

フライアッシュを多量に使用した可塑性材料の埋戻し材への適用に関する検討

(株) 熊谷組 正会員 ○河村 彰男
中国電力(株) 正会員 伊藤 友司
(株) 熊谷組 正会員 前垣 創大

1. はじめに

中国電力(株)の三隅発電所2号建設工事のうち石炭貯蔵設備他設置工事において、埋戻し材としてコンクリートを使用する設計となっている箇所に関して、フライアッシュを多量に使用した可塑性材料の適用を検討した。フライアッシュを多量に使用した可塑性材料としては、特殊増粘剤によりエアの混入を促進し、可塑性・水中不分離性を付与した表-1に示す配合の注入材が開発されており¹⁾、この材料を基本として埋戻し材に要求される性能を付与するための配合検討を実施した。

2. 配合検討

2.1 要求性能

設計上および施工上から埋戻し材に要求される性能として、1)設計基準強度 3N/mm²・2)ポンプ圧送が可能なこと・3)溶出量試験をクリアすることの3項目を設定した。

2.2 配合検討の流れ

表-1に示す配合を基本として、適度な流動性を確保できるまで特殊増粘剤の使用量を変化させ、設計基準強度に対する安全率が3以上となる強度(9N/mm²以上)が得られるように水セメント比を小さくした。

2.3 使用材料および試験項目

使用材料は高炉セメントB種(密度 3.04g/cm³)・三隅発電所産フライアッシュ(JIS II種: 密度 2.24g/m³)・特殊増粘剤 A 剤および B 剤とした。

試験項目はフロー(JIS R 5201: 0 打および 15 打)・フロー(JHS313)・空気量・単位容積質量・圧縮強度(φ50×100: 20℃封緘養生・材齢 7 日および 28 日)の5項目とした。

2.4 練混ぜ方法

練混ぜにはホバートミキサを使用し、①(水+特殊増粘剤 A 剤および B 剤) 15 秒攪拌、②(高炉セメント B 種+フライアッシュ) 投入・60 秒攪拌、③掻き落とし後 60 秒攪拌の順に練り混ぜた。

2.5 試験結果

検討配合とフレッシュ時の性状を表-2に、圧縮強度の試験結果を表-3に示す。フレッシュ時の性状に大きな違いはなかったが、配合②の方が表面に水が浮いているような印象を受けた。これは特殊増粘剤使用量の違いに起因するものと考えられる。圧縮強度はいずれの配合も材齢 28 日で 10N/mm²以上の値が得られており、圧縮強度のバラつきに対しても十分に余裕がある。材料分離防止の観点から現場適用配合として特殊増粘剤使用量の多い配合①を選定した。決定配合を表-4に示す。

3. 連続練り試験

3.1 試験概要

現場適用にあたっては、表-4の配合におけるフレッシュ性状および圧縮強度に関するバラつきを把握しておくことが重要となることから、10 バッチ連続で練混ぜを行って各種試験を実施した。

表-1 基本配合

水 (kg/m ³)	高炉セメントB種 (kg/m ³)	フライアッシュ (kg/m ³)	設定空気量 (%)	特殊増粘剤 (kg/m ³)	
				A剤	B剤
417	168	747	20	6.26	6.26

表-2 検討配合とフレッシュ時の性状

配合	単位量 (kg/m ³)					温度 (℃)	JISフロー		JHS313	空気量 (%)	単位容積 質量 (g/cm ³)
	水	高炉セメントB種	フライアッシュ	特殊増粘剤			0打	15打			
				A剤	B剤						
①	436	257	952	2.18	2.18	14.1	148*147	230*229	167*165	5.1	1.63
②	437	257	953	1.75	1.75	11.2	149*149	224*222	180*172	3.6	1.66

表-3 圧縮強度
試験結果

配合	圧縮強度 (N/mm ²)		
	材齢7日		材齢28日
①	5.15	5.30	10.7
	5.10		11.0
	5.55		11.0
②	5.79	5.10	10.7
	4.31		10.5
	5.17		10.3

表-4 決定配合

水 (kg/m ³)	高炉セメントB種 (kg/m ³)	フライアッシュ (kg/m ³)	設定空気量 (%)	特殊増粘剤 (kg/m ³)	
				A剤	B剤
436	257	952	5	2.18	2.18

キーワード フライアッシュ, 可塑性材料, 埋戻し材, 圧縮強度, 溶出量試験

連絡先 〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪 1043 (株) 熊谷組技術本部技術研究所 TEL029-847-7505

3.2 試験結果

フレッシュ時の性状と圧縮強度の試験結果を表-5 に示す。なお、材齢 28 日圧縮強度において著しく小さな値が得られたデータ（＊印）については平均値の算出から除外してある（下段の（ ）内数値は 3 本の平均値）。試験後に著しく小さな値が得られた供試体を観察したところ大きな気泡の混入が認められた。表-4 に示した配合では設定空気量を 5%としているが、材料分離を防止するためにある程度の粘性を付与している。そのため、型枠内へ材料を打込む際に気泡が巻込まれたものと考えられ、供試体作製時に留意すべき点といえる。

表-5 に示した結果のうち、JIS フロー15 打・JHS313 フロー・空気量・単位容積質量・材齢 28 日圧縮強度（＊データを除いた平均値および全データ）に関して、母集団の不偏平均および不偏標準偏差を推定して表-6 に示す。

フレッシュ時の結果に関しては、いずれの試験結果も不偏標準偏差は小さな値となっており、フレッシュ性状は安定していると判断される。また、空気量の不偏平均値は 4.9%であり、概ね設定どおりの空気量が連行されているといえる。

材齢 28 日圧縮強度に関しては、＊データを除いた平均値および全データの 2 種類について推定を行った。両者を比較すると、不偏平均は同じで全データを使用した場合の不偏標準偏差がやや大きな値となっている。推定値から変動係数を算出すると各々5.3%および7.0%となり、特に大きな値とはなっていない。いずれも、母集団における材齢 28 日圧縮強度は 10.0±1.0N/mm² 程度と推定され、設計基準強度に対する安全率 3 を確保できていると判断される。

3.3 溶出量試験

材齢 28 日まで封緘養生した供試体を使用して、環境省告示第 46 号に準拠して溶出量試験を実施した。また、使用したフライアッシュについても同様に溶出量試験を実施した。試験結果を土壤環境基準値と併せて表-7 に示す。

フライアッシュの試験結果で 5 項目において土壤環境基準値をオーバーしている（表中のハッチングした箇所）が、可塑性材料の試験結果はすべての項目において土壤環境基準値を下回っている。このことから、可塑性材料はフライアッシュの溶出成分を固定化しており、埋戻し材として使用することに関して問題は無いものといえる。

参考文献：1)森ら，イオン系増粘剤を使用した可塑性注入材の開発，熊谷組技術研究報告第 66 号，2007.12

表-5 フレッシュ時の性状と圧縮強度試験結果

No.	温度 (℃)	JISフロー		JHS313 フロー	空気量 (%)	単位容 積質量 (g/cm ³)	圧縮強度 (N/mm ²)			
		0打	15打				材齢7日		材齢28日	
①	13.4	140*140	221*218	158*152	5.7	1.63	5.36		11.0	
							5.05	5.14	11.4	
		141	220	155			5.00		11.1	
②	12.4	152*151	231*228	182*168	4.9	1.63	5.54		10.5	
							4.42	4.72	10.8	
		152	230	175			4.19		10.5	
③	11.0	152*152	232*232	173*173	4.3	1.64	5.44		10.4	
							5.91	5.49	10.6	
		152	232	173			5.12		10.6	
④	11.1	150*150	230*226	175*174	4.1	1.64	5.72		9.61	
							5.55	5.41	10.1	
		150	228	175			4.97		9.89	
⑤	11.5	149*148	234*234	176*175	5.0	1.62	3.12		10.1	
							5.10	4.60	10.1	
		149	234	176			5.58		10.3	
⑥	10.9	145*145	233*231	175*170	4.7	1.63	5.35		10.9	
							4.33	4.63	10.2	
		145	232	173			4.20		10.3	
⑦	10.8	149*148	237*235	177*173	5.0	1.63	5.26		10.5	
							5.44	4.68	6.90*	9.25 (8.47)
		149	236	175			3.35		8.00	
⑧	11.1	145*144	237*233	168*164	5.9	1.63	2.93		10.4	
							3.88	4.07	10.6	
		145	235	166			5.41		8.20	
⑨	11.4	146*145	242*241	170*168	4.6	1.64	3.20		10.6	
							3.89	3.65	5.84*	10.5 (8.91)
		146	242	169			3.86		10.3	
⑩	11.6	150*150	240*237	170*165	4.8	1.64	3.42		10.1	
							5.30	4.56	9.95	
		150	239	168			4.95		10.1	

表-6 母集団の不偏推定量

母集団の 不偏推定量	JISフロー 15打	JHS313 フロー	空気量 (%)	単位容積 質量 (g/cm ³)	材齢28日圧縮 強度 (N/mm ²)	
					平均値	全データ
不偏平均 $\hat{\mu}$	233	171	4.9	1.63	10.3	10.3
不偏標準偏差 $\hat{\sigma}$	6.1	6.4	0.558	0.00675	0.54	0.72

表-7 溶出量試験結果

項 目	土壤環境基準値 (mg/L)	可塑性材料試験結果 (mg/L)	フライアッシュ試験結果 (mg/L)
カドミウム及びその化合物	0.01以下	0.001未満	0.001未満
六価クロム化合物	0.05以下	0.02	0.06
シアン化合物	検出されないこと	不検出 (0.1未満)	不検出 (0.1未満)
水銀及びその化合物	0.0005以下	0.0005未満	0.0005未満
アルキル水銀	検出されないこと	不検出 (0.0005未満)	不検出 (0.0005未満)
セレン及びその化合物	0.01以下	0.002	0.11
鉛及びその化合物	0.01以下	0.005未満	0.005未満
砒素及びその化合物	0.01以下	0.005未満	0.021
ふっ素及びその化合物	0.8以下	0.39	2.6
ほう素及びその化合物	1以下	0.02未満	5.1
シマジン	0.003以下	0.0003未満	0.0003未満
チオベンカルブ	0.02以下	0.002未満	0.002未満
テラウム	0.006以下	0.0006未満	0.0006未満
ポリ塩化ビフェニル	検出されないこと	不検出 (0.0005未満)	不検出 (0.0005未満)
有機りん化合物	検出されないこと	不検出 (0.1未満)	不検出 (0.1未満)
四塩化炭素	0.002以下	0.0002未満	0.0002未満
1,2-ジクロロエタン	0.004以下	0.0004未満	0.0004未満
1,1-ジクロロエチレン	0.1以下	0.002未満	0.002未満
1,2-ジクロロエチレン	0.04以下	0.004未満	0.004未満
1,3-ジクロロプロペン	0.002以下	0.0002未満	0.0002未満
ジクロロメタン	0.02以下	0.002未満	0.002
テトラクロロエチレン	0.01以下	0.0005未満	0.0005未満
1,1,1-トリクロロエタン	1以下	0.0005未満	0.0005未満
1,1,2-トリクロロエタン	0.006以下	0.0006未満	0.0006未満
トリクロロエチレン	0.03以下	0.002未満	0.002未満
ベンゼン	0.01以下	0.001未満	0.001未満
1,4-ジオキサン	0.05以下	0.005未満	0.005未満
クロロエチレン	0.002以下	0.0002未満	0.0002未満