

(77) 上下地震動が液状化地盤の挙動に及ぼす影響に関する実験

金沢大学大学院		金本昌也
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
金沢大学大学院	学生会員	翟 恩地
西松建設(株)		柚村孝彦

1. はじめに

現行の耐震設計において、地震の上下動成分による影響は一般には考慮しなくてもよいとされていることからわかるように、これまでは地震の上下動成分に対する関心が薄く、したがってその認識も浅かった。しかし、今回非常に大きな被害をもたらした兵庫県南部地震のような都市直下型地震においては、その上下動成分が地盤や構造物の破壊に及ぼす影響が、水平動に比べて決して無視できるものではない。地盤の増幅特性についても、水平動と上下動ではその挙動は大きく異なる。兵庫県南部地震の際に液状化が発生した神戸市ポートアイランドで観測されたデータによると、地下83mの波形を基準とした場合、地表面において水平動は約半分に減衰しているのに対し、上下動は逆に3倍近く増幅している。このような観点から本論文では、水平と上下の両方向を同時に加振できる振動台に正弦波を入力して飽和砂地盤を振動させ、特に上下動が、液状化の発生とそれに伴う地盤の沈下に及ぼす影響について検討する。

2. 実験に用いた材料および実験装置

実験に用いた砂の粒径加積曲線を図1に示す。この図より、この砂は比較的液状化しやすい粒径範囲にあることがわかる。次に実験装置の概要を図2に示す。振動台は水平1方向と上下方向に加振することが可能である。この振動台の上に砂箱を固定し、その中にボーリング法によって層厚43cmのゆる詰め飽和砂地盤を作成した。地表面から13cmの地点と33cmの地点にそれぞれ水圧計を設置した。振動台の水平動および上下動の加速度を測定するために、2つの加速度計を振動台に設置した。また地盤の応答を求めるために地表面から13cmの地点に水平および上下方向用に加速度計を2つ設置した。

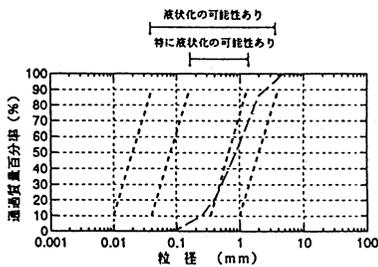


図1 実験に用いた砂の粒径加積曲線

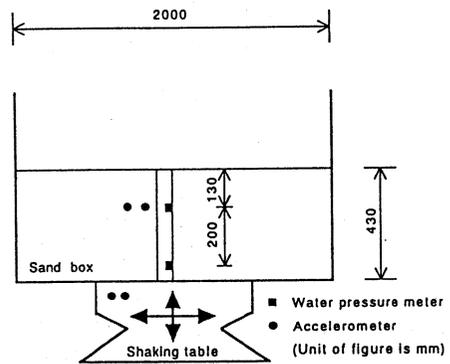


図2 実験装置概要図

3. 実験方法および実験条件

加振方向と入力加速度をパラメータとして飽和砂地盤を振動させ、特に上下動が液状化の発生とそれに伴う地盤の沈下に及ぼす影響について考察する。さらに、液状化地盤の上下動と水平動の応答の違いについて考察する。

加振方向については、水平方向、上下方向、並びに水平および上下両方向同時加振の3ケースで実験を行った。入力波は正弦波とし、水平動、上下動ともに振動数を10Hzとした。加振時間は、水平動、上下動ともに20秒間とし、水平および上下同時加振の場合は、まず上下方向に加振し始め、2.5秒後に水平方向も加振を始め、共に20秒間加振するものとした。本論文ではそれぞれの実験において以下の項目を測定した。

- 1) 振動台による水平動入力加速度
- 2) 振動台による上下動入力加速度
- 3) 地盤の水平方向の応答加速度
- 4) 地盤の上下方向の応答加速度
- 5) 過剰間隙水圧（地表面から13cmの地点）
- 6) 過剰間隙水圧（地表面から33cmの地点）
- 7) 地盤の沈下量

#### 4. 実験結果および考察

実験結果の一例を図3～5に示す。

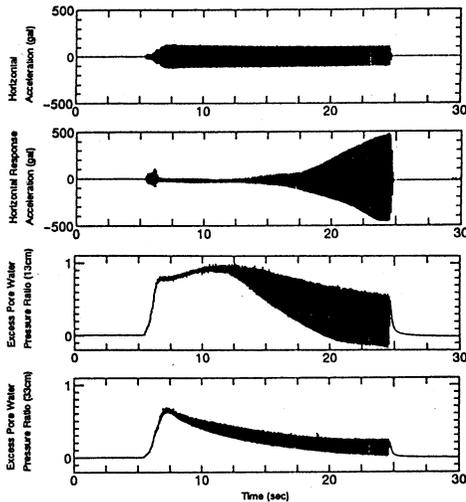


図3 水平方向加振時の入力加速度、応答加速度、過剰間隙水圧比

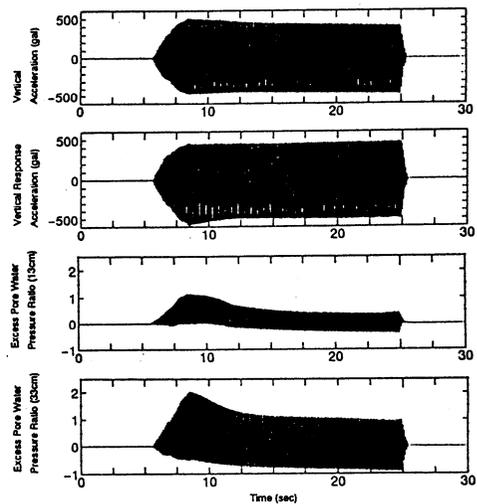


図4 上下方向加振時の入力加速度、応答加速度、過剰間隙水圧比

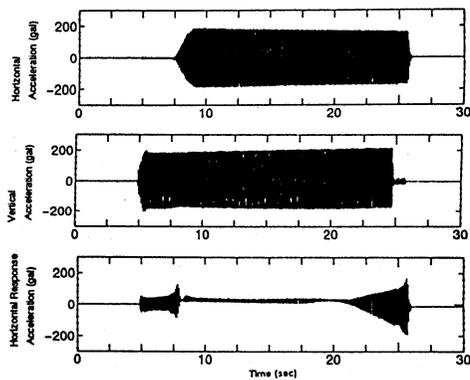


図5 水平および上下両方向加振時の入力加速度、応答加速度、過剰間隙水圧比

図3、図4、図5は、それぞれ水平方向加振時（120gal）、上下方向加振時（400gal）、水平および上下両方向加振時（水平方向、上下方向共に200gal）の、入力加速度、地盤の応答加速度、過剰間隙水圧比を示している。各ケースの過剰間隙水圧比の上昇に注目すると、地盤が液状化に達した時刻と液状化の継続時間を読み取ることができる。これら3ケースの中で最も液状化の程度が大きかったのは、過剰間隙水圧比のピークの継続時間が最も長い図5のケースであるといえる。なお、図4、図5において過剰間隙水圧比の振幅が大きくなっているが、これは上下動による動水圧の影響であると考えられる。

次に、表1に示す条件で行われた実験について考察を進める。図6は水平方向のみ加振した場合の水平方向の入力加速度と地盤応答加速度の応答倍率の関係を、図7は水平および上下両方向の入力加速度が同じ場合の入力加速度と地盤応答加速度の応答倍率の関係を、図8は水平方向の入力加速度を一定（300gal）として上下方向の入力加速度を変えた場合の入力加速度と地盤応答加速度の応答倍率の関係を示した図である。これらの図は先に示した過剰間隙水圧比の図をもとに完全液状化時における応答倍率を示している。これらの図が示すように、完全液状化時において、水平動は水平方向加振時、水平および上下両方向加振時ともにほとんど伝播されず、応答倍率が小さくなっている。一方、上下動は完全液状化時においても伝播されることがわかる。

表1 実験条件

ケース	水平方向の入力加速度 (gal)	垂直方向の入力加速度 (gal)
1	120	—
2	225	—
3	400	—
4	600	—
5	—	120
6	—	250
7	—	400
8	—	600
9	120	120
10	300	120
11	300	300
12	300	500
13	550	550

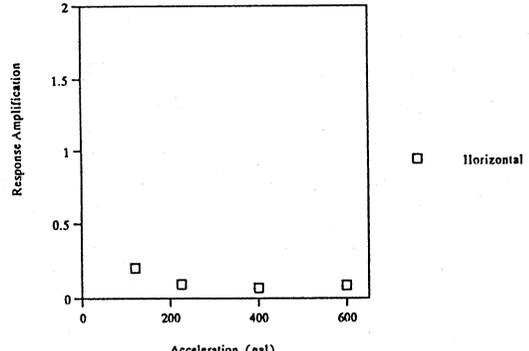


図6 水平方向の入力加速度と地盤の応答倍率の関係

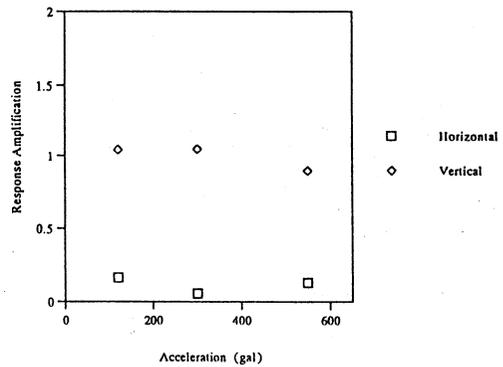


図7 水平および上下両方向の入力加速度が同じ場合の入力加速度と地盤の応答倍率の関係

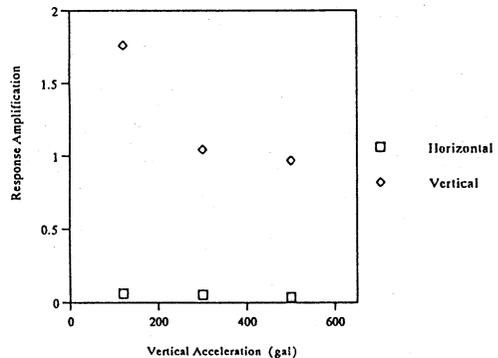


図8 水平方向の入力加速度を一定（300gal）とした場合の入力加速度と地盤の応答倍率の関係

図9は、横軸に入力加速度の大きさ、縦軸に地盤の沈下量を取り、3ケースの加振方向についてプロットした図である。この図より、どのケースにおいても入力加速度の増加に伴い地盤の沈下量が直線的に増加していることが読みとれる。ただし、水平および上下両方向の加振時において入力加速度の大きさの増加に伴う地盤の沈下量の増加は、沈下量が4cmのところまで頭打ちされたようになっている。これは、実験に用いた飽和砂地盤における地盤の限界鉛直ひずみ率が10%程度であったためと考えられる。水平動と上下動を比較すると、同じ加速度では、水平動の方が沈下量が大きいことがわかる。また、この水平動に同程度の上下動を加えるとさらに沈下量が増加することがわかる。

図10は、水平動の300galの入力加速度に対して、上下動の入力加速度を120gal、300gal、500galと変化させて、同時加振したときの各ケースの地盤の沈下量を示した図である。この図より、水平動と同程度の上下動が加わったときに、地盤の沈下量が最も大きくなることがわかる。逆に水平動の1.5倍以上の上下動が加わったときは、水平動の0.5倍以下の上下動が加わった時よりも地盤の沈下量が小さくなり、この3ケースのなかで沈下量が最も小さくなっている。これは、先に加わる上下動によって地盤が完全液状化に達するので、後から加わる水平動が伝播されにくくなり、地盤の沈下を増加させる影響が減少するからであると考えられる。

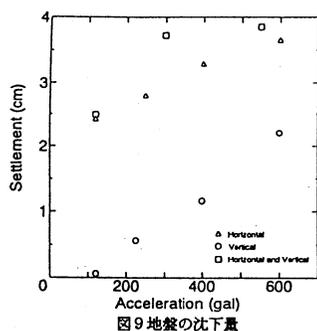


図9 地盤の沈下量

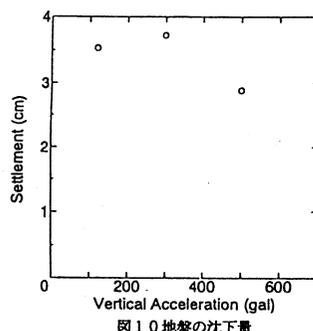


図10 地盤の沈下量

## 5. 結論

本論文では、加振方向と入力加速度をパラメータとして飽和砂地盤を振動させる実験を行い、液状化地盤の上下動と水平動の応答の違いについて考察をした。特に上下動が、液状化の発生とそれに伴う地盤の沈下に及ぼす影響について考察した。本論文の結論を以下に示す。

- 1) 水平動は完全液状化地盤では減衰し、液状化が終わった後の締め固まった地盤では増幅する。
- 2) 上下動は完全液状化地盤では増幅し、液状化発生前および発生後の地盤の応答に顕著な違いはみられない。
- 3) 地盤の沈下量は水平および上下両方向の加振時において最も大きくなり、1方向のみ加振した場合は水平方向加振時の方が上下方向加振時より沈下量が大きい。
- 4) 先に加わる上下動によって地盤が完全液状化に達すると、後から加わる水平動が、液状化の発生やそれに伴う地盤の沈下などに及ぼす影響が減少する。