

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009年～2010年度

課題番号：21760368

研究課題名（和文） 微視的構造の変化が流動化処理土とセメント改良土の強度・局所変形特性に及ぼす影響

研究課題名（英文） Effect of micro structural change on strength and deformation properties of liquefied stabilized soil and cement treated soil

研究代表者

堤 千花 (TSUTSUMI YUKIKA)

東京大学・生産技術研究所・技術職員

研究者番号：20396914

研究成果の概要（和文）：外部からの応力による流動化処理土（建設発生土にセメントなどの固化材と水を混合した改良土）やセメント改良土の微視的な構造（セメントによる土粒子間の結合構造）の変化が、これらの改良土の強度・変形特性に及ぼす影響について検討するための力学試験や顕微鏡観察を実施した。セメント固化による改良強度と微視的構造、改良土に与えた初期応力の大きさとの関係に応じて、改良土の最大強度、残留強度や変形形態が異なることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Effect of micro structural change due to application of stress on strength and deformation properties of liquefied stabilized soil* and cement treated soil was investigated by conducting mechanical tests and microscopic observations. It was clarified that strength and deformation properties depended on a relationship between the strength of cement treated soil that has been derived from the stabilization of the original soil, its micro structure, and initial stress state.

* A kind of cement treated soil which is a mixture of construction generated soil, cement and water.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：流動化処理土、セメント改良土、微視的構造、強度・局所変形特性、拘束圧

1. 研究開始当初の背景

建設リサイクル法の制定や廃棄物処理法の改正などによる社会的な時流により、近年我が国では建設発生土の有効利用の必要性が高まっている。この対策の一つとして、セメントや泥水を混ぜた建設発生土を地盤材料として再利用する流動化処理工法が挙げられる。しかし発生土の土質の違いによって

一定の品質・性能を確保することが困難であるために力学特性が明確でないこと、固化改良土特有の脆性破壊形態をとる性状に起因した地震時安定性や長期強度特性などが未解明なため、用途範囲が限られているのが現状である。

これまでのセメント系改良土の既往の研究により、流動化処理土の力学特性は、セメ

ント混入量が多く締め固めや攪拌混合により施工される改良土（以降「セメント改良土」と称する）の力学特性と類似点が多いとされている一方で、いくつかの相違点も指摘されている。従って、適用事例や母材の性質の異なる流動化処理土の設計・施工にあたっては実験や解析等による追加検討が必要な場合が多く、このことが流動化処理土の適用範囲を狭める一因となっているものと考えられる。

重ねて、流動化処理土と比較して研究事例の多いセメント改良土においても、拘束圧や繰返し載荷などの応力履歴が強度変形特性に与える影響について、改良土特有の微視的な構造までを対象とした詳細な分析は非常に限られているのが現状である。

2. 研究の目的

そこで本研究では、流動化処理土およびセメント改良土において、異なる拘束圧下での強度特性と局所変形挙動との関係を対象として系統的で高精度な実験を実施し、さらにセメントと母材の構造を微視的に観察することでそれらの因果関係までを明らかにし、次の二点の達成を試みることを目的とした。

- (1) 流動化処理工法の建設現場での適用範囲を拡大し、建設発生土の利用促進を図る。
- (2) 母材、セメント添加量や固化工法の異なるセメント系改良土全般の強度変形特性を微視的なセメント構造の変化と応力状態との関係によって系統的に説明する。

3. 研究の方法

- (1) 巨視的な局所変形挙動の把握のための画像解析システムの構築

高解像度のデジタルカメラと、その解析に十分な機能を有する高機能の画像解析ソフトを組み合わせることでより高精度な画像解析システムを構築し、(2)の力学試験装置と連動させた。

- (2) 力学試験の実施

実際の建設発生土を母材とする低強度の流動化処理土と、浚渫粘土に多量のセメントを添加して高強度化したセメント改良粘土について、中圧（2.5 MPa）程度までの異なる拘束圧における排水三軸圧縮試験を実施した。

- (3) 微視的構造の観察

X線回折成分分析機能付き走査電子顕微鏡とデジタルマイクロスコプを用い、試験前と試験中の任意の段階での各試料、既往データのある各種材料の微視的観察を行った。

- (4) 既往の研究結果との比較およびとりまとめ

(1)～(3)により得られた試験結果と既往の関連研究をもとに、微視的構造の変化が流動化処理土とセメント改良土の強度・局所変形特性に及ぼす影響についてまとめた。

4. 研究成果

- (1) 異なる拘束圧下における流動化処理土の強度変形特性と微視的構造の変化

流動化処理土は5 mm以上の礫を取り除いた礫混じり砂質粘土に水と一般軟弱土用固化材を50 kg/m³で添加（外割り）し、コンテナにポンプ圧送して作成した。一軸圧縮強度 q_u は82 kPaであった。ダイヤモンドカッターにより矩形の供試体を成形し、試験を実施した。

等方圧密における体積変化を図1、排水三軸圧縮試験における応力ひずみ関係を図2、有効応力経路を図3、試験終了後の供試体側面の最大せん断ひずみ分布を図4、走査電子顕微鏡による微視的構造の観察結果を図5にそれぞれ示す。

平均有効主応力 p' あるいは最大主応力 σ_1' が固化改良による見かけの圧密降伏応力 p_c または q_u を超えると、強度変形特性が異なる傾向を示した。

- ① p_c や q_u よりも十分に低い拘束圧下における強度変形特性（CD-1、CD-2）

偏差応力 q の増加によるせん断変形が p' の増加による圧縮変形よりも顕著であったと考えられる（図3）。

微視的な構造（セメント水和物の針状結晶による土粒子間の結合、図5 a）のせん断により、特に土粒子間の結合の脆弱な部分の破壊が帯状に繋がっていくつかのせん断層が形成され（図4 a）、これに沿ったひずみ軟化挙動によって偏差応力は最大値から残留値に低下した（図2）。

このような局所変形挙動が卓越した場合、偏差応力の減少によって載荷応力が除荷されるため、せん断層に含まれない部分では微視的な構造は大きな損傷を受けなかった（図5 b））。

- ② p_c や q_u よりも十分に高い拘束圧下における強度変形特性（CD-5からCD-8）

等方圧密による体積変化が顕著になり、供試体は均一に密実化した（図1、図5 d））。

拘束圧依存性を示し、任意のひずみにおける偏差応力は高拘束圧下ほど高くなった（図2、図3）。

高拘束圧下ほど鉛直圧縮方向のみに均一に変形し、局所変形挙動が見られなくなった（図4 d）、e））。

③ p_c や q_u に近い拘束圧下における強度変形特性 (CD-3, CD-4)

p' の増加による圧縮変形が q の増加によるせん断変形と同等の大きさであったと考えられる (図 3)。せん断によるひずみの局所化領域 (図 4 b), c) は②の等方圧密で見られた供試体全体の均一な圧縮により密実化された可能性が考えられる。

このため、ひずみの局所化領域においても強度が回復あるいは増加し、偏差応力が単調増加したものと考えられる (図 2)。

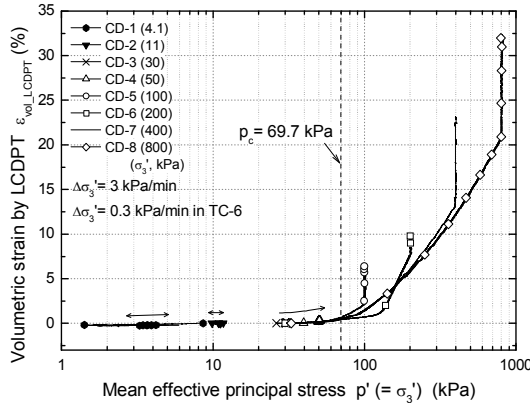


図 1 等方圧密における体積変化

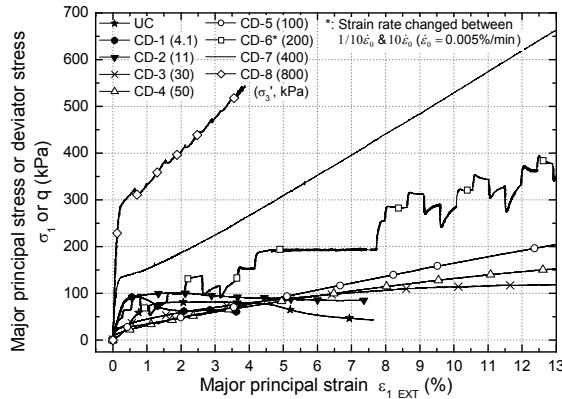


図 2 応力ひずみ関係

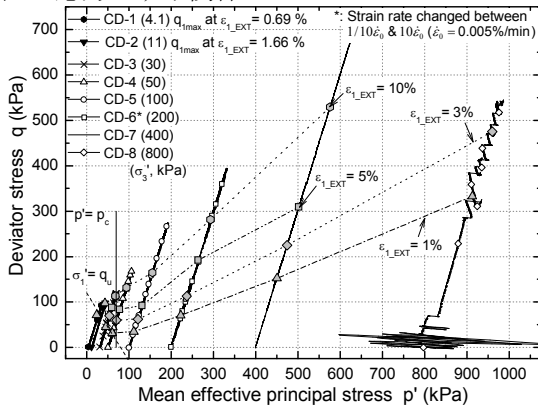


図 3 有効応力経路

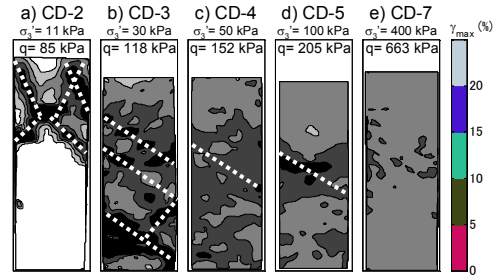


図 4 最大せん断ひずみ分布

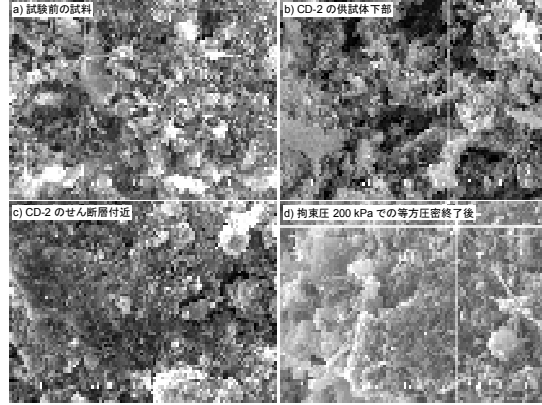


図 5 微視的構造の観察結果

(2) 異なる拘束圧下におけるセメント改良粘土の強度変形特性と微視的構造の変化

セメント改良粘土の供試体は、液性限界まで含水比を調整した浚渫粘土に水セメント比を 80% とした高炉 B 種セメントスラリーを混合し、モールドに打設して作成した。セメント添加量は 300 kg/m^3 であり、一軸圧縮強度 q_u は 5.1 MPa であった。

等方圧密における体積変化を図 6、三軸圧縮試験における応力ひずみ関係を図 7、有効応力経路を図 8、試験終了後の供試体側面の最大せん断ひずみ分布を図 9、走査電子顕微鏡による微視的構造の観察結果を図 10 にそれぞれ示す。

微視的な構造はモノサルフェート水和物 (水和反応が針状結晶からより進行したもの) や綿密な糸状の結晶などセメント水和物が主体であり、流動化処理土と比較して密であった (図 10 a)。

一軸圧縮強度を下回る拘束圧下では当方圧密による体積変化はほとんど生じなかった (図 6)。

流動化処理土と同様に、 σ_1' が q_u を超える境界線を基準として強度変形特性を整理した。

① p_c や q_u よりも十分に低い拘束圧下における強度変形特性 (TC-6, TC-2, TC-3) 流動化処理土と同様に q の増加によるせん断変形が微視的な構造の脆弱な部分で卓越し、せん断層が形成された (図 9 a), b), 図 10 b)。せん断層に沿ったひずみ軟化挙動

によって偏差応力は最大値から残留値に低下した (図 7)。

② p_c や q_u に近い拘束圧下における強度変形特性 (TC-5, TC-4, TC-1)

複数のせん断層やひずみの局所化領域が現れ、それ以外の部分のせん断ひずみの蓄積量や微視的な構造の損傷も大きかった (図 9 c), d), 図 10 c), d))。

一方、 σ_1' が q_u を超える境界線を越えても初期剛性の低下は顕著でなく、偏差応力も増加し続けた (図 7, 図 8)。

p' の増加による圧縮変形が微視的な構造に与えた影響は、流動化処理土で見られたものと異なった可能性が考えられるが、本研究の範囲内ではこれを明らかにすることができなかった。

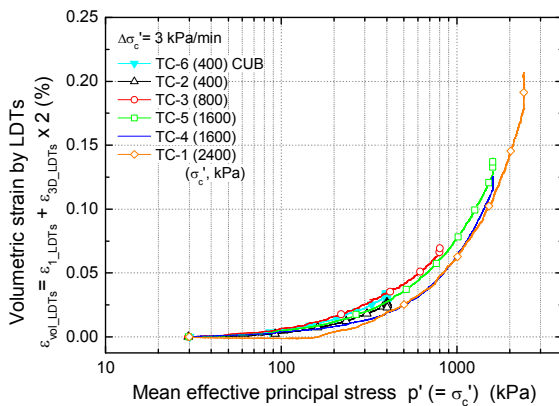


図 6 等方圧密における体積変化

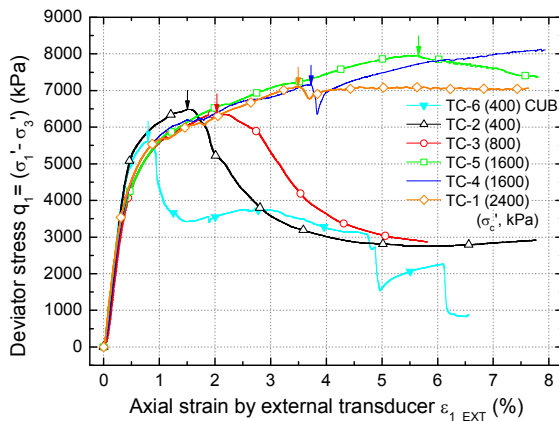


図 7 応力ひずみ関係

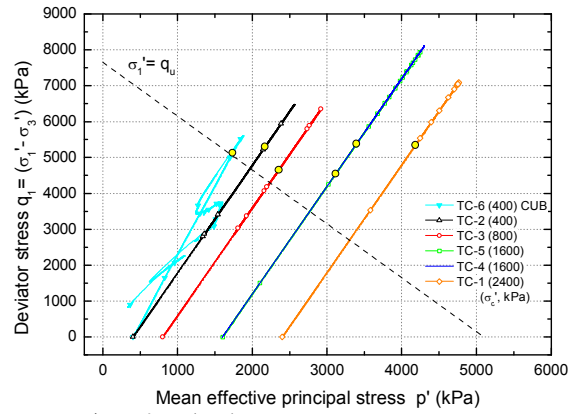


図 8 有効応力経路

a) TC-6 ($\sigma_c' = 400$ kPa) $\epsilon_{1,EXT} 4.88\%$ b) TC-3 (800 kPa) $\epsilon_{1,EXT} 5.49\%$ c) TC-5 (1600 kPa) $\epsilon_{1,EXT} 7.78\%$ d) TC-1 (2400 kPa) $\epsilon_{1,EXT} 7.60\%$ $\gamma (\%)$

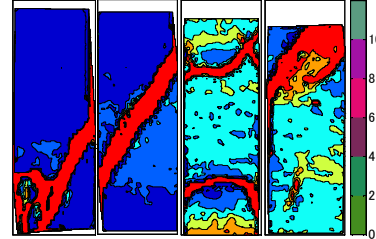


図 9 最大せん断ひずみ分布

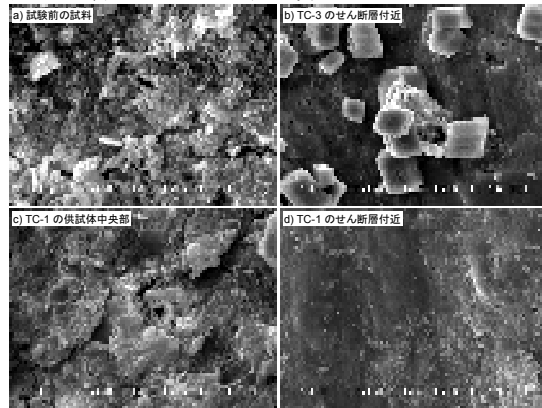


図 10 微視的構造の観察結果

(3) 今後の展望

セメント改良土の既往の研究^{1), 2)}などにおいても、本研究の流動化処理土で得られたものと同様の傾向が現れたことが報告されている。しかし本研究のセメント改良粘土のように、セメント添加量が多くセメント水和物を主体とする微視的構造を持った改良土についての地盤工学の分野における研究は、研究代表者には見つけることができなかった。

本研究の流動化処理土とセメント改良粘土に見られた強度特性の相違を明らかにするためには、以下の検討を今後行うことが考えられる。

- ① 多量のセメントを混合したセメント改良砂について、異なる拘束圧下での強度変形特性を同様の手法で検討する。
- ② セメント水和物の力学特性について、コンクリート工学における既往の研究を

参考にしながら検討する。

(4) 参考文献

- ① Kasama, K., Zen, K. and Iwataki, K. Undrained shear strength of cement-treated soils, Soils and Foundations, Vol. 46, No. 2, 221-232, 2006
- ② 小林晃, 龍岡丈夫, セメント混合により改良した飽和軟弱粘性土の強度変形特性 I ~ VII, 生産研究第 34 巻, 1982

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 6 件)

- ① Y. Tsutsumi, J. Koseki and Y. Mohri, Triaxial tests on stabilized clayey soil under different confining stresses, the 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2011/5/23, Hong Kong
- ② 堤千花、古関潤一、鬼丸貞友、異なる拘束圧下での三軸圧縮試験における高強度改良粘土の局所変形挙動、第 65 回土木学会年次学術講演会、2010/9/3、札幌
- ③ 堤千花、古関潤一、鬼丸貞友、異なる拘束圧下における粘性土の高強度改良土の力学特性、第 45 回地盤工学研究発表会、2010/8/18、松山
- ④ 堤千花、古関潤一、佐藤剛司、平面ひずみ圧縮試験に適用した画像解析システムの精度検証、第 6 回地盤工学会関東支部発表会、2009/11/13、栃木
- ⑤ 堤千花、古関潤一、佐藤剛司、毛利栄征、異なる拘束圧下での三軸圧縮試験における流動化処理土の局所変形挙動、土木学会第 64 回年次学術講演会、2009/9/2、福岡
- ⑥ 堤千花、古関潤一、佐藤剛司、毛利栄征、異なる拘束圧下における圧密が流動化処理土の破壊形態に与える影響、第 44 回地盤工学研究発表会、2009/8/19、横浜

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堤千花 (TSUTSUMI YUKIKA)
東京大学・生産技術研究所・技術職員
研究者番号：20396914

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

