

新北九州空港整備事業について

New Kitakyushu Airport

- An offshore airport well positioned to meet the demands of the 21st century -

江頭和彦¹・東俊夫²・西島正也³・山縣延文⁴・高田忠宏⁵

Kazuhiko EGASHIRA, Tosio AZUMA, Seiya NISHIJIMA, Nobufumi YAMAGATA, and Tadahiro TAKADA

¹正会員 九州地方整備局 (〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2-10-7 福岡第二合同庁舎)

²正会員 九州地方整備局 北九州港湾空港工事事務所 (〒801-0841 北九州市門司区西海岸1丁目4-40)

³非会員 九州地方整備局 北九州港湾空港工事事務所 (〒801-0841 北九州市門司区西海岸1丁目4-40)

⁴正会員 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 (〒750-0066 下関市東大和町2丁目29-1)

⁵正会員 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 (〒750-0025 下関市竹崎町4丁目6-1 下関地方合同庁舎)

The New Kitakyushu Airport makes good use of the disposal site for sludge generated by port development in Kanmon area. This type of coordinated development results in a substantially lower cost than if the offshore airport were built entirely from scratch. Due to the fact that the New Kitakyushu Airport is being constructed 3 km offshore, residential areas will be only slightly affected by airport noise. This will make it possible to provide 24-hour services at the new airport. Construction works are being carried out with advanced civil engineering technology, taking environmental impact assessment, improvement of maritime safety during the construction works into consideration.

Key Words : airport, artificial island, very soft ground, consolidation settlement, settlement monitoring, surface treatment

1. 事業の目的

現在の北九州空港は、昭和19年に旧陸軍により建設され、戦後の米軍による接收などの変遷を経て、昭和32年に滑走路長1,500mの公共飛行場、小倉飛行場として設置、昭和33年に空港整備法第2条に基づく第二種空港に指定され、昭和35年4月に供用開始された。昭和48年には、名称が北九州空港に変更となり、輸送実績は大阪、松山の2路線で旅客数が27万人に達したが、昭和50年の山陽新幹線開業の影響により旅客数が減少し、昭和58年11月に定期便の運航が休止された。しかし、その後の航空需要の増大を図るため、平成3年3月に滑走路長を小型ジェット機が就航可能な1,600mに延長し、東京への定期便が再開され、平成13年は18万人(速報値)の旅客が利用している。

九州地域においては、特にその地理的特性からも、航空輸送に対する依存度が高く、北九州圏域においても、今後益々の航空旅客の需要が見込まれている。このように、最大でも小型ジェット機までに就航が限られる現北九州空港では、将来需要に対応できないことから、地域振興の浮揚、利用者の利便性向上を図るため、大型ジェット機が就航可能な新北九州空港の建設を行うものである。

2. 事業の内容

(1) 事業の計画, 経緯

大型ジェット機が就航可能な空港の整備について、現空港の拡張も含めて検討した結果、現空港は三方を山に囲まれ空港の周辺まで市街化が進んでいることから、拡張整備は極めて困難な状況であった。そのため、昭和52年度から着手し、平成8年度に

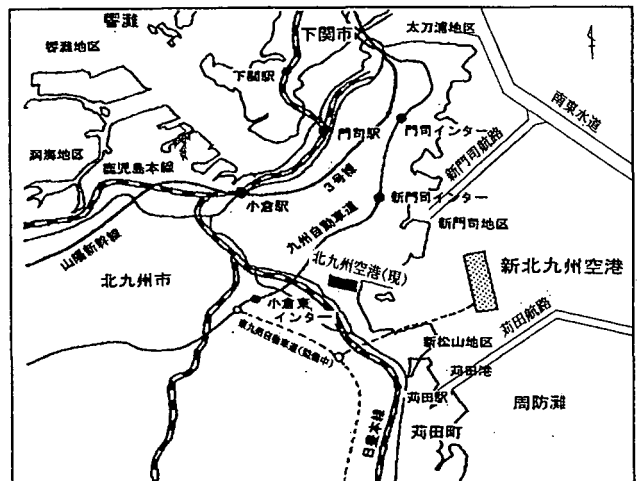


図-1 新北九州空港位置図

埋立を完了した苅田沖土砂処分場（約 150ha）の北側に、新たに 220ha の新門司沖土砂処分場を建設し、合計 370ha の約 4 割にあたる 160ha を利用し、大型ジェット機が就航可能な 2,500m の滑走路を有する新空港として、平成 6 年 1 月に政令指定を受け、平成 6 年 10 月に着手した。平成 11 年 9 月の台風 18 号により、一部護岸が被災を受けたが復旧を終え、現在、鋭意用地造成中である。

な調査について実施していくこととしている。

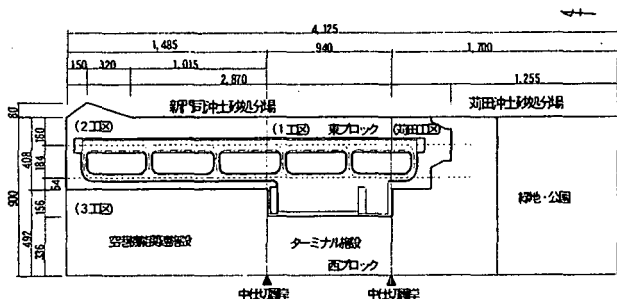


図-2 新北九州空港施設配置及び工区割 (単位: m)

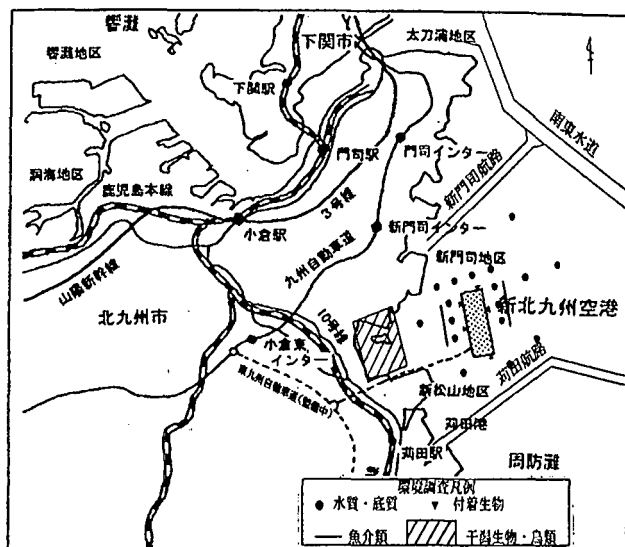


図-3 環境監視位置図

表-1 現空港と新空港の比較表

	現空港	新空港
設置管理者	国土交通大臣	同 左
種 別	第二種空港	同 左
管理面積	約 61ha	約 160ha
滑走路延長	1,600 m	2,500 m
滑走路幅	45 m	60 m

(2) 事業の特徴

新北九州空港は、周防灘沖合約 3km に建設される海上空港であることから、陸側の住宅地における航空機騒音が少なくなることが大きな特徴であり、24 時間就航可能な空港である。また、関門航路・苅田航路・新門司航路等の港湾整備によって発生する浚渫土砂を活用して土地を造成する港湾整備事業と空港整備事業の合併事業として効率的に進められているプロジェクトであることから、海上空港としては建設費を安価にすることが可能となった。

3. 事業実施上の課題

(1) 環境上の配慮

周防灘周辺地域は、瀬戸内海国立公園のほか国立公園、県立自然公園が指定されており、環境保全上の配慮が必要である。そのため、瀬戸内海海域における長期間にわたる事業であることから、空港島建設現場付近の環境監視を図-3 に示す位置にて計画的に実施している。

環境監視項目として、水底質調査や汚濁調査、また、隣接する曾根干潟は九州を代表する干潟の一つであり、渡り鳥をはじめとする多様な生物の生息環境として極めて重要な地域であることから、鳥類及びカブトガニの生息状況について継続して調査を実施し、予測結果についてレビューを行い、その結果を踏まえ環境保全上必要な措置を講じることとしている。なお、埋立完了後についても、引き続き必要

(2) 工事中の航行安全対策

空港島建設現場付近は、フェリーをはじめ漁船が輻輳する海域であり、また、海上空港建設に伴う工事作業船が運航される。このため、工事作業を安全かつ円滑に実施するために、工事作業船の運航が海上交通に与える影響を踏まえた航行安全の確保について、学識経験者、関係官庁ならびに漁業従事者をメンバーとした「新北九州空港に係る船舶航行安全対策調査専門委員会」を開催し、次のような船舶航行安全対策を取りまとめた。

- ①航行安全対策を統括的に実施するため、事業者および工事・作業請負者により構成される船舶航行安全協議会を組織し、工事作業船の運航管理、情報管理、保安応急、環境保全施設維持管理等を確実に実施し周辺海域の安全を図る。
- ②工事区域等を適切な手段と方法により標示する。
- ③工事の安全や、周辺海域の船舶交通の安全を図るため、工事作業船の適切な運航管理方法や運航中止基準を検討するとともに、航行ルート、運航調整、標識、待機錨地、避泊地等の確保を行う。
- ④周辺海域の航行安全を図るため、緊急時を含めた情報を周知徹底する。

4. 用地造成における技術上の検討

(1) 技術上の課題

新北九州空港は、限られた工程の中で、大規模かつ急速施工という条件のもとで確実に施工を行うことが要求されている。このため検討対象となる埋立地盤が形成されていない埋立未了の状態という早い段階での沈下予測が要求された。この埋立地表層は、含水比 200~300% の超軟弱地盤である。

また、面的施設である空港には、平坦性が求められている。超軟弱かつ不均一な地盤状態の上、地盤内には既存の埋立護岸が存在するため、これらに起因する不同沈下対策が大きな課題である。

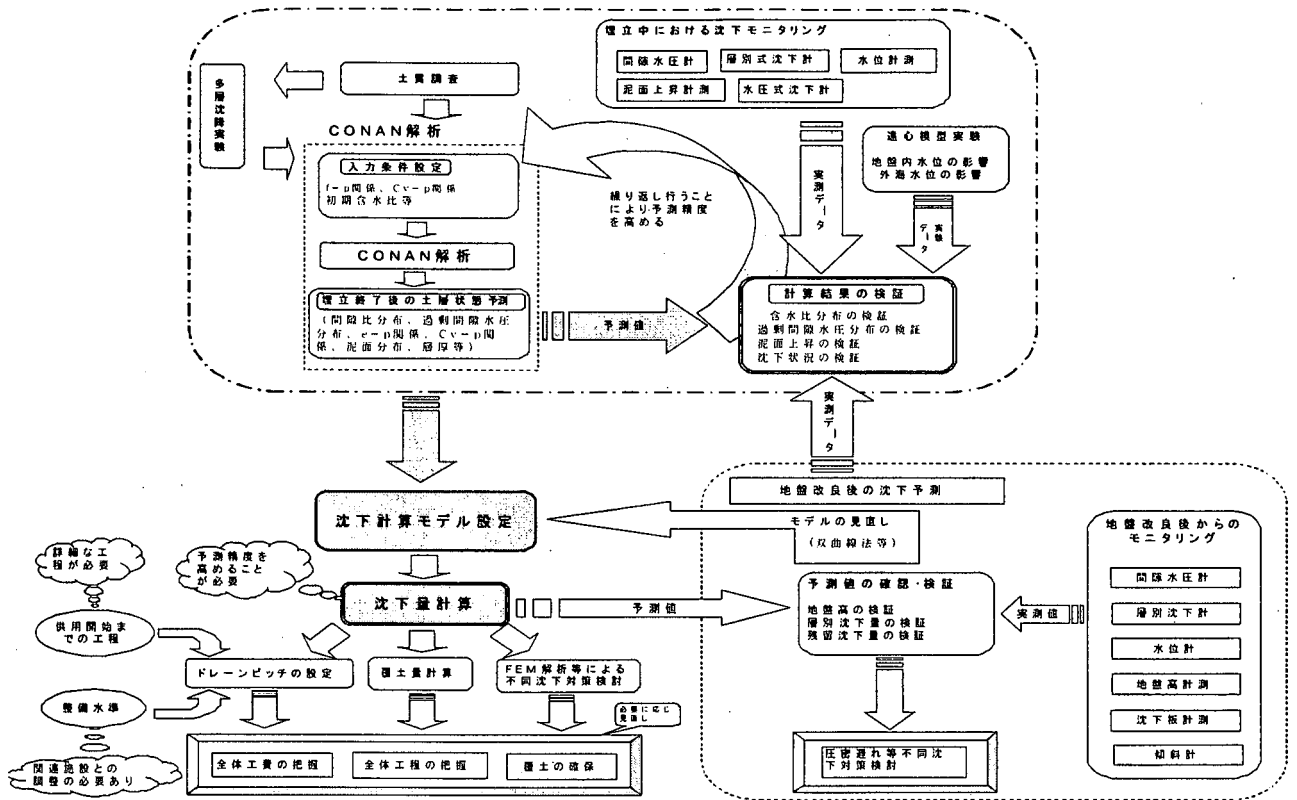


図-4 沈下予測フロー図

(2) 沈下予測

a) 沈下予測手法

通常の埋立地盤は、長い年月をかけて形成され自重圧密が終了した状態にあり、このような地盤で沈下予測を行う場合は、埋立地盤の土質調査を実施し沈下予測を行うのが一般的であるが、工事工程上、通常行われる土質調査による土性の把握を行う時間が十分でないため、沈下予測を行うために必要な埋立地盤の推定を行うことが必要になる。また、このような埋立地盤は、短期間で形成されるため大きな自重圧密を残しており、覆土載荷に伴う沈下と併せて自重圧密を考慮した沈下計算を行う必要がある。自重圧密解析は、今井が提案¹⁾したCONAN解析により実施した。沈下予測は以下の順に検討した。沈下予測フローを図-4に示す。

①沈下特性の把握（沈下パラメータの設定）

埋立粘土層については、土質試験および埋立を室内にて再現する多層沈降実験により低応力レベルを含めた圧密特性を実験的に把握し、自重圧密解析（CONAN）により、沈下モニタリング結果を再現できる適切な沈下パラメータとして、圧縮性に関わる定数： $f-p$ (f :体積比, p :圧密応力), 圧密速度に関わる定数： c_v-p (c_v :圧密係数, p :圧密応力)を設定した。1工区一般部の地盤モデルを図-5に示す。

②埋立工程の沈下検討（地盤モデルの設定）

①で設定した沈下パラメータを用い、埋立層および海底地盤をモデル化した自重圧密解析（CONAN）を実施し、建設工程における地盤初期条件として、埋立層

および沖積粘土層の層厚、埋立層の間隙比、単位体積重量および過剰間隙水圧の深度分布を設定した。
③建設工程の沈下検討（沈下量及び必要覆土量算定）。建設工程における覆土荷重による沈下量は設定された沈下パラメータおよび自重圧密解析（CONAN）によって設定された地盤初期条件をもとにテルツァーギの圧密理論（沈下量： C_c 法, 沈下時間： C_v ）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²⁾）にて地盤改良効果を考慮して設定した。また、浮力計算のための水位を設定し、覆土材の水没による浮力効果を考慮した。

+6.3m	
埋立粘土層	▽MWL+2.1m
$\gamma' = 0.334 \sim 0.433 \text{ t/m}^3$ $e = -1.05 + \log P + 1.6 (Cc = 1.05)$ $C_v = 50 \text{ cm}^2/\text{day}$	
-8.6m	
沖積粘土層	
$\gamma' = 0.450 \text{ t/m}^3$ $e = -1.20 + \log P + 2.0 (Cc = 1.20)$ $C_v = 50 \text{ cm}^2/\text{day}$	
-17.7m	
洪積砂層	
$\gamma' = 0.800 \text{ t/m}^3$	
-20.0m	
洪積砂層	
$\gamma' = 0.480 \text{ t/m}^3$ $e = -0.0856, (Cc = 1.94)$ $C_v = 300 \text{ cm}^2/\text{day}$	
-55.1m	

図-5 地盤モデル（1工区一般部）

(3) 地盤改良設計

a) 整備水準と設計目標の設定

新北九州空港の埋立地盤では、想定される沈下量

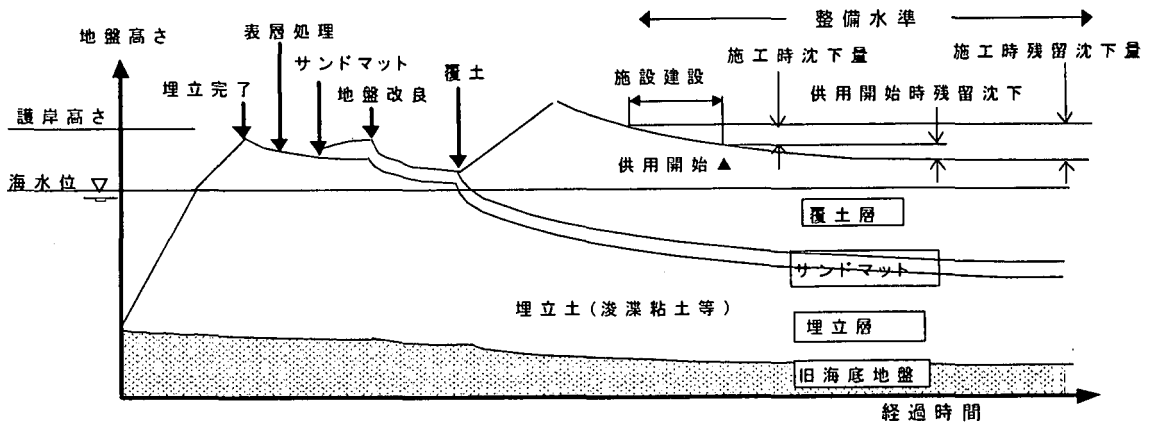


図-6 浚渫土による埋立の工程概念と整備水準

が極めて大きくなるため、整備水準を建設する施設に応じて設定し、造成工事を行う必要がある。整備水準の検討にあたっては、次に示す目的により、施工時の沈下量、施工開始後の残留沈下量、供用開始後の残留沈下量を考慮することとした。

- ・造成した地盤が安定地盤となること
- ・地盤改良の仕様決定の目標値となること
- ・施工精度が確保できること
- ・空港施設が沈下に対して構造的安全性を確保し、かつ機能を損なわないこと
- ・沈下による将来のメンテナンスが軽微となること

新北九州空港では、施設ごとの基準に応じた許容沈下量、埋設物に与える影響、隣接する工区とのすりつけ、他空港の事例などを総合的に勘案し、供用後の許容残留沈下量を20cmとした。ただし、地盤改良設計における目標沈下量は、土質のばらつきなどを考慮して10cmとした。

図-7に実測値を表現できる水平方向圧密係数 Ch を鉛直方向圧密係数 Cv で除した Ch/Cv と打設ピッチ d との関係を示す。同図には、打設ピッチ0.8m~1.6mで行われた香椎パークポート³⁾の試験結果、羽田⁴⁾の事例も示している。両関係とも、打設ピッチに圧密係数が依存し、ピッチが狭いと圧密係数が小さく評価される。この要因としては、ドレーン打設時の乱れによる透水係数の低下が考えられる。乱される範囲は、ピッチによらず同じであるので、ピッチが狭ければ相対的に乱される割合が増加して圧密が遅れることとなる。

b) プラスチックボードドレーンの水平方向圧密係数

本工事では、地盤改良工法としてプラスチックボードドレーン工法を採用した。プラスチックボードドレーン工法の設計では、水平方向の圧密係数が必要となる。通常は鉛直方向圧密係数が代用されるが、香椎パークポート³⁾や羽田⁴⁾では、ドレーンの打設ピッチによって想定される沈下速度と異なること、すなわち水平方向の圧密係数が打設ピッチに依存することが報告されている。本工事では、試験工事をを行い、必要な水平方向の圧密係数を求めた。

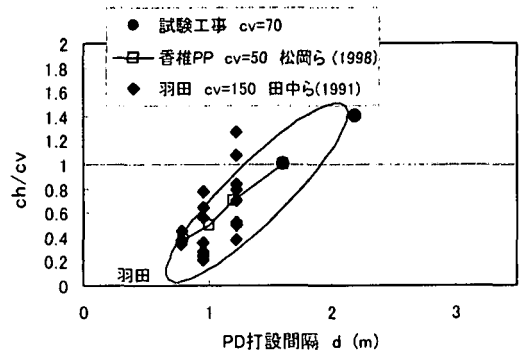


図-7 ドレーンピッチと圧密係数との関係

c) 沈下量と覆土厚

沈下量の予測は、テルツァーギの圧密理論(C法)に基づき計算を行った。その際、浮力計算のための水位は、M.W.L+2.1mと設定し、覆土材の水没による浮力効果を考慮した。洪積層は過圧密状態であり、沈下はごく僅かであることから沈下対象層は、埋立層及び沖積層とした。埋立層は、層厚の約1/2程度、沖積層は層厚の約3割程度が沈下すると予測された。これに基づき滑走路、エプロン等各施設の造成レベルに応じた必要覆土厚を設定した。図-8に1工区滑走路部における沈下量に対する施設造成レベルの概念図を示す。

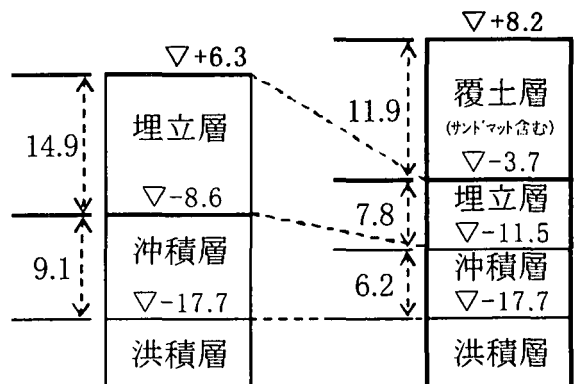


図-8 沈下量概念図(1工区滑走路部) (単位:m)

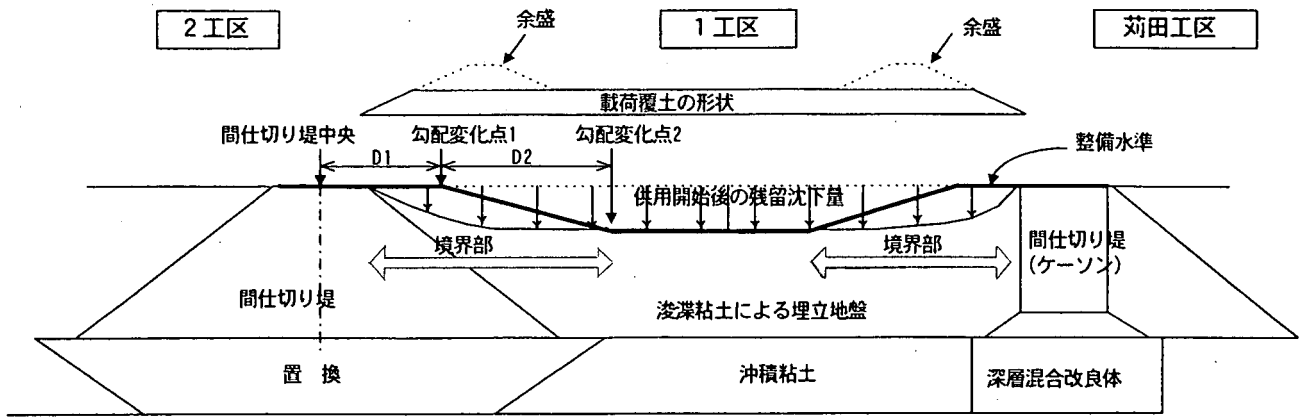


図-9 不同沈下対策概念図

(4) 中仕切堤における不同沈下対策

滑走路及び平行誘導路は、図-2に示すとおり菊田工区、1工区、2工区と3つの工区をまたぐが、途中2箇所の工区境で既に地盤改良が施され沈下しない中仕切護岸があり、埋立地内との境界付近では不同沈下を起こすことが懸念される。

この中仕切護岸付近での不同沈下の発生は、施工中及び供用開始後のメンテナンス等へ影響するばかりでなく、滑走路の勾配及び勾配変化に関する規定を満足できない可能性が生じる。対策としてFEM解析の結果、プレロードを施工する予定であり、その際、載荷重が洪積層に影響しないことも確認した。図-9に中仕切護岸部における不同沈下対策概念図を示す。

(5) 施工における留意点

埋立完了から用地造成工事の一連の工程は、図-10のとおりである。埋立土は、前述のとおり超軟弱地盤であり、また、全体工程計画上、埋立完了後の放置期間が確保できない。そのため地盤改良を施工する上で、排水層のための敷砂及び重機のトラフィカビリティを確保するための表層処理が重要となった。サンドマット層を形成するために、本工事では、ネット状シート工法を採用した。

1工区の場合、全サンドマット層厚1.5mの内、敷砂0.9m、その上層には軽量材である水砕スラグ0.6mを施工した。ネット状シート工法の施工上の留意点は、シートに余分な引張強度を生じさせないことであり、敷砂0.9mは浮力効果を期待して、水張りにより0.3m毎の撒きだし施工とし、水砕スラグ層から陸搬施工とした。

施工中は、均一な厚さ管理及び数ヶ所に設置した張力計によりシートに加わる張力の監視を行った。さらに、覆土工施工に先立っては、コーン貫入試験による地盤強度を確認し、施工上の安定を図った。

(6) 沈下モニタリング

用地造成を決められた工程の中で整備水準を達成するためには、沈下予測値と実測値が整合すること

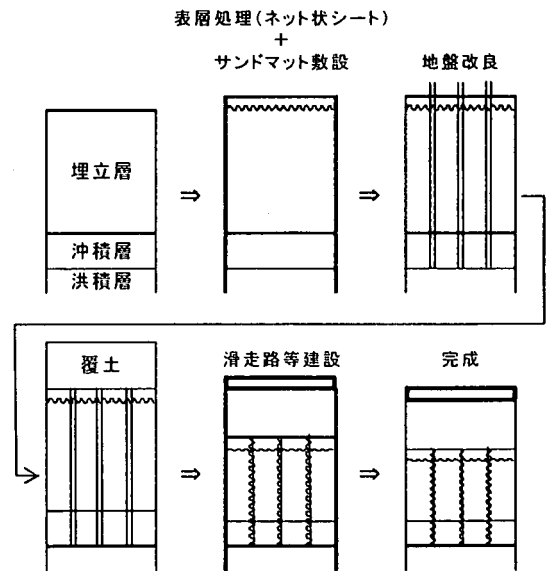


図-10 用地造成フロー

が事業の成否を握る重要なポイントである。そのために図-11に示す位置で、層別沈下計、間隙水圧計、水位計を設置したほか、面的な沈下観測として沈下板による沈下モニタリングを実施している。定期的な沈下モニタリングにより、各施工段階毎に予測値と実測値の比較を行い、パラメータの見直しを行いながら精度向上を図ることとしている。

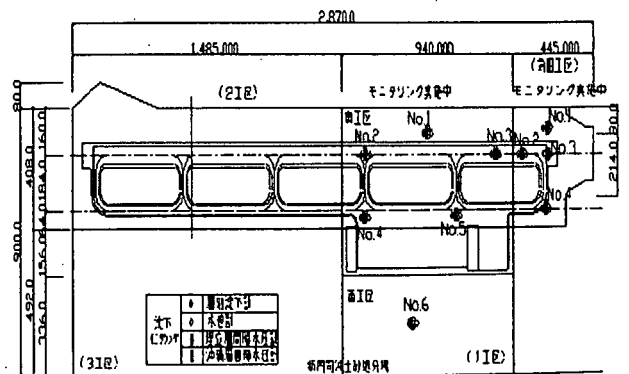


図-11 沈下モニタリング位置図 (単位:m)

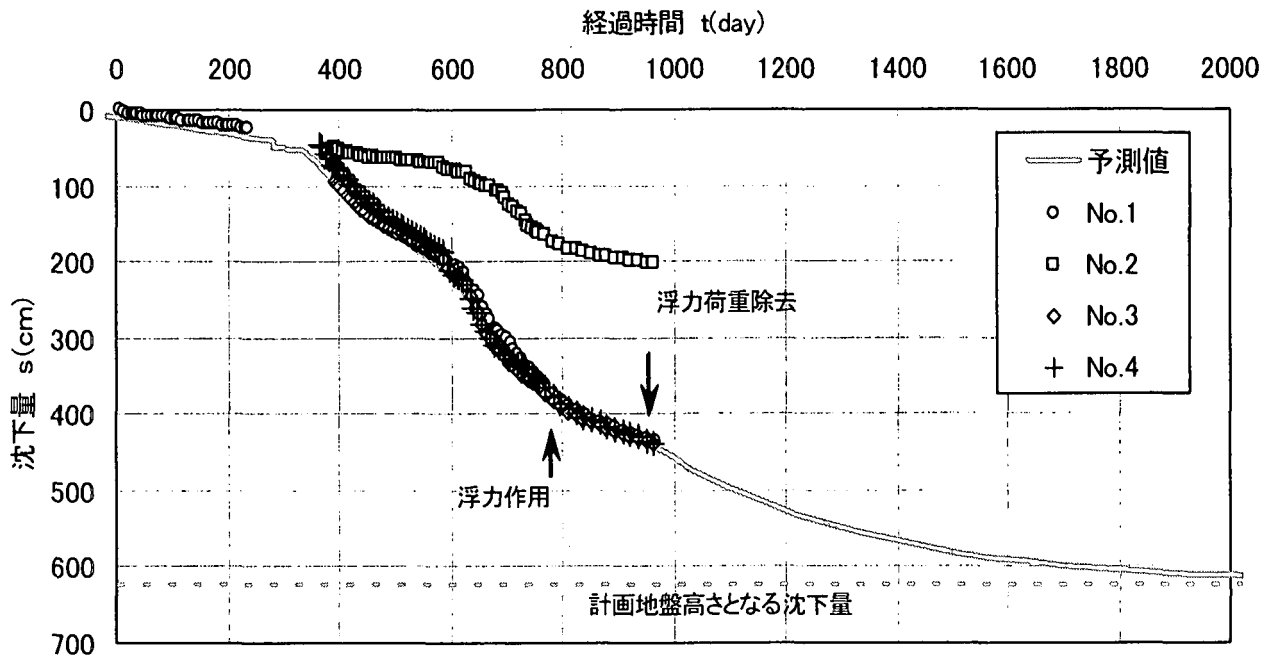


図-12 苅田工区の沈下予測と実績の比較図

(7) 沈下予測と計測結果の比較

図-12に、苅田工区における沈下量の実測値ならびに予測値を示す。また、埋立層以深の予測計画地盤高さとなる沈下量6.2 mも示してある。No. 2の沈下量が他のものより半分程度と小さく、予測値と大きく離れているが、これは中間層に砂層が存在しているためである。このデータを除くと、実測値と予測値は概ね対応している。しかし、詳細に見ると、覆土時では圧密が早く進行し、その後沈下速度が低下し、沈下が収束する傾向を示している。この点については圧密パラメータを再調整し、地盤水位の観測結果に基づき浮力を作用させ(圧密荷重を軽減)、今後、地下水水位が設定どおりに低下するとした場合の解析結果を示している。地盤内水位が沈下挙動に大きく影響することが認められており、今後とも沈下モニタリングを継続観測して、予測の精度向上を図る必要がある。

5. 結論

本文では、新北九州空港建設にあたり、計画経緯、事業の特徴、技術上の課題等を取りまとめた。以下に各課題に対する解決方法や対処方法、得られた知見についてまとめる。

(1) 新北九州空港は、ますます増える航空需要に対応し、地域振興の浮揚や利用者の利便向上を図るため、大型ジェット機が就航可能な、また、24時間運行可能な海上新空港を建設するものである。

(2) 周防灘海域における長期間にわたる事業であることから、空港島建設現場付近の環境監視を計画的に実施することで環境保全に努めている。

(3) 周辺の航行船舶に対して、関係者からなる委員会を設け、航行安全対策に従い事業を進めている。

(4) 超軟弱地盤の自重圧密解析には、今井が提案したCONANを用い、モニタリングデータから圧密パラメータを用い地盤初期条件の設定、予測解析を行った。その結果、沈下モニタリングとの比較から、現状では予測解析の妥当性が検証できた。

(5) 各工区境の護岸が存在することによる不同沈下対策として、FEM解析に基づきプレロード工法を実施することとした。

(6) 各種の沈下モニタリングを行うことにより、施工にフィードバックできる体制をとるとともに、さらに予測精度の向上を図ることとした。

現在、新北九州空港は、開港に向け鋭意建設中である。今後引き続き、提案した沈下管理手法による検討及び沈下管理体制のもと、順次建設を進めていく予定である。

参考文献

- 1) Imai, G.: A unified theory of one-dimensional consolidation with creep. *proc. of 12th ICSMFE Vol.1*, pp.57-60, 1989.
- 2) 吉国洋: \bar{v} -チャルトレーンの設計と施工管理, 技報堂出版, 1979.
- 3) 松岡辰雄, 今西肇, 張得宣, 逸見廣治, 森匠二, 平川里見: \bar{v} -チャットレーン工法に用いる圧密係数の評価, 第33回地盤工学研究発表会概要集, pp.2129-2130, 1998.
- 4) Tanaka, H., Ohta, K. & Maruyama, T.: Performance of vertical drains for soft and ununiform soils, *Proc. Of International Conference of the Geotechnical Engineering for Coastal Development (Geo-Coast '91)*, Vol.1, pp.257-262, 1991