

荒川下流部堤防におけるレベル2地震動時の変形解析検討

国土交通省荒川下流河川事務所 正会員 ○多田 直人
(株)建設技術研究所 楊 雪松

1. はじめに

河川堤防は、地震により変形しても大規模な破壊に至らない靱性に富んだ構造系であり、たとえ被害を受けても比較的短期間で復旧可能な構造系であると考えられている。河川堤防の耐震照査は、平成19年3月に策定された「河川構造物の耐震性能照査指針(案)」(以下「照査指針」とする)より、堤防天端の沈下量を照査項目とし、2週間に発生する確率1/10の水位(照査外水位)¹⁾を地震後堤防の最低限に必要な限界値とした照査を静的有限要素法により実施するものとされている。ここでは、静的・動的有限要素法を用いて荒川下流部堤防の地震時の変形形状の解析検討を行うと共に、解析手法による照査結果の違いを比較検討した。

2. 解析手法としての有限要素法とその課題

堤防変形形状の予測は、被災規模の予測と対策工の選定に当たって重要な指標の一つであり、これを精度良く予測することが重要である。地盤条件が厳しい場合等では、堤防の変形形状によって連続した亀裂や塑性化が基礎地盤まで達する場合に、被災堤防の撤去と再築堤など仮締切り堤防を要する復旧工事が長期にわたる被災事例がある^{2),3)}。堤防変形形状の予測解析法として、有限要素法を用いる場合には以下に示す課題がある。

- ・静的解析法(ALID)と動的解析法(LIQCA)はいずれも連続体の弾塑性力学に基づいた2次元有限要素法であり、引張応力状態における土構造物のクラックの発生・進行等の破壊に至る現象をシミュレートできない。
- ・ALIDとLIQCAはいずれも微小変形条件で定式化された構成則を用いているため、大変形・大ひずみが生じる場合には原理的に適用には課題がある。

3. 解析条件

荒川下流部堤防の一断面を対象に、直下型地震と海溝型地震に対する堤防の挙動の相違を検討するために、LIQCA-2DとALID等の有限要素法を用いた解析を行い、堤防の変形形状に関わるせん断ひずみや過剰間隙水圧比等の応答値の比較検討を実施した。なお、ALIDに必要な液状化層の剛性低下は、液状化強度比 R_L と液状化抵抗率 F_L から安田・稲垣のチャートにより設定したが、 F_L 値の算定は全応力の動的解析(FLUSH)によって算出した地盤内のせん断応力を用いた。

解析対象の河川堤防の直下地盤には、液状化のおそれのある堤防盛土(Bk)とシルト混じり細砂層(Yus)が4m程度堆積している。液状化層の下に堆積する軟弱粘性土層は液状化層に対する免震効果があり、液状化層の上に位置する非液状化層は地震時の地盤の沈下・変位に大きく影響することが考えられるため、LIQCAではR-0モデル、ALIDでは適宜な剛性低下を考慮して評価した。なお、入力地震波は、「照査指針」に準拠して海溝型・直下型地震に対してそれぞれ道示の加速度波形I-I-3とII-I-1を用いるものとした。

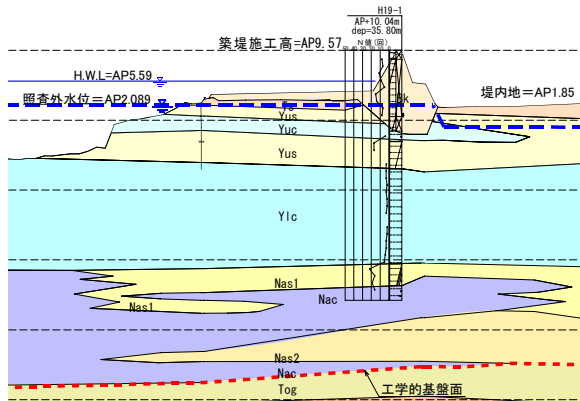


図-1 検討対象の堤防・基礎地盤断面図

表-1 主要土質定数

土層	層厚(m)	N値	G_0 (kN/m^2)	R_L	γ_t (kN/m^3)	C (kN/m^2)	ϕ (度)
Bk	(7.95) 3.65	3	29,300	0.196	17.0	0	30
Yuc	1.50	1	36,700	—	16.0	15.0	0
Yus	3.90	16	39,000	0.368	17.0	0	30
Ylc	13.60	3	47,100	—	16.0	45.0	0

*()は地下水位以浅の層厚 ; G_0 : 初期せん断弾性係数

R_L : 液状化強度比 ; γ_t : 湿潤単位体積重量

C: 粘着力 ; ϕ : 内部摩擦角

キーワード 河川堤防, 液状化, 有効応力解析, 動的解析, 自重解析

連絡先 〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町 3-21-1 (株)建設技術研究所 TEL 03-3668-4543

4. 解析結果と堤防の変形形状

(1) 堤防の変形図

直下型や海溝型地震の特徴（継続時間・卓越周期）に相違があるが、堤防変形図は ALID, LIQCA のいずれも液状化層より上の堤防全体が沈む“沈下型”⁴⁾となる。

ALID では天端沈下量が小さく求められる。液状化層の層厚が薄く、粘性土等の非液状化層の沈下量が全沈下量に占める割合が大きくなる場合には、粘性土の剛性低下に対する評価方法が課題になる。

(2) F_L 値と過剰間隙水圧比

ALID に用いる F_L 値は、法尻部での値が低い（図-3）。LIQCA によって求めた過剰間隙水圧比の時刻歴は、直下型地震では、法尻部が堤防中央に先行して液状化する（図-4a）。先行して液状化した法尻部のせん断ひずみが集中的に累積され、堤体が法尻側へ側方流動する“すべり型”⁴⁾の変形形状になると推察される。

また、海溝型地震に対しては、法尻部と堤防中央直下においてほぼ同時に液状化して、基礎地盤の支持抵抗が失われたため、堤防全体は堤体の陥没・沈下を主とする“沈下型”の変形形状になると推察される。

(3) 最大せん断ひずみ (γ_{max})

ALID によって求めた γ_{max} が 5%程度（土のせん断ひずみの限界値）を越える範囲を考察すると、海溝型地震の場合は堤防全体にわたるのに対して、直下型地震の場合には堤防中央直下のみにとどまり、“すべり型”の変形形状になることが推察される。（図-5）

(4) まとめ

堤防変形形状の予測は、有限要素解析から得られた変形図のみならず、河川堤防と基礎地盤の地震時挙動とともに論じる必要がある。LIQCA では過剰間隙水圧比の時刻歴を、ALID では γ_{max} 分布を考慮した総合検討が望まれる。本検討対象の堤防は直下型地震にて“すべり型”、海溝型地震にて“沈下型”の変形形状が予測される。

5. おわりに

堤防変形形状に関する本検討は一つの河川断面、数波の地震波しか用いていないため、考察は限定的なものである。今後解析事例の増加による知見の蓄積が期待される。また、粘性土の剛性低下に対する研究は、ALID の解析精度の向上に寄与すると考えられる。

参考文献

- 1) 河川構造物の耐震性能照査において考慮する 河川における平常時の最高水位の算定の手引き（案）（財）国土技術研究センター 平成 19 年 5 月
- 2) 折敷秀雄：新潟県中越地震による信濃川の河川堤防被害調査について、JICE REPORT vol.8、2005 年 11 月。
- 3) 宮城県北部を震源とする地震 鳴瀬川・北上川被害状況 国土交通省北上川下流河川事務所 平成 15 年 8 月 8 日。
- 4) 常盤 敏：木曾三川下流部堤防での地震時変形解析手法、JICE REPORT vol.9、2006 年 3 月

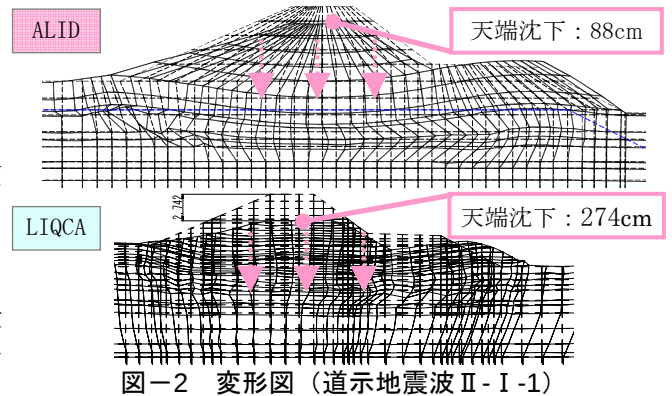


図-2 変形図（道示地震波 II-I-1）

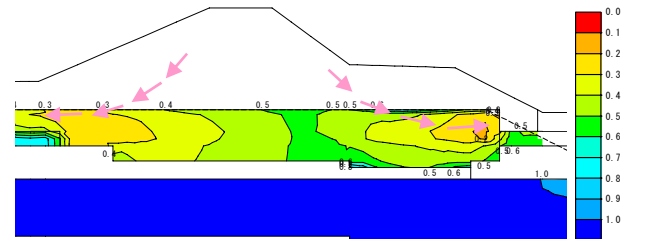
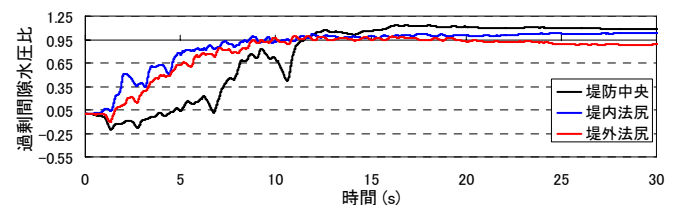
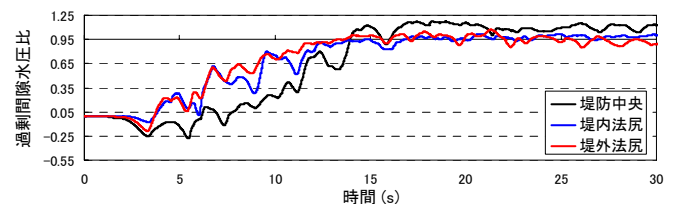


図-3 ALID に用いる F_L 値（道示地震波 II-I-1）

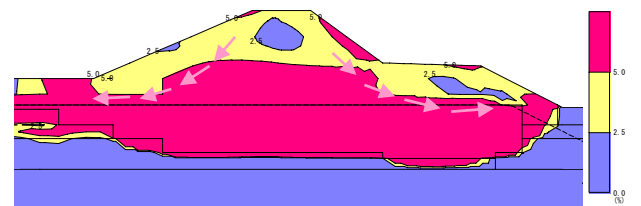


(a) 道示地震波 II-I-1（直下型）

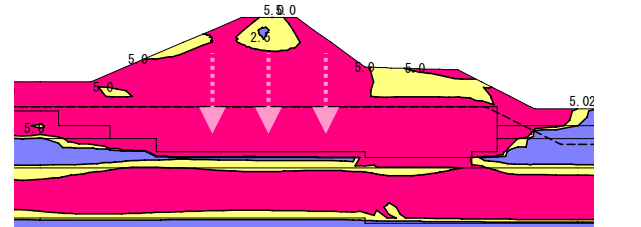


(b) 道示地震波 I-I-3（海溝型）

図-4 LIQCA による過剰間隙水圧比の時刻歴



(a) 道示地震波 II-I-1（直下型）



(b) 道示地震波 I-I-3（海溝型）

図-5 ALID による最大せん断ひずみ