

擬似過圧密領域における過剰間隙水圧消散遅れと沈下の進行に関する考察

京都大学防災研究所 正会員 ○三村 衛
 京都大学大学院 学生会員 張 祐榮
 京都大学工学部 学生会員 池田侑哉

1. はじめに

大水深海域における埋立人工島建設において、深部洪積層における過剰間隙水圧の消散遅れと沈下の問題が顕在化している。一般に、塑性降伏に至らないケースでは、圧密係数 c_v が大きく、発生した過剰間隙水圧は比較的早期に消散するため、即時的な弾性変形を仮定した手法で対応することができるとされてきた。しかしながら、大阪湾の埋立地における洪積層の沈下計測結果から、たとえ埋立荷重によって p_c を超えなくても長期にわたって沈下が継続することが報告されている^{1),2)}。本報告では、著者らによって提案されている p_c 以下の領域での弾粘塑性変形の発生を仮定した圧縮モデルを組み込んだ有限要素解析を用いて、擬似過圧密領域 ($p_0 < p < p_c$) における過剰間隙水圧消散の遅れと、沈下の経時的な進行現象の評価を行う。

2. 解析手法と大阪港咲洲埋立地

解析に用いた手法については既報^{1), 2)}を参照されたい。基本的には、現応力 p_0 から埋立荷重を受けた場合、 p_c との大小関係を問わず弾粘塑性変形が生じると仮定し、圧密試験によって得られる $e \sim \log p$ 関係を基準曲線として用いる。 $e \sim \log p$ 曲線の勾配 κ, λ はそのまま用いるが、この時の κ は弾性領域の圧縮勾配ではなく、粘塑性成分を含んだものと仮定し、 p_c は年代効果による構造効果が消失し、変形勾配が λ に変化する点と考える。議論の対象とするのは、大阪港咲洲埋立地であり、基礎地盤モデル²⁾については大阪湾海底地盤データベースに基づいて設定し、排水を司る砂礫層が非常に厚く、層内における透水性のロスを考慮しなくてもよいことと、埋立地中央の沈下を解析するというので、一次元弾粘塑性有限要素法による検討を行った。

3. 解析結果と考察

解析結果と原位置長期沈下測定と比較については張ら²⁾に詳しい。 $p < p_c$ において弾性変形を仮定している従来法が実測値を過小評価するのに対し、 $p < p_c$ での弾粘塑性挙動を仮定した著者らによる提案法は Ma12, Ma11 以深の両方についてほぼ完璧に実測値を表現し得ており、その妥当性と優位性が確認されている。ここでは、埋立によって p_c を超える Ma12 と超えない Ma10 を比較することによって要素レベルでの挙動について詳細に検討する。それぞれの層の中央深度の要素を選び、解析によるそれらの要素の鉛直有効応力と鉛直ひずみの時刻歴を図-1 に示す。図中に、圧密試験によって得られている p_c を参考のため示している。Ma12 では、最終埋立に入る直前に p_c

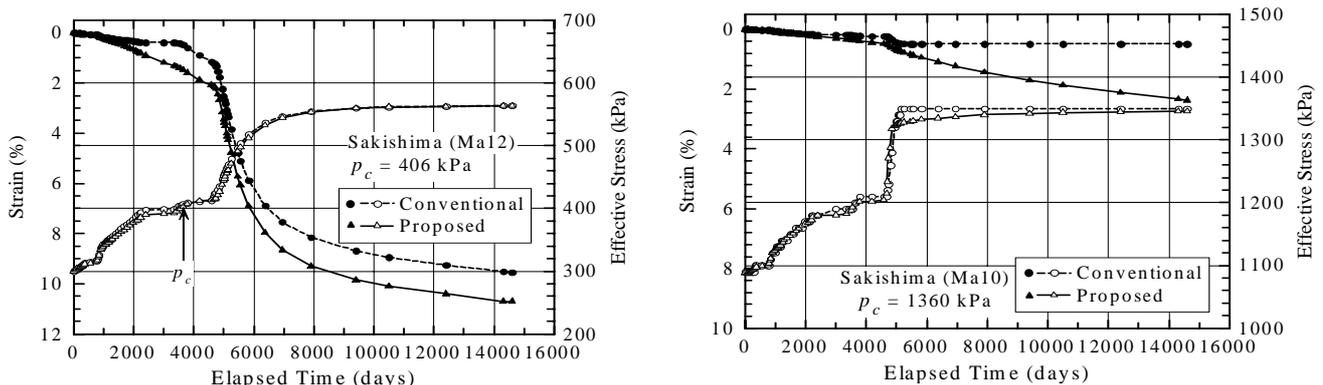


図-1 埋立荷重による洪積粘土層 Ma12, Ma10 要素における鉛直有効応力と鉛直ひずみの時刻歴

を超え、後続する急激な盛立によって一気に正規圧密化し、それに伴って圧縮ひずみの発生が大きく進行している。圧縮モデルによる相違は p_c を超えるまでのひずみの大小で規定され、その差が後続の埋立によってやや大きくなりながら維持されている。これに対して、最終荷重によって p_c を超えない Ma10 では、有効応力増加の時刻歴が異なっている。すなわち、 $p < p_c$ で弾性変形を仮定する従来法では、殆ど瞬時に所定の有効応力に達し、その後は一定となる。当然、圧縮変形についても即時的に現れ、その後は時間の経過によらずほぼその値を保って

キーワード：擬似過圧密粘土、弾粘塑性 FEM、時間依存性挙動、透水性変化、過剰間隙水圧

連絡先：(住所) 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所 (電話) 0774-38-4091 (FAX) 0774-38-4094

る。これに対して、 $p < p_c$ で弾粘塑性変形を仮定する提案法では、有効応力の増加が時間とともに徐々に進行し、沈下についても埋立完了後も時間の経過とともに進行する。埋立開始から 14000 日経過時点での両者の差は約 2% に達している。ここで注目すべき点は、提案法を用いた解析結果では、有効応力そのものの値が小さいにもかかわらず、圧縮変形量はかなり大きくなるということである。同じ要素の過剰間隙水圧の発生・消散時刻歴を図-2 に示す。全体的には提案法の計算値が常に大きな水圧値を与えている。Ma12 では p_c に至る以前の差が顕著で、最終埋立によって正規圧密化して水圧の絶対量が大きくなった後はその差が小さくなっていくことがわかる。これに対して、 $p < p_c$ に留まる Ma10 では最終埋立前の挙動は Ma12 の場合と類似しているが、最終埋立後については両者で大きな差が現れている。弾性変形を生じている従来法では、比較的早期に水圧消散が起こっており、図-1 の有効応力の推移と調和的であるのに対し、非弾性的な変形を生じている提案法では、消散がずっと遅れていることがわかる。水圧の絶対量としてはさほど問題となるものではないが、大阪港のような排水性の非常によい砂礫層に挟まれていてもこうした消散遅れが現れることに注目すべきである。この原因は非弾性的な時間遅れ変形を仮定することにより、 e - $\log k$ で仮定される透水性が $p < p_c$ の領域でも大きく異なってしまうためである。図-3 に Ma12 と Ma10 の e - $\log k$ 関係を示す。入力パラメータとして設定した e - $\log k$ 関係を実線で示し、 \bullet は従来法、 \triangle は提案法による計算結果を表している。同じ初期値から埋立が開始され、最終埋立直前の 4200 日経過時点での差は両層とも $p < p_c$ における非弾性変形の有無によるものである。Ma12 ではその後正規圧密化し、両者とも同じ粘塑性変形を生じるために、それまでに現れた差を保ちながら透水性が変化している。一方、Ma10 については、両者の差は時間の経過とともに増大し、従来法では 4200 日以降にほとんど変化がないのに対し、提案法では時間遅れ変形と相まって透水性の低下が著しい。このことが $p < p_c$ における水圧消散遅れの主たる要因となっている。

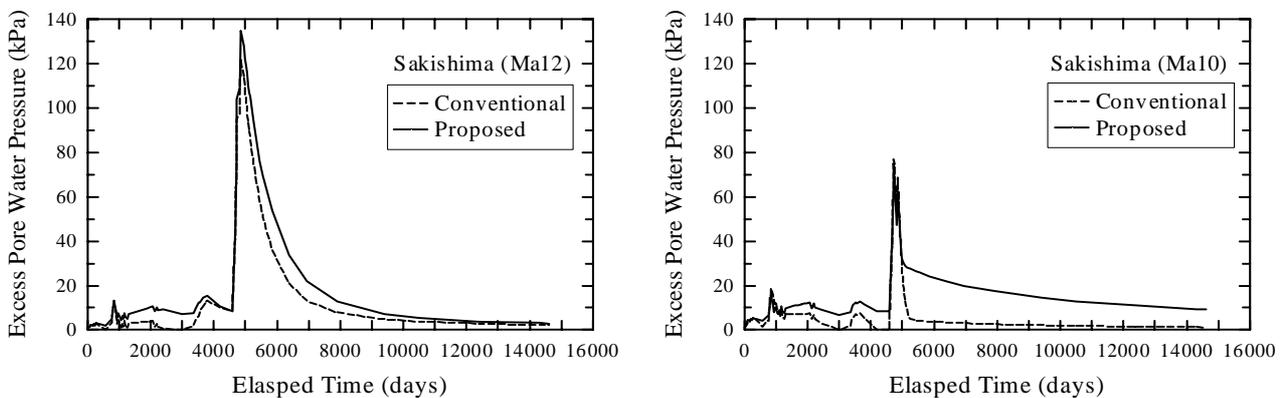


図-2 解析による洪積粘土層 Ma12, Ma10 各要素における過剰間隙水圧の発生・消散過程

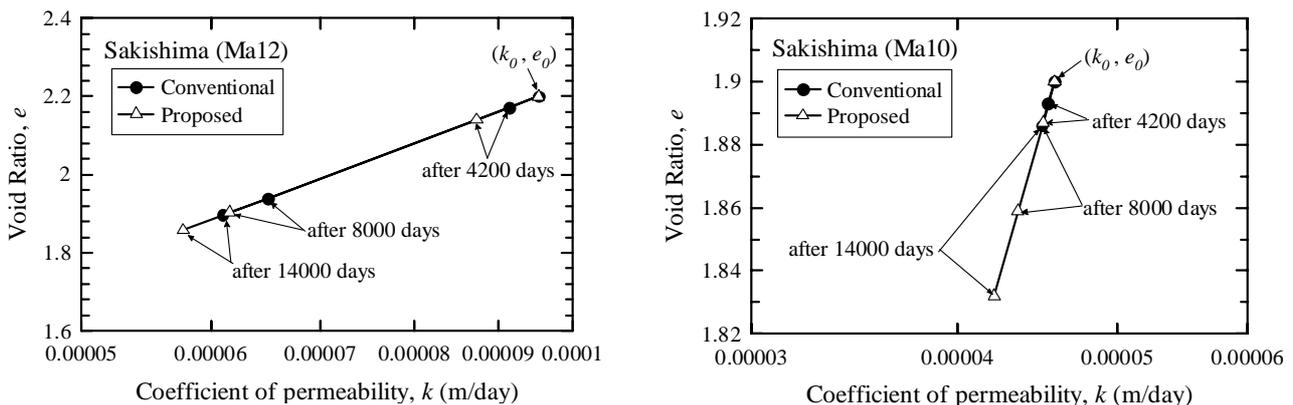


図-3 埋立による沈下に伴って生じる洪積粘土層 Ma12, Ma10 各要素における透水係数の変化

4. まとめ

大阪湾洪積粘土が過圧密領域においても時間依存性挙動を示すと仮定した新たな圧縮モデルを組み込んだ弾粘塑性有限要素法を用いて、大阪港咲洲の沈下解析を行い、擬似過圧密領域における遅れ変形現象の検討を行った。要素レベルの透水性と圧縮性を詳細に検討し、擬似過圧密領域での弾粘塑性変形を仮定することによって、排水性に優れた砂礫層を有する洪積地盤であっても、非弾性的な変形に伴う透水性低下によって水圧消散の遅れが現れ、その一方で、沈下は経時的に進行するという現象が解析によって得られることがわかった。

参考文献：1) Mimura & Jang (2003): Proc. Sino-Japanese Symposium on Geotechnical Engineering, pp.154-161. 2) 張・三村・池田 (2004): 第 39 回地盤工学研究発表会、投稿中。