

改訂版 ALID を用いた中小河川における堤防の地盤変形解析

(株)四電技術コンサルタント 正会員 ○中河哲郎 松本幸太郎 鎌田誠司

1. はじめに

ALID とは、静的な地盤変形解析の手法の 1 つであり、河川堤防を対象とした地盤変形解析の実績も多い解析手法である。ALID は、平成 28 年 4 月の「河川堤防の液状化対策の手引き」及び、平成 28 年 3 月の「河川構造物の耐震性能照査指針」の改定に伴い、これらに準拠する内容でアップデートが行われた。また、近年では太平洋沿岸域を中心に南海・東南海地震対策を目的とした河川の耐震性能照査が行われている。これら耐震性能照査の対象となる河川には今後、大規模河川だけでなく堤防規模の小さな中小河川も対象となることが想定される。本発表では、業務を通して得られた多くの解析事例を通して、中小河川での堤防の地盤変形の特性について考察を行う。

2. 解析手法

解析に用いた ALID のバージョンは、H28 年に行われた河川の耐震性能照査に関する指針改定に対応するバージョンである ver5.3 である。ALID 解析に必要な解析パラメーターは各断面での地質調査結果を基に、『河川構造物の耐震性能照査指針・解説 —II.堤防編—』⁽¹⁾や『2次元 FEM 液状化流動解析 ALID/Win Version 5.3 プログラム解説書』⁽²⁾を参考に設定した。

3. 解析対象断面

本発表の考察に用いた解析断面は、中小河川における河川堤防での解析事例を対象とし、地震動の大きさはレベル 2-1 地震動を対象とした。断面数は合計で 21 断面であった。堤防形状は、堤防高が 1.84m から 4.67m の範囲で 3m 前後の堤防が多かった。なお、堤防高は指針に則り堤内外の比高とする。また、天端幅は 8m 程度の一般的な台形の築堤形状のものから、堤内外の地盤高に高低差があるものまで様々であった。

4. 解析結果

沈下量と土質の観点から、解析結果を 4 グループに区分した。グループ分けの指標として、図 1 に豊田ら⁽³⁾による FL が 0.8 より小さい範囲のせん断剛性比と FL, RL の関係を示す。同一 FL 値において、 $RL \leq 0.200$ の場合 $RL \geq 0.250$ までの場合と比べて著しくせん断剛性比が小さくなっていることから、 $RL \leq 0.200$ を一つの指標とした。また堤防の最大沈下量は、既往の事例より堤防高の 75%とされる⁽¹⁾。そこで、 $RL \leq 0.200$ の液状化層の有無と、沈下量が堤防高の 75%を超えているか否かで解析結果を区分した。図 2 に解析結果を 4 グループに区分した割合のグラフを示す。 $RL \leq 0.200$ の層があった断面を A グループ、無かった断面を B グループに区分し、更にそれぞれのグループで沈下量が堤防高 75%を超えたか否かで区分した。AB 両グループにおいて、超えたものを A1 及び B1、超えていなかったものを A2 及び B2 とした。各グループの内訳は図 2 より、A グループの合計が 14 断面で、うち A1 の断面数は 86%にあたる 12 断面だった。一方で、B グループの合計 7 断面のうち、B1 の断面数は 29%にあたる 2 断面であった。

また、中小河川においてよく見られる堤内外で高低差があるような断面においては、地盤高が低い方向に側方流動が発生した。特に比較的細粒分が多く N 値の低い液状化層は RL 値が特に低くなり、ばね補正後の断面において大きな

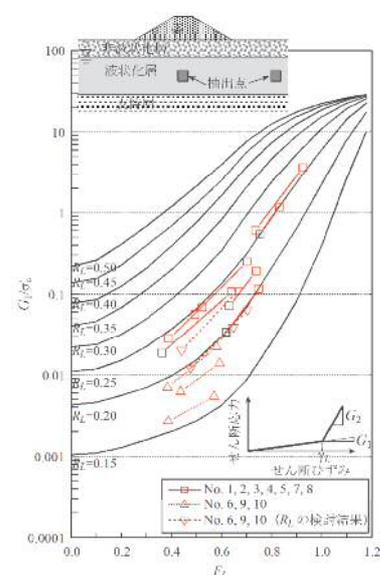


図 1 せん断剛性比と FL, RL の関係 (豊田ら⁽³⁾)

■ A1 : RL ≤ 0.200の層有り・75%越え ■ A2 : RL ≤ 0.200の層有り・75%以内
 ■ B1 : RL ≤ 0.200の層無し・75%越え ■ B2 : RL ≤ 0.200の層無し・75%以内

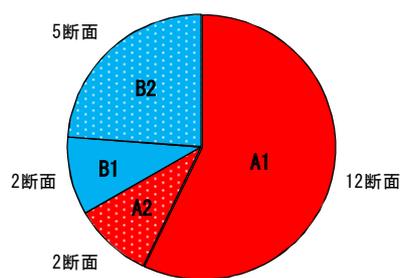


図2 解析結果の内訳

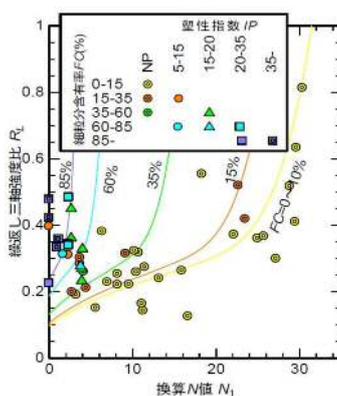


図3 新基準における繰返し三軸強度比と換算N値の関係⁴⁾

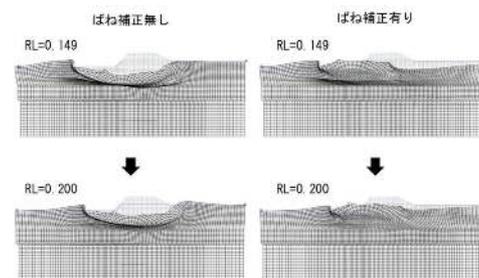


図4 RL値を再検討する前と後での変形図の比較

側方流動が発生する結果となった。そこで、大きな側方流動が見られた断面において、比較的細粒分が多く N 値の低い液状化層 (FC=27.4%, N 値=1.2, RL 値=0.149, 層厚=1.9m) の RL 値を再検討したもので、再度解析を実施した。図3より、2011年東北地方太平洋沖地震にて被災した河川堤防のサンプルで実施された室内試験結果⁴⁾ではFCが15~35%の試料ではRL値は最低でも0.200程度であることから、この液状化層のRL値を0.149から0.200に変更した。図4より、川表側の法肩の側方流動は6.96mから3.84mと44.8%減少し、堤防天端の鉛直変位は5.94mから5.17mと13.0%減少した。ばね補正を考慮した結果では、側方流動が10.11mから6.492mと35.8%減少し、鉛直変位は2.20mから2.07mと5.9%減少した。

5. 考察

AグループとBグループ間における堤防高75%を超えるか否かの割合は大きく異なっており、Aグループの方がBグループよりも堤防高75%を超えた断面の割合が高く、Aグループが86%、Bグループが29%であった。Aグループのうち2断面で堤防高75%を超えて沈下しなかった原因として、 $RL \leq 0.200$ の層が0.5m程度と僅かであったこと等が挙げられる。これより堤防高の75%を超える結果となるか否かは、 $RL \leq 0.200$ といったRL値が低い層の有無とその層厚に着目することで、ある程度予想出来ると考えられる。

また、堤内外で高低差がある断面において、比較的細粒分が多く N 値の低い液状化層の RL 値を実測値に近いと考えられる0.200に増加させた結果、側方流動が大きく減少した。このことから、RL値が極端に低くなりやすい、比較的細粒分が多く N 値の低い液状化層が、モデルの過大な変形に影響していることが示唆された。従って、実業務での解析の際にこのような層が見られた場合は注意する必要があるといえる。対応策としては、N値やFCからの換算だけではなく、非排水三軸試験等を実施してRL値を検討する方法が考えられる。

以上より、中小河川を対象としたALID解析を実施する際には、 $RL \leq 0.200$ とRL値が低い層の有無とその層厚に着目することで、沈下量が堤防高の75%を超えるか否かをある程度予想出来ると考えられる。また、RL値が極端に低くなりやすいため過大な変形の原因となる、比較的細粒分が多く N 値の低い液状化層に対しては、非排水三軸試験の実施によるRL値の検討を提案するなどして、現場条件に応じた解析モデルの構築を行う事が、トータルコストを抑えたより良い対策工法の提案に繋がると考えられる。

参考文献

1. 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針・解説 Ⅱ 堤防編一，2016年3月
2. 株式会社地盤ソフト工房：2次元FEM液状化流動解析ALID/Win Version 5.3プログラム解説書，2016年7月
3. 豊田耕一・杉田秀樹・石原雅規：河川堤防の地震被災事例に基づく液状化地盤の剛性に関する検討，日本地震工学会・2005 大会一梗概集，2005年，pp.226-227.
4. (国研) 土木研究所 地質・地盤研究グループ土質・振動チーム：土木研究所資料 河川堤防の液状化対策の手引き，2016年3月