

繰返し瞬発載荷履歴を受けた砂の液状化特性

橋 八 ザ マ 正 員 ○丸山浩史
 山口大学工学部 正 員 兵動正幸 村田秀一
 日本国土開発(株) 正 員 四宮圭三
 応用地質(株) 正 員 神垣勝弘

1. まえがき

重錘落下締固め工法は、施工後直ちに締固め効果が発揮できることや、経済性に優れているなどの利点から、現在その需要を拡大しつつある反面、締固め効果の発現メカニズムに関しては未だに不明な点が多く、これに関する定量的な検討が強く望まれている。本研究では、重錘落下締固め工法による地盤改良効果として特に液状化強度の増加に着目し、瞬発載荷式三軸圧縮試験機を用いて種々の載荷履歴を加えた供試体に対して非排水繰返し三軸試験を行った。また、重錘落下を受ける地盤を想定した動的 FEM 応力解析を行い、実験結果との対応により重錘落下による地盤の液状化強度増加の定量的評価を行った。

2. 実験概要

本研究で用いた試験機は、重錘落下時の地中要素の挙動に対応すべく当研究室で試作された瞬発載荷式三軸圧縮試験機（以後、瞬発載荷試験機と称する）である。この試験機は、軸圧、側圧ともに瞬時の載荷、除荷が行えるような機構になっており、載荷系統を切り替えれば必ずみ速度制御の静的ならびに繰返し三軸試験が行えるようになっている。試料は、山口県宇部市で採取されたまさ土 ($G_s = 2.615$ $e_{max} = 1.243$ $e_{min} = 0.728$) を $75 \sim 2000 \mu m$ に粒度調整したものである。本研究では、瞬発載荷、除荷後の供試体に対する静的非排水三軸試験ならびに液状化試験を、表-1 に示すような条件で行った。ただし、供試体作成時点における初期相対密度は $D_{r0} = 60\%$ とし、実験は全て拘束圧 $p_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ の等方圧密状態で行った。

表-1 瞬発載荷履歴とその後の非排水せん断試験

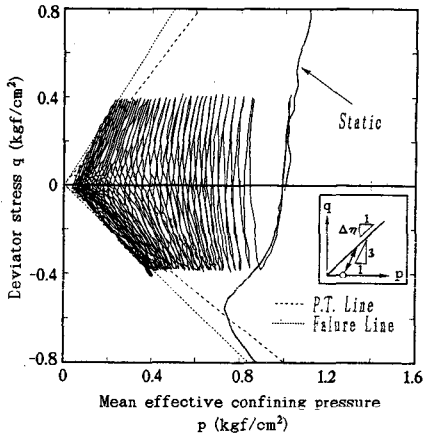
Impulsive stress history			Undrained test after impulsive loading		
Shear stress $\Delta \eta$	0.5 1.1		Static compression	Static extension	Cyclic test
Isotropic stress Δp (kgf/cm ²)	1.0 2.0				

3. 実験結果

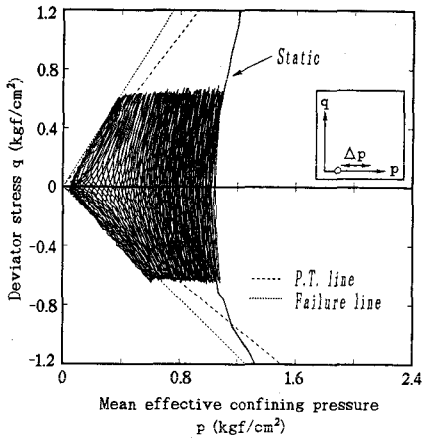
図-1(a),(b)は、瞬発載荷試験機によりそれぞれせん断応力および等方応力履歴を与えた供試体を用いて行った繰返し三軸試験における代表的な有効応力径路を、静的試験から得られた有効応力径路と重ねて示したものである。せん断応力履歴後の有効応力径路は、繰返し第1波目の圧縮側において負の間隙水圧の発生に伴う膨張的な挙動を示し、伸張側では正の間隙水圧の発生に伴う収縮的な挙動を示すことが分かる。一方、等方応力履歴を受けた場合、非排水繰返し載荷による有効応力径路は、繰返し第1波目において圧縮側、伸張側ともに負の間隙水圧の発生にともなう膨張的な挙動を示している。このように非排水せん断挙動は静的・動的共に瞬発載荷履歴の影響を大きく受けていることが分かる。図-2は、これらの実験において供試体が液状化破壊を起こすのに必要な繰返し応力比 q_{vc}/p_c と繰返し回数 N の関係を示したものである。ここで、液状化破壊の定義は軸ひずみ両振幅 $D_A = 5\%$ とした。等方応力履歴に対して履歴応力の増加に伴い液状化強度は顕著な増加傾向を示しているが、せん断応力履歴に対しては液状化強度の増加量は少ない。このことから、液状化強度の増加に対しては等方応力履歴の効果がより大きいと言える。

4. 重錘落下による地盤の液状化強度増加

図-3は、瞬発載荷による等方応力履歴を50回加えた場合の応力増分 Δp と、その後の液状化強度の関係を示したものである。ここで、液状化強度として繰返し回数20回で液状化を起こすのに必要な繰返し応力比 q_{vc}/p_c をとり $R_{l,20}$ とした。改良前の液状化強度を R_0 、改良後の液状化強度を $R_{l,1}$ とすると、



(a) せん断応力履歴後 ($\Delta\eta = 1.1$)



(b) 等方応力履歴後 ($\Delta p = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$)

図-1 液状化試験の有効応力経路

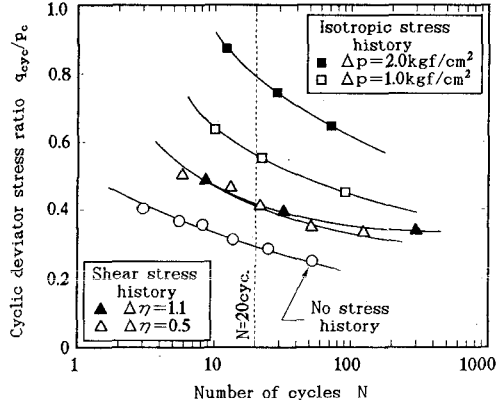


図-2 液状化強度曲線 ($DA = 5\%$)

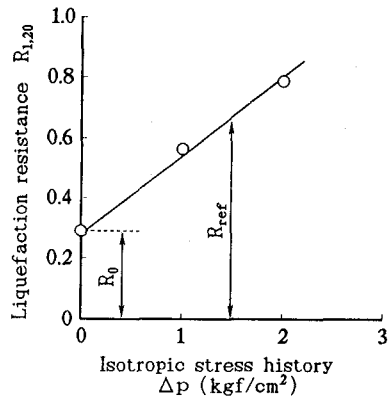


図-3 等方履歴応力増分 Δp とその後の液状化強度 $R_{t,20}$ の関係

重錘落下による地盤改良後の液状化強度増加率 R_{ref}/R_0 は、等方履歴応力増分 Δp との関係により簡単に求められることになる。本研究では、FEM動的応力解析を行うことによって重錘落下時における地盤内の等方応力増分 Δp の分布を推定し、図-3の関係を用いて地盤内の液状化強度増加の分布を図-4のように推定した¹⁾。液状化強度の増加領域は、載荷点を中心とする円形もしくは楕円形として現れており重錘落下点直下の深さ7m程度までは1.5倍程度の液状化強度の増加が見込めるという結果が得られた。

5. まとめ

瞬発載荷による液状化強度の増加は、等方応力履歴に依るものが大きいことが明かとなった。動的応力解析を行って重錘落下時の地盤内応力状態を推定し、本研究から得られた液状化強度の増加傾向と対応付けることにより、重錘落下施工後の地盤の液状化ポテンシャルの評価が可能になるものと考えられる。

《参考文献》

1) 四宮他：瞬発載荷を受けた砂質土の変形挙動の定式化，第28回土質工学研究発表会概要集，投稿中。

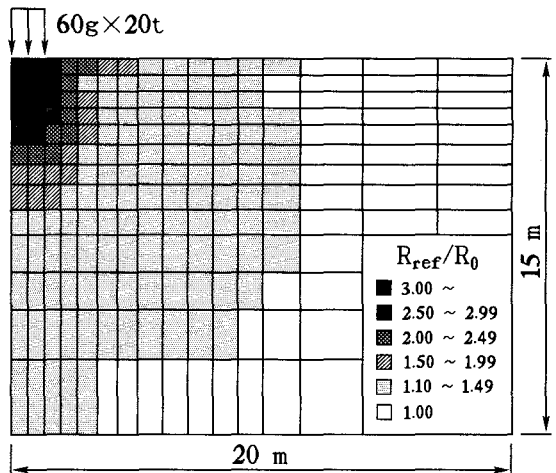


図-4 重錘落下後の液状化強度増加率 R_{ref}/R_0 の分布図