高炉セメントを用いたコンクリートの収縮クリープ特性に関する検討

（公財）鉄道総合技術研究所　　正会員　○鬼頭　直希，渡辺　健，大野　又稔，岡本　大

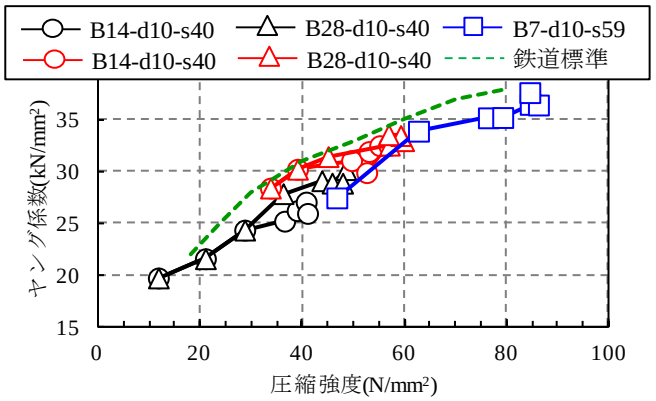
1．目的

近年，耐久性や環境性の点で混和材の特徴を活かした取り組みが，土木・建築分野で進められている．鉄道標準[1)]では，高炉セメントを使用する場合，従来の評価式の適用について特別な検討を概ね省略しているが，養生条件と強度発現，収縮・クリープ特性等について，事前に十分な検討を行う必要があるとしている．本検討では，収縮・クリープ特性に焦点を絞り，コンクリートの一軸圧縮クリープ試験結果を踏まえ，高炉セメントのプレストレストコンクリート(PC)構造物への適用について検討した．

2．実験概要

表-1 に，試験体の諸元を示す．試験体は，高炉スラグで普通ポルトランドセメントを重量比で 60%置換および 0%置換の計 7 体とした．これらは，高炉スラグ置換率，載荷開始材齢 t'，圧縮応力度 σ'_{cp}，体積表面積比 V/S の点で異なる．いずれも載荷用試験体および無載荷用試験体を，同一形状でそれぞれ 3 体制作し，載荷開始前まで水中（20℃）にて養生した．

表-2 に，示方配合を示す．CASE1~6 は，$f'_c(28)$=40N/mm^2 となるよう配合を調整した．そのため，CASE1~4 の水結合材比 W/B は CASE5,6 と比べ 10%程度小さい値となった．**図-1** に圧縮強度とヤング係数の関係を示す．高炉セメントを使用した試験体のヤング係数は，普通セメントを使用した試験体に比べやや小さい値となった．高炉セメントを用いたコンクリートの $f'_c(28)$=40N/mm^2 となる試験体の $f'_c(7)$ は，プレストレス直後の PC 桁の縁圧縮応力度が，設計圧縮強度の 1/1.7 以下[1)]を満足することが困難となる可能性がある．そこで，CASE7 は，$f'_c(7)$=40N/mm^2



図－1　各試験体の圧縮強度とヤング係数

表－1　試験体諸元

CASE	名称	高炉スラグ置換率	載荷開始材齢t'（日）	圧縮応力度 σ'_{cp}（N/mm^2）	直径 (mm)	V/S (mm)	$f'_c(t)$ (N/mm^2)	$f'_c(28)$ (N/mm^2)	応力強度比	$E_c(t')$ (kN/mm^2)	ε'_e ($E_c(t')/\sigma'_{cp}$) ($\times10^{-6}$)
1	B14-d10-s40	60%	14	16.0（40%×40N/mm^2）	100	25	28.8	36.6	0.56	24.3	659(780)
2	B28-d10-s40	60%	28	14.6（40%×$f'_c(28)$）	100	25	36.3	36.3	0.40	27.8	525(619)
3	B28-d10-s20	60%	28	8.0（20%×$f'_c(28)$）	100	25	39.9	39.9	0.20	29	276(293)
4	B28-d30-s20	60%	28	8.0（20%×$f'_c(28)$）	300	75	39.9	39.9	0.20	29	276(282)
5	N14-d10-s40	0%	14	16.0（40%×40N/mm^2）	100	25	39.1	49.7	0.41	30.2	531(522)
6	N28-d10-s40	0%	28	18.0（40%×$f'_c(28)$）	100	25	45.1	45.1	0.40	31.4	574(563)
7	B7-d10-s59	60%	7	27.5（1/1.7×$f'_c(7)$）	100	25	46.5	76.5	0.59	27.4	1004(1043)

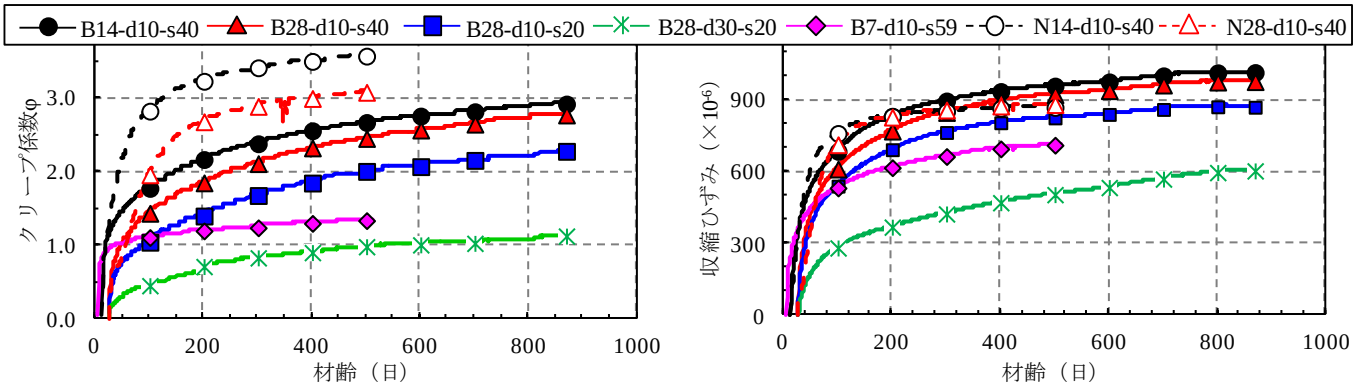
V/S：体積表面積比，$f'_c(t')$，$f'_c(28)$：材齢 t'日，28 日の圧縮強度，$E_c(t')$：材齢 t'日のヤング係数，ε'_e：$E_c(t')$から算出した弾性ひずみ（ ）は，クリープ試験において載荷開始～完了までに計測された弾性ひずみ

表－2　示方配合

CASE	粗骨材最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水結合材比 W/B	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m^3) 水 W	セメント C	混和材 BS	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 減水剤(%)	混和剤 AE剤(%)
1～4	20	12	4.5	0.52	48	161	124	186	875	968	0.8	0.002
5,6	20	12	4.5	0.62	49	159	257	0	924	990	3	0.002
7	20	12	5	0.34	45	159	186	279	758	956	4	0.01

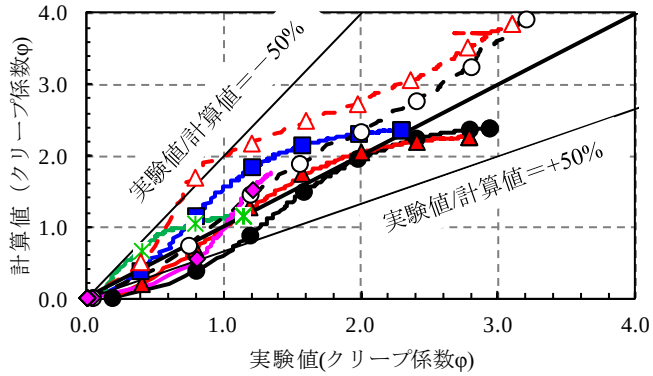
キーワード　高炉セメント，収縮ひずみ，クリープ係数，PC 構造物

連絡先　　〒185-8540　国分寺光町 2-8-38　（公財）鉄道総合技術研究所　TEL 042-573-7281

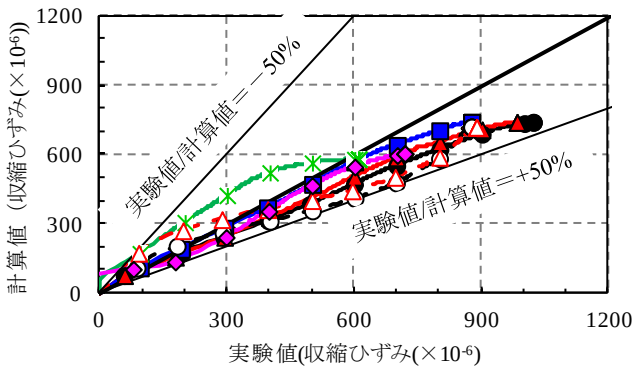


図－2　各試験体のクリープ係数

図－3　各試験体の収縮ひずみ



図－4　クリープ係数の精度の検証



図－5　収縮ひずみの精度の検証

となるよう配合を調整した．載荷は JIS A 1157 に従い実施し，試験体中央 2 箇所に配置したひずみゲージ（計測長：60mm）により，CASE1~4 は約 900 日間, CASE5~7 は約 500 日間継続して計測した. なお，以降の検討では, 2 箇所の計測値の平均値を用いることとした．

3．実験結果および比較検討

図-2, 3 に各試験体のクリープ係数および収縮ひずみを示す．クリープ係数は，計測された全ひずみから載荷時弾性ひずみ ε'_e と無載荷試験体のひずみ，すなわち収縮ひずみを差し引いた値を，ε'_e で除すことで算出した．JIS A 1157 では，ε'_e を載荷開始日における荷重増加期間に発生するひずみとされるが，荷重増加期間に要する時間による誤差の可能性を考慮して，また構造物に適用する際は事前に強度発現とヤング係数を把握することを前提に，別途計測したヤング係数 $E_c(t')$を用いて ε'_e を算出した（**表-1**）．

同一材齢におけるクリープ係数は，t'および V/S の増加に伴い減少した．また，B7-d10-s20 の載荷開始直後のクリープ係数は，他の CASE と比較して急増するが，材齢 100 日以降は鈍化した．これは，若材齢時には試験体内部の未水和セメントが多数存在することで，クリープ係数が大きくなったものと推測される．$f'_c(28)$＝40N/mm^2 とした配合では，いずれの材齢においても，高炉セメントは普通セメントと比較してクリープ係数は小さくなった．一方，収縮ひずみは，脱型後の水中養生期間による差はみられなかったが，クリープ係数と同様に V/S の増加に伴い減少した．

図-4, 5 に，同材齢におけるクリープ係数および収縮ひずみについて，実験値と鉄道標準 [1]の式から求めた計算値の比較を示す．材齢 900 日もしくは 500 日におけるクリープ係数の実験値/計算値は 0.76～1.23，収縮ひずみは 1.05～1.38 であり，±50%程度のばらつき [2]と同様の範囲であることを確認した．これは，寸法，セメント種類，載荷開始材齢，圧縮応力度について，従来の評価式と同様の傾向で変化した結果であることが推察される．

4．まとめ

収縮・クリープ係数について，高炉スラグ微粉末により普通セメント 60%を置換した今回の配合および載荷開始材齢において，普通セメントと同等の精度で評価可能であった．PC 構造物への適用では，適切な施工や強度管理を前提に，従来の評価式が適用できると考えられる．

参考文献

1) 鉄道構造物等設計標準･同解説（コンクリート構造物），丸善出版株式会社，2004　2) コンクリート標準示方書設計編，土木学会, 2012