

(Ⅲ-3)

埋立工事の施工計画のシステム化に関する研究 ー概略工程計画のシステム論方法を中心としてー

A Study on Systems Approach to a System Development for

Master Plan of Reclamation Project Scheduling

立命館大学理工学部 春名 攻*

東洋建設㈱ 大音 宗昭**

東洋建設㈱ 竹中 弘治***

立命館大学大学院 ○荒川 和久****

立命館大学大学院 辻井 裕****

By Mamoru HARUNA, Muneaki OHTO, Kouji TAKENAKA, Kazuhisa ARAKAWA, Yutaka TSUJII

建設工事の施工計画では、概略的な全体計画から詳細部を明確にしていくという検討過程（ブレイクダウン）の流れによって計画化するとい事前検討の方法がある。特に、施工計画の中核をなす工程計画においては、この過程にしたがった検討が中心となっており、最初に立案する概略工程計画が以後の全体工程の計画化を左右することとなり、その意味において詳細工程計画のフレームとしての役割は大きいといえる。

本論文においては、これまで研究を行ってきた工程計画のシステム化の方法論を取りまとめて述べるとともに、大規模埋立工事を対象事例とした場合に、全体工程を工程ごとにデザインしていく概略工程計画の策定の方法に焦点を当て、工程計画作業の処理プロセスのシステム論的な観点からの考察を行った。さらに、このアプローチにもとづき実際の概略工程計画システムの開発を行い、その実証的検討を行った結果を報告する。

【キーワード】 概略工程計画、システム化、埋立工事

1. はじめに

バブル経済が崩壊した現在においても、ウオーターフロント開発をはじめとして数多くの開発事業が実施されている。一方、これら建設工事の大規模化・複雑化が進むとともに、慢性的な作業員不足や、作業環境の複雑化、さらには、現場技術者の不足などの問題は益々大きなものになっている。このような状況のもとで、これまでは、新施工法の開発や、施工機械の能力の向上を始めとするハード技術とそれ

らを支えるソフト技術の開発研究が行われてきた。

本研究グループは、これらハード・ソフト双方の技術を融合化させるためにはシステムティックな検討方法の確立が必要であると考えた。すなわち、施工計画をより合理的に進めていくためには、工程計画策定業務を中核とするトータルな工事マネジメントシステムの開発を目指す必要があると考えた。そして、海洋構造物工事の中の埋立工事を対象事例に取り上げ、本システムの実証的検討を通して、工程計画作業のシステム化のための方法論的検討成果を取りまとめることとする。

2. 現場マネジメント業務の概念的整理

これまでに本研究グループにおいて検討を行ってきた陸上土木工事^{3) 4)}と同様海上土木工事において

* 理工学部土木工学科 (075-465-1111 EX3701)

** 技術研究所所長 (0798-45-0661)

*** 土木本部工務部長 (03-3296-4785)

**** 理工学研究科土木工学専攻 (075-465-1111)

も、土木工事特有の現地生産・個別生産という特性から各現場個々の対応が必要であると考えられており、各現場に多くの権限と責任が与えられているのが現状である。従って、工事施工の合理化という問題に対しては、工事現場を中心にして捉えていくことが、最も実戦的であると考えられ、合理的・効率的なシステム化も効果的に図られるものと考えられる。

ここで、現場マネジメント業務は、工程・原価・品質・安全の4大管理行為（環境を含めて5大管理行為と呼ぶこともある）と、機械、資材、設備、外注、労務の管理5要素などを対象とする複数の基本的な業務群から成立している³⁾。

工事を計画するにあたっては、これら複数の管理対象それぞれに対して、検討を加えていく必要があるが、工事計画業務の合理化を実現するためには、基本的業務の1つ1つを、互いに独立した形で管理するのではなく、総合的に管理していくことが必要

であるとする。つまり、本来、総合的・体系的に行われ、工程を中心として行われるのが工事施工であると考えれば、核となる1つの工程計画業務を捉えて他の業務をこれに従属的させて管理していくという方法をとることが有効的であるとする。

すなわち、工事を計画するにあたって工程計画の果たすべき役割は大きく、工事施工前に最も望ましい工事スケジュールを策定するだけでなく、原価、資源等の他の管理対象を総轄的に表現したものではなくてはならないと考えた。以上の考察から、本研究においては、図-1に示すような形に現場マネジメントシステム体系を整理し、これを絶えず念頭において検討を進めることとした。

3. 工事マネジメントシステム開発の基本的方針

マネジメントシステムは、業務遂行上に生じる様々な問題を解決するための、“業務群”と、それらを結ぶ“情報”によりマネジメント行為は構成されるが、業務の主体はあくまでも人であり、実態である業務機構のもとに概念的な業務システムが構成されていることに注意を払う必要がある。

すなわち、業務改善を目指したシステム開発を、単なるコンピュータシステムの開発に終わらせないためにも、まず業務の目的や機能構成に着目し、現状の業務実態そのものを捉え直すことが重要である。つまり、分析的な検討を通じて、改善すべき方向性・目的が明らかにすれば、これを概念的な業務システムとして業務機能の再編成に関する検討を行い、システム改善のイメージと論理を明確にすることが必要である。また、この段階で作り上げられる概念的な機能構成・業務システムには、現想的なものが多く、機能的にみて高度化を行いすぎたり、開発期間や開発コストの採算面で不合理な機能も往々にして含まれる。このため、当初に考えたシステム検討案も、再度実態に戻って実現可能性に対する検討を行った後に、具体的な業務体制を作り上げ業務の合理化や高度化を目指すといった方法が効果的であると考えられる。さらに、概念的な業務システムとしての機能的構成には、図-2³⁾に示すように「判断・実行等の人為的な作業に関わる機能群」と、「情報の収集・加工・伝達等の情報操作機能を中心

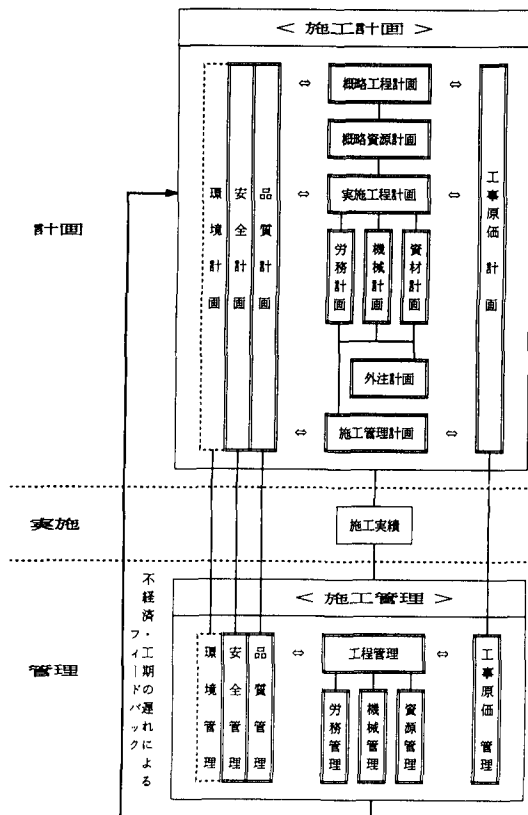


図-1 工程を中核とする現場マネジメント業務の流れ

が混在しているので、まず、両者をわけてシステム化をはかる必要もある。前者に対しては、業務方法・処理プロセスの改善を試み、後者に対しては支援情報システムの開発を行った後に、両者の整合性をはかった全体システムを構成していくという取り組みが必要であるとする。

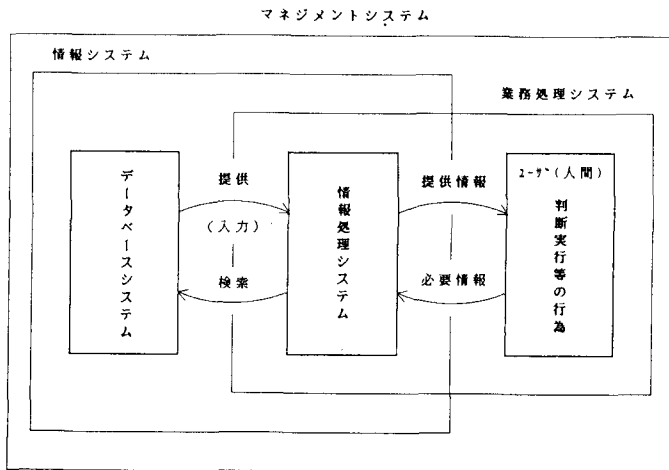


図-2 マネジメントシステムの機能的構成

4. 工程計画のシステム化における基本的認識

本研究では、概略工程計画策定システムを開発するにあたって、表-1に示すようなコンセプトのもとで開発を目指すこととした。以下にこれらの具体的な内容を述べることにする。

(1) 工程計画と工事構造の階層性

建設工事の計画では、概略的な全体計画から詳細部を明確にしていくブレイクダウンの流れで検討を進める場合が多い。

つまり、全体的な時間と資源の配分を行うことを目的として概略工程計画作成されるため、全体工程

を左右する重要な計画として位置づけられている。さらに、このフレームのもとに下位計画（月間計画、日々の作業計画等）である詳細工程が順次計画されるのである。したがって、概略工程と詳細工程との連動性を十分確保しておく必要がある。

一方、工程計画の策定を機能的に行っていくためには、単品生産や個別生産という構造特性を明確化していくことが必要であり、このような点を踏まえて過去の施工実績の有効活用についても検討をおこなっていく必要がある。

さて、本研究では、計画化のシステムについては、工事種別に整理した共通の基本的なフレームを持つことが必要であると考え、WBS(Work Breakdown Structure)によって、図-3に示すような8つのレベルからなる工事項目階層の整理を行った。この工事項目階層と、これらのレベルに応じた計画情報およびデータを整理することによって、より効率的に計画作業を進めることが可能であると同時

に、その後の管理や施工実績に関する情報の収集・更新等も容易に行えるものと考えたのである。つまり、図-3における工事項目階層図をフレームとすることによって、図-4に示すような（技術的な）施工順序を決定することが可能となると判断したのである。

(2) 工程計画策定における2つのアプローチ

前述したように、概略工程計画を策定するにあたっては、概略的検討でありながらも詳細工程のフレームとしての機能を満足するような検討が必要であり、計画データの取扱や精度についても十分な注意を払わなければならない。

概略工程は、主にレベル5を工程要素として組立られた全体工程であるが、その組立方法には、実作業のレベルからの積み上げ方式のボトムアップと、工事目標の割付方式のトップダウンという2つのアプローチ方法がある。

トップダウンによる工程計画方法は、すでに、標準データや計画情報が整備されており、過去のノウハウが十分活用で

表-1 工程計画システムの開発コンセプト

- ①多種・多様で膨大な情報を保有し有効に活用する。
- ②労力の軽減、計画作業の迅速化・効率化を目指す。
- ③現場への実用を重視し、汎用的なシステムとして整備する。
- ④無理な高度化をさげ、開発・普及のレベルに合わせて段階的に高度化を図っていく。

きるような場合には、非常に有効な方法であると考えられる。しかし、その反面、取り扱う情報が不備である場合には、多くの不確定要素を残したままの計画策定を行うことになり、大きなリスクを有することとなる。

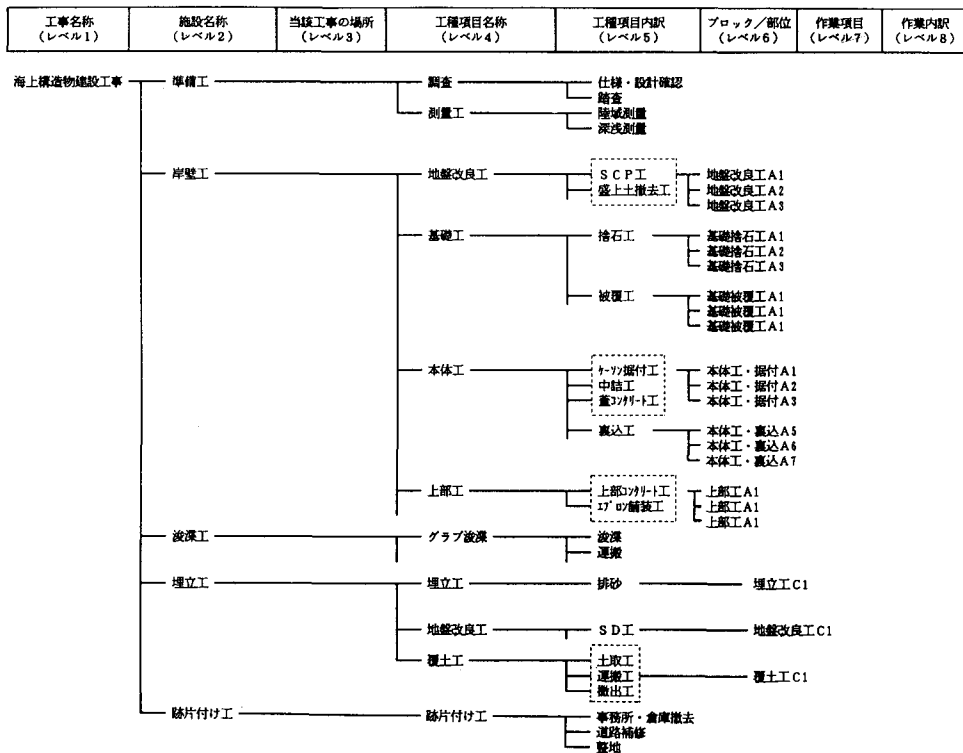
一方、ボトムアップによる工程計画方法では、工事の最小構成単位から順次検討・集約していく方法であり、詳細な検討は可能である。しかし、工事の全体的な規模やバランスその他トータルな観点からの把握に多大な労力を要し、全体工程の評価・検討には不向きである。そこで、本研究においては、原則的にはトップダウンによる組立方法を採用することとした。そして、概略的なレベルのみでは実態を

捉えられないものに対しては、先取りの詳細レベルで部分的な施工シミュレートを行い検討を加え、この結果を検討していくこととした。

結果的に、本研究では、工程計画業務を過去の経験から標準的に取り扱えると判断される部分の工種と、個別性・多様性を考慮して具体的に掘り下げて検討を加えなければならない部分の工種とに分けてシステム化を行うこととした。すなわち、図-5²⁾に示すような形でのトップダウンの流れとボトムアップの流れの双方を混成させた方法を用いることとしたのである。

(3) 現場経験則の活用

発展の著しい技術革新と工事規模の拡大、建設工



〔 〕 モデルケース工事におけるアクティビティとなる工種項目内訳

図-3 工事項目階層図（一部分のみを示す）

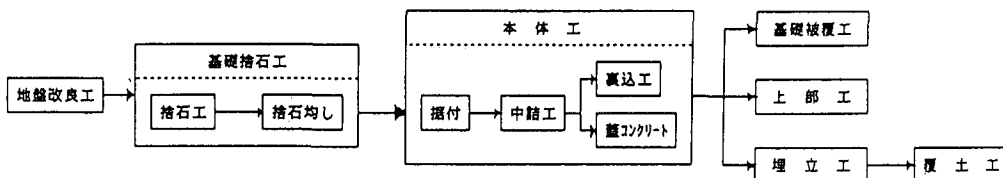


図-4 工事項目階層図の編集により策定した埋立工事の（技術的）施工順序

事の増大に対しての、慢性的な熟練技術者の不足という問題を懸念し、これまでに開発されてきた工程計画システムの多くは、人的作業をできるだけ排除して省力化・合理化を達成することを狙いとしたものであった。また、従来のハンド・ワークでは、2、3の代替案についてしか検討できないという時間的な制約の実状をふまえて、計画作業の処理速度を上昇させることにより、より合理的な計画案を策定することをも目的としていた。しかし、豊かな知識・経験を駆使して処理されてきた人的判断の作業を完全に自動化してしまうことは難しいと判断される。このため、以上述べたような方法を考察したが、この方法によって始めてこれまでのシステム開発の行き詰まりと実務の複雑さを打開することができると考えたのである。

また、自動化をはかったシステムの大半は、コンピューター自身に最適解を見つけ出させるため、計画者の意志を反映させるといった融通がきかず、結局は現場技術者に拒否反応を示されてしまっている。これらは、概略工程計画のために必要な機能・項目を把握することができて、それを計画案として取りまとめる系統だったアルゴリズムを作り出すことが容易ではないことを示していると考えられる。

しかし、「複数の代替案を迅速に立案することが

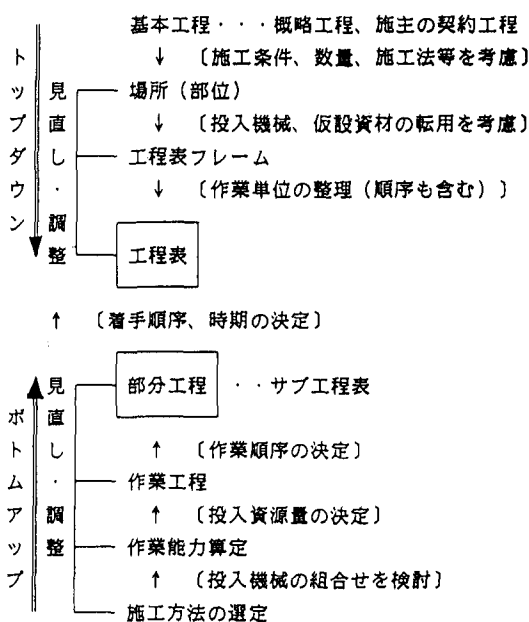


図-5 工程計画業務における2つのアプローチ

可能」、「代替案の適切な評価が可能」というこれら2点の機能は、システム開発を行う上で、必ず備えておかなければならないものである。

そこで、本研究では、「人為的作業機能群(判断・実行などの人為的な作業)」と、「情報操作機能群(情報の収集・加工・伝達などの情報操作機能)」の2つに分けてシステム化をはかる必要があると考え、技術者判断の方が有効であると考えられる処理は計画者の支持を受けやすい現行プロセスに沿った形で残していくこととした。特に、最適なアルゴリズムが完成していない現在においては、計画過程の判断情報の蓄積によりAI・エキスパートシステム等の判断モデルを開発するという次段階へのねらいもこめて、試行錯誤的にも複数の施工パターンを想定してシミュレーションしてみるといったヒューリスティックな計画法を用いることとし、代替案方式で結果的に望ましい計画案を作成していく方法を採用することとした。このような計画法の採用により、計画段階においても柔軟な対応が可能になるものと考えられる。

5. プロトタイプモデルの開発

(1) 海洋構造物工事の特性と工程計画案の策定に関する検討

海洋構造物の建設工事は海象条件に大きく左右されるため、他の陸上施設構造物工事以上に不確定要因が多いという特徴がある。このため、全体工事計画段階における各工事实施日の設定では、陸上工事と比較して非常に概略的な検討が取られるが、これは全体的な施工程の流れを構成することを第一の目的として考えられているためである。すなわち、たとえ、陸上構造物と同様に詳細部の細かな検討を事前に行ったとしても、その検討内容が施工段階で実施される可能性は極めて乏しく、かえって実行性に欠ける結果を生むことになるためである。

また、海上工事では、特殊能力を持った船舶が主要な施工機械となっている場合が多く、それらの調達の限界や、工事費用の問題から使用数量に大幅に制約がかけられることが多いことから、安易なブロックの分割や投入施工チームの増加等々の施工能力の向上を実施することは難しいのが現状である。したがって、海上構造物の建設工事の計画にあたって

は、まず、工事を構成する工程を明らかにした後に、施工性を考えて平面的なブロック分割を行い、投入可能な代表資源の運用順序をブロック工程として策定することが効率的であると考えた。

(2) 施工計画システムの全体構成

以上の検討成果をもとに、前述したような過去の施工実績をもとに、共通データとして整備した標準データベースを中心にして、施工計画システムの全体構成を図-6に示すような形に設計した。本システムにおいては、標準データベースより与えられる工事階層を共通フレームとすることによって、中心となる工程計画と他のサブ・システムとの連動をはかるとともに、サブ・システム単位に実際の支援情報システムを開発する方法をとっている。

また、本研究では、メイン・システムとなる工程計画システムの開発を早期に着手しているが、ここでは、無理に高度化されたシステムとはせず、いかに工程表を出力するかというように単純な基本機能をとりあげた開発を行った。したがって、図-7に示すように工程表作成に関わる基本的機能群とプ

ロセスを中心として、工程検討レベルを問わず、以下のプロセスによって工程は明らかにされることとなる。

1. 工事諸条件の設定と工事項目階層構造の明確化。
2. 施工単位別工事数量の算定。
3. 施工技術的順序関係の設定。
4. 施工単位別施工能力の算定。
5. 管理的順序の設定。
6. スケジュール計算。
7. 工程表・資源山積み図の作成。

本研究では、このプロセスを工程システムの基本プロセスとして捉えることとしているが、計画者が一意的に求めることが難しい能力算定にあたっては、標準・実績データベースや他のサブ・システムをこれに対応させることとした。さらに、スケジュール計算では、PERT/Time と座標式工程モデルの2種類の工程表としての出力の機能を常時備えておくこととして、計画者がいずれかの機能の選択を行うこととしている。

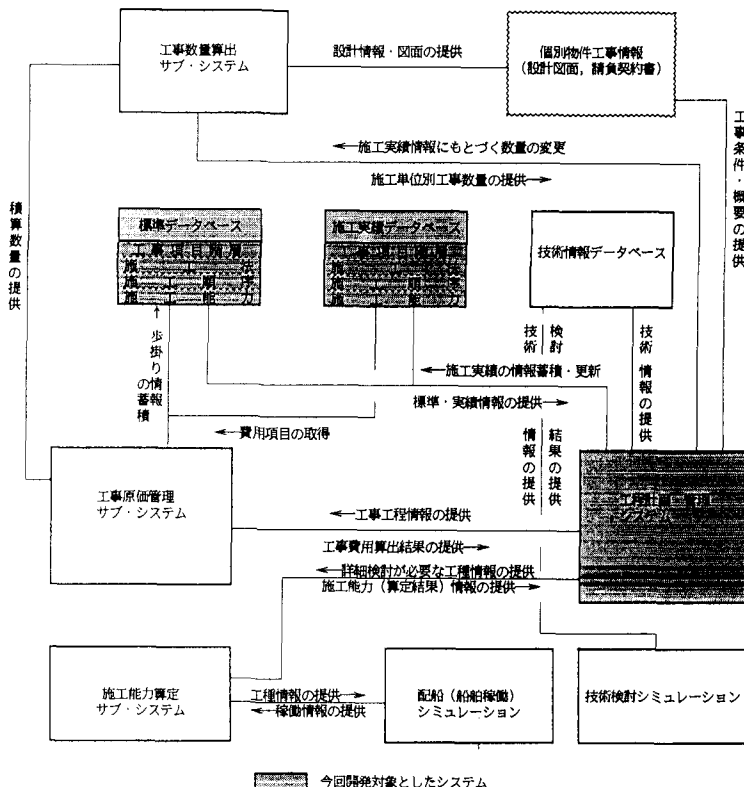


図-6 施工計画システム全体構成

前述したように、ここで重要なことは、マネジメント行為の中心があくまでも人であることを認識しておくことであり、エンドユーザーとなる現場技術者に特殊機能を強要することは避けるべきであるとしている。また、処理機能に最適化や特殊機能を追加する場合には、付随するサブ・システムまたは選択機能群として整備を行うほうがよりシステムが機能的に稼働するものと考えている。そして、システムの普及と確実な処理作業の軽減を実施するためには、実務での適応が十分に保証された段階で随時本システムの機能と置き換え、システム全体の高度化を達成する実際的な開発方法が効果的であるとも考えている。

(3) 施工空間の干渉に関する検討

海洋構造物建設工事においては、投入機械（船舶）の保安距離確保を始めとして、投入機械の施工性確保や安全空間確保のための施工空間に対する制約を十分に検討する必要がある。

これら空間干渉を考慮したスケジューリング方法としては、これまでに、ネットワーク理論と巡回セールスマン問題を活用したOPT-NET⁴⁾や、施工空間をX-Y平面と施工時間の3軸として捉え、幾何学的条件を活用した3次元座標式工程モデル⁵⁾等々の理論的検討が行われている。本研究においては、現場経

験則の活用という観点から、解の探索過程を実際的にシミュレートしてみるといった方法で検討を行うこととした。

本研究グループにおいては、座表式工程表の幾何学的特性を活用した座表式工程モデルが空間干渉問題に対しての非常に有効な検討ツールであることを確かめてきた。¹⁾³⁾⁴⁾また、一般的に、海洋構造物工事は、護岸工事や岸壁工事といった線形構造物工事と、埋立工事や浚渫工事といった平面構造物工事とに分けられ、これらの工事間にはタイムラグを含む順序関係が存在している。本研究では、ここに着

目して、平面図等の設計図書を参照情報として、図-8に示すような工程計画案作成プロセスを設けた。すなわち、工種毎の個別検討についてはサブ工程表として座表式工程表を活用し、統括的・全体的な検討については従来のバーチャート式工程表あるいはネットワーク工程表を活用していくことにした。

さらに、両者の整合性に関する検討を、これらの工程表間においてフィードバック的な検討を加えることによって行うこととした。（なお、投入資源に対しては資源山積み図から評価を行なうこととしている。）

ここで、検討す

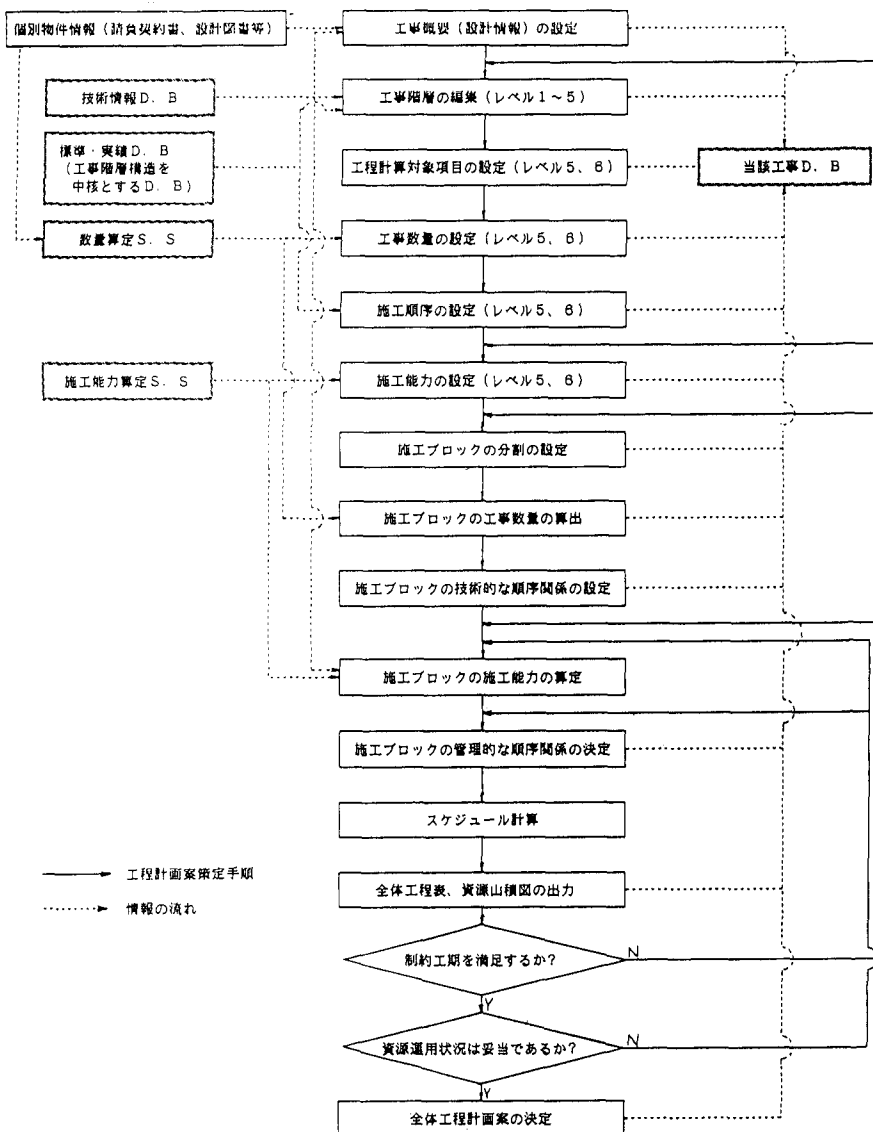


図-7 工程計画案策定フロー

べき項目としては、工程計画を策定する上で大きな問題となる、投入船舶の種類や投入数による占有領域や、これに伴うブロック分割数やその大きさ、さらに、ブロックの施工順序（管理的施工順序）などが挙げられる。そして、2つの異なった工程計画モデルの活用と、これらのシミュレート過程を通して、現場技術者の経験やアイデアを適時活用していくことが可能になるものと考えた。

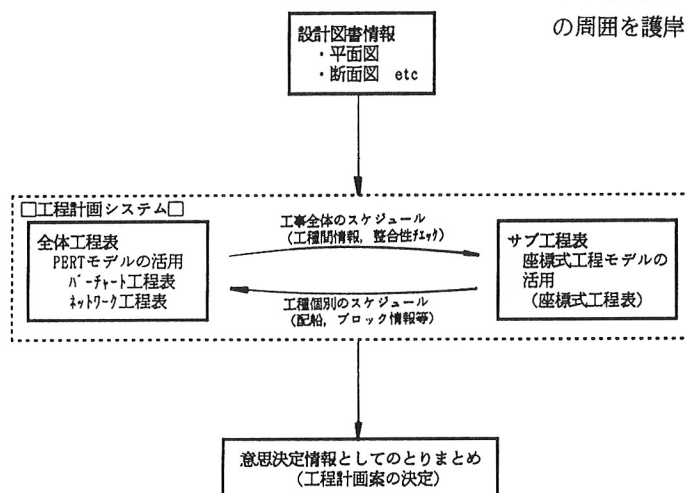


図-8 工程計画案策定プロセス

6. 工程計画システムの実際工事への適用

ここでは、これまでに述べてきた工程計画システムを、実際工事へ適用をすることによって、その実用性を示すこととする。

（1）モデル工事の概要

モデル工事には、沿岸部の埋立による護岸建設と埋立工事をもとにした海洋構造物建設工事を事例として取り上げることとした。この工事は、施工範囲の周囲を護岸・岸壁によって取り囲んだのち、中心部を浚渫土あるいは客土により埋立てを行うといった典型的な埋立工事の形態を取っており、全体的な施工空間はほぼ正方形の形状を成している。各工種工事は、平面的にブロック分割が実施されるとともに、施工方向も様々な方向を持っている。なお、今回の実証的検討では、システム運用の実験的検討であることを考慮して、埋立工事及びそれと隣接する-2mと-5.5m岸壁のみを取り上げることとした。このモデル工事の平面図を図-9に示す。

（2）工程計画案の策定における実証的考察

工程計画案の策定において、まず、工期の短縮をはかるため-2mと-5.5m岸壁の同時施工について検討を行ったが、この工事は陸上と隣接した地域の埋立工事であるとともに、他の工事と比較して全体の施工面積が小さく、大型船の使用は常時1隻に限定される結果となった。すなわち、施工対象域に地盤改良工に必要なサンド・コンパクションパイル船やサンド・ドレーン船を停泊させて施工する場合には、船の前後左右に100mのアンカーがはられ、船舶を中心とする周囲

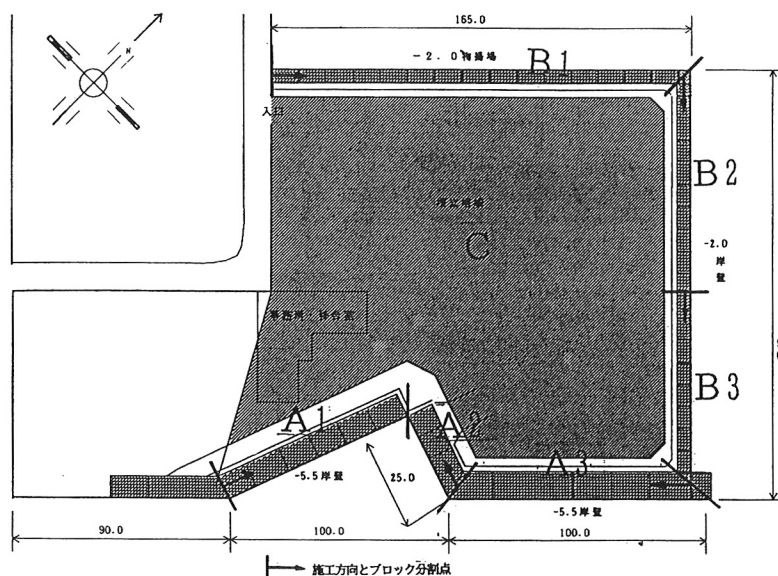


図-9 モデルケース工事の施工区域（平面図）

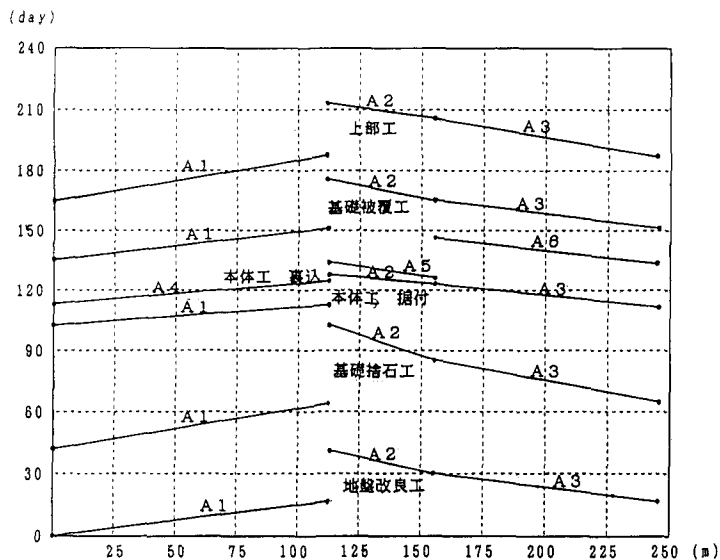


図-10 A岸壁工事サブ工程表 (座標式工程表)

100m に対して施工禁止空間が発生しているためである。しかし、各工程に 100m の侵入禁止距離を設定した場合、地区 C の施工開始は地区 A, B の施工が完全に終了した時点となる。実際の現場では、地区 A の地盤改良工と地区 A, B の本体工の同時施工が許可されるのに対して矛盾を引き起こすことになった。そこで、本研究では、地区 C に対してはもとより施工面積が広いことから、船舶の航行に必要な空間を含めた禁止空間を再度設定し直すこととして、この間

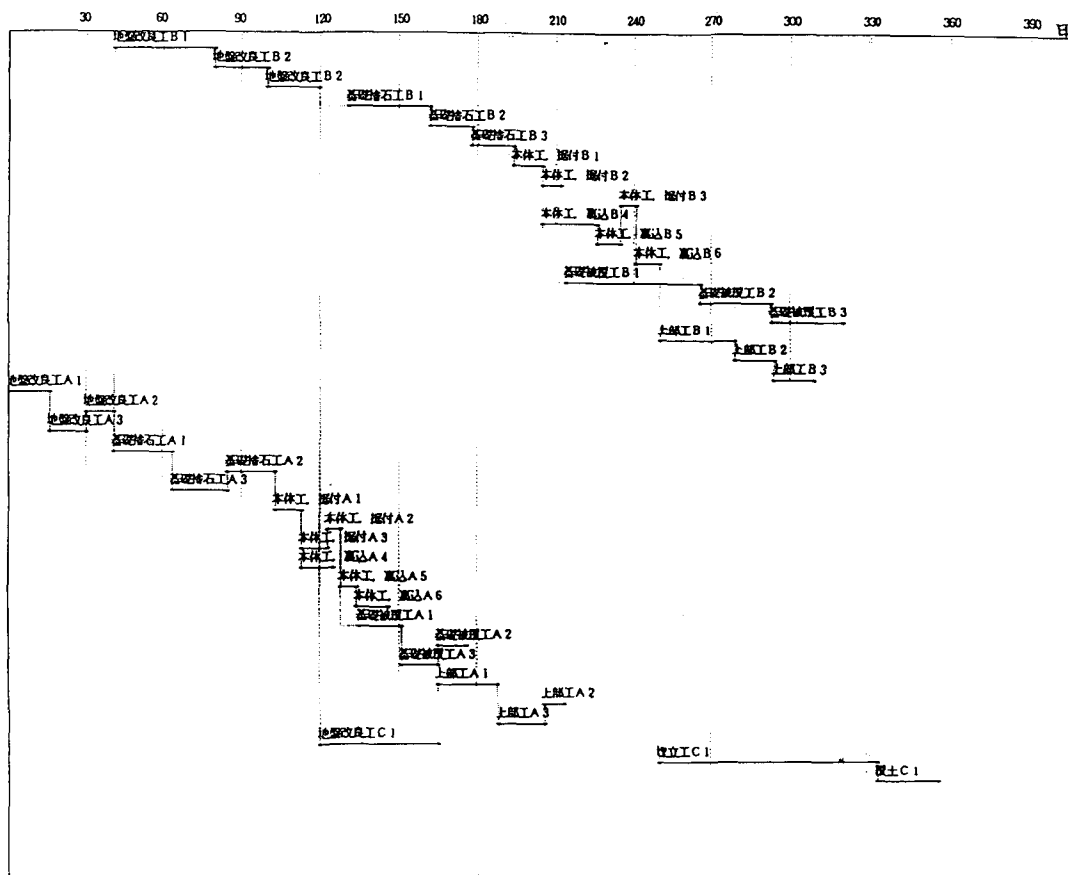


図-11 埋立工事全体工程表 (バーチャート形式工程表)

題に対処することとした。

また、岸壁における裏込め工の施工にあたっては、基本的に岸壁本体の外側から土砂の投入を行なうこととしたが、部分的に施工不可能な場所が考えられたため、岸壁の一部本体の施工を遅らせて船舶の航行に利用することとした。したがって、地区Bの第3ブロックにおける本体の据え付けに対しては、同地区・他ブロックの裏込め工と地区Cの地盤改良工が完了するまで、作業船舶航路として施工が禁止されることになっている。

先に示した標準順序の他に、施工効率上指摘される上記の問題を考慮した順序を補助的に設定を行った後、船舶が主要資源となる地盤改良、捨石工に禁止距離を与えて、代替案の検討を行ったところ、計算工期が356日となる計画案を得た。このときの概略工程表を、図-10（座標敷工程表における岩壁工事サブ工程表）及び図-11（バーチャート形式による全体工程表）に示した。

7. おわりに

本研究においては、工事の全体的な時間と資源の配分を行ない、その後の詳細な検討作業のフレームともなるというように、計画上、重要な役割をもつ概略工程計画に着目して、その工程計画作業の効果的な策定方法と支援情報システムの開発研究を行った。ここでは、実際工事への適用をとおして、まず、計画データの設定の煩わしさを標準データベースにより軽減することについて考察した。ついで、人為的な判断や機能をともなわない定型的な業務を、コンピュータシステムとして構築することにより、工程表や資源山積み図を瞬時に出力することによって処理の軽減と迅速化は勿論、よりきめ細やかな計画者の判断、意志決定を十分にサポートすることができる方法についても考察し、実用化しうるものとの確信を得た。

本研究の今後の課題としては、次に示す内容が挙げられる。

（1）より機能的なシステムの整備・開発を目的として、本システムを他の工事現場にも順次適用を行なっていくことにより、工事項目階層図のデータメンテナンスをはじめとして、施工実績データの収集とサブ・システム群のシステム機能の整備を行って

いく必要がある。

（2）本研究においては、工程をベースとした評価検討を行ったが、研究成果である工事項目階層図の検討を加えていくことによって、工程と連動性をもった工事費用（見積り）という側面からも評価を行うことが可能になるものと考えられる。

（3）工事マネジメント業務の一貫した処理プロセスを実現するため、各工程レベルでの計画作業のシステム化および、管理段階におけるフォローアップ作業のシステム化の検討を行ない、トータル・マネジメントシステムの構築を行っていきたいと考えている。

最後に、本研究を行うにあたり、貴重な資料の提供をはじめ、適切な御助言を頂いた、東洋建設株式会社安全環境課の高橋武一氏（当時、神戸営業所工事主任）に対して、深く感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) 春名攻，大音宗昭；埋立工事マネジメントシステム設計法（その1）、（その2）、（その3），関西支部年次学術講演会 講演概要集；1988年6月、1989年6月、1990年6月
- 2) 春名攻；建設業の現場マネジメント業務のシステム化に関する研究；第14回土木情報シンポジウム；1989年10月
- 3) 春名，原田；座表式工程表を用いた概略工程計画システムの開発研究；第8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；1990年12月
- 4) 春名，浅海，原田，辻井；トンネル工事を対象とした工程計画・管理のシステム化に関する研究；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12月
- 5) 春名，原田，荒川，黒田；工事施工空間の干渉問題と効率的資源運用問題を考慮したスケジューリングモデル開発；平成4年度関西支部年次学術講演会講演概要；1992年5月
- 6) C. William IBBS；CONCEPTUAL APPROACH FOR COST / SCHEDULE INTEGRATION IN PROJECT CONTROL SYSTEMS；土木学会論文集No.425 IV-14；1991年1月