## 超軟弱浚渫土埋立地の沈下予測手法とその検証

# -新北九州空港建設にかかわる技術的検討-

The Dredged Sand Reclamation Settlement Prediction Technique and Verification -Application to New Kitakyushu Airport Construction-

> 小林明夫\*•勝海 務\*\* KOBAYASHI, Akio and KATSUUMI, Tsutomu

\* (財)沿岸開発技術研究センター 調査部 主任研究員 \*\* (財)沿岸開発技術研究センター 調査部 研究主幹・第二調査部長

The settlement prediction technique for a very soft reclaimed ground is applied to New Kitakyushu Airport construction works. The present research proved that the prediction technique is effective to the very soft reclaimed ground from the initial reclamation stage to the banking construction stage. *Key Words : settlement prediction technique, consolidation settlement, simulation by CONAN* 

### 1. はじめに

新北九州空港は周防灘沖約 3km に建設される海上空 港である.そして,この新北九州空港建設における最大 の特徴は,周辺の関門航路,新門司航路などの港湾整備 事業で発生する浚渫土砂の処分場を利用することである. しかし,投入されるこれらの地域の海底土砂は、非常に 粘土分が多く,浚渫された土砂は時には含水比が 2,000% を超え,埋立地内に堆積させても 300%に達するような非 常に軟弱な粘土地盤を形成する.このような地盤は、そ れ自身の重さで沈下する未圧密地盤であり、非常に大き な沈下が発生する.

このような軟弱地盤上に滑走路等空港施設を計画通り 建設するためには、詳細な地盤挙動を把握することが必 要となる.このため、埋立造成過程における地盤の沈下 挙動、また地盤改良初期の地盤特性を明確に推定するこ とが極めて重要になる.

本稿では、新北九州空港建設に適用した埋立沈下予測 手法(図-1参照)を紹介し、今後行われる土砂処分場の 計画、さらにはその跡地利用のプロジェクトのために、 有効となる知見を報告する.



図-1 埋立沈下予測解析の概要

### 2. 沈下予測

#### 2.1 沈下予測手法

沈下予測のフローを図-2 に示す.また埋立から建設工 程までの埋立層表面高さの変化を図-3 に示す.





図-2 沈下予測検討フロー





浚渫土による埋立から放置期間までを埋立工程とし、 埋立計画に基づいた解析を行った.用いた解析手法は、 埋立工程を再現できる今井(1989)が示したCONANを 用いた.この解析手法は大変形理論で構築されているため、 このような非常に軟弱で沈下量の大きい圧密挙動をシミ ュレートできる.

埋立工程に続く建設工程は、Cc 法によって圧縮量を、 ウェルレジスタンスを考慮したバロンの式を用いてドレ ーン効果を表現し、時間沈下関係を求めた.初期状態と しては、埋立過程をシミュレートしたCONANの結果を 用いた. 浚渫粘土の埋立層は未圧密状態であるので、未 圧密分を考慮した沈下計算を行った.

図-4に未圧密分としての過剰間隙水圧の設定方法を示 す.



図-4 未圧密状態にある地盤の初期状態の考え方

具体的な解析方法は以下のとおりである.

多層地盤に鉛直増加応力:  $\Delta P_i$ が作用した場合, Cc法 における沈下量: Sf の算定式は式(1)となる。

$$Sf = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{Cc_i}{1+eo_i} \operatorname{Log}\left(1+\frac{\Delta P_i}{Po_i}\right) H_i$$
(1)

ここに Cc<sub>i</sub>:各層の圧縮指数(応力レベルにより変化→ e法による沈下量と同様になることが前提)

eo<sub>i</sub>:各層の初期間隙比

- Po<sub>i</sub>:各層の初期鉛直有効応力
- $\Delta P_i$ : 各層に対す鉛直増加応力
- *H<sub>i</sub>*:各層の層厚

この式を埋立直後の未圧密地盤に適用する場合,式(2) に示すように土中の過剰間隙水圧:*u<sub>i</sub>*を考慮する必要がある.(図-4参照)

$$Sf = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{Cc_i}{1+eo_i} \operatorname{Log}\left(\frac{Po_i + u_i + \Delta P_i}{Po_i - u_i}\right) H_i \quad (2)$$

過剰間隙水圧: u<sub>i</sub> は自重圧密沈下解析(CONAN)の結果を 用いることとなる.

建設過程での時間-沈下関係の予測には、テルツァーギの圧密理論(沈下量:Cc法、沈下時間:Cv法)とウェルレジスタンスを考慮したバロンの式(吉国の修正式)にて地盤改良効果を考慮して実施する.

圧密度 
$$U(Th) = 1 - \exp\left(-\frac{8}{F(n) + 0.8Lw}Th\right)$$
 (3)

$$\Box \Box l Z, \quad F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \log_e(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

Th(時間係数) =  $\frac{Ch(水平方向圧密係数)}{d_e(有効等価直径)^2} t(圧密時間)$ 

$$n = \frac{d_e}{d_w}(ドレーン径)$$

また, k<sub>c</sub>を不攪乱粘土の水平透水係数, k<sub>w</sub>をドレーン の縦方向透水係数, H をドレーン長さとしてウェルレジ スタンス係数Lwを次式で与えた.

$$L_w = \frac{32}{\pi^2} \frac{k_c}{k_w} \left(\frac{H}{d_w}\right)^2 \tag{4}$$

以上, 沈下検討には, 埋立中の泥面変化を予測するC ONANと, 建設過程として覆土による圧密沈下を予測す るウェルレジスタンスを考慮した Cc 法を組み合わせた.

#### 2.2 解析条件、パラメータ設定とその方法

解析に用いる実質埋立高さは、浚渫土量、埋立面積、 浚渫予定地での地山含水比から算出した.解析上の浚渫 土の初期含水比は、堆積した浚渫粘土表層の含水比の平 均値より250%に設定した.

また、埋立沈下解析では、有効上載荷重が 0.1kPa 程度 の埋立層下部までのかなり広い応力範囲に対する圧密パ ラメータが必要となる.埋立層表層に近い応力範囲では、 含水比が高く、非常に軟弱でサンプリングができず、通 常の圧密試験を行えない.そこで、図-5 に示すような埋 立工程を模擬した多層沈降実験を行い、その堆積物の含 水比分布から圧縮性を示す体積比 (f=1+e) –圧密応力(p) の関係(以後f-p 関係)を求めた、またこのf-p 関係を 用いて、実験で得られた時間泥面高さ関係をシミュレー トできる圧密係数(Cv)–圧密応力(p)の関係(以後 Cv-p関係)を試行錯誤的に求めた.ここでも解析には埋立過 程をシミュレートできるCONANを用いている.

多層沈降実験から得られる応力範囲は、せいぜい1 kPa 程度であるので、同様に堆積させた試料に予圧密圧 力を加えて作製した土塊を供試体とした圧密試験を行い、 その関係と先に示した多層沈降実験の結果を内挿した関 係を解析に用いた.その一例を図-6に示す.



図-6 多層沈降実験ならびに圧密試験から得られた圧縮パラメータの一例

圧密パラメータは前述の方法により,図-7 に示すよう に浚渫予定地より採取した圧密パラメータをベースとし て,*f*-*p*関係についてはその両対数軸上の傾きを,また, *Cv*-*p*関係は,その大きさを平行移動させることによっ て以下に示す解析ケースを設定した.



## 3. 検証

浚渫粘土による埋立が現在終了している,1工区の埋 立履歴を基に,沈下解析手法を検証した結果をまとめる.

図・8 に,投入された浚渫土の累積結果を示す.地山体 積で約10,000,000m<sup>3</sup>の浚渫土砂が投入された.1工区の 面積は774,000m<sup>2</sup>であり旧海底面は DL-7.5m 程度,埋 立高さは DL+7m であった.また,浚渫予定地の含水比 は 80~120%の間にほとんどのものが分布し,場所によ ってはこの範囲から逸脱するものもあった.



図-9 に、図-7 で設定した圧密パラメータを組み合わせ て解析した埋立表面高さの経時変化を示す.同図には、 深浅測量の結果ならびに水準測量の結果も示してある.

埋立開始後 23~26 カ月において, 実測値が解析値の範 囲を超えている.しかしながら, その範囲以外は, 埋立 後の放置期間も含めて, 解析 CASE·3 0.75 倍の *f*-*p* 関 係と 3 倍の *Cv*-*p* 関係の組合せが, 実測値の平均的な沈 下挙動をよく表現している.



図-10 に、測定した埋立地盤内の含水比分布とその時点 に相当する解析結果を示す.測定された含水比は、30~ 250%に分布しているが、含水比が試料の物性に大きく影 響されていることを考慮し、高塑性粘土および砂分含有 量が多いものを削除すると、解析結果は実測値を再現し ているものとみなせる.



図-10 埋立層内の含水比分布

図-11 に、埋立層内に設置した間隙水圧計で計測した過 剰間隙水圧分布とその時点における解析結果を示す. 解 析は、先に示した泥面高さの経時変化を表現できるパラ メータである. 図中の楕円で囲んでいるデータは、砂分 が多かったり、粘土と砂の互層といった解析では想定し ていない地盤である. これらのデータを無視すると、解 析結果は実測値をよく表現していると判断できる.



図-11 埋立層内に設置した間隙水圧による計測結果

さらに、埋立完了後に三成分コーン貫入試験を用いて 測定した過剰間隙水圧分布とその時点の解析結果を図 -12 に示す.解析値は泥面高さを表現できた 0.75 倍の f -p関係および3倍の Cv-p関係の組合せである.沖積 粘土層の厚さによって、解析の結果は異なるが、埋立層 下部と沖積層上部の境界付近に最大過剰間隙水圧が発生 するような分布を示した.実測値は解析値よりもやや小 さめの値を示す結果が多いが、おおむね解析結果と対応 しているとみなせる.

このように泥面高さの経時変化を表現できる圧密パ ラメータで地盤内性状を説明できるか検討した結果, 含水比分布においても過剰間隙水圧においても,解析 値は実測値をよく表現することができた.このことは、 解析に用いた圧密パラメータの組合せが妥当であった ことを意味している.すなわち,埋立地内の粘土の平 均的な圧密パラメータは、ここで設定した組合せであ るといえる.



図-12 三成分コーンを用いて測定した過剰間隙水圧と解析結果の比較

以上により今回適用した沈下予測手法によって,新北 九州空港建設の沈下予測が行えること,また今後浚渫土 による埋立を行う際に,投入する浚渫土の物性を調べる ことよって,ある程度の精度で埋立沈下解析が行えるこ とが分かった.

### 4. あとがき

現在(2001年3月),新北九州空港は浚渫土による埋 立が行われている2工区から,覆土工が終了した苅田工 区まで,建設過程にある.今後,より詳細な検討や長期 間に渡る計測結果など,今後の浚渫粘土地盤に関する知 見もさらに積み重なっていくものと考える.それらの知 見を取りまとめて,超軟弱粘土地盤の認識ならびに有効 利用する上で対処方法を把握していくことが今後さらに 重要と考えられる.

## 謝辞

本稿は、「平成 12 年度新北九州空港埋立検討調査」 (国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事 務所発注)において実施された研究成果をとりまとめた ものである.ここに記して深甚なる謝意を表する.

#### 参考文献

- 佐藤,石貫,北澤,村川,吉福,片桐,寺師:浚渫土による埋立沈 下予測と検証-観測手法の活用-,第35回地盤工学研究発 表会概要集,pp.1381-1382,2000.
- Sato, Ishinuki, Katagiri, Terashi, Kitazawa; Reclamation control of pump-dredged clay by CONAN, Proceedings of the international symposium on Coastal Geotechnical Engineering in Practice (IS-YOKOHAMA 2000), pp. 507-513. 2000.