

大規模埋立工事における土砂採取跡地利用を考慮した 地形設計のためのモデル開発に関する研究

立命館大学理工学部 正 員 春名 攻
東洋建設株式会社 正 員 竹中 弘治
株式会社大林組 正 員 寺田 岳彦
立命館大学大学院 学生員 ○玉井 大吾

1. はじめに

都市部やその周辺地域での新たな開発対象地が皆無となった今日においては、都市中枢機能の集中による人口過密、住宅不足等都市部の抱える問題は益々大きなものとなっている。我が国は「四面を海に囲まれ屈曲に富む長大な海岸線を有する」という地理的特性を有することから、近年この解決方策として、地理的に有利な位置の埋立工事が盛んに行われている。関西におけるその代表例としては、神戸ポートアイランド建設事業や六甲アイランド建設事業、さらに、最近行われた関西国際空港建設事業等が挙げられるが、これらの埋立地造成プロジェクトの規模は、大規模化・大型化の傾向を強めている。これに伴い、埋立本体工事に内在する埋立用土砂の採取工事に関しても、大規模化の傾向を有している。

本研究では、土砂採取による跡地開発プロジェクトに対して、跡地利用を考慮した計画地形案を迅速に策定するため、計画地形高の算定方法に着目し、合理的で説得力のある計画地形案を効率的に設計可能なモデルとして構築する。

2. 計画地形設計方法の整理

本研究では、大規模土砂採取を伴う土地開発プロジェクトの企画・構想計画案策定における検討作業項目の全体構成を図-1に示すよう整理する。この構成は、企画・構想計画案策定作業のうち特に建設プロジェクトに内包する作業に焦点を当て、地形設計作業を中心にその先取り

的検討となる土砂採取区域選定作業、造成候補地判定作業を加えた多面的な構成である。また、本プロジェクトの企画・構想計画案策定プロセスは、土砂採取区域選定作業後、上位計画において位置付けられる選定地の機能等を考慮し、開発コンセプトの設定を行うと考える。

中心となる地形設計作業は、地形のモデル化段

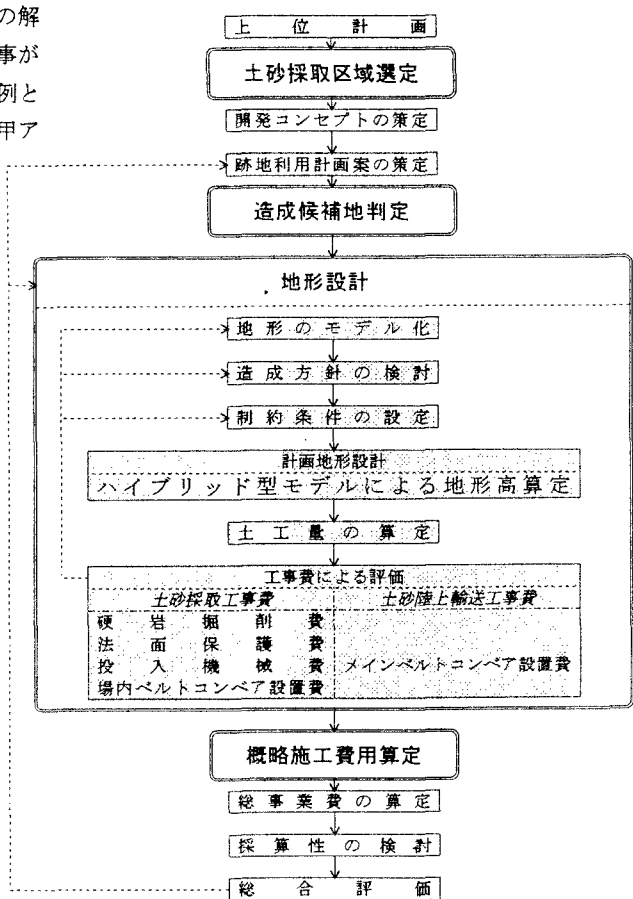


図-1. 大規模土砂採取を伴う土地開発プロジェクトの企画・構想計画段階における計画地形の設計プロセス（地形設計は詳細に示す）

階，造成方針検討段階，地形処理段階の大きく3つの段階で構成される。また多様多様な計画的検討項目に関しては，Computer-aidedなかたちでコンピュータ・グラフィックスを活用する。これは，多様な代替案の作成を試みるため3次元的な空間の把握，対象地域の地形情報のデータベース化，或いは計画者に有用な各判断情報の整理等，企画・構想計画案策定における検討作業をシステム論的に整理するとともに，効率的かつ迅速に検討することが可能な情報処理システムの構築を行うためである。さらに，本プロジェクトは大規模土砂採取を伴うことから，その工事プロジェクトに関して一般とは異なる特殊性を有する。そのため企画・構想計画案の策定において，これら工事を全体的に捉えることは困難であるが，地形設計作業により策定する計画地形案に関して，その特殊性を考慮しより詳細な工事費の算定を行い，これを用いて総事業費の算定，採算性の検討を行う必要があると考えた。

3. 計画地形高算定モデルの構成

本研究においては，現象合理性の確保を目的として施工に関する再現を行うシミュレーションモデルと，計画目的の追及を行う最適化モデルとを混成し，「ハイブリッド型計画地形高算定モデル」を構築した。

本モデルでは，計画地形の形状により土砂採取工事において①硬岩掘削費が当工事費の大半（シミュレーション実験をおこなった結果，総工事費の約7割）を占めること，②かなりの周辺切法面の出現が予想されること，③膨大な採取土量がストックパイルまでの運土費に大きく影響することから，硬岩掘削費，法面保護費，投入機械費（硬岩掘削，法面保護に関わる投入機械費を除く），場内ベルトコンベア設置費に着目し，さらに，土砂陸上輸送工事において④ストックパイルの設置場所によりメインベルトコンベアの設置長が変化し，採取土量の搬出状況が変化することから，メインベルトコンベア設置費に着目しこれら費用を抑える。

ここで，場内ベルトコンベア，メインベルトコ

ンベアに関しては，大規模土砂採取という特殊性により必要となる設備であるため，その設置工法はほぼ一定と考える。したがって，シミュレーション実験により一度算定されたこれら設置費用関数を，次回シミュレーションモデルからその最適解が求まるまで繰り返し適用することは効率性に欠けると考える。そこで本モデルでは，これらに関するシミュレーション実験を先に行い，算定する費用関数を工事費最小を目的関数とする最適化モデルにおいてのみ適用する。

また本モデルは，次のようなモデル構成とする。すなわち，「まず，シミュレーションモデルに計画地形高代替案を初期情報として入力し，評価要因である目的関数値（工事費用関数値）や制約条件値（硬岩掘削工法，法面保護工法適用範囲等）を出力する。次に，そのシミュレーションモデルの出力結果（評価要因の内容）に基づき，最適化モデルにより制約条件を満たす範囲内で新たに改善される解（計画地形高）を求める。さらに，この新たな解を再度シミュレーションモデルに入力する」という一連の動作を解が不変となるまで繰り返し，最適解（最も望ましい計画地形高）に到達するものである（図-2参照）。

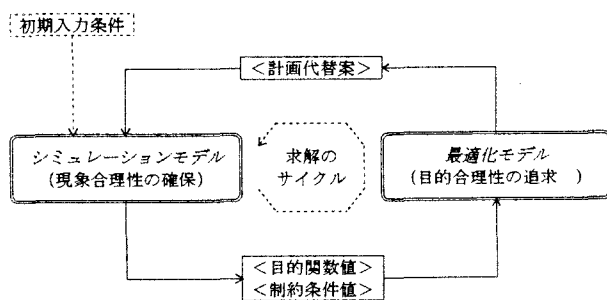
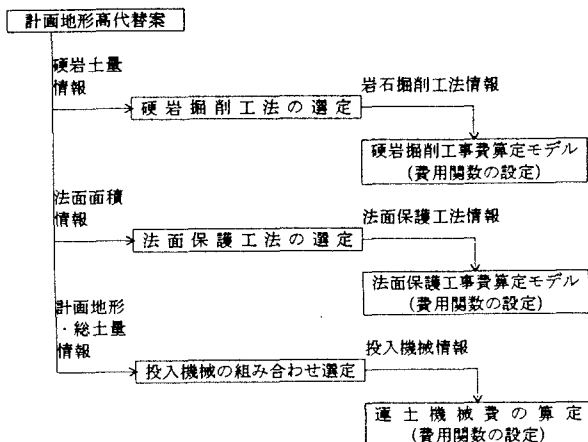


図-2. ハイブリッド型モデルの基本概念

(1) シミュレーションモデルの構成

シミュレーションモデルを図-3に示すよう硬岩掘削工事費算定モデル，法面保護工事費算定モデル，投入機械費算定モデルの3つのモデルから構成する。

まず硬岩掘削工事費算定モデルは，硬岩土量情報を基に各硬岩掘削工法においてシミュレーション実験を行い，算定されるデータや過去に行われ



図－３．シミュレーションモデルの構成

た大規模土砂採取工事における実績データベース等から硬岩掘削工事費を算定する。

次に法面保護工事費算定モデルは、法面面積情報を基に各法面保護工法においてシミュレーション実験を行い、算定されるデータや過去に行われた法面保護工事における実績データベース等から法面保護工事費を算定する。

また投入機械費算定モデルは、計画地形情報や総土量情報を基に選定する複数の投入機械の組み合わせにおいて、シミュレーション実験を行い、算定されるデータや過去に行われた大規模土工における実績データベース等から投入機械費を算定する。

さらに以上述べる各種情報を基に、各工法や投入機械の組み合わせを選定しその適用範囲を算定するとともに、硬岩土量、法面面積、総土量と各種工事費の関係から費用関数の設定も同時に行う。

(2) 最適化モデルの構成

ハイブリッド型モデルにおいては、目的関数値や制約条件値はシミュレーションモデルの出力値として把握可能である。したがって最適化モデルは①関数形が明確でな

い問題に対応可能であること、②制約条件を考慮できること、③シミュレーションモデルへのアクセス回数を可能な限り小さくなるよう配慮することという要件を満足する方法でなければならない。

そこで本モデルでは、工事費の最小を図るための表－１に示す内容を持つ最適化モデル（工事費最小化モデル）を構築する。なお、工事費最小化モデルの定式化を表－２に示す。

ここで工事費最小化モデルを概説すると、目的関数は硬岩掘削費、法面保護費、投入機械費、場内ベルトコンベア設置費、メインベルトコンベア設置費の和により構成する工事費の最小化とする。また、本モデルで用いる計画変数はブロックごとの計画地形高のみであり、すべての関数において、制約条件の範囲内で計画地形高の変化のみにより工事費を算定することが可能である。さらに、硬岩掘削費用関数、法面保護費用関数、投入機械費用関数の関数形はシミュレーションモデルの出力情報により決定する。同時にこれら費用関数の適用範囲に関してもシミュレーションモデルの出力情報により決定する。すなわち、①工法の性格上により計画地形高の上下可能な範囲が存在する、②投入可能な機械能力に限界がある等の理由から、費用関数の適用上限値、下限値が設定される。これらは実現可能性の確保のために最適化モデルにおいて制約条件化する必要がある。

4. おわりに

本研究では、今後増加し拡大する傾向にある大規模埋立地造成工事における土砂採取工事に着目し、企画・構想段階において跡地利用を先取的に考慮した効果的な計画地形の設計方法を整理し

表－１．最適化モデルの内容

評価方法	① 工事費（硬岩掘削、法面保護、投入機械、場内・メインベルトコンベア設置）の最小化		
計画変数	ブロックの計画地形高		
与件	ブロックの分割形状、土砂・軟岩層の厚さ		
制約条件	② ブロック斜面勾配	③ 周辺法面高	
	④ 周辺法面勾配	⑤ ブロック間高低差	
	⑥ 採取土量	⑦ ストックパイル設置範囲	
	⑧ 場内ベルトコンベア設置長	⑨ メインベルトコンベア設置長	
	⑩ 岩石掘削費用関数の適用範囲	⑪ 法面保護費用関数の適用範囲	
	⑫ 投入機械費用関数の適用範囲	⑬ 計画地形高の非負条件	

表-2. 工事費最小化モデルの定式化

<目的関数> ①	
$\sum_{i=1}^n f \{ A_i (H_i - Z_i - N_i) \} + \sum_{i=1}^n g \{ L_i (MH_i - Z_i) \cos \theta_{wi} \} + \sum_{i=1}^n h \{ \sqrt{((JX_i - SX)^2 + (JY_i - SY)^2 + (JZ_i - SZ)^2)} * A_i (H_i - Z_i) \}$ $+ \sum_{i=1}^n u \{ \sqrt{((JX_i - SX)^2 + (JY_i - SY)^2 + (JZ_i - SZ)^2)} \} + \sum_{i=1}^n v \{ \sqrt{((SX - TX)^2 + (SY - TY)^2 + (SZ - TZ)^2)} \} \rightarrow \min$ $1)$	
<制約条件>	
② $\theta_i \leq \theta_{CONST_i}$	 2)
③ $MG_i - Z_i \leq CONST_{wi}$	 3)
④ $\cos \theta_{wi} \leq \cos \theta_{CONST_{wi}}$	 4)
⑤ $ Z_i - Z_j \leq CONST_{ij}$	 5)
⑥ $\sum_{i=1}^n A_i (H_i - Z_i) \geq CONST_0$	 6)
⑦ $SX_{CONSTs} \leq SX \leq SX_{CONSTL}, SY_{CONSTs} \leq SY \leq SY_{CONSTL}, SZ_{CONSTs} \leq SZ \leq SZ_{CONSTL}$	 7)
⑧ $\sqrt{((JX_i - SX)^2 + (JY_i - SY)^2 + (JZ_i - SZ)^2)} \leq CONST_j$	 8)
⑨ $\sqrt{((SX - TX)^2 + (SY - TY)^2 + (SZ - TZ)^2)} \leq CONST_{Tw}$	 9)
⑩ $CONST_{rs} \leq \sum_{i=1}^n A_i (H_i - Z_i - N_i) \leq CONST_{rL}$	 10)
⑪ $CONST_{os} \leq \sum_{i=1}^n L_i (MH_i - Z_i) \cos \theta \leq CONST_{oL}$	 11)
⑫ $CONST_{hs} \leq \sqrt{((JX_i - SX)^2 + (JY_i - SY)^2 + (JZ_i - SZ)^2)} * A_i (H_i - Z_i) \leq CONST_{hL}$	 12)
⑬ $Z_i > 0$	 13)
<記号の定義>	
“目的関数” $f()$: 硬岩掘削費用関数, $g()$: 法面保護費用関数, $h()$: 投入機械費用関数, $u()$: 場内ベルトコンベア設置費用関数, $v()$: メインベルトコンベア設置費用関数 A_i : ブロック i の平面積 H_i : ブロック i の平均現地地形高 Z_i : ブロック i の計画地形高 N_i : ブロック i の土砂・軟岩層の厚さ L_i : ブロック i の周囲長 MH_i : ブロック i 周辺のメッシュにおける平均現地地形高 $\cos \theta$: 法面勾配 (JX_i, JY_i, JZ_i) : ブロック i の重心 (SX, SY, SZ) : ストックパイル設置重心 (TX, TY, TZ) : 積み込み桟橋設置重心	
“制約条件” θ_i : ブロック i の勾配 θ_{CONST_i} : ブロック i の勾配制約値 MG_i : ブロック i 周辺メッシュにおける最大現地地形高 $CONST_{wi}$: ブロック i の法面高制約値 $\cos \theta_{wi}$: ブロック i の法面勾配 $\cos \theta_{CONST_{wi}}$: ブロック i の法面勾配制約値 $CONST_{ij}$: ブロック i とブロック j の高低差制約値 $CONST_0$: 採取土量制約値 $(SX_{CONSTs}, SY_{CONSTs}, SZ_{CONSTs}) \sim (SX_{CONSTL}, SY_{CONSTL}, SZ_{CONSTL})$: ストックパイル設置範囲制約値 $CONST_j$: 場内ベルトコンベア設置長制約値 $CONST_{Tw}$: メインベルトコンベア設置長制約値 $CONST_{rs}, CONST_{rL}$: 硬岩掘削費用関数の適用範囲制約値 $CONST_{os}, CONST_{oL}$: 法面保護費用関数の適用範囲制約値 $CONST_{hs}, CONST_{hL}$: 投入機械費用関数の適用範囲制約値	

た。その中でも特に計画地形案を迅速に策定するため、計画地形高の算定方法に着目し、合理的で説得力のある計画地形案を効率的に設計可能なモデルとして構築した。

本論文上においては、紙面の都合上、実証的検討を記載することが不可能であったが、これに関しては、関西国際空港第2期埋立工事の土砂採取予定地として挙げられている大阪府岬町を対象に行ったものを示すことにより、本論文の成果および今後の検討課題等を述べることにする。

【参考文献】

- 1) 吉川和広：土木計画とOR，丸善，1969年
- 2) 江尻良：大規模埋立工事の工事計画策定のための基礎的研究，京都大学修士論文，1982年2月

- 3) 上山晃：土地開発プロジェクトプランニングのためのCADシステムの開発研究—整地計画・設計からのアプローチ—，立命館大学修士論文，1996年2月
- 4) 社団法人日本海洋開発建設協会：関西国際空港土砂採取・輸送・埋立法調査 施工計画概要，1981年8月
- 5) 大阪府阪南整備事務所：阪南丘陵土砂採取事業技術情報レポート 概要集，1994年6月
- 6) 迫間幸昌：大規模造成を伴う土地開発プロジェクトのプランニングシステム開発に関する研究—CADシステム化をめざして—，立命館大学修士論文，1995年2月