

論文 コンクリートの各種表面処理方法による塩化物イオン浸透抑制効果

中田 善久^{*1}・樹田 佳寛^{*2}・鹿毛 忠継^{*3}・西山 直洋^{*4}

要旨:本論文は、透水型枠によるコンクリート表面処理方法を含めた各種方法の塩化物イオン浸透抑制効果を把握するために、表面被覆材2種類、透水型枠2種類および浸透性吸水防止材4種類を用いたコンクリート供試体を5年間暴露し、これらの塩化物イオンの浸透抑制効果について述べたものである。コンクリートの表面処理方法による塩化物イオンの浸透抑制は、透水型枠が最も効果的であり、塩化物イオンの浸透率は比較的高いものの暴露期間5年においてコンクリートの表層部分で塩化物イオンの浸透を抑制している。

キーワード: 塩害、塩化物イオン、表面被覆材、透水型枠、浸透性吸水防止材

1. はじめに

塩害環境における鉄筋コンクリートへの塩化物イオン浸透は、構造物の耐久性に大きな影響を及ぼす。この塩化物イオンの浸透を抑制するための数多くのコンクリート表面保護材に関する研究^{①~③)}が行われており、星野・小林^{④)}らは、コンクリート浸透剤を塗布した場合、長期における塩化物イオンの浸透を抑制することは期待できないとしている。これらの研究では、コンクリート表面保護材の塩化物イオン浸透抑制効果について検討しているものの、透水型枠を用いたコンクリート表面処理による塩化物イオン浸透抑制効果の検討はなされていない。そこで、本研究では、透水型枠によるコンクリート表面処理方法を含めた各種方法の塩化物イオン浸透抑制効果を把握するために暴露試験を行った。本報告は、コンクリートの表面処理方法として表面被覆材2種類、透水型枠2種類および浸透性吸水防止材4種類を施したコンクリート供試体を北海道の日本海沿岸に5年間暴露し、これらの塩化物イオン浸透抑制効果について述べたものである。

2. 実験概要

2. 1 コンクリートの調合および品質試験結果

供試体に用いたコンクリートの調合および品質試験結果を表-1に示す。粗骨材は、大井川産25mmの川砂利（表乾比重2.65、吸水率0.44%、実積率64.9%、F.M.=7.12）、細骨材は、大井川産

表-1 コンクリートの調合および品質試験結果

| W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | AE 減水剤 (ℓ/m ³) | 空気 連行剤 (C×%) | スラ ンプ (cm) | 空気量 (%) | 塩化物 イオン量 (kg/m ³) | 圧縮強度(N/mm ²) | | | 水の拡散 係数 ^⑤ (cm ² /s) |
|------------|------------|--------------------------|-----|-----|-------|----------------------------------|--------------------|------------------|------------|-------------------------------------|--------------------------|------|------|-------------------------------------------------|
| | | W | C | S | G | | | | | | 7日 | 28日 | 1年 | |
| 60 | 42 | 165 | 275 | 778 | 1,089 | 0.688 | 0.004 | 18±1.0 | 4.5±0.5 | 0.02± 0.005 | 20.6 | 31.4 | 35.4 | 8.39×10 ⁻⁴ |

* 1 西松建設(株)技術研究所 研究員、工修(正会員)

* 2 宇都宮大学工学部建設工学科 教授、工博(正会員)

* 3 建設省建築研究所第二研究部材料環境研究室 主任研究員、学術博(正会員)

* 4 西松建設(株)技術研究所 主任研究員、(正会員)

25mmの陸砂（表乾比重2.62、吸水率1.64%、実積率68.7%、F.M.=2.64）である。また、化学混和剤としてAE減水剤（リグニンスルホン酸系）と空気連行剤（アルキルアリルスルホン酸系）を用いた。

2.2 コンクリート供試体およびコンクリートの表面処理方法

各種表面処理したコンクリート供試体は、壁板として $800 \times 800 \times 200\text{mm}$ ものを海側および山側となるように6枚、床板として $800 \times 1,000 \times 200\text{mm}$ もの3枚を製作した。このコンクリート供試体の設置状況およびコンクリートの各種表面処理状況を図-1に示す。コンクリート供試体は、コンクリート打設後1ヶ月後にコンクリートの表面処理を行い、その後、暴露実験場に運搬した。各コンクリート供試体ともコンクリートの表面処理した一面から飛来塩分を浸透させるため、1面以外は、全てウレタン樹脂を用いてシールした。また、このコンクリートの表面処理方法を表-2に示す。

2.3 コンクリート供試体の暴露方法

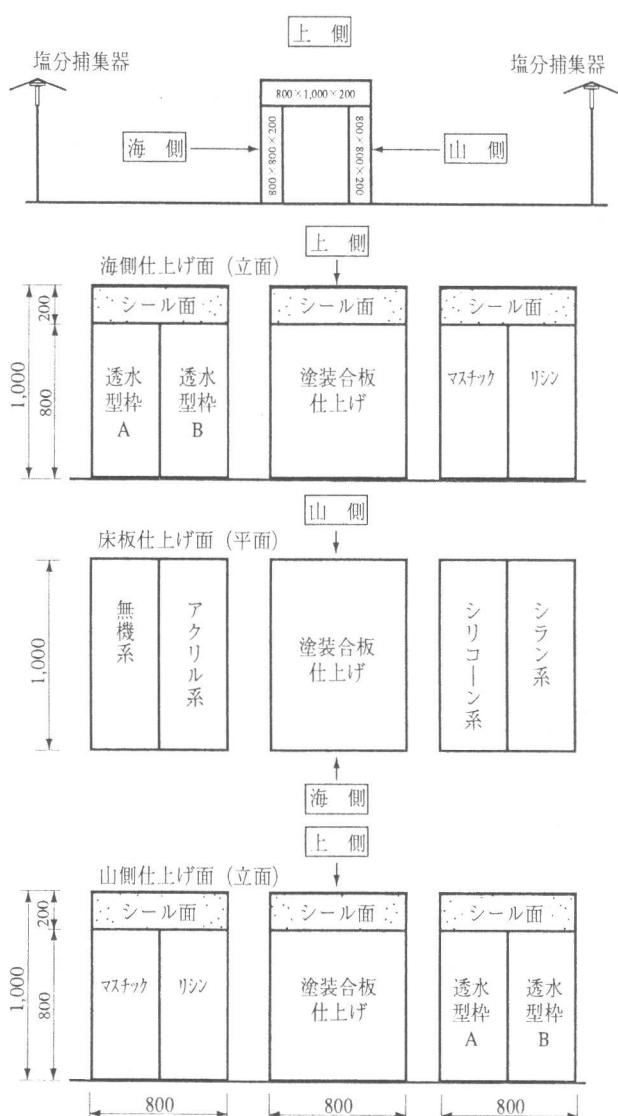


図-1 コンクリート供試体の設置状況およびコンクリートの表面処理状況

各種表面処理したコンクリート供試体を北海道積丹半島の入口に位置する岩内郡共和町字梨野舞納地域の堀株川河口に暴露した。この暴露実験場の状況を図-2に示す。このように海岸から約80mの距離の位置である。また、暴露期間は、平成2年10月～平成7年9月（現在も継続中）の5年間であり、本報告ではこれまでに得られた結果について述べている。

表-2 コンクリートの表面処理方法

| 要因 | 暴露方向 | コンクリートの表面処理方法 |
|----------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 表面被覆材 | 海側 山側 | ・リシン（無機系） ・マスチック（合成樹脂エマルジョン系） |
| 透水型枠 | 海側 山側 | ・透水型枠A（繊維織物系） ・透水型枠B（微細孔フィルム） |
| 浸透性吸水防止材 | 上側 | ・リシン系（アルキアルコキシリシン） ・シリコーン系（シリコーン） ・アクリル系（アクリル酸エチル樹脂） ・無機系（アルカリ金属塩化合物） |
| 標準 | 海側 山側 上側 | ・塗装合板 |

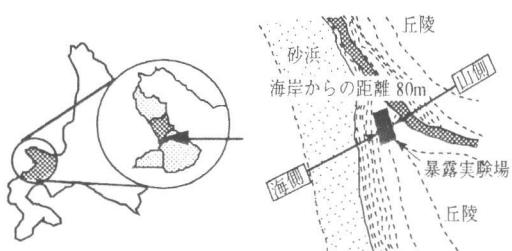


図-2 暴露実験場の状況

2.4 塩化物イオン浸透に関する実験

(1) 飛来塩化物イオンの測定

飛来塩化物イオン量の測定箇所は、暴露実験場におけるコンクリート供試体に対して前面（海側）と後面（山側）の2箇所とした。また、飛来塩化物イオン量の測定方法は、JIS Z 2381 屋外暴露試験方法通則に準じて $10 \times 10\text{cm}$ の木枠内に2枚重ねのガーゼをはめ込んだ飛来塩分捕集器を海に臨む方向に設置して、このガーゼを毎月交換し、このガーゼについて塩化物イオンの分析を行った。このガーゼに付着した月間の大気中の海塩粒子量から塩化物イオンを飛来塩化物イオン量として求めた。

(2) 浸透塩化物イオン量の測定

暴露後1年、3年および5年においてコンクリート供試体から $\phi 10 \times 20\text{cm}$ のコア試料を採取し、コア試料の表面から 1cm 毎に円盤状に切断し、各々について塩化物イオン量の測定を行い、 $0.5, 1.5, 2.5$ および 3.5cm の位置における浸透塩化物イオン量とした。塩化物イオンの測定方法は、JCI 規準（案）⁶⁾に準じて行い、全塩化物イオン量を電位差滴定により測定した。

3. 結果および考察

3.1 飛来塩化物イオン量

暴露実験場における飛来塩化物イオン量を表-3に示す。この暴露実験場における飛来塩化物イオン量は、海側において年間 $950 \sim 1,300\text{mg}/\text{dm}^2$ 程度であり、山側において年間 $500 \sim 900\text{mg}/\text{dm}^2$ 程度であった。また、この暴露実験場における飛来塩化物イオン量は、月間別にみると冬季（12月～3月）に多い傾向を示しており、冬季における暴露条件が厳しい場所である。

3.2 各種表面処理したコンクリート供試体の浸透塩化物イオン量

暴露期間（1年、3年および5年）ごとにおける各種表面処理したコンクリート供試体への浸透塩化物イオン量を図-3に示す。コンクリートの浸透塩化物イオン量は、暴露方向（海側、山側、上側）により異なり塗装合板の結果からみると海側、上側および山側の順に小さくなっている。

塗装合板は、海側において暴露期間1年において表層から 3.5cm に若干の浸透塩化物イオンが見られ、暴露期間が長くなるにつれてその量は多くなっていることがわかる。これに対して、表面被覆材のリシンは、海側の暴露期間1年において表層から 1.5cm に若干の浸透塩化物イオンが見られ、暴露期間が長くなっても塗装合板に比べ浸透塩化物イオン量が少なかった。また、表面被覆材のマスチックは、リシンより暴露期間1年および3年において浸透塩化物イオン量は小さく

表-3 暴露実験場における飛来塩化物イオン量 (mg/dm^2)

| 年 月 | 1990.10 1991.9 | 1991.10 1992.9 | 1992.10 1993.9 | 1993.10 1994.9 | 1994.10 1995.9 |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 10 | 150 20 | 85 17 | 77 94 | 212 178 | 197 164 |
| 11 | 49 27 | 134 105 | 66 86 | 86 76 | 72 92 |
| 12 | 120 60 | 129 69 | 58 30 | 102 72 | 200 98 |
| 1 | 250 61 | 105 29 | 113 80 | 156 84 | 48 10 |
| 2 | 178 66 | 143 60 | 224 96 | 182 64 | 26 10 |
| 3 | 157 64 | 124 64 | 280 69 | 236 187 | 108 42 |
| 4 | 72 46 | 69 48 | 82 61 | 84 49 | 59 19 |
| 5 | 77 42 | 59 48 | 40 37 | 42 42 | 16 28 |
| 6 | 38 29 | 28 13 | 40 27 | 36 33 | 54 14 |
| 7 | 28 18 | 36 20 | 31 30 | 28 16 | 46 26 |
| 8 | 77 78 | 29 19 | 49 40 | 32 2 | 163 94 |
| 9 | 91 47 | 24 23 | 90 56 | 87 72 | 58 36 |
| 累積 月毎 | 1,287 558 | 965 515 | 1,150 706 | 1,283 875 | 1,047 657 |
| 累積 年毎 | 1,287 558 | 2,252 1,073 | 3,402 1,779 | 4,685 2,654 | 5,732 3,311 |

上段：海側、下段：山側

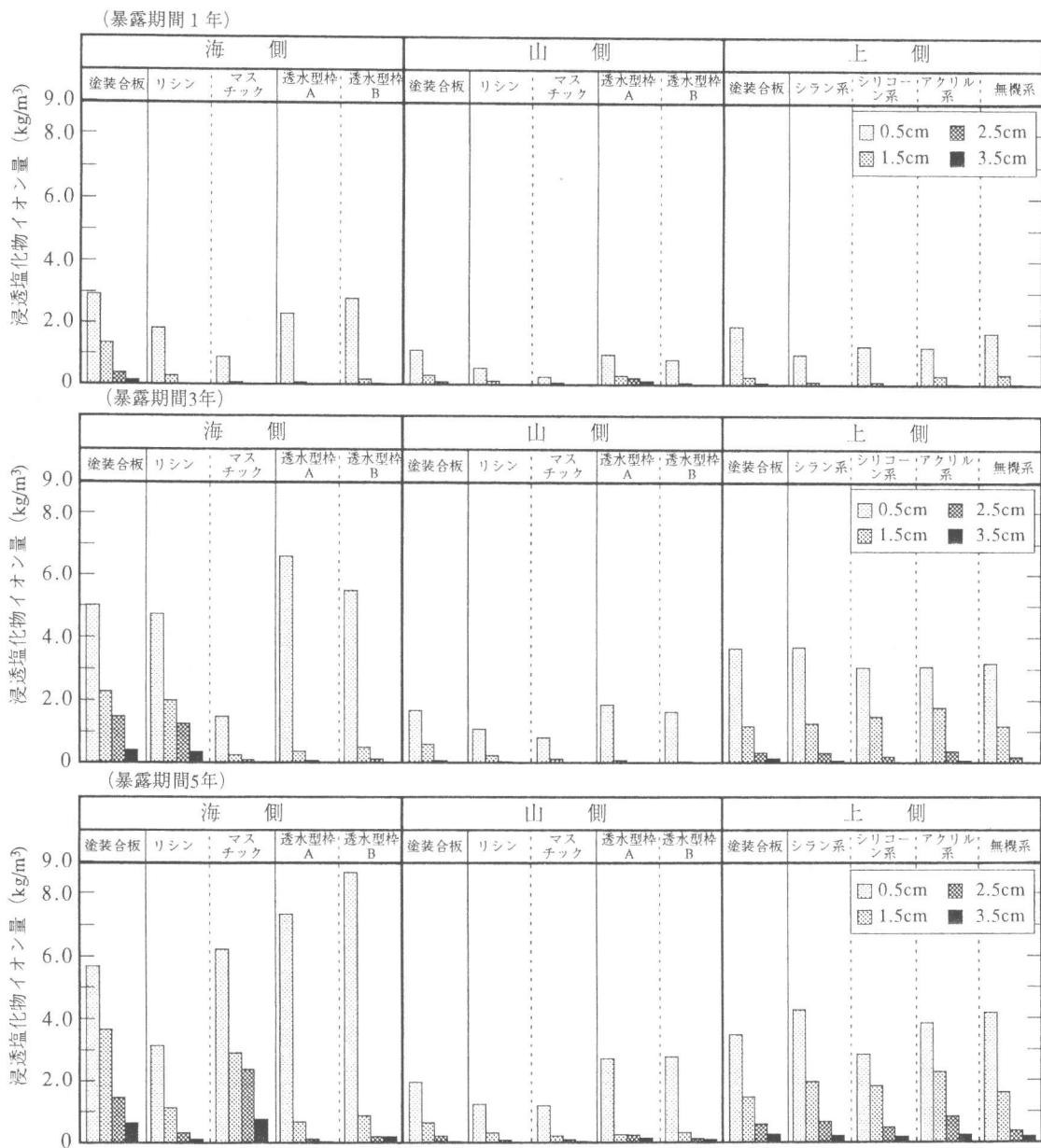
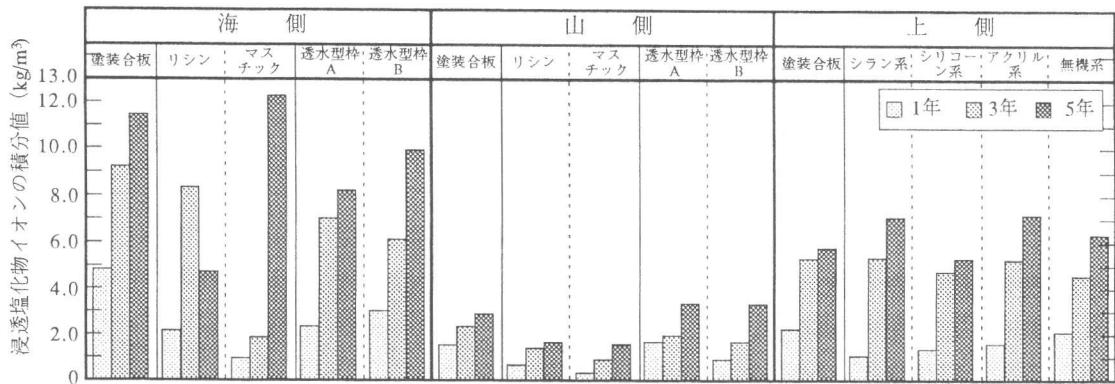


図-3 暴露期間ごとにおける各種表面処理したコンクリート供試体への浸透塩化物イオン量

なっているが、暴露期間5年において塗装合板より浸透塩化物イオン量が多くなっている。山側における表面被覆材のリシンならびにマスチックは、塗装合板に比べ浸透塩化物イオン量が少なかったことから、塩化物イオン浸透抑制効果が低下していないものと考えられる。海側における結果を考慮するとマスチックの塩化物イオン浸透抑制効果が低下したことを示しており、この原因として、海側の方が山側に比べ暴露条件が厳しいためコンクリートの表面にマイクロクラックが入ったことならびに海砂によるサンドブラストで被覆材の一部にひび割れが入ったことなどが考えられる。

透水型枠の場合、いずれの暴露期間においても表層から0.5cmに浸透塩化物イオンが多量に見られ、暴露期間が長くなると表層から0.5cmにおける浸透塩化物イオンは塗装合板以上に増加するが、表層から1.5~3.5cmにおける浸透塩化物イオンは少なかった。この原因は、立松らの報告⁶⁾のように、コンクリートの表層付近が透水型枠の脱水効果からセメント量の増加、水セメント比



図一4 各種表面処理したコンクリート供試体への浸透塩化物イオン量の積分値

の低下、比較的大きな空隙の量が減少および表層の緻密化を起こしているが、この表面の凹凸部分に飛来塩分が付着しやすかったためと考えられる。この傾向は、海側ならびに山側についても同様であった。透水型枠の材質として繊維織物系ならびに微細孔フィルムによる著しい違いは見られなかった。

浸透性吸水防止材の4種類は、暴露期間1年において塗装合板に比べて塩化物イオン量が少なく塩化物イオンの浸透を抑制していることを示しているが、暴露期間3年およびにおいて塗装合板と同程度の塩化物イオン量であり、暴露期間3年以降は塩化物イオンの浸透を抑制できなかつたことを示している。これは、浸透性吸水防止材の種類に関わらず星野・小林らの報告⁴⁾と同様な傾向を示している。

3. 3 各種表面処理したコンクリート供試体への浸透塩化物イオン量の積分値

各種表面処理したコンクリート供試体への浸透塩化物イオン量の積分値を図-4に示す。各種表面処理したコンクリート供試体の浸透塩化物イオン量の積分値は、暴露方向により異なり海側、上側、山側となっている。

表面被覆材のマスチックは、海側の暴露期間5年において塗装合板と同様な積分値であり、リシンはその半分程度であった。しかし、暴露期間3年におけるリシンの積分値から考えると3年程度から塩化物イオン浸透抑制効果が低下しており、海側の暴露期間5年のように試料採取位置によりばらつきが見られた。この原因は、暴露方向が海側のために暴露条件が厳しくためコンクリートの表面にマイクロクラックが入ったことならびに海砂によるサンドブラストで被覆材の一部にひび割れが入ったことなどが考えられる。また、山側の結果を見るとリシンならびにマスチックも塗装合板に比べ小さくなっていることから、暴露条件により塩化物イオン浸透抑制効果が異なることを示している。

透水型枠は、暴露期間5年において塗装合板に比べ浸透塩化物イオン量の積分値が30%程度小さく、前項の結果から考えるとこの積分値のうち、かなり割合の塩化物イオン量が表層0.5cmの位置に存在している。透水型枠の場合、表層0.5~1.5cmの位置において塩化物イオン浸透抑制効果が見られた。

浸透性吸水防止材の4種類は、前項3.2の結果と同様に暴露期間1年において塗装合板に比べて浸透塩化物イオン量の積分値が少なく塩化物イオンの浸透を抑制していることを示しているが、暴露期間3年およびにおいて塗装合板と同程度の積分値となり、暴露期間3年以降は塩化物イオン浸透抑制効果が低下していることを示している。

3.4 各種表面処理したコンクリート供試体における塩化物イオンの浸透率

ここでは、各種表面処理したコンクリート供試体における塩化物浸透イオン量の積分値を年間の累積飛来塩化物イオン量で除した割合を塩化物イオンの浸透率（以下、塩化物イオンの浸透率と呼ぶ。）として検討した。この各種表面処理したコンク

リート供試体における塩化物イオンの浸透率を図-5に示す。また、ここでは上側の供試体について飛来塩化物イオン量の測定が不可能であったため、海側および山側の結果のみ検討した。この結果から塗装合板は、暴露期間が長くなるにつれて塩化物イオンの浸透率が小さくなつた。海側の表面被覆材は、塩化物イオン浸透抑制効果が低下したために塩化物イオンの浸透率が増加し、山側の表面被覆材は、塩化物イオン浸透抑制効果が低下しないために塩化物イオンの浸透率が低下した。また、透水型枠は、海側において塩化物イオンの浸透率が若干、低下しており、山側において著しく低下している。

4.まとめ

コンクリートの表面処理方法として表面被覆材2種類、透水型枠2種類および浸透性吸水防止材4種類を用いたコンクリート供試体を5年間暴露した結果から塩化物イオンの浸透抑制効果について次のことがいえる。

- (1) コンクリートの表面処理方法による塩化物イオンの浸透抑制は、透水型枠が最も効果的であり、塩化物イオンの浸透率は比較的高いものの暴露期間5年においてコンクリートの表層0.5～1.5cmの位置で塩化物イオンの浸透を抑制している。
- (2) 浸透性吸水防止材による塩化物イオンの浸透抑制効果は、暴露条件により異なるが長期的には期待できず、定期的なメンテナンスが必要である。
- (3) 表面被覆材による塩化物イオンの浸透抑制効果は、浸透性吸水防止材に比べ低く、位置によるばらつきがあり長期的にはさらに期待できない。

今後も暴露実験を継続し、コンクリートの表面処理方法として透水型枠を用いた場合の塩化物イオンの浸透抑制に関するメカニズムを解明していく予定である。

【謝 辞】本実験は、(社)建築研究振興協会における塩害研究会の一環で行ったものであり、主査清水講師(東京理科大学)、鎌田教授(北海道大学)、阿部室長(建設省建築研究所)、湯浅助手(日本大学)、神谷氏・生野氏(西松建設札幌支店)、田辺氏(日本化成)、荒川氏(ダイワクス)の方々をはじめとする委員各位に感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 西村健太郎、山口和夫、樹田佳寛、安田正雪;「無機質系防水材による鉄筋コンクリートの塩害抑制効果に関する実験」、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12, No.1, 1990, pp501～506
- 2) 浜田秀則、福手勤、阿部正美、山本邦夫「コンクリート表面被覆の塩害防止効果ならびにその評価方法について」、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13, No.1, 1991, pp533～538
- 3) 掛川勝、樹田佳寛、松林裕二、小俣一夫;「表面被覆材及び浸透吸水防水材の塩害防止効果に関する実験」、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15, No.1, 1993, pp709～714
- 4) 星野富夫、小林一輔;「コンクリート用浸透剤の塩化物遮蔽効果」、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12, No.1, 1990, pp507～510
- 5) 村田二郎;「コンクリートの水密性の研究」、土木学会論文集、77, 1961
- 6) 「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法(案)」、日本コンクリート工学協会腐食暴食研究委員会
- 7) 立松和彦、石原誠一郎;「転用施工した透水型枠によるコンクリートの性状」、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14, No.1, 1992, pp965～970

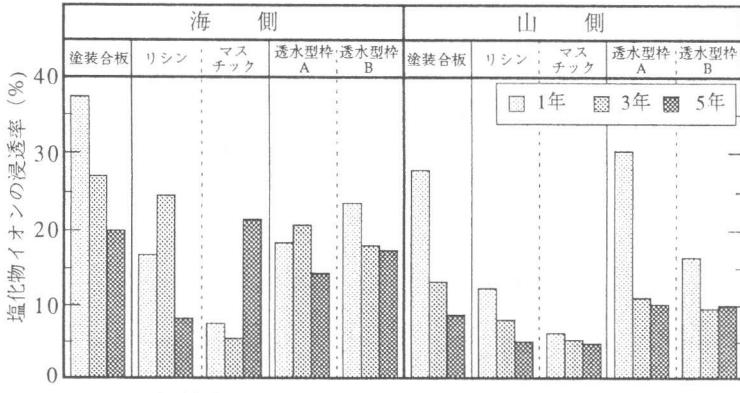


図-5 各種表面処理したコンクリート供試体における塩化物イオンの浸透率