

高濃度フライアッシュスラリーのトレミー管を用いた埋立効果

東洋建設(株) 正会員 ○山崎 智弘

1. 目的

石炭火力発電所から排出される石炭灰の多くは有効利用が図られているが、一部については管理型海面処分場に埋立処分されている。海面処分場に石炭灰（フライアッシュ）を埋め立てる方法には、表-1 に示す 3 工法がある。高濃度スラリー埋立は、他工法と比較して高密度な地盤が造成でき、埋立後の減容化処理や、跡地利用時の地盤改良が不要となる可能性がある工法として注目されている。しかし、高濃度スラリーで密な状態として埋め立てるためには、投入時の「水面での衝撃による分散」や「水中沈降時の周辺水の巻き込み」や「水底面への衝撃による分散」が弊害となっている。これらの弊害を解決する方法としてトレミー管の併用した投入方法を想定し、その有効性を室内試験により確認した。

2. 室内試験

(1) 方法

対象とした灰（密度 $\rho_{FA}=2.2\text{g/cm}^3$ ）は、H火力発電所産の JIS 灰Ⅱ種（以下、試料Hと表記）およびT火力発電所産の原粉（以下、試料Tと表記）の 2 種類とした。海水（密度 $\rho_W=1.02\text{g/cm}^3$ ）は兵庫県鳴尾浜より採水した。

試験は、アクリルコア（内径 $\phi 10\text{cm}$ 、高さ 98cm ）内にフライアッシュスラリー（含水比 45%、密度 $\rho=1.619\text{g/cm}^3$ 、乾燥密度 $\rho_d=1.116\text{g/cm}^3$ ）を投入管（内径 $\phi 5\text{cm}$ ）を用いて投入した。投入ケースは、①陸上での埋め立てを模擬した気中投入、②水面からの投入、③④トレミー管を用いて水底面への投入、⑤法肩からの投入を模擬した斜面投入とした（図-1）。ケース①②③⑤は 1 段目として高さ 30cm 相当となるように約 3.8kg のスラリーを投入した。試料Tのケース④は 1 段目として高さ 60cm 相当となるように約 7.6kg のスラリーを投入した。試料Hは打設後 2 週間後に 2 段目として同量の約 3.8kg を打ち足した。これらの試料は 14 ヶ月間の養生後にコア内から層別に切り出し、含水比を測定するとともに、三軸圧縮試験により内部摩擦角 ϕ および粘着力 c を算定した。

(2) 結果

投入時、ケース②では投入管筒先から排出されるとスラリーはすぐに海水と混合され、高含水状態で時間をかけて沈降・堆積していった。ケース③では、投入管（トレミー管）筒先が堆積スラリー内にあるため海水と

表-1 石炭灰の埋立法¹⁾

工法	加湿灰埋立	低濃度埋立	高濃度スラリー埋立
概要	加湿された灰をブルドーザで埋立転圧	水エジェクタ内で混合し、自然流下により水中に放出	ミキサーによりスラリー状に混合し、ポンプ圧送で水中に放出
含水比	約20%	約300%	約50%
埋立密度	0.9~1.0t/m ³	0.9~1.0t/m ³	1.1~1.2t/m ³
埋立地盤強度	△弱く、跡地利用には改良が必要	△同左	○強く、跡地利用に改良不要の可能性有
浮灰	△乾燥が早いいため覆土が必要	○多少あり	◎ほとんどない
排水水質への影響	○小	△大	○小
運用性	△常時ダンプ、ブルドーザが必要	○遠隔集中管理が可能	○同左

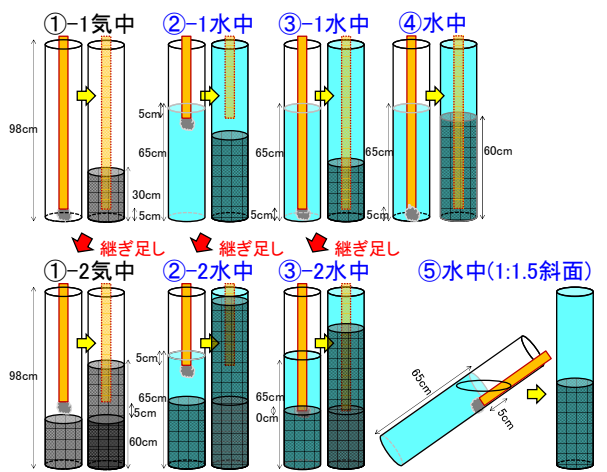


図-1 試験ケース

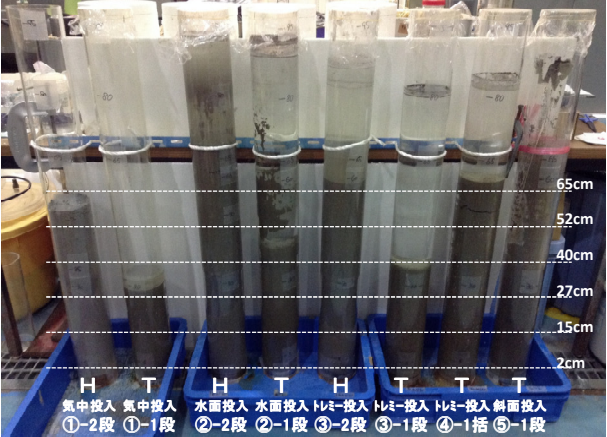


図-2 試験状況(全試料投入後)

キーワード フライアッシュ、高濃度スラリー、トレミー投入、埋立密度、内部摩擦角

連絡先 〒663-8142 兵庫県西宮市鳴尾浜 1 丁目 25 番 1 号 東洋建設(株)鳴尾研究所 TEL 0798-43-5903

の混合が少ない状態で打ち上がった。コア内に投入した後のスラリー天端高は3時間以内にほぼ一定となった。最終天端高は1段目のみを投入した試料Tにおいては海水が混合しないケース①と比較して、ケース③、⑤、②の順に高くなった。2段目も投入した試料Hではケース①、③、②の順に高くなった(図-2)。

堆積層別に切り出したコア試料が飽和状態とし、含水比の測定結果より乾燥密度 ρ_d を算出した結果を図-3に示す。なお試料Hのケース①気中投入は養生期間中に飽和状態が保てなかったため割愛する。全てのケースにおいて底層の ρ_d は 1.1g/cm^3 前後であった(圧密効果)。また中層の ρ_d はトレミー投入したケース③④の方が水面投入したケース②より大きかった(トレミー効果)。しかし水中投入したいずれのケースも上層の ρ_d は中層や底層と比較して小さくなっていた(投入終了時に投入管内残存スラリーの落下に伴う海水の巻き込み影響)。なお、2段目を投入した試料Hは中層で ρ_d が不連続となっており、1段目表層部は2段目下層より圧密していなかった。

試料Tのコア試料を用いた三軸圧縮試験の結果を表-2に示す。気中投入したケース①では $\phi=28.7^\circ$ であり、水中投入で最も乾燥密度の大きかったケース④では $\phi=21^\circ$ 程度、最も小さかったケース②においては $\phi=10^\circ$ 程度であった。

(3) 考察

乾燥密度 ρ_d の比較より、トレミー管の筒先をスラリー内に入れた高濃度スラリーの投入方法は埋立密度を増加させる効果があることが確認できた。法肩からの投入においても水面下投入よりは効果があることが確認できた。いずれの投入方法においても1回の投入における底層は圧密の効果により、投入したスラリーより含水比が小さな状態で堆積する可能性がある。トレミー投入の場合は底層から中層にかけて密実な地盤で埋立可能となり、多くの灰が処分可能となる。しかし堆積表層部に打ち継ぎした場合、打ち継ぎ下の堆積層は圧密しにくい。その傾向は水面投入した場合に顕著となり、埋立地盤全体の平均乾燥密度が小さくなる。

本実験においては高濃度スラリーでの埋立地盤の ϕ は $10\sim30^\circ$ の範囲であり、 ρ_d が大きなコアほど ϕ は大きかった。そのためトレミー管を用いた高濃度スラリー埋立は地盤の安定上において有効な方法と考えられる。一方、粘着力は $c=0\sim40\text{kN/m}^2$ であり、堆積終了後の時間経過に伴う自硬性の影響が考えられるが、定性的な傾向は不明であった。ただし、本実験においては、同一コアでも乾燥密度の異なるコアの上中下層の試料を用いて三軸試験を実施したため、 ϕ や c のバラツキが大きくなったと考えられる。

3. まとめ

石炭灰(フライアッシュ)を海面処分場に埋め立てる場合にトレミー管を用いた高濃度スラリー埋立工法の採用が有効であることを室内試験で確認した。その際、打設層厚を大きくして打設時の圧密を促進させることが重要であることが示唆できた。また水面下から斜め投入した場合においても、周辺海水を巻き込まずに堆積することができれば一定の密実地盤が造成できる可能性を確認した。なお、トレミー管の筒先を埋め立て地盤内に入れて施工することが可能であることは現地実証試験²⁾においても確認されている。

参考文献

- 1) 日本フライアッシュ協会：石炭灰ハンドブック平成22年度版，2010。
- 2) 津田ら：トレミー管による石炭灰スラリーの高密度埋立，雑誌「電力土木」，1月号，pp.75-80，2016。

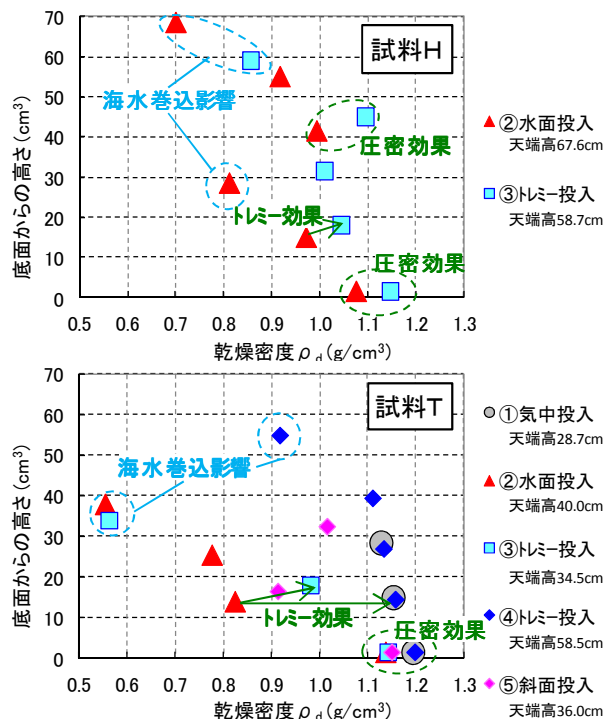


図-3 乾燥密度の鉛直分布

表-2 三軸試験結果(CU, 試料T)

ケース	①	②	③	④	⑤
気中/水中	気中	水中			
内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	28.7	10.4	19.7	21.2	29.0
粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$	4.3	23.0	4.6	24.3	6.9