

土木工事における施工計画・管理システムに関する研究

㈱鴻池組	正員	川崎健次
京都大学	〃	春名攻
㈱鴻池組	〃	西野久二郎
〃	〃	○田坂隆一郎
〃	〃	折田利昭
〃	〃	安井英二

はじめに

近年、構造物の複雑化・高度化、立地条件の多様化、技能労働者の不足、資機材の高騰、公害規制からの圧迫など、土木工事の施工環境条件はますます厳しいものとなってきている。そのために、土木工事の施工にあたっては、施工技術的側面のみならず、計画・管理技術や公害防止技術の適用など広範多岐にわたる事項について検討しなければならない。しかし、それらは相互に複雑な関連を有しており、工事施工要素の中には工事実施時においてもなお不確定なものも存在している。このために、工事施工の重要な管理要素である工程・原価・品質・安全等のすべての面において相当のあいまいさが含まれることとなり、施工計画・管理技術における合理化は施工技術のそれに比べて立遅れてきているといえる。

筆者らは、これまでこうした状況にある施工計画・管理技術の合理化に関する様々の問題を取扱ってきた。そして、施工計画・管理における“PLAN → DO → SEE”の流れを重視することにより、工程を中心としたシステム設計に関していくつかの解法を提案してきた。

本研究は、施工計画・管理システムに関する研究の中から、土木計画学研究委員会・施工計画問題分科会において「地下鉄開削工事における施工計画問題」として取り上げた事例を中心として報告するものである。

1. 土木工事における施工計画・管理の体系化の方針

土木工事においては、与えられた設計図書にもとづいて、土木構造物と現場条件に最も適した施工法と工事用資源を計画・選定するとともに、これらを工程的にも原価的にも、また安全面や品質面でももっとも望ましい工事施工の成果が得られるように、運用管理することになる。

このようにして行なわれる工事施工の運営管理を施工管理体制という側面から捉えると、以下の3つの管理レベルに大別できる。すなわち、

- ① 集中管理レベル（各工事現場に対する本・支店における現場管理）、
- ② 現場管理レベル（各工事現場における工事施工の運営管理）、
- ③ 作業管理レベル（各工種・各作業の段取、施工、管理）、である。

また、計画・管理業務の内容を工事の実施される手順・業務内容にしたがって捉えると、①計画情報作成段階、②総括計画作成段階、③詳細計画作成段階、④施工管理段階、という4つの段階に分類できる。

さて、設計過程から施工者に対して与えられる情報は設計図書・仕様書に限られているので、土木工事の施工にあたってはこれらに示される内容を現場の運営管理という立場から十分に理解し、施工計画および管理に必要とされる情報を新たに作成しなければならない。

また、施工計画の作成にあたっては、不確定要素の存在や設計変更等のために当初の施工計画に修正が加えられることも少なくない。このような土木工事の特殊性を考慮すると、計画・管理システムの方式としては工事の進捗状況の追跡の可能な方法を採用することが肝要なことであるといえよう。

さらに、各工事は計画準備の段階から、施工管理の段階までの1つ1つの業務を積上げていくことによって実施され、また、それぞれの工事は相互に密接な関連性を有している。

こうした考察のもとに筆者らが組立てた工事管理システムのフローチャートを示したものが図1.1である。図中でPHASE Iは計画段階に含まれるものを、またPHASE IIは管理段階に含まれるものを示している。計画情報および実績情報はコンピュータにファイル化されるので、そこで得られる情報は集中管理レベルと現場管理レベルのいずれにおいても利用できるという特徴を有している。

また、各工事現場の現場管理レベルにおいて用いられる施工計画・管理手法をそれぞれの段階において行なわれる業務内容と対応づけ、体系化して示したものが図1.2である。図中の点線で示すように、総括計画、詳細計画、施工管理の各段階は時期的に離れているのが普通であり、計画内容の修正・変更が必要とされるときにのみ、これらの各段階は直接に関連してくることになる。

2. 地下鉄開削工事における施工計画・管理システムの適用

2.1 適用工事の概要

適用対象として取上げた地下鉄開削工事の平面図および縦断面図を示すと、図2.1および図2.2のようである。

この工事の施工計画・管理上の特徴としては、図からも明らかのように、高速道路のピア基礎が地下鉄の上床スラブと一体化するために上床スラブが2.9m～3.2mの厚さを有していること、ピア基礎が近接する区間の杭打設工事・防水工事の施工、高速道路下部工事・共同溝工事が地下鉄工事と同一地域では同時期に施工することによる工程上の問題、などがあげられる。2.9m～3.2mの極厚スラブのマスコンクリート部分は曲げ応力を受ける部材であるためにきわめてセメント量の多い富配合となっており、水和反応熱によるクラック発生防止対策、この部分の型枠支保工計画が重要である。

地下鉄構造物本体は、駅部と線路部に分かれており、それぞれを10ブロックずつに分割し、合計20ブロックに分けて施工することにした。防水工との関係やスラブ厚さを考慮して、2、8～14ブロックでは壁とスラブとに分けてコンクリートを打設するが、他のブロックでは壁とスラブを一回で打設する計画とした。こうしたことから、工事全体としても型枠支保工の転用計画が重要な要素であるとされた。

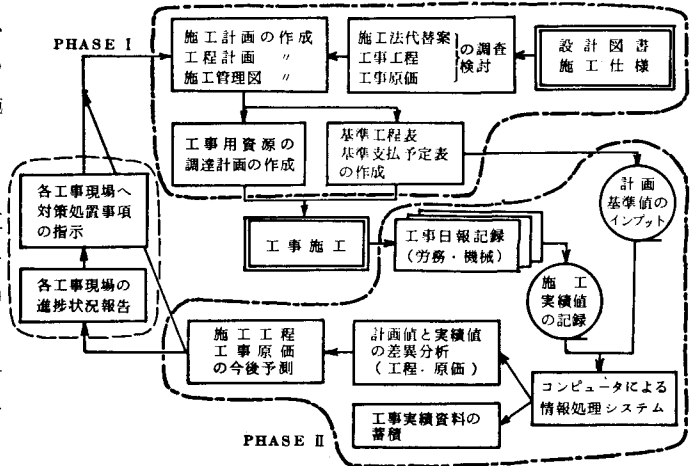


図 1.1 工事管理システムのフローチャート

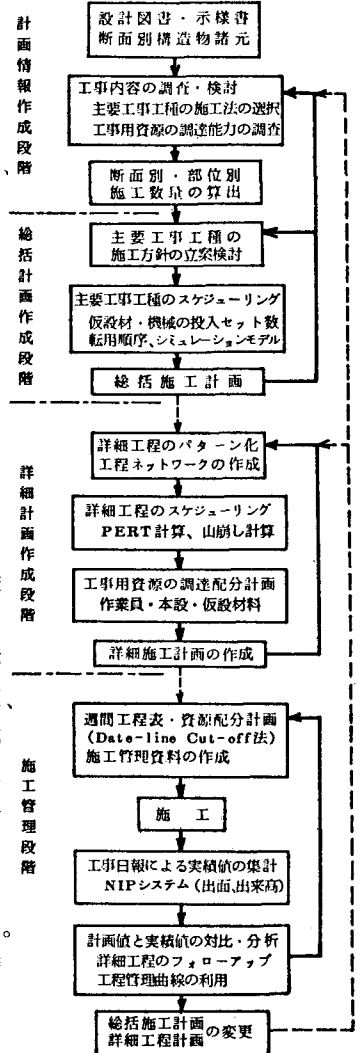


図 1.2 施工計画・管理のシステム・フロー

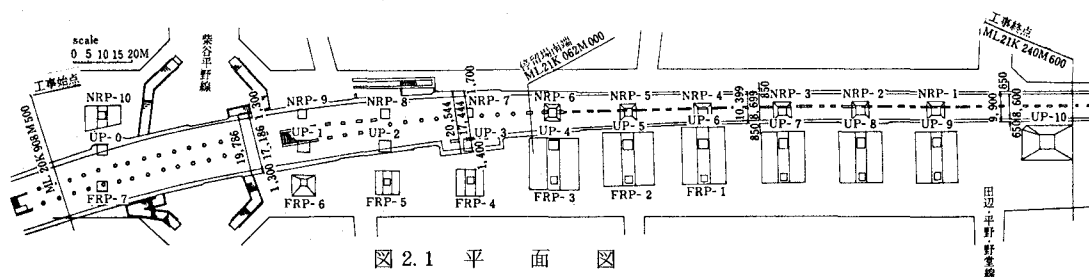


図 2.1 平面図

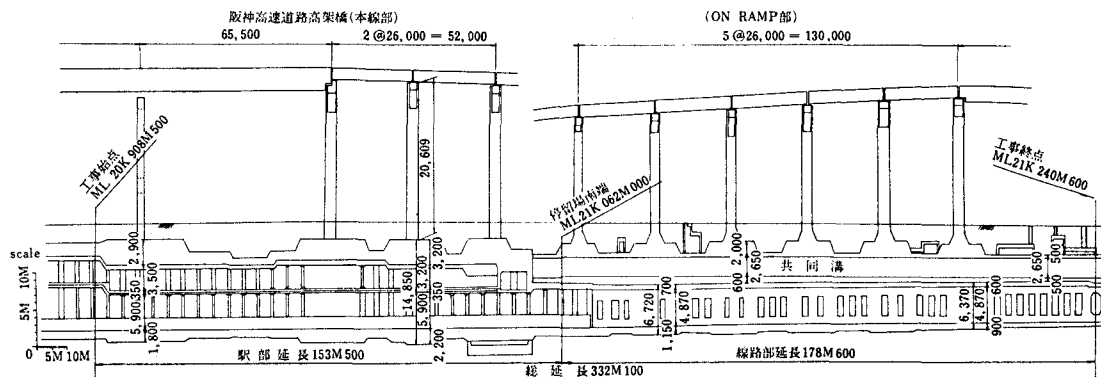


図 2.2 縦断面図

2.2 地下鉄開削工事における適用課題

土木工事における施工計画・管理システムの内容は図 1.2 に示したが、それらの中から地下鉄開削工事へ適用し、そこにおいて具体化された研究課題を列挙すると以下のとおりである。

- ① 計画情報作成段階における断面図作成と施工数量算出の自動化。
- ② 総括計画 " " 掘削工程計画へのシミュレーションモデルの適用。
- ③ " " " 構築工程計画への PERT モデルの適用。
- ④ 詳細計画 " " PERT 手法による工程計画の作成。
- ⑤ " " " 数理計画モデルによる鉄筋の購入量・切断パターンの決定。
- ⑥ 施工管理段階における Date-line Cut-off 法による週間工程表の作成。
- ⑦ " " NIP システムによる工事日報情報の集計・分析。
- ⑧ " " 統計的分析による施工管理（進捗管理、安全管理）資料の作成。

これらの各課題の概要について以下に述べることにする。

①の計画情報作成段階では、設計図より断面諸元をインプットして各断面図を任意スケールで自動図示、施工数量も同時にアウトプットする。

総括計画では、②掘削工事の工程は構築工事と対応づけられるユニットを単位として GPSS によるシミュレーションモデルによって表わし、③構築工程はコンクリート打設を作業単位とするネットワークモデルで表わして型枠支保工の転用計画を立案・検討する。

④の詳細工程計画では、構築工事の工程を実際の施工順序を示す PERT 工程表を作成し PERT 計算・山崩し計算を行なうことにより、工程の詳細な検討を行なうとともに、工事用資源の調達計画のための基礎資料を作成する。

さらに⑤工事用資源の調達配分計画では鉄筋材料の購入・加工を取りあげる。詳細工程計画によって求められている月別鉄筋需要量に対して各径ごとの定尺鉄筋購入本数を数理計画モデルを用いて求める。

⑥の施工管理段階では、詳細工程計画で作成された PERT 工程表に Date-line Cut-off 法を適用し各

ロック別に工期までの残日数を表示した週(月)間工程表を作成する。作業区分山積図と併用することにより、実行可能性の大きい実施工程を定めることができる。また、⑧出来高実績値を工程管理曲線上にプロットして簡便に工事の進捗状況・支払状況を推定するための方法について考察する。

これらの施工管理のための施工実績値の集計では、⑦現場で作成する工事日報から作業員出面および機械稼働時間をNIPシステムを用いて集計し、支払管理資料をコンピュータでアウトプットさせる。

また、⑧の施工管理の中で安全管理の比重が増々大きくなっているが、このための資料として労働災害記録を詳細にデータ化して統計的分析を加えることにより、労働災害のための安全管理資料を作成する。

3. 断面図作成と施工数量算出の自動化

土木工事においては、設計過程から得られる情報としては設計図書・仕様書に限られており、工事の施工に必要な計画・管理資料はすべてこれらの書類にもとづいて工事現場において作成しなければならない。計画書作成時は工事現場が多忙な時期でもあるので、これらの業務は迅速かつ正確に行なわれることが肝要である。

地下鉄工事の設計図書には、構造物位置の座標および断面諸元が表示されているので、特殊断面を除いてはこれらの諸数値を用いて図面の自動作図を行なうことは比較的容易である。また、断面図作成と施工数量の算出とは密接に関係しており、施工数量は施工計画・工程計画・実施予算等の作成にあたっての基本情報である。特に、地下鉄開削工事においては、主要工種として杭打設工、路面覆工、山留工、掘削工、薬液注入工、構築工、埋戻工など数多くのものがあり、しかも、これらの施工計画書の作成にあたっては種々の縮尺・精度の断面図が必要とされる。

したがって、設計図書の諸数値をコンピュータに記憶させることにより、各横断面図・平面図・縦断面図の自動作図、ならびに各種施工数量の積算が可能となれば、施工計画作成業務は省力化・迅速化され、同時に図面作成や数量算出に伴ないがちなミスの防止にも役立てることができる。

図 3.1 は、断面図作成と施工数量算出のためのフローを示したものである。このフロー図から、設計図書に直接明示されていない構造物位置に関する座標を計算することにより測量計画資料として用いること、工事施工の単位であるブロックや部位と対応づけて施工数量を算出することにより工程計算や出来高管理資料として用いること、さらに、仮設構造物の設計結果をインプットすることにより仮設計画に必要な諸数値が求められることなど、施工計画・管理に必要なとされる諸情報を得ることができる。

図 3.2 は、設計図書に与えられている座標・数値をインプットすることにより、X-Yプロッターで作図した各種断面図のアウトプット例である。これらの各種断面図は使用目的に応じて任意のスケールで作図することができ、計画作成業務の省力化に役立てることができる。

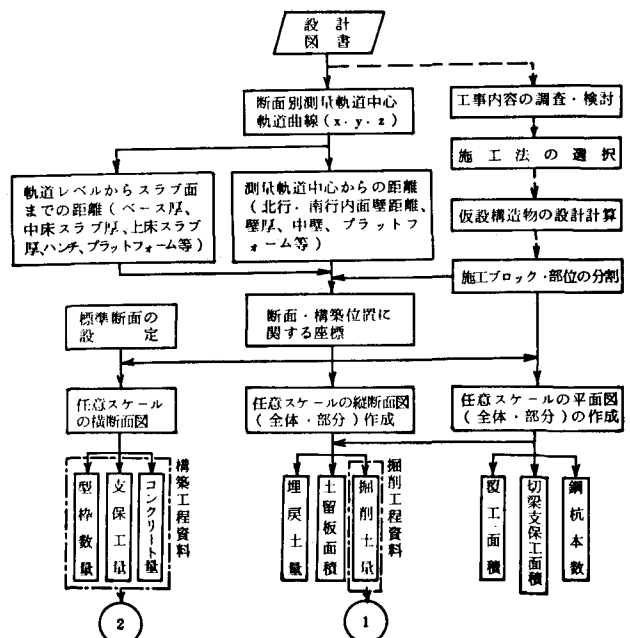
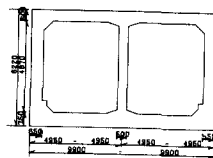


図 3.1 断面図作成と施工数量算出のフロー



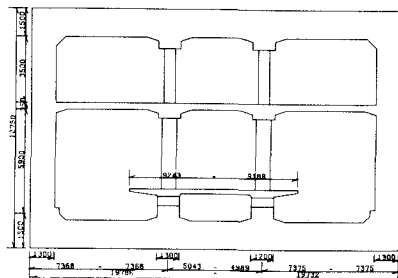
平面図のアウトプット例



(a) 線路部



縦断面図のアウトプット例



(b) 駅部

横断面図のアウトプット例

図 3.2 各種断面図のアウトプット例

4. シミュレーション・モデルによる総括工程計画の作成

4.1 地下鉄開削工事における総括計画の作成

準備工の段階において施工計画作成に必要な資料・情報が得られると、次には各工事工種ごとに施工技術上の問題、施工管理上の問題としてどのようなものがあるか検討される。そして、工事全体にわたる問題提起と解決策の提案がなされて、工事の施工方針が決定されることとなる。着工前の計画作成作業としては工事の成否を左右するもっとも重要な段階であるといえる。

こうした段階において、地下鉄開削工事の総括工程計画は図 4.1 のような手順によって、工事全体に占めるウェイトから、掘削工事と構築工事を中心として作成されることになる。

掘削工事は施工順序を規定する要素は少ないかわりに、制約となる要因が非常に多いのに対して、構築工事は施工に必要な作業の手順は施工技術的側面から強く規定されていて、管理上の制約としては作業員・仮設材の投入数がその主なものである。

したがって、全体工程を合理的に定めるためには、掘削工程と構築工程のそれぞれの定量化が必要であるのみならず、相互の影響を定量的に組込んだ工程計画手法の開発が要求されるであろう。

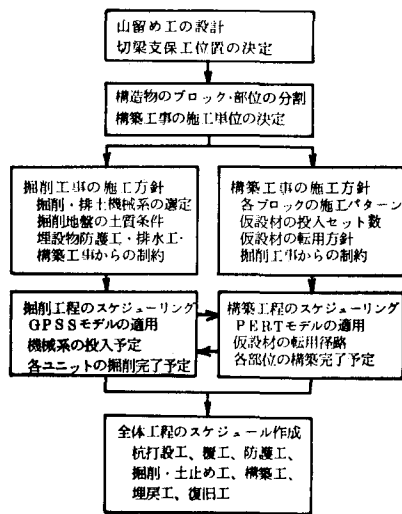


図 4.1 総括計画の作成

4.2 GPSモデルによる掘削工程のシミュレーション

(1) 掘削工程の問題点

掘削工程の施工進度は地盤条件や施工機械に強く影響されるため、これらの判断を間違えると大巾に遅延することもありうる。とくに地下鉄工事では全体工程の中で占める比重も大きく、掘削工事にともなう工程上

の問題を構築工程への影響という点から定量化して取扱うことは全体工程をより合理的に推し進めるうえで重要な事項であるといえる。

掘削工事は構造物工事とは異なり、工種間の技術的順序関係や仮設資材の転用順序など掘削順序を事前に規定する必要がなく、掘削段差や土質・排水条件を考慮して、構築工との関係から敷付完了時期をいかに早くするかが重要なポイントとなる。ここでは、こうしたねらいにマッチするシミュレーションプログラムを開発したので、その内容を以下に説明する。

(2) 掘削工程のモデル化

掘削工程を定量的に表わすためにここでは、当工事の土質条件、構築工との関係や掘削方法を考えてブロック分割面と切梁面（各段切梁の 1.0 m 下に設定）とで区切られる対象地盤をユニットと名づけて掘削工程の単位とすることにした。このようにすると、各ユニットは掘削段階番号 i とブロック番号 j の組合せによって、マトリクス ($i \cdot j$) の形で表わすことができ日程計算を行なうのに都合がよい。

各ユニットの掘削条件としては隣り合うユニット間での段差のみを取り上げ、その値が 1 ユニット深さまでならば掘削可能とした。つまり、あるユニットは、同じブロックの直上ユニットの掘削と切梁架設が完了し、左右両隣りブロックの 1 段上のユニットの掘削が完了しておれば掘削することができるとした。これをモデル化して示すと図 4.2 のようになる。土質条件が軟弱な場合には、各ユニットの深さを小さく、また、上段ユニットの掘削完了範囲を広く取れば、同様の処理をすることができる。

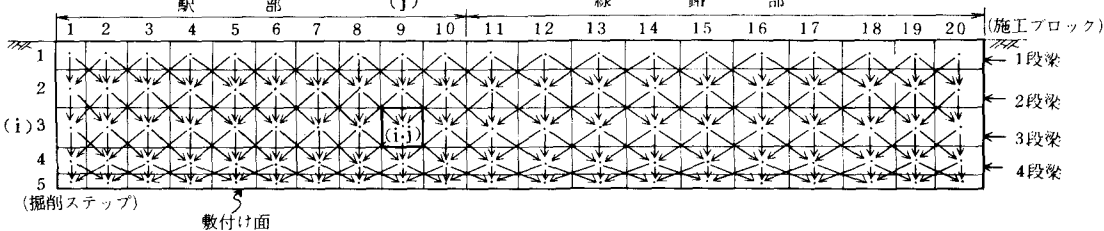


図 4.2 掘削ユニットと掘削順序のモデル化

(3) シミュレーション・モデルの特徴

掘削工事の施工単位と施工順序に関しては非常に自由度が高いのに対して、工事施工にあたって考慮すべき施工条件・管理要素の多いのが掘削工事の特徴であり、しかも、それらのいずれもが掘削工程を支配する可能性のあるものである。こうした状況を通常の PERT 手法で表現することは困難であるので、ここでは、待ち行列現象の解析によく用いられている GPSS (General Purpose System Simulator) によって掘削工程のシミュレーション・プログラムを記述することにした。その概要を示すと、図 4.3 のようである。

プログラムの中で制約条件として取扱った項目は表 4.1 に示すとおりである。これらの中で、各ユニットの掘削土量は第 3 章の施工数量算出システムから求められた値を用いることができる。さらに、排土機械系の指定、土質区分 (粘性土・砂質土) による掘削能力の変更、投入機械系 (ダンプトラック、クラムシェル、ブルドーザ) の調達台数とその期間の指定が可能である。

各ブロックの掘削可能時期は杭打設工や各種防護工の日程にもとづいて与えることができ、構築ブロックの着工順位は型枠支保工の転用計画の検討結果にもとづいて与えればよい。また、各ユニットの掘削完了日

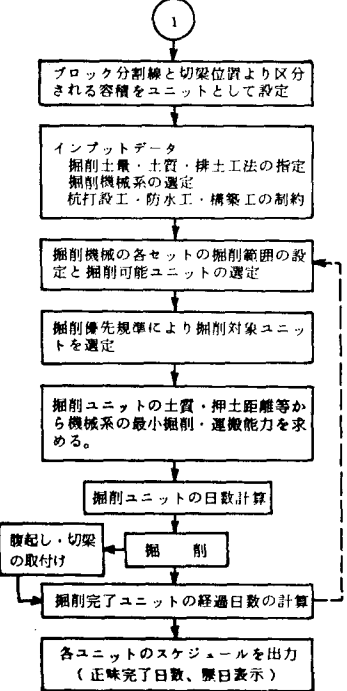


図 4.3 掘削工程のスケジューリング

のアウトプットについては、掘削開始日から掘削完了日までの正味日数による表示と、掘削開始年月日、各月の掘削可能日数による歴日表示との両方を得ることができる。

図 4.4 は、このシミュレーション・モデルを用いて、実際の掘削工事の制約条件として各ブロックの掘削可能期間、ダンプトラックの期間別投入台数の指定を与えて計算した例である。制約条件を与えないケースと比較すると 2 ケ月程度遅れており、各制約条件の掘削工程への影響を定量的に把握することができる。

また、このように掘削工程を定量的に表示することにより構築工程との関係が明らかとなり、構築工程ならびに全体工程の検討を一貫確実に行なうことができる。

表 4.1 インプット項目

1. 各ブロックの長さ	6. 掘削開始ブロック	11. 万能掘削機の掘削能力(土質別)
2. " の幅	7. 各ブロックの掘削可能時期	12. 期間別機械投入台数 (ダンプトラック、ホッパー、電動クラムシェル、万能掘削機、ブルドーザ)
3. 各掘削段階の深さ	8. 構築ブロックの着工順位	13. 各月掘削可能日数
4. 各ユニットの掘削土量	9. 掘土工法の区分	14. 掘削開始年月日
5. " の土質区分	10. ブルドーザ系掘削能力(土質別)	

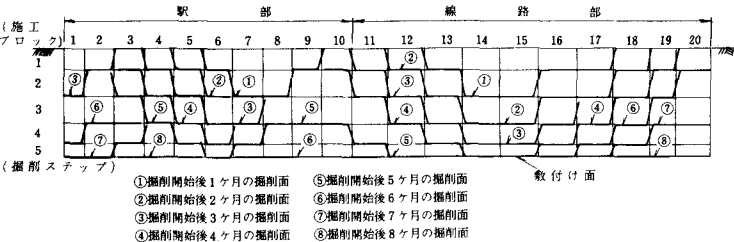


図 4.4 掘削工程のスケジュール計算例

4.3 PERTモデルによる型枠支保工の転用計画

地下鉄工事のように構造物が連続して長い場合には、工事区間を適当な長さのブロックに分割して施工しなければならない。このような場合には、型枠材などのように転用を必要とする仮設資材の施工順序は構築工程を決定するうえで重要な要素となる。

型枠支保工は通常コンクリート打設作業と対応して転用されるが、地下鉄工事におけるコンクリート打設は、駅部・線路部の区分、防水工の施工手順、スラブ厚等を考慮して設定された構造物の部位を単位として行なわれる。今回適用の対象として取上げた工事においては、図 4.5 に示すような単位でコンクリート打設を行なうことにした。

型枠支保工の転用計画を作成するにあたっては、コンクリート打設単位に加えて各断面に用いる型枠材の規格・寸法、各施工ブロック・部位の型枠材数量、開口部の位置、各部位の施工順序等を考慮しなければならない。こうした要素を含めて、できるだけ少ないセット数でしかも各セットの転用回数がほぼ等しくなる

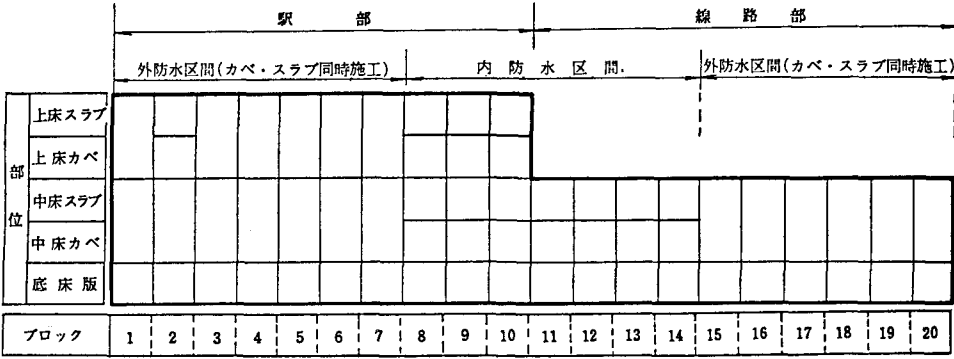


図 4.5 コンクリート打設単位によるブロック分割

ように型枠支保工の投入セット数とその転用順序のすべての組合せについて定量的に評価することは、人力ではほとんど不可能に近いといえる。

型枠支保工の転用計画は総括計画作成の段階に策定されるので、計画内容としては図 4.5 に示した各部位のコンクリート打設を単位としても精度的には十分であることに着目して、PERT手法を用いた転用順序決定のプログラムを作成した。図 4.6 にその概略のフローを示す。

この転用順序決定プログラムの特徴としては、i) PERTと同様の様式・内容のデータを入力できること、ii) 資材搬入部である開口部の指定、iii) 型枠材の制限数の指定、iv) 各ブロックの着手時期又は完了予定時期の指定、ができることである。

適用対象として地下鉄工事においては前述の図 4.5 のようにモデル化した、アクティビティの単位である底床、中床カベ、中床スラブ、中床（カベ、スラブ同時施工）、上床カベ、上床スラブ、上床（カベ、スラブ同時施工）の所要日数は各々 10 日、10 日、15 日、10 日、10 日、15 日とし、また、各ブロック・部位とも同一日数として考えることにした。開口部は 5 ブロック、17 ブロックに設け、型枠支保工の準備セット数としては 4～6 セットについて検討することとし、工期、型枠支保工の転用回数、転用順序の状況を総合的に判定することにした。

表 4.2 は各代替案をとりまとめたものであるが、この結果から、型枠支保工の転用計画の基本方針としては 5 セット案が望ましいことがわかる。この方法においては、構造物の部位をネットワークのアクティビティの単位としているので、計算時間も少なく総括計画段階における計画手法として望ましい方法であるといえる。

5. PERT手法による詳細工程計画の作成

(1) 工程のパターン化

工程ネットワークのタイプとしては、アロー型とサークル型があり、両者の相違は表 5.1 のとおりである。サークル型の場合、図 5.1 に示すように施工工程を構成する作業とネットワークを構成するアクティビティが一对一の対応を為しており、ダミー作業を必要としない。施工工程の変更の際に工程ネ

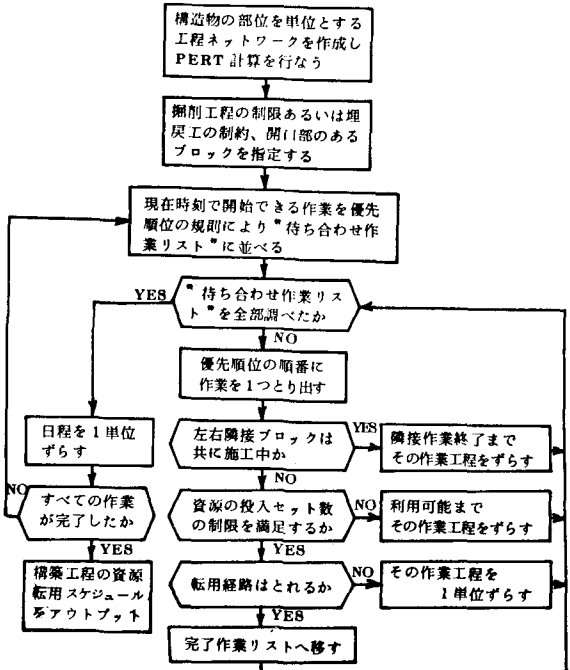


図 4.6 型枠支保工転用順序決定のプログラムフロー

	セット1	セット2	セット3	セット4	セット5	セット6
代 替 案 I	14中床スラブ ↓ 15中床 ↓ 16" ↓ 17"	19中床 ↓ 20" ↓ 9中床スラブ ↓ 18" ↓ 13中床スラブ ↓ 8上床 ↓ 6上床 ↓ 10中床スラブ ↓ 11"	6中床 ↓ 7" ↓ 18" ↓ 8" ↓ 1上床 ↓ 7上床 ↓ 8上床スラブ ↓ 9" ↓ 10"	2中床 ↓ 5" ↓ 4" ↓ 5上床 ↓ 4"		
	1上床 ↓ 2" ↓ 8"					
代 替 案 II	8中床スラブ ↓ 1中床 ↓ 2" ↓ 3" ↓ 5" ↓ 6" ↓ 7上床 ↓ 8上床スラブ	9中床スラブ ↓ 7中床 ↓ 10中床スラブ ↓ 4中床 ↓ 1上床 ↓ 4" ↓ 5"	15中床 ↓ 16" ↓ 17" ↓ 18" ↓ 8上床 ↓ 6" ↓ 5"	14中床スラブ ↓ 18" ↓ 11" ↓ 12" ↓ 9上床スラブ ↓ 10" ↓ 2"	20中床 ↓ 19"	
代 替 案 III	8中床スラブ ↓ 1中床 ↓ 2" ↓ 3" ↓ 5" ↓ 6" ↓ 7上床 ↓ 8上床スラブ	9中床スラブ ↓ 7中床 ↓ 10中床スラブ ↓ 9上床スラブ ↓ 10" ↓ 2上床	15中床 ↓ 16" ↓ 17" ↓ 18" ↓ 2上床	14中床スラブ ↓ 18" ↓ 11" ↓ 12" ↓ 8上床 ↓ 6" ↓ 5"	20中床 ↓ 19"	4中床 ↓ 1上床 ↓ 4"

表 4.2 型枠支保工転用計画代替案の比較 (数字はブロック番号)

ットワークの修正や工程計画のフォローアップの作業が比較的容易に行なえる。ここでは、これらの点や型枠材転用順序の検討が重要であることを考慮してサークル型PERTを用いることにした。

さて、コンクリート構造物の施工は通常コンクリート打設作業を中心として行なわれる。構築工程は1回のコンクリート打設によって施工される構造物く体の構築に要する作業群を工程の単位としてそれらをサイクリックに繰り返す形で進められる。各構造物部位の施工に必要とされる作業群とその施工順序は、構造物の型式、断面形状、施工法、施工条件等の組合せによって規定されるのでそれらの組合せパターンによって施工工程はパターン化される。このように施工工程をパターン化できると各パターンの代表的なブロックにつ

表 5.1 サークル型とアロー型の比較

	アロー型	サークル型
ネットワーク表現		
入力	○順序関係と作業内容をつづり入力する。 i - j : Aの作業内容 j - k : Bの作業内容	○順序関係と作業内容を別々に入力する。 1 : Aの作業内容 j : Bの作業内容 1 ~ j (A - Bの順序関係)
PERT計算に必要な情報	i - j, j - k Aの所要日数 d _{ij} Bの所要日数 d _{jk}	i - j Aの所要日数 d _i Bの所要日数 d _j
PERT計算	$EF_{ij} = ES_{ij} + d_{ij}$ $ES_{jk} = EF_{ij}$ $EF_{jk} = ES_{jk} + d_{jk}$	$EF_i = ES_i + d_i$ $ES_j = EF_i$ $EF_j = ES_j + d_j$

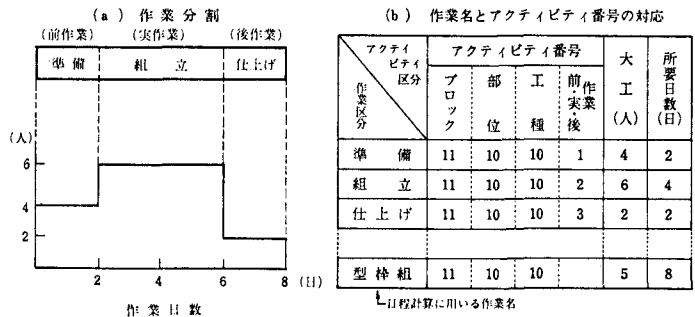


図 5.1 作業内容とネットワーク・アクティビティとの対応

いて各作業の施工量・歩掛・1日当り投入員数、施工順序を求め、同一パターンに含まれる他のブロックには施工量のみを与えるだけで全体の工程ネットワークを作成することができる。したがって、工事規模の大きい場合、工事内容を細分化して取扱う場合のネットワーク・データ作成作業は大幅に簡便化されることになる。

当地下鉄工事においては、構造物の型式（駅部・線路部）、断面形状（ポンプ室・ピット部の有無）、施工条件（内防水…防水工がく体コンクリート打設工に先行、外防水…く体コンクリート打設工が防水工に先行）の各要素の組合せによって、駅部・外防水区間（1、3、4、5、6、7）、駅部・ポンプ室・外防水区間（2）、駅部・内防水区間（9、10）、駅部・ピット部・内防水区間（8）、線路部・内防水区間（11、12、13、14）、線路部・外防水区間（15、16、17、18、19、20）の6パターンの構成となった。

(2) PERT工程表による工程計画の作成

PERT工程表による工程計画・管理の手順を示すと、図 5.2 のようになる。この中で施工管理段階におけるDate-line Cut-off法による週間工程表の作成、NIPシステムによる工事日報データの収集処理については後述する。当工事では工事中当初から構築工事の工程計画はPERT工程表を用い、そのために工事の錯綜した時期においても見通しよく工程の進捗状況を把握することができた。適用した時期を大別すると以下のとおりである。

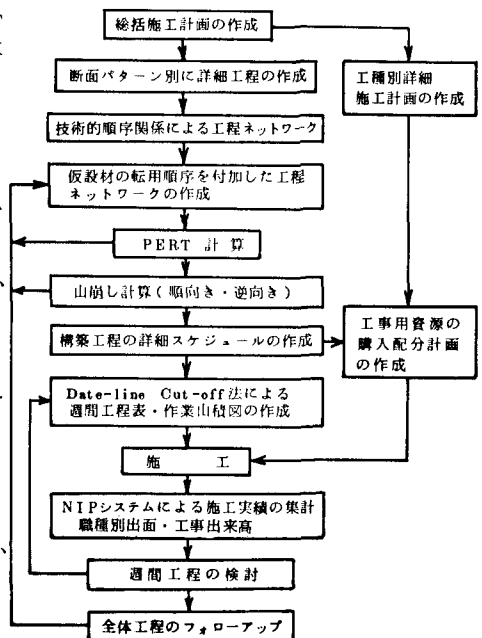


図 5.2 PERTによる工程計画・管理の手順

① 工事着工時における構築工程の検討

工事着工時に1日当りの鉄筋工、大工、コンクリート打設量に制限を与えて数種の代替案を作成し、PERT計算、山崩し計算を行なった。これによって、工事用資源の山積状況を把握し、資源調達判断材料とした。

② 掘削工事末期における構築工程の修正

掘削工事が構築工事の工程に影響を与えることが判明した時期に、型枠材の転用順序を数案作成し、各代替案に対して職種別投入数に制限を与えてPERT計算・山崩し計算を行ない、工期と山積み状態を満足し、しかも実際の進捗状況に近い工程表を作成することができた。

③ 構築工事の施工途中におけるフォローアップ

構築工事の施工途中において、鉄筋工の調達状況が工事全体の工程に大きい影響を与えることになった。また、この時期には、高速道路下部工事と共同溝工事も併行して行なわれ、3者の工程が複雑に絡み合うことになった。前者については、数案の職種別投入制限数を設けて工程計算を行ない、工期及び鉄筋工の転用を満足する工程について検討した。図5.8はその1例である。また、後者については、地下鉄工事の工程を中心として検討したが、特に共同溝工事は工期の制約と先行する地下鉄工事の制約もあることから、工期末からの山崩し計算も併せて行なって工事日程を定めた。

これらの適用を通して工程管理手法としてサークル型PERTの有効性を実証することができた。

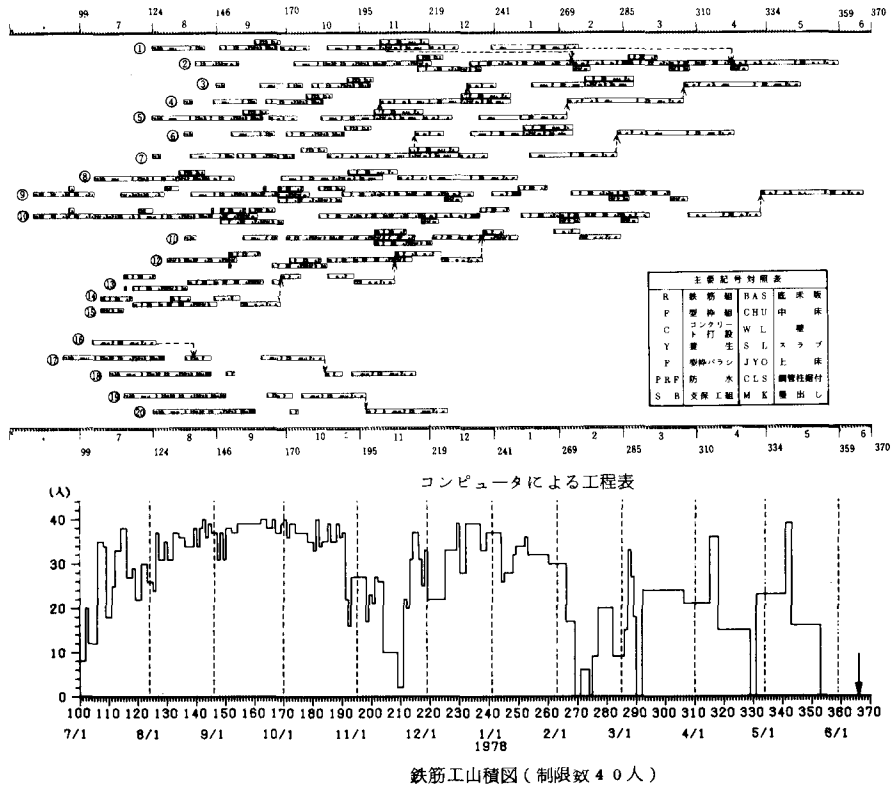


図 5.8 施工途中におけるPERT工程表のフォローアップ例

6. 数理計画モデルによる工事中資源の調達配分計画

地下鉄工事における工事中資源の中で、山止め支保工材料と掘削排土機械については掘削工程計画作成の段階で、型枠材料については構築工程の仮設材転用計画作成の段階で検討される。また、職種別作業員の調達数やコンクリート打設量に関しては詳細工程計画作成の段階におけるPERT計算、山崩し計算結果から定めることができる。

鉄筋材料については、原材料となる購入鉄筋は通常各径ごとに長さが規格化されており、それから所要の長さとは本数の組立鉄筋を切断・加工する場合、その切断パターンによってスクラップとなる部分に差異が生じることになる。地下鉄工事のように多量の鉄筋を用いる場合には、このようなスクラップ部分のロスをできるだけ少なくすることはコスト面から考えても望ましいことである。また、鉄筋の購入に関しても、鉄筋量の多い場合には発注から現場搬入まで相当の期間を要するので、鉄筋組立て作業の2ヶ月位前に発注しなければならない。つまり、鉄筋材料については、各断面・各部位ごとに所要の径・長さ・形状の鉄筋量が算出されているだけでなく、それぞれの使用状況が構築工程との関係において把握されていなければならない。

そこで本研究では、詳細工程計画の作成に用いたネットワーク工程表から求めた鉄筋購入の1サイクルに当る期間(1ヶ月)の組立鉄筋量(径・長さ・形状)に対し線形計画法による数理計画モデルを適用することにより、もっともロスの少ない購入鉄筋の切断パターンとそのときの購入鉄筋量を求めることにした。

今、ある径の鉄筋に対して、各種長さの購入鉄筋から適当な組合せの組立鉄筋を得るための切断パターンを(1)式のように表わすと、所要の組立鉄筋を満足し、費用最小を与える切断パターンと購入量を求める問題は、(2)式および(3)式のように定式化される。

$$P_{ki}^j = ({}_1P_{ki}^j, {}_2P_{ki}^j, \dots, {}_jP_{ki}^j, \dots, {}_nP_{ki}^j)^t \quad \dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} & \text{Minimize } \sum_{i=1}^m C_i \left(\sum_{k=1}^{K_i} x_{ki}^i \right) \\ & \text{Subject to } \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{K_i} P_{ki}^j \cdot x_{ki}^i \geq d_j \\ & \quad x_{ki}^i \text{ は非負の整数} \\ & \quad d = (d_1, d_2, \dots, d_n)^t \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

ただし、 t : 転置行列、

$\ell_i (m) (i=1, 2, \dots, m)$: 規格 i の購入鉄筋長、

$C_i (i) (i=1, 2, \dots, m)$: 1本当りの価格、

$a_j (m) (j=1, 2, \dots, n)$: 組立鉄筋長、

d_j (本) : 組立鉄筋 j の所要本数、

${}_jP_{ki}^j$ (本) : 長さ ℓ_i の購入鉄筋から長さ a_j の組立鉄筋を取る ki 番目の切断パターンにおける本数、

x_{ki}^i : パターン ki の長さ ℓ_i の購入鉄筋本数

$$\left. \begin{aligned} & \text{Minimize } (\bar{C}_i = C_i - C_B B^{-1} P_{ki}^i) = \text{Maximize } (C_B B^{-1} P_{ki}^i) \\ & \text{Subject to } \sum_{j=1}^n a_j \cdot {}_jP_{ki}^i \leq \ell_i \quad {}_jP_{ki}^i \text{ は非負の整数} \end{aligned} \right\} (3)$$

本問題のように、変数の数の非常に大きい問題に対して有効な列生成法を組込んだアルゴリズムのフローを図6.1に示す。

この方法によると、各種長さの購入鉄筋量とそれから取るべき組立鉄筋の長さとは本数が求められるので、各径ごとにそれらを一覧表示することによって、鉄筋の切断・加工作業における仕様を与えることができる。

こうした方法を適用する時期としては構築工程の施工方針の確立する段階がよく、また、工程に変更が加えられる場合には当初工程と変更工程を対比することによって配分計画の再計算の手間を省くことができよう。

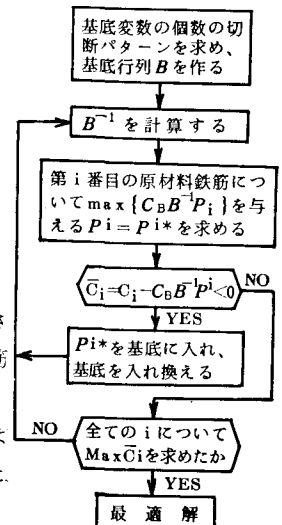


図6.1 列生成法を用いたLPのアルゴリズム

各ブロックのリードタイム、仮設材の投入セット数と転用順序、職種別投入制限数等について調整を施した工事全体のPERT工程表が作成されていると、現時点においてフォローアップを行なうことによってPERT工程表は現実の工程を忠実に反映したものとなる。この全体工程を表わしたPERT工程表において

```

graph TD
    A[山崩し計算・結果] --> B[Date-line 設定]
    B --> C[Date-line と h 開始予定が近い作業は]
  
```

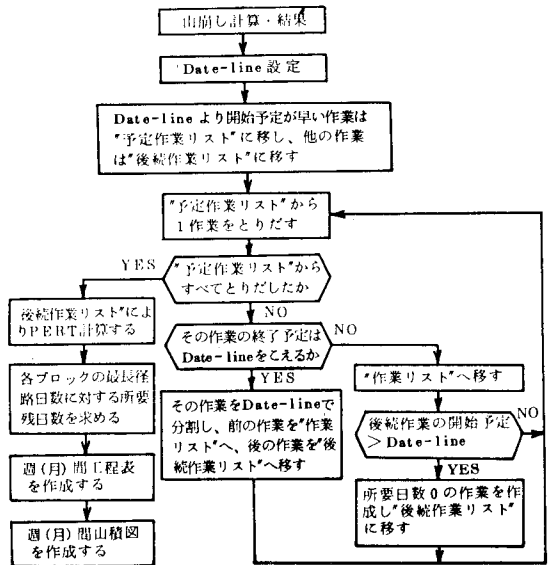


図 7.3 作業別山積み図（鉄筋工の例）

計画期間の最後の日をDate-lineとして設定することによって全体工程との関係が明らかな週間工程表を作成することができる。

この方法では、図7.1のプログラム・フローに示すようにネットワーク工程表の中に設定したDate-line以降の各ブロックごとの経路を1つの新しいアクティビティで置きかえて、それぞれの経路の最長経路日数を新しいアクティビティの所要日数とすることによって、各経路の当該計画期間以降の所要残日数を算出している。このようにすると、今必要としている週間工程の期間については詳細なPERT工程表そのままで、それ以降の工程は要約された形となる。したがって、所要残日数の大きいブロックほどこの期間内に重点的に施工すべきブロックであることがわかる。この方法による週間工程表のアウトプット例を図7.2に示す。

この方法のもう1つのメリットは、図7.3に示すような各作業の区分された山積み図を作成し、図7.2を組合せて利用することによって、工程の操作と投入資源量の使用状況の調整とを同時に行なうことができ、より実行可能性の大きい週間工程表を作成することができる点である。

このようにして決定された工程は、大幅な工程変更がないかぎりフォローアップをする必要がないので、工程管理業務の合理化に役立てることができる。

8. N I P システムによる施工実績値の集計と分析

さて、工程を中心とする施工計画・管理システムが有効に機能するためには、工事の実施状況を測定し、施工実績を記録することによって計画内容と管理行動とを有機的に結びつけることが必要である。すなわち、施工実績値の集計、工事の進捗状況の把握、計画値との対比評価・今後の工事の進展状況の予測、適切な対策・処置を必要とする事項の効果的な処理、という一連の管理活動が要求されることになる。

工事現場においては、日々の予定作業を計画どおりに消化できるか否かによって、工事の進捗状況が定まってくるから、工事施工のもっとも基本的な情報は工事日報に記録されているといえる。したがって、工事全体の進捗状況は、日々の工事日報データの集計、各工種作業実績の集計、各部位に含まれる作業群の消化

KOPEN システム 工事月報			工事名称	22		昭和 52 年	10	月	○晴・曇 ●雨 ◎雪	(電話通話)																							
作業内容	下地	関係機材	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
B0	K0	F																															
1P05F																																	
1Z05F*																																	
0907F																																	

図 8.1 地下鉄工事における工事日報記入例

出 面 一 覧 表

ページ 0

工 事 名 称
20 5C0012
チカチカ ヒラノ テイルノヨロ ヲコ ヲシ

工 種
42カ 型枠入工

52年11月14日 ~ 52年12月15日

工 種	日	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	計
04 型枠入工	型枠入工																															70
04 型枠入工	型枠入工																															18
04 型枠入工	型枠入工																															13
04 型枠入工	型枠入工																															150
04 型枠入工	型枠入工																															19
04 型枠入工	型枠入工																															260
04 型枠入工	型枠入工																															20
04 型枠入工	型枠入工																															20
04 型枠入工	型枠入工																															0A

上段	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時	時
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

図 8.2 施工実績集計結果のアウトプット例

状況の集計、各ブロックの出来高実績の集計、という手順を経て、これらを積上げていくことによって把握される。これを工程管理の面から考えると、PERT 工程表の中の各アクティビティの消化状況を測定することによって工種のフォローアップが行なわれて工事完了時点が推定されるのであり、原価管理に関しては、各工種ごとの工事用資源の投入状況と実施予算項目ごとの支出状況、さらには下請ごとの支払状況を集計することによって今後の工事原価の発生状況が予測されることになる。

施工実績の基本情報は消化施工量（出来高）と施工主体である作業員・機械の投入量（出面）であるが、出来高については実績出来高を各作業単位に把握することが困難であること、予定（計画）出来高でも施工管理上精度的にも問題は少ないと考えられることから、現時点では出面を中心として工事日報に記録する方式で十分であろうと思われる。

図 8.1 は、当地地下鉄工事に適用した工事日報用紙とその記入例であり、半月単位で入力する方法を取った。

このような形式の工事日報データを読み取り、所定の形式のファイルに記録し、各種のアウトプットを編集出力するプログラムシステムをここでは N I P システムと名付けているが、このシステムは COBOL を中心に一部 FORTRAN を用いて約 60 本のプログラムで構成されている。工事日報データの入力・編集・出力の機能としては汎用性の高いシステムとなっている。

図 8.2 はそのうちのアウトプットの一例で労務コスト、機械損料の集計のための出面一覧表を示したものである。さらに、これらに加えて出来高数量を与えることによって単位施工量当りの労務・機械の実績投入量すなわち歩掛資料を得ることができる。歩掛資料を施工順序にしたがって編集しておけば、各作業の習熟状況や施工能力の安定性等の評価ができ、今後の進捗状況の把握に有効な資料を提供するものと考えられる。

9. 統計的分析による施工管理資料の作成

9.1 工程管理曲線による施工進度管理

(1) 出来高曲線形状の特徴

工事日報を基本情報とする施工管理方法では、施工量、作業員・機械の投入数、歩掛等の諸数値を日々集計し、それらを施工ブロック、部位、工種等の施工単位と対応づけて整理することになるが、このような情報処理業務をシステム化するには相当規模の大きいものが必要となる。したがって、工事全体のマクロ的な視点に立って工事施工の進度を判定し、今後の施工管理上のネックを事前に把握することができれば、工事日報を基本情報とする施工管理システムはさらに充実したものになろう。ここでは、こうした観点から出来高曲線の特徴を統計的に分析し、施工進度管理への適用法について考察する。

出来高曲線は工期を横軸に、出来高を縦軸に取って工事の進捗状況を表わすようにしたもので、工事全体の施工進度を把握するのに都合がよい。土木工事の出来高曲線の特徴を把握するために、計画および実績の出来高曲線ならびに 10 の工事管理指標をコンピュータにインプットし統計的分析を行なって各指標の特徴を求めた。出来高曲線の読み取りにはディシグラマーを用いた。

その結果、出来高曲線の形状に影響を与える工事管理指標としては、工期、益率、益率の変化（精算益率－予定益率）が望ましいことが明らかとなった。実際の出来高曲線を多数プロットし、「バナナカーブ」と同様の作成法で工程管理曲線を作成すると、「バナナカーブ」の管理限界より上限で 10 % 程度、下限で 3 ~ 7 % それぞれ高くなっている。図 9.1 は益率による工程管理曲線の分布域の推移状況を示したものである。

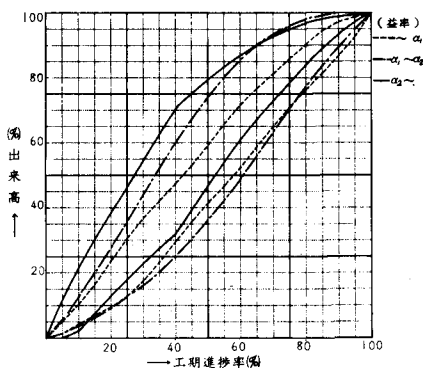


図 9.1 益率による工程管理曲線の推移

(2) 施工途中における出来高曲線の予測

出来高曲線を関数表示するために、出来高曲線を平均施工速度を示す対角線との関係から図 9.2 に示す 5 つのパターンに分類した。このうち、②、③、④の分類は、出来高曲線との交点の位置が②は 30% 以下、③は 30～70%、④は 70% 以上としたものである。これらの各パターンについてその特徴を分析すると、計画出来高曲線から実績出来高曲線への推移、請負金・工期・利益指標（益率と益率の変化）に関して各パターンに著しい特徴が認められた。

各パターンの実績出来高曲線に対しては 3 次多項式に最小自乗法を適用することによって精度よく当てはめることができたが、施工途中における出来高曲線の予測に対しては十分なものではなかった。そこで、施工途中の出来高曲線の予測に対しては予測時点の出来高（ x_1, y_1 ）および平均施工速度 y_1' （前月出来高と今月予定出来高の平均値）、工事完了時点の予定出来高（ x_2, y_2 ）およびそのときの施工速度 y_2' を用いることによって、いずれのパターンの出来高曲線に関しても精度よく予測することができた。図 9.3 は④の低 S 型の予測例で、細線の最小自乗法のものと比較すると太線の本方法のすぐれていることが分るであろう。

このように予測された出来高曲線を施工進捗管理に用いるには以下のようにすればよい。すなわち、

- 管理限界を越えるかどうか、とくに下限と交わるかどうか。
- 最大施工速度の値が実行可能な限度を越えていないかどうか。
- また、時期的にも可能か。
- 出来高曲線と対角線との交点の位置は後の方へズレてきている傾向はないか。

対角線との交点の位置がズレてきて出来高曲線のパターンが変わってくると、益率の内容が変化してきている可能性があるから、工程ならびに原価に関する管理を強化する必要がある。また、出来高曲線が管理限界から外れる場合は、ネックとなっている工種および作業を抽出し、実際の施工内容の検討を行なう必要がある。このときの手法としては先述した Date-line Cut-off の方法による PERT 工程表が有効であろう。

9.2 労働災害資料の安全管理への活用

土木工事においては、①工事の進捗とともに変化する自然条件・作業条件のもとで、労働者・機械・設備を用いて多種多様な形状・重量の資機材を取扱うこと、②元請企業・下請企業・末端労働者という重層構造の組織体制となっていることから考えても、工事施工の安全性の確保は施工計画・管理上重要な要素であることはいうまでもないであろう。

工事現場において過去に発生した労働災害事例を今後の安全管理活動や事故の事前防止対策に活用するためには、①作業員の行動および作業環境（場所）、作業対象物、作業手段等の各要素がどのような状態にあったか、②原因の所在はどこにあったか、③当工事にそのような状況に至る可能性があるのはどのような所か、④それに対する事前防止策として何が望ましいか、という点を明らかにする必要がある。

本研究では、過去 10 年間 1,106 件の労働災害資料を、①作業系（職種・年令・工種・工事種類・作業環境・作業対象物・作業手段）、②不安全系（不安全要素・不安全誘因）、③事故系（加害物・事故の型・受傷内容・受傷部位・休業日数）の各要素ごとに具体的な項目に分類しデータ化した。そして、上述の①、②および③の事項に関する管理資料の作成を図ることにした。

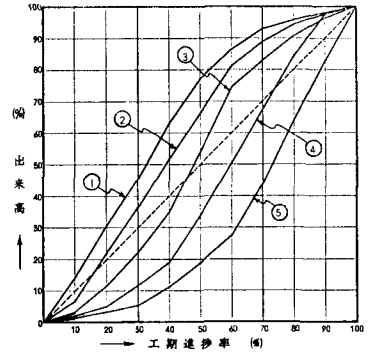


図 9.2 出来高曲線のパターン分類

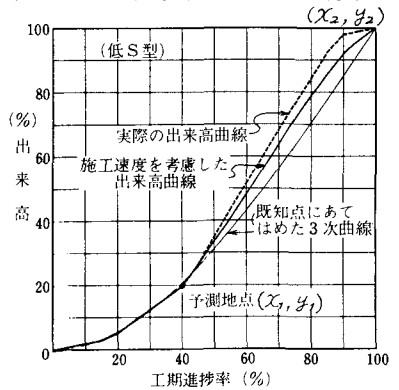


図 9.3 出来高曲線の予測

表 9.1 は、不安全要素と
 不安全誘因の組合せによ
 って労働災害の不安全状態を
 評価したものであり、図 9.
 4 は、作業系構成要素の中
 で不安全状態にあった要素
 の組合せによって評価した
 ものである。これをみると、
 労働災害の発生に関しては
 作業系本人に起因するもの
 が過半数を占めており、人
 的要素を中心として作業環
 境や作業対象物の不安全状
 態が加わって事故に至って
 いることがわかる。

表 9.1 不安全要素と不安全誘因による労働災害の評価

責任の 所在	作業系要素 不安全誘因	受傷者本人を含む作業系				本人を含まない作業系				小計	中計
		作 業 手 段	作 業 環 境	作 業 者	作 業 対 象 物	作 業 手 段	作 業 環 境	人 的 要 素	作 業 対 象 物		
		2	292	3		2	1			300	503
工 業 事 件	立地条件・施工条件が不良	2	292	3		2	1			300	503
	作業対象物(手段)が取扱困難	3	2	3	192				3	203	(28.0)
	施工計画の不適正										78
	機械設備の配置の不適正	7	22		2	1	2			34	(4.3)
	作業の監督指示の不適正	7	15	7	2	1	2	10		44	
	機械・設備・資材の整備不良	21	4		11	6	2	1		45	
	作業方法の不適正	17	8	63	19	6	2	2	3	120	266
	作業環境の不整備	1	80	4	1	1	13		1	101	(14.8)
	作業員の注意力の不足			460	1		2	14	1	478	947
	機械・工具・資材の取扱不適正	23		218	8	7		13	12	281	(52.9)
下 請 作 業 者	作業時の合図・確認の不徹底	2	1	176				7	2	188	
	小計	83	424	934	236	24	24	47	22		1794
	中計		1677 (93.5)				117 (6.5)				(100.0)

図 9.5 は、属性相関係数

クラマーのコンティンジェンシー係数を用いて各要素間
 の関連性の強さを求めて、関連性のある要素を線で結び
 つけて示したものである。線の太さによって関連性の大き
 さを表わしている。これをみると、作業系構成要素間の
 関連性、作業系が不安全状態となって事故現象に至る
 様相、事故結果を表わす指標、などについて知ることが
 できる。

具体的な労働災害防止対策を定めるためには、こうし
 た事故評価の分析に加えて、個々の要素ごとに具体的事
 故に関する単純集計、主要な要素間のクロス集計、各要
 素の時系列的変動状況等にもとづいて労働災害全般に関
 する特性を把握し、これらの中から管理可能な要素と管
 理困難な要因とを区分することによって、管理対象を絞
 っていくことが必要である。

ここでは、紙数の制約からその詳細は省略するが、施
 工活動における重要性ならびに労働災害における発生頻
 度から運搬作業における災害に絞って解析した。そして、
 職種と運搬物、運搬手段、作業環境との関係、さらに、
 運搬物と運搬手段、運搬物と作業環境の関係を把握する
 ことによって運搬作業の安全化の方向を示した。

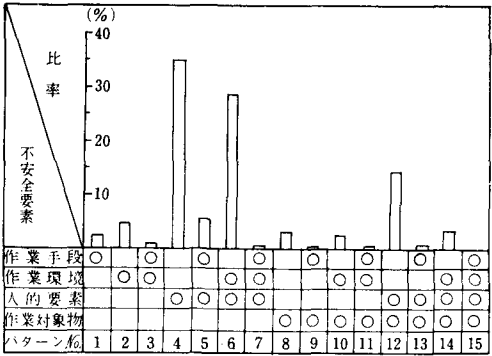


図 9.4 不安全状態の組合せパターン

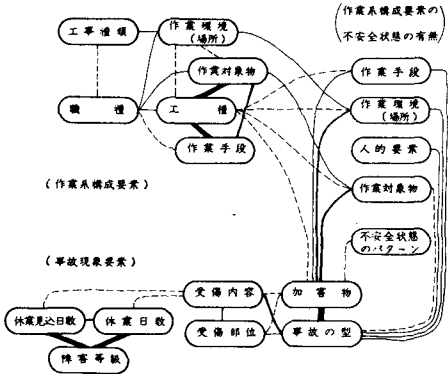


図 9.5 労働災害要因の関連性の評価

おわりに

本研究は、土木工事における施工計画・管理問題を、計画情報作成、総括計画作成、詳細計画作成、施工管理、という4つの段階に分けて捉え、工事管理のサイクル、いわゆる“PLAN→DO→SEE”の流れを確立するという観点からそのシステム化を図ったものである。施工計画・管理に関する課題は広範多岐にわたっているために、個々のサブシステムについては改良すべき点、拡張すべき機能も残されているが、施工計画・管理システムの骨格となる部分のシステム化は果すことができたと考えている。

今後は、本研究の成果を工事現場における施工計画・管理業務に効率よく活用するためのコンピュータシステムの導入、ならびに現場の計画・管理業務にマッチした計画・管理技法への機能向上、という方向が急務となろう。

最後に、本研究を土木計画学の立場から研究課題として取り上げ、共に討議し、助言をいただいた土木計画学研究委員会・施工計画問題分科会の委員諸氏を紹介し、謝意を表する次第である。

主査：吉川和広、副主査：河原畑良弘、河野彰、幹事：川崎健次、

委員：梅園輝彦、太田順、岡本伸一、折田利昭、小林義美、清水仁、田坂隆一郎、豊吉幸広、

中川良文、西野久二郎、萩森健治、浜地俊男、春名攻、安井英二、山本幸司

参考文献

1. 川崎・田坂・折田：“サークル型ネットワークによる工程計画・管理のシステム化”、昭和49年度開西支部年次学術講演会、土木学会、昭和49年5月。
2. 川崎：“建設工事における工務管理の合理化に関するシステム論的研究”、学位論文、昭和49年11月。
3. 川崎・西野：“日報方式による施工管理情報の処理システム—NIPシステム—”施工技術VOL、8、NO. 1、JAN、1975。
4. 川崎・田坂・折田・安井：“統計的方法による施工進捗管理について”、第10回（昭和52年度）業務研究発表会、建設コンサルタンツ協会近畿支部、昭和52年8月。
5. 川崎・田坂・安井：“土木工事における労働災害の統計的分析”、第8回安全工学国内シンポジウム、昭和53年6月。
6. 吉川・春名・梶谷：“大型のRC構造物工事における鉄筋の購入・加工計画問題へのシステム・アプローチ”、土木学会第38回年次学術講演会講演概要集第4部、昭和53年9月。
7. 春名・田坂・折田：“地下鉄開削工事における掘削工程のシミュレーション”、同上。
8. 川崎・田坂・折田：“ネットワーク手法による工程計画・管理のシステム化”、同上。
9. 西野・松尾・吉村・高橋：“施工管理におけるコンピュータの導入事例—日報をベースにした施工管理システム（NIPシステム）—”、第3回電算機利用に関するシンポジウム、昭和53年11月。