

中部国際空港島の建設における IT 統合情報化施工

佐藤 恒夫・栗原 洋文・岡本 己勝・宇佐美 憲治

中部国際空港の建設において、埋立て用破碎岩・土砂等生産出荷設備の自動化、土量管理、土運船の海上航行管理、GPS を使用した空港島の埋立て施工管理を行った。

この中で、様々な自動計測、自動測量、出来形管理、GIS (Geographic Information System) 等をネットワークで接続統合して、各所で各システムのリアルタイムな情報を共有する事により、工事の円滑な施工と効率化、省力化を実現した。

本工事で行った IT 化施工 (情報の共有化) について、代表的なシステムの概要を紹介する。

キーワード：破碎岩・土砂生産管理技術、埋立管理技術、IT 化施工

1. はじめに

中部国際空港は、その実現に向かい、長い年月を掛け、立地、環境、地質等条件調査・検討を繰り返し、現在の愛知県・常滑沖に決定した。

開港は愛知万博開幕直前の、2005年3月となっており、現在急ピッチで工事が進められている。

当初、漁業補償の関係で、予定より半年遅れの2000年8月の現地着工であったが、以降現在まで約10ヵ月が経過し、海域にはすでに、空港島の輪郭である護岸が概成され、一部旅客ターミナルビル建設区域の埋立て部分が、徐々に出現してきた (写真—1 参照)。

空港島は南北4.3 km、東西1.9 km、空港面積470 ha の人工島で、この上に3,500 m の滑走路



写真—1 空港島全景 (2001年4月)

を設け、国際線・国内線を合わせ、将来の計画対象旅客数1,700万人を見込む、24時間離着陸可能な国際拠点空港となる。

空港島造成施工にあたり、予定地の環境保全、施工工期の制約、埋立て材の確保、土運船の航行管理等、埋立てに係る諸問題は多々あるものの、完成を目指し、熱意をもって鋭意埋立て中である。

本報文では、中部国際空港島埋立てに係る、施工方法と管理技術について紹介する。

2. 施工方法

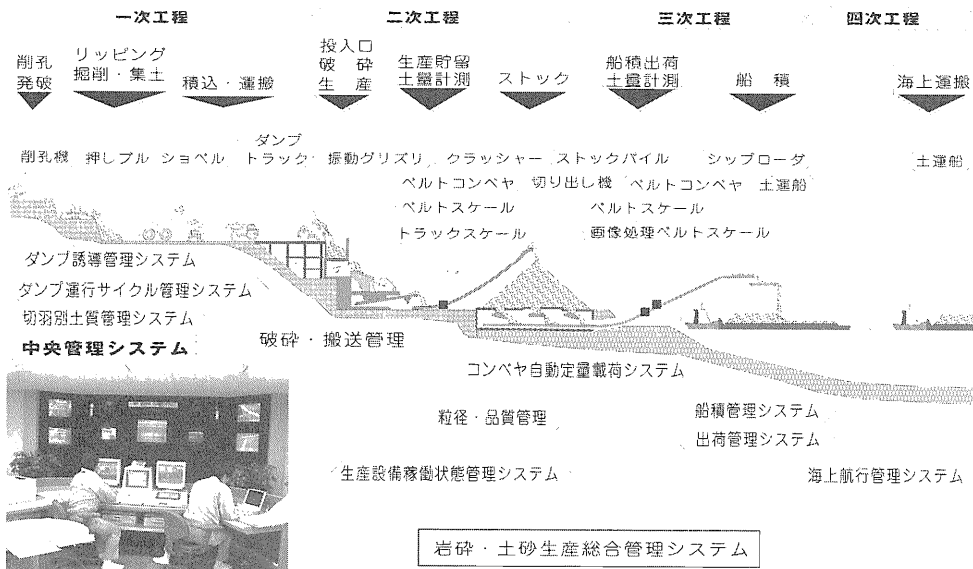
(1) 埋立て材の調達

埋立て材 (破碎岩、土砂) が近距離で得られず、菅島、南島町、藤原 (三重県)、田原 (愛知県)、高知等、遠方かつ複数の生産地より土運船にて、海上輸送し空港島まで運搬する方法と、名古屋港の航路浚渫土で必要埋立て土量を確保する。

(2) 埋立て材生産供給に係る条件

埋立て材の生産供給側での施工条件を次に示す。

- ① 短期間に大量の埋立て材を採取・生産し、安全に安定して空港島へ供給する。
- ② 埋立て材の出荷要求品質の管理
- ③ 生産・出荷土量の管理
- ④ 生産地から空港島埋立て地までの土運船海



図一 岩砕・土砂生産順序と管理技術（菅島）

上航行安全管理

⑤ 生産地の環境管理

上述した諸条件に対し、各土源（破碎岩・土砂の生産地）では、各々工夫を凝らし、生産出荷体制を整えて対応している。

土源の一例として、原料の採取運搬から破碎、ストック、搬送、船積みまでの各種作業工程を自動化し、工程管理の省力化をはかっている例を示す。

ここでは、設備の運転詳細情報から各種製造管理情報・船舶の航行管理情報等を中央管理室に集め、総合管理を行う事により、高効率に安定した生産出荷体制をとり、空港島への埋立て材供給を行っている。

菅島（三重県）の埋立て材生産順序と管理技術の項目を図一に示す。

（3）埋立て材の生産方法

生産方法は、

- ① 原石山をクロラドリル等で削孔装薬し、爆砕採取する方法、
- ② ブルドーザ等でリッピング・掘削集土する方法、

の二つの方法が有り、現地盤の状態により、工法を使い分けて原料採取する。

採取集積した原材料は、ショベル等で重ダンプに積み込み、製品生産設備に設けた一次ホッパへ運搬投入する（一次工程）。

投入された原材料を、生産設備の稼働状況にあわせ、ホッパ下部に設けたエプロンフィーダで引出し、振動グリズリスクリンへ可変供給し、 $\square 200$ mm アンダサイズとオーバサイズを篩分け選別する。

アンダサイズはそのまま陸上コンベヤでストックパイルへ搬送して貯留する。

オーバサイズは製品の要求品質である $\square 300$ mm アンダサイズまでクラッシャーで破碎処理し、前述 $\square 200$ mm アンダサイズ同様ストックパイルへ搬送、製品として貯留する（二次工程）。

土運船の栈橋着岸に合わせ、ストックパイル下部から引出し装置で船積み必要量を引出し、海上コンベヤをへてシップローダ（船積コンベヤ）へ乗継ぎ、土運船へと積み込む（三次工程）。

積み込まれた埋立て材を空港島埋立て地まで土運船で運搬する（四次工程）。

各工程のシステム情報、運用管理情報を中央管理室に集め、全体を総括管理制御して行われる。

（4）岩砕・土砂生産管理技術

- (a) ダンプトラック誘導管理システム

切羽から生産設備の一次ホップまでの重ダンプトラックでの原料運搬を円滑にすることが生産性向上において重要である。ダンプトラックのオペレータは切羽から投入位置に到着するまで、ホップへのダンプアップの可否が分からず、道中を円滑に運搬してもホップの満杯、先着の車両の投入作業中等で投入出来ない状況が発生し、その場で待機となりタイムロスを起こす。

運転手に無線装置と表示を使用して事前に設備の稼働状況や投入の可否等をリアルタイムに知らせ、誘導する。

(b) ダンプ運行サイクル管理システム

投入口に取付けたセンサによって、ダンプの到着、ダンプアップ、出発等の時刻をサンプリングし切羽から投入口までの運搬所用時間、投入口前転回時間、1台のサイクルタイム、時間及び日投入回数等サンプリングし、最適な運搬サイクルを指示調整する。

(c) 切羽別土質管理システム

採土エリア内に設けた複数の切羽は場所ごとに土質が違い、採土場所の偏り等により製造する製品の品質にばらつきが出る。

求められる品質を維持するために、一次ホップへ原料を投入する前に、各ダンプごとの運搬土質と切羽番号を光リモコン通信によってサンプリングを行い、伝達されたデータを元に、採取場所の組合せ等を判定し、積み込み場所の変更、投入場所の指示等を行う。

(d) コンベヤ自動定量載荷システム

短時間に大量の破碎岩、土砂を効率良くコンベヤにより運搬するためには、設置したコンベヤの有効積載断面を最大限に活用した荷の積載を行うと共に、荷が途切れたり脈動せず連続して一定量を供給積載する事が大切である。

今回、PID フィードバック制御により自動で可変速切出し機を制御して一定量を均一に連続して積載する制御システムを採用した。

(e) 船積み管理システム

海上運搬を行う土運船は、すべてその積載量や船倉の形状、長さ、幅、深さ等違いがあり、破碎岩、土砂の積み込み方法も船ごとに対応する必要があるため、あらかじめ土運船データを登録しておく、積み込み桟橋へ着岸する前に船名を選択する事

で、各土運船のデータを呼出して最適な積み込み方法を選定対応する。

また、積載量は予定積み込み量として管理装置にインプットする事により、一次積み込み量(予定積み込み量の90%)を払出し、一旦コンベヤ上の荷の運搬を停止し、残量積み込みの可否とドラフトの偏りを確認した後、残りの10%を積み込み調整量として再払出しを行い、二次積み込みで船積みを完了させる。

積み込み量の払出しは、あらかじめ設定した数量で自動的に停止して、過積載の防止等に対応する。

(f) 出荷管理システム

このシステムは、出荷に係る伝票発行を自動発行して確実かつ迅速に行う事により、現船と次船の桟橋入替え時間を短縮する。

(g) 生産設備稼働状態管理システム

生産設備に各種センサを取付け、各々の機器の稼働状態や全体のシステムとしてバランス良く機能しているか否かを監視する。

不具合発生時には、不具合箇所、状態等を詳細に知らせ、故障復旧に要する時間を最小限にし、設備の稼働率を向上させる。

(5) 埋立てに係る条件

空港島埋立てに係る施工条件は次のとおりである。

① 埋立て区域の水深が3~10mと浅いため、所用埋立て面積を確保するために必要な埋立て土量が少なくてよい。

結果として、関西空港に比べて工期を短く、工費を安く建設することが可能。

② 2005年3月開港を目指して、大幅な工期短縮が急務である。

③ 土運船の喫水(土運船の土砂載荷時の水面下の深さ)は4.5~5.5mであり、土砂の海中投入を1隻分(1層分)でその場を土運船が通過することが出来なくなる。

また、魚礁や他船のアンカーなど浅瀬部があると船舶が座礁もしくは衝突する恐れがある。

④ 空港島の埋立てが複数の企業者で分割分担施工で行われていること、一部浚渫土活用埋

立てのための中仕切り堤がある等、埋立てエリアが区画割りされている。

- ⑤ 埋立て地の一部に軟弱地盤が存在し、沈下及びすべりが発生する可能性がある。
- ⑥ 埋立て用破碎岩、土砂の供給地が遠方各地に分散しており、埋立て材の供給量の大小により、施工サイクルが変動する。
- ⑦ 埋立て土砂の性質・性状が各供給地により異なる。
- ⑧ 供給側土運船の種類、土倉の形状がすべて異なっている。
- ⑨ 揚土船（リクレーマ船）との組合せに互換性がない。

上述した諸条件に対し、埋立て施工側においても、各々工夫を凝らし、円滑な施工を行うべく施工体制を整えて対応している。

(6) 埋立て方法

空港島の埋立て方法は、底開式土運船による(直投)。

箱型式土運船で運搬された破碎岩、土砂を揚土船で揚土する(直接揚土)。

陸揚げされた埋立て材をダンプトラックなどで二次運搬する(間接揚土)。

その他、補助工法と併せて施工する。

埋立て順序および埋立て施工における管理技術項目を図-2に示す。

(7) 埋立て管理技術

(a) 深淺測量

埋立て開始前、直投後および出来形管理のため、ナローマルチビーム測深機を用いた深淺測量システムを採用している。

この工法の特徴は次のとおりである。

- ① 従来の単ビーム深淺測量機に比べて、150度の広角ビームで連続して測量出来るので、地形の微細な凸凹を克明に計測記録出来る。
- ② 魚礁や紛失物の調査など、0.5 mの異質物を調査可能である。
- ③ 潮流などの影響で測量船がまっすぐ航行出来なくても、かなりの範囲をカバー出来る。
- ④ 測量船上で深淺データを入手出来、次船に対する投入指示を直ぐに判断する事が出来る。
- ⑤ 三次元の図面表示が出来ると共に、出来形計算ソフトと連動して、詳細な体積計算が出来る。
- ⑥ 水中下法面を水面ぎりぎりまで測量出来るので、汀線測量システムとの組合せが可能である。
- ⑦ D-GPS (Differential Global Positioning System) 海上測位システム基準局を利用して、水平位置および方向を、RTK-GPS (Real time Kinematic GPS) により計測し、自動潮位計と動揺センサで高さおよび傾斜を計測

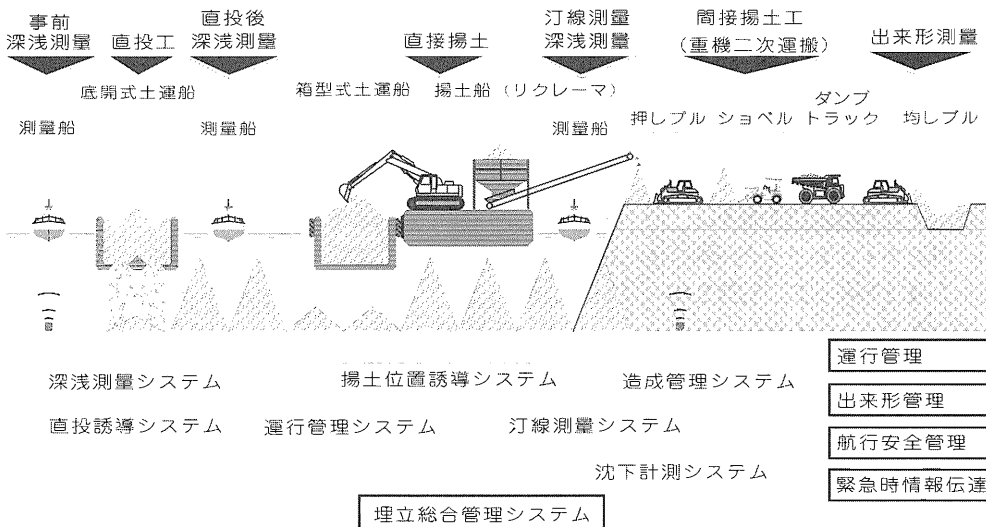


図-2 埋立て順序と管理技術

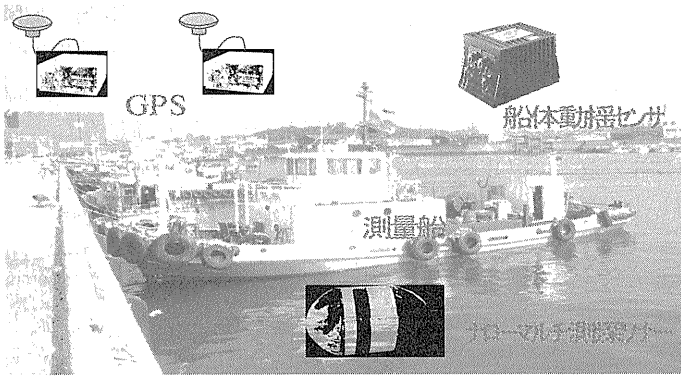


図-3 深浅測量機器構成図

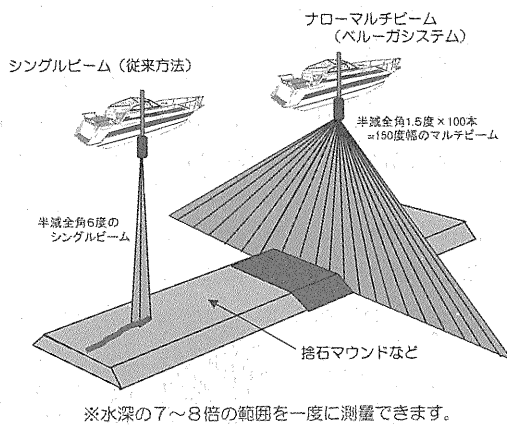


図-4 深浅測量作業イメージ図

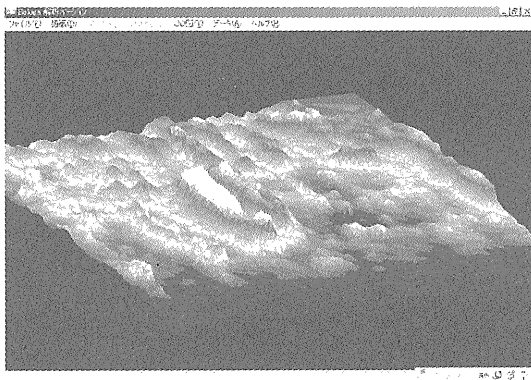


図-5 三次元測量結果

出来る。

図-3に機器構成図を、図-4にイメージ図を
図-5に測量結果を示す。

(b) 直投管理システム

深浅測量の結果に基づいて、次船の直投投入位

置を決定し、土運船に搭載したGPSとジャイロを利用して、船を正確に投入予定位置へ誘導するシステムである。

操船室の見やすい位置に据付けた、パソコンを利用した直投管理システムの画面と投入海域周辺を確認しながら、土運船を運転する。

波浪・潮流などの海象状況に応じて、船体の側方から補助押船で援助し、投入設定位置に近づけ、投入位置の1 m以内に土運船が入った所で「投入OK」の表示が表れ、土砂を投入可能とする。

図-6に底開式土運船誘導システム画面を、写真-2に底海式土運船運転室を示す。

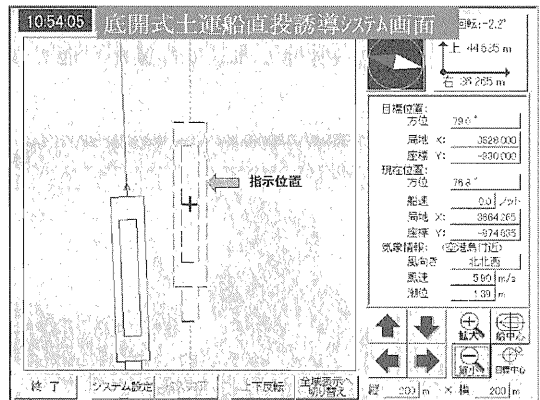


図-6 底海式土運船誘導システム画面



写真-2 底開式土運船運転室 (矢印が誘導システム画面)

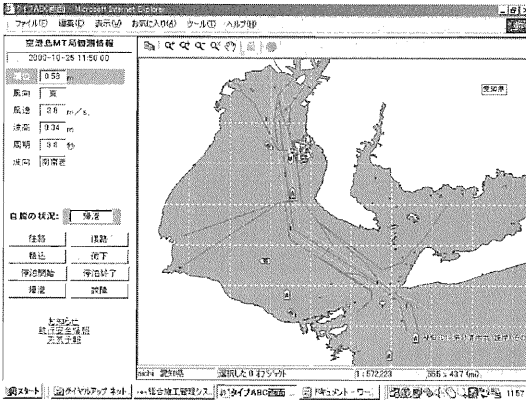
(c) 土運船運行管理システム

運行しているすべての土運船および揚土船の位置情報を、事務所および各船舶で、リアルタイムに確認出来るシステムである。

船舶の位置情報は、GPSと携帯電話会社の双方向パケット通信を利用して広範囲に映し出す事が出来る。

これは、埋立て材が近距離で得られず遠方からの土運船航行に対応したものである。特徴を次に示す。

- ① 自船他船の位置をリアルタイムに確認出来る。
- ② 土運船航行路の海象、気象情報を併せて配信しているため、目的地、運搬経路等、あらかじめ行き先の状況を把握出来る。
- ③ 土運船が土源を出航する時点で、船名、船種、積荷の量、出航時刻等の情報が埋立て施工側においてあらかじめ確認出来、空港島到着時刻の予測が可能となり、土運船の航行運搬中に埋立て側での受入れ体制を整え、スムーズな島内誘導と埋立て作業が可能となる。



図一七 運行管理用画面

④ 土運船の航行予定、軌跡、漁場位置、危険区域、夜間停泊場所、工事用船舶航行路等の情報を伝達する事により、船舶航行の安全確保と管理を的確に行うことが可能。

上述により、多数の揚土船、作業船、土運船の運用が稼動状況に応じて、最も効率的に実施可能となる。

図一七に運行管理用画面を、図一八に運行管理用機器を示す。

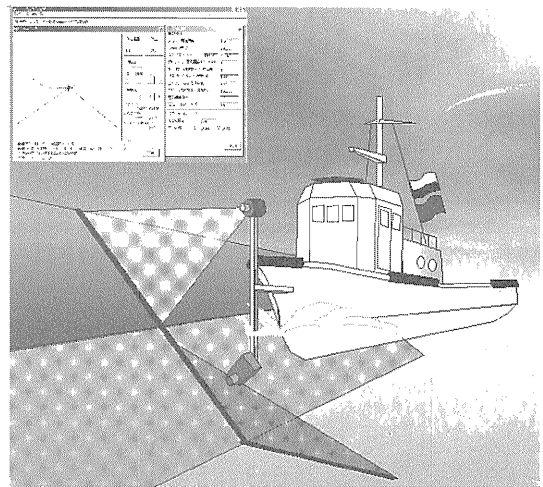
(d) 汀線測量システム

埋立て土法面の内、潮の干満に影響される箇所の測量には、多くの労力、時間が費やされる。

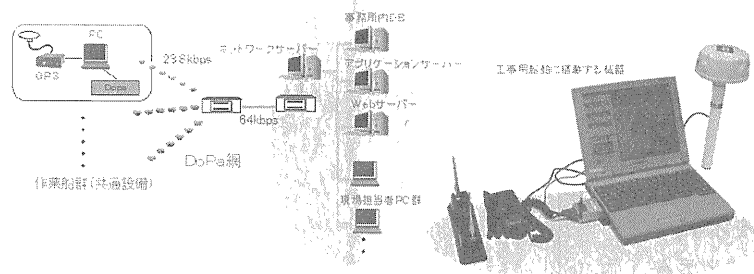
これを測量船により深淺測量と同時に測量するシステムである。

陸上部はレーザプロファイラ、水中部はナローマルチビーム測深ソナーを少し陸側に傾けて、連続的に測量し、データを記録するシステムである。

船体の揺れ(ロール、ピッチ、ヨウ)は、深淺測量と同期させて精度を高めている。



図一八 汀線測量イメージ図



図一八 運行管理用機器

システム構成

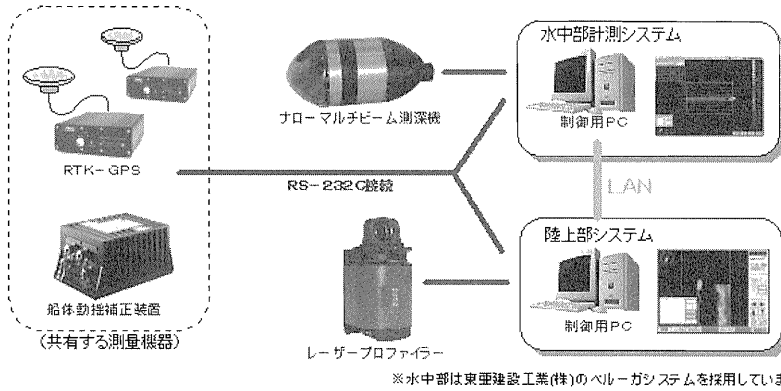


図-10 システム構成図

測量精度は±15 cm 程度で石積み傾斜護岸の測量には十分である。

波浪で被災した護岸の測量などの場合に有効である。

図-9 にイメージ図を、図-10 にシステム構成図を示す。

(e) 造成管理システム

揚土船の払出しコンベヤから排出された土砂は、ブルドーザにより押土整地される。

ブルドーザの作業位置および地盤高を RTK-GPS により計測し、搭載したパソコンで自動処理のうえ記録され、リアルタイムで表示が可能な、新造成管理システム (GP (Global Positioning) ドーザ) を採用した。

オペレータは運転室内で自機の位置、均し高さを確認出来、測量者を介することなく押土作業を行う事が出来る。

また、同じ軌道を経時変化記録どろりにトレースする事により、沈下管理にも応用出来る。

図-11 に造成管理システムのイメージ図を、図-12 にシステム構成図を示す。

(f) ワイヤレス水圧計式沈下計埋立てに伴う海底地盤高の沈下を測定するに

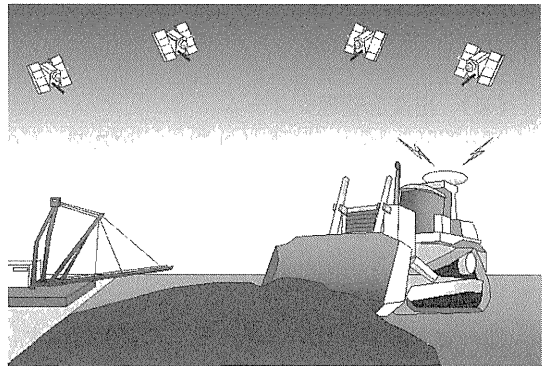


図-11 造成管理システムイメージ図

システム構成

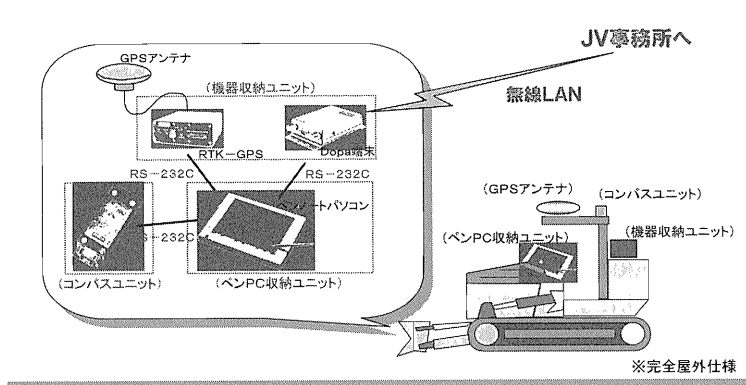


図-12 システム構成図

は、通常プレートにロッドまたは鋼管を継ぎし、レベルで測量する方法が用いられる。

しかし、この方法は、土運船の航行に支障をきたすため、双方向磁気伝送システムを用いた水圧計式沈下計を採用した。

この沈下計測システムは、データを自動記録し、磁気伝送システムにより1~2回/月の測定で埋立て後も地表面から継続して測定出来るものである。図-13 にシステム概要を示す。

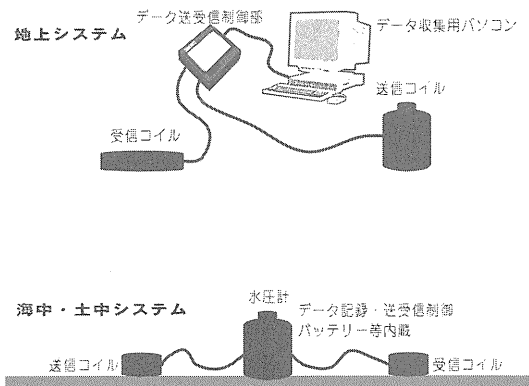


図-13 システム概要

(g) 出来形管理システム

ナローマルチビーム深浅測量、汀線測量、GPSドローザの測量結果を集積し、土量計算、出来形管理を行うシステムである。

海底面から仕上がり陸地面まで三次元処理も可能である。

図-14 に出来形測量結果の三次元表示を示す。

3. 統合情報化施工システム

従来の管理は、埋立て材の生産における生産情報と、埋立て管理における施工情報は各々の施工分担範囲内で独自に使用されており、相互間の連絡は、電話、Fax等により行われ、必要情報の収集に多くの時間を費やしていた。

また、相互のコミュニケーション不足、情報量の不足等により、船舶の待機時間が長時間におよぶ場合や、予期せぬ航行障害により船舶が予定時刻になっても戻らない、あるいは到着しない等の状況もあった。

今回、前述の各々が構築したシステム情報を、

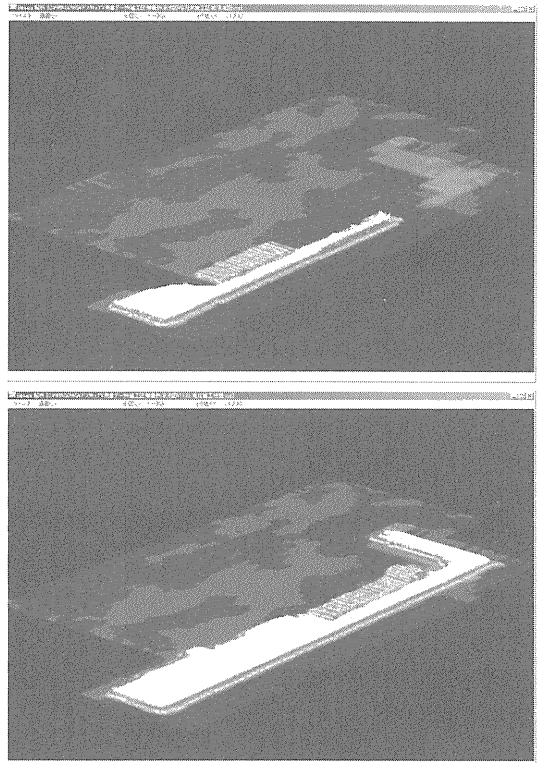


図-14 三次元処理画像

専用のネットワーク回線および携帯電話の双方向パケット通信等を使用して、広範囲なネットワーク網を形成し、互いに情報を公開し、相互が必要とする情報を必要な時にリアルタイムで交換・共有する事の出来る、総合情報化施工(IT化施工)を実現した。

これにより、埋立て材の生産出荷から海上運搬、埋立てまで、一連の工事の円滑な施工と効率化、省力化を図ることが出来た。

このシステムの主な特徴を列挙する。

- ① 海上工事における地理情報システム GIS (Geographic Information System) の活用。
- ② リアルタイムな土運船の航行管理・安全管理。
- ③ 土運船、揚土船はもとより、事務所内でネットワークを構築する事により、従事者全員が情報を共有出来る。
- ④ 土源での船積み状況や空港島での埋立て施工状況がリアルタイムで把握出来る。
- ⑤ 浅瀬などが発生する埋立て現場に、このようなシステムを構築することにより、夜間で

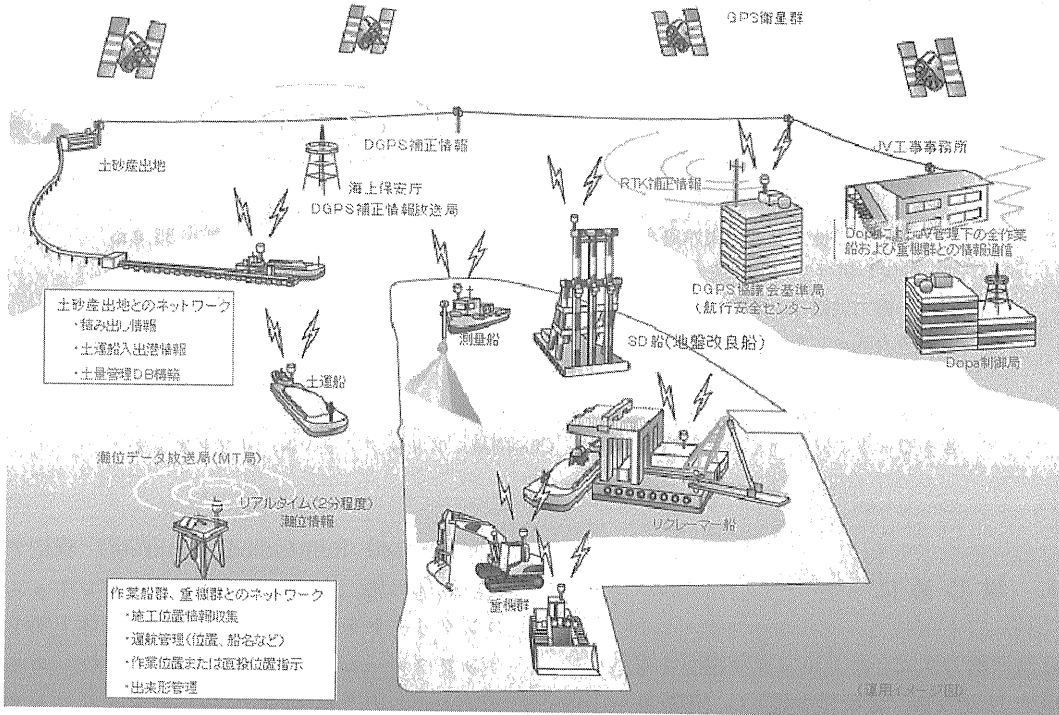


図-15 総合情報化施工ネットワーク概要

も入出域が可能となる。

- ⑥ 有効な土運船配船計画が立案出来る。
- ⑦ 迅速かつ計画的な埋立て計画が可能。

図-15 に総合情報化施工ネットワーク概要図を示す。

4. おわりに

インターネットの普及に伴い情報ネットワーク網の整備が行われ、関連する情報伝達技術が飛躍的に進歩している。

今回紹介した中部国際空港島埋立て施工においても、その情報ネットワーク網を活用して、各種要素技術と情報伝達技術を駆使し、遠方各地からの埋立て材調達の手間削減と工事用船舶の効率化運用に貢献している事と確信している。

工事従事者全員の目標として、空港島の早期完成を願い、本報文を終わる。

【筆者紹介】

佐藤 恒夫 (さとう つねお)
 中部国際空港株式会社
 建設事務所
 所長



栗原 洋文 (くりはら ひろふみ)
 中部国際空港護岸その4 JV
 所長



岡本 己勝 (おかもと みかつ)
 中部国際空港菅島 JV
 所長



宇佐美憲治 (うさみ けんじ)
 中部国際空港菅島 JV
 副所長 (機電)

