

## 第Ⅲ部門 地震時に河川堤防に生じた開口クラックの再現解析

京都大学工学部 学生員 ○原田 陽弓

京都大学防災研究所 正会員 後藤 浩之

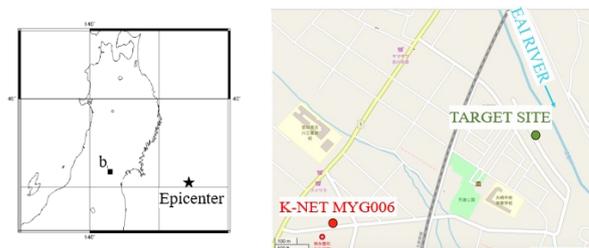
京都大学防災研究所 正会員 澤田 純男

## 1. はじめに

地震発生時、盛土構造物は緊急輸送路の確保や河川の氾濫による二次災害の抑止等の役割を担うため、盛土の耐震性を確保することは重要な課題である。現行の耐震設計では盛土材料の破壊メカニズムとしてせん断破壊のみを考慮している。しかし、地震時に法面及び天端において開口クラックが発生するような被害事例も多く報告されている。この被害形態は基礎地盤の液状化による影響が大きいとされる。開口クラックは引張破壊により生じると予想され、盛土の耐震設計においてせん断破壊のみならず引張破壊も考慮する必要があると考えられる。本研究では引張破壊とせん断破壊の双方によるクラック発生を考慮した解析手法<sup>1) 2)</sup>を用いて地震時に河川堤防に生じた開口クラックの再現解析を行い、その破壊メカニズムについて考察する。

## 2. 再現解析対象の河川堤防

2011年東北地方太平洋沖地震で被害にあった宮城県大崎市古川地区の江合川右岸 26.85km 地点の堤防を再現解析の対象とする。解析対象の位置を図1に示す。対象堤防では天端及び法面に複数の縦断クラックが生じ、天端の沈下及び川表側へのはらみ出しが観察された。対象断面の推定変形略図<sup>3)</sup>を図2に示す。川表側と川裏側を比較すると川表側の方がより大きく変形した。堤体は川表側は砂質シルト、川裏側は砂質土が主体であった。基礎地盤は粘性土の上部に飽和した砂層が存在し、川裏側の基礎地盤は砂層の上にさらに薄い粘性土層があると予想された。



(a)解析対象と震央 (b)解析対象と K-NET 古川

図1 解析対象の位置

図2 解析対象断面の推定変形略図<sup>3)</sup>

## 3. 解析モデル

解析モデルを設定するにあたって北上川等堤防復旧技術検討会報告書<sup>3)</sup>に記載されたボーリング調査結果及び国土技術政策総合研究所河川研究室<sup>4)</sup>による土質試験結果を参照した。設定した解析モデルを図3に示す。盛土堤体は川表側を盛土1、川裏側を盛土2とし、構成モデルには中田ら<sup>1)</sup>が提案した引張挙動とせん断挙動の双方を表現できる弾塑性モデルを用いた。盛土直下の飽和した砂層（地盤1）には液状化を表現できる Li<sup>5)</sup>のモデルを用いた。地盤1以深の地盤は弾性媒質であると仮定した。入力地震動（図4）は K-NET 古川での観測記録を再現するような基盤波を設定した。

盛土堤体と液状化層のモデルパラメータを土質試験結果に合うように設定した Case0 と、液状化層の分布をボーリング調査の結果から想定される範囲で変更した Case1 及び Case2 と、さらに盛土1の引張強度を変更した Case3 及び Case4 の計5ケースの解析モデルを設定した。各ケースの解析条件を表1に示す。

表1 各ケースの解析条件

	Case0	Case1	Case2	Case3	Case4
粘性土層厚 $H_{Ac}$	0m	1m	1.5m	1m	1.5m
液状化層厚 $H_{As}$	1m	2m	3m	2m	3m
盛土1の引張強度	66.7kPa	66.7kPa	66.7kPa	26.7kPa	26.7kPa

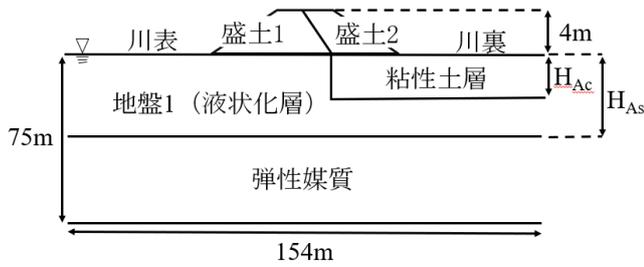


図3 解析モデル

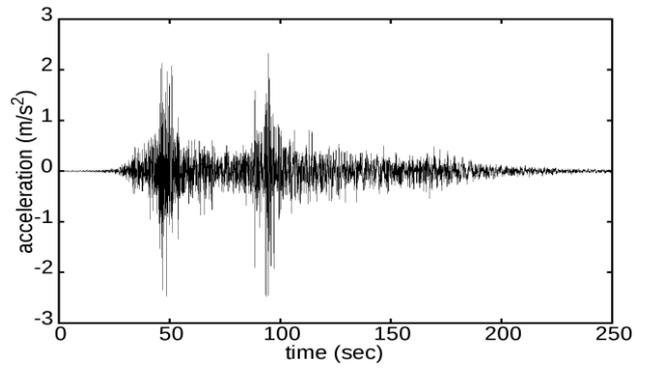


図4 入力地震動

4. 解析結果

図5及び図6にCase0, Case4の解析結果を示す。なお、Case4は88.5293秒で変形が大きくなり解析が終了した。変形図における白線はクラックを表す。また、水平変位は右向きを正としている。

Case0では川裏側の盛土2において引張破壊によるクラックが発生した。一方、Case4では川裏側と川表側の双方の盛土で引張破壊によるクラックが発生し、川表側の盛土1において大きな変形が生じる結果となった。どちらのケースにおいても堤体直下の地盤1において液化化が進行し側方流動が起き、堤体に引張応力が働いたことで引張破壊が起きたと考えられる。実際の被害で川表側において大きな変形が生じたことから、川表側の盛土1においてクラックが発生し変形が大きくなったCase4の方が実際の被害を再現できたと考えられる。また、限られた数のボーリング調査結果から推定せざるを得ない液化化層分布や、土質試験での測定が難しい盛土堤体の引張強度によって、堤体の破壊性状が異なる可能性があることがわかった。

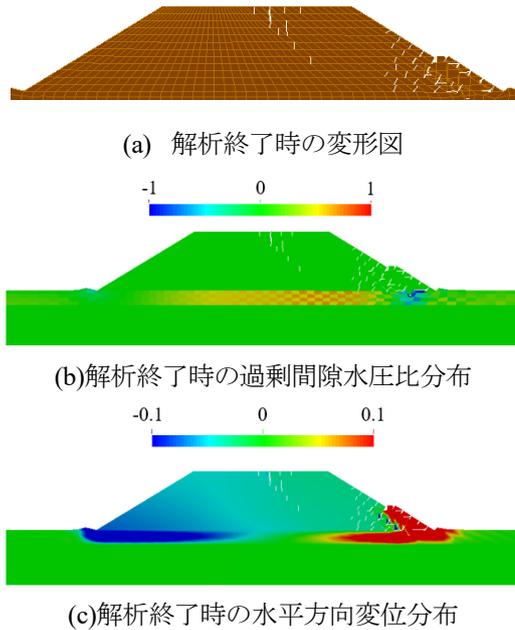


図5 Case0の解析結果

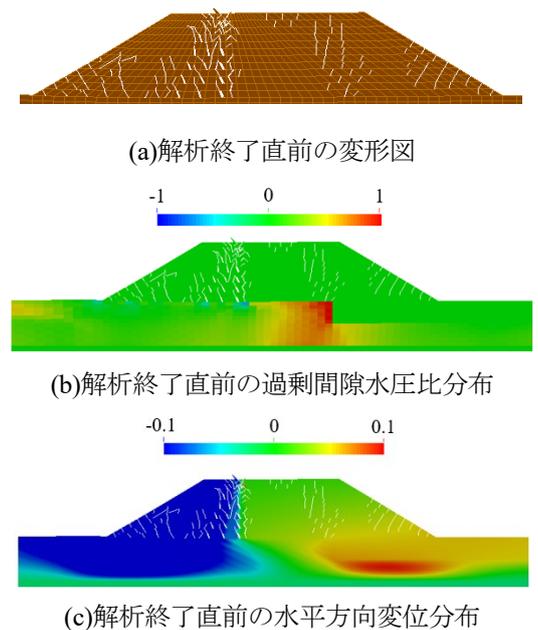


図6 Case4の解析結果

参考文献

- 1) 中田光彦, 澤田純男, 後藤浩之, 吉田望, 飛田善雄: 引張破壊を考慮した液化化地盤上における盛土の地震時破壊性状に関する研究, 第47回地盤工学研究発表会概要集, pp.1365-1366, 2012.
- 2) 池田貴昭, 後藤浩之, 澤田純男: 地震時盛土の引張破壊を考慮した拡張有限要素法によるクラック進展解析, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.72, No.2, pp.I\_227-I\_235, 2016.
- 3) 国土交通省東北地方整備局北上川等堤防復旧技術検討会: 北上川等堤防復旧技術検討会報告書, 2011.
- 4) 国土技術政策総合研究所河川研究室: 河川堤防の土質試験結果情報, 2009.
- 5) Li, X.S.: A sand model with state-dependent dilatancy, *Geotechnique*, Vol.52, No.3, pp.173-186, 2002.