

水砕スラグ埋め立て地盤の土質特性

鉄鋼スラグ協会 正会員 山田 紘
鉄鋼スラグ協会 千賀平造

1. まえがき

高炉水砕スラグの岸壁・護岸などの裏込め材への適用については、すでに「港湾工用水砕スラグ利用手引き書」¹⁾が発刊され、兵庫県南部地震の復興工事などで100万トン以上の使用実績がある。しかし、埋め立て地盤としての土質特性に関する研究は比較的少なく²⁾³⁾、地盤の地震応答解析に必要な動的変形特性のデータについては皆無である。本稿では、これらのデータを得るために、石川県七尾港で埋め立てられた水砕スラグ地盤の土質特性（施工後2年8ヶ月）を調査した結果について述べる。さらに、他の現場データも含めて水砕スラグ（海中）埋め立て地盤の土質特性をまとめた。

2. 七尾港における水砕スラグ地盤の土質特性

現場は1998年3～4月、海を水砕スラグで埋め立てたスラグ地盤（図-1参照）である。水砕スラグはガット船により直接海中に投入され、締め固めは実施されていない。水砕スラグの埋め立て完了後約4ヶ月で上部に山砂が盛土され、同年9月水砕スラグ下面の粘性土層がプラスチックボードドレイン工法により地盤改良された。施工後、2年8ヶ月（2000年12月）でボーリング調査などを実施した。

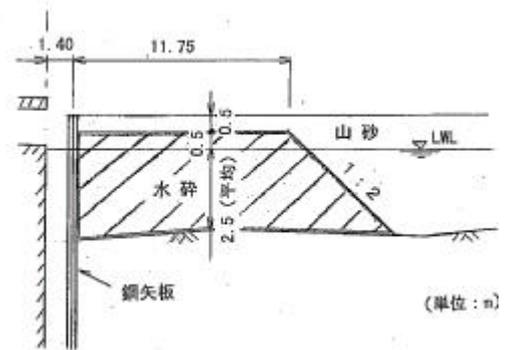


図-1 水砕スラグ埋め立て断面（七尾港）

2-1. 間隙比と標準貫入試験結果

試験体採取位置における間隙比を図-2に示す。縦軸は水砕スラグ層の表面位置を基準とした深さ（TL）である。表層部約50cmは埋め立て施工時、空中に位置していたことから（図-1参照）中層部より間隙比が大きくなったと考えられる。

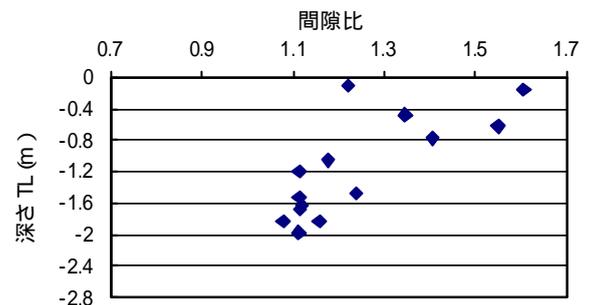


図-2 間隙比と深さの関係

材令5ヶ月の結果も含めた標準貫入試験結果を図-3に示す。地盤改良により水砕スラグ層が沈下しているため、水砕スラグ層上面のレベルを一致させて図示している。材令2年8ヶ月の最大N値は、材令5ヶ月の約2倍の値となっている。表層部に比べて中層部のN値が大きくなるのは他の現場でも見られる傾向であるが、中層部の間隙比が小さいためと考えられる。

2-2. 液状化強度

「土の繰り返し非排水三軸試験（JGS T 541-1990）」を行った。試験体8体中6体については繰り返し応力振幅比 d/c' ($c' = 98 \text{ KN/m}^2$) を1.0近くまで高めて試験を行ったが、図-4に示すごとく、いずれの試験体も250回繰り返し載荷してもDA（両振幅軸ひずみ）は1%以下であった。この結果を用いて、道路橋示方書⁴⁾に基づく液状化判定を実施したところ液状化抵抗率 F_L は1.9以上となり、水砕スラグ地盤は液状化に対して十分大きな強度を有する地盤となっている。

2-3. 動的変形特性

「地盤材料の変形特性を求めるための繰り返し三軸試験（GS T 542-1995）」をGS-1（上層）とGS-3（下層）の試料に対して行った。それぞれのせん断弾性係数G-せん断ひずみ関係および履歴減衰率h関係を図-5に示す。試料が固結しているためにせん断弾性係数 G_0 （微小ひずみレベル）の値はそれぞれ $1, 100 \text{ MN/m}^2$ 、 $1, 260 \text{ MN/m}^2$ と豊浦砂（ 100 MN/m^2 弱）⁵⁾、

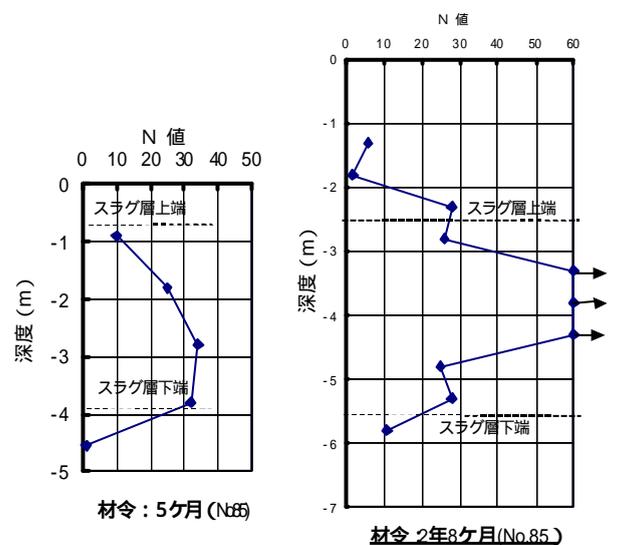


図-3 地盤の標準貫入試験結果

Key Words: 水砕スラグ、液状化強度、動的変形特性、せん断抵抗角、粘着力

連絡先: 神戸市中央区脇浜海岸通1丁目5番1号、(078)261-5658、(078)261-5650

セメント混合処理土（200～300MN/m²）⁶⁾に比べかなり大きな値となっている。ここでは示していないが、G - 曲線におけるGの低下傾向は豊浦砂とはほぼ同じであるが、セメント混合処理土に比べると緩やかである。h - 曲線におけるhの最大値は豊浦砂⁵⁾より小さく、セメント混合処理土⁶⁾なみの値となっている。

3. 水砕スラグ地盤のせん断抵抗角と粘着力

鉄鋼スラグ協会などで調査した他の現場データも含めて、圧密排水三軸圧縮（CD）試験結果のまとめ、せん断抵抗角 間隙比eの関係および粘着力c - 間隙比eの関係をそれぞれ表 - 1、図 - 6および図 - 7に示す。図中、水砕スラグ利用 手引書¹⁾に記載されている直線は、試験室作成の試験体に基づいた回帰直線である。図 - 7は表 - 1中、〔注〕2) 3) の試験体を除いたc - e関係を示している。せん断抵抗角は約35°以上、粘着力は約50kN/m²以上の値が得られている。施工後半年～約3年の範囲内では、材令が異なるにもかかわらずcとeに相関関係が見られる。

4. まとめ

七尾港（施工後2年8ヶ月）の埋め立て地盤では、N値は深さ方向に一定でなく、中層部が大きくなる傾向がある。中層部は60以上とかなり大きく5ヶ月材令の約2倍の値になっていた。せん断弾性係数G₀は1,200MN/m²程度と砂、セメント混合処理土に比べかなり大きな値が得られた。これまでの海中埋め立て地盤（施工後半年～約3年）の結果をまとめると、せん断抵抗角は約35°以上、粘着力は約50kN/m²以上であり、粘着力と間隙比に相関関係が見られた。

謝辞 データ整理に神戸大学・吉田信之助教授の御助言を賜りました。記して謝意を表します。

【参考文献】1) 沿岸開発技術研究センター、鉄鋼スラグ協会：港湾工用水砕スラグ利用手引書、平成元年8月 2) 菊池、高橋：水砕スラグの力学特性の経年変化、港湾技研資料 No.915、1998 3) 西、佐藤、南部：埋立地盤造成材料としての高炉水砕スラグの強度特性、土と基礎、30-12、1982 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編、平成8年12月 5) 地盤工学会：土質試験の方法と解説、平成12年3月 6) 沿岸開発技術研究センター：事前混合処理工法技術マニュアル、平成11年4月

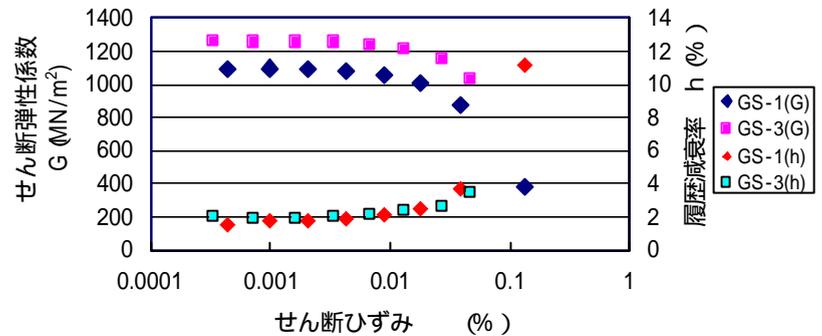


図 - 5 G - hの関係

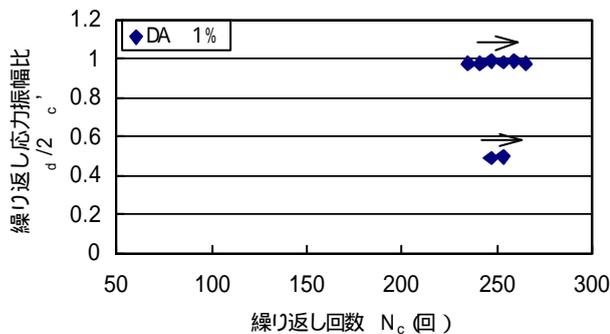


図 - 4 液状化強度曲線

表 - 1 三軸圧縮試験結果

試験体採取場所	材令	間隙比	せん断抵抗角 (°)	粘着力 c (kN/m ²)	試験体採取位置
七尾港	2年8ヶ月	1.215	44.8	375	中層
加古川製鉄所	377日	1.45	—	104	中、下層 ¹⁾
	566日	1.45	—	177	
CK地区岸壁	1年11ヶ月	1.495	47.0	0	上層 ²⁾
		1.608	34.0	152	中層
		1.702	37.6	63	下層
YK地区岸壁	6ヶ月	1.077	43.8	127	上層 ³⁾
		1.131	44.2	180	上層 ³⁾
		0.997	44.8	366	上層
		1.048	36.8	385	中層

〔注〕1) 海水槽埋め立てのため下面はコンクリート、(参考文献) 3) 参照
 2) 地盤の表層部 (未固結部)
 3) LWLから1m以内 (地盤表面は潮の干満あり)

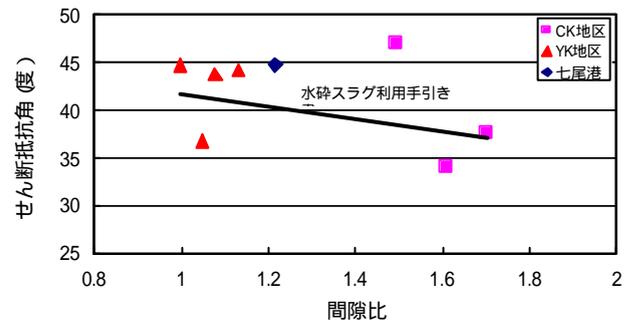


図 - 6 せん断抵抗角 間隙比の関係

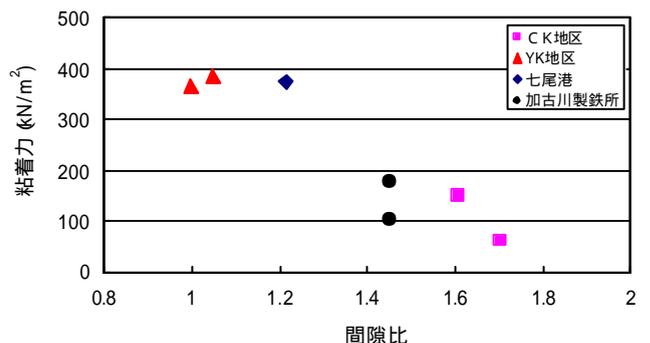


図 - 7 粘着力 間隙比の関係