

大阪大学工学部	学生会員	○今岡	咲綾
大阪大学大学院工学研究科	学生会員	清水	達矢
大阪大学	正会員	緒方	奨
大阪大学	正会員	乾	徹
東洋建設（株）	正会員	山崎	智弘

1. はじめに


石炭灰フライアッシュ（以下、FA）はセメント原料等に広く有効利用されるが、一部のFAは発電施設に隣接して建設された海面処分場に埋め立て、造成した埋立地盤を土地として利用する場合がある。海面処分場の遮水性護岸の合理的設計や跡地利用における地盤の支持力推定に際しては、FA埋立地盤の強度変形特性が重要な設計指標となる。著者らは比較的高密度での埋立てが可能となる高濃度スラリーを海中に投入する方法で造成されるFA埋立地盤を対象に、その強度変形特性の検討を従来より実施しており^{1),2)}、FAの粒度分布や塑性限界、CaO含有量、酸性率等が地盤密度や強度変形特性の支配的要因であることを明らかにしてきた。一方、これらの一連の研究では、作製した供試体を水浸下で密閉養生を行っている。しかし実際の埋立施工では海面にスラリーを順次投入するたまた、常時海水に接している状態である。また、軟弱地盤のセメント安定処理土では、上載圧付与により圧縮強さが増加し、総じて破壊挙動が脆性的になることが明らかになっている³⁾が、水和生成物形成による硬化が生じるという点で同じFAでは、埋立時に想定される上載圧が強度変形特性に及ぼす影響を評価した例はほとんどみられない。

以上の背景より、本研究では海面処分場にFAスラリーを投入して造成される埋立地盤を対象に、FAの種類や初期密度を変えて想定される上載圧を付与した一次元圧密状態で海水中で養生した場合の強度変形特性を非圧密非排水三軸圧縮試験によって評価し、養生条件の違いが強度変形特性に及ぼす影響を実験的に評価している⁴⁾。本報告では、紙面の制約上、1種類のFA試料を1水準の初期密度で作製したFAスラリー供試体の強度変形特性を報告する。

2. 対象試料と試験方法

本報では、CaO含有量が多く、pHが高い、比較的高い自己硬化性が期待されるFA試料の試験結果を報告する。試料の基本特性を表-1に示す。

表-1 使用したフライアッシュの基本特性

粒度 (%)	砂分	0.70	化学組成 (%)	SiO ₂	60.92
	シルト分	72.7		Al ₂ O ₃	22.41
粘土分	19.2	Fe ₂ O ₃		3.80	
均等係数	5.25		CaO	6.65	
曲率係数	1.49		MgO	1.03	
粒子密度 (g/cm ³)	2.293		酸性率 (%)	7.26	
外観		pH		12.96	
		電気伝導率 (mS/cm)		8.1	
		強熱減量 (%)	600°C	1.4	
			1150°C	3.0	

FAスラリーは人工海水（八洲薬品製 金属腐食試験用アクアマリン）とFAを練り混ぜてミキサーで攪拌することにより作製した。本研究では均一かつ必要な流動性を有する最小限の水を添加し、自重圧密完了後の乾燥密度 ρ_d が1.07 g/cm³となるようにスラリーを作製した。

50 mm 径、100 mm 高さのモールドにスラリーを絨充填後、プラスチック製のコンテナに人工海水を貯め、供試体全体が水面下に入るようにして、水中密閉養生を1週間行い、自重圧密が完了することを確認した。その後、片面排水で海水と接している状態で標準圧密試験装置を用いて、埋立深さ4 m、8 mに相当する上載圧である25 kPa、50 kPaを一次元圧密状態で3週間作用させ、海水中で養生を行った（以下、海水浸漬養生）。養生後、側圧50 kPaの条件で非圧密非排水三軸圧縮試験（UU試験）を実施し、非排水せん断挙動の評価を行った。また、上載圧をかけず4週間水中密閉養生した供試体、上載圧0 kPaで海水浸漬養生した供試体についてもUU試験を実施し、養生条件が強度変形特性に及ぼす影響を考察した。

3. 試験結果および考察

表-2 に載荷養生前、および載荷養生後の供試体の乾燥密度、および飽和度を示す。また、表-3 に UU 試験の結果を示す。表-3 中の初期降伏応力は、せん断開始時の弾性変形から塑性変形に転じる応力-ひずみ関係の傾きが変わる点での軸差応力で定義しており、その時のひずみを降伏ひずみとしている。

表-2 供試体の物性値

供試体		乾燥密度 ρ_d [g/cm ³]		飽和度 [%]
		載荷養生前	載荷養生後	
J 灰	高密度	水中密閉養生	1.094	100.50
		0kPa	1.096	93.28
		25kPa	1.118	95.56
		50kPa	1.110	95.13

表-3 圧密非排水三軸圧縮試験の結果

供試体		初期降伏 応力 [kPa]	降伏ひず み [%]	最大軸差 応力 [kPa]	破壊ひず み [%]	変形係数 [MN/m ²]	
J 灰	高密度	水中養生	446	0.720	498	7.527	61.9
		0kPa	254	0.808	346	1.630	31.4
		25kPa	259	1.087	294	1.568	23.8
		50kPa	43	0.222	305	1.456	19.4

表-3 より、対象 FA はスラリー充填後 1 週間後から載荷しているため、自硬性によって海面処分場内で想定される程度の上載圧では乾燥密度は変化していない。このことから、載荷養生による密度向上効果はほとんどないと判断できる。図-1 に、上載圧 0, 25, 50 kPa で海水浸漬養生した供試体の軸差応力-軸ひずみ関係を示す。いずれもせん断開始直後に軸差応力が急増し、軸ひずみ $\epsilon_a = 1.5\%$ あたりで 300 kPa 程度の最大軸差応力に達し、その後脆性的な破壊挙動を示した。上載圧の相違による強度変形特性への顕著な影響はほとんどみられず、この要因としては、表-1 に示すように CaO 含有量が大きく、高 pH であるため自硬性が高いことが挙げられる。

図-2 に上載圧を付与していない海水浸漬養生および水中密閉養生供試体の軸差応力-軸ひずみ関係、過剰間隙水圧-軸ひずみ関係を示す。最大軸差応力・変形係数が海水浸漬養生より水中密閉養生の供試体のほうが大きく、強固な供試体であることが分かる。間隙水圧については、水中密閉養生供試体はピーク強度に達した後は膨張傾向に転じ、間隙水圧が低下する傾向がみられた。この理由として、海水浸漬養生による軟化によってせん断に伴い大きな過剰間隙水圧が発生したこと、水中密閉養生供試体では正のダイレイタンシーの発生や不飽和化によって過剰間隙

水圧が負の値になったことが考えられる。その結果、平均有効主応力に差異が生じ、密閉水中密閉養生供試体の強度が大きくなったと考えられる。以上より、密閉水中密閉養生と実施工で想定される海水浸漬養生では、前者の方が高い強度を発現する可能性が示唆された。

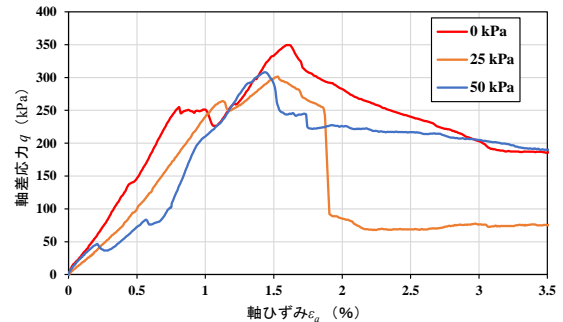


図-1 応力-ひずみ曲線（上載圧の違い）

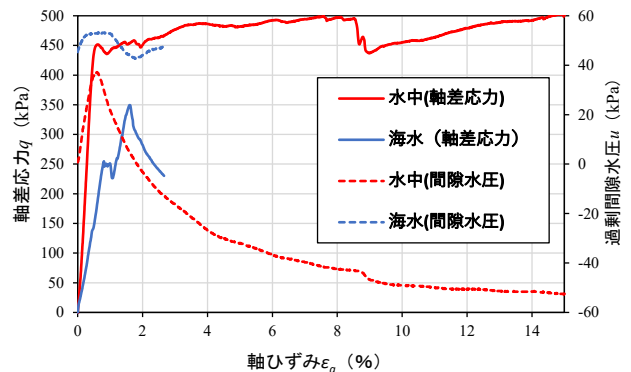


図-2 軸差応力・間隙水圧-ひずみ曲線（養生環境の違い）

4. おわりに

海面処分場に埋め立てられた FA スラリー地盤の強度変形特性に及ぼす養生条件の影響を実験的に評価した。上載圧を付与した海水浸漬養生では自硬性により圧密が進展しておらず、強度変形特性に著しい影響は見られなかった。一方、水中密閉養生では、ダイレイタンシー特性の差異により強度が予想される実現場の強度より大きく出ることが示唆された。

参考文献

- 1) 山田桂吾ら：フライアッシュスラリー埋立地盤の密度に及ぼす材料特性の影響の実験的検討，第 13 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，pp.259-262, 2019.
- 2) 清水達矢ら：フライアッシュ埋立地盤の非排水せん断強度に及ぼす密度と材料特性の影響，第 14 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，pp.285-288, 2021.
- 3) 山本哲朗ら：上載圧下で養生したセメント安定処理土の一軸圧縮強度特性，土木学会論文集 No. 701/III-58, pp. 387-399, 2002.
- 4) 今岡咲綾：石炭灰フライアッシュ埋立地盤の強度変形特性に養生条件が及ぼす影響，大阪大学工学部卒業論文，2022.