

4

デジタルカメラによる土運船土量検収システムの実用化

柏原裕彦

KASHIWABARA Hirohiko

株式会社日本港湾コンサルタント/九州支社/技術部/第二設計課/副主幹



1—はじめに

海上空港や沿岸部における工業用地等の造成のような大規模な埋立工事において、土運船の稼働率を上げ、短期間に大量の土砂を投入することができれば、建設コストの縮減が期待できる。

そのためには、船舶への土砂の積込作業終了後、安全かつ速やかに土砂の容積を検収する方法が必要となる。人力による検収では、土砂積み込み作業終了後、複数の作業員が土運船に乗り込んで、土砂にスケールを当てるなどして測量を行うことから、作業に時間を要する上に安全性の問題があった。また、機械式の検収方法では、短時間に安全かつ高精度な土量計測が可能であるが、システムが高価という難点があった。

本システムは、これらの課題に対処するために写真測量技術を用いて、大型土運船の積込土量を短時

間かつ安全に計測することを目的として、五洋建設(株)、(株)本間組と共同開発したものである。

2—埋立工事の概要

本システムの開発ならびに実用化は、新潟県直江津港荒浜ふ頭地区公有水面埋立事業において行った。この事業は平成11年3月の埋立免許を受けて、同年4月より着工し、LNG火力発電所用地および外貿貨物を扱う公共ふ頭用地を造成するために行われた約100haの大規模埋立工事である。外周護岸は平成11～13年度に施工され、本システムを利用した埋立工事は平成14～16年度に実施した。

埋立面積約100haのうち、約70haの火力発電所用地の土砂は、埋立対象地から18km離れた場所にある公園整備事業の建設残土を利用した。

土砂は陸上の公園造成計画地からベルトコンベヤで搬送され、海上に設置した棧橋のシップローダ(土砂などのばら物を岸壁から本船へ

連続的に積み込む装置)により土運船に積み込んだ。現場で稼働しているすべての土運船による1日の総運搬量は40,000m³、ベルトコンベヤの土砂搬出能力は4,000m³/時、工事全体で約950万m³の土砂を運搬した。

3—システムの概要

写真測量の原理は、ある対象物を同時に撮影した2枚の写真(ステレオ画像)において、お互いの同一点を見つけ出し、左右の画像で明暗の類似値を求め、この値が最高になるときを一致したと見なすものである。これをステレオマッチングと呼んでいる。したがって、左右2台のカメラの配置が既知であれば、ステレオマッチングによる解析によって撮影対象を3次元形状に復元することができる。

また、今回のような用途に写真測量技術を適用する場合には、土運船の船倉を一望できる位置に2台のカメラを設置することが望ましい。しかしな



図1—土運船の経路



図2—土砂積み出し場所平面図

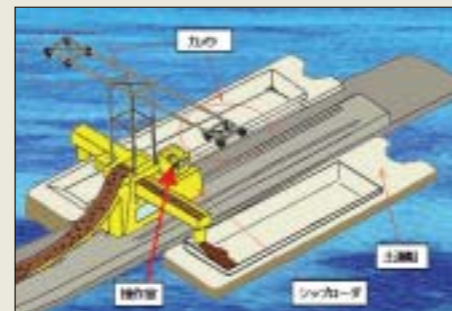


図3—システムの概略図 土運船は棧橋の両側に接舷

がら、一般に土運船を接岸する場所付近に高所はなく、仮に高所を築造できたとしても台風等に耐える基礎を建設するのは高価であり得策ではない。

そこで、本システムでは、海上の船積棧橋上に設置された既設のシップローダ上にフレームを設置して、このフレームにカメラを取り付ける構成とした。

このシップローダが、一方の船の積み込み作業が終了したら、速やかにもう一方の船に土砂の投入を行うことができるように、船積棧橋は両側に土運船を接舷する構造にしている。一方、シップローダの位置によっては、一組のカメラだけでは、死角が発生することがわかった。したがって、カメラは片側に2組、シップローダの両舷に計8台設置した。

また、撮影対象が大きい(長い)こととカメラの設置位置の制約から撮影範囲が限定され、全景を一度に撮影できないので、シップローダが

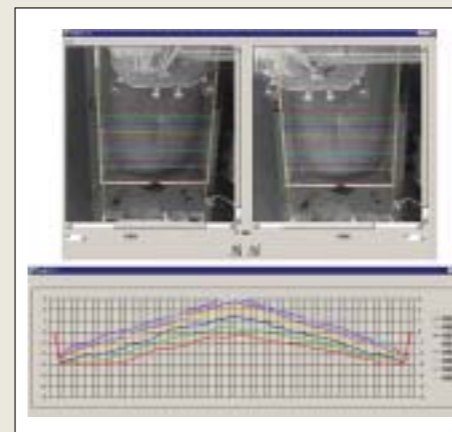


図5—ステレオ画像処理の例

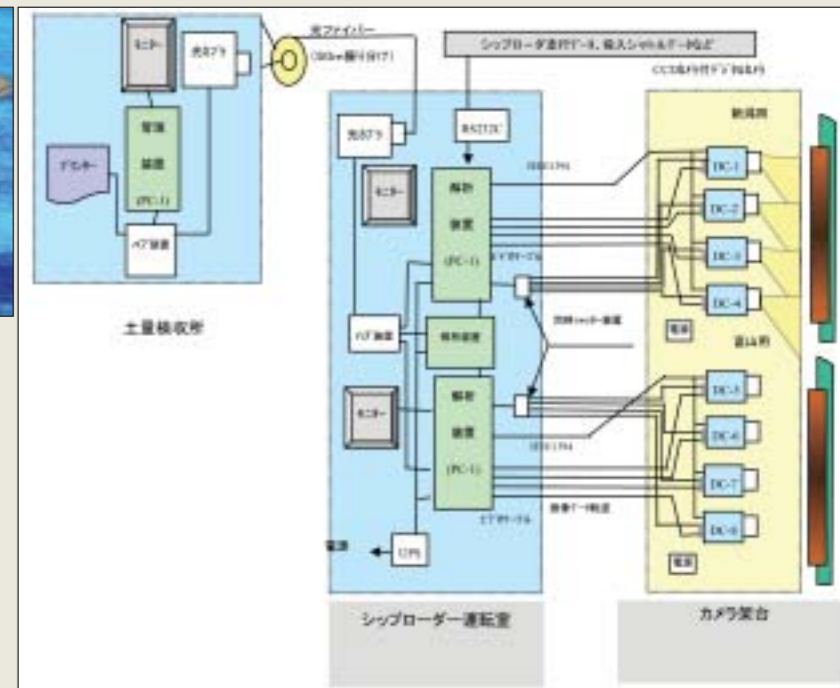


図4—システムの構成図

5m程度移動するごとに部分的な撮影を行い、解析段階で合成して全体の画像を得るシステムとした。

4—システムの仕様ならびに条件

- (1) 適用可能な土運船の諸元
5,000m³までの土運船(船倉幅は最大24mまで対応可能)。
- (2) 計測精度
土山形状の計測間隔は自由可変。実施工では縦断方向1m間隔、横断方向20cm間隔で計測。計測誤差は1%以内。
- (3) 夜間計測時における照度等の条件。

積載土砂表面で250ルクス以上の照度が必要(20Wの蛍光灯の明るさが約300ルクス)

- (4) 視界
操作室より積載土砂の視認が可能なこと。霧や降雪等により視界が妨げられる場合を除き計測可能。
- (5) 解析時間
得られた画像をもとに検収土量が算定されるまでが30分程度。土運船は積み込み作業終了後、速やかに出航できるので、人力による検収のように検収作業によって船が拘束されることはない。

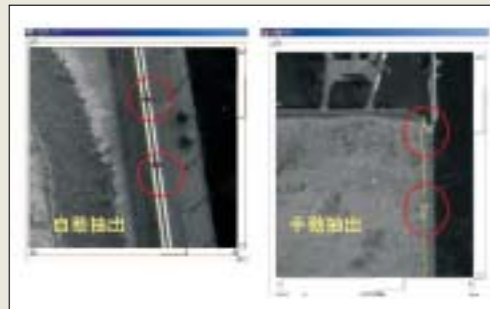


図6—土量検収フロー図

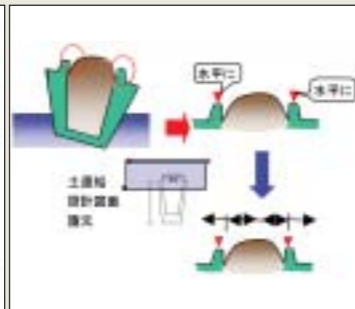
5—土量検収の手順

撮影から画像転送までは棧橋先端のシップローダ運転室で行い、画像処理や復元処理等は陸側の土量検収所で行っている。

- (1) 撮影
撮影はシップローダの運転室にてオペレータがベルトコンベヤの作動状況を見な



■図7—コーミングの抽出例



■図8—コーミング天端面による自動補正概念図



■図9—断面データの自動修正

がら、撮影の開始・終了ボタンを操作する。モニター画面にて正常に撮影されていることを確認する。

(2) 画像処理

一連の画像処理は土量検収所の解析装置により自動で行われるが、

オペレータにより確認も行っている。不具合が見つかった場合は半自動に切り替えて処理する。

(3) 復元処理

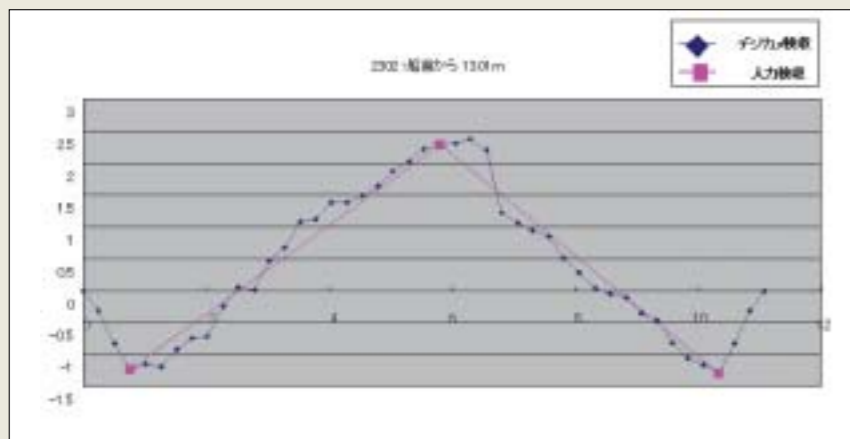
断面が正常に処理されているのを確認し、断面作成・土量計算後



■写真1—人力による検収風景



■写真2—ドラフト検収風景



■図10—人力検収と本システムとの比較

に帳票を出力する。

6—システムの実用化

本システムの実用化にあたり、下記に示すようなことを行った。

(1) 土運船のコーミング形状の自動抽出とハレーション対策

本システムでは、実寸の確認ならびに土運船の傾斜を補正するためコーミング(甲板上の船倉口などに取り付けられた甲板より一段高く張りめぐらせてある口縁)を利用している。具体的には、コーミングを黄色く塗り、内側に10cm幅の黒線を入れ、システムが確実にコーミングを識別できるようにした。また、ハレーション対策として黒線に適宜、十字マークを入れた。その結果、画像合成のために必要となる同一点をコーミング上で容易に抽出できるようになった。

(2) 動揺する土運船の自動補正

撮影した画像からコーミングを自動抽出し、あらかじめ土運船データベースに登録してあるコーミングの形状と撮影した土運船のコーミング形状を比較して、傾きや方向を修正するようにした。

これにより、土運船が傾斜していても補正が可能となった。また、コーミングの幅で長さを補正するので、土山形状を計測する際の誤差を小さくすることができる。

(3) モザイク処理による複数の画像の合成

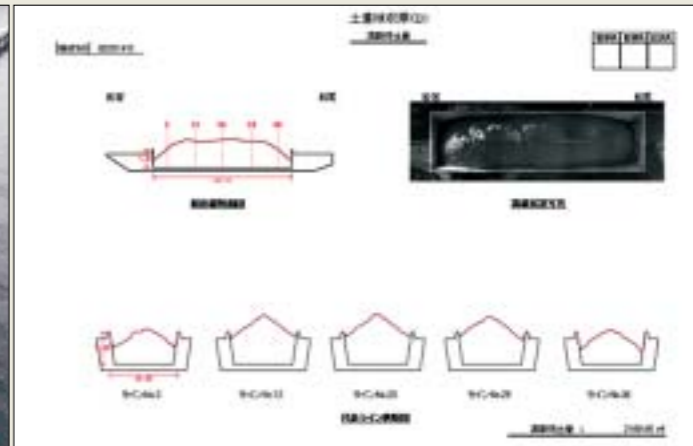
モザイク処理とは、撮影した複数枚のステレオ画像をつなぎ合わせる技術のことである。ラップしている部分の画像から相互の対応点を解析装置にて自動抽出し、画像をつなぎ合わせ、全体の土山形状を算定する。検収用写真が必要であれば、複数の画像をつなぎ合わせた写真で代用することができる。

(4) 断面データの自動修正

写真測量を土量検収に適用する際



■写真3—検収作業風景



■図11—帳票出力例

■表1—検収実績一覧

	平成14年度	平成15年度	平成16年度	合計
検収総土量 (m ³)	3,091,241	4,103,898	2,222,488	9,417,627
検収延べ日数 (日)	104	121	81	306
検収機会 (回)	1,313	1,698	965	3,976
検収実績 (回)	1,276 (97.2%)	1,644 (96.8%)	921 (95.4%)	3,841 (96.6%)
1日稼働時間 (時間)	10.0	10.5	10.0	
検収期間	H14.4.30~H14.10.28	H15.4.1~H15.10.11	H16.4.1~H16.8.26	



■図12—運行管理・工事情報システム(Webサイト)下側に土運船の運行管理画面が、上側にベルトコンベアの稼働状況(動画)が表示されている



■図13—運搬土量管理画面

に生じる大きな課題として、凹凸が少ない鉄板や水溜りによる光の反射、あるいは日陰部分のように濃淡が少なく光学的な陰影が一様で鮮明でない場合に、ステレオマッチングする対象点が見つかりにくいことである。開発当初はその部分を手動で修正していたが、これを次第に経験

則としてアルゴリズム化していった。実際にシステムを運用してみると、船倉の底より土山の断面が深く作図される傾向があった。このように船倉の底より深いデータについては、土運船データベースに登録された船倉の底の高さに合わせてデータを自動修正するプログラムを作成した。

(5) 精度の確認

計測精度の確認と故障時の代替検収の選定を目的として、本システムと既存の検収方法との比較検討も行った。

人力検収との比較では、土量の差は平均で0.23%、最大0.96%であり、土運船を静穏な水域に停泊させて目視にて喫水の変化を読み取るドラフト検収との比較でも問題がないことが確認できた。また、ベルトコンベアに設置した重量計により搬送する土砂重量を計測するベルトスケール検収との比較においても、1日の全体誤差が0.63%と1%以内の測定精度にあることが確認された。これらの結果を踏まえ、適宜、ドラフト検収により単位体積重量を確認することとし、システム故障時にはベルトスケール検

収を実施することとした。

また、カメラの設置位置や撮影精度に関しては、定期的に照査を行うこととした。

(6) Webによる情報共有

取り扱うデータがデジタルデータであることから、波高や風速のような気象海象データ、Webカメラによるベルトコンベア等の稼働状況の動画、GPSによる土運船位置情報等と組み合わせて、現場だけでなく離れた場所でも、Web上で情報共有を行なった。

7—おわりに

本システムはコスト削減を目的に写真測量技術を応用したシステムとして開発提案し、海上における風雨等の厳しい現場条件を克服し、試行錯誤を繰り返し実用化した。

今後、類似の大規模埋立工事だけでなく、大規模陸上工事等においても、本システムが低廉かつ高精度で安全なシステムとして広く活用されることを期待する。

<参考文献>
 1)『建設の機械化』1994.2(No.528) 奥田、平松
 2)『写真による三次元測定』日本写真測量学会編 共立出版
 3)『土木建設技術シンポジウム2003』土木学会

<資料提供>
 1)新潟県 港湾空港局
 2)新潟県 直江津港湾事務所