

## 袋詰めフライアッシュセメントの硬化実験

東洋建設(株) 正会員 ○山崎 智弘  
東洋建設(株) 正会員 角田 紘子

## 1. はじめに

石炭火力発電所から排出されるフライアッシュは年間約 1200 万 t であり、石炭消費量の約 10%が発生している。この石炭灰の約 70%はセメントの原料として利用されているが、土木分野においても地盤改良材、道路路盤材、盛土材、裏埋材などとして 14%程度、170 万 t 程度まで有効利用が普及してきている<sup>1)</sup>。これらの材料は主に破碎材、造粒材、塑性材、スラリー材として製造され、建設工事に使用されている。破碎材は、石炭灰にセメント・水等を加えて固化させた後に破碎した土砂代替品である。造粒材は、石炭灰にセメント・添加材・水を加えて造粒して製造した土砂代替品である。また塑性材は工事現場近傍にて石炭灰にセメント・土砂・水を混合攪拌して製造した材料である。スラリー材は施工場所において石炭灰にセメント・水等を混合してスラリー状にして打設する材料である<sup>2)</sup>。これらはいずれもセメントと水を混合して製造する材料である。

一方、有効利用できない石炭灰は、港湾内に築造される管理型廃棄物最終処分場に埋立処分される。埋立方法には、湿灰を直接投入する方法や、スラリー化して圧送打設する方法がある<sup>3)</sup>。しかし水中にこれらの工法を用いて埋め立てして造成される地盤の法勾配は 1:10 より緩く、陸地化するまでに期間を要している。さらに海面処分場の護岸をケーソンや鋼板セルなどの直立堤で築造する場合、堤体背面を石炭灰で埋め立てると、地震時に石炭灰が液状化し直立堤に大きな水平力が作用することが懸念される。そのため直立堤背後の埋立地盤には液状化しない材料を用いる、もしくは石炭灰地盤に改良を施すなどの対応が必要となる。

本研究では、フライアッシュとセメントを均一に混合した粉体状の混合物を、通水防塵性の袋に封入した大型土嚢を製造し、これを管理型海面処分場の直立堤背面に投入し積層させ、海水中にて水が袋内に浸水し水和反応により強度発現し、地盤を形成する新工法を想定する。袋体の積み方は、適用現場に応じ正積みまたは乱積みとする。本実験では、セメントの混合割合および袋材の大きさが、袋体内の強度に及ぼす影響について考察した。

## 2. 方法

実験に用いた袋は工事現場等で使用する安全旗（テトロンポンジ製）を縫製し、大きさ 23.5cm×37.5cm（満載時半径 8cm）を 4 枚、47.0cm×96.0cm（同 16cm）を 2 枚、70.0cm×140.0cm（同 23cm）を 1 枚準備した。フライアッシュは JIS II 種灰（(株)テクノ中部、碧南産）を用いた。基本配合表を表-1 に示す。セメント添加量はフラ

表-1 配合表と実験結果

ケース	0	1	2	3	4	5	6
袋形状 (cm)	23.5×37.5				47.0×96.0		70.0×140.0
フライアッシュFA(kg)	5.00				50.00		100.00
セメントC(kg)	0.00	0.10	0.30	0.50	1.00	2.00	2.00
セメント混合割合C/FA(%)	0.0	2.0	6.0	10.0	2.0	4.0	2.0
養生後の質量W(kg)	7.55	7.18	7.46	7.71	71.6	71.4	146.1
養生後の体積V(L)	5.15	4.50	4.63	4.75	49.09	48.11	99.54
浸水した水量W <sub>w</sub> (kg)	2.55	2.08	2.16	2.21	20.60	19.40	44.07
単位体積重量γ=(W/V)(g/cm <sup>3</sup> )	1.466	1.598	1.610	1.623	1.459	1.484	1.467
FA乾燥密度γ <sub>d</sub> =FA/V(g/cm <sup>3</sup> )	0.971	1.112	1.079	1.052	1.019	1.039	1.005



写真-1 実験状況

キーワード フライアッシュ有効利用, 袋詰め, 浸水固化, 室内実験

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

イアッシュ質量に対して 2~10%の範囲とした。フライアッシュとセメントを粉体の状態でミキサーにて5分間空練りし、袋体に詰め、そして人力で押す程度に袋内の空気を袋外に排出し、上部を固縛した。その後養生容器内に配置し、水道水を袋全体が沈む程度に満たした。袋内に浸水する際に気泡が発生した(写真-1)。

1ヶ月間の水中養生を行った後、含水した袋体を取り出し、質量と体積を測定した。また袋体の高さ方向中央部を上下に切断した。山中式土壌硬度計(標準型)を用いて切断面の中心から四方に 2cm 間隔でフライアッシュの固化強度を測定した(写真-2)。

### 3. 結果と考察

山中式土壌硬度計による測定値  $X(\text{mm})$  から一軸圧縮強度  $q_u$  への換算は文献4) 5) に準拠した。文献4) では流動化処理土を対象として  $X$  と  $q_u$  の相関を示している。文献5) ではこの相関を近似式にし、 $X$  から  $q_u$  を推定している。本実験でも切断部中央から四方同距離の測定値の平均値  $X$  を同手法により  $q_u$  に換算した。表-1 に示す養生後の重量および体積等の結果と、図-1 に示す強度換算結果より、以下の事項が考察できた。

- ・ケース 0 は袋体作成後 4ヶ月経過時点でも固化せず、山中式土壌硬度計での測定ができなかった。
- ・ケース 0 を除きすべてのケースでフライアッシュの乾燥密度  $\gamma_d$  は  $1.000 \text{ g/cm}^3$  以上であった。
- ・ケース 1, 2, 3 およびケース 4, 5 より、セメント混合割合の増加に伴い高強度となった。
- ・いずれのケースも袋体の外縁近傍部は中央部と比較して強度低下していた。外縁近傍部は袋外の水と触れ続けた影響である。そのためケース 1, 4, 6 を比較すると、袋体径が大きい方が袋全体の強度は大きかった。
- ・液状化判定基準を  $q_u=100 \text{ kN/m}^2$  以上とすると、ケース 6 よりセメント混合割合 2%において概ね満足した。
- ・袋体径の大きなケース 6 においても中央部まで有意な強度が発現していた。これは袋体全体に水が浸透し、固化反応が生じたためである。フライアッシュ粒子の 80%程度はシルトに分類される粒径であるため、粘土と比較して透水係数は大きい。そのため袋体内に水が浸透しやすかったと考えられる。

### 4. まとめ

石炭灰の有効利用工法として、粉体のままセメントとともに袋体に詰め、施工箇所の水中に没した後に強度発現することで製造から設置までの陸上作業の時間短縮が可能な工法を想定した。室内試験の結果、セメント混合割合 2%にて  $q_u=100 \text{ kN/m}^2$  程度を概ね満足した。この結果はセメント使用量が少ない安価な工法となる可能性がある。また土砂と比較して軽量であり、軽量盛土材としての活用も期待できる。課題としては、高強度、通水防塵性の袋素材の選定と、袋に粉体を投入して固縛する際に空気を抜くための工夫が挙げられる。

### 参考文献

- 1) 一般財団法人石炭エネルギーセンター：石炭灰全国実態調査報告書(平成 28 年度実績), 平成 30 年 2 月。
- 2) 一般財団法人石炭エネルギーセンター：石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(統合改訂版), 平成 30 年 2 月。
- 3) 日本フライアッシュ協会：石炭灰ハンドブック, p. II-214, 平成 27 年 11 月。
- 4) 土木研究所：流動化処理土利用技術マニュアル《平成 19 年/第 2 版》, 技報堂出版, p15, 2008。
- 5) 菊池喜昭, 岡祥司, 水谷崇亮：高炉水砕スラグ硬化促進工法の現場適用性の検討, 港湾空港技術研究所報告, Vol. 49, 2, p. 30, 2010。

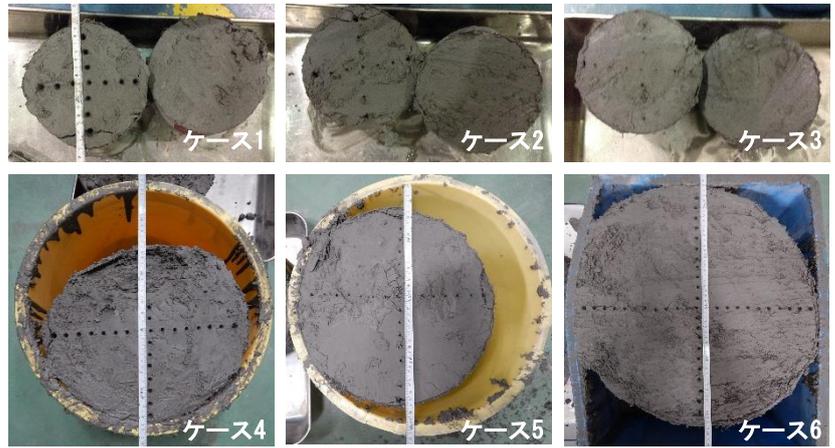


写真-2 測定状況

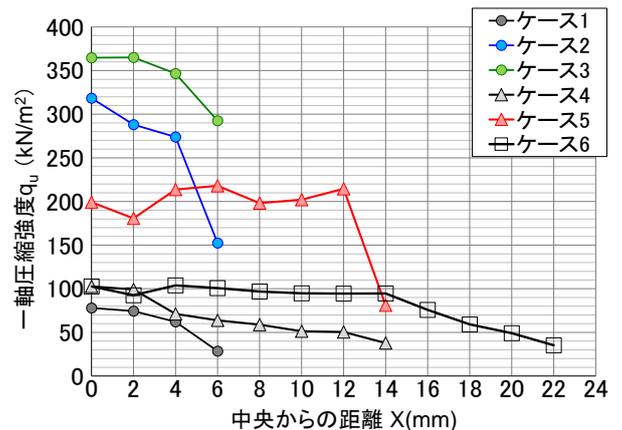


図-1 実験結果 (強度分布)