

改良されたマサ土埋め立て地盤の 動的強度の調査

石原研而¹・軽部大蔵²・後藤洋三³

¹正会員 工博 東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278 千葉県野田市山崎2641)

²正会員 工博 神戸大学 工学部建設工学科 (〒657 兵庫県神戸市灘区六甲台町1)

³正会員 工博 (株)大林組技術研究所土木第五研究室 (〒204 東京都清瀬市下清戸4-640)

内陸直下型地震によって発生する高レベルの地震力に対して砂質地盤の液状化対策を検討する場合には、比較的締まった地盤の液状化強度の評価が重要となる。そこで、阪神淡路大震災地盤調査研究会（末尾に構成を示す）は、神戸市中央区港島のポートアイランド内で、振動締め固め工法により液状化対策が行われていて兵庫県南部地震の際に地盤変状が比較的少なかった地点において、凍結サンプリングを主とする地盤調査を行った。研究会を代表して著者らが調査の概要と結果の第一報を述べる。

Key Words : Liquefaction, Weathered granite, Masado, Reclaimed land, Soil improvement, Freeze sampling, Sounding, Laboratory soil test

1. 調査地点

調査地点は図-1に示すようにポートアイランドの北西端に位置し、神戸市が実施している鉛直アレ-観測地点の北約130mである。この付近の埋め立ては昭和44年に行われており、GL-18mの旧海底までの全層が比較的均質なまさ土で埋め立てられている。

図-2は調査地点周辺の地盤改良域を示したもので、鉄骨上屋（倉庫状の作業場）の敷地とその周辺がロッドコンパクション工法（ピッチ：1辺2.4mの正三角形）により改良されている。改良深さは埋め立て土の全層で、改良締め固めにより、約0.7mの地表面沈下が生じたと言われている。改良前後の標準貫入試験の結果を図-3に示す。10~15だったN値が改良により20~35に上昇している。

兵庫県南部地震の直後からこの地区の復旧に当たった関係者の証言によれば、杭基礎で支持されていた建物と比較すると地盤改良域は約30cm沈下した、しかし、周囲の改良されていない地盤は場所によってさらに数十cm沈下していた、とのことである。

濱田¹⁾らが地震発生後の航空写真によって調査した結果、ならびに現地の関係者の証言によれば、この地盤改良域では泥水の噴出は認められなかった。また、調査した地盤には直接基礎の鉄骨上屋が建てられているが異常はなく、天井クレーンの走行にも支障がなかった。この地域には旧防波堤の石積みマウンドが埋土下に伏在しており、その直上の直接基礎の上屋には不当沈下などの被害がみられた。

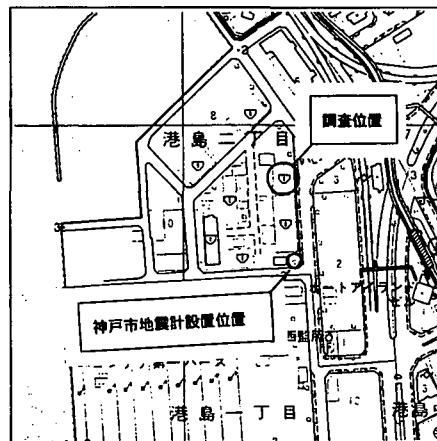


図-1 調査地点

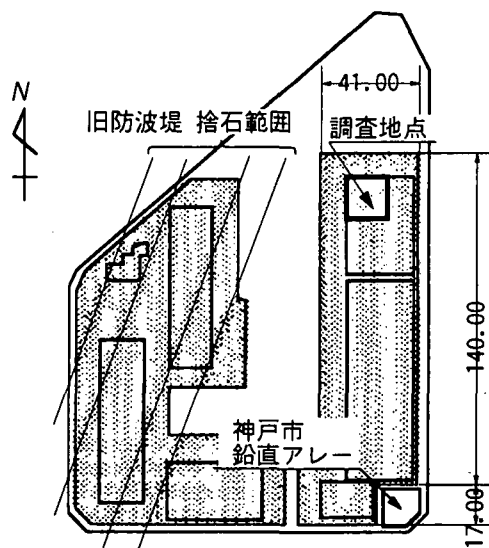


図-2 調査地点の地盤改良範囲

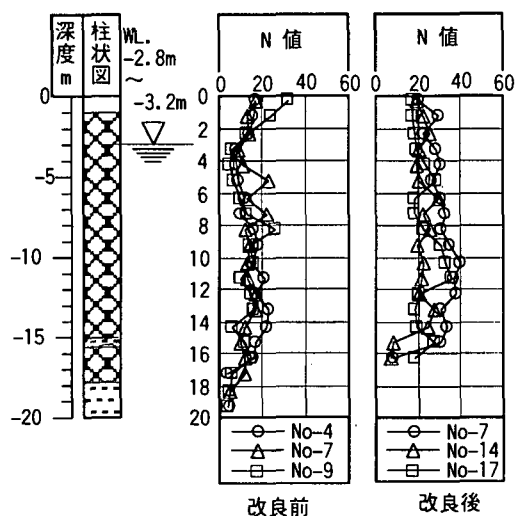
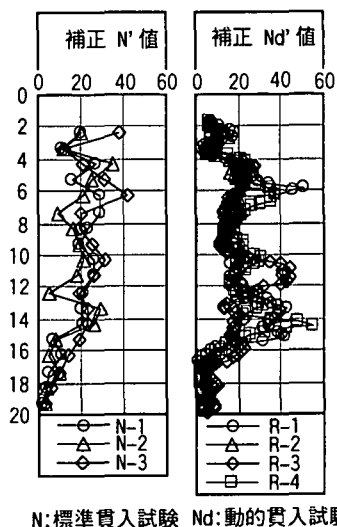


図-3 地盤改良前後の
周辺のN値（既往資料）



N:標準貫入試験 Nd:動的貫入試験

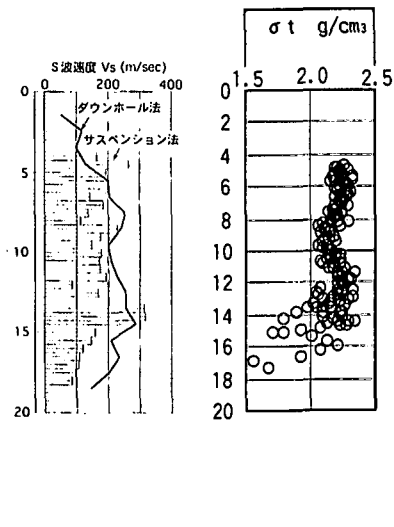


図-6 S波速度 図-7 単位体積重量

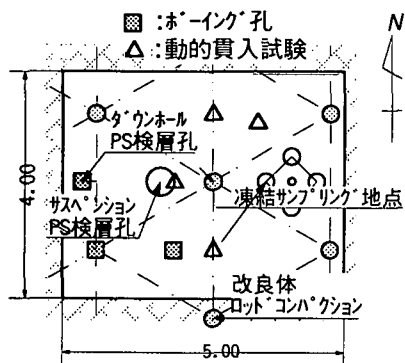


図-4 原位置試験配置

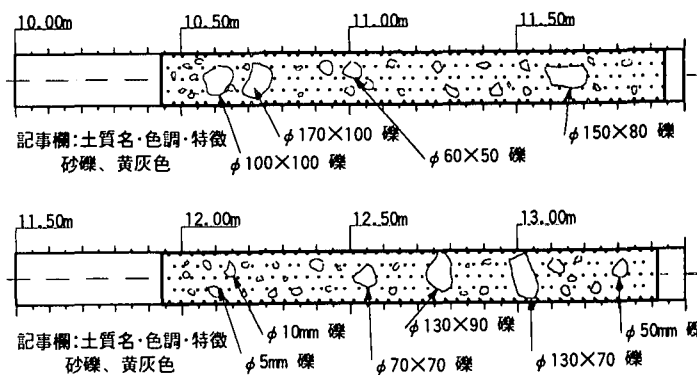


図-8 代表的なコアのスケッチ

2. 調査の概要

調査地点は上屋内で、床舗装を4m×5m除去し、一様なまき土面を出して次の現位置試験を実施した。

- ①標準貫入試験 3ヶ所
- ②動的コーン貫入試験 4カ所
- ③PS検層：ダウンホール法とサスペンション法
- ④現場透水試験 4深度
- ⑤凍結サンプリング：φ150，4本，GL-4.5～18.0m
- ⑥地盤沈下の水準測量：杭基礎の建物を基準に実施

各試験位置を図-4に示している。ロッドコンパクションのロッド芯の位置は施工記録から推定したものであるが、ロッド芯と芯間でN値を測定し、推定ロッド芯のN値の方が大きいことを確認した。

凍結サンプリングはその芯間で行った。中央に凍結管1本を配し、凍結が十分に成長した時点で凍土に4本のコアリングを行い、-4.5mから-18.0mまでの全層にわたってφ150mmの資料を採取した。

3. 現位置試験結果

標準貫入試験から得られたN値、動的コーン貫入試験から得られたN値を上載圧で補正したN'、Nd'値を図-5に示す。4m×5mの狭い範囲の結果としてはN値のパラツキが大きく、深さ方向の変化も大きい。一様なまき土であるにもかかわらず変化が大きい理由のひとつは、図-8のコアのスケッチから明らかなように礫の混入によるものである。ただし、この地点の礫は全体に風化が進んでいるものが多く硬質なもののは極めて少ない。

2種の方法によるS波速度測定結果を図-6に示す。浅いところで値が異なるのは、ダウンホール法はまき土面から、サスペンション法は舗装面から測定したためであろう。15m以深の差は異なった孔での測定のため場所により粘性土の混入が異なると推定される。凍結サンプルのコアから求めた湿潤密度の深度分布を図-7に示す。

平均的なN値の変化から地層を区分すると表-1のようになる。

表-1 地層の区分

深度 (GL, m)	補正N値	備考
① -1.5 ~-4.5	<15	緩い砂勝ちの砂礫層
② -4.5 ~-7.0	25~15	N値急増後、深さ方向に減少
③ -7.0 ~-10.5	10~20	上下層に比較しN値が小さい
④ -10.5~-12.5	約20	砂礫層
⑤ -12.5~-15.5	<15	礫のやや多い砂礫層
⑥ -15.5~-17.0	<10	粘性土混じりの砂層が介在
⑦ -17.0~-18.0	<5	粘性土混じり砂礫又は粘性土
⑧ -18.0	<5	海底の粘性土

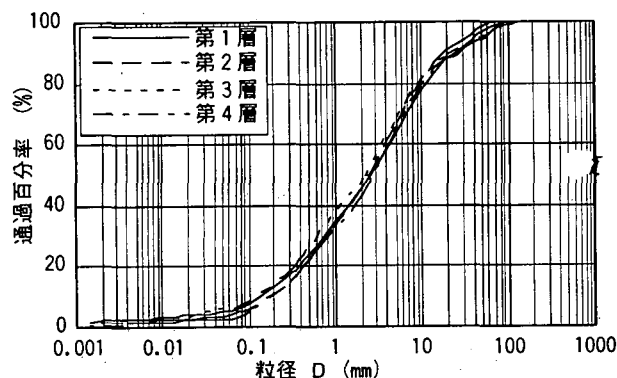


図-9 粒径加積曲線

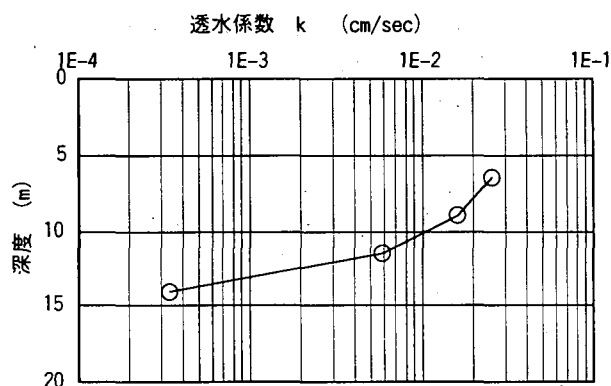


図-10 原位置透水試験結果

図-9は凍結試料から求めた代表的な深度別の粒度加積曲線である。14m以深では細粒分が増加するが、14m以浅は深度による変化がなく、礫混じりの典型的なまさ土と言える。φ150のコアから求めたものであるため、粒径に上限があるが、その影響は小さいと推定される。凍結試料から求めた湿潤密度(図-7)が14m以深で小さい方にばらつくのは海底の粘性土の混入によるものと思われる。

現場透水試験の結果が図-10である。深度と共に透水係数が 10^{-2} から 10^{-4} のオーダーに変化する。

水準測量の結果、調査点の床面は杭基礎で支持された隣接建物より約35cm沈下していた。関係者の証言によると地震前の沈下は約5cmとのことである。

表-2 物理試験結果

深度GL-(m)	5.8-7.2	7.1-9.3	10.6-12.6	12.7-14.6
自然含水比(%)	10.5	12.5	10.6	12.7
湿潤密度(g/cm)	2.180	2.167	2.177	2.139
乾燥密度	1.989	1.944	1.984	1.916
土粒子の密度	2.598	2.617	2.607	2.618
間隙比	0.35	0.38	0.36	0.40
飽和度(%)	78.2	86.2	77.8	82.9
礫分含有率(%)	53.69	53.38	59.23	51.65
砂分含有率	39.6	40.6	40.7	39.7
細粒分含有率	5.6	4.9	7.5	3.8
最大粒径(mm)	125.0	75.0	125.0	125.0
10%粒径	0.191	0.176	0.181	0.185
均等係数	22.70	20.74	23.83	22.90

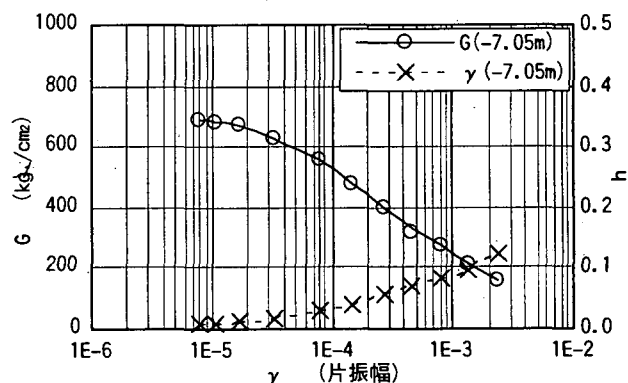


図-11 代表的なG~γ, h~γ関係

4. 室内試験結果

凍結試料については多様な室内試験を実施しており、総合的な評価は未完であるので、ここでは、代表的な試験結果を報告する。

凍結試料の物理試験結果が表-2である。飽和度が小さい点については更に分析が必要である。

図-11は試料径150mmの動的三軸試験結果より求めた代表的な深度のG~γ, h~γ関係である。プロット点が試験値で実線はHardin-Drnevich曲線を当てはめたもので、よくフィッティングしている。減衰は各深度とも 10^{-2} ひずみで10%程度とやや小さい。

フィッティングカーブを外挿してG₀値を求めた。G₀値と平均有効応力ならびに間隙比の関係の内、G₀と間隙比がRichart¹⁾らの提案した実験式に従うものとし、間隙比0.40にG₀値をノルマライズした上でG₀と平均有効応力の関係をプロットしたものが図-12である。応力の変動幅が小さいため明確な傾向は読み取れないが、G₀は平均有効応力のおよそ3/4乗に比例している。

表-3はφ150の試料を用いた非排水三軸試験結果から求められた液状化強度である。また、図-13

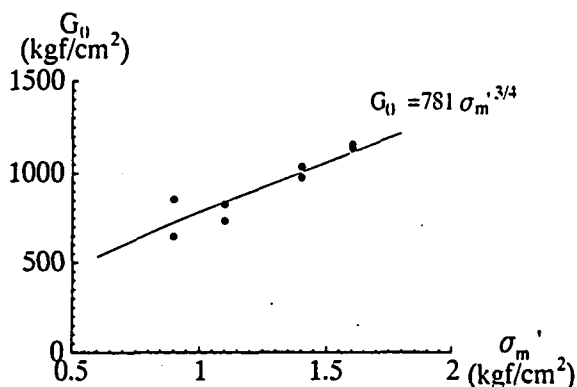


図-12 G_0 と平均有効応力の関係

表-3 液状化試験結果

試料深度 -4.6~7.2m			試料深度 -7.1~10.4m		
	DA=5	DA=10		DA=5	DA=10
Nc=2	0.67	-	Nc=2	0.42	0.52
Nc=5	0.49	0.63	Nc=5	0.33	0.37
Nc=20	0.31	0.36	Nc=20	0.23	0.24

試料深度 -10.1~12.7m			試料深度 -12.7~15.0m		
	DA=5	DA=10		DA=5	DA=10
Nc=2	-	-	Nc=2	0.44	-
Nc=5	0.39	-	Nc=5	0.35	0.40
Nc=20	0.27	0.31	Nc=20	0.26	0.28

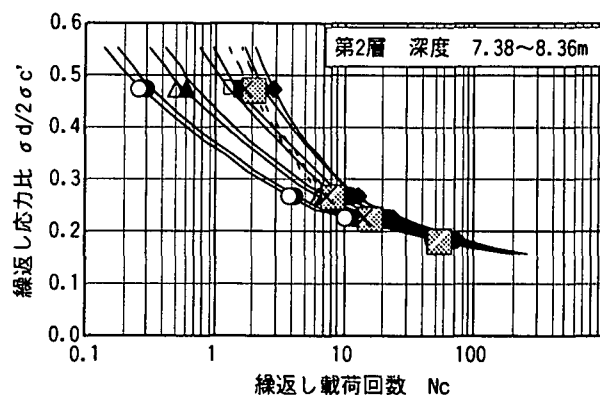
は代表的な深度における液状化強度曲線である。これらの試験の際は、間隙水は脱気水で置き換えられておりバックプレッシャーがかけられているので飽和度はほぼ100%である。

20回の繰返し載荷でひずみが5%になる応力比は0.24~0.37となる。畑中ら³⁾がこの調査地点に近接した非改良の地盤の凍結サンプリング試料から求めた液状化強度は15回繰返し載荷5%ひずみで0.15~0.22であり、山田ら⁴⁾が鉛直アレー観測点(非改良)におけるシンウォールサンプリング試料より求めた液状化強度は20回繰返し5%ひずみで0.18~0.31であるので、地盤改良により調査地点の液状化強度が上昇しているのは明らかである。

5. むすび

室内力学試験はここに述べた以外に、 m_v 測定試験、 K_0 測定試験、室内透水試験、歪制御単調載荷試験を行っている。これらの試験結果は、総合的な評価を行ないながら逐次発表する予定である。

謝辞：末筆ではあるが神戸埠頭梱包団地組合には調査地点の貸与を受けた。同組合のご理解とご協力に心より感謝するものである。



● : DA=1 ▲ : DA=2 ■ : DA=5 ◆ : DA=10
白抜きはメンブレンペネトレーション補正值
図-13 液状化強度曲線

阪神淡路大震災地盤調査研究会の構成員は以下の通りである。

足立紀尚 (京都大学)	石原研而 (東京理科大学)
大塚 悟 (長岡技科大学)	岡二三生 (岐阜大学)
軽部大蔵 (神戸大学)	国生剛治 (中央大学)
関口秀雄 (京都大学)	田中泰雄 (神戸大学)
東畑郁生 (東京大学)	土岐憲三 (京都大学)
濱田政則 (早稲田大学)	松井 保 (大阪大学)
安田 進 (東京電機大学)	飯田 毅 (住友金属)
北村八郎 (大阪ガス)	後藤貞雄 (東京ガス)
後藤洋三 (大林組)	斉藤顕次 (西松建設)
嶋村貞夫 (鴻池組)	鈴木英世 (東京電力)
添田弘基 (戸田建設)	高橋嘉樹 (不動建設)
橋本修身 (川崎製鐵)	畑中宗憲 (竹中工務店)
濱田尚人 (熊谷組)	半沢秀郎 (東亜建設工業)
樋口洋平 (五洋建設)	本田健一 (NTT)
松本正毅 (関西電力)	森伸一郎 (飛島建設)
吉田 望 (佐藤工業)	依田 眞 (中部電力)
渡辺 彰 (ライト工業)	

参考文献

- 1) 濱田政則、磯山龍二、若松和寿江：1995年兵庫県南部地震液状化、地盤変位及び地盤条件、地震予知総合研究振興会、1995
- 2) リチャート、ホール、ウッズ：土と基礎の振動、岩崎敏男、嶋津晃臣訳、鹿島出版会、1970
- 3) 畑中宗憲、内田明彦：ある埋め立てマサ土の液状化特性-神戸ポートアイランド-、第31回地盤工学研究発表会、平成8年7月
- 4) 山田耕一郎、森田悠紀雄、森本 巖、後藤政昭：ポートアイランド地震計埋設箇所の地盤状況と埋め立て層の液状化強度について、第31回地盤工学研究発表会、平成8年7月