

(II-2)

工程管理システムの現場適用に関する一考察 — 海上橋梁下部工事を例として —

Issurs in Application of Scheduling System at Construction Site
- A Example in TRANS-TOKYO BAY Highway Pproject -

株式会社フジタ 池田 將明*
同 上 ○関原 康成*
同 上 和久 昭正*

By Masaaki IKEDA, Yasunari SEKIHARA, and Akimasa WAKU

建設工事の工程管理は、近年の工事の大型化や急速大量施工、また人手不足等の状況において、ますます重要になってきている。一方、建設工事マネジメントを合理化するために今までに様々なシステム化が行われてきた。しかし、実際に現場で活用されているシステムは少ないと言わざるを得ない。また、活用されているシステムでさえ実際の業務の一部をサポートしているに過ぎないのが現状であろう。

そこで本論文では、過去から継続的に研究開発及び適用を行ってきた工程管理システムを海上橋梁工事に適用した事例に基づいて、その問題点と今後のシステム化の方向を探る。また、工事マネジメントをシステム化していく上で、知識獲得の必要性を述べ、その蓄積方法に関して述べる。さらに、日程計算上の不確定情報の取扱いの問題を取り上げ、考察を加える。

【キーワード】 工程計画、工程管理、エキスパートシステム

1. はじめに

1960年代後半に、建設工事の工程計画にネットワーク手法が導入されて以来、現在までに様々な研究・開発が行われてきた^{1) 2)}。近年、建設工事の複雑化、大型化や、さらに工事管理者の省人化の要請にともない、工程計画や管理をコンピュータ化することが急務となっている。しかしながら、未だに手書きの工程計画図により工程管理が行われている作業所も多くみられるのが現状である。

著者らも、以前より工程管理システム(PF-NETS)³⁾を開発し、現在までに多くの作業所で適用実験を繰り返しながら、システムの改良及び拡張を行ってきた。しかし、システムへの入力データである工程ネットワークの作成と入力がボトルネックになり、現場への普及が思うように進まなかった。そこで、工程計画に必要なネットワークデータを自

動生成することを目的として、知的工程計画支援システム(PF-PLAN)⁴⁾を開発した。そこで今回、これらのシステムを現在建設中の東京湾横断道路の橋梁下部工事への適用を試みた。

本論文では、初めに上述したシステムの研究開発経緯について述べる。次に、本システムを橋梁下部工事に適用した事例について述べ、問題点を明らかにする。また、工程ネットワークデータを自動生成するための知識蓄積の必要性を述べ、一例としてPF-PLANの知識蓄積方法を紹介する。さらに、工程計算における不確定情報の問題を取り上げ、その取扱い方法を述べる。最後に現場で得られた知見をまとめ、今後の課題を述べる。

2. 研究経過

(1) システム開発の目的

建設プロジェクトの工程計画業務にネットワーク手法を適用するための研究は、PERT/CPMが導入された1960年代後半から、これまでに数多くな

* 技術研究所 生産技術研究部 045-591-3917

されてきた。しかし、現在でも図式工程表を利用している作業所は意外に多く存在する。さらに、着工前の当初計画はネットワーク手法を用いて行った作業所でも、着工後の工程管理段階までもネットワーク手法を用いてフォローアップしている例は、国内工事では極めて少ないのが実状である。

このことは、ネットワーク手法自体の機能的な問題も含まれていることが考えられる。しかし、この問題を議論するためには、これまでの実績データがあまりにも少ないのが現状である。特に、着工後の管理段階での利用データは数少なく、このことが工事マネジメントのためのネットワーク手法の研究を遅らせてきた一つの大きな原因と考えられる。

そこで、ネットワーク手法を工事マネジメントに適用しやすいように改良し、さらに現場での利用しやすさを目的としてシステムの研究開発を進めてきた。以下に、そのシステムの開発経緯を示す。

表－１ システム開発活動の経過^{*)}

活動期間	活動概要
・84年9～12月	プロトタイプ・システムの開発
・85年1～5月 6～12月	PF-NETSの開発(Ver:1.0) 地下滞水池築造工事での運用実験
・86年1～9月 10～12月 11～12月	PF-NETSの機能拡張(Ver:2.0～2.1) 駅部改築工事での運用実験 マニュアル改訂(第1版)
・87年1～4月 4～5月 6～8月 9～12月	PF-NETSの機能拡張(Ver:2.2) マニュアル改訂(第2版) 下水管敷設工事での運用実験 PF-NETSの機能拡張(Ver:2.3)
・88年1～8月 8～9月	PF-NETSの機能拡張(Ver:2.4) マニュアルの改訂(第3版)
・90年1～9月 10～	PF-PLANの開発(Ver:1.0) PF-PLANの開発(Ver:2.0)
・91年～4月 5～9月 10～	PF-PLANの開発(Ver:3.0) 海上橋梁工事での運用実験
・92年6～9月	PF-PLANの機能拡張(Ver:3.1)

(2) 開発経緯

まず、これらのシステムの開発は、1984年に、改良プレゼンテーションネットワーク手法を用いて工程管理システム

(PF-NETS)のプロトタイプの開発に着手したことに始まる。以後、表－1に示すように、現場での運用実験とそこで得られた知見に基づいて、システムの機能拡張を繰り返してきた。

ところが、このようなシステムを現場に適用するにあたっては、システムの入力データである工程ネットワーク作成とその入力作業がボトルネックになり、思うように進まなかった。そこで、工程計画に関する多くの情報や知識を内蔵し、スケジューリングのための工程ネットワークを迅速に、かつ経験に裏打ちされた合理的な計画案を作成することが重要と考え、1990年に知的工程計画生成システム(PF-PLAN)の開発に着手することになる。その後、幾度かのバージョンアップを重ね、1992年2月に実用化され、現在にいたる。

(3) システムの概要

ここでは、上で述べたシステムの概要を示す。詳しくは参考文献を参照されたい⁴⁾。

PF-PLANは、鉄筋コンクリート構造物築造工事を対象としており、図－1のシステムフロー図に示すような構造物の設計情報を入力することにより、その構造物の工程ネットワークを自動的に生成し、また構造物間の施工順序を加えることにより、プロジェクト全体のネットワークを生成するものである。そして、ここで生成された工程ネットワーク・データをPF-NETSに転送して、日程計算、山積計算、累計出来高計算等を行い、プロッターに工程計画図を出力するものである。

このようにPF-PLANとPF-NETSがうまく連動することによって、工程計画を作成することができる。また、その後の工程管理段階ではPF-NETSを単独で使用して、出来高管理やそれに伴う残工程の修正等を行うことができる。

表－2 工事概要

工事名称：東京湾横断道路橋梁下部工Ⅲ工事
 工事場所：千葉県木更津市中島沖合
 工事概要：橋脚11基
 (海上施工7基、栈橋施工4基)
 施工延長：910m

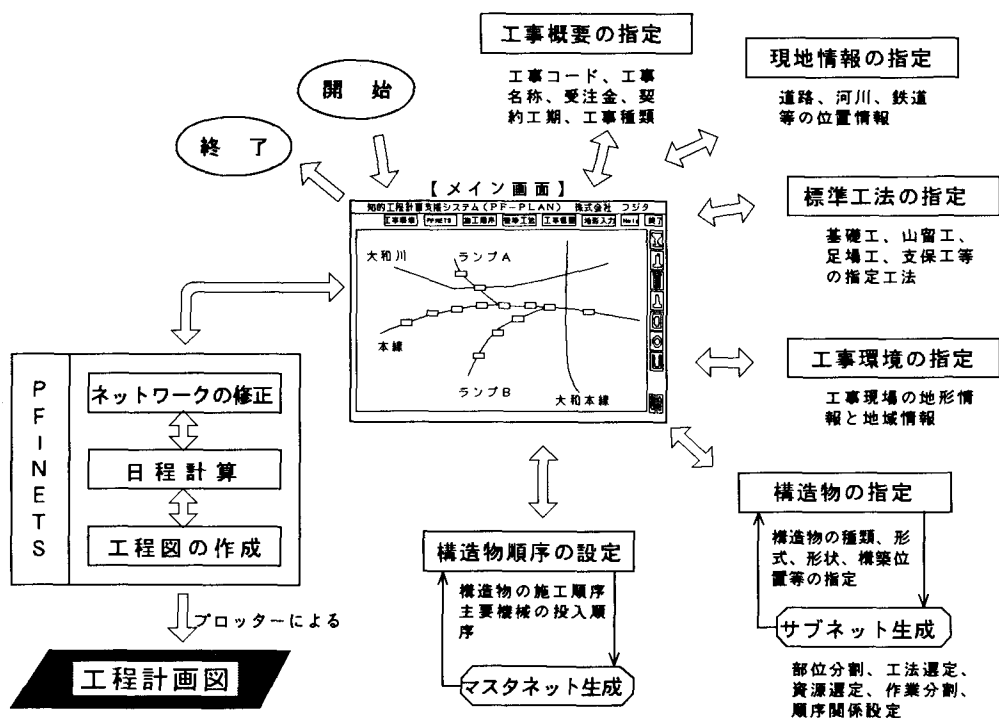


図-1 システム処理フロー

3. 海上橋梁工事での適用事例

(1) 工事の概要と工程からみた特徴

適用工事の概要を表-2に、また工事概要図を図-2に示す。

本工事の工程からみた特徴は以下のようである。工種が大きく分けて橋脚工と栈橋工の2種類であり、また橋脚は各ピアごとにほぼ同一の工種から成っており、繰り返しの多い工事である。橋脚工事

に関しては各ピアごとに独立して施工できるため、工程に関する自由度はかなり高い。そのため、重機、資材等をうまく転用することにより、合理的な工程計画を立てることが可能である。さらに山崩し等の労務を考慮に入れた全体計画も重要である。また、海上工事のため、風雨、波浪等の悪天候による作業不能日が多いことが予想された。そのため、施工段階での工程計画の見直しを行う可能性が高かった。

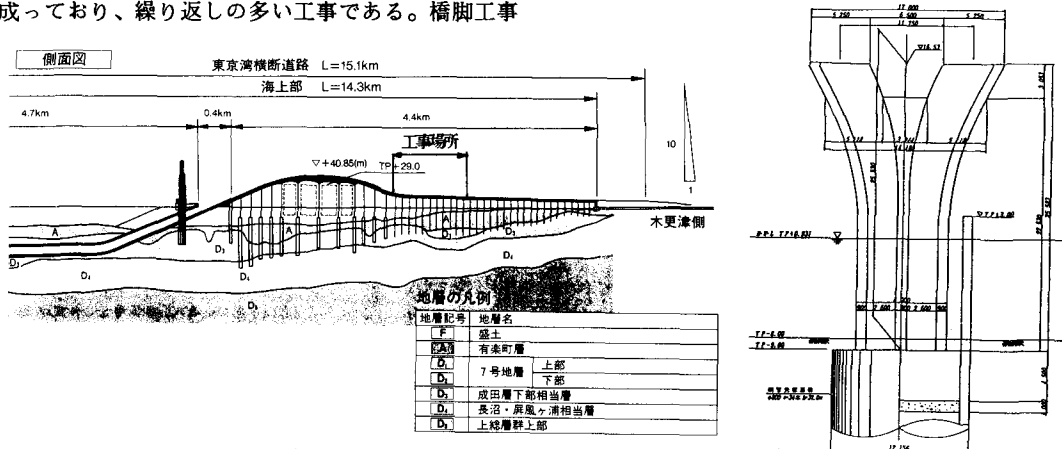


図-2 東京湾横断道路側面図及び橋脚正面図^{a)}

このような工事の工程計画及び管理を、全て人に頼っていたのでは、工事管理者の労力が膨大になることが考えられる。そこで、本システムの導入が不可欠であると考えた。

(2) 工程管理業務におけるシステムの適用範囲

ここでは、現場における工程管理業務を簡略化して図-3に示すように捉えた。以下に今回のシステムの適用範囲を述べる。

この図のように、工程管理業務は大きく分けて、工事着工前の施工計画段階とその後の施工管理段階の2つから成っている。そして、前者の計画段階は計画精度の違いから①基本計画、②概略計画、③詳細計画の3段階に分けられる。また、管理段階は対象期間の違いから①全体レベル、②月間レベル、③週間レベル、④日レベルの4段階で行われている。

このような工程管理業務の中で、本工事においては施工計画段階に、工程計画システム(PF-PLAN)を用いて、基本計画、概略計画に必要とされる工程ネットワークデータを作成した。また、そのネットワークデータに基づいて、工程管理システム(PF-NETS)により、日程計算を行い工程計画図を作成した。

また施工管理段階では、PF-NETSにより全体レベルでのフォローアップを行った。ここで月間レベル以下の計画を対象としていないのは、アクティビティの作業レベルが異なると考え、従来どおり手計算で行うことにした。

(3) システムの適用経過

ここでは、これまでのシステムの適用の経過に関して簡単に述べる。

a) 当初計画の作成

次のような手順に従って、当初概略工程計画を作成した。

- ① PF-PLANに構造物の設計情報を入力することにより構造物ごとのネットワークデータを作成した。
- ② 全体工程を、施工法の違いにより海上施工と栈橋施工の2つのパーティーに分け、それぞれに関して、施工順序を決定した。
- ③ 杭打船等の重機の転用、型枠、支保工などの資材の転用関係の入力を行った。
- ④ これらのデータに基づき、PF-NETSにより日程計算を行った。

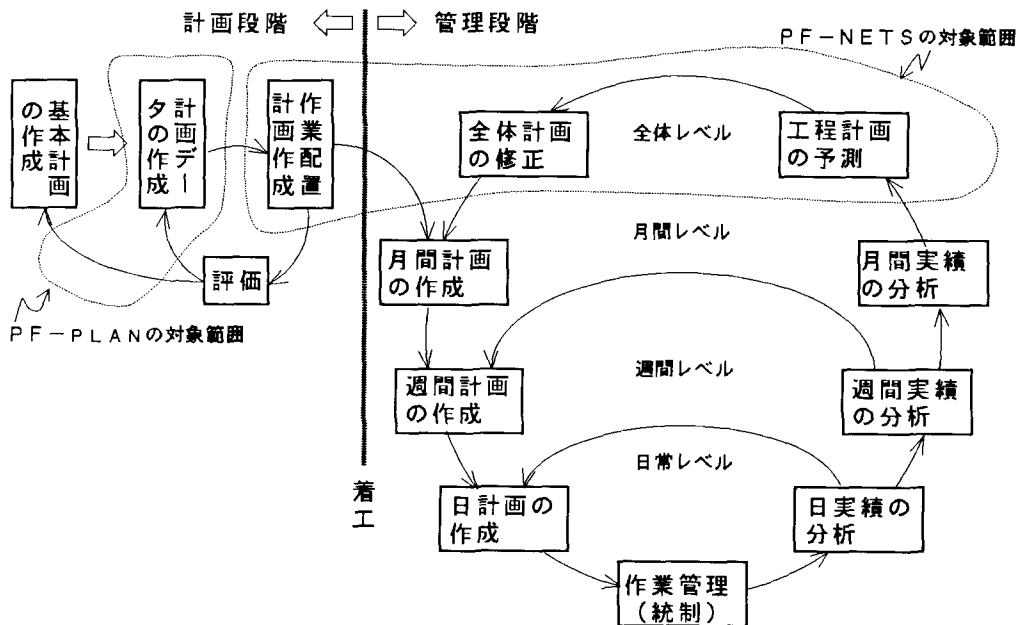


図-3 システムの適用範囲

日程計算の結果により、再び②あるいは③に戻って比較検討を重ねた。以上のような作業を繰り返すことによって策定された当初計画の工程計画図の一部を図-4に示す。

b) 着工後の管理段階

当初計画に基づき、1カ月毎に逐次、実績を入力し、フォローアップ計算を行い、工事の進捗状況の確認を行った。その後、必要に応じて資機材の転用関係、構造物の施工順序の検討を行い、残工程の修正を行った。

(4) システム適用結果

本システムを現場業務に適用した結果、明らかになったことを以下に述べる。

計画段階においては、様々な要因によって頻繁に起こる工程変更に対して迅速に対応することができ、またその変更案に対する評価も行うことができた。

また、管理段階においては、出来高管理の報告資

料としても使用され、効果が確認された。

全体的には、従来の手作業による工程管理業務に比べ、大幅な省力化を図ることができたと考える。

しかし、以下にあげるような問題点も明らかになった。

本現場は海上工事ということもあり、当初より天候による作業不能日が多いことが予想された。そのため、当初計画においては、それらの作業不能日をPF-NET Sの持つ月間稼働日機能により休日と併せて指定し、当初計画を作成した。しかし、工事が始まり工程管理を行っていく段階では、実績データを入力する目的からカレンダー上に休日を指定する方法に切り替えた。しかし、作業不能日は、季節による変動ばかりでなく、工種によっても違いがあるために、これを以上の方法で表現するためには所要日数自体で操作しなければならず、工程の組み替えの際、それらの再調整で苦労することとなった。

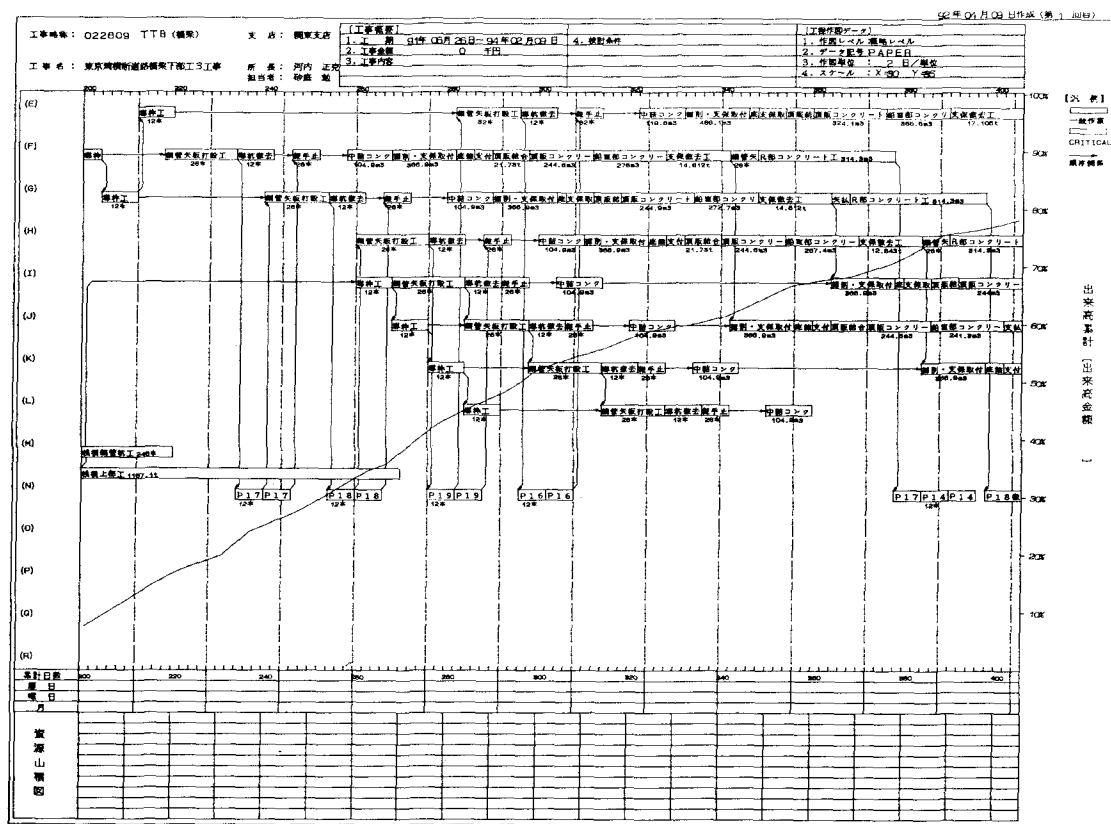


図-4 本システムで出力された工程計画図(一部)

4. 知識の追加と蓄積方法

(1) PF-PLANへの知識追加

今回の現場適用に当たり、図-2に示すような橋脚のタイプがPF-PLANに登録されていなかったため、新たに構造物にY型橋脚（単柱式104）を追加した。また、工事環境に海上工事を追加することも行った。

PF-PLANの開発に当たっては、このような事態を予想して、オブジェクト指向技術を取り入れた知識構造を用いている⁹⁾。このために、今回の構造物の追加に関しては、システム自体の変更無しに知識ベースにフレームを追加するだけで行うことができた。

(2) PF-PLANによる知識蓄積方法

ここで、PF-PLANの知識蓄積方法に関して概略を示しておく。詳しくは参考文献を参照されたい⁹⁾。

工程計画に関する主要な知識のうち工事技術に関する知識を、「構造物」、「部位」、「工法」、「工種」、「資源」という5つの要素で表し、さらにこれらを図-5に示したように階層型フレーム構造を用いて蓄積した。また、構造物の分解や工法、資源の選定に関してはルールで記述し、これを組み合わせて工程ネットワークを生成する過程の制御は

ルールセット構造もしくはフレームに記述したメソッドあるいはトリガーで記述した。また、作業数量計算や歩掛り算定などはLispで記述した。

すなわち、システムに構造物の情報を入力すると、これに「構造物」に関する知識が適用され、その中のメソッドと呼ばれる付加手続きにより部位分割ルールセットが起動し、「部位」に分割される。そして、この「部位」に適用する「工法」が選択され、この「工法」に基づき「工種」が選択される。工種とは作業パターンという概念であるが、これに投入する「資源」がルールによって選定され、最終的に作業と順序関係が生成される。

(3) 問題点と今後の課題

今回の知識追加では、構造物知識の他にも、鋼管井筒工などの工法や新たな工法に伴う工種や資源の追加、作業量計算や歩掛り算定式の追加など実に多くの知識を登録しなければならなかった。この事実は、我々技術者が記憶している知識量の膨大さを示しているものといえる。このため、栈橋工など海上工事特有の仮設工事に関しては、PF-PLANへの知識追加は行わず、PF-NETSによる手入力により処理することにした。

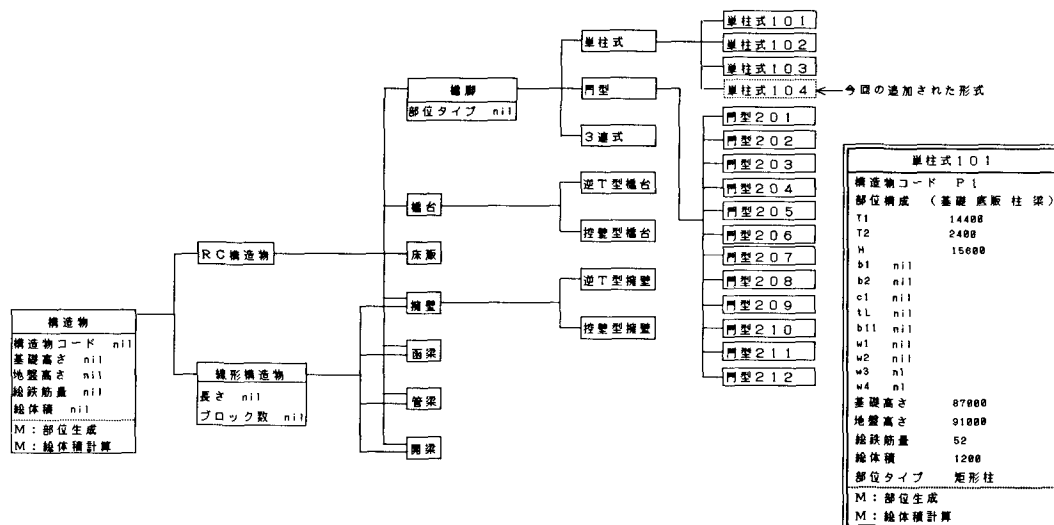


図-5 フレーム構造図の例（「構造物」の場合）

以上のように工事に関わる知識の登録（蓄積）には、想像以上に膨大な労力を要することが今回の事例で理解できた。この点は我々人間が知識を蓄積するために何年も学習するのと比較すると当然なのかもしれないが、やはり今以上に効率的に知識を蓄積する新たな獲得法を考えていく必要はあると考える。

5. 日程計算における不確定情報の取扱い

(1) 不確定情報について

工程計画の日程計算における不確定情報には様々な要因が考えられるが、これを整理すると1) 天候など外的要因による作業不能日と、2) 作業の難易度や熟練度といった工事上の内的要因による所要日数の変化に分類できる。

工程計画の作成にあたっては、前者のような外的要因は「稼働日数率」により、また後者のような内的要因は「歩掛り」により表現される。

また、本論文では外的要因により作業できない日を「作業不能日」、作業不能日と休日（日、祝日等）を併せて「非稼働日」、全日数から非稼働日を除いた日数を「稼働日」と呼ぶ。これらの言葉を用いると「稼働日数率」とは式-1となる。

$$\text{稼働日数率} = \frac{\text{全日数} - \text{作業不能日}}{\text{全日数}} \quad (\text{式}-1)$$

また、稼働日数率を用いた所要日数は式-2により求められる。

$$\text{所要日数} = \frac{\text{実稼働日数}}{\text{稼働日数率}} \quad (\text{式}-2)$$

$$\text{但し 実稼働日数} = \frac{\text{総作業量}}{1 \text{ 日の作業量}}$$

しかし、天候などの不確定要因は一般の工事においては、それほど大きくないため、歩掛りの中に組み入れたり、休日により代替している場合も多い。逆に、港湾工事や海上工事のように特に天候の影響を受け易いものに関しては、非稼働日を「稼働日数率」を用いて明示的に表現するのが一般的である¹⁰⁾。

稼働日数率の推定精度が工期に大きな影響を及ぼすが、今回の例では現場技術者が過去の気象データから推定することにより処理した。ちなみに、「稼働日数率」の推定方法に関しては、これまでに港湾工事等を対象に研究が行われている¹¹⁾。

(2) システムにおける考え方

PF-NETTSでは、上に述べた要因のうち外的要因に関しては、カレンダーによる非稼働日の指定により、また内的要因に関しては、歩掛りあるいは作業スピードにより表現している。

また、本システムでは日程表示により2種類の非稼働日の指定方法を採用している。例えば、日程表示を「暦日」とした場合には、画面のカレンダー上で非稼働日を指定する。また、日程表示を「延日」とした場合には、各月ごとに月間の稼働日数を入力するようになっている。

次に、他のシステムでの不確定情報の取扱いに関して説明する。市販のPM（Project Management）ソフト、例えばARTEMISTM、CRESTATM、PRIMAVERATMなどでは、数種類のカレンダーを持ち、工種別あるいは資源別に指定することにより日程計算を行っている（マルチカレンダー）。これらのソフトでは歩掛りなどの内的要因に関しては、明示的には考慮しておらず、これを考慮して所要日数を算出する方法をとっている。

ただ、CRESTATMをベースにした建築工程計画・管理システム¹²⁾のように、理科年表に基づいて、過去の気象データを参考にして作業不能日を設定しているものもある。

(3) 現場管理との対応

現場管理において、不確定情報をどのように扱っているのかを、分類してみたものを表-2に示す。

表-2 工程レベルと非稼働日の関係（一例）

工程レベル	作業レベル	日程表示	非稼働日
全体	概略	延日	休日、作業不能日考慮
3カ月	概略	延日	休日、作業不能日考慮
1カ月	詳細	暦日	休日のみ考慮
週間	最詳細	暦日	休日のみ考慮

注) 非稼働日とは、休日（日、祝日等）と作業不能日を併せたものである

全体工程や3カ月工程のような概略レベルの計画においては、一般に、休日、作業不能日等を考慮して計画をたてる。しかし、月間、週間工程では、作業不能日は天気予報に基づき、休日と同じく確定日として反映させるのが一般的である。

今回のPF-NETSの現場適用において、計画段階では非稼働日を月間稼働日数により指定し、「延日」により工程計算を行った。また、管理段階では、休日と作業不可能日を非稼働日として指定し、「暦日」により日程計算を行った。

この結果、以下のような問題点が明らかになった。

- 1) 計画段階から管理段階に移る際に、非稼働日の整合性をとるのが難しい。
- 2) 「暦日」による表示では、休日と作業不能日を非稼働日という確定的な日付けとして扱っているために、作業不能日の変化に対応しにくい。
- 3) 本システムでは、マルチカレンダーを用いていないために、工種ごとの非稼働日の違いを表現できなかった。

(4) 稼働日数率を考慮したシステムの改良

上のような問題は、海上工事で天候の影響を強く受けるという特性によるものであるが、このような問題に対応するためには、前述した「稼働日数率」の考え方を導入することが必要であると考ええる。

工事を行う場所や作業に応じて、工種別と月別（あるいは季節別）の「稼働日数率」を設定し、(式-1)を用いて当該作業の所要日数を算定する。

その結果、休日と作業不能日をシステムの内部で明確に区別することができ、より精度の高い工程管理を行うことができる。また、月間計画など、より下位の計画との整合性もとやすくなるものと考えられる。さらに、従来は確定的に与えていた作業不能日の情報を「稼働日数率」という値で表現しているため、稼働日数率を変化させた工程シミュレーションも可能になるであろう。

6. おわりに

今回、我々は工程管理システムを現場適用することにより、いくつかの問題点が明らかになった。その中で、より良い計画を作成するためには知識の蓄積が必要であると考え、その蓄積方法を示した。また、天候という不確定要因を取り上げ、その取扱い

に関して考察した。その結果、これらのシステムを海上工事などの不確定要因の大きな現場に適用する際の有用な知見が得られた。

今後とも、これらのシステムをより良いものにしていくためにも、現場への普及に努力していく必要がある。さらに、そこで出てきた問題点を解決し、得られた知識を蓄積していくことが重要であると考ええる。

【参考文献】

- 1) 嘉納成男：概略工程計画手法の開発 建築工事の工程計画に関する研究(その1)、建築学会計画系論文報告集第359号、1986年1月
- 2) 嘉納成男：作業工程計画手法の開発 建築工事の工程計画に関する研究(その2)、建築学会計画系論文報告集第363号、1986年5月
- 3) 池田将明、吉川和広、春名 攻：パーソナルコンピュータを用いた工程管理システムの開発に関する方法論的研究、土木学会論文集第391号、1988年3月
- 4) 池田将明、大倉吉雅、古賀重利：知的工程計画支援システムの開発に関する研究、第15回土木情報システムシンポジウム、1990年10月
- 5) 池田将明：工事マネジメントにおける知的工程計画システムの開発に関する実証的研究、京都大学博士論文、1992年5月
- 6) "東京湾横断道路"パンフレット：東京湾横断道路株式会社
- 7) 河内正克、砂場勉、池田将明、関原康成：海上橋梁下部工事における工程管理支援システムの適用、第47回年次学術講演会、1992年9月
- 8) 大倉吉雅、池田将明、和久昭正：オブジェクト指向プログラミングによる工程ネットワーク生成方法について、第45回年次学術講演会、1991年10月
- 9) 池田将明、関原康成、和久昭正：階層型フレーム構造による工事マネジメント知識の蓄積とその利用法、第47回年次学術講演会、1992年9月
- 10) 伊丹康夫：建設機械の管理と施工、(財)建設物価調査会、1989年10月
- 11) 湯沢昭：波浪予測を導入した港湾工事の工程管理に関する研究、東北大学博士論文、
- 12) 大塚晴久、岡村鉦生、二神延平、荒巻剛哉：建築工程計画支援システムの開発、第8回建築生産と管理技術シンポジウム、1992年7月