

# セメント混合固結土の強度・変形特性に関する研究 (その3)

——固結土の均質性と試料径が強度に及ぼす影響——

西林 清茂      松尾 龍之  
細谷 芳己      小日向 隆

## Studies on Strength and Deformation Properties of Soils Stabilized with Cement (Part 3)

——Influences on Strength of Uniformity of Stabilized Soil and Sample Diameter——

Kiyoshige Nishibayashi      Tatsuyuki Matsuo  
Yoshimi Hosoya              Takashi Kohinata

### Abstract

The uniformities of soils stabilized with cement and differences in sample diameter were taken up by the authors and model mixing tests were performed. An analysis was then made using a probability model. The results obtained are as follows:

- (1) Regarding strengths of samples picked up from nonuniform stabilized soils, scatter is decreased with increased sample diameter, but average strength is also decreased.
- (2) The less uniform the stabilized soil, the greater is the scatter and the lower the average strength.
- (3) The selected probability model (weakest link model) explains the test results well.

### 概 要

セメント混合固結土の均質性と供試体径の相違が固結土の強度評価に与える影響に着目し、モデル混合実験を行なった。また確率モデルを用いて解析を行なった結果、以下のことが判明した。

- (1) 不均質な固結体からサンプリングされた試料の強度は、試料径が大きくなるに従ってバラツキが小さくなるがその平均強度も小さくなる。(2) 不均質な固結土ほどサンプリングされた試料のバラツキは大きく、平均強度は小さくなる。(3) 選ばれた確率モデル(最弱リンクモデル)は実験結果をかなり良く説明することができる。

### 1. まえがき

セメント混合固結土は、対象土の相違や施工方法など種々の要因によりバラツキをもつ不均質な試料となりやすい。一般にこのような固結土からなる改良地盤は、現地混合土のサンプリング試料をもとにした一軸圧縮強度で評価されることが多い。しかし固結体が不均質であれば、その試料径が強度評価に及ぼす影響は大きいと考えられる。この種の研究は、室内配合試験<sup>1)</sup>や現地混合土

のサンプリング試料を用いた試験<sup>2)</sup>、さらには確率モデル<sup>3)</sup>を用いた強度評価方法に関する研究などいくつか発表されており、各々に興味深い結果が報告されている。

本報は、モデル混合攪拌装置<sup>4)</sup>により人為的に均質性が異なるように作製した不均質固結体からサンプリングした供試体径 3.5 cm から 50 cm の試料が強度評価に及ぼす影響について調査し、確率モデルを用いて解析した結果について述べるものである。

## 2. 実験概要

### 2.1. 対象土の土質性状と混合条件

実験に用いた対象土は、含水比  $w=85\%$  に調整した川崎沖海成粘土であり、その土質性状を表-1に示す。混合は、表-2に示すように、セメントスラリーの水・セメント比、添加率、昇降速度を一定にした上で、回転数、吐出圧力、昇降回数を変えて均質の程度を変化させた。

比重 G	2.68	
自然含水比 W (%)	74.0	
コンテ ン シ ー	液性限界 $W_L$ (%)	68.0
	塑性限界 $P_L$ (%)	30.3
	塑性指数 $I_p$	37.7
粒 度	砂分 (%)	7.3
	シルト分 (%)	40.7
	粘土分 (%)	52.0
pH	8.6	
有機物含有量 $Lig$ (%)	7.0	

表-1 対象土の土性

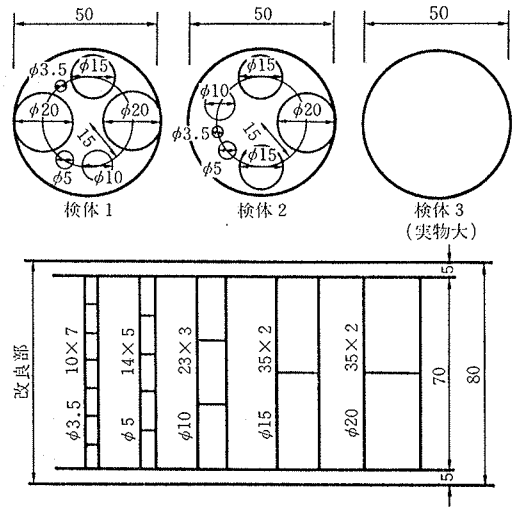


図-1 サンプル径とサンプル位置 (単位 ; cm)

	モデル混合実験			大型ソイル ミキサー
	case 1	case 2	case 3	case 4
水・セメント比	1.0	1.0	1.0	1.0
添加率 (%)	20	20	20	20
昇降速度 (m/min)	0.5	0.5	0.5	—
回転数 (rpm)	25	50	25→50→100	—
吐出圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	10	20	20	—
昇降回数 (混合時間)	1 回往復	1 回往復	3 回往復	10 分間
混合程度	—	—	—	→ 良

表-2 混合条件

### 2.2. 試験方法

case 1~case 3 は、モデル混合攪拌装置によって直径 50 cm の固結体を 3 検体ずつ作製した。このうち 2 検体について、図-1 に示すように直径 3.5 cm から 20 cm まで 5 種類の塩ビパイプを挿入してサンプリングを行ない (写真-1)、おおむね直径の 2 倍の高さとなるように切断し供試体とした。そして残る 1 検体を実物大試験に供した。また case 4 は、均質性をより高めるために大型ソイルミキサー (容量 100 l) で 10 分間混合したものを所定径のモールドに詰めて供試体を作製した。

供試体の養生はいずれもコンクリート用恒温 (20°C) 恒湿 (95%) 室で 28 日間養生し、その後圧縮試験に供した。

## 3. 試験結果および考察

図-2 (a)~(d) は、case 1 から case 4 までの試料径と一軸圧縮強度の関係を示したものである。但し、各 case ごとの実験は同時に実施されたものではないため、初期

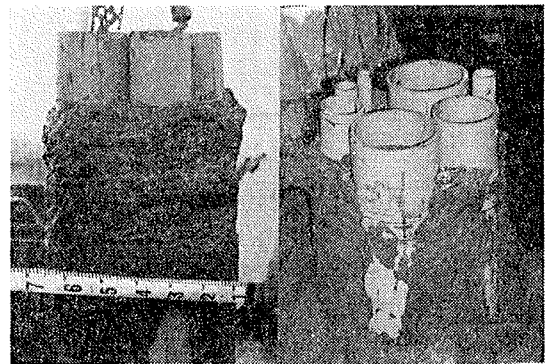


写真-1 サンプル状況

混合、養生時の温度条件などに若干の差があり、必ずしも得られる強度の絶対値で単純に比較できない。そこでここでは、各 case の実物大径の強度で各試料径の強度を割って無次元化して比較している。

いずれの case も明らかに試料径が大きくなるに従ってバラツキは小さくなり、実物大 (径 50 cm) の強度に収束する傾向がみられる。そして各試料径の最低強度はほとんど同じであり、実物大径の強度と一致しているのが特徴的である。平均値は表-3 に示すように、いずれの case も試料径が大きくなるに従って小さくなっている。

試料径 (cm)	3.5	5	10	15	20	50	
モデル 混合	case 1	3.24	3.07	2.70	2.04	2.08	1.00
	case 2	2.67	2.15	1.67	1.53	1.48	1.00
	case 3	1.48	1.48	1.24	1.25	1.04	1.00
大型ソイルミキサー case 4	1.79	1.70	1.53	1.43	1.22	1.00	

表-3 平均強度比  $\bar{q}_u/q_{u50}$

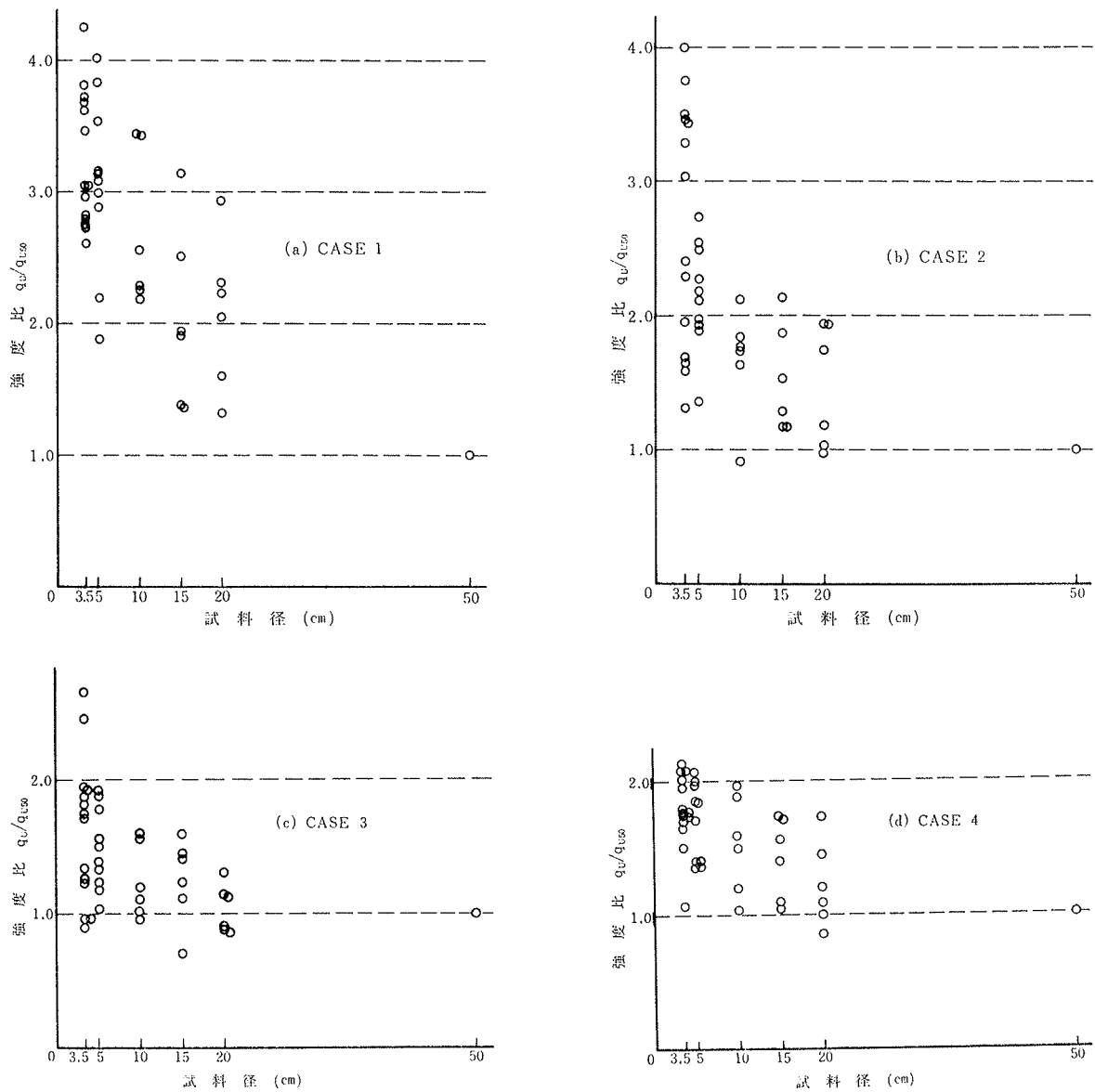


図-2 試料径と強度比の関係

試料径 (cm)		3.5	5	10	15	20
モデル混合	case 1	0.493	0.626	0.537	0.625	0.517
	case 2	0.893	0.375	0.371	0.363	0.413
	case 3	0.522	0.287	0.251	0.288	0.169
大型ソイルミキサー case 4		0.267	0.272	0.335	0.278	0.292

表-4 標準偏差

また、標準偏差を表-4に示すが、case 1 から case 4 と混合程度がよくなるに従って標準偏差は小さくなり、バラツキの程度が小さくなる傾向がみられる。さらに、各 case で多少の相違はあるものの全体的な傾向として、試料径が大きくなるに従って標準偏差が小さくなる傾向がみられる。

次に、図-3は各試料径の平均強度を、コアとして最も一般的な径 5 cm の平均強度で割って無次元化した

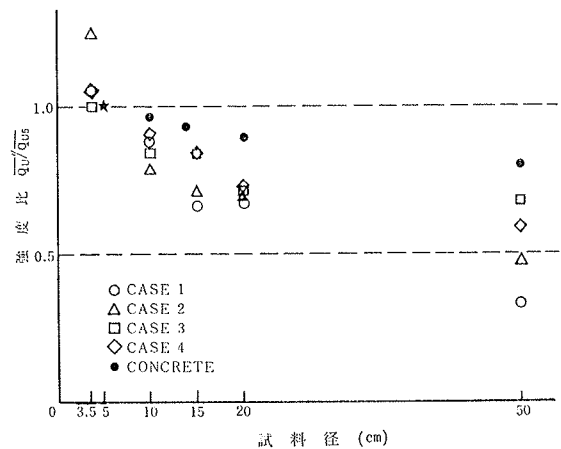


図-3 試料径と強度比の関係

ものである。図中には、参考までにコンクリートの場合の結果<sup>5)</sup>も加筆したが、いずれの case も混合が均一に

なるほど強度比  $\bar{q}_u/\bar{q}_{u5}$  が上昇する傾向がわかる。図一2とこの図一3から、モデル混合攪拌装置で3回混合した case 3 は、ソイルミキサーで十分混合した case 4 と同程度の均一性を有しているといえる。

このように混合土において試料径が小さいものほど強度のバラツキが大きく、また試料径が大きくなるにつれて得られる強度の平均値が小さくなるのは、

(1) 不均一混合土では供試体が小さいほど強度大の部分と強度小の部分とを分割して評価することになる。

(2) 不均一混合土では供試体が大きくなるほど供試体各部分に弱い部分が含まれやすくなるため、全体強度としては小さい強度の方が主体的に現われる。

(3) 試料径が小さいほど端面成形時の誤差が入りやすい。

などの原因によると推測される。

そこで、この(3)の端面の状態が強度に及ぼす影響を調べるために、極めて均一混合となるように含水比  $w=140\%$  に調整した粘土をソイルミキサーで十分混合し、径 5 ~ 30 cm の供試体を作成した。そして、試験に際して端面成形を行なったものと、石膏でキャッピングを行なったもので強度の比較を行なった。結果を表一5に示す。

端面仕上げ方法		試料径 (cm)			
		5	10	15	30
端面成形	平均強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	6.53	6.78	6.66	—
	変動係数 (%)	11.5	4.0	1.0	—
石膏キャッピング	平均強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	7.47	7.02	6.52	7.06
	変動係数 (%)	7.3	3.6	1.7	1.6

表一5 端面の仕上げが強度に与える影響

均一性が高いため試料径による強度の差は極めて小さくなっており、変動係数も全体的に小さくなっている。石膏キャッピングは一般に人為的誤差は小さく、端面仕上げの精度も高い。試料径 5 cm では、端面成形を行なった供試体の変動係数が石膏キャッピングを行なった供試体のそれと比べて若干大きくなっている。しかし、試料径 10 cm 以上では、両者の差はほとんど認められない。

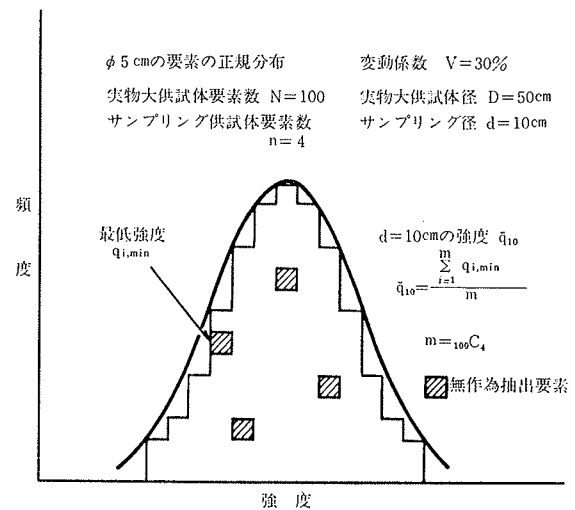
以上の結果から、端面の仕上げの精度がバラツキや試料径の相違による強度変化に及ぼす影響は極めて小さいと考えられ、従ってその主たる要因は前述の(1)あるいは(2)であると考えられる。

#### 4. 確立モデルによる試算検討

材料の破壊に関する確率モデルは種々のものが考えられているが、一般に軟かい粘土のような延性材料では加算的な並列モデルが、岩などの脆性材料では最弱リンクモデルが多用されている。そこで、3章の試験結果およ

び理由(1), (2)を説明するモデルとして、セメント混合固結土を脆性材料と仮定した次のようなモデルを考える。

今、試料径 D の実物大供試体が、N 個の基本となる直径  $\phi$  の要素から成り立っており、これらの要素は変動係数 V に応じた強度のバラツキをもって正規分布しているとする。この時、所要径 d でサンプリングした供試体が、n 個の要素から成り立っており、その供試体の強度は構成している要素の最低強度で支配されるものとする。ここで N, n はそれぞれ、実物大供試体の断面積と要素の断面積の比  $(D/\phi)^2=N$ , サンプリングした供試体の断面積と要素の断面積の比  $(d/\phi)^2=n$  に相当する。



図一4 確率モデルによる計算方法

図一4は、 $D=50\text{ cm}$ ,  $d=10\text{ cm}$ ,  $\phi=5\text{ cm}$ ,  $V=30\%$  として  $N=100$ ,  $n=4$  の場合を例にとって説明したものである。これをプログラム化して、コンピューターで変動係数を  $V=10, 20, 30\%$  とし、サンプリングした供試体径  $d$  を変化させた場合について試算した結果が図一5(a)(b)(c)である。試料径が小さいほど強度のバラツキは大きく、また試料径が大きくなるに従って評価される平均強度が小さくなる傾向は先の実験結果と同様である。また、図一6は、図一5をもとにして各変動係数と得られる平均強度をまとめたものであるが、変動係数が大きいほど試料径の増大に伴って強度比  $q_u/q_{u5}$  は小さくなる。

また、図一6中には先の実験結果の平均値も書き加えている。両者を対比してみると確率モデルは試験結果と同様な傾向を示しているが、強度を少し低めに評価していることがわかる。これは、セメント混合固結土を岩などと同様な脆性材料と仮定して最弱リンクモデルを用いたことに原因があると考えられる。固結土を完全な脆性材料ではなく、延性材料的な性質も持つ新たな確率モデルを考える必要がある。

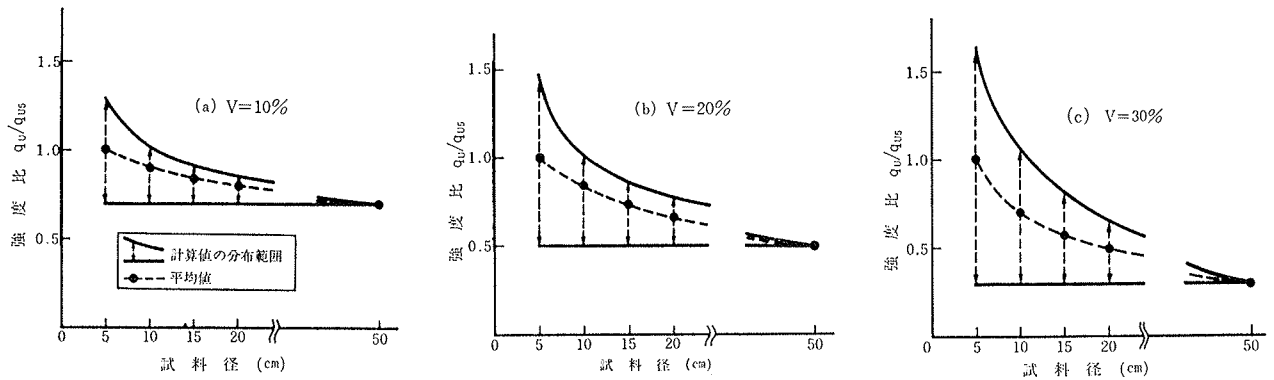


図-5 確率モデルによる計算結果

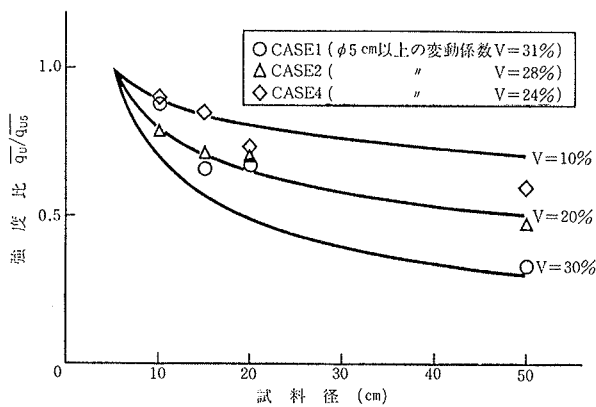


図-6 試算結果と試験結果の比較

### 5. あとがき

均質性を変えた径 50 cm のモデル混合固結体からサンプリングした供試体径 3.5~50cm の試料を用いて、その試料径が強度評価に及ぼす影響について調査し、確率モデルを用いて解析を行ない以下のような結果を得た。

(1) 不均質な固結土からサンプリングされた試料の強度は、試料径が大きくなるに従ってバラツキは小さくなるが、その平均強度も小さくなり実物大供試体の強度に収束する。

(2) 不均質な固結土ほどサンプリングされた試料の強度のバラツキは大きく、平均強度は小さくなる。

(3) 最弱リンクモデルにおいて、強度のバラツキ具合を変動係数で表すことにより、上記の実験結果をかなりよく説明することができる。

以上のことより、現在多く使われているサンプリング

試料径 5 cm 程度の供試体から得た平均強度をそのまま設計強度にとることは、固結土が不均質になるほど実際の固結体の強度を高め評価することになり問題である。

ところで、本文は  $\phi 50$  cm のモデル混合実験によりサンプリング径の問題を取扱っただけであるが、現場混合固結土をサンプリングによって強度評価する場合、

- (1) サンプリング位置をどう選ぶか
  - (2) サンプリング個数はどの程度が妥当か
  - (3) ボーリングコアの試料採取率の相違をどう評価するか
  - (4) 試験用の供試体に選ばれない不良部分をどう評価するか
- など、今後解決すべき課題は多い。

### 参考文献

- 1) 例えば、山本、他：セメント処理土における供試体寸法が一軸圧縮強度に及ぼす影響、第17回土質工学研究発表会発表講演集、(1982)、pp. 1721~1724
- 2) 例えば、家田、他：セメント系安定処理剤を用いた深層混合処理工法現場混合実験(そのII)、第13回土質工学研究発表会講演集、(1978)、pp. 1413~1416
- 3) 本城、他：確率モデルを用いた不均質地盤のせん断強さ評価方法(1)、第15回土質工学研究発表会発表講演集、(1980)、pp. 1721~1724
- 4) 斎藤、他：深層混合処理工法について(その2)、大林組技術研究所報、No. 22、(1981)、pp. 111~114
- 5) 樋口、他：コンクリート工学(I) 施工、p. 258