

## 液状化を対象とした河川堤防の耐震性能照査手法に関する比較検討

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○高橋 千明  
群馬大学大学院 正会員 蔡 飛

## 1. はじめに

河川堤防の耐震設計は、1995年兵庫県南部地震を契機にレベル2地震動への対応が求められるようになり、平成19年3月に「河川構造物の耐震性能照査指針(案)」(国土交通省河川局治水課)(以下、指針)が公表され性能規定型設計へ移行した。指針では、土堤に対して、砂地盤が液状化する可能性のある場合のみを対象に耐震性能照査を行うこととしており、照査手法として、有限要素法を用いた自重変形解析法もしくは流体力学に基づく永久変形解析法を適用する。自重変形解析法は、液状化に伴う堤防の変形を簡便かつ精度よく静的に算定する方法であり、液状化の発生による土層の剛性低下を仮定するとともに、土構造物としての自重を作用させ、その変形を有限要素法により算定する方法である。自重変形解析法は、一般によく用いられている手法であるが、基礎地盤が成層地盤でありかつ液状化層が単一層である場合など、ある程度標準化しやすい地層に対する照査手法となっており、複雑かつ多様な個別条件下における堤防の耐震性能照査にあたっては、照査手法・評価について、いくつかの課題が残されている。本研究では、中越沖地震における鯖石川の被災実態を踏まえ、弾塑性動的有効応力解析と自重変形解析を実施し、各手法の適用性について比較検討を実施した。その上で、複雑な地盤条件下でも適用できる自重変形解析手法を提案したのでここに報告する。

## 2. 自重変形解析の精度向上のための課題

本研究では、液状化層より上部に位置する非液状化層ならびに堤体の剛性低下手法に着目して検討を行った。

一般に、自重変形解析では、液状化層に対して第二勾配が第一勾配より大きくなるバイリニア弾性モデル、非液状化層に対しては線形弾性モデルを適用する。ここで、液状化層より下部の非液状化層は剛性低下しないものとし堤体を含めた液状化層より上部の非液状化層に対しては、地震時の地盤振動により剛性が低下するものと考え、 $1/40$  剛性や引張り力が出ないよう繰り返し計算により求めた剛性などを用いて一律剛性低下を行う。

堤防の自重変形解析の検証は、成層地盤モデルでかつ単一の液状化層を対象に実施されたものが多く、液状化層が互層の場合の検証を実施した事例はほとんど無い。液状化層が互層の場合、中間の非液状化層に対し、どのように剛性低下させるかが課題となる。また、液状化層の変形と比較して盛土自体の変形量が大きくなる場合もあるため、堤体の剛性低下の考え方についても併せて検討が必要である。

液状化層より上部の非液状化層として粘性土が厚く堆積している場合、粘性土の震動特性によっては、この層の沈下変形量の影響が大きく、解析結果に重大な影響を及ぼすことがある。

以上の課題を解決するために、非液状化層の剛性を一律に剛性低下するのではなく、ひずみレベルに応じて剛性低下する弾塑性モデルの導入を試みた。

## 3. 非液状化層に用いる弾塑性モデル

キーワード 液状化, 河川堤防, 弾塑性動的有効応力解析, 自重変形解析

連絡先 〒163-6018 東京都新宿区西新宿6丁目8番1号 パシフィックコンサルタンツ(株) TEL 03-5989-8323

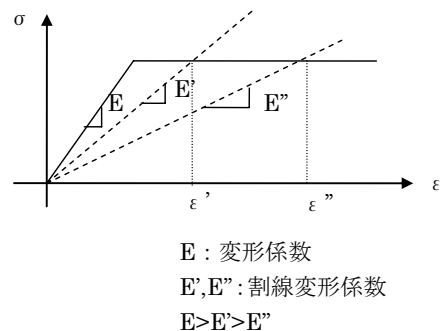


図-1 MC/DPモデルにおける応力～ひずみ関係

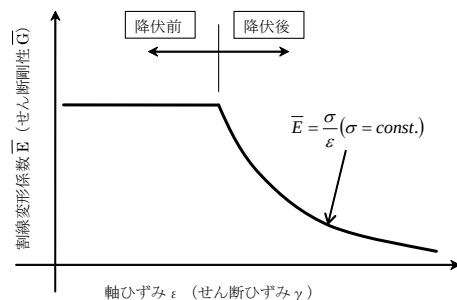


図-2 MC/DPモデルの剛性低下曲線

本来、線形弾性モデルを用いて人為的に剛性低下させる目的は、材料が降伏に至るまでの非線形挙動を擬似的に表現することである。Cam-Clay モデルに代表される弾塑性モデルや双曲線モデル及び R-O モデルに代表される非線形モデルを導入すれば一律剛性低減が不要となるが、モール・クーロン型弾・完全塑性モデルの場合は変形係数一定で降伏に至る。しかしながら、図-1、2 に示すように、弾・完全塑性モデルは、降伏後、ひずみレベルに応じて割線剛性が低下することから、一般的な土質定数があれば適用できる利点もあるため、MC/DP モデルの適用性について検討を実施した。MC/DP モデルでは、降伏基準にモール・クーロン式、塑性ポテンシャルにドラッガー・プラガー式を適用する弾・完全塑性モデルである。

4. 検討断面及び解析ケース

液状化層が互層の場合として 2007 年中越沖地震における鯖石川被災断面(図-3) を選定した。

5. 解析結果

本研究では、非液状化層に従来の剛性低下手法を適用した場合と MC/DP モデルを適用した場合とし、MC/DP モデルの有効性について検討した。

解析ケース及び解析結果を表-1 に示す。表-1 に示す解析結果より、非液状化層に対して一律 1/40 剛性低下を適用した場合には、沈下量を過大に評価することが分かった。また、引張りが出ないよ

うに繰返し計算により求めた剛性を用いた場合でも実測より数十 cm 大きい沈下量が計算されるため、信濃川のように液状化層が堤体途中で途切れるような場合には適用性が低いと考えられる。一方、MC/DP モデルを用いた場合には、計算沈下量は実測と良く整合しており、液状化層の分布が複雑な場合においても適用性が高いことが確認できた。

6. おわりに

土構造物の地震時液状化による残留沈下量を計算する最も精度が高い手法として、動的弾塑性有効応力解析が挙げられる。しかし、解析に長時間を要するうえに、構成モデルの選定や液状化パラメータの設定などによって変形量に差異が生じるため、解析条件と結果の妥当性を証明することが重要な課題となる。

一方、自重変形解析法は、液状化に伴う堤防の変形を簡便かつ精度よく静的に算定する方法であり、安定した解析手法である。本研究では、液状化層より上部に位置する非液状化層に対し MC/DP モデルを適用することにより自重変形解析の精度向上を図れることを示した。MC/DP モデルのパラメ

ータは一般の土質定数より設定できるため、今後更に検証事例を増やし、提案した手法の有効性を確認するとともに、他の条件下における適用性についても検証して行く予定である。

謝辞

本研究にあたり、被災調査資料や地質調査結果等のデータをご提供頂いた国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究室様に感謝致します。

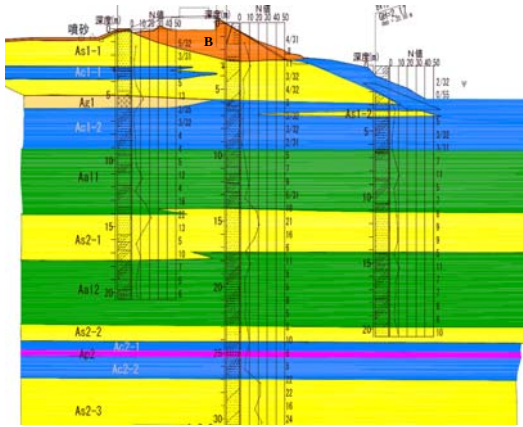


図-3 鯖石川左岸被災断面

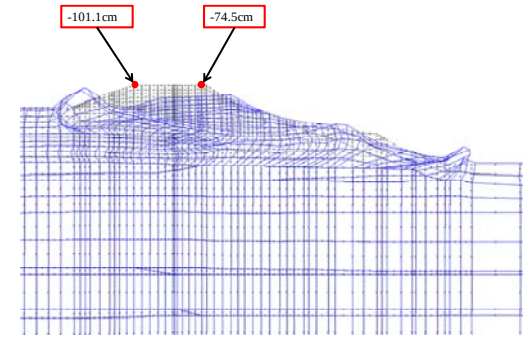


図-4 弾塑性動的有効応力解析の結果

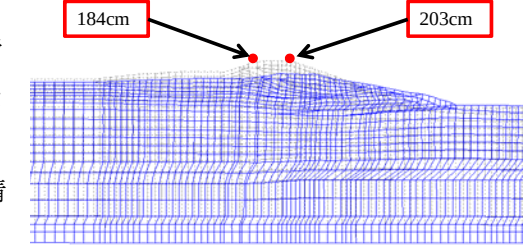


図-5 自重変形解析（繰返し剛性）の結果

表-1 弾塑性動的有効応力解析と自重変形解析の比較

| 解析手法        | 液状化層の構成モデル | 非液状化層の構成モデル | 実測沈下量 (cm) | 計算沈下量 (cm) | 実測との差 (cm) |
|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| 弾塑性動的有効応力解析 | PZ-Sand    | R-O         | 120        | 101        | -19        |
| 自重変形解析      | バイリニア      | 1/40剛性繰返し計算 |            | 257        | 137        |
|             |            |             |            | 203        | 83         |