

関西国際空港埋立土砂採取工事における総合監視制御システムについて

大阪府企業局阪南整備事務所所長
㈱大林組阪南JV工事事務所所長代理
㈱大林組阪南JV工事事務所

松山 謙太郎
外山 純
○ 笠井 克 哲

1. まえがき

現在ターミナルビルディング・アクセス関係の建設が進行中である関西新空港の埋立工事は、平成2年3月に始まり、平成3年12月に完了した。この埋立用土砂の一部は、大阪府阪南市にある土砂採取地から供給され、同時にりんくうタウンの埋立用土砂も供給されており、平成4年末頃まで継続される予定である。

この「阪南丘陵土砂採取工事」では、限られた埋立工期で6,050万ルーズm³という多量の土砂を安定的に搬出するために様々な試みが導入された。大型・大出力の重機械、設備に加えて、制御工学によるシステムインテグレーションを実現した総合監視制御システムによる包括的管理が期待通りの効果をあげたのでここに報告する。

2. 事業概要

搬出総土量	関西国際空港建設事業	4,550万ルーズm ³
	(平成3年12月 終了)	
	南大阪湾岸整備事業	1,500万ルーズm ³
合 計		6,050万ルーズm ³
開発面積		171ha
土取面積		130ha
跡地計画	住宅地	2,500戸 (9,000人)
	公共用地、業務用地等	

3. 土砂採取・運搬・破碎・搬送

図-1に全体計画図、図-2に土砂採取・運搬のフローチャートを示す。

定常的に日量115,000万ルーズm³搬出時の使用重機の仕様及び台数を表-1に、世界最大級のクラッシャーの仕様及び台数を表-2に、搬送設備の仕様を表-3に示す。

作業時間は以下に示すようになっている。

○土砂採取・運搬・破碎作業 7時～19時 (12時間/日)
(発破、重機土工事、場内コンベア、トリッパーコンベア)

○搬送・船積作業 6時～21時 (15時間/日)
(ストックパイル、メインコンベア、シャトルコンベア)

採土、船積作業の3時間の差は、最大貯鉱量120,000ルーズm³のストックパイルを設けて対応した。

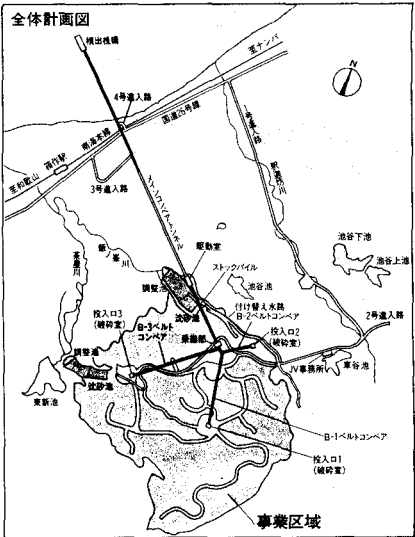


図-1 全体計画図

表-1 岩石運搬掘削機械

機 械 名	仕 様	台 数
油圧式クロラドリル	130～290ps級	14台
ブルドーザ	90t級	23台
ホイールローダ	10m ³ 級	12台
ローディングショベル	9.5m ³ 級	7台
ダンプトラック	45t級、80t級	54台

表-2 ジャイレトリクラッシャー

能 力	直 径	高 さ	重 さ	台 数
5,700 t/時	6.3 m	12.2 m	約 600 t	3 基

Kentaro MATSUYAMA、 Jun TOYAMA、 ○ Katsunori KASAI

4. 総合監視制御システム

土砂採取・運搬・破碎・搬送作業は、土運船による海上作業に連なる直列システムの一部であり、何れの部分、設備が中断しても、それは全体工程の停止を意味している。そればかりか、一部分の能力低下も全体計画に深刻な影響を与えることになる。

中断あるいは能力低下を避けるためには、個々の設備機械、重機等の信頼性や能力の余裕が重要なポイントであることは勿論、一連の直列システムとして運用するには、各々の能力、強度、サイズ、耐久性のマッチングを図る必要がある。一連のライン（直列システム）に並ぶ機械や設備の数が増えるほどマッチングは複雑化し困難になる。

複雑化を避けるためには、ラインを分断して個々に管理する方法もあるが、ここは包括的な全体管理手法が採用された。総合監視制御システムは、図-3、4に示すように、クラッシャーの上流側と下流側で土取場管理システムと破碎搬送管理システムとに大別されている。土取場管理システムは、重機土工事が比較的自由度が高いので、下流の変化に迅速に対応するために、情報伝達とデータの収集蓄積を主目的にした。一方、

破碎・搬送管理システムは、船積までの全工程を包括的に監視・制御するものである。

人間が持つ無数の人体機能の随意的、不随意的あるいは反射的な管理と、ライン状に並んだいくつかの機械設備の管理を対比すると、先ず視覚・聴覚・触覚・味覚等のセンサーがあり、それらの拾った感覚（データ）を神経（光ケーブル）で判断する頭脳（プログラマブルコントローラー）に送り、そして指令が逆に伝達されることとなる。いずれも最近のセンシング技術、光通信技術、半導体技術により多量のデータを安定的に収集・伝達し、複雑な条件も瞬時に判断できるようになったものである。

総合監視制御システムを機能的に分類すると、監視と制御になる。総数約1,150個のセンサーと31台のITVカメラの収集する情報の全ては、図-4に示すように、CCR（中央制御室：Central Control Room）内にあるCRTにビジュアル化される。CCRは土取場より少し離れたところにあり、通常土木係一人と女性一人のオペレーターにより監視及び制御操作を行っている。

表-3 ベルトコンベア

	能力 t/時	ベルト 幅 m	機長 m	ベルト 速 m/分
場内コンベア (B-1)	7,000	2.0	536	約 220
〃 (B-2)	〃	〃	212	〃
〃 (B-3)	〃	〃	549	〃
トリッパーコンベア	20,000	2.7	339	約 275
メインコンベア	14,000	2.3	2,200	約 255
シャトルコンベア	16,000	2.5	30×2	約 240

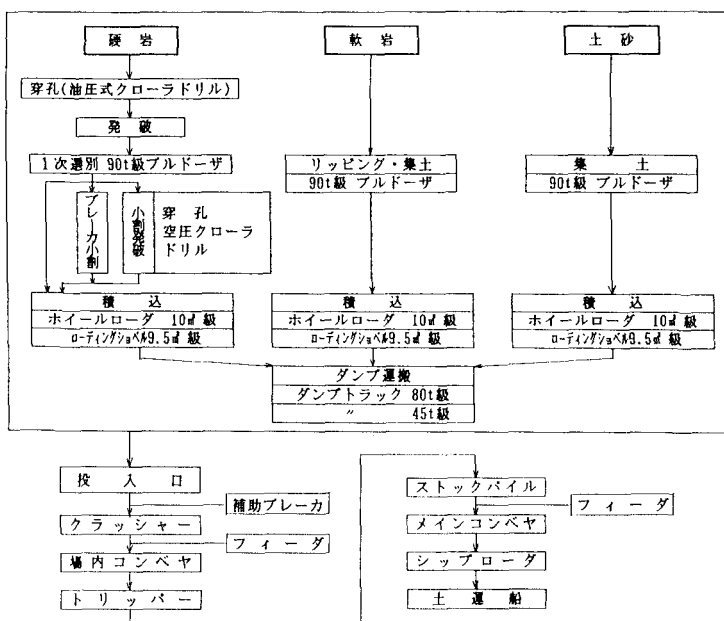


図-2 土砂採取・搬送のフローチャート

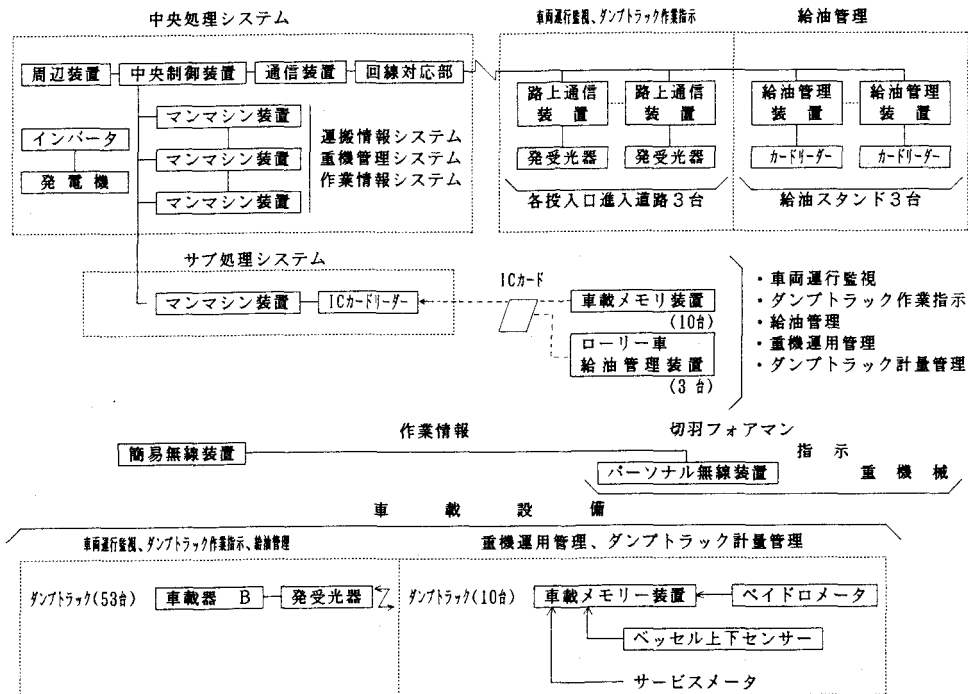


図-3 土取場管理システム

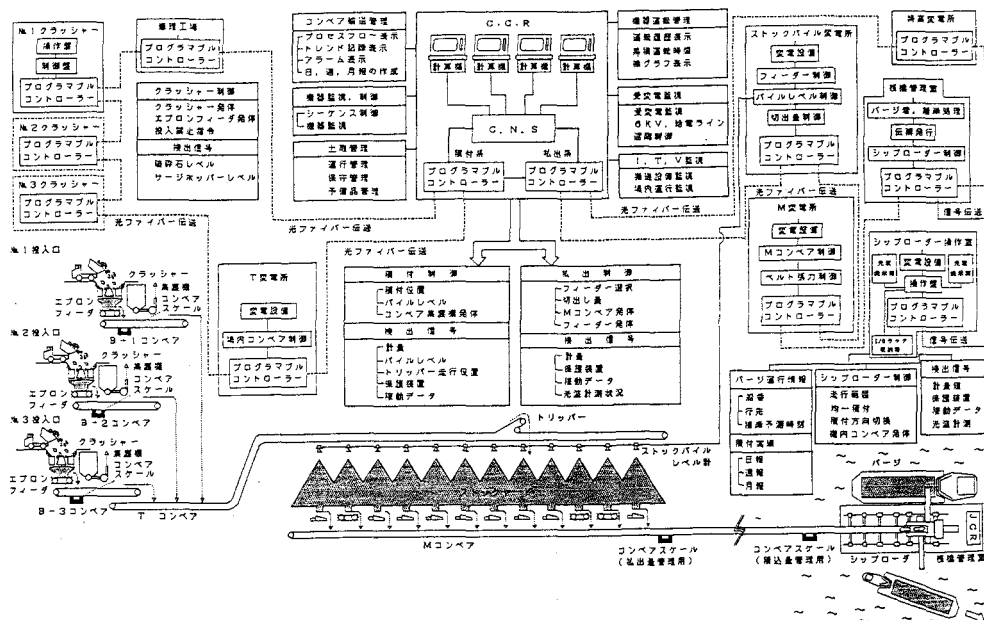


図-4 破碎搬送管理システム

5. PID制御

クラッシャーに土砂が投入された時、その下のコンベアが輸送量を一定に保てるようにPID制御を用いて、エプロンフィーダの回転速度を制御している。これはフィードバック制御の一つで、制御の結果を測定し、目標とする値や状態と比較して修正動作を与える方法で、比例動作（P）、積分動作（I）及び微分動作（D）により成り立っている。

任意の時間のベルトコンベアの輸送量を $y(t)$ 、輸送量と目標輸送量の偏差を $e(t)$ とすると、各動作は次のようになる。

- P動作： y が e に比例

$$y(t) \propto e(t)$$

偏差を補正するために、その偏差に比例して輸送量を制御する。

- I動作： y の変化が e に比例

$$\frac{dy}{dt} \propto e(t)$$

偏差が大きければ大きいほど、目標輸送量 y に戻すために急いで輸送量を変更し制御する。

- D動作： y が e の変化に比例

$$y(t) \propto \frac{de}{dt}$$

偏差が増加（減少）しつつある時に、先を見越して輸送量 y を大きく（小さく）し、伝達の遅れやムダ時間を防ぎ制御する。

このようにPIDの各動作を組み合わせることで、即応性の高いより高度なフィードバック制御を実現することができ、次のような利点がある。

- ① 機械設備の効率化が良くなる
- ② 土質変化による搬送量の脈動が少なくなる
- ③ 省力化できる
- ④ ベルト積載量が均一であるため下流の設備にチャージできる
- ⑤ 機械設備に無理がかからず、故障発生の確率が減少する

6. 総合監視制御システムの効果

この総合監視制御システムを用いることにより、当初メンテナンス要員を含む専門技術者が約100人必要と見込まれていたが、常時20人程度にすることができた。また、各設備機械の負荷を監視しながら、時間当たり船積土砂量をメインベルトコンベアの理論最大能力に近づけることができ、当初仕様能力9,350 t/Hを14,000 t/Hとすることができた。船積の設備信頼効率は一般的には0.5程度と言われているが、当工事では平均0.9872の高効率を記録した。

以上のように、制御工学を組み入れた総合監視制御システムを用いることにより省力化及び効率アップを実現することができた。

7. あとがき

当初、我々は限られた時間内で大量の土砂を移動するというこの工事に総合監視制御システムが不可欠であると考え、採用に踏み切った。

関西国際空港への搬出を予定通り無事終了できたことは、このシステムの総合的評価を高め、一応の成果を納めたと考えられる。土木の分野に制御工学を取り入れ、新しい世界を開こうという試みは、21世紀に向けて土木における未来技術の試金石となれば幸いである。