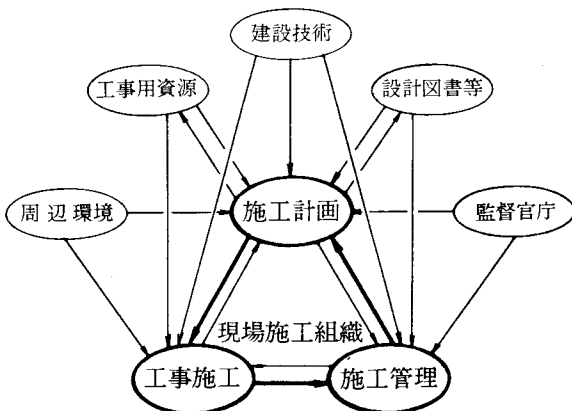


工事施工の多階層構造特性を考慮した工程計画・管理のシステム化

京都大学工学部 正員 春名 攻
 鴻池組本社技術研究所 正員 ○ 田坂 隆一郎

1. 施工計画・管理のシステム化の方針

事業計画段階における建設プロジェクトは、調査・計画・設計の3つのプロセスを通して立案・評価され、設計仕様としてアウトプットされる。施工段階においては、あらかじめ設定された工事期間の枠内で設計仕様に示される所定の品質の構造物を安全に、しかも可能なかぎり経済的に実施することが要求される。建設現場における工事の運営管理は施工計画に示される工事の施工目標を効果的に達成することを目的として、工事に必要とされるすべての工事用資源を工程計画にしたがって組織化するとともに、それらを確実にかつ経済的に運用するために行なわれる。



工事の施工計画・管理業務は、図-1に模式的に示すように、多分野からの影響を受け、しかも広範多岐にわたる業務内容を有している。このような施工計画・管理業務の合理性を追求する方法としてシステムズアプローチの手法が有効と考えられ、これらの業務を工事施工の現象・評価および計画・管理という側面から捉えてそれぞれの構造化を図るという方向がそのための1つの方法として考えられよう。本研究は、このような観点に立って図-2に示すようなトータルシステムの構築を目的として、施工計画・管理の中核的機能である工程計画・管理の構造化ならびにそのシステム化に関して工事施工の多階層構造に着目した方法について考察するものである。

2. 工程計画・管理の多階層構造特性

(1) 施工プロセスの多階層構造

実際の土木工事を実施していく過程について考えると、それは通常つぎのように行なわれるであろう。すなわち、まず設計図書に示される土木構造物の図面にもとづいて構造物を施工の単位となるいくつかの構造物部分に分解してそれぞれの施工技術上の問題点を抽出し、品質的側面、安全性や経済性の確保に関してそれらの問題を解決するための施工方法を検討・評価するであろう。次には、それぞれの構造物の工事に適

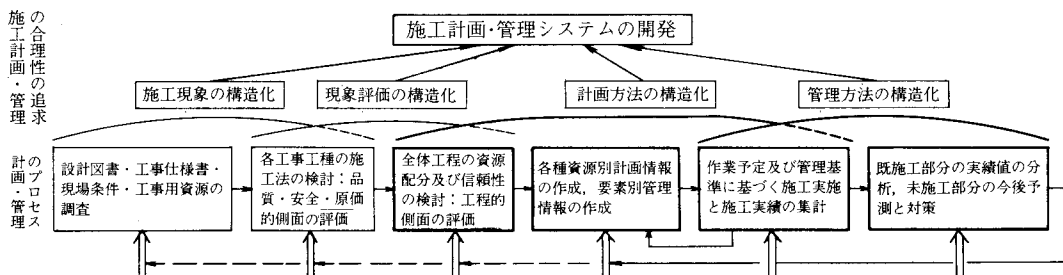


図-2 施工計画・管理の構造化のプロセス

用可能ないくつかの施工法とその施工手順を想定することによって、必要とされる工種の内容とそこで用いられる工事用資源を明らかにするであろう。そして、各構造物の形状・寸法・構造と施工環境条件とからそれぞれの工種に投入すべき工事用資源の規格・寸法および数量を具体的に求めることになる。それぞれの工種の施工にあたっては、必要とされる工事用資源を施工場所に運搬して組立てたり、あるいは解体して他の場所に移すという詳細な作業手順とその実施方法が検討される。

上述の工事施工の実体化の過程を施工プロセスと呼ぶことにすると、それは

- ① 構造物のレベル、 ② 工種のレベル、 ③ 作業のレベル、

という3段階の各レベルを順次ブレイクダウンしていく多階層構造として把握されることがわかる。

(2) 施工計画・管理プロセスの多階層構造

各建設現場で行なわれる計画・管理業務は、施工プロセスの各レベルと対応して順次工事内容をブレイクダウンしていき日々の施工活動の計画・実施に至る計画段階としての一連の業務と、日々の施工活動の実績を積み上げて土木構造物全体を構築していくという実施・管理段階としての一連の業務とで構成されている。これらの諸業務を工事対象となる施工プロセスの各レベルとの対応関係において整理すれば、

- ① 作業内容の指示・監督と作業実施に関わる業務、
 ② 担当工種の日程および工事用資源の調達・運用に関わる業務、
 ③ 工事全体の運営管理に関わる業務、

という3段階に分類することができよう。このように、施工計画・管理業務もやはり多階層な構造特性を有するのであるが、業務の実施にあたっては計画・実施・統制というサイクルを通して進められるのが特徴的であるといえる。ここでは、施工計画・管理の過程を施工計画・管理プロセスと呼ぶことにするが、施工プロセスの各レベルとの対応関係において、計画段階および管理段階におけるそれぞれの業務内容を取りまとめて示すと図-3のようである。この図から、工事内容が施工プロセスの3つのレベルによってトリー状に分解されていき、施工計画・管理プロセスはそれと対応するサイクルを構成していることがわかる。

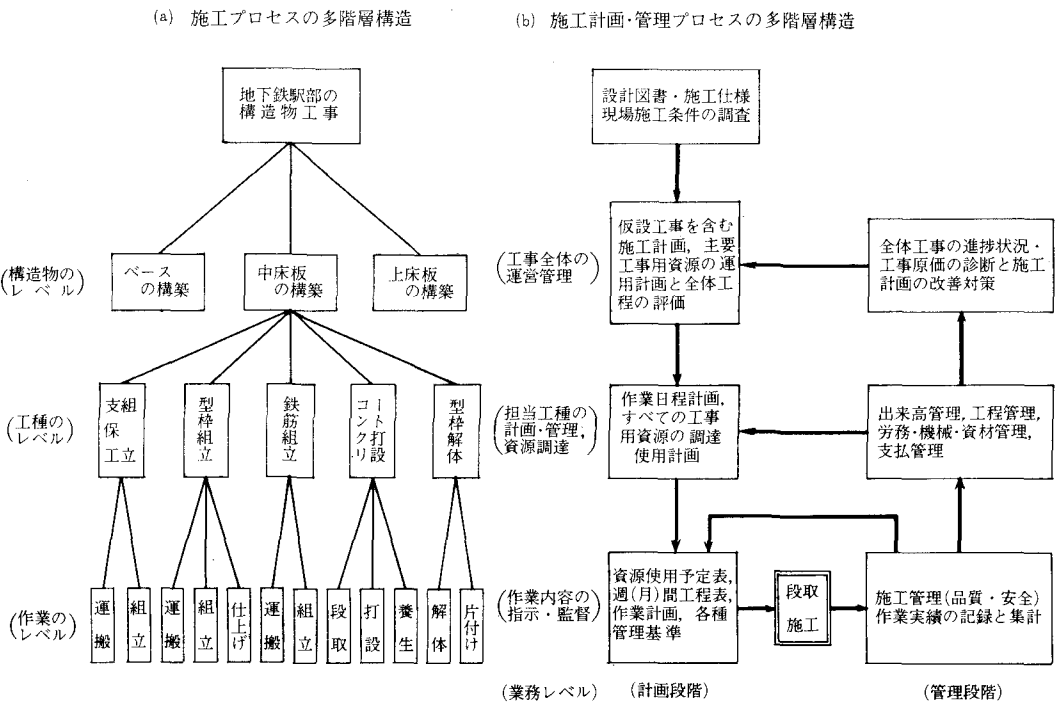


図-3 施工計画・管理業務における多階層構造特性

③ 工程計画・管理システムの構成

土木工事の著しい特徴として、構造物の品質基準、作業の安全性の確保、工期および工事費用などのほとんどの管理目標値は外部的な制約から規定されており、しかもほとんどの場合工事の実施に先立ってそれらの内容が取り決められているという点をあげることができる。又、実際の工事は工事の着工当初作成された施工計画や工程計画のとおりに行進することは皆無といってよく、工程は頻繁に修正されて設計変更にまで持ち込まれるケースも珍しくはない。したがって、土木工事の計画・管理にあたっては工事の施工目標を規定

する施工計画や工程計画作成と同等の比重でもって、施工途中の各時点における施工実績の把握、工事内容・施工条件の変化に伴う管理目標値の達成度の評価、およびそのための対策措置という施工管理の重要性が指摘されるのである。つまり、土木工事の施工計画・管理の合理性の追求という本研究の目的に対しては、工事内容を施工の時間的な推移から捉え、すべての工事用資源を時間軸と施工順序との関連において組織化しうる機能を持つ工程を中心として、施工計画・管理のシステム化を図ることが基本的な要件であるといえる。そして、工程計画・管理のシステム化にあたっては、工事施工における本質的な特性である施工プロセスの多階層構造を導入して構造物・工種・作業の3つのレベルと対応させその構造的特性を明確に規定することにより、工事施工の内容との対比が容易な実体的なシステムを構築することができると考えられる。

このように、施工計画・管理の中核的機能である工程計画を施工プロセスの3つのレベルとの対応関係に注目して整理すると、表-1のようになる。すなわち、全体工事の工程計画は、

- ① 構造物のレベルを対象とする総括工程計画、
- ② 工種のレベルを対象とする詳細工程計画、
- ③ 作業のレベルを対象とする月(週)間工程計画、

の3段階の計画内容に分解することにより、全体工事にわたる複雑な工程計画・管理問題をそれぞれのレベルに固有的部分的な工程計画・管理問題として取り扱うようにするのである。そして、工事出来高、工事用資源の投入実績および支払金などの他の管理要素に関しても施工プロセスとの対応関係にもとづいて工程との関連性を明確にすることにより、全体的な施工計画・管理問題をそれぞれのレベルにおける個有的部分的な計画・管理問題に帰着させることを図り、問題の解決を容易にすることを意図するのである。筆者らは、このような観点から、工程計画・管理のシステム化の有効な手段と考えられるネットワーク手法の導入を図り、図-4に示すような工程計画・管理システムの構築を行ってきた。そして、その成果を実際の工事に適用して、その適合性に関して実証的な考察を行ってきた。¹⁾

表-1 工程計画システムの構成

計画レベル	計画の目的	内 容	施工プロセスとの対応関係
総括工程	仮設工事を含めた工事全体の施工計画の作成	主要工事用資源の選定計画など、工事全体の工程配分	構造物のレベル
詳細工程	工事全体の日程計画の作成	①作業日程計画 ②すべての工事用資源の使用計画 ③工程・出来高・資源・原価等の管理との結合	工種のレベル
月間工程(週間)工程	月間あるいは週間の実施予定表の作成	①工事用資源の搬入運用の調整 ②施工実績情報の収集・処理 ③作業管理・支払管理との結合	作業のレベル

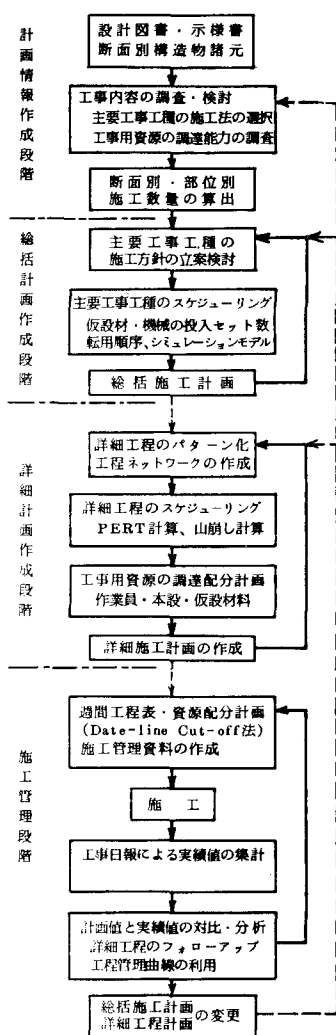


図-4 ネットワーク手法による工程計画・管理システム

3. 工事施工上の単位と工程計画の各レベルとの対応

ここでは、実際の土木工事に見られる施工ブロック、構造物部位、工種、作業などの工事施工上の単位について考察し、それらと工程計画との対応関係から各計画レベルにおける単位工程の内容を明らかにする。

(1) 施工ブロック

施工計画の作成にあたっては、まず工事全体を平面的に捉えていくつかの区画・区間あるいは個々の構造物に分割する。ここでは、これを施工ブロックと呼ぶことにすると、施工ブロックの設定は通常構造物の形式、施工方法、施工数量および資機材の規格等を考慮して経験的な判断基準で行なわれることが多い。施工ブロックの大きさによって工程計画の各レベルの単位工程の大きさが決まる。又、施工上の諸制約は施工ブロックとの関係において工程計画に導入される。

(2) 構造物部位

コンクリート構造物では、各施工ブロックの構造物を水平方向の施工継目で分解して構造物部位ごとに施工するのが普通である。施工ブロックと構造物部位とで区切られた部分は構造物の形状を示す最小の施工単位であり、ここではこれを施工ユニットと呼ぶことにする。総括工程計画の単位工程として用いられる。

(3) 工 種

構造物の構築に注目すると、各施工ユニットはそこで必要とされる工種を施工法から規定される一定の順序関係にしたがって実施して構築され、各施工ブロックの構造物は施工技術上の制約による一定の順序にしたがって構築されることになる。一方、各工種に投入される工事用資源の運用方法に注目すると、作業員、機械、資材などの工事用資源は工種ごとに投入される資源の種類が決まっているから、各工種の作業日程と対応してその運用方法が規定され、又、逆に工事用資源の運用方法を決めることによって各工種の日程が定まることになる。全体工程の作業日程や工事用資源の調達使用予定を定めるための詳細工程計画における単位工程としては工種が用いられ、ここではこれを単位作業と呼ぶことにする。工種のレベルにおける工程の構造をみると、各施工ブロック内の構造物部位の施工順序および各構造物部位に用いられる工種の施工順序を縦系とすると工事用資源の運用順序は横系の関係となっていて、全体としてネットワーク状を呈している。

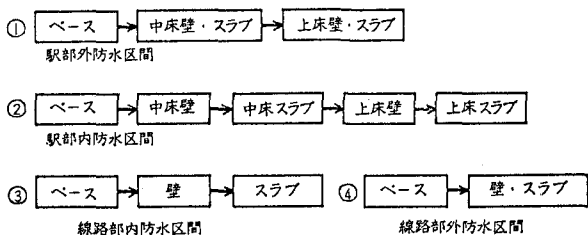
(4) 作 業

各工種の施工には機材の運搬、資材の加工、測量などの準備作業が必ず必要とされ、施工後は仕上げや跡片付けが行なわれる。ここでは、構造物の構築に直接関係する各工種本来の仕事を本作業と呼び、上述の諸作業を補助作業と呼ぶことにすると、各単位作業は本作業と補助作業とで構成される。日々の作業予定を立てるための月(週)間工程表はこの作業のレベルで作成することになる。

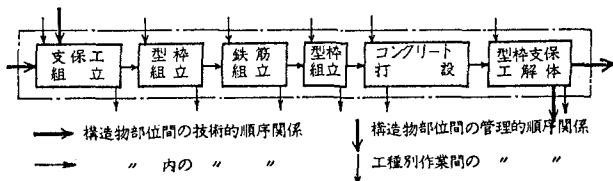
以上の考察から明かなように、総括工程、詳細工程、月(週)間工程はそれぞれ施工ユニット、単位作業、本(補助)作業を単位工程としていることがわかる。地下

鉄工事を例としてそれぞれの工程系列を示すと図-5のようであり、各工程計画レベルの構造特性の特徴がよく分るであろう。

(a) 構造物のレベルにおける工程系列のパターン



(b) 工種のレベルにおける工程系列(上床スラブの例)



(c) 作業のレベルにおける工程系列(上床スラブの例)



図-5 各計画レベルにおける工程系列の構造特性

4. 工程計画の構成要素の諸特性

実際に工事が与えられて設計図書・工事仕様書および建設現場の諸条件が明らかにされると、まず構造物をいくつかの施工ブロックと構造物部位に分解して構造物レベルの施工単位、すなわち施工ユニットが決定される。そして個々の施工ユニットに対して施工技術的側面からの検討およびその評価が行なわれ、各施工ユニットの施工に必要な工種とその内容が明らかにされる。工程計画は各工種の施工に関する資料にもとづいて作成されるが、以下のようにその構成要素を整理すると工程計画の構造特性を把握するのに都合がよい。

- a) 工程計画の基本的な構成要素である単位工程の特性値、
- b) 単位工程間の順序関係、
- c) 工程計画の作成に関わる制約。

単位工程の特性値を規定するものとしては、各計画レベルの単位工程の内容そのものを規定するところの、

- ① 作業対象数量、あるいは投入資源数量、
- ② 作業員、あるいは建設機械の処理能力、
- ③ 職種別作業グループあるいは機械系の構成数、

さらには、これらの要素と対応して規定されてくる特性値としての、

- ④ 所要日数、
- ⑤ 所要費用、

がある。単位工程は工程計画の内容に応じて構造物、工種、作業のどのレベルのものとするかを決定しなければならないが、工種のレベルの単位工程の特性値の間には後述するような関数関係があり、他の2つのレベルの単位工程は工種のレベルを基準として規定されることになる。又、各単位工程の施工速度を算定するにあたって複数の職種や機種を用いて施工する場合には組合せ処理能力は最小の処理能力のものに規定されることになる。複数の工種によって施工されるコンクリート構造物の場合には各工種の単位工程の所要日数および各工種への作業グループの投入セット数とから各工種間の処理能力のバランスが取れているかどうかを検討しておかなければならない。

次に、単位工程間の順序関係を規定するものとしては、

- ① 施工技術的側面からはば一意的に定められる技術的な順序関係、
- ② 工事用資源の効率的な運用という側面から決定すべき管理的な順序関係、

が存在する。単位工程の内容を規定するところの諸特性値が求められ、技術的な順序関係が与えられたとき、工程計画の作成は工事施工上の諸制約のもとでもっとも経済的かつ合理的な管理的な順序関係を決定するという問題に帰着することになる。

工程計画の作成にあたって制約となる事項を整理すると、

- ① 工事全体の工期、および対象となる部分工事の施工期間、
- ② 各工事、各施工ブロックおよび各構造物部位の着手時期、
- ③ 各種の工事用資源の調達数・期間および規格・能力、

などがその主なものとなろう。①に関する制約は工程計画の代替案として選択されるものが必ず満すべき条件である。②に関する制約は工事の外部環境、先行・後続工事からの影響および隣接する構造物部位の施工状況や作業空間の確保からくるものである。③に関する制約は各単位工程に投入される作業員数および各工種に投入される作業グループのセット数に直接関係してくるものであり、管理的な順序関係を検討する場合の主要な制約となるものである。

単位工程間の順序関係の特性という点から全体工程の構造について考えると、それは固定的要素である技術的な順序関係の上に可変的要素である管理的な順序関係を重ね合わせた網目状の構造を示しているといえる。本研究においてはそのような工程の構造特性の表現にもっとも適しているネットワーク手法を中心として工程計画・管理のモデル化を行うとともに、施工プロセスの多階層構造特性を考慮した工程計画・管理方法の構造化を図ることによって、建設現場の実態によく適合する工程計画・管理システムの構築を行おうとするものである。

5. 各計画レベルにおける単位工程のモデル化

ここでは、工程計画の基本的な構成要素である単位工程の諸特性の中で所要日数の算定法を中心として考察し、詳細工程および総括工程における単位工程のモデル化を行なう。月(週)間工程については計画問題としてよりも管理問題としての比重が大きく、詳細工程における単位作業を本作業と補助作業に分解すれば詳細工程における考え方がそのまま適用できるので、ここでは触れないことにする。

(1) 詳細工程における単位工程の特性

工種のレベルにおける単位工程の所要日数とそれを規定する他の特性値との間には、(5.1)式に示すような、過去の施工経験や実証的な分析に裏付けされた単純な平均的関係を考慮することができる。この関係式を用いて所要日数と作業対象数量、作業処理能力および作業グループの構成数との関係について分析することにより、詳細工程計画における各特性値のパラメトリックな構造的特性が明らかにされる。

a) 作業対象数量と所要日数の関係

一定の作業処理能力 ws と一定の構成数 ms である作業グループによって同一工種の作業を順次処理していくという状況を考えると、各工種の単位作業の所要日数 ds は基準となる作業との作業対象数量の比例関係によって(5.2)式を用いて概略的な値として算定することができる。土木工事の工種の多くはこのような特性を有しており、全体工程を構成する工種を(5.2)式の適用可能な工種と作業対象数量にかかわらずほぼ一定の所要日数である工種とに区分して処理することによって、工程計画の作成作業が簡略化される。

b) 作業処理能力と所要日数の関係

工程計画作成に用いられる作業処理能力 ws は、当該工事の標準的な作業状態のもとで標準的な技能を有する作業員1人が標準的な作業時間で処理しうる作業対象数量とするのが普通である。作業環境、技能、作業時間などの諸条件が明らかに標準的な作業と異なる作業については、別途に算定した実質上の作業処理能力を表わすものを用いる必要がある。

c) 作業グループの構成数と所要日数の関係

(5.3)式は(5.1)式を変形したものであるが、作業グループの構成数 ms と所要日数 ds との間には反比例の関係が存在する。図-6に示すように、 ms は、作業実施に最小限度必要とされる構成数 ms^a と、作業空間の広さ、作業場所、作業集団としてのまとまりなどの機能上制約される最大限の構成数 ms^b との間にある。工程計画代替案の検討にあたってはこの関係を利用して単位工程の所要日数の短縮を図ることになる。

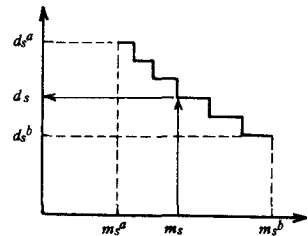


図-6 ms と ds の関係

d) 詳細工程における単位工程のモデル化

いま、工事全体を施工ブロック、構造物部位、工種、作業の4つのレベルに分解して、各レベルでは一意的であるような記号 i, j, k, l を用いてそれぞれを表わすものとする。このとき、詳細工程計画における単位作業 s は施工ブロック i 、構造物部位 j および工種 k の組合せによって全体工事の中で一意性をもつ作業として表わすことができ、(5.1)式は(5.4)式のように表わすことができる。(5.4)式を用いて各単位作業の所要日数を算出するにあたっては上記a)～c)の諸事項が適用される。

(2) 総括工程における単位工程のモデル化

総括工程計画は施工計画や工程計画の枠組みを規定する重要な役割を持っているが、現在のように工程関連の施工実績情報が十分には蓄積・整理されていない段階においては、このレベルの単位工程すべてについてその所要日数を工程関連資料から直接的に算出することは困難である。

詳細工程における単位工程モデル

$$ds = vs / (ms \cdot ws) \quad (5.1)$$

ただし、 s : 工種レベルの単位作業、 vs : 作業対象数量

ws : 作業処理能力、 ms : 作業グループの構成数

$$ds = (vs / vo) \cdot do \quad (5.2)$$

ただし、 do : 基準となる単位作業の所要日数、

vo : 基準となる単位作業の作業対象数量

$$ds \cdot ms = vs / ws (\equiv \text{一定}) \quad (5.3)$$

$$d_{ij}^k = v_{ij}^k / (m_{ij}^k \cdot w_{ij}^k) \quad (5.4)$$

そこで、本研究においては、前述の(5.4)式を用いて求めた詳細工程レベルの単位作業の所要日数 d_{ijk} から、総括工程レベルにおける各施工ユニットの所要日数 d_{ij} を算出する方法について考えることにする。

総括工程計画は通常、工事に着手して間もない時期に作成されるので、すべての施工ユニットに対して、(5.5)式を適用してその所要日数を算出することは困難な場合が多い。それで、まず、当該構造物の標準断面を含む施工ユニットに対しては(5.5)式を適用してその所要日数を求めておき、他の施工ユニットの所要日数については、それぞれの施工ユニットと標準断面を含む施工ユニットの施工量 v_{ij} と v_{oj} の比率から、(5.6)式を用いて簡略化して概算的に求めることにするのである。又、コンクリート構造物の工事においては、各施工ユニットは所要日数が作業対象数量に比例するような単位作業群と所要日数がほぼ一定である単位作業群で構成されている。このような特徴のある工事については、所要日数が作業対象数量に比例する単位作業群に対しては(5.6)式を適用するとともに、所要日数がほぼ一定である単位作業群に対してはそれぞれの所要日数の和を求めておくことによって、(5.7)式に示すような考え方で各施工ユニットの所要日数を求める方が実際の工事の所要日数に近い値を示すものと考えられる。

総括工程における単位工程モデル

$$d_{ij} = \sum_k d_{ijk} \dots\dots\dots (5.5)$$

$$d_{ij} = (v_{ij}/v_{oj}) \cdot d_{oj} \dots\dots\dots (5.6)$$

ただし、 d_{oj} ：標準断面を含む施工ブロック0における
部位 j の施工ユニットの所要日数

$$d_{ij} = (v_{ij}/v_{oj}) \cdot d_{oj} + \delta_{oj} \dots\dots\dots (5.7)$$

ただし、 d_{oj} ：標準断面を含む施工ユニットにおける
施工量比例の作業群の所要日数の和、
 δ_{oj} ：標準断面を含む施工ユニットにおける
所要日数一定の作業群の所要日数の和

6. 工程計画代替案の評価モデル

(1) 工程計画の代替案の作成

ネットワーク手法を用いて工程計画の内容を記述するとき各計画レベルにおける単位工程の諸特性は前章のようにして求めることができる。一方、もう1つの重要な要素である全体工程の順序関係は技術的な順序関係と管理的な順序関係との重ね合せによって求められる。さて、各単位工程の諸特性値と技術的な順序関係が与えられると、工程計画は管理的な順序関係を定める問題に帰着するので、工事の所要期間 λ は仮設資材、機械および作業員の運用方法とその順序からなる管理的な順序関係の関数として(6.1)式のように表わすことができよう。

工事の施工にあたっては、契約事項としての指定工期 T_g が与えられるが、工事管理者が過去の施工経験や実績資料にもとづいて必要であると判断した工期 T ($\leq T_g$)を設定する場合もある。このことから、工程計画の各代替案は工事の所要期間 λ に関して(6.2)式を満足することが必要である。

又、実際の工事においては、施工技術的側面からの制約、工事用資源の調達にともなう制約、先行工事や後続工事との関連性による制約など工程計画の作成にあたって考慮すべき多くの状況が存在している。しかも、それらの状況は一意的に与えられることより、ある範囲の中での選択を求められるというのが普通である。こうした土木工事施工の実態を考えると、工程計

$$\lambda = \lambda(P) = \lambda(P^{(R)}) \dots\dots\dots (6.1)$$

ただし、 λ ：工事の所要期間、 P ：全体工程の順序関係の
集合、 $P^{(R)}$ ：管理的な順序関係の集合

$$\lambda \leq T \leq T_g \dots\dots\dots (6.2)$$

$$\textcircled{1} R_\ell^d = \sum_{t=1}^{\lambda} R_\ell^d(t)$$

$$\textcircled{2} R^d = \sum_{\ell} R_\ell^d = \sum_{\ell} \sum_{t=1}^{\lambda} R_\ell^d(t)$$

$$\textcircled{3} R_\ell^p = \sum_{t=1}^{\lambda} R_\ell^p(t)$$

$$\textcircled{4} r_\ell = \sum_{t=1}^{\lambda} (R_\ell^p(t) - R_\ell^d(t)) = \sum_{t=1}^{\lambda} r_\ell(t)$$

$$\textcircled{5} \bar{r}_\ell = \frac{1}{\lambda} \sum_{t=1}^{\lambda} r_\ell(t)$$

$$\textcircled{6} \delta_\ell = \sqrt{\frac{1}{\lambda} \sum_{t=1}^{\lambda} (r_\ell(t) - \bar{r}_\ell)^2} \dots\dots\dots (6.3)$$

ただし、 ℓ ：工事用資源の種類、 R^d ：全体の総必要数量
 R_ℓ^d 、 R_ℓ^p ：資源 ℓ の総必要数量、総調達数量、
 $R_\ell^d(t)$ 、 $R_\ell^p(t)$ ：時刻 t の必要数量、調達数量、
 r_ℓ 、 $r_\ell(t)$ ：資源 ℓ の総余剰数量および時刻 t の
余剰数量、
 $\bar{r}_\ell$ 、 δ_ℓ ：資源 ℓ の余剰数量の平均値、標準偏差

画の作成にあたっては全体工程の計画内容の最適性の保証を追求することよりも、むしろ実際の施工状況に適合する工程計画代替案をすべて列挙するとともに、それらの中から工事の運営管理上もっとも望ましい（経済的な）代替案を選択するという、工事施工の実行可能性や合理性を重視する方法の方が望ましいと考えられる。本研究においては、工程計画を総括工程、詳細工程および月（週）間工程の3段階に分けて上位のレベルの計画内容を受けて下位のレベルの計画を決定するという逐次決定過程の考え方を採用している、詳細工程計画の作成にあたっては総括工程計画において求められた内容を詳細工程レベルの制約条件として与えることによって全体工程計画の斉合性を確保することになっている。

② 工程計画の代替案の総合評価

工程計画の各代替案は工期の制約を満足することが第1義的な条件であるといえるが、そのような工程計画の代替案の中から最終的にもっとも望ましい代替案を選択する基準としてここでは経済性に関連する指標を取り上げることとする。つまり、品質や安全性に関する評価は施工方法や作業方法の具体的内容を検討する段階ですで行なわれていると考えるのである。

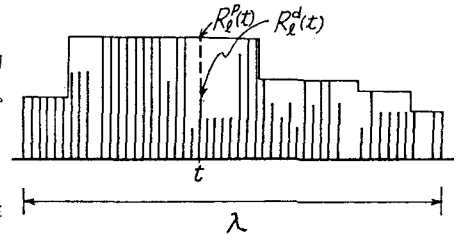


図-7 山積み図の評価モデル

さて、工程計画代替案の評価にあたって、施工方法や作業方法の異なるものを比較するときには工種の内容や各单位工程の作業対象数量も変わってくるので、(6.3)式の①に示すように各種工事用資源の総必要数量の大小を比較する必要がある。又、施工法の組合せや代替職種による省力化の効果についても評価するときには、(6.3)式の②のように工事全体の資源の総必要数量について評価する必要がある。

各施工ユニットや各单位作業の諸特性値が求められて単位工程間の技術的な順序関係も明らかになった段階においては工事全体の各種工事用資源の総必要数量は工程計画の内容によらず一定であるとみなすことができる。一方、当該の工事に投入される各種工事用資源の調達数量はそれぞれの資源の調達可能数量と投入可能期間、運用方法、工種間の施工速度のバランス、補助的な作業の必要性などが関連して、工程計画の各代替案によって異なるのが普通である。したがって、資材、機械および作業員の調達数量や運用方法を操作して合理的な工程計画を立案しようとするときには、(6.3)式の③および④を用いて総調達数量や余剰数量の大きさによって比較するのがよいであろう。又、このような場合、図-7に示すように山積み図や山崩し図を作成するが、その形状の良否、すなわち余剰数量の発生状況について評価したい場合には(6.3)式の⑤および⑥を用いるとよい。

実際の工事において工程計画の各代替案を評価する場合、評価の対象として選定される工事用資源の種類は数少ないものに絞られることが多いので、上述の方法を用いて各代替案を比較検討することは容易に行なうことができると考えられる。そして、これらの評価に加えて作業日程計画、出来高曲線および支払予定に関する比較評価を行なうことによって、最終的に唯一の代替案を実施計画として選択することになる。

7. 工程計画のスケジューリングとその適用事例

適用対象として取り上げたモデル工事は大阪市東部に位置する地下鉄駅部工事である。図-8に当工事の平面図ならびに駅部構造物の施工ユニットの分割図を示す。当工事は開削工法で行なわれ、施工計画は工事全体に占めるウェイトの大きい掘削工事と構築工事を中心として行なうこ

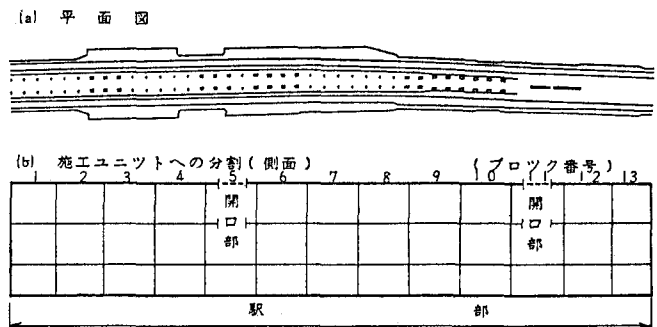


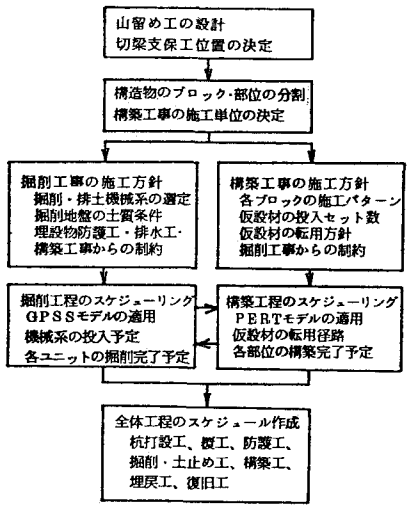
図-8 地下鉄工事の平面図と施工ユニットへの分割

とになった。掘削工事の施工単位は設定基準の自由度が高いことから構築工事の施工ブロックの分割位置と土留工事の切梁支保工位置とで区分される地

表－2 工事内容の施工単位への分解

盤の容積を施工ユニットの単位として考えることにした。構築工事の施工ユニットは図－8に示したが、工事内容を施工ブロック、構築物部位、工種および作業のレベルに分解すると表－2のようになった。

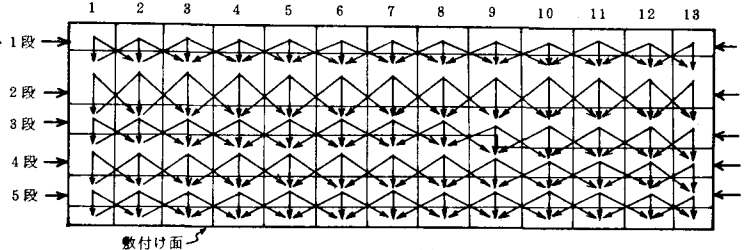
施工ブロック	構築物部位	工 種	作 業
1	基礎	鉄筋工	加工
2	ピット部	〃	組立
3	底床部	型枠支保工	組立
4	中床側頂部	〃	撤去
5	〃内壁	型枠工	組立
6	〃外壁	〃	撤去
7	〃中壁	コンクリート工	打設
8	〃柱	〃	養生
9	上床側頂部	鋼管柱	据付
10	〃内壁	〃	塗装
11	〃外壁	盛替工	取付
12	〃中壁	〃	撤去
13	〃柱	防水工	足場撤去



図－9 総括工程計画の内容

工事の施工は掘削工事によって敷付け面まで原地盤を掘削した後、構築工事によって順次構築物を立ち上げていくことになる。

総括工程計画の内容は掘削工事と構築工事の相互の関連性を考慮して図－9のような構成とした。

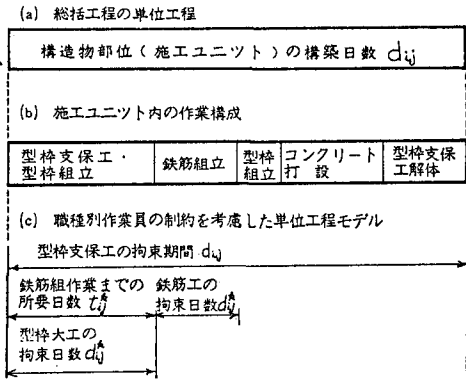


図－10 掘削工事における工程モデル

(2) 総括工程のスケジューリング

当工事の場合、準備工の着手時期の関係から全体工期への制約が厳しいために、まず構築工事の総括工程計画を検討し、そののち逆算された許容期間内で掘削工事が完了するように全体工程の配分の方針を決めた。

掘削工事のスケジュール計算にあたっては図－10に示すような工程モデルを考案し、(ブルドーザ、クラムシェル、ダンプトラック)からなる機械系の投入セット数、各施工ユニットの作業日程および各施工ブロックの掘削完了日を求めるためのシミュレーションプログラムを作成した。²⁾ その結果、3セットの機械系の投入で許容期間内に施工できることが明らかとなった。



図－11 構築工事における工程モデル

駅部構築物の構築工事においては、各施工ブロックの構築物部位の施工順序や各施工ユニットの工種の施工順序は施工技術的側面から強く規定されるので、仮設資材の投入セット数とその運用順序および職種別の作業員の調達数の決定が工程計画作成の主目的となる。図－11に示すように、型枠支保工の拘束期間は各施工ユニットの構築日数とはほぼ等しくなっている。標準断面を含む施工ユニットについては(5.5)式を適用し、その他の施工ユニットについては(5.7)式を適用して各施工ユニットの所要日数を求めることにした。当工事は市街地工事であって鉄筋工や大工等の主要職種の調達状況の厳しいことが予想されたので、型枠支保工の投入セット数とその運用順序の決定と同時に主要職種の投入班数についても評価することにした。

構造物の構築工程の検討にあたっては、転用経路の制約と各職種の投入班数の制約を考慮することのできる仮設資材の転用順序作成のためのネットワーク計算プログラムを用いて、³⁾①大工の投入班数、②鉄筋工の投入班数、③型枠支保工の投入セット数という順序に逐次決定していくことにした。そして、検討の結果、大工2班、鉄筋工1班、型枠支保工6セットの編成とする代替案が工期の制約および経済性から考えてとも望ましい案として選択された。

⑧ 詳細工程のスケジューリング

当地下鉄工事における施工ユニットの工種構成のパターンは図-12に示すとおりであるが、表-2に示した作業のレベルをも含めて詳細工程レベルの工程ネットワークを作成した。その際、総括工程計画で決定した型枠支保工の運用順序は管理的な順序関係として与えた。

詳細工程のスケジュール計算にあたっては、表-3に示す各種の基準について比較検討することとし、作業グループの構成数については大工20人～25人、鉄筋工15人～30人の範囲から選択することにした。スケジュールの計算結果に対して(6.3)式の④を適用して各代替案を評価して、鉄筋工23人、大工46人を投入する代替案を採択した。この案は、隣接ブロックとの関係による作業足場の確保という作業性に関しても十分満足できるものである。

8. 工程計画・管理のシステム化に関する今後の課題

今回の適用対象とした地下鉄駅部工事は工期の制約が厳しく、ゆとりのない工程となっている。したがって、工事の実施にあたっては、工事の施工実績を記録集計して工程計画と実績値との差異を分析評価するとともに、工事内容や施工条件の変化を把握することにより、それらを今後の工事予定に迅速に反映させていくことが肝要であろう。

土木工事の工程計画・管理におけるこのような課題を解決するためには、計画・管理方法の構造化のみならずコンピュータシステムと結合させたマン・マシンの工程計画・管理システムの構築が不可欠であり、さらに、工事施工の施工技術的側面の検討・評価をも含めた施工計画・管理システムへと発展させていくことが要求されるであろう。

最後に、本研究に対して種々の貴重な御意見を賜った京都大学工学部吉川和広教授並びに(株)鴻池組技術研究所 常務取締役川崎健次所長に深甚なる謝意を表する次第である。

参考文献

1) 川崎健次・春名攻・西野久二郎・田坂隆一郎・折田利昭・安井英二：土木工事における施工計画・管理システムに関する研究、第1回土木計画学研究発表会講演集、1979年1月、
2) 春名攻・田坂隆一郎：地下鉄開削工事における掘削工程のシステムシミュレーション、土木学会論文報告集、No.293号、1980年1月、
3) 春名攻・田坂隆一郎：土木工事の工程計画の方法に関するシステム論的考察、土木学会論文報告集投稿中。

○パターンⅠ(ベース、柱)

鉄筋組立	型枠組立	コンクリート打設・養生	型枠解体
------	------	-------------	------

○パターンⅡ(壁)

外型枠組立	鉄筋組立	内型枠組立	コンクリート打設・養生	型枠解体
-------	------	-------	-------------	------

○パターンⅢ(中床スラブ、上床スラブ)

支保工組立	型枠組立	鉄筋組立	型枠組立	コンクリート打設・養生	型枠支保工解体
-------	------	------	------	-------------	---------

○パターンⅣ(壁スラブ同時施工)

外型枠組立	鉄筋組立	内型枠組立	支保工組立	型枠組立	鉄筋組立	型枠組立	コンクリート打設・養生	型枠支保工解体
-------	------	-------	-------	------	------	------	-------------	---------

図-12 施工ユニットの工種構成のパターン

表-3 管理的な順序関係の設定方法

項目	内 容
優先順位方法の	a. トータル・フロート(TF)の小さい順
	b. 遅延距離(L _{1,2})の小さい順
	c. 第1基準TF、第2基準L _{1,2} の小さい順
	d. 第1基準L _{1,2} 、第2基準TFの小さい順
TF算定方法	a. TFを時刻ごとに逐次再計算
	b. PERT計算結果のTFをそのまま用いる
スケジューリング手続	a. 選択した作業を資源制約を満たす時刻にスケジュール
	b. 現在時刻で資源制約を満たす作業のみをスケジュール
転用順序方法の	a. 本研究による方法を用いて求める
	b. 現場技術者が過去の施工経験にもとづいて一意的に与える