

I-B 216 液状化地盤における水平動と上下動の波動特性

金沢大学大学院自然科学研究科 学生会員 賀 恩地

金沢大学工学部 正会員 北浦 勝

金沢大学大学院自然科学研究科 正会員 宮島昌克

1、まえがき

地震の上下方向成分が砂地盤の液状化および構造物に及ぼす影響についての研究がにわかに注目されるようになったのは、1994年のノースリッジ地震およびその一年後に発生した1995年の兵庫県南部地震を契機としている。これらの地震の特徴は、どちらも直下型地震であり、地震の上下方向成分が大きいことである。本論文では、兵庫県南部地震の際、大規模な液状化が発生した神戸市のポートアイランドで観測された波形記録および室内飽和砂振動台実験での波形記録を用いて、液状化地盤における水平動と上下動の波動特性について検討する。

2、液状化地盤における実地震水平動と上下動の波動特性

兵庫県南部地震では、神戸市のポートアイランドで大規模な液状化が発生した。図1に神戸市ポートアイランドで観測された地表面およびGL-83mの加速度記録を示す。観測記録は6分間にわたっており、約40秒の本震の後に5つの余震が記録されている。本論文では本震の部分を基線補正して使用した。図1において水平動と上下動を比較すると、水平動と上下動では地震波の増幅特性が異なっている。GL-83m地点を基準層とすると、地表面ではNS方向の最大加速度は約0.5倍に減衰しているのに対して、UD方向では約3倍に増幅している。すなわち、液状化地盤においては水平動は減衰し、上下動は逆に増幅すると言える。また、NS方向の波形ではGL-83m地点から地表面に向かうにつれて地震動の周期が長くなる傾向が顕著に見られる。上下動においては、長周期化の傾向は見られるものの、水平動ほどではない。

図2 (a) にポートアイランド地表面におけるフーリエスペクトルならびに上下動と水平動のフーリエスペクトル比をそれぞれ示す。また、図2 (b) に非液状化地盤における観測記録として神戸海洋気象台での地震波のフーリエスペク

トルならびに上下動と水平動のフーリエスペクトル比をそれぞれ示す。フーリエスペクトルを比較すると、まず水平動については、ポートアイランドでは1Hz以下の振動数領域でピークが見られるのに対して、神戸海洋気象台では1Hz以上の領域で見られる。上下動につ

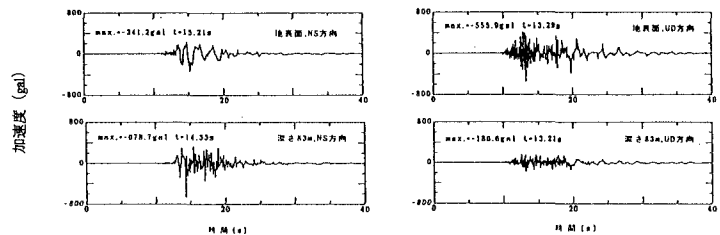
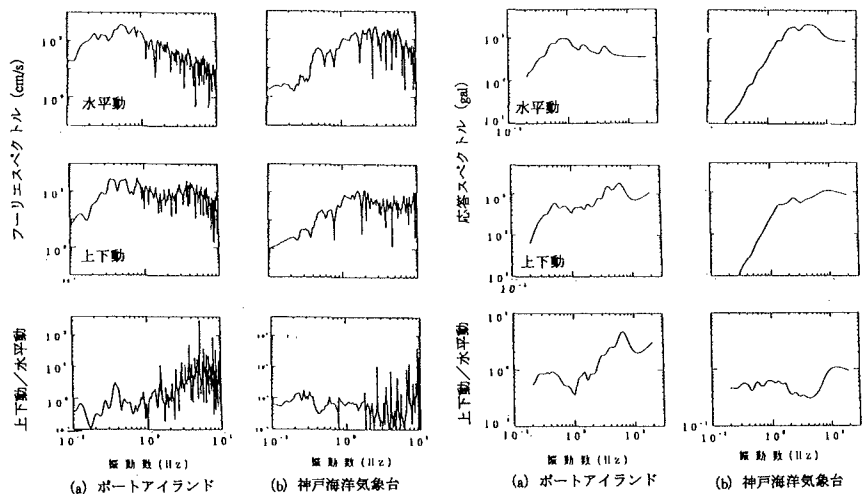


図1. ポートアイランドにおける地震動の加速度時刻歴

図2. 実地震波のフーリエスペクトル
ならびに上下動と水平動の比図3. 実地震波の加速度応答スペクトル
ならびに上下動と水平動の比

いては、ポートアイランドでは1Hz以下の領域および1Hz以上の領域にそれぞれピークが見られるのに対して、神戸海洋気象台では1Hz以下の領域にピークは見られない。上下動と水平動のフーリエスペクトルの振幅比について比較すると、両者の特性の違いがより明確に現れており、ポートアイランドでは1Hz以上の領域でフーリエスペクトルの振幅比が1.0を越えている。これは、液状化地盤においては、地表面での水平加速度は減衰するとともに長周期化するもので、1Hz以上の振動数成分が減少し、一方、上下動は地表面で増幅し、水平動ほど長周期化しないためであると考えられる。

図3に両地点における加速度応答スペクトルと加速度応答スペクトル比（減衰定数5%）を示す。応答スペクトルは、1質点減衰系によって代表される構造物に対して、地震動が与える最大応答を表現している。加速度応答スペクトルにも液状化による水平動の長周期化の影響が見られる。水平動については、ポートアイランドでは1Hz付近にピークが見られるのに対して、神戸海洋気象台ではピークは2Hzと4Hzにみられ、ピークの振動数が高くなっている。一方、上下動のピークは両地点とも6Hz前後にみられる。これを上下動と水平動の応答スペクトル比で見ると、液状化の発生したポートアイランドでは、1Hz付近を除いて応答スペクトル比が神戸海洋気象台のそれよりも大きくなっており、その差は特に1Hz以上の領域において顕著である。このことは、液状化した地盤では、水平動が長周期化するとともに減衰するために、非液状化地盤と比較して構造物は上下動の影響をより大きく受けることを示している。

3、飽和砂振動台実験による調和波水平動と上下動の波動特性

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（砂地盤に上向きの浸透流を与える）によって層厚42cmの飽和砂地盤を作った。地表面から12cmの地点に水圧計を、地表面から12cmの地点に地盤の水平方向および上下方向の応答を知るための加速度計を設置した。また、地盤への入力加速度となる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、振動台の基部に加速度計を設置した。入力波は正弦波とし、振動数は10Hzとした。加振時間は4秒間である。

図4に入力加速度、応答加速度、過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。少し小さい入力加速度である図4（a）から分かるように、過剰間隙水圧が上昇するに伴って、水平動を起こすせん断波は減衰する。一方、過剰間隙水圧が消散するに伴い、せん断波は徐々に増幅する。それと異なり、上下動を起こす疎密波は液状化の程度にも関わらず、増幅して伝播する。図4（b）に示すように、過剰間隙水圧比が1に至って、即ち、飽和砂地盤が完全液状化になったら、せん断波はほとんど伝播しない。一方、疎密波は液状化の地盤の中でも増幅する。

言い換えると、地中のある深さのところで大規模液状化し、それより上では液状化していない場合には、地表面では増幅された上下動のみが観測される。この上下動が構造物に大きな影響を及ぼすことが予想される。

4、まとめ

以上のことより、液状化地盤と非液状化地盤で地震動に対する波動の伝播特性は異なるといえる。水平動は液状化地盤において減衰し、振動の周期が長くなる。一方、上下動は液状化地盤において増幅する。振動の周期は長くなるが、水平動ほど顕著な長周期化は見られない。従って、非液状化地盤よりも液状化地盤において構造物は上下動の影響を受けやすいと考える。

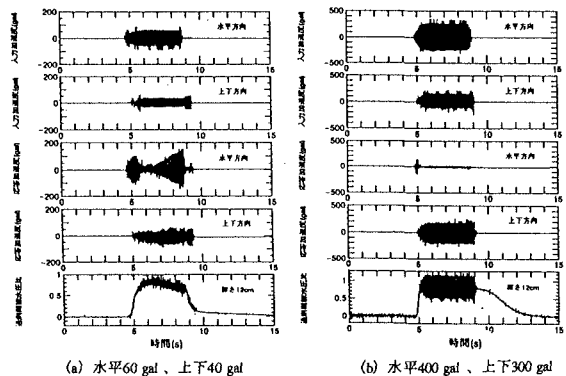


図4 飽和砂振動台実験における入力加速度、
応答加速度、過剰間隙水圧比の時刻歴