

鉄筋コンクリート構造物の含水状態と劣化に関する研究

湯浅 昇, 松井 勇(建築工学科), 三井和男(数理情報工学科)

1. はじめに

近年、資源循環型社会の実現を目的とし、様々な分野で研究が進められている。セメント業界では、都市ゴミ焼却灰や下水汚泥などの廃棄物を主原料としたエコセメントが開発され、平成14年7月にJIS R 5214が制定された。当初、エコセメントは、塩化物イオンを1%程度含むため、その用途は無筋コンクリートや地盤改良用固化材に限られてきたが、製造技術の進歩により、塩化物イオンが0.1%以下に低減が可能となり、普通ポルトランドセメントに似た性質を持つことが報告されている。今後、このような環境負荷低減型材料の使用を広めるためにも、基礎物性をはじめ様々な施工状況を想定した研究を進める必要がある。

本報告は、鉄筋コンクリート構造物の含水状態と劣化に関する研究の一環で、既往の研究<sup>1),2)</sup>に関連して、エコセメント及び普通ポルトランドセメントを用いた2種類のコンクリート(以下、それぞれEC-C、OPC-Cと称す)について、乾燥開始材齢(1、3、7及び28日)の異なる試験体を作製し、促進塩分浸透試験<sup>3)</sup>及び沖縄・辺野喜海岸、北海道・泊海岸への暴露試験に供して、各試験体の遮塩性を比較検討したものである。

2. 実験概要

2.1 試験体作製

エコセメント(比重3.18)、普通ポルトランドセメント(比重3.16)、大井川産川砂(表乾比重2.62)、大井川産川砂利(表乾比重2.66)

及び化学混和剤を使用し、表-1に示す調合表に基づき、コンクリートを練り混ぜた。スランプ及び空気量は、表-1に併記した。図-1は、コンクリートの強度増進性を示している。試験体の形状は、100×100×200(mm)の角柱供試体とした。

打設後、温度20℃、相対湿度60%のほぼ無風の恒温恒湿室内に静置し、材齢1日、3日、7日及び材齢28日において試験体の側面(10×10cm)2面を開放し乾燥させた。図-2は、材齢28日における総有効細孔量分布を示している。

2.2 促進塩分

浸透試験  
文献4)の大城・山田らの方法を参考に、試験条件を表-2の通りとした。

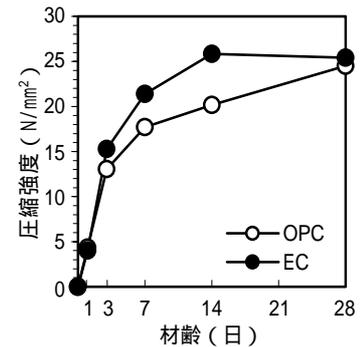


図-1 圧縮強度発現

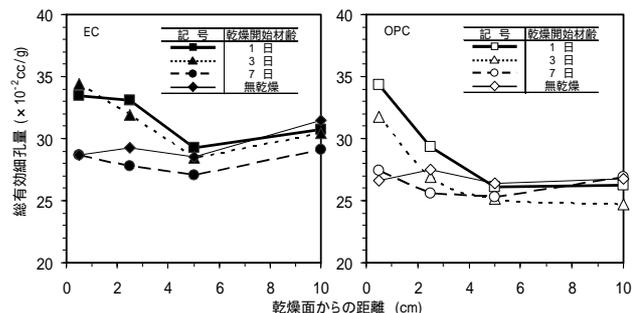


図-2 総有効細孔量分布 (材齢28日)

表-1 コンクリートの調合とスランプ及び空気量の実測値

| コンクリートの種類 | W/C (%) | 単位水量 (kg/m³) | 質量(kg/m³) |     |     | 混和剤(g/m³) |         | スランプ (cm) | 空気量 (%) |
|-----------|---------|--------------|-----------|-----|-----|-----------|---------|-----------|---------|
|           |         |              | セメント      | 細骨材 | 粗骨材 | No.70     | No.303A |           |         |
| エココンクリート  | 60      | 185          | 308       | 836 | 939 | 770       | 6218    | 21.5      | 6.2     |
| 普通コンクリート  | 60      | 185          | 308       | 836 | 939 | 770       | 6218    | 22.5      | 4.8     |

暴露は材齢14ヵ月目に開始した。

### 2.3 暴露試験

日本において塩害環境として比較的厳しい沖縄・辺野喜、北海道・泊の2カ所の海岸（図-3、表-2）に、材齢2ヶ月で暴露し、1年を経過した試験体を回収した。



写真-1 塩水浸漬乾燥試験機

### 2.4 塩化物イオン量の測定

暴露面から1cm間隔で切断し、JIS A 1154に規定される電位差滴定法により、全塩化物イオン量（以下、全塩分量）を測定した。

表-2 試験概要

|        |  |
|--------|--|
| 促進試験   | 1サイクルの条件<br>・塩水浸漬過程3日(72時間)<br>NaCl 3%, 50 (攪拌機能有)<br>・乾燥過程4日(96時間)<br>50 (熱風、脱気機能有)   |
| 自然環境暴露 | 北海道<br>北海道岩内郡共和町字梨野舞納の海岸線から約40mの位置<br>(緯度 43度1分, 経度 140度36分)<br>平成18年7月18日より暴露<br>沖縄<br>沖縄県国頭郡国頭村字辺野喜の海岸線から約40mの位置<br>(緯度26度47分, 経度 128度15分)<br>平成18年7月25日より暴露 |

## 3. 結果及び考察

### 3.1 促進塩分浸透試験

図-4は、EC-C及びOPC-Cを用いたコンクリートの促進塩分浸透試験結果（20サイクル、40サイクル）を示している。表-3は、これをもとに算出した見掛けの拡散係数である。

図-5は、促進20サイクル及び促進40サイクルにおいて、乾燥材齢ごとに、EC-C及びOPC-Cの見掛けの拡散係数を示したものである。EC-Cは、OPC-Cに比し概ね見掛けの拡散係数が大きいことがわかる。ここで、使用したセメントの種類及び乾燥開始材齢の見掛けの拡散係数に及ぼす影響を考察するため、これらを要因とする二元配置の分散分析を行った結果、危険率1%で使用したセメントの種類による有意差が認められ、危険率5%でも乾燥開始材齢による有意差は認められなかった。



図-3 暴露地概要

### 3.2 自然環境暴露

図-6、図-7は、それぞれ沖縄・辺野喜、北海道・泊におけるEC-C及びOPC-Cの塩化物イオン量分布を示している。表-4は、これをもとに算出した見掛けの拡散係数である。

図-8は、沖縄・辺野喜及び北海道・泊の暴露において、乾燥材齢ごとに、EC-C及びOPC-Cの見掛けの拡散係数を示したものである。促

進試験の結果以上に、EC-Cは、OPC-Cに比し見掛けの拡散係数が大きいことがわかる。ここで、促進塩分試験の結果同様、使用したセメントの種類及び乾燥開始材齢の見掛けの拡散係数に及ぼす影響を考察するため、これらを要因とする二元配置の分散分析を行った結果、危険率1%で使用したセメントの種類による有意差が認められ、また、使用したセメントの種類ごとに危険率5%で乾燥開始材齢による有意差は認められた。しかしながら、この乾燥開始材齢による有意差は使用したセ

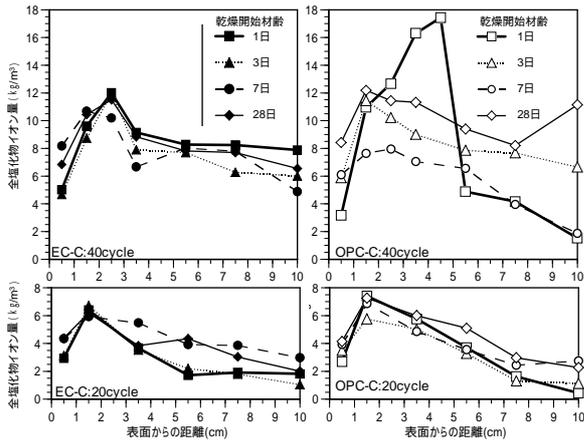


図-4 塩化物イオン分布 (EC-C及びOPC-C)

ントにより意味  
が異なっている。  
すなわち、図-9  
でわかるように、  
OPC-Cでは、乾  
燥開始材齢が早  
い程、見掛けの  
拡散係数が大き

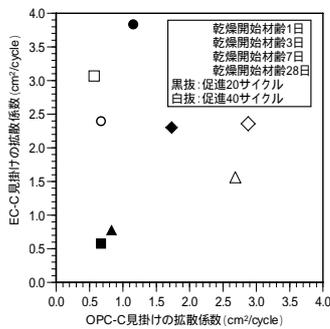


図-5 促進試験における見掛けの  
拡散係数 (EC-C及びOPC-C)

いのに対し、EC-Cではその逆である。促進試  
験では有意差がないことも含めて、これらの  
相違を更に分析・検討する必要がある。

また、図-10は、使用したセメント別に、同  
一乾燥開始材齢、同一深さごとに、暴露地に  
よる相違を示したものである。暴露地による  
違いは小さく、見掛けの拡散係数を対象に、  
分散分析を行っても5%でも暴露地による有  
意差は認められなく、両暴露地の塩分浸透環  
境は同程度であることがわかった。

### 3.3 提案促進試験結果と自然

#### 環境暴露試験結果の対応

図-11、図-12は、それぞれEC-C、

#### OPC-Cの促進試験

(20サイクル時)結

果と2ヶ所の自然環

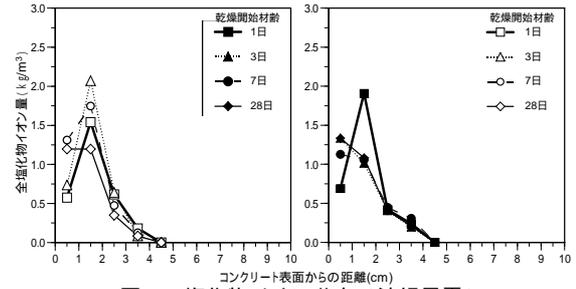


図-6 塩化物イオン分布 (沖縄暴露)

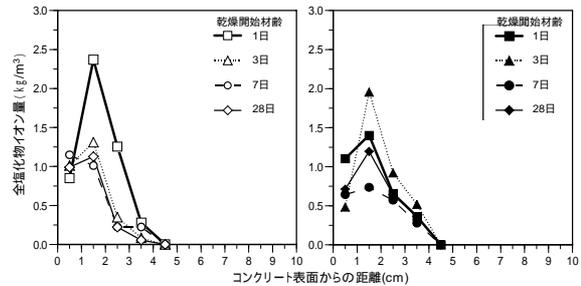


図-7 塩化物イオン分布 (北海道暴露)

境暴露試験 (1  
年時)結果の同  
一試験体・同一  
深さごとの対  
応を示したも  
のである。

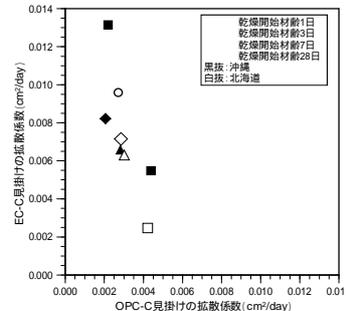


図-8 暴露試験における見掛けの  
拡散係数 (EC-C及びOPC-C)

#### 提案促進試験

では、自然環境

暴露試験に比し、表層における浸透量の対応  
を基準とすると、内部ほど浸透量が多くなる  
ことがわかる。ただし、その比率は、北海道  
泊での暴露、沖縄辺野喜での暴露との関係に  
おいて、似通った値となった。表-5は、暴露  
試験に対する提案促進試験の比を示したも  
のである。

表-3 促進試験における見掛けの拡散係数

|          | 見掛けの拡散係数 (cm <sup>2</sup> /cycle) |       |      |      |              |       |       |      |
|----------|-----------------------------------|-------|------|------|--------------|-------|-------|------|
|          | エコセメント                            |       |      |      | 普通ポルトランドセメント |       |       |      |
|          | 1日                                | 3日    | 7日   | 28日  | 1日           | 3日    | 7日    | 28日  |
| 促進20サイクル | 0.575                             | 0.777 | 3.84 | 2.30 | 0.671        | 0.829 | 1.16  | 1.73 |
| 促進40サイクル | 3.07                              | 1.56  | 2.40 | 2.36 | 0.569        | 2.68  | 0.671 | 2.88 |

表-4 暴露試験における見掛けの拡散係数

|        | 見掛けの拡散係数 (cm <sup>2</sup> /day) |         |         |         |              |         |         |         |
|--------|---------------------------------|---------|---------|---------|--------------|---------|---------|---------|
|        | エコセメント                          |         |         |         | 普通ポルトランドセメント |         |         |         |
|        | 1日                              | 3日      | 7日      | 28日     | 1日           | 3日      | 7日      | 28日     |
| 沖縄・辺野喜 | 0.00548                         | 0.00658 | 0.0132  | 0.00822 | 0.00438      | 0.00282 | 0.00219 | 0.00205 |
| 北海道・泊  | 0.00247                         | 0.00630 | 0.00959 | 0.00715 | 0.00422      | 0.00301 | 0.00271 | 0.00285 |

#### 4. まとめ

エコセメントを用いたコンクリートの遮塩性について、下記のことが明らかになった。

- (1) 促進塩分試験及び暴露試験の結果ともEC-Cは、OPC-Cに比し、見掛けの拡散係数が大きいことがわかった。
- (2) 暴露試験については、セメントの種類ごとに、乾燥開始材齢による有意差は認められたが、意味は相違し、OPC-Cでは乾燥開始材齢が早い程、見掛けの拡散係数が大きいのに対し、EC-Cではその逆であった。また、促進試験ではどちらのセメントを使用した場合であっても乾燥開始材齢には有意差がなかった。また、付随的に下記のことわかった。
- (3) 現在、暴露試験を行っている沖縄・辺野喜暴露場と北海道・泊暴露場の塩分浸透環境は同程度であった。
- (4) 提案促進試験結果と自然環境暴露試験結果の対応を示すことができ、表層における浸透量の対応を基準とすると、内部ほど浸透量が多くなることがわかった。

#### 【参考文献】

- 1) 湯浅昇、笠井芳夫、松井勇：乾燥を受けたコンクリートの表層から内部にわたる含水率、細孔構造の不均質性、日本建築学会構造系論文集、第509号、pp.9-16、1998.7
- 2) 西田健治・湯浅昇・松井勇・笠井芳夫・佐々木隆：エコセメントを用いたコンクリートの含水率及び細孔構造、日本建築学会大会学術講演集（関東）A-1、pp.257-258、2006.9
- 3) 湯浅昇：コンクリートの塩化物イオン促進浸透試験方法の検討、第6回日本大学大学院生産工学研究科生命工学・リサーチ・センター研究発表講演会講演概要、pp.21-24、2008.10
- 4) ソーンウィーラ、山田義智、杉山隆文、大城武：フライアッシュを細骨材の一部として代替したコンクリートの遮塩性評価、日本建築学会構造系論文集、No.560、pp.17-25、

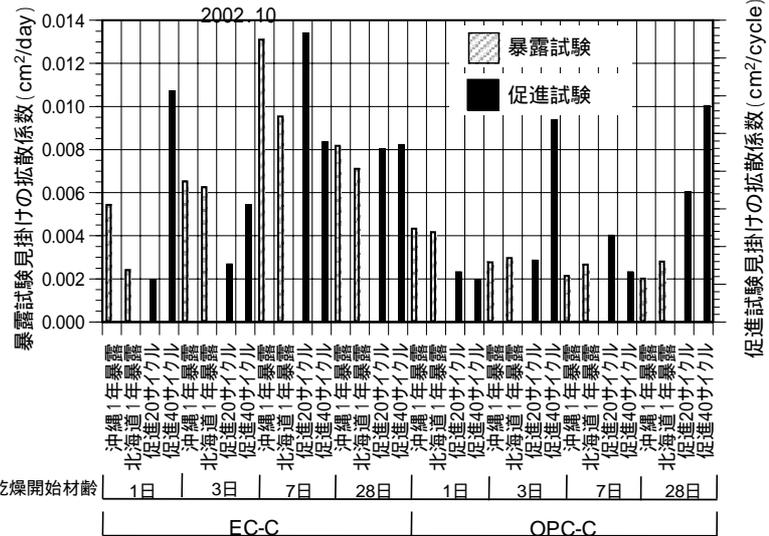


図-9 見掛けの拡散係数

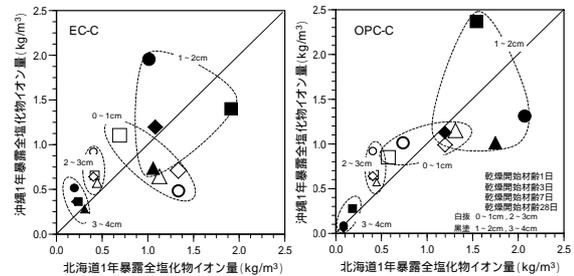


図-10 塩化物イオン分布の暴露地による違い

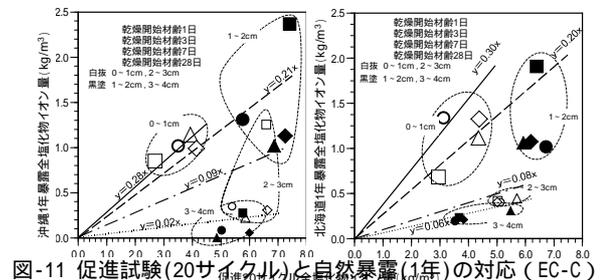


図-11 促進試験(20サイクル)と自然暴露(1年)の対応 (EC-C)

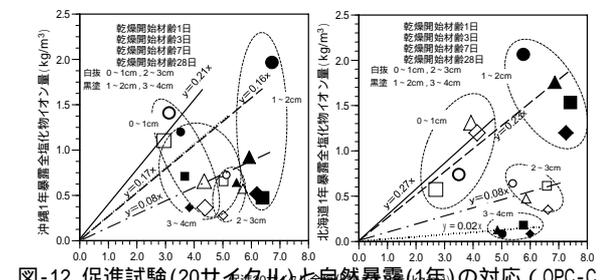


図-12 促進試験(20サイクル)と自然暴露(1年)の対応 (OPC-C)

表-5 暴露試験(1年)に対する促進試験(20サイクル)の比

| 暴露地    | セメント種 | 表面からの距離 (cm) |      |       |       |
|--------|-------|--------------|------|-------|-------|
|        |       | 0~1          | 1~2  | 2~3   | 3~4   |
| 沖縄・辺野喜 | EC-C  | 4.68         | 6.41 | 11.96 | 6.02  |
|        | OPC-C | 3.61         | 4.66 | 11.16 | 49.75 |
| 北海道・泊  | EC-C  | 3.35         | 4.99 | 12.48 | 17.48 |
|        | OPC-C | 3.66         | 4.26 | 11.96 | 45.87 |