## 2017 The 2nd MIDAS Construction Seminar



## MIDAS ITは世界の技術者を支援します



## About MIDAS IT

MIDAS ITは、工学技術用ソフトウェア開発および普及、そして構造分野のエンジニアリングサービスとウェブビジネス 統合ソリューションを提供する会社です。

2000年9月に設立、現在は約600名のグローバル専門技術者が在籍し、日本、アメリカ、中国、インド、ロシア、イギリス、 ドバイ、シンガポールの現地法人や35ヶ国の代理店など、全世界ネットワークを通し、110ヶ国に工学技術用ソフトウェア を販売する世界的な企業として成長しました。

また、技術者の皆様の技術力向上のために各分野別に技術講座を実施しており、今後もこのような技術講座を定期 的に開催していきたいと考えております。

このようなセミナーに是非ともご参加頂けますようお願い申し上げます。



Dubai Tower



Palazzo Versace & D1 Tower



Odeon Tower

## 2017 The 2nd MIDAS Construction Seminar

SESSION 1. 技術講座 I

液状化現象メカニズム~設計注意点 東北学院大学工学部環境建設工学科吉田望教授

SESSION 2. 技術講座Ⅱ

地盤・構造物系の有効応力解析 清水建設技術研究所上席研究員福武毅芳様 3-46

47-91

## 2017 The 2nd MIDAS Seminar

液状化現象メカニズム~設計注意点 東北学院大学 工学部 環境建設工学科 吉田 望 教授

# Construction



## 東北学院大学工学部 吉田 望

## 2011年 浦安市



東北学院大学 工学部 環境建設工学科 吉田 望 教授



## 1964年 新潟空港



3

## 1964年新潟地震当時の現状



## 1964年新潟地震 川岸町アパート









大場教授提供

## 液状化は新潟地震で初めて知られたのか

- 早稲田大学·内藤多仲
  - 新潟市役所の設計・施工
- 鉄道技術研究所· 斉藤迪孝
  - 新潟駅の建物の設計

    - ▶付近の建物が大きな被害・駅はほとんど無被害
- ■東京大学土木工学科・最上武雄
  - め→ほとんど無被害
- ほかにもあります....

## **吝藤油孝**



置は明らかではないが、これは 1.5 ៣間隔でベタ打ちとなる数量である。 の松丸太も1.5 川間隔にベタ打ちとした。

▶「基礎下の砂が逃げないように」地下室掘削用のシートパイル (鉄筋コンクリート)を長めに打込んで、そのまま埋め殺す工法

▶液状化の可能性ありと判断し、十分な長さの杭基礎を推奨した

● 1948年福井地震での経験→ゆるい砂は液状化の可能性

▶オイルタンク支持地盤をバイプロフローテーション工法で締め固

9







## 2003年十勝沖地震 大津



能代市·前山







## 1964年新潟地震

## NHKビル(現・代ゼミ)



大成課題, 社場時完所主席語 同村 社一 司, 建基本面設計部課長 西沢, 敏明 尚, 北信福史高作業所住局 和田 瑞咲













地盤の液状化にさらされた RC 抗は, 抗頭と抗端の2カ所でコンクリートが の被害状況が、このほど初めて明らか になった。これまで人目にふれにくか った杭基礎の液状化被害のすきまじき は、関係者に大きな衝撃を与えている。 液状化を受けた RC 杭をまるごと発掘

●新潟地震震害調査

は、回帰者に入さな国手を子くている。 発掘調査をした大成建設の担当者に調 査の結果を報告してもらおう。(本誌)



## 杭頭・杭端2ヵ所で破損,水平変形も1m以上

を實源とするM7.5のこの地震は、信 数であった鉄筋コンクリート造建物は、 適川河口に発展した新潟市とその周辺 建て起こすなどして修復され、現在に 部を直撃し、水で飽和した砂地盤の液 至るまで使用されている。 状化による災害をもたらした。 新潟地震(1964年)は、はや20年も が報じられることは多い。だが、砂地 地盤改良工法などの研究開発も、この

昔のこととなってしまった。栗島近海 盤の液状化により、これほど集中的。

典型的な被害が生じたことも、前例が なかった。その後日本海中部地質(1983 の程度からみて、やはり新潟地震時の 彼状化被害は稀有のものと言ってよい。

> 建物の支持地盤が液状化したために。 独立基礎形式の鉄骨造や木造建物は設 さき状態となって破損した。連続基礎 形式の RC 造建物は、上部構造にほと んど損傷を受けることなく転倒, 傾斜, 沈下した。直接基礎形式の建物ばかり ではなく、杭基礎形式の建物でも、杭 が折れて同様な被害を受けたものも剥

地震後、上部構造に著しい損傷を受 けた建物や転倒した建物は解体撤去さ れた。一方、傾斜したものの被害が軽

液状化の判定手法, 液状化メカニズ 地震のたびごとに新しい形態の被害 ムの解明,および波状化防止のための 地震を契機に進展した。







ポートアイランドの護岸



新潟家庭裁判所









## 多数の杭の被害



## 液状化による被害のまとめ

- 受動的被害
  - 重い構造物は沈下する
  - 軽い構造物は浮き上がる
- 能動的被害
  - 杭の被害
  - 線状地中構造物の被害



25





## 液状化の発生予測

- 昔の発想
  - 液状化=大被害 → 液状化が発生しないように

液状化に対する設計

液状化発生予测

流動に対する対応

被害の予測

- 液状化対策 液状化しない
- 液状化発生予測が大事で. 液状化以後の挙動は不要
- ■現在の発想
  - 液状化は場合によっては避けがたいこともある
  - 液状化が起こっても大丈夫なように
    - ▶ 構造的対策
    - 液状化発生以後の挙動も ▶冗長性による対応 要求される
  - 流動も発生する

## 液状化強度(繰返しせん断強度)

- ■静的強度と動的強度(古い言い方)
- 静的強度
  - 強度定数:粘着力 c と内部摩擦角 ∅
- 動的強度



27





n	2
/	ч
-	v



## 液状化強度(比)

- せん断応力/初期有効拘束圧
- ■曲線では使いにくい
- 特定の回数の液状化強度を Rと設定
  - 土木:20回
  - ▶ M=1.5の有効繰返し数+実験のしやすさ
  - 建築:15回
  - ▶ M=1.5の有効繰返し回数
  - 1~10回程度だと、ばらつきが大きい

## 単純せん断試験と三軸試験



## 実験をした方がよいか? ■ N値:手を抜くとN値が大きくなる。よい地盤になる



33



## 繰返し回数の根拠 ■ 土木系 • Seedら(1971) • 10(M=7), 20(M=7.5), 30(M=8) 証拠なし • どれ以外に色々 ■ 建築系 • Seedら(1975) • 加速度時刻歴から • M=9に対する適用性

## 液状化強度の推定









40



## RO計算法(砂質土:基礎構造設計指針)

$N_a = N_1 + \Delta N_1$	細粒分補正
$N_1 = \sqrt{98/\sigma'_{\nu 0}} \cdot N$	拘束圧補正





地震の繰返し数補正

基礎式

細粒分補正

拘束圧補正

細粒分補正の詳細

41





## $R_{max}$ と $R_{20}$ の関係(道路橋示方書)



■ 繰返し数の少ない直下地震に対しては C<sub>w</sub>= C<sub>1</sub> C<sub>2</sub>を最大2まで大きくする

## 最大せん断応力の算定

## ■ 道路橋示方書

$$L = r_d k_h \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} = r_d \left( \alpha_{max} \frac{\gamma'_t}{g} z \right) \frac{1}{\sigma'_v}$$





## ■ 基礎構造設計指針 $F_{L} = \frac{R_{max}}{L_{max}} = \frac{C_{1}C_{2}C_{3}C_{4}C_{5} \cdot R_{20}}{r_{d}k_{h}\sigma_{v}/\sigma_{v}'} = \frac{C_{1}C_{5} \cdot R_{20}}{r_{d}k_{h}\sigma_{v}/\sigma_{v}'/C_{2}} = \frac{C_{1}C_{5} \cdot R_{20}}{r_{d}r_{h}k_{h}\sigma_{v}/\sigma_{v}'} = \frac{C_{1}C_{5} \cdot R_{20}}{r_{d}r_{h}k_{h}\sigma_{v}/\sigma_{v}'}$ $R_{max} = C_r \cdot R_{20}, \quad L = r_d r_n \frac{\alpha_{max}}{G} \frac{\sigma_v}{\sigma'}$

- $C_1C_5=0.57$ •  $C_1 = 0.65(N=5) \sim 0.6(N=50)$ ,  $C_5 = 0.9$  $K_0 = 0.4 \sim 0.6$ •  $C_r = 0.58 \sim 0.54 \rightarrow C_r = 0.57 (N = 15)$ ■ 道路橋示方書と合わせるときには、静止土圧係数と
  - 多方向入力の補正をする

## 東北学院大学 工学部 環境建設工学科 吉田 望 教授





## 道路橋示方書と基礎構造設計指針

- 繰返し数の影響
  - 建築ではマグニチュードに依存(MSF)
  - 道路橋ではC,(地震動のタイプ。有効繰返し数)
- K<sub>0</sub>の影響
  - 建築では含まれている
  - 土木では明瞭に意識

## 液状化判定の妥当性



基礎構造設計指針



## 道路橋示方書と基礎構造設計指針

r					
	基礎構造設計指針	道	路橋示方	書	
兵庫県南部地震前	200cm/s <sup>2</sup>	0.	18(0.2)	)	
	收訂 350cm/s <sup>2</sup>	地盤種別	I種	Ⅱ種	Ⅲ種
地震後の改訂		タイプ I 地震動	0.3	0.35	0.4
		タイプⅡ地震動	0.8	0.7	0.6

注)基礎構造設計指針では地表の加速度、道路橋示方書では地表の震度。

注)タイプ |, || 地震動は発生頻度が低いプレート境界型巨大地震と, きわめて低い内陸 部直下型地震による地震動。 直下型



## 道路橋示方書

東北学院大学 工学部 環境建設工学科 吉田 望 教授



## いずれもF<sub>L</sub>=1で明瞭に 分かれるわけではない 安全側の評価をしてい る訳でもない

◎ 液状化	$883 \\ 65.7 \%$
◎ 非液状化	$87 \\ 6.5 \%$
正解率	72.2~%
安全率	$369 \\ 27.5 \%$
危険率	$5 \\ 0.4 \%$



## 道路橋示方書

## 液状化したら、 必ず被害か?

- F<sub>L</sub>で液状化判定
  - 安定問題と一緒?
  - •液状化したら、全部ダメか?
  - 例えば厚さ1cmの層が液状化した

51

## 液状化したら、液体(剛性なし)か?

## ■ 地盤反力係数

• 道路橋示方書

	どれい	レベル1地		レベル2地	
$F_L$	(m)	震動		震動	
	(m)		0.3 > R	<i>R</i> ≤0.3	0.3 > R
$F_L \leq 1/3$	0≤ <i>x</i> ≤10	1/6	1/3	0	1/6
	10< <i>x</i> ≤20	2/3	2/3	1/3	1/3
$1/3 < F_L \le 2/3$	0≤ <i>x</i> ≤10	2/3	1	1/3	2/3
	10< <i>x</i> ≤20	1	1	2/3	2/3
$2/3 < F_L \le 1$	$0 \le x \le 10$	1	1	2/3	1
	10< <i>x</i> ≤20	1	1	1	1

## • 基礎構造設計指針





52

## 液状化指数

$$P_{L} = \int_{0}^{20} (1 - F_{L}(z))w(z)dz$$
$$w(z) = 10 - 0.5z$$

## ■ PL≤5:無被害~軽微な被害

- 5< PL≤20:ある程度の被害
- 20<PL: 甚大な被害





53

## **注**) $1 - F_{I}(z) \ge 0$









迴 10

C

B3

顕著な被害の可能性が高い

B1

 $H_1(\mathbf{m})$ 

4 5 6

56

. 最大加速度 -400~500

8





## • H<sub>1</sub>は、地表面から地下水位面より浅い部分の層厚、または、



















## 深江浜の杭

- 1964~1970埋立て
- 全面で液状化
- 10年以上前に打設
- その後放置(上部構造な L)

Fukaehama

2<sup>k</sup>







インテグリティテスト 5m付近で反射



CCDカメラ 7~8m付近で大きな亀裂 66

調査結果







流動により作用する力

- 液状化層
  - 流動圧(流体)
  - 土庄(固体)
- 上部非液状化層
  - 土庄
  - 受働土圧を最大とする



## 基礎構造設計指針









100<s

 $p_{NL(z)} = k_{hNL} D_L$  $p_{L(z)} = k_{hL} D_L \cos(0.5\pi z/H)$ 

■ P<sub>L</sub>(z):液状化層の構造部材に作用する流動力 ■ K<sub>hL</sub>:地盤反力係数で非液状化層の1/1000

0

$$D_{L} = \frac{D_{g}}{2\left(\frac{L}{H}\right)^{2} \times 10^{-4} + 4.9\left(\frac{L}{H}\right) \times 10^{-2} + 1.0}$$







## カによる外力設定の問題

- 特徴
  - 設定が簡単
  - 最大の力を想定
- 問題
  - 性能設計に向かない
    - ▶液状化=変位無限大 ではない
  - 杭などでは、変位の大きさにより外力や被害が異なることが 実証
    - ▶自由地盤の変位は周辺の構造物にも依存する

## 液状化前後の影響評価

- 地震時
  - 慣性力
  - 有効応力(強度,剛性)の減少
- 流動時
  - 流動圧
- 流動後
  - 残留変位
- 液状化後
  - 過剰間隙水圧の消散に伴う地盤沈下

## 残っている課題

- 浮き上がりの問題
- 地震応答解析(有効応力解析)
- 液状化対策

## 75

## 参考文献(番号はスライド番号)

- 液状化災害発生直後の新潟市街地航空写真集,地盤工学会,1999 **3**
- **5** Berkeley写真集\_26\_0001
- 服部保徳著, 一梅斎芳晴画:安政見聞録, 1856 **6**
- **7** 本
- **8**) 状化の被害と最近の対策工法、日本建築学会近畿支部、184pp, 2015
- 忠歳,谷野宮恵美,池田小織,原郁夫(2001):徳島平野における中央構造線活断層 系の活動履歴,地質学雑誌,第107巻,第11号,pp. 681-700
- 9) 吉見吉昭:新潟地震の教訓(1). http://homepage2.nifty.com/voshimiy/niigata1.htm
- 10) 斉藤迪孝(1964):新潟地震について,第7回地震工学研究発表会, pp. 39-44
- **13**) Hamada, M., Yasuda, S., Isoyama, R. and Emoto, K. (1986): Study on liquefaction induced permanent ground displacements, Association for **Development of Earthquake Prediction**
- 15) 地震予知総合研究振興会(1989):地盤変状と地中構造物の地震被害に関する 研究,昭和63年度調査・研究報告書(第1分冊)(第11分冊)



77

地水見聞録, 昇平堂寿楽斎/著、木村立嶽/画, 安政5年(1858) 毛筆手稿

日本建築学会近畿支部基礎構造部会液状化対策研究会:関西地方における液 森野道夫,岡田篤正,中田高,松波孝治,日下雅義,村田明広,水野清秀,能見

- 17) 日経アーキテクチャ 1985.7.29
- 20) Aビル基礎杭の被害調査報告書、コンクリートパイル建設技術協会、 地震予知総 合研究振興会, 佐藤工業, 1989
- 21) 吉田望, 小林恒一, 中村晋(1990): 1964年新潟地震で被害を受けたS建物の 基礎杭の調査,土と基礎, Vol. 38, No. 6, pp. 39-44
- 22) 外山進一、松永康男(1996):兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察(その) 2)被災状況-岸壁,防波堤,海岸保全施設-,港湾技術資料,No.813, pp.51-75
- 稲富隆昌 他(1997):1995年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告,港 湾技研資料.No.857 p.792
- **24**) Ishihara, K., Yasuda, S. and Nagase, H. (1996): Soil Characteristics and Ground Damage, Soils and Foundations, Special Issue on Geotechnical Aspects on the January 17 1995 Hyogoken-nanbu Earthquake, pp.109-118
- 31) 地盤工学会(2000):土質試験の方法と解説-第1回次訂版-,925pp
- Ishihara, K., Emoto, S., Yasuda, S., Takatsu, H. (1977): Liquefaction of Anisotropically Consolidated Sand, Proc. 9th Int. Conf. on SMFE, pp. 261-264
- 34) 地盤工学会(2000):土質試験の方法と解説 第1回次訂版 , 925pp
- 鈴木貴志, 竹信正寛, 菅野高弘, 中澤博志(2008):FLIPにおけるパラメータの 設定法の違いが動的解析結果に及ぼす影響,第5回地盤工学会関東支部発表会,pp 239-242 79

- 35) 砂質土:安田進,山口勇(1984):室内および原位置で求めた動的せん断定数, 砂質土および砂地盤の変形・破壊強度の評価 – 室内試験法および試験結果の解釈と 適用-に関するシンポジウム発表論文集,土質工学会,pp.115-118
- 凍結:時松孝次(1989):室内試験,原位置試験及び地震記録から求めた土の動 的性質,第2回構造物と地盤の動的相互作用シンポジウム,pp.11-16
- **37**) Seed, H. B. and Idriss, I. M. (1971): Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Vol. 97, No. SM9, pp. 1249-1273
- Seed, H.B., Idriss, I.M., Makdisi, F. and Banerjee, N. (1975): Representation of irregular stress time history by equivalent uniform stress series in liquefaction analysis, Report No. EERC 75-29, October 1975. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 13pp.
- 新井洋:2011年東北地方太平洋沖地震における東京湾岸の液状化に関する等 価繰返し回数,第47回地盤工学研究発表会講演集,pp. 1559-1560, 2012, 八戸
- 39) 吉田望, 大矢陽介, 澤田純男, 中村晋(2009):海溝型長継続時間地震動に対す る簡易液状化判定法の適用性,日本地震工学会論文集,第9巻,第3号,pp.28-47
- 44) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 常田賢一, 安田進(1978):砂質地殻の地震時流動化の簡 易判定法と適用例,第5回日本地震工学シンポジウム論文集,pp. 641-648

- 45) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 常田賢一, 安田進(1978):砂質地盤の地震時流動化の簡 易判定法と適用例,第5回日本地震工学シンポジウム論文集,pp.641-648
- る簡易液状化判定法の適用性,日本地震工学会論文集,第9巻,第3号,pp.28-47
- 50) 吉田望, 大矢陽介, 澤田純男, 中村晋(2009):海溝型長継続時間地震動に対す る簡易液状化判定法の適用性,日本地震工学会論文集,第9巻,第3号,pp.28-47
- 54) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 常田賢一, 安田進(1980):地震時地盤液状化の程度につ いて、土と基礎、Vol. 28, No. 4, pp. 23-29
- **56**) Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering (1993): Manual for zonation on seismic geotechnical hazards, Japanese Geotechnical Society, 149pp.
- **59**) Ishihara, K. and Yoshimine, M. (1992). Evaluation of Settlements in sand deposits following liquefaction during Earthquakes, Soils and Foundations, Vol. 32. No. 1. 173-188.
- Tsukamoto, Y., Ishihara, K. and Sawada, S. (2004): Settlement of silty sand deposits following liquefaction during earthquakes. Soils and Foundations, Vol. 44 No. 5, pp. 135-148

- **63**) Ishihara, K., Yasuda, S. and Nagase, H. (1996): Soil Characteristics and Ground Damage, Soils and Foundations, Special Issue on Geotechnical Aspects on the January 17 1995 Hyogoken-nanbu Earthquake, pp.109-118
- Hamada, M. and Wakamatsu, K. (1998): Liquefaction-induced ground displacement triggered by quaywall movement, Special Issue of Soils and Foundations, No. 2, pp. 85-95
- 論文集, No. 596/III-43, pp. 189-208
- 査結果および解析事例
- 71) 日本道路協会(2012):道路橋示方書·同解説 V 耐震設計編, 丸善
- 同解説 耐震設計. 丸善

吉田望, 大矢陽介, 澤田純男, 中村晋(2009):海溝型長継続時間地震動に対す

81

濱田政則,若松加寿江(1998):液状化による地盤の水平変位の研究,土木学会

64) 大成建設技術研究所(1998):上部工の存在しない状態で被災した杭の損傷調

72) 運輸省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編(1999):鉄道構造物等設計標準。

液状化現象メカニズム~設計注意点

## 2017 The 2nd MIDAS Construction Seminar

地盤・構造物系の有効応力解析 清水建設 技術研究所 上席研究員 福武 毅芳 様

46 2017 第 2 回 MIDAS 建設分野 技術講座

## 地盤・構造物系の有効応力解析

清水建設(株) 福武毅芳

概要

●動的相互作用

●地盤の側方流動と解析事例

## ●液状化対策と構造物~地盤系の解析事例



構造物と地盤の接触面における「カの釣合い」「変位の適合」 により、構造物と地盤は相互に影響を及ぼし合う。











## 概要

- ●動的相互作用
- ●液状化対策と構造物~地盤系の解析事例

8

●地盤の側方流動と解析事例





## 最近の液状化・流動化対策技術と その評価法(実験、解析)

最近注目の対策工法

- · 薬液注入(浸透固化)···既存補強
- ・部分改良(セメント系)
- ・ドレーン
- ・壁で囲む
- ·不飽和化···地下水位低下、(気泡注入)
- ・地盤免震
- ・杭・・・丈夫な杭、靭性杭、増し杭、斜杭
- ※側方流動対策=液状化対策の応用



11

12

- 液状化をある程度許容、or
   変形をある程度許容し、被害を軽減
   ←入力地震動のレベルが増加
   表層改良、部分的対策、囲い込み etc
- **経済性(費用対効果)** 

   ·液状化によって「何が起こるか」想定できれば、
   合理的な対策がうてる。→予測技術がますます重要に
- 被害予測、変形予測は重要:解析の重要性
  - 液状化に対する危険性が正しく判断できれば、
     対策の要・不要と対策のグレードが判断できる。
     ・対策工法は構造物の要求性能から決まる。





## セメント系固化による部分改良

改良パターンと解析ケース	て
(シェード部は改良域)	

	①未改良	2 SCP	③ DM-ring	④ DM-block
改良パターン の平面図 ( <i>x-y</i> 平面)	基礎 	Bm	「厚み2.7m	8 × 8m
改良面積 (m²)	0	1320	276	64
基礎面積に 対する改良率	0%	269%	56%	13%

## 各杭の杭頭における最大曲げモーメント



15











杭基礎の形式:場所打ち杭Φ1000、杭長25m 地盤周期:0.8秒、建物周期: 0.55秒











	_			 	
1	_			 	
	=		_	 	
l					
		_		 	

0.0000E0
7.500E-2
1.500E-1
2.250E-1
3.000E-1
3.750E-1
4.500E-1
5.250E-1
6.000E-1
6.750E-1
7.500E-1
8.250E-1
9.000E-1
1.0000E0

PRESSURE RAT







## 不飽和工法の可能性

- (1) 地盤の液状化・沈下を軽減
- (2) 広範囲の地盤をローコストで対策
- (3) 側方流動に伴う変形抑制効果にも期待
- (4) 杭の曲げモーメントを低減

⇒広域地盤や既存構造物の液状化 軽減対策に有効。

地下水位低下が容易な地盤ならOK (砂と粘土の互層は困難?)

## 鉛直断面における 最終変形状態

成立性の確認

■沈下量 **タンク**底版:11cm 周辺地盤:5cm →吸収可能

■タンク中心と端部の 変形勾配:1/970 <許容値

## 旧法タンク基礎の浸透固化対策



## 地盤非線形特性を利用した 免震基礎



- 人工軟弱材料を挿入
- 基礎構造形式による免震
  - 支持杭 vs. 摩擦杭
  - 剛な杭基礎 vs. 柔な杭基礎
  - 杭体の工夫



## 液状化した地盤



## 27







## 液状化しなかった地盤











## 施工実績:西田橋,高麗橋,玉江橋(いずれも石積み橋)



西田橋と桜島







## 〇長所

- SCP物量の縮減(ローコスト)
- 工期短縮
- ・ 周辺地盤との相対沈下→小

## ORC床版併用(orRC床版のみ)の効用

- 不同沈下防止
- ・ジャッキアップ,注入(Grouting)による修復 [JOG工法など]

## 〇課題

- 液状化層の品質管理(中密な砂,再液状化)
- 残留変形の把握・抑制
  - (水平変位の抑制は困難⇒配管は繋ぎ直す. 倒壊よりまし)

## 36

## 66 | 2017 第 2 回 MIDAS 建設分野 技術講座







液状化強度の下限値付近の応力~ひずみ関係 (応力比=0.11)



液状化地盤と非液状化地盤の応答



## 液状化地盤 (埋立て地区) ◆沈下量がほぼ一致 イトーヨーカ堂 5000 距離 (m) 4000 1975~1978年埋立て









- 概要
- ●動的相互作用
- 液状化対策と構造物~地盤系の解析事例
- ●地盤の側方流動と解析事例



## 要素でみた場合の残留変形発生のメカニズム



## 液状化後の残留変形の分類 (c) 傾斜地盤の (d) 護岸と背後地盤の (e) 盛土地盤の沈下・変形 (f) 構造物の 浮上り 側方変形 変形 (1~2%勾配 で<mark>も発生</mark>) 要素レベル の変形 ------(a)水平地盤の (b)水平地盤の •重力の効果, せん断変形&体積変形 残留変形 沈下 ・複雑な初期せん断応力→ その後の変形へ影響 動的沈下 \_ 圧密沈下 流動変形 (側方流動) 48 初期せん断応力=0









・不整形地盤の三次元解析
 ・等価線形解析 & 有効応力解析









25.0m





57









61





遠心実験状況 護岸(下端自由) 5秒前 護岸(下端固定)

護岸の有効応力解析



## ダイレイタンシーと残留変形

 ●地震中は非排水状態 →過剰間隙水圧pとして蓄積. ●液状化後の変形では、

「せん断変形」or「沈下」になる.

●残留変形量は地震時中に経験した 最大ひずみ、累積ひずみ で決まる.



## 液状化後の沈下量の簡易推定





67

## 液状化後の応力~ひずみとG微小領域









## 流動化・残留変形の解析手法の分類













## 護岸変形と背後地盤の側方流動







"土圧法""変位+ばね法"の比較



## 側方流動に対する杭の設計法の分類



## 液状化層における流動変位分布のパターン





## 参考文献

- 1) 平井·水田:「耐震工学入門(第2版)」,森北出版(2001年8月)
- 吉見・福武:「地盤液状化の物理と評価・対策技術」, 技報堂出版(2005年11月)
- 3)「建築・土木 基礎の設計と解析例」 総合土木研究所(2008年10月)
- 4) 地盤工学会:基礎理論シリーズ2:「地盤の動的解析」(2007年2月)
- 5) 地盤工学会:実務シリーズ13「地盤・基礎構造物の耐震設計」 (2001年1月)
- 6) 地盤工学会:実務シリーズ18「液状化対策工法」(2004年7月)
- 7) 東畑郁夫: Geotechnical Earthquake Engineering, Springer, (2008年)





84

|, 森北出版(2001年8月) 『価・対策技術」,

地盤の動的解析」(2007年2月) ・基礎構造物の耐震設計」

化対策工法」(2004年7月) Engineering, Springer, (2008年)



## **MIDAS Total Solution**

建設分野プログラム



## SoilWorks for FLIP

FLIP専用のプリ・ポスト

SoilWorks for FLIPはFLIP「地震時の液状 化による構造物被害予測プログラム」専 用のプリ・ポストです。SoilWorksの操作 性をそのまま継承しており、AutoCAD感 覚でデータを作成することができます。 データ作成後は、FLIPを起動させ計算を 実行することもでき、FLIP解析のための 統合された作業環境を提供します。



## 

## SoilWorks for LIQCA LIQCA専用のプリ・ポスト

**GTS NX** 

GTS NX - 地盤分野汎用解析システム

GTS NXは最先端PRE-Postと解析機能を搭載した新しい概念の地 盤汎用解析プログラムです。GTS NXは最新のOS環境変化に合 わせて64ビット、並列処理を適用した統合ソルバを搭載しており、 初心者も使いやすいように直観的なリボンメニュー形式を用意し ております。また、様々な解析機能、圧倒的に速い解析速度、優れて いるグラフィック表現および結果整理機能などを提供します。 SoilWorks for LIQCAはLIQCA専用のプ リ・ポストです。SoilWorksの操作性をそ のまま継承しており、AutoCAD感覚でデ ータを作成することができます。データ 作成後は、LIQCAを起動させ計算を実行 することもでき、LIQCA解析のための統 合された作業環境を提供します。 ※ LIQCAは1987年京都大学の岡二三生教授

※ LIQCAは1987年京都大学の岡 二三生教授 をはじめとするLIQCA開発グループにより開 発された有効応力に基づく液状化解析プログ ラムです。

## MIDAS Family Programs

MIDAS 製品紹介

MIDAS Family Program は 最先端CAE(Computer Aided Engineering) ソリューションです。







midas iGen 建築分野の 汎用構造解析および 許容応力度計算

**midas eGen** 保有耐力自動計算+構造計画/ 設計最適化システム CAD 基盤モデリング

## midas Drawing

世界初2次元情報CADプログラム 構造図自動生成





midas **Civil** 土木分野の 汎用構造解析および 最適設計システム

**midas FEA** 建設分野の 非線形解析および 詳細解析システム 地盤





**SoilWorks** 2次元地盤汎用解析/設計 プログラム

**SoilWorks for FLIP** 液状化解析プログラム FLIP用のプリ・ポスト

## SoilWorks for LIQCA 液状化解析プログラム

LIQCA用のプリ・ポスト GTS NX 2次・3次元地盤汎用解析

プログラム





midas NFX 機械分野の 汎用構造解析システム

**midas FX+** 有限要素解析汎用の プリ・ポスト処理プログラム





株式会社マイダスアイティジャパン 〒101-0021 東京都千代田区外神田5-3-1 秋葉原OSビル7F TEL 03-5817-0787 | FAX 03-5817-0784 | e-mail g.support@midasit.com Copyright© Since 1989 MIDAS Information Technology Co., Ltd. All rights reserved.

http://jp.midasuser.com/geotech