九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

固化処理砂地盤の材料定数のばらつきを考慮した液状化ポテンシャル

笠間，清伸
九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門

善，功企
九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門

陳，光斉
九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門

https://hdl.handle.net/2324/21962

出版情報：土木学会地震工学論文集. 29, pp.251-257, 2007-08. 公益社団法人土木学会
バージョン：
権利関係：

固化処理砂地盤の材料定数のばらつきを考慮した液状化ポテンシャル

笠間　清伸[1]・善　功企[2]・陳　光斉[3]

[1]九州大学大学院助教　工学研究院建設デザイン部門（〒819-0395 福岡市西区元岡744番地）

[2]九州大学大学院教授　工学研究院建設デザイン部門（〒819-0395 福岡市西区元岡744番地）

[3]九州大学大学院准教授　工学研究院建設デザイン部門（〒819-0395 福岡市西区元岡744番地）

本論文では，確率統計論に基づき液状化対策として固化処理された砂地盤の液状化ポテンシャルの評価法を提案した．提案した確率統計手法は，固化処理地盤の一軸圧縮強度の空間的ばらつき，強度試験に含まれる偶発誤差と推定誤差，一軸圧縮強度から液状化強度を推定するさいに生じる系統誤差および地盤のせん断波速度のばらつきに起因した地震応答特性の不確定性などを考慮している．液状化ポテンシャルの評価のために，地盤要素の液状化安全率F_Lならびに液状化指数P_Lを用い，地盤の一軸圧縮強度の平均値および変動係数が液状化ポテンシャルに与える影響を考察した．最後に，実際に施工された固化処理砂地盤に本提案手法を適用し，固化処理による液状化対策の有効性の評価を試みた．

Key Words : *Liquefaction, Cement-Mixing, Probability, Reliability-based design, Spatial variability*

１．はじめに

深層混合処理工法[1)2)]や事前混合処理工法[3)]などの固化処理工法は，軟弱地盤の支持力改善や砂地盤の液状化対策などを目的として幅広く用いられてきた．特に，事前混合処理工法のように砂質土に固化材を混合して造成された固化処理地盤は，新規埋立地盤の液状化対策として活用されている．固化処理地盤のせん断強度に影響する指標として，固化材の種類・量[4)]，対象土の物理化学特性[5)]，養生条件[6)]や混合の程度[7)]などが研究されてきた．しかしながら，セメント混合に用いる装置や施工技術の進展にも関わらず，実際に施工された固化処理地盤の強度には，大きな空間的なばらつきが存在することが報告されている[8)]．

例えば，**表-1**には，実際に施工された固化処理砂地盤の施工条件と一軸圧縮強度に関する統計値をまとめている．表に示す一軸圧縮強度は，原位置において養生およびサンプリングされた供試体を対象に実施されたものである．一軸圧縮強度の変動係数は，0.47～0.99であり，これは自然堆積土に比べて極めて大きな値である[9),10)]．この固化処理砂地盤の強度にみられる極めて大きい空間的ばらつきの原因として，1)原位置の施工条件における固化材の混合の不均一性，2)原位置地盤の土質の空間的な不均質性および3)強度試験に含まれる偶発誤差や推定誤差などが考えられる．この強度のばらつきの結果，固化処理砂質土を対象とした繰返し三軸圧縮試験において，一軸圧縮強度が大きい場合には供試体は引張破壊を，小さい場合には供試体は液状化によく似た破壊現象を示すことが報告されている[11),12)]．したがって，固化処理砂地盤の強度の極めて大きな空間的ばらつきは，固化処理による砂質地盤の液状化対策の有効性に影響を与えることが示唆される．

そこで，本論文では確率統計論に基づき，固化処理砂地盤で計測された一軸圧縮強度の統計値を用いて，固化処理砂地盤の液状化ポテンシャルの評価手法を提案することを目的とする．提案する確率統計的手法は，固化処理地盤の一軸圧縮強度が有する本質的な空間的ばらつき，一軸圧縮試験における偶発誤差と推定誤差，一軸圧縮強度から液状化強度を推定するさいに生じる系統誤差および地盤のせん断波速度のばらつきに起因した地震応答特性の不確定性などを考慮している．また，液状化ポテンシャルの評価のために，地盤要素の液状化安全率F_Lなら

表-1 固化処理砂地盤における一軸圧縮強度の統計値

固化処理工法	固化材	セメント添加率	養生日数	w (%)	標本数 #	平均値 (kPa)	COV_{q_u}	出典
事前混合処理	SP[1)]	7.5%	91 日	6.5	32	661	0.470	沿岸開発技術研究センター[19)]
	SP[1)]	3%	28 日	9.4	13	360	0.990	
	SP[1)]	4%	28 日	11.8	25	120	0.750	

注: 1) 高炉スラグセメントB種

びに液状化指数P_Lを用い，地盤の一軸圧縮強度の平均値および変動係数が液状化ポテンシャルに与える影響を考察した．最後に，実際に施工された固化処理砂地盤に本提案手法を適用し，固化処理による液状化対策の評価を試みた．

２．液状化ポテンシャルの評価

本論文では，液状化安全率F_Lと液状化指数P_Lを地盤の液状化ポテンシャルを評価する指標として用いる．液状化安全率F_Lは，液状化に対する地盤要素の安全性を表わす指標であり，以下の式で与えられる．

$$F_L = R/L \tag{1}$$

ここで，Rは地盤要素が有する繰返しせん断強度比であり，Lは地盤要素に作用する繰返しせん断応力比である．一般に，F_L<1の時に地盤が液状化すると判断される．本論文では，固化処理地盤の有する材料定数の空間的ばらつきを考慮して，RとLを計算する．それぞれの詳しい計算法は，次節以降で説明する．得られたF_Lの平均値と変動係数を用いて，F_L<1となる確率$P_f[F_L<1]$を計算し，地盤要素の液状化確率とした．また，次式で与えられる液状化指数P_Lを計算し，P_L>5となる確率$P_f[P_L>5]$を求めた．

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot w(z) \cdot dz \tag{2}$$

ここで，F=1-F_Lと$w(z)$=10-0.5zである．

最終的に得られる$P_f[F_L<1]$と$P_f[P_L>5]$の確率は，材料定数の空間的ばらつきをもとに計算するため,空間的な確率を意味する．つまり，$P_f[P_L>5]$の値は，対象とした地盤全体のうちPL>5となる領域の空間的割合であり，たとえば，$P_f[P_L>5]$=0.20であれば，地盤全体の20%の領域でPL>5となるという意味と考えることができる．

３．液状化ポテンシャルの計算法

⑴ 一軸圧縮強度のばらつきと一次処理

原位置での固化処理地盤の液状化強度の平均値および変動係数を得るのに，原位置でサンプリングされた供試体を用いて実施された一軸圧縮強度に関する統計値を用いる．つまり，固化処理地盤を対象とした一軸圧縮試験の統計値から一軸圧縮強度と液状化強度の回帰式を用いて，間接的に液状化強度の平均値と変動係数を推定する．まず最初に，一軸圧縮強度のばらつきの成分について考察し，地盤が本質的に有する強度の空間的なばらつきだけを取り出すことを試みる．Christianら[13)]によれば，得られた一軸圧縮強度のばらつきは，1)地盤が有する本質的な空間的なばらつき，2)一軸圧縮試験が有する実験誤差および3)統計的な推定誤差などを含む．したがって，計測された一軸圧縮強度の変動係数 COV_{qu}は，以下のように3つの成分で構成される．

$$COV_{qu}^2 = COV_o^2 + COV_m^2 + COV_n^2 \tag{3}$$

ここで，COV_o は，一軸圧縮強度の本質的な空間的ばらつきを表す変動係数，COV_mは，実験誤差に起因する変動係数，COV_nは，統計的推定誤差に起因する変動係数である．一軸圧縮試験の実験誤差は，供試体の乱れや実験方法のために，三軸試験や一面せん断試験にくらべて大きいとされる．たとえば，土田と湯[14)]は，三軸圧縮試験の実験誤差が COV_m=0.05であるのに対して，一軸圧縮試験の実験誤差は，COV_m =0.15程度であると報告した．また，統計的推定誤差は，標本数が増加すれば小さくなり，確率統計論の立場から以下の式が提案されている[15)]．

$$COV_n = COV_o / \sqrt{n} \tag{4}$$

ここで，nは，標本数である．したがって，式(3)と(4)から一軸圧縮強度の本質的な空間的ばらつきを表す変動係数は，以下の式で計算できる．

$$COV_o^2 = \frac{COV_{q_u}^2 - COV_m^2}{1 + 1/n} \tag{5}$$

式(5)を用いることで，原位置でサンプリングされた供試体も用いて得られた一軸圧縮強度の統計値から，一軸圧縮強度の実験誤差および統計的推定誤差を考慮して，固有の空間的ばらつきを計算できる．

⑵ 液状化強度のばらつき

繰返しせん断強度比Rは，液状化試験における繰返し

回数20回において液状化が生じるときのせん断応力比R_lであると定義される．これまでに，標準貫入試験[16,17]やコーン貫入試験[18]の結果を用いて，間接的にR_lを推定する簡易な手法が提案されている．**図-1**は，事前混合処理工法技術マニュアル[19]による一軸圧縮強度q_uとR_lの関係であり，一軸圧縮強度が増加すると多少のばらつきを示しながら直線的に増加する．**図-1**中のR_lとq_uの関係は，以下の式で表わせる．

$$R = R_l = a \cdot q_u + b \qquad (6)$$

ここで，aとbは，それぞれ回帰曲線の傾きと切片である．式(6)を用いてq_uの統計値からR_lを推定するさいに，回帰曲線が有するバイアスや不確実性に起因した系統誤差(systematic error)が存在する．式(6)が有する系統誤差を考慮するために，回帰曲線の傾きaは一定で0.0025とし，bは，**図-1**中の実験結果を用いて平均値$\bar{b}$=0.24，COV_b=0.41を示す統計変数とした．

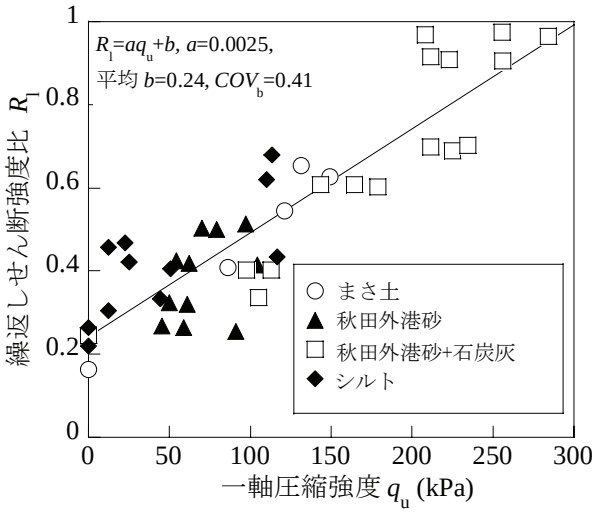

図-1　繰返しせん断強度比と一軸圧縮強度

(3) 地震応答特性のばらつき

繰返しせん断応力比Lを評価するさいには，地盤内のせん断波速度の空間的ばらつきを考慮し，一次元地震応答解析を行った．一次元の地震応答解析では，重複反射理論に基づいた等価線形計算を行った．固化処理地盤の応力ひずみ関係の非線形性を表現するために，Hardin-Drnevichモデルを採用し，規準ひずみと最大減衰定数は，地盤のばらつきの影響を受けないと仮定し，それぞれ5.0×10^{-4}と0.25と固定して用いた．ただし，解析に用いる固化処理地盤のせん断波速度は，前節で示した繰返しせん断強度比Rと同様にq_uの統計値から推定した．**図-2**は，既往の研究[17]によるせん断波速度V_sと一軸圧縮強度q_uの関係であり，以下の式で表わせる．

$$Vs = 10^c \cdot (q_u)^d \qquad (7)$$

ここでも，回帰式の系統誤差を考慮するために，d=0.21で定数とし，cは，平均値$\bar{c}$=2.26と変動係数COV_c=0.04を示す統計的変数とした．図中には，統計値から推定した95%信頼性区間を示す．地震応答解析では，深度20mの地盤を想定し地盤を1mごとに20個の層に鉛直分割した．1層の厚さは，解析結果に影響を与えると考えられるが，固化処理地盤の鉛直自己相関係数が0.2-4m程度である計測結果[20]をもとに，今回は1mとした．各層のV_sをq_uの統計値から式(7)を用いて計算した後，一次元地震応答解析を行い地盤の深度ごとに応答加速度の最大値を求めた．基盤の入力加速度は，福岡西方沖地震において建設技術研究所九州支店の地下-65m地点で観測された南北方向の加速度波形を用いた．ただし，解析では基盤加速度の最大値を，100, 200, 300, 400および500Galに修正して使用した．この計算を1,000回行うモンテカルロシミュ

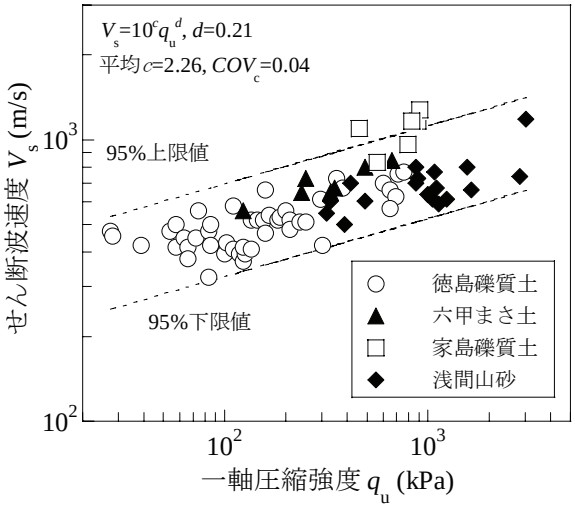

図-2　せん断波速度と一軸圧縮強度

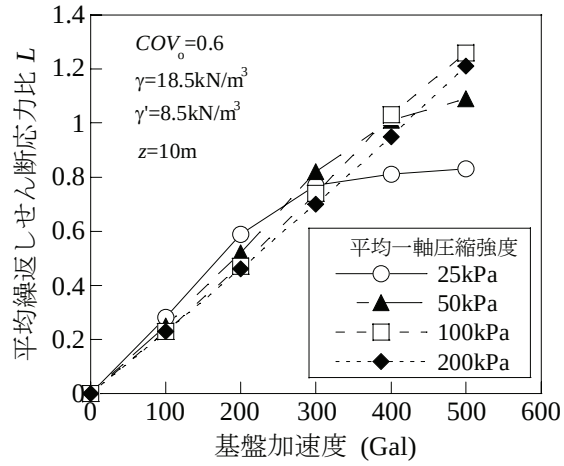

図-3　平均繰返しせん断応力比と基盤加速度

レーションを実施し，各深度における応答加速度の最大値α_{max}の統計値から，以下の式を用いて繰返しせん断応力比Lの平均値と変動係数を計算した．

$$L = \frac{\alpha_{max}}{g}\frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \tag{8}$$

ここで，gは重力加速度，σ_vとσ'_vはそれぞれ鉛直応力および鉛直有効応力であり，γ =18.5kN/m^{3}と γ'=8.5kN/m^{3}として計算した．今回は，RおよびLの統計値をそれぞれ無相関として別々に求め，最終的にF_Lの統計値を計算したが，今後はそれらを連動させシミュレーションごとにF_Lを計算する手法に展開していく必要がある．

図-3に，計算により得られた深度10mにおける基盤加速度と平均繰返しせん断応力比Lの関係を示す．解析条件は，一軸圧縮強度q_uを25～200kPaとし，変動係数を0.6とした．基盤加速度が200Galまでは，ほぼ直線的にLが増加し，その増加率は一軸圧縮強度が大きいほど増加する．さらに基盤加速度が増加すると，Lは徐々に折れ曲がり一定値に収束する．この最終値は，一軸圧縮強度が小さいほど小さい．また，Lの変動係数は，一軸圧縮強度が小さくなるほど大きくなる結果が得られた．

図-4に，平均繰返しせん断応力比Lと一軸圧縮強度の変動係数の関係を示す．解析条件は，q_u =50kPaである．Lは，基盤加速度が300Gal以下の場合には，変動係数によらずほぼ一定値を示す．しかしながら，400Gal以上では，変動係数が大きくなるとLは徐々に減少する傾向にある．これは，変動係数が大きくなり地盤のせん断波速度のばらつきが大きくなると，せん断波速度の小さな地盤要素数が増えるため，その要素が地盤応答特性に支配的に影響するため，特にその影響が大きな基盤加速度の時に大きくなると考えられる．

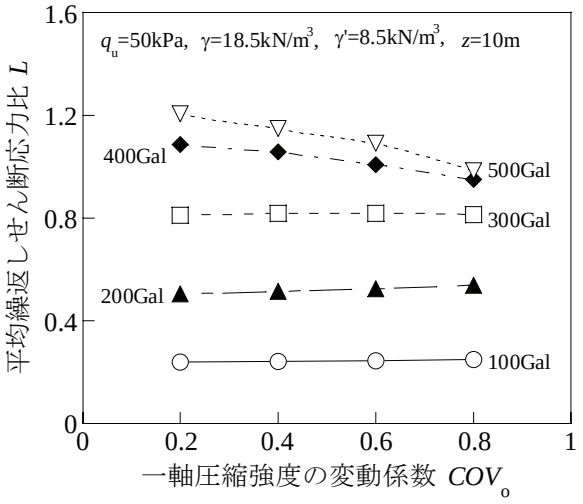

図-4　平均繰返しせん断応力比と変動係数

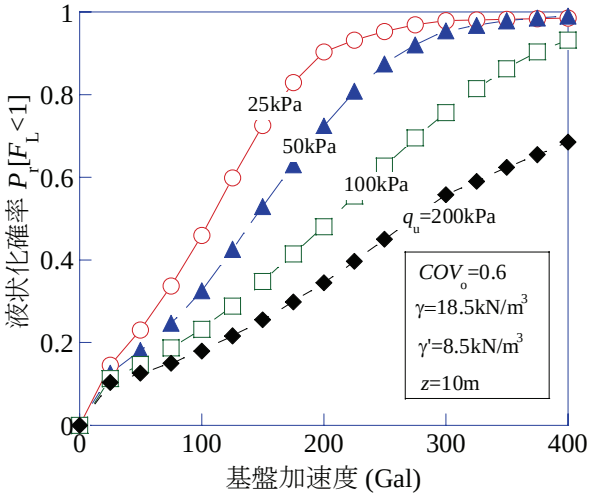

図-5　液状化確率と基盤加速度

4．液状化ポテンシャルの計算結果

(1) 液状化確率について

図-5に，深度10mにおける液状化確率$P_l[F_L<1]$と基盤加速度の関係を示す．解析条件は，一軸圧縮強度q_uを25～200kPaとし，変動係数を0.6とした．液状化確率は，基盤加速度が大きくなるにつれて増加し，その増加傾向は，一軸圧縮強度が小さいほど顕著であった．

一軸圧縮強度の変動係数が液状化確率$P_l[F_L<1]$に与える影響を評価するために，**図-6**に深度10mにおける液状化確率$P_l[F_L<1]$と変動係数の関係を示す．ここで，一軸圧縮強度は100kPaとした．基盤加速度が100Galの時，$P_l[F_L<1]$は変動係数の増加とともに徐々に増加した．一方，基盤加速度が300Gal以上では，変動係数の増加とともに減少した．つまり，RとLの平均値を用いて計算し

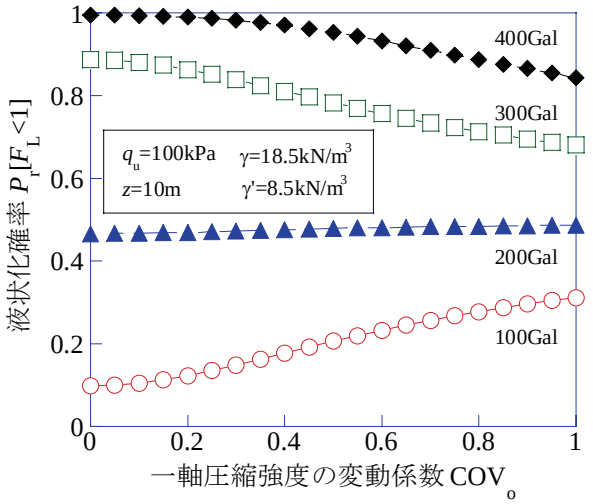

図-6　液状化確率と変動係数

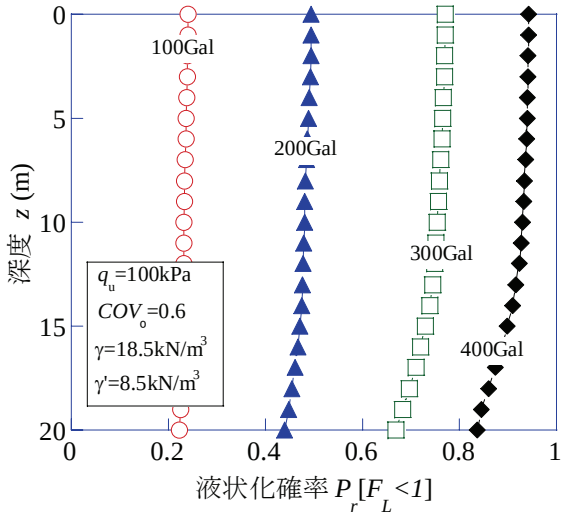

図-7　液状化確率の深度分布

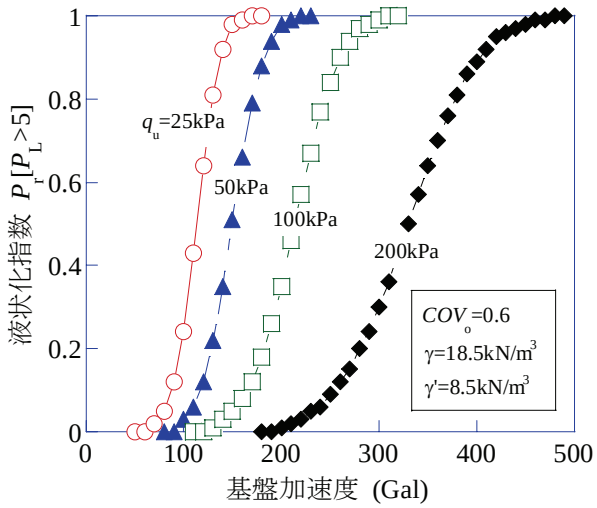

図-8　基盤加速度と液状化指数

表-2 一軸圧縮強度の統計値に基づく繰返しせん断強度比 R_l

	サイト1	サイト2	サイト3
セメント添加率	7.5%	3%	4%
標本数	32	13	25
平均一軸圧縮強度 (kPa)	661	360	120
本質的な空間的ばらつき (COV_o)	0.426	0.867	0.685
観測値のばらつき (COV_{qu})	0.470	0.990	0.750
強度試験における偶発誤差 (COV_m)	0.150*	0.150*	0.150*
統計的推定誤差 (COV_n)	0.083	0.275	0.150
回帰式の不確定性に起因した系統誤差 (COV_b)	0.410**	0.410**	0.410**
平均繰返しせん断強度比 L	1.893*	1.140*	0.540*
繰返しせん断強度比 L の変動係数	0.591	0.959	0.798

* $R_l = a \times q_u + b$: a=0.0025, $\bar{b}$ =0.24, COV_b=0.410

** 一軸圧縮強度における偶発誤差 COV_m =0.15

たF_Lが1.0以上(つまり，液状化しない状態)では，変動係数が増加すると液状化する確率は増加する．逆に，平均が1.0以下(つまり，液状化する状態)では，変動係数が増加すると液状化する確率は減少した．したがって，変動係数が非常に大きくなると分布形状や平均値によらず，確率が50%に漸近していく．

図-7に，平均一軸圧縮強度が100kPaで変動係数が0.6の条件における液状化確率$P_r[F_L<1]$と深度の関係を示す．この条件では，$P_r[F_L<1]$は深度に応じてそれほど変化せず，地表面の液状化確率が最も大きい結果となった．

(2) 液状化指数について

図-8に，一軸圧縮強度の変動係数が0.6の時の$P_r[P_L>5]$と基盤加速度の関係を示す．$P_r[P_L>5]$は，一軸圧縮強度が小さいときには，急激に増加する．ここで，著者らが別途行っている固化処理地盤の局所的な液状化による支持力低下に関する数値解析から,P_L=5程度(液状化率5%)のときに支持力が約50%低下するという研究成果[21]を踏まえると，今回の計算によれば，平均一軸圧縮強度が50kPa以下で変動係数が0.6程度の固化処理地盤では，基盤加速度が200Gal以上になると，液状化による被害が発生する確率が大きい結果となった．

今後，局所的な液状化を考慮した地震時の固化処理地盤の支持力特性や破壊モードなどを検討し，液状化確率と液状化による支持力低減量や地盤の変形量などとの関係を定量化することで，液状化確率と被害の程度の関係を解明していく必要がある．

5．実際の固化処理地盤への適用

本節では，提案した液状化ポテンシャルの評価手法を表-1で示した実施工された固化処理砂地盤に適用する．表-2は，計測された一軸圧縮強度の統計値をもとに，式

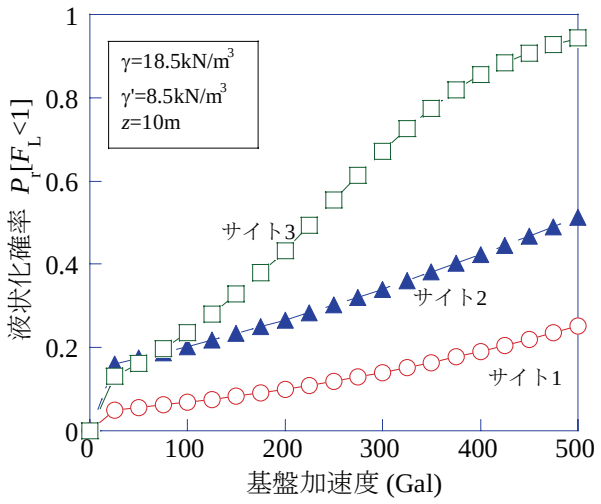

図-9　事例解析における液状化確率と基盤加速度

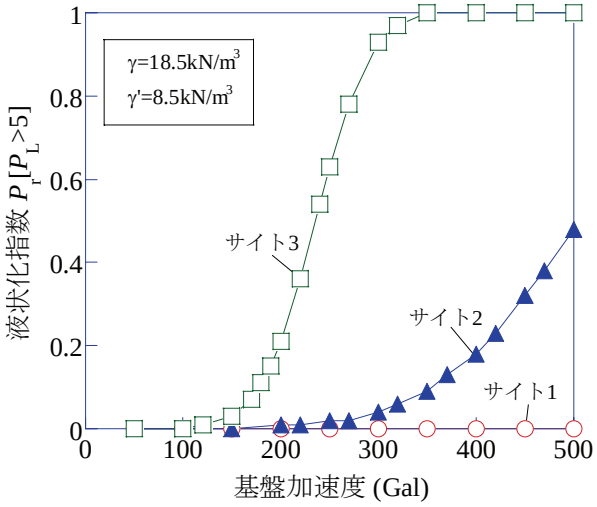

図-10　事例解析における液状化指数と基盤加速度

(1)～(8)を用いて推定した繰返しせん断強度比R_lの平均値および変動係数を示す．ここで，一軸圧縮試験が有する偶発誤差COV_mは，0.15とした．最終的に得られた空間的ばらつきCOV_oは，一軸圧縮試験の偶発誤差と推定誤差を考慮したにもかかわらず比較的大きな値を示す．推定した繰返しせん断強度比の平均値は，固化材添加率が増加するとともに増加する傾向にある．しかしながら，その変動係数は，固化材添加率の増加とともに減少する傾向にあるものの，推定された変動係数0.591～0.959は，自然堆積地盤のせん断強度に比べて大きな空間的ばらつきの程度を示す．

図-9には，固化処理砂地盤の深度10mにおける液状化確率と基盤加速度の関係を示す．ここで，それぞれの施工現場を，サイト1，サイト2およびサイト3と呼ぶ．サイト1とサイト3が，それぞれ最小液状化確率と最大液状化確率を示した．液状化確率が3つのサイトで異なる最も大きな要因は，それぞれのサイトで固化材添加率が異なるためであると考えられる．サイト1，サイト2およびサイト3において，地盤の20%が液状化する基盤加速度は，それぞれ200Gal，200Galおよび400Gal程度であり，固化材添加率が7.5%であるサイト3の液状化確率はかなり小さい．

図-10には，$P_l[P_L>5]$と基盤加速度の関係を示す．すべてのサイトにおいて$P_l[P_L>5]$は，基盤加速度100Gal以下できわめて小さい値を示した．しかしながら，基盤加速度350Gal以上において，サイト3の$P_l[P_L>5]$がほぼ1.0になる．$P_l[P_L>5]$と固化材添加率の関係から，サイト1のような固化材添加率7.5%程度であれば，液状化に起因した構造物や基礎の被害を防止できると考えられる．

以上の結果を踏まえて，今後，対象地盤の土質のばらつきの影響や固化材添加率と液状化強度のばらつきの関係なども考慮しつつ，液状化対策として十分な固化材添加率を明らかにしていく必要がある．

６．結論

本論文では，確率統計論に基づき，液状化対策として固化処理した砂地盤の液状化ポテンシャルの評価手法を提案し，実際に施工された固化処理地盤への適用を試みた．得られた結論をまとめると以下のようになる

1)固化材混合による一軸圧縮強度の増加は，砂地盤の液状化ポテンシャルを低減するのに有効である．しかしながら，固化処理砂地盤で計測される一軸圧縮強度の空間的なばらつきは，液状化ポテンシャルに影響を及ぼす．

2)一般的な固化処理砂地盤において，液状化強度の変動係数は，0.591～0.959であり，自然堆積土のせん断強度のばらつきよりも極めて大きい．

3)実際の固化処理砂地盤に対する本提案手法の適用事例から，固化材添加率7.5%程度の固化処理地盤において基盤加速度100Gal以下では，液状化に起因した地盤被害はきわめて小さいと予想される．

参考文献

1) Terashi, M. & Tanaka, H. (1981): “Ground Improved by deep mixing method,” Proc. 10th ICSMFE, Stockholm, 3, 777-780.

2) Porbaha, A., Tsuchida, T. & Kishida, T. (1999): “Technology of air-transported stabilized dredged fill. Part 2: quality assessment,” Ground Improvement, 3, 59-66.

3) Zen, K., Yamazaki, H., Yoshizawa, H. & Mori, K. (1992): “Development of premixing method against liquefaction,” Proc. 9th Asian Regional Conf. SMFE, 1, 461-464.

4) Clough, G. W., Sitar N., Bachus R. C. & Rad N. S. (1981): “Cemented

Sands Under Static Loading," ASCE J. Geotech. Eng., 107(6), 799-817.
5) Kamon, M. & Katsumi, T. (1999): "Engineering properties of Soil stabilized by ferrum lime and used for the applica-tion of road base," Soils and Foundations, 39(1), 31-41.
6) Consoli, N. C., Rotta, G. V. & Prietto, P. D. M. (2000): "Influ-ence of curing under stress on the triaxial response of cemented soils," Geotechnique 50(1), 99-105.
7) Omine, K., Ochiai, H. & Yoshida, N. (1998): "Estimation of in-situ strength of cement-treated soils based on a two-phase mixture model," Soils & Foundations, 38(4), 17-29.
8) Larsson, S., Stille, H. & Olsson, L. (2005): "On horizontal variability in lime-cement columns in deep mixing," Géotechnique, 55(1), 33-44.
9) Phoon, K.K. & Kulhawy, F.H. (1999) "Characterization of geo-technical variability," Canadian Geotechnical Journal, 36, 612-624.
10) Matsuo, M & Asaoka, A. (1997): "Probability models of undrained strength of marine clay layer," Soils & Foun-dations, 17(3), 51-68.
11) 善功企，山崎浩之，佐藤泰 (1990): "事前混合処理工法による処理土の強度・変形特性," 港湾技術研究所報告, 29(2), pp.85-118.
12) 山本哲朗，山内智也，堀淵幸司 (1996): "砂～シルト地盤に対する液状化対策としてのセメント安定処理の効果に及ぼす粒度の影響," 土木学会論文集, III/No.541, pp.133-146.
13) Christian, J. T., Lad, C. C. & Baecher, G. B. (1994): "Reliability Applied to Slope Stability Analysis," ASCE J. Geotech. Eng., 120(12), 2180-2207.
14) 土田孝，湯怡新 (1996): "港湾構造物の円弧すべり解析における最適な安全率," 港湾技術研究所報告, 35(1), 117-146.
15) Ang, A. H-S., and Tang, W. H. (1975) : Probability Concepts in Engineering Planning and Design, vol. 1, Basic Principles. New York, NY: John Wiley & Sons.
16) Tatsuoka, F., Iwataki, T., Tokida, K., Yasuda, S., Hirose, M, Imai, T. & Kon-no, M. (1980): "Standard Pnetration Tests and Soil Liquefaction Potential Evaluation," Soils & Foundations, 20(4), 95-111.
17) Liao, S. S. C, Veneziano, D. & Whitman, R. V. (1988): "Regression Models for Evaluating Liquefaction Probability," ASCE J. Geotech. Eng., 114(4), 389-411.
18) Toprak, S. & Holzer, T. L. (2003): "Liquefaction Potential Index: Field Assessment," ASCE J. Geotech. And Geoenv. Eng., 129(4), 315-322.
19) (財)沿岸開発技術研究センター編 (1999): 事前混合処理工法技術マニュアル, pp.144.
20) Kasama, K., Zen, K & Whittle J. A. (2006): "Effects of spatial variability of cement-treated soils on undrained bearing capacity," Proc. Numerical Modeling of Construction Processes in Geotechnical Engineering for urban Environment, 305-313.
21) 忽那惇，善功企，陳光斉，笠間清伸 (2007): "数値極限解析を用いた液状化の局所性を考慮した地盤の支持力特性", 土木学会地震工学論文集, Vol.29 (掲載予定).

(2007. 4. 6 受付)

LIQUEFACTION POTENTIAL EVALUATION FOR CEMENT-TREATED SANDY GROUND CONSIDERING THE SPATIAL VARIABILITY OF MATERIAL PARAMETER

Kiyonobu KASAMA, Kouki ZEN and Guangqi CHEN

This paper presents a probabilistic method for assessing the liquefaction potential of cement-treated sandy ground, which is an anti-liquefaction ground improved by cement-mixing. The proposed probabilistic method considers the inherent spatial variability of unconfined compressive strength in the cement-treated ground, the random testing error of unconfined compression tests, and uncertainties in the regression analysis to estimate the liquefaction resistance in cement-treated sandy ground. The percentage of liquefaction zone in the ground and the liquefaction potential index are calculated to evaluate the potential of liquefaction in cement-treated sandy ground. Finally, the effectiveness of cement-mixing for sandy ground to prevent liquefaction is discussed based on the result of the application to three construction sites of cement-treated sandy grounds.