

フライアッシュを活用した気泡モルタル系流動化処理土による管路埋戻し工事

大成建設（株） 正会員 ○白井 遼太郎 正会員 高久 雅喜
 正会員 松井 秀岳 正会員 石井 裕泰
 東京電力（株） 正会員 鬼束 俊一 正会員 古川園 健朗

1. はじめに

鹿島火力発電所7号系列の増設工事^{1), 2)}においては、事前の室内検討、試験施工を経て、施工延長約3.7km、打設体積約24,000m³の取放水管路等の埋戻し工事を行っている。

本報では、建設工事費のコスト削減や石炭火力発電所の副産物（フライアッシュ）の有効活用等を考慮した埋戻し方法の選定、フライアッシュを活用することにより生じた技術的課題に関する室内配合検討、それに続き実施した試験打設、およびこれまでの埋戻し状況を報告する。

2. 埋戻し方法の検討

(1) 施工条件・要求仕様

本工事における埋戻し部断面の例を、図-1 に示す。先行施工した深層混合処理による改良土擁壁（SMW 壁）部分を掘削した箇所に、ボックスカルバート、管路が設けられることになっており、カルバートの両側部、管路周辺の狭隘箇所を埋戻す計画となっている。

埋戻し部分については、取放水管の管厚低減による建設工事費の削減を図る観点から、管周囲の埋戻土に所定の強度、変形特性を有することが求められており、施工面においても、埋戻し工程の短縮や狭隘箇所での埋戻土の品質向上を達成する必要がある。以上より、適度な流動性と材料分離抵抗を有する配合で、品質の一様性を確保しながら構造物周りに効率的に打設が行える流動化処理土を採用した。設計検討、既存の埋戻し事例に基づき、表-1 の要求仕様を、配合検討に先立ち定めた。

(2) 流動化処理土の検討

流動化処理土の適用にあたっては、本増設工事で得られる現地発生土を有効利用することを前提とした。発生土の粒度分布の例を図-2 に示す。

流動化処理土としては、これまで、発生土の特性に応じて様々な配合形態、製造方法が用いられてきている。この中で、粘性分に富んだ発生土については、混合性と品質の一様性を確保するために、発生土を水に溶いて一様な流体にした上で泥水密度を品質管理指標として用いる手法が多用されている^{3), 4)}。一方、本工事で用

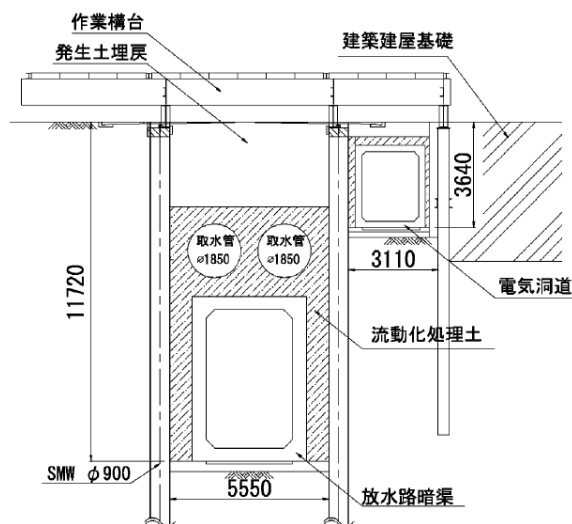


図-1 埋戻し部断面の例

表-1 要求仕様

項目	仕様
フロー値	140mm 以上 (NEXCO 試験法 JHS A 313)
ブリーディング率	1%以下 (JIS A 1123)
密度	1.5g/cm ³ 以上
一軸圧縮強さ	0.38kN/m ² 以上 (設計値)

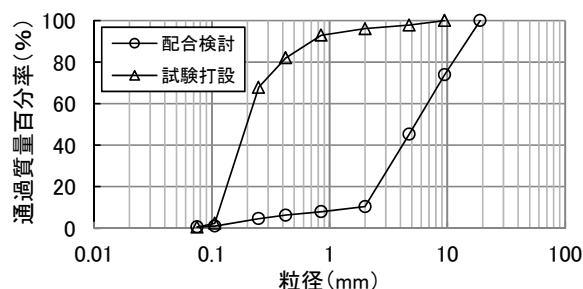


図-2 掘削発生土の粒度分布

キーワード 火力発電所、埋戻し、流動化処理土、フライアッシュ、現地発生土

連絡先 〒233-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター

土木技術研究所 地盤・岩盤研究室 TEL045-814-7236

いる現地発生土は、細粒分が微量で水との混合性が良い反面、材料分離しやすい傾向にあるため、気泡モルタル系配合⁵⁾を検討することとした。

(3) フライアッシュの活用と課題

上記、気泡モルタル系配合を前提とした上で、本工事ではさらに東京電力(株)広野火力発電所で排出されるフライアッシュを混合し、有効活用を図ることを検討した。ただし、フライアッシュ中の未燃カーボンが電気を帯びていることから、気泡モルタル系配合での併用では消泡作用を伴うことが知られている⁶⁾。特に広野火力発電所で排出されるフライアッシュの強熱減量は、JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」に照らした区分において「Ⅱ種」が主体であるが「規格外品」も発生する。そのため、室内配合検討に際しては、流動性、材料分離抵抗、発現強度と並行して、消泡特性についても調査し、フライアッシュを活用した気泡モルタル系流動化処理土の適用性についても検討にあたることとした。

3. 室内配合検討

検討にあたっては、セメント添加量を 100kg/m^3 に固定した上で、まずはフライアッシュを加えない配合について試験を行った(図-3)。一定の気泡量に対して、現地発生土と水の添加割合を変えて練上がり状況を確認したところ、流動性と分離抵抗性を確保する上で、 250L/m^3 の気泡が有効であることを確認した(表-2中のa-1)。さらに、本気泡量と 150kg/m^3 のフライアッシュ添加を固定条件として、再度現地発生土と水の添加割合による練上がり性状への影響を確認し、フライアッシュを添加した配合を選定した(表-2中のb-1)。

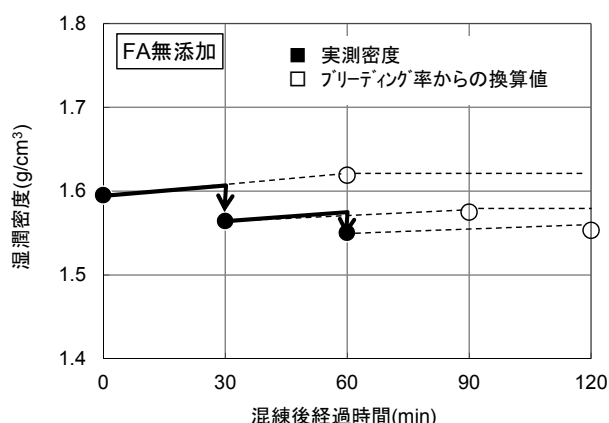
次に、a-1、b-1 配合を用いて、消泡特性を比較するために、練上がり後から固化に至るまでの密度の履歴を確認



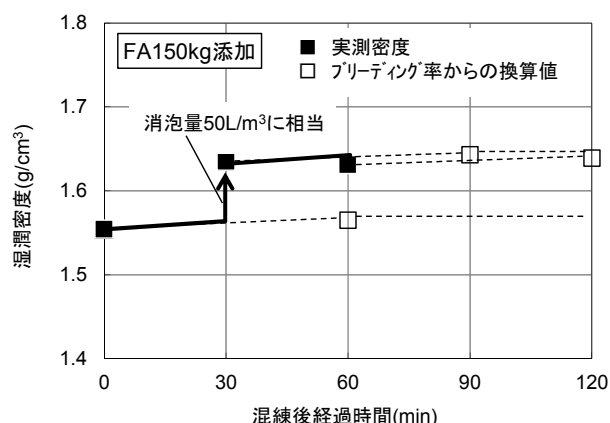
図-3 室内配合試験(フロー試験)

表-2 室内検討配合

		セメント kg/m^3	発生土 kg/m^3	水 kg/m^3	気泡 $\text{kg/m}^3(\text{L/m}^3)$	FA kg/m^3	W/S %	W/C	混練時 理論密度 g/cm^3
FA 無添加	a-1)	100	1176	285	0(250)	0	24.2	2.85	1.561
	a-2)	70	1207	284	0(250)	0	23.5	4.06	1.561
	a-3)	130	1155	283	0(250)	0	24.5	2.18	1.568
FA150kg 添加	b-1)	100	1039	265	0(250)	150	25.5	2.65	1.554
	b-2)	70	1066	265	0(250)	150	24.9	3.79	1.551
	b-3)	130	1012	265	0(250)	150	26.2	2.04	1.557



(a) FA 無添加



(b) FA150kg 添加

図-4 湿潤密度の経時変化

認した。試験にあたっては、練上がり直後の密度を直接計測後、施工時のポンプ圧送といった攪乱要因を想定して、30分、60分後に室内配合試験用ミキサーで攪拌を加えた上で密度を直接測定し、以降は消泡に応じた体積変化がブリーディング量と等価となる前提で体積補正した密度を算出した。図-4 に示す計測結果より以下のことが言える。

- ・ 本試験条件では、フライアッシュを添加しない配合については、攪拌により密度が減少する。すなわち、気泡を増加させている。
- ・ フライアッシュを添加した配合については、30 分後の攪拌により、消泡量 50L/m³ に相当する密度増加が生じる。
- ・ フライアッシュの有無によらず、攪拌により一旦密度変化が生じた後は、二度目の攪拌やその後の放置中の密度変化は限定的となる。

以上の結果より、実施工に向けては、施工に伴う消泡量を適切に予測し製造段階での気泡を割り増すことで、フライアッシュを活用した気泡モルタル系配合の適用が可能になるものと判断した。

加えて、セメント添加量と強度の関係を確認するために、異なる 2 水準のセメント量（70, 130kg/m³）と前述の気泡量，フライアッシュ量は固定条件とし，発生土と水の添加量を調整することで，所定の流動性，分離抵抗性を満たす配合を表-2 中の a-2) a-3), b-2) b-3) のように特定した。これらの検討を通して得られたブリーディング率，フロー値の関係を水・発生土重量比（W/S）の関係でまとめると図-5 のようになり，W/S が配合調整を行う上で有効な指標となりうることを確認した。また，一軸圧縮強さを水・セメント重量比（W/C）との関係として図-6 のようにまとめた。フライアッシュが強度発現に有効に寄与し，無添加の場合に見られる 7～28 日材齢での 2 倍程度に対して，フライアッシュを 150kg/m³ 添加した場合には，フライアッシュのポズラン効果により 3 倍ほどに達することが確認された。

4. 試験打設

(1)計画

実機による製造，運搬，打設方法の確認，および運搬・圧送等の作用に応じた追加気泡量の特定を目的に，試験

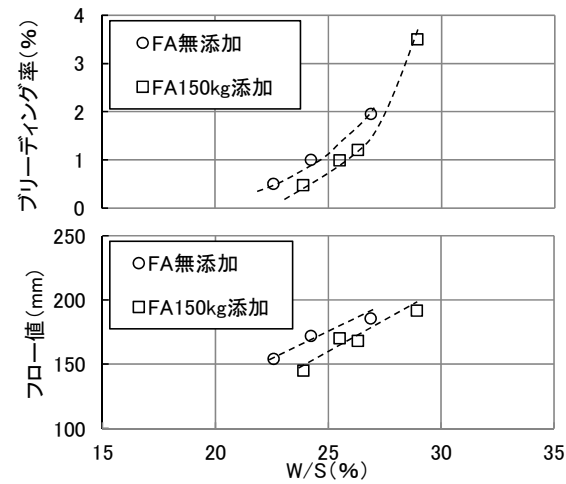


図-5 W/S とブリーディング率・フロー値の関係

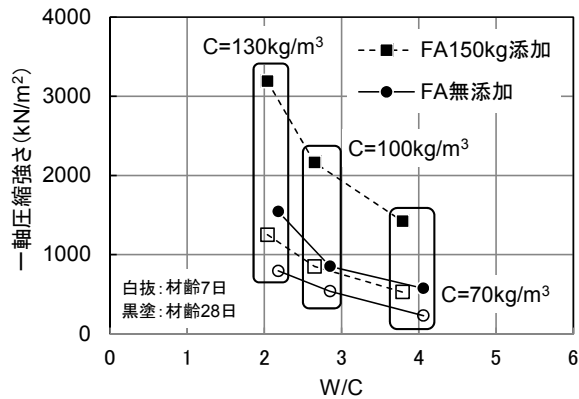


図-6 W/C と一軸圧縮強さの関係

表-3 試験打設における配合

試験施工用配合 (1m ³)						追加気泡 L/m ³	追加気泡添加時の 混練時理論密度 g/cm ³
セメント kg/m ³	発生土 kg/m ³	水 kg/m ³	FA kg/m ³	気泡 L/m ³	混練時理論密度 g/cm ³		
100	915	311	150	250	1.48	50, 100, 150	1.41, 1.34, 1.28

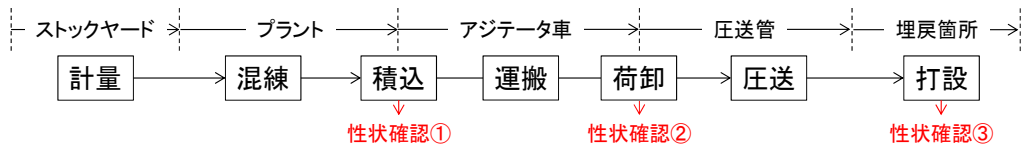


図-7 試験施工の概要

打設を行った。

実施にあたって、発生土は付近の掘削箇所で排出されるものを直送して用いることとした。本発生土の粒度を調べたところ、図-2 中に示すものとなり、配合試験で見られたものとのかい離が見られた。そのため、流動化処理土の配合については、図-5 の関係性を参考に見直しにあたり、表-3 の配合を選定し、消泡を見越した追加気泡量（練上り体積あたり 50, 100, 150L の 3 水準）をパラメータとした。試験打設フローを図-7 に、製造プラント配置図を図-8 に、打設箇所の概要を図-9 に示す。製造プラントは打設位置より 1km ほど離れた発生土のストックヤードに設け、アジテーター車で 10 分ほど運

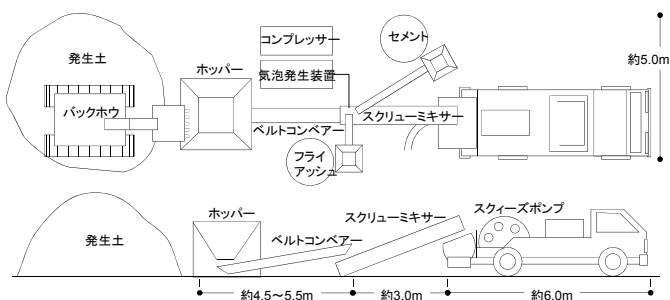


図-8 製造プラント

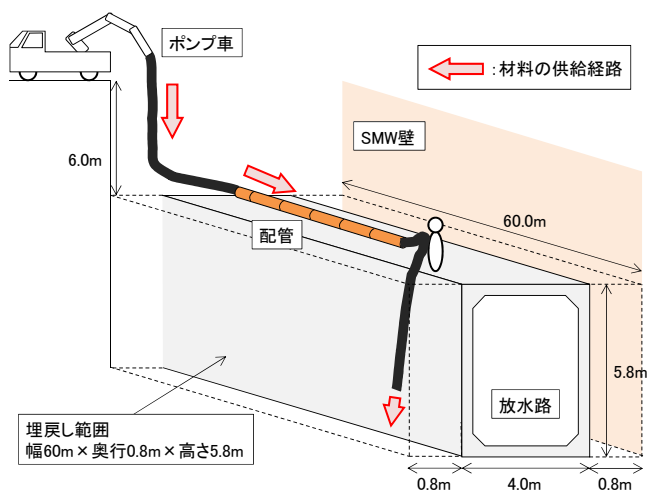


図-9 埋戻し箇所の概要



(a) プラントでの積込状況



(b) 荷卸の状況



(c) 流動状況

(d) 打設状況

図-10 施工状況

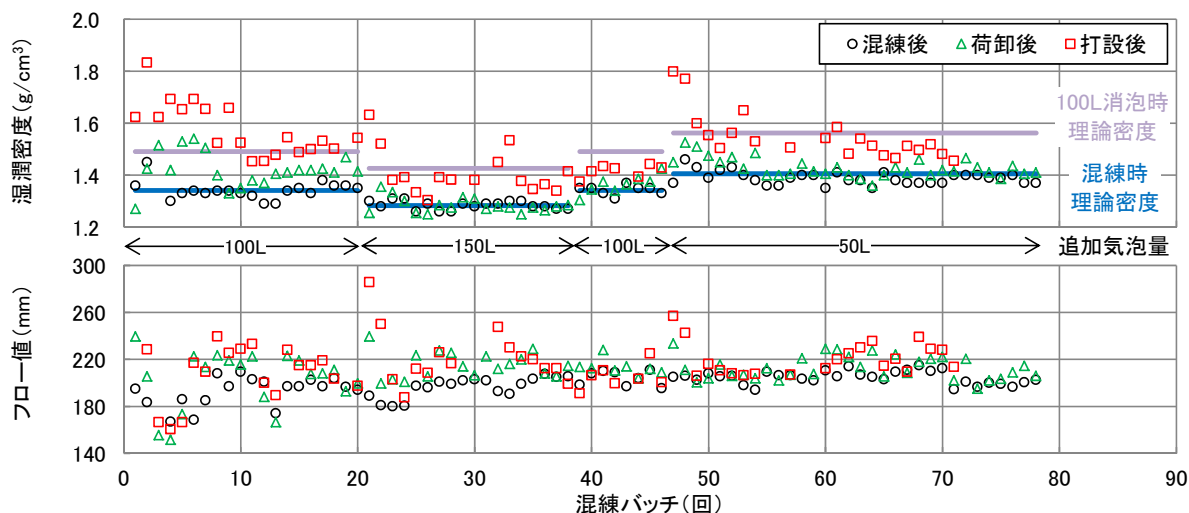


図-11 湿潤密度とフロー値の計測結果

搬後、荷卸ししてポンプ圧送した。このうち、プラントでの積み込み時、アジテーター車からの荷卸し時、打設箇所を試料を採取し、フロー値、密度を確認した。

(2) 結果

図-10 にプラントでの積み込み状況、圧送前の荷卸し状況、カルバート側部での打設状況を示す。今回の施工では、従来から用いる製造設備にフライアッシュのサイロを併設したが、スクリーミキサーへの投入から混合、積み込みまで、滞りなく行えることを確認できた。図-11 には、密度とフロー値の測定結果を示す。図中○で示した混練時の密度については、実線で示した「混練時理論値」に近い値が得られ、荷卸し時に最大 0.1g/cm^3 程度上昇し、消泡が生じていることを示している。これに対して、打設後の密度の変化は顕著となり、図-9 の配管圧送から打設箇所への排出に至る過程で消泡が生じやすいことを示している。本結果からは、図-11 に添えた「100L 消泡時理論密度」の実線との比較を通して、平均的には単位体積あたり 100L/m^3 ほどの消泡が生じていると判断され、実施工での割増気泡量を設定した。

5. 実施工

図-12 に打設状況を示す。未固結の流動化処理土により作用する浮力が、管路に上向きの変状を生じさせることがないように、管路周りについては、段階的に固結させながら埋め戻すよう配慮している。消泡量については、フライアッシュの性状、練上り温度といった影響と見られる変化が生じたため、最大割増量 100L の範囲で見直しを図っている。図-13 には、一軸圧縮強さの頻度分布を示す。得られた結果については、表-1 の設計値を満足するものとなっている。

なお、フライアッシュ無添加で実施工した期間があったが、消泡はほとんど生じていないことが計測結果より判明しており、施工に伴う消泡量を適切に割増すことで、フライアッシュを活用した気泡モルタル系流動化処理土が適用可能となることを確認できたと考えている。

6. おわりに

本埋戻し工事については、2012 年 10 月より開始し 2013 年 6 月末現在、 $21,200\text{m}^3$ 、全体の 90% 程度の施工を完了している。本内容が、発電所建設に関わる埋戻し工事に関して、コスト削減、発電所副産物の有効活用に向けた取り組みの一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 古川園健朗, 佐藤孝司, 中島崇: “鹿島火力発電所 7 号系列増設工事に伴う土木工事の設計・施工の概要～コンバインドサイクル工事における土木工事 設計概要編～”, 電力土木, No. 366, pp. 33～38, 2013.
- 2) 西山綾香, 堤知明, 石井裕泰: “鹿島火力発電所 7 号系列増設工事に伴う土木工事の設計・施工の概要～フライアッシュを活用した気泡モルタル系流動化処理土の適用～”, 電力土木, No. 366, pp. 39～43, 2013.
- 3) 技報堂出版: “流動化処理土利用技術マニュアル (第 2 版)”, 2007.
- 4) 沿岸開発技術研究センター: “港湾・空港における計量混合処理土工法技術マニュアル”, 1999.
- 5) 檜垣貫司, 岡本智: “気泡を添加した建設発生土の埋戻し土への適用”, 大成建設技術研究所報, 第 30 号, pp. 169～174, 1997.
- 6) シーエムシー: “コンクリート混和剤の開発技術”, 1995.



図-12 打設状況

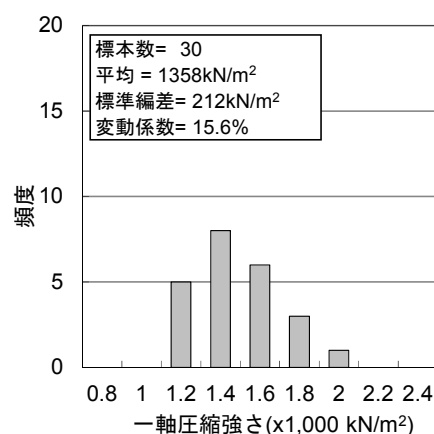


図-13 一軸圧縮強さ(28 日材齢)の頻度分布