

木曽川下流域の沖積粘土の力学特性

粘性土 力学特性 過圧密粘土

名城大学

国際会員 小高 猛司・崔 瑛

名城大学大学院

学生会員 ○高木 竜二

中部土質試験協同組合

正会員 久保 裕一

1. はじめに

2011 年東日本大震災では、利根川流域の旧河道の埋め立て地や東京湾岸の比較的若齢の埋立地で液状化の被害が顕著であったが、南海トラフ巨大地震においても同種の被災が懸念される。現在、地盤工学会中部支部の南海トラフ巨大地震中部地域地盤災害研究委員会（委員長：野田利弘（名大））の WG（WG 長：杉井俊夫（中部大））活動の一環で、木曽川河口域の旧河道埋立地にて地盤調査を実施し、液状化の危険性を検討している^{1)~3)}。本報では、その調査の一環で、沖積砂層下部に堆積する沖積粘性土の力学特性について検討した結果を示す。時刻歴有効応力解析によって上部砂層の液状化を詳細に検討するためには、下部粘性土地盤の適正な評価が不可欠と考えている。具体的には、チューブサンプリングをした乱れの少ない試料を用いて三軸圧縮試験、一軸圧縮試験、圧密試験を実施するとともに、再構成試料を用いた三軸試験も実施し、現地盤粘性土の力学特性について考察した。

2. 地盤調査および室内試験

旧河道埋立地においてボーリング調査を実施するとともに、不攪乱試料のサンプリングを行った。柱状図ならびに標準貫入試験と PS 検層結果を図 1 に示す。3.3m 付近までが盛土と旧河道の埋め土であり、その下深度 13.7m 付近までが沖積砂層であった。埋め土層において N 値が大きく減少したのちに、その下の沖積砂層で一旦 N 値が上昇し、再度やや減少している。また N 値が急激に低下する 10.8m 付近からはシルトが混ざり始め、さらにその下は N 値の低いシルト分の多い粘性土層が深く堆積している。S 波速度は、埋め土層と沖積砂層において明確な差は認められなかったが、深くなるに従い、徐々に減少している。本報では、深度 14m 以深の粘性土層を対象に室内試験を実施した結果を示す。

図 2 に一軸圧縮試験の試験結果を示す。一軸圧縮試験には 14.5m-15.5m の試料を用いて、シンウォールサンプリングで採取した乱れの少ない試料 2 本と試験後に練り返した乱れた試料 1 本を実施した。乱れの少ない試料の一軸圧縮強さ q_u は 110~120kPa であり、N 値から想像していたよりも比較的しっかりとした粘性土である印象を受けた。一方、練返し後の q_u は 10kPa 程度となり、鋭敏比は 12 以上となり鋭敏性が高いことがわかった。ただし、乱れの少ない試料における破壊ひずみは比較的大きく、構造が卓越した粘土であるとまでは判断できない。

図 3 に深度 14.5m-15.5m の乱れの少ない試料で実施した圧密試験結果を示す。圧密降伏応力 p_c は 263kPa となり、現在の深度（15m とする）と地下水位（1m とする）による有効上載圧から過圧密比を算定すると 1.85 となる。これは比較的高い一軸圧縮強さとも整合しているが、木曽川河口部の沖積平野において、過去に上載荷重の履歴を受けたことは考えられないことから、この高い過圧密比の原因は、濃尾平野特有の地下水くみ上げ履歴による有効応力の変動の影響である可能性が考えられる。調査地点近傍における三重県による調査結果によれば、過去の地下水くみ上げの影響によって昭和 61 年には地下水位が 11m 付近まで下がっており、その後の取水規制により平成 17 年には 3m 付近まで回復している。この地下水変動を考慮して、過去に地下水位が 11m まで低下し、現在 1m まで回復していると仮定した場合の有効応力の変動量は、100kPa 程度と試算することができ、過圧密比に換算すると 1.69 となった。したがって、今回の圧密試験で観察された過圧密比は、過去数十年程度の地下水変動によってある程度説明できることが示された。

図 4 に三軸圧縮試験の結果を示す。三軸圧縮試験は深度 14.5m-15.5m および 16m-17m の粘性土層でサンプリングした乱れの少ない試

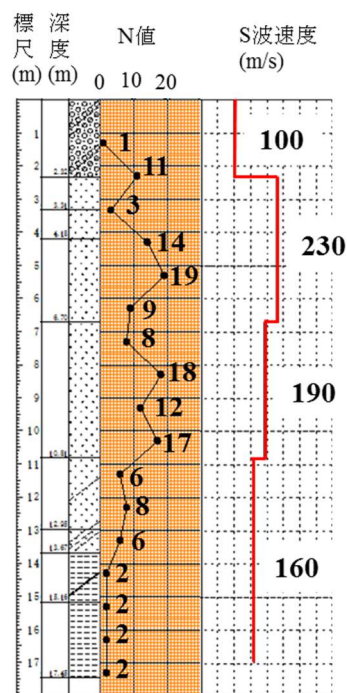


図 1 地盤調査結果

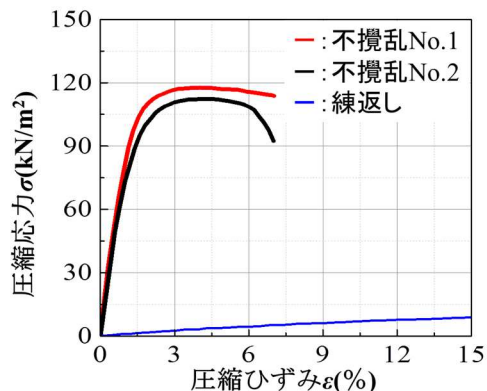


図 2 一軸試験結果

料を、高さ 10cm、直径 5cm の供試体に成型した上で CUB 試験を実施した。また、三軸試験後の乱れの少ない試料を、液性限界の約 2 倍の含水比でスラリー状にして練り返した上で、予備圧密セルにて最大 100kPa で再圧密をすることで再構成した供試体を用いた試験も実施した。

深度 14.5m-15.5m の乱れの少ない試料による応力-ひずみ曲線に着目すると、いずれの拘束圧においても明確なピークは現れていない。拘束圧 300kPa の場合は正規圧密粘土の挙動を示しているが、原位置での有効応力に近い拘束圧 150kPa の場合には、有効応力経路がやや立っており若干過圧密の挙動を示している。また、深度 16m-17m の乱れの少ない試料の試験結果においても、深度 14.5-15.5m の試料とほぼ同様の結果となっている。深度は異なるが、同じ粘性土が同じ堆積環境で生成した粘性土層であると判断して差し支えない。

一方、練返し再構成試料の試験結果を見ると、拘束圧 150kPa、300kPa のいずれも相似形の有効応力経路を示していることがわかり、予備圧密 100kPa の応力履歴は、拘束圧 150kPa であればほとんど影響していないものと考えられる。乱れの少ない試料の三軸試験結果と比較すると、試験の中盤で塑性圧縮が急激に増加した後に、後半においては正のダイレイタンスが発現して塑性膨張に転じており、有効効力は増加している。しかし、最終的な最大軸差応力は、特に拘束圧 300kPa においてはいずれの供試体でもほとんど同じになっている。これは、拘束圧 300kPa のせん断前の供試体の間隙比は、乱れの少ない試料も再構成試料もほとんど同じであることを確認しており、粘性土のせん断強度は間隙比に一意に決まることをこの試料の試験結果も示している。拘束圧 150kPa の試料においては、再構成供試体の方が若干であるが間隙比は大きく、この点でも三軸試験結果と整合している。なお、再構成供試体の試験終盤の正のダイレイタンスの発現は、粘性土中に含まれている比較的粒度の大きいシルト分が多く含まれている影響と考えている。再構成供試体は、自然堆積の乱れの少ない試料よりも構造が劣化していると考えることができ、そのために、せん断中の塑性圧縮も塑性膨張も顕著に観察されたものと考えている。一方、乱れの少ない粘性土試料においては、自然堆積による骨格構造の発達に加えて、先述の過圧密履歴の影響により、複雑な構造ならびに過圧密を形成していると考えている。

3. まとめ

濃尾平野低平地の木曽川河口部には、広い領域で液状化が懸念される沖積砂層が堆積している。その

下部には、非常に厚く堆積した沖積粘性土層が存在している。今回の試験により、その粘性土は、濃尾平野特有の地下水変動による応力履歴を受けた過圧密で、かつ構造も有する粘性土であることがわかった。今後、有効応力解析を用いて、上部砂層の液状化と含めた広域の地震時挙動を高精度に予測するためには、今回対象とした粘性土地盤も弾塑性構成式によるモデル化をはかり、検討する必要があるものと考えている。

参考文献：1) 尤ら：木曽川河口部の旧河道埋立地における地盤調査と土質試験，平成 27 年度土木学会中部支部年次学術講演会，2016. 2) 高木ら：木曽川河口部の旧河道埋立地における液状化危険度評価，平成 27 年度土木学会中部支部年次学術講演会，2016. 3) 久保ら：木曽川下流域低平地の液状化特性の評価，第 51 回地盤工学研究発表会，2016.

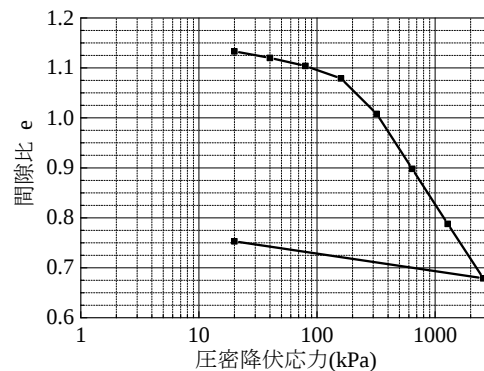


図 3 圧密試験結果

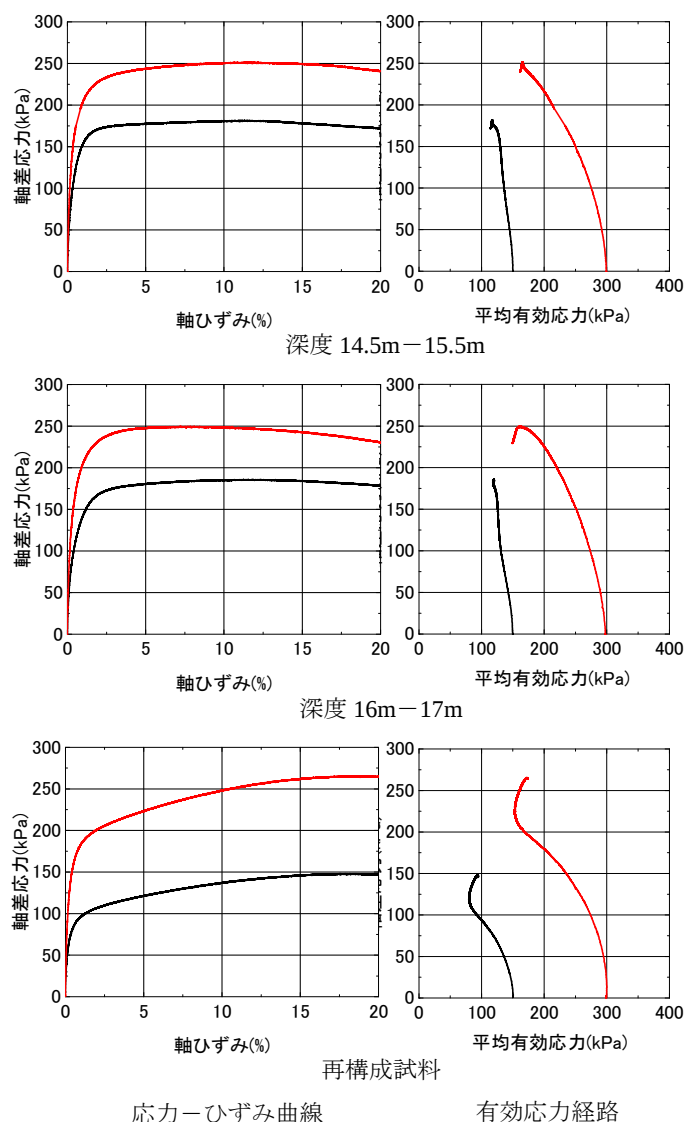


図 4 三軸圧縮試験結