許容曲げ耐力

p_t : 引張鉄筋比

σ_B : コンクリートの圧縮耐力

n : ヤング係数比

x_{nl} : 中立軸深さ比

γ : 複筋比

d_{cl} : 圧縮縁より圧縮鉄筋重心までの距離/基礎梁の有効せい

b : 基礎梁の幅

d : 基礎梁の有効せい

W_r : スケール効果を考慮したひび割れ幅

a : 縮尺

w_s : 実大のひび割れ幅

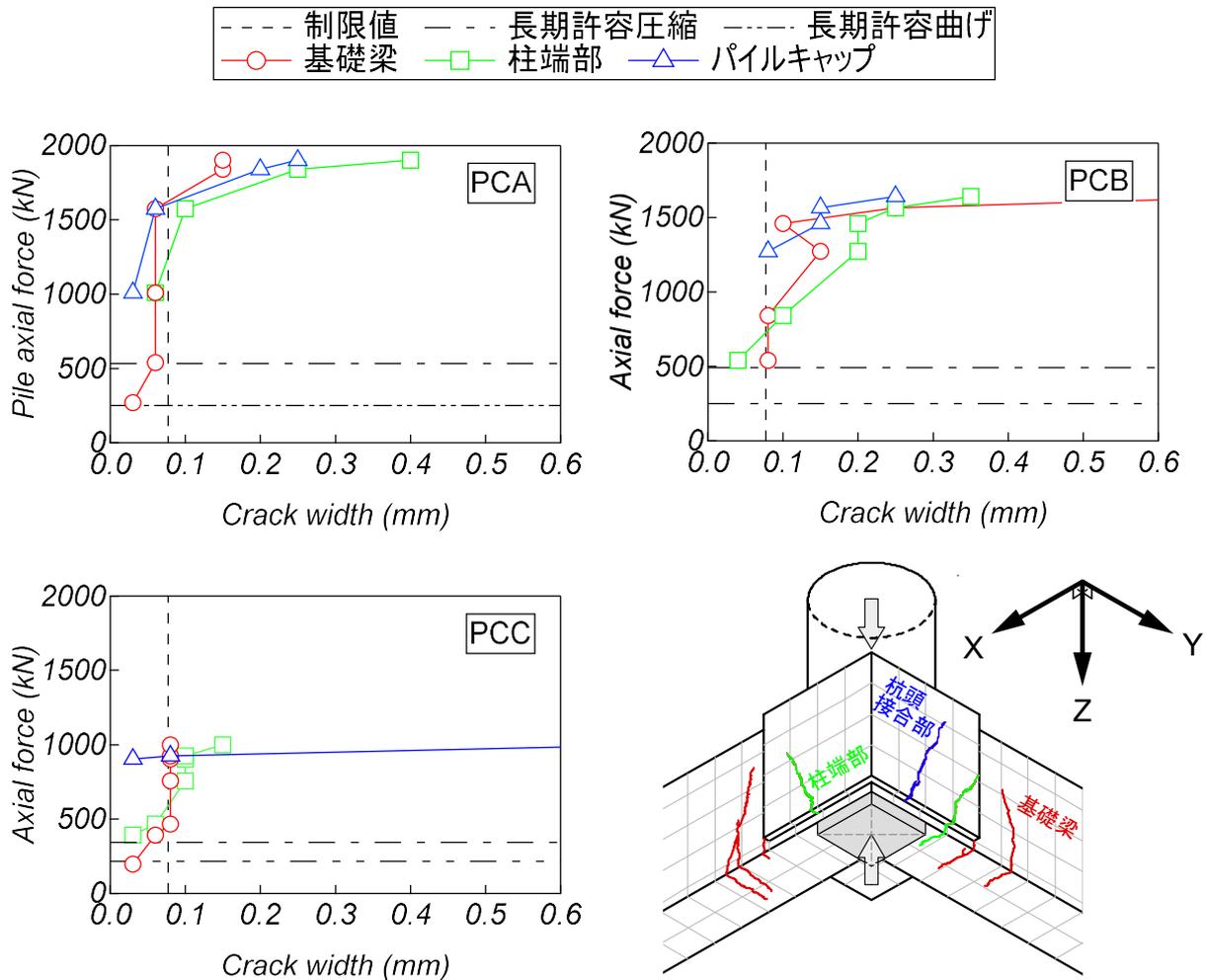


図 3.2.22 残留ひび割れ幅の推移とひび割れ幅の測定位置

3.3 まとめ

本章では、水平二方向偏心を有する柱のない杭頭接合部の構造性能把握を目的として静的載荷実験を実施した。

本節では、本章において示した検討項目および研究成果を述べる。

3.1 節では、試験体の概要として3体の試験体形状および配筋状況とともに使用材料の力学的特性の詳細を示した。実験計画では、軸力載荷の制御方法および試験体の設置方法を述べた。計測計画では、ひずみゲージの貼り付け位置、変位計の取り付け位置、ひび割れ記入時の色分けおよび計測リストを示した。

3.2 節では、3.1 節において計画した水平二方向偏心を有する柱を除去した杭頭接合部の静的載荷実験を実施し、その構造性能について検討した。

本節で得られた知見を以下に示す。

- 1) すべての試験体において基礎梁の曲げひび割れ発生後、杭頭接合部にひび割れが生じた。
 - 2) 標準試験体 PCA は最終破壊時に杭頭接合部の斜めひび割れの拡幅および柱隅角部と基礎梁端部、内側杭の圧縮破壊がみられた。
 - 3) 梁主筋低強度試験体 PCB は最終破壊時に杭頭接合部と基礎梁の境界付近における曲げひび割れの拡幅と杭頭接合部下端の圧縮破壊がみられた。
 - 4) 柱支点偏心試験体 PCC は最終破壊時に杭頭接合部の圧縮破壊と柱主筋の座屈がみられた。
 - 5) 標準試験体 PCA と梁主筋低強度試験体 PCB では基礎梁主筋の引張降伏が確認された。
 - 6) すべての試験体で柱主筋の圧縮降伏と杭頭接合部補強筋の引張降伏が生じた。
 - 7) 試験体 PCB の最大耐力は試験体 PCA のものに比べて低く、基礎梁主筋強度の差による
-

影響が確認された。一方、両試験体では剛性の差は小さい。

- 8) 試験体 PCC の最大耐力と剛性は試験体 PCA のものに比べて低く、柱支点を偏心させたことによる影響が確認された。
- 9) すべての試験体において基礎梁の応力は鉛直変位の増加に伴い増大する傾向がみられた。また、杭頭接合部中心の外側における応力は他の箇所比べて応力の増加は小さい。杭頭接合部と基礎梁の境界付近における応力は他の箇所比べて高い傾向が確認された。
- 10) すべての試験体において柱の応力は鉛直変位の増加に伴い増大する傾向がみられた。また、杭頭接合部外側における圧縮応力は内側に比べて高くなる傾向が確認された。柱支点偏心試験体 PCC では、杭頭接合部内側の柱に引張応力が生じた。
- 11) 本研究の試験体では杭頭接合部下端筋を十分に配していないにも拘らず当該鉄筋は長期許容圧縮耐力以前で応力の増加は確認されなかった。
- 12) すべての試験体において基礎梁の長期許容曲げ耐力および杭頭接合部の長期許容圧縮耐力以前で残留ひび割れ幅の許容値を超えるひび割れはみられなかった。

第 4 章

水平二方向偏心一本杭頭接合部の応力状態 および釣合いモデルに関する解析的研究

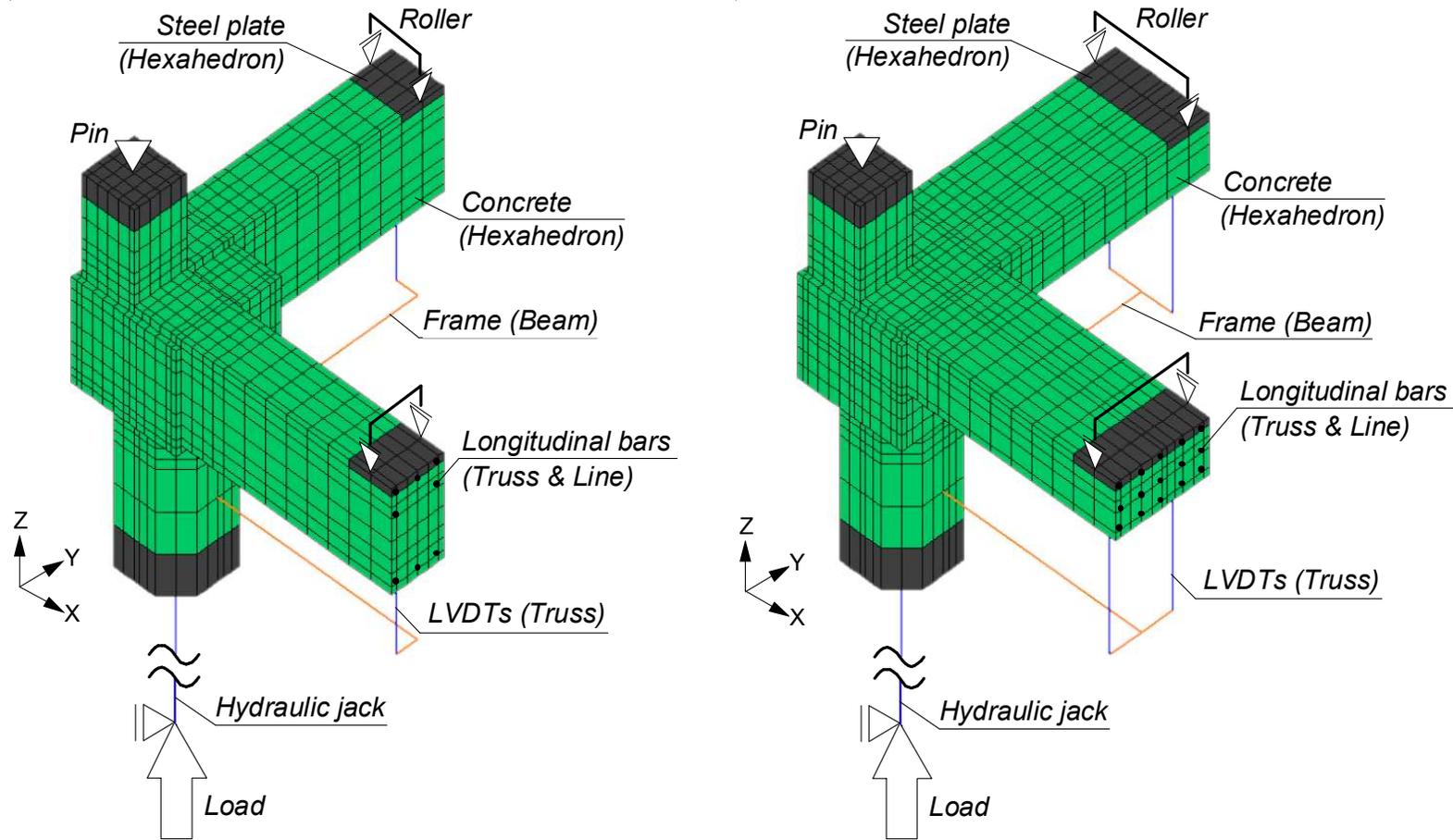
4.1 FEM 解析

4.1.1 解析モデル

解析対象は、第2章で用いた基準試験体 E39 および扁平試験体 E88 の2体である。図 4.1.1 に両試験体の解析モデルを示す。解析には非線形解析ソフトウェア「FINAL」を使用した。解析は3次元モデルであり、コンクリートおよび鋼板は8節点アイソパラメトリック立体要素に置換した。ただし、円形の杭はほぼ等価な断面積となる八角形に置換した。梁主筋はトラス要素に置換した。主筋とコンクリートの要素間に4節点アイソパラメトリック接合要素を挿入し、先端の定着部は主筋とコンクリートの節点を剛接とした。梁主筋以外の鉄筋は埋込み要素としてコンクリート要素内に層状配置した。変位計測のために杭から梁先端までに設置した水平方向のアルミフレームはビーム要素に、アルミフレームから梁の先端までの鉛直方向変位計は軸剛性をほぼ0とするトラス要素に置換した。杭下部の鉛直オイルジャッキは軸剛性を剛とするトラス要素に置換した。柱頂部の球座は当該回転中心にあたる節点の全方向変位を拘束することで再現した。基礎梁先端のローラーは当該位置節点の鉛直変位を拘束することで再現した。コンクリートと鉄筋の材料特性は第2章の使用材料の力学特性に示した値を用いた。コンクリートの引張割裂強度 σ_{cr} は文献 31) に記載されている式(4.1.1)より算定した。

$$\sigma_{cr} = 0.23\sigma_B^{2/3} \quad (4.1.1)$$

解析は荷重制御とし、実験により得られた各載荷サイクルのピークおよび除荷の荷重をジャッキ要素の先端に作用させた。



(a) 基準試験体 E39(b) 扁平試験体 E88

図 4.1.1 解析モデル

4.1.2 材料特性

表 4.1.1 にコンクリート，表 4.1.2 に鉄筋の材料特性を示す。これらは第 2 章 2.1.2 節および 2.1.3 節から得られた値を用いた。

表 4.1.1 コンクリートの材料特性

| | 圧縮強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (kN/mm ²) | 圧縮強度時ひずみ (μ) |
|-----|------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| 柱 | 41.0 | 33.6 | 2,060 |
| その他 | 30.8 | 28.8 | 1,950 |

表 4.1.2 鉄筋の材料特性

| | 降伏強度(N/mm ²) | ヤング係数(kN/mm ²) |
|------------|--------------------------|----------------------------|
| D4 SD295 | 351 | 184 |
| D6 SD295 | 369 | 198 |
| D10 SD295 | 348 | 195 |
| D13 USD785 | 821 | 188 |

4.1.3 材料構成則（コンクリート）

本節から 4.1.5 節までは両試験体の FEM 解析で用いた材料構成則を示す。

・破壊基準

コンクリートの破壊基準には、三軸応力下コンクリートの破壊試験結果を比較的良好に再現でき、鉄筋による拘束度が大きくないため、畑中らの係数³²⁾を適用した Ottosen の 4 パラメータモデル³³⁾を選択した。

$$A \frac{J_2}{\sigma_B^2} + \lambda \frac{\sqrt{J_2}}{\sigma_B} + B \frac{I_1}{\sigma_B} - 1 = 0 \quad (4.1.2)$$

$$\lambda = K_1 \cos \left[\frac{1}{3} \cos^{-1} (K_2 \cos 3\theta) \right] \quad \cos 3\theta \geq 0 \quad (4.1.3)$$

$$\lambda = K_1 \cos \left[\frac{\pi - \cos^{-1} (K_2 \cos 3\theta)}{3} \right] \quad \cos 3\theta < 0 \quad (4.1.4)$$

記号

σ_B : 一軸圧縮強度

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: 主応力（圧縮を正）

静止圧軸 : 主応力空間で $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ となる軸

偏差平面 : 主応力空間で静止圧軸に直交する平面

I_1 : 応力の一次不変量

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (4.1.5)$$

J_2 : 偏差応力の二次不変量

$$J_2 = \frac{1}{6} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right] \quad (4.1.6)$$

θ : 偏差平面上の位置を表す量（相似角）

$$\cos \theta = \frac{2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3}{2\sqrt{3}J_2} \quad (0 \leq \theta \leq 60) \quad (4.1.7)$$

A, B, K_1, K_2 : 材料試験結果から決まる係数

・ 応力-ひずみ関係

図 4.1.2 にコンクリートの応力-ひずみ関係を示す。コンクリートの応力-ひずみ関係には、コンクリート強度の違いと横拘束度の影響を考慮した修正 Ahmad モデル³⁴⁾を選択した。また、ひび割れ後の圧縮劣化特性を Collins らの提案式¹⁵⁾により低減を考慮している。

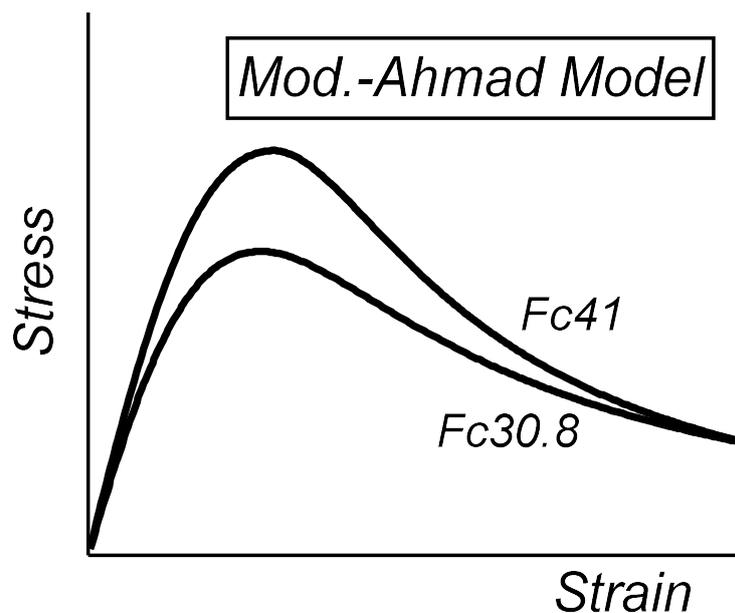


図 4.1.2 コンクリートの応力-ひずみ関係

圧縮強度到達までの上昇域

$$\sigma = \frac{\left(\frac{E_0}{E_P} \frac{\varepsilon}{\varepsilon_P} + (D-1.0) \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_P} \right)^2 \right) \sigma_P}{1.0 + \left(\frac{E_0}{E_P} - 2.0 \right) \frac{\varepsilon}{\varepsilon_P} + D \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_P} \right)^2} \quad (4.1.8)$$

$$D = \frac{19.6}{\sigma_B} - \left(\frac{E_B}{E_P} - 1.0 \right)^2 \quad (\geq 1.0 - E_0/E_P) \quad (\text{単位 : N/mm}^2) \quad (4.1.9)$$

圧縮強度到達後のひずみ軟化域（下降域）

$$\sigma = \frac{\left(\frac{E_0}{E_P} \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_P} \right)^n + (D-1.0) \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_P} \right)^{2n} \right) \sigma_P}{1.0 + \left(\frac{E_0}{E_P} - 2.0 \right) \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_P} \right)^n + D \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_P} \right)^{2n}} \quad (4.1.10)$$

$$n = 0.9 + 3.4 \left(\frac{\sigma_B}{98.07} \right)^2 \quad (\text{単位 : N/mm}^2) \quad (4.1.11)$$

$$D = 1.0 + \frac{176.5}{\sigma_B} \left(\frac{\sigma_P}{\sigma_B} - 1.0 \right) \quad (\text{単位 : N/mm}^2) \quad (4.1.12)$$

記号

E_0 : 初期剛性

σ_P : 最大圧縮応力

ε_P : 最大圧縮応力時のひずみ

E_P : 最大圧縮応力点の割線剛性 ($=\sigma_P/\varepsilon_P$)

σ_B : 一軸圧縮強度

ε_B : 一軸圧縮強度時のひずみ

E_B : 一軸圧縮強度点の割線剛性 ($=\sigma_B/\varepsilon_B$)

・ひび割れ後の Tension-Stiffening 特性

図 4.1.3 にひび割れ後の Tension-Stiffening 特性を示す。ひび割れ後の Tension-Stiffening 特性には、出雲らの提案モデル³⁰⁾を選択した。このモデルは、鉄筋比に関係なくコンクリートの平均応力-平均ひずみを与えることができる式であり、鉄筋の形状等が付着性状に及ぼす影響を考慮できるようにパラメータ c を導入し、式(4.1.13)で表した。本研究では、 $c=0.4$ としてテンションステイフニングを考慮した。

$$\sigma_t = \sigma_{cr} \left(\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_t} \right)^c \quad (4.1.13)$$

記号

σ_t : コンクリートの引張応力

σ_{cr} : ひび割れ発生応力

ε_{cr} : ひび割れ発生時の平均引張ひずみ

ε_t : ひび割れ直交ひずみ (ひび割れを含む平均ひずみ)

c : 付着性状を表すパラメータ

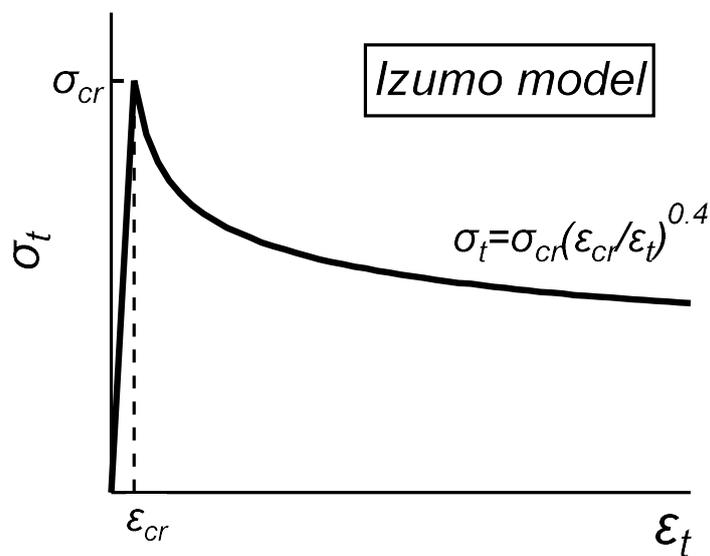


図 4.1.3 ひび割れ後の Tension-Stiffening 特性

・ ひび割れ後のせん断伝達モデル

図 4.1.4 にひび割れ後のせん断伝達モデルを示す。ひび割れ後のせん断伝達モデルには Al-Mahaidi モデル³⁷⁾を選択した。このモデルでは、鉄筋コンクリートのひび割れ面にせん断力を与えた既往の多くの実験結果を整理して、ひび割れ後のせん断剛性 G_{cr} をひび割れ面に直交する方向の引張ひずみの関数として、式(4.1.14)で表現した。

$$G_{cr} = \frac{0.4\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_t} G_0 \quad (4.1.14)$$

記号

ε_{cr} : ひび割れ発生時の引張ひずみ

ε_t : ひび割れ直交方向の引張ひずみ

G_0 : 弾性せん断剛性

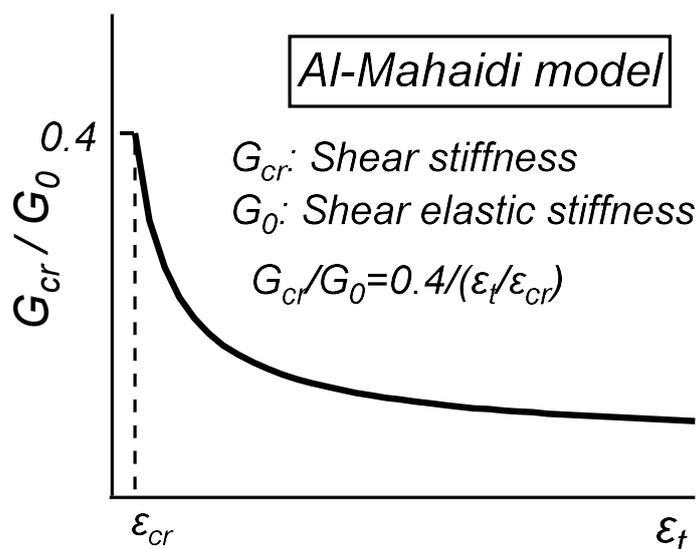


図 4.1.4 ひび割れ後のせん断伝達モデル

・履歴則

図 4.1.5 に履歴則を示す。履歴則には長沼・大久保のモデル³⁸⁾を選択した。これは、大森らの鉄筋コンクリート平板面内せん断実験³⁹⁾でも同様の結果が得られている Stevens らの実験結果⁴⁰⁾を基にモデル化されたものである。

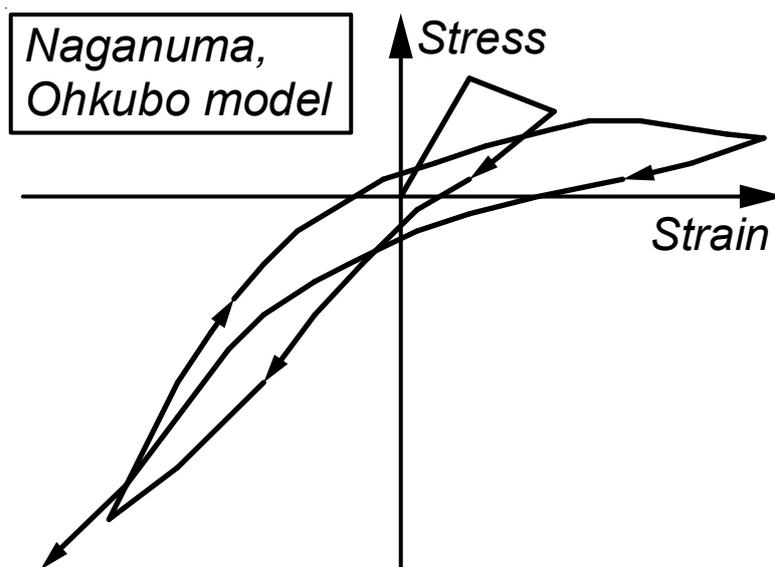


図 4.1.5 履歴則

4.1.4 材料構成則（鉄筋）

- ・ 応力-ひずみ関係

図 4.1.6 に鉄筋の応力-ひずみ関係を示す。応力-ひずみ関係にはバウシinger効果が考慮されている修正 Menegotto-Pinto モデル⁴⁾を選択した。降伏点と再載荷時の降伏点との比率の関数として、式(4.1.15)で表現した。

$$\frac{\sigma}{\sigma_{yp}} = H \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{yp}} + \frac{(1-H) \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{yp}}}{\left(1 + \left|\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{yp}}\right|^R\right)^{1/R}} \quad (4.1.15)$$

$$R = R_0 - \frac{a_1 \varepsilon_{max}}{a_2 + \varepsilon_{max}} \quad (4.1.16)$$

記号

σ_{yp} : 降伏点

ε_{yp} : 降伏ひずみ

H : ひずみ硬化率

ε_{max} : それまでに経験した最大の塑性ひずみ

R_0, a_1, a_2 : 曲線の形状を決めるパラメータ

(標準値は $R_0=20.0, a_1=18.5, a_2=0.00015$)

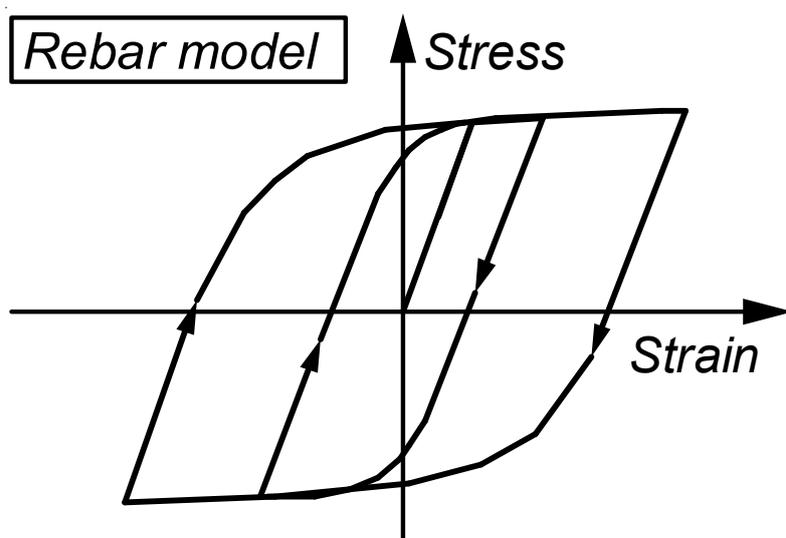


図 4.1.6 鉄筋の応力-ひずみ関係

4.1.5 材料構成則（付着）

- ・基礎梁主筋とコンクリートの付着応力-すべり関係

図4.1.7に基礎梁主筋とコンクリートの付着応力-すべり関係を示す。付着応力-すべり関係は Elmorisi らのモデル⁴²⁾を選択した。最大付着応力 τ_u および最大付着応力時のすべり量 S_u は文献⁴³⁾に記載されている式(4.1.17)および(4.1.18)より算定した。

$$\tau_u = 0.56\sqrt{\sigma_B} (C/D)^{0.40} \quad (C/D \leq 2) \quad (4.1.17)$$

$$S_u = 0.091(C/D) \quad (C/D \leq 2) \quad (4.1.18)$$

記号

σ_B : コンクリートの圧縮強度

C : かぶり厚

D : 鉄筋径

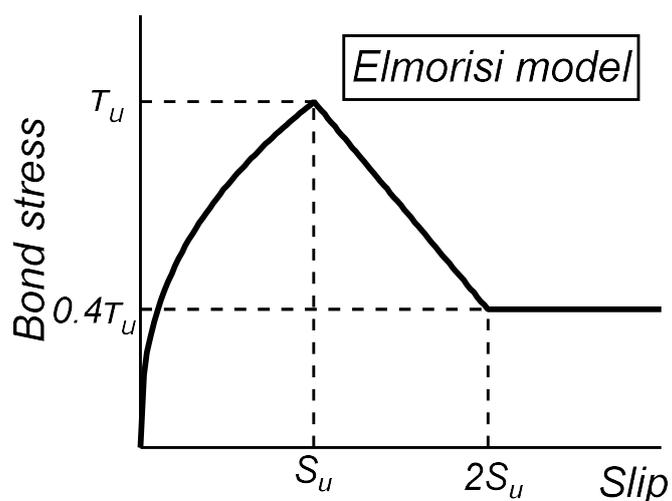


図 4.1.7 付着応力-すべり関係

4.2 実験結果と解析結果の比較

図4.2.1に両試験体の実験と解析における杭軸力－基礎梁変形角関係の比較を示す。両試験体ともに杭軸力1,000kN程度からの解析の剛性は実験のものとは比べて低くなる。しかし、それ以前の解析および実験の剛性は概ね対応している。

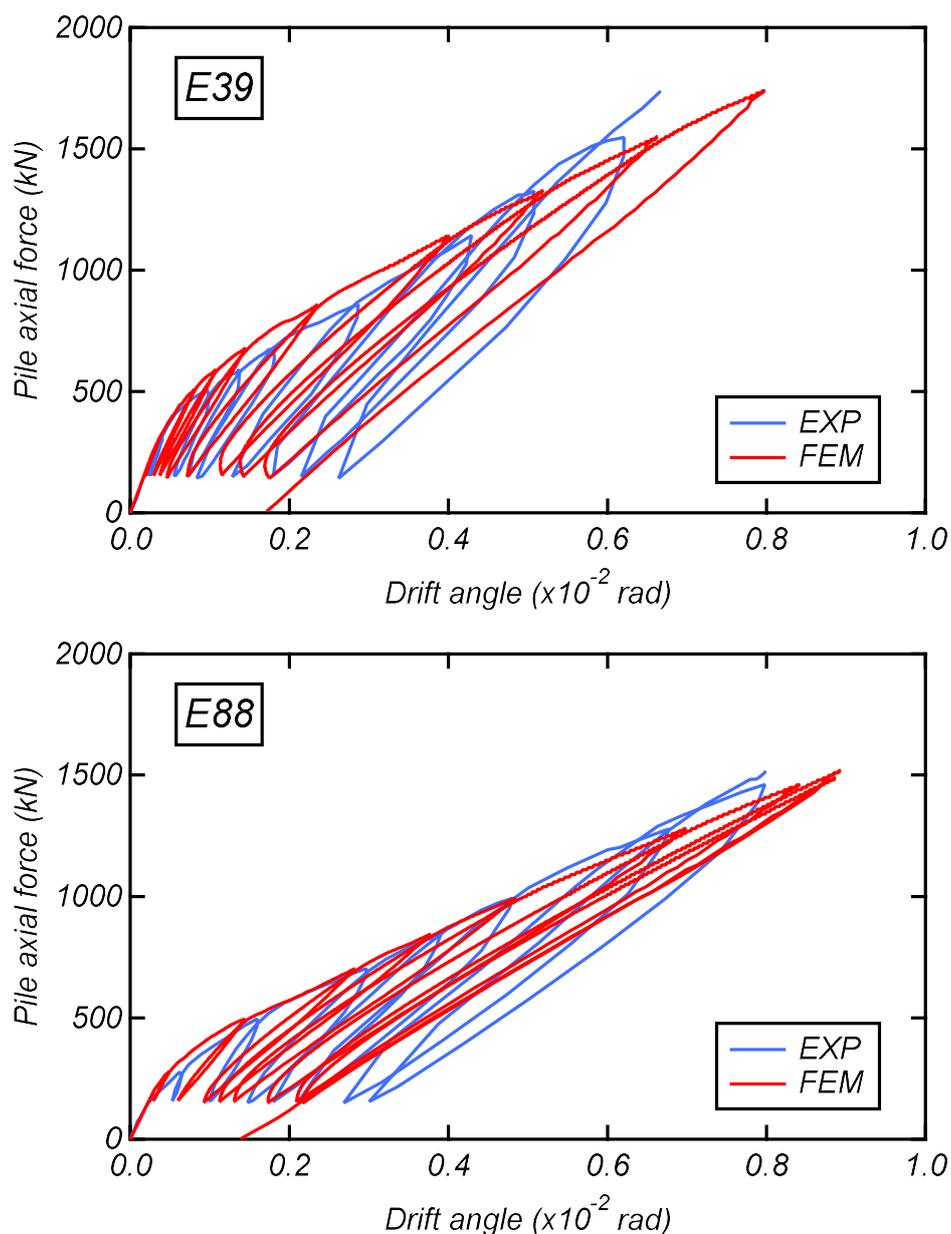


図4.2.1 両試験体の実験と解析における杭軸力－基礎梁変形角関係の比較

図 4.2.2 に杭軸力 1,000kN 時の両試験体における実験および解析の破壊性状を示す。解析結果では、ひび割れ幅を 10 倍に拡大表示しており、コンクリートのひずみ軟化要素を赤色で示している。実験結果では、コンクリートの剥落を灰色の塗り潰しで表示している。また、ひび割れを計測できていない箇所は斜線を網掛けしている。両試験体ともに解析において柱コンクリートの圧縮軟化や杭頭接合部および基礎梁の曲げひび割れの発生が認められ、解析と実験の損傷状況は概ね対応している。

以上の結果から両試験体ともに杭軸力 1,000 kN 程度までの解析結果は実験結果を概ね再現しているものと判断される。次節からは、短期許容応力度設計レベルの構造設計への提言を目的として杭軸力 1,000kN 時における内部応力状態の検討を行う。

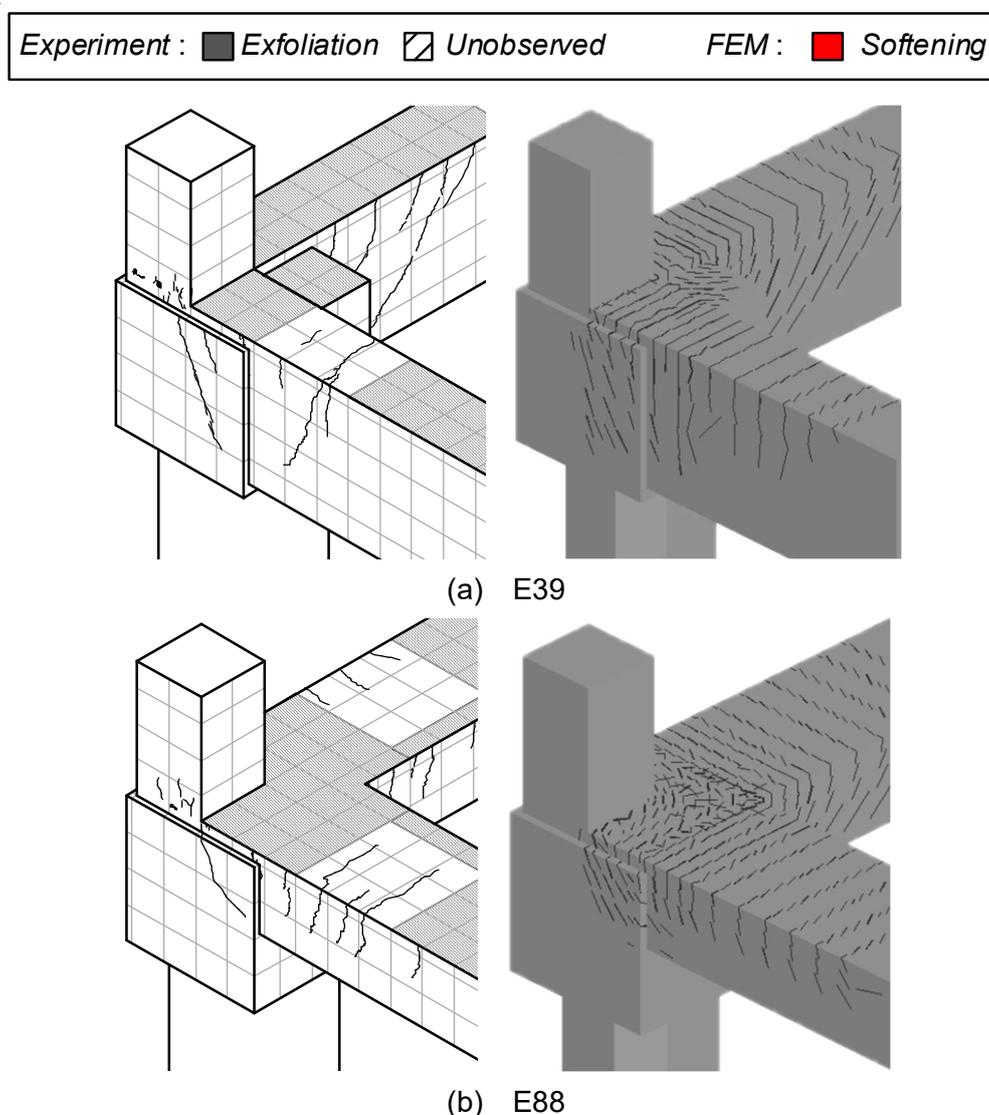


図 4.2.1 両試験体における実験の最終破壊性状と解析の最大耐力時の破壊性状

4.3 内部応力状態

図 4.3.1 に両試験体の軸力約 1,000kN 到達時におけるコンクリートの最小主応力ベクトルを、図 4.3.2 に基礎梁上端付近と下端付近のコンクリートの最小主応力コンターを示す。図 4.3.1 は図 4.3.2 に示す X 方向基礎梁における外側および内側の主筋位置を表している。また、図 4.3.1 中の矢印は応力ベクトルから想定される力の釣合い状態であり、 C_b は基礎梁の圧縮力を、 C_c と C_d はそれぞれ柱から下部へ伝わる圧縮力を、 C_p と C_q はそれぞれ杭の圧縮力を表す。釣合いに関する議論は 4.4 節および 4.5 節で行う。

図 4.3.3 に杭頭接合部の最小主応力の高さ方向分布を示す。杭頭接合部における主応力の値は各試験体の上端および基礎梁下端で高く、それらの区間において主応力の値は低い。また、試験体 E88 の基礎梁下端付近を除き、柱に生じる主応力の値は杭頭接合部に生じるものと比べて高い。一方で、試験体 E88 の基礎梁下端の高い主応力は図 4.3.1 (d) のように基礎梁内側の下端付近のみでみられ、局所的なものである。よって、杭頭接合部の構造設計においてコンクリートの圧縮に対する安全性は杭頭接合部および柱のコンクリート強度を同程度とすることで確保されるものと考えられる。

図 4.3.1 の梁端部の曲げ圧縮域をみると、同図(a), (c)に示す外側では高い水平圧縮応力の発生が確認されたのに対して、同図(b), (d)に示す内側では斜め圧縮応力の発生が認められた。同図の縦破線で示した X 方向基礎梁の危険断面から基礎梁せいの半分離れた位置の図 4.3.4 に示す ZX せん断応力コンターおよび図 4.3.5 に示す Z 方向ひずみコンターをみると、両試験体ともに建物内側において高いせん断応力とひずみの発生が確認され、せん断力の大半を基礎梁の内側で負担する傾向が認められた。この原因は、基礎梁先端のねじれを許容しないローラー支持としたことにある。実建物では、スラブの影響により評価が困難であるが、二方向偏心を有する杭頭接合部における基礎梁のせん断設計ではコンクリート強度およびせん断補強筋量を余分に高く、または多くする必要性があると考えられる。

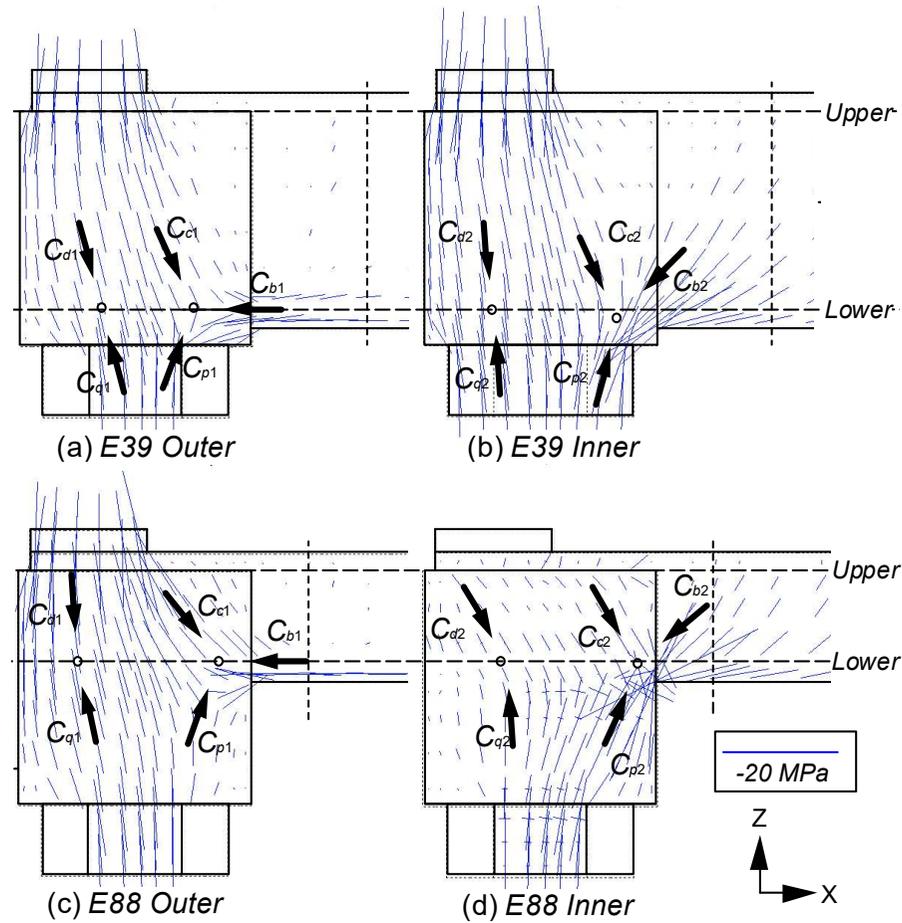


図 4.3.1 両試験体の軸力約 1,000kN 到達時におけるコンクリートの最小主応力カベクトル

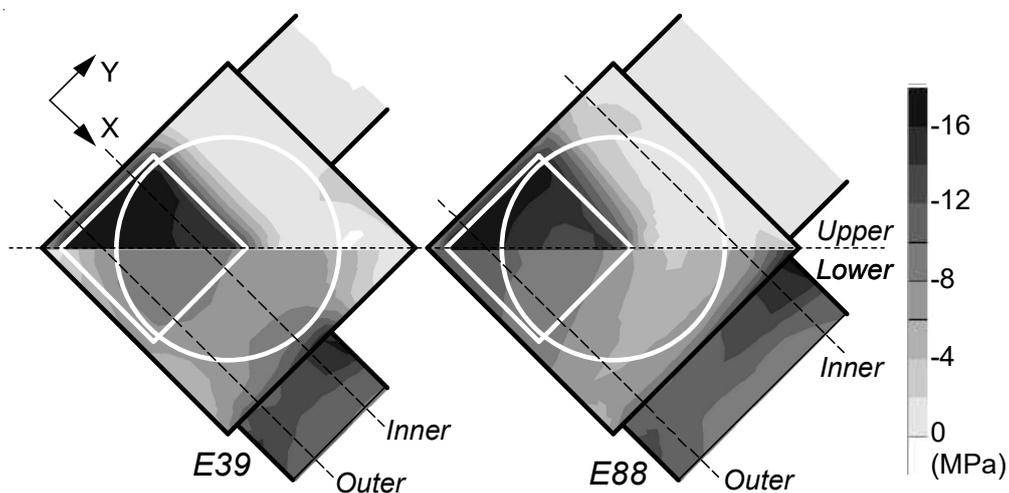


図 4.3.2 コンクリートの最小主応力コンター

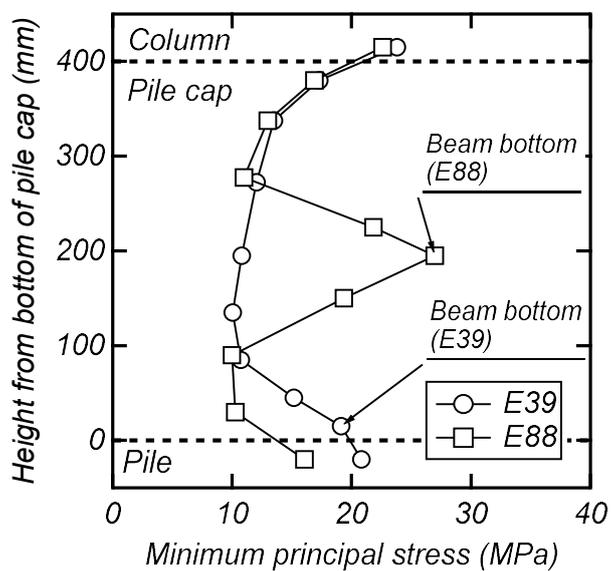


図 4.3.3 杭頭接合部の最小主応力の高さ方向分布

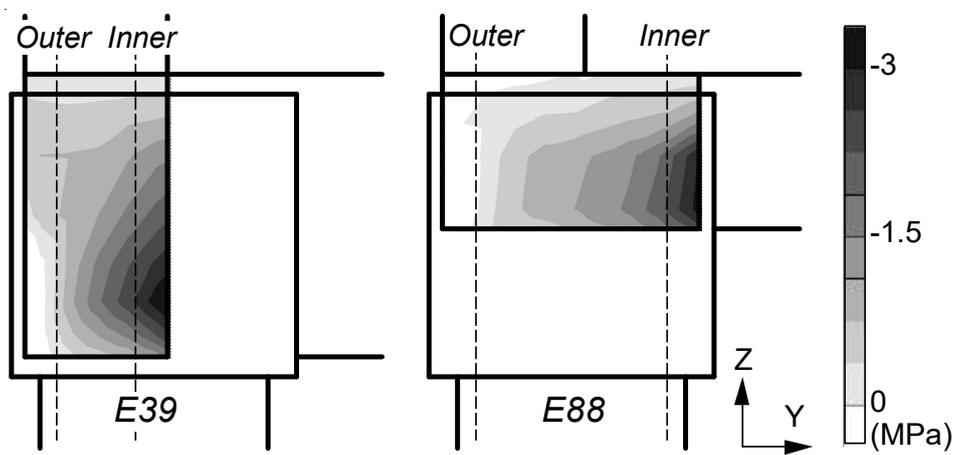


図 4.3.4 ZX せん断応力コンター

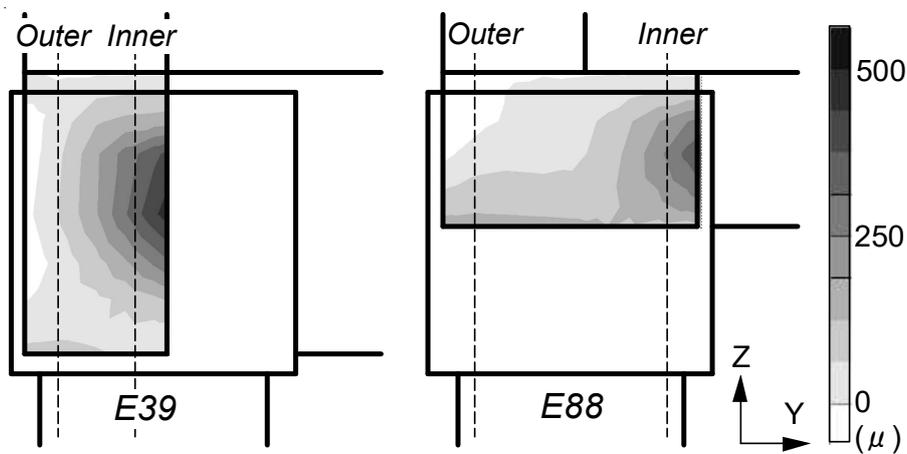


図 4.3.5 Z 方向ひずみコンター

4.4 力の釣合いの検討

4.3節では図4.3.1を用いて外側および内側の2断面における力の釣合いを示した。そこで、本節では煩雑を避けるために全体の力の釣合いを検討する。以下に釣合いの検討手順を示す。

- 1) 図4.4.1に釣合い検討用のコンクリート最小主応力ベクトルを示す。同図の断面A（縦の破線）における基礎梁の法線応力とせん断応力コンターを図4.4.3(a1), (a2)に示す。応力抽出位置は基礎梁の危険断面から $D_b/2$ 離すことで当該部材以外からの応力の影響を取り除いた。同図(a1)の合力を C_{bx} 、同図(a2)の合力を C_{bz} とする。図中の白丸は応力重心位置を表す。同図(a1)の上部にはコンクリートの Tension-Stiffening に伴う引張応力が存在する。しかし、これは基礎梁上端主筋が負担する引張力として考えられるべきものであるため、 C_{bx} と応力重心の算定では無視した。
- 2) 図4.4.1の断面B（基礎梁下端から $D_b/2$ 上側）を図4.4.2に示した杭頭接合部断面の分割状況のように3分割する。図中のDA, DB, DCは次節に示す図4.5.1および4.5.2中のストラットDA, DB, DCに対応する。図中の領域幅 f については本節にて後述する。図4.4.1の断面Bにおける法線応力とせん断応力コンターを図4.4.3(b1), (b2)に示す。領域幅 f の範囲における同図(b1)の合力を C_{cx} 、同図(b2)の合力を C_{cz} とする。
- 3) 図4.4.1の断面C（基礎梁下端から $D_b/4$ 下側）も上記と同様に3分割する。同図の断面Cにおける法線応力とせん断応力コンターを図4.4.3(c1), (c2)に示す。図中の領域幅 g については本節にて後述する。領域幅 g の範囲における同図(c1)の合力を C_{px} 、同図(c2)の合力を C_{pz} とする。
- 4) XおよびZ方向の釣合式は $C_{bx} + C_{cx} + C_{px} = 0$ 、 $C_{bz} + C_{cz} + C_{pz} = 0$ である。Y方向に関するせん断応力は小さいのでY方向の釣合いは無視する。鉄筋の応力も無視する。 C_{cx} , C_{cz} は領域幅 f の関数、 C_{px} , C_{pz} は領域幅 g の関数である。

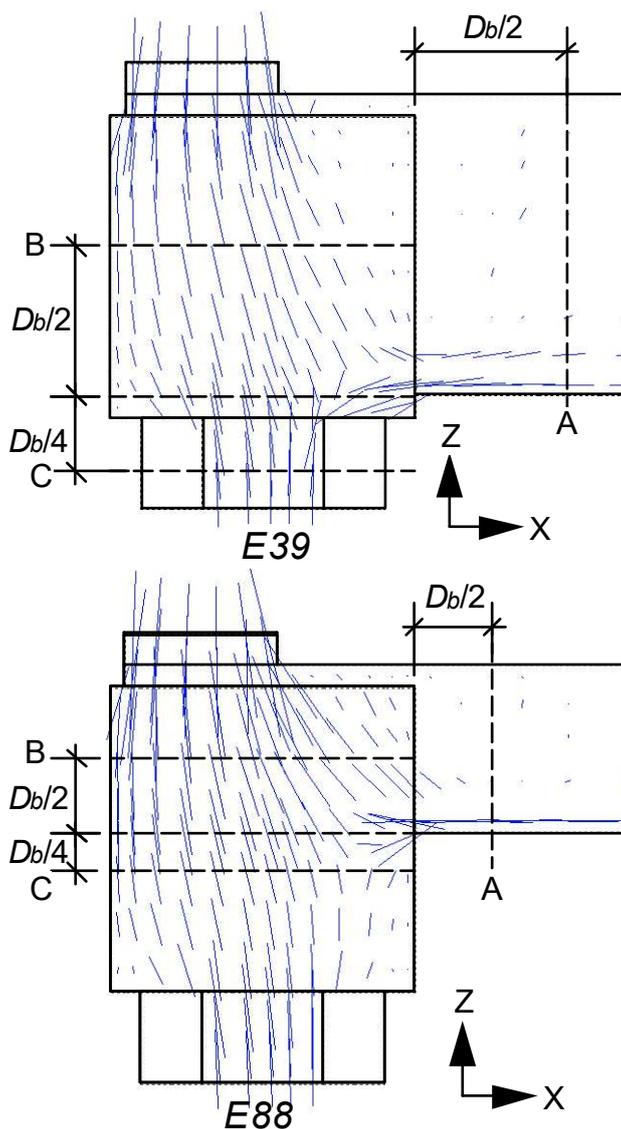


図 4.4.1 釣合い検討用のコンクリート最小主応力ベクトル

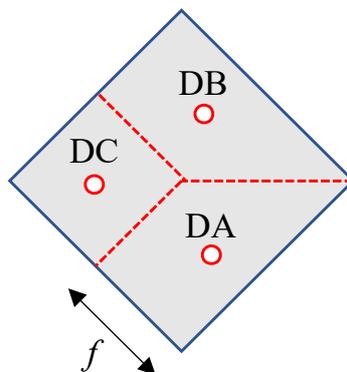


図 4.4.2 杭頭接合部断面の分割状況

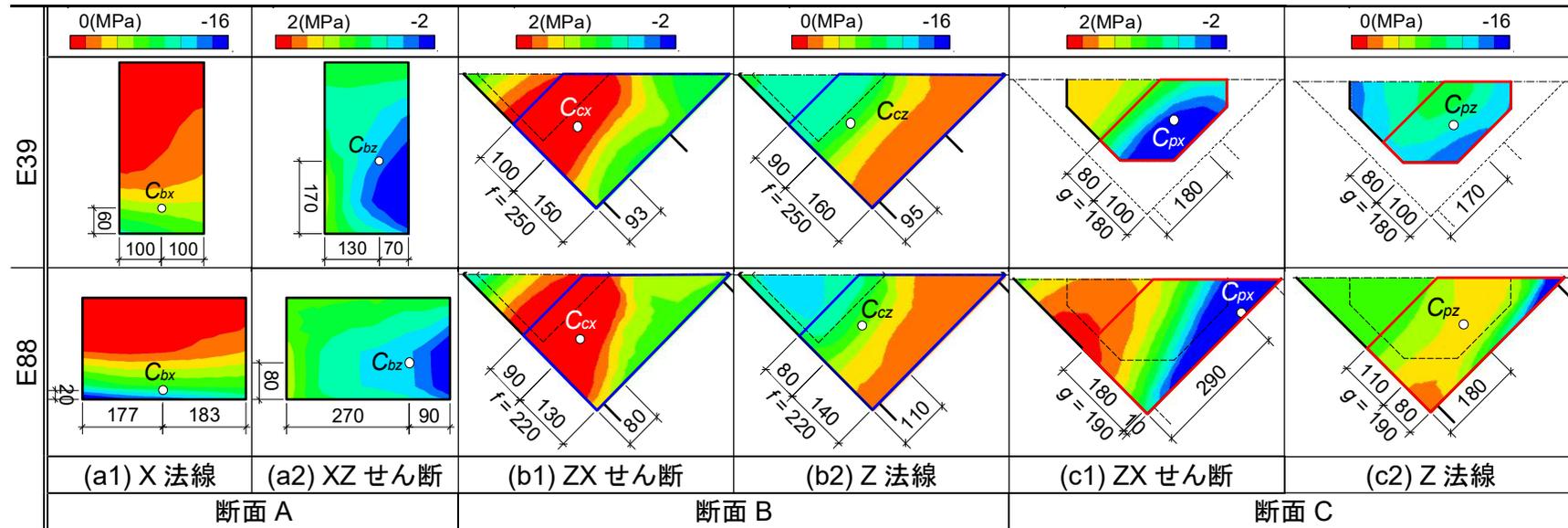


図 4.4.3 法線応力とせん断応力コンター

上記 1)から 4)により得られた領域幅 f および g の値を表 4.4.1 と図 4.4.3 の中に示す。 C_{bx} などの合力を表 4.4.2 に示す。合力の符号の向きは図 4.4.1 に示す X・Z 軸の向きと対応させた。

上記の論法から得られる詳細なストラット・タイモデルを図 4.4.4 に示す。同図では柱の軸力は3箇所 D1, D2, D3 (ただし D3 は図から省略) で負担されるものと仮定した。図 4.4.4 の数字は、表 4.2.2 の値から算出される各ストラットの圧縮力を表す。たとえば、圧縮力 A-D2 の値は C_{cx} と C_{cz} の二乗和平方根とした。圧縮力 A-D2 と C-D1 値は同程度であり、柱の圧縮力を支える3本のストラットが同程度であることがわかる。

表 4.4.1 断面 B および C における領域幅 (単位 : mm)

| | f | g |
|-----|-----|-----|
| E39 | 250 | 180 |
| E88 | 220 | 190 |

表 4.2.2 合力の値 (単位 : kN)

| 方向 | C_b | C_c | C_p | |
|-----|-------|-------|-------|-----|
| E39 | X | -134 | 105 | 35 |
| | Z | -84 | -278 | 354 |
| E88 | X | -194 | 118 | 44 |
| | Z | -62 | -245 | 309 |

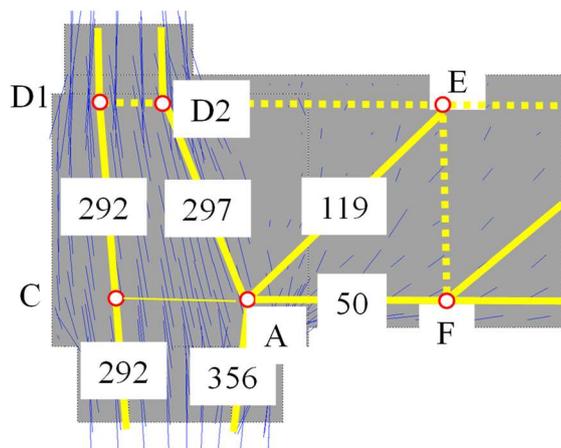


図 4.4.4 ストラット・タイモデルの詳細図

4.5 杭頭接合部の釣合いモデル

図 4.5.1(a)に試験体 E39 におけるストラット・タイモデルの立面図を示す。当該モデルは図 4.3.1 に示した圧縮ベクトルの形成状況を基に 4.4 節に示す詳細モデルを簡易的に表したものである。同図中の N_A は図 4.3.1 (a), (b) の杭の右半分の圧縮力 C_p を、 N_C は左半分の C_q を表す。基礎梁の圧縮力を AE および AF で示す。赤色破線 DE は基礎梁上端筋の引張力を表す。図 4.5.1 (b) に斜視図を示す。 N_A 、 N_B および N_C の合計は杭軸力 N_p と釣り合う。柱からの圧縮力 N は青色実線 AD、BD および CD の圧縮力と釣り合う。図 4.5.2 は試験体 E88 のストラット・タイモデルを示す。これも図 4.5.1 と同様である。当該モデルでは、杭頭接合部下端に引張鉄筋を必要としない。さらに、杭頭接合部の上端にも引張鉄筋を必要とせず、基礎梁上端筋の引張力は節点 DE 間で一定となる。

各試験体の杭軸力 1,000 kN における基礎梁下端筋位置の最小主応力ベクトルを図 4.5.3 に示す。試験体 E88 では図 4.5.2 (b) の節点 AB 間を結ぶ圧縮応力ベクトルがわずかに認められる。しかし、その圧縮力は小さく、実務上は無視できると考えられる。一方の試験体 E39 では、その圧縮応力ベクトルがみられなかった。

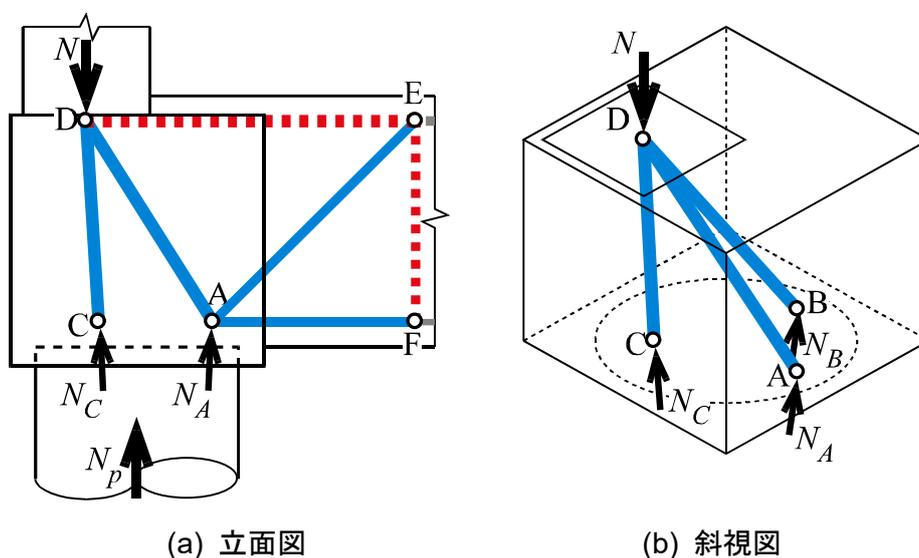


図 4.5.1 試験体 E39 におけるストラット・タイモデル

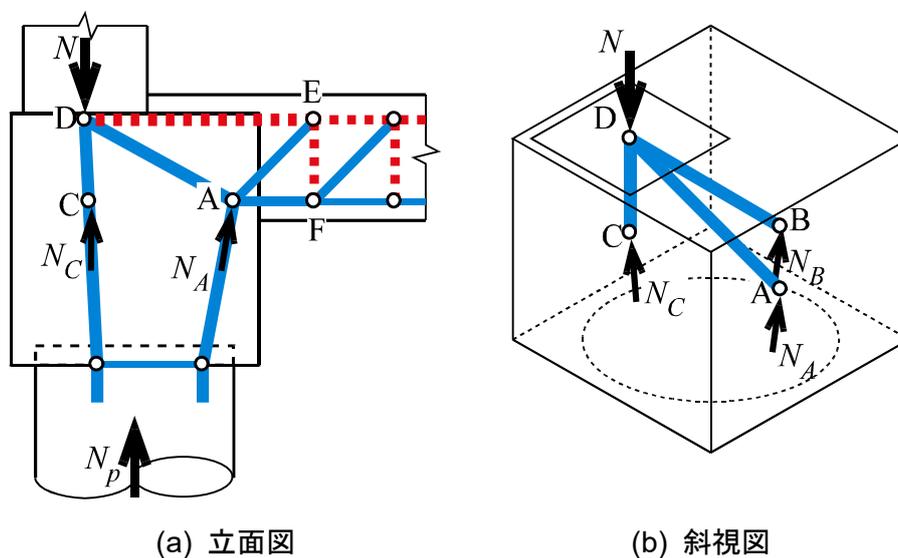


図 4.5.2 試験体 E88 におけるストラット・タイモデル

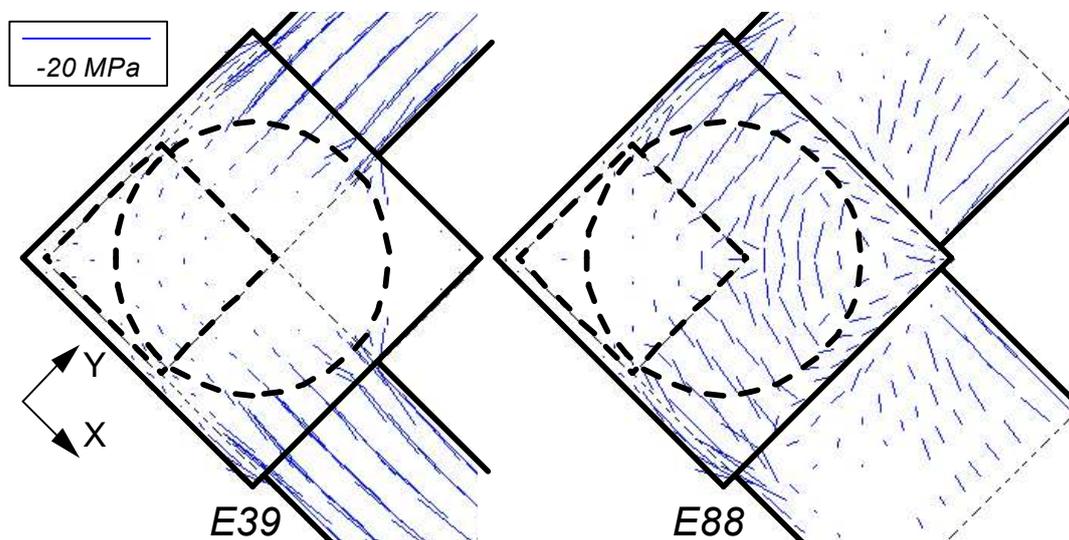


図 4.5.3 基礎梁下端筋位置の最小主応力ベクトル

4.6 まとめ

本章では、水平二方向偏心一本杭頭接合部の応力状態把握および釣合いモデル提案を目的として非線形解析ソフト FINAL を用いた FEM 解析を実施した。

本節では、本章において示した検討項目および研究成果を述べる。

4.1 節では、第2章で示した2体の試験体を対象に実施した FEM 解析の概要として解析モデルおよび材料構成則について示した。

4.2 節では、4.1 節で示した解析モデルにおける解析結果から復元力特性および損傷状況について実験結果との比較を示した。解析モデルおよび材料構成則の妥当性についての検討を行った。

4.3 節では、コンクリートの最小主応力、せん断応力およびひずみについての検討を行った。

4.4 節では、コンクリートの最小主応力、法線応力およびせん断応力を用いた力の釣合いの検討を行った。

4.5 節では、4.3 節で示した圧縮ベクトルの形成状況を基に両試験体の力の釣合いモデルを提案した。

本章より得られた知見を以下に示す。

- 1) 本章に示す解析モデルは短期許容応力度設計レベルまでの復元力特性および損傷状況の実験結果を概ね再現した。
- 2) 杭頭接合部に生じる圧縮主応力は局所的なものを除き柱に生じるものと比べて低い。よって、杭頭接合部における安全性は杭頭接合部および柱のコンクリート強度を同程度とすることで確保される。
- 3) 基礎梁のせん断応力および部材せい方向のひずみは建物内側で高くなる傾向がみられた。

よって、基礎梁ではコンクリート強度とせん断補強筋量の余裕が求められる。

- 4) 杭頭接合部の応力伝達機構は図 4.5.1, 4.5.2 のように三本の圧縮ストラットで表される。これらの斜め圧縮力は下部で基礎梁圧縮力および杭の圧縮力と釣合う。そのため、第 2, 3 章で指摘されたように杭頭接合部下端において上記圧縮力を結ぶ引張鉄筋は不要である。
- 5) 杭頭接合部上端の引張力は図 4.5.1 (a), 図 4.5.12(a)のように基礎梁上端主筋によって負担される。当該モデルでは、杭頭接合部上端に鉄筋を追加する必要はない。

第5章

本研究のまとめ

本研究は、柱と杭が水平二方向偏心する一本杭頭接合部における構造性能および応力伝達機構の把握を主たる目的としたものである。本章では、本論文では各章において示した検討項目および研究成果を総括する。

5.1 研究結果のまとめ

第1章では、本研究の目的と背景を示すとともに本研究に関連する既往の研究を示した。RC規準に示されている水平二方向に偏心する杭頭接合部の設計法では、杭頭接合部下端に大量の鉄筋を必要とするため、現実的な設計法とは言い難いことが指摘されている。しかし、水平二方向偏心を有する杭頭接合部の研究例が少ない現状にあることを示した。

第2章では、基礎梁形状の違いにより異なる偏心比を実験変数とした2体の柱と杭の水平二方向偏心を有する杭頭接合部を対象に静的載荷実験を行い、その構造性能について検討した。実験結果から、本論に示した試験体では基礎梁断面形状の差異に拘わらず柱コンクリートの圧縮破壊が確認されたことを示した。また、杭頭接合部下端筋の応力はRC規準に示される応力伝達モデルから求まる応力の値と比べて極めて低く、杭頭接合部の残留ひび割れ幅は短期許容圧縮耐力を超えた後にひび割れ幅の制限値に達する傾向を示した。一方で、既往の研究で提案された杭頭接合部終局圧縮耐力の計算値は両試験体の最大耐力の7割程度であり、改善が必要であることを示した。

第3章では、基礎梁主筋の強度および柱支点の位置を実験変数とした3体の水平二方向偏心を有する柱のない杭頭接合部の構造性能の把握を目的とした静的載荷実験を実施し、その構造性能について検討した。実験結果から、基礎梁主筋を普通強度とした試験体の最大耐力は高強度とした試験体のものに比べて低く、基礎梁主筋強度の差による影響があることを示した。一方で、柱支点を偏心させた試験体の最大耐力と剛性は柱支点を偏心させていない試験体のものに比べて低く、柱支点を偏心させたことによる影響を示した。また、杭頭接合部下端筋を十分に配していないにも拘らず長期許容圧縮耐力以前で応力の増加しなかったことを示した。

第4章では、第2章において示した基礎梁形状の違いにより異なる偏心比を実験変数とし

た2体の柱と杭の水平二方向偏心を有する杭頭接合部を対象に非線形三次元有限要素法解析を行い、解析モデルおよび材料構成則の妥当性について検討した。さらに、解析結果を用いて応力伝達機構および力の釣合いモデルの検討を実施した。解析モデルは短期許容応力度設計レベルまでの復元力特性および損傷状況の実験結果を概ね再現できていることを示した。また、杭頭接合部に生じる圧縮主応力は局所的なものを除き柱に生じるものと比べて低い。よって、杭頭接合部における安全性は杭頭接合部および柱のコンクリート強度を同程度とすることで確保されることを示した。さらに、基礎梁のせん断応力および部材せい方向のひずみは建物内側で高くなる傾向がみられた。ゆえに、基礎梁ではコンクリート強度とせん断補強筋量の余裕が求められることを示した。また、三本の斜め圧縮ストラットで表される杭頭接合部に関する力の釣合いモデルが提案された。これらの斜め圧縮力は下部で基礎梁圧縮力および杭の圧縮力と釣合う。そのため、杭頭接合部下端において上記圧縮力を結ぶ引張鉄筋は不要であることを示した。

以上、柱と杭が水平二方向偏心する一本杭頭接合部を対象とした2種類の静的載荷実験およびFEM解析から構造性能および応力伝達機構を把握することで力の釣合いモデルを提案した。本研究では、文献3)に示された杭頭接合部耐力評価法を用いて杭頭接合部が先行破壊するような設計を行った。静的載荷実験の結果、2実験の基準試験体を比べた際、柱がある試験体では柱コンクリートの圧縮破壊、柱がない試験体では基礎梁上端と柱隅角部および杭内側の圧縮破壊が確認されたことを示した。また、杭頭接合部下端筋を十分に配していないにも拘らず長期許容圧縮耐力以前で応力の増加は確認されなかったことを示した。FEM解析の結果、三本の斜め圧縮ストラットで表される杭頭接合部に関する力の釣合いモデルが提案された。このモデルでは杭頭接合部下端における引張鉄筋は不要であることを示した。

＜参考文献＞

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2018.12
 - 2) 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」Q&A：<http://news-sv.aij.or.jp/kouzou/s48/answer.htm>（閲覧日：2023年12月18日）
 - 3) 田中麻美，杉山誠，西村泰志：柱と杭が偏心した基礎接合部の合理的な設計法の開発，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），構造IV，pp.423-426，2006.9
 - 4) 平出務，杉村義広：場所打ちコンクリート杭の杭頭接合部に関する実験研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），構造I，pp.1545-1546，1990.9
 - 5) 河合弘之，都築充雄，稲田修，萩原庸嘉，山岸勝，宮田章：SC杭を使った杭頭接合部に関する実験（その1）実験計画および結果概要，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），構造I，pp.1551-1552，1990.10
 - 6) 宮田章，山岸勝，萩原庸嘉，都築充雄，稲田修，河合弘之：SC杭を使った杭頭接合部に関する実験（その2）杭固定度と接合部の耐力，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），構造I，pp.1553-1554，1990.10
 - 7) 宮本守，野村設郎，衣笠秀行：高強度コンクリート1階柱に及ぼす基礎梁コンクリート強度の影響に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.2，1993
 - 8) 野村設郎，宮本守，衣笠秀行：斜め方向水平力を受けるRC造隅柱・基礎梁接合部に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16，No.2，pp.877-882，1994
 - 9) 小林勝己，丸隆宏，大西靖和，寺岡勝，和田章：水平力を受ける場所打ち杭－基礎梁部分架構の力学特性に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.509，pp.83-90，1998.7
 - 10) 小林勝己，丸隆宏，大西靖和，寺岡勝，和田章：側柱下の場所打ち杭－基礎梁部分架構の耐震性能に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.520，pp.61-68，1999.6
 - 11) 杉山誠，加地由美子，西村泰士：柱と杭が一軸偏心した基礎接合部における軸力伝達機構，構造工学論文文集，Vol.52B，pp.291-298，2006.3
 - 12) 田中佑二郎，岸田慎司，小林恒一，中沼弘貴，林静雄：2本群杭で支持されたパイルキャップの鉛直載荷実験，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），構造IV，pp.427-428，2006.7
 - 13) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－，2000
-

- 14) 増田寛之, 村上浩, 鈴木直幹, 土屋富男, 九嶋壮一郎, 小宅正躬: 高耐力 SC 杭の杭頭接合部の構造性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 構造I, pp.481-482, 2006.9
 - 15) 米澤健次, 倉本洋, 井上芳生: 地震荷重を受ける場所打ち杭頭接合部の 3 次元非線形 FEM 解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.29, No.3, pp.271-276, 2007
 - 16) R. G. Delalibera and J. S. Giongo: Deformations in the strut of two pile caps, ASCE, Vol. 1, No. 2, pp.121-138, 2008.6
 - 17) 佐川隆之, 迫田丈志, 前田匡樹, 趙敏洙: 幅広基礎梁主筋に機械式定着を用いたト形接合部に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.31, No.2, pp.337-342, 2009
 - 18) 富山善太, 大和久貴義, 上坂宜嗣, 岸田慎司, 林静雄: ト形部分架構を有するパイルキャップの耐震性能に関する実験研究 その 1 実験概要と結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), 構造IV, pp.695-696, 2013.8
 - 19) 大和久貴義, 富山善太, 上坂宜嗣, 岸田慎司, 林静雄: ト形部分架構を有するパイルキャップの耐震性能に関する実験研究 その 2 実験結果と考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), 構造IV, pp.697-698, 2013.8
 - 20) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 2001
 - 21) 市川覚, 鈴木卓, 柏尚稔, 真田靖士, 倉本洋: 既存建物の外柱-杭-基礎梁接合部の部分架構実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 構造IV, pp.161-162, 2015.9
 - 22) 日本建築学会近畿支部基礎構造部会: 兵庫県南部地震による建築被害の被害調査報告書、1996.7
 - 23) 安井信行, 遠藤千尋, 長瀬正: 大口径杭の偏心に対する基礎のせん断設計について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 構造IV, pp.579-580, 2015.9
 - 24) 大西直毅, 小路貴也, 西村康志郎, 山口悠太: 機械式定着とした二段配筋の基礎梁と外柱・杭との接合部の正負交番載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), 構造IV, pp.603-604, 2018.9
-

- 25) 千濱彬比古, 土佐内優介, 平尾一樹, 向井智久: 実大ト形杭頭接合部部分架構の曲げ抵抗機構に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.41, No.2, pp.259-264, 2019
 - 26) 鈴木卓, 市之瀬敏勝: 柱と杭が水平2方向に偏心する杭頭接合部の非線形FEM解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No2, pp33-36, 2021.7
 - 27) 岸田慎司, 向井智久, 渡邊秀和: ト形部分架構パイルキャップにおける杭頭接合部に関する検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.41, No.2, pp.559-564, 2022
 - 28) 真田靖士, 市之瀬敏勝, 高橋之, 飯塚桃子: RC耐震壁の開口高さによる耐力低減率の検証, 日本建築学会構造系論文集, Vol80, No.709, pp.481-490, 2015.3
 - 29) American Concrete Institute: Building Code and Commentary, 2014.9
 - 30) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準・同解説,2021.2
 - 31) JSCE: Standard Specifications for Concrete Structure, Design, 2017 (in Japanese) 土木学会: コンクリート標準示方書設計編, 2017
 - 32) S. Hatanaka, Y. Kosaka and Y. Tanigawa: Plastic Deformation Behavior of Axially Loaded Concrete Under Low Lateral Pressure—An Evaluation Method for Compressive Toughness of Laterally Confined Concretes (Part 1), Transaction of AIJ, No. 377, pp. 27-40, 1987
 - 33) Ottosen, N. S.: A Failure Criterion for Concrete, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 103, No. EM4, pp.527-535, 1977
 - 34) K. Naganuma, et al: Simulation of Nonlinear Dynamic Response of Reinforced Concrete Scaled Model Using Three-Dimensional Finite Element Method, Proceedings of the 13th WCEE, No. 586, 2004
 - 35) Vecchio, F. J. and Collins, M. P.: The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear, ACI Journal, Vol. 83, No. 2, pp.219-231, 1986
 - 36) 出雲淳一, 島弘, 岡村甫: 面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル, コンクリート工学論文集, No. 87.9-1, pp. 107-120, 1987
 - 37) Al-Mahaidi, R. S. H.: Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Deep Members, Report 79-1, Dept. Struct. Eng., Cornell Univ., 1979
 - 38) 長沼一洋, 大久保雅章: 繰返し応力下における鉄筋コンクリート板の解析モデル, 日本建築学会構造系論文集, 第365号, pp. 135-142, 2000.10
-

- 39) 大森信次, 高橋敏夫, 坪田張二, 井上範夫, 栗原和夫, 渡辺茂雄 : 繰返し面内せん断力を受ける鉄筋コンクリート平板の弾塑性挙動に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 403 号, pp. 105-118, 1989.9
- 40) Stevens, N. J., Uzumeri, S. M., and Collins, M. P.: Analytical Modeling of Reinforced Concrete Subjected to Monotonic and Reversed Loadings, Pub. No. 87-1, Department of Civil Engineering, Univ. Toronto, Jan. 1987
- 41) V. Ciampi, R. Eligehausen, V. Bertero and E. P. Popov. : Analytical Model for Concrete Anchorages of Reinforcing Bars under Generalized Excitations, No. UCB/EERC-82/23, Univ. of California, Berkeley, 1982
- 42) Elmorsi, M., Kianoush, M. R. and Tso, W. K. : Modeling Bond-slip Deformations in Reinforced Concrete Beam-Column Joints, Canadian Journal of Civil Eng., Vol.27, pp. 490-505, 2000
- 43) 飯塚敬一, 檜貝勇, 斉藤成彦, 高橋良輔 : かぶり厚の影響を考慮した異形鉄筋の付着応力—すべり—ひずみ関係, 土木学会論文集 E2 (材料・鉄筋コンクリート構造), Vol. 67, No. 2, 280-296, 2011

<謝辞>

本論文は、私の高知工科大学システム工学群建築・都市デザイン専攻および高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻社会システム工学コース修士前期課程の3年半にわたる研究成果をまとめたものです。本論文の作成にあたりご指導・ご鞭撻を頂きました方々へ感謝の意をここに記します。

指導教員の鈴木卓准教授には本論文作成にあたって多くのご指導・ご鞭撻を頂きました。研究活動を進めるなかで優しくも、時に厳しくご教授いただけただけでなく人としても成長することができました。また、研究室に配属されてから今日に至るまで非常に恵まれた研究環境を与えていただきました。私の6年間の大学、大学院生活で最も有意義な時間であり、多くのことを学べた研究室でした。心よりお礼申し上げます。

副指導教員の高木方隆教授には大学院での研究発表前において異なる目線での細かなご指摘をいただくことにより、私の研究をより深く追求でき、研究発表がよりよいものとなりました。心よりお礼申し上げます。

副査の赤塚慎准教授には指導教員、副指導教員とともに本論文を審査していただきました。鋭いご指摘をいただき、本論文をよりよくすることができました。心よりお礼申し上げます。

名城大学の市之瀬敏勝教授におかれましては豊富な経験から鋭い指摘を頂きました。心より感謝いたします。

今井工務店の皆様におかれましては鉄筋の準備から試験体の作成や移動、撤去まで多大なご支援を頂きました。心より感謝いたします。

同研究室の同期、西野天駿君は仲間として最も長い時間をともに研究室で過ごし、お互いに助け合いながら研究を進めていく仲でした。あらゆることに対してお世話になり、一番身近な友人として多くの御助力を賜りました。心より感謝いたします。

同研究室の後輩、今井真奈美さん、片岡慎太郎君、佐藤弘都君、竹原未来さん、廣野真成君、牧野滉平君、宮原稔弥君、渡会駿君、長岡紗那さん、別所和真君とはゼミなどでお世話になりました。皆さんの今後の有意義なものとなることを願っております。ありがとうございました。

最後に、私事ではありますが6年間の大学生活を何不自由なく送ることができたのはこれまで支えてくれた両親のおかげです。心より感謝いたします。

<付録 FEM 解析のプログラム>

・ E39

```

-----< FINAL version 11  Input data >-----
TITL :E39
EXEC :STEP ( 1)-->( 4750) ELASTIC=(0) CHECK=(0) POST=(1) RESTART=(0)
LIST :ECHO=(0) MODEL=(1) RESULTS=(1) MESSAGE=(2) WARNING=(2) (0:NO)
FILE :CONV=(2) GRAPH=(2) MONITOR=(2) HISTORY=(1) ELEMENT=(0) (0:NO)
LOAD :APPLIED LOAD MONITOR NODE NO.(90767) DIR=(3) FACTOR=0.001
DISP :DISPLACEMENT MONITOR NODE NO.(90767) DIR=(3) FACTOR=
UNIT :STRESS=(3) (1:kgf/cm**2 2:tf/m**2 3:N/mm**2=MPa)

----Pile Cap----
----- MODEL DEFINITION -----

NODE :(00101) X=0 Y=0 Z=400 RC=(000111)
NODE :(00201) X=20 Y=0 Z=400 RC=(000111)
NODE :(00301) X=40 Y=0 Z=400 RC=(000111)
NODE :(00701) X=200 Y=0 Z=400 RC=(000111)
NODE :(00801) X=220 Y=0 Z=400 RC=(000111)
NODE :(00901) X=250 Y=0 Z=400 RC=(000111)
NODE :(01001) X=280 Y=0 Z=400 RC=(000111)
NODE :(01201) X=360 Y=0 Z=400 RC=(000111)
NODE :(01401) X=400 Y=0 Z=400 RC=(000111)
AUTO :NODE S(00301)-E(00701)-I( 100) BS= INC( )-SET( )
AUTO :NODE S(01001)-E(01201)-I( 100) BS= INC( )-SET( )
AUTO :NODE S(01201)-E(01401)-I( 100) BS= INC( )-SET( )
COPY :NODE S(00101)-E(01401)-I( 100) DY=20 INC( 1)-SET( 2)
COPY :NODE S(00103)-E(01403)-I( 100) DY=40 INC( 1)-SET( 4)
COPY :NODE S(00107)-E(01407)-I( 100) DY=20 INC( 1)-SET( 1)
COPY :NODE S(00108)-E(01408)-I( 100) DY=30 INC( 1)-SET( 2)
COPY :NODE S(00110)-E(01410)-I( 100) DY=40 INC( 1)-SET( 2)
COPY :NODE S(00112)-E(01412)-I( 100) DY=20 INC( 1)-SET( 2)

COPY :NODE S(00101)-E(01414)-I( 1) DZ=30 INC(10000)-SET( 2)
COPY :NODE S(20101)-E(21414)-I( 1) DZ=50 INC(10000)-SET( 2)
COPY :NODE S(40101)-E(41414)-I( 1) DZ=70 INC(10000)-SET( 2)
COPY :NODE S(60101)-E(61414)-I( 1) DZ=60 INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(70101)-E(71414)-I( 1) DZ=40 INC(10000)-SET( 1)

COPY :NODE S(80202)-E(80802)-I( 100) DZ=30 INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80203)-E(80803)-I( 100) DZ=30 INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80204)-E(80804)-I( 100) DZ=30 INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80205)-E(80805)-I( 100) DZ=30 INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80206)-E(80806)-I( 100) DZ=30 INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80207)-E(80807)-I( 100) DZ=30 INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80208)-E(80808)-I( 100) DZ=30 INC(10000)-SET( 1)

COPY :NODE S(80902)-E(81402)-I( 100) DZ=30 INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80903)-E(81403)-I( 100) DZ=30 INC(10000)-SET( 1)
    
```

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
 <付録>

| | | | | | |
|------------|----------------------|------|-------|-----------------|-----|
| COPY :NODE | S(80904)-E(81404)-I(| 100 | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80905)-E(81405)-I(| 100 | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80906)-E(81406)-I(| 100 | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80907)-E(81407)-I(| 100 | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80908)-E(81408)-I(| 100 | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| | | | | | |
| COPY :NODE | S(80209)-E(80214)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80309)-E(80314)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80409)-E(80414)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80509)-E(80514)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80609)-E(80614)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80709)-E(80714)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80809)-E(80814)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| | | | | | |
| MOVE :NODE | S(60101)-E(61401)-I(| 100) | DZ=15 | INC(1)-SET(| 13) |

----X Beam----

| | | | | | |
|------------|----------------------|----|-------|----------------|----|
| COPY :NODE | S(11402)-E(11408)-I(| 1) | DX=40 | INC(100)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(11802)-E(11808)-I(| 1) | DX=80 | INC(100)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(21402)-E(21408)-I(| 1) | DX=40 | INC(100)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(21802)-E(21808)-I(| 1) | DX=80 | INC(100)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(31402)-E(31408)-I(| 1) | DX=40 | INC(100)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(31802)-E(31808)-I(| 1) | DX=80 | INC(100)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(41402)-E(41408)-I(| 1) | DX=40 | INC(100)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(41802)-E(41808)-I(| 1) | DX=80 | INC(100)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(51402)-E(51408)-I(| 1) | DX=40 | INC(100)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(51802)-E(51808)-I(| 1) | DX=80 | INC(100)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(61402)-E(61408)-I(| 1) | DX=40 | INC(100)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(61802)-E(61808)-I(| 1) | DX=80 | INC(100)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(71402)-E(71408)-I(| 1) | DX=40 | INC(100)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(71802)-E(71808)-I(| 1) | DX=80 | INC(100)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(81402)-E(81408)-I(| 1) | DX=40 | INC(100)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(81802)-E(81808)-I(| 1) | DX=80 | INC(100)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(91402)-E(91408)-I(| 1) | DX=40 | INC(100)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(91802)-E(91808)-I(| 1) | DX=80 | INC(100)-SET(| 8) |

----Y Beam----

| | | | | | |
|------------|----------------------|------|-------|--------------|----|
| COPY :NODE | S(10214)-E(10814)-I(| 100) | DY=40 | INC(1)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(10218)-E(10818)-I(| 100) | DY=80 | INC(1)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(20214)-E(20814)-I(| 100) | DY=40 | INC(1)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(20218)-E(20818)-I(| 100) | DY=80 | INC(1)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(30214)-E(30814)-I(| 100) | DY=40 | INC(1)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(30218)-E(30818)-I(| 100) | DY=80 | INC(1)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(40214)-E(40814)-I(| 100) | DY=40 | INC(1)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(40218)-E(40818)-I(| 100) | DY=80 | INC(1)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(50214)-E(50814)-I(| 100) | DY=40 | INC(1)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(50218)-E(50818)-I(| 100) | DY=80 | INC(1)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(60214)-E(60814)-I(| 100) | DY=40 | INC(1)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(60218)-E(60818)-I(| 100) | DY=80 | INC(1)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(70214)-E(70814)-I(| 100) | DY=40 | INC(1)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(70218)-E(70818)-I(| 100) | DY=80 | INC(1)-SET(| 8) |
| COPY :NODE | S(80214)-E(80814)-I(| 100) | DY=40 | INC(1)-SET(| 4) |

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
< 付録 >

COPY :NODE S(80218)-E(80818)-I(100) DY=80 INC(1)-SET(8)
 COPY :NODE S(90214)-E(90814)-I(100) DY=40 INC(1)-SET(4)
 COPY :NODE S(90218)-E(90818)-I(100) DY=80 INC(1)-SET(8)

REST :NODE S(92502)-E(92508)-I(1) RC=(001000) INC()-SET()
 REST :NODE S(90225)-E(90825)-I(100) RC=(001000) INC()-SET()

----Beam reinforcing bar----

COPY :NODE S(20303)-E(22603)-I(100) DX=0 INC(25)-SET(1)
 COPY :NODE S(20305)-E(22605)-I(100) DX=0 INC(25)-SET(1)
 COPY :NODE S(20307)-E(22607)-I(100) DX=0 INC(25)-SET(1)
 COPY :NODE S(60303)-E(62603)-I(100) DX=0 INC(25)-SET(1)
 COPY*:NODE S(60305)-E(62605)-I(100) DX=0 INC(25)-SET(1)
 COPY :NODE S(60307)-E(62607)-I(100) DX=0 INC(25)-SET(1)
 COPY :NODE S(80303)-E(82603)-I(100) DX=0 INC(25)-SET(1)
 COPY :NODE S(80305)-E(82605)-I(100) DX=0 INC(25)-SET(1)
 COPY :NODE S(80307)-E(82607)-I(100) DX=0 INC(25)-SET(1)

JOIN :NODE S(20303)-E(20307)-I(2) WITH S(20328)-E(20332)-I(2)
 JOIN :NODE S(60303)-E(60307)-I(4) WITH S(60328)-E(60332)-I(4)
 JOIN :NODE S(80303)-E(80307)-I(2) WITH S(80328)-E(80332)-I(2)

COPY :NODE S(20303)-E(20326)-I(1) DX=0 INC(2500)-SET(1)
 COPY :NODE S(20503)-E(20526)-I(1) DX=0 INC(2500)-SET(1)
 COPY :NODE S(20703)-E(20726)-I(1) DX=0 INC(2500)-SET(1)
 COPY :NODE S(60303)-E(60326)-I(1) DX=0 INC(2500)-SET(1)
 COPY*:NODE S(60503)-E(60526)-I(1) DX=0 INC(2500)-SET(1)
 COPY :NODE S(60703)-E(60726)-I(1) DX=0 INC(2500)-SET(1)
 COPY :NODE S(80303)-E(80326)-I(1) DX=0 INC(2500)-SET(1)
 COPY :NODE S(80503)-E(80526)-I(1) DX=0 INC(2500)-SET(1)
 COPY :NODE S(80703)-E(80726)-I(1) DX=0 INC(2500)-SET(1)

JOIN :NODE S(20303)-E(20703)-I(200) WITH S(22803)-E(23203)-I(200)
 JOIN :NODE S(60303)-E(60703)-I(400) WITH S(62803)-E(63203)-I(400)
 JOIN :NODE S(80303)-E(80703)-I(200) WITH S(82803)-E(83203)-I(200)

----Column----

COPY :NODE S(00202)-E(00802)-I(100) DZ=430 INC(6000)-SET(1)
 COPY :NODE S(00203)-E(00803)-I(100) DZ=430 INC(6000)-SET(1)
 COPY :NODE S(00204)-E(00804)-I(100) DZ=430 INC(6000)-SET(1)
 COPY :NODE S(00205)-E(00805)-I(100) DZ=430 INC(6000)-SET(1)
 COPY :NODE S(00206)-E(00806)-I(100) DZ=430 INC(6000)-SET(1)
 COPY :NODE S(00207)-E(00807)-I(100) DZ=430 INC(6000)-SET(1)
 COPY :NODE S(00208)-E(00808)-I(100) DZ=430 INC(6000)-SET(1)

COPY :NODE S(06202)-E(06802)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(06203)-E(06803)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(06204)-E(06804)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(06205)-E(06805)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(06206)-E(06806)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(06207)-E(06807)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(06208)-E(06808)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(3)

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

COPY :NODE S(36202)-E(36802)-I(100) DZ=80 INC(10000)-SET(2)
 COPY :NODE S(36203)-E(36803)-I(100) DZ=80 INC(10000)-SET(2)
 COPY :NODE S(36204)-E(36804)-I(100) DZ=80 INC(10000)-SET(2)
 COPY :NODE S(36205)-E(36805)-I(100) DZ=80 INC(10000)-SET(2)
 COPY :NODE S(36206)-E(36806)-I(100) DZ=80 INC(10000)-SET(2)
 COPY :NODE S(36207)-E(36807)-I(100) DZ=80 INC(10000)-SET(2)
 COPY :NODE S(36208)-E(36808)-I(100) DZ=80 INC(10000)-SET(2)

COPY :NODE S(56202)-E(56802)-I(100) DZ=83 INC(10000)-SET(1)
 COPY :NODE S(56203)-E(56803)-I(100) DZ=83 INC(10000)-SET(1)
 COPY :NODE S(56204)-E(56804)-I(100) DZ=83 INC(10000)-SET(1)
 COPY :NODE S(56205)-E(56805)-I(100) DZ=83 INC(10000)-SET(1)
 COPY :NODE S(56206)-E(56806)-I(100) DZ=83 INC(10000)-SET(1)
 COPY :NODE S(56207)-E(56807)-I(100) DZ=83 INC(10000)-SET(1)
 COPY :NODE S(56208)-E(56808)-I(100) DZ=83 INC(10000)-SET(1)

JOIN :NODE S(90202)-E(90802)-I(100) WITH S(06202)-E(06802)-I(100)
 JOIN :NODE S(90203)-E(90803)-I(100) WITH S(06203)-E(06803)-I(100)
 JOIN :NODE S(90204)-E(90804)-I(100) WITH S(06204)-E(06804)-I(100)
 JOIN :NODE S(90205)-E(90805)-I(100) WITH S(06205)-E(06805)-I(100)
 JOIN :NODE S(90206)-E(90806)-I(100) WITH S(06206)-E(06806)-I(100)
 JOIN :NODE S(90207)-E(90807)-I(100) WITH S(06207)-E(06807)-I(100)
 JOIN :NODE S(90208)-E(90808)-I(100) WITH S(06208)-E(06808)-I(100)

----Pile----

COPY :NODE S(00503)-E(01003)-I(100) DZ=-640 INC(60)-SET(1)
 COPY :NODE S(00404)-E(01104)-I(100) DZ=-640 INC(60)-SET(1)
 COPY :NODE S(00305)-E(01205)-I(100) DZ=-640 INC(60)-SET(1)
 COPY :NODE S(00306)-E(01206)-I(100) DZ=-640 INC(60)-SET(1)
 COPY :NODE S(00307)-E(01207)-I(100) DZ=-640 INC(60)-SET(1)
 COPY :NODE S(00308)-E(01208)-I(100) DZ=-640 INC(60)-SET(1)
 COPY :NODE S(00309)-E(01209)-I(100) DZ=-640 INC(60)-SET(1)
 COPY :NODE S(00310)-E(01210)-I(100) DZ=-640 INC(60)-SET(1)
 COPY :NODE S(00411)-E(01111)-I(100) DZ=-640 INC(60)-SET(1)
 COPY :NODE S(00512)-E(01012)-I(100) DZ=-640 INC(60)-SET(1)

COPY :NODE S(00563)-E(01063)-I(100) DZ=160 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(30563)-E(31063)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(4)
 COPY :NODE S(00464)-E(01164)-I(100) DZ=160 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(30464)-E(31164)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(4)
 COPY :NODE S(00365)-E(01265)-I(100) DZ=160 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(30365)-E(31265)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(4)
 COPY :NODE S(00366)-E(01266)-I(100) DZ=160 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(30366)-E(31266)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(4)
 COPY :NODE S(00367)-E(01267)-I(100) DZ=160 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(30367)-E(31267)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(4)
 COPY :NODE S(00368)-E(01268)-I(100) DZ=160 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(30368)-E(31268)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(4)
 COPY :NODE S(00369)-E(01269)-I(100) DZ=160 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(30369)-E(31269)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(4)
 COPY :NODE S(00370)-E(01270)-I(100) DZ=160 INC(10000)-SET(3)
 COPY :NODE S(30370)-E(31270)-I(100) DZ=40 INC(10000)-SET(4)
 COPY :NODE S(00471)-E(01171)-I(100) DZ=160 INC(10000)-SET(3)

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
< 付録 >

```

COPY :NODE S(30471)-E(31171)-I( 100) DZ=40      INC(10000)-SET( 4)
COPY :NODE S(00572)-E(01072)-I( 100) DZ=160     INC(10000)-SET( 3)
COPY :NODE S(30572)-E(31072)-I( 100) DZ=40      INC(10000)-SET( 4)

JOIN :NODE S(00503)-E(01003)-I( 100) WITH S(70563)-E(71063)-I( 100)
JOIN :NODE S(00404)-E(01104)-I( 100) WITH S(70464)-E(71164)-I( 100)
JOIN :NODE S(00305)-E(01205)-I( 100) WITH S(70365)-E(71265)-I( 100)
JOIN :NODE S(00306)-E(01206)-I( 100) WITH S(70366)-E(71266)-I( 100)
JOIN :NODE S(00307)-E(01207)-I( 100) WITH S(70367)-E(71267)-I( 100)
JOIN :NODE S(00308)-E(01208)-I( 100) WITH S(70368)-E(71268)-I( 100)
JOIN :NODE S(00309)-E(01209)-I( 100) WITH S(70369)-E(71269)-I( 100)
JOIN :NODE S(00310)-E(01210)-I( 100) WITH S(70370)-E(71270)-I( 100)
JOIN :NODE S(00411)-E(01111)-I( 100) WITH S(70471)-E(71171)-I( 100)
JOIN :NODE S(00512)-E(01012)-I( 100) WITH S(70572)-E(71072)-I( 100)

FREE :NODE S(20767)-E(    )-I(    ) RC=(111000) INC(    )-SET(    )
FREE :NODE S(21267)-E(    )-I(    ) RC=(111000) INC(    )-SET(    )
FREE :NODE S(20772)-E(    )-I(    ) RC=(111000) INC(    )-SET(    )

----Oil jack----
NODE :(90767) X=200      Y=200      Z=-1514      RC=(110111)

----XBeam displacement----
NODE :(22567) X=1120     Y=200      Z=80      RC=(000000)
NODE :(21967) X=640      Y=200      Z=80      RC=(000000)
NODE :(22565) X=1120     Y=120      Z=80      RC=(000000)
NODE :(21965) X=640      Y=120      Z=80      RC=(000000)

----YBeam Displacement----
NODE :(26725) X=200      Y=1120     Z=80      RC=(000000)
NODE :(26719) X=200      Y=640      Z=80      RC=(000000)
NODE :(26525) X=120      Y=1120     Z=80      RC=(000000)
NODE :(26519) X=120      Y=640      Z=80      RC=(000000)

----Element----
----Pile cap----
HEXA :(00101)(00101:00201:00202:00102:10101:10201:10202:10102) TYPH( 1)
AUTO :ELM S(00101)-E(01301)-I( 100)-N( 100)I( 1)-N( 1)-S( 12)
COPY :ELM S(00101)-E(00113)-I( 1) INC(10000)-NINC(10000)-SET( 7)
COPY :ELM S(00201)-E(00213)-I( 1) INC(10000)-NINC(10000)-SET( 7)
COPY :ELM S(00301)-E(00313)-I( 1) INC(10000)-NINC(10000)-SET( 7)
COPY :ELM S(00401)-E(00413)-I( 1) INC(10000)-NINC(10000)-SET( 7)
COPY :ELM S(00501)-E(00513)-I( 1) INC(10000)-NINC(10000)-SET( 7)
COPY :ELM S(00601)-E(00613)-I( 1) INC(10000)-NINC(10000)-SET( 7)
COPY :ELM S(00701)-E(00713)-I( 1) INC(10000)-NINC(10000)-SET( 7)
COPY :ELM S(00801)-E(00813)-I( 1) INC(10000)-NINC(10000)-SET( 7)
COPY :ELM S(00901)-E(00913)-I( 1) INC(10000)-NINC(10000)-SET( 7)
COPY :ELM S(01001)-E(01013)-I( 1) INC(10000)-NINC(10000)-SET( 7)
COPY :ELM S(01101)-E(01113)-I( 1) INC(10000)-NINC(10000)-SET( 7)
COPY :ELM S(01201)-E(01213)-I( 1) INC(10000)-NINC(10000)-SET( 7)
COPY :ELM S(01301)-E(01313)-I( 1) INC(10000)-NINC(10000)-SET( 7)

ETYP :ELM S(00202)-E(00702)-I( 100) TYPE( 2) INC(10000)-SET( 7)

```

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

ETYP:ELM S(00203)-E(00703)-I(100) TYPE(2) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00204)-E(00704)-I(100) TYPE(2) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00205)-E(00705)-I(100) TYPE(2) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00206)-E(00706)-I(100) TYPE(2) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00207)-E(00707)-I(100) TYPE(2) INC(10000)-SET(7)

ETYP:ELM S(00802)-E(01302)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00803)-E(01303)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00804)-E(01304)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00805)-E(01305)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00806)-E(01306)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00807)-E(01307)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(7)

ETYP:ELM S(00208)-E(00708)-I(100) TYPE(4) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00209)-E(00709)-I(100) TYPE(4) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00210)-E(00710)-I(100) TYPE(4) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00211)-E(00711)-I(100) TYPE(4) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00212)-E(00712)-I(100) TYPE(4) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00213)-E(00713)-I(100) TYPE(4) INC(10000)-SET(7)

ETYP:ELM S(00808)-E(01308)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00809)-E(01309)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00810)-E(01310)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00811)-E(01311)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00812)-E(01312)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(7)
 ETYP:ELM S(00813)-E(01313)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(7)

HEXA:(80202)(80202:80302:80303:80203:90202:90302:90303:90203) TYPH(8)
 AUTO:ELM S(80202)-E(80702)-I(100)-N(100)I(1)-N(1)-S(5)

----X Beam----

HEXA:(11402)(11402:11502:11503:11403:21402:21502:21503:21403) TYPH(6)
 AUTO:ELM S(11402)-E(12502)-I(100)-N(100)I(1)-N(1)-S(5)
 COPY:ELM S(11402)-E(12502)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)
 COPY:ELM S(11403)-E(12503)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)
 COPY:ELM S(11404)-E(12504)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)
 COPY:ELM S(11405)-E(12505)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)
 COPY:ELM S(11406)-E(12506)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)
 COPY:ELM S(11407)-E(12507)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)
 COPY:ELM S(11408)-E(12508)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)

HEXA:(80802)(80802:80902:80903:80803:90802:90902:90903:90803) TYPH(6)
 AUTO:ELM S(80802)-E(81302)-I(100)-N(100)I(1)-N(1)-S(5)

ETYP:ELM S(82402)-E(82407)-I(1) TYPE(10) INC(100)-SET(1)

----Y Beam----

HEXA:(10214)(10214:10314:10315:10215:20214:20314:20315:20215) TYPH(7)
 AUTO:ELM S(10214)-E(10225)-I(1)-N(1)I(100)-N(100)-S(5)
 COPY:ELM S(10214)-E(10225)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)
 COPY:ELM S(10314)-E(10325)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)
 COPY:ELM S(10414)-E(10425)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)
 COPY:ELM S(10514)-E(10525)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

COPY :ELM S(10614)-E(10625)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)
 COPY :ELM S(10714)-E(10725)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)
 COPY :ELM S(10814)-E(10825)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)

HEXA :(80208)(80208:80308:80309:80209:90208:90308:90309:90209) TYPH(7)
 AUTO :ELM S(80208)-E(80708)-I(100)-N(100)I(1)-N(1)-S(5)

ETYP :ELM S(80224)-E(80724)-I(100) TYPE(10) INC(1)-SET(1)

----Reinforcing bars

BEAM :(20328)(20328:20428) TYPB(1) Y-NODE()
 AUTO :ELM S(20328)-E(22528)-I(100)-N(100)I(2)-N(2)-S(2)
 BEAM :(60328)(60328:60428) TYPB(1) Y-NODE()
 AUTO :ELM S(60328)-E(62528)-I(100)-N(100)I(4)-N(4)-S(1)
 BEAM :(80328)(80328:80428) TYPB(1) Y-NODE()
 AUTO :ELM S(80328)-E(82528)-I(100)-N(100)I(2)-N(2)-S(2)
 LINE :(20353)(20303:20403:20328:20428) TYPL(1)
 AUTO :ELM S(20353)-E(22553)-I(100)-N(100)I(2)-N(2)-S(2)
 LINE :(60353)(60303:60403:60328:60428) TYPL(2)
 AUTO :ELM S(60353)-E(62553)-I(100)-N(100)I(4)-N(4)-S(1)
 LINE :(80353)(80303:80403:80328:80428) TYPL(1)
 AUTO :ELM S(80353)-E(82553)-I(100)-N(100)I(2)-N(2)-S(2)

ETYP :ELM S(22553)-E(22557)-I(2) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(62553)-E(62557)-I(4) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(82553)-E(82557)-I(2) TYPE(2) INC()-SET()

BEAM :(22803)(22803:22804) TYPB(1) Y-NODE()
 AUTO :ELM S(22803)-E(22825)-I(1)-N(1)I(200)-N(200)-S(2)
 BEAM :(62803)(62803:62804) TYPB(1) Y-NODE()
 AUTO :ELM S(62803)-E(62825)-I(1)-N(1)I(400)-N(400)-S(1)
 BEAM :(82803)(82803:82804) TYPB(1) Y-NODE()
 AUTO :ELM S(82803)-E(82825)-I(1)-N(1)I(200)-N(200)-S(2)
 LINE :(25303)(20303:20304:22803:22804) TYPL(3)
 AUTO :ELM S(25303)-E(25325)-I(1)-N(1)I(200)-N(200)-S(2)
 LINE :(65303)(60303:60304:62803:62804) TYPL(4)
 AUTO :ELM S(65303)-E(65325)-I(1)-N(1)I(400)-N(400)-S(1)
 LINE :(85303)(80303:80304:82803:82804) TYPL(3)
 AUTO :ELM S(85303)-E(85325)-I(1)-N(1)I(200)-N(200)-S(2)

ETYP :ELM S(25325)-E(25725)-I(200) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(65325)-E(65725)-I(400) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(85325)-E(85725)-I(200) TYPE(2) INC()-SET()

----Column----

HEXA :(06202)(06202:06302:06303:06203:16202:16302:16303:16203) TYPH(8)
 AUTO :ELM S(06202)-E(06702)-I(100)-N(100)I(1)-N(1)-S(5)
 COPY :ELM S(06202)-E(06702)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(5)
 COPY :ELM S(06203)-E(06703)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(5)
 COPY :ELM S(06204)-E(06704)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(5)
 COPY :ELM S(06205)-E(06705)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(5)
 COPY :ELM S(06206)-E(06706)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(5)
 COPY :ELM S(06207)-E(06707)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(5)

ETYP:ELM S(56202)-E(56702)-I(100) TYPE(10) INC(1)-SET(5)
 REST:NODE S(66505)-E()-I() RC=(111000)INC()-SET()

----Pile----

HEXA:(00563)(00563:00663:00664:00564:10563:10663:10664:10564) TYPH(9)
 AUTO:ELM S(00563)-E(00963)-I(100)-N(100)I(10000)-N(10000)-S(6)
 HEXA:(00464)(00464:00564:00565:00465:10464:10564:10565:10465) TYPH(9)
 AUTO:ELM S(00464)-E(01064)-I(100)-N(100)I(10000)-N(10000)-S(6)
 HEXA:(00365)(00365:00465:00466:00366:10365:10465:10466:10366) TYPH(9)
 AUTO:ELM S(00365)-E(01165)-I(100)-N(100)I(1)-N(1)-S(4)
 COPY:ELM S(00365)-E(01165)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(6)
 COPY:ELM S(00366)-E(01166)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(6)
 COPY:ELM S(00367)-E(01167)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(6)
 COPY:ELM S(00368)-E(01168)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(6)
 COPY:ELM S(00369)-E(01169)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(6)
 HEXA:(00470)(00470:00570:00571:00471:10470:10570:10571:10471) TYPH(9)
 AUTO:ELM S(00470)-E(01070)-I(100)-N(100)I(10000)-N(10000)-S(6)
 HEXA:(00571)(00571:00671:00672:00572:10571:10671:10672:10572) TYPH(9)
 AUTO:ELM S(00571)-E(00971)-I(100)-N(100)I(10000)-N(10000)-S(6)

HEXA:(00463)(00563:00564:00464:00464:10563:10564:10464:10464) TYPH(9)
 AUTO:ELM S(00463)-E(60463)-I(10000)-N(10000)I(-99)-N(-99)-S(1)
 HEXA:(01063)(01164:01064:01063:01063:11164:11064:11063:11063) TYPH(9)
 AUTO:ELM S(01063)-E(61063)-I(10000)-N(10000)I(101)-N(101)-S(1)
 HEXA:(00370)(00370:00470:00471:00471:10370:10470:10471:10471) TYPH(9)
 AUTO:ELM S(00370)-E(60370)-I(10000)-N(10000)I(101)-N(101)-S(1)
 HEXA:(01170)(01171:01170:01270:01270:11171:11170:11270:11270) TYPH(9)
 AUTO:ELM S(01170)-E(61170)-I(10000)-N(10000)I(-99)-N(-99)-S(1)

ETYP:ELM S(00463)-E(01063)-I(100) TYPE(10) INC()-SET()
 ETYP:ELM S(00364)-E(01164)-I(100) TYPE(10) INC()-SET()
 ETYP:ELM S(00365)-E(01165)-I(100) TYPE(10) INC(1)-SET(4)
 ETYP:ELM S(00370)-E(01170)-I(100) TYPE(10) INC()-SET()
 ETYP:ELM S(00471)-E(01071)-I(100) TYPE(10) INC()-SET()

----Oil jack----

BEAM:(80767)(00767:90767) TYPB(2) Y-NODE()
 FREE:NODE S(00767)-E(90767)-I(90000) RC=(110111)INC()-SET()
 SUB1:NODE S(00767)-E()-I()-D(1) M(00767)-D(2) F=1

----XBeam Diaplacement----

BEAM:(21267)(20767:21267) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM:(21967)(21267:21967) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM:(22567)(21967:22567) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM:(21965)(21967:21965) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM:(22565)(22567:22565) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM:(11965)(21965:11905) TYPB(4) Y-NODE()
 BEAM:(12565)(22565:12505) TYPB(4) Y-NODE()

----YBeam Dislacement----

BEAM:(20772)(20767:20772) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM:(26719)(20772:26719) TYPB(3) Y-NODE()

BEAM :(26725)(26719:26725) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(26519)(26719:26519) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(26525)(26725:26525) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(16519)(26519:10519) TYPB(4) Y-NODE()
 BEAM :(16525)(26525:10525) TYPB(4) Y-NODE()

----- ELEMENT TYPE DATA -----

TYPH:(1) MATC(3) AXIS(1)

TYPH:(2) MATC(1) AXIS(1)

RH : X-BAR(1) MATS(3) RT=0.33 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : X-BAR(2) MATS(4) RT=1.27 (%) DI= DUMMY=(1)
 RH : Y-BAR(1) MATS(3) RT=0.33 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Y-BAR(2) MATS(4) RT=1.27 (%) DI= DUMMY=(1)
 RH : Z-BAR(1) MATS(1) RT=2.5 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Z-BAR(2) MATS(1) RT=2.14 (%) DI= DUMMY=(0)

TYPH:(3) MATC(3) AXIS(1)

RH : X-BAR(1) MATS(3) RT=0.018 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : X-BAR(2) MATS(3) RT=0.018 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : X-BAR(3) MATS(4) RT=1.27 (%) DI= DUMMY=(1)
 RH : Y-BAR(1) MATS(3) RT=0.018 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Y-BAR(2) MATS(3) RT=0.23 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Y-BAR(3) MATS(3) RT=0.27 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Z-BAR(1) MATS(3) RT=0.7 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Z-BAR(2) MATS(1) RT=0.59 (%) DI= DUMMY=(0)

TYPH:(4) MATC(3) AXIS(1)

RH : X-BAR(1) MATS(3) RT=0.018 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : X-BAR(2) MATS(3) RT=0.23 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : X-BAR(3) MATS(3) RT=0.27 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Y-BAR(1) MATS(3) RT=0.018 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Y-BAR(2) MATS(3) RT=0.018 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Y-BAR(3) MATS(4) RT=1.27 (%) DI= DUMMY=(1)
 RH : Z-BAR(1) MATS(3) RT=0.7 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Z-BAR(2) MATS(1) RT=0.59 (%) DI= DUMMY=(0)

TYPH:(5) MATC(3) AXIS(1)

RH : X-BAR(1) MATS(3) RT=0.02 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : X-BAR(2) MATS(3) RT=0.27 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Y-BAR(1) MATS(3) RT=0.02 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Y-BAR(2) MATS(3) RT=0.27 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Z-BAR(1) MATS(3) RT=0.44 (%) DI= DUMMY=(0)

TYPH:(6) MATC(1) AXIS(1)

RH : X-BAR(1) MATS(4) RT=1.27 (%) DI= DUMMY=(1)
 RH : Y-BAR(1) MATS(3) RT=0.2 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Z-BAR(1) MATS(3) RT=0.59 (%) DI= DUMMY=(0)

TYPH:(7) MATC(1) AXIS(1)

RH : X-BAR(1) MATS(3) RT=0.2 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Y-BAR(1) MATS(4) RT=1.27 (%) DI= DUMMY=(1)

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

RH : Z-BAR(1) MATS(3) RT=0.59 (%) DI= DUMMY=(0)

TYPH:(8) MATC(2) AXIS(1)

RH : X-BAR(1) MATS(3) RT=0.44 (%) DI= DUMMY=(0)

RH : Y-BAR(1) MATS(3) RT=0.44 (%) DI= DUMMY=(0)

RH : Z-BAR(1) MATS(1) RT=2.14 (%) DI= DUMMY=(0)

TYPH:(9) MATC(3) AXIS(1)

RH : X-BAR(1) MATS(3) RT=0.12 (%) DI= DUMMY=(0)

RH : Y-BAR(1) MATS(3) RT=0.12 (%) DI= DUMMY=(0)

RH : Z-BAR(1) MATS(1) RT=0.95 (%) DI= DUMMY=(0)

TYPH:(10) MATS(6) AXIS(0)

TYPH:(11) MATS(6) AXIS(0)

TYPB:(1) MATS(4) AXIS(1) AREA=126.7 LY= LZ= :

TYPB:(2) MATS(6) AXIS(0) AREA=160000 LY= LZ= :

TYPB:(3) MATS(6) AXIS(0) AREA= LY=1000 LZ=1000 :
 LB : Y-LAYER=(12) OFFSET= TR-SHEAR=(1) (0:NOT INCLUDED)
 LB : Z-LAYER=(12) OFFSET= TR-SHEAR=(1) (0:NOT INCLUDED)

TYPB:(4) MATS(7) AXIS(0) AREA=10 LY= LZ= :

TYPL:(1) MATJ(1) AXIS(1) THICKNESS=40 Z=(1)(1:N 2:S)

TYPL:(2) MATJ(2) AXIS(1) THICKNESS=40 Z=(1)(1:N 2:S)

TYPL:(3) MATJ(3) AXIS(1) THICKNESS=40 Z=(1)(1:N 2:S)

TYPL:(4) MATJ(4) AXIS(1) THICKNESS=40 Z=(1)(1:N 2:S)

----- LOCAL AXIS -----

AXIS:(1) TYPE=(1)(1:GLOBAL 2:ELEMENT 3:INPUT 4:CYLINDER 5:SPHERE)

----- MATERIAL DATA -----

MATC:(1) EC=28.8 (E+3) PR=0.2 FC=30.8 FT=2.26 ALP= (E-5)
 TM : MODEL=(4) (0:FLAT) REBAR YIELD JUDGE=(0) (1:CRACK) C=0.4
 CM : MODEL=(3) (0:LINEAR) CRITERION=(2) CR-REDUCTION SG=(2) EP=(1)
 SM : MODEL=(2) (0:FLAT) PEAK STRAIN= (E-6) FIX=(0)
 GM : MODEL=(4) (0:NONE) MINIMUM CR-ANG=20.0 CRACK AXIS=(3)

MATC:(2) EC=33.6 (E+3) PR=0.2 FC=41 FT=2.73 ALP= (E-5)
 TM : MODEL=(4) (0:FLAT) REBAR YIELD JUDGE=(0) (1:CRACK) C=0.4
 CM : MODEL=(3) (0:LINEAR) CRITERION=(2) CR-REDUCTION SG=(2) EP=(1)
 SM : MODEL=(2) (0:FLAT) PEAK STRAIN= (E-6) FIX=(0)
 GM : MODEL=(4) (0:NONE) MINIMUM CR-ANG=20.0 CRACK AXIS=(3)

MATC:(3) EC=28.8 (E+3) PR=0.2 FC=30.8 FT=2.26 ALP= (E-5)

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
< 付録 >

```

TM : MODEL=(4) (0:FLAT)   REBAR YIELD JUDGE=(0) (1:CRACK)  C=0.4
CM : MODEL=(3) (0:LINEAR) CRITERION=(2)   CR-REDUCTION SG=(2) EP=(1)
SM : MODEL=(2) (0:FLAT)   PEAK STRAIN=      (E-6)   FIX=(0)
GM : MODEL=(4) (0:NONE)   MINIMUM CR-ANG=20.0  CRACK AXIS=(3)

MATS :( 1) EC=195   (E+3) PR=0.3  SY=348   HR=0.001 ALP=      (E-5)
      HM : MODEL=(1) (0:LINEAR)   HARDENING=(0) (1:ISOTROPIC  2:KINEMATIC)

MATS :( 2) EC=184   (E+3) PR=0.3  SY=351   HR=0.001 ALP=      (E-5)
      HM : MODEL=(1) (0:LINEAR)   HARDENING=(0) (1:ISOTROPIC  2:KINEMATIC)

MATS :( 3) EC=184   (E+3) PR=0.3  SY=351   HR=0.001 ALP=      (E-5)
      HM : MODEL=(1) (0:LINEAR)   HARDENING=(0) (1:ISOTROPIC  2:KINEMATIC)

MATS :( 4) EC=188   (E+3) PR=0.3  SY=821   HR=0.001 ALP=      (E-5)
      HM : MODEL=(1) (0:LINEAR)   HARDENING=(0) (1:ISOTROPIC  2:KINEMATIC)

MATS :( 5) EC=205   (E+3) PR=      SY=      HR=      ALP=      (E-5)

MATS :( 6) EC=205   (E+9) PR=      SY=      HR=      ALP=      (E-5)

MATS :( 7) EC=1     (E+1) PR=      SY=      HR=      ALP=      (E-5)

MATJ :( 1) TYPE=(2) (1:CRACK  2:BOND  3:GENERIC  4:RIGID  5:DASHPOT)
      BM : MODEL=(2) (0:NONE)   PEAK STRESS=4.10  SLIP AT PEAK=0.182  :

MATJ :( 2) TYPE=(2) (1:CRACK  2:BOND  3:GENERIC  4:RIGID  5:DASHPOT)
      BM : MODEL=(2) (0:NONE)   PEAK STRESS=4.10  SLIP AT PEAK=0.182  :

MATJ :( 3) TYPE=(2) (1:CRACK  2:BOND  3:GENERIC  4:RIGID  5:DASHPOT)
      BM : MODEL=(2) (0:NONE)   PEAK STRESS=4.10  SLIP AT PEAK=0.182  :

MATJ :( 4) TYPE=(2) (1:CRACK  2:BOND  3:GENERIC  4:RIGID  5:DASHPOT)
      BM : MODEL=(2) (0:NONE)   PEAK STRESS=4.10  SLIP AT PEAK=0.182  :

```

----- STEP DATA -----

```

STEP :UP TO NO.( 50)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=      CREEP=( ) (0:NO)
      FN :NODE  S(90767)-E(  )-I(  )  FORCE=125000  DIR(3)
      OUT :STEP  S( 1)-E( 50)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
      OUT :ELM  S(11965)-E(  )-I(  ) LEVEL=(4) (0:NO)  POINT=( )
      OUT :ELM  S(12565)-E(  )-I(  ) LEVEL=(4) (0:NO)  POINT=( )
      OUT :ELM  S(16519)-E(  )-I(  ) LEVEL=(4) (0:NO)  POINT=( )
      OUT :ELM  S(16525)-E(  )-I(  ) LEVEL=(4) (0:NO)  POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 100) MAXIMUM LOAD INCREMENT=      CREEP=( ) (0:NO)
      FN :NODE  S(90767)-E(  )-I(  )  FORCE=257000  DIR(3)
      OUT :STEP  S( 50)-E( 100)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
      OUT :ELM  S(11965)-E(  )-I(  ) LEVEL=(4) (0:NO)  POINT=( )
      OUT :ELM  S(12565)-E(  )-I(  ) LEVEL=(4) (0:NO)  POINT=( )
      OUT :ELM  S(16519)-E(  )-I(  ) LEVEL=(4) (0:NO)  POINT=( )
      OUT :ELM  S(16525)-E(  )-I(  ) LEVEL=(4) (0:NO)  POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 110) MAXIMUM LOAD INCREMENT=      CREEP=( ) (0:NO)

```

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
 <付録>

```

FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=153000 DIR(3)
OUT :STEP S( 100)-E( 110)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 200) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=309000 DIR(3)
OUT :STEP S( 110)-E( 200)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 220) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=152000 DIR(3)
OUT :STEP S( 200)-E( 220)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 400) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=509000 DIR(3)
OUT :STEP S( 220)-E( 400)-I( 20) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 450) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=153000 DIR(3)
OUT :STEP S( 400)-E( 450)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 700) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=590000 DIR(3)
OUT :STEP S( 450)-E( 700)-I( 50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 750) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=154000 DIR(3)
OUT :STEP S( 700)-E( 750)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 1100) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)

```

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

```

FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=678000 DIR(3)
OUT :STEP S( 750)-E(1100)-I( 50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
STEP :UP TO NO.( 1150) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=144000 DIR(3)
OUT :STEP S( 1100)-E(1150)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 1600) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=859000 DIR(3)
OUT :STEP S( 1150)-E(1600)-I( 50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 1650) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=149000 DIR(3)
OUT :STEP S( 1600)-E(1650)-I( 50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 2100) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=1144000 DIR(3)
OUT :STEP S( 1650)-E(2100)-I( 50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 2150) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=155000 DIR(3)
OUT :STEP S( 2100)-E(2150)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 2900) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=1326000 DIR(3)
OUT :STEP S( 2150)-E(2900)-I( 50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 2950) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=148000 DIR(3)

```

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

```
OUT:STEP S(2900)-E(2950)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT:ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP:UP TO NO.(3800) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN:NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=1548000 DIR(3)
OUT:STEP S(2950)-E(3800)-I( 50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT:ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP:UP TO NO.(3850) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN:NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=142000 DIR(3)
OUT:STEP S(3800)-E(3850)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT:ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP:UP TO NO.(4700) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN:NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=1739000 DIR(3)
OUT:STEP S(3850)-E(4700)-I( 50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT:ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP:UP TO NO.(4750) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN:NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=6000 DIR(3)
OUT:STEP S(4700)-E(4750)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT:ELM S(11965)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(12565)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(16519)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(16525)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

END
```

• E88

```

-----< FINAL version 11  Input data >-----
TITL :E88
EXEC :STEP ( 1)-->( 4750) ELASTIC=(0) CHECK=(0) POST=(1) RESTART=(0)
LIST :ECHO=(0) MODEL=(1) RESULTS=(1) MESSAGE=(2) WARNING=(2) (0:NO)
FILE :CONV=(2) GRAPH=(2) MONITOR=(2) HISTORY=(1) ELEMENT=(0) (0:NO)
LOAD :APPLIED LOAD MONITOR NODE NO.(90767) DIR=(3) FACTOR=0.001
DISP :DISPLACEMENT MONITOR NODE NO.(90767) DIR=(3) FACTOR=
UNIT :STRESS=(3) (1:kgf/cm**2 2:tf/m**2 3:N/mm**2=MPa)

----- MODEL DEFINITION -----
----Pile Cap----

NODE :(00101) X=0          Y=0          Z=400      RC=(000111)
NODE :(00201) X=20         Y=0          Z=400      RC=(000111)
NODE :(00301) X=40         Y=0          Z=400      RC=(000111)
NODE :(00701) X=200        Y=0          Z=400      RC=(000111)
NODE :(00801) X=220        Y=0          Z=400      RC=(000111)
NODE :(00901) X=250        Y=0          Z=400      RC=(000111)
NODE :(01001) X=280        Y=0          Z=400      RC=(000111)
NODE :(01201) X=360        Y=0          Z=400      RC=(000111)
NODE :(01401) X=400        Y=0          Z=400      RC=(000111)
AUTO :NODE S(00301)-E(00701)-I( 100) BS=      INC(   )-SET(   )
AUTO :NODE S(01001)-E(01201)-I( 100) BS=      INC(   )-SET(   )
AUTO :NODE S(01201)-E(01401)-I( 100) BS=      INC(   )-SET(   )
COPY :NODE S(00101)-E(01401)-I( 100) DY=20     INC( 1)-SET( 2)
COPY :NODE S(00103)-E(01403)-I( 100) DY=40     INC( 1)-SET( 4)
COPY :NODE S(00107)-E(01407)-I( 100) DY=20     INC( 1)-SET( 1)
COPY :NODE S(00108)-E(01408)-I( 100) DY=30     INC( 1)-SET( 2)
COPY :NODE S(00110)-E(01410)-I( 100) DY=40     INC( 1)-SET( 2)
COPY :NODE S(00112)-E(01412)-I( 100) DY=20     INC( 1)-SET( 2)

COPY :NODE S(00101)-E(01414)-I( 1)  DZ=60     INC(10000)-SET( 3)
COPY :NODE S(30101)-E(31414)-I( 1)  DZ=30     INC(10000)-SET( 2)
COPY :NODE S(50101)-E(51414)-I( 1)  DZ=60     INC(10000)-SET( 2)
COPY :NODE S(70101)-E(71414)-I( 1)  DZ=40     INC(10000)-SET( 1)

COPY :NODE S(80202)-E(80802)-I( 100) DZ=30     INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80203)-E(80803)-I( 100) DZ=30     INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80204)-E(80804)-I( 100) DZ=30     INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80205)-E(80805)-I( 100) DZ=30     INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80206)-E(80806)-I( 100) DZ=30     INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80207)-E(80807)-I( 100) DZ=30     INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80208)-E(80808)-I( 100) DZ=30     INC(10000)-SET( 1)

COPY :NODE S(80902)-E(81402)-I( 100) DZ=30     INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80903)-E(81403)-I( 100) DZ=30     INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80904)-E(81404)-I( 100) DZ=30     INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80905)-E(81405)-I( 100) DZ=30     INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80906)-E(81406)-I( 100) DZ=30     INC(10000)-SET( 1)
COPY :NODE S(80907)-E(81407)-I( 100) DZ=30     INC(10000)-SET( 1)

```

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

| | | | | | |
|------------------------------|----------------------|------|------------------|-----------------|--------------|
| COPY :NODE | S(80908)-E(81408)-I(| 100) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80209)-E(80214)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80309)-E(80314)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80409)-E(80414)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80509)-E(80514)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80609)-E(80614)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80709)-E(80714)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80809)-E(80814)-I(| 1) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| | | | | | |
| COPY :NODE | S(80909)-E(81409)-I(| 100) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80910)-E(81410)-I(| 100) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80911)-E(81411)-I(| 100) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80912)-E(81412)-I(| 100) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80913)-E(81413)-I(| 100) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80914)-E(81314)-I(| 100) | DZ=30 | INC(10000)-SET(| 1) |
| | | | | | |
| MOVE :NODE | S(60101)-E(61401)-I(| 100) | DZ=15 | INC(| 1)-SET(13) |
| ----X Beam---- | | | | | |
| COPY :NODE | S(41402)-E(41413)-I(| 1) | DX=40 | INC(| 100)-SET(4) |
| COPY :NODE | S(41802)-E(41813)-I(| 1) | DX=80 | INC(| 100)-SET(8) |
| COPY :NODE | S(51402)-E(51413)-I(| 1) | DX=40 | INC(| 100)-SET(4) |
| COPY :NODE | S(51802)-E(51813)-I(| 1) | DX=80 | INC(| 100)-SET(8) |
| COPY :NODE | S(61402)-E(61413)-I(| 1) | DX=40 | INC(| 100)-SET(4) |
| COPY :NODE | S(61802)-E(61813)-I(| 1) | DX=80 | INC(| 100)-SET(8) |
| COPY :NODE | S(71402)-E(71413)-I(| 1) | DX=40 | INC(| 100)-SET(4) |
| COPY :NODE | S(71802)-E(71813)-I(| 1) | DX=80 | INC(| 100)-SET(8) |
| COPY :NODE | S(81402)-E(81413)-I(| 1) | DX=40 | INC(| 100)-SET(4) |
| COPY :NODE | S(81802)-E(81813)-I(| 1) | DX=80 | INC(| 100)-SET(8) |
| COPY :NODE | S(91402)-E(91413)-I(| 1) | DX=40 | INC(| 100)-SET(4) |
| COPY :NODE | S(91802)-E(91813)-I(| 1) | DX=80 | INC(| 100)-SET(8) |
| ----Y Beam---- | | | | | |
| COPY :NODE | S(40214)-E(41314)-I(| 100) | DY=40 | INC(| 1)-SET(4) |
| COPY :NODE | S(40218)-E(41318)-I(| 100) | DY=80 | INC(| 1)-SET(8) |
| COPY :NODE | S(50214)-E(51314)-I(| 100) | DY=40 | INC(| 1)-SET(4) |
| COPY :NODE | S(50218)-E(51318)-I(| 100) | DY=80 | INC(| 1)-SET(8) |
| COPY :NODE | S(60214)-E(61314)-I(| 100) | DY=40 | INC(| 1)-SET(4) |
| COPY :NODE | S(60218)-E(61318)-I(| 100) | DY=80 | INC(| 1)-SET(8) |
| COPY :NODE | S(70214)-E(71314)-I(| 100) | DY=40 | INC(| 1)-SET(4) |
| COPY :NODE | S(70218)-E(71318)-I(| 100) | DY=80 | INC(| 1)-SET(8) |
| COPY :NODE | S(80214)-E(81314)-I(| 100) | DY=40 | INC(| 1)-SET(4) |
| COPY :NODE | S(80218)-E(81318)-I(| 100) | DY=80 | INC(| 1)-SET(8) |
| COPY :NODE | S(90214)-E(91314)-I(| 100) | DY=40 | INC(| 1)-SET(4) |
| COPY :NODE | S(90218)-E(91318)-I(| 100) | DY=80 | INC(| 1)-SET(8) |
| | | | | | |
| REST :NODE | S(92502)-E(92513)-I(| 1) | RC=(001000) INC(|) | -SET() |
| REST :NODE | S(90225)-E(91325)-I(| 100) | RC=(001000) INC(|) | -SET() |
| ----Beam reinforcing bar---- | | | | | |
| COPY :NODE | S(50303)-E(52603)-I(| 100) | DX=0 | INC(| 25)-SET(1) |
| COPY :NODE | S(50305)-E(52605)-I(| 100) | DX=0 | INC(| 25)-SET(1) |

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
 <付録>

| | | | | | | |
|----------------|----------------------|------|--------|----------------------|------------|----|
| COPY :NODE | S(50307)-E(52607)-I(| 100 | DX=0 | INC(| 25)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(50310)-E(52610)-I(| 100 | DX=0 | INC(| 25)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(50312)-E(52612)-I(| 100 | DX=0 | INC(| 25)-SET(| 1) |
| | | | | | | |
| COPY :NODE | S(60303)-E(62603)-I(| 100 | DX=0 | INC(| 25)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(60305)-E(62605)-I(| 100 | DX=0 | INC(| 25)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(60307)-E(62607)-I(| 100 | DX=0 | INC(| 25)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(60310)-E(62610)-I(| 100 | DX=0 | INC(| 25)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(60312)-E(62612)-I(| 100 | DX=0 | INC(| 25)-SET(| 1) |
| | | | | | | |
| COPY :NODE | S(80303)-E(82603)-I(| 100 | DX=0 | INC(| 25)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80305)-E(82605)-I(| 100 | DX=0 | INC(| 25)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80307)-E(82607)-I(| 100 | DX=0 | INC(| 25)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80310)-E(82610)-I(| 100 | DX=0 | INC(| 25)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80312)-E(82612)-I(| 100 | DX=0 | INC(| 25)-SET(| 1) |
| | | | | | | |
| JOIN :NODE | S(50303)-E(50307)-I(| 2) | WITH | S(50328)-E(50332)-I(| 2) | |
| JOIN :NODE | S(50310)-E(50312)-I(| 2) | WITH | S(50335)-E(50337)-I(| 2) | |
| JOIN :NODE | S(60303)-E(60307)-I(| 2) | WITH | S(60328)-E(60332)-I(| 2) | |
| JOIN :NODE | S(60310)-E(60312)-I(| 2) | WITH | S(60335)-E(60337)-I(| 2) | |
| JOIN :NODE | S(80303)-E(80307)-I(| 2) | WITH | S(80328)-E(80332)-I(| 2) | |
| JOIN :NODE | S(80310)-E(80312)-I(| 2) | WITH | S(80335)-E(80337)-I(| 2) | |
| | | | | | | |
| COPY :NODE | S(50303)-E(50326)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(50503)-E(50526)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(50703)-E(50726)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(51003)-E(51026)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(51203)-E(51226)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(60303)-E(60326)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(60503)-E(60526)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(60703)-E(60726)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(61003)-E(61026)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(61203)-E(61226)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80303)-E(80326)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80503)-E(80526)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(80703)-E(80726)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(81003)-E(81026)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(81203)-E(81226)-I(| 1) | DX=0 | INC(| 2500)-SET(| 1) |
| | | | | | | |
| JOIN :NODE | S(50303)-E(50703)-I(| 200) | WITH | S(52803)-E(53203)-I(| 200) | |
| JOIN :NODE | S(51003)-E(51203)-I(| 200) | WITH | S(53503)-E(53703)-I(| 200) | |
| JOIN :NODE | S(60303)-E(60703)-I(| 200) | WITH | S(62803)-E(63203)-I(| 200) | |
| JOIN :NODE | S(61003)-E(61203)-I(| 200) | WITH | S(63503)-E(63703)-I(| 200) | |
| JOIN :NODE | S(80303)-E(80703)-I(| 200) | WITH | S(82803)-E(83203)-I(| 200) | |
| JOIN :NODE | S(81003)-E(81203)-I(| 200) | WITH | S(83503)-E(83703)-I(| 200) | |
| | | | | | | |
| ----Column---- | | | | | | |
| COPY :NODE | S(00202)-E(00802)-I(| 100) | DZ=430 | INC(| 6000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00203)-E(00803)-I(| 100) | DZ=430 | INC(| 6000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00204)-E(00804)-I(| 100) | DZ=430 | INC(| 6000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00205)-E(00805)-I(| 100) | DZ=430 | INC(| 6000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00206)-E(00806)-I(| 100) | DZ=430 | INC(| 6000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00207)-E(00807)-I(| 100) | DZ=430 | INC(| 6000)-SET(| 1) |

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

| | | | | | |
|--------------|----------------------------|------|-------------|-----------------------|------|
| COPY :NODE | S(00208)-E(00808)-I(| 100) | DZ=430 | INC(6000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(06202)-E(06802)-I(| 100) | DZ=40 | INC(10000)-SET(| 3) |
| COPY :NODE | S(06203)-E(06803)-I(| 100) | DZ=40 | INC(10000)-SET(| 3) |
| COPY :NODE | S(06204)-E(06804)-I(| 100) | DZ=40 | INC(10000)-SET(| 3) |
| COPY :NODE | S(06205)-E(06805)-I(| 100) | DZ=40 | INC(10000)-SET(| 3) |
| COPY :NODE | S(06206)-E(06806)-I(| 100) | DZ=40 | INC(10000)-SET(| 3) |
| COPY :NODE | S(06207)-E(06807)-I(| 100) | DZ=40 | INC(10000)-SET(| 3) |
| COPY :NODE | S(06208)-E(06808)-I(| 100) | DZ=40 | INC(10000)-SET(| 3) |
| | | | | | |
| COPY :NODE | S(36202)-E(36802)-I(| 100) | DZ=80 | INC(10000)-SET(| 2) |
| COPY :NODE | S(36203)-E(36803)-I(| 100) | DZ=80 | INC(10000)-SET(| 2) |
| COPY :NODE | S(36204)-E(36804)-I(| 100) | DZ=80 | INC(10000)-SET(| 2) |
| COPY :NODE | S(36205)-E(36805)-I(| 100) | DZ=80 | INC(10000)-SET(| 2) |
| COPY :NODE | S(36206)-E(36806)-I(| 100) | DZ=80 | INC(10000)-SET(| 2) |
| COPY :NODE | S(36207)-E(36807)-I(| 100) | DZ=80 | INC(10000)-SET(| 2) |
| COPY :NODE | S(36208)-E(36808)-I(| 100) | DZ=80 | INC(10000)-SET(| 2) |
| | | | | | |
| COPY :NODE | S(56202)-E(56802)-I(| 100) | DZ=83 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(56203)-E(56803)-I(| 100) | DZ=83 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(56204)-E(56804)-I(| 100) | DZ=83 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(56205)-E(56805)-I(| 100) | DZ=83 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(56206)-E(56806)-I(| 100) | DZ=83 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(56207)-E(56807)-I(| 100) | DZ=83 | INC(10000)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(56208)-E(56808)-I(| 100) | DZ=83 | INC(10000)-SET(| 1) |
| | | | | | |
| JOIN :NODE | S(90202)-E(90802)-I(| 100) | WITH | S(06202)-E(06802)-I(| 100) |
| JOIN :NODE | S(90203)-E(90803)-I(| 100) | WITH | S(06203)-E(06803)-I(| 100) |
| JOIN :NODE | S(90204)-E(90804)-I(| 100) | WITH | S(06204)-E(06804)-I(| 100) |
| JOIN :NODE | S(90205)-E(90805)-I(| 100) | WITH | S(06205)-E(06805)-I(| 100) |
| JOIN :NODE | S(90206)-E(90806)-I(| 100) | WITH | S(06206)-E(06806)-I(| 100) |
| JOIN :NODE | S(90207)-E(90807)-I(| 100) | WITH | S(06207)-E(06807)-I(| 100) |
| JOIN :NODE | S(90208)-E(90808)-I(| 100) | WITH | S(06208)-E(06808)-I(| 100) |
| | | | | | |
| REST :NODE | S(66505)-E()-I() | | RC=(111000) | INC()-SET() | |
| ----Pile---- | | | | | |
| COPY :NODE | S(00503)-E(01003)-I(| 100) | DZ=-640 | INC(60)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00404)-E(01104)-I(| 100) | DZ=-640 | INC(60)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00305)-E(01205)-I(| 100) | DZ=-640 | INC(60)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00306)-E(01206)-I(| 100) | DZ=-640 | INC(60)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00307)-E(01207)-I(| 100) | DZ=-640 | INC(60)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00308)-E(01208)-I(| 100) | DZ=-640 | INC(60)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00309)-E(01209)-I(| 100) | DZ=-640 | INC(60)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00310)-E(01210)-I(| 100) | DZ=-640 | INC(60)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00411)-E(01111)-I(| 100) | DZ=-640 | INC(60)-SET(| 1) |
| COPY :NODE | S(00512)-E(01012)-I(| 100) | DZ=-640 | INC(60)-SET(| 1) |
| | | | | | |
| COPY :NODE | S(00563)-E(01063)-I(| 100) | DZ=160 | INC(10000)-SET(| 3) |
| COPY :NODE | S(30563)-E(31063)-I(| 100) | DZ=40 | INC(10000)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(00464)-E(01164)-I(| 100) | DZ=160 | INC(10000)-SET(| 3) |
| COPY :NODE | S(30464)-E(31164)-I(| 100) | DZ=40 | INC(10000)-SET(| 4) |
| COPY :NODE | S(00365)-E(01265)-I(| 100) | DZ=160 | INC(10000)-SET(| 3) |

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
< 付録 >

```

COPY :NODE S(30365)-E(31265)-I( 100) DZ=40      INC(10000)-SET( 4)
COPY :NODE S(00366)-E(01266)-I( 100) DZ=160     INC(10000)-SET( 3)
COPY :NODE S(30366)-E(31266)-I( 100) DZ=40      INC(10000)-SET( 4)
COPY :NODE S(00367)-E(01267)-I( 100) DZ=160     INC(10000)-SET( 3)
COPY :NODE S(30367)-E(31267)-I( 100) DZ=40      INC(10000)-SET( 4)
COPY :NODE S(00368)-E(01268)-I( 100) DZ=160     INC(10000)-SET( 3)
COPY :NODE S(30368)-E(31268)-I( 100) DZ=40      INC(10000)-SET( 4)
COPY :NODE S(00369)-E(01269)-I( 100) DZ=160     INC(10000)-SET( 3)
COPY :NODE S(30369)-E(31269)-I( 100) DZ=40      INC(10000)-SET( 4)
COPY :NODE S(00370)-E(01270)-I( 100) DZ=160     INC(10000)-SET( 3)
COPY :NODE S(30370)-E(31270)-I( 100) DZ=40      INC(10000)-SET( 4)
COPY :NODE S(00471)-E(01171)-I( 100) DZ=160     INC(10000)-SET( 3)
COPY :NODE S(30471)-E(31171)-I( 100) DZ=40      INC(10000)-SET( 4)
COPY :NODE S(00572)-E(01072)-I( 100) DZ=160     INC(10000)-SET( 3)
COPY :NODE S(30572)-E(31072)-I( 100) DZ=40      INC(10000)-SET( 4)

```

```

JOIN :NODE S(00503)-E(01003)-I( 100) WITH S(70563)-E(71063)-I( 100)
JOIN :NODE S(00404)-E(01104)-I( 100) WITH S(70464)-E(71164)-I( 100)
JOIN :NODE S(00305)-E(01205)-I( 100) WITH S(70365)-E(71265)-I( 100)
JOIN :NODE S(00306)-E( 1206)-I( 100) WITH S(70366)-E(71266)-I( 100)
JOIN :NODE S(00307)-E( 1207)-I( 100) WITH S(70367)-E(71267)-I( 100)
JOIN :NODE S(00308)-E( 1208)-I( 100) WITH S(70368)-E(71268)-I( 100)
JOIN :NODE S(00309)-E( 1209)-I( 100) WITH S(70369)-E(71269)-I( 100)
JOIN :NODE S(00310)-E( 1210)-I( 100) WITH S(70370)-E(71270)-I( 100)
JOIN :NODE S(00411)-E(01111)-I( 100) WITH S(70471)-E(71171)-I( 100)
JOIN :NODE S(00512)-E(01012)-I( 100) WITH S(70572)-E(71072)-I( 100)

```

```

FREE :NODE S(20767)-E(    )-I(    ) RC=(111000) INC(    )-SET(    )
FREE :NODE S(21267)-E(    )-I(    ) RC=(111000) INC(    )-SET(    )
FREE :NODE S(20772)-E(    )-I(    ) RC=(111000) INC(    )-SET(    )

```

----Oil jack----

```
NODE :(90767) X=200      Y=200      Z=-1514      RC=(110111)
```

----XBeam Displacement----

```

NODE :(21967) X=640      Y=200      Z=80      RC=(000000)
NODE :(22567) X=1120     Y=200      Z=80      RC=(000000)
NODE :(21964) X=640      Y=80      Z=80      RC=(000000)
NODE :(22564) X=1120     Y=80      Z=80      RC=(000000)
NODE :(21971) X=640      Y=320     Z=80      RC=(000000)
NODE :(22571) X=1120     Y=320     Z=80      RC=(000000)

```

----YBeam Displacement----

```

NODE :(26719) X=200      Y=640      Z=80      RC=(000000)
NODE :(26725) X=200      Y=1120     Z=80      RC=(000000)
NODE :(26419) X=80      Y=640      Z=80      RC=(000000)
NODE :(26425) X=80      Y=1120     Z=80      RC=(000000)
NODE :(27119) X=320     Y=640      Z=80      RC=(000000)
NODE :(27125) X=320     Y=1120     Z=80      RC=(000000)

```

----Element----

----Pile cap----

```
HEXA :(00101)(00101:00201:00202:00102:10101:10201:10202:10102) TYPH( 1)
```

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
< 付録 >

AUTO :ELM S(00101)-E(01301)-I(100)-N(100)I(1)-N(1)-S(12)
COPY :ELM S(00101)-E(01313)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(7)

ETYP :ELM S(40202)-E(40702)-I(100) TYPE(2) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40203)-E(40703)-I(100) TYPE(2) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40204)-E(40704)-I(100) TYPE(2) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40205)-E(40705)-I(100) TYPE(2) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40206)-E(40706)-I(100) TYPE(2) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40207)-E(40707)-I(100) TYPE(2) INC(10000)-SET(3)

ETYP :ELM S(40802)-E(41302)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40803)-E(41303)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40804)-E(41304)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40805)-E(41305)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40806)-E(41306)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40807)-E(41307)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40208)-E(41308)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40209)-E(41309)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40210)-E(41310)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40211)-E(41311)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40212)-E(41312)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(40213)-E(41313)-I(100) TYPE(3) INC(10000)-SET(3)

ETYP :ELM S(00202)-E(00702)-I(100) TYPE(4) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00203)-E(00703)-I(100) TYPE(4) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00204)-E(00704)-I(100) TYPE(4) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00205)-E(00705)-I(100) TYPE(4) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00206)-E(00706)-I(100) TYPE(4) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00207)-E(00707)-I(100) TYPE(4) INC(10000)-SET(3)

ETYP :ELM S(00802)-E(01302)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00803)-E(01303)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00804)-E(01304)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00805)-E(01305)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00806)-E(01306)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00807)-E(01307)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00208)-E(01308)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00209)-E(01309)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00210)-E(01310)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00211)-E(01311)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00212)-E(01312)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(3)
ETYP :ELM S(00213)-E(01313)-I(100) TYPE(5) INC(10000)-SET(3)

HEXA :(80202)(80202:80302:80303:80203:90202:90302:90303:90203) TYPH(8)
AUTO :ELM S(80202)-E(80702)-I(100)-N(100)I(1)-N(1)-S(5)

HEXA :(80808)(80808:80908:80909:80809:90808:90908:90909:90809) TYPH(1)
AUTO :ELM S(80808)-E(81308)-I(100)-N(100)I(1)-N(1)-S(4)
COPY :ELM S(80812)-E(81212)-I(100) INC(1)-NINC(1)-SET(1)

----X Beam----

HEXA :(41402)(41402:41502:41503:41403:51402:51502:51503:51403) TYPH(6)
AUTO :ELM S(41402)-E(42502)-I(100)-N(100)I(1)-N(1)-S(10)

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

COPY :ELM S(41402)-E(42502)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(41403)-E(42503)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(41404)-E(42504)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(41405)-E(42505)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(41406)-E(42506)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(41407)-E(42507)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(41408)-E(42508)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(41409)-E(42509)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(41410)-E(42510)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(41411)-E(42511)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(41412)-E(42512)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)

HEXA :(80802)(80802:80902:80903:80803:90802:90902:90903:90803) TYPH(6)
 AUTO :ELM S(80802)-E(81302)-I(100)-N(100)I(1)-N(1)-S(5)

ETYP :ELM S(82402)-E(82412)-I(1) TYPE(10) INC(100)-SET(1)

----Y Beam----

HEXA :(40214)(40214:40314:40315:40215:50214:50314:50315:50215) TYPH(7)
 AUTO :ELM S(40214)-E(40225)-I(1)-N(1)I(100)-N(100)-S(10)
 COPY :ELM S(40214)-E(40225)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(40314)-E(40325)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(40414)-E(40425)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(40514)-E(40525)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(40614)-E(40625)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(40714)-E(40725)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(40814)-E(40825)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(40914)-E(40925)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(41014)-E(41025)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(41114)-E(41125)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)
 COPY :ELM S(41214)-E(41225)-I(1) INC(10000)-NINC(10000)-SET(4)

HEXA :(80208)(80208:80308:80309:80209:90208:90308:90309:90209) TYPH(7)
 AUTO :ELM S(80208)-E(80708)-I(100)-N(100)I(1)-N(1)-S(5)

ETYP :ELM S(80224)-E(81224)-I(100) TYPE(10) INC(1)-SET(1)

----Reinforcing bars

BEAM :(50328)(50328:50428) TYPB(1) Y-NODE()
 AUTO :ELM S(50328)-E(52528)-I(100)-N(100)I(2)-N(2)-S(2)
 COPY :ELM S(50328)-E(52528)-I(100) INC(7)-NINC(7)-SET(1)
 COPY :ELM S(50330)-E(52530)-I(100) INC(7)-NINC(7)-SET(1)
 BEAM :(60328)(60328:60428) TYPB(1) Y-NODE()
 AUTO :ELM S(60328)-E(62528)-I(100)-N(100)I(2)-N(2)-S(2)
 COPY :ELM S(60328)-E(62528)-I(100) INC(7)-NINC(7)-SET(1)
 COPY :ELM S(60330)-E(62530)-I(100) INC(7)-NINC(7)-SET(1)
 BEAM :(80328)(80328:80428) TYPB(1) Y-NODE()
 AUTO :ELM S(80328)-E(82528)-I(100)-N(100)I(2)-N(2)-S(2)
 COPY :ELM S(80328)-E(82528)-I(100) INC(7)-NINC(7)-SET(1)
 COPY :ELM S(80330)-E(82530)-I(100) INC(7)-NINC(7)-SET(1)
 LINE :(50329)(50303:50403:50328:50428) TYPL(1)
 AUTO :ELM S(50329)-E(52529)-I(100)-N(100)I(2)-N(2)-S(2)
 COPY :ELM S(50329)-E(52529)-I(100) INC(7)-NINC(7)-SET(1)

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

COPY :ELM S(50331)-E(52531)-I(100) INC(7)-NINC(7)-SET(1)
 LINE :(60329)(60303:60403:60328:60428) TYPL(2)
 AUTO :ELM S(60329)-E(62529)-I(100)-N(100)I(2)-N(2)-S(2)
 COPY :ELM S(60329)-E(62529)-I(100) INC(7)-NINC(7)-SET(1)
 COPY :ELM S(60331)-E(62531)-I(100) INC(7)-NINC(7)-SET(1)
 LINE :(80329)(80303:80403:80328:80428) TYPL(1)
 AUTO :ELM S(80329)-E(82529)-I(100)-N(100)I(2)-N(2)-S(2)
 COPY :ELM S(80329)-E(82529)-I(100) INC(7)-NINC(7)-SET(1)
 COPY :ELM S(80331)-E(82531)-I(100) INC(7)-NINC(7)-SET(1)

ETYP :ELM S(52529)-E(52533)-I(2) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(62529)-E(62533)-I(2) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(82529)-E(82533)-I(2) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(52536)-E(52538)-I(2) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(62536)-E(62538)-I(2) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(82536)-E(82538)-I(2) TYPE(2) INC()-SET()

BEAM :(52803)(52803:52804) TYPB(1) Y-NODE()
 AUTO :ELM S(52803)-E(52825)-I(1)-N(1)I(200)-N(200)-S(2)
 COPY :ELM S(52803)-E(52825)-I(1) INC(700)-NINC(700)-SET(1)
 COPY :ELM S(53003)-E(53025)-I(1) INC(700)-NINC(700)-SET(1)
 BEAM :(62803)(62803:62804) TYPB(1) Y-NODE()
 AUTO :ELM S(62803)-E(62825)-I(1)-N(1)I(200)-N(200)-S(2)
 COPY :ELM S(62803)-E(62825)-I(1) INC(700)-NINC(700)-SET(1)
 COPY :ELM S(63003)-E(63025)-I(1) INC(700)-NINC(700)-SET(1)
 BEAM :(82803)(82803:82804) TYPB(1) Y-NODE()
 AUTO :ELM S(82803)-E(82825)-I(1)-N(1)I(200)-N(200)-S(2)
 COPY :ELM S(82803)-E(82825)-I(1) INC(700)-NINC(700)-SET(1)
 COPY :ELM S(83003)-E(83025)-I(1) INC(700)-NINC(700)-SET(1)

LINE :(52903)(50303:50304:52803:52804) TYPL(3)
 AUTO :ELM S(52903)-E(52925)-I(1)-N(1)I(200)-N(200)-S(2)
 COPY :ELM S(52903)-E(52925)-I(1) INC(700)-NINC(700)-SET(1)
 COPY :ELM S(53103)-E(53125)-I(1) INC(700)-NINC(700)-SET(1)
 LINE :(62903)(60303:60304:62803:62804) TYPL(4)
 AUTO :ELM S(62903)-E(62925)-I(1)-N(1)I(200)-N(200)-S(2)
 COPY :ELM S(62903)-E(62925)-I(1) INC(700)-NINC(700)-SET(1)
 COPY :ELM S(63103)-E(63125)-I(1) INC(700)-NINC(700)-SET(1)
 LINE :(82903)(80303:80304:82803:82804) TYPL(3)
 AUTO :ELM S(82903)-E(82925)-I(1)-N(1)I(200)-N(200)-S(2)
 COPY :ELM S(82903)-E(82925)-I(1) INC(700)-NINC(700)-SET(1)
 COPY :ELM S(83103)-E(83125)-I(1) INC(700)-NINC(700)-SET(1)

ETYP :ELM S(52925)-E(53325)-I(200) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(62925)-E(63325)-I(200) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(82925)-E(83325)-I(200) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(53625)-E(53825)-I(200) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(63625)-E(63825)-I(200) TYPE(2) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(83625)-E(83825)-I(200) TYPE(2) INC()-SET()

----Column----

HEXA :(06202)(06202:06302:06303:06203:16202:16302:16303:16203) TYPH(8)
 AUTO :ELM S(06202)-E(06702)-I(100)-N(100)I(1)-N(1)-S(5)
 COPY :ELM S(06202)-E(06702)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(5)

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

COPY :ELM S(06203)-E(06703)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(5)
 COPY :ELM S(06204)-E(06704)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(5)
 COPY :ELM S(06205)-E(06705)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(5)
 COPY :ELM S(06206)-E(06706)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(5)
 COPY :ELM S(06207)-E(06707)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(5)
 ETYP :ELM S(56202)-E(56702)-I(100) TYPE(10) INC(1)-SET(5)

----Pile----

HEXA :(00563)(00563:00663:00664:00564:10563:10663:10664:10564) TYPH(9)
 AUTO :ELM S(00563)-E(00963)-I(100)-N(100) I(10000)-N(10000)-S(6)
 HEXA :(00464)(00464:00564:00565:00465:10464:10564:10565:10465) TYPH(9)
 AUTO :ELM S(00464)-E(01064)-I(100)-N(100) I(10000)-N(10000)-S(6)
 HEXA :(00365)(00365:00465:00466:00366:10365:10465:10466:10366) TYPH(9)
 AUTO :ELM S(00365)-E(01165)-I(100)-N(100) I(1)-N(1)-S(4)
 COPY :ELM S(00365)-E(01165)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(6)
 COPY :ELM S(00366)-E(01166)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(6)
 COPY :ELM S(00367)-E(01167)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(6)
 COPY :ELM S(00368)-E(01168)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(6)
 COPY :ELM S(00369)-E(01169)-I(100) INC(10000)-NINC(10000)-SET(6)
 HEXA :(00470)(00470:00570:00571:00471:10470:10570:10571:10471) TYPH(9)
 AUTO :ELM S(00470)-E(01070)-I(100)-N(100) I(10000)-N(10000)-S(6)
 HEXA :(00571)(00571:00671:00672:00572:10571:10671:10672:10572) TYPH(9)
 AUTO :ELM S(00571)-E(00971)-I(100)-N(100) I(10000)-N(10000)-S(6)

HEXA :(00463)(00563:00564:00464:00464:10563:10564:10464:10464) TYPH(9)
 AUTO :ELM S(00463)-E(60463)-I(10000)-N(10000) I(-99)-N(-99)-S(1)
 HEXA :(01063)(01164:01064:01063:01063:11164:11064:11063:11063) TYPH(9)
 AUTO :ELM S(01063)-E(61063)-I(10000)-N(10000) I(101)-N(101)-S(1)
 HEXA :(00370)(00370:00470:00471:00471:10370:10470:10471:10471) TYPH(9)
 AUTO :ELM S(00370)-E(60370)-I(10000)-N(10000) I(101)-N(101)-S(1)
 HEXA :(01170)(01171:01170:01270:01270:11171:11170:11270:11270) TYPH(9)
 AUTO :ELM S(01170)-E(61170)-I(10000)-N(10000) I(-99)-N(-99)-S(1)

ETYP :ELM S(00463)-E(01063)-I(100) TYPE(10) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(00364)-E(01164)-I(100) TYPE(10) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(00365)-E(01165)-I(100) TYPE(10) INC(1)-SET(4)
 ETYP :ELM S(00370)-E(01170)-I(100) TYPE(10) INC()-SET()
 ETYP :ELM S(00471)-E(01071)-I(100) TYPE(10) INC()-SET()

----Oil jack----

BEAM :(80767)(00767:90767) TYPB(2) Y-NODE()
 FREE :NODE S(00767)-E(90767)-I(90000) RC=(110111) INC()-SET()
 SUB1 :NODE S(00767)-E()-I()-D(1) M(00767)-D(2) F=1

----XBeab Displacement----

BEAM :(21267)(20767:21267) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(21967)(21267:21967) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(22567)(21967:22567) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(21964)(21967:21964) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(21971)(21967:21971) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(22564)(22567:22564) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(22571)(22567:22571) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(41964)(21964:41904) TYPB(4) Y-NODE()

BEAM :(41971)(21971:41911) TYPB(4) Y-NODE()
 BEAM :(42564)(22564:42504) TYPB(4) Y-NODE()
 BEAM :(42571)(22571:42511) TYPB(4) Y-NODE()

----YBeam Diaplacement----

BEAM :(20772)(20767:20772) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(26719)(20772:26719) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(26725)(26719:26725) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(26419)(26719:26419) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(27119)(26719:27119) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(26425)(26725:26425) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(27125)(26725:27125) TYPB(3) Y-NODE()
 BEAM :(46419)(26419:40419) TYPB(4) Y-NODE()
 BEAM :(47119)(27119:41119) TYPB(4) Y-NODE()
 BEAM :(46425)(26425:40425) TYPB(4) Y-NODE()
 BEAM :(47125)(27125:41125) TYPB(4) Y-NODE()

----- ELEMENT TYPE DATA -----

TYPH:(1) MATC(3) AXIS(1)

TYPH:(2) MATC(3) AXIS(1)

| | | | | | |
|---------------|----------|---------|-----|-----|-----------|
| RH: X-BAR(1) | MATS(3) | RT=0.44 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: X-BAR(2) | MATS(4) | RT=3.56 | (%) | DI= | DUMMY=(1) |
| RH: Y-BAR(1) | MATS(3) | RT=0.44 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: Y-BAR(2) | MATS(4) | RT=3.56 | (%) | DI= | DUMMY=(1) |
| RH: Z-BAR(1) | MATS(3) | RT=0.21 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: Z-BAR(2) | MATS(1) | RT=2.14 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |

TYPH:(3) MATC(3) AXIS(1)

| | | | | | |
|---------------|----------|---------|-----|-----|-----------|
| RH: X-BAR(1) | MATS(3) | RT=0.16 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: X-BAR(2) | MATS(2) | RT=0.1 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: X-BAR(3) | MATS(4) | RT=2.5 | (%) | DI= | DUMMY=(1) |
| RH: Y-BAR(1) | MATS(3) | RT=0.16 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: Y-BAR(2) | MATS(2) | RT=0.1 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: Y-BAR(3) | MATS(4) | RT=2.5 | (%) | DI= | DUMMY=(1) |
| RH: Z-BAR(1) | MATS(1) | RT=0.55 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: Z-BAR(2) | MATS(2) | RT=0.12 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: Z-BAR(3) | MATS(3) | RT=0.59 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |

TYPH:(4) MATC(3) AXIS(1)

| | | | | | |
|---------------|----------|--------|-----|-----|-----------|
| RH: X-BAR(1) | MATS(3) | RT=0.3 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: X-BAR(2) | MATS(3) | RT=0.2 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: Y-BAR(1) | MATS(3) | RT=0.3 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: Y-BAR(2) | MATS(3) | RT=0.2 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: Z-BAR(1) | MATS(1) | RT=2.5 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |

TYPH:(5) MATC(1) AXIS(1)

| | | | | | |
|---------------|----------|---------|-----|-----|-----------|
| RH: X-BAR(1) | MATS(3) | RT=0.12 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: Y-BAR(1) | MATS(3) | RT=0.12 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |
| RH: Z-BAR(1) | MATS(3) | RT=0.42 | (%) | DI= | DUMMY=(0) |

TYPH:(6) MATC(1) AXIS(1)

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

RH : X-BAR(1) MATS(4) RT=2.88 (%) DI= DUMMY=(1)
 RH : Y-BAR(1) MATS(2) RT=0.84 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Z-BAR(1) MATS(2) RT=0.558 (%) DI= DUMMY=(0)

TYPH:(7) MATC(1) AXIS(1)
 RH : X-BAR(1) MATS(2) RT=0.84 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Y-BAR(1) MATS(4) RT=2.88 (%) DI= DUMMY=(1)
 RH : Z-BAR(1) MATS(2) RT=0.558 (%) DI= DUMMY=(0)

TYPH:(8) MATC(2) AXIS(1)
 RH : X-BAR(1) MATS(3) RT=0.44 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Y-BAR(1) MATS(3) RT=0.44 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Z-BAR(1) MATS(1) RT=2.14 (%) DI= DUMMY=(0)

TYPH:(9) MATC(3) AXIS(1)
 RH : X-BAR(1) MATS(3) RT=0.12 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Y-BAR(1) MATS(3) RT=0.12 (%) DI= DUMMY=(0)
 RH : Z-BAR(1) MATS(1) RT=0.95 (%) DI= DUMMY=(0)

TYPH:(10) MATS(6) AXIS(0)

TYPH:(11) MATS(6) AXIS(0)

TYPB:(1) MATS(4) AXIS(1) AREA=126.7 LY= LZ= :

TYPB:(2) MATS(6) AXIS(0) AREA=160000 LY= LZ= :

TYPB:(3) MATS(6) AXIS(0) AREA= LY=1000 LZ=1000 :
 LB : Y-LAYER=(12) OFFSET= TR-SHEAR=(1) (0:NOT INCLUDED)
 LB : Z-LAYER=(12) OFFSET= TR-SHEAR=(1) (0:NOT INCLUDED)

TYPB:(4) MATS(7) AXIS(0) AREA=10 LY= LZ= :

TYPL:(1) MATJ(1) AXIS(1) THICKNESS=40 Z=(1)(1:N 2:S)

TYPL:(2) MATJ(2) AXIS(1) THICKNESS=40 Z=(1)(1:N 2:S)

TYPL:(3) MATJ(3) AXIS(1) THICKNESS=40 Z=(1)(1:N 2:S)

TYPL:(4) MATJ(4) AXIS(1) THICKNESS=40 Z=(1)(1:N 2:S)

----- LOCAL AXIS -----

AXIS:(1) TYPE=(1) (1:GLOBAL 2:ELEMENT 3:INPUT 4:CYLINDER 5:SPHERE)

----- MATERIAL DATA -----

MATC:(1) EC=28.8 (E+3) PR=0.2 FC=30.8 FT=2.26 ALP= (E-5)
 TM : MODEL=(4) (0:FLAT) REBAR YIELD JUDGE=(0) (1:CRACK) C=0.4
 CM : MODEL=(3) (0:LINEAR) CRITERION=(2) CR-REDUCTION SG=(2) EP=(1)
 SM : MODEL=(2) (0:FLAT) PEAK STRAIN= (E-6) FIX=(0)
 GM : MODEL=(4) (0:NONE) MINIMUM CR-ANG=20.0 CRACK AXIS=(3)

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

```

MATC:( 2) EC=33.6 (E+3) PR=0.2 FC=41.0 FT=2.73 ALP= (E-5)
TM: MODEL=(4) (0:FLAT) REBAR YIELD JUDGE=(0) (1:CRACK) C=0.4
CM: MODEL=(3) (0:LINEAR) CRITERION=(2) CR-REDUCTION SG=(2) EP=(1)
SM: MODEL=(2) (0:FLAT) PEAK STRAIN= (E-6) FIX=(0)
GM: MODEL=(4) (0:NONE) MINIMUM CR-ANG=20.0 CRACK AXIS=(3)

MATC:( 3) EC=28.8 (E+3) PR=0.2 FC=30.8 FT=2.26 ALP= (E-5)
TM: MODEL=(4) (0:FLAT) REBAR YIELD JUDGE=(0) (1:CRACK) C=0.4
CM: MODEL=(3) (0:LINEAR) CRITERION=(2) CR-REDUCTION SG=(2) EP=(1)
SM: MODEL=(2) (0:FLAT) PEAK STRAIN= (E-6) FIX=(0)
GM: MODEL=(4) (0:NONE) MINIMUM CR-ANG=20.0 CRACK AXIS=(3)

MATS:( 1) EC=195 (E+3) PR=0.3 SY=348 HR=0.001 ALP= (E-5)
HM: MODEL=(1) (0:LINEAR) HARDENING=(0) (1:ISOTROPIC 2:KINEMATIC)

MATS:( 2) EC=198 (E+3) PR=0.3 SY=369 HR=0.001 ALP= (E-5)
HM: MODEL=(1) (0:LINEAR) HARDENING=(0) (1:ISOTROPIC 2:KINEMATIC)

MATS:( 3) EC=184 (E+3) PR=0.3 SY=351 HR=0.001 ALP= (E-5)
HM: MODEL=(1) (0:LINEAR) HARDENING=(0) (1:ISOTROPIC 2:KINEMATIC)

MATS:( 4) EC=188 (E+3) PR=0.3 SY=821 HR=0.001 ALP= (E-5)
HM: MODEL=(1) (0:LINEAR) HARDENING=(0) (1:ISOTROPIC 2:KINEMATIC)

MATS:( 5) EC=205 (E+3) PR= SY= HR= ALP= (E-5)

MATS:( 6) EC=205 (E+9) PR= SY= HR= ALP= (E-5)

MATS:( 7) EC=1 (E+0) PR= SY= HR= ALP= (E-5)

MATJ:( 1) TYPE=(2) (1:CRACK 2:BOND 3:GENERIC 4:RIGID 5:DASHPOT)
BM: MODEL=(2) (0:NONE) PEAK STRESS=4.10 SLIP AT PEAK=0.182 :

MATJ:( 2) TYPE=(2) (1:CRACK 2:BOND 3:GENERIC 4:RIGID 5:DASHPOT)
BM: MODEL=(2) (0:NONE) PEAK STRESS=4.10 SLIP AT PEAK=0.182 :

MATJ:( 3) TYPE=(2) (1:CRACK 2:BOND 3:GENERIC 4:RIGID 5:DASHPOT)
BM: MODEL=(2) (0:NONE) PEAK STRESS=4.10 SLIP AT PEAK=0.182 :

MATJ:( 4) TYPE=(2) (1:CRACK 2:BOND 3:GENERIC 4:RIGID 5:DASHPOT)
BM: MODEL=(2) (0:NONE) PEAK STRESS=4.10 SLIP AT PEAK=0.182 :

```

----- STEP DATA -----

```

STEP:UP TO NO.( 50) MAXIMUM LOAD INCREMENT= CREEP=( )(0:NO)
FN:NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=72000 DIR(3)
OUT:STEP S( 1)-E( 50)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT:ELM S(41964)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(41971)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(42564)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(42571)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(46419)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT:ELM S(47119)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

```

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

```

OUT :ELM  S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 100)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=137000  DIR(3)
OUT :STEP  S( 50)-E( 100)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM   S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 200)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=277000  DIR(3)
OUT :STEP  S( 100)-E( 200)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM   S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 220)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=158000  DIR(3)
OUT :STEP  S( 200)-E( 220)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM   S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 400)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=495000  DIR(3)
OUT :STEP  S( 220)-E( 400)-I( 20) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM   S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM   S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 440)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=159000  DIR(3)
OUT :STEP  S( 400)-E( 450)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM   S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

```

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
< 付録 >

```

OUT :ELM  S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 700)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=703000  DIR(3)
OUT :STEP  S( 450)-E( 700)-I( 50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM  S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 750)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=150000  DIR(3)
OUT :STEP  S( 700)-E( 750)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM  S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.(1100)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=845000  DIR(3)
OUT :STEP  S( 750)-E(1100)-I( 50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM  S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.(1150)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=153000  DIR(3)
OUT :STEP  S(1100)-E(1150)-I( 10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM  S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

```

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

```
STEP :UP TO NO.( 1600)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( ) (0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=994000  DIR(3)
  OUT :STEP  S( 1150)-E( 1600)-I(   50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
  OUT :ELM   S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
STEP :UP TO NO.( 1650)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( ) (0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=155000  DIR(3)
  OUT :STEP  S( 1600)-E( 1650)-I(   10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
  OUT :ELM   S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

  OUT :ELM   S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
STEP :UP TO NO.( 2100)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( ) (0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=1279000  DIR(3)
  OUT :STEP  S( 1650)-E( 2100)-I(   50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
  OUT :ELM   S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
STEP :UP TO NO.( 2150)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( ) (0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=149000  DIR(3)
  OUT :STEP  S( 2100)-E( 2150)-I(   10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
  OUT :ELM   S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
STEP :UP TO NO.( 2900)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( ) (0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=1461000  DIR(3)
  OUT :STEP  S( 2150)-E( 2900)-I(   50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
  OUT :ELM   S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
  OUT :ELM   S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
```

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
< 付録 >

```

OUT :ELM  S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
STEP :UP TO NO.( 2950)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=154000  DIR(3)
OUT :STEP  S( 2900)-E( 2950)-I(  10) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM  S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 3800)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=1517000  DIR(3)
OUT :STEP  S( 2950)-E( 3800)-I(  50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM  S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 3850)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=148000  DIR(3)
OUT :STEP  S( 3800)-E( 3850)-I(  50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM  S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )

STEP :UP TO NO.( 4700)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)
  FN :NODE  S(90767)-E(    )-I(    )  FORCE=1488000  DIR(3)
OUT :STEP  S( 3850)-E( 4700)-I(  50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM  S(41964)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(41971)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42564)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(42571)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46419)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47119)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(46425)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM  S(47125)-E(    )-I(    ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
STEP :UP TO NO.( 4750)  MAXIMUM LOAD INCREMENT=          CREEP=( )(0:NO)

```

水平二方向偏心を有する一本杭頭接合部に関する設計法の提案
<付録>

```
FN :NODE S(90767)-E( )-I( ) FORCE=1000 DIR(3)
OUT :STEP S( 4700)-E( 4750)-I( 50) LEVEL=(2) (1:RESULT 2:POST 3:1+2)
OUT :ELM S(41964)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(41971)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(42564)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(42571)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(46419)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(47119)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(46425)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
OUT :ELM S(47125)-E( )-I( ) LEVEL=(4) (0:NO) POINT=( )
END
```