

軟弱地盤上に築造された河川堤防の地震時被害に及ぼす地震動継続時間の影響

名古屋大学 学生会員 ○花田優

名古屋大学 正会員 中井健太郎, 野田利弘

徳島大学 正会員 馬場俊孝, 蔣景彩

1. はじめに

徳島県を流れる一級河川である那賀川下流域は典型的な三角州地形であり、広域の軟弱地盤地帯である。南海トラフ地震による甚大な被害が危惧されるため、耐震点検とそれに基づく耐震対策が進められている。しかし、耐震性照査に用いる設計用地震動は加速度応答スペクトルで規定されており、地震動継続時間の影響が十分には検討されていないといった課題が存在する。そこで、耐震設計マニュアルを参考に、継続時間の異なる地震動を作成して地震応答解析を実施し、河川堤防の地震被害に及ぼす地震動継続時間の影響を検討した。用いた解析コードは、砂から粘土、両者の混在した中間土から特殊土までを同じ理論的枠組で記述する弾塑性構成式である SYS カムクレイモデル¹⁾を搭載した水～土連成有限変形解析コード²⁾である。

2. 対象地盤の地層構成

有限要素メッシュ図を図-1 に示す。表層から埋め土層 (B 層)、沖積砂層 (As 層)、沖積粘土層 (Ac 層)、沖積砂礫層 (Ag 層) が堆積し、その下は硬質な洪積層 (D 層) となっている。原位置調査から、B 層や As1 層は液状化強度の小さい砂質土、As2 層は中密な砂質土、Ac1 層は比較的硬質な粘性土、Ac2 層は圧縮性が大きく軟弱なシルト質粘性土である。対象地点は既に L2 地震動に対する耐震性照査が実施済みであり、その結果に基づき、堤防の嵩上げと静的締固め工法による地盤改良が実施済みである。

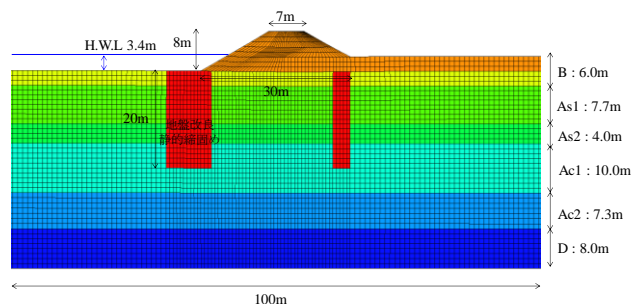


図-1 有限要素メッシュ図 (堤体付近拡大)

3. 入力地震動

図-2 に解析に用いた 3 つの入力地震動を示す。左図は加速度時刻歴、右図は加速度応答スペクトルである。Case1 から 3 まで等しい加速度応答スペクトルである。これらの地震動はすべて ARTEQ (榊構造計画研究所) によって河川堤防耐震性能照査で規定される応答スペクトル (図中の黒破線) に適合させ、継続時間を変化させて作成した。波形は包絡関数が収束するように指定している。 T_b , T_p はそれぞれ定義の異なる地震動継続時間であり、代表的継続時間を表す b 継続時間とパワーの蓄積時間に基づく p 継続時間を示す³⁾。

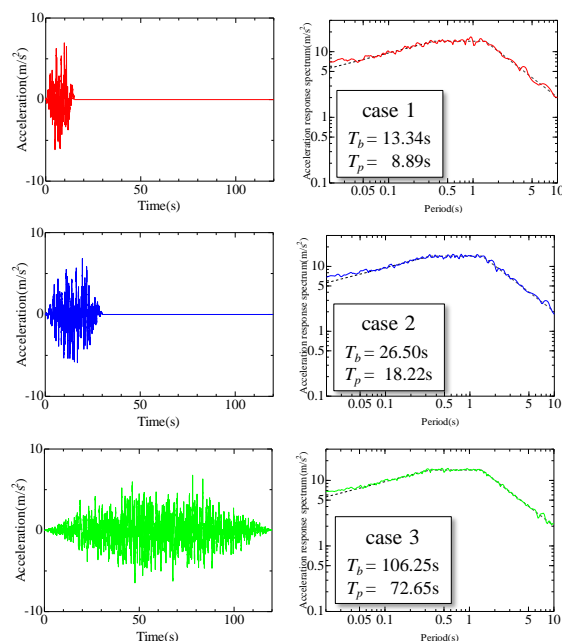


図-2 入力地震動

4. 解析結果

図 3 に各ケースの有効応力減少比とせん断ひずみの分布を示す。有効応力減少比は地震動終了直後、せん断ひずみは地震中に蓄積した過剰間隙水圧の消散に伴う圧密沈下が収束した時点を示している。有効応力減少比は 0 から 1 に近づくほど有効応力の減少 (剛性の低下) を表し、1 になると地盤は剛性を失って液状化したことを指す。

有効応力減少比を見ると、継続時間が長くなるほど有効応力減少の程度が大きい。特に case3 では砂質土である B 層および As1 層は液状化に達する。また、Ac2 層でも有効応力減少が顕著に見られる。一般的に粘性土は地震被害に鈍感であると言われている。しかし Ac2 層のように、比較的粒径が大きいシルト質粘性土が軟弱な状態で堆積している場合、長周期成分を含む長時間震動を受けると、粘性土であっても地盤が乱され、有効応力が減少／剛性が低下することがわかる。せん断ひずみを見ると、継続時間が長くなるほど特に盛土部分で変状が大きい。これは、盛土下部の砂質土層の剛性低下に起因するためである。また、すべてのケースにおいて Ac2 層でも変状が生じている。上述の通り、長周期・長時間震動によって粘性土が乱されたことに起因している。

図-4 と図-5 には、盛土天端における沈下量と水平変位量を示す。継続時間の長い case3 で特に地震被害が大きい。沈下量に着目すると、一度収束しかけた沈下が 10^5 s 付近から再び加速化している。これは Ac2 層において、地震中に減少した有効応力の回復に伴う圧密沈下が引き起こしており、粘性土が地震によって乱されると地盤変状は長期にわたって継続する危険性を指摘している。続いて水平変位に着目すると、震動初期の最大水平変位に大きな差異はないが、継続時間が長いほど残留変位が大きい。基本的に河川堤防の耐震対策は液状化層が対象となるため、当該地点でも地盤改良は浅部砂層に対して実施されている。本解析のように、軟弱粘性土層が地震動によって乱される場合、剛性低下に伴う側方流動によって、深部で大きな残留変形が生じる危険性を示唆している。

以上より、同一応答スペクトルを有する地震動であっても、継続時間が長いほど地震被害が大きくなることを示した。これは砂質地盤の液状化や粘性土の乱れなど、地盤が示す非線形特性／弾塑性応答に起因する。設計用地震動は応答スペクトルで規定されることが多いが、強い非線形特性／弾塑性応答を示す軟弱地盤の場合は特に、地震動の継続時間の影響を考慮することの重要性を示唆している。

参考文献

1) Asaoka, A. et al. (2002): An elasto-plastic description of two distinct volume..., S&F, 42(5), 47-57. 2) Noda, T. et al. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type..., S&F, 48(6), 771-790. 3) 神山眞 (1984): 地盤の影響考慮した震動継続時間およびその関連..., 土木学会論文集, 350 (I-2), 271-280.

謝辞

弾塑性モデル化に使用した地盤情報は、国土交通省那賀川河川事務所から提供いただいた。ここに謝意を表す。また、本検討は、防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクトに関するものである。

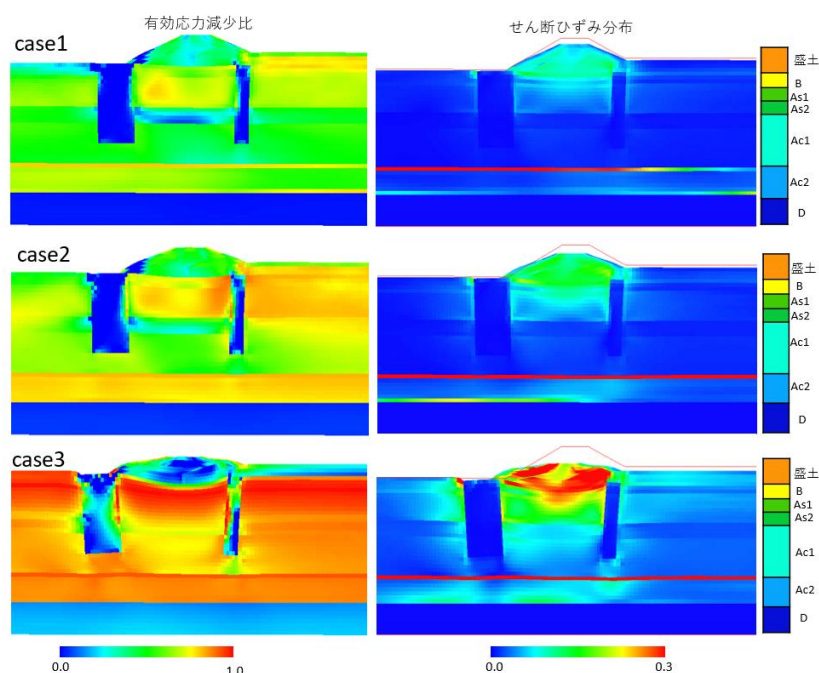


図-3 有効応力減少比とせん断ひずみの分布

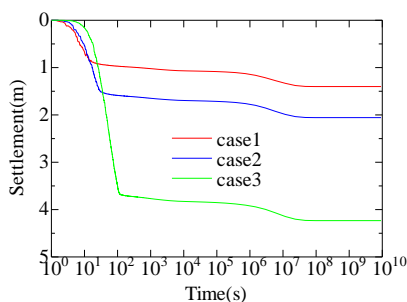


図-4 盛土天端の沈下量

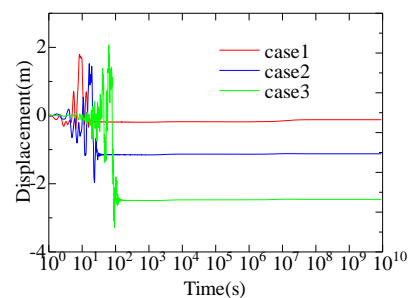


図-5 盛土天端の水平変位量