

2015.1.16, 第2号

はじめに

<新年の御挨拶>

新年明けましておめでとうございます。

皆様のおかげで、昨年 12 月の 2014 年 LIQCA による液状化解析プログラムセミナーも多数の参加を得て無事開催することができました。 厚く御礼申し上げます。 今年は法人設立 3 年目を迎える年ですが、 兵庫県南部地震から 20 年目にあたります。 南海トラフでの巨大地震が想定されています。 防災・減災対策の一助になるべく課題に取り組んでゆきますので、 皆様、 今年もよろしくお願いします。 2015 年が皆様にとって良い年になるよう祈念致しまして、 私の新年の挨拶とさせていただきます。

2015年1月

一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所 代表理事 岡 二三生

LIQCA 液状化地盤研究所について

現在正会員が 15名、賛助会員が 2名、このうち理事 6名、監事 1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を行っております。詳しくは http://liqca.org を御覧ください。

平成 26 年度 LIQCA 液状化地盤研究 所の活動と今後の予定

平成 26年度は2014年12月2日に LIQCA 液状化解析プログラムのセミナーを 東京、中央大学駿河台記念館610号 室にて実施しました。90名が参加し、26 年度のユーザーとなっています。また、今年 も春には、平成 26 年度の追加セミナーを 予定しております。

平成 26年度のセミナーでは、LIQCA 2 D 14・LIQCA 3 D 14(2014年公開版)資料を理論編、実践編、マニュアル編の3編とし、2冊の資料を用いました。マニュアル編では、計算途中でのメッセージやエラーメッセージの表をさらに拡充し、計算実行を容易にしています。

2014 年度版では 2 次元ジョイント要素の拡充を行い、Goodman 型のジョイント要素のみでなく、節点ばね型ジョイントも導入しました。

平成 26 年には、5 月に 2013 年版の追加セミナーを、また 10 月には初級者用講習会を実施しました。実習を含む講習会であり、プログラムの使い方をマスターするのに役立ったかと思われます。平成 27 年度もこれらの開催を予定しています。

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やプログラムの保守情報を掲載しています。この閲覧ではパスワードが必要です。

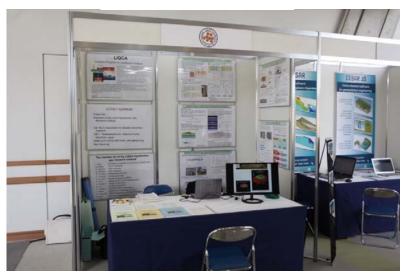
http://liqca.org



2014年 LIQCA による液状化解析セミナーでの受講風景



京都国際会議場の 14thIACMAG 会場入り口



14thIACMAGでの当研究所の展示ブース風景

関連国際会議

2014年9月22-25日に京都国立国際会館で14thICIACMAG,第14回のInternational Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanicsの会議が開催されました。この会議は、アリゾナ大学のDesai教授がはじめた地盤工学での計算力学や数値解析の研究を発表する国際会議で、Int. Association of Computer Methods and Advances in Geomechanicsが主催でしたが、453名の多数の参加者を得て開催されました。当研究所としては会議中展示を行いました。LIQCAを使った発表も沢山ありました。

会議の論文集は、CRC Press, Taylor & Francis group から、Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics, Oka, Murakami, Uzuoka, Kimoto editors, 2014 として出版されています。

今年は、ASCE Engineering Mechanics Institute Conf.,16-19 June, 2014が Stanford Univ.で開催 され、Mini-symposium として MS 02:Dr. Masao Satake Memorial Symposium on Granular Mechanicsが予定されています。

また、11 月に国際地盤工学会第 15 回 アジア地域会議が平成 27 年 11 月 9 日 ~13 日,福岡市で開催されます (<u>http://www.15arc.org/index.ht</u> <u>ml</u>)

コラム

液状化層のモデル化

一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所理事 徳島大学教授 渦岡良介

1. はじめに

液状化解析において最も重要なのは液 状化する可能性のある土層のモデル化で ある。 簡易法では、 深度 1m 毎の N 値と 細粒分含有率 Fc などを用いて経験的に 液状化強度を算出する。一方, 有効応 力解析を用いた詳細法では, 対象土層 から採取した不かく乱試料の非排水繰返 し三軸試験から得られる液状化強度をもと に構成モデルの材料パラメータを設定する。 簡易判定では,深度 1m 毎の液状化強 度が得られる反面,経験式の精度が課題 となる。一方、詳細法では液状化特性な どの力学特性が得られる反面, 不かく乱 試料の品質や不均質性の評価が課題とな る。ここでは、土層の一深度で採取した試 料の繰返し三軸試験から得られた液状化 強度を用いた解析(レイヤーベースモデリン グ)と深度 1m 毎で経験的に得られる液 状化強度を用いた解析(ポイントベースモ デリング)を比較した事例 1)を紹介し、液 状化層のモデル化について考える。

2. 解析条件

解析対象地点は徳島平野の吉野川河 口付近である。N 値および Fc の深度分 布と土層構成を示した有限要素モデルを 図 1 に示す。 地表から深度 10m 程は沖 積砂質土層(A2s)であり、そのN値は 10 以下で Fc は土層下部でやや大きくな っている。その下には層厚 25m 程度の沖 積粘性土層(A3c)があり、深度 45m で洪積砂礫層(工学的基盤)がある。 解析には LIQCA3D13²⁾を用い, A2s 層は繰返し弾塑性モデル, A3c 層以深 は R-O モデルを適用した。地下水位は地 表面とし,同一深度の節点は水平二方 向を等変位とした。Dg 層を粘性基盤とし て図2に示す南海トラフを震源とする地震 動(陸側)³⁾を水平二方向に入力した。 A2s 層については以下の 2 ケースのモデル 化を用いた。

1) ケース 1 (レイヤーベースモデリング)

各土層で用いた材料パラメータを表 1 に示す。表に示す通り A2s 層で一つの材料パラメータを用いる。PS 検層から得られたS波速度,深度 7-8mで採取した不かく乱試料の繰返し三軸試験から得られた液

状化強度などから要素シミュレーションにより材料パラメータを設定したものであり,通常の詳細法と同様の方法によるものである。

2) ケース 2 (ポイントベースモデリング)

A2s 層で用いた材料パラメータを表 2 に 示す。N 値と Fc が得られている深度 1m 毎に材料パラメータを設定した。A2s 以外 の土層の材料パラメータは表1と同様であ る。 道路橋示方書の方法を用いて N 値か ら S 波速度, N 値と Fc から液状化強度 を算定した。ここで、経験式の精度が問題 となるが、徳島平野の数地点において経 験式と室内試験による液状化強度を比較 したところ、両者は概ね整合していることを 確認している4)。また、経験式では得られ ない液状化特性(せん断ひずみの発達傾 向)については、A2s層の不かく乱試料 を用いた既往の繰返し三軸試験を整理し て得られた図 3 の関係 ⁴⁾を用いた。図 3 は繰り返し回数と両振幅ひずみの関係を 示したものであり、A2s層の Fc35%以下 のケースである。このような関係があれば, 経験的ではあるが要素シミュレーションによ って材料パラメータを設定することができる。

3. 解析結果

両ケースについて地表面応答加速度の 時刻歴を図4に, A2s層の有効応力減 少比の時刻歴を図5に示す。ケース1で は約 20 秒後に A2s 層の全ての深度で 有効応力減少比が1に達し液状化に至 っており、このとき地表面加速度の減少が みられる。ケース 2 でも約 20 秒後に有効 応力減少比がほぼ1に達しているが、そ の後はサイクリックモビリティを示し、約50 秒後には一定となっている。また,深度 5m 以浅ではケース 2 の方が有効応力減 少比の上昇が遅く、深度 6m 以深では 逆にケース1の方が有効応力減少比の上 昇が遅くなっている。地震後の過剰間隙水 圧消散過程では、ケース1では約55時 間で、ケース2では約4時間で有効応 力が回復している。地表面鉛直変位の時 刻歴を図6に示す。ケース1では約 80cm, ケース 2 では約 40cm の沈下 量が発生している。

以上のようにポイントベースモデリングを用いたケース 2 の方がレイヤーベースモデリングを用いたケース 1 よりも液状化の程度は抑えられていることがわかる。これは表 1 および表 2 に示すようにケース 1 で A2s 層の代表値として用いた液状化強度 0.178は A2s 層の中では小さ目の値であることに起因している。今回対象とした地点ではケース 1 が設計上安全側の結果となっているが、A2s 層の代表値すなわちサンプリング深度によっては異なる結果となる可能性がある。また、ケース 2 でも経験式の与え方によっては当然異なる結果となる。

4. おわりに

詳細な地盤調査がなされている徳島平 野のある地点を対象として, 土層の一深 度で採取した試料の繰返し三軸試験から 得られた液状化強度を用いた解析(レイ ヤーベースモデリング)と深度 1m 毎で経 験的に得られる液状化強度を用いた解析 (ポイントベースモデリング) を比較した事 例を紹介し, 液状化層のモデル化の違い が解析結果に与える影響を示した。前者 は土層毎に平均的な物性値を用いる設計 的なアプローチであり、その物性値の設定 が重要となる。後者は原位置試験で得ら れた地盤の不均質性をそのままモデル化し たものであるが、液状化特性は経験的に 与えざるを得ない。原位置試験で室内試 験に匹敵する力学特性が深度方向に連 続的に得られれば、後者の方がより現実 的な結果を与えると思われるが、現在その ような調査方法は開発されていない。ここで 示したように特定地域の特定土層を対象 とすれば経験式の精度向上が期待できる ことから、今後さらにデータの蓄積を図りた いと考えている。また、後者の方法について は、その妥当性を検証することが難しく、 地盤の不均質性の評価は地盤工学の重 要な課題である。南海トラフの巨大地震を 対象とする場合, 地盤や構造物に実際に どのような変状が発生するかを予測する必 要があり、より現実的な予測手法の検討 が必要になると思われる。

表 1 材料パラメータ(レイヤーベースモデリング)

Name of soil profile		A2s	A3c	A3s	A3c	To
Soil type		Sand	Silt	Sand	Silt	Base
Model type		EPS	RO	RO	RO	-
Density	$\rho (t/m^3)$	1.90	1.70	1.95	1.90	2.05
Initial void ratio	e_0	0.985	1.105	0.716	1.105	-
Coefficient of permeability	k (m/s)	5.1×10^{-6}	5.1×10^{-6}	5.1×10^{-6}	5.1×10^{-6}	
Initial shear velocity	$V_{\rm s}$ (m/s)	159	130	191	130	410
Liquefaction strength	R_{L20}	0.178		-	-	-
Initial shear modulus	G_0	52200	67200	5779	67200	-
Poisson's ratio	ν	0	0.35	0.35	0.35	-
Compression index	λ	0.03	-	-	-	-
Swelling index	κ	0.003	-	-	-	-
Failure stress ratio	$M_{ m f}^*$	1.16	9)		-	-
Phase transformation stress ratio	$M_{ m m}^*$	0.91	-	-	-	
Cohesion	c (kPa)	=	0	30	0	-
Internal friction angle	Φ (deg)	-	35	33	35	-
Hardening parameter	B_0^*	3000	-	-	-	-
2000	B_1^*	30	-	.=	-	-
Control parameter of anisotropy	C_{d}	2000	-	-	-	-
Reference strain parameter	$\gamma_{ m r}^{ m P*}$	0.01		-	=	
	$\gamma_{ m E*}^{ m r}$	0.1	-		-	-
Dilatancy parameter	D_0	1.0	-	-	<u> </u>	-
000 W000 W0000 (n	4.0	3 -	-	-	; ■) <u>\$</u>
R-O parameter	h_{max}	-	0.22	0.25	0.22	-
	$\gamma_{ m r}$	-	4.38×10^{-2}	1.00×10^{-2}	4.38×10^{-2}	-

Notes: EPS: Elasto-plastic model for sand, RO: Ramberg-Osgood model

表 2 材料パラメータ(ポイントベースモデリング)

Name of soil profile	250	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9
Density	$\rho (t/m^3)$	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
Initial void ratio	e_0	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885
N-value	N	4	2	5	6	7	7	5	2	5
Fine content	F_{c}	11.3	17.3	9.9	3.4	7.8	8.0	3.1	43.1	44.7
Coefficient of permeability	k (m/s)	5.1×10^{-6}								
Initial shear velocity	$V_{\rm s}$ (m/s)	127	101	137	145	153	153	137	101	137
Liquefaction strength	$R_{\rm L20}$	0.212	0.155	0.209	0.218	0.226	0.217	0.178	0.167	0.235
Initial shear modulus	G_0	30625	19293	35537	40130	44474	44474	35537	19293	35537
Poisson's ratio	ν	0	0.35	0.13	-0.05	-0.15	-0.1	0.25	0.3	0.1
Compression index	λ	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
Swelling index	κ	0.000351	0.000219	0.0005	0.00104	0.00152	0.00156	0.000668	0.00109	0.00157
Failure stress ratio	$M_{\rm f}^*$	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
Phase transformation stress ratio	$M_{\rm m}^*$	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Hardening parameter	B_0^*	20262	7234	9330	7942	7171	6092	4262	2017	3300
	B_1^*	101	72	93	79	72	61	43	20	33
Control parameter of anisotropy	C_{d}	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Reference strain parameter	$\gamma_{\rm r}^{\rm P*}$	0.0015	0.005	0.004	0.0045	0.0035	0.005	0.01	0.025	0.02
	γ_r^{E*}	0.01	0.005	0.025	0.03	0.035	0.025	0.025	0.055	0.1
Dilatancy parameter	D_0^*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	n	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

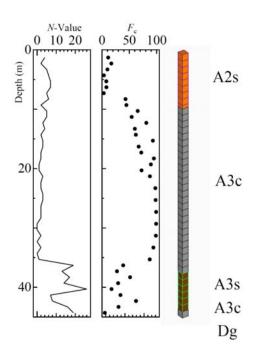


図1 解析対象土層モデル

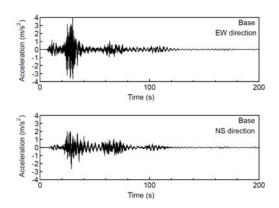


図2 入力地震動

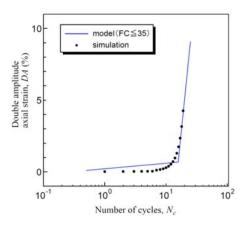


図3 ひずみ発達モデル

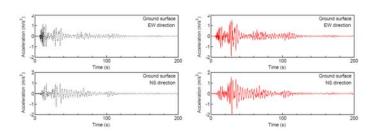


図4 地表面加速度の時刻歴(左:ケース1,右:ケース2)

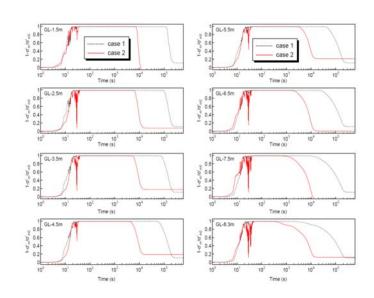


図 5 A2s 層の有効応力減少比の時刻歴

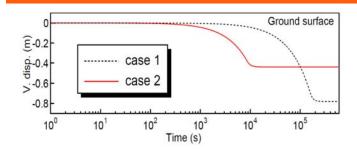


図 6 地表面鉛直変位の時刻歴

参考文献

- 1) Yoshida, N., Uzuoka, R., Ishikawa, H.: Liquefaction potential of natural deposit during and after an earthquake by effective stress analysis, Geotechnics for Catastrophic Flooding Events, Iai (Ed), Kyoto, 471-476, 2014.
- 2) 一般社団法人 LIQCA 液状化地盤 研究所: LIQCA2D13·LIQCA3D13 (2013 年公開版)資料: 2013.
- 3) 内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会: 工学的基盤における強震動(加速度)波形(陸側ケース): 2012.
- 4) 石川裕規, 渦岡良介, 吉田直央: 徳島平野における沖積砂質土の液状化 特性のモデル化, 第48回地盤工学研 究発表会, pp.257-258, 2013.

編集後記

新年あけましておめでとうございます。ニューズレターNO.2です。夏の1号から秋を飛び越えて新年号となりました。第14回Int. Conf. of Int. Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics の開催協力に時間をとられたのが原因です。今年は阪神大震災から20年のとしです。個人的に当時の資料を調べる機会がありましたが、覚えているつもりでも記憶が減退してきています。南海トラフの地震の襲来が想定されている折、再度見直さなければと思っているところです。最後に、コラムを担当いただいた渦岡先生お忙しいところありがとうございました。研究所への皆様のご支援をお願いします。

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