

III-189

重複波による海底地盤の
不安定化実験について

京都大学工学部 正会員 北 勝利
同 同 関口秀雄
運輸省 同 岡本 修

1. はじめに 筆者らは、波浪による海底地盤の不安定化メカニズムを明らかにするために、遠心力場波浪実験を行い、水平砂地盤内の間隙水圧上昇に伴う液状化現象を観察した¹⁾²⁾。同実験の特徴のひとつとして、重複波による液圧载荷が挙げられる。本報告では、重複波载荷による地盤内の応力状態について考察を加える。

2. 遠心力場波浪実験結果 実験の概要については文献1)2)を参照されたい。ビデオ画面より読み取った重複波の空間波形、および間隙圧センサの配置図を図-1に示す。図-1より重複波波長は約50cmであり、古典微小振幅波理論より計算される50g遠心力場における液深4.7cm、周波数8.8Hzでの波長52cmとほぼ一致する。重複波の腹と節の中間部表面(P1)において計測した重複波液圧変動の時刻歴(図は省略)と、センサ位置より、重複波腹部における液圧変動振幅は $P_{amp}=2.5\text{ kPa}$ と推定できる。腹と節の中間部(以下中間部)における地表面下1.1cmの地点(P2)と基盤面(P3)、および節部付近の基盤面(P4)において計測した間隙圧の時刻歴を図-2～図-4に示す。同図中の点線は、過剰間隙圧の平均的推移を表す。

3. 重複波载荷の特徴

(1) **せん断応力径路** 無限層厚を仮定したMadsen解³⁾によると、進行波および重複波による水平地盤内のせん断応力径路は、模式的に図-5のように表される。図-5中の σ_v' は鉛直有効応力、 σ_h' は水平方向有効応力、 τ_{vh} は水平面上のせん断応力を表す。ただし応力としては、波浪により誘起された変動成分のみを考慮している。

図-5(a)は進行波によるせん断応力径路であり、最大せん断応力(τ_{max})は一定のままで、波の進行と共に主応力軸が連続的に回転している³⁾。図-5(b)は重複波の腹部直下の要素が受けるせん断応力径路であり、軸差応力($(\sigma_v - \sigma_h)/2$)のみが変動し、せん断応力(τ_{vh})は常にゼロである。したがって、腹部直下の土柱の挙動は、一次元解析²⁾に適合するといえる。一方、重複波の節部直下では軸差応力はゼロとなり、単純せん断モードとなっている(図-5(c))。

このように重複波入力の場合、腹部や節部など各地点において軸差せん断と単純せん断など、簡明なせん断応力径路を規定するため、模型実験と要素試験との対比が明確になるという長所がある。

(2) **繰返しせん断応力比** 次に遠心力場波浪実験を想定して、有限層厚の場合について、Yamamoto解⁴⁾により地盤内応力を計算した。解析に用いたパラメータを表-1に示す。重複波による繰返しせん断応力比(τ_{max}/σ_{v0}' 、 σ_{v0}' :初期有効土被り圧)の深さ方向分布を図-6に示す。重複波の腹部直下では地表面付近でせん断応力比が大きいものの、深さ方向に強く減衰している。一方、節部の直下では、地表面付近でせん断応力比は小さいものの深さ方向にはほぼ一定であり、地盤中央以深では腹部直下より大きな繰返しせん断応力比となっている。

遠心模型実験結果に着目すると、図-2と図-3および図-4の過剰間隙圧の平均的推移を比較することにより、中間部の地盤浅層部では、その基盤面や節部の基盤面より大きな過剰間隙圧が発生していることがわかる。また同じ基盤面で比較すると、節部での過剰間隙圧は中間部での過剰間隙圧より若干大きい。これらの傾向は、図-6に示した各対応点における繰返しせん断応力比の深度分布の傾向と概ね一致している。

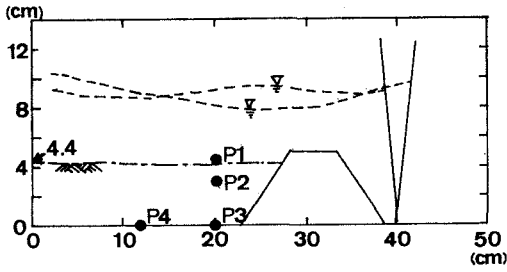


図-1 液面変動の空間波形と間隙圧計の配置
(P1~P4: 間隙圧センサ)

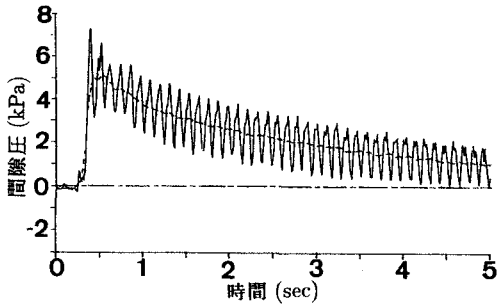


図-2 間隙圧の時刻歴 (P2, 中間部地表面下1.1cm)

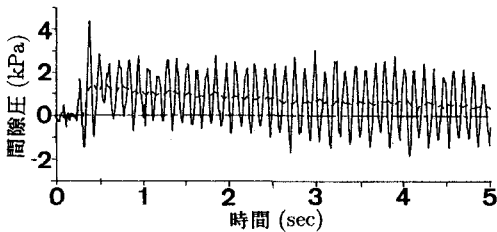


図-3 間隙圧の時刻歴 (P3, 中間部基盤)

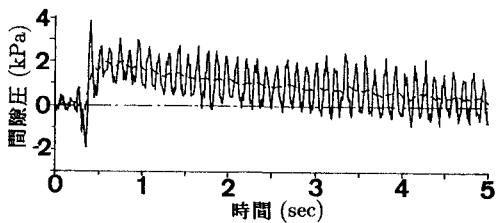


図-4 間隙圧の時刻歴 (P4, 節部基盤)

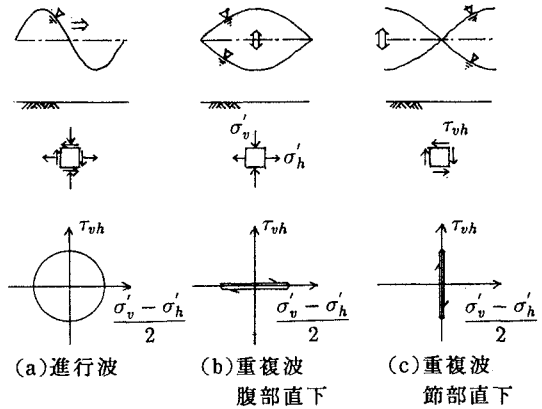


図-5 波浪による地盤内応力変動

表-1 解析パラメータ

波長	52cm
周波数	8.8Hz
砂層厚	4.4cm
間隙率	0.5
砂の有効単位体積重量 (50g 場)	$4.23 \times 10^{-2} \text{kgf/cm}^3$
せん断弾性係数	$1.43 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$
ポアソン比	0.3
透水係数	$3.0 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$
流体の有効単位体積重量 (50g 場)	$4.8 \times 10^{-2} \text{kgf/cm}^3$

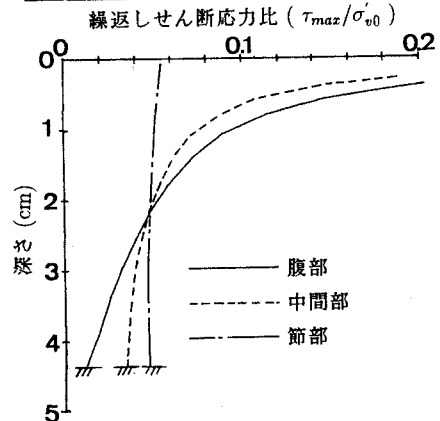


図-6 繰返しせん断応力比の深さ方向分布

4. おわりに 遠心力場波浪実験で形成された重複波による地盤内応力変動を、二次元多孔質弾性理論解を用いて解析した。その結果、推定された繰返しせん断応力比の深度分布と、実験で観測された過剰間隙圧の分布に良い対応が認められた。

参考文献 1), 2) 関口・北・岡本(1993): 第28回土質工学研究発表会 (投稿中). 3) Ishihara and Towhata (1983): S & F, Vol. 23, No. 4, pp. 11-26. 4) Yamamoto(1981): Ocean Eng., Vol. 8, pp. 1-16.