

(68) 液状化の程度に注目した地盤永久変位に関する実験的研究

金沢大学大学院 学生員 ○安藤 康二
金沢大学工学部 正会員 北浦 勝
金沢大学工学部 正会員 宮島 昌克

1. はじめに

戦後の日本だけを見ても、多くの既往の大地震に伴う砂地盤の液状化により、各種の構造物が甚大な被害を受けてきた。例えば、1964年6月16日に粟島付近を震央とする新潟地震（マグニチュード7.5）が発生し、新潟県から山形、秋田県にかけての日本海沿岸で多くの構造物が被害を受けた。特に震央から約50kmに位置する新潟市では、広い地域で液状化が発生し、建築物、橋梁、石油タンク、ライフラインなど多くの構造物が被害を受けた。この地震に関する調査報告によると、市内川岸町の県営アパート地階に設けられていた強震計による最大加速度は、159galである。地震動そのものはそれほど大きくないにもかかわらずこれほどの被害を受けた理由は、被害のほとんどが地震動そのものによるというよりは、むしろ地震動にともなう地盤の液状化に起因したものであることが明らかにされた^{1), 2)}。

永久変位の発生メカニズム解明に関する研究としては、立花・浜田³⁾が永久変位の発生しはじめる起点付近では多数の亀裂が生じ、永久変位の収束する地域では多くの噴砂の生じていることに着目し、噴砂現象が液状化による永久変形に積極的に関わっているとの仮説を立て、浸透流による液状化実験を行っている。また、著者ら⁴⁾、佐々木ら⁵⁾は、過剰間隙水圧の経時変化と地盤変位の経時変化との関係に注目して振動実験を行っている。一方、地盤の永久変位量には、地盤構成、液状化層の厚さや深さ、地表面の勾配、地震動の大きさと継続時間などが複雑に絡まりあって影響しているものと考えられる。安田ら⁶⁾は、液状化層厚、液状化層下面の傾き、相対密度に、著者ら⁴⁾は、液状化層厚、液状化層の傾き、液状化層の幅に、佐々木ら⁵⁾は、液状化層厚、液状化継続時間、地表における加速度振幅に、それぞれ注目して実験を行い、変位量を支配する主要な要因を明らかにしようとしている。

本研究では、地盤の液状化の程度に注目し、入力加速度の大きさ、加振時間を変えることによって、液状化の程度を変え、地盤の液状化に伴う永久変位量と入力加速度との関係を特に詳細に調べ、永久変位の発生メカニズムに関する考察を行った。

2. 液状化の程度に注目した模型実験

2. 1 実験概要

実験装置の概略をFig.1に示す。実験に用いた砂箱は長さ1500mm、幅500mm、高さ350mmであり、これを振動台（島津製作所、EHV-3）にて長手方向に5Hzの正弦波で加振した。なお、5Hzという加振振動数は、本実験に用いた砂箱と砂層の組合せにおいて最も液状化が生じやすかったという以外には、特別な意味を持っていない。表面に砂を貼り付けた板を敷くことにより液状化地盤の底面に傾斜をもたせ、地盤の表面も底面の板と平行になるようにして傾斜地盤を作成した。地盤の作成方法としては、まず、砂箱いっぱい水を張り水中自由落下により、徐々に砂を底から堆積させ、できるだけ軟弱な地盤を作成するよう工夫した。砂層地盤に用いた砂は手取川の川砂であり、比較的液状化しやすい粒径範囲にある。その物理定数をTable 1に示す。地盤の中には、液状化の程度を知るためにFig.1の位置に加速度計および水圧計を設置した。地表面に16本のピンを刺すことにより、地表面の最終永久変位量を測定した。本実験では、入力加速度を一定とし、加振時間を変化させたものと、加振時間を一定とし、入力加速度を変化させたものの2通りの実験を行った。

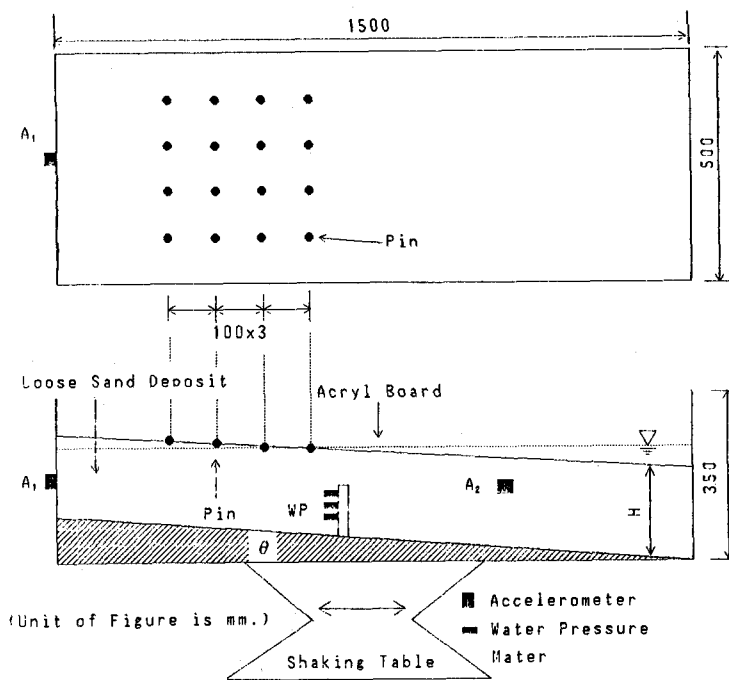


Fig.1 General View of Test Apparatus.

2.2 実験結果および考察

Fig.2に、入力加速度を90gal,130galとし、他の条件を同じ（地盤の傾斜 4%,層厚 20cm,加振時間 30s）とした場合の地盤応答加速度の時刻歴を示す。本実験においては、応答加速度が減少しはじめてから再び定常な振幅となるまでの時間を液状化継続時間としている。したがって、加速度計の設置位置において過剰間隙水圧が減少し始めてから消散するまでの時間に対応しているものと考えられ、完全液状化時間とは異なっている。Fig.2によれば、入力加速度が

90 galと比較的小さい場合、液状化継続時間が極めて短くなっている。これは、入力した地震動が小さいために、地盤中の過剰間隙水圧はほとんど上昇しておらず、地盤の支持力を十分に減少させるにはいたらなかったためと考えられる。すなわち、地震動が比較的小さい場合は不完全液状化状態となることがわかる。

Fig.3に入力加速度を90gal,130galとし、他の条件を同じ（地盤の傾斜 4%,層厚 20cm,加振時間 30s）とした場合の地盤中の過剰間隙水圧の時刻歴を示す。同図から、入力加速度が大きい方が最大過剰間隙水圧が大きくなり、最大値に達する時間は短くなっていることがわかる。すなわち、地震動が大きいほど過剰間隙水圧の上昇速度が速くなり、地盤の支持力を最も減少させるまでの時間が短くなると考えられる。また、入力加速度が大きいほど、過剰間隙水圧が消散するまでの時間が長くなっている。これは、入力加速度を130gal

Table 1 Physical properties of sand.

Specific Gravity	2.67	
Uniformity Coefficient	2.96	
Maximum Void Ratio	1.030	
Minimum Void Ratio	0.721	
50 Percent Diameter	0.2	(mm)
Coefficient of Permeability	1.92×10^{-2}	(cm/s)

とした場合、地盤は完全液化状態となっており、液化化時間が長くなったためと考えられる。このことは、Fig.2 の地盤応答加速度の時刻歴からも裏づけられる。

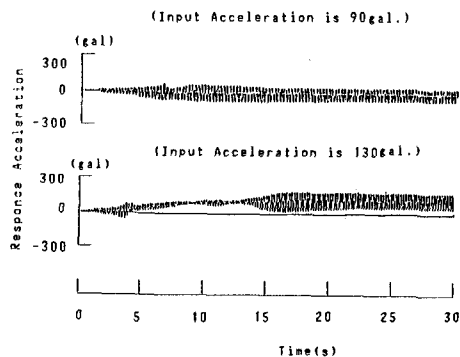


Fig.2 Time Histories of Response Acceleration.

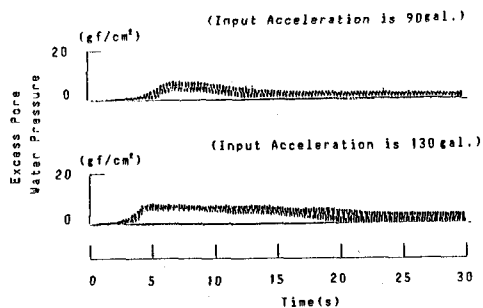


Fig.3 Time Histories of Excess Pore Water Pressure.

Fig.4 に入力加速度を 90gal,130gal とした場合における平均永久変位量と加振時間との関係を示す。平均永久変位量とは地盤表面に配置した16本のピンの移動量の平均とする。同図から、入力加速度が130gal の場合は、90gal の場合と比べて、地盤表面の永久変位速度が大きくなっていることがわかる。特に、比較的過剰間隙水圧が大きい加振後約15秒間においてはこれが顕著に現れている。これは、先に述べたように、入力加速度が130galの場合、90galの場合と比べ、地盤が完全液化状態となっているために地盤のせん断抵抗が小さくなったためと考えられる。それぞれの速度は、90galの場合、約0.07cm/s、130galの場合、0.27cm/sである。

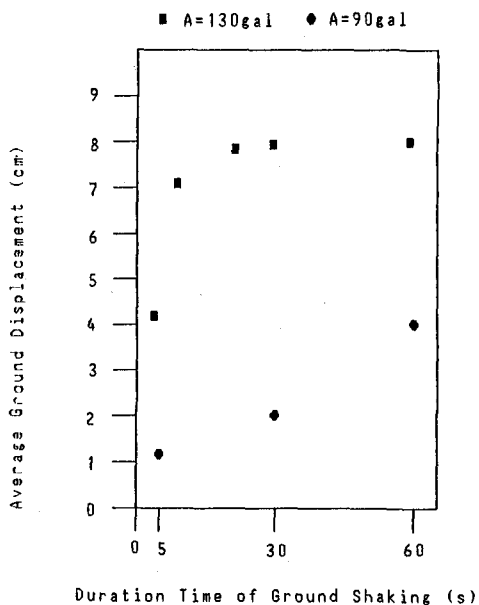


Fig.4 The Relation between Average Displacement and Duration Time of Shaking.

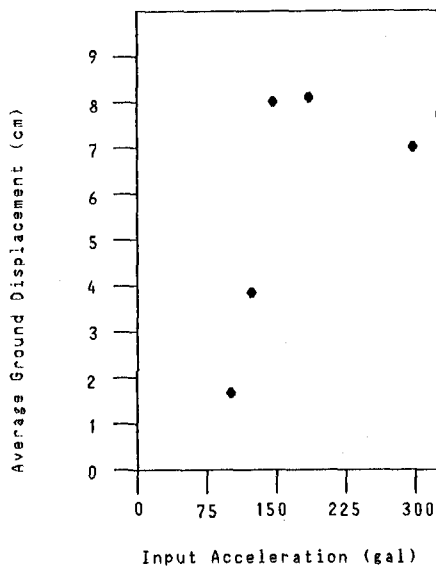


Fig.5 The Relation between Average Displacement and Input Acceleration.

Fig.5 に入力加速度と平均永久変位量との関係を示す。同図から、入力加速度が130gal程度までは、ほぼ線形的に入力加速度の増加と共に地盤表面の永久変位量は増加するが、ある限度を越えると永久変位量が減少していることがわかる。これは、Fig.6 の入力加速度を300galとした場合の応答加速度と過剰間隙水圧の時刻歴を見てもわかるように、入力加速度の大きさをある限度以上にすると、地盤中の過剰間隙水圧の消散速度を増大させ、過剰間隙水圧が最大となっている時間が短くなり、地盤の支持力回復が早くなるためと考えられる。

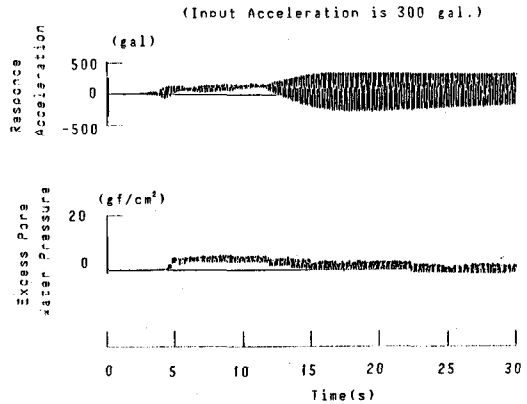


Fig.6 Time Histories of Response Acceleration and Excess Pore Water Pressure.

4. 結論

本研究は、液状化地盤の永久変位量を予測するための基礎的な知見を模型振動台実験を通して明らかにしようとしたものである。本実験においては永久変位量を支配する主要な要因として、地盤の液状化の程度に注目し、入力加速度が液状化の程度を左右し、これが地盤の永久変位量に大きな影響を及ぼすことを示した。実験装置の大きさなどの制約から定性的な考察にとどまったが、実際の地盤においてもこのようなことが液状化地盤の特性として考えられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、池本敏和技官、財団法人鹿島学術振興財団研究助成金および文部省科学研究費奨励研究A (No.02750382) による補助を受けたことを記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 浜田政則・安田 進・磯山龍二・恵本克利：液状化による地盤の永久変位の測定と考察，土木学会論文集，第376号，pp.211-220,1986.
- 2) 浜田政則・安田 進・磯山龍二・恵本克利：液状化による地盤の永久変位の測定と考察，土木学会論文集，第376号，pp.221-229,1986.
- 3) 立花信行・浜田政則：液状化による永久変位発生メカニズムの実験的考察，土木学会第44回年次学術講演会講演概要集，1，pp.886-887,1989.
- 4) Miyajima, M., Kitaura, M. and Nomura, Y.: Characteristics of Permanent Ground Displacement Induced by Soil Liquefaction, Memoirs of the Faculty of Technology, Kanazawa University, Vol. 21, No.1, pp.1-10, 1988.
- 5) 佐々木 康・松本秀應・佐谷祥一：液状化に伴う地盤流動に関する振動台実験，第24回土質工学研究発表会発表講演集，pp.1025-1028,1989.
- 6) 安田 進・多田 浩・中島良二・山元芳生：液状化地盤の永久変位に関する模型実験，第19回地震工学研究発表会講演概要，pp.185-188,1987.