

大規模土地造成工事計画システムの開発に関する研究

- E. S. と C. G. からのアプローチ -

A Study on Development of Construction Planning System on Large-Scale Earthmoving Project

- System Approach from The Viewpoint of Expert System and Computer Graphics -

立命館大学 春名 攻 *

立命館大学大学院○竹林 弘晃**

立命館大学大学院 迫間 幸昌**

By Mamoru HARUNA, Hiroaki TAKEBAYASHI, Yukimasa HASAMA

近年、都市周辺における土地造成開発事業は、経済のバブル崩壊後の不況にもかかわらず、慢性的な都市中枢機能の過度集中にもとづく人口過密や住宅不足などの問題により、相かわらず盛んに行われている。土地造成工事計画を行う際には、周辺環境に与える影響を最小限に抑え、安全かつ迅速、経済的に工事を行うため、工事計画のマネジメントにおいても、さらなる高度な管理技術が要求されている。一方、E. S. (エキスパートシステム) を用いた人工知能技術や、C. G. (コンピュータ・グラフィックス) 技術の発展もめざましく多くの分野で適用事例が増加しており、土木分野にも有効な対応策と考えられるようになってきている。

そこで本研究においては、大規模土地造成工事を対象に取り上げて、そこでの工事計画問題についての考察を行うとともに、それぞれに適したアプローチの方法について従来の研究成果をもとに検討を加えた。そして、この検討にもとづき、工法選定のためのエキスパートシステムと、コンピュータ・グラフィックスを積極的に活用することによって、合理的な土地造成工事を実現するための施工計画の策定を念頭においた計画システムの開発を行った。

【キーワード】 施工計画、造成工事、エキスパートシステム、コンピュータ・グラフィックス

1. はじめに

建設工事において、周辺環境に悪影響を及ぼすことなく安全に、高品質な構造物を構築するために、新技術の開発・促進・普及とともに生産活動の合理化・高度化のためのマネジメント技術の確立が強く求められている。近年、一現場当りの現場技術者・作業員は減少し、労働力不足は顕在化し深刻な問題となっている。一方、施工現場での管理項目や管理基準は複雑・多岐化の傾向にある。そのため、専門技術者としての現場職員による適切な判断を下すことが難しくなっており、これを支援するニーズも高まってきている¹⁾。

このような状況において、エキスパートシステム

をはじめとしたAI技術の適用事例が増加しており、有効な対応策として考えられている^{2) 3)}。ところで、必要可能な限り施工計画作成の自動化を図るためには、熟練技術者の判断機構を明確にし、より高度化された意志決定支援システムを構築する必要がある。

一方、コンピュータ技術の発展により、施工計画を行う際に、コンピュータ・グラフィックスを用いて計画することによって、より合理的に望ましい施工計画案が策定できると考える。

そこで本研究では、大規模土地造成工事計画において工事計画問題の特性を十分考慮しつつ、エキスパートシステムとコンピュータ・グラフィックスを積極的に活用した合理的な施工計画システムを作成することとした。

2. 計画方法の区分

土地造成工事計画は、土工事計画を中心に策定さ

* 理工学部環境システム工学科

** 理工学研究科土木工学専攻

れるわけであるが、付帯工事計画が土工事計画に及ぼす影響は大きい。そこで、合理的に望ましい土工事計画を策定するとともに、軟弱地盤対策工事や長大のり面対策工事をはじめとする付帯設備工事も、慎重な意志決定が必要とされる^{4) 5)}。

したがって、様々な計画をとまなう土地造成工事計画を行うにあたっては、トータル的な工事計画の視点に立ち、それぞれの計画に合致した計画手法を用いることによって合理的な計画が行えると考え、図-1のように計画方法を区別して計画していくことが必要であると考えた。つまり、一般に問題解決を行う際、実際の問題は、対象の数理化が困難な場合や数理的解法が見あたらない場合が多く、その結果、判断業務などの本質的問題解決は、計画者の判断に委ねられていたと考えられる。そのため、このような問題の解決には、経験・ノウハウを用いる非数理モデルの記号知識群を知識ベースとして構成し、実践・実行を重視して問題解決を行うことが適切であると考えた。

そこで、軟弱地盤対策工法選定や防災工事対策工法選定などは、各段階において意志決定の構造化を行い、知識推論方法で行った方が合理的であると考えた。一方、土量配分計画や運土計画、工程計画などの目的の追求や問題解決のためのアルゴリズムが

明確な処理は、線形計画法などを用いた数理計画型で検討する方が、目的の達成度や手段と結果の関係が明示的にわかるため、ここでの検討にとって適当であると考えた。このような観点から、本研究ではそれぞれの計画・検討を全く別の方法論で区別して計画する方法によってアプローチしていくこととした。

3. 土地造成工事計画システムの概要

現在の土地造成工事計画を作成するにあたっては、さまざまな問題が複雑に絡んでおり、また自由度が大きいので、計画者の意志決定における判断基準、評価要因に対する重要性は高まっている。さらに、現状においては、熟練技術者の経験・知識にもとづいて計画案の作成を行っているために、複数の計画案を詳細に検討することは多大な労力を要する。また、より良い土地造成工事計画案を作成するためには、各工事の目的と規模、地形、地質、その他諸条件を十分に把握し、自然環境、経済性、施工性、適用性といった要求事項を十分に考慮して、総合的な技術的判断を下す必要がある。したがって、施工計画システムを作成する上でも、「いかにして施工プロセスの再現精度を落とさないで、合理的かつ効率的に設計意図を反映させた計画代替案を作成し、提供するか」といった問題を解決することが必要である。

そこで本研究では、図-2のような土地造成工事計画案策定プロセスに従って工事計画システムを作成することとした。付帯工事計画である軟弱地盤対策工法や長大のり面対策工、防火対策工などの工法選定は、様々な現場条件を考慮して計画者が意志決定を行っている。よって、工法選定の意志決定プロセスを構造化し、エキスパートシステムによって望ましい工法を選定するシステムを作成することとした。このようにすることにより、与条件を入力し、システムを実行させて工法選定を行い、望ましい工法を土工事計画に情報として提供することとした。

また、対象地のモデル化・土量配分計画・運土ルート計画・運土計画などは、数理的に取り扱った方が適していると考え、線形計画法やコンピュータ・グラフィックスなどを用いて、数理計画方法型で計

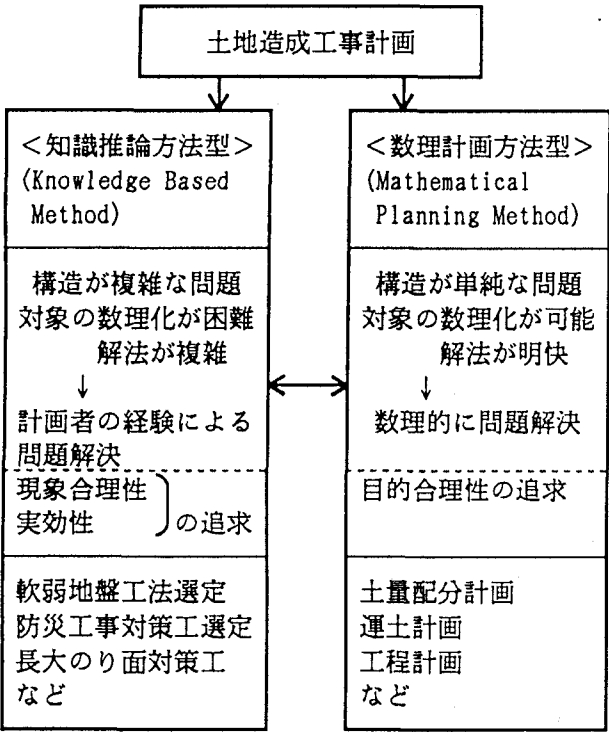


図-1. 工事計画方法の区別

画するシステムとした。

よって本システムの特徴としては、コンピュータを利用した土工事計画システムに、付帯工事の工法選定を行うエキスパートシステムを付随させることによって、数理的に解決することが不適である工法選定などの意志決定部分を、エキスパートシステムによって実現しようというものである。また、以上のように付帯工事工法選定をも考慮して計画するこ

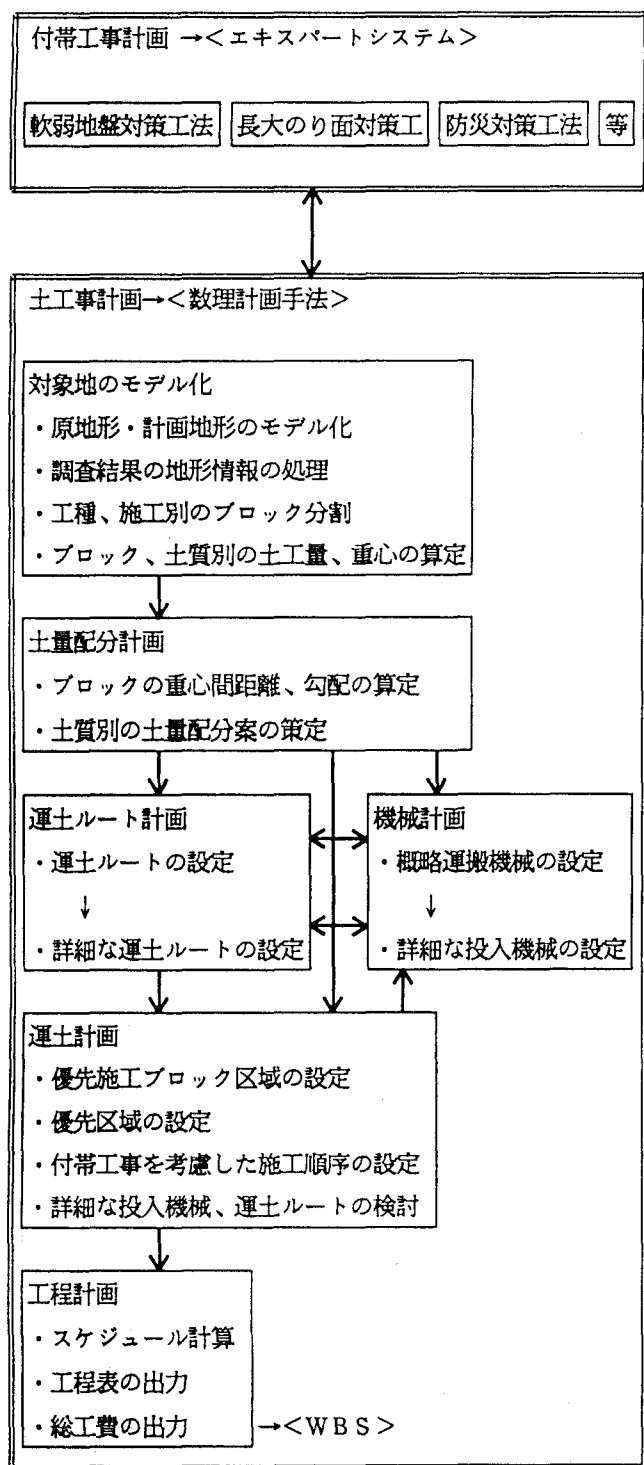


図-2. 概略土地造成工事計画策定プロセス

とにより、トータルの土工事計画システムが策定できるものとする。

4. 工法選定エキスパートシステムについて

問題の意志決定プロセスを段階的に考えると、発見段階、設計段階、及び選択段階に分けることができると考える⁹⁾。発見段階とは、問題の発見と環境情報の収集のプロセスである。また、設計段階とは代替案の探索の分析であり、選択段階とは代替案の選択プロセスを意味している。このそれぞれの意志決定段階が適当に構造化された問題が、一般にwell-構造化問題といわれており、各段階において統計解析やORの適用によって、最も望ましい意志決定ルールを特定化することが可能であるとする。これに対して、意志決定の各段階において構造化が困難な問題がill-構造化問題であり、こうした種類の問題に対しては、意志決定者である人間の果たす役割が大きく、個人の洞察力や過去の経験、価値判断が意志決定のための重要な要素となる。したがって、いかにして人間の持つ発見能力をシステム化するかが課題とされる。

付帯設備の工法選定問題は、各段階において適切な意志決定が要求され、典型的なill-構造化問題であるので意志決定のシステム化が重要な分野の一つである。これは付帯設備工事が様々な自然条件の中で実施され、その自然条件の設定が困難であり、かつ不確実性が大きいところに起因するからである。よって、well-構造化問題に近づけるためには、不確実性の削減と意志決定プロセスの明確化が必要とされる。そこでここでは、軟弱地盤対策工法を取り上げ、対策工の特性、地山の状況、工事の環境に対する考慮すべき要因の抽出と整理（問題の発見段階と設計段階）、工法選択における意志決定プロセスの構造を明確にする（選択段階）こととした。

(1) 軟弱地盤対策工法の特徴

一般に、軟弱地盤は強度的に低く、圧縮性が高いため、軟弱地盤上に構造物を建設する場合、さまざまな問題が生じる。いわゆる軟弱地盤とは、沖積平野、沼沢地、台地や丘陵地間の谷部などに堆積している沖積層のうち、塑性指数の大きい粘性土、間隙が大きく含水量の多い有機質土、及び地震時に液状

化するおそれのある緩い砂質土からなる土層で構成されている地盤であり、何らかの対策を必要とする地盤が軟弱地盤である⁷⁾。

軟弱地盤対策工の目的は、大きく分けて安定対策と沈下対策に区分される。安定対策は、地盤の強度を増加させ、すべりなどによる地盤の破壊を防止させたり、また盛土による周辺地盤への影響を抑制する働きを必要とする対策である。一方、沈下対策は、圧密沈下を促進して残留沈下量を少なくさせたり、また構造物の変形につながる不同沈下を小さくする働きを必要とする対策である。

したがって、対策工法を選択する場合は、与条件から対策工の目的を明確にし、工法選定を行っていくことが必要である。そこで、本研究で対象としている軟弱地盤対策工事の工法選定問題における一般的な意志決定プロセスは、図-3のように整理した。すなわち、意志決定プロセスを2段階に分けて考えており、第1段階では、ある基準を満たしていない代替案を除去した実施可能な選択肢集合の決定であり、第2段階では、それらの集合の中からある基準に従って最良な案を選択することとなる。

(2) 軟弱地盤対策工法エキスパートシステムの内容

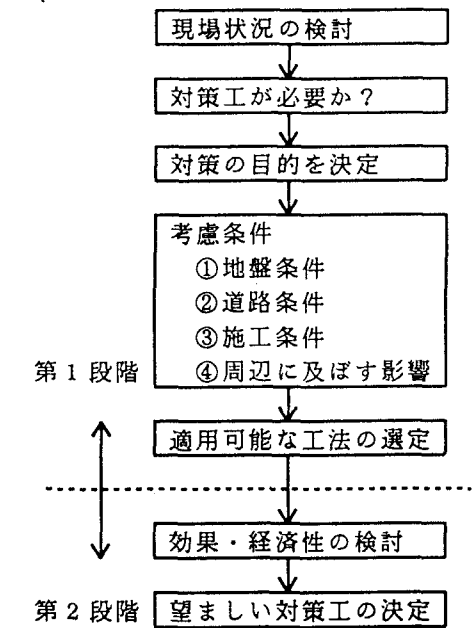


図-3. 軟弱地盤対策工事の意志決定プロセス

エキスパートシステムとは、問題解決のための知識とその適用順序を分割し、知識の適用する順序を決定する機構を汎用化したところに基本的な特徴がある。よってエキスパートシステムは、結果的にシステム開発やメンテナンスの効率を向上させ、また、ルールなどの記号表記法を用いているため、言語を用いた問題解決が比較的容易になる⁸⁾。

本研究におけるエキスパートシステムは、大別して工法の特徴を示したデータベース機構と現場条件に合致した工法を選択するルール機構によって構成することとした。

軟弱地盤対策工法選定のデータベースは、図-4のように構成される。つまり、軟弱地盤の対策とさ

軟弱地盤対策工法		
工法番号	1	工法番号 2
工法分類①	表層処理工法	
工法分類②	表層排水工法	
工法説明	幅0.5m、深さ0.5~1.0m程度のトレンチを掘削し、良質のフィルタ材で埋戻し排水溝を設置し、表面水を排除し曝気効果で表層を改良する。	
＜沈下対策＞圧密沈下促進	0	
全沈下量減少	0	
＜安定対策＞せん断変形の抑制	2	
強度低下の抑制	0	
強度増加の促進	2	
すべり抵抗の付与	0	
液状化の防止	0	
＜効果＞即効性	0	
遅効性	2	
施工管理	2	
信頼性	2	
実績	2	
工費	2	
＜周辺への影響＞隆起	3	
沈下	3	
地下水変位	2	
施工時振動	1	
周辺住民	0	
併用工法	バーチカルドレーン工法	
工法名	—	
	—	
	—	
＜適用土質＞砂質土	0	
粘性土	2	
有機質土	2	
＜使用材料＞	採石・有効管	
施工深度	0	
.....		

図-4. 軟弱地盤工法のデータベース

れるさまざまな工法を階層的に表現し、沈下対策や安定対策、効果速度、施工管理、信頼性、実績、工費、周辺環境への影響、併用工法、適用土質、使用材料などといった工法の特徴を集積することとした。データの種類としては、図-5に示されるように分別される。比尺度とは、施工深度などのように一定の単位があり、容易に定量化が可能な要因である。間隔尺度は、必ずしも基準となる零点はないが、比尺度と同様な取り扱いが可能な要因である。序数尺度は、周辺環境への影響などのように値の相対的な意味を持つような要因である。名義尺度とは、土質条件などのようにその数値が分類上の意味を持つような要因である。

このように取り扱う要因により、数値の持つ意味や信頼性は大きく異なるが比尺度や間隔尺度は、統計学的に取り扱うことが可能であるため、意志決定においても比較的構造化が易しい。しかし、序数尺度や名義尺度の要因の決定には、個人の経験や価値判断が重要な要素となるため、決定された要素は多少とも曖昧性を含むことになる。したがって、何らかの方法により序数尺度や名義尺度を間隔尺度へ変更させる必要がある。

そこで本研究では、施工を行った過去の実績と現場技術者へのヒアリングから、n段階評価法によってランク付けを行っている。つまり、「1：適している、2：良である、3：可能である、0：不適である」といったように要因の値を数段階に分類し、尺度として特性を変換している。なお、軟弱地盤対策工法の種類としては、現在のところ20工法を設定して、検討を可能にしている。

次に、本システムの概略的な選択プロセスの流れを示すと、図-6のようになる。つまり、入力条件

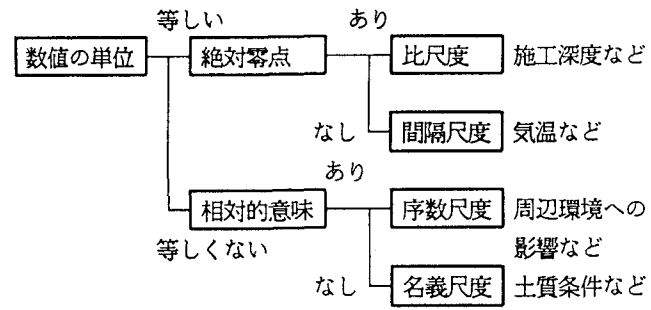


図-5. データの種類

として、ボーリングデータから得られる深度、土質含水比、一軸圧縮強さ、N値をインプットする。また、対象現場の特性を現場の判断から入力する。そして判断ルール項目である対象軟弱地盤の深さ、沈下対策、安定対策、土質、効果、管理、信頼性、実績、工費などを用いて、各工法に点数付けを行って

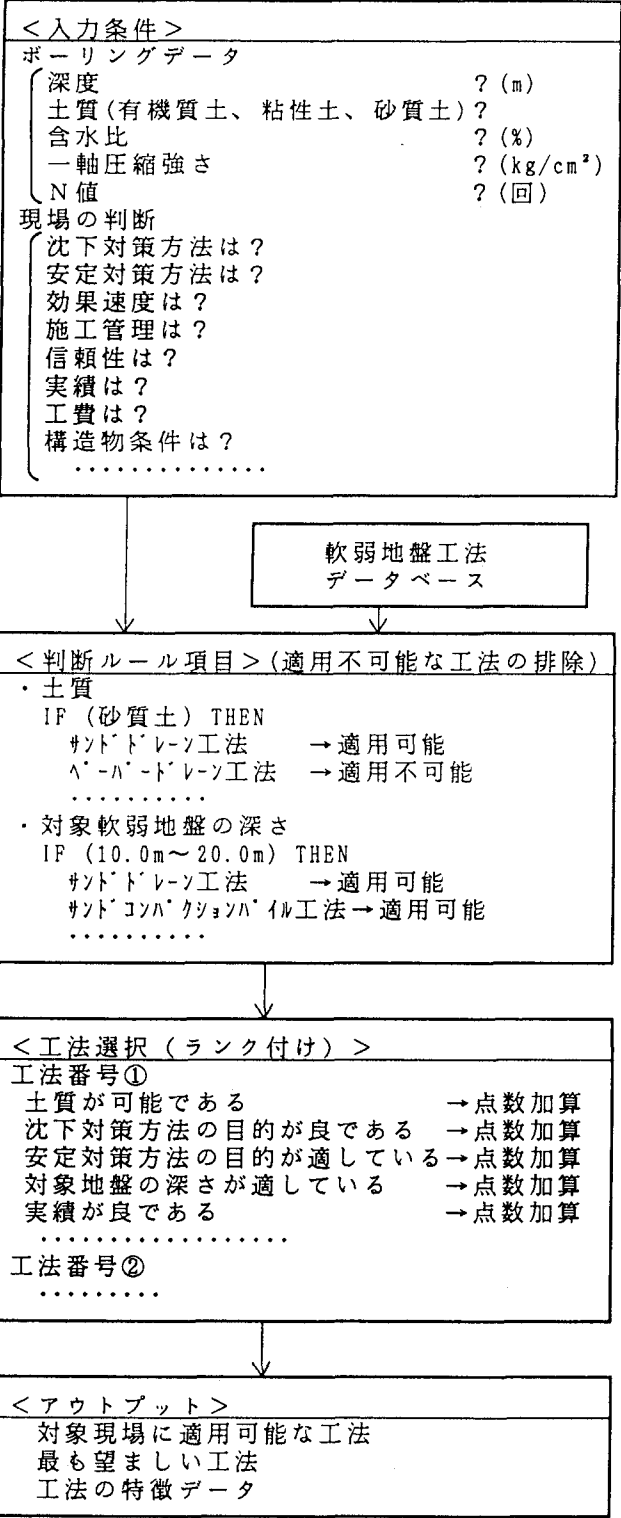


図-6. 軟弱地盤工法の選択プロセスの流れ

いき、選択不可能なものは排除する。
最後に、アウトプットとして、対象現場に適用可能な工法を出力し、その中から最も望ましい工法、工法の特徴データといった項目を出力する。

なお、判断ルールは、IF THEN 文により構成されており、各工法のデータベースより得られた情報からランク付けを行う。例えば、もし対象地盤の土質が粘性土であれば、各工法の土質条件における良否の情報により、相応の点数が加算される。このように、各項目ごとに各工法に点

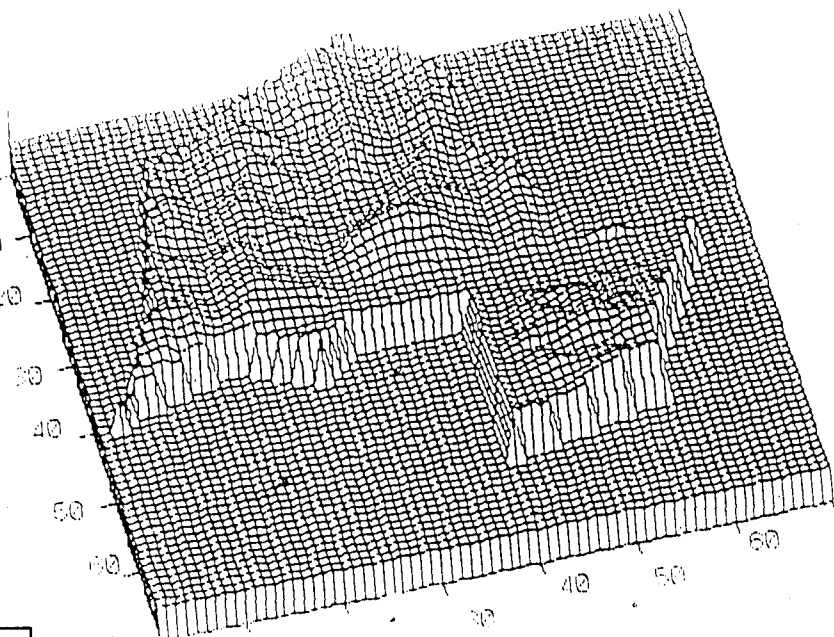


図-8. 工事前の現地形の形状

数を加えていくこととしている。

なおこのシステムを用いて、過去に行われた工事のデータを用い軟弱地盤改良の工法選定を行ったところ、3工事物件中1件は、実際に行われた工法と同じ工法を選定しており、また、全く適用不可能な工法は選定されなかった。

また、付帯工事計画で重要とされる長大のり面対策工法も、同様の考え方にもとづいたエキスパートシステムにより工法選定を行った。

以上のようにして、付帯工事計画である軟弱地盤工事の対策工法などをエキスパートシステムにより求めることにより、望ましい工法を迅速に現場技術者に提供でき、スムーズに土工事計画を行えることができると考える。

5. 造成工事施工計画システムの内容

土地造成工事計画では、急峻・複雑な地形、時間の経過にともなう地形の変化、及び複数の土質構成など高さ方向も考慮した3次元的な検討を行うとともに、調査結果をもとにし、付帯工事の工程を考慮して施工計画を策定する必要がある^{9) 10)}。

そこで、調査結果を考慮した対象地域のモデル化を行い、地形の形状による施工効率、及び地形変化にともなう施工条件などを、コンピュータ・グラフィックスを利用して、施工空間の明確な表示を行うことで計画者の意志決定情報とした。

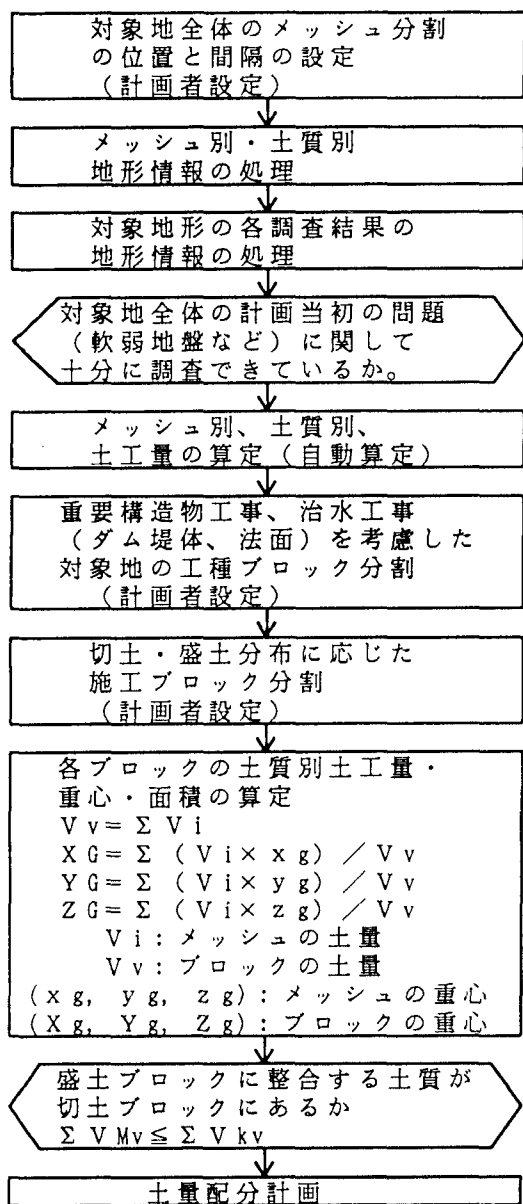


図-7. 対象地のモデル化のプロセス

また本研究では、①時間軸で地形及び施工条件の

把握、②3次元施工空間への対応、③土工量増大及び機能性能の向上に伴う運土作業の変化、④投入機械の施工性の考慮、⑤土質への対応、を重要視してアプローチしていくこととした。なお本システムは、現場技術者へのヒアリングをもとに作成したシステムであり、完全な自動化システムではなく、対話型システムである。

a) 対象地のモデル化：

本モデルでは、どの土がどこにどのような地形情報で存在するかといった原地形の土に対する情報や、計画地形を構成するための土に関する情報を3次元座標をベースに容易に把握できる方法が必要である。そこで、メッシュ法による地形表現の方法を用い、図-7に示すような流れで対象地のモデル化を行うこととした。

①土質別にモデル化を行い、データ化を行う。

②原地形、計画地形データを用い、図-8のような原地形のグラフィックス、及び図-9のような切盛り状況のグラフィックス表示を行う。

③対象地の把握を、②で表示したグラフィックス表示結果を用いて確認し、作業エリア及び施工機械の入りやすさなどを考慮した対象地のモデル化を行うことで、運土計画への施工順序を作成するための与件情報とする。

b) 土量配分計画の策定：

ここでは、運土計画の策定との整合を図るため、図-11に示す流れで土量配分計画を行う。まず、切土・盛土ブロックの重心間距離勾配の算定を行い、その距離・勾配や調査結果をもとにした施工条件を考慮して、概略的な運搬機械の選定を行う。さらに、その概略な運搬機械の施工性・走行性を確認しながら、運土ルートを設定し、その距離と勾配を算出する。これらの概略運搬機械の設定と運土ルートの設定を再度確認して、表-1

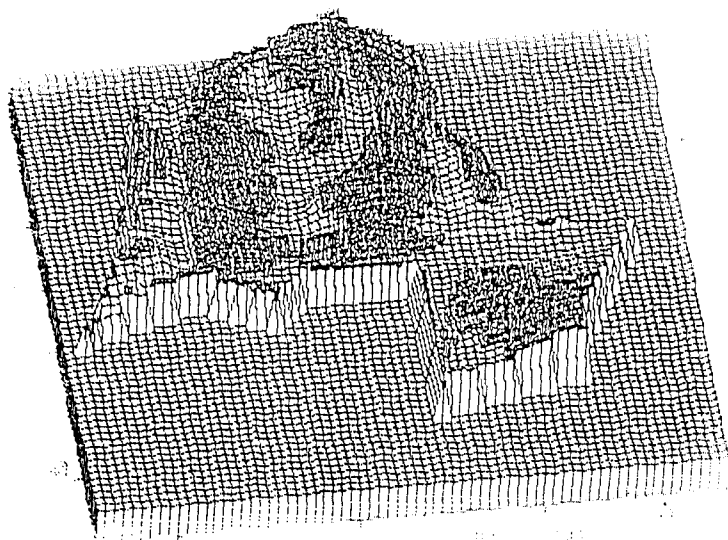


図-9. 対象地のモデル化

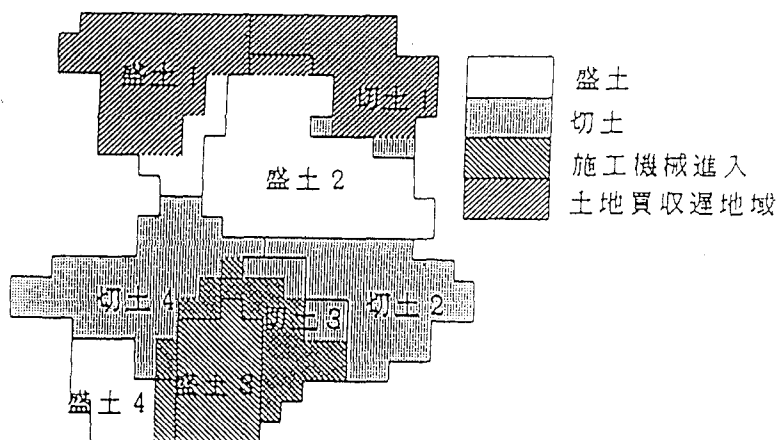


図-10. 与条件・施工性を考慮した対象地のモデル化

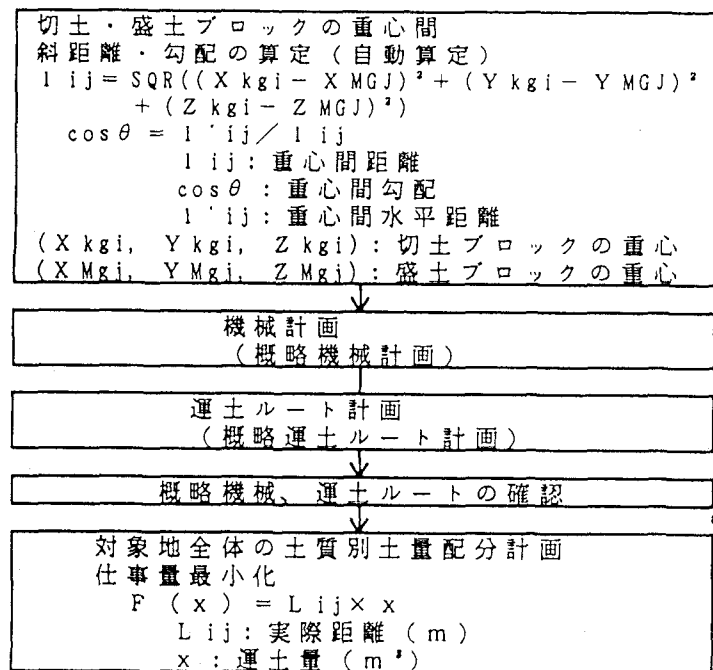


図-11. 土量配分計画プロセス

に示すような土量配分モデルを用いて線形計画法により、土量配分を行うことで、土のマクロな動きを見る。

- ①運土作業機械において、勾配による土質別の施工効率を算出する。
- ②運土距離、勾配、ブロック土量から線形計画法輸送問題により土量配分案を算出する。

c) 運土計画の策定：

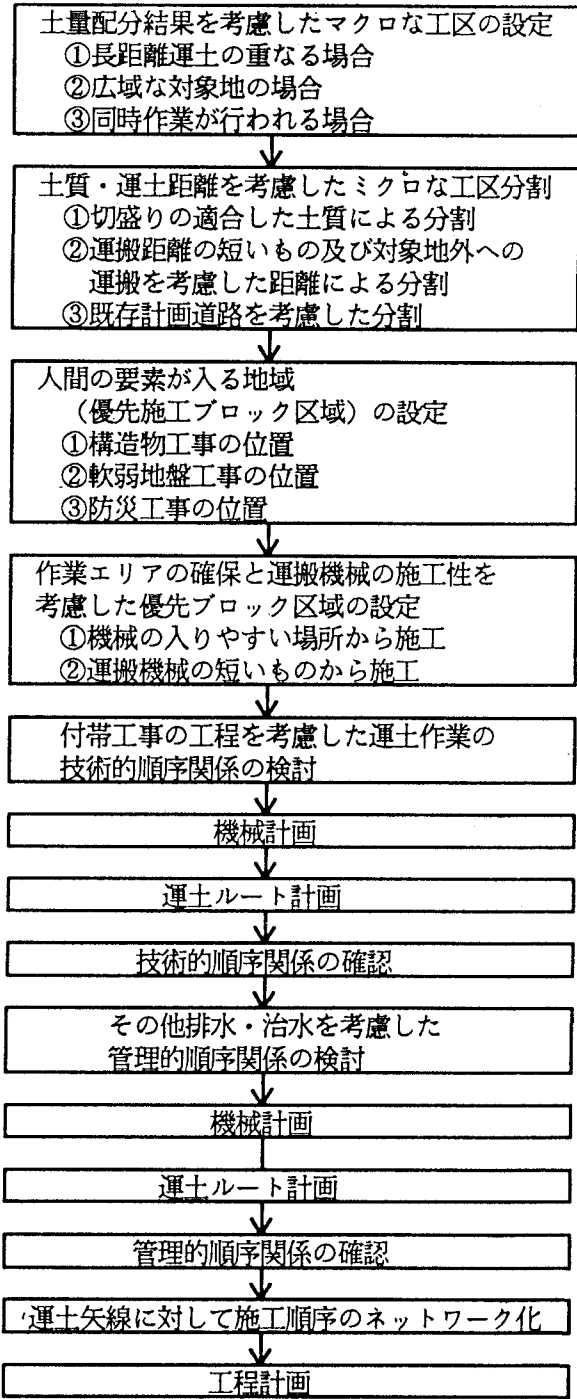
運土計画の策定は図－１２に示すように、行うこととする。ここで行う運土計画は、概略的な土量配分をもとに、人間の要素が入る構造物工事や軟弱地盤工事、さらに防災工事の地域を把握し、その付帯工事の工程を考慮した運土作業の順序関係を検討するとともに、その他の地域において、作業エリアの確保と運搬機械の施工性を考慮するだけでなく、排水・治水のしやすさを検討して、運土矢線に対して施工順序を設定する。例えば、図－８に示すような地形に対し、対象地の中央部分のブロックから施工すれば、図－１３のような地形に変化し、さらに、施工が進むと図－１４のような地形になるといったように、コンピュータ上で地形の変化を把握することとした。

表－１．土量配分モデルの定式化

目 的 関 数	
総仕事量の最小化	
$F(X) = \sum_i \sum_j (1 + \alpha \text{TAN} \theta_{ij}) \times L_{ij} \times x_{ij} \rightarrow \min$	
制 約 条 件	
①総切土量と総盛土量のバランス	
$\sum_i \sum_j x_{ij} \times C = \sum_i \sum_j x_{ij}$	
②切土ブロックの土量バランス	
$\sum_j x_{ij} = VB_i$	
③盛土ブロックの土量バランス	
$\sum_i x_{ij} = VB_j$	
$x_{ij} \geq 0$	
変 数 及 び 定 数 の 定 義	
L_{ij}	: 運土ルートの距離 (m)
x_{ij}	: 運土量 (m³)
α	: 施工効率
$\text{TAN} \theta_{ij}$	: ルート勾配
C	: 締め固めた土量／地山の状態
VB_i	: 切土ブロック i の土量 (m³)
VB_j	: 盛土ブロック j の土量 (m³)
n	: 切土ブロックの総数
m	: 盛土ブロックの総数

また、その施工順序にともなう地形の形状の変化をもとに、投入機械の機種を考慮に入れて、運土ルートの設定を行うこととした。

- ①与条件・施工性を考慮した地形の変化（施工順序）を設定する。
- ②各施工段階において、メッシュ間ごとに勾配を考慮して運土ルートの設定を行う。
- ③運土ルートの運搬距離と勾配を算出する。
- ④総仕事量の観点から運土計画案の評価検討を行う。



図－１２．運土計画策定プロセス

d) 機械計画案の策定：

策定された運土計画案に対して、ここでは地形の形状の変化による施工条件を考慮して、投入機械の台数・チーム数の設定を行う。まず、施工段階ごとにブロックを層に分割し、平均切り場及び盛り場の面積算定を行う。そして、求められた面積を考慮して、掘削機械、積込み機械及び埋立て機械の機種と台数を設定し、能力算定の確認を行う。

e) 工程計画案の策定：

立案された施工計画案に対し、スケジュール計算を行い、工程表の出力を行って概略工程計画案として取りまとめる。また、WBS (Work Breakdown St

structure)によって土工事工種の階層化を行った。つまり、[工事]、[工種]、[作業]、[作業内容]、[作業単位]、[規格]、[能率]、[歩掛]という8項目の階層に振り分けた。このように8階層に設定することにより、工程計画と見積りとを結びつけることが可能となる。つまり、ここで示した[作業単位]が原価管理で定義しているWork Packageに当るもの考えている。¹¹⁾

6. 本システムの運用結果について

最後に本研究では、以上のように説明したシステムを用いて、実際の宅地造成工事を対象として本システムの運用性の検討を行った。

対象地域の概要は、表-2に示されるように山間部の中規模宅地造成工事である。本システムを用いて描かれた概略工程表は、表-3のようになる。ここでは、費用の面をあまり考慮せず、工期を重視するという事で、軟弱地盤対策工法にはセメント系深層混合処理を用いることになった。また、切盛土工におけるコンピュータ・グラフィックスを用いた検討により、工期の短縮が行われた。

また、本システムの各計画のアウトプット結果は、現場技術者が検討を行って算出した計画案と、あまり大差が見られなかったことが確認された。

7. おわりに

本研究では、計画内容の合目的性や実行可能性の程度を検討するための判断材料を提供して、検討目的の達成度を高めるために、エキスパートシステムやコンピュータ・グラフィックスを中心とする情報処理機器を有効に利用した地形情報システムの導入をはかった。そこで、実体が捉えにくいとされてきた大規模土工事の施工計画案に対して、計画化の各プロセスを通して、

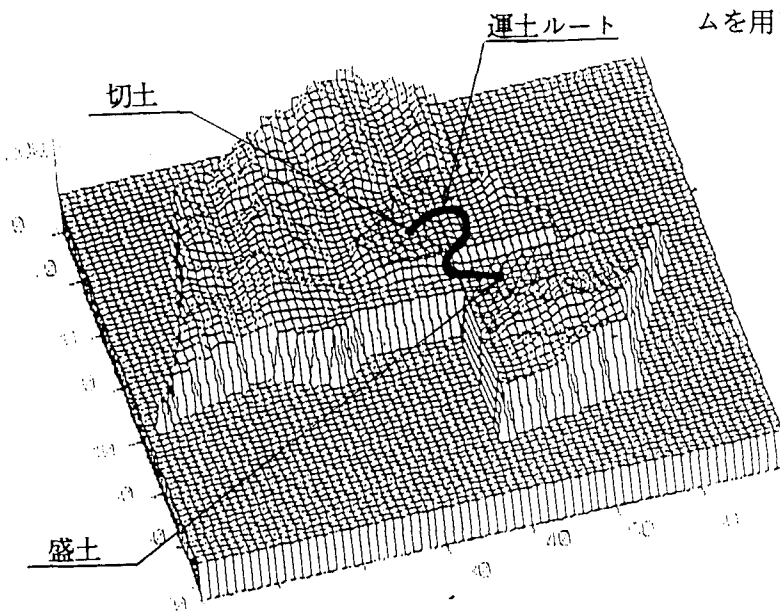


図-13. 工事途中の地形形状の変化(その1)

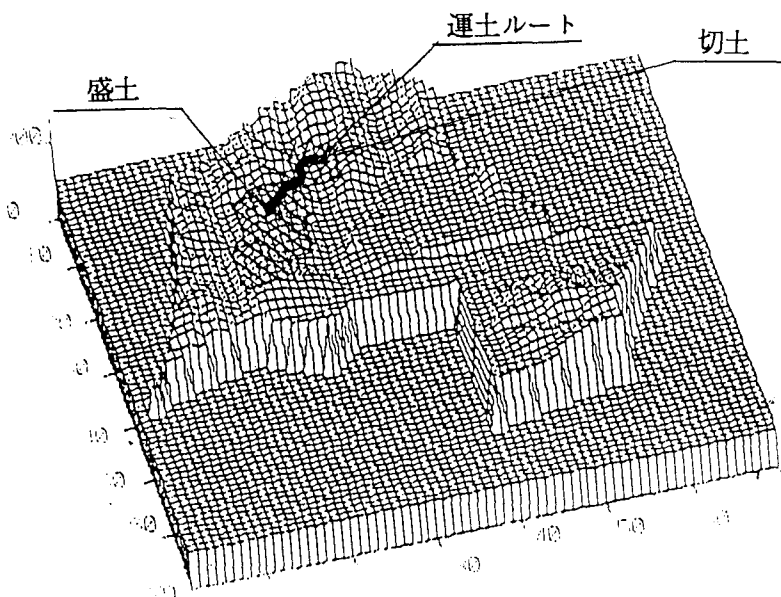


図-14. 工事途中の地形形状の変化(その2)

一貫性や整合性を図ることを目的とした支援情報システムの開発を行った。

本研究の成果として、以下のようなことが明らかになった。(1) 様々な工法や組合せを要し、全体工事計画に多大な影響を与える付帯設備工事選択問題をエキスパートシステムを用いることにより、合理的・効率的に工法選定を行うことが可能となる。

(2) コンピュータを活用することで、土工事において課題とされてきた施工順序による地形変化の把握や、施工順序による地形形状を考慮した運土ルートの設定などの比較・評価検討が可能となる。(3) 付帯工事計画と土工事計画を一体的に捉えて計画を行うことにより、総合的な観点から検討した説得力のある計画代替案を提供することが可能となる。

最後に今後の課題は、以下のようなことが考えられる。(1) 本システムは、プロトタイプシステムであるので、実際の工事における適用を重ね、今後さらなる信用性・有効性の向上を図る必要がある。(2) データの精度を上げるため、より多くの現場技術者にヒアリング調査を実施し、より良いデータの蓄積が必要である。(3) 本土地造成工事計画システムのトータルシステム的な連動性の向上を図る

表-2. 対象工事の概要

工事名称	宅地造成工事（調整池工事を含む）
契約工期	1年7カ月
工事費用	1,240,000千円
造成土工	172,200m ³
堤体土工	120,100m ³
施工機械	ブルドーザ、キャタールスクレーバ、ダンプトラック等

表-3. 策定された概略工程表

< 工程表 >		0(日)	80	160	240	320	400	480	560	640
準備工	(開始日 0～終了日 60(工期=61日))	*****								
伐採工	(開始日 60～終了日120(工期=61日))		*****							
地盤改良工	(開始日120～終了日180(工期=61日))			*****						
仮排水路工	(開始日150～終了日225(工期=76日))				*****					
洪水吐工	(開始日120～終了日300(工期=181日))					*****				
防災工	(開始日180～終了日225(工期=46日))						*****			
堤体土工	(開始日225～終了日510(工期=286日))							*****		
法面工	(開始日345～終了日540(工期=196日))								*****	
造成盛土工	(開始日300～終了日540(工期=241日))									*****
傾斜コア型堤体盛土	(開始日260～終了日560(工期=301日))									*****
跡形付け工	(開始日540～終了日570(工期=31日))									*****

ていく必要がある。

【参考文献】

1)吉川和宏，春名攻：建設工事計画における総括工程計画モデルの開発研究，土木計画学研究論文集，1984年

2)Wright, Wiggins, Jain, Kim: Expert Systems in Environmental Planning, 1993

3)岡衛，五十嵐善一，市原義久：シールド施工管理エキスパートシステムの開発，第9回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集，1991年

4)総合建設技術研究会：宅地造成設計施工の手引き，1990年

5)宅地防災研究会：宅地防災マニュアルの解説，1992年

6)湯沢，花安，折田，船津，大崎，加藤：斜面安定工事における工法選定のための意志決定プロセスの構造化，建設マネジメント研究論文集，1993年

7)三島八郎：宅地造成工事の調査と設計と施工，鹿島出版会，1991年

8)梶山和夫，大橋正和，鈴木隆介：地形地質情報による水害予測エキスパートシステムの構築，第15回土木情報シンポジウム講演集，1990年

9)石川六郎：システムズアプローチによる工事管理，鹿島出版会，1977年

10)伊丹康夫：建設機械の管理と施工，財団法人建設物価調査会，1988年

11)春名攻，大音宗昭：設計変更に応じた効率的な積算システムについての考察，第11回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集，1993年