

(51) 高炉スラグ微粉末のプレストレストコンクリートへの 利用に関する研究

カキヤマシノブ
○高山俊一
九州共立大学
九州工業大学 正員 渡辺 明
同上 大学院 宮辺 和
新日鉄化学(株) 近田孝夫

1. まえがき

近年、マスコンクリート、海洋コンクリート等に高炉セメントおよび高炉スラグ微粉末が多く用いられているが、さらにアルカリ骨材反応や塩害等の早期劣化対策として利用も増えてきている。一般に、高炉セメントを用いたコンクリートは初期強度の発現が遅れる傾向にあり、プレストレストコンクリートには利用し難いと考えられてきた。しかしながら、最近の研究¹⁾によれば、スラグの粉末度を大きくすることにより、かなり初期強度を改善できることが分かってきた。現在、工場で生産されるプレキャスト製品は、ほとんど蒸気養生されているから、微粉末であれば十分に所定の初期強度を得ることができると考えられる。本研究は、高炉スラグ微粉末混入コンクリートのPCとしての実用化を図るため、蒸気養生したコンクリートについて、クリープ・乾燥収縮等の特性を調べたものである。また、その結果を基に実際にPC版を工場で作製し、施工性・コンクリート強度・仕上げ面等の状況を調べた。

2. 実験方法

表-1に実験ケースを、表-2に示方配合の一例をそれぞれ示す。セメントには早強ポルトランドセメントと粉末度4000 cm^2/g および6000 cm^2/g の高炉スラグ微粉末をそれぞれ50%ずつ混合したものをを用いた。コンクリートの水セメント比は33、38、43%の3通りとした。供試体は打設後、3時間経過後、蒸気養生(最高温度:60 $^{\circ}\text{C}$ 、保持時間:6時間)を行い、後養生は20 $^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度85~90%の恒温室にて行った。配合

表-1 実験ケース

配合番号	微粉末 (cm^2/g)	W/(S+C) (%)	コンクリートの養生条件	導入時強度 (kgf/cm^2)	導入軸力 (tf)
1	スラグ無し	38	初期蒸気養生 ・前置時間 3時間	477	19
2		33	・最高温度 60 $^{\circ}\text{C}$	447	18
3	4000	38	・保持時間 6時間	372	14
4		43	後養生	255	10
5		33	・温度 20 $^{\circ}\text{C}$	436	18
6	6000	38	・R. H 85~90%	373	14
7		43	・室内養生	276	10
8	スラグ無し	38	・温度20 $^{\circ}\text{C}$ ・R.H85~90%	481	14
9	6000	38	・室内養生	365	14

表-2 示方配合の一例

配合番号	スラグの種類 (cm^2/g)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
				W	C	スラグ	S	G	減水剤
1	早強セメント	38	41	150	395	-	731	1245	5.53
2	4000	33	38	148	224	224	658	1269	6.27

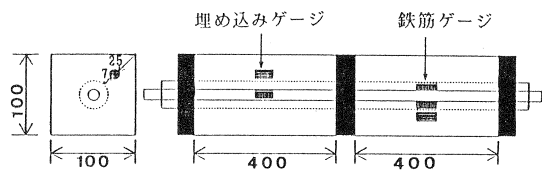


図-1 ゲージ位置

番号 8、9 の供試体は比較のため蒸気養生しなかったものである。クリープ試験供試体には、図-1 に示すように $10 \times 10 \times 40$ cm の角柱供試体を 2 個連結して用いた。製作の際、断面中心に $\phi 23$ mm のシースを、また内部埋め込みゲージを同図に示す位置にそれぞれ配置した。コンクリートが所定の強度に達した後、PC 鋼棒 ($\phi 19$ mm) を用いてプレストレスを導入し、クリープひずみおよび乾燥収縮ひずみを測定した。プレストレス導入時のコンクリート強度および導入軸力を表-1 に示す。導入プレストレスはコンクリート圧縮強度の 40% とした。導入軸力は水セメント比 33% の場合には 18 ~ 19 tf、38% の場合には 14 tf、43% の場合には 10 tf となった。

3. 実験結果および考察

(1) 初期強度

初期材令におけるコンクリートの圧縮強度の変化を図-2 に、また、自然養生での結果を図-3 にそれぞれ示す。水セメント比の違いによる材令 1 日での強度差は、スラッグの粉末度が同じであれば材令が経過してもほぼ同程度となっている。蒸気養生を行った配合 6 の強度は、同一配合で自然養生の場合の配合 9 に比べ、材令 1 日で 1.5 倍、材令 3 日で 1.3 倍となり、スラッグ使用コンクリートでも、蒸気養生の効果が十分に認められた。粉末度 $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ の強度は $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ のそれより大きい。水セメント比が小さくなり、高強度になるほどその差は小さくなっている。自然養生を行った配合 8 および 9 の強度と蒸気養生を行った配合 1 および 6 の強度とをそれぞれ比較すると、材令 1 日、7 日で蒸気養生に対する自然養生の比がスラッグ微粉末を混入した場合それぞれ 1.50、0.98、しない場合、1.57、0.91 とほとんど変わらない。このことは早強ポルトランドセメントと粉末度 $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ のスラッグ微粉末を混入した場合とでは、強度の絶対値は異なるが、蒸気養生の効果の点ではほとんど変わらないことを示している。

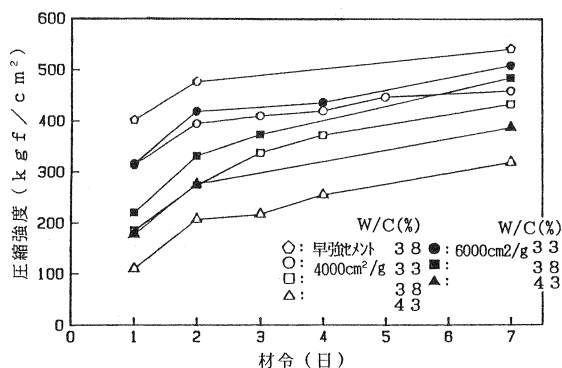


図-2 初期材令におけるコンクリートの強度 (蒸気養生)

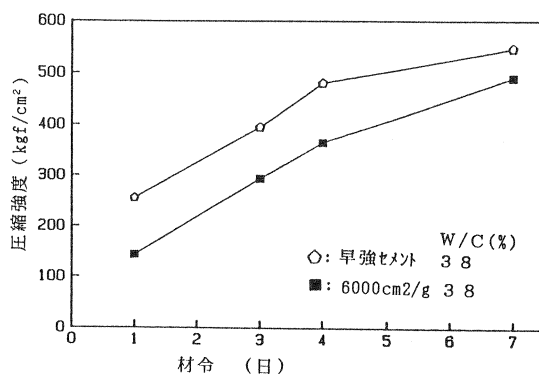


図-3 初期材令におけるコンクリートの強度 (自然養生)

(2) コンクリートのクリープ

導入時強度が約 450 kgf/cm^2 でセメントの種類が異なる蒸気養生コンクリートについて、クリープひずみおよび乾燥収縮ひずみと経過日数との関係を図-4 に示す。図中の実線は最小 2 乗法によって求めたクリープひず

みおよび乾燥収縮ひずみの回帰曲線である。同図によると、同量のプレストレスを導入したコンクリートのクリープは、スラグ無混入コンクリートの場合に最大を示し、粉末度が高い6000cm²/gの場合に最小となっている。同時に測定した乾燥収縮についても粉末度の大きい方が小さくなっている。回帰曲線から推定した最終クリープひずみ、最終クリープ係数および乾燥収縮ひずみを表-3に示す。同表によると、スラグ混入コンクリートのクリープ係数は無混入コンクリートのそれに比べて0.2~0.4程度小さく、6000cm²/gのスラグを使用した場合のクリープ係数は、4000cm²/gの場合より約0.1小さい。また、同一配合で蒸気養生を行った配合6のクリープ係数は、自然養生の配合9のそれに比べて0.2だけ小さくなっている。乾燥収縮の値もスラグ微粉末を混入すれば、無混入の場合の50~60%に減少している。図-5ではセメントの種類とクリープ係数の関数を示す。コンクリート標準示方書に準じて求めた早強セメントのクリープ係数は2.0で、スラグ無混入・自然養生の場合の値に近い。スラグ微粉末を混入し、蒸気養生すればクリープ係数は約1/2に減少することが分かる。

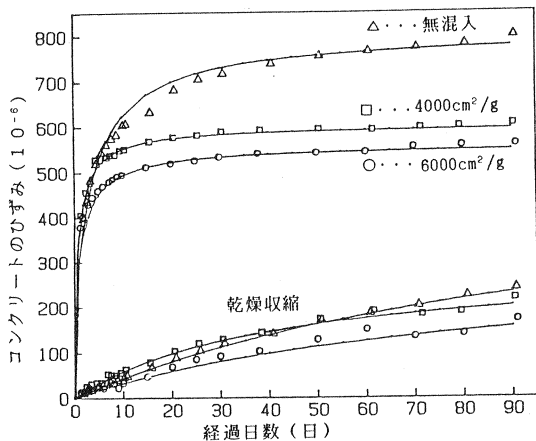


図-4 クリープひずみおよび乾燥収縮ひずみ

表-3 最終クリープひずみ、クリープ係数
および乾燥収縮ひずみ

配合番号	弾性ひずみ (10 ⁻⁶)	最終クリープひずみ (×10 ⁻⁶)	クリープ係数	最終乾燥収縮ひずみ (×10 ⁻⁶)
1	611	781	1.28	490
2	661	612	0.93	286
3	571	591	1.04	285
4	467	543	1.16	341
5	706	592	0.84	290
6	611	578	0.95	275
7	529	601	1.14	324
8	492	921	1.87	328
9	507	580	1.14	192

4. PC版への適用

以上の試験の結果から、配合設計基準強度(400 kgf/cm²)を満足し早期にプレストレス導入が可能な配合は、水セメント35%が適当であると判断した。粉末度6060cm²/gのスラグ微粉末(比重2.90, 塩基度1.85)と早期ポルトランドセメント(比重3.13)を50%ずつ混合して用い、実際にPC版を製作してみた。PC版の寸法は410×95×30cmである。図-6にその断面図を示す。軸方向のPC鋼棒はφ32mm(SBPR 95/110)を5本放物線状に配置した。プレストレスはポストテ

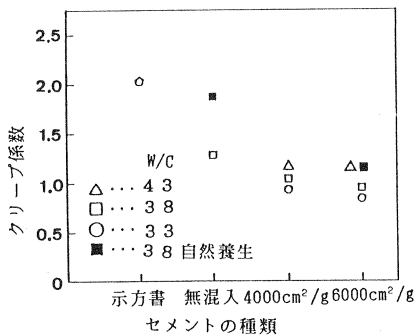
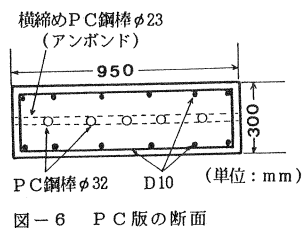


図-5 セメントの種類とクリープ係数の関係

ンション方式で導入し、1本当たりの緊張力は約60tfとした。また横締め用PC鋼棒（アンボンド方式）は $\phi 23$ mm（SBPR95/110）を80cm間隔に4本使用している。表-4にPC版製作時の圧縮強度とスランプを示す。材令1日で、コンクリート標準示方書で定められた導入時強度 300 kgf/cm^2 以上を満足したので、プレストレス導入は材令1日で行った。また、材令7日での圧縮強度は、十分に設計基準強度を満たした。脱型後PC版の表面性状を調べたところアバタや微細なクラックなどは認められなかった。全ての作業は早強セメントのみの場合と何等変わらず進行、終了した。

表-4 PCスラブ製作時の
圧縮強度とスランプ

製作 番号	実測 スランプ (cm)	圧縮強度(kgf/cm ²)		
		製品同一養生		標準養生
		1日	7日	28日
1	8.2	353	415	519
2	7.5	355	422	541
3	9.2	349	447	526



5. まとめ

- (1) 粉末度の大きな高炉スラグ微粉末を用いて、水セメント比35%以下の配合でコンクリートを打設し、蒸気養生を行えば、材令1日で圧縮強度 300 kgf/cm^2 以上のコンクリートを得ることができる。
- (2) コンクリートのクリープ係数は、蒸気養生および室内養生ともスラグを混入した場合の方が無混入の場合に比べて0.2~0.4程度小さくなった。また、蒸気養生を行った場合のクリープ係数は、室内養生のその70~80%となった。
- (3) 粉末度 $6000\text{ cm}^2/\text{g}$ のクリープ係数は $4000\text{ cm}^2/\text{g}$ の場合のそれより若干小さくなった。

参考文献

- 1) 森山、沼田、木島、小林; 高炉スラグ微粉末コンクリートの配合及び強度発現性について、土木学会高炉スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム論文集1987