

超軟弱地盤の圧密沈下予測 -新北九州空港-

Prediction of Consolidation Settlement for Very Soft Ground -New Kita-Kyushu Airport-

山崎真史*・中野則夫**・吉田秀樹***・吉本靖俊****

YAMAZAKI Shinji. NAKANO Norio. YOSHIDA Hideki and YOSHIMOTO Yasutoshi

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** 前 (財) 沿岸技術研究センター 研究主幹兼特命プロジェクト担当部長

*** 国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 所長

**** 国土交通省 九州地方整備局 北九州港湾・空港整備事務所 所長

To confirm the appropriate combination of consolidation parameters for the settlement prediction analysis at New Kita-Kyushu Airport, the laboratory consolidation tests on undisturbed samples, cone penetration tests at field and backanalysis of reclamation with dredged marine clay were performed. The modified consolidation parameters for prediction were within the scattering range of test data, and almost agreed with the relations identified from backanalysis of reclamation. The estimated strengths of ground were almost equal to that estimated with CPT.

Key Words : consolidation, cone penetration test (CPT), reclamation analysis, New Kita-Kyushu Airport

1. はじめに

新北九州空港では、平成 18 年 3 月の供用開始を目指し現在急ピッチで整備が進められている。同空港は、苅田沖土砂処分場及び新門司沖土砂処分場を利用して建設されている海上空港であり、この主要埋立材は周辺航路の浚渫で発生する浚渫土砂である。

埋立に用いられる浚渫土は極めて軟弱であり、各工区で土質性状・施工履歴が異なること、旧海底地盤も同様に軟弱で地層が変化していることから、沈下性状が複雑であると想定される。また、滑走路・誘導路は地盤改良を施された中仕切護岸（図-1 参照）をまたがり設置されるため、大きな不同沈下が発生することが想定される。

したがって、空港島の複雑な沈下性状を把握し、その条件下で開港後の空港機能を維持するための造成工事の目標となる基準高さを設定すること、および設定された基準高さに応じた造成工法を採用し、適切な沈下管理のもとに施工を行うことが課題となる。

図-2 に示す沈下予測の概要のとおり、施設建設は比較的残留沈下量が多い段階で施工する必要がある。特に 2 工区は 1 工区、苅田工区と比べ施工開始時期が最も遅かったため、施設整備後および供用開始後の残留沈下の影響が懸念されている。

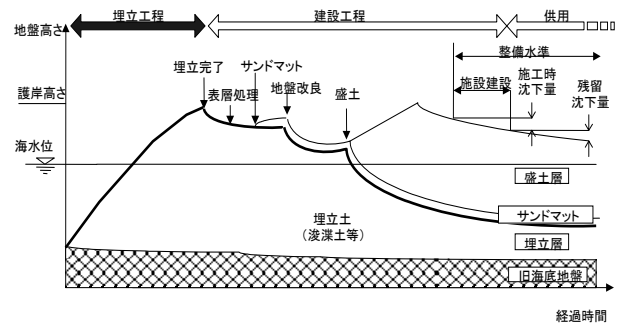


図-2 沈下予測の概要

そこで、2 工区では 7 地点の層別沈下計、107 地点の沈下板による綿密な沈下計測に加え、粘土分が卓越し沈下量が大きくなると予測されるエリアをターゲットとした 7 地点のボーリング、22 地点の CPT による土質調査を実施した。このような調査のもと、2 工区では当初埋立予測解析で設定した圧密パラメータを層別沈下計および沈下板の計測結果と整合のとれるものに修正（予測修正解析）することにより、予測精度の向上を検討した。

本文では、2 工区における予測修正解析において設定した圧密パラメータ（圧密指数 C_c 、圧密係数 c_p ）の組合わせの妥当性等について検討した結果を報告する。

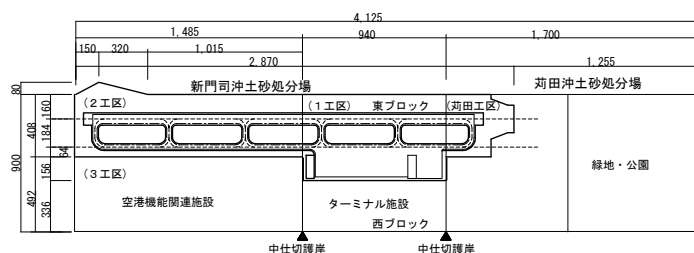


図-1 新北九州空港平面図

2. 予測修正解析精度の検証

図-3 は層別沈下計による沈下モニタリングを実施した No. 2 地点 (図-4 参照) における沈下予測修正解析結果である。ここで、初期予測解析による沈下曲線を実線、層別沈下計の実測値を○印、予測修正解析による沈下曲線を点線で示している。

地盤改良前に行った、2 工区の初期予測解析では埋立層の圧密パラメータを $C_c=1.10$, $c_v=50$ と設定し解析をおこなった。その後、図-3 から分かるとおり実測値と初期予測解析値に違いが生じたため、実測値と整合性が取れるような圧密パラメータを $C_c=0.88$, $c_v=100$ と設定し、予測修正解析を行った。

このように、2 工区では層別沈下計によるモニタリング地点とともに、沈下板全地点についても同様な予測修正解析を実施した。

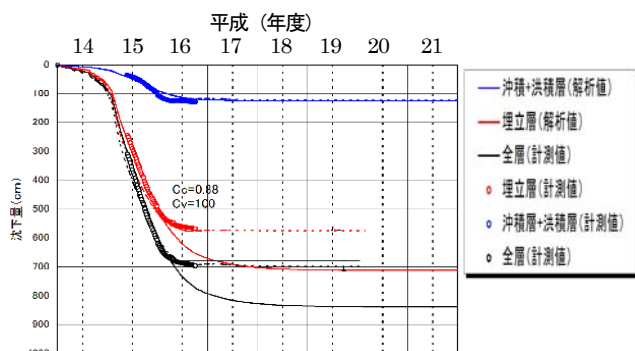


図-3 沈下予測修正解析結果 (No. 2 地点)

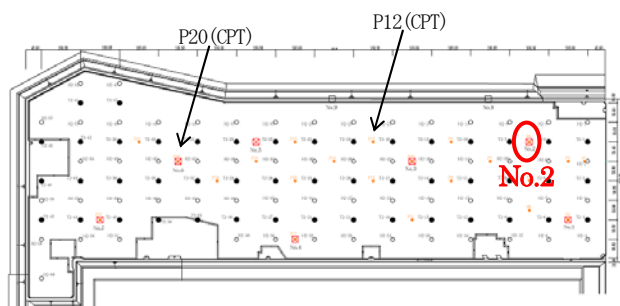


図-4 層別沈下計および沈下板による計測地点

ここで、予測修正解析における C_c , c_v の組合せはいく通りも考えられることから、その妥当性や精度を検証するため以下3項目について検討をおこなった。

① 圧密試験結果との比較

設定した圧密パラメータが土質調査から得られる圧密パラメータのばらつき範囲にあるか確認した。

② CPT から推定されるせん断強度との比較

予測修正解析結果の出力値として得られるせん断強度と CPT から推定されるせん断強度を比較した。

③ 埋立事後解析 (CONAN 解析) による比較

CONAN 解析²⁾による埋立事後解析を行い、予測修正解析の精度を検証した。

2.1 圧密試験結果との比較

図-5 は2 工区全地点で実施した、予測修正解析で使われた C_c , c_v の関係を示したものである。この妥当性を検討するため、図-6, 7 に示す圧密試験結果より求まる圧密パラメータ C_c , c_v と比較した。

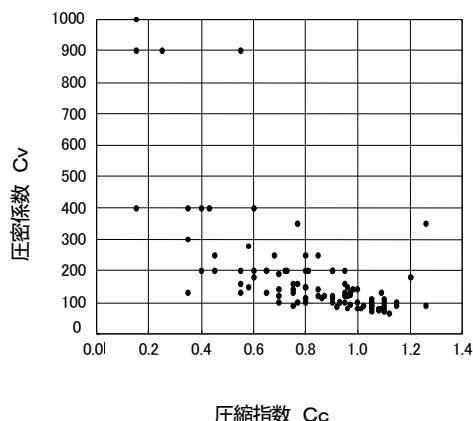


図-5 予測修正解析における C_c と c_v の関係

- ・ 関門航路を主とした浚渫粘土による埋立地盤を対象とする。
- ・ 圧密沈下は、応力レベル 1 ~ 200kN/m² の範囲とする。
- ・ c_v は鉛直方向圧密係数に換算した値とする。

図-6 において、圧密試験結果から求まる C_c の値は実線の傾きにより示されている。この傾きのばらつきの範囲は $C_c=0.3 \sim 1.3$ に分布している。すなわち、2 工区の予測修正解析に使用した修正圧密パラメータの C_c は、圧密試験結果から求まる C_c のばらつき範囲と概ね一致する。

図-7 は圧密試験結果から求まる c_v の値である。予測修正解析の応力状態の平均的な値、上載荷重 100kN/m² 付近に注目すると、 c_v は $c_v=30 \sim 500$ cm²/day 付近に集中する。すなわち、図-5 に示す予測修正解析で使われた c_v の集中範囲と概ね一致する。

以上より、予測修正解析に使用された圧密パラメータの設定は圧密試験結果から求まる C_c , c_v のばらつき範囲にあり、概ね妥当な値であると考えられる。

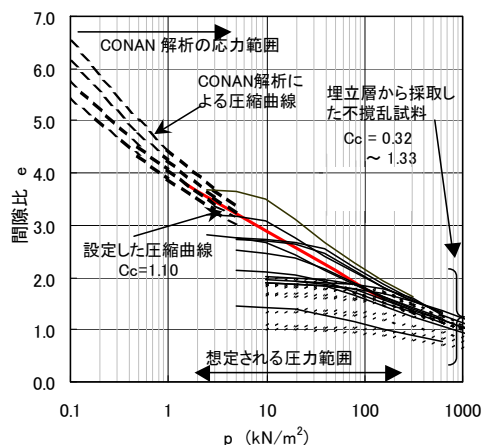
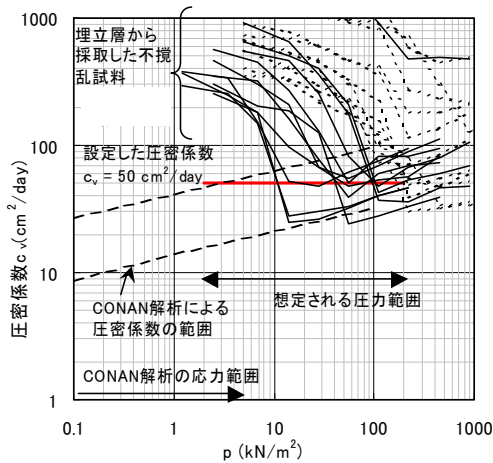
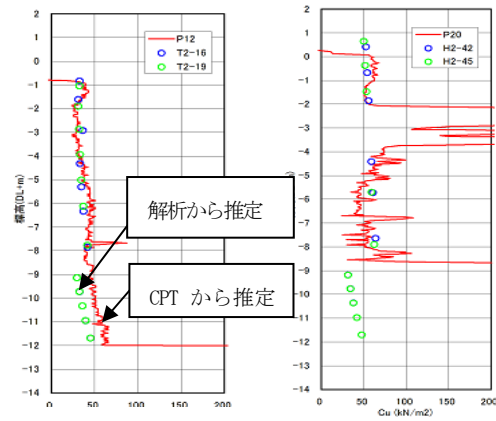


図-6 埋立層の圧密試験結果における C_c

図-7 埋立層の圧密試験結果における c_v 図-9 CPT と修正解析結果から推定される Cu の比較

2.2 CPT から推定されるせん断強度との比較

予測修正解析では、 e - $\log p$ 関係等から各時点の深度方向有効応力が得られる。初期地盤が埋立地盤のように正規圧密状態にある場合には、この有効応力に強度増加率を掛けるとせん断強度が推定できる。ここでは強度増加率 m を一般的な値 $m=0.3$ としてせん断強度を推定した。

一方、CPT 調査から一般的に求められるせん断強度は $Cu = (qt - \sigma) / Nkt$ として算定できる。ここに、 Cu ：非排水せん断強度、 qt ：コーン貫入抵抗、 σ ：全応力、 Nkt ：コーン係数である。ここで、コーン係数 Nkt の設定は、ボーリングによる一軸圧縮試験結果と CPT が同一地点で実施されていることから次のように求めた。図-8 に示すように、一軸圧縮試験より求まるせん断強度 Cu と CPT によるコーン貫入抵抗との関係についてまとめた。この関係より、粘土分が卓越する 2 工区南側のコーン係数 Nkt は $Nkt=10$ 。一方、砂分の多い 2 工区北側のコーン係数 Nkt は $Nkt=16$ とした。照査にあたり、両コーン係数 Nkt の適用範囲は CPT コンター図より設定した。この関係係数 Nkt を用いて CPT より推定したせん断強度と、近傍地点の予測修正解析から得られる調査時せん断強度（有効応力×強度増加率）を比較することで、予測修正解析で設定した圧密パラメータの妥当性が検証できる。

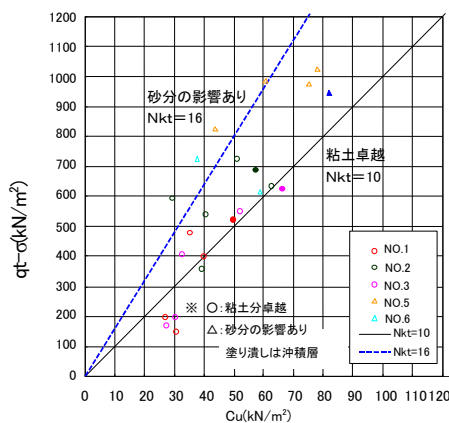
図-8 関係係数 Nkt の設定

図-9 に、 Cu を推定し比較したものとして粘土分が卓越する地点 P12 と、砂分の多い地点 P20 のそれぞれの結果を示す。なお、P12 と P20 の平面位置は図-4 に示すとおりである。

このように、CPT から推定されるせん断強度と予測修正解析から推定されるせん断強度は概ね一致しており、予測修正解析結果の精度は高いと考えられる。

2.3 埋立事後解析 (CONAN 解析) による比較

ここでの検証は、予測修正解析から設定した圧密パラメータと、浚渫土の埋立過程を事後解析してそれ以後の造成過程に用いる圧密パラメータを比較することで、それらの相関性を検討した。

図-10 に、覆土中に測定された浚渫土埋立層内の含水比分布を示す。浚渫土層の平均的な厚さは 11.4 m で、含水比は層上部で 50 ~ 150 % に分布し、深くなるにつれて低下し、下部では 50 ~ 100 % を示している。図中の 3 線は、含水比分布から算定した実質量高さ hs (単位面積あたりの土粒子のみの体積) を 3, 4, 5 m とした場合の概略の含水比分布である。

これらの hs で同定された圧密パラメータを図-11, 12¹⁾ に示す。同図には不攪乱試料に対する圧密試験結果も示している。設定した hs により、埋立事後解析で同定された圧縮曲線ならびに $\log c_v - \log p$ 関係が異なることがわかる。地盤改良設計に用いる圧縮性として、5 kPa 付近の圧縮曲線の傾き Cc を考えると、それは、 hs によって 1.1 から 0.61 に変化することがわかる。また、 c_v も hs に依存していることがわかる。しかしながら、これら圧密パラメータは不攪乱試料のばらつきの範囲内に位置する。

図-13 に、埋立解析で同定した Cc と動態観測結果から同定した Cc との関係を示す。比較する前提条件としては hs がほぼ等しいことである。このように、両者の値がほぼ等しいことがわかる。

図-14に、埋立解析で同定した C_c と c_v (覆土荷重に相当する応力範囲)の関係と埋立事後解析対象地点も含めた全107地点の動態観測結果から求めた C_c と c_v の組合せを示す。異なる方法で同定した圧密パラメータの組合せはほとんど一致していることがわかる。

浚渫粘土により埋め立てられた地盤はばらつきが大きい、その位置に対応する実質土量高さをを用いた埋立解析から同定された圧密パラメータは、動態観測結果よりフィッティングして得た圧密パラメータとよく対応することがわかった。

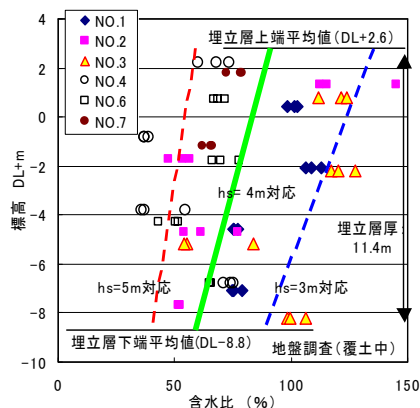


図-10 埋立層の含水比分布

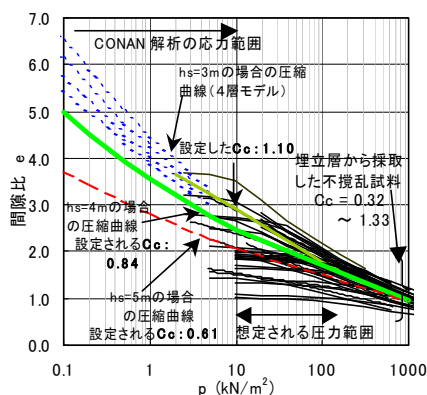


図-11 CONAN 解析と不攪乱試料の C_c 比較

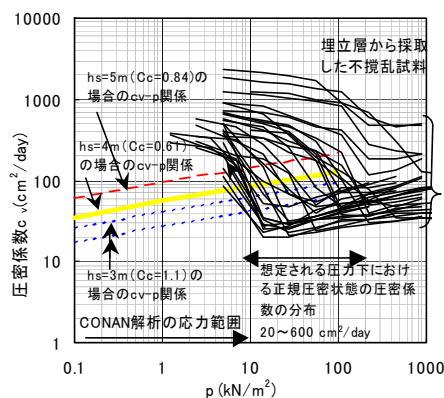


図-12 CONAN 解析と不攪乱試料の c_v 比較

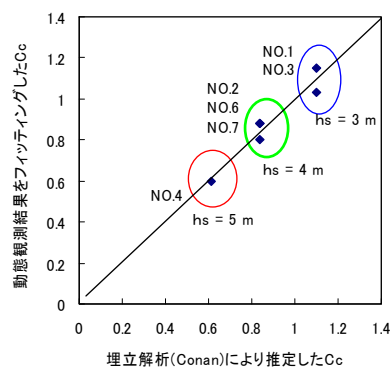


図-13 異なる手法で同定した C_c の比較

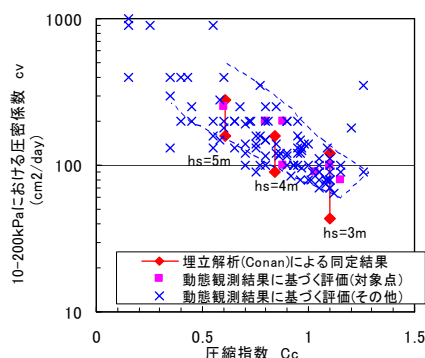


図-14 異なる手法で同定した C_c, c_v の組合せ

3. まとめ

予測修正解析精度の検証として以下の結果を得た。

- ① 2工区の修正圧密パラメータは、圧密試験から求まる結果のばらつきの範囲内にある。
- ② CPTにより推定したせん断強度と、予測修正解析から得られる調査時のせん断強度は概ね一致する。
- ③ 埋立解析(Conan)から同定した圧密パラメータは、不攪乱試料から得られたそれらの範囲に位置した。
- ④ 動態観測結果をフィッティングした圧密パラメータは、埋立事後解析とよく対応している。

謝辞

新北九州空港整備に当たっての技術課題への適切な対応を図るため、「新北九州空港埋立検討調査委員会(委員長:落合英俊 九州大学大学院工学研究院教授)」が設置されており、同委員会の委員の方々から多くのご助言及びご指導を頂いている。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 吉本ら: 第40回地盤工学研究発表会, pp. 1019-1020, 2005.
- 2) 江頭ら: 浚渫粘土による埋立の予測と評価, 土木学会論文集, No. 715, III-60, pp. 147-160, 2002.