

フライアッシュを利用した高流動コンクリートセグメントの開発

中部電力 正会員○北澤智 安藤兼治
中山元 田畑喜彦
東海コンクリート工業 高橋英明

1. はじめに

中部電力榑碧南火力発電所は石炭を燃料とする出力210万kWの発電所であり、年間50万t以上の石炭灰が発生している。これらの一部は、セメントの原料、道路路盤材等に再生され、有効利用が図られているが、環境問題に対する関心の高まり及び灰捨池の延命化を背景とし、当社行動計画でも将来的な石炭灰のリサイクル率の数値目標を掲げ、取り組みを強化しており、今後ともより一層の利用率向上が望まれる。

一方、シールド工事で使用されるセグメントは、工場製品であり高強度、初期強度発現性能確保のため低スランプの硬練りコンクリートを用い強力な振動締め固め作業により製造される。そのため、多くの工程や型枠の耐久性を必要とし、これらがセグメントコストを押し上げている。この改善策として、粉体系高流動コンクリートにより、製造工程の効率化とそれに伴う製造設備の簡素化が図られた事例¹⁾が報告されている。

当社では東海コンクリート工業との共同研究で、粉体系高流動コンクリートの混和剤にフライアッシュを有効利用することにより、従来の高流動コンクリートの材料費を低減させるセグメントの開発を行っている。本文は、研究のうち配合決定までを報告するものである。

2. 使用材料の選定

高流動コンクリートの主な要求性能をフレッシュ時自己充填性ランク2、硬化時設計基準強度 $f_{ck}=48(N/mm^2)$ かつ工場での型枠1日2回転用を目的とし、6時間後の基準強度（以下脱型基準強度）を $f_{ch}=15(N/mm^2)$ と設定した。

結合材となるセメントの選定については、普通ポルトランドセメントを使用した場合、表1のようにフライアッシュの置換率を上げると、蒸気養生（図1参照）を行っても脱型基準強度が得られないことから、早強ポルトランドセメントを選定した。

混和材としてのフライアッシュは、過去の品質変動を調査し比較的入手が容易な品質を選定した。混和剤については、高粉体量やフライアッシュの使用を考慮し、高流動コンクリートへの実績が多いポリカルボン酸系高性能減水剤（高流動用）を採用した。表2に使用材料を示す。

3. 水結合材比・単位粉体量の選定

水結合材比の検討では、フライアッシュの置換率により強度発現性能が異なるため、実験により圧縮強度と水結合材比等の関係を明らかにし、強度予測式の推定を行った。実験は、単位水量 $W=170(kg/m^3)$ を一定とし、単位粉体量 $(480,510,540kg/m^3)$ 及び単位セメント量 $(300,330,360kg/m^3)$ を変化させて強度がどのように変化するか確認した。なお、粗骨材率は48%固定、流動性を統一するため高性能減水剤の調整によりスランプフロー値 $(65\pm5cm)$ を同レベルにし、図1に示すパ

表1 普通ポルトランドセメントとフライアッシュ置換率の違いによる初期強度発現特性

フライアッシュ置換率 (%)	水結合材比 W/(C+FA)	単位量 (kg/m ³)					6時間後の強度 (N/mm ²)
		水 W	セメント C	混和材 FA	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 SP
0	32.1	170	530	0	811	888	7.53
15	32.1	170	451	79	798	874	7.16
30	32.1	170	371	159	785	862	7.05

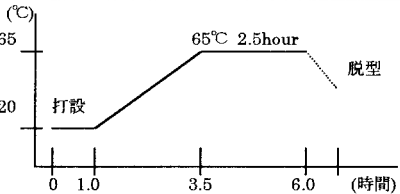


図1 蒸気養生パターン

表2 使用材料

分類		仕様・品質
粉体	セメント	早強ポルトランドセメント 比重 3.13
	混和材	碧南フライアッシュ(JIS規格品) 比重 2.25, 比表面積 3650(cm ² /g) 強熱減量 2.3%
骨材	細骨材	川砂+砕砂 表乾比重 2.61, 粗粒率 2.71
	粗骨材	碎石 表乾比重 2.64, 粗粒率 6.28 実積率 59.6%, 最大寸法 20mm
混和剤		ポリカルボン酸系高性能減水剤(高流動用)

ターンで蒸気養生を行った。

その結果、圧縮強度は各材齢共に $C(C+FA)/W^2$ との相関が最も強く、図2の相関図と共に次の推定式を得た。

$$\bullet 28 \text{ 日強度 (N/mm}^2\text{)} = 10.99 + 7.15 (C(C+FA)/W^2)$$

$$\bullet 6 \text{ 時間強度 (N/mm}^2\text{)} = -10.77 + 5.58 (C(C+FA)/W^2)$$

この式により、設計・脱型基準強度に品質変動係数を考慮した各配合強度を満足する、セメントとフライアッシュの割合（重量比）を求めた。

単位粉体量については、粉体系高流動コンクリートにフレッシュ時の自己充填性、分離抵抗性能を付与するため、図3に示すとおり単位粉体量を $0.16 \sim 0.21(\text{m}^3/\text{m}^3)$ の間で変化させ、U字充填高さ等で判断した。

その結果、安定した性能を確保するために単位粉体量は、 $0.185 \sim 0.195(\text{m}^3/\text{m}^3)$ の範囲となった。

4. 示方配合の決定

単位細・粗骨材量は、所要のワーカビリティ等を考慮し決定した。空気量については、今回設計対象となるコンクリート構造物の環境条件が、耐凍害性を必要としないため1.5%とした。

以上より決定した配合について試し練りを行い、品質が要求性能を有することを確認した。表3には、示方配合を示す。

表3 フライアッシュを利用した高流動コンクリートの示方配合

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	自己充 填性の ランク	目標 スラン プフロ ー (cm)	目標 50cm スラン プフロ ー時間 (sec)	水結 合材 比 (%)	水粉 体容 積比 (%)	空気量 (%)	単位粗 骨材絶 対容積 (m^3/m^3)	単位量 (kg/m^3)					
								水	セメント	混和材 フライ アッシュ	細骨材	粗骨材	混和剤 高性能 減水剤
								W	HPC	FA	S	G	SP
20	2	65 ± 5	10 ± 3	32.1	89.4	1.5	0.325	170	363	167	783	858	7.02

5. まとめ

これまでの研究結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 早強ポルトランドセメントにフライアッシュを混和材として利用し、適切な蒸気養生を行うことで、工場製品の生産性向上につながる十分な初期強度を発現する粉体系高流動コンクリートを得ることができる。
- 2) 粉体系高流動コンクリートの各種基準強度からなる配合設計において、水結合材比やセメントとフライアッシュの割合は、各材齢における強度との間に得られた回帰式により推定することが可能である。
- 3) 早強ポルトランドセメントとフライアッシュを使用した粉体系高流動コンクリートの自己充填性、分離抵抗性は、単位粉体量を $0.185 \sim 0.195(\text{m}^3/\text{m}^3)$ の範囲とすれば安定した性能を得ることができる。

今後は、フライアッシュを利用した高流動コンクリートをセグメントに適用し、充填性等の確認、生産性に関する検討を行い、コストダウンの効果を評価していく。また、フライアッシュの品質変動時に対応できるよう、物性が高流動コンクリートに及ぼす影響の把握、高粉体量使用にあたり各種収縮に関する調査、フライアッシュを多量に置換しているためポズラン反応による長期強度や中性化等の物性についての確認も併せて行う予定である。

参考文献 1) 花見ら: 高流動コンクリートセグメントの開発, 土木学会第53回年次学術講演会, 第VI部門 pp.50-51, 1998.10

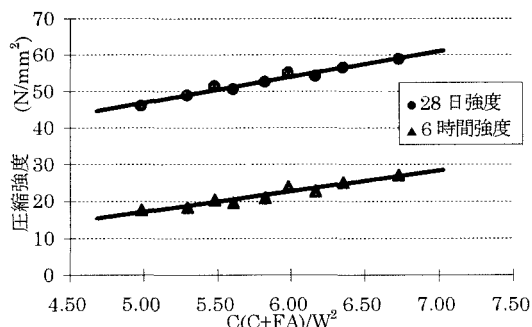


図2 圧縮強度と $C(C+FA)/W^2$

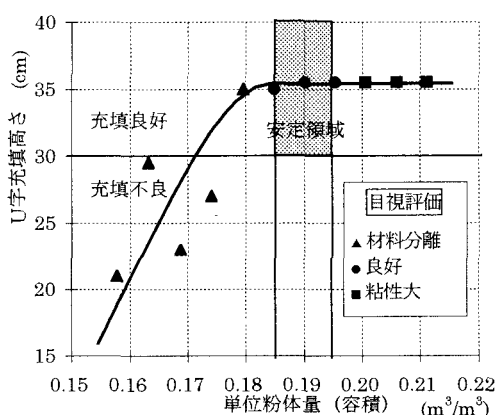


図3 単位粉体量に対するU字充填高さ
(自己充填性・材料分離抵抗性評価)