

エコセメントを用いた環境配慮型 CFT 造に関する研究

金森誠治 * 佐藤孝一 * 野中英 *

環境配慮型セメントとしてエコセメントが 2002 年 7 月に JIS 化されたが、使用実績および耐久性確認データが少なく一般構造物に普及していないのが現状である。そこで、鋼管に被覆され、耐久性の確保が比較的容易な CFT 工法に着目して、エコセメントの性能確認データの収集と耐久性に関する実験的検討を実施した。

本研究は国土交通省の助成金を受けて 22 社で行った共同研究の成果である。

キーワード：エコセメント，環境配慮，CFT 造，構造体コンクリート強度，内部ひずみ

1. はじめに

循環型社会の構築に向けた一つ的手段として、廃棄物を利用した環境配慮型セメントの利用がある。従来の環境配慮型セメントは、ポルトランドセメントにフライアッシュや高炉スラグといった粉末状の産業廃棄物を混合するものであったが、昨今の技術革新により、都市ごみ焼却灰や下水汚泥を原料としたエコセメント¹⁾が開発され、2002 年 7 月に JIS 化²⁾もされた。

これまでの研究成果により、普通エコセメントは普通ポルトランドセメントとほぼ同等の性能を保有していることがわかっているが、建築分野においては、建築基準法関連告示によって同法の別表第一 (い) 欄第一第七号に掲げる建築材料から除外されていることなどの課題があり、普及していないのが現状である。

普通エコセメントの課題の一つはデータ量の不足である。建築分野においても、この点については、2005 年 12 月に (独) 建築研究所が研究報告³⁾を取りまとめたほか、日本建築学会に研究委員会が立ち上げられ、精力的に改善がはかられている。もう一つの課題としては、廃棄物の原料に起因してセメント中の塩化物イオン量が若干高くなることなどがあげられるが、この問題は、適用部位を限定することで対処できるものと考えられる。例えば、コンクリート充填鋼管造 (以下、CFT 造) への適用などがその例である。

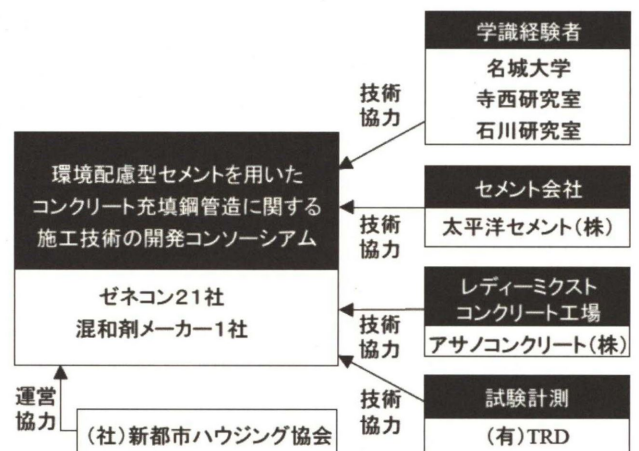
CFT 造における充填コンクリートは、鋼管に被覆された状態であるため、RC 造に比べて外部からの劣化要素の影響を受けにくく、乾燥なども起こりにくいと考えられている。したがって、耐久性能がポルトランドセメントよりも若干低いと考えられている普通エコセメントの利用先としては極めて理想的な構造である。そこで、Fig. 1 に示す普通エコセメントを用いたコンクリート充填鋼管

造に関する施工技術の開発を行うための組織を立ち上げ、検討を進めることとした。

本報は、本コンソーシアムの開発成果のうち、普通エコセメントを用いた高強度・高流動コンクリートの小型ミキサによる試し練り、実機ミキサによる試し練り、柱模擬部材のコア抜きによる構造体コンクリート強度、ポンプ圧送性、コンクリートの塩化物イオン量と鋼材の腐食に関する検討について報告するものである。

2. 小型ミキサによる試し練り

小型ミキサによる試し練りでは、普通エコセメントを用いて充填用の高強度・高流動コンクリートを作ること検討した。試験に用いた材料を Table 1 に示す。試験では、普通エコセメントを用いた 4 種類のコンクリートの性能を確認した。その結果をもとに、普通ポルトランドセメントを用いた一般的な高流動コンクリートと比較を実施した。



* 技術研究所 建設材料研究部

Fig. 1 開発組織

試験を行ったコンクリートの調合を Table 2 に示す。試験では、各調合のフレッシュコンクリートの性状確認、標準養生圧縮強度試験、セメントの水和熱による部材内温度履歴と類似の温度を与えた供試体による簡易断熱養生圧縮強度試験⁴⁾ (ECO28.0, ECO35.0, OPC35.0 のみ) を実施した。簡易断熱養生供試体は、Photo. 1 に示す簡易断熱養生槽内で材齢 7 日まで養生し、以降は封かんとして外気中 (平均 23℃) で養生した。練混ぜは容量 60 リットルの水平二軸式ミキサで行った。1 回の練混ぜ量は 30 リットルとした。

フレッシュコンクリートの試験結果を Table 3 に示す。いずれのコンクリートも良好な流動性を持っていた。目視観察の範囲では、W/C=35%で比較した普通エコセメントと普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートに明確な違いは見られなかった。

標準養生圧縮強度の試験結果を Fig. 2 に示す。普通エコセメントを用いた高流動コンクリートであっても、標準養生圧縮強度は材齢とともに増進した。また、水セメント比を低くすることで、100N/mm² 程度の圧縮強度を得ることも可能であった。ただし、W/C=35%で比較した結果では、普通エコセメントを用いた場合には普通ポルトランドセメントを用いた場合よりも強度がやや低くなる傾向にあった。簡易断熱養生圧縮強度の試験結果を Fig. 3 に示す。いずれの調合の簡易断熱養生圧縮強度も、標準養生圧縮強度より低くなった。ただし、得られたデータは、普通エコセメントを用いた高流動コンクリートであっても、構造体コンクリートとして 60N/mm² 以上の圧縮強度を確保できることを示唆していた。

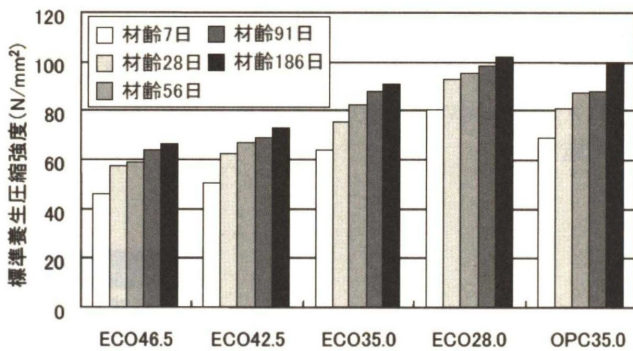


Fig. 2 標準養生圧縮強度試験結果

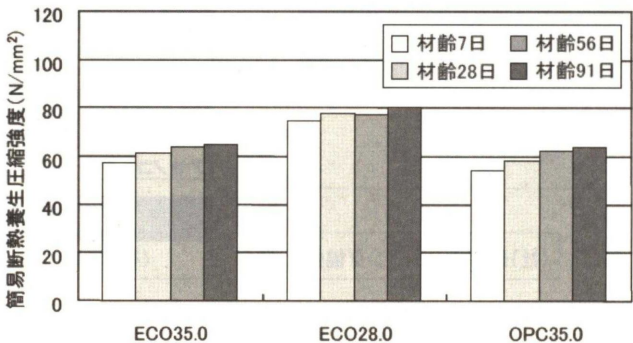


Fig. 3 簡易断熱養生圧縮強度試験結果

Table 1 使用材料の概要

セメント	<ul style="list-style-type: none"> ■普通エコセメント (密度 3.17g/cm³) ■普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm³)
細骨材	<ul style="list-style-type: none"> ■鳥形山産石灰岩系砕砂 (表乾密度 2.62 g/cm³, 吸水率 1.64%) ■市原産天然砂 (表乾密度 2.58 g/cm³, 吸水率 2.24%)
粗骨材	<ul style="list-style-type: none"> ■我朗産石灰岩系砕石 (表乾密度 2.70 g/cm³, 吸水率 0.48%)
化学混和剤	<ul style="list-style-type: none"> ■ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤

Table 2 調合一覧

調合名	W/C (%)	目標スランプフロー (cm)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (C×%)
			水	セメント	細骨材	粗骨材	
ECO46.5	46.5	50	170	366	890	924	1.10
ECO42.5	42.5	60	170	400	878	908	1.10
ECO35.0	35.0	60	170	486	822	891	1.15
ECO28.0	28.0	60	170	608	724	891	1.35
OPC35.0	35.0	60	170	486	822	891	1.28

■共通条件 空気量 3%, 砕砂:天然砂=5:5 (質量比)

Table 3 フレッシュコンクリートの試験結果

	スランプフロー (cm)	50cmフロー到達時間 (秒)	フローの流動停止時間 (秒)	空気量 (%)	温度 (℃)
ECO46.5	55.5×53.5	4.3	14.9	2.1	20.0
ECO42.5	57.5×57.0	4.2	22.8	2.5	20.0
ECO35.0	66.0×64.0	3.6	37.7	1.8	21.0
ECO28.0	68.0×66.5	4.9	57.8	2.1	21.0
OPC35.0	68.0×65.5	3.7	26.0	1.7	21.0

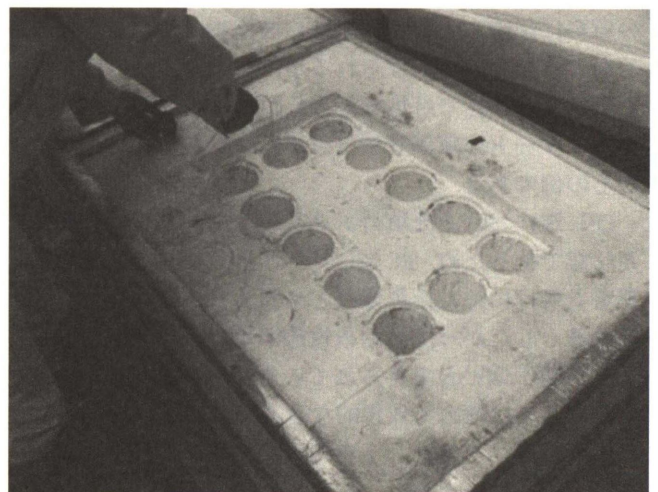


Photo. 1 簡易断熱養生槽

3. 実機ミキサによる試し練り

ここでは、普通エコセメントを用いた高強度・高流動コンクリートの製造・施工に関する基礎的データの蓄積と、構造体コンクリート強度の確認を行うこととした。試験では、普通エコセメントを用いた高強度・高流動コンクリートを実際のレディーミクストコンクリート工場で製造し、アジテータトラックで運搬した後に Photo. 4 に示す柱模擬部材⁴⁾を製作することとした。製作した柱模擬部材からは材齢ごとにコア供試体を採取し、構造体コンクリート強度を確認した。

試験を行う調査は、前節の ECO42.5 を除いた 4 調査とした。試験測定では、スランプフロー試験などに加え、JASS5T-502 に示されるモール法による塩化物イオン量の経時変化の測定と、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」による硬化コンクリートの塩化物イオン量の測定を行った。

練り上がったコンクリートは、いずれも良好な施工性を保持していた。小型ミキサによる試し練りと同様に、普通エコセメントを用いた高流動コンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いたものと比べ、流動性などの面で遜色ないものであった。

塩化物イオン量の測定結果を Fig. 4 に示す。冬期における ECO28.0 の測定結果以外は、いずれの硬化コンクリート中の塩化物イオン量も 0.30kg/m^3 以下を満たす結果となった。また、JASS5T-502 (モール法) によってブリーディング水から塩化物イオン濃度を求める場合、練混ぜから 60 分経過以降にブリーディング水を採取すると、塩化物イオンが十分溶出して、JIS A 1154 での試験値および調査から算出した塩化物イオン量に近い値が測定で

きることが確認された。

ブリーディング量および沈降量試験の結果を Fig. 5 および Fig. 6 に示す。沈降量は小型ミキサによる試し練りの結果とほぼ同様の傾向であり、いずれの調査も新都市ハウジング協会の定める 2mm 以下という値⁵⁾を満足した。一方、全体的な傾向としてはブリーディングのほとんど生じないコンクリートを製造できるという結果となったが、夏期の ECO46.5 では新都市ハウジング協会の定める

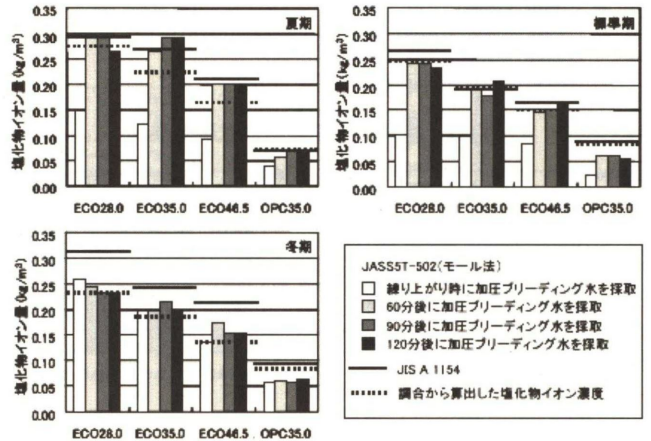


Fig. 4 塩化物イオン濃度測定結果

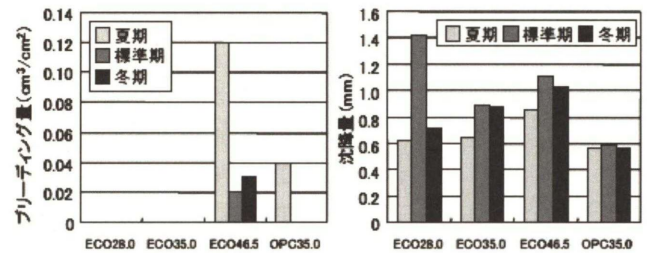


Fig. 5 ブリーディング量

Fig. 6 沈降量



Photo. 2 製造工場



Photo. 3 ミキサ車で運搬

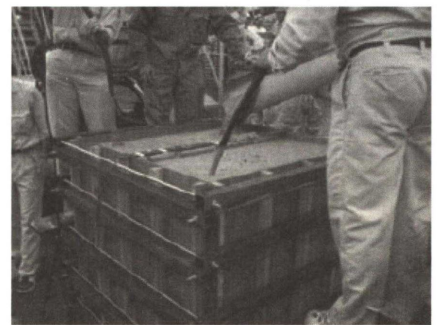


Photo. 4 柱模擬部材打設



Photo. 5 コア供試体採取状況

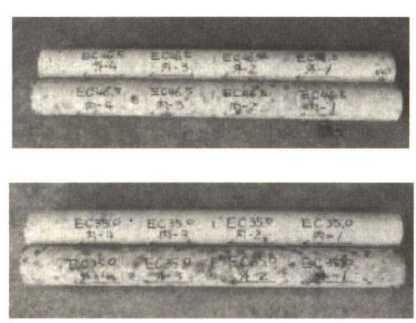


Photo. 6 採取したコア供試体



Photo. 7 圧縮強度試験状況

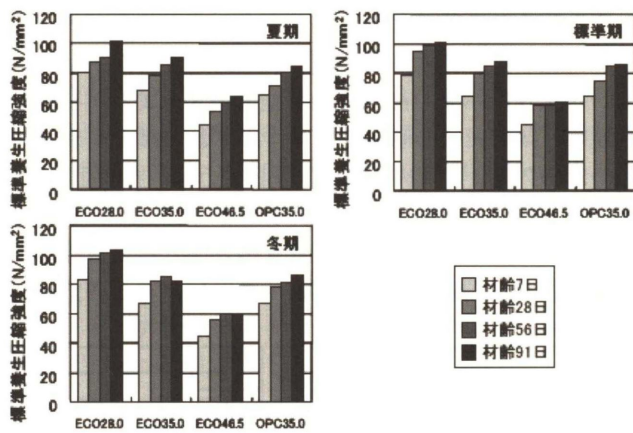


Fig. 7 標準養生圧縮強度試験結果

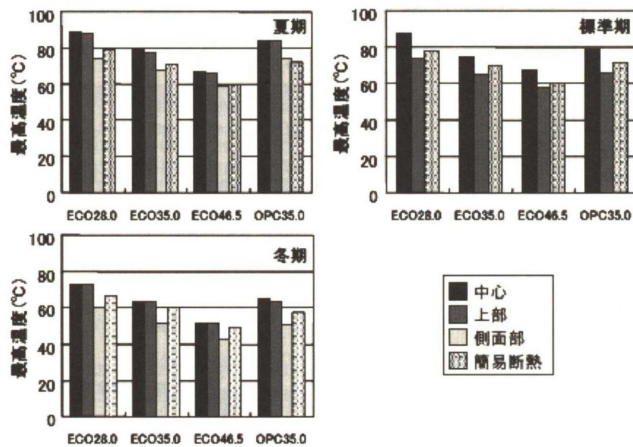


Fig. 8 柱模擬部材と簡易断熱養生供試体の最高温度

0.1cm³/cm² 以下という値⁵⁾を満足することができなかった。現場到着時に採取した供試体による標準養生圧縮強度試験結果を Fig. 7 に示す。いずれの季節の結果も、前節の室内試験とほぼ同様の圧縮強度および強度発現特性となった。ただし、W/C=35%で比較した結果では、僅かではあるが、普通エコセメントを用いたコンクリートのほうが、普通ポルトランドセメントを用いたものよりも高い強度を発現した。

柱模擬部材と簡易断熱養生供試体の最高温度を Fig. 8 に示す。普通エコセメントを用いたコンクリートと比較すると、いずれの季節の実験でも、単位セメント量の大きいコンクリートほど最高温度が高くなるという一般的な結果が得られた。また、柱模擬部材の中心温度で比較すると、普通エコセメントを用いたコンクリートよりも普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートのほうが、最高温度がやや高くなる傾向となった。ただし、その差は小さく、ほぼ同程度と言って差し支えないものであった。

柱模擬部材のコア強度と簡易断熱養生圧縮強度の試験結果を Fig. 9 に示す。簡易断熱養生圧縮強度の値は、概ね前節の結果と同程度となった。また、柱模擬部材のコア強度も、概ね簡易断熱養生圧縮強度と同等であった。各シーズンのコア強度に極端な違いはないが、普通ポル

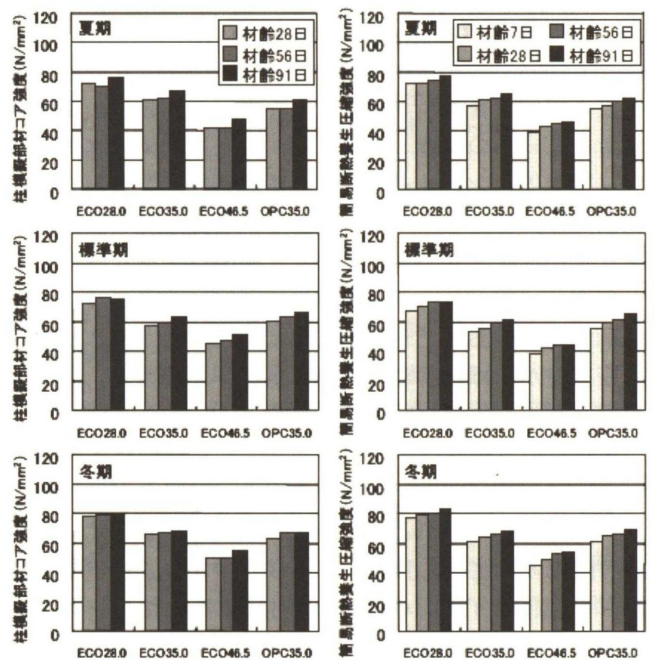


Fig. 9 柱模擬部材のコア強度と簡易断熱養生圧縮強度

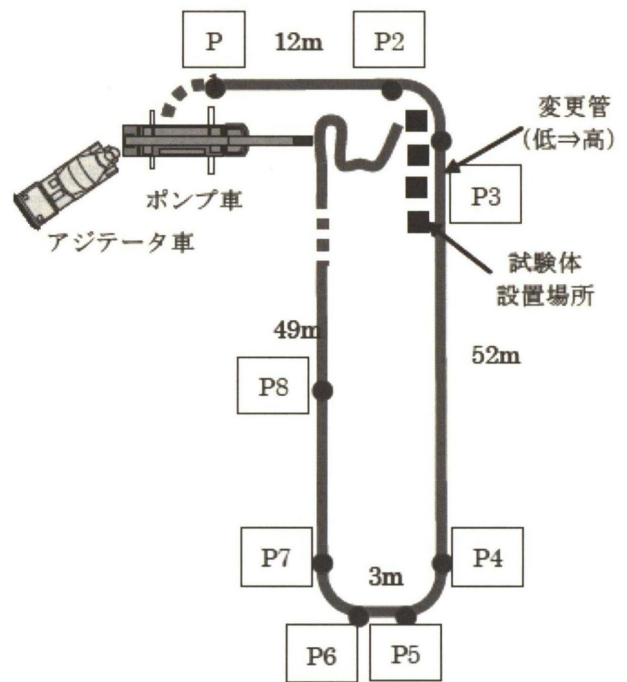


Fig. 10 配管の概要

トランドセメントと同様に、柱の最高温度が相対的に低くなる冬期のほうが、ややコア強度は高くなる傾向にあった。W/C=35%で比較した結果では、普通エコセメントを用いたコンクリートと普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートのコア強度は、ほぼ同等であった。

4. ポンプ圧送性能の検討

普通エコセメントを用いた高流動コンクリートを CFT 柱に充填するための手法として、コンクリートポンプに

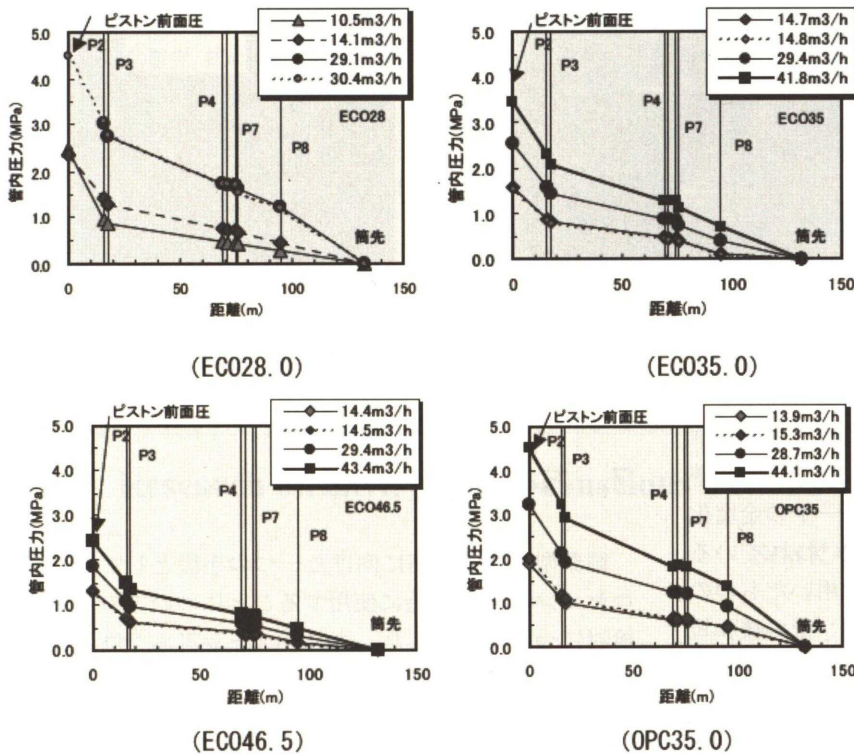


Fig. 11 ポンプ圧送時の管内圧力測定結果

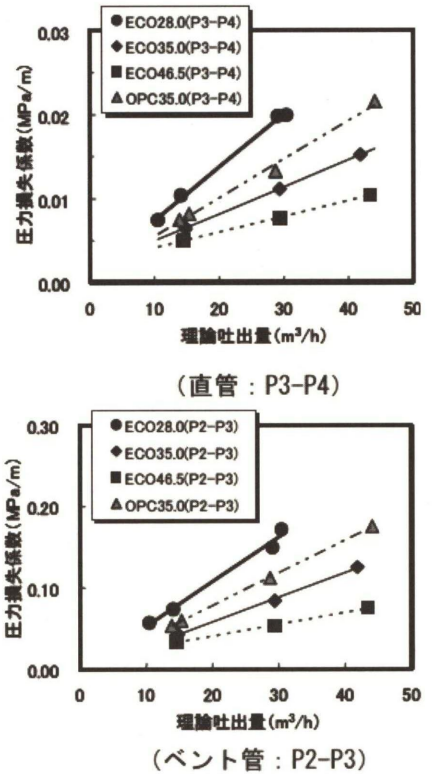


Fig. 12 圧力損失係数

よる圧送性能について確認した。試験は、標準期の実機ミキサによる試し練りで製造したコンクリートを利用して行った。

圧送配管の概要を Fig. 10 に示す。配管には 5 インチ管を使用することとし、配管長さは実長で 130m 程度とした。コンクリートポンプ車には PY80-26H (極東開発工業：標準 80³/h×8.3MPa) を使用した。試験では、まず低速 (≒ 15³/h) での圧送を行い、管内圧力・吐出量を測定しながら配管内を測定用のコンクリートで満たし、その後、低速 (≒ 15³/h) ・中速 (≒ 30³/h) ・高速 (≒ 45³/h) の順に管内圧力・吐出量の測定を行った。

圧送時の管内圧力を Fig. 11 に示す。各調査とも圧送距離が長くなるに従い、ピストン前面圧から各測点の管内圧力が低下する傾向にあった。また、圧送速度が大きくなるに従い、管内圧力は線形的に大きくなる傾向にあった。

直管およびベント管における理論吐出量と管内圧力損失係数の関係を Fig. 12 に示す。各調査とも、理論吐出量の増大に伴い、管内圧力損失係数が線形的に大きくなる傾向が見られた。W/C=35%で比較した結果では、普通エコセメントを用いた高流動コンクリートの圧送性能は、普通ポルトランドセメントを用いたものと遜色ないことが確認できた。

5. 鋼管の腐食 (錆) 特性に関する検討

ここでは、環境配慮型 CFT 造の充填コンクリートの鋼材腐食に対する耐久性を把握することを目的とし、普通



Photo. 8 ポンプ圧送試験の様子

Table 4 コンクリートの調査

調査	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	NaCl	S	G5	G6
ECO50.0	50	47.0	170	340	2.228	831	571	376
OPC50.0	50	47.0	170	340	1.849	831	571	376
ECO35.0	35	52.0	170	486	2.123	878	494	325
OPC35.0	35	52.0	170	486	1.793	877	493	325

エコセメントを用いた高強度・高流動コンクリートの鋼材腐食試験を実施した。

試験では、JCI の「塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の促進腐食試験方法—オートクレーブ法—」(JCI-SC2) に準拠して鋼材の腐食促進試験を行った



Photo. 9 鉄筋入り供試体

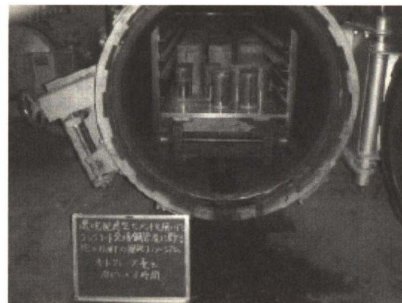


Photo. 10 オートクレーブ養生



Photo. 11 鉄筋腐食状況

(Photo. 9, 10, 11 参照)．かぶり厚さは10mm および20mm の2種類とした．コンクリートの調合をTable 4に示す．水セメント比は，CFT 造に適用する高流動コンクリートを想定した $W/C=35\%$ ，および比較用の $W/C=50\%$ とした．普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの全塩化物イオン量は，鋼材の腐食開始の限界といわれている $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ に調整した．普通エコセメントを用いたものの全塩化物イオン量は，JASS5の塩化物イオン量の緩和規定($0.3\rightarrow 0.6\text{kg}/\text{m}^3$)を適用した調合が，普通ポルトランドセメントの調合同様の条件で塩化物に浸透された場合を想定し， $1.5\text{kg}/\text{m}^3$ に調整した．

試験では，材齢7日で試験体をオートクレーブ槽内に設置し， $80^\circ\text{C}/\text{h}$ 以下で 180°C まで上昇させ，8時間保持した後，室内温度まで自然放冷とした．これを1サイクルとして，サイクル間に 20°C の水中に浸漬させ，2サイクル繰り返した．オートクレーブ終了後，供試体から鋼材を取り出し，上下15mmを取り除いて，画像処理により腐食面積を求め，腐食面積率(腐食面積/鉄筋表面積 $\times 100$)を算出した．また，クエン酸ニアンモニウム10%水溶液で錆を除去した後，質量減少率を算出した．

腐食促進試験の結果をFig. 13およびFig. 14に示す．セメントの違いを同じ水セメント比で比較すると，普通ポルトランドセメント調合よりも普通エコセメント調合の方が腐食面積率，質量減少率ともに大きかったことがわかる．これには，コンクリートの設定塩化物イオン量の違いなども影響したと考えられる．一方，セメントが同じで水セメント比が異なる場合を比較すると， $W/C=35\%$ の方が $W/C=50\%$ よりも腐食面積率，質量減少率ともに小さいことがわかる．したがって，水セメント比を低減することで腐食抵抗性の向上が期待できることがわかった．また，かぶり厚さの比較では，いずれのかぶり厚さでも鉄筋がほぼ全面錆びてしまった $W/C=50\%$ では傾向が得られなかったが， $W/C=35\%$ では，かぶり厚さ20mmの方が10mmよりも腐食面積率，質量減少率ともに小さくなる傾向が認められた．

$W/C=35\%$ の普通エコセメントの調合と $W/C=50\%$ の普通ポルトランドセメントの調合を比較すると，普通エコセメントの調合の方が腐食面積率，質量減少率ともに小さくなった．したがって，普通エコセメントを用いた高流動コンクリートであれば，一般的な $W/C=50\%$ のコンク

リートと同等以上の鋼材の腐食に対する抵抗性を有していると考えられる．

7. おわりに

循環型社会の構築に向けた一つの手段として，普通エコセメントをCFT造に使用することについての基礎的な検討について報告した．本コンソーシアムでは，今後も普通エコセメントを用いた高流動コンクリートによる実大CFT柱の施工実験の実施および今回途中経過を報告したダイアフラム近傍でコンクリートの強度低下が生じる現象の解析的検討などを進め，環境配慮型セメントを用いたCFT造の施工技術を確立する予定である．本研究の成果が，環境負荷低減の一助となれば幸いである．

本研究は，国土交通省平成18年度住宅・建築関連先導技術開発助成事業の助成を得た．

謝辞

本研究では，名城大学寺西研究室および石川研究室，アサノコンクリート(株)，太平洋セメント(株)，(有)TRD，(社)新都市ハウジング協会のご協力を得た．ここに記して謝意を表します．

参考文献

- 1) 小野義徳，大森啓志，田熊靖久：都市ゴミ焼却灰から製造されるエコセメント，セメント・コンクリート，No. 586，pp. 1~8，1995. 12
- 2) JIS R 5214「エコセメント」2003
- 3) 建築研究所：エコセメントを使用したコンクリートの物理・力学特性ならびに調合設計・施工技術に関する研究，建築研究報告，No. 144，2005. 12
- 4) 日本建築学会：高強度コンクリート施工指針(案)・同解説，2005. 1
- 5) 新都市ハウジング協会：コンクリート充填鋼管造技術基準・同解説の運用及び計算例等，2005. 7.
- 6) 新都市ハウジング協会 CFT 造施工技術研究会：ダイアフラムがCFT柱の構造体コンクリート強度の変動に与える影響を考慮したCFT造用コンクリートの調合強度算定式の提案，日本建築学会技術報告集，第19号，pp. 5~9，2004. 6
- 7) 渡辺創一郎，金子樹，守屋健一，嵩英雄：エコセメントを用いたコンクリートのフレッシュ性に関する実験的研究，日本建築学会学術講演梗概集A，pp. 253~254，2006. 9

- 8) 石田征男, 棚野博之, 鹿毛忠継, 濱崎 仁, 田中敏嗣, 木村正尚 :
環境負荷低減型セメントを使用したコンクリートの基本性能に
関する実験的研究, 日本建築学会学術講演梗概集 A, pp. 189~190,
2001.9
- 9) PARK Kwangmin, 坂本英輔, 三島直生, 畑中重光 : エコセメント
を用いたコンクリートの長期強度特性に関する実験的研究 (長期
強度特性と細孔構造の関係) , 日本建築学会学術講演梗概集 A,
pp. 259~260, 2006.9

Research on environment-conscious CFT structures with ecocement

Seiji KANAMORI, Koichi SATO, Akira NONAKA

Abstract

Application of ecocement to general structures still undergoes stagnation due to insufficiencies of accomplishment-record and durability reliance even though JIS R 5214: 2002 is issued as ecocement for standardization. This paper therefore conduct experimental evaluation for CFT structures with ecocement whose durability is able to expect its steel protection in order to acquire ecocement properties and durability data. This research is an accomplishment in collaboration with twenty two companies which are subsidized by Ministry of Land, Infrastructure, Transportation and Tourism.

Keywords: Ecocement, Environment-conscious, CFT structures, Structural concrete strength, Internal stain
