



2017.1.20, 第5号

## はじめに

<御挨拶>

新年あけましておめでとうございます。今年は東日本大震災から6年目、兵庫県南部地震から22年目ですが、去年は4月に熊本地震、10月に鳥取中部地震が発生しており、南海トラフ巨大地震や首都直下地震への備えがますます切望されています。日本では国土の10%以上で液状化が発生しやすいため、人口の40%以上が液状化被害を受ける可能性があります。また、豪雨災害も頻発おり、それらへの備えは必須の状況です。昨年12月2日の2016年LIQCAによる液状化解析プログラムセミナーは定員いっぱいの多数の参加で開催することができました。厚く御礼申し上げます。研究所としましては震災の教訓を風化させず、防災・減災対策の一助になるべく取り組んでゆきますので、設立4年目の今年もよろしくお願いいたします。

2017年1月

一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所 会長 岡 二三生

### LIQCA 液状化地盤研究所について

当社団法人は2013年7月に設立され今年で5年目に入ります。現在正会員が16名、賛助会員が2名、理事は6名、監事2名で構成されています。ほぼ月1回の研究会を行い、最新の情報を取り入れた解析プログラムの開発、より使いやすいプログラム作成、ユーザーのためのサポート事業を行っております。詳しくは <http://liqca.org> を御覧ください。

### 昨年度のセミナーと活動

平成28年度は、5月13日に前年度の追加セミナーを、10月13日には液状化プログラムLIQCAの初級者用講習会を、京都市キャンパスプラザで、12月2日には平成28年度の液状化プログラムLIQCAのセミナーを東京中央大学駿河台記念館で開催しました。多くの参加者で盛会となりました。

2016年度版でLIQCA 2D16・LIQCA 3D16(2015年公開版)資料、I編理論編、II編実践編、III編マニュアルでは、不飽和浸透-地震

の統合、3D解析でのジョイント要素の導入、構成式には破壊条件の一般化などが行われ、さらに資料の更新も進みました。特に不飽和解析では地震前の降雨と河川水位の上昇による堤防の安定も解析可能となっています。

### 次回のセミナー開催について

昨年12月2日のLIQCA液状化解析プログラム追加セミナーは5月に京都で開催予定です。

## ホームページについて

LIQCA 液状化地盤研究所の HOME PAGE での LIQCA 情報のページでセミナーでの追加資料、正誤表やプログラムの保守情報を掲載しています。ただし、閲覧にはパスワードが必要です。

(<http://liqca.org>)

## 関連国内国際会議・研究集会

1. 土木学会第 72 期全国大会；9 月 11-13 日まで、九州大学伊都キャンパスにて。詳しくは

<http://committees.jsce.or.jp/tai kai2017/> を参照ください。

2. 第 52 回地盤工学会研究発表会は、7 月 12-14 日まで、名古屋国際会議場にて、講演申し込み 2 月 5 日。申し込み料は 2 月 15 日まで、論文締切は 3 月 5 日。

3. 15th IACMAG が 2017 年中国の Wuhan で開催されます。15th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, 20-23 October 2017, Wuhan, China. (<http://www.15iacmag.org>)

4. 第 9 回国際地盤工学会：ICSMGE2017 は 2017 年 9 月 17-22 日にソウルで開催。19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, September 17-22, Seoul, Korea.

5. IWBDG2017, 11<sup>th</sup> International Workshop on

Bifurcation and Degradation in Geomechanics, May 21-25, 2017, Limassol, Cyprus. <http://www.cyprusconferences.org/iwbdg2017>

6. 日本材料学会塑性工学部門委員会地盤力学分科会、地盤力学セミナー；平成 29 年 3 月 3 日（金）15：00～17：00 日本材料学会 2 階 中会議室 〒606-8301 京都市左京区吉田泉殿町 講師：岡 二三生（京都大学名誉教授）内容：熊本地震での液状化と堤防の被害—黒い火山性砂—

## 編集後記

寒中お見舞い申し上げます。ニュースレター NO.5 号です。昨年は 4 月に熊本で、10 月には鳥取で地震が発生しました。また、岩手、北海道などで洪水氾濫と自然災害の脅威続いております。加藤理事のコラムは河川堤防解析を目指したものです。コラムを担当いただいた加藤理事大変お忙しいところありがとうございました。今後も、研究所への皆様のご支援をお願いします。

**注：コラムは次ページ以降です。ご覧ください。**

## LIQCA 液状化地盤研究所 住所連絡先

606-8226 京都市左京区田中飛鳥井町 138-1 防災研究協会第 3 研究室

電話&FAX 075-585-4445

e-mail [office@liqca.org](mailto:office@liqca.org)

コラム

不飽和浸透-変形連成解析事例

一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所理事

株式会社日建設シビル

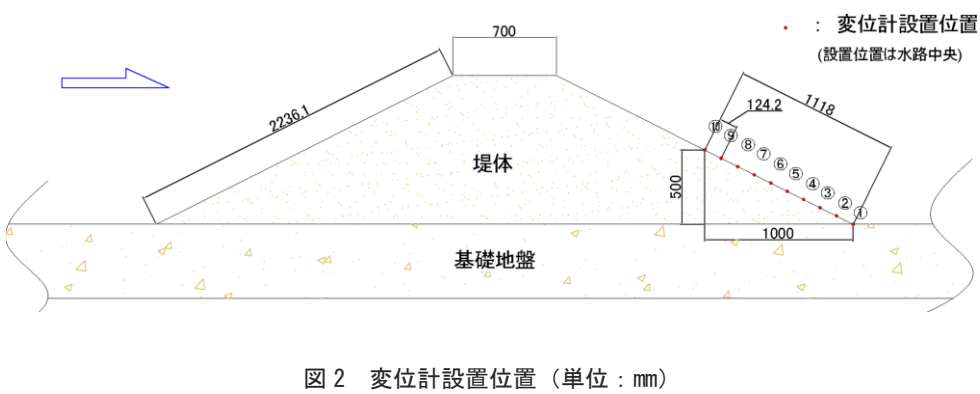
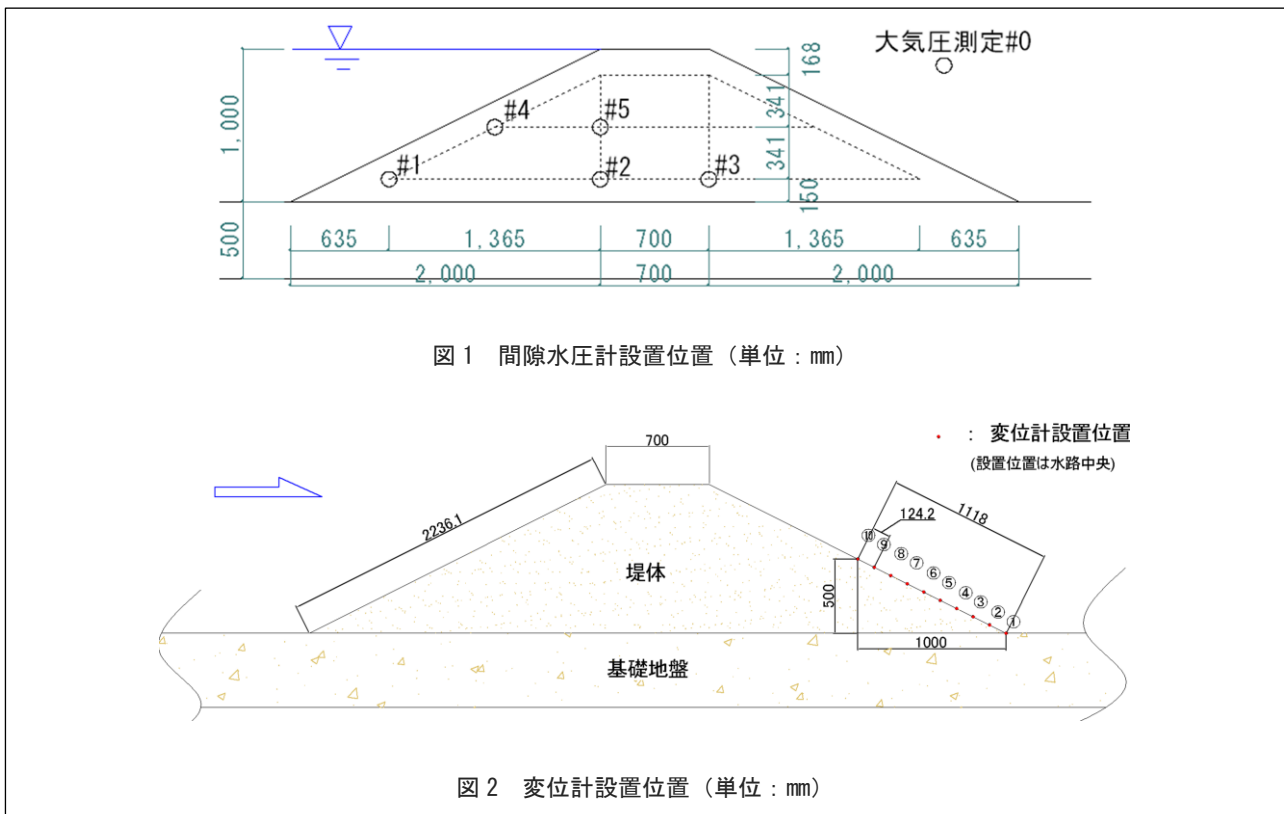
設計主管 加藤亮輔

1. はじめに

我々の周りに存在する地盤は土粒子、水、空気で構成されている。土粒子、空気構成されている土を「乾燥土」、土粒子、水で構成されている土を「飽和土」と呼んでいる。そして、土粒子、水、空気が共存する土を「不飽和土」と呼ぶ。飽和土を対象とした様々な現象を解析する方法は Terzaghi の有効応力の原理を用いた二相多孔質体理論 (Biot, 1962) によって確立されてきているが、不飽和土を対象としたものは飽和土に比べてまだまだ確立されていないのが現実である。実際われわれが抱えている地盤工学的問題は主に不飽和土において発生している。代表的なものとしてダムの変形問題、降雨浸透による斜面崩壊、土石流、河川堤防などの盛土の浸透変形問題などがある。ここでは、2016 年度版より新規に LIQCA に統合した不飽和解析を用いた、堤防模型実験の再現事例について紹介する。

2. 実験概要

対象とする堤防模型実験は京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーで行われた堤防盛土模型を用いた浸透実験 (淀川堤防強化研究会, 2010 ; 與田ら, 2010) である。実験には、基礎地盤高 500mm, 堤体部は高さ 1000mm, 天端幅 700mm, 法面勾配が 1 : 2, 奥行き 200mm の模型を用いた。堤防模型の土質材料には、前島ストックヤード (高槻市前島 3 丁目地先) から搬入された淀川堤防砂を使用した。



湛水深は堤体高と同じとし、堤体内の浸潤状況は間隙水圧計を用いて計測した結果より推定した。間隙水圧計の設置場所を図 1 に示す。また、法尻および周辺の変位を、川裏法面の法尻から法面に沿って法面中央まで堤体奥行き中央部にて、等間隔に 10 点、レーザー変位計で計測した (図 2)。

### 3. 解析条件

堤防モデルの概略図を図3に示す。堤体左側（川表側）の水位を図4に示す水位時刻歴のように上昇させ、実験と同様に24時間後までの解析を実施する。解析に用いた材料パラメータを表1に示す。なお、淀川堤防砂は、別途試験により水分特性曲線が求められている。この水分特性曲線を模擬してシミュレーションに用いる。また、解析における飽和度-比透水係数の関係は、森中らの解析結果（森中ら，2008）を参考に、Brooksの式（Brooks and Corey, 1964）を用いた。用いた水分特性曲線および比透水係数を図4に示す。

変位境界条件としては、モデル基礎地盤底面はx,y方向ともに固定境界、モデル基礎地盤側面はx方向のみ固定の鉛直ローラーとする。また、排水境界条件として、モデル基礎地盤底面は非排水境界、基礎地盤側面は排水境界とする。堤体法面および基礎地盤上部は、間隙水圧が正ならば排水境界、負ならば非流入境界とする。また、川表側において水位上昇を考慮するため、水位以下の基礎地盤上部および堤体法面は、水位に応じた水頭境界とする。

### 4. 解析結果

図6に示す間隙水圧の時刻歴では、まず#1, #4が反応し、続いて#2, 少し遅れて#3, #5が反応している。これは、実験結果と同じ順序で正の水圧が発生しており、水圧の値も概ね実験結果を再現している。また、24時間後の水圧も実験結果とほぼ同じ値となっている。図7に示す飽和度分布では、川裏側法尻部における浸潤速度が実験結果の目視による確認とはやや異なるものの、浸潤が進んだ20時間後以降ではほぼ同様の浸潤面を形成している。この結果より、水圧の上昇について実験結果を再現できていると言える。

実験において観測された川裏側法面の垂直方向変位と、解析結果を図8に示す。実験結果、解析結果ともに約5時間後から急激に変位が発生し、実験では最大約2.8mm、解析では最大約2.4mmのはらみ出しが見られた。実験では②測点での変位が卓越して変位にややばらつきがあり、解析ではどの測点でもほぼ同じ変位となったという差異があるものの、本解析手法を用いることで水圧のみならず変形についても概ね実験を再現できている。

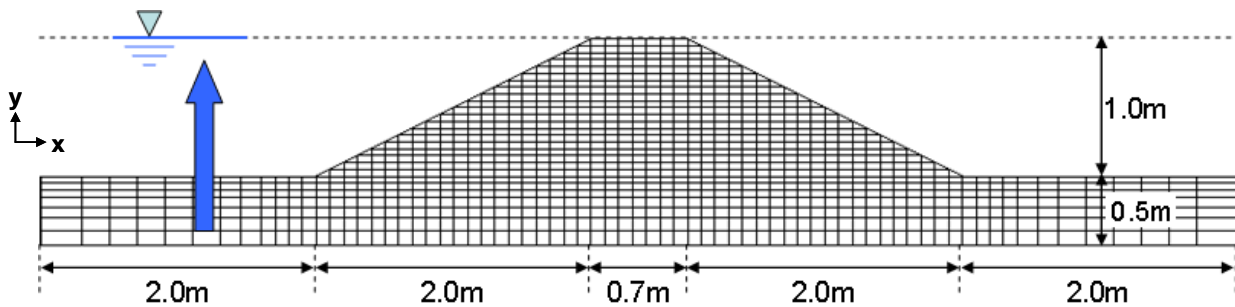


図3 解析モデル

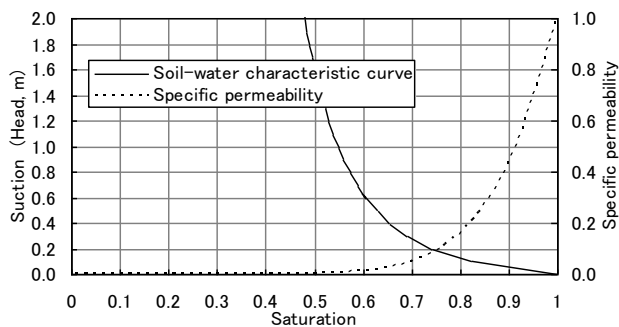


図4 不飽和浸透特性

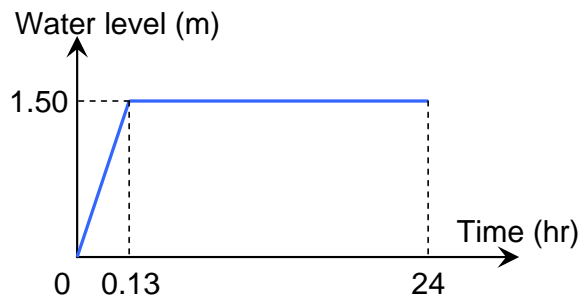


図5 水位変化の時刻歴

表 1 材料パラメータ

パラメータ	淀川堤防砂
塑性および弾性係数の低減手法	手法2
密度 $\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	1.9
初期間隙比 $e_0$	0.535
圧縮指数 $\lambda$	0.0804
膨潤指数 $\kappa$	0.009
疑似過圧密比 OCR*	1.3
無次元化初期せん断係数 $G_0/\sigma'_{m0}$	250.0
変相応力比 $M_m^*$	1.270
破壊応力比 $M_f^*$	1.270
硬化関数中のパラメータ $B_0^*$	800
硬化関数中のパラメータ $B_1^*$	20
硬化関数中のパラメータ $C_f$	600
基準ひずみ(塑性剛性) $\gamma_{ref}^{P*}$	0.008
基準ひずみ(弾性剛性) $\gamma_{ref}^{E*}$	0.08
ダイレイタンスー係数 $D_0^*, n$	2.0, 2.0
異方性消失のパラメータ $C_d$	2000
水分特性曲線のパラメータ $\alpha$	2.0
水分特性曲線のパラメータ $n$	4.0
初期飽和度 $S_r$	初期水位以上0.6

透水係数 (m/s)	堤体		川表法面	
	水平	鉛直	水平	鉛直
	$4.79 \times 10^{-5}$	$4.79 \times 10^{-6}$	$8.79 \times 10^{-7}$	$8.79 \times 10^{-7}$

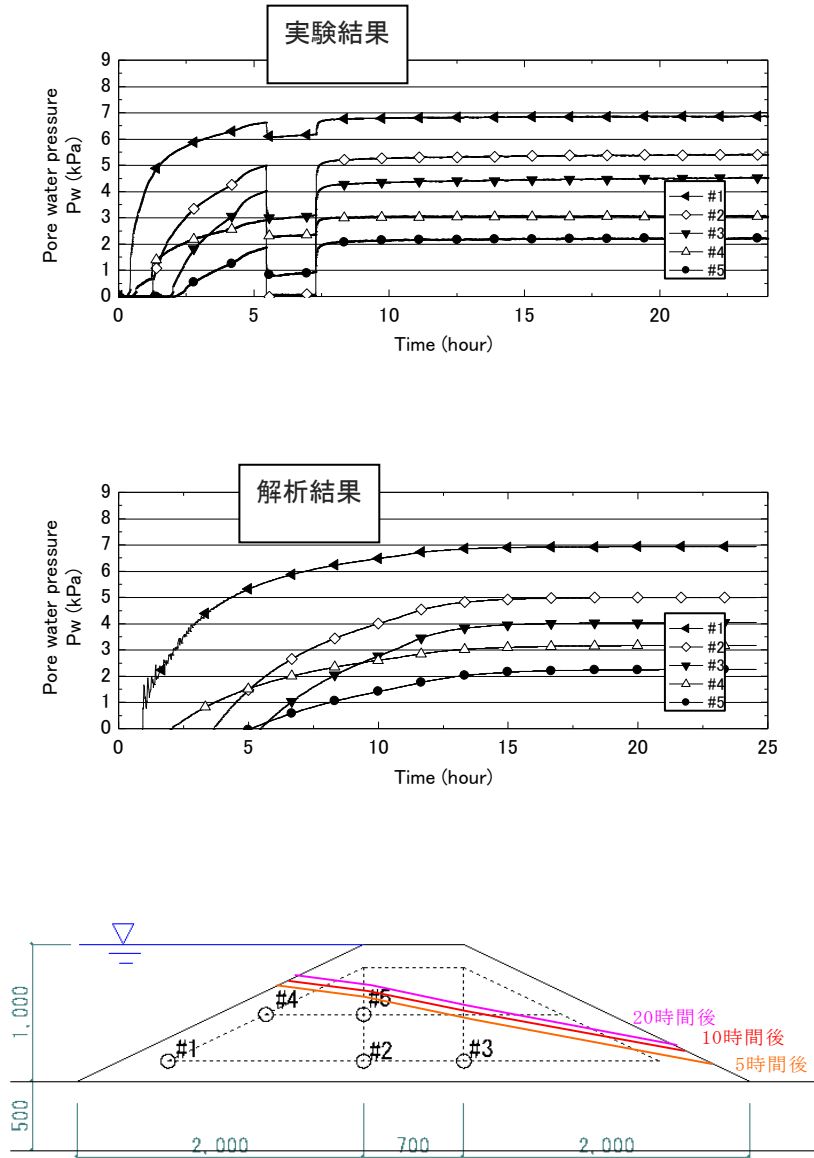


図6 間隙水圧時刻歴 (上段：実験結果、下段：解析結果)

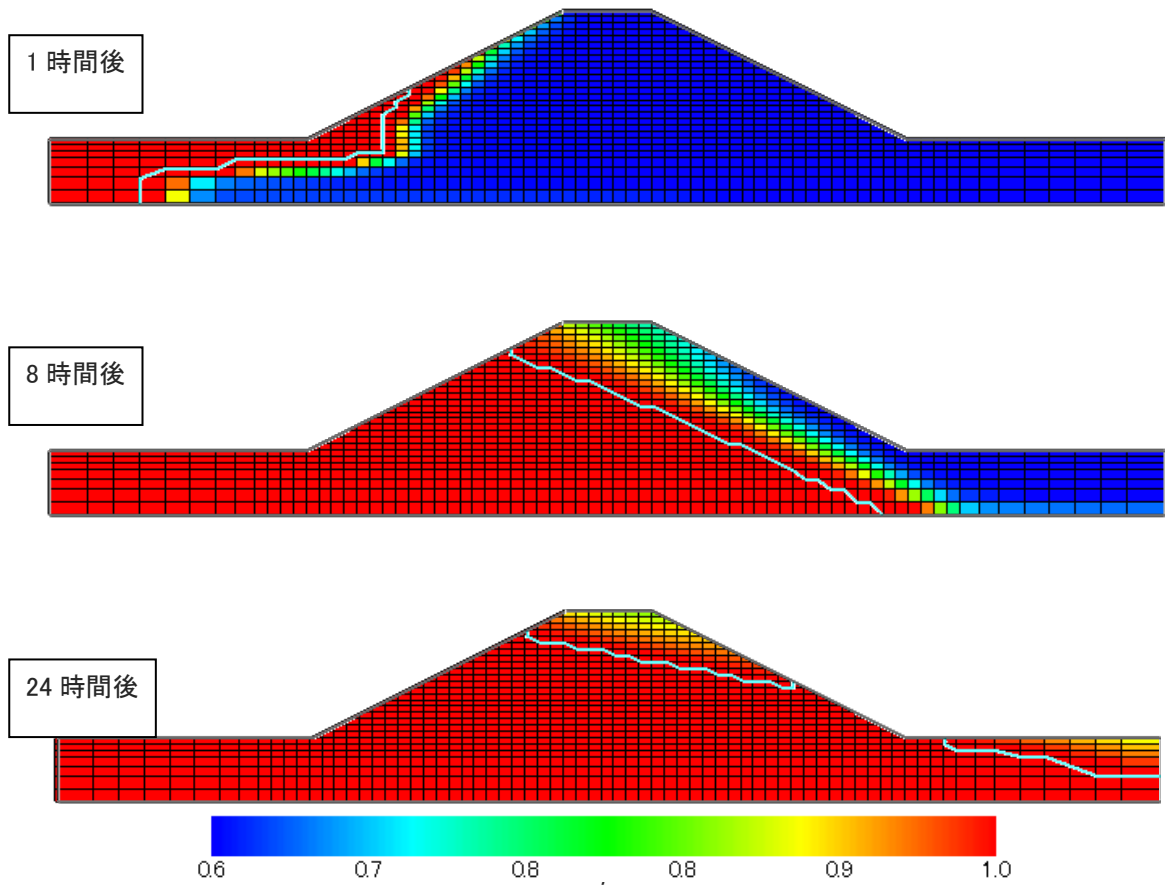


図7 飽和度分布 (水色線：浸潤面)

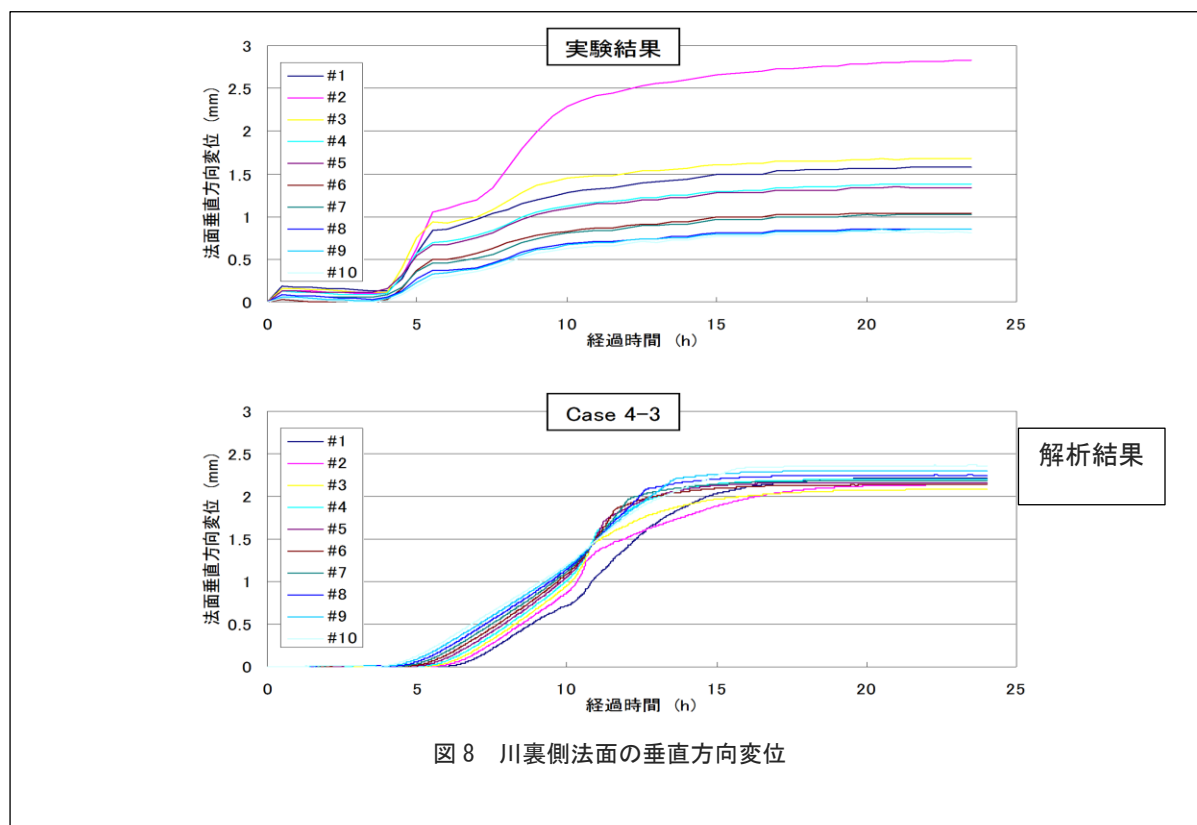


図8 川裏側法面の垂直方向変位

## 5. おわりに

計画水位を上回るような集中豪雨による災害が近年多発していることや、地震と浸透問題の複合災害により、不飽和浸透解析と変形解析を同時に行うことは今後の堤防等の設計を考える上でも非常に重要である。LIQCAは不飽和浸透-変形連成解析を実施することが可能な数少ない解析プログラムであり、その妥当性を模型実験の再現解析を実施することで検証した。この結果、水圧のみならず変形についても概ね実験結果を再現できることが確認された。

不飽和浸透-変形連成解析については2013版のLIQCAより、試験的にLIQCASFとして別プログラムにて公開を行っていたが、2016年度版より通常のLIQCAに統合し、使用性が大幅に向上している。今後、LIQCAユーザーにより多くの解析が実施され、その結果をフィードバックすることで、解析精度が向上していくことを期待する。

## 【参考文献】

- 1) Biot, M.A.: Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media, J. of Applied Physics, Vol.33, No.4, pp.1482-1498, 1962.
- 2) Brooks, R.H. and Corey, A.T.: Hydraulic properties of porous media, Hydrology Papers, Colorado State University, pp.24, 1964.
- 3) 森中雄一, 山崎真也, 岡二三生, 木元小百合, 肥後陽介: 浸透時における河川堤防の多相浸透-変形連成解析と実験との比較, 土木学会第63回年次学術講演会概要集, pp.735-736, 2008.
- 4) 加藤亮輔, 岡二三生, 木元小百合, 小高猛司, 角南進: 不飽和浸透-変形連成解析手法と河川堤防への適用, 土木学会論文集 C, 65巻, pp.226-240, 2009.
- 5) 国土交通省近畿地方整備局, 淀川河川事務所, 淀川堤防強化研究会ワーキング: 浸透および越水に対する堤防強化に関する研究報告書, 2010.
- 6) 與田敏昭, 中川一, 関口秀雄, 岡二三生, 後藤仁志, 小俣篤: 越流侵食・浸透のメカニズムを把握するための小型堤防による越流侵食実験, 河川技術論文集, 土木学会, 第16巻, pp.347-352, 2010.