

論文 洗い出し仕上げしたコンクリートの塩化物イオン浸透抵抗性

坂田 充義^{*1}・島 弘^{*2}

要旨: コンクリート構造物の景観を良くするための方策のひとつとして表面の洗い出し仕上げがある。一方、構造物の耐久性も重要な要求性能である。したがって、洗い出しと耐久性との関係を調査する必要がある。しかし、洗い出しが耐久性に及ぼす影響は明らかにされていない。そこで本研究では、洗い出しが塩化物イオンの浸透深さに及ぼす影響を実験的に検討した。実験結果から、洗い出しによって表面近傍のモルタル量を小さくした試験体では塩化物イオンの内部への浸透は小さくなるが、表面にモルタル層を設けた場合は逆に浸透が大きくなることが分かった。

キーワード: 洗い出し仕上げ, 耐久性, 塩害, 塩化物イオン, 塩分浸透, かぶり

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の特徴として、任意の形状が容易にできることに加えて、その表面を型枠を工夫することによって自由にできることがある。さらには、型枠を外した後に、コンクリート表面を加工することもできる。

コンクリートの景観の観点からは、コンクリート表面の加工は歓迎すべきであるが、その表面加工がコンクリートの対する要求性能のひとつである耐久性に悪影響を与えるようでは困る。

そこで、本研究は、型枠の取り外し後に、コンクリート表面のモルタル分を洗い流して粗骨材を露出させる「洗い出し仕上げ」が、土木構造物の劣化の代表である塩害に及ぼす影響を実験的に検討するものである。塩害は、鉄筋表面における塩化物イオンによって、鉄筋の腐食が生じるものであり、コンクリート表面からの塩化物イオンの侵入の容易・難易さの把握が重要となる。したがって、本研究では、洗い出し仕上げの程度を変えた試験体に対して、塩化物イオン浸透試験を行った。また、洗い出しではコンクリート表面のモルタル分が少なくなるが、それとは逆にコンクリート表面のモルタル分が多くなる時の効果を見るために、コンクリート表面にモルタル層を設けたコンクリートの試験も行った。

2. 現状と問題点

コンクリートの塩化物イオン浸透に関する研究は数多く行われており、コンクリート表面の状態の影響については、コンクリート表面の被覆や改質に関するものはいくつかある¹⁾。また、ブリージングの影響については、たとえば、構造物中の上面の部位では拡散係数を大きくするのがよいことが土木学会コンクリート標準示方書に記されている²⁾。

コンクリートの表面加工の影響に関しては、山本ら³⁾がはつり仕上げをしたコンクリートの塩化物イオン浸透試験を行い、はつり仕上げが塩化物イオン浸透抵抗性を低下させることはないことを報告し、コンクリート表面近傍のセメントペースト量が塩化物イオンの浸透度に影響することを示唆している。しかし、洗い出し仕上げの程度と塩化物イオンの浸透性との関係については何の研究もないのが現状であり、また、表面のペースト量の影響も未解明である。

3. 実験概要

3.1 実験条件

洗い出しの程度が塩化物イオンの浸透性に及ぼす影響を検討するものをシリーズ1とした。また、洗い出し仕上げとは逆の効果として、コンクリート表面におけるモルタル分の割合の多さが塩化物イオンの浸透性に及ぼす影響を検討するためのものをシリーズ2とした。

塩化物イオンの浸透は、塩水への浸漬および乾燥を繰り返す方法によるものとし、試験体中の塩化物イオン濃度の測定は、両シリーズともに浸透試験開始から2ヶ月後に行った。

(1) シリーズ1

試験体の条件を表-1に示す。実験の要因は、洗い出しの程度とコンクリートの水セメント比である。洗い出しの程度としては、洗い出しをしないものおよび洗い出しの程度を洗い出しによって粗骨材が露出する面積の割合を指標 α として20%、30%、50%、80%を目標とした四種類に変えるものとした。水セメント比は60%と40%とした。

塩化物イオン浸透試験を開始する材齢は29日である。

(2) シリーズ2

試験体の条件を表-2に示す。実験の要因は、試験体

*1 高知工科大学 工学部社会システム工学科 (正会員)

*2 高知工科大学 工学部社会システム工学科教授 工博 (正会員)

表-1 シリーズ1の実験条件

試験体番号	水セメント比 W/C (%)	粗骨材露出面積割合 α (%)
1	60	0
2		20
3		30
4		50
5		80
6	40	0
7		20
8		30
9		50
10		80

表-2 シリーズ2の実験条件

試験体番号	水セメント比 W/C (%)	モルタル厚さ t_m (mm)
1	60	0
2		5
3		10
4	40	0
5		5
6		10

表面におけるモルタル層の厚さとコンクリートの水セメント比である。モルタル層の厚さとしては、0mm, 5mm, 10mm を目標とする三種類とした。水セメント比は60%と40%とした。

塩化物イオン浸透試験を開始する材齢は39日である。

3.2 試験体

(1) 材料

コンクリートの示方配合を表-3に示す。コンクリートのスランプ値, 空気量, 28日圧縮強度を表-4に示す。

シリーズ1の洗い出し仕上げには、市販されているコンクリート表面洗い出し仕上げ用の厚さ約0.5mmの遅延剤含浸シートを用いた。

表-4 スランプ, 空気量および圧縮強度の試験結果

シリーズ	水セメント比 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	28日圧縮強度 (MPa)
1	60	6.6	4.7	31.3
	40	7.4	3.6	46.7
2	60	12.5	6.5	35.3
	40	7.5	5.0	48.8

(2) 形状・寸法および加工

a) シリーズ1

洗い出し仕上げをするための試験体は、 $\phi 100 \times H200$ mmの円柱供試体とした。コンクリートの打ち込みは、鋼製円柱型枠の底に遅延剤含浸シートを敷き、その上にコンクリートをJIS A 1132に従って打設した。

目標とした洗い出しの程度を得るために、打設から洗い出し作業までの時間を変化させた。打設から洗い出し作業までの時間は、5時間半から28時間までである。洗い出し作業の様子を写真-1に示す。遅延剤含浸シートと接していた円柱供試体の底面のモルタル分を高圧水で洗い出した。洗い出しの道具としては、ホース内径が15mm, 吐き出し水量が60/分の高圧洗浄機を用いた。ホース先から試験体までの距離は100cmとした。洗い出しの時間は、目標の洗い出しの程度に近くなるように、1分あるいは2分とした。なお、若材齢での洗い出しにおいては、洗い出しによって試験体の角の粗骨材が飛ぶのを防ぐために、型枠の底板のみを外し、外周側の型枠を残したままで洗い出しを行った。



写真-1 洗い出し作業の様子

表-3 コンクリートの配合

水セメント比 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤 A
60	20	43.2	155	258	829	1092	2.58
40	20	39.2	155	388	710	1100	3.88

洗い出しの後の養生は、塩化物イオン浸透試験の開始まで 20℃の水中養生とした。

b) シリーズ 2

シリーズ 2 の試験体は、図-1 に示すように、W100×H100×L200mm の直方体とした。直方体端部におけるモルタル層の厚さを変化させるために、型枠内にコンクリートとモルタルを分ける厚さ 1mm のプラスチック製の仕切りを作り、仕切りの位置を所定のモルタル厚さとなるように変えた。モルタルを流し込んだ後、コンクリートを打設し、仕切りを抜いた。モルタルの配合は、コンクリートの配合から粗骨材を除いたものとした。

養生は、塩化物イオン浸透試験の開始まで 20℃の水中養生とした。

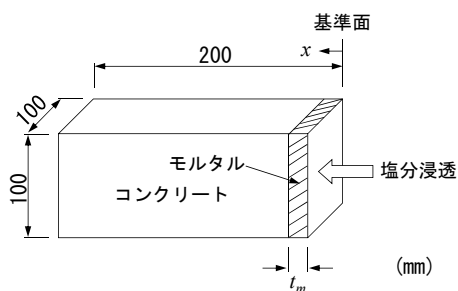


図-1 シリーズ 2 の試験体

3.3 塩化物イオン浸透試験

(1) シーリング

シリーズ 1 およびシリーズ 2 とともに、仕上げ面あるいは加工面のみからの塩化物イオンの浸透とするために、試験体の仕上げ面あるいは加工面以外を防水用のブチルゴム系アルミテープを用いて、隙間ができないようにテープを重ねながらシーリングした。

(2) 浸漬・乾燥

塩分浸透を促進するために、塩水に 1 日間浸漬し、6 日間乾燥させるという工程を繰り返した。本実験では室内の水槽に塩水を溜めて行ったので、浸漬時の温度は約 15℃であり、乾燥時の温度は 60℃である。試験水の塩分濃度は、浸透を促進するために NaCl 5%濃度とした。

3.4 塩化物イオン濃度の測定

(1) サンプルング

サンプルングには、乾式のコンクリートカッターを使用し、回転刃で削り取られた粉を試料に用いた。サンプルングの位置を図-2 に示す。サンプルング位置は、表面仕上げ前のコンクリート表面を基準として、深さ方向に 2.5, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 mm の所とした。使用したコンクリートカッターの刃幅は 4mm であり、採取する深さの中心線にカッターの刃の中心が来るようにした。

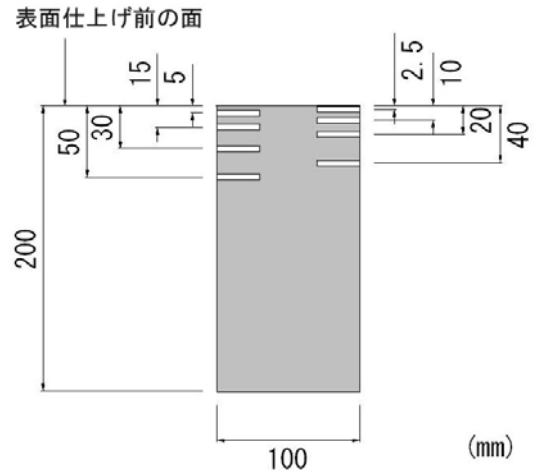


図-2 サンプルングの位置

サンプルングにおいて、粗骨材の有無の影響を減すために、切り込む深さを大きくした。具体的には、切り込む深さを 15mm 程度とすると、切断面積は 500mm²以上となって粗骨材 1 個の最大断面積の倍近くになるために、この深さで平均的な試料が得られると判断した。このとき、得られる試料の量は必要量の 5 倍程度となる。さらに、1つの深さについて試験体を回転させて 3カ所から試料を採取し、それらの 3カ所の試料を別々に滴定し、3つのデータを平均して、その深さの塩化物イオン濃度とした。

(2) 濃度測定

JIS A 1154 に準拠し、装置としては自動滴定装置を使用した。採取した試料から 1.0g を量り取り、硝酸と過酸化水素水を加えた試料を水溶液にし、加熱した後、装置にセットし、塩分濃度を測定した。

4. 実験結果および考察

4.1 シリーズ 1

(1) 洗い出し仕上げの程度

洗い出し仕上げの表面性状の例を写真-2 から写真-4 に示す。



写真-2 試験体番号 10 ($\alpha = 78\%$) の表面性状



写真-3 試験体番号3 ($\alpha = 54\%$) の表面性状



写真-4 試験体番号2 ($\alpha = 32\%$) の表面性状

それぞれの試験体の洗い出し仕上げの程度を表-4に示す。粗骨材露出面積割合、洗い出し平均深さおよび洗い出し深さの定義は以下に示すものである。

粗骨材露出面積割合：洗い出した表面を垂直方向からデジタルカメラで撮影し、仕上げ面表面積に対する粗骨材の露出面積割合を画像解析ソフトを用いて算出した。その際、直径とみなされる長さが5mm以下のものは露出面積には加えていない。

洗い出し平均深さ：試験体の洗い出し前後の質量の差を粗骨材を抜いたコンクリートの単位体積質量で除して求めた洗い出された容積を、仕上げを行った表面積で除して平均的な深さを求めた。単位体積重量から粗骨材を抜いた理由としては、洗い出しを行った際に粗骨材が洗い流されていないことを目視により確認したためである。

洗い出し深さ：図-3に示すように、元の表面から洗い出し後のモルタルの表面までの深さである。目視によって深いと思われる箇所を数カ所測定し、その平均値を洗い出し深さとした。

(2) 塩化物イオン濃度の分布

それぞれの表面仕上げの程度において、2ヶ月間の浸漬・乾燥の繰返しを行った試験体におけるコンクリート中の塩化物イオン濃度分布のW/C=60%のものを図-4に、W/C=40%のものを図-5に示す。横軸は、図-2に

表-4 仕上げの程度

試験体番号	水セメント比 (%)	粗骨材露出面積割合 α (%)	洗い出し平均深さ t_a (mm)	洗い出し深さ (mm)
1	60	0	0	0
2		32	1.7	2.1
3		54	2.8	3.2
4		72	4.2	5.5
5		79	6.5	10.0
6	40	0	0	0
7		22	2.0	1.9
8		51	2.9	3.1
9		59	4.1	4.0
10		78	6.6	10.5

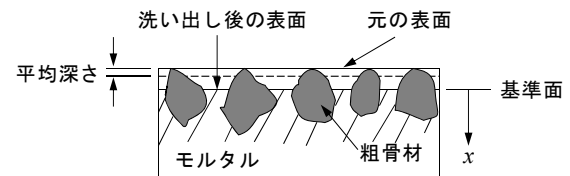


図-3 洗い出し深さの定義

示すような表面仕上げ前のコンクリート表面を基準とした試料採取深さとしている。1日間浸漬と6日間乾燥の繰返しによって、2ヶ月後において塩化物イオンがコンクリート内部に大きく浸透している。

塩化物イオンの浸透深さは、それぞれの水セメント比において洗い出しの程度が最も大きい試験体では洗い出しのない試験体のもよりも大きくなっているが、水セメント比が60%では骨材露出面積割合が72%以下のものは洗い出しの前の表面を基準に取った場合においても洗い出しのないものよりも小さくなっている。水セメント比が40%では骨材露出面積割合が59%以下のものは洗い出しのないものよりも浸透が深くはならない結果となっている。

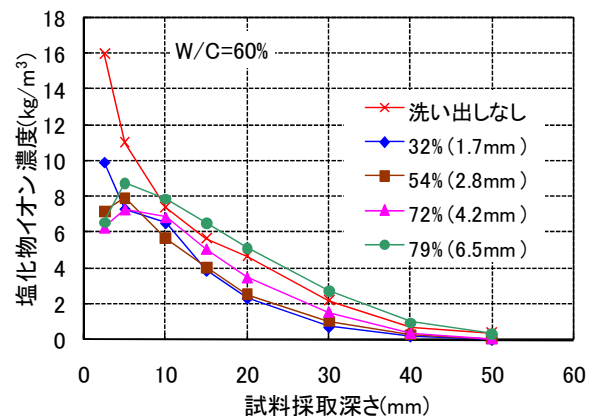


図-4 塩化物イオン濃度の分布 (W/C=60%)

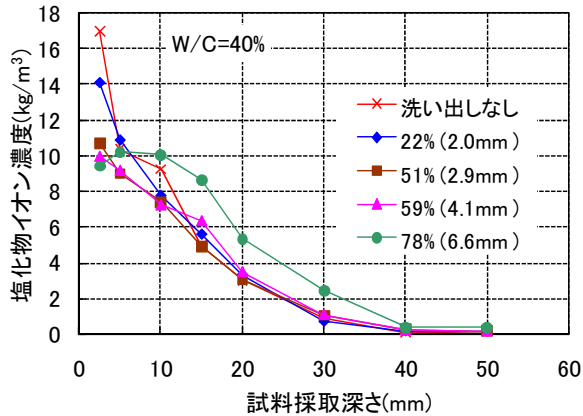


図-5 塩化物イオン濃度の分布 (W/C=40%)

また、洗い出しの程度が大きい試験体では、コンクリート表面近傍の塩化物イオン濃度が小さくなっている。これは、洗い出しによってコンクリート表面近傍における試料中のモルタル分が少なくなるためである。なお、洗い出しの程度が最大の試験体においては、2.5mmの深さにおける試料はほとんどが粗骨材となるが、塩化物イオン濃度が測定されている。これは、粗骨材表面に付着した塩分によるものと思われる。

上述のように、洗い出しによってコンクリート表面における塩分浸透面は深い位置となるため、洗い出しによる影響を評価するためには、浸漬時に塩水と接する最も深い面を基準とするのが妥当である。そこで、横軸を図-3に示すように、洗い出し後に残ったモルタルの表面である洗い出し深さを原点としたものを図-6および図-7に示す。洗い出しをした試験体の塩化物イオンのコンクリート内部への浸透は、洗い出しをしない試験体の浸透よりも小さくなっていることが分かる。水セメント比が60%のものでは、洗い出しをした試験体の塩化物イオン浸透深さは、洗い出し仕上げをしない試験体のものよりも10mm程度小さくなっているが、洗い出しの程度による差はあまり見られない結果となった。水セメント比が40%のものにおいても、洗い出しをした試験体の塩化物イオン浸透深さは、洗い出し仕上げをしない試験体のものより小さくなっており、洗い出しの程度が最も小さい洗い出し平均深さが2.0mmのものは、浸透深さが他の洗い出しの程度が大きいものよりもやや深くなっている。

すなわち、モルタルの洗い出しによってコンクリート表面近傍のモルタル量を少なくした場合には、塩化物イオンのコンクリート内部への浸透が小さくなると言える。これは、山本ら³⁾の考察にあるように、コンクリートの表面近くにおいて浸透する塩化物イオンの媒体となるセメントペーストの絶対量が少なくなったためと思われる。

また、洗い出し仕上げの塩分浸透に対する影響としては、洗い出し後のモルタル表面を設計における表面とした場合には、洗い出しの程度が大きいものに対しても塩分浸透深さに対して安全側となる。

水セメント比の違いによる影響について、図-6と図-7を比較すると、洗い出しによる効果は水セメント比が小さい方が小さくなっている。山本ら³⁾は、はつり仕上げしたコンクリートの塩化物イオン浸透実験の結果から、はつり仕上げしたコンクリートは塩化物イオン浸透性が小さくなるが、はつり仕上げによって塩化物イオンの浸透が小さくなる度合いは水セメント比によって異なり、水セメント比の大きい方が浸透は相対的により小さくなることを報告している。本実験の洗い出し仕上げにおいてもはつり仕上げの効果と同様であって興味深い。理由についてはさらなる検討が必要であるとと思われる。

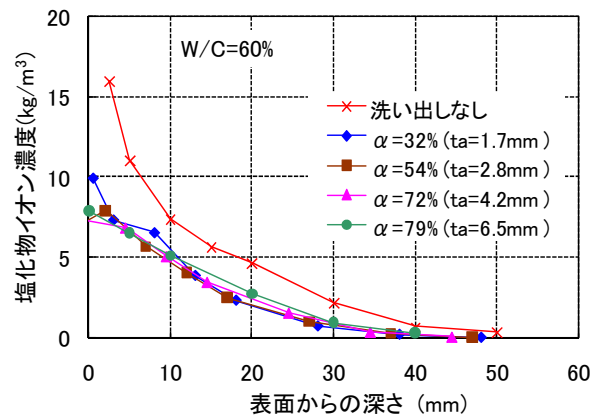


図-6 塩化物イオン濃度の分布 (W/C=60%)

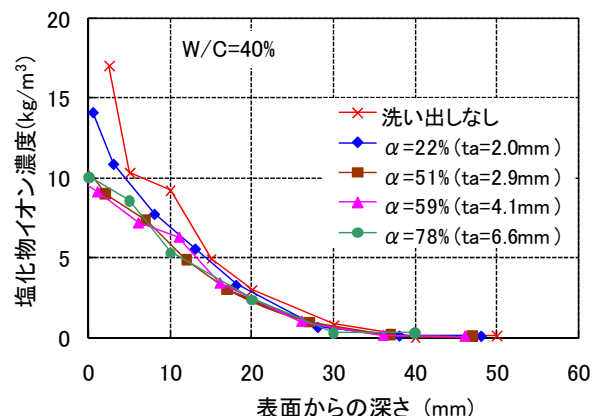


図-7 塩化物イオン濃度の分布 (W/C=40%)

4.2 シリーズ2

塩化物イオンの濃度分布の測定作業の後、試験体を切断し、モルタル層は所定の厚さであることを確認した。コンクリート表面のモルタル深さを変えた試験体に

おける塩化物イオン濃度の分布について、水セメント比が 60%のものを図-8に、水セメント比が 40%のものを図-9に示す。コンクリート表面にモルタルの層を作ったシリーズ2は、洗い出し試験体のシリーズ1とは逆に、コンクリート表面近傍の粗骨材がない部分では単位質量あたりでの塩化物イオン濃度は高くなる。したがって、モルタル層厚が 5mm のものでは深さ 10mm 以降で、モルタル層厚が 10mm のものでは深さ 15mm 以降で他と比較しなければならない。

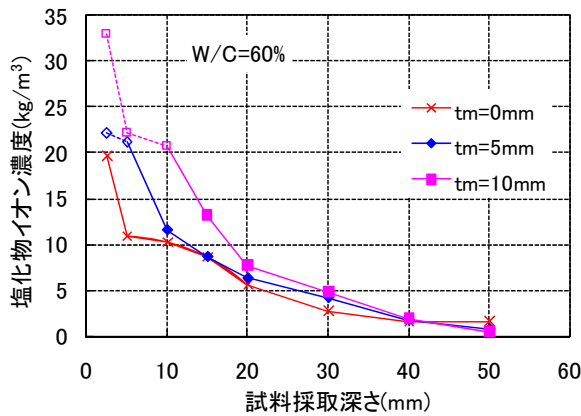


図-8 塩化物イオン濃度の分布 (W/C=60%)

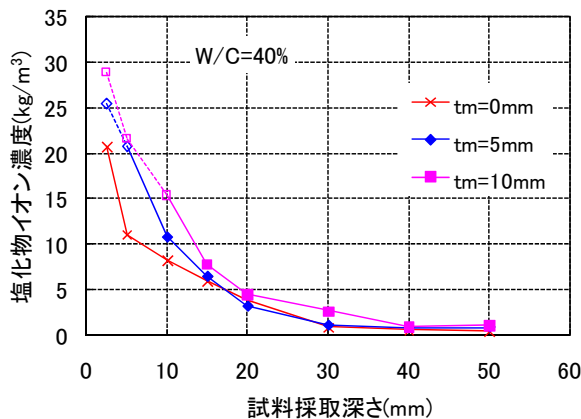


図-9 塩化物イオン濃度の分布 (W/C=40%)

図-8に示す水セメント比が 60%のものでは、15mm以上の深さにおいて、モルタル層厚が大きいものほど塩分の浸透深さが大きくなっている。また、水セメント比が 40%の図-9においては、深さ 15mm 以上において、モルタル層のないものと 5mm のものには差はないが、モルタル層厚が 10mm のものの塩分浸透深さが他のものよりも大きくなっている。これらの結果から、表面近傍にモルタル分が多いコンクリートは塩分の浸透が大き

いと言え、シリーズ1の洗い出し試験体の結果を裏付けている。

水セメント比の違いの影響に関しては、図-8と図-9との比較から、当然のことながら水セメント比が小さい方が塩分浸透の深さは小さくなっている。

シリーズ1とシリーズ2の結果から、コンクリート表面近傍のモルタルの絶対量が塩化物イオンのコンクリート内部への浸透に影響を及ぼすことが考えられる。

5. 結論

洗い出し仕上げしたコンクリートおよびコンクリート表面にモルタル層を設けたコンクリートの塩分浸透試験の結果から、以下の結論を得た。

- (1) 洗い出し仕上げしたコンクリートの塩化物イオンの浸透深さは、水セメント比が 60%では、骨材露出面積割合が 72%以下のものは洗い出しの前の表面を基準に取った場合においても洗い出しのないものよりも小さくなった。
- (2) 洗い出し仕上げしたコンクリートの塩化物イオンの浸透深さは、水セメント比が 40%では、骨材露出面積割合が 59%以下のものは洗い出しのないものよりも大きくなる結果となった。
- (3) 洗い出し後に残ったモルタルの表面を基準とした場合、洗い出しをした試験体の塩化物イオン浸透深さは、洗い出し程度の大小にかかわらず、洗い出しのない試験体よりも小さくなった。
- (4) コンクリート表面にモルタル層を設けた試験体では、塩化物イオンの浸透深さが大きくなった。

謝辞：実験の実施にあたっては、COE職員の宮地日出夫氏をはじめコンクリート研究室の皆様にご協力頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) コンクリートの表面被覆および表面改質技術研究小委員会報告，コンクリート技術シリーズ，No.68，土木学会，2006.4
- 2) 2002 年制定コンクリート標準示方書【施工編】，土木学会，2002.3
- 3) 山本達哉，島 弘：はつり仕上げしたコンクリートの塩化物イオン浸透抵抗性，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.1，pp.753-758，2008