# 土要素の引張り破壊を考慮した堤体の変形解析

有限要素法 液状化	沈下	JIP テクノサイエンス	(株)	正会員	〇大矢陽介
		応用地質	(株)	国際会員	吉田 望
		東北学院大	、学	国際会員	飛田善雄

## 1. はじめに

近年,支持地盤が液状化し堤体を支持することが出来ず,堤体が沈下し,これに伴い堤体軸方向の亀裂を伴うような被害が多く見られている<sup>1)</sup>。液状化した砂は上部の堤体の重量を支えることが出来ず水平に押し出され,その結果,堤体も下部が水平方向に広がりながら沈下していく。従って,堤体部の剛性は沈下量に大きく影響を与える。自重解析に基づく方法<sup>3</sup>などでは経験的に弾性定数を低減することでその効果を考慮しているが,実現象とは差がある。本論文では,堤体が横に広がる際に引張り応力が発生することに着目し,その挙動を解析的に求める。

## 2. 解析対象

文献 3)で示された解析事例のうち図-1 に示した志利別川堤防 No.3 断面を対象とした。解析手法は静的自重解析で、液状化層のモデル化は残留変形解析 ALID<sup>2)</sup>を参考にした。ALID では、液状化層の初期剛性に対する剛性低下率は液状化に対する抵抗率 F<sub>L</sub>および 細粒分含有率 F<sub>c</sub>の関数として求められる。本解析対象における液状化層(As2層)の剛性低下率は文献 3)より 1/86 とした。その他の 材料物性を表-1 に示す。

#### 3. 堤体部に発生する引張り応力

液状化層が側方に広がるに伴い,堤体は下端が水平方向に引張られるように沈下する。堤体はこの引張りに抵抗するので、堤体下 部は左右に引張られるような変形となり、引張り力が大きくなると引張り強度に至ることもあると考えられる。ここでは、まず、堤 体が横に広がる際に引張り応力が発生することを確認する。

図-2 に液状化層の剛性低下率を1/5,1/20,1/86 とした各ケースにおける引張り主応力コンター図を示す。また、図-3 に剛性低下率 を1/86 まで変化させた各ケースにおける堤体下部中央位置の応力円を示す。これらより、液状化層の剛性低下に伴い堤体下部に引張 り応力が発生することは明らかである。また、剛性低下率が低くなるとともに堤体下部に発生する引張り応力は増加し、発生領域も 拡大していく。堤体下部における引張り主応力はおおむね水平方向を示していることから、堤体の沈下に伴って液状化層が横に広が ろうとする変形に対して、堤体が抵抗していることが原因であることは明らかである。

### 4. 土要素の引張り破壊と変形挙動

前述のように残留変形解析では堤体部の剛性を低下させて堤体に変形が起こりやすくし沈下を説明してきているが,図-2,3から 明らかなように,この剛性低下にはせん断に対する非線形の効果,引張りによる拘束圧低下による効果,引張り破壊に伴う堤体全体 としての抵抗量の低下などの要因が含まれている。ここではそのうち,堤体の引張り破壊に着目し引張り強度が沈下量に与える影響 を検討する。

引張り破壊をする材料の構成モデルは、汎用解析プログラム「DIANA」に組み込まれている多方向固定・分散ひび害れモデル<sup>4</sup>で ある。図-4 に示すように、このモデルでは破壊面は引張り側のみで定義されており、引張り強度を超えると線形に軟化していく。構 成モデルのパラメータとして、クラック面のせん断低下率は 1/10000、限界クラックひずみは 0.01 とした。引張り強度に関しては 100kN/m<sup>2</sup>から 10kN/m<sup>2</sup>まで 10kN/m<sup>2</sup>毎に減少させて、計 10 ケース解析を行った。なお、圧縮領域、引張り破壊にいたる前の状態で は弾性挙動をする。

引張り強度 10kN/m<sup>2</sup>の解析ケースにおける変形図を図-5, クラックひずみベクトル図を図-6 に示す。両図より堤体軸方向にクラッ クが発生し、堤体が横に引き裂かれるように変形していることが確認できる。図-7 に法尻左側、天端中央、法尻右側における変位量 と引張り強度関係を示す。引張り強度の減少とともに法尻の水平変位と天端の沈下量が増大していくことがわかる。これは、堤体軸 方向に発生したクラックにより、堤体全体としての剛性が低下したためと考えることも出来る。

天端沈下量の実測値は1.3mと報告されている<sup>3</sup>。これに対して解析値は最大でも0.5mであり、実測値に比べ半分以下である。解 析では過剰間隙水圧消散に伴う圧密沈下を考慮していないが、その量は過剰間隙水圧の消散による体積ひずみを5%と評価してもた かだか20cm程度で、両者の差は大きい。これは、本論文では引張り破壊のみを考慮しており、せん断変形の非線形特性などを考慮 しなかったためと考えられる。しかし、それでも実測値の半分程度の沈下は発生しているわけで、堤体下部の引っ張り破壊が沈下に 及ぼす影響は大きいといえる。また、土の引張り破壊に対するデータはほとんどないので、ここでは適当に仮定した引張り強度を用 いたが、その値が小さければより沈下に対する影響は大きくなる。

## 5. まとめ

支持地盤の液状化に伴って、側方変位により堤体には引張り応力が発生することが確認できた。また、堤体の引張り破壊を考

Deformation analysis of embankment considering tensile failure of soil element

Yousuke Ohya(JIP Techno Science Corporation), Nozomu Yoshida(Oyo Corporation), Yoshio Tobita(Tohoku-Gakuin University)

慮することで、堤体軸方向に亀裂が発生し、横に引き裂かれる変形挙動を表現できることがわかった。これは、従来の円弧すべりを 想定した変形挙動とは異なるメカニズムである。実被害がどちらに近いかは深部の破壊形態がわからないと断定することは出来ない が、被害の中には円弧すべりでは説明できず、本論文で示した引張り破壊により生じたと考えられるものは存在する。今後、引張り 破壊が堤体の変形挙動に与える影響を検討する上で、引張り破壊に関する実験、引張り破壊とせん断変形特性の両者を表現できる構 成モデルの開発が必要であろう。



1) 土木学会(1994): 1993 年釧路沖地震震害調査報告, pp. 407

- 2) 安田進,吉田望,安達健司,規矩大義,五瀬伸吾,増田民夫(1999):液状化に伴う流動の簡易評価法,土木学会論文集,No. 638/III-49, pp. 71-89
- 3) 国土技術研究センター(2002):河川堤防の地震時の変形量の解析手法
- 4) TNO Building and Construction Research(2000) : DIANA User's Manual release 7.2



