

工業化構工法選択システムの開発

—その1. RC造を対象としたプロトタイプ—

工藤 康 幸 * 白石 憲 治
** 山 浦 一 郎

要 旨

近年、多くの工業化工法が開発されているが、在来工法に比し採用される例が少ない。これは、Q、C、D、Sについて総合的評価手法が確立していないためなどの様な情報がいつ必要になるかが明確になっていないためである。また、建築生産プロセスの上流において広範情報を短時間に検討しなければならないことも大きな阻害要因である。

本開発では、特に工期とコストを評価指標として、最適な構工法を短時間に選択する実務支援システムの開発を目指し、プロトタイプとしてRC造・純ラーメンを対象としたシステムの開発を行った。このシステムは、入力条件、スクリーニング、構法計画、工法計画、シミュレーション、最適構工法リスト表示の機能で構成されている。ハードウェアにはEWSを、ソフトウェアにはエキスパートシステム構築支援ツールを使用し、ユーザの意向が反映できる様に、対話形式で計画されている。

1. まえがき

近年、プレキャスト化構工法に代表される数多くの工業化構工法が開発され建築の生産性向上に寄与している。しかし、工業化構工法は在来工法に比べ採用される例が少ない。これは、新しい構工法を適用する場合のアプローチの方法やQ：品質，C：コスト，D：工期，S：安全性についての総合的評価手法が確立していないためである。また、構工法の採否の判断は、設計・施工計画の初期段階において、設計・積算・施工の各担当者の知識を集約し、短期間で広範な検討を行わねばならないことも採用を阻害する因子の一つである。よって、工業化構工法の普及には、マニュアル等の整備が必要であり、さらにそれらの多種多様な知識情報を迅速に処理するためにはコンピュータ化が不可欠であると考える。

本開発は、特に工期とコストを評価指標とし、建築物の各種と条件に合った最適な構工法を選択する実務支援システムの構築を目指している。

本報は、鉄筋コンクリート造の地上階躯体工事を対象として開発した本システムのプロトタイプの概要と検証結果について述べるものである。

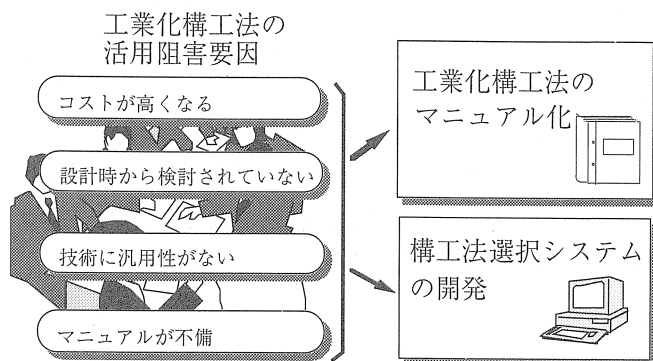
2. 開発概要

本開発では、設計・施工計画の初期段階における構工法選択業務に資するツールの構築を目的とした。具体的には、工業化構工法を適用した上部躯体工事を対象と

し、建物と条件に合った部位別の構工法の組み合わせを行い、それらについて総合評価できる実務支援システムの確立を最終目的とした。

工業化構工法は、RC造をはじめSRC造、混合構造まで広範に開発されており、建物諸条件によって採用する構造形式や架構形式は多種多様である。さらに、建物の構工法計画は、膨大な数の部位ごとの構工法の組み合わせについて、工期計算、コスト計算等のシミュレーションを実施しなければならず、当初から全ての構造形式、用途等についてシステムを製作するのは合理的でない。

そこで、開発手法は先ず対象範囲を限定したプロトタイプを開発し、その検証を実施しながら開発の方向性を探り、システムを実用に供する範囲まで段階的に拡張して行くプロトタイプング手法を採った。



図一 構工法選択システム概念

3. RC造を対象としたプロトタイプ

3.1 対象範囲

前述のように、システムを効率的に構築するために、プロトタイプでは開発範囲を構工法が比較的多いRC造に限定した。用途として住宅、商業施設を、架構形式として純ラーメン構造を対象とした。

3.2 評価指標

構工法の評価に当っては、Q、C、D、S以外にも施工環境等多くの指標があるが、プロトタイプにおいては建築の生産性評価の観点から工期とコストを主な指標とした。

3.3 開発プラットフォーム

開発プラットフォームの概要を表-1に示す。ハードウェアは、開発の迅速性および将来の拡張性を考慮し、EWSを用いた。

ソフトウェアにはエキスパートシステム構築支援ツール（以下ESツールと略す）を使用した。今回採用したESツールは、オブジェクト指向により静的な知識を階層的に格納するフレーム部と黑板モデルにより協調的推論を可能とするルール部を併せもつハイブリッド型のツールである。また、GUI（グラフィカル・ユーザ・インターフェイス）部分についても本ESツールの機能を用いて作成した。これらにより、プロトタイプは短期間で開発することができた。

表-1 開発プラットフォーム概要

| ハードウェア | | ソフトウェア | |
|--------|-----------|--------|----------------------------|
| マシン | S-4/10M40 | OS | Solaris 1.1 (Sun OS 4.1.3) |
| | メモリ: 32MB | 開発ツール | XPT-II (SPARC版) ver.2.0 |
| | HD: 2GB | | XPT-PROLOG |

3.4 システム全体構成

プロトタイプシステムの全体フローを図-2に示す。本システムの流れは、通常の構工法計画業務に沿ったものとし、建物与条件を入力後、構法計画、工法計画の段階を経て、工期・コストに関するシミュレーションを実施し、構工法にランクを付けて表示するものである。システムは、以下の5つのフェーズから構成され、各段階においてユーザの意向が反映できるように、GUIによる対話形式にて作業が進行するように計画した。

① 条件入力

建物与条件である建物条件（用途、規模等）、設計条件（スパン、階高等の寸法）、施工条件（立地条件、プ

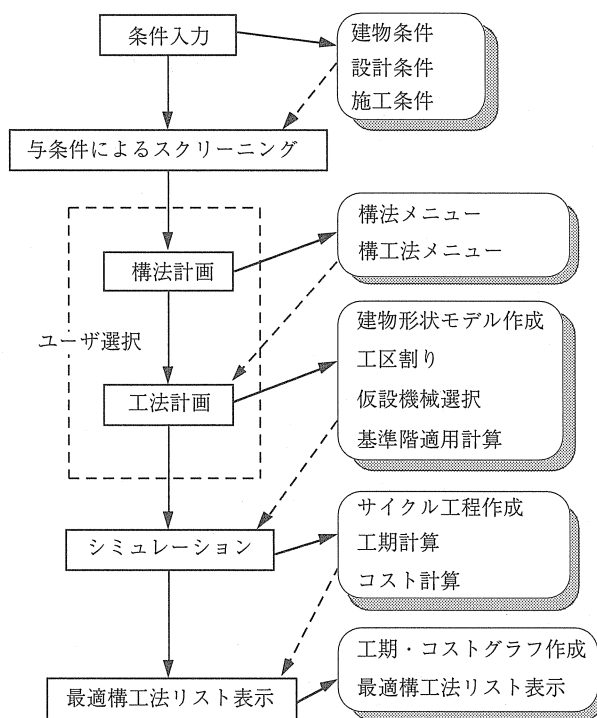


図-2 システム全体フロー

レキャスト化率・工期率・コスト率の目標値等)を入力。

② 構法計画

建物与条件により、適用可能な工業化部材を各部位（柱、大梁、小梁、床、バルコニ）ごとに組み合わせさせた「構法メニュー」を作成・表示する。ここでは、工業化部材としてフルプレキャスト部材、ハーフプレキャスト部材、打込型枠を対象とし、これらにシステム型枠を組み合わせることで構工法の複合化についても検討できるものにした。ユーザは構法メニューの中から次段階の検討を実行する組み合わせ番号を選択し部位ごとに図-3に示す部材形態ツリーの中から任意に部材形態を選択する。システム内部では、構法メニューを細分化し部材形態レベルでの組み合わせを行った「構工法メニュー」を作成表示する（図-4参照）。

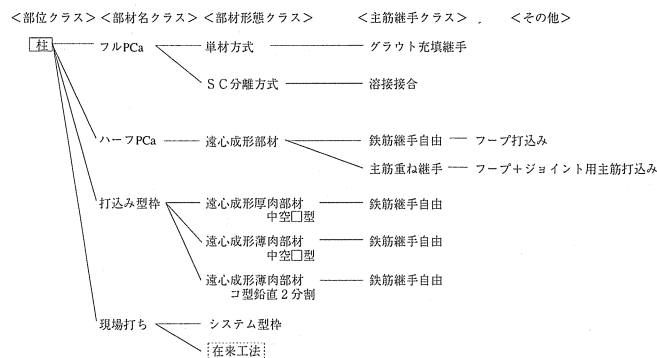


図-3 部材形態ツリー例

| No | 柱 | 大梁 | 小梁 | 床 | バルコニー |
|----|----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | フルPCa 単材方式 | ハーフPCa 両方向直行方式 | ハーフPCa 単材方式 | ハーフPCa 1枚板 | フルPCa — |
| 2 | フルPCa 単材方式 | ハーフPCa 単スパン方式 | ハーフPCa 単材方式 | ハーフPCa 分割板 | ハーフPCa — |
| 3 | 打込型枠 型枠使い | 打込型枠 型枠使い | 打込型枠 型枠使い | ハーフPCa 分割板 | ハーフPCa — |
| 4 | 打込型枠 型枠使い | 現場打ち システム型枠 | 現場打ち システム型枠 | ハーフPCa 分割板 | 現場打ち システム型枠 |
| 5 | 現場打ち システム型枠 | 現場打ち システム型枠 | 現場打ち システム型枠 | 現場打ち システム型枠 | 現場打ち システム型枠 |

図-4 構工法メニュー画面

③ 工法計画

建物平面形状を方形のグリッドに分割することにより「建物形状モデル」を生成し、このモデルにユーザが吹抜け部やバルコニーの割り付けをマウスにより行う。また、モデルを使用して定置式または移動式のクレーン配置計画を同様にマウスにより実施する(図-5参照)。この結果より、②で作成した構工法メニューの全てについて基準階の数量積算、工区割、クレーンの機種選定を行い、構工法メニューを表示し、最終段階まで検討を進める組み合わせをユーザに選択させる。

| No | 柱 | 大梁 | 小梁 | 床 | バルコニー |
|----|--------------|------------------|----------------|---------------|----------------|
| 5 | 打込型枠 型枠使い | ハーフPCa 単スパン方式 | ハーフPCa 単材方式 | ハーフPCa 分割板 | フルPCa フルPCa |

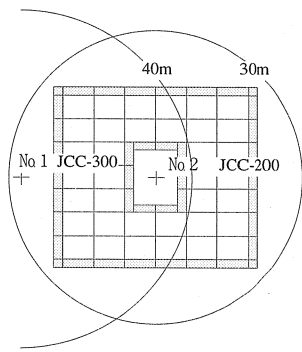


図-5 建物形状モデル

- 建物
 - ・平面形状 長辺：40m 短辺：35m
 - ・スパン数 長辺：6 短辺：7
 - ・平均スパン 長辺：6.7m 短辺：5m
 - ・床面積：1400m²
 - ・グリッド：36グリッド
- クレーン
 - ・定置式：4台 移動式：0台
- 部材数

| 部材数 | 部材数 | 部材数/工区数 |
|--------|-----|---------|
| ・柱 | 54 | 27 |
| ・大梁 | 90 | 45 |
| ・小梁 | 36 | 18 |
| ・床 | 72 | 36 |
| ・バルコニー | 36 | 18 |
| (入隅) | 4 | 2 |
| (出隅) | 4 | 2 |
- クレーン機種選択結果

| No | 設置方式 | 機種 | タワー高さ | ジブ長さ |
|----|------|---------|-------|------|
| 1 | 定置式 | JCC-300 | ----- | 40m |
| 2 | 定置式 | JCC-200 | ----- | 30m |

④ シミュレーション

構工法メニューのうちユーザ選択された構工法について、それぞれ1工区のサイクル工程を立てる。この結果を基に、地上階躯体工事工期計算を行う。また、工業化部材等の材料費、工程計算で算出した人件費、選択されたクレーンのリース料等を地上階躯体工事について総計するコスト計算を行う。この際、選択構工法の比較対象となる在来工法についても、同時に工期・コストの計算を実施する。

⑤ 最適構工法リスト

④の結果により、選択構工法を工期またはコストによりソートし、構工法にランキングを付けたリストを表示する。この部分の付加機能として、在来工法と比較した「プレキャスト化率」・「省力化率」・「工期率」・「コスト率」の計算結果の表示および工期率、コスト率についてのグラフ表示ができるようにした。また、構工法の技術情報として部位別構工法の「設計・施工上の留意点」、工法計画の実施結果である「仮設機械計画図」、「基準階数量積算結果」およびシミュレーションの結果から「サイクル工程表」、「コスト内訳」をユーザが参照できるようにした(図-6参照)。

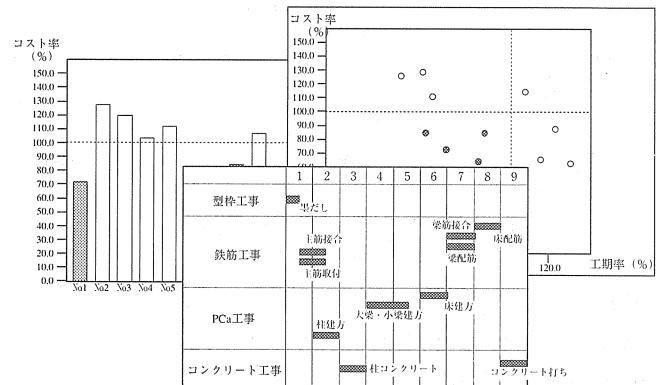


図-6 最適構工法リスト例

3.5 ESツールの適用

① フレーム部

システム内で用いるデータとしては、部位別の各種構工法(関連技術情報、部材形状、重量、数量、歩掛、単価)、サイクル工程パターン、仮設機械(能力、コスト)等があり、これらは数種のフレーム内に階層的に格納することで、サイクル工程計算、基準階のコスト計算等において円滑にデータを獲得できるようにした。主なフレームとその格納データを表-2に示す。

表-2 フレーム部概要

| フレーム名称 | 格納データ |
|----------|--|
| 架橋形式フレーム | 技術文章, 構工法文章, 構工法概念図, 部位構成, 施工順序, 架橋形式コード |
| 部材形態フレーム | 部材重量計算式, 部材形状図, 要素作業コード, 荷重条件, 適用スパン, 技術文章 |
| 工法フレーム | 工程算出用数量, 金額算出用数量, 歩掛, 重複条件, 実行条件, 施工人員構成 |
| 仮設機械フレーム | 設置方式, 基本料, リース料, 能力, 最高高さ |

② ルール部

建物と条件による工業化部材のスクリーニングと組み合わせ、工区割、クレーンの能力検証およびサイクル工程計画は、知識をルール化して持たせることで対応した。特に、サイクル工程を立てる場合、イベントの開始・終了条件をルール化することで、各イベント間の関係を考慮した工程表が作成できるようにした(図-7参照)。

| | | | | | | | | | |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 型枠工事 | ■ | ■ | | | | | | | |
| 鉄筋工事 | | ■ | | | | | | | |
| | | ■ | | | | | | | |
| PCa工事 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| コンクリート工事 | | | | | | | | | |

図-7 サイクル工程表示画面

③ GUI

クレーンの配置計画については、GUIによりユーザーが定置式または移動式のクレーンを建物からの離れを考慮した任意の場所にマウス操作で配置できるように工夫した。また、クレーン能力検証(吊り荷重と作業半径の関係)については、作業半径内の全ての箇所について検証するには多くの時間を要するため、ユーザーが指定したクレーンについて「能力検証グリッド」(数カ所)をマウス選択することとし、検証箇所をユーザーに委ねる方法を採用した。

*** 設計条件入力画面 ***

以下の条件に入力して下さい。

【1】設計段階
 設計計画段階 (他社) 設計段階
 設計計画段階の場合) 評定取得期間の有無
 あり なし

【5】断面の変更
 柱断面のフカシが可能か
 はい いいえ 不明
 (いいえの場合) 柱断面の縮小設計は可能か
 はい いいえ 不明
 面のフカシは可能か
 はい いいえ 不明

*** 設計条件入力画面2 ***

以下の設計条件に入力して下さい。

標準部材断面寸法

柱幅 短辺方向 (CX)

柱幅 長辺方向 (CY)

大梁幅 (B) m

大梁せい (D) m

小梁幅 (b) m

小梁せい (d) m

スラブ厚 (tS) m

壁厚 (tW) m

バルコニーの出 (LC)

*** 建物条件入力画面 ***

以下の建物条件を入力して下さい。

【1】用途
 住宅 商業施設 物流施設
 工場 事務所 その他

【2】建物形状
 平面形状: 短辺 m
 長辺 m
 高さ: 最高高さ m
 軒高 m

【3】階数
 地下: 階
 地上: 階
 塔屋: 階
 工業化適用階 階 ~ 階
 在来工法適用階 階 ~ 階

【4】面積
 敷地面積: m²
 延床面積: m² 非住上↑
 基準階面積: m²
 在来工法面積: m²

【5】要求工期 年 月

【6】予算
 請負金額: 千円
 元積金額: 千円

【7】建設地
 東京都
 千葉県
 千葉県
 その他

図-8 条件入力画面

4. プロトタイプの検証

ここでは、住宅、商業施設の既設物件数ケースを対象に、プロトタイプシステムを稼働させたテストランの1ケース結果とシステム検証結果を述べる。

4.1 テストラン (商業施設)

1) テストラン概要

① 建物と条件

対象物件となる建物は、長辺方向128m、短辺方向106m、地上5階建て、スパン8~9mの郊外型の大規模商業施設である。(図-8参照)

② 構法計画

構法計画では、建物と条件によるスクリーニングにより、50通りの構法メニューがシステム選択され、ユーザー意向により10通りの構法メニューの選択となり、さらに各部位毎に細分化された部材形態の組合せである構工法メニュー10通りの選択がなされた。

| No | 柱 | 大梁 | 小梁 | 床 | バルコニー |
|----|------------------|------------------|----------------|-------------------------|----------|
| 1 | ハーフPCa 遠心成形部材 | ハーフPCa 単スパン方式 | ハーフPCa 単材方式 | ハーフPCa 平板分割板 | なし なし |
| 2 | ハーフPCa 遠心成形部材 | ハーフPCa 単スパン方式 | なし | PS導入ハーフPCa チャンネル型分割板 | なし なし |
| 3 | 打込み型枠 遠心成形厚肉 | ハーフPCa 単スパン方式 | なし | PS導入ハーフPCa チャンネル型分割板 | なし なし |
| 4 | 打込み型枠 遠心成形薄肉 | 打込み型枠 - | 打込み型枠 - | スラブ筋合成デッキ 後施工あり | なし なし |
| 6 | 打込み型枠 遠心成形厚肉 | 打込み型枠 - | なし | PS導入ハーフPCa 平板分割板 | なし なし |
| 7 | 打込み型枠 遠心成形薄肉 | 現場打ち システム型枠 | なし | PS導入ハーフPCa チャンネル型分割板 | なし なし |
| 8 | 現場打ち システム型枠 | 打込み型枠 - | 打込み型枠 - | ハーフPCa 平板分割板 | なし なし |
| 9 | 現場打ち システム型枠 | 現場打ち システム型枠 | 現場打ち システム型枠 | 現場打ち システム型枠 | なし なし |
| 10 | 現場打ち システム型枠 | 現場打ち システム型枠 | なし | PS導入ハーフPCa 平板分割板 | なし なし |

図-9 構工法メニュー

③ 工法計画

構法計画で選択された10通りの構工法メニュー全てについて工法計画である揚重機選択、工区割り、数量計算を行った結果、部材重量と作業半径の関係より揚重機が選択されない組み合わせも生じた。ここで、揚重機の設置位置や設置台数の変更を行い揚重機が選択可能になる方法と、この組み合わせを削除する方法があるが、今回は後者の方法を採用し、残る9通りを最終段階であるシミュレーションまで実施することとした(図-9参照)。

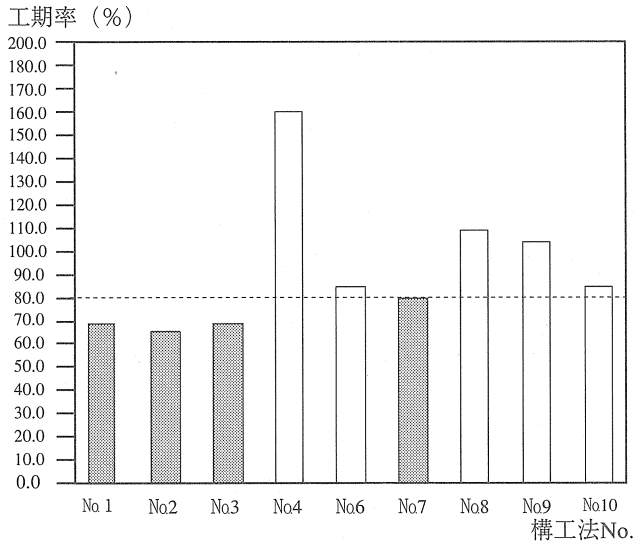


図-10 工期比較グラフ

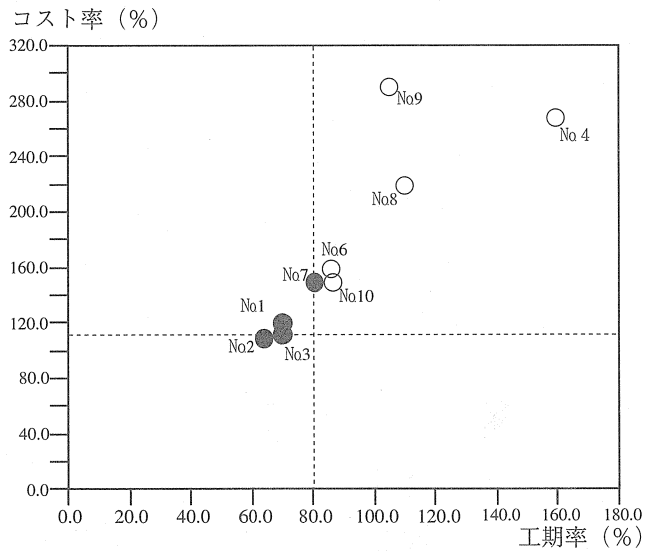


図-11 工期・コスト率グラフ

④ 最適構工法リスト表示

シミュレーション結果の工期率、コスト率についてのグラフを図-10と図-11に示す。

2) テストラン結果

① 結果と考察

シミュレーション結果の在来工法を100とした場合の工期・コスト率グラフ(図-11)より、構工法No. 1, 2, 3, 7が条件入力時の工期率設定値を下回り、構工法No. 2がコスト率設定値を下回っていることがわかる。この結果より、工期、コストを構工法選択の指標とすると、共通で存在する構工法No. 2が最適構工法として有力であるといえる。

② 実物件とのデータ比較

今回のテストラン物件で実際に施工した構工法とほぼ

同等であるNo.7と上部躯体工事について実工期、実コストを比較すると、実工期に対しては9ヶ月のところは10ヶ月、実コストに対しては約1.15倍との結果を得た。また、条件入力から最適構工法リストの表示まで所要時間は50分余りであり短時間にて処理できることが確認できた。

4. 2 システム検証結果

1) 構工法計画業務

プロトタイプでは、構法計画を部位ごとの構工法の組み合わせの選択としたが、実際の業務では、ディテールから構工法が決定されることもあり、そのような詳細検討はE Sツールのみでは難しい。そこで、サブシステムとしてCADを取り入れることが必要である。また、工法計画については、クレーンの選択、サイクル工程立案は、実際の業務と大差ない結果となっており、多くの構工法についてそれぞれの工法案を作成するにはコンピュータ化が有効である。

2) E Sツール

今回使用したE Sツールについては、フレーム部、ルール部とも構工法計画に適用することができ、これにより効率的にシステムを稼働させることが可能となった。例えば、フレーム部は部位-部材-部材形態といった階層で技術情報を持たせることで、様々なフェーズからのデータアクセスが可能となった。また、ルール部は先述のようにサイクル工程立案、クレーン選択において有効であった。このように、建築業務においては、特に工法計画にE Sツールが適している。しかし、1)でも述べたように、図面情報のような詳細データを取り扱う場合にはE Sツールのみでは対応できず、他のツールが必要となる。

表-3にプロトタイプのコーディング内容の構成(プログラムの行換算とメモリ換算)を示す。これによると、プログラムの内訳はフレーム部が5割、ルール部が1割、PROLOG述語部が4割であり、データベースとなるフレーム部に多くの容量を要していることがわかる。また、これらのうちGUIの占める割合はメモリ換算で3割弱と、ユーザインターフェイス部分の重要性が認識できる。

表-3 プログラム構成比率

| | 行換算/LINES | | | | メモリ換算/BYTES | | | |
|--------|-----------|--------|-------|-----|-------------|--------|--------|-----|
| | A | B(GUI) | B/A | | A | B(GUI) | B/A | |
| FRAME | 31202 | 55% | 3362 | 11% | 787668 | 49% | 112953 | 14% |
| RULE | 5738 | 10% | - | - | 171640 | 11% | - | - |
| PROLOG | 19484 | 35% | 9468 | 49% | 649917 | 40% | 326631 | 50% |
| TOTAL | 56424 | 100% | 12830 | 23% | 1609225 | 100% | 439584 | 27% |

表-4 作業時間

| 項目 | ケース1 | ケース2 | ケース3 |
|--------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 用途 | 集合住宅 | 集合住宅 | 商業施設 |
| 長辺寸法 | 40.4m | 42.4m | 128m |
| 短辺寸法 | 39.8m | 13.5m | 106m |
| 長辺スパン数 | 8 | 2 | 15 |
| 短辺スパン数 | 8 | 6 | 17 |
| 地上階数 | 32階 | 8階 | 5階 |
| 最高高さ | 101.9m | 23m | 20.5m |
| 階高 | 2.95m | 2.75m | 4.5m |
| 基準階面積 | 1,229m ² | 572.4m ² | 13,568m ² |
| 延床面積 | 48,062m ² | 4,684m ² | 78,432m ² |
| クレーン数 | 2 | 1 | 4 |
| メニュー数 | 10 | 10 | 10 |
| 作業時間 | 40分 | 35分 | 50分 |

3) 作業時間

表-4はモデルケースによるテストランでの作業時間を示す。1構工法当りの作業時間を見ると、ケース1で40分、ケース2で35分、ケース3で50分の結果となり、建物の規模にもよるが、通常2~3人で2日程度の作業を大幅に短縮できていることがわかる。また、プロトタイプではユーザに判断を委ねる部分やユーザが関与する部分を多くしたが、ヒアリングの結果、システムだけに依存せずユーザも同時に思考することは、システムをフルプルーフとしないためにも必要であるという同意を得た。また、このようにAIの限界をユーザが補う工夫がESツールを有効に活用するための一手段でもあると思われる。

5. まとめ

RC造を対象とした工業化構工法選択システムのプロトタイプを製作し、その検証を行った結果、今後の方針として以下の事項が明らかとなった。

- ① 構工法選択システムにESツールを適用することで、煩雑な構工法計画業務を円滑に処理することができ、ツールの妥当性を検証できた。
- ② ESツールは、経験的知識や多様なデータを必要とする工法計画に適しており、今後この方面での活用が期待できる。
- ③ 図面情報等のディテールの検討を行う場合は、CADをベースとしたシステムをサブシステムとして製作する必要がある。

④ プロトタイプでは、GUI部分はシステム全体の3割程度を占めており、このような計画型のシステムにはGUIの構築が重要である。

⑤ プロトタイプでは、単価・歩掛り等の変更が可能ないように、フレーム更新用のエディタを用意しているが、単価の様な定期的な更新を必要とするデータの維持管理が簡単におこなえる様なシステムの構築も今後必要である。

⑥ 将来の方向性としては、構法計画はCADをベースにESツールを組み合わせたサブシステムを、工法計画はRDBMSをベースにESツールとGUIツールを組み合わせたサブシステムを個別に構築し、それらをネットワーク環境で連携させることが考えられる。

今後は、壁の工業化構工法をメニューに盛り込んだシステム構築の要望もあり、今後の開発が必要であると考えるが、このシステムの将来像・目標を見据えたシステムの開発が重要であると考えられる。さらに、プロトタイプの実物件による検証を行い、問題点を抽出し、修正・追加を繰り返すことで実用に供するシステムの確立を図る所存である。

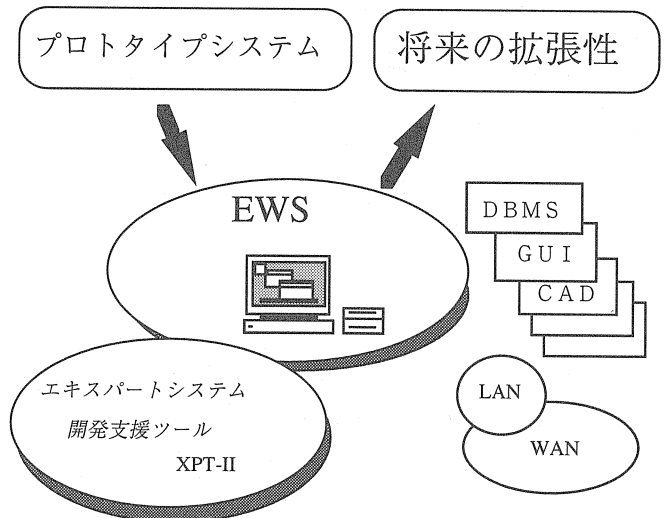


図-12 将来の方向性概念