

V-9 石炭灰を主原料とした粒状地盤材料の液状化特性について (下水道開削管路・マンホール部への埋戻し材料として)

四国電力(株) 正会員 佐々木勝教
 (株)四電技術コンサルタント 正会員 合田 延寿
 // 正会員 ○中村 俊夫
 (財)四国産業・技術振興センター 正会員 岩原 廣彦

1. はじめに

近年大規模な地震の発生により耐震対策の不十分さが浮き堀りになっている。中でも平成16年新潟県中越地震では至るところで下水道マンホールが浮き上がるなど管路施設が大きな被害を受けた。国土交通省「下水道地震対策技術検討委員会」では、この浮き上がりは管路布設埋戻し部での液状化現象によるものと分析し、埋戻し時の対策について表-1に示す緊急提言¹⁾を行っている。

表-1 被害管路施設の復旧に関する緊急提言

埋戻し方法	埋戻し材料	施工管理	備考
埋戻し部の締固め	良質な砂(最適含水比に近い状態で)	締固め度で90%程度以上	
碎石による埋戻し	平均粒径 D_{50} が10mm以上かつ10%粒径 D_{10} が1mm以上の碎石	締固め度で90%程度以上	今回の対象
埋戻し部の固化	セメントの添加量は一軸圧縮強度が100~200Kpa(100~200kN/m ²)	現場強度で50~100Kpa(50~100kN/m ²)	

下水管路やマンホールは、一般的に狭隘部での施工が多く、通行止め等の施工制約条件が厳しい中で行われるため、現場での締固め作業においては緊急提言に示されているような十分な施工管理が行われにくいものと想像される。

そこで本稿では、石炭火力発電所で副産される石炭灰に水とセメントをミキサーで攪拌・混合・造粒して製造した粒状地盤材料²⁾(以下「石炭灰粒状材」という)の下水道開削管路・マンホール部埋戻し材としての適用性を確認するため実施した、各種室内試験および現場試験のうち、粒度試験、締固め試験および液状化強度試験結果について報告する。

2. 粒度試験

図-1に試験に用いた石炭灰粒状材の粒度分布を示す。平均粒径は $D_{50}=10\text{mm}$ 程度、10%粒径は $D_{10}=2\text{mm}$ 程度であり、表-1に示す碎石による埋戻し条件を満足している。また、同図には液状化の可能性のある土の粒度分布範囲³⁾を併せて示しているが、石炭灰粒状材は、液状化の可能性が小さいと判断される。

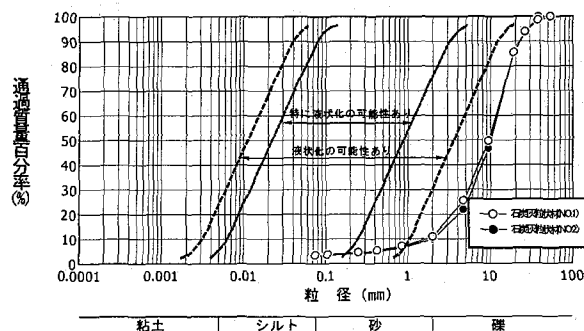


図-1 石炭灰粒状材の粒度分布(港湾基準との比較)

3. 室内締固め試験

石炭灰粒状材の締固め特性を把握するため、締固め試験を行った。図-2に試験結果を示す。通常の土質材料と同様、最適含水比($w_{opt}=26\%$)での密度のピークが見られるが、この付近では含水比の変化が密度に与える影響は小さい。

4. 現場転圧試験

下水道マンホールの埋戻し施工を模擬するため、地盤にトレンチ(幅60cm×長さ100cm×深さ80cm)を掘り、トレンチ内で石炭灰粒状材の転圧試験を実施した。標準的な施工を想定した試験では巻出し厚を20cm、実際の現場でのルーズな施工

を想定した試験では捲出し厚を 40cm とした。また、締固め時の含水比の影響を調べるため、自然含水比および最適含水比よりも湿潤側の 2 ケースについて試験を実施した。標準的な施工条件では、いずれも 90% 以上の締固め度が期待でき、特に湿潤側の含水比 (27.4%) においては、98.9% と高い締固め度が得られることがわかった。また、ルーズな施工条件でも湿潤側含水比 (27.7%) では 88.1% と比較的高い締固め度が得られた (表-2)。

表-2 現場転圧試験結果

試験ケース					試験結果		
試験条件	番号	捲出し厚	転圧回数	含水比	含水比 (%)	密度比 (%)	CBR (%)
標準的な施工	①	20cm	5回	自然含水比	23.5	92.4	27.3
	②	20cm	5回	湿潤側含水比	27.4	98.9	20.2
ルーズな施工	③	40cm	3回	自然含水比	22.4	79.8	5.0
	④	40cm	5回	自然含水比	24.3	79.3	5.3
	⑤	40cm	5回	湿潤側含水比	27.7	88.1	10.4

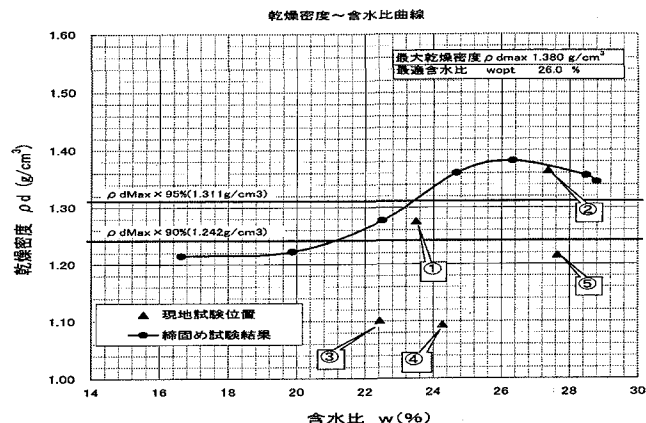


図-2 締固め試験結果

5. 液状化強度試験

繰返し非排水三軸試験により石炭灰粒状材の地震時液状化特性について把握した。本試験での有効拘束圧は一般的な 49 kN/m^2 とし、3種類の締固め度 (90%, 95%, 99%) に締固めた試料を用いた。また、実施工条件 (下水道開削管路やマンホールの深さは 1.5~2.0m 程度) を考慮した有効拘束圧 19.6 kN/m^2 、締固め度 95% 試料でも試験を実施した。

図-3 に軸ひずみ $DA=5\%$ 時の液状化強度曲線を示す。同図より有効拘束圧が小さいほど、また締固め度が大きくなるほど液状化強度は増大することがわかる。さらに繰返し回数の少ないところの液状化強度は比較的急激な立ち上りを示しており、密な砂と同様、膨張性挙動に起因したサイクリックモビリティによる強度増加を反映している⁴⁾。このため、石炭灰粒状材を下水道開削管路やマンホール部に埋戻し材として使用する場合、締固め度 90% 以上で施工すれば、密な砂と同程度の液状化強度を確保できることから、埋戻し部が液化状態になることによる被害は生じにくいものと考えられる。

6. まとめ

小規模な現場で土を適切な含水比で施工することは、手間も経費もかかり現実的でない。その点、石炭灰粒状材は容易に適切な含水比状態で締固めることができ、液状化についても締固め度 90% 以上で施工すれば、埋戻し材として有効であることが確認できた。今後は、実用化を目指し、現場試験施工等を行う予定である。

なお、繰返し非排水三軸試験にあたっては、(株)四国総合研究所の御協力を頂きました。ここに記して、謝意を表します。

[参考文献]

- 「管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言」(下水道地震対策技術検討委員会とりまとめ) について
国土交通省HP 都市・地域整備局 下水道部(平成 16 年 11 月)
- 岩原廣彦, 佐々木勝教, 石井光裕: フライアッシュを主原料とした天然粒状代替材の開発, 電力土木, NO. 317, pp. 9-19
- (社)日本港湾協会 港湾の施設の技術上の基準・同解説 上巻(1999. 4)
- 山本陽一, 兵動正幸, 黒島一郎, 谷垣正治: 砂および粘土の繰返しせん断強度に基づく有効応力モデルとその液状化解析への適用, 土木学会論文集, No. 561/III-38, pp. 298-308, 1997

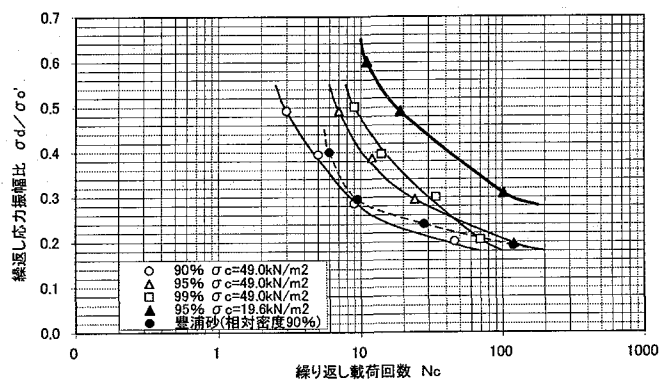


図-3 液状化強度試験結果 (DA=5%)