

高炉水砕スラグ埋立地盤の地盤特性の経時変化(その2. 動的特性)

山口大学 正会員 松田 博 港湾空港技術研究所 正会員 山崎 浩之
 鐵鋼スラグ協会 正会員 中川雅夫 山田 紘 鷹野 明 上山 隆徳 ○篠崎晴彦

1. はじめに

港湾分野における高炉水砕スラグ(以下、水砕スラグ)は、軽量・高強度等の優れた地盤特性の他に、潜在水硬性があり、裏込め材利用時の土圧軽減・液状化対策としてより合理的な材料として期待できる。しかし、現場での固結に伴う動的特性に関する調査事例は少ない¹⁾。そこで、本稿では製鉄所内で測定した水砕スラグ埋立地盤の経時的な動的特性について報告する。尚、固結強度の経時変化についてはその1²⁾で報告予定である。

2. 試験結果

試験施工を実施した埋立地盤は、製鉄所構内の空気をGL-6.3mまで掘削してできた開口部に、水砕スラグを用いて厚さ約4.9mの埋立を行い、さらにその上部に掘削残土により約1.4mの覆土で仕上げて築造した²⁾。調査項目は、施工直後から10か月までの原位置試験(標準貫入試験、ワング式2重管コン貫入試験)、および施工直後から12か月までの採取試料による室内土質試験である。その内、動的試験は、施工後6~12か月後に採取した試料4mを1mごとに分割して、各1mの中で試料を10cmごとに切り出して、一軸圧縮試験と繰り返し非排水三軸試験(JGS-0541)あるいは動的変形試験(JGS-0542)に分けて実施した。表-1は動的試験を実施した試料の一覧と一軸圧縮試験結果を示したものである。尚、一軸圧縮試験が2本以下しかできなかった箇所は試料が脱落していたり、水平に亀裂がはいっていたりして、供試体として成型できなかったためである。

表-1 動的試験実施箇所と一軸圧縮試験結果の概要 (□: 液状化試験 □: 動的変形試験) 単位kN/m²

養生期間	サンプル No.	深さ(m)			
		2.2-3.2m	3.2-4.2m	4.2-5.2m	5.2-6.2m
6か月	水砕① S1-⑥-6	—	—	①38.9 固結小	—
9か月	水砕② S2-⑨-1	①103②199③361 固結大	①14.9	①26.9 固結小	①211②492 固結大
10か月	水砕① S1-⑩-1	①1044.8②987.6③1063.1	①707.6②470.9③662.6	①166.6②229.5③84.2	①133.8②38.7③81.4
	水砕② S2-⑩-1	①475.7②586.7③394.1	①244.0②97.1③201.9	①813②927.7③560.4	①351.8②238.2③301.7
	水砕② S2-⑩-2	①531.7②556.9③523.9	①632.0②245.0③677.6	①18.8②14.2③13.1	①268.9②264.1③548.1
12か月	水砕② S2-⑫-3	①1481.2②1289.9③899.4 ④613.8⑤1414.7			

図-1, 2は、施工後9か経過後のS2-⑨-1の試料について繰り返し非排水三軸試験(JGS-0541)を行った実験結果の一例を示したものである。図より、深度2.2-3.2mの試料では、表-1に示す隣接試料の一軸圧縮強さは $q_u=100\text{kN/m}^2$ 以上と固結も進んでおり、過剰間隙水圧比はある程度上昇するものの0.8程度で収束しつつ、有効応力を保持した状態で最終的に伸張側にひずみが蓄積してネッキング破壊した。試験後の供試体は破断部を除いて、固結の状態を維持しており、明らかに液状化破壊でないと考えられる。また、深度5.2-6.2mの試料においても図-1と同様にネッキング破壊したことを確認している。一方、図-2に示す深度4.2-5.2mの試料の場合には、一軸圧縮強さの結果は1つしかないが $q_u=26.9\text{kN/m}^2$ と全体的に固結が小さく、液状化試験においても過剰間隙水圧比が1になり液状化破壊した。このような固結の小さい試料では、繰り返し載荷中に粒子の結合が切れて、元の粒状材に戻り、液状化することを確認している。さらに、12か経過後の現場採取試料S2-⑫-3の深度2.2-3.2mの液状化試験は繰り返し強度比で1.0においても全く破壊しなかった。既に、固結した材料の繰り返し強度は一軸圧縮強さとともに大きくなることが知られており^{3,4)}、今回の試験より、少なくとも $q_u=100\text{kN/m}^2$ 程度以上あれば液状化しないことが確認できた。以上より、参考文献²⁾に示すように同一現場での採取試料の一軸圧縮強さが最低でも300~400kN/m²以上あることから判断して、12か経過後は、液状化しないと考えてよいことがわかった。

キーワード 高炉水砕スラグ、固結、液状化、動的変形

連絡先 〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町2-12-5 カワイビル3階 TEL 03-5643-6016 FAX 03-5643-6018

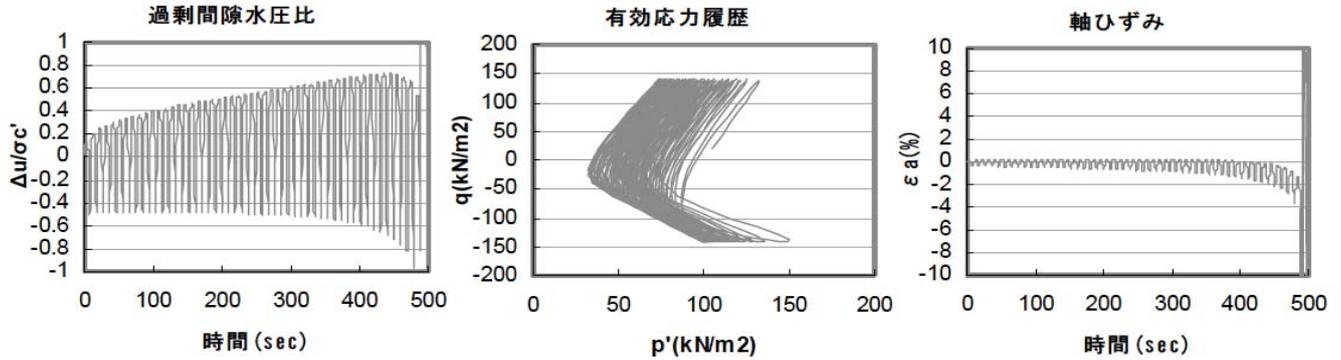


図-1 液状化試験結果例(1)(S2-⑨)-1 2.2-3.2m $q_u=103-361\text{kN/m}^2$ $\sigma_d/2\sigma_c=0.7$

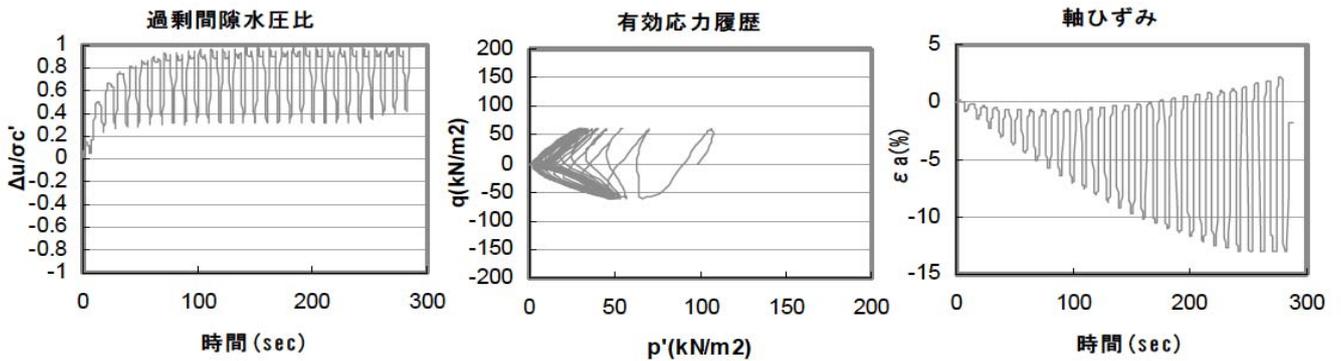


図-2 液状化試験結果例(1)(S2-⑨)-1 4.2-5.2m $q_u=26.9\text{kN/m}^2$ $\sigma_d/2\sigma_c=0.3$

図-3 は、施工後 6 か月および 10 か月経過後の深度 3.2-4.2m の 3 試料について動的変形試験により求められた $G-\gamma$ 、 $h-\gamma$ 関係を示したものである。

同図には、参考として天然砂、セメント改良土の試験結果例³⁾も合わせて示している。図より、セメント改良土と同様に天然砂に比べて剛性は大きくなっており、微小ひずみ $10^{-3}\%$ における G_{eq} に関して 10 か月経過後では 6 か月経過後に対して 1.5~2 倍程度に増加している。一方、履歴減衰率 $h(\%)$ はひずみが $10^{-1}\%$ 以上において小さくなる傾向にあり、セメント改良土とほぼ同様と考えられる。

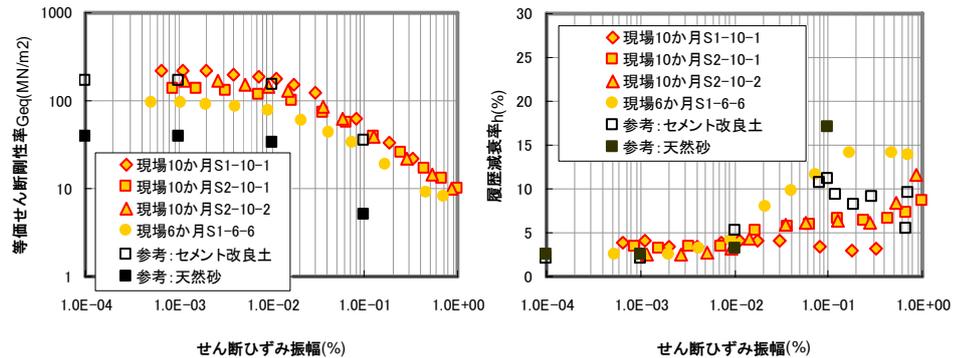


図-3 $G_{eq}-\gamma$ 、 $h-\gamma$ 関係

図-4 は、一軸圧縮強さと微小ひずみにおけるせん断剛性率 G_{eq} の関係を示したものである。同図には参考としてセメント改良土での試験結果⁵⁾も合わせて示してある。図より、水砕スラグもセメント改良土と同様な関係があると考えられ、現場での PS 検層で固結、液状化強度の把握も可能である。実地盤での地震応答特性の評価とともに今後の課題である。

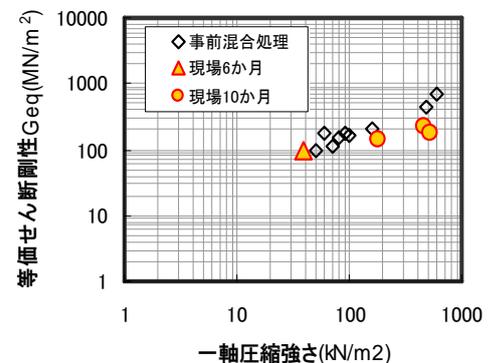


図-4 一軸圧縮強さと G_0 と関係

参考文献 1)山田紘，千賀平造：水砕スラグ埋め立て地盤の土質特性，第 57 回土木学会年次学術講演会 2002.9 2)鈴木操他：高炉水砕スラグ埋立地盤の土質特性の経時変化(その 1. 固結の経時変化特性)，第 60 回土木学会年次学術講演会,2005.9(投稿中)3)善功企，山崎浩之他；セメント混合した砂質土の埋立工法に関する研究，港研資料 No.579, 1987.6 4)松田 博，篠崎 晴彦他：高炉水砕スラグの硬化が液状化特性に及ぼす影響，第 40 回地盤工学研究発表会，2005.7(投稿中) 5)(財)沿岸開発技術研究センター：事前混合処理技術マニュアル，1999.4