

フライアッシュを積極的に用いた粉体系中流動コンクリートの諸特性について

前田建設工業(株) 正会員 ○白根 勇二
前田建設工業(株) 正会員 森 英治

前田建設工業(株) 正会員 蛭谷 祐至
前田建設工業(株) 伊藤 毅浩

1. はじめに

トンネル覆工では、施工性の改善や品質の向上を目的に、従来の覆工コンクリートよりも流動性を高めた中流動コンクリートを適用する事例が増えている¹⁾。また一方で、最近では地球環境への影響や資源の有効利用の観点から混和材のさらなる活用が望まれている。筆者らはこれまでに、トンネル覆工を対象としてフライアッシュを積極的に用いた粉体系中流動コンクリートの開発に取り組み、実施工へ適用しており、その施工性について報告している²⁾。その後、同コンクリートの硬化性状、耐久性状および二酸化炭素(CO₂)排出量の削減効果についても検討しており、本論文ではこれらの結果について報告する。

2. 粉体系中流動コンクリートの概要

配合選定は、表-1に示す発注者の施工管理要領²⁾に従った。選定した配合と使用材料を表-2に示す。使用したフライアッシュはIV種相当品で、コンクリート1m³あたり150kg(配合上、セメント置換率20%、砂置換率10%)とした。また、剥落防止を目的としてポリプロピレン繊維0.3Vo1%を現地で混入している。

表-1 中流動コンクリートの配合選定基準(フライアッシュ使用の場合)

材齢28日における圧縮強度(N/mm ²)	粗骨材最大寸法(mm)	スランプおよびスランプフロー(cm)	加振変形試験(cm)	U型充填高さ(障害無し)(cm)	空気量(%)	セメントの種類	最低セメント量(kg/m ³)	単位水量(kg/m ³)
18	20 または 25	21±2.5 35~50	10±3	280以上	4.5 ±1.5	N	270	180以下

表-2 粉体系中流動コンクリートの配合および使用材料

Gmax(mm)	W/B(%)	s/a(%)	単位粗骨材絶対容積(m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)						非鋼繊維(kg/m ³)	混和剤(B×%)	
				W	B		S		G		AD1	AD2
					C	FA1	S1	FA2				
20	53.3	53.1	0.31	180	270	67	836	83	837	2.76	1.2	0.012

C: 普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³)
FA1およびFA2: フライアッシュIV種相当品(密度2.26g/cm³, 比表面積3,000g/cm²程度)
S1: 砕砂(密度2.65g/cm³, FM2.8)
G: 砕石(密度2.70g/cm³, FM6.6)
非鋼繊維: ポリプロピレン繊維(L=50mm, アスペクト比85)
AD1: AE減水剤(高機能タイプ)
AD2: フライアッシュ用AE剤

3. 試験項目

試験項目は、表-3に示すとおり圧縮強度試験、割裂引張強度試験、凍結融解試験および促進中性化試験を実施した。これらの供試体は実構造物の施工に合わせて作製し、このときのスランプフローは45.0cm、空気量は4.8%、コンクリート温度26°Cであった。

凍結融解試験の開始は、フライアッシュのポズラン反応の効果を期待して材齢91日とした。促進中性化試験は試験装置が故障したこともあり、材齢28日まで水中養生、材齢119日まで気中養生を施した後に試験を開始し、促進期間4週と13週で測定を行った。

表-3 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
圧縮強度試験	JIS A 1108に準拠。
割裂引張強度試験	JIS A 1113に準拠。
凍結融解試験	JIS A 1148(A法)に準拠。 ただし、標準水中養生の期間は91日とした。
促進中性化試験	JIS A 1153に準拠。 (炭酸ガス濃度5%、温度20°C、湿度60%) ただし、装置に故障により、水中養生期間28日、気中養生期間91日で、促進材齢4週と13週での測定を行った。

4. 試験結果

図-1に圧縮強度試験と割裂引張試験の結果を示す。材齢28日を経過した後も強度が増加する傾向が認められ、材齢91日の圧縮強度は材齢28日に対して約3割増加している。フライアッシュのポズラン反応による強度増加が顕著である。

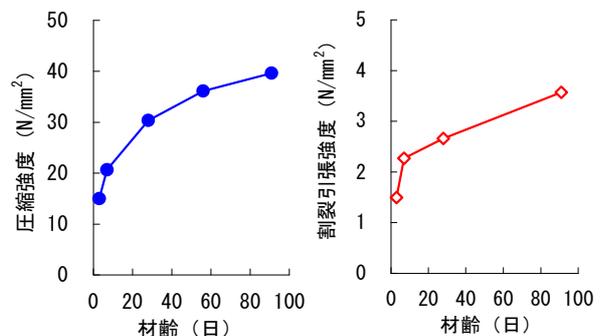


図-1 圧縮強度試験結果

キーワード: 中流動コンクリート, 覆工, フライアッシュ, 強度特性, 耐久性, CO₂排出量

連絡先: 〒179-8914 東京都練馬区旭町1-39-16 前田建設工業(株) 技術研究所 TEL 03-3977-2241 FAX 03-3977-2251

凍結融解試験の結果を図-2 に示す。本試験はベースコンクリートについても試験を実施したが、ポリプロピレン繊維の混入の有無によらず、300 サイクル終了時点の相対動弾性係数は95%以上であり、高い凍結融解抵抗性を有することを確認できた。フライアッシュ用 AE 剤の使用や試験開始時期を遅らせたことが良好な結果をもたらしたと考えられ、フライアッシュを多量に混和しても、適切な材料を選定し、確実な養生を実施すれば、実用上問題ないと言える。

促進中性化試験の結果を図-3 に示す。図中には、参考までに別途同条件で実施した普通ポルトランドセメント (N) と高炉 B 種セメント (BB) を用いた通常のコンクリート (水セメント比 55%) の試験結果も示す。これらの結果から、粉体系中流動コンクリートの中性化に対する抵抗性は、高炉 B 種セメントを用いたコンクリートと同等で、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートとも大きな差がないことがわかる。

5. 二酸化炭素 (CO₂) の排出量

フライアッシュを用いた粉体系中流動コンクリートの材料由来による CO₂ 排出量の削減効果について検討を行なった。表-4 に材料製造時における各材料の CO₂ 排出量の原単位を示す。コンクリートの CO₂ 排出量は、各材料の原単位に単位量を乗じ、材料毎の排出量を総和することで算出できる。表-5 に算出結果を示すが、比較として、フライアッシュを使用せずに普通ポルトランドセメントのみで製造した一般的な中流動コンクリートの結果も示す。

この結果、フライアッシュを用いた粉体系中流動コンクリートは、一般的な中流動コンクリートよりも約 2 割程度の CO₂ 排出量を削減可能で、材料由来による環境負荷を軽減できることがわかった。

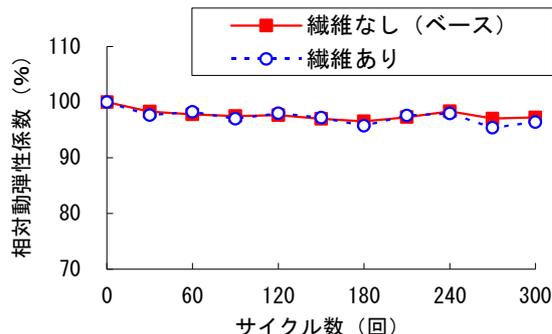


図-2 凍結融解試験結果

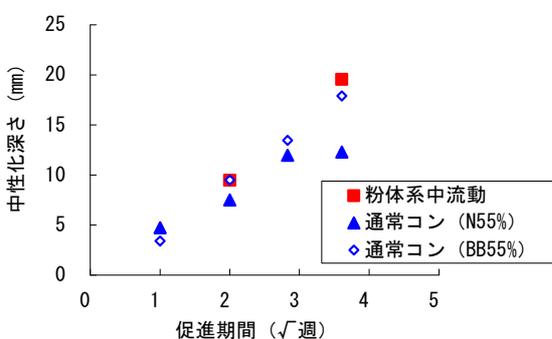


図-3 促進中性化試験結果

表-4 各材料のインベントリデータ³⁾

材料種類	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /t)
普通ポルトランドセメント (N)	765.5
フライアッシュ (FA)	17.9
砕砂 (S)	3.7
砕石 (G)	2.9
AE減水剤	123
高性能AE減水剤	200

表-5 中流動コンクリートの CO₂ 排出量の比較

	単位量 (kg/m ³)					非鋼繊維 (kg/m ³)	混和剤 (kg/m ³)		コンクリート1m ³ あたりのCO ₂ 排出量	CO ₂ 排出量の比較	
	W	B		S			G	AE減水剤			高性能AE減水剤
		C	FA1	S1	FA2						
一般的な中流動コンクリート	175	340	0	961	0	837	2.76	0	3.4	267	1.00
適用した粉体系中流動コンクリート	180	270	67	836	83	837	2.76	4.04	0	215	0.81

6. まとめ

フライアッシュを積極的に使用した粉体系中流動コンクリートは、施工性の改善に効果があるばかりでなく、耐久性上の問題がないこと、CO₂ 排出量の削減に寄与することが確認できた。フライアッシュの利用は地域的な供給体制や製造設備の改造などに課題は残るものの、副産物の有効利用や環境負荷軽減の観点から、今後地域特性に応じた適用が望まれる。

謝辞 本検討にあたり、多大なご協力を頂いた東日本高速道路株式会社東北支社相馬工事事務所の方々に感謝の意を表します。

参考文献 1) 東日本高速道路株式会社:トンネル施工管理要領「中流動覆工コンクリート編」, 2008. 8

2) 蛭谷ら:中流動繊維補強コンクリートを適用したトンネル二次覆工の施工について, 土木学会第 65 回年次学術講演会, VI-005, pp. 9-10, 2010. 9

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), コンクリートライブラリー125, 2005