

スラリー系深層混合処理工法における地盤改良材へのフライアッシュの適用性

九州電力(株) 正会員 ○内田 直人

正会員 丸内 進

小野 英宏

1. はじめに

現在、当社の石炭火力発電所から年間約 50 万トンの石炭灰が発生している。有効利用率は約 70%に留まっており、その用途は、セメント・コンクリート分野の占める割合が依然として高い。今後は当分野の大幅な需要増加は見込めないことから、石炭灰有効利用技術の底辺拡大が必要となっている。今回、スラリー系深層混合処理工法（以下「CDM 工法」）において、目標強度及び施工性の確保、さらに、コスト低減を図ることを目的にセメントにフライアッシュ原粉（以下「FA」）を混合した地盤改良材の室内配合試験及び現地配合試験を実施した。本稿は、これらの試験結果をもとに、地盤改良材への FA の適用性について述べる。

2. 使用材料

室内配合試験に用いた表層部の粘性土の物理試験結果を表－1に示す。地盤改良材として、高炉セメント B 種と当社荏田発電所産 FA を混合したものを使用した。FA の主な化学組成を表－2に示す。

3. 室内配合試験

3.1 スラリー流動性試験

CDM 工法では、施工性の面からスラリーの流動性を示す P ロート流下時間が重要となる。文献¹⁾では P ロート流下時間は 12～13 秒以下が望ましいとされており、これを満足するセメントと FA の質量比（以下「C：FA」）と水粉体比（以下「W/(C+FA)」）を確認するために、流下時間を測定した。水粉体比と P ロート流下時間の関係を図－1に示す。試験結果から得られた知見を以下に示す。

- ①W/(C+FA)一定では、セメント単味よりも FA 混合の方が流下時間は短い。これは、セメントに比べ FA の粒子形状がより球形に近いためと考えられる。
- ②コスト削減のためには、W/(C+FA)を小さくし、地盤改良材の配合量及び改良体打設時の排土量を低減させる必要がある。P ロート流下時間は W/(C+FA)=60%、C：FA=1：0.5 において 11sec 程度で目標を満足しているが、施工上の安全性等を考慮し W/(C+FA)=80%を採用する。

3.2 一軸圧縮強度試験

地盤改良材の強度特性及び安全性を把握するため、セメント量及び FA 量を変化させ、室内配合試験を実施した。材齢 28 日におけるセメント量と一軸圧縮強さの関係を図－2に示す。試験結果から得られた知見を以下に示す。

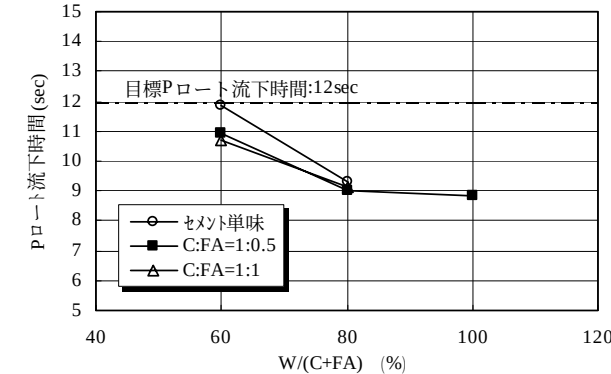
- ①W/(C+FA)、セメント量一定において、セメント単味に対する FA 混合時の一軸圧縮強さの比は、C：FA=1：0.5 の場合、1.0～1.2 となった。これは、FA 中に含まれる CaO の自硬性が強度発現に寄与したものと考えられる。

表－1 粘性土の物理性状

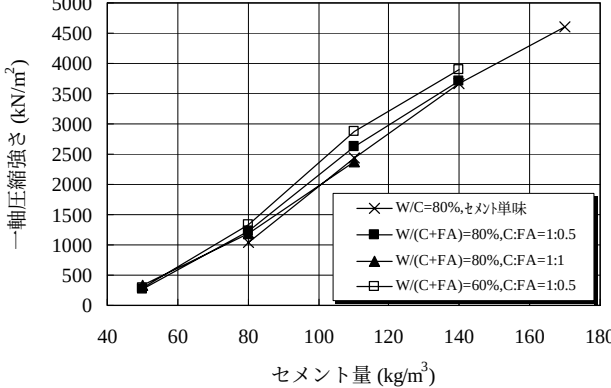
項目	単位	測定値
土粒子密度	g/cm ³	2.612
湿潤密度		1.416
自然含水比		121.5
液性限界		84.5
塑性限界		43.5
礫	分	%
砂		
シルト		
粘土		

表－2 FAの主な化学組成

化学組成	百分率(%)
CaO	39.4
SiO ₂	29.8
Al ₂ O ₃	15.9
SO ₃	12.9



図－1 W/(C+FA)とPロート流下時間の関係



図－2 セメント量と一軸圧縮強さ（材齢28日）の関係

キーワード 石炭灰，リサイクル，地盤改良，深層混合処理工法
連絡先 〒815-8520 福岡市南区塩原二丁目1番47号 九州電力株式会社 総合研究所 TEL:092-541-2910

- ②W/(C+FA)，セメント量一定において、C：FA=1：0.5 と 1：1 では、同一強度を得るための必要スラリー量は後者の方が 30～40%程度増加する。このためコスト削減の観点から、C：FA=1：0.5 とした。
- ③環境庁告示 46 号「土壤汚染に係る環境基準」（以下「土壤基準」）の基準値を満足しており、安全性に問題がないことを確認した。

4. 現地配合試験

現地における改良体強度及び安全性を確認するため、現地配合試験を実施した。現場目標強度は 300，700，1000kN/m² の 3 水準である。これを満足する配合量の選定は、

- ①室内一軸圧縮強さと現場一軸圧縮強さの安全率 3 を考慮し、これを満足する必要セメント量を図-2 から求める。
- ②CDM 工法における最低スラリー量の目安は 90l/m³ である²⁾。これに対し、現地配合試験の施工条件（改良体径φ1.0m，改良体面積 0.785 m²，貫入速度 0.7m/min）からスラリー量は 170l/m³ 以上必要とする。
- ③室内配合試験結果から W/(C+FA)=80%，C：FA=1：0.5 とした。ただし、ケース 1 は必要スラリー量を確保するために、C：FA=1：1 とする。

以上の 3 点を条件に現地配合試験ケースを定めた。現地配合試験結果を表-3，図-3 に示す。地盤改良の確認は、ボーリングコアを対象とした一軸圧縮強度試験（1 箇所/m）と連続的な強度を把握するため、針貫入試験³⁾（10 箇所/m）により行なうこととした。試験結果から得られた知見を以下に示す。

- ①全ての配合ケースにおいて、一軸圧縮強さの最低値で現場目標強度を満足している。
- ②針貫入試験による換算一軸圧縮強さはボーリングコアによる一軸圧縮強さと概ね一致している。また、深度方向全般にわたって目標強度を満足する改良体が造成できている。
- ③一軸圧縮強さの変動係数は、15～27%となり、文献⁴⁾に示された変動係数の範囲（25～35%）と同等以下の値が得られており、改良体の均一性は高いものと考えられる。
- ④施工時の実績スラリー量（設計スラリー量の約 1.1 倍）を考慮した室内一軸圧縮強さと現場一軸圧縮強さの最低値の比率は、1.4～2.2 となり、設計値 3 以下の値が得られており、現地においても良好な強度を確保できた。
- ⑤溶出試験を実施した結果「土壤基準」を満足しており、安全性に問題がないことを確認した。

5. おわりに

循環型社会の形成を推進するためには、産業廃棄物の削減・再資源化に積極的に取り組む必要があり、石炭灰の有効利用は当社の義務である。本研究において、地盤改良材への FA の適用性が確認できたことから、地盤改良材の材料費低減が可能となり、公共工事へのコスト縮減にも貢献できるものと考えられる。

参考文献

1)渡辺,東,渡部：石炭灰を利用した FGC 深層混合処理工法による改良土の工学的性質と今後の展望について，第 6 回石炭利用技術会議講演集
2)深層混合処理工法 設計・施工マニュアル，（財）土木研究センター
3)軟岩の調査・試験の指針（案）-1991 年版- 土木学会
4)地盤改良効果の予測と実際 社団法人 地盤工学会

表-3 現地配合試験結果

配合 ケース	現場 目標強度 (kN/m ²)	水粉体比 W/(C+FA) (%)	配合量(kg/m ³) ^{※1}			スラリー量 (l/m ³)	一軸圧縮強度試験(kN/m ²) ^{※2}		針貫入試験(kN/m ²)	
			セメント C	フライ アッシュ FA	水 W		最低値	変動係数 (%)	平均値	変動係数 (%)
1	400	80	89 (80)	89 (80)	142 (128)	205 (184)	727	25	1,435	34
2	700		110 (100)	55 (50)	132 (120)	188 (172)	1,818	15	1,614	30
3	1,000		132 (120)	66 (60)	158 (144)	226 (206)	2,276	27	2,101	26

※1：()内は設計配合量
※2：先端処理部は除く

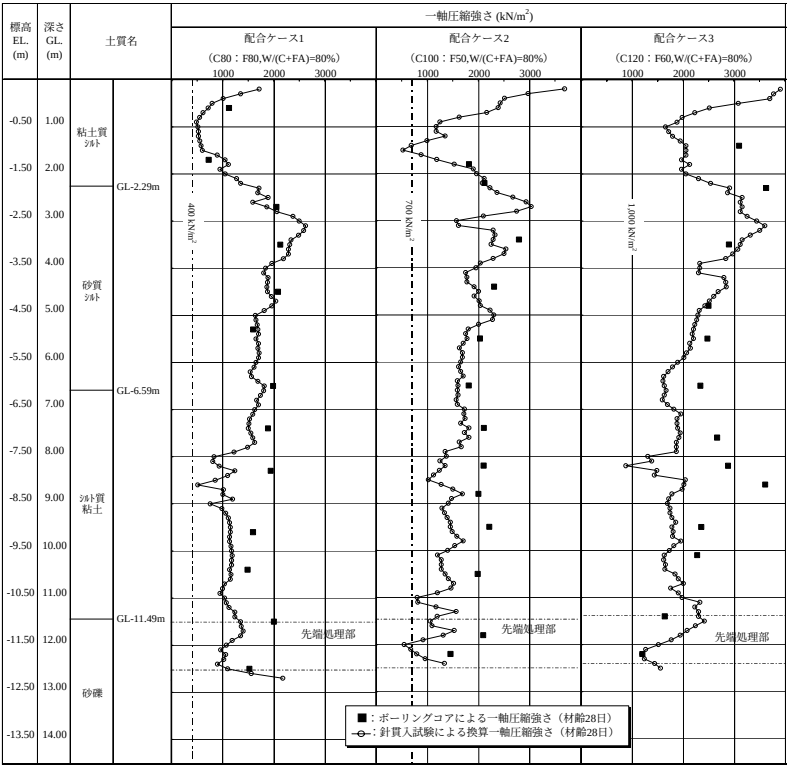


図-3 現地配合試験結果（一軸圧縮強さ）