

# 大規模埋立てに対応した土運船用 光波式土量自動計測システム

尾崎 正明・大村 光正・今村 一紀

最近の港湾・空港等の埋立てには、大規模かつ急速施工の要請などにより大量の陸上土砂が用いられており、シップローダにより土運船に積込み海上輸送されることが一般的である。従来、土運船の土砂量は、人手により計量されており、安全性や施工性の面で課題があったが、関西国際空港1期工事において、光波距離センサ等を用いた土量自動計測システムを開発・実用化し、安全性や施工性の向上、人員の省力化などが図られた。2期工事においては、1期工事の実績をもとに耐久性の向上と検収業務の更なる合理化を図ることを目的に改良・開発を行い、現在稼働中である。

キーワード：光波式土量自動計測システム、土量検収、ガウス関数近似法、大規模埋立て工事

## 1. はじめに

最近の港湾・空港等の埋立てには、埋立て予定地の周辺海域に適当な土砂が少なくなってきたことや浚渫による海洋汚染が問題となってきたこと、また大規模かつ急速施工の要請などにより陸上土砂がよく用いられている。

大量の陸上土砂を扱う場合、土砂採取地よりベルトコンベヤにて搬送され、シップローダにより土運船に積込まれ海上輸送されることが一般的である。

従来、土運船の土砂量は、人手により計量されていたが、安全性や施工性の面で課題があり、人工島の築造など大規模かつ急速施工が要求される工事では、限られた静穏日に土砂積込み作業を中断させずに安全かつ迅速に積込み土砂の容積を計測する方法が求められていた。

このような背景のもと、わが国が世界に誇る大型プロジェクトである関西国際空港1期工事において、スキャン機能付き光波距離センサを用いた土量自動計測システムを開発し、実用化した。その結果、安全性や施工性の向上、人員の省力化など大きく改善された。

関西国際空港2期工事においては、1期工事の実績をもとに耐久性の向上と検収業務の更なる合理化を図ることを目的に、システム全体の改良・開発を行った。

ここに光波式土量自動計測システムの概要と関西国際空港2期工事に向けた改良点と実績について紹介する。

## 2. システムの概要

土運船に積込まれた土砂量は、ドラフトによる計量（重量）が主に用いられている。しかし、関西国際空港造成工事では、1期工事を含めて水深、軟弱地盤という条件下で大量急速施工を行う必要があり、軟弱な沖積層や洪積層の沈下の問題から土量の計画出来高をあらかじめ精度良く定めることが困難である。そこで工事途上での出来形の管理や埋立て完了後の施工履歴の管理等を目的として搬入時の土量（容積）を確認することとなった。

土運船に積込まれた土砂の容積検収は、従来、検収員が土運船に乗り込みスタッフや計測器を用いた測量（人力検収方式）にて行っている。人力検収方式は、既に確立された方法であり、精度も良く、多くの実績があるが、大量の土砂を扱い早朝や夜間の作業を伴う場合、安全上や効率上の問題から作業の改善が望まれていた。そこで省力化を目的として土運船の土砂量をスキャン機構付きの光波距離センサを中心とした自動計測するシステムを開発、関西国際空港1期工事において実用化し、その後改良を重ね、2期工事においても採用されている。本システムの採用実績を表—1

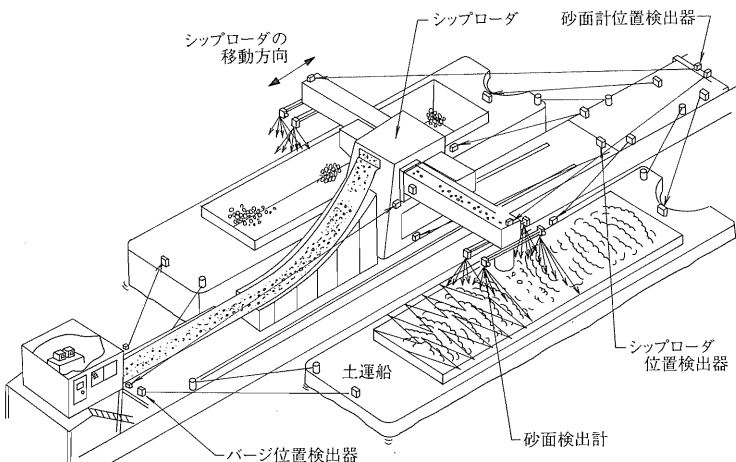
表一 採用実績

年度	発注者	事業名
1989	関西国際空港(株)	関西国際空港埋立土砂搬出工事(一期, 加太)
1989	関西国際空港(株)	関西国際空港埋立土砂搬出工事(一期, 阪南)
1999	関西国際空港用地造成(株)	関西国際空港埋立土砂搬出工事(二期, 洲本)
1999	山口県住宅供給公社	愛宕山地域開発事業
2000	関西国際空港用地造成(株)	関西国際空港埋立土砂搬出工事(二期, 加太…工事中)
2000	関西国際空港用地造成(株)	関西国際空港埋立土砂搬出工事(二期, 岬…工事中)

に示す。

光波式土量自動計測システムは、シップロダの先端に取付けられたスキャニング機構をもつ光波距離センサ(砂面検出器)により土運船の積載土砂面を検出するとともに自動追尾型光波測距測角機でシップロダおよび土運船位置を3次元的にリアルタイムに計測し、土量を求めるシステムである。

砂面計が取付けられたシップロダは、土砂積込みの際に移動し、また、土運船は、波浪の影響により動揺したり、積込み時の荷重変化により船体傾斜が生じる。そこで、計測されたデータを唯一の固定体である積込み栈橋を基準とし一元化するために、積込み栈橋やシップロダ上に取付けられた各計測機器により計測された値の計測時間のずれを合わせるとともにシップロダと土運船の座標系の変換を行っている。変換した計測データは、ガウス関数近似法を用いて解析・積分し、積込み土量を算出している。なお、計測は、



図一 システム概念図

積込み開始から終了まで連続して行い、積込み終了とほぼ同時に終了し、約1分後には、計測データをもとに算出した土量が帳票として出力される。

図一にシステム概念図を示す。

本システムは、以下の特徴がある。

- ① 積込み設備(シップロダ)を利用して土砂積込み作業中に自動的に計測するため土運船への積込み作業に支障を与えない(施工性向上)。
- ② 積込み作業と平行して計測しており、積込み完了後直ちに計測結果が得られる。
- ③ 土運船やシップロダ等の動きをリアルタイムに計測しており、計測データの一元化を図るとともにガウス関数近似法を用いることにより高精度な計測が可能である(高精度)。
- ④ 夜間や人手で対応できなかった荒天時にも計測が可能である(安全性の向上)。

図二に計測フローを示し、図三にガウス関数近似法による土量算出原理図を示す。また、写真一に土砂投入状況、写真二に計測状況を示す。

### 3. 関西国際空港2期工事に向けた改良点

関西国際空港2期工事に向け1期工事の発生した問題点をもとに機器の設計から見直しを行った。特に、約10年前の1期工事と比較してハードウェアやソフトウェア技術の飛躍的な発達によりさまざまな機能の向上が図られている。

以下に主な改善点について挙げる。

- ① シップロダと計測管理室とのデータの伝送

土砂の積込みに伴い移動するシップロダ上に取付けられた機器からの計測データは計測管理室に無線伝送を行っている。

1期工事においては、当時最も伝送速度の速い(単位時間当たりのデータ伝送量が多い: 9600 bps) 光伝送装置を採用し

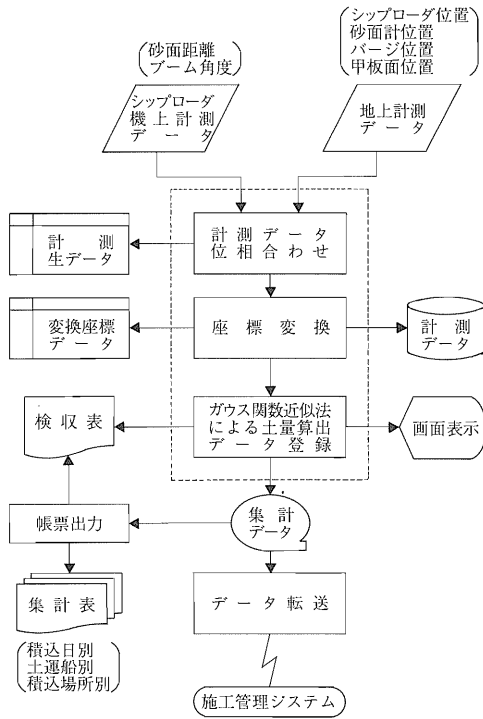
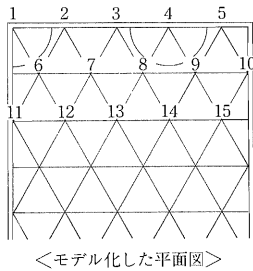


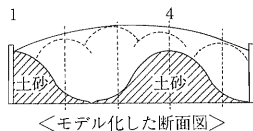
図-2 計測フロー



① 土運船の泥倉の平面上に正三角形の格子を配列し、交点をガウス関数の中心とする。

② 各点をガウス関数にて関数化、加算し、土面形状全体の関数とする。

③ 土面形状の関数を積分し、積載土量を算出する。



\* 自然落下により堆積した土砂面の形状を多数のガウス関数の集合体とみなし算出する。なお、山のなだらかさ(ガウス関数のパラメータ)で規定している。

図-3 ガウス関数近似法による土量算出原理図

ていたが、レンズの汚れに伴う伝送不良や機器交換時の光軸の調整などメンテナンス性に難点があった。2期工事においては無線伝送装置(1Mbps:約100倍の伝送速度)の採用と無線LANの構築によりデータ伝送の信頼性の向上と計測や制御に用いているコンピュータ(全5台)間のデータの共有化を計っている。

② データの通信

1期工事においては、土砂供給施設から関空管

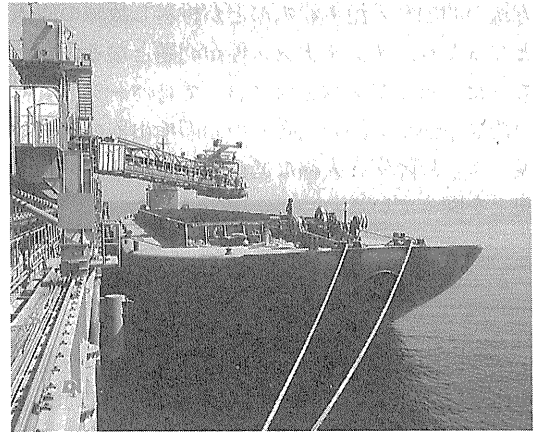


写真-1 土砂投入状況



写真-2 砂面検出器

理センターへフロッピーディスクを用いてデータの受渡しを行っていたがデータを確認するまで時間を要するなどの課題があった。そこで2期工事では施工管理システム(データベース)等へNTT公衆回線を用いてデータの伝送を行っている。

③ 故障時の対応

故障が発生した場合、通常、初期段階では電話によりメーカーとやりとりを行うが、意志の疎通が十分に図れず、対応に時間が掛かることがある。そこで異常が発生した場合、警報を発生し、対処方法のガイダンスを表示する「故障診断支援システム」と遠隔地から即時にメーカーが診断可能な「リモート・メンテナンスシステム」を開発、採用し、異常発生時の対応性向上を計っている。

④ 計測機器および検出方法の改良

1期工事において計測機器の取付け位置や検出

方法の問題から泥や泥水などが付着し故障の原因となったり、メンテナンス性が問題となる場合があった。そこで2期工事においてはバージ位置検出器など検出方法の見直しや砂面検出器の機構改良により故障率の大幅な低減とメンテナンス性の向上を図っている。

#### 4. 関西国際空港2期工事への適用と実績

関西国際空港2期工事は、現在供用中の空港を沖合いに拡張する工事で、面積にして545 haもの広大な敷地を埋立て、4,000 m滑走路の整備を行う大型プロジェクトである。この工事では、大阪側の2箇所、淡路島側の2箇所、計4箇所の土砂供給施設より合計2億5,000万 $m^3$ の土砂を採土し、埋立て、造成する計画となっている。

本システムは、現在2期工事向けの淡路島洲本市の土砂供給施設（公称積込み能力：5,600 t/h 積込み量：約70,000 t/日）において、平成11年12月から運転を開始し、現在順調に稼働しており、さらに、和歌山県加太および大阪府岬においても今年早々の本格的な稼働を目指し工事中である。

導入前には組合せ総合試運転を兼ねて工場内においてさまざまな土砂モデルによる実証実験を行い精度の確認を行った（計測精度=±1%）。また、洲本の積込み施設への設置に当たっては、その積込み施設の構造、機構ならびに機能を十分に調査し、事前の検討・検証を経て2期工事への適用を確認した。

設置後の総合試運転の際には土砂の積込み様態として想定される、

- ① 底開式土運船の空船計測（積載していない状態での計測）、
- ② 箱型式土運船による空船計測、
- ③ 積込み計測、
- ④ 積込み後の空走計測（同一状態での繰返し計測）、

の4段階でのシステムの作動と精度を確認した。

現在、この積込み施設からの土砂の供給量は、日当たり約4.3万 $m^3$ 、積込み隻数では、約14隻となっている。これらの積込みに対して、計測要員は2名を配置し2交替制で計測管理に当たって

おり、埋立て工事を進める中での施工管理支援システムの一環として大いにその機能を果たしている。

#### 5. おわりに

大規模な埋立て工事では、工事期間が長く、取扱う土砂も膨大である。しかし、本システムのように、近年のIT（情報技術）の革新とともに施工管理の電子化、自動化が進められ、施工の効率化、安全性の向上が図られている。今後、インターネットの普及、定着など、さらなるIT革新により、関連した周辺工事間で電子情報の交換が進められ、工事全体のさらなる効率化が図られるものと考えられる。

最後に、本システムの実用化並びに改良・改善に向けてご指導・ご協力戴いた山口大学工学部・田中正吾教授はじめ関係者の皆様方に深甚なる謝意を申し上げます。

#### 【参考文献】

- 1) 田中正吾ほか：「埋立施工システム—光波式土量検収システム」、計測と制御、第34巻、第2号、1995年2月
- 2) 尾崎正明ほか：「光波式土量自動計測システム」、第8回建設ロボットシンポジウム、2000年7月
- 3) 大河内正博：「関空2期事業における光波式土量検収装置について」、空港土木技術シンポジウム、2000年9月

#### 【筆者紹介】

尾崎正明（おざき まさあき）  
関西国際空港株式会社  
建設事務所  
所長



大村光正（おおむら みつまさ）  
東亜建設工業株式会社  
大阪支店  
関西国際空港総合事務所



今村一紀（いまむら かずき）  
東亜建設工業株式会社  
本社  
機電部

