

セメント改良砂の強度特性の異方性に関する実験的研究

Experimental study on anisotropy of strength characteristics of cement treated sand

西本 亨*・古関 潤一**・佐藤 剛司**

Tohru NISHIMOTO, Junichi KOSEKI and Takeshi SATO

1. はじめに

砂地盤の地震時液状化対策としてのセメント改良固化処理工法で、図1に示すような壁状改良（あるいはこれを組み合わせた格子状改良）を行った場合、地震時水平慣性力が作用すると曲げ引張破壊を起こす可能性がある。そのため、セメント改良砂の引張強度特性について、試験方法を含め様々な見地から研究を行ってきた^{1,2,3)}。

上記のようなセメント改良固化処理において、施工方法等に起因する改良体の弱層が存在する場合には、そこで破壊を生じることが懸念される。これは、液状化対策効果を低減し、また重要構造物の基礎として使用するにあたり大きな問題となる。このような弱層が存在すると強度特性は異方性を示すと考えられるが、この点については十分な研究が行われていない。

以上の背景のもとで、本研究では、図2のように角度を

変えた供試体を用いて強度特性の異方性を調べる方法を新たに開発した。この方法を用いて、セメント改良砂の室内作製試料を対象に、一軸圧縮・引張試験と割裂試験を行った結果を報告する。

2. 供試体作製方法

試料には豊浦砂、普通ポルトランドセメント、ペントナイト、蒸留水をそれぞれ66.3, 10, 5, 18.7%の質量配合比で攪拌混合したものをを用いた。

1回の作製で3種類の試験を行えるように、写真1に示す傾斜モールドを新規に製作して使用した。図3のようにランマーによる突固めを10層～17層に分けて行い、締固めエネルギーを深さ方向に調整することで均質な供試体作製を試みた。本研究ではこの突固め層の境界面（以下では堆積面と称す）が弱層となる可能性がある。

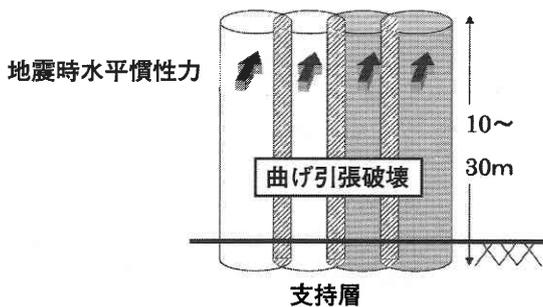


図1 原位置でのセメント改良土の曲げ引張破壊

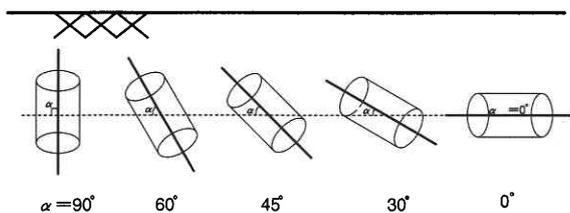
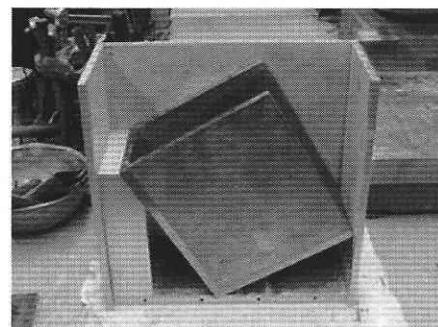
図2 軸方向の角度 α を変えた供試体

写真1 傾斜モールド

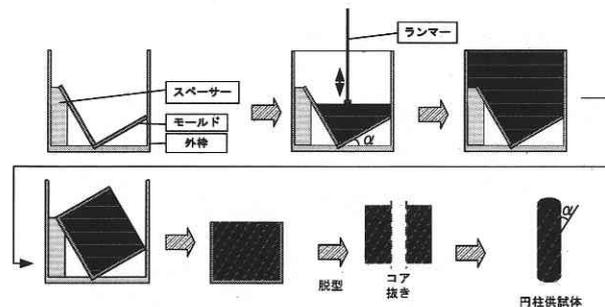


図3 供試体作製の模式図

*芝浦工業大学大学院 工学研究科

**東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門

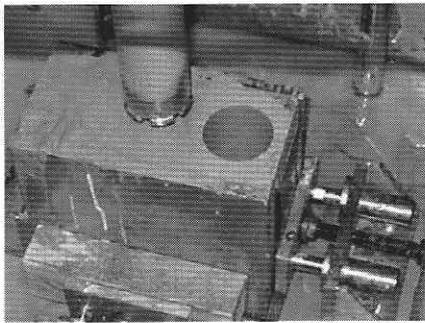


写真2 コア抜き時の供試体状況

供試体の軸方向と堆積面のなす角 α が 0° , 30° , 45° , 60° または 90° になるようにモールドの傾斜を変えて作製した試料から、新規製作した高精度の試料成形装置を用いて写真2に示すように直径5 cmのコア抜きを行った。

試料打設後に水中密封養生を3日間行い、脱型後に再び同じ条件で3日間養生し、さらにコア抜き後に真空水中養生を1日間行ってから、各試験を行った。

3. 試験装置および試験方法

一軸圧縮試験は直径5 cm, 高さ10 cmの円柱形供試体を用いて行った。

一軸引張試験では、供試体の中央付近で引張破壊を起こさせるために、図4と写真3に示すように中央高さ断面付近を絞った形状にして、その部分でL.D.T. (局所変位測定装置) とひずみゲージによる局所変位計測を行った。試験装置は従来の三軸圧縮試験装置に改良を加えたもので、キャップとペDESTALに石膏を流し込める凹型ホルダーを使用し、石膏により供試体端面と側面の一部を固定して、引張荷重を加えた。また、载荷軸との接続部分にはユニバーサルジョイントを用いて、供試体に曲げモーメントが作用しないようにした。

割裂試験では、直径5 cm, 厚さ5 cmの円柱形供試体を用いて、堆積面に対して破壊面が角度 α で交わるようにした異方性測定用試験と、堆積面に対して常に直角に引張破壊を起こさせる等方性確認用試験とを行った。以下ではそれぞれ異方割裂, 等方割裂試験と称する。 $\alpha = 90^\circ$ の場合には両者は同条件となり、また、このときの堆積面と破壊面の関係は $\alpha = 0^\circ$ の場合の一軸引張試験と対応することになる。図5に異方割裂試験, および等方割裂試験の供試体模式図を示す。

载荷速度は、一軸圧縮試験と一軸引張試験では0.005 % /min とし、割裂試験は0.025 mm/min とした。

4. 一軸圧縮試験結果

図6に一軸圧縮試験の結果を示す。一軸圧縮強度は2000 ~ 2500 kPaの範囲でばらつき、 $\alpha = 30^\circ$ および 45° の場合に大きめの圧縮強度が得られた。ただし、本研究において

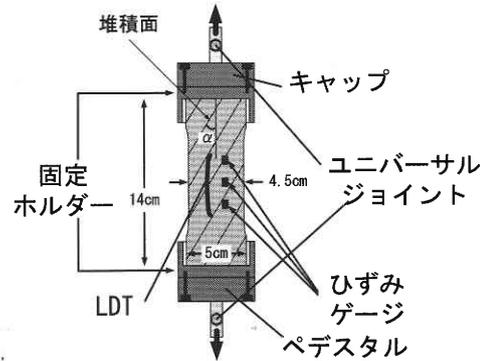


図4 一軸引張試験の模式図

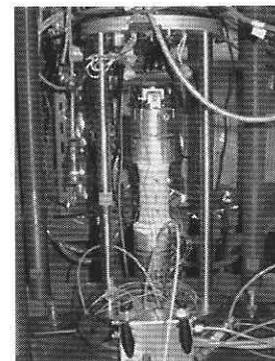
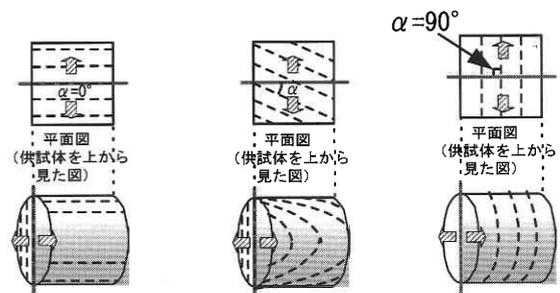
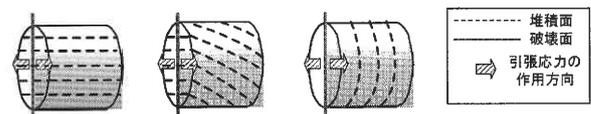


写真3 一軸引張試験装置



(a) 異方割裂試験の供試体



(b) 等方割裂試験の供試体

図5 割裂試験の供試体模式図

は供試体作製に大型のモールドを用いたため、単位体積あたりの締め固めエネルギーを既往の研究¹⁾よりも小さくせざるを得なかった。その結果、供試体の密度分布を一様にするのが必ずしも十分には行えなかった。図中には各供試体の乾燥密度 ρ_d も合わせて示したが、前述した圧縮強度の差はむしろ ρ_d の違いの影響を受けている可能性も考えられる。

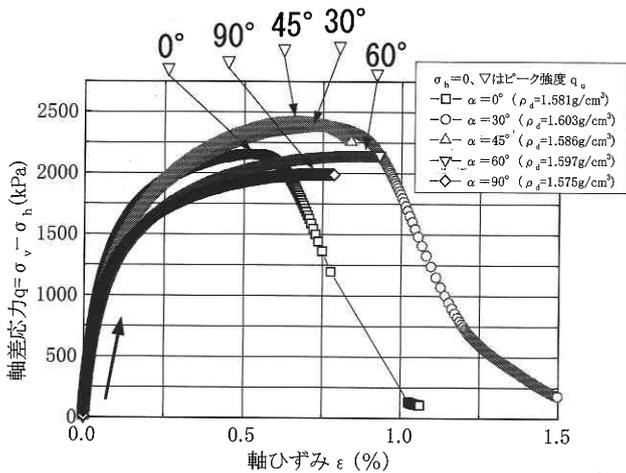


図6 一軸圧縮試験の応力-ひずみ曲線

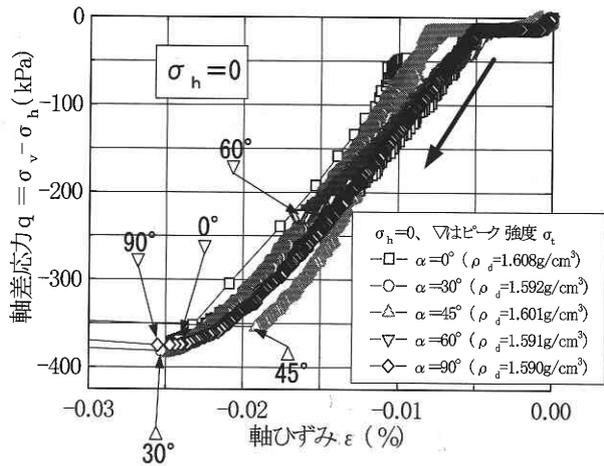


図7 一軸引張試験の応力-ひずみ曲線

なお、 $\alpha = 30^\circ \sim 60^\circ$ で傾斜している供試体の破壊面は必ず堆積面に近い方向に生じており、この点において異方性の影響は無視できないと考える。

5. 一軸引張試験結果

一軸引張試験結果を図7に示す、異方性の影響は明確には見られなかった。一軸引張試験では供試体内に気泡等の弱点があると必ずそこで破壊する影響のほうが支配的となり、異方性の影響が現れにくかったことが考えられる。なお、一部の軸引張試験においては、供試体の固定部付近で破壊を起こすなど破壊性状が安定しなかった。 $\alpha = 60^\circ$ の引張試験の強度が著しく低いのはその影響であると考えられる。今後は、気泡が生じないように乾燥密度を高めた試験条件での検討を行う必要がある。

6. 割裂試験結果

図8～図11に、割裂試験における引張応力 σ と見かけのひずみ ϵ の関係を示す。 σ は鉛直荷重 P 、供試体の直径 D および厚さ L より $\sigma = 2P / (\pi DL)$ として算定した。また、 ϵ は直径 D とその変化量 ΔD から $\epsilon = \Delta D / D$ として算定した。異方割裂試験では同じ角度 α の供試体を複数用いたが、応力-ひずみ関係が大きくばらついた。

図12に2種類の割裂試験で得られた引張強度と前述した一軸引張強度を、それぞれの対応する α に対して示す。等方割裂試験では α によらずほぼ同程度の強度が得られた。異方割裂試験では、角度 α が小さい、つまり堆積面と破壊面の角度差が小さい場合に引張強度が低下する傾向が見られた。

上記の比較において、 $\alpha = 90^\circ$ の異方割裂試験に用いた供試体は養生時間が他より1日近く長かった。そこで、養生時間を168時間に統一する補正を行った結果を図13に示す。異方割裂強度は等方割裂強度をほぼ上限値として、

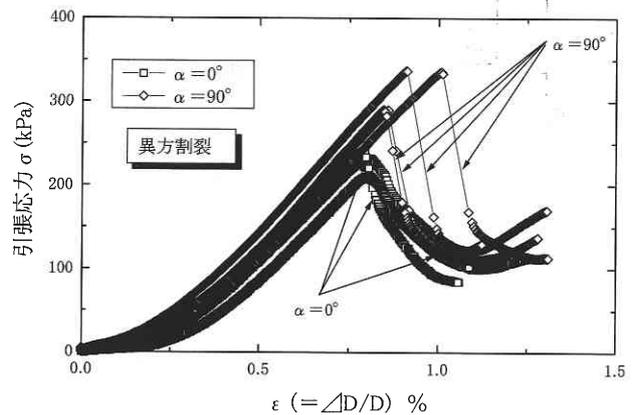


図8 異方割裂試験の応力-ひずみ曲線 ($\alpha = 0^\circ$ および 90°)

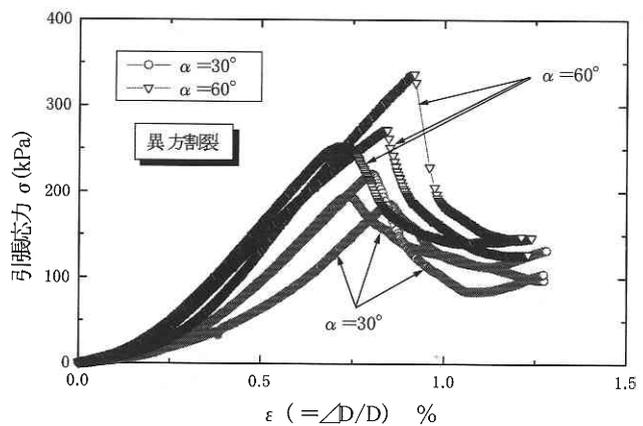


図9 異方割裂試験の応力-ひずみ曲線 ($\alpha = 30^\circ$ および 60°)

α の低下とともに強度が最大2割程度低下した。この傾向は一軸引張試験で得られた傾向とは必ずしも整合しなかった。割裂試験では、一軸引張試験と違って破壊面が限定されるため、前述した気泡等による弱点の影響が現れにくかったことが考えられる。なお、 $\alpha = 60^\circ$ の試験結果の1つ

研究速報

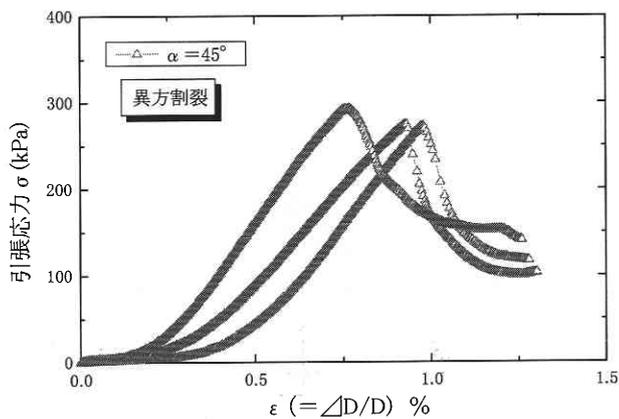


図10 異方割裂試験の応力-ひずみ曲線 ($\alpha = 45^\circ$)

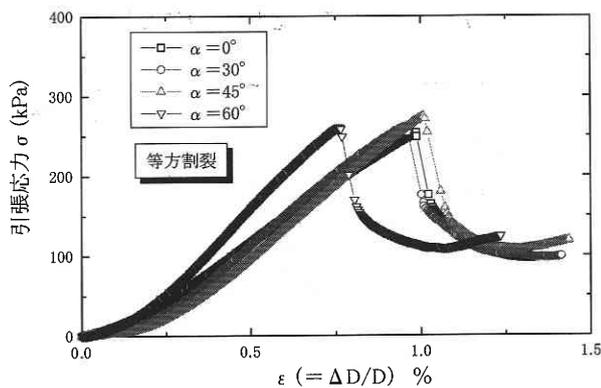


図11 等方割裂試験の応力-ひずみ曲線

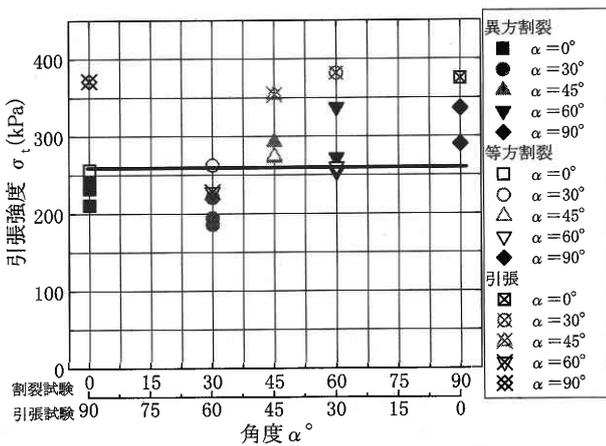


図12 各試験による引張強度と対応する角度 α の関係

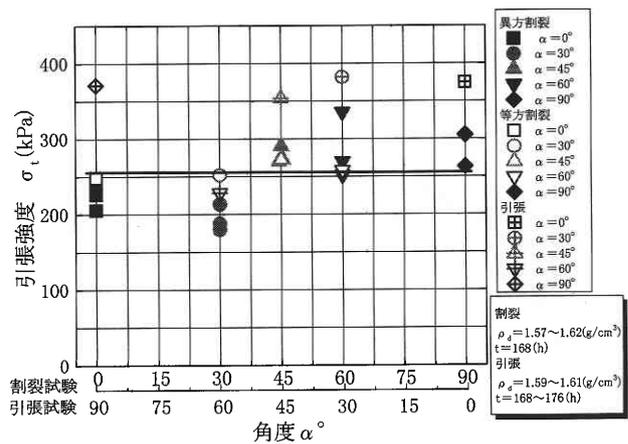


図13 各試験による引張強度と対応する角度 α の関係(養生補正後)

い $\alpha = 60^\circ$ の場合を除く各試験では、一軸引張強度が割裂強度を大きく上回った。これは、セメント改良砂においては、割裂試験のような間接的に引張強度を求める方法よりも、直接的な一軸引張試験の方が合理的に強度評価を行えることを示している。

7. ま と め

本研究で用いた室内作製試料では、異方割裂試験における割裂強度が軸方向の角度 α に依存する傾向が見られた。一方、一軸引張強度と圧縮強度には明確な異方性は見られなかった。今後は、より高い乾燥密度の供試体を用いて、気泡の影響が生じにくい条件で同様な検討を実施する必要がある。

謝 辞

研究全般にわたり芝浦工業大学の足立格一郎教授より貴重なご意見を頂戴した。また、供試体作成方法について銭高組の三平伸吾氏のご教示を受けた。ここに記して深謝の意を表す。

(2004年3月25日受理)

参 考 文 献

- 1) 三平伸吾ら：セメント改良砂の変形・強度特性に関する三軸圧縮・引張試験，第38回地盤工学研究発表会講演集，2003。
- 2) 吉澤睦博ら：セメント改良土の引張り試験体の形状の解析的検討，第38回地盤工学研究発表会講演集，2003。
- 3) 古関潤一，佐藤剛司：セメント改良土の引張強度特性，生産研究，Vol. 53, Nos. 11-12, 2001。

で大きな強度が得られたのは、他に比べ乾燥密度が高かったことが原因として考えられる。

また、図12および図13より、一軸引張強度が著しく低