

液状化時に上下動が地盤応答に与える影響

中部電力	正会員	○森 勇人
京都大学防災研究所	正会員	澤田 純男
東北学院大学	正会員	吉田 望

1. 目的

強震によって地盤の構成則が非線型領域に達すると、水平動と上下動の相互作用が現れる可能性がある。この効果は特に、間隙水の影響が小さい不飽和地盤や、著しく非線型の挙動である液状化時に現れやすいと考えられる。相互作用の影響が実際の地盤応答にどのように現れるのかを適切に評価することは、耐震設計技術の向上に寄与するものである。そこで本研究では、飽和均質地盤と不飽和均質地盤において動的解析を行い、上下動入力の有無により地盤応答に現れる変化を評価することで、水平動と上下動の相互作用の影響を調べる。さらに兵庫県南部地震時のポートアイランド地盤の動的解析を行い観測記録と比較することで、得られた相互作用の効果が実現象を再現するものであるかを確認する。

2. 均質飽和地盤・均質不飽和地盤における上下動と水平動の相互作用

(1) 解析モデル

層厚 10m の均質地盤を考え、それを 1 辺 1m の立方体要素を使い柱状に離散化する。さらに側面では同じ深さの節点の変位を同じにすることで 1 次元にモデル化した。また、底面にはダッシュポットを配置し、入射波入力を可能にした。本章では飽和地盤、及び不飽和地盤の 2 つの地盤を考慮する。不飽和地盤は水の体積弾性率を水と空気のと考え、値を小さく設定することにより評価する。材料パラメータは表-1 のポートアイランド地盤第 2 層の埋土（まさ土）の物理特性から設定した。ただし水の体積弾性率 B_f については、飽和地盤では 2.2×10^6 (kPa)、不飽和地盤では 3.5×10^5 (kPa) の値を使用する。不飽和地盤の B_f はポートアイランド第 2 層の計測値である飽和度 69~88% 程度に対応している。土の構成則には弾塑性理論に基づき液状化時の地盤応答を忠実に再現できる構成モデル (Elgamal et al.) を使用し、非排水条件を仮定して FEM による動的解析を行う。入力地震動には加速度振幅 300cm/s^2 の正弦波を用い、これをモデルの下端に入力する。すなわち、振幅 150cm/s^2 の入射波を入力したことになる。今回は

a) 1 方向入力: 水平動 1 Hz, b) 2 方向入力: 水平動 1 Hz + 上下動 5 Hz
の 2 ケースを入力地震動として解析を行う。また 1 次モードに対して 3% の Rayleigh 減衰を導入した。

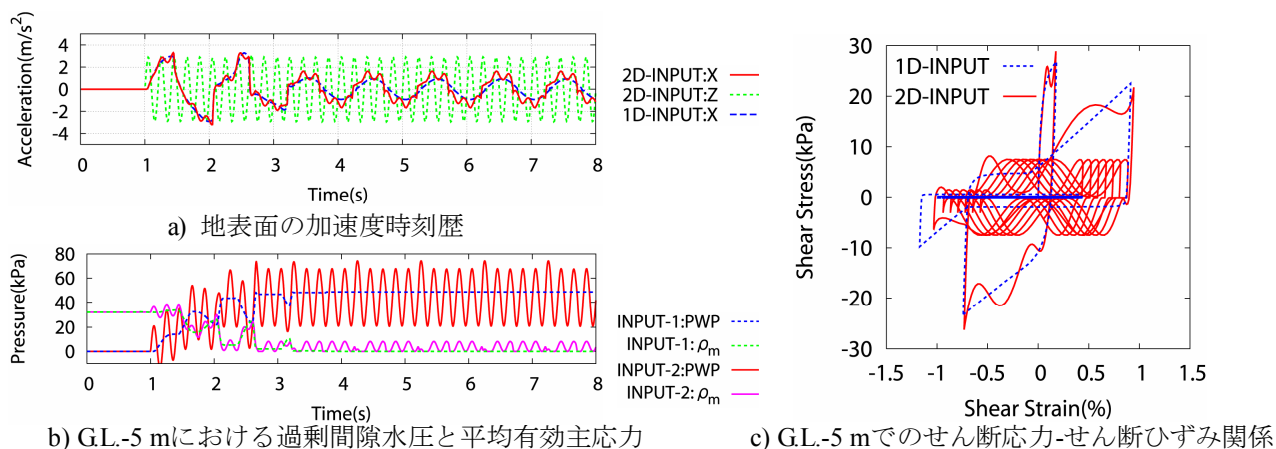


図-1 不飽和地盤の地盤応答

キーワード 相互作用, 上下動, 液状化, 地盤応答, FEM

連絡先 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所 TEL 0754-38-4068

表-1 ポートアイランド地盤の材料定数 (単位系: ton, m)

No.	地質	H	ρ	G_r	B_{sr}	B_f	θ	θ_m	c
1	埋土	4.5	1.8	7000	27500	0	38.2	28	0
2	埋土	7.5	2.1	8500	31200	35000	38.2	28	0
3	埋土	6.5	2.1	8500	31200	1.4×10^5	38.2	28	0
4	粘土	10	1.8	4200	15400	1.3×10^5	0	0	90
5	砂礫	4.0	2.0	8400	30800	1.0×10^5	45	28	0
			ρ	V_s	V_p				
基盤	砂礫		2.0	243	1341				

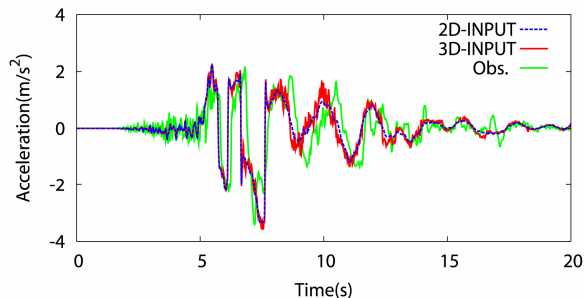


図-2 ポートアイランド地表面の加速度時刻歴

(2) 解析結果及び考察

飽和地盤では上下動の有無による変化はほとんどなかった。しかし図-1a に示すように、不飽和地盤では 2 方向入力時の水平動に加える形で上下動と同様の周期を持った振動が現れている。不飽和地盤では液状化時に上下動が水平動に影響することが確認される。この結果を図-1b に示した過剰間隙水圧と平均有効主応力の時刻歴、図-1c に示したせん断応力-せん断ひずみ関係から考察する。2 方向入力時には上下動の入力により過剰間隙水圧が大きく振動している。さらに不飽和地盤では、平均有効主応力も同様の周期で振動していることが確認できる。不飽和地盤ではこの平均主応力の振動がせん断応力-せん断ひずみ関係に影響を及ぼしている。その効果の特徴として、せん断応力の振動と、液状化後上下動の震動によるせん断応力の復活が見られる。せん断応力は水平動に直接影響するので、上下動の入力の有無によって水平動に変化が起ったと考えられる。

3. ポートアイランド記録のシミュレーション

(1) 解析モデル

不飽和地盤における上下動から水平動への作用が実現象を表すものであることを確認するために、実際の観測記録と地盤モデルを用いて動的解析を行い観測結果との比較を行う。対象は 1995 年兵庫県南部地震時のポートアイランドの鉛直アレー記録とする。安田らが本震後に行った調査によると観測点地表付近の飽和度は 69-88%であった。つまりポートアイランドの地盤は不飽和地盤である。表-1 に設定したパラメータの一覧を示す。地下水位は G.L.-3m と推定した。入力地震動には G.L.-32m にある地震計の観測波形を用いる。入力条件としては以下の 2 ケースを考える。

a) 2D-INPUT : 水平 2 方向入力, b) 3D-INPUT : 3 方向入力

解析は P 波到達から 20 秒間を時間ステップ 0.001 秒で行う。また前と同様、3%の Rayleigh 減衰を考慮した。

(2) 解析結果及び考察

図-2 に 2 方向入力, 3 方向入力, 及び観測記録の地表面の加速度時刻歴を示す。2 方向入力時と比較して, 3 方向入力の場合には主要動以降で高周波数の振動が現れていることが確認できる。これは前の不飽和均質地盤での結果と同様である。さらに 3 方向入力時の加速度時刻歴を観測波形と比較すると, この高周波数成分の振動は観測波形と良く一致していることが分かる。これらのことにより, 上下動から水平動への作用が実際の地盤内で起こっていること, それが水平動の高周波数成分として現れていることが確認される。

参考文献

- Elgamal, A., Yang, Z. and Parra, E.: Modeling of cyclic mobility in saturated cohesionless soils, International Journal of Plasticity, Vol. 19, pp. 883-905, 2003.
- 安田進, 小林利雄, 福島康弘: まさ土の液状化特性に与える飽和度と粒度の影響, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, Vol. 10-2, pp. 1343-1348, 1998.