

2018年度 修士設計

地域住民による施工と補修が可能な空積み擁壁のデザイン

Designs of Dry Masonry Wall Buildable and Repairable by Local Residents.

高知工科大学院

工学研究科基盤工学専攻 社会システム工学コース

景観デザイン研究室

1215056 谷野正和

指導教員 重山陽一郎

副指導教員 大内雅博

2018年3月

## 論文要旨

練り積みのブロック積み擁壁は施工実績が豊富だが、圧迫感が強くデザインが良くないものが多い。また、補修の際に多くの廃棄物を生み出す。

それに対し、石積み擁壁は美しく、さらに積み直すことで補修可能で、廃棄物も発生しない。しかし現在は、職人が少ない、石の調達が難しい、正確な耐力計算が難しい、積算基準がないという問題から衰退している。このことから、練り積みのブロック積み擁壁、石積み擁壁はそれぞれ問題を抱えている。

そこで、擁壁のデザイン、耐力計算、積算の問題を解決し、空積みの石積み擁壁と練り積みのブロック積み擁壁のメリットを兼ね備えた擁壁を提案する。

## Abstract

There are many concrete walls. They bring an oppressing feeling, are not beautiful, and end up in industrial wastes. In contrast, dry masonry stone walls are possible to maintain by laying stones again, and no wastes. But, dry masonry stone walls have declined because of decreasing artisans, hardship of get stones, difficulty to structural calculation, and quantity survey. Both of walls have problems respectively.

Therefore, I solve the problems of design, structural calculation and integration and suggest new concrete walls which combine merits of the concrete wall and masonry wall.

## 目次

<b>1. はじめに</b> .....	<b>1</b>
1.1. 背景.....	1
1.2. 計画・目的.....	2
1.3. 施工対象段差の選定.....	3
<b>2. デザイン</b> .....	<b>5</b>
2.1. 擁壁の必要条件.....	5
2.2. デザイン手法.....	5
2.3. デザイン案.....	7
2.3.1. 第1案.....	7
2.3.2. 第2案.....	8
2.3.3. 第3案.....	9
<b>3. 耐力計算</b> .....	<b>10</b>
3.1. これまでの擁壁の耐力計算の概要.....	10
3.1.1. 土圧計算.....	10
3.1.2. ブロック積み擁壁.....	11
3.1.3. 石積み擁壁.....	12
3.2. クーロンの主導土圧の算出.....	13
3.3. 提案する擁壁.....	14
3.3.1. 第1案 第2案.....	14
3.3.2. 第3案.....	15
3.4. 模型実験.....	16
<b>4. 施工の難易度</b> .....	<b>17</b>
4.1. ブロックの作成.....	17
4.1.1. 型枠作成.....	17
4.1.2. 打ち込みと脱形.....	18
4.1.3. ブロック作成のまとめ.....	20
4.2. 提案する擁壁の仮施工.....	21
4.2.1. 地盤整備.....	21
4.2.2. 第1回仮施工.....	22
4.2.3. 第2回仮施工.....	24
4.2.4. 第3回仮施工.....	25
4.2.5. 仮施工のまとめ.....	26

5. 成果と今後の課題.....	27
6. 参考文献.....	30
7. 謝辞.....	31
8. 補足資料.....	32
8.1. 模型実験.....	32
8.1.1. 第1回模型実験.....	32
8.1.2. 第2回模型実験.....	34
8.2. ブロックの型枠.....	36
8.2.1. 型枠作成手順.....	36
8.2.2. 型枠案1.....	39
8.2.3. 型枠案2.....	40
8.2.4. 型枠まとめ.....	41



## 図目次

図 1-1	擁壁の比較.....	2
図 1-2	施工対象段差 地図.....	3
図 1-3	現況の石積みの写真 1.....	4
図 1-4	現況の石積みの写真 2.....	4
図 2-1	壁面のデザイン例 1.....	5
図 2-2	壁面のデザイン例 2.....	6
図 2-3	壁面のデザイン例 3.....	6
図 2-4	第 1 案 壁面イメージ.....	7
図 2-5	第 1 案 ブロック図面.....	7
図 2-6	第 1 案 ブロックイメージ図.....	7
図 2-7	第 1 案 全体断面図.....	7
図 2-8	第 2 案 壁面イメージ.....	8
図 2-9	第 2 案 ブロック図面.....	8
図 2-10	第 2 案ブロックイメージ図.....	8
図 2-11	第 2 案 全体断面図.....	8
図 2-12	第 1 案と第 2 案 法線比較.....	8
図 2-13	第 3 案 壁面イメージ.....	9
図 2-14	第 3 案 ブロック図面.....	9
図 2-15	第 3 案 ブロックイメージ図.....	9
図 2-16	第 3 案 全体断面図.....	9
図 2-17	第 1 案と第 3 案 法線比較.....	9
図 3-1	クーロンの主導土圧の角度の取り方.....	10
図 3-2	クーロンの主導土圧の計算式.....	10
図 3-3	標準的なブロック積み擁壁の構造と名称.....	11
図 3-4	直高と背面勾配の関係.....	12
図 3-5	第 1 案、第 2 案のクーロン主働土圧算出データ.....	13
図 3-6	第 3 案のクーロン主働土圧算出データ.....	13
図 3-7	第 1 案、第 2 案の示力線.....	14
図 3-8	第 3 案の示力線.....	15
図 4-1	型枠閉じている状態.....	17
図 4-2	型枠開いている状態.....	17
図 4-3	万力で固定している状態.....	17

図 4-4	オイルを塗っている様子.....	18
図 4-5	コンクリートを流し込んでいる様子.....	18
図 4-6	鉄の棒で押しかためている様子.....	18
図 4-7	ハンマーで叩いている様子.....	18
図 4-8	控え部分の型枠を外した状態.....	19
図 4-9	底面周りのネジを外した状態.....	19
図 4-10	ブロックの全体写真.....	19
図 4-11	ブロック面 1.....	19
図 4-12	ブロック面 2.....	19
図 4-13	石を積んだ様子.....	21
図 4-14	グリ石を隙間に詰めた状態 1.....	22
図 4-15	グリ石を隙間に詰めた状態 2.....	22
図 4-16	第 1 回仮施工時の完成写真.....	23
図 4-17	第 2 回仮施工時の施工の様子.....	24
図 4-18	第 2 回仮施工時の完成写真.....	24
図 4-19	石を砕いている様子.....	25
図 4-20	第 3 回仮施工時の完成写真.....	25
図 4-21	施工対象段差の写真.....	26
図 5-1	空積みブロック擁壁のメリット.....	27
図 5-2	引き抜き.....	28
図 5-3	引き抜き改善策.....	28
図 5-4	現在のブロックの隙間.....	28
図 5-5	ブロックの隙間改善策.....	28
図 8-1	第 1 回模型実験 示力線.....	32
図 8-2	第 1 回模型実験破壊前.....	33
図 8-3	第 1 回模型実験破壊後.....	33
図 8-4	第 2 回模型実験 示力線.....	34
図 8-5	スタイロに針を刺し込んだイメージ図.....	35
図 8-6	第 2 回模型実験破壊前.....	35
図 8-7	第 2 回模型実験破壊後.....	35
図 8-8	型枠作成手順 1.....	36
図 8-9	型枠作成手順 2.....	36
図 8-10	型枠作成手順 3.....	37

図 8-11	型枠作成手順 4.....	37
図 8-12	型枠作成手順 5.....	37
図 8-13	型枠作成手順 6.....	38
図 8-14	型枠作成手順 7.....	38
図 8-15	型枠 1 底面.....	39
図 8-16	型枠 2 組み立てた状態.....	40
図 8-17	型枠 2 分解した状態.....	40
図 8-18	問題が発生する作業.....	41
図 8-19	型枠問題点 1.....	41
図 8-20	型枠問題点 2.....	41

表目次

表 3-1	直高と背面勾配の関係.....	11
表 3-2	クーロンの主導土圧算出に用いたデータ.....	13
表 3-3	第1案、第2案に用いた示力線のデータ.....	14
表 3-4	第1案、第2案の示力線の位置と深さの関係.....	14
表 3-5	第3案に用いた示力線のデータ.....	15
表 3-6	第3案の示力線の位置と深さの関係.....	15
表 4-1	4個の型枠作成の歩掛り.....	20
表 4-2	4個の型枠作成にかかった費用.....	20
表 4-3	仮施工作業時間まとめ.....	26
表 8-1	第1回模型実験 示力線データ.....	32
表 8-2	第2回模型実験 示力線データ.....	34

## 1. はじめに

### 1.1.背景

私たちの身の回りに存在している擁壁の多くが、コンクリートで固められたデザインの考えられていない、圧迫感を強く感じるものである。それらの擁壁は補修が必要な場合、解体し施工し直すという方法が一般的であり、その際多くの廃棄物が生まれる。さらに劣化したコンクリート擁壁の補修も増えていくと考えられるが、今後少子高齢化により土木技術者が減少し、補修が困難になると予想される。

一方、石積み擁壁では土木遺産として残されているものが多く、美しい。構造的には半剛体となっているため、変形しながらも耐力を保つ。変形した石積みは積み直すことで修復可能であり、その際廃棄物は発生しない。しかし、現在は石積みを受け継いだ職人が少ない点、石の調達ที่ 難しい点、正確に耐力を計算することが難しい点、積算基準がなく費用の予測が難しい点から石積み擁壁を新しく作られることはほとんどない。

このことから、デザイン面、補修に関してコンクリート擁壁よりも石積み擁壁が優れているが、技術者、材料調達、積算に関しては石積みよりもコンクリート擁壁の方が優れている事がわかる。

そこで本稿では積み石をコンクリートブロックにより代用することで双方のメリットを両立した、住民により補修可能な擁壁を提案する。

## 1.2. 計画・目的

今回提案する擁壁は今までの擁壁と異なる3つの特徴がある。一つは裏ごめコンクリートを用いない空積みという点、積む材料をコンクリートブロックに変更することで、材料調達及び、積算しやすいという点、また、住民自らの手で施工可能な積み方のマニュアルを作成することで職人不足の問題を解決する点である。擁壁のデザイン面、耐力計算、施工の難易度、積算の問題が残っている。しかし、この問題を解決することができれば運用可能であると言える。

今後修繕が必要になる擁壁は数多くある。その補修を住民自らが行うことができ、デザイン性や構造も考慮した擁壁を提案することが本修士設計の目的である。

石積み擁壁	コンクリートブロック 積み擁壁	今回提案する 空積みブロック擁壁
<b>メリット</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 美しい</li><li>・ 積んでいる石を 再利用可能</li></ul>	<b>デメリット</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ デザインが良くない</li><li>・ 素材の再利用不可能</li></ul>	<b>メリット</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 美しい</li><li>・ 積んでいる石を 再利用可能</li></ul>
<b>デメリット</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 材料（石）がない</li><li>・ 構造的に計算が難しい</li><li>・ 職人が少ない</li><li>・ 積算基準がない</li></ul>	<b>メリット</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 材料（ブロック）を作 成可能</li><li>・ 構造的根拠がある</li><li>・ 普通の職人で施工可能</li><li>・ 積算可能</li></ul>	<b>メリット</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 材料（ブロック）を作 成可能</li><li>・ 構造的根拠がある</li><li>・ 地域住民による施工可能</li><li>・ 積算可能</li></ul>

図 1-1 擁壁の比較

本稿で目指す擁壁の必要条件を下記に示す。

- ・ 擁壁の圧迫感を軽減したデザイン
- ・ 規則性が伝わりにくいデザイン
- ・ 地域住民でも積みやすいデザイン
- ・ 構造的根拠を持つ耐力計算
- ・ 10代～60代の男性が3～4人以上いる集落で施工可能
- ・ 構造や施工性から高さは4m以下
- ・ 施工場所は高齢化と人口減に悩む過疎地
- ・ 積算可能

### 1.3. 施工対象段差の選定

高知県香美市土佐山田町西後入の佐岡地区内から、擁壁の設計対象とする段差の選定を行なった。選定の条件として、

- ・ 大規模な施工はできないため、高さが低い石積み。
- ・ やりがいがある場所という意味で、補修が必要な石積み。
- ・ 使用許可の取れる土地。

以上を考慮し、高知県香美市土佐山田町中後入にある金峰神社の南部に位置する段差に決定した（図 1-2～図 1-5）

現状は石積みのような構造体はあるが、裏にグリ石が詰められておらず、ただ土の表面に石が埋め込まれている形になっている。また、ところどころ積み石が崩れている。

下記の地図（図 1-2）は国土地理院の 1/15000 電子地形図を元に作成したものである。 [1-1]



図 1-2 施工対象段差 地図





図 1-3 現況の石積みの写真 1



図 1-4 現況の石積みの写真 2



## 2. デザイン

### 2.1. 必要条件

擁壁のデザインの必要条件を整理する。必要条件は以下の通りである。

- ・ 擁壁の圧迫感を軽減したデザイン
- ・ 規則性が伝わりにくいデザイン
- ・ 地域住民でも積みやすいデザイン

圧迫感は擁壁の高さ、角度、距離、色、表面の質感、規則性、人の手か機械によるものかによって印象が変わる。今回、高さ・角度は構造計算の面から、色は材料から、人の手か機械によるものかは人の手と決まっているため、今回提案する擁壁は距離を統一し表面の質感、規則性を操作することによって、圧迫感を軽減する。圧迫感の度合いの判断は経験が必要であるため、研究室のメンバーで判断する。

### 2.2. 擁壁のデザイン手法

擁壁のデザインについては「一般的な積みブロックや平坦な壁面よりも凹凸である擬石風の方が、きれい、やすらぎ及び暖かさのイメージ評価が高い。」<sup>[3-1]</sup>という結果が出ている。図 2-1 では確かに平坦な壁面よりも凹凸や分割されている擁壁の方が圧迫感を軽減していると言える。しかし、同じ模様が斜めに並んでおり、規則性がわかりやすい。また、この写真はダムであるが、生コンクリートを流し込んで固められており住民によって施工することは難しい。



図 2-1 壁面のデザイン例 1

高く評価されている擁壁のデザインとして札幌芸術の森の擁壁（図 2-2,2-3）が挙げられる。この擁壁は一種類の化粧材で構成されており、表面を分割し、凹凸をつけてあり、圧迫感を軽減している。中心の凹凸の形状を工夫し、ブロックを回転させながら配置することで規則性がわかりにくいデザインとなっている。また、コンクリート本来の可塑性を活かしたデザインであると言える。しかしブロックが約1m角であり巨大であること、正方形のコンクリートの化粧材の裏に生コンクリートを流し込んで固められてできていることから、住民の手で施工することは不可能である。



図 2-2 壁面のデザイン例 2



図 2-3 壁面のデザイン例 3

## 2.2. デザイン案

### 2.2.1. 第1案

札幌芸術の森を参考にブロックの表面に凹凸を作成し、それぞれに高低差をつけることで  
圧迫感の軽減を行なった。第1案では規則性を考慮せず作成した。

ブロックのサイズは間知ブロックの寸法をそのまま縮小し、重量を 10kg になるよう設定することで、  
設定した 10～60 歳の健康な男性が施工できるものとした。

積んだ際のイメージ図から、規則性が目立ち圧迫感も未だ残っている印象を受けた。

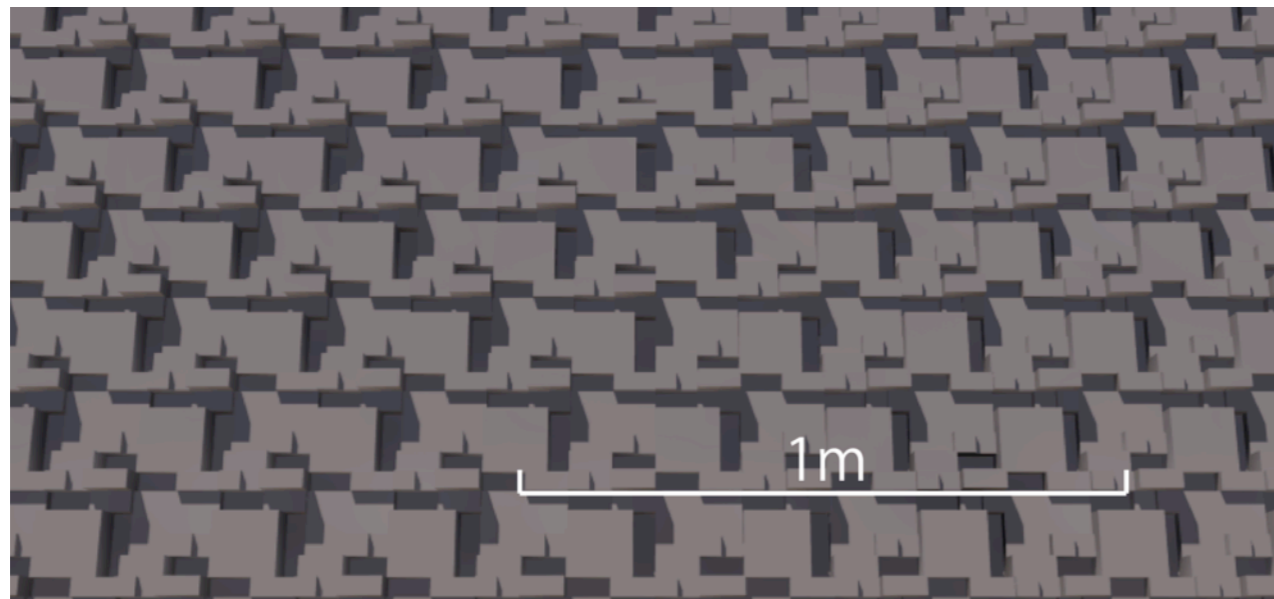


図 2-4 第1案 壁面イメージ

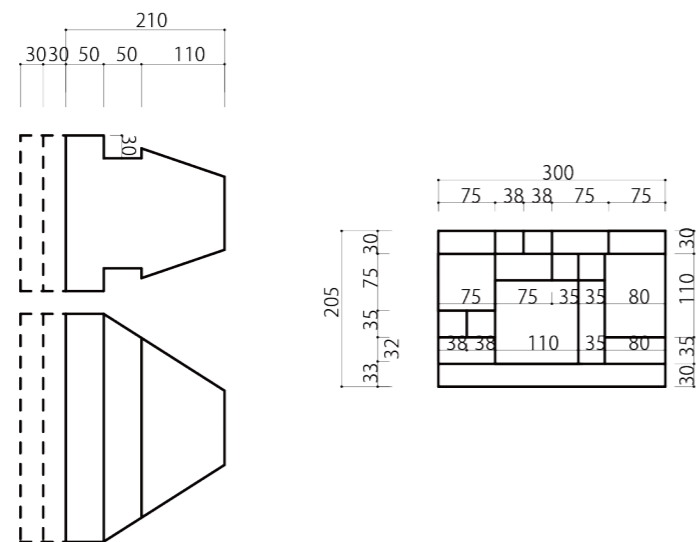


図 2-5 第1案 ブロック図面

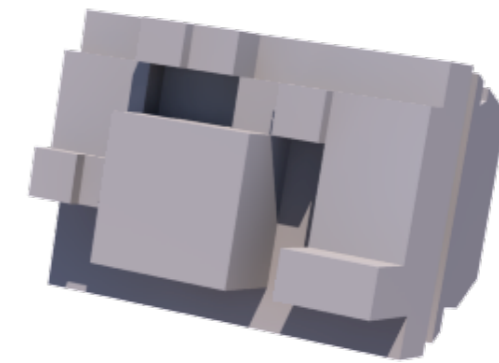


図 2-6 第1案 ブロックイメージ図

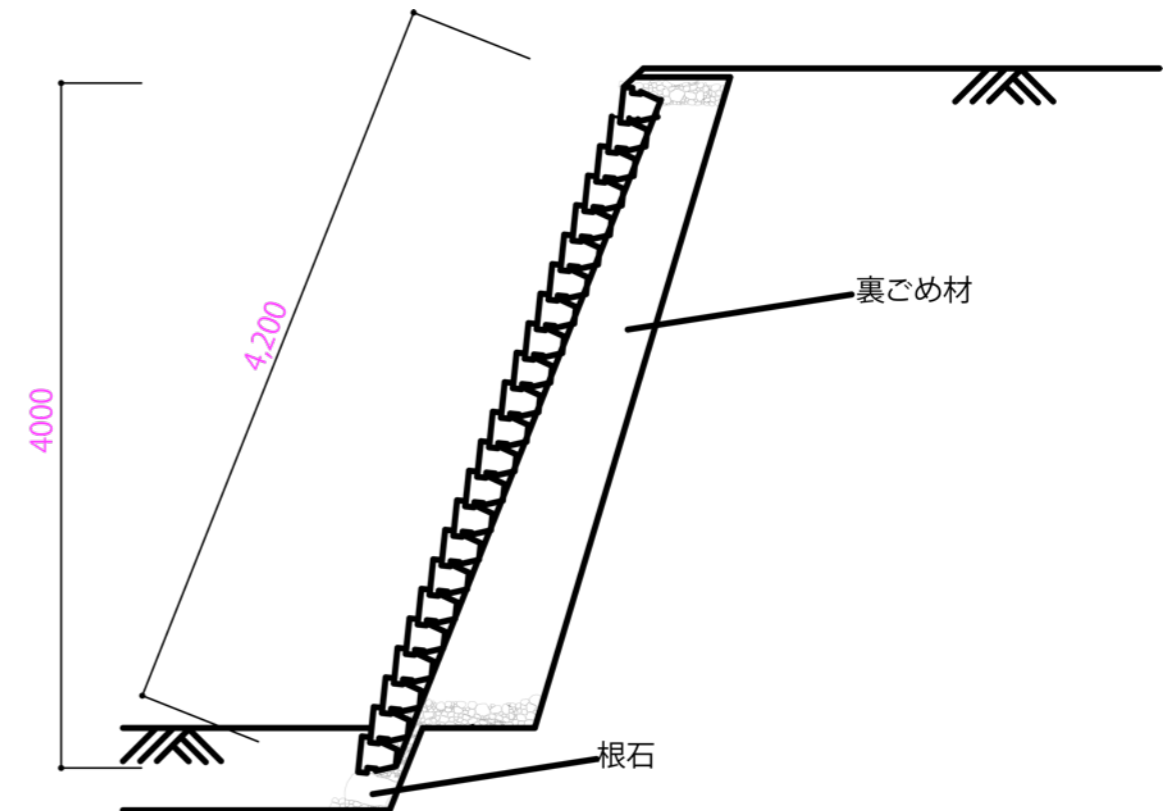


図 2-7 第1案 全体断面図

### 2.2.2 第2案

第1案で課題となった規則性を緩和するために、大きな正方形の凹凸を持つブロックを1種類、凹凸を細かく分割したブロックを2種類の合計3種類用意し、正方形の凹凸を目立たせたブロックをランダムに配置することで規則性の緩和を図った。

第1案で発生した規則性を緩和するために凹凸の表面を上下左右それぞれ7度の角度で傾けることで、擁壁の全体の陰影の規則性が感じられなくなった。

ブロックのサイズは間知ブロックの寸法をそのまま縮小し、10kgになるよう設定することで、設定した10～60歳の健康な男性が施工できるものとした。

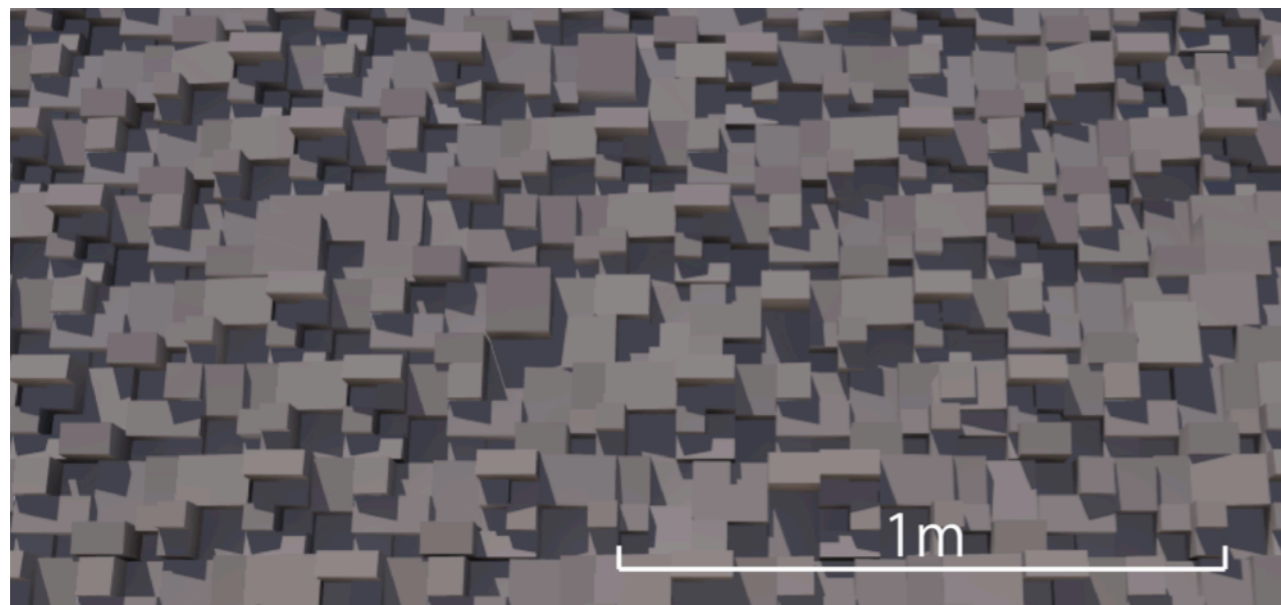


図 2-8 第2案 壁面イメージ

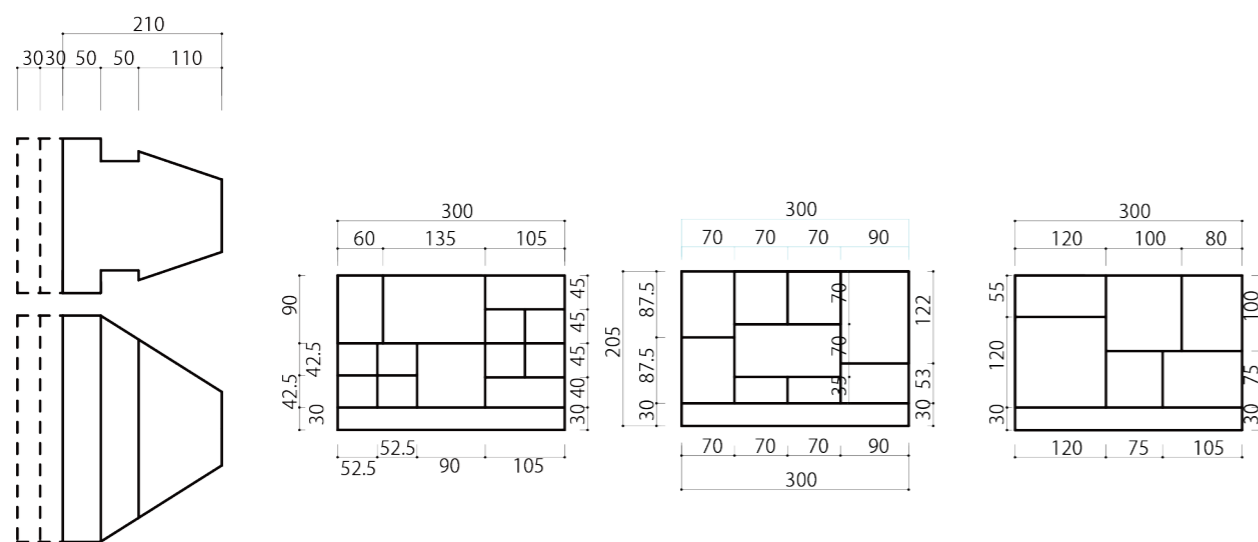


図 2-9 第2案 ブロック図面

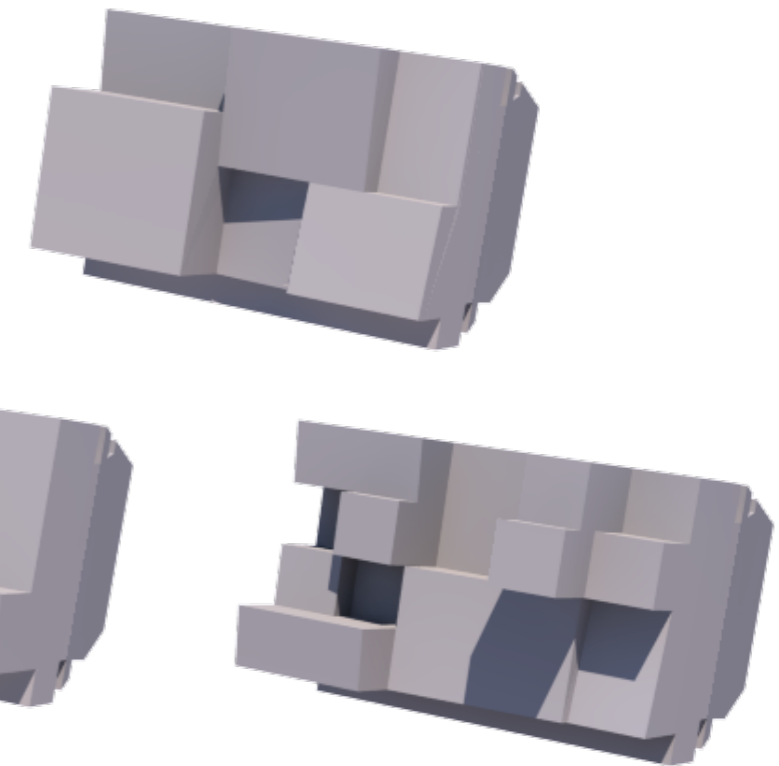


図 2-10 第2案 ブロックイメージ図

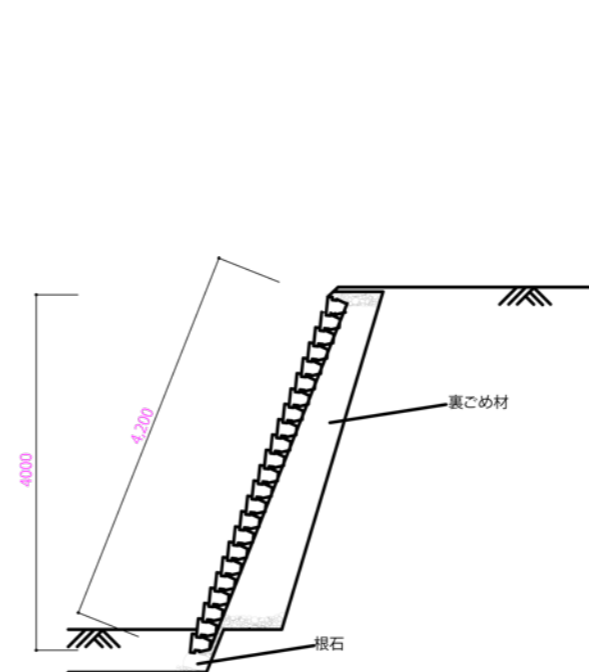


図 2-11 第2案 全体断面図

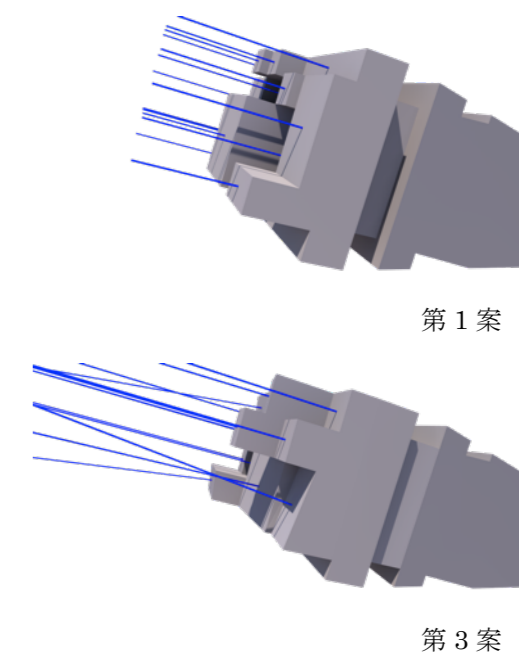


図 2-12 第1案と第2案 法線比較



### 2.2.3. 第3案

ブロックの控えが長いほど擁壁全体の耐力も上がるため、間知ブロックの奥行き寸法はそのまま表面の寸法を10kgになるよう縮小したものも設計した。

基本的には第1案、第2案と同じように表面の凹凸をつけ圧迫感を軽減した。型枠の施工性を考え最小の凹凸の寸法を1.5cmとし、ブロックの種類も2種類とした。

第2案と同じく凹凸の表面を上下左右それぞれ7度の角度で傾けることで、擁壁の全体の陰影の規則性が感じられなくなった。

ブロックのサイズは間知ブロックの寸法をそのまま縮小し、10kgになるよう設定することで、設定した10~60歳の健康な男性が施工できるものとした

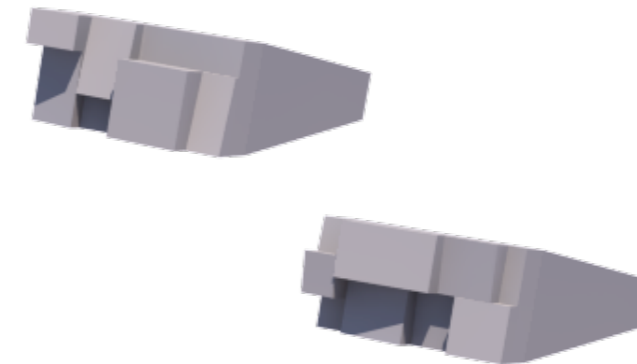


図 2-15 第3案 ブロックイメージ図

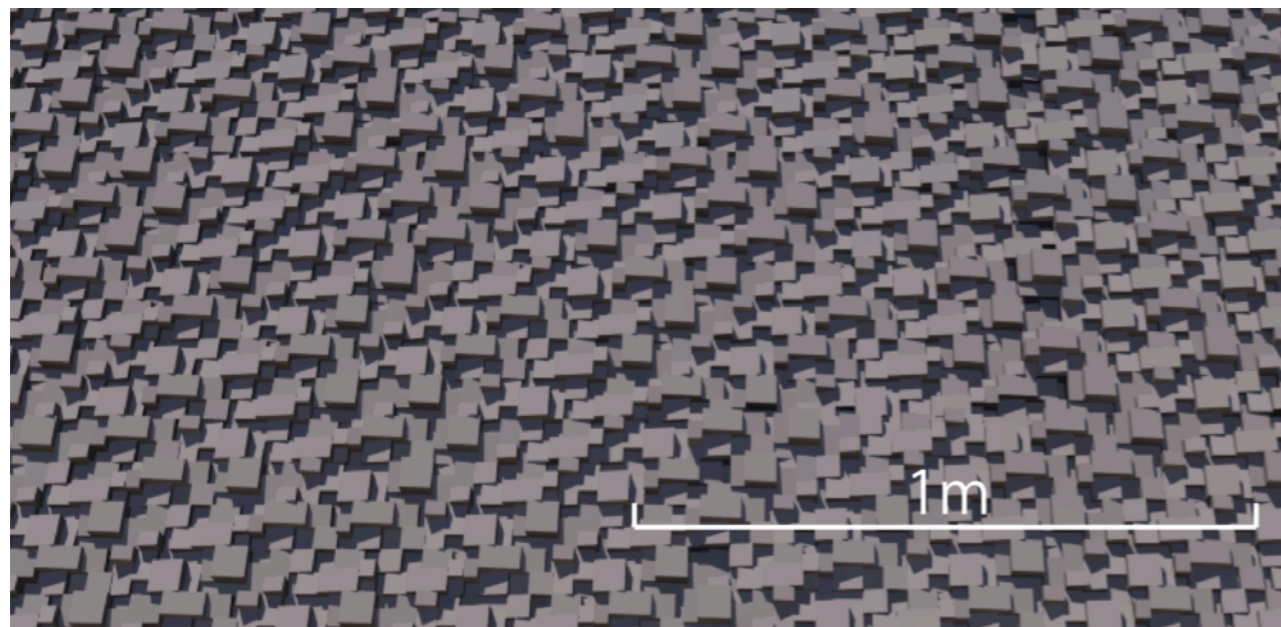


図 2-13 第3案 壁面イメージ

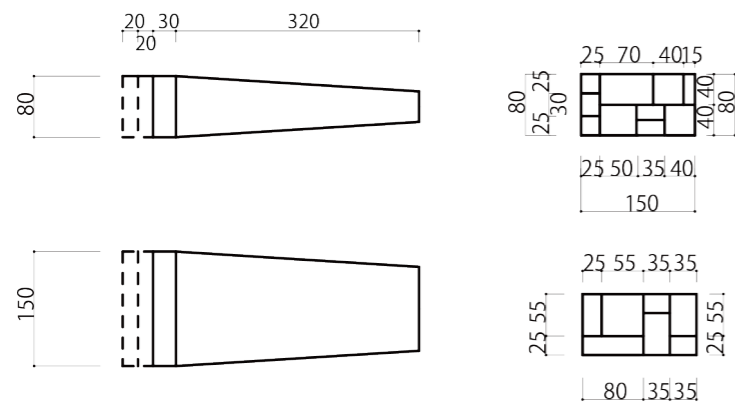


図 2-14 第3案 ブロック図面

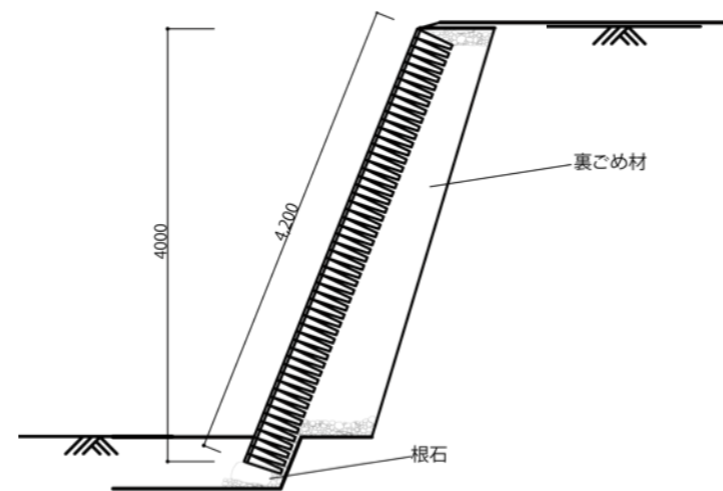


図 2-16 第2案 全体断面図

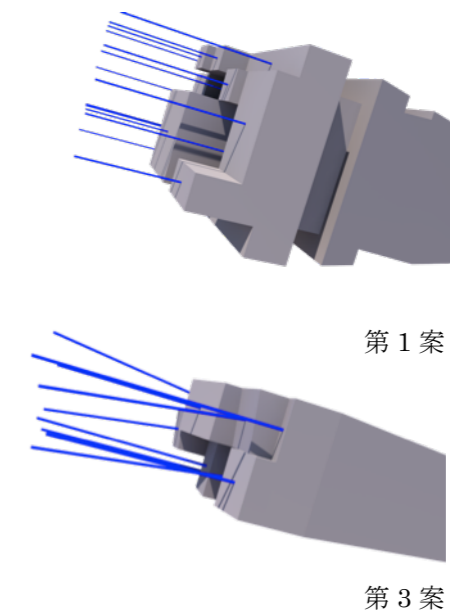


図 2-17 第1案と第3案 法線比較

### 3. 耐力計算

#### 3.1. これまでの擁壁の耐力計算の概要

##### 3.1.1. 土圧計算

土圧計算においてはクーロンの主動土圧を用いる。クーロンの土圧論では土の粘着力が考慮されていないが、土地改良事業計画設計基準設計「農道」では「土の粘着力は締め固めの度合い、含水状態、計時変化等の影響により、その評価が難しいこと、またこね返しの影響で粘着力が減少することから、一般的な設計においては粘着力  $c=0$  とする。」とあるため今回の設計でも土の粘着力は考慮しない。

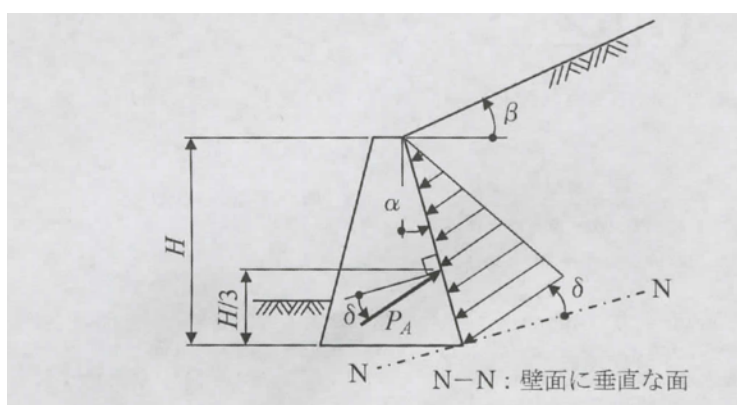


図 3-1 クーロンの主動土圧の角度の取り方

出典: 公益法人 日本道路協会道路土工 (2012) 「道路土工 擁壁工指針」丸善出版 pp102

$P_A$  : 主動土圧合力 (kN/m)

$K_A$  : 主動土圧係数

$\gamma$  : 裏ごめ土の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

H : 土圧作用高 (m)

$\phi$  : 裏ごめ土のせん断抵抗角 (°)

$\alpha$  : 壁背面と鉛直面のなす角 (°)

$\beta$  : のり面傾斜角 (°)

$\delta$  : 壁面摩擦角 (°)

$$P_A = \frac{1}{2} K_A \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2\alpha \cdot \cos(\alpha + \delta) \cdot \left\{ 1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cdot \cos(\alpha - \beta)} \right\}^2}$$

図 3-2 クーロンの主動土圧の計算式

出典: 公益法人 日本道路協会道路土工 (2012)

「道路土工 擁壁工指針」丸善出版 pp101

### 3.1.2. ブロック積み擁壁

裏にコンクリートを詰めるブロック積み擁壁の場合、高さ、勾配、地盤、裏ごめコンクリート圧の関係から下記の表に示す。[3-1]

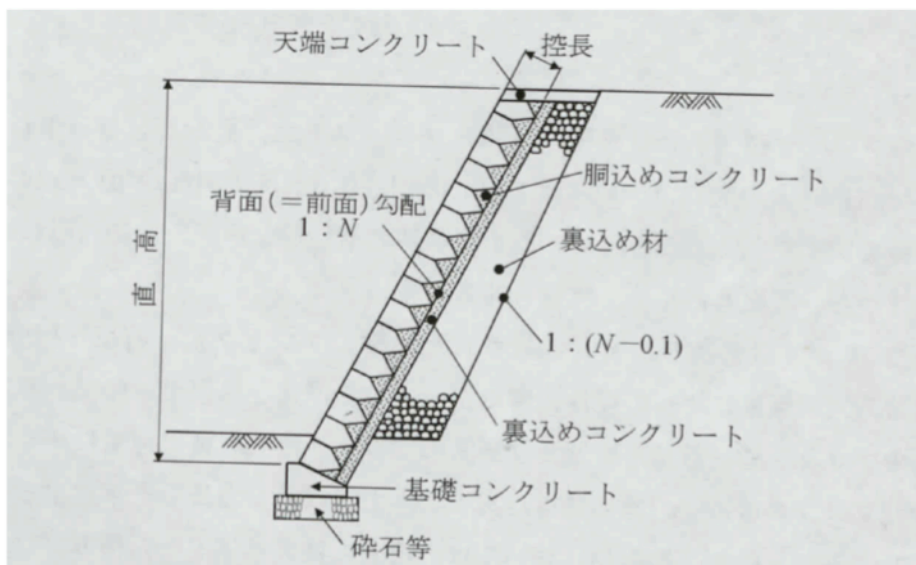


図 3-3 標準的なブロック積み擁壁の構造と名称

出典：公益法人 日本道路協会道路土工（2012）「道路土工 擁壁工指針」丸善出版 pp109

表 3-1 直高と背面勾配の関係（控長 35cm 以上）

直高(m)		～1.5	1.5～3.0	3.0～5.0	5.0～7.0
法面勾配	盛土	1:0.3	1:0.4	1:0.5	1:0.6
	切土	1:0.3	1:0.3	1:0.4	1:0.5
裏ごめコンクリート厚(cm)		5	10	15	20

出典：公益法人 日本道路協会道路土工（2012）「道路土工 擁壁工指針」丸善出版 pp109

### 3.1.3. 石積み擁壁

石積みに対する明確な耐力計算はない。しかし、NN ラントシャフト研究室の西山氏にお話をお聞きし、新たに石積みを行う場合、示力線を用いた構造計算を行うことがわかった。土地改良事業計画設計基準・設計「農道」によると、

「示力線は以下の式で表すことができる。

$$Xh = \frac{K_A \cdot \gamma}{6\gamma\gamma_b \cdot b \cdot \operatorname{cosec}\theta_0} \cdot h^2 + \left\{ \frac{K_A \cdot q \cdot \frac{\sin\theta}{\sin(\theta+i)}}{2\gamma_b \cdot b \cdot \operatorname{cosec}\theta_0} + \frac{\cot\theta_0}{2} \right\} h$$

ここに、

$Xh$ ：深さ  $h$  における示力線の位置(m)

$h$ ：壁天端からの高さ

$b$ ：ブロック積の控長+裏ごめコンクリート厚

$\theta$ ：ブロック積の傾斜角

$\theta_0$ ：ブロックの傾斜面が水平面となす角

$K_A$ ：クーロンの主働土圧係数

$\gamma_b$ ：ブロック積の単位体積重量

$q$ ：上載荷重

$i$ ：壁背面の盛土傾斜角

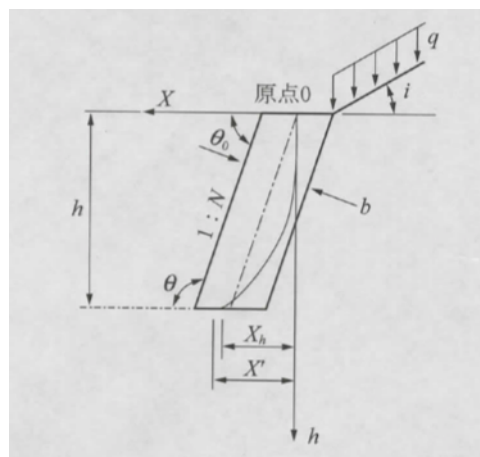


図 3-4 直高と背面勾配の関係（控長 35cm 以上）

出典：公益法人 日本道路協会道路土工（2012）

「道路土工 擁壁工指針」丸善出版 pp101

転倒において安定であるためには、この示力線  $Xh$  がブロック底版で、擁壁断面の中央 1/3 の外側の位置  $X'$  (ミドルサード) より内側でなければならない。」[3-2]と定義される。この式は土圧による曲げモーメントと擁壁の自重による曲げモーメントの釣り合いの式といえ、釣り合っている場合擁壁に曲げモーメントが発生せず、空積みの石積みにも適用することができると言える。



### 3.2. クーロン主働土圧の算出

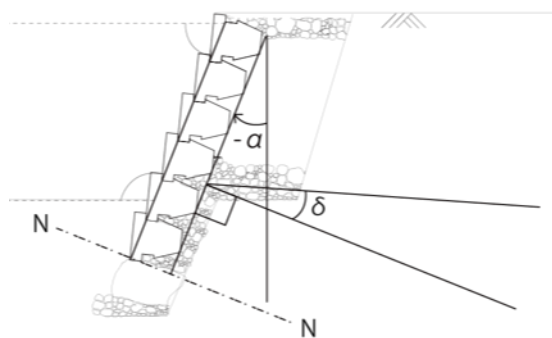


図 3-5 第1案、第2案のクーロン主働土圧算出データ

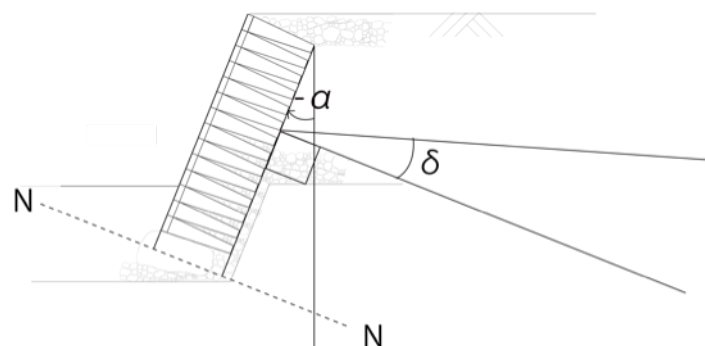


図 3-6 第3案クーロン主働土圧算出データ

表 3-2 クーロンの主働土圧の算出に用いたデータ

裏ごめ土の剪断抵抗角	$\phi$	26.8
壁背面と鉛直面のなす角	$\alpha$	-16.7
仮想のり面傾斜角	$\beta$	4.6
壁面摩擦角	$\delta$	17.87

裏ごめ土の剪断抵抗角  $\phi$  は 2016 年に現地で行われたボーリング調査[2-3]から得たデータを用いた。壁背面と鉛直面のなす角  $\alpha$  は図示したものである。仮想のり面  $\beta$  は擁壁背面の地盤傾斜角より  $4.6^\circ$  と判断した。壁面摩擦角  $\delta$  は土地改良事業計画設計基準・設計「農道」より  $2/3 \phi$  とした。

### 3.3. 提案する擁壁

#### 3.3.1 第1案 第2案

図 3-5 は 2.2.1 にて説明した第 1 案、第 2 案の示力線である。水色の四角で囲んだ部分がミドルサードであるが、後方にはみ出している。

しかし、示力線は想定滑り面の土圧との釣り合い式を示している。実際には赤い三角で示した想定滑り面の裏にも土はあり、擁壁の自重による転倒は起こらない。

よってこの擁壁は安全であると言える。

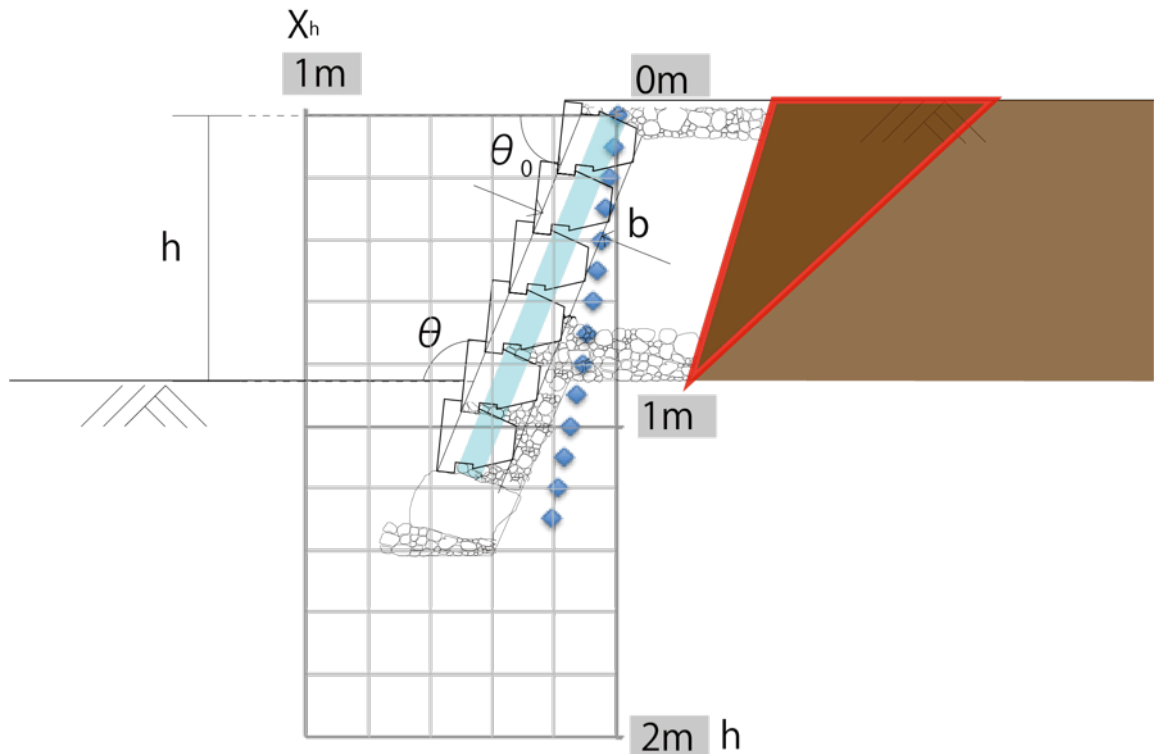


図 3-7 第 1 案、第 2 案の示力線

表 3-4 示力線の位置と深さの関係

h	X <sub>h</sub>
0	0.00
0.1	0.02
0.2	0.03
0.3	0.05
0.4	0.07
0.5	0.09
0.6	0.11
0.7	0.13
0.8	0.15
0.9	0.18
1	0.20
1.1	0.23
1.2	0.25
1.3	0.28

表 3-3 第 1 案、第 2 案に使用した示力線のデータ

ブロック積の控長+裏込めコンクリート厚(m)	b	0.18
ブロック積の傾斜角(°)	θ	102
ブロックの傾斜面が水平面となす角(°)	θ <sub>0</sub>	78
クーロンの主導土圧係数	K <sub>A</sub>	0.244
ブロック積の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>b</sub>	21
上載荷重(kN/m <sup>2</sup> )	q	0
壁背面の盛り土傾斜角(°)	i	4.6
土の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	γ	19

### 3.3.2 第3案

図 3-6 は 2.2.2.にて説明した第3案の示力線である。水色の四角で囲んだ部分がミドルサードである。3.3.1.と同じように示力線の後方にはみ出しているが、安全であると言える。

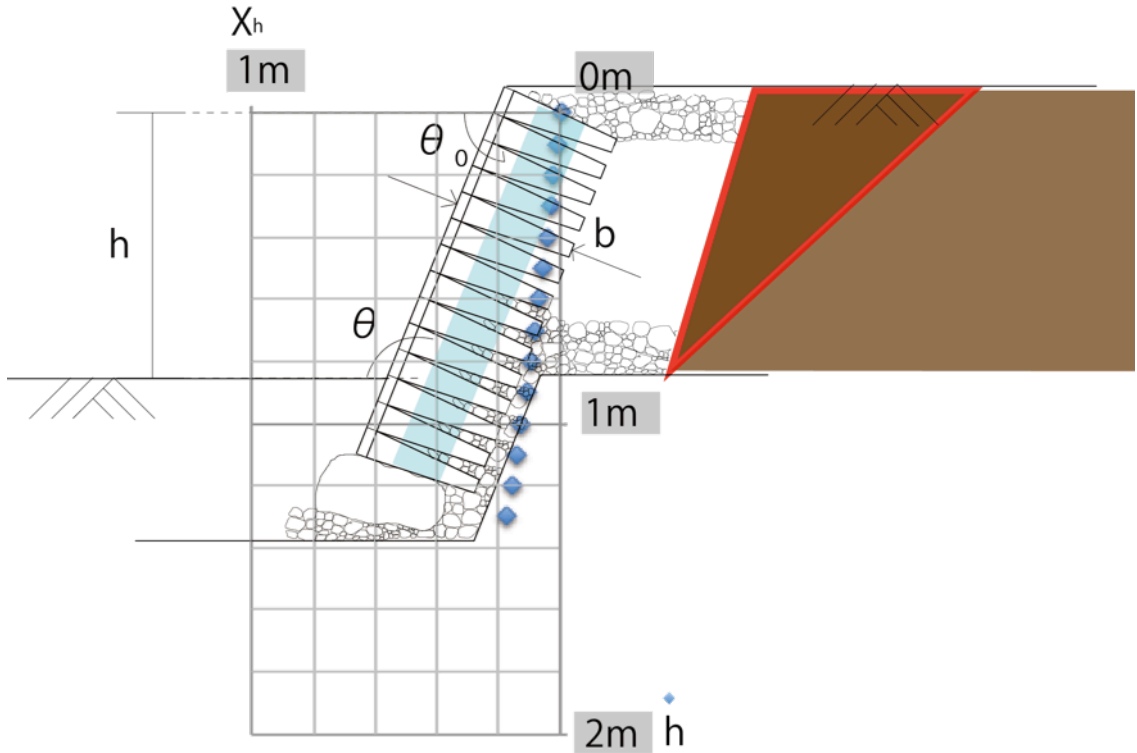


図 3-8 第3案の示力線

表 3-5 第3案に使用した示力線のデータ

ブロック積の控長+裏込めコンクリート厚(m)	b	0.35
ブロック積の傾斜角(°)	$\theta$	102
ブロックの傾斜面が水平面となす角(°)	$\theta_0$	78
クーロンの主導土圧係数	$K_A$	0.244
ブロック積の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_b$	21
上載荷重(kN/m <sup>2</sup> )	q	0
壁背面の盛り土傾斜角(°)	i	4.6
土の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$	19

表 3-6 示力線の位置と深さの関係

h	$X_h$
0	0.00
0.1	0.02
0.2	0.04
0.3	0.06
0.4	0.09
0.5	0.11
0.6	0.13
0.7	0.16
0.8	0.18
0.9	0.21
1	0.24
1.1	0.26
1.2	0.29
1.3	0.32

#### 3.4. 模型実験

示力線の理解を深めるため模型実験を行なった。コンクリートブロックをスタイロフォームで代用し、どこが破壊しているのかわかりやすくするために虫かごや水槽の中で実験を行い、映像を撮影した。内容については別途付録にて後述する。

## 4. 施工の難易度

### 4.1. ブロックの作成

#### 4.1.1. 型枠作成

コンクリートブロックを作成するにあたり、型枠の作成を行った。4つ作るのに必要な材料として、以下の材料が必要である。

- ・ コンクリートパネル1枚 1820m×910m
- ・ 蝶番 16個
- ・ 8mm～12mm のネジ 64個
- ・ 18mm～30mm のネジ 32個
- ・ L字金具 32個
- ・ 万力(15cm) 8個

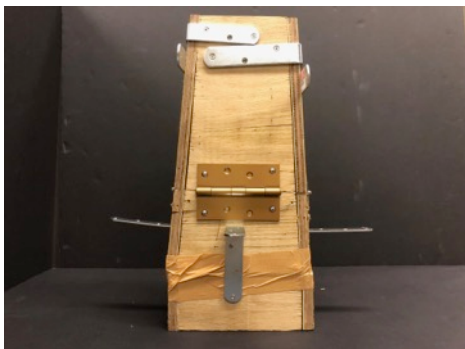


図 4-1 型枠閉じている状態

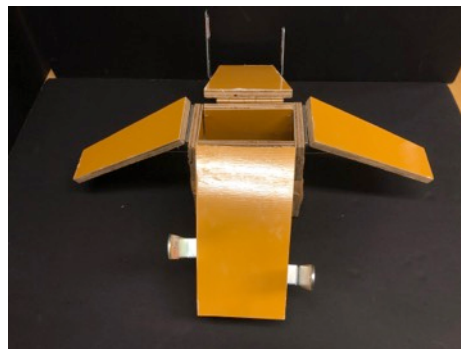


図 4-2 型枠開いている状態

ブロックの控え側の面の寸法が 120mm×40mm と狭いため、型枠の中心部分に蝶番を取り付け、詰め込む作業を2段階に分けることで充填しやすくなるようにした。(図 4-1)(図 4-2)  
また、型枠を閉じた時に引っかかるような L 字金具を取り付け、その部分に万力を取り付けることで型枠を固定した。



図 4-3 万力で固定している状態

#### 4.1.2. 打ち込みと脱形

まず型枠にオイルを塗り、型枠からブロックを剥離しやすくさせた。底にスタイロフォームで作成した凹凸の型枠を敷き詰め、上から生コンクリートを流し込んだ。蝶番で留めている部分まで流しこみ鉄の棒で「の」の字を描くように 15 回以上突き、型枠の 4 面を 10 回以上ハンマーで叩いた。控え側を閉じ先ほどの作業を繰り返した。



図 4-4 オイルを塗っている様子



図 4-5 コンクリートを流し込んでいる様子



図 4-6 鉄の棒で押し固めている様子



図 4-7 ハンマーで叩いている様子



脱形の際は底面周りのネジを外し、取り出した。

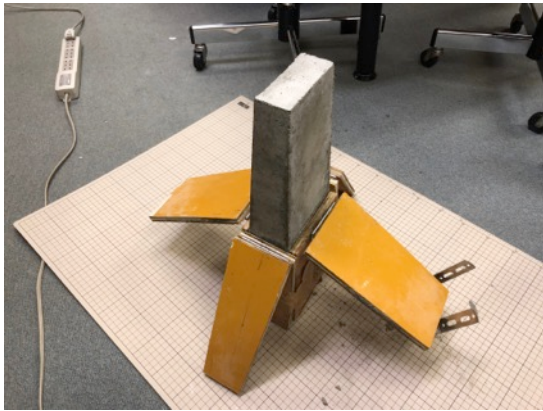


図 4-8 控え部分の型枠を外した状態



図 4-9 底面周りのネジを外した状態



図 4-10 ブロックの全体写真



図 4-11 ブロック面1



図 4-12 ブロック面2

#### 4.1.3. ブロック作成のまとめ

今回提案するブロックは生コンクリート工場などで余ったコンクリートを固めたものの使用を想定している。その場合型枠は金属型枠を使用する。別のプロジェクトで木灰コンクリートブロック作成の際に、外部に依頼した型枠は、2つで3万円であったため、2個作成するにあたり数万円かかると想定する。

また、今回作成した木製の型枠の積算を以下に示す。

表 4-1 4個の型枠作成についての歩掛り

4個の型枠作成にかかる時間		作業人数(人)	作業時間(h)	歩掛り(人・時)
切断	のこぎり	1	35	35
	テーブルソー	1	6	6
組み立て	ドライバ	1	25	25
	インパクトドライバ	1	8	8

表 4-2 4個の型枠作成にかかった費用

4個の型枠作成にかかる費用	値段(円)	必要個数(個)	合計(円)
コンクリートパネル	2480	1	2480
蝶番	420	16	420
L字金具	149	16	2384
6個入りネジ(M3,8mm)	144	11	1584
6個入りネジ(M3,25mm)	240	11	2640
合計			9508

コンクリートブロックは養生に1~2日かかるため、2日に一個作成できるとする。今回作成した型枠は7個であり、施工を予定している3月1日までに18回ブロックの作成ができると考えると128個作成可能である。

生コンクリートの価格は高知の生コンクリート単価表から必要強度である強度18(N/mm<sup>2</sup>)満たし、粗骨材の最大寸法20mm及び25mmの小さいものを選び7800(円/m<sup>3</sup>)とすると一個あたり33円(32.32円)になる。

施工対象である石積みは幅12m、高さ0.8m、ブロック一個あたりの面積が0.012m<sup>2</sup>より全体で800個必要となる。一個あたりの生コンクリートは33円より全てをブロックで積む場合約26,000円(25856円)かかる。しかし、作業できる期間よりブロックの最大作成個数は128個であるため、その場合かかる費用は4200円(4136.96円)となる。



#### 4.2. 提案する擁壁の仮施工

擁壁を現地で施工する前に、大学の敷地内で仮施工を行った。土の代わりに、大学食堂前のガーデンテラスの工事の際に出てきた石を積み上げたものを斜面として、その前に擁壁を施工した。



図 4-13 石を積んだ様子

##### 4.2.1. 地盤整備

まず、施工準備を行った。水系を  $60^\circ$  の角度となるよう計測しながら取り付け、ブロックの面の角度の基準とした。次にブロックの隙間に詰めるグリ石を運び、基礎となる大きな石を大きさ、ブロックの面の角度の基準から選んだ。

#### 4.2.2. 第1回仮施工

手順としては水系を基準にブロックの角度を調節し、その角度でかみ合うグリ石を挟み込む。その後小さいグリ石をブロックの中心まで隙間が埋まるように挟み込んだ後、安定することを確認する。この作業を繰り返し行った。

まず、自分（男性 24 歳）一人で擁壁の仮施工を行った。施工において歩掛りはブロックの個数の関係から、人・分を用い換算する。想定では 30 分ほどで終わると考えていたが、15 個中 13 個積み終えた時点で 1 時間 8 分経過した。次の作業のためにこの時間で切り上げた。

歩掛（15 個分）

79 人・分（作業人数 1 人, 68 分 ÷ 全体の 87%）



図 4-14 グリ石を隙間に詰めた状態 1



図 4-15 グリ石を隙間に詰めた状態 2



図 4-16 第一回仮施工時の完成写真

#### 4.2.3. 第2回仮施工

次に私と4年生（男性22歳）2名の計3人で施工した場合、時間の変化がどのくらいあるのかを計測した。

私以外の2人は石積みの技術はなかった。積み上げる手順は第一回仮施工と同じように行い、結果として全15個を積み上げるのに1時間2分経過した。

あまり時間が変わらなかった原因としてはブロックの個数が少なく、3人で施工するには作業面積が小さすぎることに、グリ石を隙間に込める作業の必要人数は一人で十分であることが考えられた。また、第一回仮施工にもあげられるが、この個数で時間がかかりすぎた原因として、グリ石をブロックの隙間に想定していたグリ石のサイズよりもさらに小さいグリ石を前もって分別することが必要であることが考えられる。

歩掛り（15個分）

186人・分（作業人数3人、作業時間62分）



図 4-17 第2回仮施工時の施工の様子



図 4-18 第2回仮施工時の完成写真



#### 4.2.4. 第3回仮施工

最後に、第2回仮施工の際の問題点であった、グリ石を詰める作業の短縮のため土嚢袋に細かいグリ石を入れブロックの隙間に流し込むことで作業時間の短縮を図った。

グリ石の選別作業には30分ほどかかった。

結果的に作業にかかった時間は56分であり6分の作業短縮にはなったが、想定よりも作業短縮をはかることができなかった。

このことから、仮施工の作業面積が狭いことが原因であると判断し、一人分の作業範囲を仮施工と同じ幅である0.45mと設定した。

歩掛り（15個分）

174人・分（作業人数3人、作業時間56分）



図 4-19 石を砕いている様子



図 4-20 第3回仮施工時の完成写真

#### 4.2.5. 仮施工のまとめ

表 4-3 仮施工作業時間まとめ

仮施工	準備	第1回	第2回	第3回
作業時間	30分	68分(13個)	62分	58分
人数	3人	1人	3人	3人
歩掛り	90人・分	79人・分	186人・分	174人・分

3回の仮施工から一人当たりの作業幅の最小値を仮施工の幅である0.45mと設定し、施工の際の歩掛りは

(第1回仮施工)  $79 \text{ 人} \cdot \text{分} \div 60 \text{ 分} \div 0.48\text{m (高さ)} \div 0.45\text{m (幅)} = 6.1 \text{ 人} \cdot \text{時}$

6.1(人・時)/㎡とする。

施工対象である段差は幅12m,高さ0.8mである。作業人数を現在施工予定である4人を想定して行う場合、

$12\text{m} \times 0.8\text{m} \times 6.1/4 \approx 15 \text{ 時間}$

また、1日の作業時間を5時間とすると4人で作業を行う場合、ブロックを積む作業は3日かかる。



図 4-21 施工対象段差の写真

## 5. 成果と今後の課題

本修士設計は、コンクリートブロック積み擁壁と石積み擁壁のメリットを兼ね備えた、軽量なブロックによる空積み擁壁の提案を行なった。結果的には解決できたこともあるが、課題も残っている所以他们をまとめた。

石積み擁壁	コンクリートブロック 積み擁壁	今回提案する 空積みブロック擁壁
<b>メリット</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 美しい</li><li>・ 積んでいる石を 再利用可能</li></ul>	<b>デメリット</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ デザインが良くない</li><li>・ 素材の再利用不可能</li></ul>	<b>メリット</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 美しい</li><li>・ 積んでいる石を 再利用可能</li></ul>
<b>デメリット</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 材料（石）がない</li><li>・ 構造的に計算が難しい</li><li>・ 職人が少ない</li><li>・ 積算基準がない</li></ul>	<b>メリット</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 材料（ブロック）を作成可能</li><li>・ 構造的根拠がある</li><li>・ 普通の職人で施工可能</li><li>・ 積算可能</li></ul>	<b>メリット</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 材料（ブロック）を作成可能</li><li>・ 構造的根拠がある</li><li>・ 地域住民による施工可能</li><li>・ 積算可能</li></ul>

図 5-1 空積みブロック擁壁のメリット

### (1)美しい

圧迫感を軽減し、規則性があまり感じられないブロックのデザインを提案することができ、十分に条件を満たすものができた。

### (2)積んでいるブロックを再利用可能

裏をコンクリートで固めないため、同じ材料を用い積み直すことで補修可能であり、条件を満たすものができたと言える。

### (3)材料（ブロック）を作成可能

間知ブロックと同じく材料がコンクリートであるため、十分に条件を満たすものができたと言える。

### (4)構造的根拠がある

示力線を用いた計算を行い、施工対象において耐力を持つことを求め、十分に条件を満たすものができた。

### (5)地域住民による施工可能

・ 研究室の学生3人で15個ではあるが、施工することができたため、十分に条件を満たすことができた。

### (6)積算可能

- ・ ブロックの単価を求めることができる。また、ブロックの寸法が決まっているため擁壁が必要な面積からブロックの個数を求めることができるため、十分に条件を満たすことができた。
- ・ ブロック作成時、費用面では木製ではあるが型枠の費用、ブロックの費用、その他材料費を求めることができた。
- ・ 仮施工の際、口頭で説明し、作業を行った。その内容をまとめ、住民自らの手で施工可能な積み方のマニュアルを作成することで職人不足の問題も解決できると言える。
- ・ 今後施工を繰り返すことで、石積みの未経験者のみであっても提案する擁壁の施工可能なマニュアルを作成できると考える。

まだ残っている課題

#### ○引き抜きに弱い

ブロック同士の噛み合わせがないため、引き抜きに弱い。ブロックに噛み合わせを作成する、裏ごめ材に粘土を使用する等により解決できると考える。

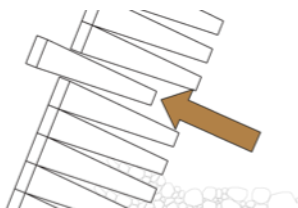


図 5-2 引き抜き

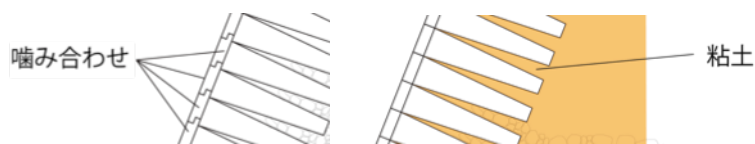


図 5-3 引き抜き改善策

#### ○施工に時間がかかりすぎる

- ・ 施工の際ブロックの間隔がせまいため、グリ石をうまく噛ませることが難しく、作業効率も落ちていることがわかった。ブロックに隙間を作り、容易にグリ石をかませることができれば、解決できると考える。

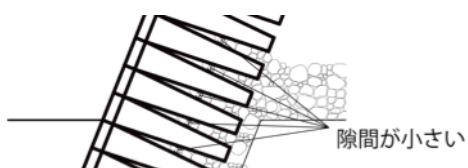


図 5-4 現在のブロックの隙間

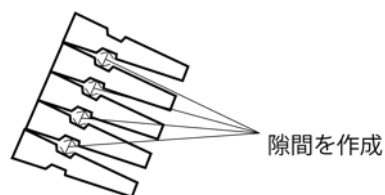


図 5-5 ブロックの隙間改善策



○量産が難しい

- ・ 型枠の表面の形状が複雑であるため、ブロックの量産を考えると改良の必要がある。また、ブロックにグリ石をかませるための隙間を作ることでさらに形状が複雑になる。

今回のような木製型枠では不可能であるが金属型枠を用いることでブロックの側面に隙間を作ることは可能である。しかし費用がその分かかってしまうため、型枠、施工性、費用の兼ね合いから判断が必要である。

論文を執筆した2019年1月現在までの結果としては提案する擁壁の施工や、マニュアル作成、新たに挙げた問題など提案内容の多くについて未完成となったが、遅延した各作業についてはさらに検討を進め、3月中に行えるよう作成を進めていく。

[参考文献]

[1-1]国土地理院ウェブサイト 基盤地図情報ダウンロードサービス

<https://fgd.gsi.go.jp/download/mapGis.php> (閲覧日 2019 年 2 月)

[2-1]菊森佳幹,河野広隆,岡本亨久,鳥居南康一(1995)「道路擁壁の表面形態が景観評価に及ぼす影響」コンクリート工学年次論文報告集 Vol.17, pp295~300, 日本コンクリート工学協会

[3-1]公益法人 日本道路協会道路土工 (2012) 「道路土工 擁壁工指針」丸善出版

[3-2]社団法人 農業土木学会(2005) 「土地改良事業計画設計基準「農道」」

[4-1]高知県中央地区生コン協同組合 普通ポルトランドセメント生コンクリート標準単価表

<http://www.kochikouso.or.jp/4.150401chuo.pdf#search=%27生コンクリート+値段+高知%27>

(閲覧日 2019 年 1 月)

## 謝辞

主指導教員である重山先生には、私の提案に対する必要条件の提示、ご指導をいただきました。設計だけでなく実際にブロックの作成や施工を経験し、実際に作る際に必要な技術を磨くことができました。コンクリートや施工についての問題に触れることができ、施工まで考慮したデザインについて知識を深めることのできるいい経験になりました。多大なるご指導に深く感謝いたします。

副指導教員である大内先生には、コンクリートの専門知識やそれに基づいた新たな提案などのご指導をいただきました。

最後に、高知工科大学での6年間を支えていただいた家族、友人に心からお礼申し上げます。

2019年1月

谷野 正和

## 8. 補足資料

### 8.1. 模型実験

模型実験は計 3 回行った。ブロックの代わりにスタイロフォームを用い示力線からわざと破壊するような模型を作成し、理解を深めた。

#### 8.1.1. 第 1 回模型実験

第 1 回模型実験では 3 段で実験を行なった。支えを外した瞬間に破壊を起こしたが、2 段目のスタイロフォームが滑って破壊を起こしている (図 8-2) (図 8-3)。実際は石の重さから摩擦による破壊はないと判断でき、想定とは違う壊れ方をしたと言える。

表 8-1 第 1 回模型実験 示力線データ

ブロック積の控長+裏込めコンクリート厚(m)	$b$	0.035
ブロック積の傾斜角(°)	$\theta$	108
ブロックの傾斜面が水平面となす角(°)	$\theta_0$	72
クーロンの主導土圧係数	$K_A$	0.166
ブロック積の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_b$	0.35
上載荷重(kN/m <sup>2</sup> )	$q$	0
壁背面の盛り土傾斜角(°)	$i$	0
土の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$	14.8
裏ごめ土の剪断抵抗角	$\phi$	32.5
壁背面と鉛直面のなす角	$\alpha$	-16.7
仮想のり面傾斜角	$\beta$	0
壁面摩擦角	$\delta$	21.67

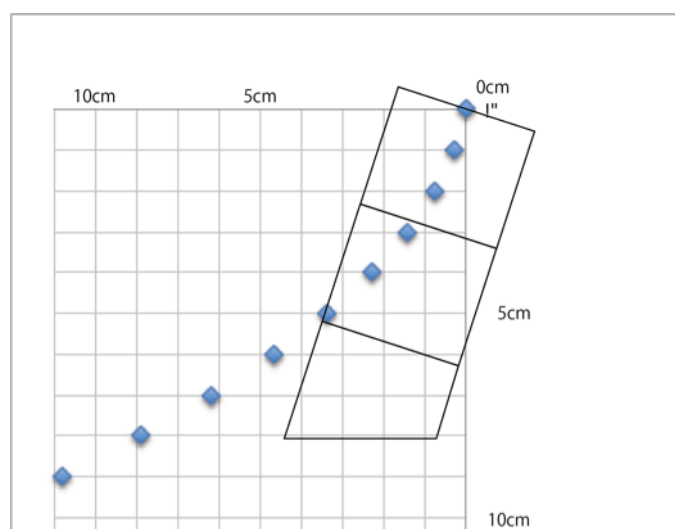


図 8-1 第 1 回模型実験 示力線

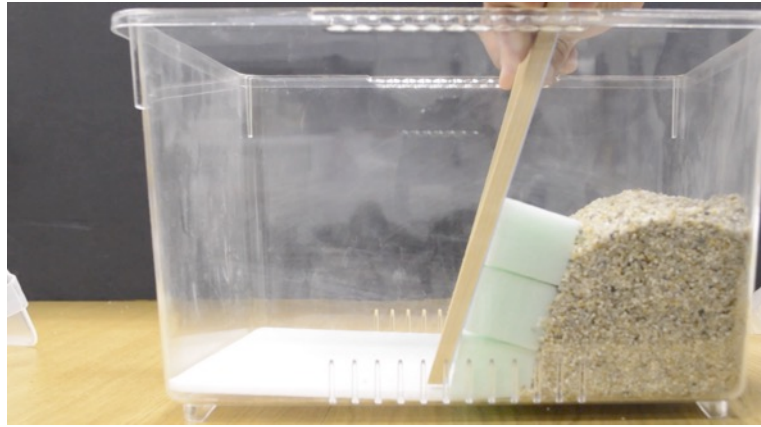


図 8-2 第 1 回模型実験破壊前

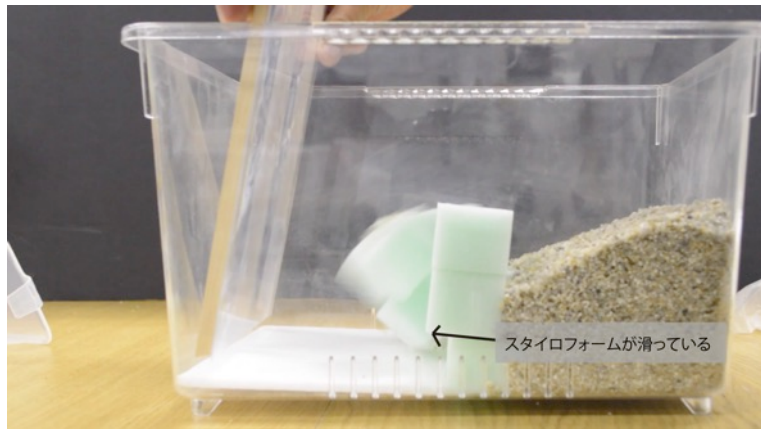


図 8-3 第 1 回模型実験破壊後

### 8.1.2. 第2回模型実験

第2回模型実験ではスタイロフォーム同士にホッチキスの針を刺し、擬似的に摩擦力を再現し高さも3段から5段に変更し実験を行なった。結果はスタイロフォームの擁壁が転倒を起こした。当初はバラバラに破壊すると考えていたが、示力線の式は土圧の曲げモーメントと、擁壁の曲げモーメントの釣り合いの式を示し土圧が大きい場合転倒が起きると考えることができ、適切な破壊の仕方であると判断した。

表 8-2 第2回模型実験 示力線データ

ブロック積の控長+裏込めコンクリート厚(m)	$b$	0.035
ブロック積の傾斜角(°)	$\theta$	108
ブロックの傾斜面が水平面となす角(°)	$\theta_0$	72
クーロンの主導土圧係数	$K_A$	0.166
ブロック積の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_b$	0.35
上載荷重(kN/m <sup>2</sup> )	$q$	0
壁背面の盛り土傾斜角(°)	$i$	0
土の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$	14.8
裏ごめ土の剪断抵抗角	$\phi$	32.5
壁背面と鉛直面のなす角	$\alpha$	-16.7
仮想のり面傾斜角	$\beta$	0
壁面摩擦角	$\delta$	21.67

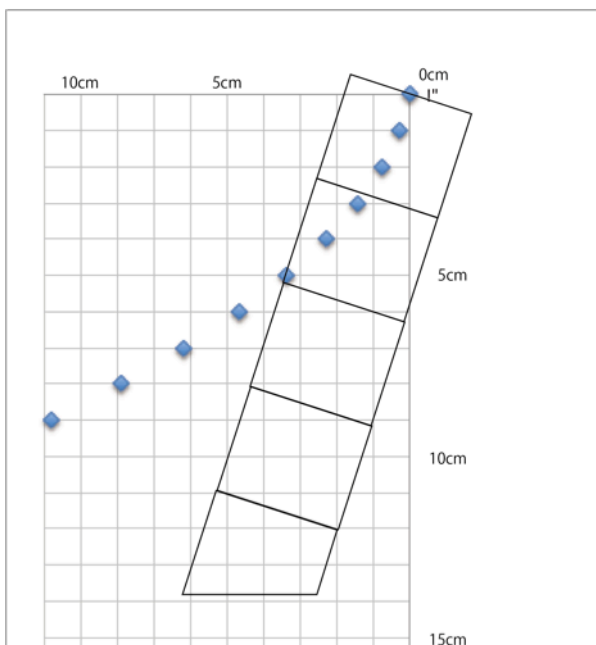


図 8-4 第2回模型実験 示力線

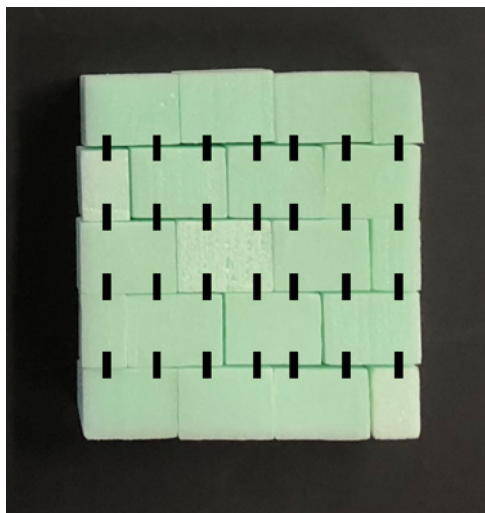


図 8-5 スタイロに針を刺し込んだイメージ図



図 8-6 第 2 回模型実験破壊前



図 8-7 第 2 回模型実験破壊後

## 8.2. ブロックの型枠

### 8.2.1. 型枠作成手順

まず、コンクリートパネル（以下コンパネ）を以下の寸法になるよう切断する（図 8-7）。角度の精度を上げるため、図面をコンパネに貼り付け、図面に沿って切断した。

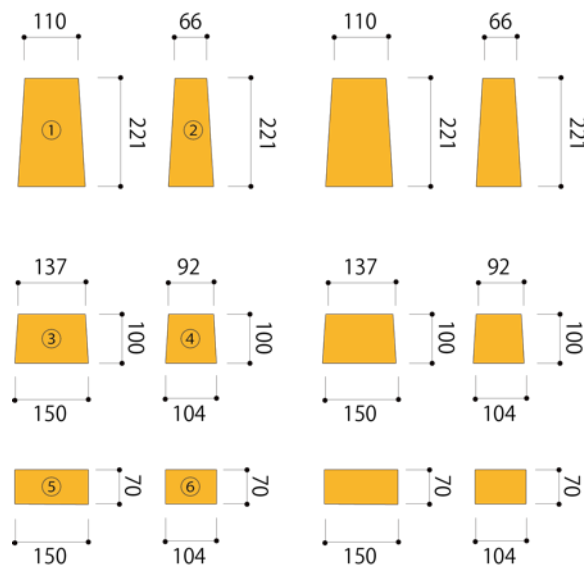


図 8-8 型枠作成手順 1

①と③、②と④をそれぞれ蝶番で取り付け（図 8-8）（図 8-9）、③と④、⑤と⑥をそれぞれ 2 個ずつネジで固定する（図 8-10）（図 8-11）。

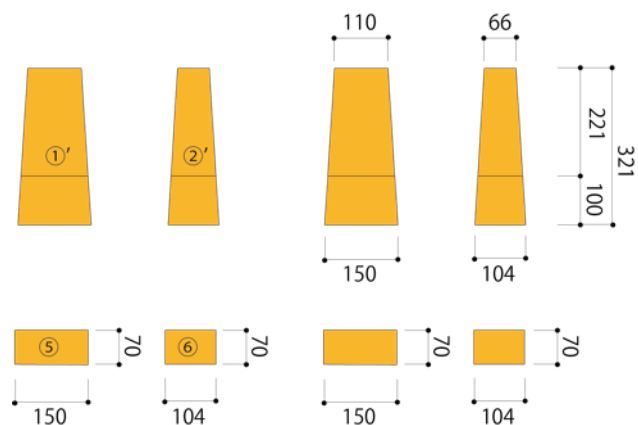


図 8-9 型枠作成手順 2



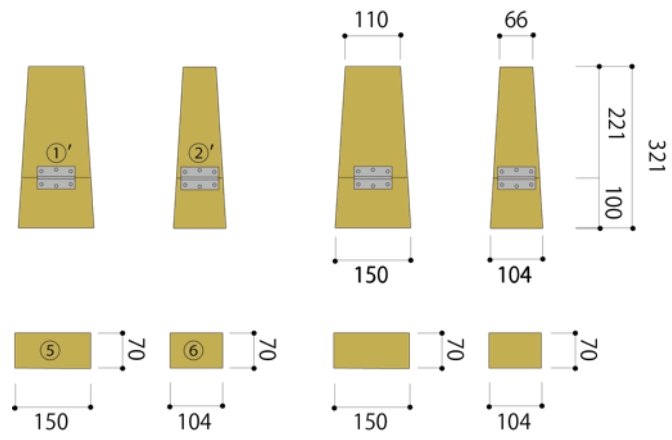


图 8-10 型枠作成手順 3

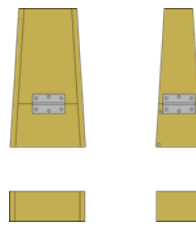


图 8-11 型枠作成手順 4

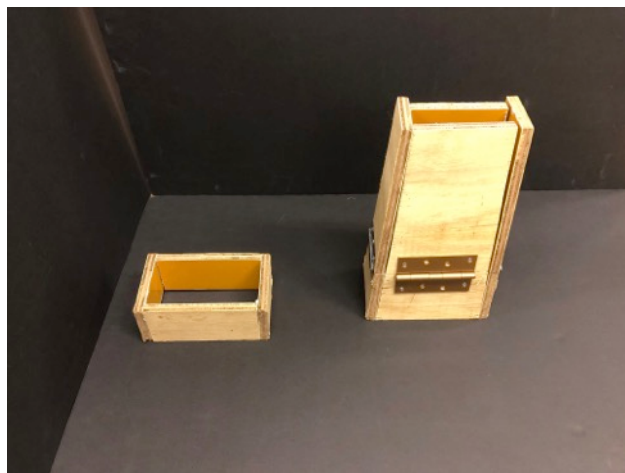


图 8-12 型枠作成手順 5

それぞれ組み立てたものを L 型金具、I 型金具を使い取り付ける (図 8-12)。またコンクリートを流し込む際固定できるように側面に L 型金具を取り付ける(図 8-13)。

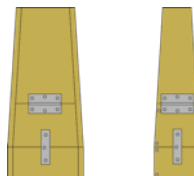


図 8-13 型枠作成手順 6

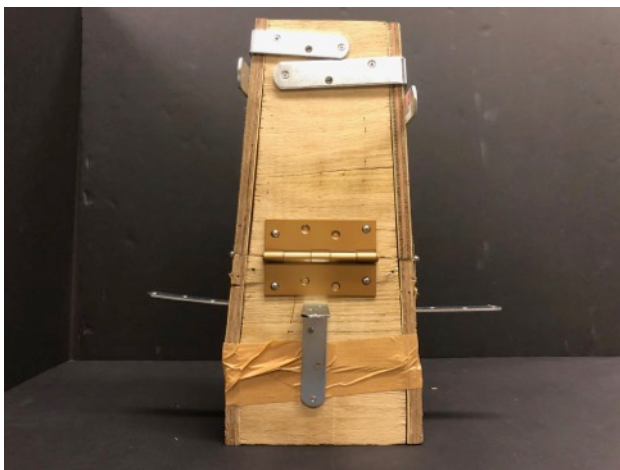


図 8-14 型枠作成手順 7

### 8.2.2. 型枠案 1

今回型枠を作成する上で、底面の仕様の違いにより型枠案 1、型枠案 2 の 2 つの型枠のタイプを作成した。型枠案 1 は底面に 15cm×8cm の木の板をはめ込んだものである。

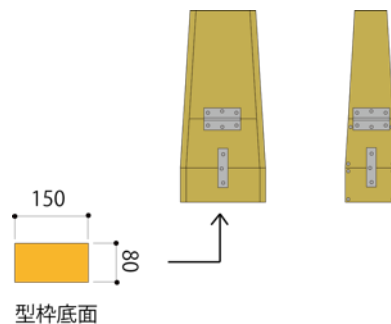


図 8-15 型枠 1 底面

型枠案 1 を作成当初は即時脱形を想定しており、コンクリートブロックを押し出し脱形できると考えていた。しかし、一日養生が必要であり型枠を脱形しないとブロックが取り出せなかったため改良が必要であった。

### 8.2.3. 型枠案 2

型枠案 2 は底面の寸法を大きくし、底面と側面を蝶番で固定し側面のネジを外しても解体が起  
こらないと考えた。脱形では解体は起こらなかったが、再度組み立てる際にズレが生じ解体が必  
要である、また蝶番が型枠案 1 よりさらに 4 つ必要となるため、今回は型枠案 1 を量産した。



図 8-16 型枠 2 組み立てた状態



図 8-17 型枠 2 分解した状態

#### 8.2.4. 型枠まとめ

まだ残っている問題

##### ○部品 A と部品 B の固定方法

現在 I 型金具や L 型金具により固定されている部分は、コンパネの断面のみで精度を出しており、コンクリートが漏れないようにガムテープを巻いてある。今回はこの型枠で作成したが、今後型枠の作成方法の検討が必要である。

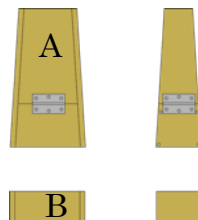


図 8-18 問題が発生する作業



図 8-19 型枠問題点 1

○部品 A と部品 B それぞれの固定方法

現在部品 A と部品 B はそれぞれネジで固定している。しかし解体を繰り返すうちネジの穴が広がるため耐久力が落ちていった。組み立てる際の固定方法の検討が必要である。

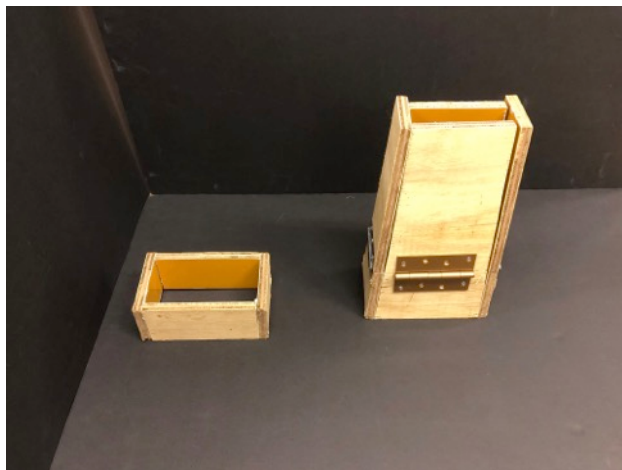


図 8-20 型枠問題点 2