

大規模連続土工のシステムインテグレーション —土砂破碎・搬送設備の総合運転監視システムの構築 (岬町多奈川地区多目的公園用地造成事業 土砂採取供給工事)—

江川省三・米田 博・井上 繁

ベルトコンベヤによる大規模連続土工では、多くの設備機器が広範囲に配置され、かつ様々な運用支援システムが採用される。主幹となる土砂破碎・搬送機器をはじめ、個々のシステムは近年のセンサ技術、制御技術、情報通信技術等によりユニットとしての完成度は高いが、実用に際しては、これらのユニットシステムを事業場の運用条件に則したソフトウェアの構築に合わせて統合（インテグレーション）する必要がある。ここでは大阪府岬町工事事務所において実施した、集中運転管理を軸とし、予防保全や環境監視にも配慮したシステムインテグレーションの例を紹介し、またシステム構築の段階で特に注力した船積み作業のマン・マシンシステムについて概説する。

キーワード：土工，土砂破碎，大規模連続土工，システムインテグレーション，ベルトコンベヤ，船積み作業

1. はじめに

大阪府では岬町多奈川地区において、大阪府新総合計画や岬町総合計画に配慮した多目的公園整備に取り組むこととし、大阪府土地開発公社に要請して、造成に伴う発生土を関西国際空港2期事業の埋立て用土砂として供給する事業（施工：岬町工事事務所，以下当事業所）を展開している。

2期事業の総埋立て土量は2億5千万 Lm^3 が予定されているが、当事業所からはそのうち7千万 Lm^3 を約5年間で搬出することになっている。

このために計画された土砂破碎・搬送設備は国内では最大規模の機械設備で構成されており、これらの諸設備が事業地から土砂積出し栈橋までの約4kmの長距離にわたって配置されている。

安定した土砂供給を実現するためには、信頼性の高い破碎・搬送システムの構築と運用が必要であり、設計段階から入念に検討を重ね、盤石なシステムインテグレーションを目指した。

2. 工事概要

平成11年7月にトンネル工事，海上栈橋工事，防災工事，設備設置工事等の準備工事に着手し，

平成13年3月から、土砂採取・船積み等を行う本工事を開始した（図-1参照）。土砂採取地は、標高60～210m、面積128haの丘陵地で、地山の大半を占める硬岩は発破、リッピングにより破碎する。

また積込み・運搬用建設機械として、13 m^3 級バックホウ、95t級ブルドーザ各1台と3台の90t級ダンプトラックを基本構成とする積込みユニットが9セット稼働している。採取地のほぼ中央に投入口があり、ここにダンプアップされた土

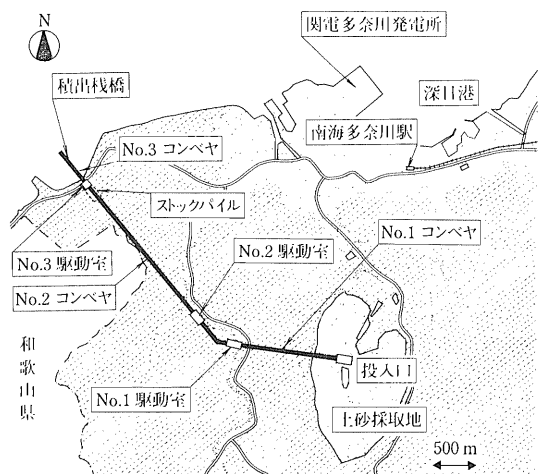
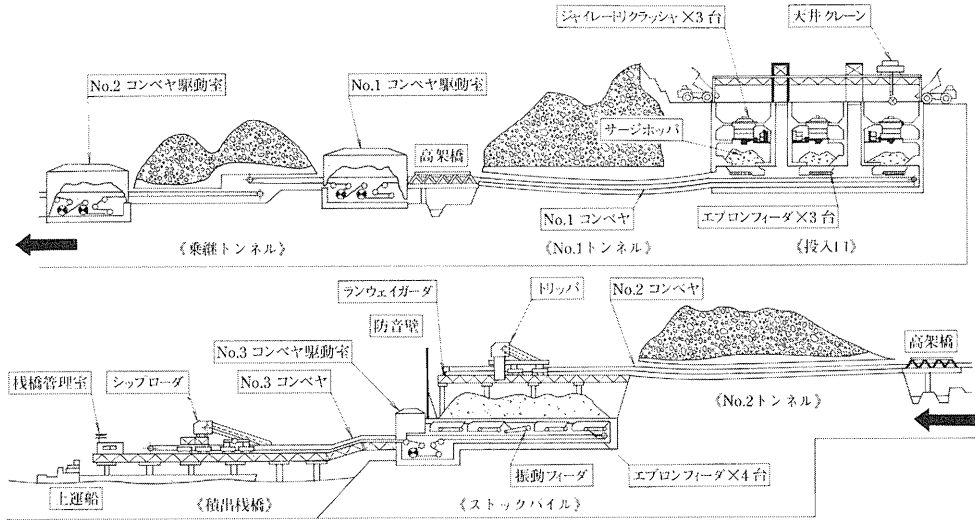


図-1 平面配置図



図—2 破碎・搬送設備フロー図

砂は破碎後、ベルトコンベヤで積出し栈橋まで搬送され、現在1日平均約9万Lm³が土運船に積込まれている。5年間で7千万Lm³の土砂搬出後、設備等撤去工事が予定されている。

3. 破碎・搬送設備の構成

当作業所において、土石の破碎・搬送に使用される主要機械設備は以下の通りである（図—2、表—1参照）。

のに対し、ダンプトラックの土石の投入は断続的、間欠となるため、緩衝機能として設ける土石の貯鉱室（容積約900m³）であり、超音波レベル計、静電容量スイッチによりレベル管理を行っている。

サージホッパ内の土石は、幅2.2mの無限軌道構造のエプロンフィーダからベルトコンベヤに連続切出しされる。

エプロンフィーダはサージホッパレベルとベルトスケール（No.1コンベヤ秤量器）の値で自動制

表—1 破碎・搬送設備の仕様

設備名称	項目	仕様	設備名称	項目	仕様
ジャイレートリクラッシャ	型式	60-109型	トリッパ	ベルト幅(mm)	2,300
	台数(台)	3		ベルト速度(m/min)	280
	駆動モータ容量(kW)	750		走行モータ容量(kW)	15×4
クラッシュトエプロンフィーダ	型式	22-66型	ストックパイル下エプロンフィーダ	型式	22-66型
	台数(台)	3		台数(台)	4
	駆動モータ容量(kW)	132		駆動モータ容量(kW)	160
No.1コンベヤ	水平機長(m)	1,366	ストックパイル下振動フィーダ	型式	RHF-1500 B
	揚程(m)	-0.8		台数(台)	1
	ベルト幅(mm)	2,300		駆動モータ容量(kW)	22
	ベルト速度(m/min)	280		シッフローダ(シャトルコンベヤ搭載)	ベルト幅(mm)
駆動モータ容量(kW)	800×3	ベルト速度(m/min)	250		
		走行モータ容量(kW)	22×8		
No.2コンベヤ	水平機長(m)	2,172	シャトルコンベヤ	台数(台)	2
	揚程(m)	-6.7		水平機長(m)	30
	ベルト幅(mm)	2,300		揚程(m)	0
	ベルト速度(m/min)	280		ベルト幅(mm)	2,500
No.3コンベヤ	駆動モータ容量(kW)	800×4		ベルト速度(m/min)	250
	水平機長(m)	454		駆動モータ容量(kW)	270
	揚程(m)	6.3	設備能力	クラッシャ(T/H・台)	6,000
	ベルト幅(mm)	2,300		No.1,2コンベヤ(T/H)	17,500
ベルト速度(m/min)	250	No.3コンベヤ(T/H)		15,500	
	駆動モータ容量(kW)	1200×1			

(1) 投入口（破碎）設備

土砂採取地内に、重ダンプトラックで運搬された土石を投入する投入口設備があり、ジャイレートリクラッシャ、サージホッパ、エプロンフィーダが垂直に配置されている。

ジャイレートリクラッシャは、底の無い臼状の胴体部と、その中に挿入された釣鐘状の主軸から成り、主軸の偏芯回転運動に伴って生じる胴体部との隙間の伸縮によって岩を圧砕する。

サージホッパは、ベルトコンベヤが連続搬送設備である

御され、切出し量の調整はPID制御によるフィードフォワード・フィードバック方式を採用している。

(2) 積付け系 搬送設備

投入口で積込まれた土石はNo.1コンベヤ、No.2コンベヤを経てトリッパによってストックパイルに貯鋳される。この間(約3.5km)の搬送設備はストックパイルに土石を積付けるまでの連続設備なので、積付け系搬送設備と称する。

No.2コンベヤの先端部約190mがGL+20mの高架(ランウェイガード)になっており、その上に走行式の土砂脱荷装置(トリッパ)を搭載している。トリッパの走行範囲は67mで、この間のランウェイガードとGLの高低差を利用して総貯鋳容量約53,000Lm³のストックパイルを確保している。ランウェイガード下部の5箇所に設置してある超音波レベル計によってレベル(貯鋳量)管理を行っている。

ストックパイルは、土砂採取地での採土時間と、船積み時間との時間差を吸収する目的で設けているが、積付け系設備の故障停止等のロスを払出し系(船積み)設備に波及させない機能も持ち、安定した船積み確保するには欠かせないものである。

(3) 払出し系 搬送設備

ストックパイル地下部にはエプロンフィーダと振動フィーダを配置した暗渠(引出し暗渠)がある。

ここから切出された土石は、海上栈橋までNo.3コンベヤで搬送され、コンベヤ先端部に搭載された走行式シップロードから土運船に積込まれる。

この間(約0.5km)の搬送設備は土運船に土石を払出すまでの連続設備なので払出し系搬送設備と称する。

引出し暗渠のフィーダは、ストックパイルレベルとベルトスケール(No.3コンベヤ秤量器)、及びあらかじめ入力された船毎の積込み予定量によって自動制御され、切出し量の調整はPID制御による。

No.3コンベヤの前半部約340mが海上栈橋上にあり、機長約90mのシップロードの走行区間はこのうちの87mである。

シップロードは、No.3コンベヤ(栈橋方向)に対して直角方向にそれぞれ左右に張出した2条の

シャトルコンベヤ(機長30m、ベルト幅2.5m)を装備しており、これによって栈橋の両側に着岸する土運船に、荷切れすること無く交互に連続して土砂を積込むことができる構造とした(走行1往復で片側1船の積込みを完了する)。またシップロードのみ現地運転室での有人運転で計画した。

(4) その他の設備

設備ラインには、運搬土石のチャージ部(投入口、フィーダ部、乗継ぎ部、ストックパイル、シップロード)に粉塵抑制用の散水・集塵設備、また投入口、コンベヤトンネル、引出し暗渠、栈橋にいたるライン全線に照明設備がある。

4. システムインテグレーション

全長約4kmにわたるこれらのライン設備を安全に、効率よく運転・管理するために以下の項目を主要な柱とし、各種補助システムを統合して集中運転管理方式としてまとめた。

- ① 運転・監視を一元的に行う中央監視室(Central Control Room; CCR)の設置
- ② 光通信ケーブルによる、各設備間ネットワークの構築
- ③ 各種センサによる、設備機器のリアルタイムコンディション(温度、速度、位置、電流、電圧、電力等)の監視とトレンドデータの記録
- ④ 各設備の階層別運転制御方式の導入
- ⑤ ITV設備による各所運転状況の監視
- ⑥ 専用PHS、構内電話、放送設備による連絡通信システムの構築

個々のシステムを統合し纏め上げる過程で、背景とした考え方を「システムインテグレーションにおける4C*」として順を追って概説する。

(1) Categorization—各設備の属する「系」—
ベルトコンベヤ設備においては、「下流起動・上流停止」の原則がある。これは「起動順序は下流設備から、停止順序は上流設備から行う」ということで、積載物を安全に運搬する原則となつて

* 4C: Categorization (分類)
Classification (分級)
Consolidation (併用・強化)
Communication (情報通信)

いる（ただし多くのコンベヤを乗継ぐ長距離コンベヤは例外的にこの原則に従わない場合もある）。

これを踏まえて、ある設備が停止した場合、自動的に当該上流設備を停止するような制御を行う。これをベルトコンベヤの「上下流インターロック」という。

一連の設備ラインにおいて、最上流設備はクラッシュャ、最下流設備はシップローダに装備されたシャトルコンベヤであるが、バッファ機能を有するサージホップとストックパイルによって、機能的にラインは3つに分断されている。換言すればこのバッファが介在する設備間には、「上下流インターロック」が存在しない。この分断された3つの設備群をそれぞれ「破碎（系）設備」、「積付け系設備」、「払出し系設備」と呼び、ソフトウェアを構築する上でのカテゴリーとした（表—2参照）。

各「系」は独立しているため、系別に運転可能であるが、「系」の構成設備は「上下流インターロック」の拘束を受け、「下流起動・上流停止」の原則が適用される。

表—2 設備の「系」

上流 ↑	破碎（系）設備	ジャイレートリクラッシュャ
		サージホップ
	積付け系設備	(投入口) エプロンフィーダ No.1ベルトコンベヤ No.2ベルトコンベヤ トリッパ
		ストックパイル
下流 ↓	払出し系設備	(ストックパイル) エプロンフィーダ (ストックパイル) 振動フィーダ No.3ベルトコンベヤ シップローダ

(2) Classification—階層別運転制御—

(a) 機器の階層

ラインを構成する各々の設備機器は、次の3つの階層によって成立っている。

① 主機設備

ラインを構成する主要設備の名称（クラッシュャ、ベルトコンベヤ、トリッパ等）

② 補機設備

主機設備を構成する要素機械で、主機の運転に不可欠な機能を有するもの（潤滑油装置、パワータイクアップ装置等）

③ 附帯設備

主機に附帯する設備で、主機の運転条件に関与しないもの。多くは主機に連動（従属）運転される（散水装置、集塵機等）。

(b) 機能分散

主機以下の下層設備の制御、つまり主機の起動・停止時の補機・附帯設備のシーケンス制御、インターロック制御、また主機間の上下流インターロック制御は各主機の機側に設けたPLC（ローカルPLC）によって行う。

また各主機の起動停止指令、「系」間にわたる制御、搬送土量設定、シップローダ運転ガイダンス等の主機より上位に位置する制御はCCRに設けたPLC（マスタPLC）によって行い、PLCの機能分散を図ることでシステムの信頼性を向上させている。

PLCとはProgrammable Logic Controllerの略称で、シーケンス制御以外に演算機能・情報処理機能・ネットワーク機能をする汎用コントローラである。

(c) 運転モード

各設備機器は階層別に運転モードを有し、モード切替え操作により臨機に選択できる。これは運転方法にフレキシビリティを持たせることによる危機回避、またメンテナンス等の利便を図るものである。

主機の運転モードは以下の3種類がある。

① 中央モード

CCRにて一元的に運転管理を行うモードで通常の操業はこのモードで行う。

② 機側連動モード

機側にて主機の運転を行うものであり、「系」内の上下流インターロックが有効であるため「連動」モードと称する。

③ 機側単独モード

機側にて主機の運転を行うものであるが、「系」内の上下流インターロックが無効で、単独に起動停止ができる。主にメンテナンス時に使用するモード。

補機・附帯設備には、主機に連動する「連動」モード、単独運転可能な「単独」モードの2種類がある。

(3) Consolidation—システムの併用・強化—

破碎・搬送設備の運転管理システムを軸として、

他の補助システムを効果的に統合し、より完成度の高い堅牢な総合システムの構築を目指した。

(a) ITV 監視システム

CCR での一元管理の実施に際して、設備稼働状況を数値データ等の CRT 画面に表示される情報だけで監視するは不適切なため、設備ラインの要所 21 箇所にて ITV カメラを設置し、CCR に設置した 5 台のモニタにより選択監視できるシステムを導入した。

これにより稼働状況はもとより、ダンプの土砂投入状況、ストックパイルの積付け状況、棧橋の土運船の動向、周辺環境状況も把握できる。

特に環境面において粉塵の浮遊状況を監視することで、投入口、ストックパイルでの散水操作、及びシップロダでの散水・防塵シュート操作の効果的な運用ができる。

(b) 棧橋管理システム

海域での土運船の運行状況、着岸状況等はシステムの運用上不可欠な情報であるが、自動制御機構への組み込みが難しい。

そこで棧橋先端部に端末 PC を備えた棧橋管理室 (Jetty Control Room ; JCR) を設置し、ヒューマンインターフェイスによる必要情報 (着岸完了信号等) の入力を行い、併行して土運船への出荷伝票発行業務を行うシステムとした。

JCR には、当事務所の所掌技術ではないがキネマティック GPS を活用した「土源棧橋周辺監視システム」を導入しており、関西国際空港から各土源を網羅した海域での土運船の位置、動向が CRT 画面でリアルタイムに閲覧できるようになっている。またこの画面はネットワークにより CCR でモニタリングすることができる。

(c) 電力監視システム

特高受変電設備監視、各機器への給電状況の監視、30 分デマンドの予測を行う。

(d) 場内通信システム

場内の主要箇所に PHS システム用アンテナ、一斉放送用設備、構内電話を配置し、設備の運転、メンテナンスに必要な通信システムを構築した。特に PHS システムは、メンテナンス要員との個別通話を可能にし、確実な安全確認、メンテナンス効率の向上に寄与するものである。

(e) 照明管理システム

場内照明機器の操作、及び点灯状況の監視を CCR にて一元的に行う。

(f) トレンドデータ記録と設備診断

主要設備機器の電動機に対して、軸受の振動速度・加速度解析を定期的に行う設備診断を導入し、CCR でのトレンドデータ等マシンコンディションデータの傾向管理と併用することにより、「予防保全」の充実を図った。

トレンドデータ記録は、機器故障時の原因究明においても非常に有効なものである。

(4) Communication—ネットワークの構築—

全長 4 km (CCR を含めると約 5 km) に及ぶライン設備を、各機器のローカル PLC を結節点として CCR のマスタ PLC と光通信ケーブルネットワークでリンクした。バックアップ機能を持たせるため光通信ケーブルは 2 重ループとしてある。

ローカル PLC は各主機用の副変電設備 (Sub-Power Station ; S/S) に設置されており、電源線、計装線、光ケーブルの敷設の簡素化を実現している。

CCR では中央操作卓を設置し、マスタ PLC と、監視用 PC、ITV モニタ等を Ether Net でリンクし、設備の一元的な運転、監視、また帳票の出力等が行えるようにした (図-3 参照)。

5. 払出し系のマン・マシンシステム

今回、システムを構築していく過程で、ハードウェア、ソフトウェア両面において大きな課題となったのは、船積み作業を核とする払出し系設備である。これに対しては要所にオペレータを配したマン・マシンシステムを構築して対応した。

(1) 連続切替えと 1 往復船積み

土運船の積み込み容量は 4,500 t~8,000 t なので、払出し系コンベヤの能力 15,500 (t/h) で積み込めば 20~30 分で満船となる。実船を棧橋から離岸して次の空船が着岸するまで 20 分程度かかるが、仮にこの間、シップロダを待機させると積み込み時間の効率が 50% 以下になってしまう。

これを解消するために、棧橋の両側に土運船を着岸させ、シップロダにはシャトルコンベヤを

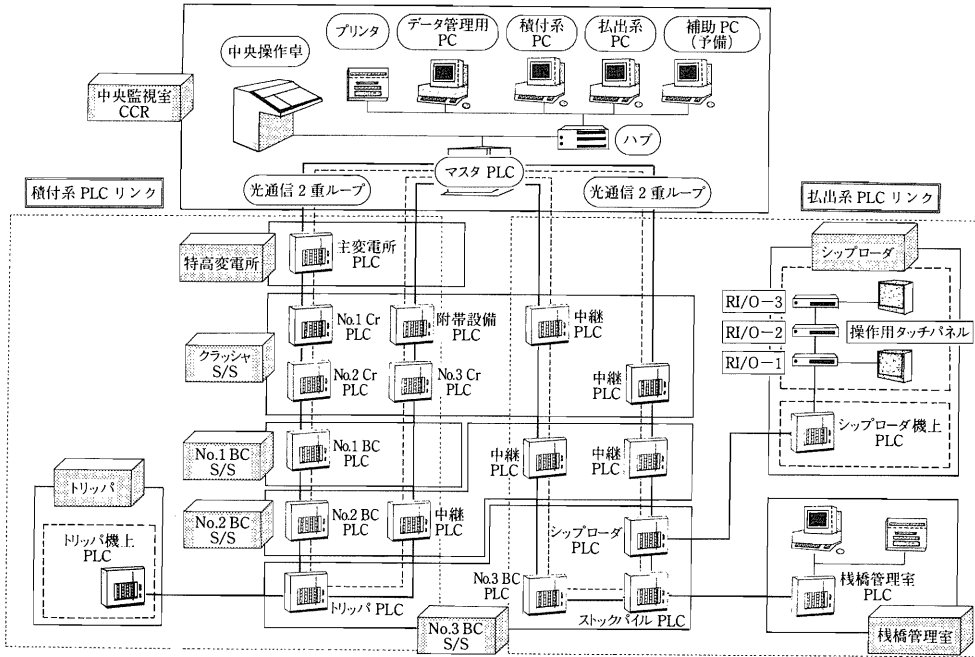


図-3 ネットワーク図

2条配置し、これらを切替えることにより、栈橋の左右どちらの土運船にも交互に継続して土砂供給が可能な構造とした。この左右切替え操作をシップローダの「連結切替え」といい(図-4 参照)、荷切れすること無く連結切替えを行うことを「連続切替え」という。また1往復で積込みを行うのは、走行往路だけで船積みを行うと、積込み中に土運船が過度の片荷になり、支障となるためである(図-5 参照)。

積込み時間ロスを無くするために連続切替えを行う条件は、復路中のシップローダが次船積込み開始点(定点)から10m離れた位置に戻ってくる

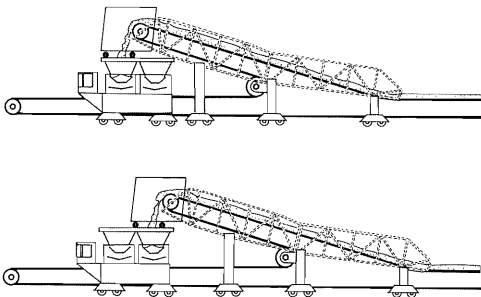


図-4 シップローダの連結切替え

までに次船(空船)の着岸信号をマスタ PLC が受信すること(着岸完了すること)である。これより着岸が遅れると、ベルトコンベヤ後方のフィーダが現在積込み中の土運船の予定船積み量を払出し完了して自動停止するため、荷切れが生じてしまいロスが発生する。

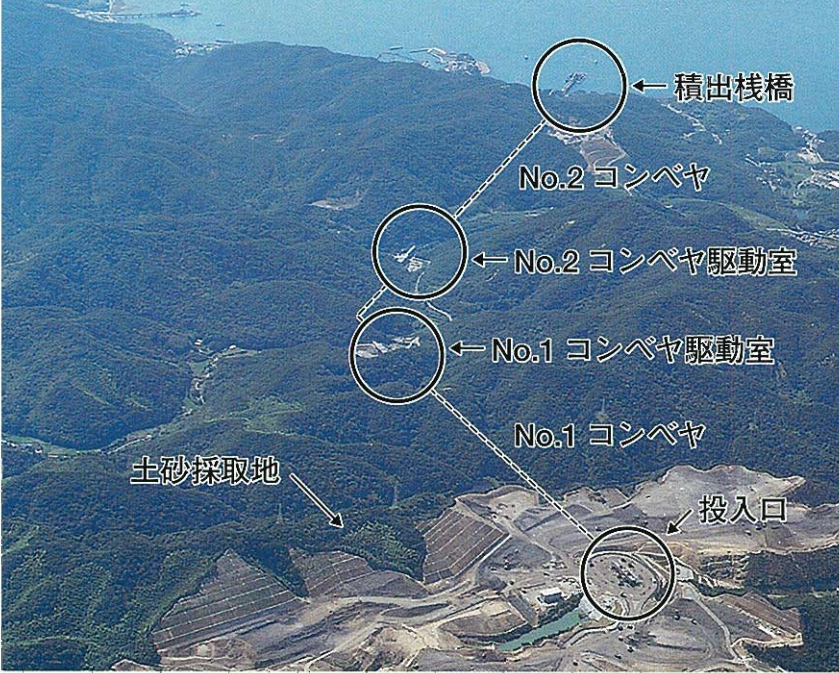
(2) 払出し系運用システム

積付け系が基本的にその終端であるストックパイルの土砂積付け状況に配慮すれば良いことに対し、払出し系の終端である土運船への積込みは、以下の各点に留意する必要がある。

- ① 土運船の形状が多様である
- ② 荷姿の調整が必要で、しかも一定でない
- ③ 潮位・波高による積込み(落下)高さの変化
- ④ 着岸(積込み準備)完了の確認
- ⑤ 残土等による実積込み量の確認・確定

これらに対して、土運船船長との連絡を密にとりながら、土砂切出し量、シャトルコンベヤの張出し長、シップローダ走行速度等の調整、及び連結切替え操作を行わねばならない。

また周辺環境に配慮して、シャトルコンベヤには写真-1の縦帳型の防音シート、蛇腹型の防塵



切羽:積込状況

大規模連続土工のシステムインテグレーション

— 岬町多目的公園造成工事 —



投入口:全景1

投入口:投入状況1



投入口:全景2



投入口:投入状況2



⇧CCR:中央監視室



⇧ベルトコンベヤ



⇧トリッパ・ストックパイル



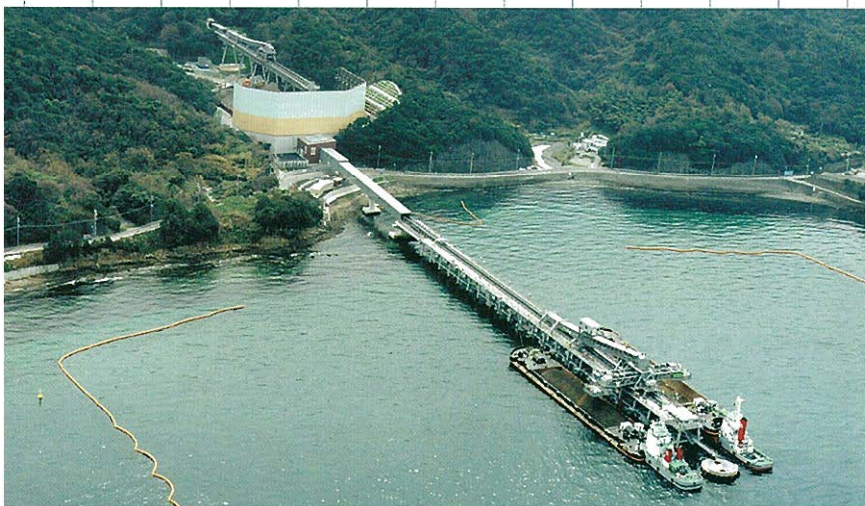
⇧シップローダ積込状況



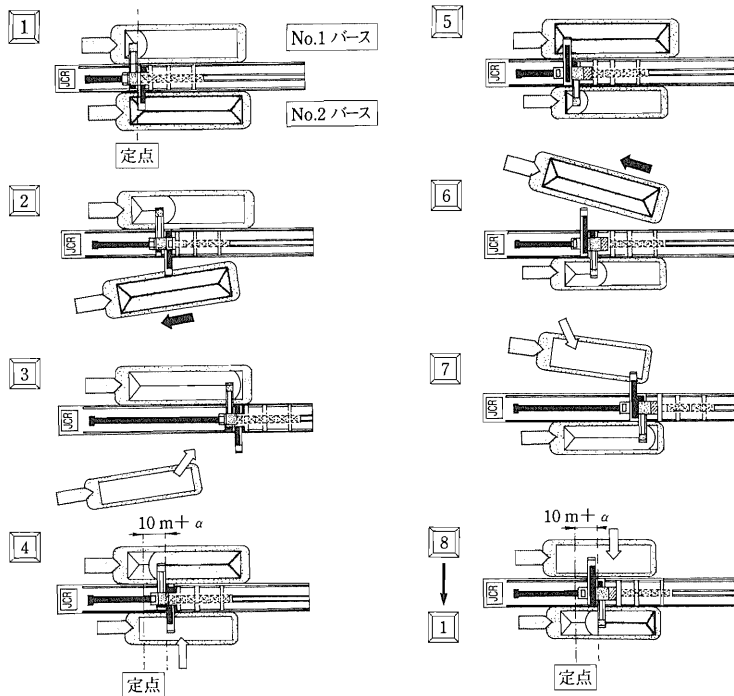
⇧シップローダ全景1



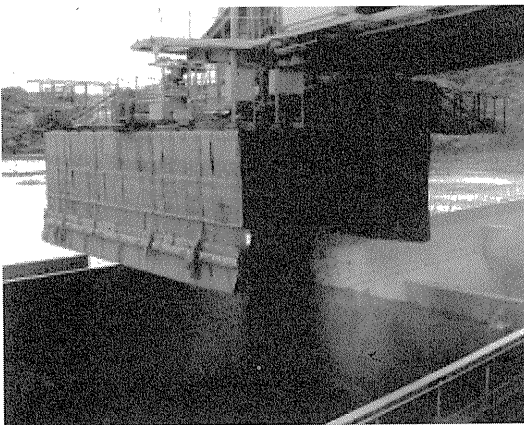
⇧シップローダ全景2



⇧船積設備:
ストックパイル～シップローダ



図—5 往復船積のサイクル



写真—1 防塵シュート・防音シート

シュートが装備されており、加えて土砂積込み音低減のためにシャトルコンベヤを俯仰させ、落下距離を短くする構造になっているため、積込み進捗状況に応じてこれらの調整が必要になる。

このような性質の諸操作をセンサとソフトウェアによる自動制御とCCRからの遠隔操作だけで行うのは危険性が高いため、シップローダ機上と

棧橋管理室にオペレータを配置し、分担して運転業務を行うこととした。その際、各所オペレータの操作量、判断量のバランスに配慮して、自動制御、ワンタッチ操作を多用するとともに、特にシップローダにおいては、適切な走行速度や、連結切替のタイミング、走行折返し点等を知らせるリアルタイムナビゲーション機能を有する運転ガイダンスをCRT上に表示して、ヒューマンエラーの回避に努めた（図—6参照）。

6. おわりに

計画総搬送土量の3分の1を搬出し終えた現在まで、破碎・搬送設備に関して重大なトラブルは無く、設備が起因となる操業停止の時間率は0.5%に満たない。この0.5%の内訳のほとんどが、運搬物（土砂）に起因する保護センサの作動によるもので、いわゆる設備の故障停止ではない。

つまり設備の故障率が限りなくゼロに近い状態で操業が続いており、これは単に盤石なシステム

