

(II-2) 工程計画作成支援システムについての考察

NOTES ON THE AUTOMATIC GENERATION OF CONSTRUCTION SCHEDULES.

(株)フジタ 大崎康生

By Yasuo OSAKI

プロジェクトが大規模・複雑化になるにつれ、緻密でかつ高度な管理システムが要求される。特に、工程計画においては、短時間にタイミングよく効率的な意思決定支援ができるための科学的な計画・管理技法が必要とされる。本システムは、プロジェクトの工程計画策定の省力化と管理精度の統一化を目的として、CPMネットワークの自動生成（無人化を目標）を試みた。システムの概略は、施工手順計画を知識ベース上に再現するため施工のセグメンテーション（施工制約の生成）を構築、コンポーネント（基本作業の集積）を合成しネットワーク工程表《プリ・プロセッサ》を自動的に作ることが狙いである。

【キーワード】現場マネジメント、PERT、CPM、エキスパートシステム

1. はじめに

ネットワーク管理手法を用いてプロジェクト管理を推進する場合、計画の策定者は常にマニュアルによるネットワークの作業手順（プリシデンス・ロジック）を準備する必要がある。プロジェクトの規模が大きくなるにつれ、これらの入力データの作成および更新の作業はしばしば膨大なものとなる。ともすれば、ネットワーク管理手法そのものの拒否反応を生じさせかねない。

本システムは、ネットワーク管理手法の適用を促進するため、ネットワークの工程計画を極力自動化することを試みたものであり、その目標とするところは、1) 短時間に計画を作る、2) 管理レベル（階層化）と管理精度を統一する、3) 工程の標準化をはかる、4) 工程計画策定の専門家（的）知識を知識ベース上に構築しておく、などである。

本システムの対象とする範疇は、直接工事、間接工事（共通仮設工事を含む）、工事経費であり、工程がいわゆる「矢線上に載るもの」を対象とするが一般仮設工事（指定仮設工事は対象とする）については原則として除外する。また、特記仕様書については、必要条件を追加・修正（個別に計画を行い、後に編集段階で追加）する。

施工環境条件（施工手順）の構築（以下、総称してセグメンテーションと呼ぶ）は、図面や施工仕様書（工事スペック）などの必要資料を基に必要知識を整理、またすでに知識ベースに登録されている施工（メタ）知識等を参照しながら、推論メカニズム

*コムテック 03-5474-3272

（施工の順序づけシミュレーション）より、プロジェクトのセグメンテーションを構築する。

ネットワークを構成するコンポーネントの合成は施工のスケジューリング計画を基にブレイクダウンに従って自動生成を行うが、完全に自動化できる範囲は限られるので、最終的には編集作業（新アクティビティの追加・修正、コンポーネントの組み替え）が必要となる。（完全にサイクルが決まっている場合は必要ないが、選択肢が何通りもある場合には編集作業が必要）

本システムは、できるだけ標準的な工程（サブ・ネットワーク）はコンポーネントとして登録しておき、プロジェクトの工程（例えば、道路工事）に関する過去の施工知識からプロジェクトの施工計画（スケジュール計画）を作成しネットワークを自動生成する。

2. プロジェクト・モデルのデザイン

プロジェクトの計画と管理を効果的に記述するために、次のようなモデル構造を定義する。（参7）

プロジェクト・モデルは、

■ブレイクダウン（階層化）

■コンポーネント（基本作業の集積）

■基本作業（PEC）

（Primitive Element of Construction）

■アクティビティ

の4つの概念より構成し、プロジェクトを遂行する仕事（以下、ワークタスクと呼ぶ）は、次の1～4の過程で実行される。

1) プロジェクトの対象系(同様な対象グループ)を予算項目(BudgetItems)によって評価(価格づけ)されたワークタスクのコンポーネント(構成要素)を定義する。

2) 問題となるワークタスクを同定する。

3) 関係する各次元において測定(コスト)する。

4) これらの各ワークタスクに対する数量積算を実施する。

ブレイクダウンは、ワークタスクを階層別に分解してコンポーネント群を組み立てる。(基礎工、下部構造、上部構造など)

ブレイクダウンは、そのプロジェクトに関連する分解構造をいくつでも表すことができ、作業単位《ワーク・パッケージを同定》による細分化した分解構造の定義は、コスト・コントロール(C/SCSC基準: DOD7000.2/DOD7000.10、MIL-STD881A)の実施では特に重要である。

基本作業の定義は、1つの特定の作業グループによって遂行されるタスクを記述するオブジェクトであり、タスクの範囲は完全に1つのスケジュールをもったアクティビティで、少なくとも同定可能な仕

事の物理的対象と関係づけるものである。

基本作業は、予算項目によって代表されるワークタスクがアクティビティに割り当てられたときに発生する。基本作業は、《コンポーネント》・《アクティビティ》・《予算項目》の階層間のタイム・コントロールとコスト・コントロールの情報のインタフェースを行う共通部分(プロトコル)として存在する。

3. ネットワークのインタフェース処理

ネットワークの合成過程は、基本作業のアクティビティ(サブ・ネットワーク)をいくつか集めるインタフェース処理によって行う。

1) サマライズ処理 (Summarization)

指定した意思決定イベント、マイルストーン・イベント、特別(SPECIAL)イベントをリンク(連鎖)してネットワークをサマライズする。

2) ハンモック処理 (Hammock Summarization)

2つの異なったサブ・ネットワーク間の指定イベント同士をリンクする。

本システムは、以下の5段階より構成する。

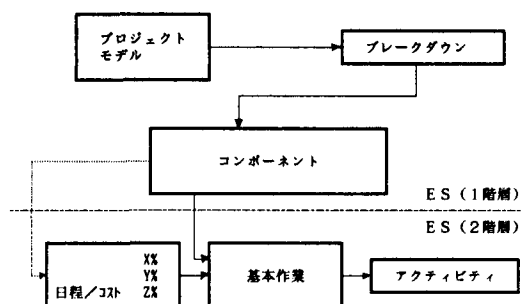


図-1 プロジェクト・モデルの構築

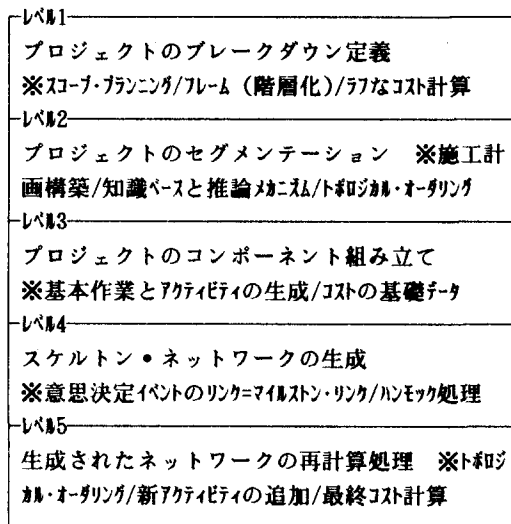


図-3 システムの全体構成(レベル1-5)

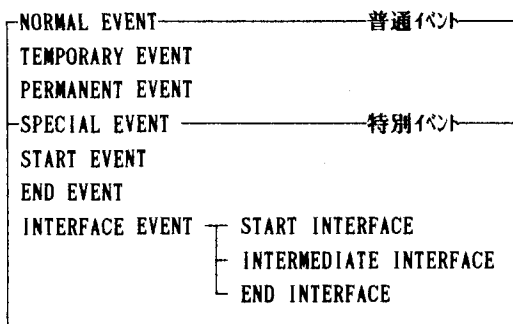


図-2 インタフェース・イベントの種類

4. 知識ベースとネットワークの生成

建設のプロジェクトは極めて不規則性に富んだものであり、システムの定形のできる範囲は少ないが工種によっては規則性があり定形化の高いものがある。建築工事では、集合住宅、超高層、工場建設など、土木工事では、トンネル工事、シールド工事、

橋梁工事（長大スパン、計画によっては規則性がある）PC工法などがある。

一般的に、土木工事では工法や仮設・施工手順・段取り・地形などによって相違があるのが常でありおよそ同一の工程、システムは極めて少ないのが特色である。

しかしながら、ネットワークの組み立てそのものを分析してみると、個々の〈サブ〉ネットワークの要素は類似の要求をもつ可能性が高く（傾向があり）、大半が類似した定義および実行手続きの集合によってネットワークが形成されていることが多い。

ネットワーク・スケジューリングは、アクティビティの集合による図形的な順序関係（プレジデンス

・ロジック）をもつ。これらの順序関係はアクティビティの連鎖によって表現されている。そこで、ネットワークの結合イベントとアクティビティのブロックの優先順位に知識ルールを適用し、土木工事の工程の順序づけを知識ベース上に構築する。

基本作業の知識ベース登録例は、次のとおりである。

《コンポーネントの構築例》

変更の発生を念頭におき、管理しやすいサブ・ネットワークに要約する。重要（マイルストーン）イベントは、管理要素の強調、すなわち型枠の回転や重機械の転用など、資源類の転用に関する重要な意思決定イベントとして登録する。

《知識ベース上の登録例》

知識の登録：道路工事・土工事において、カルバートを2連施工後、盛土で転圧する工事。

施工手順：作業区を自動分割し、Aの盛土を行い、適当なレベルに達したらBの盛土を行い、転圧を行ってCの盛土を行う。

以上のように、一定の施工の基本作業手順が、順序関係として定義されており、知識ベースからの検索時には図形の順序関係が画面に表示できるように登録する。日程データは、標準日程を指定しておく。

①イベント・ルール

特定イベントの実行の優先度。例えば、型枠イベントは常にコンクリート打設イベントに優先する。

②ブロック・ルール

特定のブロックの優先度。例えば、アクティビティの掘削工ブロックはアクティビティの基礎工ブロックに優先する。

③メタ・ルール

登録されている知識利用のルール。

④意思決定イベント・ルール

個々のルールは、特定（あるいは異なった）意思決定イベントによって表される。

例：仕事の連鎖（CHAINS）の方法、仕事の連続（SEQUENTIAL CHAINS）的な連鎖の決定、連鎖の省略、連鎖の繰り返しなどのルール。

表-1 ネットワーク図形の知識ルール（参6）

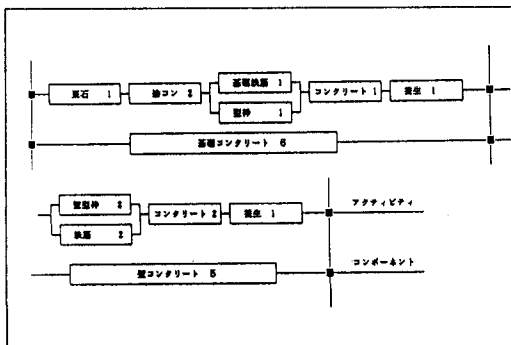


図-4 コンポーネント構築・工程図形の知識例

知識・工程図形：道路工事／土工事／カルバート工＝2連／盛土／転圧

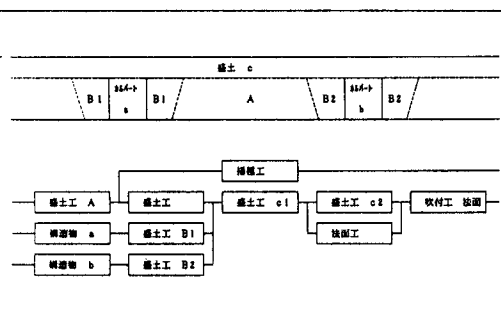


図-5 知識ベースの登録例（土工事）

5. 施工環境の構築とスケジュール計画

プロジェクトの施工手順条件の設定は、多分に計画策定者の経験と主観に基づいて行われる。

施工環境のセグメンテーションは、プロジェクトの構造・施工の順序関係を適切に表現するための知識を整理・要約する。《構造を明確にし、階層のブレークダウンを定義》、《コンポーネントのもつ機

能を十分に解釈》、《施工工区と資源の配分・転用》を適切に抽出しながら、施工条件の知識データを整理する。

スケジュール計画の策定プロセスは、

1) プロジェクト初期設定

- 管理区分=ブレイクダウン
- 工区分=サイトレベル
- 工事のシステム・グループ区分=コンポーネントレベル
- 工事種別区分=基本作業レベル
- ワークタスク区分=作業アクティビティ

について諸条件を入力する。同時に、これらの施工順位・手順および設備など諸条件を入力する。

2) サブ・セグメンテーションの作成

工区単位にスケジュールを作成する。

3) サブ・セグメンテーションの重ね合わせ

プロジェクトの全工区のスケジュールを重ね合わせ、知識ルール・テーブルより施工のメタ・ルールを参照しながら知識を自動リンクし大まかなスケルトンを作成する。(インタフェース、マイルストーンに注意する)

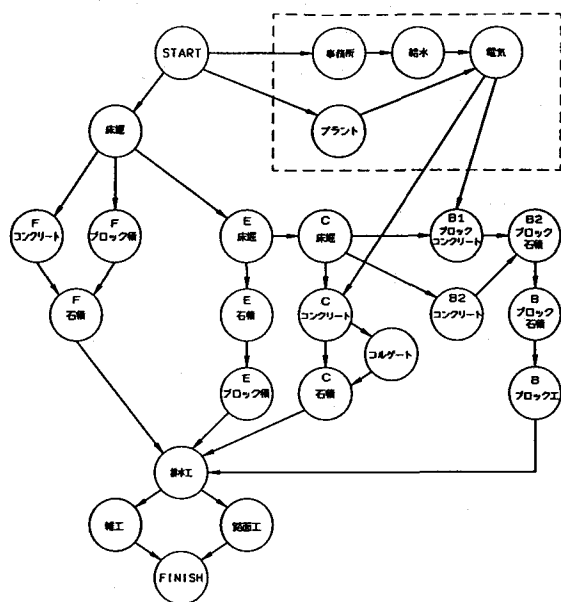


図-6 施工計画スケルトンの因果関係

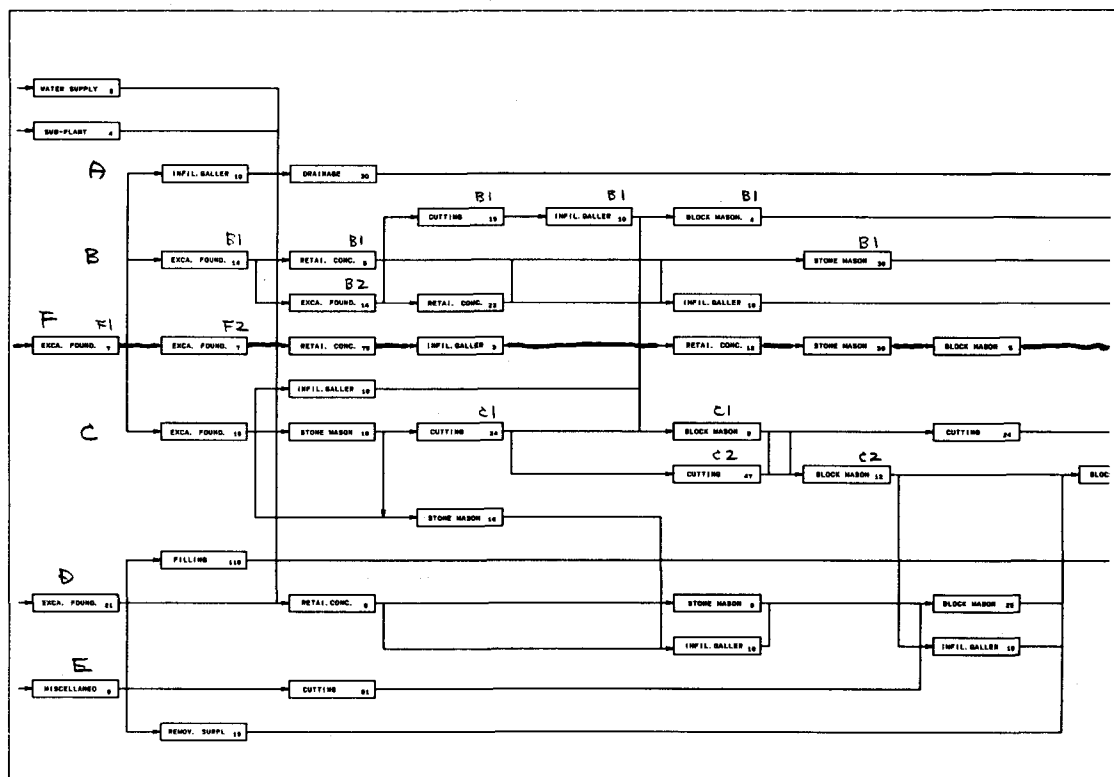


図-7 生成されたネットワーク工程図

4) 工程シミュレーションの実施
シミュレーションを繰り返し、
いくつかの例より最適プランを選
択し、スケルトンの因果関係を微
調整する。

5) マニュアルによる修正作業
作成された、スケルトンの因果
関係をチェックし工区割りと各コ
ンポーネントとのリンク結果を総
合的に判断し、修正作業を繰り返
す。

全ての施工手順に対応するルー
ルを記述すると膨大になるので、
これらの判断は人間に任せること
にし最小限のルールにとどめた。
そのため、施工知識とネットワー
ク図形の知識ルールのみを利用し
スケルトンを作り、不都合や矛盾
する部分は、最終段階でマニュアル修正する。

6. ネットワーク工程図の自動生成

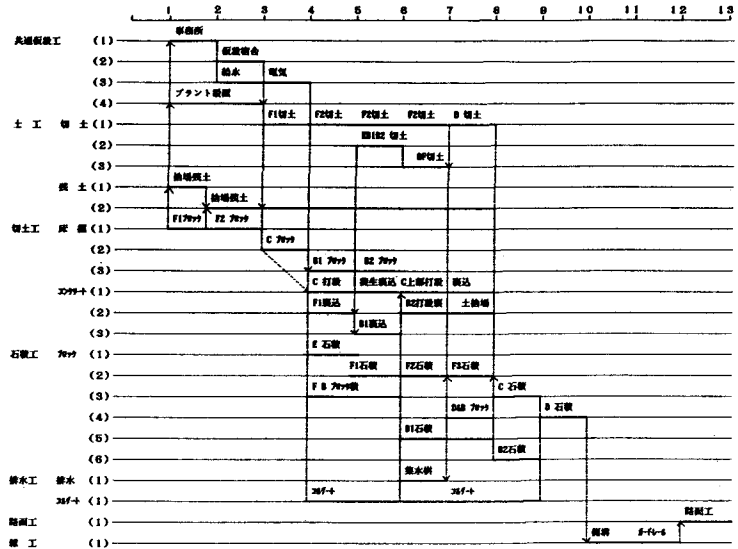
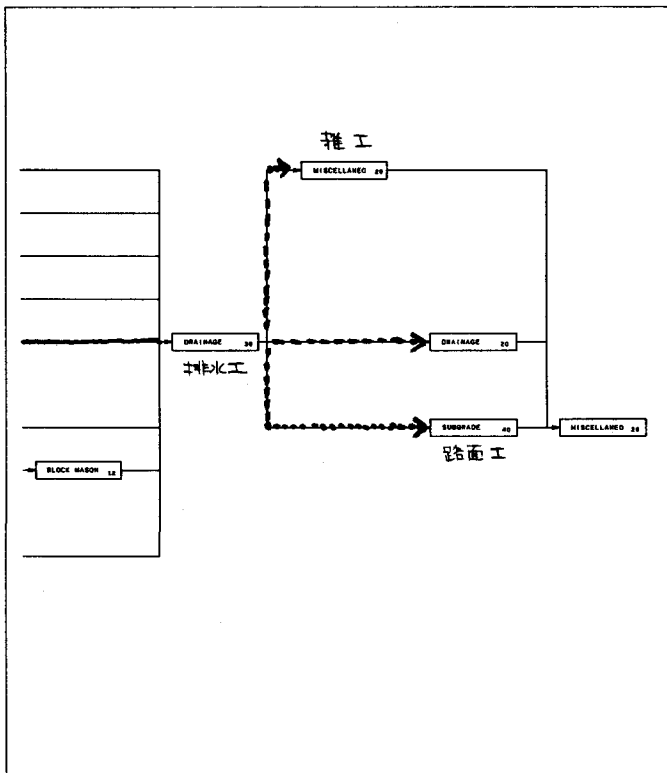


図-8 スケジュール計画

基本パターンはF工区(図-7)の形であり、こ
の工区別の繰り返しである。工区分けは測定基準と
したが、施工手順はサイクルの繰り返しと、工程管
理上、並行作業によるネットワークから
構成されており、しかも各工区はグ
ループ化もしくはブロック化によるコ
ンポーネントの合成になっている。
(それぞれのプリミティブなタスクの
繰り返しは、基本形と同じ)

全体の合成工程は、第一段階でテス
トアップ的に作成し(スケルトンの因
果関係)、重機類・仮設材転用計画(
数量等による制限条件がある)によっ
て手順を再構築する。

最後の排水工は、全ての工程の合成
作業が完了したときに新規につけ加え
た。雑工および路面工も推論より生成
できないので、同様に追加作業を要し
た。

なお、仮設は推論エンジンからは生成
不可能なので、仮設計画が完了してか
らコンポーネントおよびタスクを構築
し、最終段階でつけ加える。

図-7のネットワーク生成例は、プ
ロジェクトが小規模(道路改良工事)
なのと、路盤の基本作業形が工区ごと
に並行であったため、ほぼ満足のいく
生成結果である。

7. 今後の課題

セグメンテーションのモデル化は、プロジェクトが複雑になると（構造物や橋梁などが加わる、工区も延長が長くなる、細分化も必要）因果関係も複雑になり、スケジュール計画の推論過程（知識のリンク・ルールの選択方法）が非常に複雑になる。特に仮設材の転用計画については、かなり制限要素が加わってくるので、いわゆるエキスパートシステムとしてのヒューリスティックな選択手法を推論方式の中に加えないと極めてデータベースが複雑になる。

しかしながら、非決定論的な修正作業が増えると本来の目的の自動化は十分に達成できなくなる。

セグメンテーションの自動推論は、相当に詳細な施工知識データの蓄積と知的支援が必要となる。

対象とするプロジェクトがどのような規模（レベル）の情報を必要としているかを推論システムが判断する必要があるため、かなり大規模な知識ベースの構築が要求される。

知的支援システムの構築は、詳細な施工知識データの蓄積とソーティングの検索方法によっては、かなりの効率的な支援システムが開発可能である。

階層別のエキスパートシステム開発例としては、

・1階層のES

通常のコンポーネントレベルの知識ルールを選択する支援システムのための知識データベース構築。

シミュレーションの実行により、より合理的なシステムを選択するための知識ベースの構築とプロジェクトの規模と施工状況によって組み合わせを選択する推論展開が必要となる。

・2階層のES

タスクによる最小作業単位（ほとんど変化のないプリミティブな作業）の知識ルールの選択と1階層からの推論結果にリンクする支援システムの構築。

この場合でも、エキスパートシステムの根底にある知識データベースの広範囲な知識が準備されていなければならない。

これらの階層別エキスパートシステムが有機的に機能すれば、かなりの自由度のあるネットワーク工程計画の無人化を実現することができる。

8. おわりに

1) モジュール型の計画管理手法の実現

コンポーネントで規定する基本作業の合成は、既にインタフェースが決定されておりかなりハードなシステムとなっている。従来型のプレジデンス型で

もアロー型でもない、将来の理想とする（絶えず工程の変化を独立的に修正可能な）モジュール型によるプロジェクト管理方式が要求される。モジュールは、作業手順の工数データと制限された資材および重機械類の転用計画などの情報がインクルードされて機能しており、完全なモジュール型によるネットワーク管理技法を実現することにより、コンピュータによって簡単に進捗管理が可能となる。モジュール型の導入こそオブジェクト指向によるネットワーク・システムを実現するもので、コンピュータにより現実のリアリティを把握することができる。

2) 既存PMSソフトウェアとの接点は？

ネットワークの修正作業が多くなると、自動化率が大幅に下がることになり、それなら既存のPMSソフトのネットワーク作図ソフトを利用したほうがはるかに早く、実用的でかつ生産性も高い。

最近では、WBSや標準ネットワークの設定からネットワークを自動的に書くソフトウェアが市販されており、例えば、P3 (PRIMAVERA)のPENGUINやPROJECAD (KELAR CORP.) などを使用すれば、スピーディにネットワーク工程表を作ることができ、実用性も高い。

X-PERT (参6) は、建設工事に共通的な工程 (COMMON CONSTRUCTION WORK) に限定し自動生成するもので、結果はICESのPROJECT/I-80に転送している。

【参考文献】

- 1) Adele Goldberg, "Object-Oriented Project Management", TECHNOLOGY OF OBJECT-ORIENTED LANGUAGES AND SYSTEMS, TOOLS4, PRINTICE HALL
- 2) R.G.G. Cattel, "OBJECT DATA MANAGEMENT", Addison Wesley
- 3) Gwen Lowery, "Managing Projects with Microsoft Project for Windows", Van Nostrand Reinhold
- 4) H. Crai Howard, "Linking Design Data with Knowledge-Based Construction Systems", CIFE, Spring Symposium, Stanford University, March, 1991
- 5) Osama Moselhi and Matthew J. Nicholas, "QUANTIFICATION OF IMPACT COSTS: A KNOWLEDGE-BASED APPROACH", PMI Seminar/Symposium, CALGARY, ALBERTA, 1990
- 6) Edmond Miresco, "COMBINING A MICROCOMPUTER PROJECT MANAGEMENT SYSTEM WITH AN EXPERT SYSTEM FOR CONSTRUCTION SCHEDULING", THE 4TH ICCCB, July, 1991, TOKYO
- 7) F. Grobler, S. Kim, L.T. Boyer, "The SUPR Model: A New Common Project Language", PMI Seminar/Symposium, ATLANTA, 1990
- 8) Adedeji B. Badiru, and Dary E. Whitehouse, "Computer Tools, Models and Techniques for FOR PROJECT MANAGEMENT", TAB Professional and Reference Books
- 9) IBM User's Guide, CIPREC/Graphic Services, 5787-GAF