

砂地盤の側方流動現象に関する動的遠心模型実験

東京電力 正会員 佐藤 博 正会員 土居 賢彦  
 鹿島建設 正会員 大保 直人 正会員 本田 満彦 正会員 吉迫 和生

1. まえがき

液状化に伴い地盤が流動する側方流動現象について、これまで1g場における土槽振動実験により、数十%の大歪時には地盤の特性が流体的性質から剛性が回復して固体的性質に移行することが示されている<sup>1)</sup>。ここでは、砂の非排水時のせん断変形特性が拘束圧に依存することを考慮し、動的遠心模型実験装置を用いて同様の現象を再現できるか否かに焦点を当て基礎的検討を行った。以下にその概要を報告する。

2. 1g場における土槽振動実験の概要

浜田等<sup>1)</sup>は強制的に傾斜可能な土槽を用いて、完全液状化状態になった砂層を傾斜して側方流動を発生させ、流動による砂層の変形性状を検討した(図-1)。これによると砂層の地表面形状は中流部に初期の傾斜が残留し、その両側で平坦になること、さらに流動変位の深度分布は上記の残留傾斜部で直線に近く、平坦部では下に凸となることが示された。この地表面の残留傾斜部では砂層が大きなせん断変形を受け限界せん断歪に達して砂の骨格構造の回復、即ち剛性の回復が生じ、そのために流動が停止したものととして、砂層の体積の釣り合いから導かれる①式を用いて図-1の地表面形状を合理的に説明できることが示された。またこの限界歪は相対密度に依存し、相対密度が大きくなると残留傾斜部長さも大きくなることが示された。

$$X = L - 2H\sqrt{\gamma^* / \theta} \text{-----} \text{①}$$

ここに X: 残留傾斜部長さ、L: 砂層長さ、H: 砂層厚さ  
 $\gamma^*$ : 液状化砂の限界せん断歪、 $\theta$ : 地表傾斜角

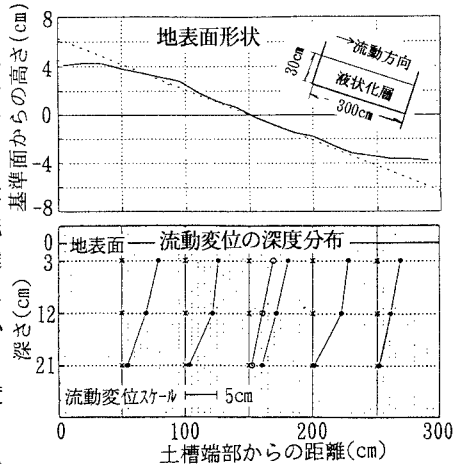


図-1 1g場における土槽振動実験結果<sup>1)</sup>  
 (相対密度41%、傾斜角4.2%  
 遠州灘周辺浜砂を使用)

3. 動的遠心模型実験

(1) 実験概要

図-2に地盤モデルと計器の配置を示す。豊浦標準砂を用いて飽和砂層を作製し、短辺方向に加振して液状化させ、流動を発生させた。今回の実験の特徴は、大きなせん断歪を発生させるため、砂層の長さ比べて厚さできるだけ小さくしたことである。また間隙流体は振動現象と透水現象の相似則を考慮し、水の50倍の粘性を有するシリコン油とした。実験ケースは表-1のとおり、相対密度と初期の地表面勾配を変えた3ケースとし、それぞれについて加振時間の異なる2段階の加振を行った。また計測項目は、地盤の応答加速度、間隙水圧ならびに砂層に埋設した色砂による最終流動変位とした。

表-1 実験ケース一覧表

ケース	初期相対密度	初期地表面勾配	遠心加速度	加振正弦波	加振後相対密度	
					1回目加振	2回目加振
ケース1	25%	10%	50g	200Hz, 20g	34%	42%
ケース2	56%	10%	50g	(4Hz, 400Gal)	56%	63%
ケース3	29%	5%	50g		37%	48%

(注)加振時間 1回目:0.05秒(2.5秒) 2回目加振:2.0秒(100秒)、( )内は1g換算値

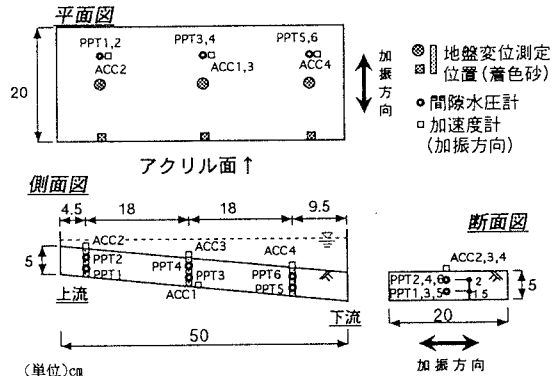


図-2 地盤モデルと計器配置

(2) 実験結果

過剰間隙水圧の計測例を入力加速度とあわせて図-3に示す。ケース2はケース1とほぼ同じ結果であることから割愛した。これによると

過剰間隙水圧は加振後急激に増加して水圧比がほぼ1に達し、砂層が完全液状化状態になったことを示している。また加振終了後水圧が低下するがその速さは1回目加振に比べて2回目加振の方が大きいことが認められる。なお加振初期に水圧が上昇した後、急激に低下する場合がみられるが、これは流動により計器周辺に負圧が発生したためと推測される。

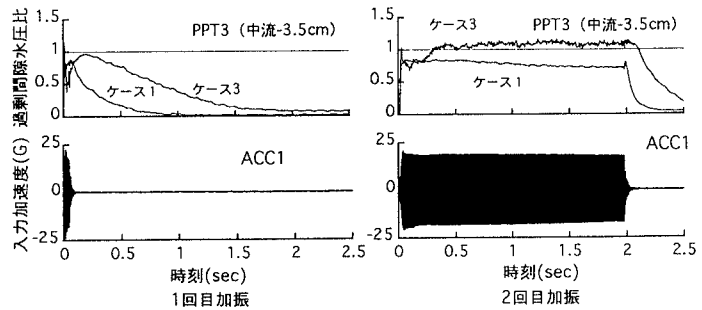


図-3 入力加速度、過剰間隙水圧の経時変化

次に、各ケースの地表面形状ならびに2回目加振後の流動変位の深度分布をそれぞれ図-4、5に示す。これによると、ケース3を除いて、地表面形状に残留傾斜部がみられること、この残留傾斜部における変位の深度分布が直線状であるのに対して、上、下流側で下に凸の分布形状を示し、重力場の実験結果と傾向が一致している。これに対してケース3では残留傾斜部がみられないこと、変位の深度分布も直線状を呈さず、他のケースとは異なっている。

実験結果 ○ 初期状態    - - - 1回目加振後(2回目加振前)    ····· 2回目加振後(最終状態)  
計算結果 — 2回目加振後(最終状態)

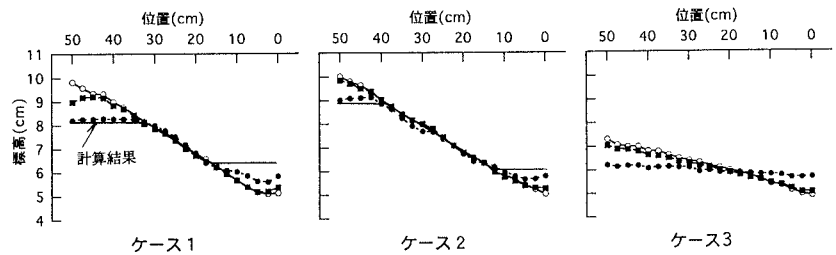


図-4 地表面形状

(3)考察  
図-5の中流部の変位分布から求められる砂層のせん断歪を限界せん断歪と仮定し、①式から求められる地表面形状を図-4に併記して示す。これによるとケース1、2

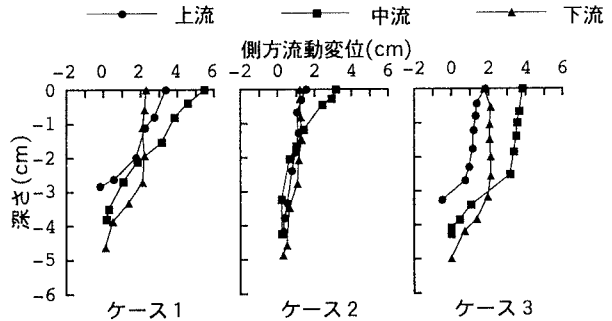


図-5 流動変位の深度分布

ともに実験結果と良く一致し、ケース3では深部の変位分布から求められる歪を限界せん断歪として①式に当てはめると残留傾斜部長さが負となり、このことも実験結果と符合している。さらにケース1、2を比較すると相対密度が大きい方が残留傾斜部長さが大きく、このこともlg場の実験結果と符合している。また、ケース1、2ともに加振時間が長くなると残留傾斜部長さが減少し加振の継続時間に依存する結果となっている。加振時間の短い1回目加振では、砂層が限界せん断歪に達する前に間隙水圧が自然消散したこと、さらに加振時間の長い2回目加振では、限界せん断歪に達した後も加振により砂層が再液状化し、そのことが加振停止後の急激な間隙水圧の低下となって現れていると推測される。

4. あとがき

lg場の実験でみられた砂層が大歪時に剛性が回復する現象について、動的遠心模型実験により検討した結果同様の現象がみられたが、現象が加振の継続時間に依存する結果になった。この点については今後も引き続き検討を行う予定である。

【参考文献】1)HAMADA, M. et al.: A Consideration on Mechanism of Liquefaction-related Large Ground Displacement, 5th U.S.-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Soil Liquefaction, 1994