

埋立材料の透水性が沖合人工島の圧密遅れに及ぼす影響に関する解析的検討

圧密遅れ 透水係数 有限要素法

若築建設株式会社 正会員 ○松本 幸久
 同上 国際会員 水野 健太
 五洋建設株式会社 正会員 河村 健輔
 国土交通省東京空港整備事務所 福本 裕哉

1. はじめに

羽田空港 D 滑走路建設工事では、多様な埋立材料を用いて現空港の沖合いに人工埋立島が建設される¹⁾。密度、剛性、透水性がそれぞれ異なる埋立材料を用いた人工埋立島の圧密沈下特性を把握するために、有限要素法による二次元圧密沈下解析を設計段階で実施した。本論文では、室内透水試験より得られた千葉県産山砂の透水係数のばらつきに着目して、埋立材料の透水性が原地盤の圧密遅れに及ぼす影響を解析的に検討した結果を報告する。なお、土質のばらつきを考慮した圧密沈下の感度解析およびサンドドレーンのウェルレジスタンスに関する検討についても別途実施しているので、それぞれ別報^{2),3)}を参照されたい。

2. 解析条件

図-1 に検討対象とした空港島横断面図を示す。直投や揚土には山砂⁴⁾、護岸には石材や岩ズリ^{5),6)}、中仕切堤には岩ズリや山砂を主に使用する計画となっている。また、護岸と中仕切堤に囲まれた護岸背面部は、軽量盛土材として不透水性のセメント固化処理土を使用し、護岸の安定性を確保している。埋立材料の中では、特に千葉県産の山砂について、土源や採取深さの違いによる透水性のばらつきが懸念される。別途実施した室内定水位透水試験結果⁴⁾によると、サンドマットに使用される細粒分含有率 $F_c \leq 5\%$ の山砂の透水係数は、 $4 \times 10^{-3} \sim 9 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ であるのに対し、埋立材料に使用される $F_c \leq 20\%$ の山砂の透水係数は、 $2 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ のばらつきを有する。設計では透水試験結果のばらつきを考慮して、サンドマットに対して $1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 、埋立材料に対して $1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ を採用しているが、山砂について透水性が低い材料が投入された場合を想定し、図-2 に示す有限要素解析モデルによる圧密遅れへの影響を調べることにした。

図-2 には水理境界条件を併せて図示したが、各埋立材料の透水性の影響を考慮できるように、埋立材料に透水係数を

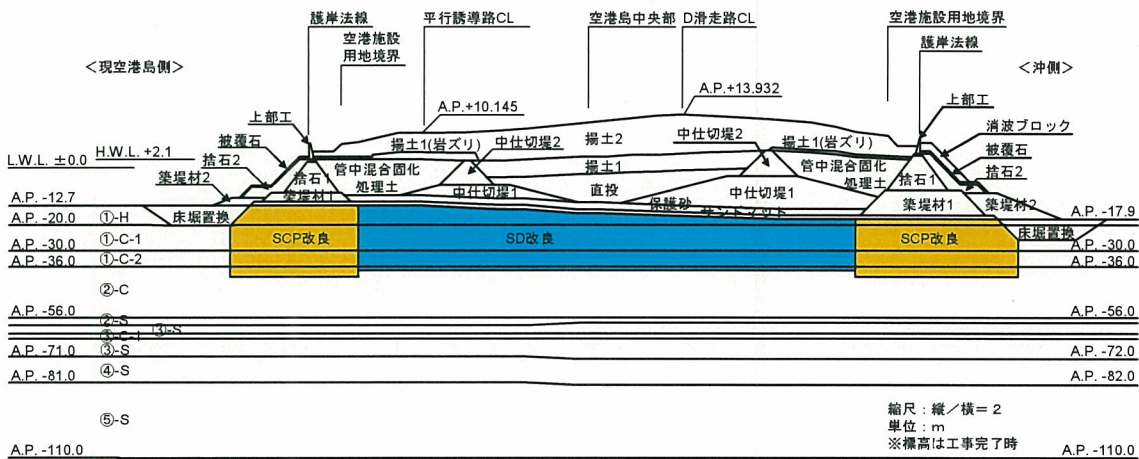


図-1 空港島横断面図 (滑走路縦断線形の最下点)

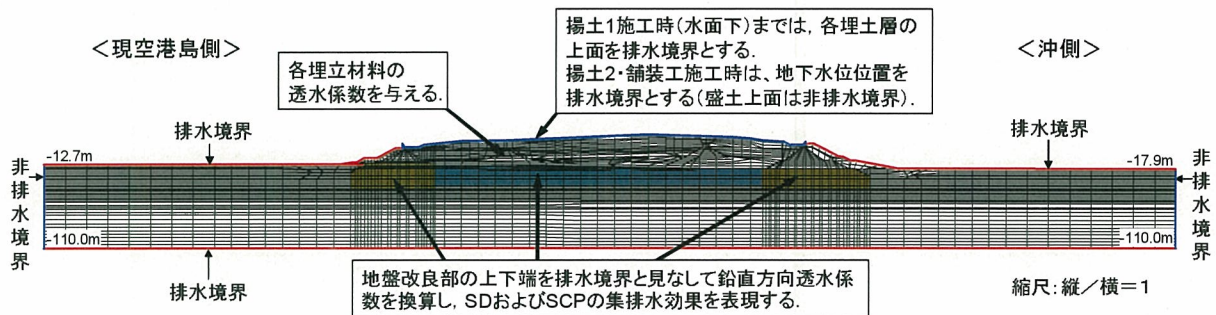


図-2 有限要素メッシュ図および水理境界条件

Analytical examination for the effect of permeability of reclaimed materials on delayed consolidation in offshore artificial island:

Matsumoto, Y and Mizuno, K. (Wakachiku Construction)
 Kawamura, K. (Penta-Ocean Construction)
 Fukumoto, Y. (Ministry of Land, Infrastructure and Transport)

持たせ、埋土上面が排水境界となるように各載荷ステップで境界条件を変化させた。また、通常の解析では、サンドドレーンやサンドコンパクションパイル改良部のドレーン効果を、鉛直方向メッシュ上に排水境界（過剰間隙水圧がゼロ）を指定して表現することが多いが、このようにすると埋立材料の透水性の影響を考慮できない。そこで、地盤改良部の上下端を排水境界と見なし、50%圧密時間でBarronの解と一致するように、鉛直方向の透水係数を換算することによって、ドレーン効果を簡易的に表現した。本稿では、サンドドレーン、サンドマットおよび山砂を使用する埋立材（保護砂、中仕切堤1、直投、揚土）の透水係数を変化させた比較結果を述べる。

3. 解析結果

図-3に滑走路中心における時間～総沈下量関係を示す。図-4は、供用開始から30年間の残留沈下量を各ケースで比較したものである。図-5は、設計条件（Case-1）の残留沈下量に対する各ケースの圧密遅れ量を横断分布図で示したものである。

図-3および図-4より、サンドマットの透水係数が設計値（ $1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ ）を確保していれば、山砂の透水係数が2オーダー低下しても（Case-6）、圧密遅れは24cm程度に留まることがわかる。これに対して、サンドマットの透水係数が設計値の1/10に低下した場合は、山砂の透水係数の圧密遅れへの感度は大きく、山砂の透水係数が設計値の1/10の場合（Case-5）、圧密遅れは30cmと大きくなる。さらに、参考として山砂の透水係数を設計値の1/10とした場合（Case-7）、設計条件に比べて1m以上も圧密遅れが生じる結果となった。このことより、サンドマットに対する品質管理が圧密遅れを生じさせないために重要であることがわかる。

図-5より、ケースによって圧密遅れの横断分布は変化するが、空港島中央部において圧密遅れが生じていることがわかる。また、サンドマットの透水係数が低い場合には滑走路や平行誘導路においても、空港島中央部とほぼ同等の圧密遅れが生じる可能性がある。サンドドレーン、サンドマット、埋立材（山砂）の全てに試験結果の下限値（設計値の1/10）を採用した場合（Case-5）は、他のケースよりも圧密遅れが大きい。

4. まとめ

人工埋立島における間隙水の排水現象は三次元的に生じると考えられるが、本検討では滑走路横断方向の二次元条件に単純化した有限要素解析モデルを用いて、埋立材の透水性と圧密遅れの関係を整理した。解析の結果から、サンドマットの透水係数を設計値（ $1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ ）以内に品質管理すれば、山砂の透水係数が設計値より低くても、圧密遅れへの影響は小さいことがわかった。

謝辞：本報告は羽田空港D滑走路建設工事の設計業務の一環として実施した成果の一部である。ここに記して、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献：1)宮田正史ら(2007)：羽田空港D滑走路の事業概要について，基礎工，Vol.35，No.1，pp.64-68。

- 仁井克明ら(2007)：原地盤のばらつきを考慮した沖合人工島の圧密沈下の解析的解析，第42回地盤工学研究発表会（投稿中）。
- 椎名貴彦ら(2007)：ドレーンのウェルビグスタスを考慮した沖合人工島の圧密沈下の解析的検討，第42回地盤工学研究発表会（投稿中）。
- 堺谷常廣ら(2007)：大規模埋立工事に使用する山砂の透水性について，第42回地盤工学研究発表会（投稿中）。
- 笹井剛ら(2007)：大規模埋立工事に使用する岩ズリ材料の大型透水試験結果，第42回地盤工学研究発表会（投稿中）。
- 河村健輔ら(2007)：大規模埋立工事に使用する岩ズリ材料の液状化に関する模型振動台実験，第42回地盤工学研究発表会（投稿中）。

表-1 埋立材の透水係数と解析ケース（単位：cm/sec）

Case No.	サンドドレーン	サンドマット	山砂	岩ズリ	備考
Case-1	1×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-3}		設計条件
Case-2		1×10^{-2}	1×10^{-3}		
Case-3		1×10^{-3}	1×10^{-3}		
Case-4		1×10^{-2}	1×10^{-4}	1×10^{-1}	
Case-5	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}		試験結果下限値
Case-6		1×10^{-2}	1×10^{-5}		下限値以下(参考値)
Case-7		1×10^{-3}	1×10^{-5}		下限値以下(参考値)

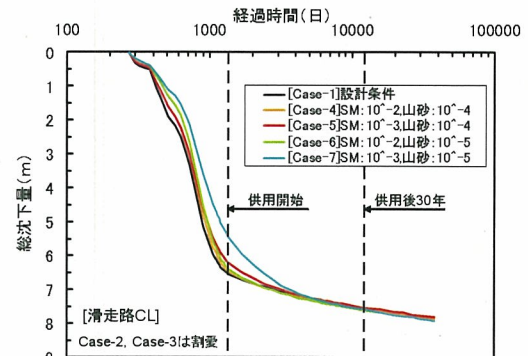


図-3 時間～沈下曲線の比較（滑走路 CL）

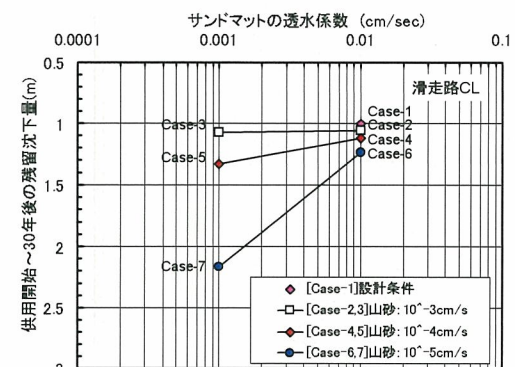


図-4 残留沈下量の比較（滑走路 CL）

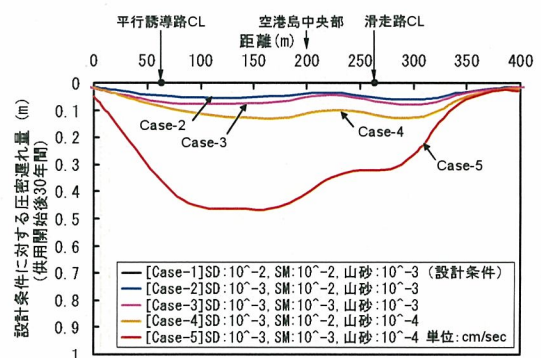


図-5 設計条件(Case-1)からの圧密遅れの横断分布