

### 南海トラフ地震を想定した河川堤防の変形解析

名城大学大学院 学生会員 ○高木 竜二  
 建設技術研究所 正会員 李 圭太  
 名城大学 正会員 小高 猛司・崔 瑛

#### 1. はじめに

平成 24 年に内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会が想定地震動を公表したが、そのように最大加速度が大きくかつ継続時間が長い入力地震動に対して、既往の耐震照査を行う解析ツールの適用性が十分に検証されているとは言えないのが実情である。今回、東海地方のある都市河川の堤防を対象として、詳細な地盤調査に基づくケーススタディーを実施した。具体的には、工学的基盤面までのボーリング調査、主要な深度における粘性土、砂質土を含めた不攪乱試料のコア採取、それら不攪乱コア試料による詳細な室内試験（静的、動的）、工学的基盤面まで含めた PS 検層などである。本報では、これらの成果に基づき地盤のモデル化を行い、南海トラフ地震を想定して時刻歴地震応答解析を行い、変形照査を実施した結果を示す。

#### 2. 解析条件

地盤調査は平成 26 年 1 月に実施し、ボーリングによるコア試料の採取の他、ボーリング孔を用いた PS 検層（ダウンホール法）を実施した。また、採取した不攪乱試料を用いた室内試験を行った<sup>1)2)</sup>。それらの成果を用いて解析に用いる各種の土質パラメータの設定を行った。地震応答解析には、河川堤防耐震性照査の実務で一般的によく用いられる液状化解析コード FLIP を用いた。解析に用いた地盤モデルを図 1 に示す。堤防断面は、当該河川を管轄する河川事務所より提供を受けた河川横断測量データを用いている。図は堤体部分を拡大したものであるが、実際の解析領域は、堤体天端を中心として 250m の範囲とした。なお、図の左側が川表であり、解析領域の左端が河道中心なるように設定している。また、メッシュの両端部では粘性境界とした。地盤構造は水平と仮定し、ボーリング時に確認した土質と PS 検層の S 波速度分布を慎重に検討することによって、基礎地盤 6 層と盛土層の合計 7 層にモデル化した。基礎-6 より下は、N 値と S 波速度から工学的基盤面であると判断した。なお、基礎地盤の一番上の層（以降、基礎-1 と表記）は粘性土層であり、基礎-2、基礎-3 は砂質土の液状化層（液状化強度  $R_L=0.24$ ）であり、基礎-4 は比較的厚い粘性土層が堆積しており、その下の基礎-5 ならびに基礎-6 はやや密詰めの砂質土層（液状化強度  $R_L=0.31$ ）である。

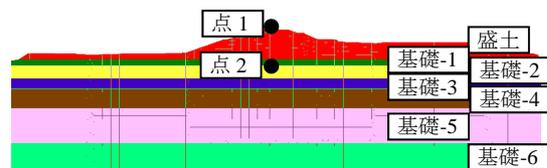


図 1 解析に用いた地盤モデル

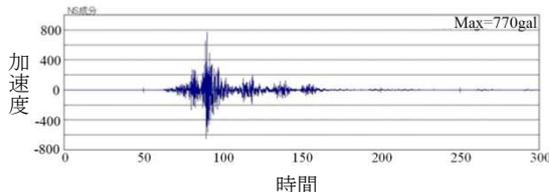


図 2 入力地震動

地震応答解析では、平成 24 年内閣府公開の南海トラフ地震波（陸域ケース・5 連動型理論上最大）を用いた。FDEL によって距離減衰を考慮して当該地点の基盤波に変換し、等価線形解析によって工学的基盤面まで引き上げた。図 2 に最終的な入力地震動を示す。最大加速度 770gal，継続時間 3 分以上の巨大地震である。

#### 3. 解析結果

表 1 に本解析で求められた鉛直変位量を示す。堤防天端直下の位置における盛土ならびに基礎地盤の各層の鉛直圧縮量である。ボーリング調査位置における盛土材料は礫質土であり、強度定数は  $c=0$ ， $\phi=30^\circ$  を基本として設定した。天端沈下量は、基本ケースにおいては合計 8.4m となっており、盛土だけでも元の堤防高以上の 7m の変形が発生しており、微小変形解析の範疇を超えた不合理な解析結果となった。ただし、過大な変位が計算されているのは盛土部に限られていることから、拘束圧が低い盛土部の粘着力  $c$  をゼロと設定したために盛土部での計算が発散したと判断し、盛土部のみの粘着力を  $c=5kPa$  ならびに  $10kPa$  としたケースを追加した。表 1 の沈下量には、それらの結果も示している。ちなみに、 $c=5kPa$  以下の解析も実施したが、 $c=0$  とした基本ケースと同様に、

キーワード 河川堤防 地震応答解析 液状化

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部 TEL: 052-838-2347

盛土部の変位が不合理に大きくなった。逆に、 $c=5kPa$  以上になると、 $c=10kPa$  の結果を見てもわかるように、盛土部を含めて各層の変位は大きく変わらず、最終変位量は粘着力にそれほど敏感ではなくなる。本報では、 $c=10kPa$  のケースを中心に説明する。なお、このケースの最終天端沈下量の解析値は当該地点の照査外水位とほぼ同等であることを付記する。

図3に水平加速度応答，水平変位ならびに鉛直変位の時刻歴を示す。青線が堤防天端直下，緑線が基礎-2上面の点における解析結果である。加速度応答は，いずれの位置においても100秒以降で大きく減衰し，液状化の影響が表れている。変位については，基礎地盤においても1m程度堤外地側に大きな水平変位が発生する。また，鉛直変位も基礎地盤に1.5m程度発生していることがわかる。

図4に地震終了後のせん断ひずみ分布ならびに間隙水圧比分布を示す。堤外地側の基礎地盤までを含む範囲で大きなせん断ひずみが生じているが，堤体には大きなひずみの集中は見られない。間隙水圧比を見ると，上部の砂質土層のみならず，全層にわたって大きな間隙水圧が発生しており，特に深部の比較的密詰めの砂層も液状化あるいはそれに近い状態になっており，これが大きな沈下を生じさせる原因となっている。

図5は比較のために，入力地震動の加速度を一律1/2にして解析した結果である。天端沈下量ならびに各層の圧縮変形量は表1に併せて示してある。1/2と雖も最大加速度385galの長時間の巨大地震であるが，図-4で見られる基盤-5，6で見られた液状化が明確に見られず，それに伴い表1に示す当該基盤層における変形量も非常に小さいことがわかる。また，天端沈下量も1/3以下となり，この地震動であれば，十分に耐震性が担保できていると判断できる。なお，当該地点堤防は，現状では耐震対策工の未施工区間となっていることを付記する。

4. まとめ

南海トラフ地震の想定地震動を用いて地震応答解析を実施した結果，通常では想定しないような下部密詰め砂層の液状化が懸念される結果となった。本報では，現行の実務で行われている手法での巨大地震の耐震性照査を試行したが，堤体の地盤定数の設定に解析結果が左右される微小変形解析の危うさも見られた。堤体の大変状にもロバストに対応できる有限変形解析などが今後有効な解析手段となり得ると考えられる。

本報では，現行の実務で行われている手法での巨大地震の耐震性照査を試行したが，堤体の地盤定数の設定に解析結果が左右される微小変形解析の危うさも見られた。堤体の大変状にもロバストに対応できる有限変形解析などが今後有効な解析手段となり得ると考えられる。

参考文献：1) 大野ら：庄内川堤防基礎地盤粘性土のサンプリングと変形・強度特性，第69回土木学会年次学術講演会，2014。  
2) 高木ら：庄内川堤防砂質土の静的・動的力学特性，平成26年度土木学会中部支部年次学術講演会，2015。

表1 解析による各層の圧縮変形量と天端沈下量

地層名	土質	圧縮変形量(cm)			
		基本	粘着力 5kPa	粘着力 10kPa	加速度 1/2
盛土	砂礫	693.3	74.1	48.6	28.6
基礎-1	粘性土	18.3	18.6	16.6	11.1
基礎-2	砂質土	34.1	38.3	38.0	20.4
基礎-3	砂質土	20.4	24.5	24.7	5.3
基礎-4	粘性土	31.5	37.8	38.7	2.0
基礎-5	砂質土	37.4	44.5	47.6	1.8
基礎-6	砂質土	7.1	5.6	5.8	0.9
合計(天端沈下量)		842.1	243.5	220.1	70.0

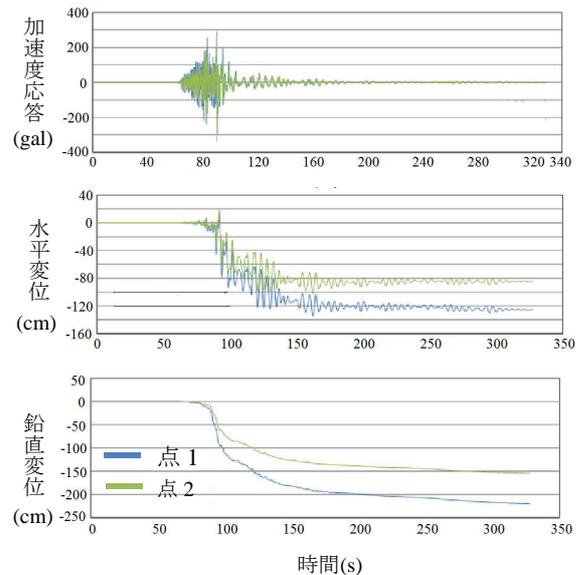


図3 加速度応答ならびに変位の時刻歴

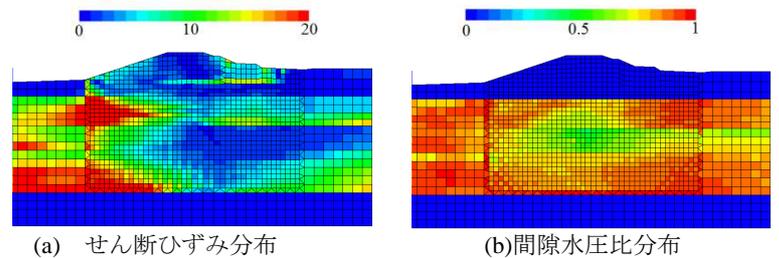


図4 解析結果

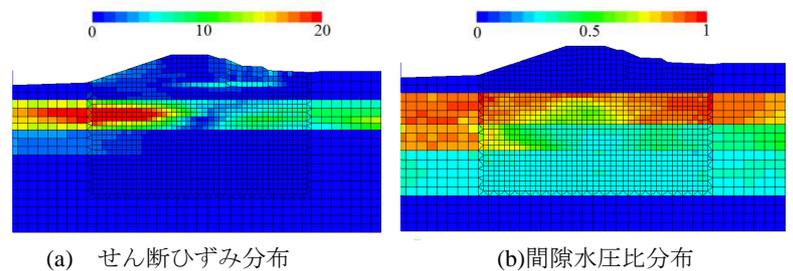


図5 解析結果 (加速度1/2設定)