

論文 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

山本 達哉*1・島 弘*2

要旨:鉄筋コンクリート構造物において、「美」の追求に対するコンクリート表面の加工は歓迎すべきである。しかし、その表面加工が、耐久性に悪影響を与えるようでは問題である。建築構造物で多く用いられている表面加工である「はつり仕上げ」が耐久性に及ぼす影響は明らかにされておらず、土木構造物では用いられていない。そこで本研究では、「はつり仕上げ」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した。実験結果から、「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く、また、塩化物イオンの浸透は、水セメント比が大きいほうがより小さくなることが分かった。

キーワード: はつり仕上げ, 耐久性, 塩害, 塩化物イオン, かぶり

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物に対して、「用・強・美」の三位一体が求められるのは言うまでもない。すなわち、機能的で使いやすく、強く長持ちし、美しく見えることが要求される。古来より、建築物や土木構造物にかかわらず、これらの三位一体を満たすことが設計者の命題であった。「美」の追求は、構造物の形状の良し悪しが第一であり、使われる材料はその後であることは皆が認めるところであろう。とは言え、用いる材料の色や光沢などの表面性状も重要であることには間違いない。

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。

「美」の追求に対して、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、「強」のひとつである耐久性に悪影響を与えるようでは三位一体とはならない。表面加工の代表的なもので、建築構造物では古くから行われていた「はつり仕上げ」が「強」の耐久性に及ぼす影響は明らかにされておらず、土木構造物では許容されていないのが現実である。

そこで、本研究は、「はつり仕上げ」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、はつり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。

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、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¹⁾。しかし、「はつり仕上げ」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く、土木構造物においては「はつり仕上げ」が許容されていないのが現状であり、問題点である。

3. 実験

3.1 実験条件

(1) シリーズ 1

シリーズ 1 は、はつり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ためのものである。

試験体の実験条件を表-1に示す。実験の要因は、はつりの程度とコンクリートの水セメント比である。はつりの程度としては、はつりをしないものおよび一般に行われている「小叩き仕上げ」、「びしゃん仕上げ」および「はつり仕上げ」の四種類とした²⁾。水セメント比は60%と40%とした。

表-1 シリーズ 1 の実験条件

試験体番号	水セメント比 (%)	はつりの程度
1	60 ($f'_{c28} = 35.1\text{MPa}$)	はつりなし
2		小叩き仕上げ
3		びしゃん仕上げ
4		はつり仕上げ
5	40 ($f'_{c28} = 46.7\text{MPa}$)	はつりなし
6		はつり仕上げ

*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)

試験体中の塩化物イオン濃度の測定は、塩分浸透試験開始から1ヶ月後および2ヶ月後に行った。

(2) シリーズ2

シリーズ2は、コンクリート表面のセメントペースト量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である。コンクリート表面のセメントペースト分を変化させるために、コンクリート表面を切削し、その切削深さを変えた。

試験体の実験条件を表-2に示す。実験の要因は、切削深さとコンクリートの水セメント比である。切削深さとしては、切削しないものおよび粗骨材の最大寸法の1/6、1/3、1/2の四種類とした。水セメント比は60%と40%とした。

表-2 シリーズ2の実験条件

試験体番号	水セメント比 (%)	切削深さ (mm)
1	60 ($f'_{c28} = 35.1\text{MPa}$)	0
2		3.3
3		6.6
4		10
5	40 ($f'_{c28} = 46.7\text{MPa}$)	0
6		3.3
7		6.6
8		10

試験体中の塩化物イオン濃度の測定は、塩分浸透試験開始から1ヶ月後に行った。

3.2 試験体

(1) 材料

コンクリートの示方配合およびそれぞれのスランブ値、空気量を表-3に示す。水中養生28日圧縮強度は、水セメント比60%が35.1MPa、40%が46.7MPaである。

(2) 形状・寸法および加工

a) シリーズ1

はつり仕上げをするためのコンクリートブロックは、図-1に示すように、W 450×D 350×H 200mmの直方体とした。なお、図中の点線は表面仕上げを行った後に塩分浸透試験のためにコアを抜く場所を示している。

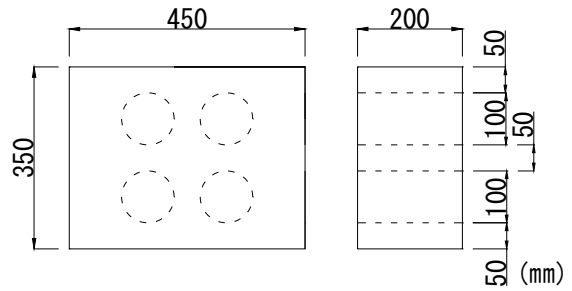


図-1 はつり仕上げ用コンクリートブロック

打ち込みは、型枠内に2層に分けて打ち込み、パイプレーターを使用して締め固めた。養生は、加工用試験体に水分を含ませた布を被せて11日間の湿布養生をし、その後は気中養生とした。コンクリートの打設後、材齢15日で以下の表面仕上げを行った。

i) 小叩き仕上げ

使用した道具を写真-1に示す。仕上げは、コンクリート表面を写真の道具で叩き、表面に細かな線模様をつけた。



写真-1 「小叩き仕上げ」に使用した道具

ii) びしゃん仕上げ

使用した道具を写真-2に示す。仕上げは、コンクリート表面に写真の道具の格子状の部分叩きつけ、表面に模様をつけた。



写真-2 「びしゃん仕上げ」に使用した道具

表-3 コンクリートの配合およびスランブの試験結果

水セメント比 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	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	6	5.5	43.2	155	258	829	1092	2.58
40	20	2.5	3.8	39.2	155	388	710	1100	3.88

iii) はつり仕上げ

使用した道具を写真-3に示す。仕上げは、写真の道具と電動の削岩機を用いて、コンクリート表面のモルタルを大きく削った。



写真-3 「はつり仕上げ」に使用した道具

塩分浸透試験をするために、表面仕上げをしたコンクリートブロックからφ100×H200mmの円柱をコンクリート用のコアドリルを用いてコア抜きした。

b) シリーズ2

φ100×H200mmの円柱供試体をJIS A 1132にしたがって作製した。養生は、試験開始まで水中養生とした。

コンクリート強度試験用供試体端面仕上げ機を使用し、円柱供試体の端面をそれぞれの切削深さまで研磨した。

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ともに、仕上げ面のみからの塩化物イオンの浸透とするために、円柱試験体の仕上げ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) シリーズ1

装置として塩水噴霧乾燥装置を用いて、1日間の塩水噴霧の後、6日間の高湿乾燥を繰り返した。試験開始材齢は33日である。

本実験では塩分の浸透を促進するために塩水噴霧時の温度を35℃とし、乾燥時の温度は60℃とした。試験水の塩分濃度は、標準的には海水と同じNaCl3%濃度で行われることが多いが、本実験では浸透を促進するためにNaCl5%濃度とした。

(3) シリーズ2

試験体がすべて入る大きさの水槽に塩水を溜め、そこに1日間浸漬した後、6日間の高湿乾燥を繰り返した。試験開始材齢は144日である。

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、シリーズ1と同様、浸透を促進するためにNaCl5%濃度とした。

3.4 塩化物イオン濃度の測定

(1) サンプリング

サンプリングには、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。サンプリングの位置を図-2に示す。サンプリング位置は、深さ方向に2.5、5、10、15、20、30、40、50mm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。

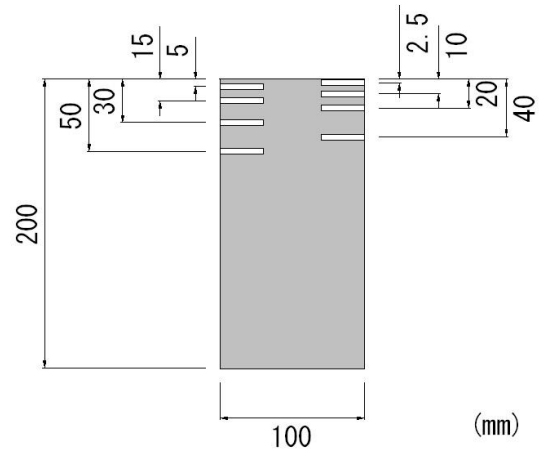


図-2 サンプリングの位置

サンプリングにおいて、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、切削断面積は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つの深さについて円柱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) はつり仕上げの程度

「小叩き仕上げ」、「びしゃん仕上げ」および「はつり仕上げ」の表面性状をそれぞれ写真-4から写真-6に示す。



写真-4 「小叩き仕上げ」の表面性状



写真-5 「びしゃん仕上げ」の表面性状



写真-6 「はつり仕上げ」の表面性状

それぞれの仕上げの程度を表-4に示す。「平均深さ」、「最大深さ」、「最小深さ」の定義は以下に示すものであり、深さの基準点ははつり前のコンクリート面である。

「平均深さ」：表面仕上げをする際にはつり出たモルタル等の重量と表面仕上げを行った表面積、コンクリートの単位体積重量を使用し、計算によって求めた。

「最大深さ」：目視によって深いと思われる箇所をノギスで、20箇所測定する。その中で最も大きい値を最大深さとした。

「最小深さ」：最大深さと同様に、目視によって浅いと思われる箇所をノギスで20箇所測定する。その中で最も小さい値を最小深さとした。

表-4 仕上げの程度

仕上げの種類	はつり仕上げ		びしゃん仕上げ	小叩き仕上げ
	W/C (%)	60	60	60
平均深さ (mm)	2.7	3.1	0.8	0.4
最大深さ (mm)	8.5	10.7	2.3	0.1
最小深さ (mm)	0.1	0.1	0.2	0.01

(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、1ヶ月間の乾湿繰り返しを行ったものの試験体中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-3に、W/C=40%のものを図-4に示す。横軸は、「はつり仕上げ」においても、はつり前の表面、すなわちはつり仕上げ後の山を原点としている。1日間浸漬-6日間乾燥の繰り返しによって、1ヶ月後においても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。

図-3から、水セメント比が60%のものでは、「はつりなし」、「小叩き」および「びしゃん」の仕上げは、ほとんど差がなく、「はつり仕上げ」だけが塩化物イオン

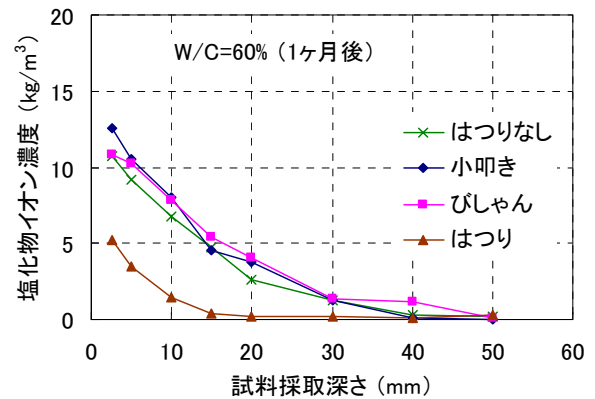


図-3 1ヶ月後の塩化物イオン濃度の分布 (W/C=60%)

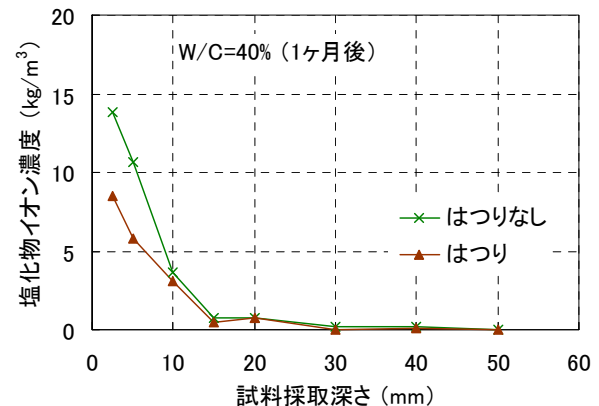


図-4 1ヶ月後の塩化物イオン濃度の分布 (W/C=40%)

のコンクリート内部への浸透が小さくなっていることが分かる。また、図-4の水セメント比が40%のものについては、「はつり仕上げ」した方の試験体の塩化物イオンのコンクリート内部への浸透がやや小さくなっていることが分かる。

同じように、2ヶ月後の結果を図-5および図-6に示す。1ヶ月後の結果と同様に、水セメント比が60%では、「はつりなし」、「小叩き」および「びしゃん」の仕上げは、ほとんど差がなく、「はつり仕上げ」だけが塩化物イオンのコンクリート内部への浸透が小さくなっている。また、図-6の水セメント比が40%のものについても、「はつり仕上げ」した方の試験体の塩化物イオンのコンクリート内部への浸透がやや小さくなっている。

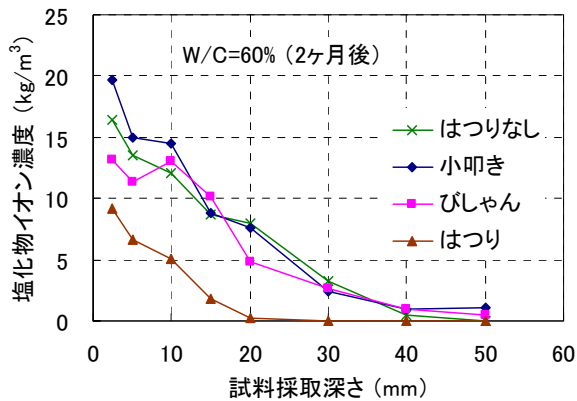


図-5 2ヶ月後の塩化物イオン濃度の分布 (W/C=60%)

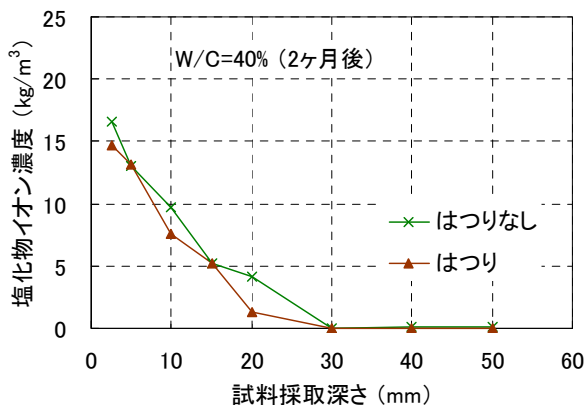


図-6 2ヶ月後の塩化物イオン濃度の分布 (W/C=40%)

水セメント比が60%のものでは「はつり仕上げ」の塩化物イオン浸透が極端に小さくなり、水セメント比が40%のものでは、「はつり仕上げ」の塩化物イオン浸透が小さくなる程度が小さかったが、水セメント比の影響を見るために、1ヶ月後および2ヶ月後の水セメント比の異なるものの塩化物イオン濃度の分布をそれぞれ図-7および図-8に示す。「はつりなし」においては、

当然のことながら、水セメント比の小さい方が塩化物イオンの浸透は小さくなっている。しかし、「はつり仕上げ」したものについては、1ヶ月後および2ヶ月後ともに、水セメント比の小さいものの方が絶対的に塩化物イオンの浸透が大きく、「はつりなし」のものに近くなっている。

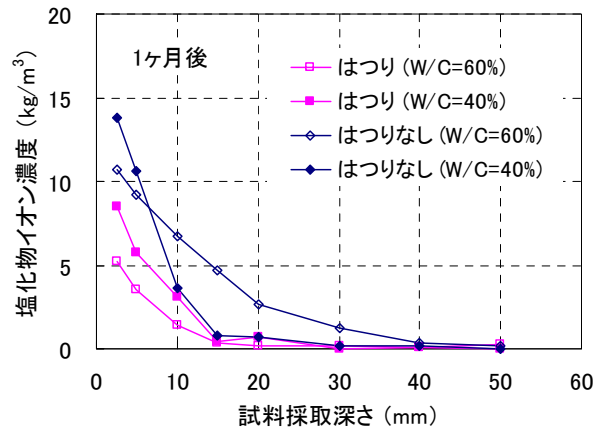


図-7 水セメント比が異なるときの塩化物イオン濃度の分布 (1ヶ月後)

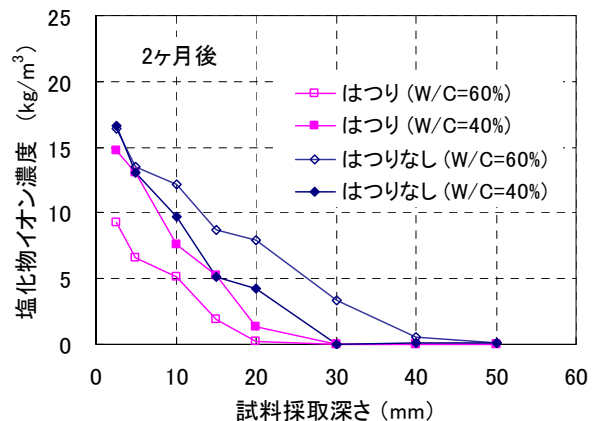


図-8 水セメント比が異なるときの塩化物イオン濃度の分布 (2ヶ月後)

水セメント比が60%において、はつり仕上げをしたものが塩化物イオンの侵入が小さかったこと理由として、はつりによって、コンクリート表面のモルタル分がはつり取られ、コンクリート表面は塩分が浸透しない粗骨材が多くなったためであると思われる。言い換えれば、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量が少なくなると言うことである。

水セメント比が40%のものにおいて、「はつり仕上げ」の塩化物イオン浸透が「はつりなし」に対して小さくなる度合いが小さかったこと理由としては、水セメント比が小さくなると、モルタル分の強度が大きくなるため

に、はつり仕上げにおいてモルタル分だけがはつり取られるのではなく、はつり後の表面においてモルタル分と粗骨材分の比がそれほど大きく変わることがないためであると思われる。

4.2 シリーズ2

前述の仮説を検証するために、シリーズ2の実験結果を考察する。

コンクリート表面をいくつかの深さまで切削し、粗骨材を表面に露出させ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-9に、水セメント比が40%のものを図-10に示す。図の凡例中の括弧は、切削面の粗骨材の面積割合である。

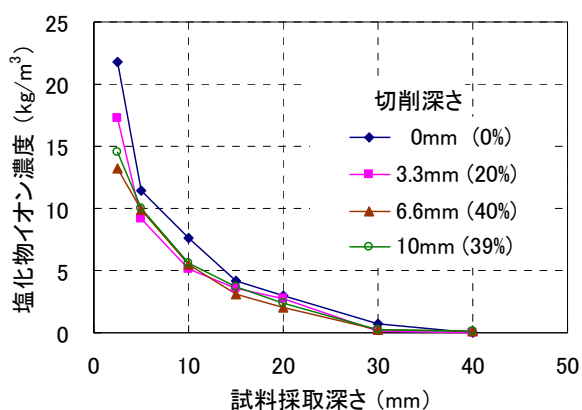


図-9 表面を切削した試験体の塩化物イオン濃度の分布 (W/C=60%)

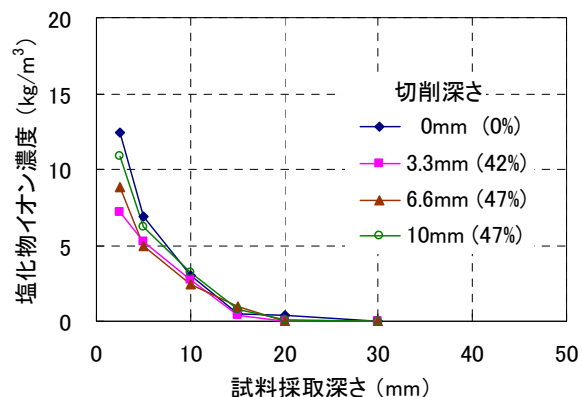


図-10 表面を切削した試験体の塩化物イオン濃度の分布 (W/C=40%)

図-9の水セメント比が60%のものについては、切削をしない(コテ仕上げ)ものだけが、塩化物イオンの内部への浸透が大きくなっている。本実験は、コンクリートの打ち込みに対して上面からの浸透試験であり、上面の部位では塩化物イオンの拡散係数が大きくなる可能

性があることは土木学会コンクリート標準示方書でも言及されている¹⁾。その理由が、コンクリート表面からいくらかの深さに渡ってブリーディング等の影響で密実でないことだとすると、3.3mmあるいは6.6mm削ったものと10mm削ったものでは内部への塩化物イオンの浸透深さが変わるはずである。しかし、本実験で切削したものではその深さにかかわらず塩化物イオン濃度は同じとなっており、本実験ではブリーディング等の影響が深さ方向にある範囲を持っているのではなく、コンクリートのごく表面の性質が実験結果に影響を及ぼしているものと考えられる。すなわち、表面に塩化物イオンの浸透の媒体となるセメントペースト分が少ない場合に、塩化物イオンの浸透が小さくなることを示しているものと思われる。

図-10の水セメント比が40%の試験体に関しては、切削していないものが他に比べると浅いところにおいて濃度が大きくなっているが、顕著な差ではない。これは、塩化物イオンの浸透の媒体となるセメントペースト自身の水セメント比が小さいためだと思われる。

5. 結論

- (1) 「はつり仕上げ」がコンクリートの塩化物イオン浸透抵抗性を低下させることはない。
- (2) コンクリートの塩化物イオン浸透に関して、「小叩き」および「びしゃん」の仕上げは、打ち放ちのコンクリートとほとんど差がなかった。
- (3) 「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より小さくなる。

本研究は、浸漬乾燥の繰返し試験によるコンクリート自身の塩化物イオンの浸透に関するものであるが、コンクリート表面のはつり仕上げが飛来塩分の付着に影響を及ぼすことも考えられ、今後の課題としたい。

謝辞：研究の動機は景観デザインが専門の重山陽一郎氏に与えて頂いた。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) 2002年制定コンクリート標準示方書【施工編】，土木学会，2002.3
- 2) コンクリート構造物の表面デザイン，景観デザイン研究会／表面処理部会，1995.10