

## 普通エコセメントを用いたコンクリートの特性について

オリエンタル建設(株) 技術研究所 正会員 工修 ○俵 道和  
 オリエンタル建設(株) 技術研究所 正会員 工博 呉 承寧

## 1. はじめに

都市ゴミ焼却灰等の生活廃棄物を主原料として製造されるエコセメントは、日本工業規格 (JIS) に認定されており、プレキャスト 2 次製品や現場打ちの擁壁、橋梁下部工および消波ブロック等に利用されている。しかし、エコセメント中に含まれる塩化物イオン量がポルトランドセメントに比べて多いため、高強度もしくは高耐久性が必要となる主要な RC や PC 構造物には利用されていないのが現状である。エコセメントは、ポルトランドセメントと組成が違うため、フレッシュ性状時および硬化時における塩化物イオンの挙動について調べる必要がある。

そこで本稿は、普通エコセメントを用いたコンクリートの硬化特性として圧縮強度、割裂引張強度、曲げ強度、乾燥収縮について検討し、また鋼材腐食に関係する項目としてフレッシュコンクリートの塩化物イオン量および硬化コンクリートの塩分浸透性能についても検討を行なった。

## 2. 試験概要

## 2.1 使用材料

表-1 に、使用材料を示す。今回の試験では結合材として普通エコセメントについて検討を行った。現在、エコセメントを供給している工場は千葉県市原市と東京都西多摩郡にある 2 工場である。本試験で使用したエコセメントは多摩工場で製造された普通エコセメントである。表-1 に示す早強セメントは、塩分浸透性能の試験にエコセメントの比較として用いたものである。早強セメントを比較に用いた理由は、エコセメントをプレキャスト製品への利用を念頭においたためである。

表-1 コンクリートの使用材料

セメント C	普通エコセメント：密度 3.16g/cm <sup>3</sup> 早強セメント：密度 3.14g/cm <sup>3</sup>
細骨材 S	茨城県桜川市飯淵産砕砂： 表乾密度 2.61 g/cm <sup>3</sup> 、吸水率 0.75%、 粗粒率 2.86、実績率 55.3%
粗骨材 G	茨城県桜川市飯淵産砕石： 表乾密度 2.63 g/cm <sup>3</sup> 、吸水率 0.48%、 粗粒率 6.74、実績率 60.5%
減水剤 SP	高性能減水剤：ポリカルボン酸系

## 2.2 コンクリート配合

表-2 にコンクリートの示方配合を示す。フレッシュ性状および硬化特性に関しては設計基準強度 40 ~ 90N/mm<sup>2</sup> を目標として、水セメント比 (W/C) を 25, 30, 35, 40 および 45% を設定した。硬化コンクリートの塩分浸透性能については W/C を 49% とし、普通エコセメントと早強セメントについて比較を行った。示方配合の設定方法は、スランプについては配合毎に施工性を考慮し設定し、空気量は 4.5 ± 1.5% を目標に高性能減水剤の添加量を調整して決定した。

## 2.3 供試体養生方法

硬化特性値については標準養生と蒸気養生の 2 種類について比較を行った。標準養生は、20℃ 一定の水中で試験材齢日まで養生を行った。蒸気養生は、3 時間 20℃、2 時間 50℃ に昇温、6 時間 50℃ で恒温、自然に 20℃ まで降温し、その後、試験日まで温度 20℃、相対湿度 60% の恒温恒湿室にて気中養生を行った。乾燥収縮試験用の試験体については、材齢 24 時間で脱枠し、基長を測定した後、材齢 7 日まで水中養生、その後 20℃、相対湿度 60% の恒温恒湿室にて気中養生を行った。

表-2 コンクリートの示方配合

配合番号	セメント種類	スラブ(cm)	空気量(%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	減水剤率 SP/C (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤 SP
エコ25	普通エコ	21±2.0	4.5±1.5	25	37	1.70	145	580	629	1079	9.860
エコ30	普通エコ	18±2.5	4.5±1.5	30	37	1.10	150	500	625	1072	5.500
エコ35	普通エコ	12±2.5	4.5±1.5	35	40	0.85	150	429	699	1056	3.643
エコ40	普通エコ	8±2.5	4.5±1.5	40	43	0.80	155	388	761	1015	3.100
エコ45	普通エコ	8±2.5	4.5±1.5	45	46	0.80	155	344	830	981	2.756
エコ49	普通エコ	8±2.5	4.5±1.5	49	46	0.70	160	326	830	982	2.282
早強49	早強	8±2.5	4.5±1.5	49	46	0.70	160	326	830	981	2.282

3. 試験結果

3.1 フレッシュコンクリートの塩化物イオン量

フレッシュコンクリートの塩化物イオン濃度は、モール法および電極電流測定法の2種類について測定を行った。モール法には、生コンクリート中の塩分量測定計を用いた。普通エコセメントを用いたフレッシュコンクリートの塩化物イオン量測定結果を図-1に示す。計算値は、各材料の試験成績書から算出した値である。普通エコセメントの塩化物イオンのJISに関する規定値は0.1%以下である。本試験の計算値に使用した普通エコセメントの塩化物イオン量は、JIS R 5202 (ポルトランドセメントの化学分析法)により分析を行った試験結果0.042%を用いた。図中に示す補正值とは式(1)を用いてセメント中に残存する塩化物イオンの溶出分を補正した塩化物イオン量である。

式(1)により補正した塩化物含有量は、モール法で測定したものは、ほぼ計算値と一致した。また、電極電流測定法により測定した結果は計算値より0.05kg/m<sup>3</sup>程度大きくなる結果となった。今回の試験結果から、水セメント比25%の高強度の配合であっても、塩化物イオンの溶出分を考慮したフレッシュコンクリート塩化物含有量は、規制値0.3kg/m<sup>3</sup>を越えていないことが確認された。

3.2 圧縮強度

圧縮強度試験は、φ10×20cmの円柱供試体を用いて、JIS A 1108に準拠して行った。セメント水比と圧縮強度の関係を図-2に示す。エコセメントを用いたコンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係は直線の関係が得られた。図中の破線で

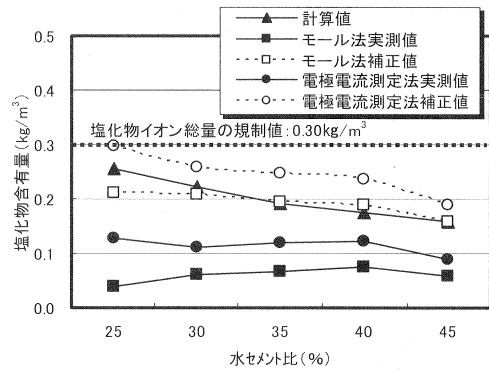


図-1 水セメント比とフレッシュ性状時の塩化物含有量の関係

$$A = B + \alpha \times C \times D / 100 \quad (1)$$

- ここで、A: コンクリート中の全 Cl<sup>-</sup>量 (kg/m<sup>3</sup>)
- B: フレッシュコンクリート中の水の Cl<sup>-</sup>量の測定値 (kg/m<sup>3</sup>)
- C: 単位セメント量 (kg/m<sup>3</sup>)
- D: セメント中の Cl<sup>-</sup>含有量 (%)
- α: セメント中の Cl<sup>-</sup>含有量に対する残存 Cl<sup>-</sup>量の比 (α=0.7)

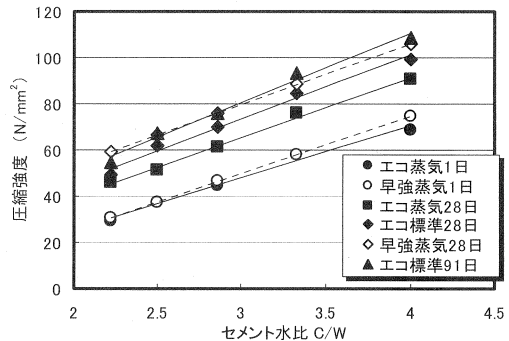


図-2 セメント水比と圧縮強度の関係

示される試験結果は、同配合で早強セメントを用い蒸気養生を行った材齢 1, 28 日の試験結果である。エコセメントの蒸気養生を行った材齢 1 日の強度を比較すると、早強セメントの圧縮強度とほぼ同程度の圧縮強度が得られた。これより、普通エコセメントをプレテン工場製品に適用する際は、初期強度の発現は早強セメントと同等として利用できると考えられる。また、材齢 28 日については、エコセメントは早強セメントに比べ材齢 7 日から 28 日までの強度増加は小さくなった。

### 3.3 ヤング係数

エコセメントを用いたコンクリートの圧縮強度とヤング係数の関係を図-3に示す。実験値は、材齢 28 日における標準養生と蒸気養生の結果である。図中に示されている計算値は、土木学会から提案されている圧縮強度とヤング係数の関係である。計算値が示している圧縮強度の範囲は 18~80N/mm<sup>2</sup> であるが、実験値と計算値は概ね一致している。

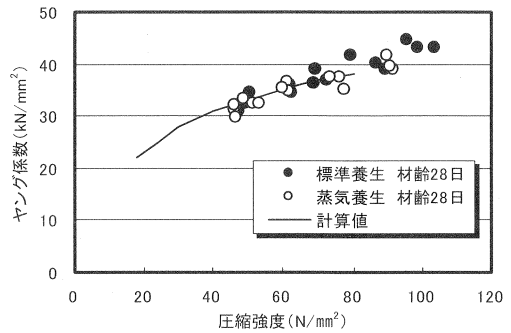


図-3 圧縮強度とヤング係数の関係

### 3.4 割裂引張強度

割裂引張強度試験は、φ10×20 cmの円柱供試体を用いて、JIS A 1113 に準拠して行った。圧縮強度と割裂引張強度の関係を図-4に示す。実験値は、材齢 28 日における標準養生の結果である。土木学会から提案されている圧縮強度と引張強度の関係式を載せているが、圧縮強度から推定される引張強度計算値より 20%程度大きな引張強度を示した。

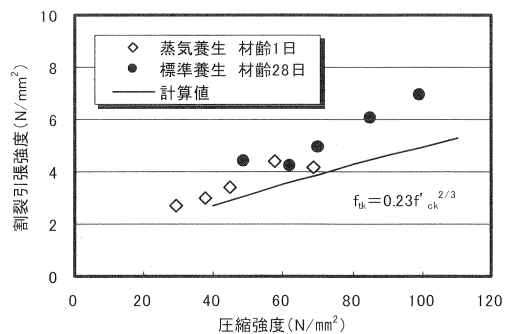


図-4 圧縮強度と割裂引張強度の関係

### 3.5 曲げ強度

曲げ強度試験は、□10×10×40 cmの角柱供試体を用いて、JIS A 1106 に準拠して行った。図-5に圧縮強度と曲げ強度の関係を示す。圧縮強度に対する曲げ強度は、標準養生を行ったものに比べ蒸気養生を行ったものは 10%程度小さな値を示した。土木学会から提案されている圧縮強度と曲げ強度の関係式を載せている。標準養生については、圧縮強度から推定される曲げ強度より若干高い曲げ強度を示した。蒸気養生については計算値とほぼ一致している。

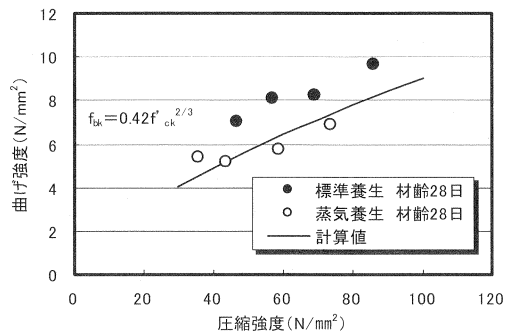


図-5 圧縮強度と曲げ強度の関係

### 3.6 乾燥収縮

コンクリートの乾燥収縮による長さ変化率の試験は、□10×10×40cmの角柱供試体を用いて、JIS A 1129-3 (ダイヤルゲージ方法) に準拠して行った。図-6に材齢と乾燥収縮による長さ変化率の関係を示す。水セメント比 35, 40, 45%の配合は材齢 7 日

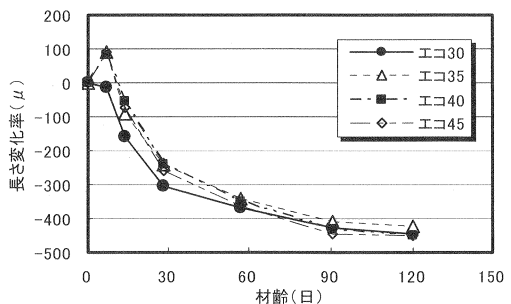


図-6 材齢と乾燥収縮による長さ変化率の関係

における長さ変化率は水中養生を行ったことによる膨張を示している。その後、恒温恒湿室に移動し乾燥状態になると収縮傾向を示し、材齢 120 日では水セメント比にかかわらず収縮量は 400~450 μ 程度となった。

### 3.7 塩分浸透性能

硬化コンクリートの塩分浸透性能は、比較的短時間で評価が可能な電気泳動法 (JSCE-G 571-2003 電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法) による試験を行い、得られた結果から実効拡散係数を算定し評価した。試験体は、材齢 28 日まで水中養生または気中養生行ったものについて、φ10×20 cmの円柱供試体を、厚さ 5 cmの円盤状に切断したものをを用いた。試験にはエコ 49 と早強 49 の配合を用いた。

図-7 に電気泳動試験装置の概略を示す。陰極側セルに 0.5mol/L の NaCl 溶液を、陽極側セルに 0.3mol/L の NaOH 溶液を入れ、電極間の電位差が 15V になるように電圧を制御し、陽極側の塩化物イオン量の経時変化を測定した。

図-8 に、電気泳動により透過した陽極側セルの塩化物イオン濃度を示す。陽極側セルにおける塩化物イオン濃度の変化は、エコセメントの方が早強セメントより増加割合が小さくなった。また、養生方法の違いによりセメントの種類による影響が顕著に現れる結果となった。表-3 に、図-8 から得られた塩化物イオン濃度の経過日数に対する増加割合を定常状態における塩化物イオンの流束とし、塩化物イオンの実効拡散係数を求めた結果を示す。電気泳動によらない実際の拡散は、塩分の固定化や吸着を伴いながら進行することから、ここで評価した実行拡散係数は、見かけの拡散係数よりも大きな値を示している。普通エコセメントを用いた硬化コンクリートの実効拡散係数は、早強セメントと同等または、それ以下になることが確認された。

## 5. まとめ

- (1) フレッシュ性状の塩化物イオン量は、化学分析により得られた、エコセメントの塩化物イオン量 (0.042%) を用いた場合は、セメント中に残留する塩化物イオンの溶出分を補正しても、W/C が 25% までは、規制値 0.3kg/m<sup>3</sup> 以下となった。
- (2) 普通エコセメントを用いたコンクリートの硬化特性値 (圧縮強度、割裂引張強度、曲げ強度、乾燥収縮) はポルトランドセメントと同等の値を示し、塩分浸透性能については、早強セメントの塩分浸透性能と同等またはそれ以上であった。

### 【参考文献】

- 1) 独立行政法人土木研究所：エコセメントコンクリート利用技術マニュアル，2003
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書・規準編，土木学会規準および関連規準，pp. 267-274，2005

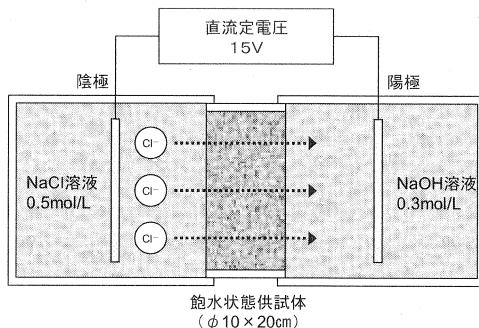


図-7 電気泳動試験装置

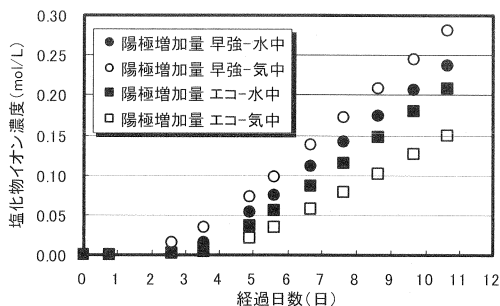


図-8 陽極側セル塩化物イオン濃度経時変化

表-3 実効拡散係数

実効拡散係数 $D_e$ ( $\times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ )			
早強セメント		普通エコセメント	
水中養生	気中養生	水中養生	気中養生
8.8	10.0	8.3	6.1