

エコセメントを使用したコンクリートのひび割れ抵抗性に関する研究

太平洋セメント（株） 正会員 ○米山 暁 三谷 裕二 石田 征男

1. 背景

2002 年に JIS 化されたエコセメントは、都市ごみ焼却灰や下水汚泥を主原料とした環境負荷低減型セメントである。当該セメントを用いたコンクリート特性については過去に様々なデータが取得されているが^{例え 1)}、収縮ひび割れ抵抗性に関しては、統一的な結果が得られておらず、強度・収縮・クリープ等との関連性を検討した事例もほとんどない。

そこで本検討では、普通ポルトランドセメント、普通エコセメントおよび高炉セメント（B 種相当）を使用したコンクリートについて、収縮ひび割れ性状および無拘束・拘束下での収縮特性を把握するとともに、解析的にクリープ係数を算出し、エコセメントを使用したコンクリートのひび割れ抵抗性および影響要因を評価した。

2. 実験概要

セメントには普通ポルトランドセメント（NC）、普通エコセメント（EC）および普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を 45%置換した高炉セメント（BB）を、細・粗骨材にはそれぞれ山砂と硬質砂岩碎石を使用した。コンクリートの配合は、単位水量 163kg/m^3 、水セメント比 55%、細骨材率 46%とし、スランプおよび空気量がそれぞれ $12 \pm 1.5\text{cm}$ 、 $4.5 \pm 0.5\%$ となるように AE 減水剤および AE 助剤の添加量を調整した。

試験体の概要を図-1 に示す。一軸拘束試験体は JCI「混和材料から見た収縮ひび割れ低減と耐久性改善研究委員会」により提案されているコンクリートの収縮ひび割れ評価試験に準拠したもの（拘束ひび割れ試験）²⁾、および寸法 $100 \times 100 \times 900\text{mm}$ の $100 \times 100\text{mm}$ 断面中心に異形棒鋼 D22 または D13 を配置したもの（D22 拘束試験および D13 拘束試験）の 3 水準とし、各鋼材の中央対称面に貼付したひずみゲージを用いて鋼材ひずみを取得した。無拘束ひずみは、寸法 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ の角柱試験体中央部に埋設した埋込型ひずみ計により取得した。圧縮強度、割裂引張強度、静弾性係数は、それぞれ JIS A 1108, JIS A 1113, JIS A 1149 に準拠して測定した。各測定に供する試験体は、コンクリート打設後、 20°C 環境下で材齢 7 日まで湿潤養生を施したのち、 $20^\circ\text{C} \cdot \text{R.H.}60\%$ に管理された室内で所定の材齢まで保管した。

3. 実験結果および考察

図-2~4 に圧縮強度、割裂引張強度、静弾性係数の測定結果を示す。圧縮強度は、いずれの材齢においても $\text{EC} > \text{NC} > \text{BB}$ の順に高くなった。割裂引張強度は、NC と EC が同程度であり、BB はこれらより低い結果であった。静弾性係数は、セメント種類によらず圧縮強度と一義的な関係性が認められた。

図-5 に無拘束試験体および D13 拘束試験による収縮ひずみの測定結果を示す。無拘束および拘束試験の収縮ひずみは、NC が最も大きく、EC と BB は同程度であった。無拘束における EC の収縮ひずみは NC の 0.9 ~ 0.95 程度であり、既往の報告¹⁾と同様の傾向を示した。

図-6 および表-1 に拘束ひび割れ試験の結果を示す。拘束応力は、拘束ひび割れ試験の鋼材ひずみを基に、コンクリートと鋼材の力のつり合い式およびひずみの適合条件式より算出した。乾燥開始以降の拘束応力は、NC と BB が同程度、EC がやや小さくなる傾向であった。ひび割れ発生期間は $\text{BB} < \text{NC} < \text{EC}$ の順に短く、EC は NC, BB と比較して 2 倍程度長くなった。ひび割れ発生時点における収縮応力強度比 (σ_{sh}/f_t) は、NC が 0.77, EC が 0.85, BB が

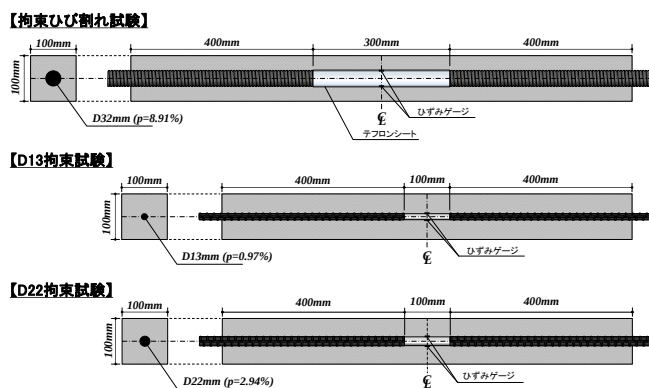


図-1 試験体概要

キーワード エコセメント、乾燥収縮、ひび割れ抵抗性、クリープ

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2

太平洋セメント株式会社 中央研究所 TEL043-498-3915

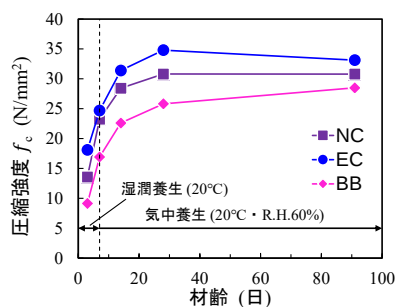


図-2 圧縮強度

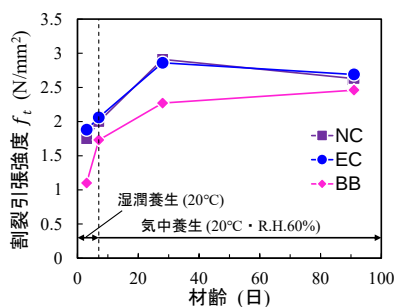


図-3 割裂引張強度

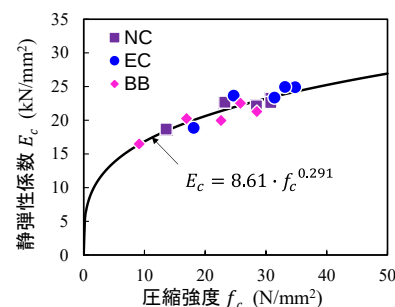


図-4 静弾性係数

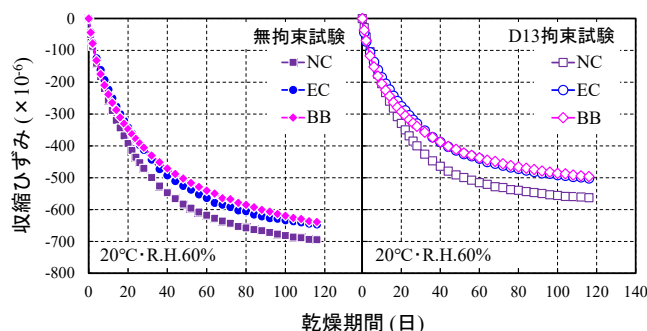


図-5 収縮ひずみ

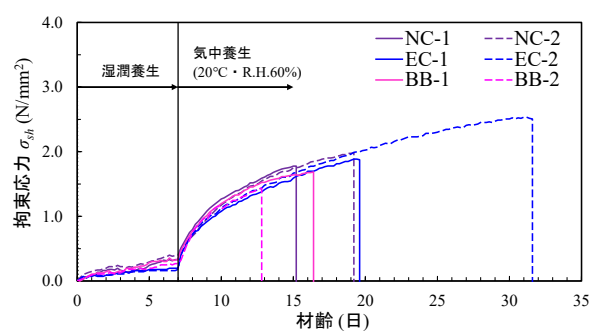


図-6 拘束ひび割れ試験結果

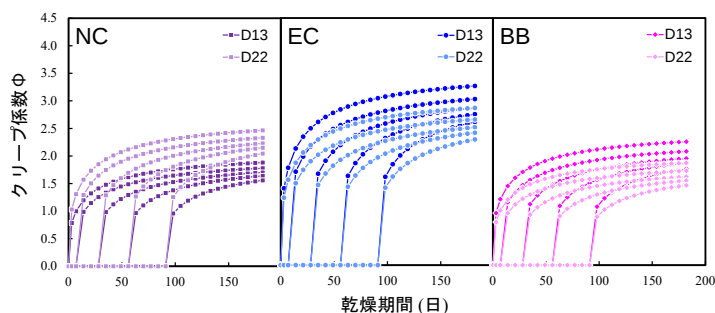


図-7 クリープ係数

表-1 収縮ひび割れ特性

水準	番号	発生期間 (日)	平均	拘束応力 (N/mm²)	収縮ひずみ (×10⁻⁶)	引張強度 (N/mm²)	σ_{sh}/f_t
NC	1	8.4	10.4	1.78	-100	2.34	0.76
	2	12.4		1.98	-112	2.53	0.78
EC	1	12.8	18.8	1.88	-106	2.48	0.76
	2	24.8		2.51	-141	2.71	0.93
BB	1	9.6	7.8	1.69	-95	1.96	0.86
	2	6.0		1.43	-81	1.67	0.86

0.86であり、ECはNCより0.1程度大きくBBと同等であった。

図-7に無拘束およびD22、D13拘束試験のひずみに対してstep-by-step法³⁾を適用し、逆解析的にクリープ係数を算出した結果を示す。クリープ係数の発現式には、CEB-FIP Model Code 1990⁴⁾で提案されている式-1を使用した。

$$\phi_{(t_e, t_0)} = \phi_0 \times \left[\frac{(t_e - t_0)/t_1}{\beta_H + (t_e - t_0)/t_1} \right]^{0.3} \quad (\text{式-1})$$

ここに、 $\phi_{(t_e, t_0)}$ は載荷時材齢を考慮したクリープ係数、 ϕ_0 はクリープ係数の終局値、 β_H はクリープの進行速度を表す係数、 t_e 、 t_0 は有効材齢(日)、 t_1 は材齢を規格化する単位で1日を表す

乾燥下におけるECのクリープ係数は、総じてNC、BBより2倍程度大きい結果が認められた。このことから、ECのひび割れ抵抗性がNCやBBと比較して大きかったのは、引張クリープが大きいことが主要因であると推察される。

4. まとめ

- (1) 20°C・R.H.60%乾燥下におけるECの乾燥収縮は、NCの0.9～0.95程度であり、BBと同程度であった。
- (2) ECのひび割れ発生期間は、NCやBBより約2倍長くなった。
- (3) step-by-step法により逆解析的に算出したECのクリープ係数は、NC、BBと比較して顕著に大きかった。

参考文献

- 1) 田中秀和ほか：普通形エコセメントを用いたコンクリートのひび割れ抵抗性に関する検討，土木学会第55回年次学術講演会，pp.270-271（2001）
- 2) 日本コンクリート工学協会：混和材料から見た収縮ひび割れ低減と耐久性改善研究委員会 報告書，pp.197-212（2010）
- 3) R. Sato et al. : Deformations and Thermal Stress of Concrete Beams Constructed in Two Stages, Proceedings of the International RILEM Symposium on Thermal Cracking in Concrete at Early Ages, pp.313-320（1994）
- 4) CEB-FIP : Model Code 1990, Comite Euro-International du Beton, pp.53-57（1990）