液状化解析の現状と課題



関東学院大学 総合研究推進機構 吉田 望

1



- 液状化解析の歴史
- 液状化解析法
- 有効応力解析による方法
- 液状化に伴う流動
- 液状化時の体積変化
- 二次液状化
- 浮き上がりのメカニズム
- まとめ

液状化解析の歴史

。 液状化に伴う被害の発端(1)

■ 1964年3月・アラスカ地震

- ターナゲンハイツ
 - ▶レンズ状に挟まった砂が液状化してつながって滑り面となった
 - ▶ Quick clay(鋭敏な粘土)







Reconstructed soil profile

海成シルト質粘土 35~50m)



■ 1964年6月新潟地震

RC建物340棟(22%)被害 2/3は沈下,傾斜

1965年の日米科学協力会合

■ 東京での第一回会議で相互に資料を提供して説明

• 新潟市の液状化跡地視察

■東京で第二回会議

- 最上教授から『米国では液状化発生条件に関する定量的な研究は行われていますか?』
- シード教授は全くのポーカーフェイスで『まだやっていません。』
- 実はそれは真っ赤な嘘で、まさにその時繰返し三軸試験を大 車輪で行っていたはずなのです。
 - ▶ 研究のオリジナリティを守るのは常識であって、本音が聞けると思うほうが甘かった

■ F_Lの提案

- 日本地震工学シンポジウム(国際会議ではない)
- 8ページの前刷いと10分間の発表時間

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
 - ▶「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
- 鉄道技術研究所·斉藤迪孝
 - 新潟駅の建物の設計
 - ▶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
 - ▶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
 - 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ブロフローテーション工法で締め固め→ほとんど無被害
- ほかにもあります....





新潟附近の改良計画に伴って駅を田位置から現位置に移転することとなつたが、駅の機 能上地下道と本屋地階を必要とするとのことで、設計施工上の問題点を明らかにするため に昭和29年に基礎地盤調査を行なった。実施したのはまず標準貫入試験で土層断面を求 め、基礎底面の位置で載荷試験を行なって地耐力ならびに沈下に関する資料を求め、揚水 試験によって地下水処理の資料を得ると同時に試堀により砂の乱さない試料を採取して所 要の試験を行なった。その結果表層12mはきわめてゆるい砂層であって地耐力の点から 見ると破壊に対しては一応十分な强度を有するが、沈下量で押えると地耐力は不足し、何 等かの補強が必要とすることがわかった。またこのゆるい砂層の間ゲキ比は 0.87~0.9 0であり、セン断試験によって求めた幅界間ゲキ比 0.85~0.90とほぼ一致することか ら流砂現象のおそれは十分あり得ると言う結論に達した。それで基礎底面から-12mの 支持層までのゆるい砂層を締固めると共に、建物荷重を支持層に確実に伝達するために杭 基礎とすることとし、末口22.5CM、長さ7.5 Mの松丸太745本を打設した。杭の配置 置は明らかではないが、これは 1.5 m間隔でベタ打ちとなる数量である。 地下道は荷重から言えば問題はないが、流砂の心配があるので、末口18㎝長さ7.2m の松丸太を1.5m間隔にベタ打ちとした。

地中構造物の浮き上がり



1993釧路沖地震釧路町



1993北海道南西沖地震厚沢部柳橋

北海道ではマンホー ルの浮き上がり量が 大きい



新たな被害パターン:液状化に伴う流動



□ 新潟市・信濃川周辺





■ NHKビルの被害(20年後の掘削)





1995年兵庫県南部地震の衝撃











二つの液状化現象

■ 受動的被害

• 地盤に期待されている機能が失われる

- ▶沈下,傾斜,浮き上がり
- 機能が失われることを予測できればよい

■ 能動的被害

- 地盤が(主として)水平に動くことで構造物に外力が作用
 - ▶杭. 管路の被害
- 変位を予測する必要がある。
- 液状化後の挙動予測も必要

■ 性能設計

- 機能が維持できればよい
 - ▶変位の予測が重要

液状化解析法



限界M直法
 消防関係、港湾の指針(?)



 $F_L = R / L$

■ *F_*法

- ▶ R:液状化強度
- ▶ L: 地震による作用(最大)せん断応力
- 液状化に対する安全率(建築)
- 液状化に対する抵抗率(道路橋示方書)
- 液状化判定
 - ▶FL≦1 で液状化







学会指針では振幅を4つ行なう。 15~20回付近を挟むデータが必要 ・最近はDA=5%が使われる ・せん断ひずみに直すと γ=3.75%

■ 縦道軸は $\sigma_d / (2\sigma_c')$



エネルギー補正 トンビ コーンプーリー

围	ハンマーの形状	落下方法	エネルギー効 率(%)	
日本	ドーナツ	自由落下	78	
	ドーナツ*	コーンプーリー	67	
アメリカ	セーフティ*	コーンプーリー	60	
	ドーナツ	コーンプーリー	45	

もっと小さい国もある:フィリピン,トルコは日本の半分

²精度を上げるために実験をすべきか

試料を採取する方法が問題 試験機も問題



液状化試験における挙動



■ 流動域

• 応力が0でひずみが増加する領域

■ 剛性回復域

• サイクリックモビリティにより剛性が回復←新しい骨格構造

試験装置の載荷能力







正弦波載荷:1サイクル中のひずみ速度は変化
 応力ゼロクロス時のひずみ速度は数100%/min





ひずみが大きくなると、ひずみの増え方が減少?
液状化すると、ひずみの増え方が減少?
試験機の能力が追いつかない



■ 指針の外力(道路橋示方書, 基礎構造設計指針)

$$L = r_d \frac{\alpha_{max}}{G} \frac{\sigma_v}{\sigma_v'}, \quad L = r_d r_n \frac{\alpha_{max}}{G} \frac{\sigma_v}{\sigma_v'}$$

■ 外力を地表の最大加速度で与える妥当性 ● 地表の広答は表展の参熱に支配される

- 地表の応答は表層の挙動に支配される。
- 弱層の存在による上限加速度





18.9



■ 土木系 20回

- Seed5(1971)
 - ▶10(M=7), 20(M=7.5), 30(M=8) 証拠なし
- ・それ以外に色々
- 建築系 15回(M=7.5)
 - Seed与(1975)
 - ▶加速度時刻歴から
 - M=9に対する適用性



地震動の等価繰返し回数の関係

27



ORION BLVD. RECORD, E-W COMP, SAN FERNANDO EARTHQUAKE, 1971



	ABOVE HORIZONTAL AXIS			BELOW HORIZONTAL AXIS		
Stress Level: Fraction of Υ_{max}	Number of Stress Cycles	Conversion Factor	Equivolent No. of Cycles at 0.65 Tmax	Number of Stress Cycles	Conversion Factor	Equivalent No. of Cycles at 0.65 T _{max}
Tmax	-			!	3.00	3.00
0.95 +	3	2.70	8.10	_	-	
0.90 .	1	2.40	2.40	-	—	
0.85 =	2	2.05	4.10	I	2.05	2.05
0.80 +				2	1.70	3.40
0.75 .	3	1.40	4.20	—	_	
0.70 .	_		—	2	1.20	2.40
0.65 .	1	1.00	1.00	1	1.00	1.00
0.60 *	2	0.70	1.40	I	0.70	0.70
0.55 *	3	0.40	1.20	3	0.40	1.20
0.50 +	I	0.20	0.20	5	0.20	1.00
0.45 *	3	0.10	0.30	5	0.10	0.50
0.40 *	3	0.04	0.12	-	_	
0.35 н	5	0.02	0.10	7	200	0.14
0.30 н				-	—	
		Total	23.12		Total	15.39
		Average number of cycles at 0.65 Υ_{max} = 19.30				



28



■1995 兵庫県南部地震





■ 直下型の方が最大加速度は大きい ■ 海溝型の方が継続時間が長い = 繰返し数が多い

海溝型と直下型

道路橋示方書による繰返し数(土木型) 0.65τ_{max}の波がいくつあるか 275サイトの ト最大値の前、同じ符号 シミュレーション



■ 同じ地震波でも地盤により繰返し数は大きく異なる。



■ 最大応力は過大評価される





逐次積分法では?
 安全側という保証はない





■ 液状化強度

- 試料採取法
- 試験法
- 外力項
 - 地表で外力を与える
 - ► r_d
 - 繰返し数の妥当性
 - ▶ばらつきをどう評価
- 安全率はどこにある?

有効応力解析による方法



■ Biotの式

- 数値解析の問題
- 式が作られた仮定
 - ▶土粒子と空隙
 - ◆空隙は、空気か水(間隙水)
 - ◆ 不飽和は水の体積弾性係数で評価できるところまで
 - ◆いわゆる不飽和は扱わない
 - ▶地下水位
 - ◆動かない
 - »上昇分は空中に消える
 - ▶ (当然ながら)全体として固体
 - ◆ 全体が液体状に振る舞うことは考えていない。



体積ロッキング
 ポアソン比=0.5:等体積
 砂時計不安定現象
 極度な次数低減積分







(d) FEM mesh












渦岡ら

37











1989年



1991年



1989年地盤工学会 Cambridge大学で行われ た遠心実験

Code	沈下 (mm)
TARA-3	1.8
DIANA-J*	0.05
ALISS	≈0
FLIP	4.5
DIANA-J**	0.59
NAFSS	0.03
NONSOLAN	1.25
Test	1.9

* Multi-mechanism model** Paster-Zienkiewicz model





■ 弾塑性構成則

せん断に伴い
 体積変化



■ 体積ひずみ型

体積ひずみ→
 過剰間隙水圧→
 有効拘束圧

 せん断変形では 沈下しない

$$\begin{cases} d\sigma_x \\ d\sigma_y \\ d\tau_{xy} \end{cases} = \begin{bmatrix} K + 4G/3 & K - 2G/3 & 0 \\ K - 2G/3 & K + 4G/3 & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix} \begin{cases} d\varepsilon_x \\ d\varepsilon_y \\ d\gamma_{xy} \end{cases}$$





■ 体積ひずみを合わせるのは難しい

Int. Workshop on Constitutive Equation for Granular Non-cohesive Sofls

1987年

2	

		cm
Code/Model	V	Н
TARA-3	0.5	0.7
Multi-mechanism	2.4	6.2
ALISS	3.7	9.2
FLIP	15.4	18.1
MuDIAN	9.1	0.8
NAFSS	2.2	2.0
LIQCA	6.4	2.1
Multi-surface	6.4	2.1

1991年地盤工学会 川岸町アパート ・地震終了時



2003年土木学会 地盤改良の効果(タンクモデル)



■ 2002年国土技術研究センター、河川堤防



課題-3:実験は正しいのか?

VELACS: Verification of Numerical Procedures for the Analysis of Soil Liquefaction Problem



実験

- U.C. Davis
- Cambridge
- U.C. Berkeley
- Caltech
- M.I.T.
- R.P.I.
- Colorado
- Princeton

■解析

- 米英の研究者 が主
- ・日本への正式 招待はあまり ない



∇	Laminar Box
Bonnie Silt	<mark>⊺</mark> 3m
Sand: Dr=60%	irian anti- Anti-



課題-4 液状化解析はだめなのか

■ 解析法はどれも同じ答えを出すか

• ×

■ 違う要因は?

- 定式化
- 数值解析法
- 構成モデル

■現象把握と設計法を切り離す必要

- 照査, 被害解析:メカニズムがわかれば

液状化に伴う流動

流動現象とは

■ 液状化に伴い、 地盤が (主として)水平方向に移動

- いつ発生するか?
 - ▶地震の揺れが収まっても

■ 振動台実験の失敗

- 加振を止めると、変位も止まってしまう
- 加振を続けると、たとえば、傾斜地盤は水平になる

■ 液状化した地盤は、 固体か液体か?

- 振動を止めると変位が止まるのであれば、固体
- 噴砂は、局所的な現象で、地盤全体が液体というわけではない?

液状化した砂は液体か?





。 液状化後の変形:固体と液体









■ 傾斜地盤の実験では、振動を止めると流動が止まってしまう。

■ 地震被害では、流動の継続時間は長そうに思える。



昭和大橋付近の現象 ■ 落橋は地震後70~80秒後 ■ その後,堤防の亀裂



固体か流体か?

- 静的な実験では固体
- 振動実験で、振動中は流体
 - 振動を止めると変位も止まる
- 流体の状態を維持するには、 駆動力が必要
 - •小さい振動
 - ・上向き浸透力
 - ▶液状化層厚





加振中にのみ変位





液体、固体を行き来する物体の解析は可能か? 液状化後の挙動を求める方法は 慣性力の作用がない状態で変位が進行 液状化強度試験では求められない



液状化強度試験

液状化の強度を求めるための試験 変形性能を求めるものではない それなりの変形でデータがある?

• 無理矢理外力を加えた実験



液状化時の体積変化

液状化後の体積変化





課題-6a:体積弾性係数の評価

■ 体積ひずみ = 塑性体積ひずみ

- 時々刻々と計算する必要がある
 - ▶ 過剰間隙水圧型の体積ひずみは×
- ●発生した体積ひずみに応じて体積弾性係数Kを変えているか
 ▶多くの構成モデル

 $d\sigma'_{m} = Kd\varepsilon_{v} = K_{0}\sigma'^{n}_{m}d\varepsilon_{v}$

• 体積ひずみは、等方に変化する?



課題-6b:過剰間隙水圧消散

■ 個々の要素の体積ひずみ ■ 応力に変換しないと解析に乗らない

$$\sigma'_m = K \varepsilon_{vd}$$

• 体積ひずみの分配 $\begin{cases} \sigma_x \\ \sigma$





 $\sigma_y = (K + \frac{1}{3}G)\varepsilon_v$ or $\sigma_y = (K + \frac{4}{3}G)\varepsilon_v$





境界条件に依存 実験は多次元圧密のはず?



$$d\sigma'_m = Kd\varepsilon_v$$



■ エネルギーがわき出す?



■ 液状化

 ・地震時の繰返し載荷によって有効応力が0となり、地盤の剛性 や強度が失われる

■ 二次液状化

- 液状化層の過剰間隙水圧が、非液状化層
- に伝播して液状化する



■ 二次液状化地盤も液状化地盤と同様に取扱う ?



	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
繰返し載荷時の PWP (kN/m ²)	_	_	20	40	60	100
背圧付加 (kN/m ²)	—	100	80	60	40	_
対応する状態	非液状化	二次液状化			液状化	

繰近	し載花	ت _a (kPa)	20	
		ϵ_{a} (%)	0	
	繰返し 間隙水圧 (kN/m ²)	ン載荷 両振幅 軸ひずみ (%)	背圧付加 残留 軸ひずみ (%)	ase 6 ase 5
case2			-0.09	ase 4 ase 3
case3	20	0.04	-0.09	
case4	40	0.05	-0.11	ほとんど同じ
case5	60	0.09	-0.14	5 10 15 20 25
case6	100	3.80	-0.90	繰返し回数 N

応力-ひずみ関係



二次液状化地盤の剛性は非常に大きい

課題-7:液状化を支配する要因

■ 有効応力=0が液状化の条件ではない

- 繰返し載荷により骨格構造が劣化するのが原因
- 劣化を表す指標は?
 - *F*_L
 - ▶ 内部変数ではない
 - 累積##(体積ひずみ, せん断##)
 - ▶単調載荷でも出すことができる

繰り返されることによって



■ 応力点が変相線を横切るまでは
 ■ サイクリックモビリティに入る

• 骨格構造の形成

• 除荷時に急に粒子がばらばらに?

変相角に関わる問題

- 弾塑性の構成モデルでは非常に敏感なパラメータ
- 既往の研究は「なし」に等しい
- 何で解析ができたの?
 - 二度間違えば
 - ▶体積ひずみ、体積弾性係数
 - 液状化強度しか見ていない
 - ▶途中を見ていない
- 直線, 曲線?




浮き上かりのメカニズム

課題-9:どこまでの変形が解析可能か





(b)原地盤が密な砂地盤や 透水係数が大きい地盤



(c)原地盤が透水係数の 小さい粘性土地盤









一体、どれだけデータを集めたら?



1964年新潟地震 川岸町アパート

傾斜角と方向・沈下量











1994北海道南西沖地震・函館ドック

参考文献 (数字はスライド番号)

- 4) Commeorating the 25th Annivarsary of the Great Alaskan earthquake, U.S. Department of Commerce Seed, H. B. and Wilson, S. D. (1967): The Turnagain Heights Landslide, Anchorage, Alaska, J. SMFD, ASCE, Vol. 93, No. SM4, pp. 325-353
- 5) EQIIS Image Database Niigata, Japan 1964, http://nisee.berkeley.edu:8080/images/servlet/EqiisBrowse?group=Niigata1964-01
- 6) 吉見吉昭: http://homepage2.nifty.com/yoshimi-y/index.htm
- 7) 吉見吉昭:新潟地震の教訓(1), http://homepage2.nifty.com/yoshimi-y/niigata1.htm
- 8) 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
- 9) ホテル新潟:新潟日報社(1964):新潟地震の記録 自然との半月の戦い, 107pp. 厚沢部柳橋マンホール:陶野氏提供
- 10)11) Hamada, M., Yasuda, S., Isoyama, R. and Emoto, K. (1986): Study on liquefaction induced permanent ground displacements, Association for Development of Earthquake Prediction
- 12) 20 年後の発掘で分かった液状化による杭の被害, 日経アーキテクチャー, 1985 年 7 月 27 日号, pp. 130-134
- 13) 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
- 18) 地盤工学会 (2000): 土質試験の方法と解説一第1回改訂版一, 925pp Ishihara, K., Emoto, S., Yasuda, S., Takatsu, H. (1977): Liquefaction of Anisotropically Consolidated Sand, Proc. 9th Int. Conf. on SMFE, pp. 261-264
- 19) 地盤工学会(2000):土質試験の方法と解説-第1回改訂版-,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
- 23) 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 吉見吉昭(1991):砂地盤の液状化(第二版),技報堂 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
- 24) 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, Barthquake 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
- 26) 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
- 28) 吉田望 (1994): 実用プログラム SHAKE の適用性, 軟弱地盤における地震動増幅シンポジウム発表論 文集, 土質工学会, pp. 14-31

Finn, W. D. L., Martin, G. R. and Lee, M. K. W. (1978): Comparison of dynamic analyses for saturated sands, Earthquake Engineering and Soil Dynamics, ASCE, GT Special Conference, Vol. 1, pp. 472-491

- 32) 大矢陽介(2009):地盤の液状化・流動解析の実用化に関する研究,東北学院大学学位論文,180pp.
- 33) 地盤と土構造物の地震時の挙動に関する研究委員会(1989):地盤と土構造物の地震時の挙動に関するシンポジウム発表論文集,土質工学会
- 34)地盤と土構造物の地震時の挙動に関する研究委員会(1989):地盤と土構造物の地震時の挙動に関するシンポジウム発表論文集、土質工学会
- 35) 地盤の液状化対策に関するシンポジウム発表論文集, 1991 年1月, 土質工学会
- 36) 土木学会地震工学委員会(2003):レベル2 地震動による液状化,レベル2 地震動による液状化研究 小委員会活動報告書,レベル2 地震動による液状化に関するシンポジウム論文集
- 37) 国土技術研究センター(2002):河川堤防の地震時変形量の解析手法
- Arulanandan, K. and Scott, R. F. ed.: Proc. Verification of Numerical Procedures for the Analysis of Soil Liquefaction Problems, Davis, California, 1993, Balkema
- 39) Arulanandan, K. and Scott, R. F. (1993): Project VELACS Control test results, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 8, pp. 1276-1292
- 44) 安田進, 吉田望, 安達健司, 規矩大義, 五瀬伸吾, 増田民夫 (1999):液状化に伴う流動の簡易評価法,

土木学会論文集, No. 638/III-49, pp. 71-89

- 45) Hamada, M. Ohtomo, K., Sato, H., Iwatate, T. (1992): Experimental Study of Effects of Liquefactioninduced Ground Displacement on In-ground Structures, Proc., 4th Japan-US Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, Technical Report NCEER-92-0019, Vol. 1, pp. 481-492
- 46) 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, 土木学会論文集, No. 596/III-43, pp. 189-208
- 47) Yoshida, N., Tazoh, T., Wakamatsu,, Yasuda, S., Towhata, I. ,Nakazawa H. and Kiku, H. (2007): Causes of Showa bridge collapse in the 1964 Niigata earthquake based on eyewitness testimony, Soils and Foundations, Vol. 47, No. 6, pp. 1075-1087
- 48) 吉田望, 永瀬英生, 三浦均也(1999): 講座・液状化に伴う地盤の流動と構造物への影響, 地盤の流動 化に伴う発生のメカニズムと解析法(その1), 土と基礎, Vol. 47, No. 8, pp. 47-52
- 49) Okamura, M., Abdoun, T. H., Dobry, R., Sharp, M. K. and Toboada, V. M. (2001): Effects of sand permeability and weak aftershocks on earthquake-induced lateral spreading, Soils and Foundations, Vol. 41, No. 6, pp. 63-77
- 53) Ishihara, K. and Yoshimine, M. (1992): Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and Foundations, Vol. 32, pp.173-188 吉田望, 辻野修一, 稲童丸征巳 (1994): 液状化に伴う地盤沈下予測に関する基礎的研究, 第 29 回土 質工学研究発表会講演集, pp. 859-860
- 56) Yoshida, N. and Tobita, Y. (1993): Discussions for Strain space plasticity for ciclic mobility, Soils and Foundations, Vol. 33, No. 3, pp. 148-149
- 58) 三上武子,吉田望,小林恒一 (2007):二次液状化による変形係数の変化,第42回地盤工学研究発表 会平成19年度発表講演集,pp.1871-1872
- 63) 安田進他:2003年十勝沖地震による音別町の下水道の被害,土木学会第59回年次学術講演会講演概要集,第Ⅲ部門,pp.421-422,2004 中根美香・規矩大義・内山明日香:軟弱地盤に埋設された人孔の地震時浮上がりに関する振動台実験、 第1回地盤工学会関東支部研究発表会、pp.17-22,2005
- 65) 地盤と土構造物の地震時の挙動に関する研究委員会(1989):地盤と土構造物の地震時の挙動に関す るシンポジウム発表論文集,土質工学会
- 66) Sugano, T. and Miyata, S. (2009): Satisfaction and dissatisfaction of port facilities designer facing to the performance based design methodology, Proc., Performance-based design in earthquake geotechnical engineering, pp. 221-225