

知的工程計画支援システムの開発に関する研究

フジタ工業(株) ○ 池田 将明
同 上 大倉 吉雅
同 上 古賀 重利

1. はじめに

近年、生産性向上を目的とした工事マネジメント・システムの重要性が強く認識されるようになってきているが、このようなシステムの中核となるのが、工程管理システムである。しかし、従来の工程管理業務では、主としてバー・チャートや座標式工程表が用いられてきたため、機械・労務・資材など、他の管理要素との関係を明確にすることが難しく、マネジメント業務をトータル・システム化する場合の大きな阻害要因となっていた。

そこで、このような問題の解決策としては、ネットワーク法による工程管理方法の普及が非常に重要であると考え、まず、建設工事での適用が容易となるようにプレ・デシグ・ネットワーク法の改良を行い、次に、この手法が手軽に利用できるようにパソコンで「工程管理支援システム(PF-NETS)」の開発を行い、これまで現場への普及を図ってきた¹⁾。

そして、これ等の試みの結果、ネットワーク・システムを現場業務に普及させるためには、システムに入力するデータ量を極力少なくすることが大変重要であることが明確となった。逆に言うと、ネットワーク法を利用するためには、建設工事に特有の複雑な制約条件や不確定要素を反映させるために、技術者が自らの経験や知識によって勘案した多量なデータを入力しなければならないという基本的な問題点が存在する。

このような問題点は、ネットワーク・システムの利用が我国より数段普及している米国においては、早くから指摘されてきていて、近年急速に発達した知識工学(Knowledge Engineering)技術を建設工事計画に適用するための研究も行われるようになってきている。

そこで、我々も数年前から、知識工学手法を適用した工程計画方法の研究を続けてきたが²⁾、今

回、これまでの研究結果を基に、計画型知識ベース・システムである「知的工程計画支援システム(KISS, Knowledge Intensive Scheduling System)」の1次開発を行った。

本論文では、①ネットワーク生成方法に関する既往の研究、②工程ネットワークの生成方法、その方法をシステム化した③知的工程計画支援システムの内容、および④本システムの適用事例とその考察に関して、その概要を述べる。

2. 既往の研究とシステム化の構想

(1) 工事構造に関する研究

建設工事の施工活動が、WBS(Work Breakdown Structure)と呼ばれる階層的なツリー構造で表現されることは、よく知られている。このため工事計画の立案に当たっては、“全体計画から日計画までを段階的に計画化する多段階計画法が適している”ということが、施工計画の作成手順や計画内容のシステム分析結果をもとに、春名や田坂らによって早くから指摘されてきている³⁾。

本研究の主題であるネットワークの生成方法を考える場合でも、以上のような建設工事の構造に関する研究を、工程計画の立案という視点から、より具体化していく必要がある。このような観点から、筆者も参加していた「ネットワーク手法活用研究グループ(土木学会建設マネジメント委員会(1985~87))」では、工程計画のためのネットワーク生成方法として、工事WBSの標準化とデータベース化のための研究を行った⁴⁾。

しかし、これまでの研究では、建設工事に特有の多様性の取扱までには言及しておらず、標準的なWBSの構造を明らかにすることに留まっている。また、実際の計画にあたってキーポイントとなる仮設作業についても詳細な検討が行われていないとはいえない。すなわち、従来の研究では、現

実にある工事の工程計画をいかに作成するのかというところまでを、明確に示すほどの具体性を備えていないという問題点がある。

(2) 知識工学手法の適用に関する研究

知識工学は、1977年にファイゲンバウム (E. A. Feigenbaum) により提唱された人工知能研究の新しい研究分野であるが、その当初から“プロジェクト・ネットワークの生成”は知識工学の主要な課題の1つであった⁹⁾。しかし、工程計画の立案方法に関する具体的な考え方や、システム開発が開始されたのは、主に米国において1987年頃からのことである。それ等の中の代表的な研究には、ヘンドリックソン (C. Hendrickson)¹⁰⁾、ナビチャンドラ (D. Navinchandra)¹¹⁾、嘉納⁹⁾、それに島崎⁹⁾らの研究がある。

そして、これ等の研究内容を検討すると、工程計画の立案方法には、大きく分けて2つの戦略が存在することが理解できる。筆者は、知識工学を適用した工程計画立案方法に関する論文²⁾の中で、これを①手段-目的戦略(図-1)と②ネットワーク戦略(図-2)と名付け、その特徴と限界について示し、両者の長所を合わせ持った戦略として、「ハイブリッド戦略」を提唱した。

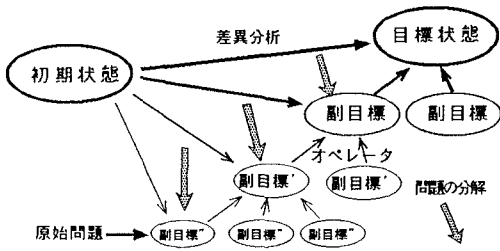


図-1 手段-目的戦略による計画化手順

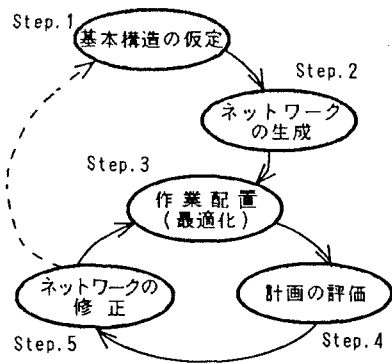


図-2 ネットワーク戦略による計画化手順

(3) 知的工程計画支援システムの構想

以上の研究をもとに、技術者の経験的知識を組み込み、従来、技術者が判断していた業務の一部までを取り込んだ、より知的な工程計画支援システムの開発を検討し、図-3のような構造を持つ知識ベース・システムの開発を計画した。

この図に示すように、このシステムは概念的に、①工程ネットワーク自動生成、②仮設工法選定、③日程計算・作図、および④投入資源最適化、の4ブロックに分けて考えられる。そして、この中の③は経験的知識をほとんど必要とせず、数理計画法で処理できるために、早くからシステム化が進められてきた部分で、前記したように我々も既に開発を済ませている¹⁾。そこで今回は、以上の開発構想の中から①の部分に関してプロトタイプシステムの開発を試み、③の機能をカバーする既存システム(PF-NETS)との連携を図ることとした。

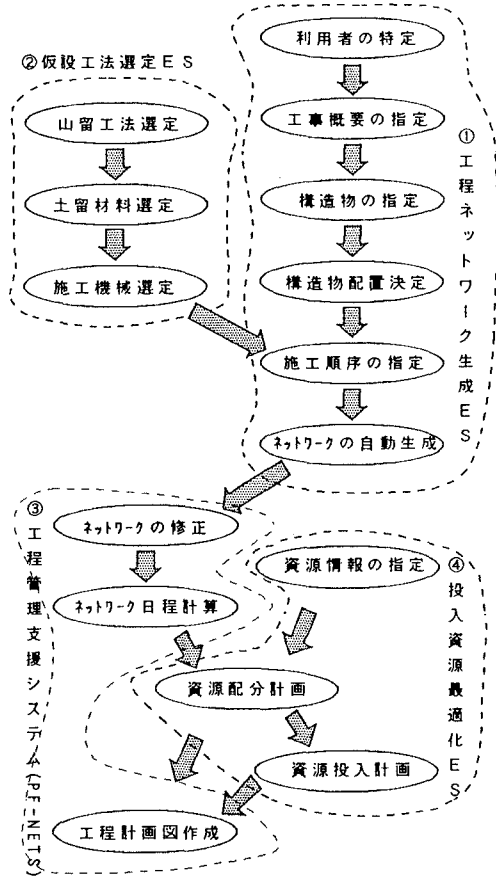


図-3 知的工程計画支援システム化の構想

3. 工程ネットワークの生成方法

(1) 工事の階層的分解方法

本研究では、個別工事のネットワークを自動生成するという目的を持ったため、仮設作業も含めて個別の施工条件に即した工事分解を行う方法を明らかにする必要がある。そこで、高架式高速道路工事を例に意味ネットワーク(semantic network、図-5)による概念的な検討²⁾を重ねた結果、図-4に示すように、④構造形式と⑤工法に関する2種類の知識を用いて、工事を①構造物、②部位、

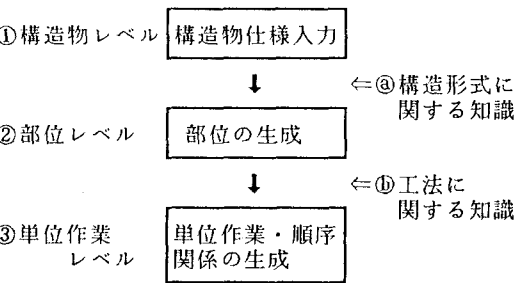


図-4 工程ネットワークの生成手順

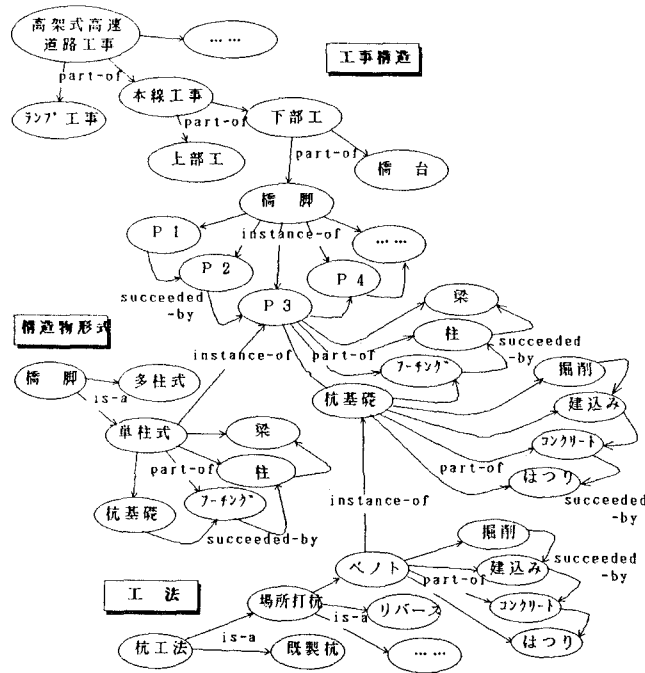


図-5 意味ネットワークによる工事分解過程の表現例²⁾

③単位作業(詳細全体計画におけるアクティビティ)の3レベルに分解することが適当であると考えた。

ちなみに図-5の意味ネットワークでは、工事全体が①工事構造、②構造物形式、③工法の技術的知識により細分化され、より詳細な作業が生成される過程を概念的に表現している。この図の中で「is-a」とは概念間の包含関係を、「part-of」とは全体～部分の関係を、また「succeeded-by」とは作業間の順序関係を、「instance-of」とは概念の実体化を、それぞれ表す関係述語である。

また、このような方法で工事を分解し、工程ネットワークを生成した例として、単柱式RC橋脚のケースを図-6に示す。

(2) 構造形式に関する知識

構造形式とは、“構造物がどのような部位から構成されるか”を表す知識のことである。例えば、図-6の単柱式橋脚では、一般的に底版・柱・梁の3つの部位に分解して考えられる。しかし、その理由は必ずしも明確ではない。何故なら、“部位”という概念自体が、経験的に修得される曖昧な概念であることによる。つまり、施工計画にお

いてはコンクリートの打設区分が重要な意味を持つために、そのような観点から構造物を分解して捉えることがよく行われるが、その中の類似形状のパターンとして認識されるようになったものが“部位”と考えられる。

従って、構造物を部位に分解する場合は、標準的な部位分割パターンだけでなく、個別的なバリエーションを加味して行われなければならない。本システムでは、まず経験的知識として蓄積した部位分解パターンに従って構造物を分割し、次に個別の特徴や施工環境を表した表-1のようなルールにより、再分割や再統合を行う方法を用いた。

(3) 工法に関する知識

部位は、さらに「本設工」と「仮設工」と呼ぶ2つの工種に分解される。

“工種”もまた非常に曖昧な概念であるが、例えば図-6の柱構築活動では、鉄筋組→型枠組→コンクリート打設→脱型の4作業と、これらの作業を行うための足場組→足場払作業より構成される。本システムでは、このように対象構造物を直接築造するための作業群を「本設工」、それらの作業を補助するための作業群を「仮設工」と呼び、異なる工種として区別した。

そして、これらの工種は各々1つの工法に対応し、その工法に関する知識により単位作業に分解する。ここで“単位作業”とは、全体工程計画で扱う最小の単位という意味で、ネットワークのアクティビティに該当する。また、本設工は対象となる構造物の仕様によって決定されている場合がほとんどであるが、足場や支保工などの仮設作業については、材料・施工機械・設備まで含めた工法選定作業が伴うため、現在、仮設工法選定機能の組み込みを進めている。

(4) 順序関係の生成手順

単位作業間の順序関係は、表-2に示した5ステップにより段階的に生成することとした。すなわち、最初に工種内作業の順序関係を生成し、次に、工種間および部位間の順序関係、そして最後に構造物間の順序関係を生成する。この際、仮設復旧作業という概念を導入し、ルールの汎用化と、それによるルール数の削減を図った。また、構造物間の順序関係は、決定要因が多様多様であるた

め技術者が総合的に判断して構造物の施工順序を入力し、これをシステムが判断して詳細レベルでの関係を生成することとした。

4. 知的工程計画支援システムの開発

(1) システムの構成

今回のシステム開発にあたっては、一般の作業所でも容易に利用できることを前提条件としたため、開発機器にはパソコンを用いた。そこで、エキスパート・システム構築支援ツールの選定においては、①パソコン上で開発・実行可能なものを第一に考え、それに加えて②ハイブリッド型の知識表現・推論機能、③ホスト・EWS・パソコン

表-1 部位分割ルールの例

柱の高さがかなり高い場合は、柱を2段に分割して施工する。 (理由) ①コンクリート骨材の分離が少ない ②型枠の強度を高める必要がなく、また安全性も高い

表-2 順序関係の生成手順(表示は図-6と対応)

Step.1 工種内作業の順序関係 (——で表示)
↓
Step.2 仮設工と本設工間の関係 (-----で表示)
↓
Step.3 部位間の一般的順序関係 (----で表示)
↓
Step.4 部位間の特殊な順序関係 (-----で表示)
↓
Step.5 構造物間の順序関係

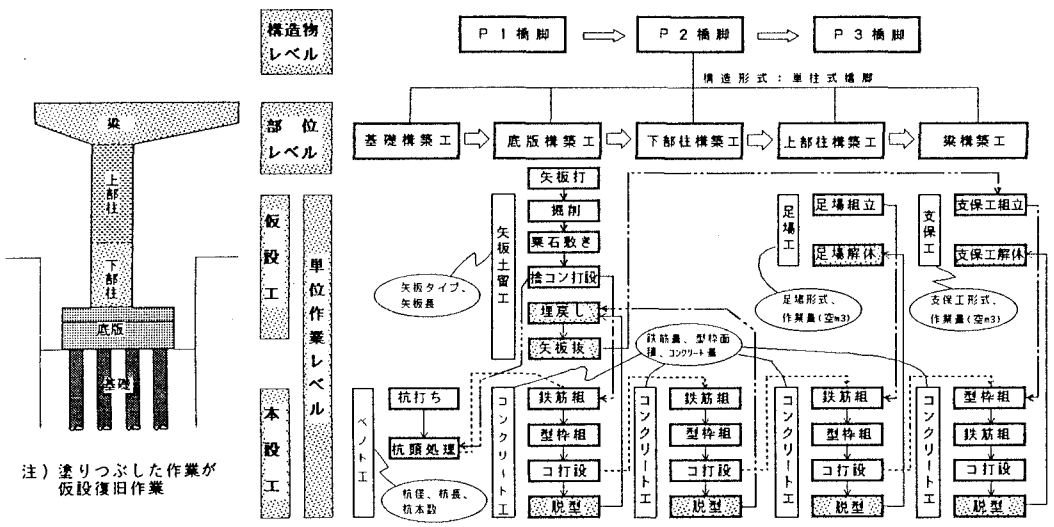


図-6 単柱式RC橋脚を例とした構造物のネットワーク生成

間の知識ベースの互換性、④コスト・パフォーマンス、⑤C言語変換機能等のデリバリ環境、⑥プレゼンテーション機能なども検討した結果、NTT社製のKBMS/PC™を採用した。

KBMS/PCは、MS-DOS™上のLISP言語(GCLISP™)環境で稼働するツールで、今回の開発にあたっては、図-7に示すように、40MB

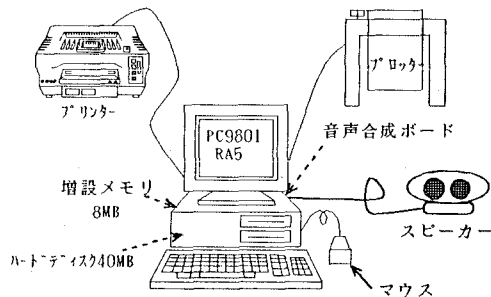


図-7 ハードウェア構成

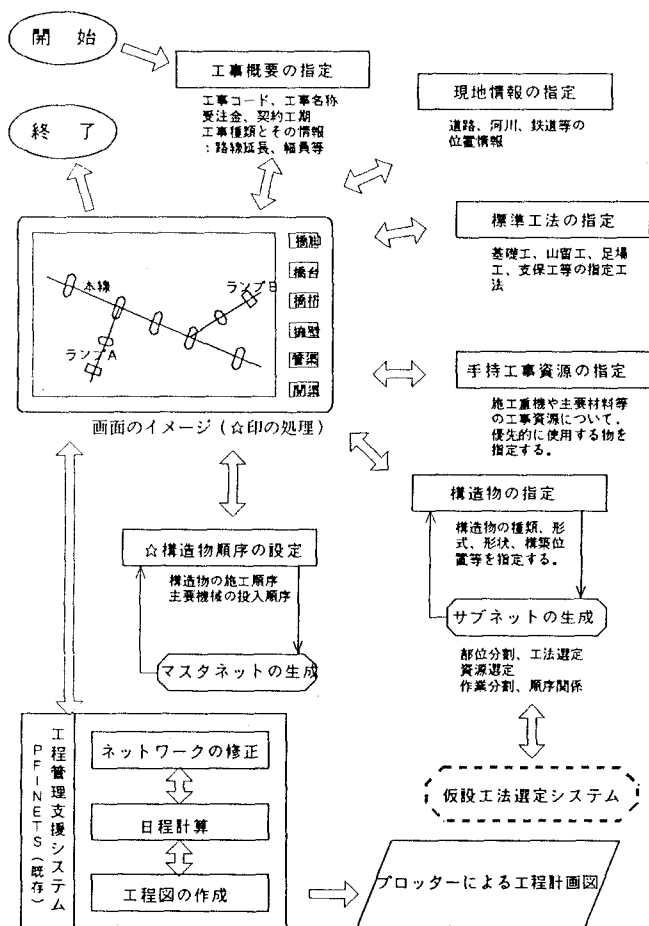


図-9 知的工程計画支援システムの処理フロー

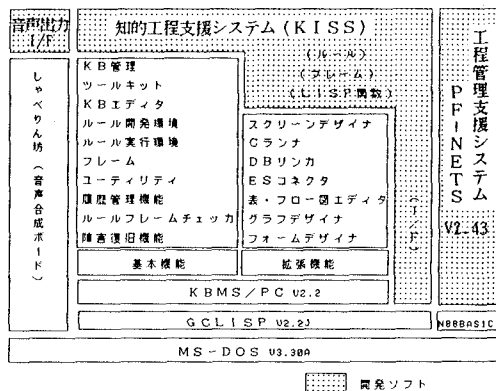


図-8 ソフトウェア構成

のハードディスクを内蔵した32ビット・パソコン(NEC PC-9800RA)に8MBのメモリを増設し、プリンター、プロッター、NTT製の音声合成ボード“しゃべりん坊™”、スピーカーを加えたハードウ

ェア構成とした。ただし、本システムのデリバリに当たっては、より簡易なハードウェア環境で稼働できる。

(2) 開発の概要

本システムのソフトウェアの構成を図-8に示す。ここでは、①音声出力のためにC言語で作成したインターフェイス・プログラム(I/F)、②KBMS/PCとGCLISP上で稼働するプログラム(KISS)、および③N88BASICでコンパイルされた既存プログラム(PF-NETS)の3つの部分で構成される。この中で②のKISSが知識ベース・システムとして中核となるが、ここではルールセット数9、ルール数67、クラス数27種類、リスブ関数11,886ステップに及んだ。本システムの処理の流れを図-9に示す。

また、本システムの開発に当たってはオブジェクト指向プログラミングの考え方を積極的に取り入れた。つまりルールやフレームの利用は勿論のことメソッド(method)やトリガー(trigger)などの付加手続(attached procedures)を多用し、知識の独立性を極力高くすることに努めた。何故ならば、本システムが対象とするような悪構造問題(ill-structured

5. 適用実験と今後の課題

本システムの有効性を検証する目的で、丘陵地に計画された高速道路のインターチェンジ工事を想定し、これを事例として本システムの適用実験を行った。図-13に当工事の全体図を示す。

(1) 適用モデル工事の概要

工事の種類は高架橋式高速道路のRC下部工であり、本線部と2カ所のランプ部に、単柱式橋脚11基、門型橋脚3基、逆T型橋脚2基、杭基礎92本のRC構造物を構築する(図-13)。

(2) 適用結果

図-14に、本システムを適用した結果作成された工程計画図を示す。この計画は、作業数342、順序関係数429のネットワークからなるが、これ等のデータの全てがKISSで作成されたわけではなく、足りない作業や順序関係はPF-NETSで追加している。

しかし、本システムを適用する事によって、従来のPF-NETS 単独利用と比較して、データ入力作業は格段に早く、また容易に出来るようになった。

また、音声コンサルティング機能により、本システムの利用に当たっては、入力手順や入力項目の選定などにあまり注意を払う必要がなくなった

ため、入力データの間違いや誤操作などのトラブルが、非常に少なくなった。ただし、利用者のあらゆる問い合わせに答えるのには、相当な知識の蓄積が必要であり、非常に限られた範囲での応答しか出来ないのが現状である。

(3) 今後の課題

先ほども述べたように、今回のシステム開発に当たっては、オブジェクト指向を強く意識したが、シングルタスクのOSであるMS-DOSの限界から、マルチウィンドウが利用できずに、主にI/F部分の開発において強い制約を受けた。これはパソコン利用の限界とも考えられるので、今後の開発ではEWSの利用を検討したいと考えている。

また、作業の所要日数の決定に当たっては、作業量や歩掛り、それに投入資源数を推定する必要があるが、これ等の数量決定には、種々の要因の影響を総合的に考慮しなければならない。当然、これ等の情報には曖昧なものが多く存在するので、所要日数の推定は非常に難しい問題である。

今回のシステム開発では、以上の点に関しては知識の蓄積が不十分で、それほど精度の高い推定は出来ない。推定モデルの検討も含めて、知識の蓄積が今後の課題と考える。

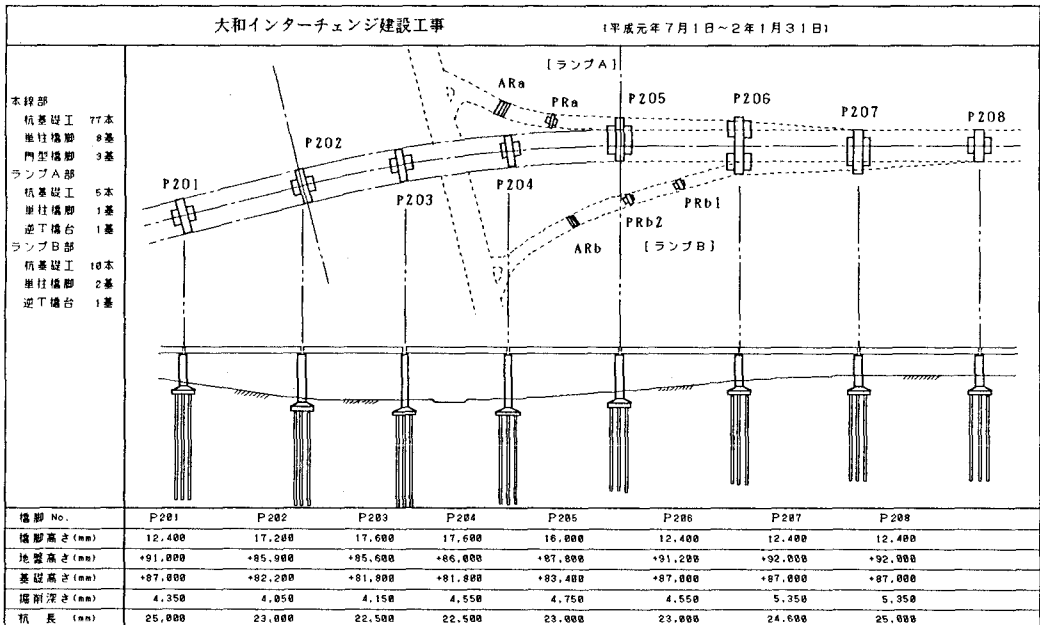


図-13 適用モデル工事

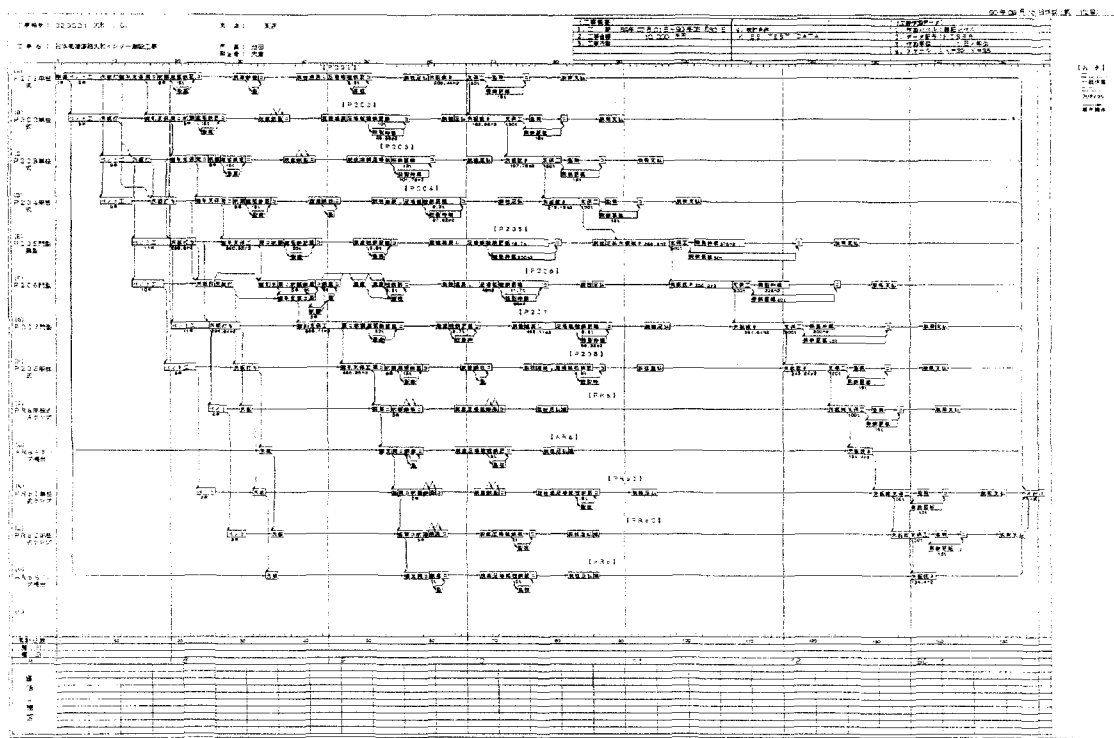


図-14 知的工程計画支援システムにより作成された工程計画図

以上のように、工程計画に関する知識は多種多様で、これ等を完全に蓄積することは不可能に近いが、構造物の形式の追加や計画化知識の蓄積や洗練化は、過去の工事事例との照合やヒヤリング調査等により、今後とも継続して行っていく予定である。

6. おわりに

今回のシステム開発では、これまでにあまり例のない、工程ネットワークを生成するという計画型知識ベース・システムであったために、計画データの詳細な推論というよりは、計画立案モデルを確立し、知識ベース・システム内に組み込む事を重点的に行った。今後は、より詳細な経験的知識の収集と蓄積に研究の重点を移し、より精度の高い計画が立案できるようにしたいと考えている。

最後に、受託研究員として京都大学に在学中(1984~86)より本研究に至るまで、常にご指導いただいた吉川和広教授(京都大学)、春名 攻教授(立命館大学)、山本幸司教授(名古屋工業大学)に謝意を表する。

【 参 考 文 献 】

- 1) 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No.391/VI-8、1988.03
- 2) 池田将明：知識工学手法を適用した工程計画立案方法に関する研究、土木計画学研究・論文集No.7、1989.11
- 3) 春名 攻、田坂隆一郎：工事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、1981
- 4) 折田利昭：工程計画におけるWBSの活用、第3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、1985.11
- 5) Tate, A.: Generating Project Network、Proceeding of 5th IJCAI、1977
- 6) Hendrickson, C. et al.: Expert System for Construction Planning, Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, vol.1, No.4, 1987
- 7) Navinchandra, D., et al.: GHOST : Project Network Generator, Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, vol.2, No.3, 1988
- 8) 嘉納成男：工程計画におけるエキスパートシステム、計画の推論方法とそのアルゴリズム、第4回建築生産と管理技術シンポジウム、日本建築学会、1988
- 9) 佐野可寸志、島崎敏一：AI手法を用いた工程計画支援システム、第7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、1989.12