

京都大学防災研究所 正会員 三村 衛
 京都大学大学院 学生員 ○ 隅蔵 雄一郎

1. はじめに

関西国際空港に代表される大水深海域における大規模埋立においては、透水層とされている更新世(洪積)砂層においても過剰間隙水圧消散にかなりの時間を要し、これに伴う長期沈下が問題となる。本研究では、関西国際空港基礎地盤を対象とした弾粘塑性二次元有限要素法による試行計算を実施し、砂層のマクロな透水性と変形性が過剰間隙水圧伝播に及ぼす影響、及び水圧消散と更新世粘土層の後続沈下特性の定性的な関係について検討した。

2. 解析問題のモデル化

モデル化した地盤断面をFig.1に示す。海底地盤は更新世粘土層 Ma7 までを対象とし、27 層・36 列に分割した。載荷工程については、検討の対象が深部更新世地盤であることを考慮して簡略化し、960 日間で実際の埋立荷重に相当する 48 tf/m^2 が海底地盤に載荷されるとした。計算にあたっては、これを 48 ステップに分割し、1 サイクルあたり 1 tf/m^2 、20 日間として、これを当該節点に与えることによって解析を行った。護岸部に相当する範囲は、護岸から 50 m 沖合で載荷重が 0 となるように、線形的に荷重を分配している。本解析に用いた土質定数に関しては文献²⁾に基づいて決定している。

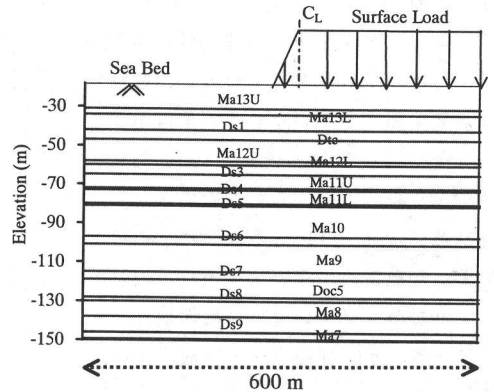


Fig.1 Cross-Section of the Foundation Model

3. 地盤内における応力状態の変化と変形に関する考察

3.1 砂層の透水係数の決定

本研究では、砂層のマクロな透水性の重要性を考え、砂層の透水能力を透水係数に置き換えて数値解析を行っている。具体的には以下に示す2つの Case を設定している。

まず Case1 として、最も現実に近いと考えられる透水係数を各砂層に設定した。砂層の透水係数として Ds1 では $k_x=k_y=8.64 \times 10^2 \text{ m/day}$ 、Ds3・Ds4・Ds5・Ds7・Ds8 は $k_x=k_y=8.64 \times 10^1 \text{ m/day}$ 、排水層としての機能が低いとされる Ds6・Ds9 に関しては $k_x=k_y=8.64 \times 10^4 \text{ m/day}$ と仮定した。Case2 では、全砂層を完全排水砂層、すなわち無限大の透水係数を持つものと設定した。この Case は、砂層内で瞬時に過剰間隙水圧が消散するという極端な場合を想定しており、砂層内の過剰間隙水圧が、砂の体積変化、及び沈下性状に及ぼす影響を検討するために実施した。

3.2 過剰間隙水圧の砂層内伝播とそれに伴う砂の体積変化

Fig.2 に埋立開始 50 年後における Case1 の過剰間隙水圧分布を示す。Fig.2 において空港島直下に最大過剰間隙水圧値が現れ、横方向に伝播していることがわかる。また、載荷による過剰間隙水圧への影響は海側 200 m 付近で収束し、それより海側へは影響が伝播していない。

載荷によって発生した過剰間隙水圧の伝播特性を考察するため、Fig.3 に Ds3 砂層における体積ひずみの解析側線方向分布(Case1)を示す。尚、本解析では砂層は線形弾性体と仮定している。載荷領域にあたる島内側では、過剰間隙水圧の消散に伴う有効応力の増加があるため、量的には小さいものの圧密変形のようなモードで圧縮が

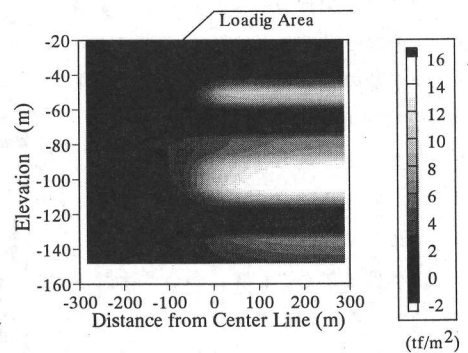


Fig.2 Excess Pore Water Pressure of Case1

(After 50 years)

進行している。一方、海側では膨張変形が発生しており、時間と共にその膨張量は減少している。上記の変形モードは Case2 についても定性的に同様の傾向を示している。

次に過剰間隙水圧の発生・消散に伴う体積変化量を抽出するため、Ds3 における Case1 と Case2 のひずみ量の差をとった体

積ひずみ分布を Fig.4 に示す。同図は砂層内の過剰間隙水圧によって生じる

膨張ひずみの成分を示している。海側の砂層では全応力の増加が無く、島内側で発生した過剰間隙水圧の伝播による内圧上昇分だけが外力として作用する。埋立からの時間経過が短い間は過剰間隙水圧の消散レベルが低く、かなりの量が海側の砂層中にも停留する。その時点では、風船が膨らむように砂層は大きく弾性膨張し、その後水圧が消散するに従って外力が低下するため、弾性的に収縮していることがわかる。砂自体が膨張することによって過剰間隙水圧を吸収し、その結果、砂層内の過剰間隙水圧の伝播を収束させる要因となっていると考えられる。また本研究において収束範囲は海側 200 m までであったが、砂層の剛性による伝播範囲への影響については今後検討する必要がある。

3.3 残留過剰間隙水圧と更新世粘土の圧縮に関する考察

Fig.5,6 に埋立開始 10 年後と 50 年後の島内側境界部の要素における過剰間隙水圧の深度方向分布を示す。砂層を全て完全排水材料とした Case2 の分布形状は Case1 と大きく異なり、地盤内に残留する過剰間隙水圧は両 Case でかなりの開きがある。ところが Fig.7 に示す更新世層の沈下時刻歴では、両者の沈下量の差は埋立開始 10 年後で 2 m、50 年後では 1 m となっており、過剰間隙水圧の残留度合の違いに比べてその差がさほど大きくなっていないことがわかる。この原因は粘土の状態経路から説明できる。土の圧縮は $e-\log p$ 曲線によって支配され、有効応力の対数に対して間隙比が直線的に減少する。この $e-\log p$ 関係の性質上、有効応力が低いレベルにある場合、有効応力の増加による間隙比減少への寄与が大きく、逆に有効応力が大きくなった段階では同じ有効応力の増加に対する間隙比の減少量は小さくなる。Fig.5 より Case1 においても埋立開始 10 年後時点で、本解析で発生しうる最大過剰間隙水圧量 48 tf/m^2 に対してかなりの過剰間隙水圧が消散し、有効応力レベルが上がっていることがわかる。このため、その後は残留水圧の差はあっても沈下量への寄与が減少するモードになるため、砂層における過剰間隙水圧を考慮していない Case2 との後続沈下の進行に大きな差が現れないことになる。

4 結論

関西国際空港基礎地盤をモデルとして試行解析を実施した。その結果、過剰間隙水圧の伝播によって生じる砂層の体積膨張が、過剰間隙水圧の伝播を収束させていることが明らかとなった。また残留過剰間隙水圧の消散による後続沈下量への影響は、有効応力レベルが高くなるに従って小さくなることがわかった。

参考文献

- 1) 隅蔵雄一郎 ; 大水深埋立に伴う海底地盤の挙動に関する基礎的研究 京都大学工学部卒業論文, 2000

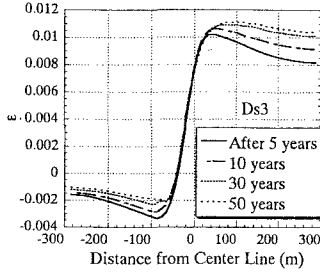


Fig.3 Distribution of Volumetric Strain

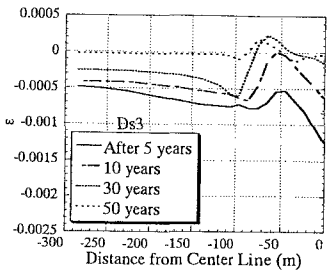


Fig.4 Excess Pore Water Pressure Induced Volumetric Strain

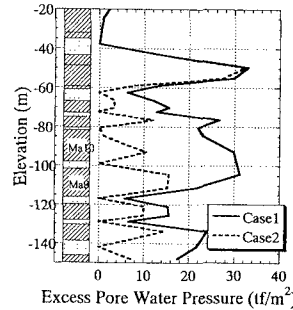


Fig.5 Excess Pore Water Pressure (After 10 years)

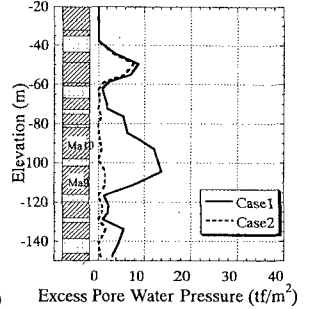


Fig.6 Excess Pore Water Pressure (After 50 years)

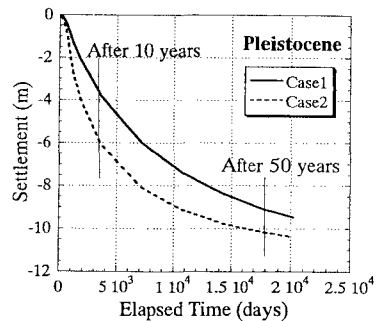


Fig.7 Time - Settlement relation