

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

山口大学大学院 学生会員 ○市川昌治
山口大学工学部 正会員 兵動正幸 吉本憲正
復建調査設計 正会員 河本好広
三井住友建設 正会員 高橋直樹 山本陽一
山口大学大学院 学生会員 木村真也 井上孝一

1. まえがき 地震動は地盤が液状化することによって、減震する。このことを利用して液状化地盤を全層または柱状に改良するのではなく、層状改良することによって液状化層や軟化層を許容し、減震効果を期待した。また、層状に改良することにより低コスト化する。そこで本研究では、まず応力振幅一定の液状化試験を行うことで改良砂の液状化強度を検討し、さらに一次元にモデル化した地盤を対象に改良率を変化させてオンライン実験¹⁾²⁾を行うことで層状改良地盤の液状化対策効果および地震応答特性を評価することを試みた。

2. 応力振幅一定の液状化試験 (a) 実験概要: 本研究では、試料に浜岡砂を使用し、未改良砂および非アルカリシリカ薬液³⁾により改良された砂に対して応力振幅一定の液状化試験を行った。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、改良砂は直径 $D=6\text{cm}$ 、高さ $H=4\text{cm}$ のモールドに薬液を満たした状態で $Dr=50\%$ を目標に試料を水中落下させて作製し、7日または28日養生した。また、初期有効鉛直応力は $\sigma_{v0}'=50\text{kPa}$ 、水平応力 $\sigma_{h0}'=25\text{kPa}$ とした。

(b) 実験結果および考察: 未改良砂と改良砂の応力-ひずみ関係をそれぞれ図-1(a)、(b)に示す。図より未改良砂はひずみ両振幅1%から急激にひずみが発達しているが、改良砂においてはひずみ両振幅5%を越えた後も急激なひずみは発生せず徐々に発達していることが見て取れる。図-2に未改良砂、7日および28日養生改良砂の液状化強度曲線を示す。図から繰返し回数20回におけるせん断応力比 τ/σ_{v0}' は未改良砂0.28、7日養生0.93、28日養生1.04となっており、7日、28日養生改良砂は未改良砂の3.3倍、3.7倍程度大きな液状化強度を持っていることがわかる。

3. オンライン地震応答実験 (a) 実験概要: 本研究では、図-3に示すように地盤を1次元7質点系にモデル化し、S1層を不飽和層として修正R-Oモデルを採用し、S2層～S7層までをオンライン層として単純せん断試験を行いオンライン地震応答実験を実施した。なお、オンライン地震応答実験はコンピュータにより応答計算と変位制御の室内要素試験をオンラインで結合し、地震時の挙動を再現する手法である。せん断時における供試体の状態は、非排水状態で鉛直方向のひずみを許容しない単純せん断状態で行った。

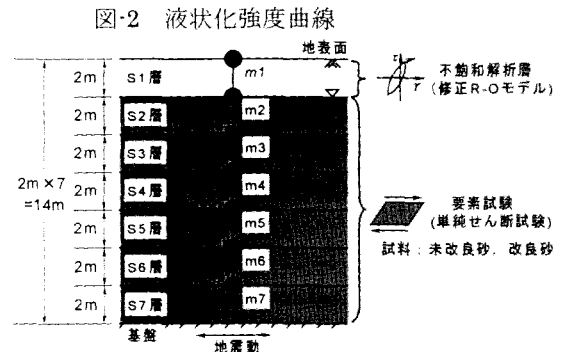
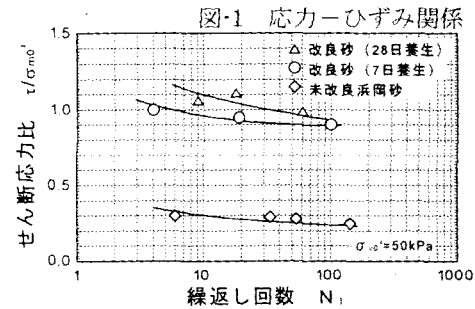
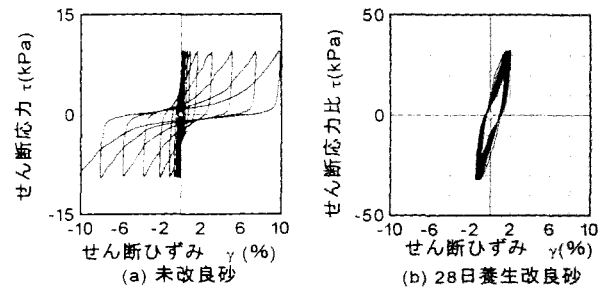


図-3 実験対象断面図

表1 実験ケース

層別	実験ケース				
	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	
	改良率0%	改良率50% (単層改良)	改良率50% (層状改良)	改良率100%	
S1層	不飽和層	不飽和層	不飽和層	不飽和層	
S2層	未改良層	改良層	改良層	改良層	
S3層			未改良層		
S4層		未改良層	未改良層		
S5層					
S6層		改良層	未改良層		
S7層					

また、用い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ものである。実験ケースを表-1に示す。CASE1は未改良であるが、CASE2~4は改良地盤を表し、CASE4が全層改良、CASE2が上半層改良、CASE3が多層改良を意味する。

(b) 実験結果および考察 図-4にCASE1~4における最上層の質点m1の応答加速度時刻歴を示す。CASE1では液状化に起因して加速度が大きく減衰しているのに対し、CASE4での減衰は小さく、短周期成分を含んだ応答となっている。層状に改良しているCASE3においてはCASE1に比べて若干大きな応答加速度を示しているものの類似した傾向を示している。また、CASE2では層状改良のCASE3に比べて短周期成分を多く含み、応答加速度も大きくなっていることがわかる。図5~7

にはそれぞれCASE1~4における最大過剰間隙水圧比、最大応答加速度、最大応答水平変位の深度分布図をそれぞれ示す。図-5より、改良層では間隙水圧の発生が抑制されており、改良を施したケースではCASE1に比べて液状化層数が少なくなっている。また、最大加速度の深度分布より、CASE1およびCASE3における加速度は未改良層の液状化により上層に向かって減衰しているが、CASE2とCASE4の加速度は上層に向かって増幅していることがわかる。図-7からそれぞれのケースでの改良層では水平変位が殆ど生じておらず、CASE2~4における地表面の最大水平変位はCASE1よりも小さくなる傾向を示している。図-8に地表応答波の加速度応答スペクトルを示す。CASE2においては、固有周期1秒付近の応答が卓越し、さらに固有周期帯域が0.3~0.4秒付近で応答が大きくなるというCASE4と類似した傾向を示しているのがわかる。また、逆にCASE3では固有周期0.3~0.4秒付近における減衰が顕著となっていることが認められ、CASE1と類似した傾向を示していることがわかる。

4. まとめ 応力振幅一定の液状化試験結果から非アルカリシリカ薬液で改良した砂は高い液状化強度を示すことが認められた。また、オンライン地震応答実験を実施した結果、改良層ではひずみおよび間隙水圧が抑制されるため地盤の液状化層を減らすことができることが確認できた。このため液状化による地盤の沈下、水平変位量が抑制され、被害を軽減できると思われる。また、層状改良においては未改良層を有するために応答加速度の減衰が見られた。これらのことから、層状改良は液状化対策効果とともに免震的效果が期待でき、さらに改良率が同じ単層改良に比べて、減震効果を発揮することが確認された。

【参考文献】1) 日下部伸、森尾敏、有本勝二：オンライン地震応答実験による2層系砂地盤の液状化挙動、土質工学論文集、Vol.30、No.3、pp.174-184、1990.2) 日下部伸：オンライン地震応答実験による地盤の動的挙動に関する研究、山口大学学位論文集、1996.3) 林健太郎、吉川立一、島田俊介、藤澤伸行、飯尾正俊：非アルカリシリカによる改良地盤の耐久性に関する現地調査、土木学会第53回次学術講演会、pp.586-587、1998.10.

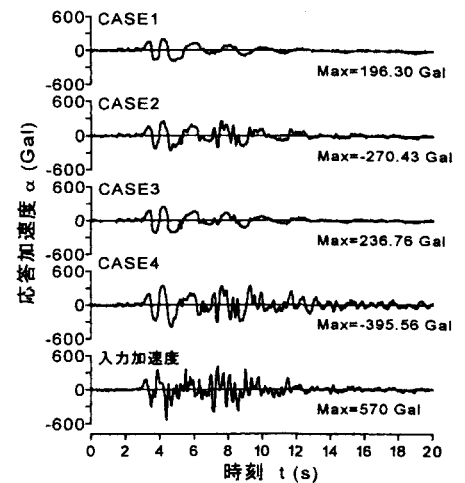


図-4 加速度時刻歴

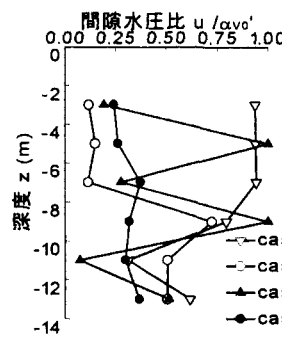


図-5 過剰間隙水圧比深度

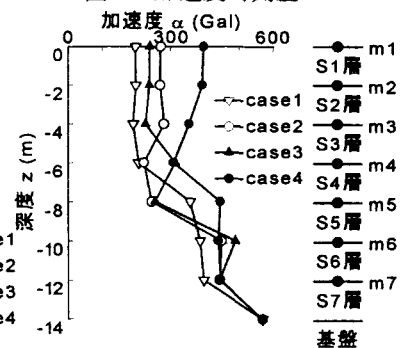


図-6 応答加速度深度分布

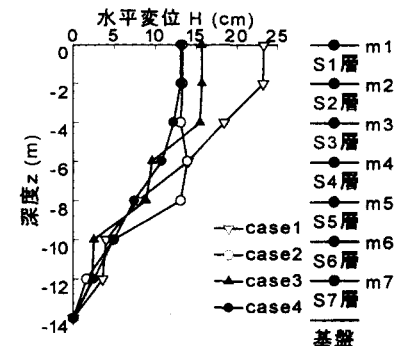


図-7 応答水平変位深度分布

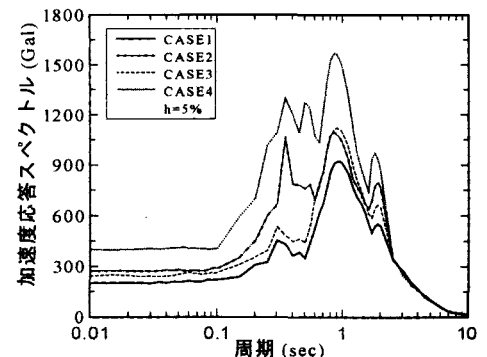


図-8 応答加速度スペクトル