

多層固化改良された砂地盤のオンライン地震応答実験

山口大学大学院 学生会員 ○正木健太

山口大学工学部 正会員 兵動正幸 吉本憲正

三井住友建設 正会員 山本陽一 高橋直樹

日本技術開発 正会員 木村真也

山口大学大学院 正会員 市川昌治 井上孝一

1.まえがき 地震時の液状化は深刻な被害をもたらすことから、液状化対策の重要性が強く認識されている。近年では、設計法改訂や建設コスト削減等の影響を受け液状化対策にも合理化が要求されるようになってきた。一方で、オイルタンク等構造物が基礎地盤の液状化による被害は免れたものの、地盤の大きな揺れのために損壊をきたす懸念もあり、基礎地盤の液状化抑止とともに、地盤振動の軽減も望まれるようになってきている。そこで本研究では、地盤の軟化や液状化をある程度許容して減震効果を利用するとともに沈下および不同沈下を低減することを期待した多層固化改良工法¹⁾に着目し、その有効性を明らかにすることを目的とした。本研究では、様々な改良率や改良形式で多層固化改良した地盤を対象にオンライン地震応答実験²⁾を実施し、改良効果について詳細に検討を行った。

2.オンライン地震応答実験 (a) 用いた試料 本研究では、試料に浜岡砂 ($G_s=2.680$, $e_{max}=0.900$, $e_{min}=0.558$) を使用した。未改良砂は、水中落下法により相対密度 $Dr=50\%$ を目標に作製した。改良砂はモールドに薬液を満した状態で $Dr=50\%$ を目標に試料を水中落下させて作製し、これを密封状態で 7 日および 28 日間養生して試験に用いた。供試体寸法は直径 60mm、高さ 40mm である。改良砂の液状化強度は、既往の研究³⁾より繰返し回数 20 回におけるせん断応力比 τ/σ'_{vo} は未改良砂 0.27, 7 日養生 0.92, 28 日養生 1.02 となっており、改良砂は未改良砂の 3 倍強の強度を有し、剛性が高いことが分かっている。

(b) 実験概要：解析および実験対象は図-1 に示すような砂地盤上に石油タンクが存在する構造物・地盤系である。構造物として 400kl の石油タンクを想定し、厚さ 14m の基礎地盤を上部から不飽和砂層、液状化層、非液状化層とし 10 層に分割してモデル化した。ここで、地下水位以下の S3～S8 層を液状化対象層とみなし、オンライン層として単純せん断試験による要素試験を行い、S1～S2 および S9～S11 は修正 R-O モデルを用いて解析を実施した。また、実験ケースは図-2 に示す通りであり、図中の黒塗りの部分は改良層を表しており、実験ケース名は、単層 (Singlelayer) および多層 (Multilayer) の頭文字をとり、例えば M050 は改良形式が多層で改良率が 50% のケースを示している。また、地震動入力波形は兵庫県南部地震においてポートアイランドで観測された最大加速度 570Gal の波形 (図-3) を基盤面より入力した。

(c) 実験結果および考察：図-4 に実験ケース A100, N050,

S050 および M050 の S5, S6 の応力ひずみ関係を示す。いずれのケースにおいても、未改良層では、ひず

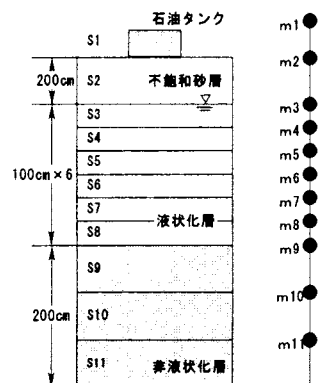


図-1 実験モデル図

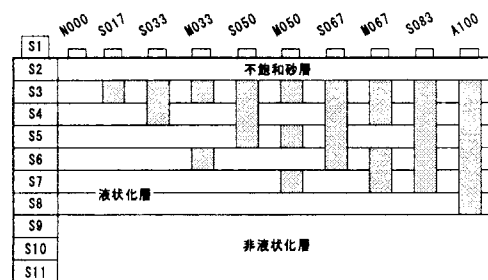
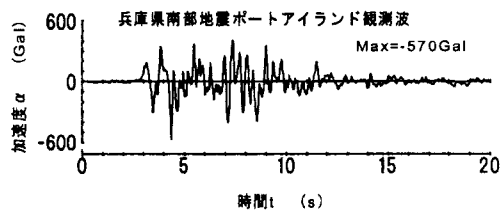
図-2 実験ケース
□：改良層
S：単層 (Singlelayer)
M：多層 (Multilayer)

図-3 入力地震動

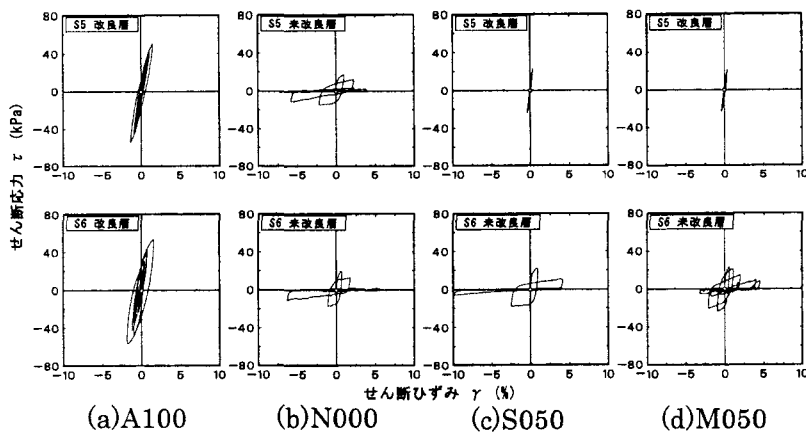


図-4 応力ひずみ関係

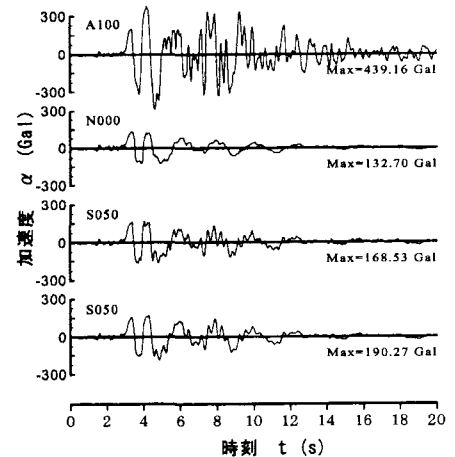


図-5 応答加速度時刻歴

みが増大し著しく剛性が低下している。一方改良層において剛性の低下は殆どみられず、せん断後もその剛性を保持していることがわかる。図-5, 6 に A100, N050, S050 および M050 の地表面での応答加速度時刻歴と最大加速度の深度分布を示す。両図を見ると、A100 以外のケースではいずれも液状化に起因して上層に行くほど応答は減衰し長周期化しているのがわかる。一方 A100 では大きな減衰は見られず地表に向かって増幅傾向を示し、地表での波形は短周期成分を多く含んでいることがわかる。図-7 に地表の加速度応答スペクトルを示す。これを見ると明らかなように、A100 に比べ液状化層を残して改良を施すことで無改良地盤と同等の減衰効果を発揮することがわかる。図-8 に構造物の沈下量と改良率の関係を示す。ここで、沈下量は、オンライン層において単純せん断試験により、非排水単純せん断での応答実験後、過剰間隙水圧を消散し、求めたものである。これより、構造物の沈下量は改良率の増加に伴い小さくなっていることがわかる。改良形式での沈下量の違いを見ると、改良率 50% までは多層に改良を施すことで沈下を抑制する効果があることが確認できる。一方、67%改良に関しては、多層と単層の沈下量はほとんど変わらない。これは改良層厚が他の多層改良と比較して厚くなったので効果が小さくなったためであるといえる。このことから、多層改良を実施する場合、改良層の配置と位置に加え適切な改良層厚を決定することでより効果的な改良が可能であるといえる。

4. 結論 本研究により得られた知見を示す。応答加速度の減衰効果に着目すると、全層改良に比べ 50%単層改良および 50%多層改良は無改良と同等の減衰効果を発揮することが確認された。また沈下量に着目すると、50%単層改良より 50%多層改良の方が沈下量を抑制出来ることがわかった。

参考文献 1) 兵動正幸, 三浦房紀, 吉本憲正, 高橋直樹, 山本陽一, 岸下崇裕, 木村真也: 液状化地盤における多層固化改良に関するオンライン地震応答実験 (改良形式の比較), 土木学会第 58 回年次学術講演会講演集 2) 日下部伸, 森尾敏, 有本勝二: オンライン応答実験による 2 層系砂質地盤の液状化挙動, 土質工学会論文報告集, Vol. 30, pp. 174-184 3) 市川昌治, 兵動正幸, 吉本憲正, 河本好広, 高橋直樹, 山本陽一, 木村真也, 井上孝一: 多層薬液注入工法による飽和砂地盤の液状化に対する改良効果, 第 55 回土木学会中国支部発表概要集 p235-236

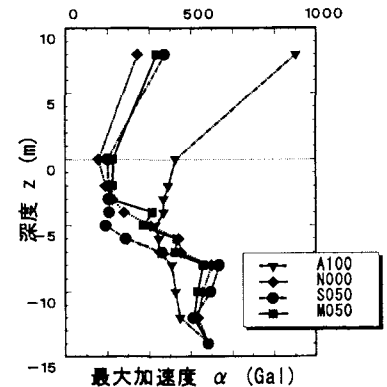


図-6 最大応答加速度深度分布

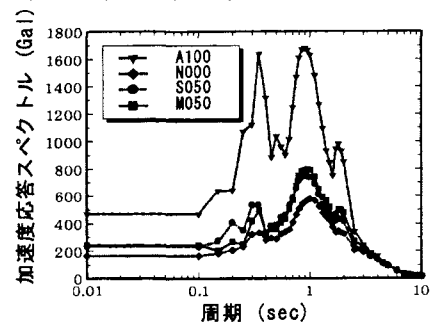


図-7 地表面の加速度応答スペクトル

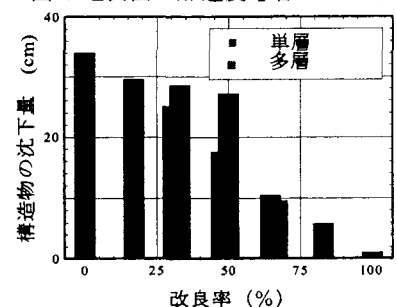


図-8 構造物の沈下量と改良率の関係