

工程管理支援システム（P F - N E T S）の 開発と適用に関する研究

Study of System Development and Experimentation for Construction Planning and Scheduling

フジタ工業㈱ 吉井良二、○池田 将明

By Ryoji YOSHII, Masaaki IKEDA

建設工事における工程管理業務は、マネジメント業務の中でも中核をなす重要な管理項目であるが、これまで計画手法やコンピュータ利用体制の問題から、あまりシステム化が進んでいない状況にある。そこで、プレシデンス・ネットワーク手法を基本として手法の改良を図り、これを現場事務所に設置したパーソナル・コンピュータで利用できるように、システム開発を行った（これをP F - N E T Sと呼ぶ）。また、本システムの有用性を検証するために、下水管敷設工事において運用実験を行い、幾つかの知見を得ることが出来た。その1つに、階層をなすレベル間のネットワークのずれという問題があった。この解決策として、作業ブロック間の基本的な順序関係から、経験的知識を利用して詳細ネットワークを自動的に生成する方法が有効と考えた。このように工事の基本的な順序関係を現すネットワークのことを本論文では概念ネットワークと呼ぶこととした。

【キーワード】プレシデンス・ネットワーク手法、パーソナル・コンピュータ、工程計画、工程管理
概念ネットワーク

1. はじめに

革新的な工程管理手法としてP E R T (Program Evaluation and Review Technique)が我国建設業界に導入されてから既に20年余りが経った。しかし、この間になされた多くの先人達の努力にもかかわらず、P E R Tは、一部の大型プロジェクトを除き、現状ではそれほど活用されているとはいえない状況にある¹⁾。この原因には幾つか考えられるが、工事現場事務所（以後、作業所と呼ぶ）におけるコンピュータ利用の困難さも1つの大きな原因であったと考えられる。

しかし、近年になってパーソナル・コンピュータ（以後、パソコンと呼ぶ）が急速に作業所へ導入されるようになったことから、工程管理業務〔以後、特に断わらない限り計画(planning)→指揮(directing)→統制(controlling)のマネジメント・サイクルのことを管理(management)と呼ぶ〕についてもシステム化が試みられるようになってき

た。また、現在このパソコンを用いて、原価、資材、労務などの各業務システムが個別に開発されているが、これ等を工程管理システムを中心としてトータル管理システムに統合化していこうという、次段階をにらんだ試みもなされるようになってきた²⁾。

我々は、以上のような状況から、P E R T系ネットワーク手法を用いた工程管理業務のシステム化が重要な課題と考え、ネットワーク手法の改良と、これを作業所設置のパソコンに適用した工程管理支援システム（P F - N E T S、Plannig & Forecasting - N E T W o r k S y s t e m）の開発、および有効性確認ための実工事での運用実験を実施し、いくつかの知見を得ることが出来た。

なお、本論文は、執筆者の一人である池田が、昭和59年4月より2年間、京都大学土木計画学研究室に研究員として在籍し、以来、吉川和広教授、春名 攻助教授のご指導のもとに行って来た研究を筆者らの責任において取りまとめたものである。

2. 工程ネットワーク・モデルの改良

ここではPF-NETSに適用する目的で行った、ネットワーク手法の改良点について説明する。

(1) ネットワーク表現方法の改良

PERTでは工程が表現しにくいという問題が指摘されている¹⁾が、この改善方法として表-1に示した4つの作業間順序関係とタイムラグ(作業の時間間隔、time lag)を表現できるネットワーク・モデルを考案し、PF-NETSに適用した。これは、プレシデンス・ネットワーク法(Precedence Network Method, 以下PN法と呼ぶ)からFS(Finish to Start)関係とSS(Start to Start)関係を取入れ、これに加えて後続作業が先行作業の作業時刻を規定するBF(finish BeFor start)関係と、労務、機械、資材などの資源転用を表すRE(Resource removal)関係という作業間の順序関係を新たに取り入れたものである。そこで、このモデルを改良プレシデンス・ネットワーク法(改良PN法)と呼ぶこととした。

この結果、PN法によるもの(前半4つ)を加えて、以下のような6つの特徴を持つようになった。

- ① SS関係により、並行作業関係が表現しやすい
 - ② 工程計画図がバーチャート形式で表現される
 - ③ データが作業と順序関係に分かれるため、変更が容易に出来る
 - ④ タイムラグの指定により、並行作業のずれやコンクリート打設後の養生期間などを表現することが容易に出来る
 - ⑤ BF関係により、ある作業に付随する準備工事の指定が容易に出来る
 - ⑥ 工事資源の転用関係を別個に入力・表示できる
- このネットワーク・モデルの適用例とその計算結果を図-1と表-2に示す³⁾。この例では、コンクリート・ポンプ打設のための配管作業と鉄筋組立作業のための加工作業をBF関係で表現している。

(2) 概略・詳細レベルの2階層ネットワーク構造

建設生産構造には月間・週間・日常レベルなど

表-1 改良プレシデンス・ネットワーク法の作業順序関係

順序関係図	関係表示	内 容 説 明
	FS=n	作業Aの終了後、n日以後に作業Bが開始できる。
	SS=n	作業Aの開始後、n日以後に作業Bが開始出来る。並行作業を表すのに用いる。
	BF=n	作業Aは、作業Bの開始前のn日以内に終了していなければならない。
	RE=n	FS関係と同じだが、工事資源の転用関係に用いる。

注) nは作業間の遅れ時間(タイムラグ)を表し、コンクリートの養生期間や、並行作業の“ずれ”を表すのに用いる。

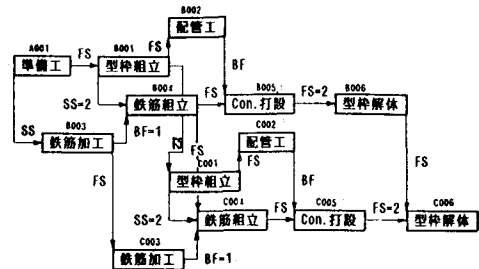


図-1 改良プレシデンス・ネットワーク法の適用例

表-2 適用例の日程計算結果

No.	作業名称	日数	ES	EF	LS	LF	TF
A001	準備工	4	0	4	0	4	0
B001	型枠組立	4	4	8	4	8	0
B002	Concrete配管	2	9	11	11	13	2
B003	鉄筋加工	2	3	5	4	6	1
B004	鉄筋組立	5	6	11	6	11	0
B005	Concrete打設	1	11	12	13	14	2
B006	型枠解体	3	14	17	16	19	2
C001	型枠組立	4	8	12	9	13	1
C002	Concrete配管	2	14	16	14	16	0
C003	鉄筋加工	2	8	10	9	11	1
C004	鉄筋組立	5	11	16	11	16	0
C005	Concrete打設	1	16	17	16	17	0
C006	型枠解体	3	19	22	19	22	0

の階層性があり、時間の経過と供に詳細化されることが知られている⁴⁾。このプロセスを図化したものが図-2である。今回のシステム開発においては、この図中の破線部分を対象としたため、図-3のような概略と詳細の2つのレベルで階層的に表現できる階層型ネットワーク・モデルを開発した。

このモデルでは、概略レベル、あるいは詳細レベルのサブネットごとにデータを入力・変更するため、これ等の作業が容易となる。同様に、工程図や月報等の管理資料をレベルごとに分けて出力できるため、判断がしやすくなるという特徴がある。このような2階層のデータを、後述するプロジェクト・グラフで表した例を図-4に示す。

さらに、このモデルの日程計算は、詳細レベルに概略レベルの順序データを自動変換してから行

う方式をとっているため、異なる詳細ネットワークの作業間においても、資源の転用関係を表現することが可能となっている。

(3) プロジェクト・グラフによるデータ入力

周知のように、建設工事管理にネットワーク手法を適用する場合、計画変更に対応しやすいかがキーポイントとなる。そこで、本システムでは、この点を改善するためにプロジェクト・グラフを用いたデータ編集法を開発した。このプロジェクト・グラフとは、作業の順序関係データを基に、作業の先頭からの位置（レベル）を算出し、これによりデータをネットワーク図化したものである⁵⁾。

このプロジェクト・グラフでは、図-4のようにネットワークが概略と詳細の2階層の図として画面に表示され、この上で作業順序関係や作業内容を編集（追加・変更・削除）することが出来る。

3. 工程管理支援システムPF-NET Sの開発

これまでの検討から、工程管理支援システムにネットワーク・モデルを適用するための、幾つかの改良方法を考案することが出来た。たしかに、これだけで全ての問題を解決できるわけではないが、ここまでの方法でどの程度の有効性が発揮出来るのかを検証し、新たな改良方法を模索することを目的に、パソコンを用いた実験システムを開

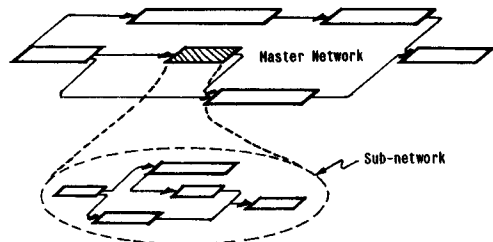


図-3 2階層のネットワーク構造

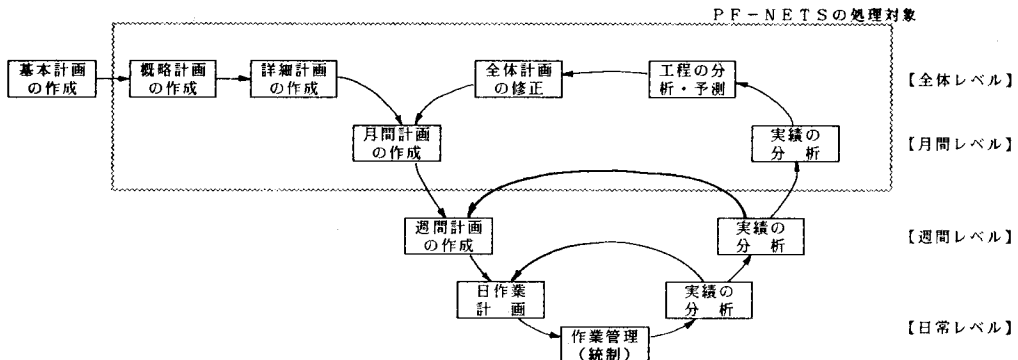
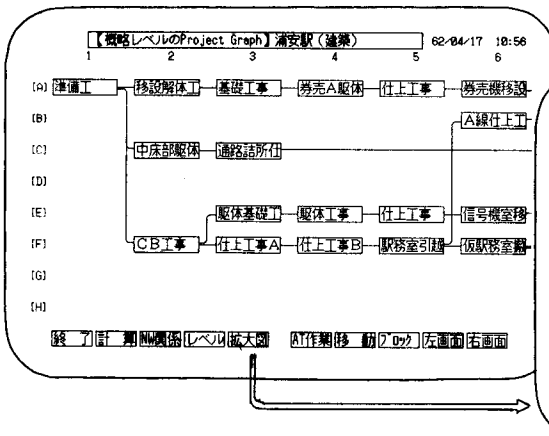


図-2 建設工事のプロセスとPF-NET Sの適用範囲

(a)概略レベル [master net.]



(b)詳細レベル [仕上工事A sub-net.]

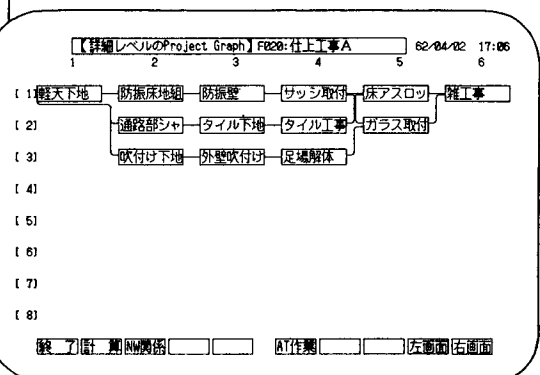


図-4 プロジェクト・グラフによるデータ編集

発したので、ここでその概要を紹介する。

(1) システムの目的と適用手法

PF-NETSは、図-2の波線で示したように、概略計画以降の全体計画と、月間計画の管理業務を支援する(工程計算・管理資料の作成等)ことを目的としている。また、本システムでは、前節で説明した階層性を持った改良PN法を適用している。

(2) システムの機能

本システムの機能は、図-5に示すように工事着工までの全体計画の立案と、それ以後の月間工事管理に大きく2つに分けられる。

a) 全体工程計画の立案

- ① 工事概要、資源単価、標準作業、ブロック名称、休日等の登録機能
- ② ネットワークデータ(作業内容・順序関係)の編集機能
- ③ 改良PN法による日程計算機能
- ④ 資源別山積(数量・金額)の計算・表示機能
- ⑤ 工種別と累計出来高の計算・表示機能(図-6)
- ⑥ マニュアルによる日程調整機能
- ⑦ 工程図の表示・作図機能(図-11)

b) 月間工事管理

- ① 月間工程計画の作成(予定作業の抽出)機能
- ② 作業実績の記録・報告書作成機能
- ③ 残工程の予測計算機能
- ④ 残工程計画の修正機能

(3) システムの特徴

本システムは、図-7に示した作業所設置のパソコンで全ての処理ができる。また、前述したように、階層性を持った改良PN法を適用したこと、グラフによる工程データ編集機能を有していることなどが、基本的な特徴である。

ここでは、これ以外の特徴を説明する。

a) 標準作業による入力・変更作業の軽減

RC構造物工事における鉄筋組等のように、工程計画の中で頻繁に現れる作業をこのシステムでは標準作業と呼んで、工事種類別標準作業ファイルを作成し、入力作業の軽減を図っている。

b) 作業日数の設定法

これまでのシステムでは、作業(activity)の所要日数は、技術者が様々な条件から勘案し、入力する方法が取られて来た。しかし、本システム

では、所要日数を以下に示す3つの方法から選択できるようにした。これにより、対話型でデータを入力する際に、歩掛り等の条件を変化させながら適切な所要日数を検討できるだけでなく、所要日数決定の根拠を明確に記録し、他の技術者にも伝えることが出来るというメリットが生まれた。

① 確定日による指定

② 日当たり投入資源量による指定

該当作業に1日に投入する機械や作業員の数量を指定し、これと作業数量、歩掛りから、所要日数を算出する方法。

③ 作業スピードによる指定

日当たり計画作業量を指定し、これと作業数量から所要日数を算出する方法。当初概略計画や資源調達能力に余裕のある場合に用いられる。

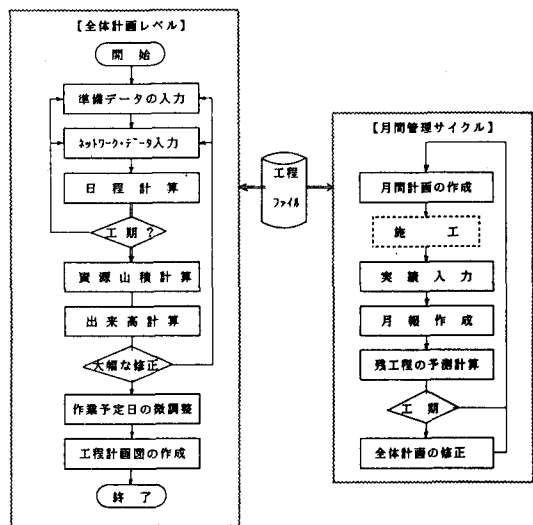


図-5 システムの処理フロー図

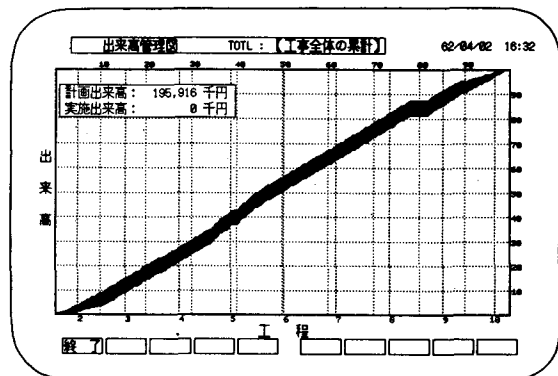


図-6 出来高金額の表示画面

c) 標準作業による工程シミュレート

標準作業における歩掛り等の作業日数設定条件を変更することにより、作業（activity）の所要日数を一括変更し、簡単に工程をシミュレート出来る。

（4）システムの機器構成

情報システム機器は図-7のように、16ビットパソコン（NEC PC-9800/VM）の標準的なセットにプロッター（A3版）を追加した構成となっている。また、使用言語はMS-DOSの基で動くコンパイラ型N88-日本語BASIC(86)を用いた。

4. 工程管理支援システムの実施例

本システムは、地下滞水池築造工事において最初の運用実験を行い⁶⁾⁷⁾、以来システムの改良を重ね、これまでに高架橋駅部改良工事と下水管敷設工事で運用実験を行った。ここでは下水管敷設工事の例を紹介する。

（1）工事の概要と特徴

本工事は、民間発注の大規模土地造成工事に伴う下水道工事で、延長 5.6kmにわたって下水道用ヒューム管を道路下に開削工法で敷設する（一部推進工事を含む）ものである。工期と規模の関係から協力業者3社（1社は推進専業者）、3工区に分割発注された。

施工環境は、ほとんどの区間が田圃と丘の間の交通量の少ない幅員4mほどの市道で、埋設管はそ

れほど多くはない。また、幅員が狭いため一部で仮設道路が必要となり、そのための農地転用許可時期が工程からみた1つの大きな不確定要因であった。

本工事のWBS（Work Breakdown Structure）の一部を図-8に示す。

（2）システムの適用経過

一般に管敷設工事では、人孔と人孔の間を1スパンと呼び、工事の区切りとしている。本工事においても、一部の短いスパンは集約し、長いスパンは分割したが、基本的には1スパン（約30m）を管理の単位とした。1スパンの基本作業パターンを図-9のようになる。

a) 全体概略計画への適用

全体計画では、1スパンを1作業とし、日当り敷設延長（作業スピード）を3.5m～5.0mに変化させて、工程のシミュレートを行った。なお、このネットワークは、作業数 200、順序関係数 200程度で、日程計算には1分程を要した。

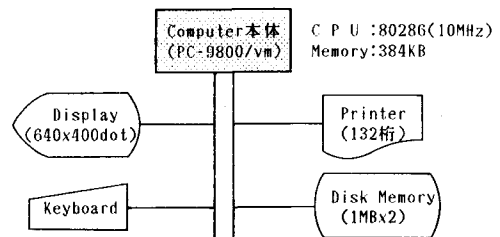


図-7 システムの機器構成

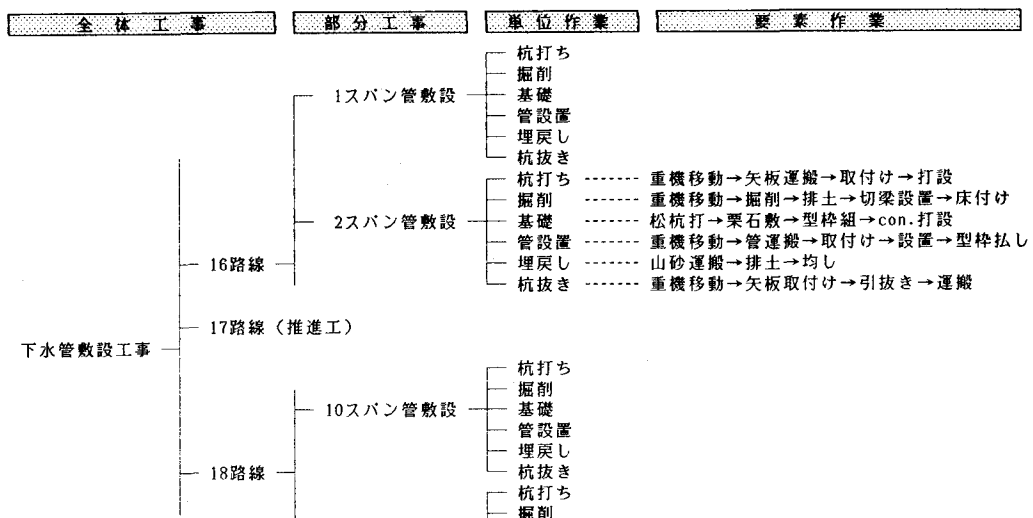


図-8 管敷設工事のWBS（一部）

b) 詳細計画への適用

詳細計画では、図-8の単位作業を1作業としてネットワーク・データを作成した。この時、図-10のような概略と詳細のレベル分けを行った。

所要日数の算定方法としては、杭の打ち抜きと掘削、埋戻し作業では日当り資源投入数量（パイプロハンマ1台/日）を用い、基礎構築と管設置作業では作業スピードを指定した。このネットワークは、作業数 約400個、順序関係数 350個程度で、日程計算に約5分程かった。

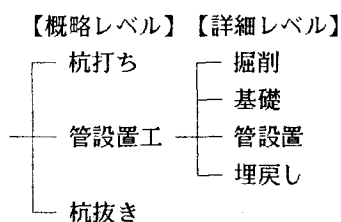


図-10 詳細計画での階層化

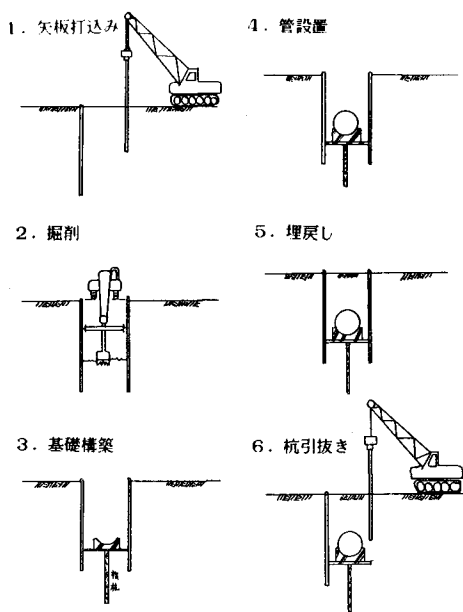


図-9 管敷設作業の基本パターン

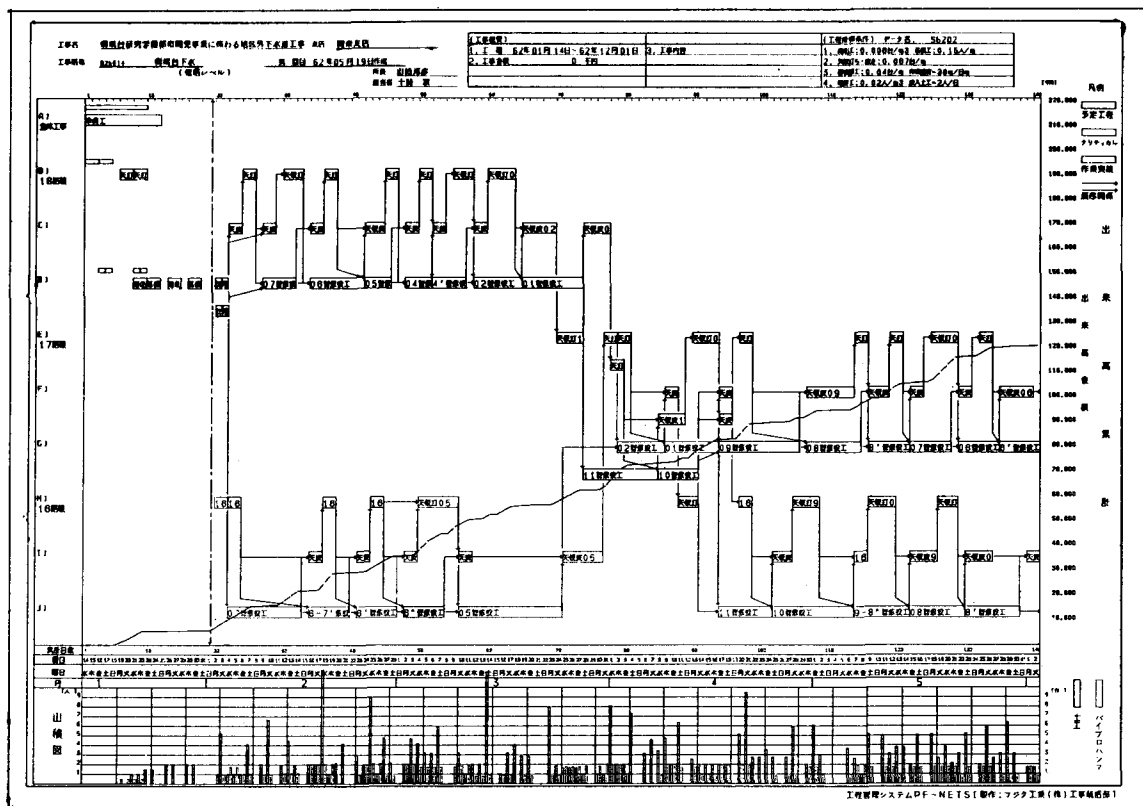


図-11 下水道管敷設工事の工程計画図（一部）

(3) システム適用の結果

a) 処理スピードについて

本システムは、従来からの大型コンピュータではなく、16ビットパソコン上で稼働するため、処理速度と記憶容量が問題となるのではないかと懸念された。しかし、今回の運用実験においては、作業数が少なかったこともあり、ほとんど問題とはならなかった。

b) 作業所設置パソコンでの利用について

今回は作業所パソコンだけを使用したので、従来のような本社設置の大型コンピュータ利用とは、比較にならない程トータル時間の省力化となった。

また、従来のやり方では、当初計画はPERT的に詳細に作成するが、着工後は大きな計画変更が生じない限り全体計画の修正は行わずに月間計画で対応するのが一般的であったが、今回のようにパソコンを利用した場合は、その手軽さから、月ごとに残工程を検討し、常に最新の工程計画図を得ることが出来た。このことは、工事を管理（manage）していく上で大きなメリットであると実感した。

c) データの変更について

今回適用した工事は、工程面からみて比較的単純な工事であったが、それでも道路下埋設物や仮設道路の民間借地の問題、許認可の裁可時期等、幾つかの不確定要因があり、施工順序がたびたび変更される状況であった。

このような状況において、従来のシステムでは、データ修正に多大な労力を必要としたが、今回の例では、作業所設置のパソコン利用という点に加えて、プロジェクト・グラフによるデータ編集機能という、より人間の視覚で理解し易い形のマンマシン・インターフェイスにより、スムーズに対応することが出来た。

d) ネットワーク・モデルの適用について

改良PN法で工程を表現することに問題があるかどうかを判断することが、この運用実験の1つの大きな目的であったが、順序関係記述という点では問題なく表現することが出来た。

ただし、図-8におけるスパン単位の部分工事

を概略レベルに、また杭打ち等の単位作業を詳細レベルとして、本システムの2階層ネットワーク・モデルを本工事にも適用しようと考えたが、これを旨く表現することはできなかった。

これは、図-12のように後続スパンの杭打作業が、先行スパンの杭抜作業に先行するというように、詳細レベルにおける作業間の関係と、概略レベルにおけるものが完全には一致しないことに起因している。このため、前述したように、スパン単位で表現した概略工程計画と、杭の打ち抜き作業を単位とした詳細工程計画の2種類を別個に作成しなければならなかった。

このような現象を、今後“階層間のずれ”と呼ぶこととする。

5. 今後の課題—概念ネットワークの考え方

前節において、管敷設工事では工程ネットワークを階層的に表す場合、階層間のずれという問題点があることが解った。このような関係は、従来からの階層型ネットワーク・モデルで表現することは困難で、あえて表現しようすると、概略レベルの作業をSS関係を使い並行作業として表現しなければならなくなる。しかし、これでは概念的な順序関係と一致せず、工程を把握するのが困難である。

また、工程計画にネットワーク手法を適用する場合の大きな問題点の1つであるデータ作成労力の低減化の手段として、これまでデータベースの

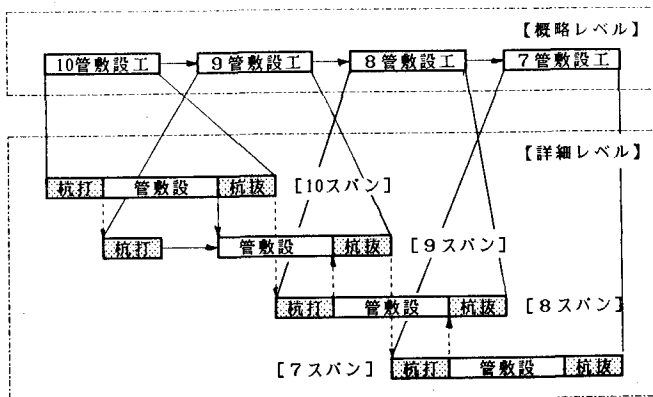


図-12 階層間におけるネットワークのずれ

利用が検討されてきた⁸⁾。しかし、この方法は作業を分解するためには有効な手段ではあるが、建設生産が単純な階層構造ではないとすると、やはり技術者が詳細レベルまで注意を払って、順序関係を設定する必要がある。このことは、工事着手後に頻繁に起こるネットワークの組替えにおいても、大きな労力を技術者に強いる結果となる。

以上のことから、①建設工事のネットワークを厳密に階層構造で表すことが困難であること、また階層的に表現できた場合でも、②データベースを利用した場合でも、データの作成や工程の組替えには多大な労力が必要であることが推測できる。これは、ネットワーク手法が積上方式でない（つまり作業を細分化しなければ）、日程や資源山積、出来高等の工程計算を行えないという根本的な性質に起因している。

以上の問題の対応方法の1つとして、概略レベルの作業の中で投入資源を時系列的に指定する方法が考えられるが、このようなモデルでは①階層間のずれが表現できないこと、②システムを週間や日常レベルに拡張しにくいなどの問題がある。そこで、図-12で示した階層間のずれをその構造に取り込み、概略レベルのネットワークを入力すると、工程計算の基となる詳細レベルのネットワークを自動的に生成するモデルが有効と考えられる。このモデルでは、概略レベルのネットワークが、従来のネットワークとは異なり、概略作業の順序関係だけを表すことから、今後概念ネットワーク (conceptual network) と呼ぶこととする。

6. おわりに

これまで、パソコンを用いたシステムの有用性と問題点、さらにこの問題点を克服するための方法として概念ネットワークという考えを示した。しかし、このようなモデルを開発するためには、これまでデータ・ベース作成のために行われてきた概略作業を詳細作業に分解するための知識だけでなく、建設工事を生産パターンで分類し、各パターンにおける概略作業間の関係をも、経験的知識として整理・蓄積する必要がある。また、これ等の知識を効率的にシステム化するための方法（

知識工学技法）も、建設工事管理にネットワーク手法を普及していくために、今後検討して行かなければならない大きな課題と考えられる。

最後に、本研究を進めるにあたり、始終熱心なご指導を賜った吉川和広教授、春名 攻助教授、両先生、また、数々の助言を戴いた京都大学土木計画学研究室の方々、さらに、今回の運用実験に際してご協力を戴いたフジタ工業(株)関東支店御成台下水作業所、浦安駅作業所の方々に、深く感謝する次第である。

【 参 考 文 献 】

- 1) 山本幸司：施工計画・管理手法としてのPERT系技法の現状と今後、土木工事のマネジメント問題に関する研究討論会講演資料集、1983年11月
- 2) 春名 攻、藤田興一、池田将明：地下滞水池築造工事における現場管理トータルシステムの開発について、土木学会第41回年次学術講演回、1986年11月
- 3) 吉川和広、春名 攻、池田将明：パソコンを用いた現場マネジメントシステムの実験的開発について、土木計画学研究・講演集No. 7、1985年1月
- 4) 春名 攻、田坂隆一郎：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、第3回土木計画学研究発表会講演集、1981年
- 5) 吉川和広：土木計画とOR、丸善
- 6) 吉川和広、春名 攻、池田将明：オンサイトマネジメントにおける工程計画システムの利用に関する研究、第10回電算機利用シンポジウム、1985年10月
- 7) M. Ikeda, K. Yoshikawa, M. Haruna: Development of Personal Computer-based Management System for On-site Construction Planning and Scheduling, International Conference on THE USE OF COMPUTERS IN CIVIL ENGINEERING, August 15-16, 1985, TORONTO, CANADA
- 8) 田村 恭、嘉納成男：工事計画のための支援システムに関する研究（その3）、第5回電算機利用シンポジウム論文集、建築学会、1983年3月