

地震動の大きさや継続時間が盛土構造物の変形挙動に及ぼす影響に関する解析的検討

岐阜大学  
(財)国土技術研究センター  
東洋建設

非会員 余川 弘至  
正会員 沢田 和秀  
非会員 中山 修  
非会員 星加 泰央

学生会員 田辺 晶規  
正会員 杉戸 真太

正会員 八嶋 厚  
正会員 久世 益充

1. はじめに

信濃川中流域は、1964年新潟地震、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震と、比較的短い周期で複数の巨大地震に見舞われた、全国的にもまれな地域である。それぞれの地震において、河川堤防が地盤の液状化による被害を受けてきた。さらに、この地域で、今後また大きな地震が発生する可能性があることから、地震による河川堤防の被害を低減するため、適切な対策を講じることが求められている。そこで本研究では、2次元有効応力解析プログラムLIQCAにより、地震による河川堤防の被災メカニズムの推定を行った。その結果より、地震動の継続時間や大きさが、河川堤防の被害に与える影響について検討を行った。

2. 検討断面概要

2004年の新潟県中越地震で、被害の大きかった地区の河川堤防を解析の対象とした。図1に、有限要素メッシュと土質分布状況を示す。節点数は2498、要素数は2431である。解析対象地盤は、横幅300.0mであり、盛土は堤防高5.1m、幅63.5mである(図1参照)。図1中のAs1( )、As1( )、As2、As3の砂質土には、砂の弾塑性モデル<sup>2)</sup>を用いた。残りの粘性土の箇所については、R-Oモデルを用いた。それぞれのモデルに用いる物性パラメータについては、表1に示す地盤定数から設定した。砂の弾塑性モデルの数値パラメータについては、要素シミュレーションを行い試行錯誤により決定した。

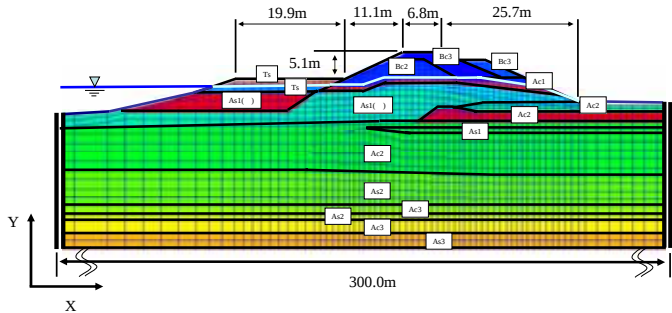


図1 解析断面の概略図

表1 地盤定数

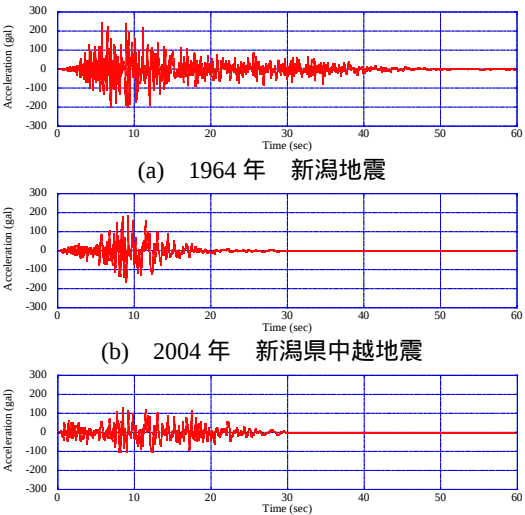
| 地層区分   | 土質分類      | 湿潤重量                            | N値 | 細粒分含有率    | 平均粒径          | 粘着力                      | 内部摩擦角      | 透水係数                 |
|--------|-----------|---------------------------------|----|-----------|---------------|--------------------------|------------|----------------------|
|        |           | $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) |    | $F_c$ (%) | $D_{50}$ (mm) | $c$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $\phi$ (°) | $k$ (cm/sec)         |
| Ts     | 盛土(シルト)   | 18                              | 7  | 29        | 0.30          | 48                       | 0          | $2.0 \times 10^{-4}$ |
| Bc3    | 盛土(細砂)    | 18                              | 4  | 48        | 0.35          | 48                       | 0          | $2.0 \times 10^{-4}$ |
| Bc2    | 盛土(砂質シルト) | 18                              | 4  | 75        | 0.31          | 48                       | 0          | $8.0 \times 10^{-4}$ |
| Ac1    | 粘性土       | 14                              | 3  | 81        | 0.03          | 69                       | 0          | $1.0 \times 10^{-6}$ |
| As1( ) | 砂質土       | 18                              | 10 | 6         | 0.33          | 0                        | 30         | $4.0 \times 10^{-3}$ |
| As1( ) | 砂質土       | 18                              | 20 | 8         | 0.35          | 0                        | 30         | $4.0 \times 10^{-3}$ |
| Ac2    | 粘性土       | 17                              | 10 | 100       | 0.01          | 59                       | 0          | $1.0 \times 10^{-6}$ |
| 6As2   | 砂質土       | 19                              | 40 | 18        | 0.25          | 0                        | 47         | $7.0 \times 10^{-4}$ |
| Ac3    | 粘性土       | 17                              | 15 | 100       | 0.01          | 88                       | 0          | $1.0 \times 10^{-6}$ |
| As3    | 砂質土       | 19                              | 50 | 10        | 0.25          | 0                        | 47         | $7.0 \times 10^{-4}$ |

3. 地震動概要

本研究の対象とした地震動は、1964年新潟地震、2004年新潟県中越地震(以後、中越地震)、2007年新潟県中越沖地震(以後、中越沖地震)である。それぞれ、基盤( $V_s=500\text{m/sec}^2$ )における地震動をEMPR(非定常スペクトル合成法による強振動予測モデル<sup>3)</sup>)を用いて算定した。図1の下面である、数値解析の基盤面におけるせん断波速度が $V_s=295\text{m/sec}^2$ であるため、地震応答計算での入射基盤として $V_s=295\text{m/sec}^2$ 相当層での波形に変換する必要がある。そこで、翠川の式<sup>4)</sup>により振幅調整を行った。表2にそれぞれの地震動の最大加速度、継続時間( $t_{90}$ : 加速度の二乗和で表される加速度パワーの累積5%~95%までの時間と定義)を示す。また、図2にそれぞれの入力加速度波形を示す。図3に、それぞれの加速度フーリエスペクトルを示す。

表2 地震動の概要

| 地震名            | 最大加速度 (gal) | 継続時間 $t_{90}$ (sec) |
|----------------|-------------|---------------------|
| 1964年 新潟地震     | 243.3       | 26.56               |
| 2004年 新潟県中越地震  | 182.2       | 8.70                |
| 2007年 新潟県中越沖地震 | 129.4       | 19.38               |



(c) 2007年 新潟県中越沖地震

図2 入力加速度波形

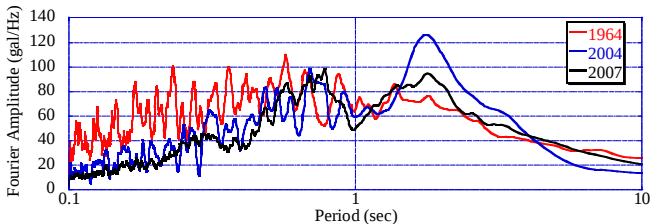


図3 加速度フーリエスペクトル

#### 4. 動的解析

動的解析での拘束条件は、地盤底面を粘性境界とした。解析領域の両端には等変位境界を設けた。地下水位面を排水境界とし、その他の面では、非排水境界とした。また地震動が終了した直後より、圧密解析を行った。

#### 5. 解析結果

地震動の違いが河川堤防の変形挙動に与える影響の違いについて検討を行った。紙面の都合上、河川堤防の天端の沈下量のみに着目した。図4に着目した節点および要素を示す。図5～7に天端の沈下と入力地震動と過剰間隙水圧比( $\Delta u/\sigma_v$ : EPWPR)の時刻歴を示す。それぞれ、新潟地震、中越地震、中越沖地震の解析結果である。表3に、加振終了直後と圧密後の天端の沈下量を示す。

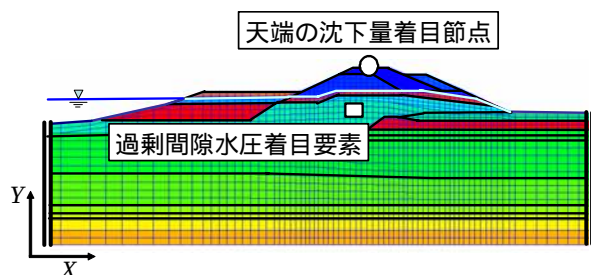
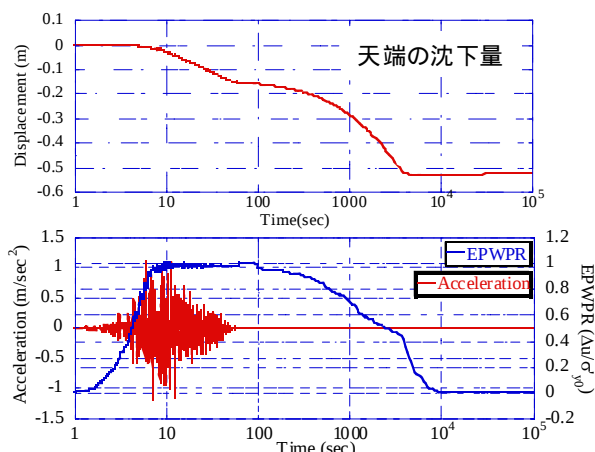
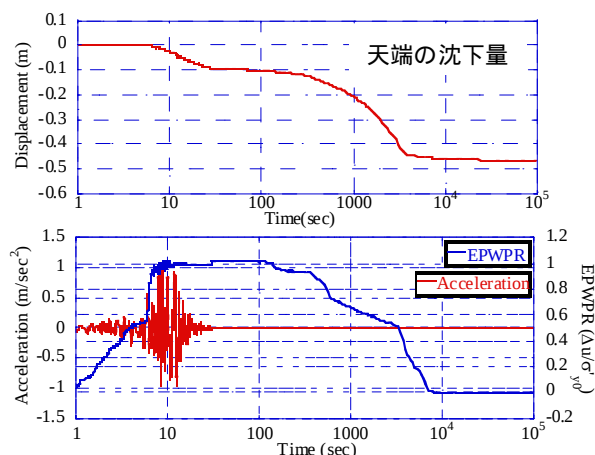


図4 出力節点および要素



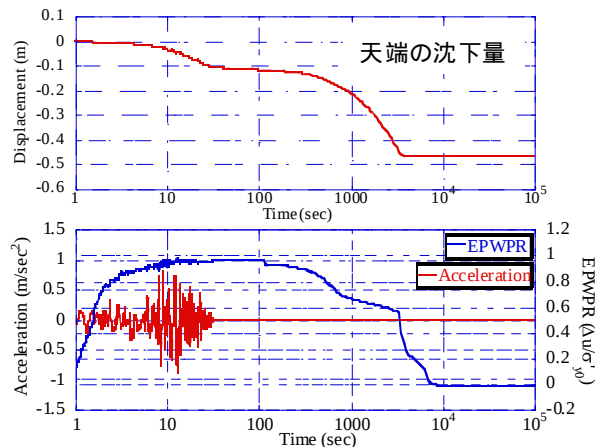
1964年 新潟地震

図5 天端の沈下量と加速度・過剰間隙水圧比の時刻歴



2004年 新潟県中越地震

図6 天端の沈下量と加速度・過剰間隙水圧比の時刻歴



2007年 新潟県中越沖地震

図7 天端の沈下量と加速度・過剰間隙水圧比の時刻歴

表3 加振終了直後と圧密後の天端の沈下量

| 地震名            | 天端の沈下量 (m) |       |
|----------------|------------|-------|
|                | 加振終了直後     | 最終沈下量 |
| 1964年 新潟地震     | 0.15       | 0.52  |
| 2004年 新潟県中越地震  | 0.10       | 0.47  |
| 2007年 新潟県中越沖地震 | 0.10       | 0.47  |

図5～7および表3から、河川堤防の天端の沈下は、大きく分けると2段階と見られる。1段階目は、「地震動が開始され、地盤が液状化したのちの加振中」、2段階目は「加振終了後の圧密中」である。また、沈下量が大きく変化するのは、「地震終了後の圧密中」である。

中越地震と中越沖地震を比較すると、中越地震のほうが、中越沖地震よりも、最大加速度が大きいにもかかわらず、両地震動ともに、天端の沈下量は、ほぼ同じ結果となった。これは中越沖地震のほうが、中越地震に比べて、地震動継続時間が長いためと考えられる。

また、中越地震や中越沖地震と比較して、地震動が大きく、継続時間が長い新潟地震は、他の地震と比較して、沈下量が大きくなった。

#### 6. まとめ

- ・河川堤防の沈下は、地盤の液状化時に加振されている時刻、地震終了後の圧密中である。
- ・河川堤防の沈下は、最大加速度だけではなく、地震動の継続時間にも大きく影響を受ける。
- ・河川堤防の沈下量は、地震動が大きいほど、継続時間が長いほど大きくなる。

#### 参考文献

- 1) たとえば、昭和 39 年新潟地震震害調査報告, 土木学会, 1996.
- 2) Oka, F., Yashima, A., Shibata, T., Kato, M., and Uzuoka, R. : FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model, Applied Scientific Research, 52, pp.209-245, 1994.
- 3) Sugito, M., Furumoto, Y., and Sugiyama, T. : Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, 12<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Paper No.2111, 2000. (CD-ROM)
- 4) 翠川三郎: 関東平野を対象とした震度分布予測, 構造工学論文集, Vol.33B, pp.43-48, 1987.