

管中混合固化処理工法を想定したセメント改良土の力学挙動に与えるセメント添加量の影響

セメント安定処理, 骨格構造, 弾塑性力学 名古屋大学 学生会員 ○依田 広貴, 堀内 俊輔, 笹山 哲司
国際会員 中野 正樹, 山田正太郎

1. はじめに

別報¹⁾では, セメント改良土に対し標準圧密試験および三軸試験を実施すると共に, SYS Cam-clay model によってその再現を試みた。その結果, セメント改良土の力学挙動が, 人工的な構造の高位化と疑似的な過圧密度化がもたらされた土としておおよそ再現できることを示した。本報では, この結果を踏まえた上で, セメント添加量の違いによって, セメント改良土の力学挙動がどのように変化するか実験的に調べると共に, その違いを骨格構造概念を有する弾塑性力学に基づいて説明することを試みる。

表-1 セメント改良土の配合条件

	浚渫土含水比 w_0 [%]	セメント添加量 C [kg/m ³]	水セメント比 W/C
セメント改良土	120	30	25.23
		50	14.98
		70	10.63

2. セメント改良土の配合条件

表-1 にセメント改良土の配合条件を示す。本研究では管中混合固化処理工法を想定しているため, 流動性および強度の確保を考慮した含水比 $w=120\%$, セメント添加量 $C=30, 50, 70\text{kg/m}^3$ なる配合条件でセメント改良土を作製した。

3. セメント改良土の弾塑性パラメータに与えるセメント添加量の影響

別報では, セメント改良土の力学挙動を再現する際, 一旦セメント添加を受けると, その土は母材とは異なる土になるとの考え方から, 固化したセメント改良土を練り返すことによって弾塑性パラメータを求めた。本報ではこの結果を踏まえて, セメント添加量の違いによって弾塑性パラメータがどのように変化するか, 標準圧密試験および三軸試験によって調べた。

図-1 に練り返されたセメント改良土の標準圧密試験結果を示す。全ての添加量において比較的直線的な挙動が見られ, 概ね練返し正規圧密土の挙動であると言える。また, セメント添加量が増加するほど圧縮線の傾き λ および正規圧密線の切片 N の値が大きくなる傾向が見られる。これらのことから, 練返し正規圧密線はセメント添加量の違いに応じて異なることがわかる。図-2 に練り返されたセメント改良土の非排水せん断試験結果を示す。いずれのセメント添加量においても, 概ね練返し正規圧密土の挙動が見られる。また, セメント添加量の違いは限界状態定数 M には大きな変化を与えないことがわかる。表-2 の中にこれらの実験結果から決めた弾塑性パラメータを示す。本研究では上記の実験結果を踏まえて, セメント添加量の違いに応じて異なる弾塑性パラメータを与えた。セメント添加量の違いは, 特に練返し正規圧密線の切片 N および傾き λ に現れると言える。

4. 構造の発達程度および過圧密比に与えるセメント添加量の影響

図-3 にセメント改良土の標準圧密試験結果と SYS Cam-clay model によるその再現結果を示す。図-3 (A) より, セメント添加量が増加するほど圧密降伏応力が大きくなることが分かる。また, いずれも圧密降伏応力を超えると高い圧縮性を示す傾向が見られる。図-1 と比較すると, いずれの添加量においても, セメント添加量により, 構造の高位化がもたらされたと考えられる。また,

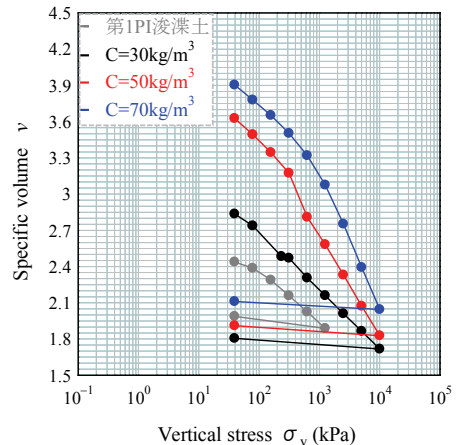


図-1 標準圧密試験結果

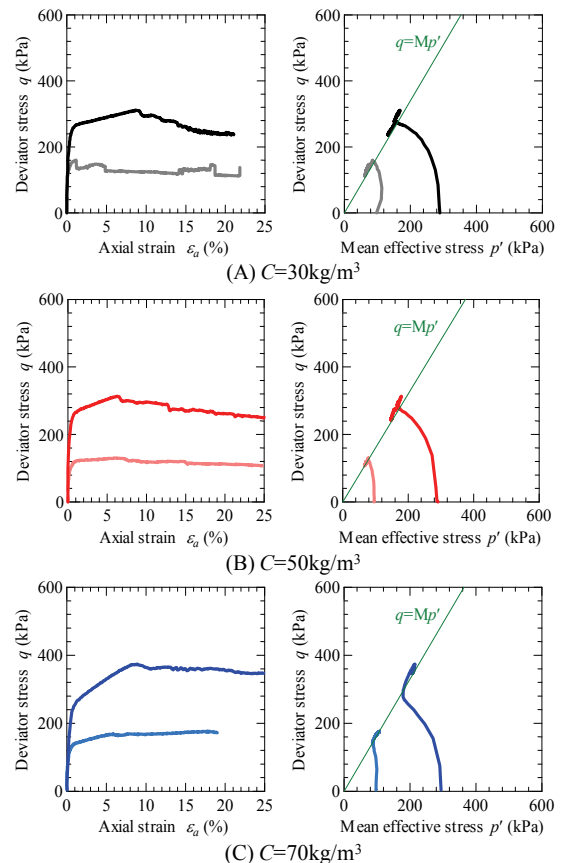


図-2 練り返されたセメント改良土の非排水せん断挙動

セメント添加量が増すほど圧密降伏応力が大きくなること分かる。図-3(B)より、SYS Cam-clay model はこれらの傾向を概ね再現できているといえる。ただし、セメント添加量 $C=30\text{kg/m}^3$ に関しては、解析の方が、圧縮線が低い位置にあるが、別途行った他の浚渫土を用いた実験結果と比較した結果、実験において比体積が少し大きく出てしまったためであると考えている。

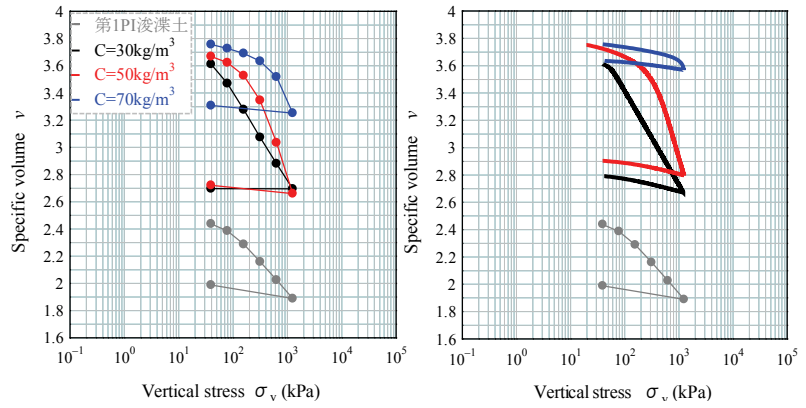


図-3 セメント改良土の一次元圧縮挙動と SYS Cam-clay model によるその再現

図-4 にセメント改良土の非排水せん断試験結果と SYS Cam-clay model によるその再現結果

を示す。まず、実験結果に着目すると、図-4(A)では、塑性圧縮を伴う軟化が見られることから、セメント改良土は高位な構造を有していると見做すことができる。

表-2 材料定数と初期値

弾塑性パラメータ	処理土			
	C=30kg/m ³	C=50kg/m ³	C=70kg/m ³	
固相材添加量	98.1kPa	98.1kPa	98.1kPa	
拘束圧	98.1kPa	98.1kPa	98.1kPa	
圧縮指数	λ	0.212	0.363	0.511
膨潤指数	κ	0.050	0.050	0.030
限界状態定数	M	1.700	1.600	1.650
NCLの切片	N	2.700	3.400	4.200
ポアソン比	ν	0.300	0.300	0.300
発展則パラメータ				
正規圧密化指数	m	0.01	0.6	5.0
構造劣化指数	a	0.25	0.6	1.5
	b	1.0	1.0	1.0
	c	1.0	1.0	1.0
塑性せん断：塑性圧縮	e_c	0.2	0.5	0.1
回転硬化指数	b_r	0.001	0.001	0.001
回転硬化限界定数	m_b	0.5	0.5	0.5
初期値				
過圧密比	$1/R_0$	1.025	20.933	63.753
構造の程度	$1/R_0^*$	260	10	5
鉛直応力	σ_v	19.62	19.62	19.62
比体積	v_0	3.938	3.753	3.798
応力比	η_0	0	0	0
初期異方性	ζ_0	0	0	0

図-4(B)では、低い拘束圧では巻き返し挙動を示すが、拘束圧を上げると巻き返さずに軟化することから、初期に過圧密な状態にあることも分かる。また、図-4(C)では、塑性膨張を伴う硬化挙動ははっきりと見られることから、 $C=70\text{kg/m}^3$ は過圧密比の高い状態にあることが分かる。解析結果に目を移してみると、SYS Cam-clay model はこれらの挙動を概ね再現している。ただし、 $C=70\text{kg/m}^3$ ではテンションカットオフライン ($q=3p'$) に有効応力が達しているが、解析結果はこのような高い応力比に達していない。

表-2 に解析に用いた SYS Cam-clay model の材料定数と初期値を示す。まず、いずれの改良土においてもセメント添加によって人工的な構造の高位化と疑似的な過圧密化がもたらされていることが見て取れる。また、セメント添加量の増加によって過圧密比が増加することが分かる。一方で、構造の発達程度はセメント添加量の増加によって逆に低下していることがわかる。これは、今回の配合条件では浚渫土の含水比を一定にした結果、セメント添加量が大きくなるほど、水セメント比が小さくなっていることに対応していると考えられる。

5. まとめ

セメント添加量の違いによるセメント改良土の力学挙動の変化を、実験結果および骨格構造概念を有する弾塑性構成式 SYS Cam-clay model に基づいて説明することを試みた。その結果、セメント添加量が多くなるほど繰返し正規圧密線の切片 N および傾き λ が大きくなることが分かった。また、セメント添加量の違いは過圧密比の違いに反映されやすく、一方で水セメント比の違いは構造の発達程度に反映されやすいことが分かった。

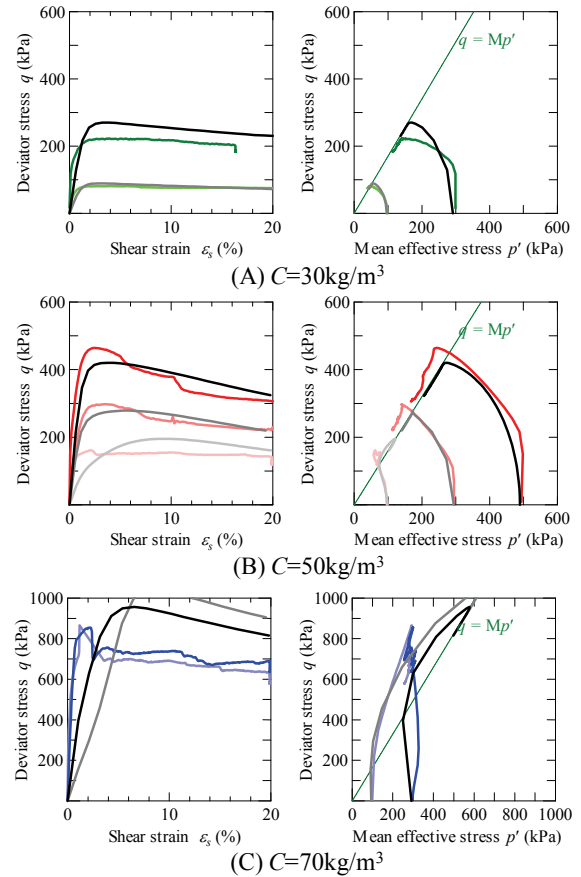


図-4 セメント改良土の非排水せん断挙動と SYS Cam-clay model によるその再現