

I-7 大洲液状化アレー観測記録に見られる地盤の非線形挙動

愛媛大学工学部 フェロー 森 伸一郎

鹿島建設(株) 正 ○阿部 雅弘

愛媛大学大学院 学 曾我部繁之

1. はじめに 国土交通省で推進されている道路・河川等の管理施設沿いの地震計ネットワークシステムの一環として、四国地方整備局の大洲工事事務所では間隙水圧計を含む地震観測が1999年1月より行われている。2001年3月24日の芸予地震($M_j=6.7$)では地震計と間隙水圧計の全成分が観測された。これまで、地震観測記録の特徴を明らかにするとともに、地盤の増幅特性を検討してきた¹⁾。ここでは記録の分析から地盤の非線形性について検討する。

2. 解析対象地盤と観測機器 観測地点は愛媛県大洲市の肱川河口より約8 kmにあたる中流部の氾濫源で、河川堤防及び周辺地盤に設置されている。センサーは3成分のサーボ型加速度計(最大容量2 G)がGL-1.5, -14.5, -26 mの地中部3深度に、および堤体内に堤頂より1.5 mの深さ、GL+4.3 mの位置に設置されており、GL-14.5 mに間隙水圧計(最大容量490 kPa)が埋設されている。図-1に地盤構造とセンサーの配置を示す。図には地盤柱状図に加えて、標準貫入試験によるN値、道路橋示方書に基づきN値から推定した V_s の分布を併せて示している。次に地盤構造を上方より述べる。地表からGL-11 mまでは粘土や砂の薄層を狭在させながらも概ねきわめてゆるい砂礫層が卓越している。GL-11~24 mまでは砂混じりシルトの卓越する層が分布し、間隙水圧計の埋設深さはN値10程度で細粒分含有率66%の砂質シルト層が相当する。

3. 観測記録と分析方法 本震と6回の余震が観測されており、図-2に本震のEW成分の加速度時刻歴及び最大値を示す。いずれも初動5秒間の基線補正を行い、地中記録に関してはその後、方位補正を行った。補正量はGL-14.5, -26 mでそれぞれGL-1.5 mの記録に対して18度、6度である。GL-1.5, -14.5 mの最大加速度はそれぞれ159, 125 cm/s^2 であり、いずれも20秒付近である。図-3にEW成分の加速度フーリエスペクトルを示す。波形にはバンド幅0.2 HzのParzenウィンドウを施している。GL-1.5, -14.5 mでは1.4 Hzの成分が卓越している。

次に地盤の振動特性を表すものとして、図-4に本震と最大余震(3/26 05:41)のEW成分の伝達関数(GL-1.5 m/GL-26 m)を併せて示す。これらには、バンド幅0.2 HzのParzenウィンドウを施している。一次卓越周波数でみると、本震で1.63 Hz、余震で1.93 Hzであり、本震時に非線形化により卓越周波数が低くなった。同様にNS成分は本震で1.51 Hz、余震で2.08 Hzであった。周期に換算すると、NS成分で1.38倍、EW成分では1.18倍の長周期化が確認された。地盤のせん断剛性 G は V_s の2

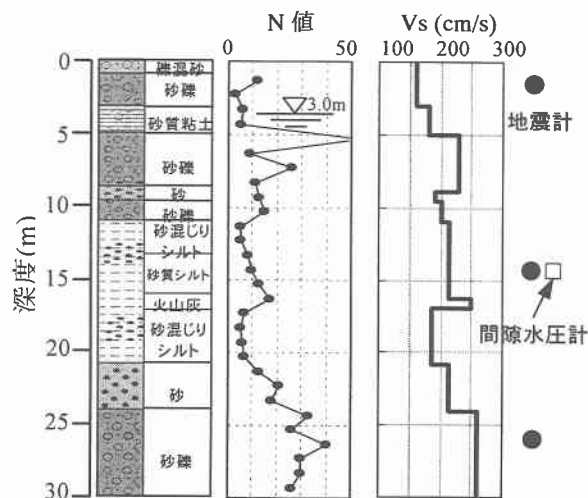


図-1 地盤柱状図及びセンサー配置

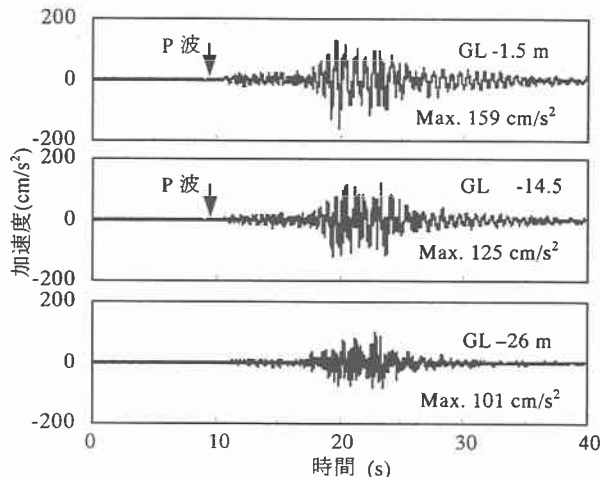


図-2 本震のEW成分の加速度時刻歴

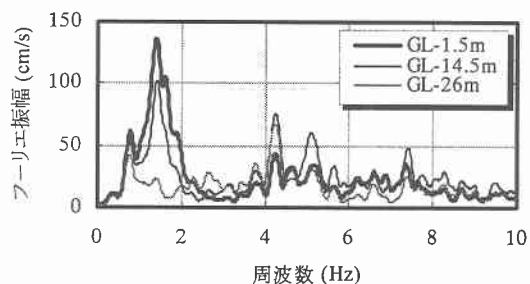


図-3 EW成分の加速度フーリエスペクトル

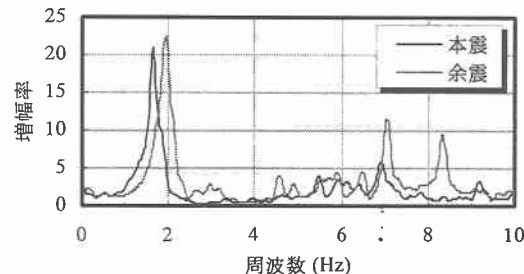


図-4 EW成分の伝達関数 (GL:1.5 m/GL:26 m)

乗に比例し、 $T=4H/V_s$ の関係から $G/G_0=(f/f_0)^2$ とおける。この性質を利用すると、地盤のせん断剛性が本震時には NS 方向では初期状態の 50%程度、EW 方向では 70%程度に低下した。

4. 記録の分析 図-5 に本震の過剰間隙水圧の時刻歴を示す。(a)は観測記録であり、(b)は振動成分を除去し、蓄積残留量を検出するため Hanning ウィンドウを施したものである。図-5 (b)によれば、約 19 秒から上昇が始まり、平滑化したときの最大値は 14 kPa であり、約 21 秒で生じている。地下水位を GL-3 m と仮定した場合、GL-14.5 m における初期有効上載圧は 138.6kPa となり、過剰間隙水圧比にして約 10%上昇したことになる。

次に、図-6 に本震の EW 成分の変位時刻歴及び最大値を示す。なお、NS 成分の最大変位は GL-1.5、-14.5、-26 m でそれぞれ 2.8、2.3、2.1 cm である。GL-14.5 m においては過剰間隙水圧の上昇に対応してトレンドが見られ、ドリフトとしての残留変位が生じている。この現象は NS 成分においても同様であった。そこで、この GL-14.5 m の変位波形に見られるトレンドとドリフトの原因を推定する。

図-6 に EW 成分の GL-26 m に対する GL-1.5 m 及び GL-14.5 m との相対変位を示す。最大相対変位はいずれも 20 秒でピークを示し、値はそれぞれ 1.4、1.1 cm である。GL-14.5 m においては 21 秒から明瞭なトレンド傾向が見られ、約 28 秒で最大となり 30 秒以後緩やかに減少している。以上を要約すると、19 秒から上昇を始めた過剰間隙水圧が 21 秒で最大になるが、それと対応するように GL-14.5 m の地震計にトレンド傾向が出現した。また、振動終了後の 30 秒以降も過剰間隙水圧は緩やかに消散するものの残留し、相対変位もゆるやかに減少するか残留している。すなわち残留変位は過剰間隙水圧の蓄積と深い関係がある。また、GL-1.5 m の最大相対変位を層厚で除すことにより求まる 24.5 m 間の地盤のせん断ひずみは、19 秒で 4×10^{-4} 、20 秒で 6×10^{-4} となり、このひずみに対する過剰間隙水圧の上昇量は室内試験の結果²⁾と調和的である。

5. 結論 大洲液状化アレー 観測記録を用いた波形の分析の結果得られた結論は以下の通りである。

- 1) 地盤の 1 次卓越周波数から本震時には非線形化による長周期化が確認され、地盤のせん断剛性は NS 方向では初期状態の 50%程度、EW 方向では 70%程度に低下した。
- 2) 芸予地震において、GL-14.5 m の過剰間隙水圧が初期有効上載圧に対する比で約 10%上昇した。
- 3) GL-14.5m において、過剰間隙水圧が最大になるのに対応して 21 秒後からトレンド傾向が出現した。
- 4) 最大相対変位から求まる地盤のせん断ひずみは $4 \sim 6 \times 10^{-4}$ であり、このひずみに対する過剰間隙水圧の上昇量は室内試験の結果と調和的である。

謝辞：国土交通省四国地方建設局大洲工事事務所(黒川純一良 所長)から地震記録と地盤調査資料をご提供いただき利用させていただきました。観測に対する平素のご努力への敬意とともに謝意を表します。

参考文献 1) 森 伸一郎, 阿部 雅弘：2001 年芸予地震における大洲の液状化アレー観測記録, 第 1 回地震工学研究発表・討論・会梗概集, p.118, 2001.11. 2) Dobry,R., Ladd,R.S., Yokel,F.Y., Chung,R.M. and Powell,D. : Prediction of Pore Water Pressure Buildup and Liquefaction of Sands during Earthquakes by the Cyclic Station Methods, Building Science Series 138, National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce, 1982.

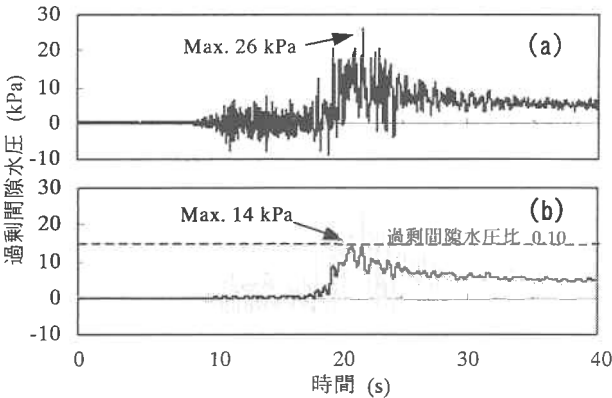


図-5 本震の過剰間隙水圧の時刻歴

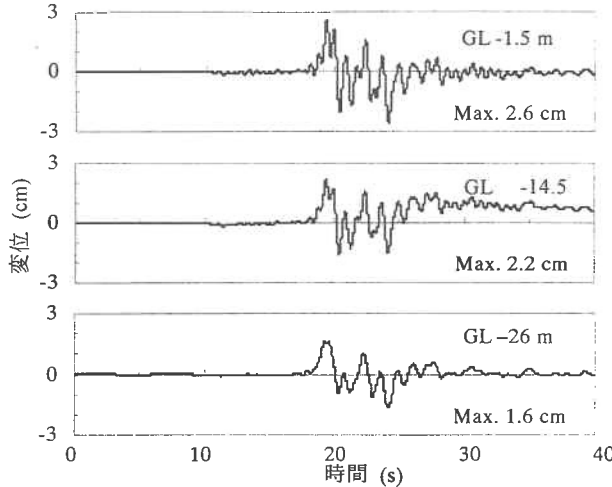


図-6 本震の EW 成分の変位時刻歴

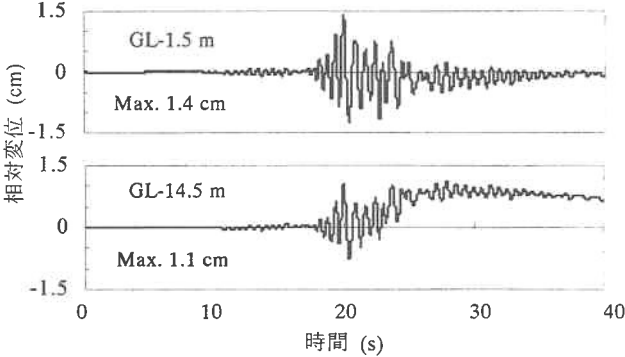


図-7 GL-26 m に対する EW 成分の相対変位時刻歴