

直下型地震による液状化地盤の応答解析

神戸大学工学部 正会員 高田至郎
神戸大学大学院 正会員 李 騰雁
神戸大学大学院 学生員 〇西浦克敏

1. はじめに 地盤の液状化は、地中せん断ひずみに起因するために、一般に地震の水平動が重要となる。しかし、鉛直地震動が増大すると考えられる直下型地震にあっては、鉛直動がせん断ひずみ発生に寄与すれば、さらに液状化が発生し易い条件が整うことになる。そこで、本研究では直下型地震を受ける地盤を想定し、液状化発生に及ぼす鉛直動の影響を検討した。

2. 実地震データを用いた液状化解析

2. 1 解析モデル 今回の解析では、図1に示すような幅32(m)深さ15(m)の地盤を、4層45節点64要素の有限要素モデルで解析を行った。斜線部分が液状化可能性領域である。境界条件は両端の鉛直方向と底部を固定し、地下水位は地表面とした。液状化領域での透水係数 $k=5.00 \times 10^{-5} (m/s)$ 、また地盤の諸定数は表1に示す。入力地震波としては、ロマ・プリエタ地震において観測された地震波のうち、表2に示す3つの地震波を用いた。CAPITOLA-FIRE STATIONで記録された地震波の波形を図2に示す。また、解析は表3に示す9ケースを行った。

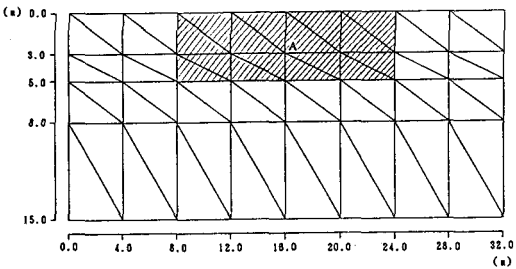


図1 解析モデル

表1 地盤の諸定数

層	相対密度	内部摩擦角 (度)
1	0.50	28.00
2	0.60	30.00
3	0.70	33.00
4	0.80	36.00
液状化領域	0.40	27.50

表3 解析ケース

	加速度入力方向			観測地
	水平	鉛直	両方	
CASE-1	○			CAPITOLA-FIRE STATION
CASE-2		○		
CASE-3			○	
CASE-4	○			SAN FRANCISCO-PRESIDIO
CASE-5		○		
CASE-6			○	
CASE-7	○			SAN FRANCISCO-TELEGRAPH HILL
CASE-8		○		
CASE-9			○	

表2 各地震波の諸データ

観測地	震央距離 (km)	卓越周期 (秒)		最大値 (gal)	
		水平	鉛直	水平	鉛直
CAPITOLA-FIRE STATION	10.1	0.12	0.06	-390.8	-500.1
SAN FRANCISCO-PRESIDIO	102.4	0.48	0.20	-194.9	56.2
SAN FRANCISCO-TELEGRAPH HILL	100.1	0.24	0.19	90.5	-31.9

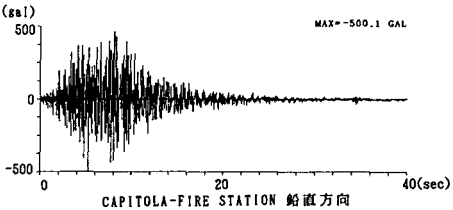
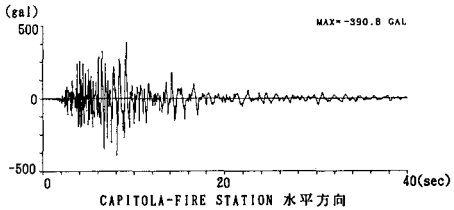


図2 入力地震波

2. 2 解析結果 CASE-1~CASE-6のA点においての水平方向応答変位を図3に、過剰間隙水圧比を図4に示す。解析の結果、CASE-5、CASE-8において液状化が発生しなかった。これは、震央距離が遠いために

Shiro TAKADA, Teng-yan LI, Katsutoshi NISHIURA

振動の鉛直成分が小さかったからだと思われる。

3. 加速度の最大振幅レベルを変化させた時の液状化解析 ここでは、液状化が発生しうる加速度の下限振幅を求めるために、地震波の加速度振幅を種々に変化させて解析を行った。

3.1 解析モデル この解析では、地盤モデルに2.1で用いたものを使用し、入力地震波としてCAPITOLA-FIRE STATIONで記録されたものを加速度振幅レベルのみを変化させて使用した。変化させた最大振幅と解析ケースを表4に示す。

3.2 解析結果 解析の結果、水平動のみ入力の場合の加速度の下限振幅は50 (gal)、鉛直動のみ入力の場合は175 (gal)、両方入力の場合は50 (gal)であった。すなわち、液状化の発生において加速度の振幅は大きな意味を持ち、鉛直動のみの入力による液状化発生の下限振幅は、水平動のみの入力による液状化発生の下限振幅よりも大きく、3～4倍になることが分かった。

液状化の発生に大きく影響する地中のせん断ひずみは、 $(\partial u / \partial y + \partial v / \partial x)$ であるので、水平および鉛直変位の変化割合がせん断ひずみ発生に寄与する。また、均質な地盤が地震の水平動を受けるときの卓越周期 T_H ($T_H = 4H / C_s$ 、 H ：地盤の深さ、 C_s ：S波伝播速度)と鉛直動を受けるときの卓越周期 T_U ($T_U = 4H / C_p$ 、 H ：地盤の深さ、 C_p ：P波伝播速度)において、 C_p と C_s の比率を考慮すると、 T_H は T_U の約3倍程度となる。地震応答変位スペクトルと卓越周期の関係より、周期が3倍になれば、変位は3～5倍になることが知られているので、このように卓越周期は水平・鉛直振動におけるせん断ひずみ発生に大きな影響を与える。よって、水平動を入力した場合は、鉛直動を入力した場合の約3～5倍の応答変位が発生し、その事はせん断ひずみの発生についても言えるので、上述の解析のように3～4倍という比率の結果が得られることが理解できる。

4. 結論 本研究で使用した地盤モデル、入力地震波の範囲では、液状化発生に対する影響はやはり水平動が大きい。しかし、直下型地震のように震央距離が小さく鉛直加速度が大きい場合には、液状化発生における鉛直動の影響は少なくない。また、同一地盤を鉛直動のみによって液状化させるには、水平動による液状化発生時の約3～5倍の鉛直動が必要であることが分かった。

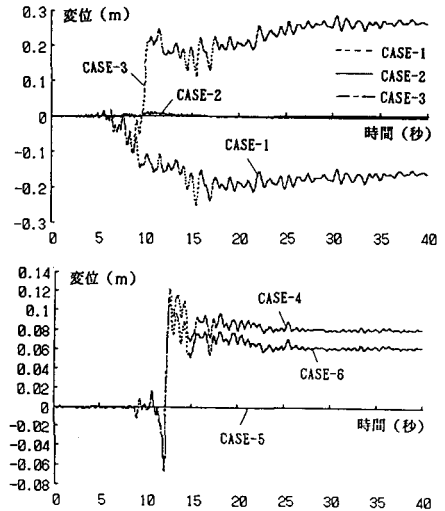


図3 A点の水平方向応答変位

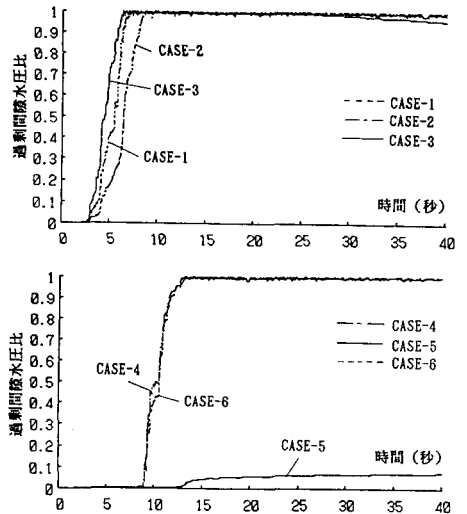


図4 A点の過剰間隙水圧比

表4 解析ケース

	入力方向		
	水平	鉛直	両方
CASE-1	25		
CASE-2	50		
CASE-3		150	
CASE-4		175	
CASE-5		200	
CASE-6			25
CASE-7			50

(単位:gal)