

高炉スラグ微粉末8000を用いたPC用コンクリートの基礎性状

川田建設(株) 正会員 ○北野 勇一
 川田建設(株) 塩井 健太
 川田建設(株) 堀池 一男

1. はじめに

近年、構造物の耐久性向上や環境負荷の軽減といった新たな社会的要請から、プレストレストコンクリート(PC)構造物への高炉スラグ微粉末の利用が広まりつつある。一方、コンクリート材料の供給には地域性があり、場合によっては、上記の社会的要請とPC用コンクリートとしての要求性能の双方を十分に満足できないことも想定される。そこで、本研究では初期強度特性に優れる高炉スラグ微粉末8000¹⁾に着目し、PC用コンクリートの諸性状について実験的に確認した。

2. 実験概要

(1) 対象とするPC用コンクリート

蒸気養生を行い材齢1日でプレストレスを導入するプレテンション部材を製作するためのコンクリートを対象とする(表-1)。

(2) 使用材料およびコンクリート配合

混和材は、高炉スラグ微粉末8000と比較用的高炉スラグ微粉末6000を用いた(表-2)。高炉スラグ微粉末のSO₃量が初期強度の発現に及ぼす影響は比較的大きいことから²⁾、SO₃量はいずれも3.5±0.3%に調整した。上記以外の材料については、使用実績のある材料を用いた。

コンクリート配合は、実績配合の配合Hと、セメントに対し高炉スラグ微粉末6000を50%置換した配合B6および高炉スラグ微粉末8000を同様に50%置換した配合B8とした(表-3)。ここで、配合B6と配合B8は、予め試し練りし、強度回帰式を求めた上で配合決定した。その結果、同一強度を得るため

には、配合B6では配合Hに比べ水結合材比を3%ほど低める必要があるが、配合B8では配合Hに比べ3%、配合B6に比べ6%ほど水結合材比を高めてもよいことがわかった。また、各配合とも、スランブ12±2.5cm、空気量4.5±1.5%となるよう、混和剤の量を調整した。

(3) 試験項目

コンクリートの性状は、圧縮強度(JIS A1108)、弾性係数(JIS A1149)、乾燥収縮ひずみ(JIS A1129)、クリープ係数(JIS A1157)、塩分浸透抵抗性(JSCE-G572)、中性化抵抗性(JIS A1153)、凍結融解抵抗性(JIS A1148のA法300サイクル)について試験した。また、実際のプレテンション部材(PC板)を製造し、JIS A5373の曲げ強度試験を参考に耐荷力性状を確認した。詳細は4章に示す。

表-1 対象とするPC用コンクリート

対象部材	プレテンション部材
プレストレス導入時強度	35 N/mm ² (材齢1日)
設計基準強度	50 N/mm ² (材齢7日)
蒸気養生条件	最高温度 45°C×6hr

表-2 使用材料

材料名	種類	密度
セメント(C)	早強ポルトランドセメント	3.13
混和材(B)	高炉スラグ微粉末 6000(B6) 高炉スラグ微粉末 8000(B8)	2.91
細骨材(S)	砕砂	2.64
粗骨材(G)	砕石 2005	2.66
混和剤(A)	高性能 AE 減水剤	1.06

表-3 コンクリート配合

配合	水結合材比 (%)	単位量 (kg/m ³)					
		W	C	B6	B8	S	G
H	38.4	162	422	0	0	765	980
B6	35.5	162	228	228	0	737	964
B8	41.2	162	197	0	197	710	1047

注) 水結合材比は、W/(C+B)×100より算出

3. コンクリート物性

3.1 圧縮強度, 弾性係数

圧縮強度は, 各配合とも規格値を満足した。弾性係数は, 高炉スラグ微粉末を用いても, ほとんど差異が認められない (表-4)。

3.2 乾燥収縮ひずみ

高炉スラグ微粉末を用いることで乾燥収縮ひずみがやや大きくなる場合もあると言われているが, 今回, 高炉スラグ微粉末を用いた配合B6と配合B8は, 早強ポルトランドセメントのみの配合Hに比べ, 乾燥収縮ひずみが小さくなる結果が得られた (表-5)。これは, SO₃量を増した高炉スラグ微粉末を用いたことが好影響を与えたと考えられる¹⁾。

3.3 クリープ係数

高炉スラグ微粉末を用いた配合B6と配合B8は, いずれも, 早強ポルトランドセメントのみの配合Hと同程度のクリープ係数が得られた (図-1)。

3.4 塩分浸透抵抗性

高炉スラグ微粉末を使用することにより, コンクリート表面からの塩分の浸透に対する抵抗性が高くなることが知られている。本実験においても, 塩水に6ヶ月間浸せきした供試体についてEPMA面分析を実施した結果, 高炉スラグ微粉末を用いた配合B6と配合B8は, 早強ポルトランドセメントのみの配合Hと比べ, 塩分の浸透が抑制される結果が得られた (図-2)。

EPMA面分析を基に塩化物イオン分布を拡散方程式の解で回帰し, 拡散係数を算出した結果を図-3に示す。高炉スラグ微粉末を用いた配合B6と配合B8は, 早強ポルトランドセメントのみの配合Hと比べ, 拡散係数が1/2以下に低減することが確認された。

3.5 中性化抵抗性

高炉スラグ微粉末を用いることでコンクリートの中性化が助長される場合もあると言われている。しかし, 高炉スラグ微粉末を用いた配合B6と配合B8は, 早強ポルトランドセメントのみの配合Hと同等以上の中性化抵抗性を有することが確認された (表-6)。

表-4 圧縮強度, 弾性係数

配合	圧縮強度(N/mm ²)		弾性係数(kN/mm ²)	
	1日	7日	1日	7日
H	41.6	55.2	29.4	32.6
B6	39.1	58.0	30.1	32.9
B8	38.4	53.6	30.7	32.5
規格値	35以上	50以上	—	—

表-5 乾燥収縮ひずみ (26週)

配合	収縮量	比率
H	691 × 10 ⁻⁶	100%
B6	660 × 10 ⁻⁶	96%
B8	635 × 10 ⁻⁶	92%

クリープ係数

配合	載荷期間	
	26週	52週
H	1.53	1.70
B6	1.37	1.64
B8	1.36	1.65

注) 載荷開始材齢は11日



図-1 クリープ係数

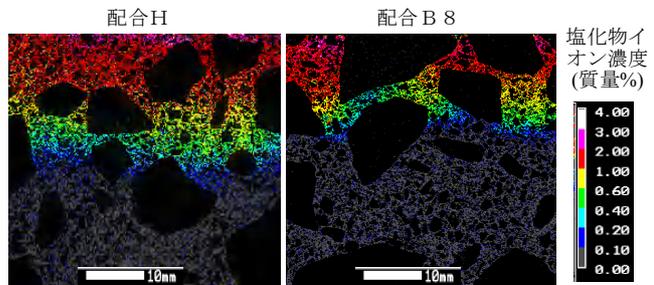


図-2 EPMA 面分析結果

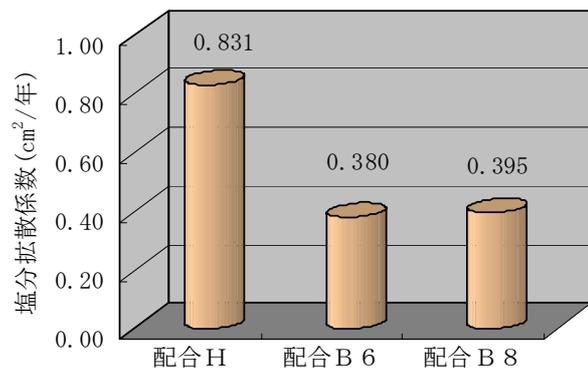


図-3 塩化物イオン拡散係数

3. 6 凍結融解抵抗性

凍結融解試験の結果、耐久性指数は配合Hで94、配合B 6 および配合B 8 で99であった。土木学会コンクリート標準示方書によると、耐久性指数90以上のコンクリート配合であれば、厳しい凍結融解作用に対しても高い性能を有すると言える。

表-6 中性化抵抗性 (促進期間 26 週)

配合	中性化深さ (mm)	中性化速度係数 (mm/√週)
H	6.0	1.18
B 6	2.0	0.39
B 8	5.5	1.08

4. PC板の耐荷力性状

PC板は支間1.75mに対応するPCC-70-2 (図-4 に示す板厚70mmのもの) を前出の表-3 に示した各配合それぞれ2体ずつ合計6体製作した。PC板の荷重状況を写真-1 に示す。PC板の荷重は、材齢9日目に実施し、1体をJIS A5373の曲げ強度試験を、もう1体を破壊試験とした。

PC板の曲げ強度試験結果を表-7 に示す。各試験体とも、設計荷重 (15.8kN) が荷重された状態でひび割れの発生は認められず、たわみも同程度であった。PC板の破壊試験結果を表-8 に示す。表より、高炉スラグ微粉末配合コンクリートの試験体B 6 および試験体B 8 とも、通常コンクリートで製造した試験体Hのひび割れ発生荷重および曲げ破壊荷重を上回ることが確認された。また、ひび割れ発生状況は、いずれも同様な傾向を示した (図-5)。

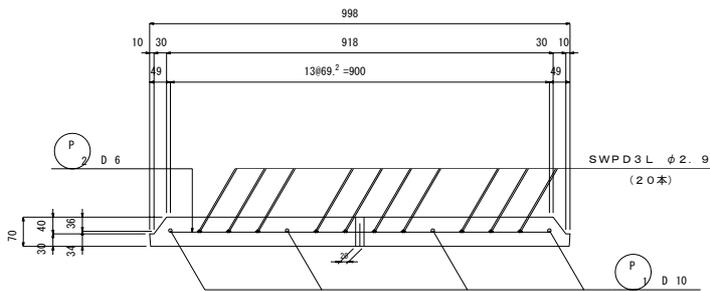


図-4 PC板断面図



写真-1 PC板の荷重状況

表-7 PC板の曲げ強度試験結果

試験体	荷重 (kN)	たわみ (mm)	ひび割れの有無
H	15.8	0.92	無
B 6	15.8	0.91	無
B 8	16.2	0.99	無

表-8 PC板の破壊試験結果

試験体	ひび割れ荷重(kN)	曲げ破壊荷重(kN)
H	28.4	60.0
B 6	29.8(104)	65.3(108)
B 8	29.3(103)	60.5(101)

注) 括弧内の数値は、試験体Hとの比率 (%)。

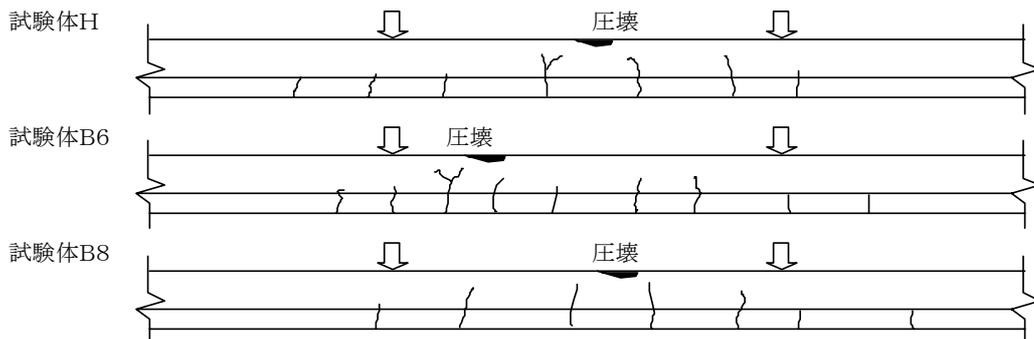


図-5 PC板のひび割れ図

5. CO₂排出量

文献3)に従い、前出の表-3に示したコンクリート配合量よりコンクリート1m³の製造に要するCO₂排出量を算出した結果を図-6に示す。高炉スラグ微粉末は製鉄所の高炉から生成する副産物を再利用することから、コンクリート材料に由来するCO₂排出量が大幅に削減される。とりわけ、高炉スラグ微粉末8000を用いた配合B8は、結合材量を少なくできることから、CO₂排出量の削減効果が高い。

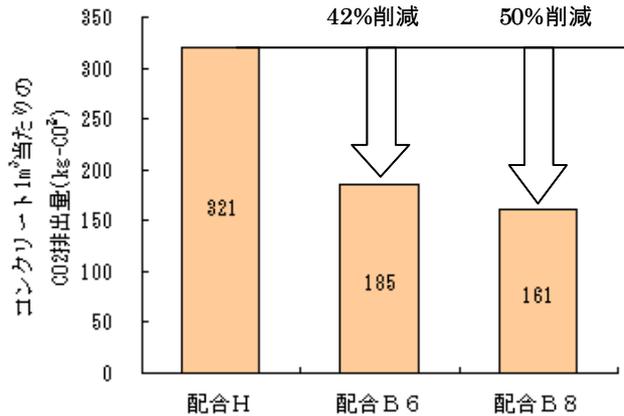


図-6 CO₂ 排出量

6. まとめ

本検討を通じ、次のことが確認された。

- (1) 高炉スラグ微粉末8000を用いたPC用コンクリートは、通常のPC用コンクリートに比べ水結合材比を3%ほど高めても、プレテンション部材に求められる強度発現性を確保し、弾性係数、乾燥収縮ひずみ、クリープ係数も通常のPC用コンクリートとほぼ同等である。また、高炉スラグ微粉末8000を用いることで塩分浸透抵抗性に優れ、通常のPC用コンクリートに比べても中性化抵抗性、凍結融解抵抗性が損なわれることもない。
- (2) 高炉スラグ微粉末8000を用いたPC用コンクリートで製造したプレテンション部材(PC板)の耐力性状は、通常のPC用コンクリートで製造したものと同等である。
- (3) 高炉スラグ微粉末8000を用いたPC用コンクリートは、CO₂排出量の削減効果が高い。

参考文献

- 1) 川口千大, 北野勇一, 安東功, 堀池一男: プレストレストコンクリート部材に高炉スラグ微粉末を積極的に利用する際の各種不利要因の改善, コンクリート工学年次論文集, pp.457-462, 2012.7
- 2) 川口千大, 北野勇一, 堀池一男: プレキャストPC部材への高炉スラグ微粉末の適用に関する基礎実験, プレストレストコンクリート工学会第21回シンポジウム論文集, pp.351-356, 2012.10
- 3) 土木学会: コンクリート構造物の環境性能照査指針(試案), 2005.11