

堆積盆地に築造された河川堤防の耐震性に及ぼす盆地生成表面波の影響

地層不整形性, 表面波, 地震応答解析

名古屋大学 ○中井健太郎, 花田優, 野田利弘

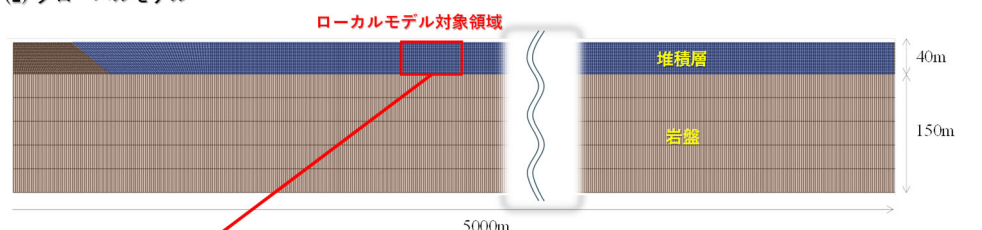
1. はじめに

国土の狭い日本では, 洪水氾濫区域に人口の 50%, 資産の 75%が集中していると言われており, 河川堤防や海岸堤防・排水機場などの浸水防護施設の健全性確保は, 当該地域における外水氾濫を防ぐ生命線である. しかし, 平野部は一般的に地下水位が高いことに加えて, 堆積年代が若いことから地盤が軟弱であることが多く, 地震時には液状化をはじめとする地盤災害が発生する危険性が高い. 堤防は延長の長い線状構造物であり, 一連の長大な区間の中で一箇所決壊するだけで, 地形条件によっては広範囲にわたって甚大な浸水被害を引き起こすこととなる. 河川堤防の全長を補強するには費用と時間が莫大にかかるため, 局所的弱点箇所を精度よく抽出して, 適切な対策を施すことが求められる. しかし, 現行の河川堤防の耐震性照査においては, 地層不整形性に起因する複雑な波動伝播の影響が十分には考慮されていない等の課題も存在する. そこで本報では, 地層不整形性に起因して励起される盆地生成表面波に着目し, 河川堤防の耐震性に及ぼす影響を数値解析的に検討した.

2. 解析対象地点と表面波を考慮するための解析手順

本研究で対象とした徳島県那賀川は典型的な三角州地形であり, 広域の軟弱地盤である. 南海トラフ地震の震源にも近く, 地震時の液状化被害が危惧される. ボーリングデータを参考に, 図 1 に示すように, 広域なグローバルモデルと対象とする河川堤防周辺のローカルモデルを作成した. グローバルモデルからわかるように, 対象地域は, 北側(図中左

(1) グローバルモデル



(2) ローカルモデル

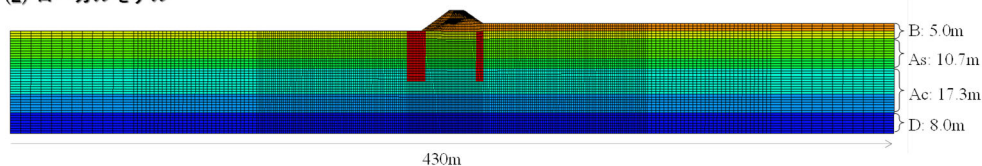


図 1 解析モデル

側) 地表に第三紀岩盤層が露頭しており, 南側へ沈み込む不整形な傾斜基盤構造を形成している. 地震時には, この基盤不整形形成に起因して, 地表付近で表面波が励起され, 南方向(図中右側)へ伝播すると考えられる. 岩盤層の上には, 堆積層(沖積層+洪積層)が 40m 程度堆積している. ローカルモデルを見ると, 表層から 15m 程度は N 値の比較的小さい砂質土 (As1, As2), その下にはシルト (Ac1, Ac2) が存在する¹⁾. 本報では, 最初にグローバルモデルによる地震応

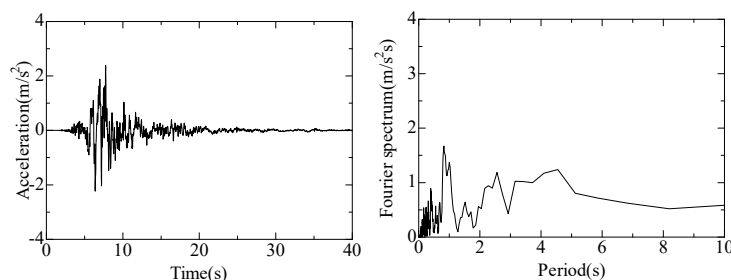


図 2 入力地震動

答解析を実施し, 解析対象地点に伝播する盆地生成表面波を抽出する. その後, ローカルモデルに, 下端に入力する実体波に加えて, 側面に抽出した表面波を同時に入力することで, 盆地生成表面波の影響を考慮した. 地盤材料には, グローバルモデルは二相系弾性体, ローカルモデルは弾塑性体を用いた. 紙幅の関係から材料定数の詳細は省略するが, すべて原位置調査結果をもとに決定した¹⁾. 図 2 に入力地震動を示す. Kik-net 益城で観測された 2016 年熊本地震の強震記録を基線補正して用いた. グローバルモデルの際は, 底面全節点の水平方向に加速度を等しく入力した. ローカルモデルの際は, 図 2 に示す加速度を Vs 値に応じて振幅を補正した数値を底面全節点の水平方向に等しく入力するとともに, 3. で抽出する表面波を解析領域の左端に深度ごとに鉛直・水平方向両方向に入力した. 解析領域の底面および側面は, 鉛直・

Effect of basin-generated surface waves on the seismic resistance of river levees built in sedimentary basins

Kentaro Nakai, Yu Hanada and Toshihiro Noda (Nagoya University)

水平ともに粘性境界を設定した。用いた解析コードは、弾塑性構成式 SYS カムクレイモデルを搭載した水～土骨格連成有限変形解析コードである。

3. 表面波抽出（グローバルモデル）

図 3 に地表面における速度応答を示す。地震動は水平方向にしか入力していないが、地層不整形性に起因する表面波によって鉛直動も生じている。不整形基端部で励起された表面波が次第に遠方へ伝播している様子が分かる。図 4 は対象とする河川堤防が存在する 3000m 地点の地表に伝播してきた表面波（加速度時刻歴）を抽出したものである。ここでは省略するが、浅部ほど加速度が大きく、深部ほど小さくなる。また、フーリエ振幅スペクトルから、抽出した表面波は 0.4 秒と 0.8 秒の周期帯が卓越している。

4. 表面波の影響（ローカルモデル）

図 5 にローカルモデル側面から表面波を入力した場合としなかった場合における、地震発生から 100 秒後のせん断ひずみ分布を、図 6 に堤体中央部の変状を示す。せん断ひずみ分布から、表面波を考慮すると特に地表面付近（や堤体内部）でせん断ひずみが大きくなることが分かる。また、図 6 を見ると、地震直後はほぼ同じ挙動を示すが、表面波が到達した 20 秒付近から、表面波の影響で鉛直・水平変位ともに大きくなる。本検討の場合、鉛直・水平方向ともに表面波を考慮すると変位が 1.38 倍大きくなった。

5. おわりに

本報では、現行の河川堤防の耐震性能照査では十分に考慮されていない地層不整形性に起因して励起される表面波に着目し、徳島県那賀川の河川堤防を対象に、解析対象の外部から伝播する表面波の影響を地震応答解析によって検討した。表面波を考慮することにより、地表面付近のせん断ひずみが大きくなることに加えて、堤体の水平変位・沈下量が増加した。これら解析結果は、河川堤防の詳細な耐震性能照査においては、表面波を考慮することが重要であることを示唆する。

参考文献

1) 中井健太郎, 野田利弘, 軟弱な砂・粘土互層地盤上に築造された河川..., 日本地震工学論文集, 25(5), 78-91, 2025.

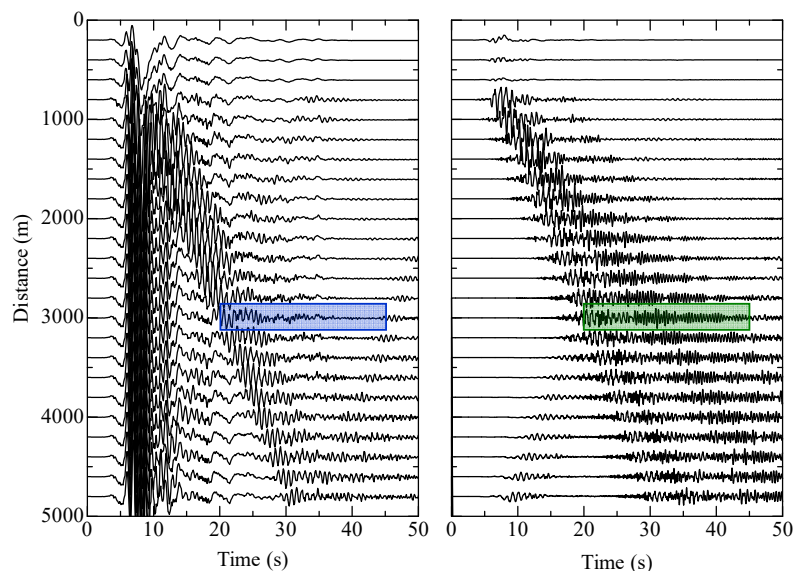


図 3 異なる地点における地表面における速度の時刻歴

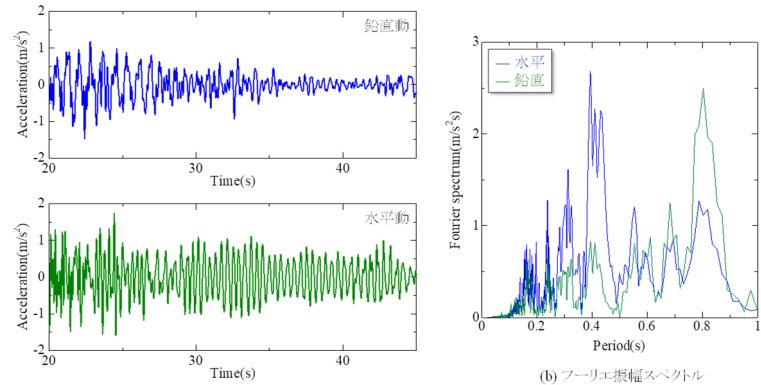


図 4 抽出した表面波

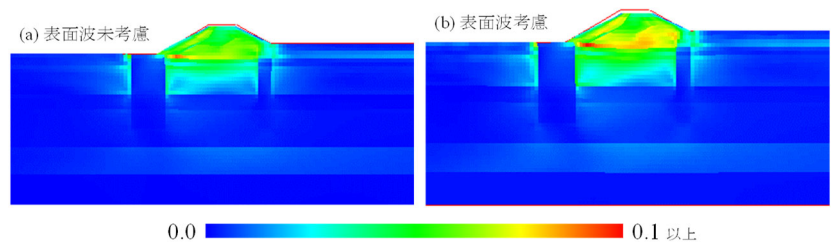


図 5 地震発生から 100 秒後のせん断ひずみ分布の比較

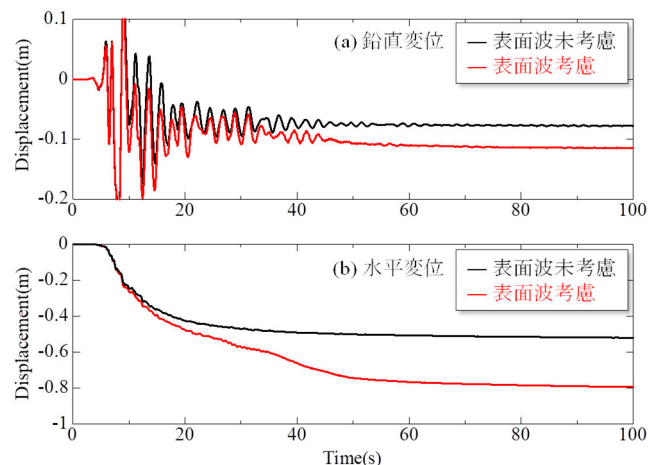


図 6 堤体中生部の変状比較