

I-8 2000 年鳥取県西部地震における境港地震観測地盤の非線形挙動

愛媛大学工学部 フェロー 森 伸一郎

愛媛大学大学院 学生会員 ○曾我部繁之
鹿島建設(株) 正会員 阿部 雅弘

1. はじめに 2000 年 10 月 6 日に発生した鳥取県西部地震では、境港市の埋立地で液状化が生じ¹⁾、地震動が観測された。これまで多くの研究者によって境港市の地震観測地点の地震応答解析が行われている²⁾³⁾。しかし、地震応答解析に用いる解析モデルと地震波について課題が残っていると考えられる。そこで、本研究では地盤物性と入力パラメータの再検討を行うとともに入力地震動について再検討し、改めて地震観測地点における地震時の挙動を明らかにした。

2. 解析対象地点と地震記録 解析対象地点は地震記録と地盤資料が公開された港湾の地震観測地点⁴⁾である。観測地点では噴砂は見られなかったが、半径 100m 以内には噴砂が見られた。観測された地震記録には主要動後半から表層地盤の液状化の影響と思われる特徴がある¹⁾。図-1 に観測地点におけるボーリング柱状図を示す。観測地点は深さ 40m まで緩い層が分布しており、それ以降は N 値 50 以上の層が分布する地盤構造をしている

3. 解析条件と入力地震動 地震応答解析は有効応力解析により行った。解析プログラムは FLIP⁵⁾である。FLIP は、地盤の解析モデルの入力パラメータとして動的変形と液状化に関するものがある。これらは、原則として N 値と土質名に基づき設定した。目標とする液状化強度は、道路橋示方書の液状化判定式に用いられている海洋型と直下型の液状化強度を 20 回と 5 回の繰り返し強度に対応するものとして考えた。表-1 に地盤物性を表-2 に液状化パラメータを図-2 に液状化強度を示す。森ら²⁾は、有効応力解析で使用する解析モデルの初期せん断剛性を等価 N 値から求めたが、本解析では図-1 に示す N 値からせん断波速度 V_s を推定し、 $G_0 = \rho V_s^2$ (ρ は密度) により初期せん断剛性を求めた。また、液状化パラメータにおいて、パラメータの感度分析を行い目標となる液状化強度により近づけた。

入力地震動は、防災科学技術研究所の基盤強震観測網(Kik-net)⁶⁾により美保関の地表で観測された EW 成分の加速度時刻歴を用いた。0~80 秒までの記録の内、15~55 秒までを図-3 に示す。美保関観測地点の地盤は深さ 4m まで硬い中砂が堆積しそれ以降は岩盤である。この地震記録を境港市周辺の岩盤上面の地震波と設定した。境港市周辺のボーリング柱状図⁷⁾から推定すると港湾観測地点周辺の岩盤上面は深さ約 100m 以上であるため、解析モデルの工学的基盤面の入力地震動は岩盤上面に作用した地震波から増幅したものと考えた。そこで、美保関観測地点の地震記録を 1.0、1.3、1.5、1.8、2.0 倍したものを解析モデルの入力地震動と見なし、港湾観測地点の地震記録と地表の解析結果が良く整合するような入力地震動を決定した。

4. 解析結果と考察 境港の観測地点で得られた記録は 60 秒間で、解析は観測記録の 60 秒間に加えて 80 秒間

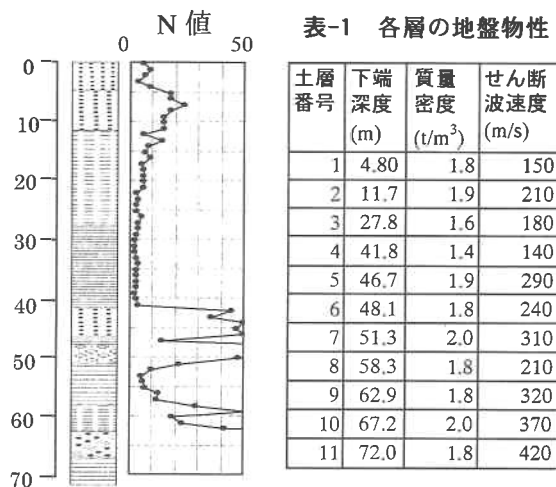


図-1 地盤柱状図⁴⁾

表-2 各液状化層の地盤パラメータ

土層番号	R_{20}	R_5	変相角(°)	s1	w1	p1	p2	c1
1	0.219	0.306	28	0.005	6.0	0.5	1	2.20
2	0.288	0.468	28	0.005	8.5	0.6	1	2.80
3	0.258	0.393	28	0.005	13	0.5	1	2.45
5	0.323	0.561	28	0.005	10	0.6	1	3.30

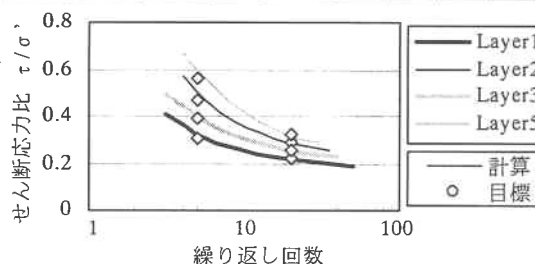


図-2 液状化抵抗曲線

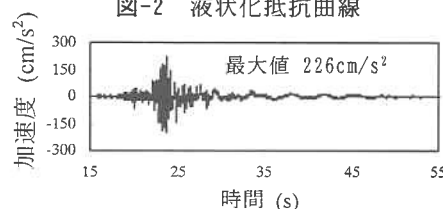


図-3 美保関における地表の加速度時刻歴(EW成分)

行った。論文では 15～55 秒を示す。図-4 に地表の加速度時刻歴を上から港湾観測記録、応答解析の入力を 1.0、1.3、1.5、1.8、2.0 倍としたときの結果を順に示す。解析では 25 秒付近の振幅が小さいが、入力地震動に 1 Hz の成分が少ないためであろう。35 秒付近の波形を見ると、入力地震動が大きくなるほど、短周期成分が少なくなる。1.8 倍では、長周期化した波形が強くなり、特に 35 秒以降、観測波と比較して位相、振幅が良く一致する。つぎに、図-5 に加速度フーリエスペクトルを示す。どの解析結果も 0.5Hz 付近で卓越しているが、それ以下の振動数領域で大きく異なる。ここで 1.8 倍を見ると、観測記録と解析結果が 0.5Hz 以下の振動数成分が良く一致している。図-6 に 1.8 倍のときの解析結果と地表の速度、変位の観測記録の比較を示す。どちらも振幅、位相が良く一致している。以上より入力地震動は 1.8 倍が妥当であると考えられる。図-7 に入力地震動の大きさを変えたときの地表の相対変位を示す。入力地震動の大きさにおよそ比例している。図-8 に港湾観測地点における地盤の最大値分布(相対変位、せん断ひずみ、過剰間隙水圧比)を示す。深さ 4.2m において入力地震動が大きくなるにつれて、過剰間隙水圧比の上昇

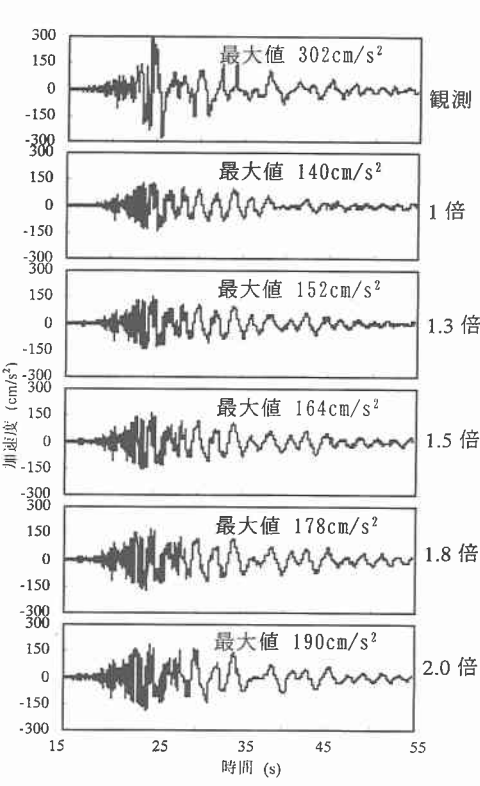


図-4 観測記録と解析結果

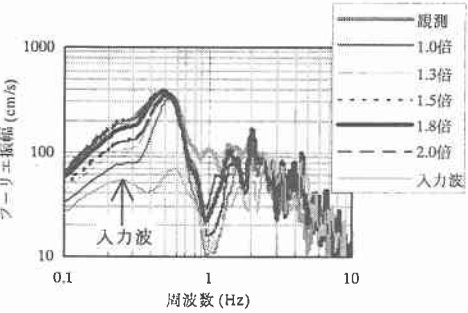


図-5 加速度フーリエスペクトル

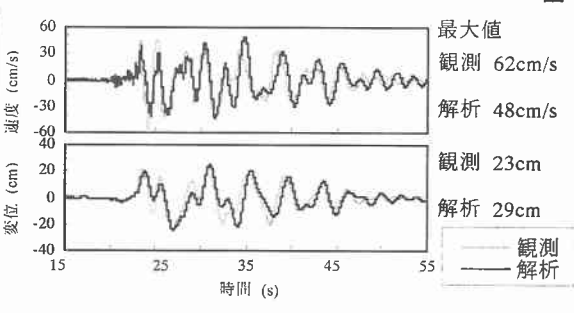


図-6 観測記録と解析結果の比較

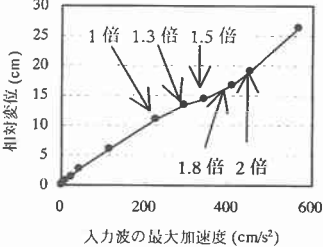


図-7 入力地震動の大きさと地表の最大相対変位

が見られる。その深さの層が液状化しやすいと推測される。1.8 倍の結果を見ると、深さ 4.2m で過剰間隙水圧比が 0.94 と上昇し、それに伴いその深さにおけるせん断歪も卓越しているが相対変位に大きな増加はない。表層で軽度の液状化が発生したと推測される。このことは、周辺近くで噴砂が観察されなかった事実とよく合う。

5. 結論 港湾の観測地点における地表の観測記録と解析結果の主要動後半から加速度、速度、変位の波形の位相と振幅が良く一致した。解析モデルと入力地震動(美保関の観測記録の 1.8 倍)が妥当であるといえる。また地震時の観測地点では、深さ 4.2m で軽度の液状化が発生したと思われる。これは、周辺近くで噴砂が観察されなかった事実とよく合う。

参考文献 1) 森 伸一郎: X. 液状化被害(その 3), 平成 12 年鳥取県西部地震災害緊急調査団報告, 地盤工学会, pp.78-82, 2000.12. 2) 森 伸一郎, 阿部 雅弘, 服部 加奈子: 2000 年鳥取県西部地震における境港市の埋立地の地震応答, 土木学会第 26 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.349-352, 2001.8 3) 三輪 滋ら: 2000 年鳥取県西部地震における境港市の近接した 3 地点の地盤の地震時挙動の比較, 第 36 回地盤工学研究発表研究発表会, pp.2339-2340, 2001.6 4) 国土交通省港湾技術研究所: 港湾地域強震観測ホームページ, <http://www.phri.go.jp/jishin/index.html> 5) 井合 進, 松永 康男, 亀岡 知弘: Strain space plasticity model for cyclic mobility, 港湾技術研究所報告, 第 29 巻, 第 4 号, 1990.12. 6) 科学技術庁防災研究所基盤強震観測網(Kik-net) ホームページ, <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/> 7) 中国地方基礎地盤研究会: 山陰臨海平野地盤図, pp.113-118, 1995

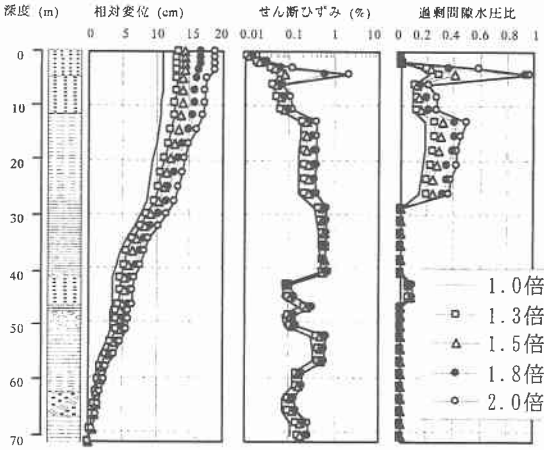


図-8 最大応答値の深度分布