

施工計画のシステム化に関する研究： ハイパーテキストを応用した統合化コンピュータツールの提案

Hyper Construction Planning: A Hypertext-Based Tool for Civil Engineers

(株)竹中土木 田中芳行*
Yoshiyuki TANAKA

施工計画を立案する際には多種多量の情報の利用および処理を行ななければならない。その情報には過去の工事事例、参考図書、カタログなどや技術者の知識などがある。そこで施工計画で使う情報とその利用と処理を統合化した環境をコンピュータ上で実現化するコンピュータツールの提案を行う。本ツールはデータベースおよび施工計画を行う際に利用するCADやシミュレータなどのアプリケーションが統合化されている。さらにハイパーテキストを応用したインターフェースを付加し、本システム利用者が行う情報へのアクセス、および利用、処理を容易にする。上記提案システムの有効性を検討するためにシールド工事の施工計画を対象としたプロトタイプであるハイパーコンストラクションプランニングを開発した。

【キーワード】シールド工事、施工計画、統合化システム、ユーザーインターフェース、ハイパーテキスト、データベース、ダイナミックシミュレーション

1. まえがき

施工計画を立案する際、建設サイトの条件、過去の工事事例などや機械のカタログ、参考図書や資料、専門家の知識など多くの情報が必要となる。これらの情報の形式は文書、図面や写真など形式が違えばかりでなく、同一の場所に保存されていないことが多い。技術者は前述の種々の情報を用いて、建設現場における機械の選定とレイアウト、資源の配分、工事工程の決定などやシミュレーションなどを行い施工計画を立案する。経験の豊富な技術者は上記の情報から適切な施工計画を立てることができるが、経験の浅い技術者にとって、適切な情報を選択し、現場の条件とあわせて施工の手順、資源の配分や工程を決定することは容易ではない。

本研究では、ユーザーインターフェースにハイパーテキストを応用し、施工計画に必要な

種々の情報やその処理を統合化して取り扱う施工計画支援コンピュータツール、ハイパーコンストラクションプランニング(Hyper Construction Planning: HCP)(Tanaka,1991)の提案を行う。さらに土圧式シールド工事を対象としてHCPのプロトタイプを開発した。

2. 施工計画とコンピュータの利用

コンピュータの利用範囲は計算機から情報蓄積やその利用へと広がっている。そのような中で施工計画のシステム化などを目指したコンピュータ利用に関する研究が行われている。ChanとHarris(1989)はスプレッドシート技術を用い建設機械を検索するデータベースシステムの提案している。エキスパートシステムを応用した研究では工程計画を支援するシステムがMoselhiとNicholas(1990)によって開発されており、その他に工法選択、機械選択、工事見積りなどにエキスパートシステムを応用した研究がみられる。(池田,1990、早田,1990、市原,1990) 工程計画ではKano(1991)がHierarchical Scheduling Methodを提案している。統合化を目指した研究ではCherneck等(1

* 技術開発本部

03-3542-6321

Email: tanakay@tak001.takenaka.co.jp

991)がCADのためのデータベースと知識ベースを統合し工程計画を行うシステムを提案している。

施工計画立案には工法選択、機械選択、工程計画、工事見積りなどの項目があるが、情報と処理の統合化とシステムのユーザーインターフェースを含めたシステムに関する研究は少ない。

3. 情報利用環境としてのハイパーテキストの応用

一般に情報の実体や構造を一義的に定義することは困難である。このような情報を実際に利用する時にはデータベースを例にあげると図-1に示すように階層型や関連型などのデータベースモデルに写像（マッピング）する。この写像は情報を利用する特定の目的に対して有効ではあるが各データベースに含まれている個々の情報を関連させて利用する場合には不都合が生じる。施工計画のように情報の量や種類が多くなると情報を多面的に評価し意思決定を行う場合には困難が伴う。(Gertley他、1991)

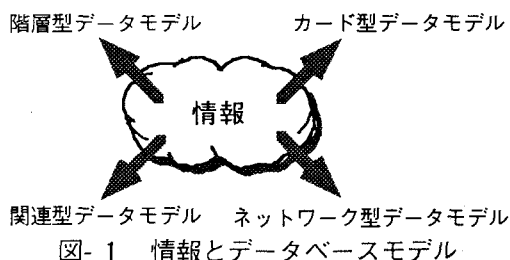


図-1 情報とデータベースモデル

そこで情報利用環境にハイパーテキスト(Nyce他、1991、Nelson、1974、Nielsen、1990)を導入する。

ハイパーテキストはコンピュータに電子化されているテキスト中やそれらの群中、テキスト中の文字、単語等が図-2に示すように相互に結合されて構成されている。それぞれ関連のある文字や単語等（ノード）が関連あるテキスト群中の箇所とリンクされている。ハイパーテキストではリンクにストーリーや意味

をもたすと（ナビゲーション）必要な情報にたどりつけるようにすることができる。このリンクを情報の利用目的によって異なるデータモデルで表現されているデータベースあるいは複数のデータベースのデータにリンクをはるとデータベース（情報）の有効利用がはかれると考えられる。

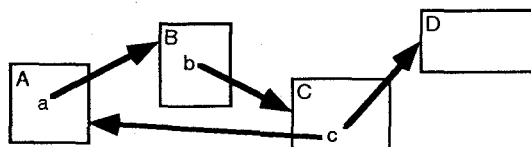


図-2 ハイパーテキストの概念

ハイパーテキストは教育(Ambrosio、1990)、製造業(Gertley、1991)などいろいろな分野で応用されている。建設分野における事例はアスファルト舗装の仕様や評価項目のデータベース検索(Williams、1991)やカナダの建築基準の電子化(Cornick、1991)などがある。本研究では施工計画で用いる情報とその利用に注目し施工計画支援ツールの利用環境としてインターフェースにハイパーテキストを応用することを試みる。

4. ハイパーコンストラクションプランニング:HCP(Tanaka、1991)

HCPは、図-3に示すように4つのサブシステムより構成されている。それらは、ユーザーインターフェース、アプリケーションの集合、データベースおよびドキュメントマネージャーである。ユーザーインターフェースにはハイパーテキストを応用しており、施工計画立案プロセスにおける複雑でインタラクティブな情報利用、処理を行える。アプリケーションは集合は、CAD、技術計算などの他シミュレーションなども含まれている。データベースには施工計画立案で利用する情報を集積してある。利用者は統一化されたユーザーインターフェースを通して、アプリケーションやデータベースの利用が行え、さらにその結果ドキュメントマネージャーにより施工計画書を完成することができる。

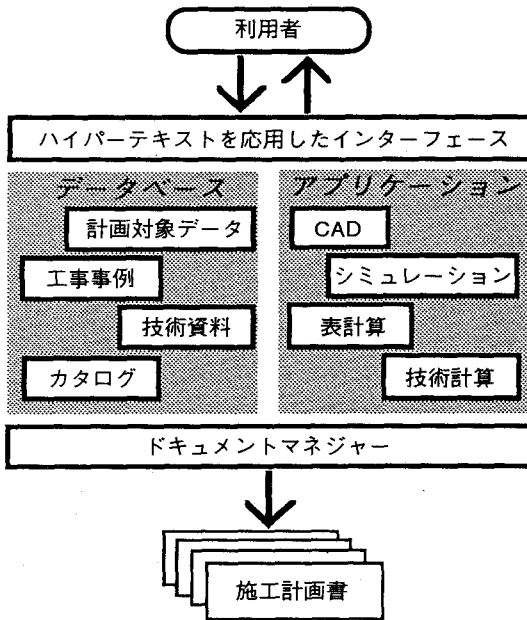


図- 3 HCPの概要

5. HCPのデータベース

HCPのデータベースには施工計画に必要な情報、つまり工事事例（施工計画の事例）、技術資料、建設機械や資材などのカタログをデータベース化している。また、計画時に入力、修正されるワーキングエリアとしての計画対象データもこのデータベースに含まれている。計画対象データは工事事例データと同様の構造で、項目も一致している。本システムを利用し計画立案が終了後に計画対象データが工事事例データに追加される。

データベースの構造は、一般化を目指すと同時に計画というプロセスとデータモデルの分離し図-4に示すような階層型を採用している。階層型を用いた理由は直観的に施工計画で用いる情報の体系や分類を論理的な結合で構造化することに都合がよいからである。

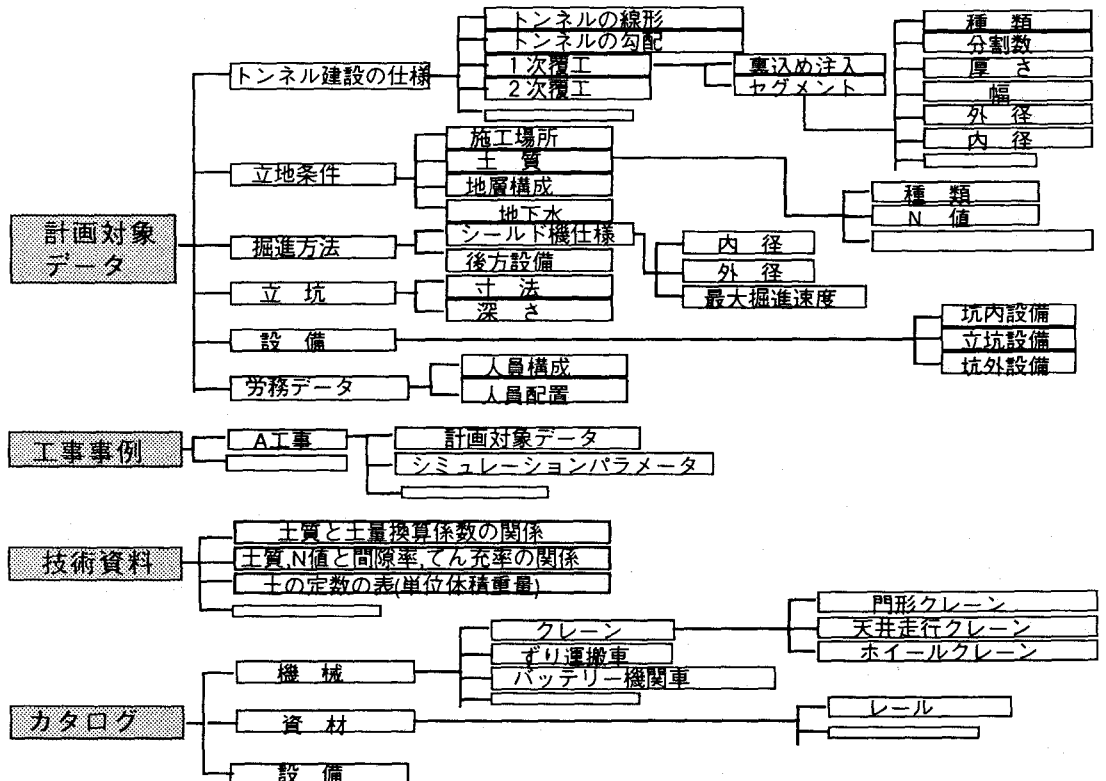
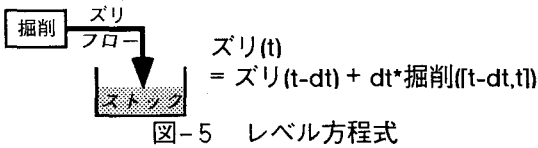


図- 4 データベースの構造

6. サイクルタイムシミュレーション(Tanaka,1993)

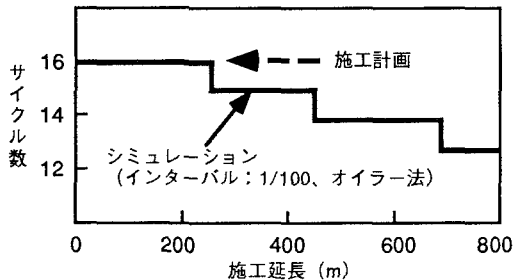
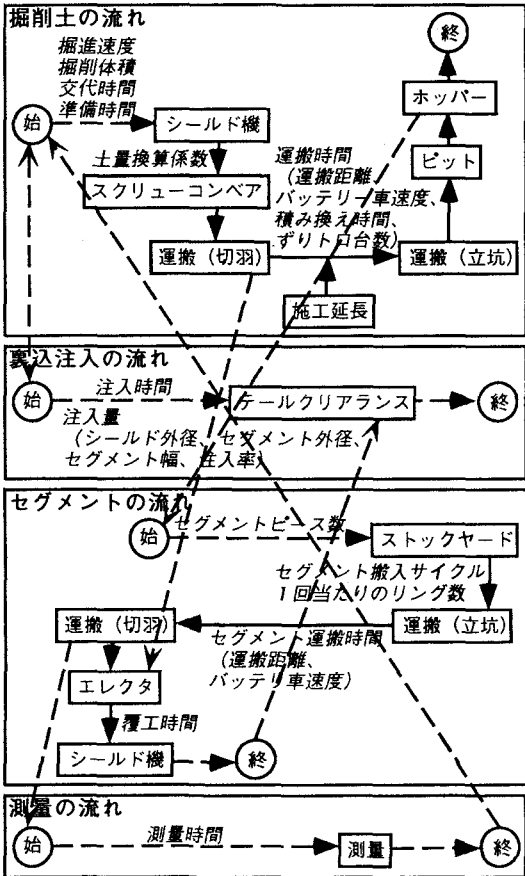
施工計画において機械選定や設備配置等を決定する際、実際に現場で試すわけにはいかない。そこで現場で行われている作業や土砂・資材の流れ、機械の移動や待ち状態などをモデル化し、シミュレーションできれば都合がよい。そこで、シールド工事現場における作業の進捗（物の流れ）にシステムダイナミクスアプローチ（宮川, 1991）を利用し、モデル化を行った。システムダイナミクスでは図-5に示すように物の流れをフローとストックに分解してレベル方程式をたてる。このレベル方程式を解き、時刻 t でのレベル（図-5中の式ではズリの量）を求める。



ここではシールド工事を(1)掘削土の流れ、(2)裏込注入の流れ、(3)セグメント（覆工）、(4)測量の流れの4つの作業に分けモデル化を行っている。図-6にフローダイアグラムを示す。同図には、用いたパラメータ（図中の斜体字）と各作業の相互依存関係（図中の点線矢印）も示してある。なお、ダイナミックシミュレータにはSTELLA(High Performance Systems, 1990)を用いている。

シミュレーションモデルの検証の為に工事事例（施工計画時）におけるサイクルタイムとシミュレーションの比較を行った。工事事例は、シールド外径：4m、セグメント幅：80cm、施工延長：504mの土圧式シールド工事であり、シミュレーションのパラメータは施工計画書を基に定めた。図-7に事例（施工計画）とシミュレーション結果を施工延長の関係で示す。シミュレーションでは施工距離が延びると掘削土やセグメント運搬の時間が増える為、1日のサイクルが減少している。このようにシミュレーションをもちいると施工

期間中に変化する運搬距離などのサイクルタイムへの影響を考慮することができる。



7. データベースとシミュレーションの統合

前に述べたデータベースをシミュレーションのパラメータ決定で利用することを考える。一般化したデータベースでは施工計画で用い

る情報を体系的にとらえることに都合がよい。しかし施工計画の各局面での情報利用、つまり情報の検索にはデータベースの構造と内容を利用者が知らなければならない。これは施工計画立案のように多種多量な情報の参照や利用をそれぞれの立案項目に対して行う場合には問題となる。

そこで立案作業の一部、ここではシミュレーションのパラメータ設定で利用者が行う情報の参照、利用を行動モデル的に分析を行い、パラメータ設定の根拠を明確にした。これに基づき各パラメータとデータベースの情報をハイパーテキストリンクにより結び付けた。これにより参照、利用したい情報をその都度

階層構造のデータベースの上位より検索せずに直接必要な情報にたどりつくことができるようになる。またデータベースの情報（データ）を計算など加工して用いる場合にはその手順もハイパーテキストのナビゲーションで行っている。これはパラメータ決定に必要な知識を陰にハイパーテキストリンクやナビゲーションで表現していることである。

図- 8 に図- 4 に示したデータベースとシミュレーションのパラメータ決定の関係を示す。同図はパラメータのひとつであるトンネル坑内の掘削ずり運搬車台数を求める例である。図中の点線はハイパーテキストによる参照、実線はナビゲーションをそれぞれ表している。ずり運搬車台数を求めるために必要な情

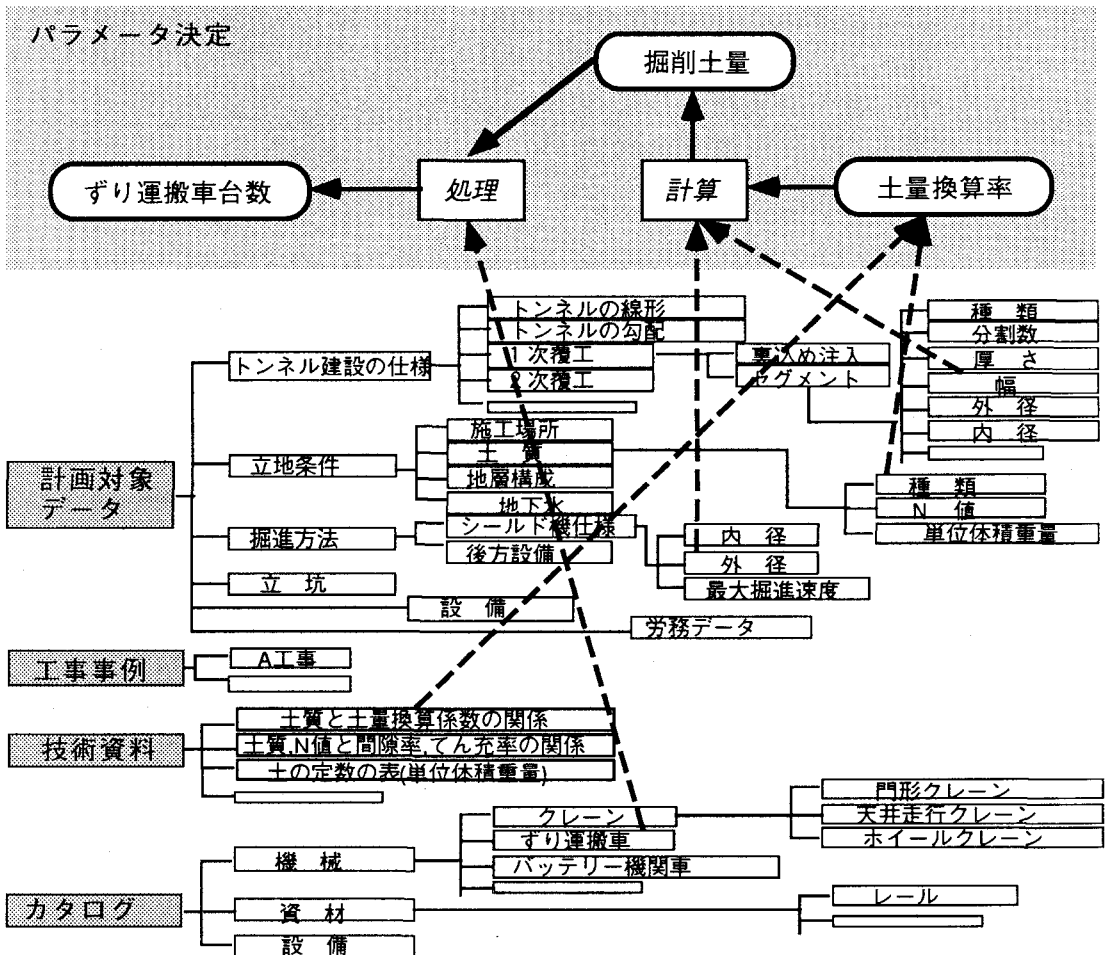


図- 8 データベースとパラメータ決定の関係例

報（土量換算率やずり運搬台車のカタログ）の参照や処理（掘削土量の計算）がコンピュータ上でできるようになっている。

8. HCPのプロトタイプ

HCPのプロトタイプのインターフェースはオーサリングツールHyperCard2.1(AppleComputer, 1992)を用いて作成した。図-9にHCPのシミュレーションのパラメータ入力、シミュレーションの実行、結果の表示などの各ウィンドウのハイパーテキストネットワークの一部をコンピュータ画面例で示す。必要な項目にたどりつくための基本操作は画面上のボタンをマウスでポイントしてクリックする。同図で矢印はリンクやナビゲーションを表しており、関連する情報参照や利用を示している。

矢印Aはシミュレーションのパラメータ入力

の内、シールド機外径入力である。利用者が入力画面でパラメータ項目をマウスでクリックすると直接データベースの計画対象データへ入力された値を参照できる。矢印Bは土量換算係数を入力する場合で、ウィンドウにはデータベースの技術資料中の土質と土量換算係数の関係と計画対象データ中のシミュレーション対象工事の土質も表示する。パラメータスタディなどで入力データを変更したい場合、土質など与えられた条件(Ioannou, 1991)はシミュレーションのパラメータ入力画面からは変更できないようになっている。矢印Cは利用者がハイパーテキストネットワーク中で現在利用している場所を示す地図を表示する。この地図中で次に進みたい項目へ直接移動することもできる。基本ウィンドウではこのような地図だけでなくウィンドウの検索、利用者のメモとして簡易ワープロの起動などができる。シミュレータの起動も同様にマウスでクリックするだけで起動することができ

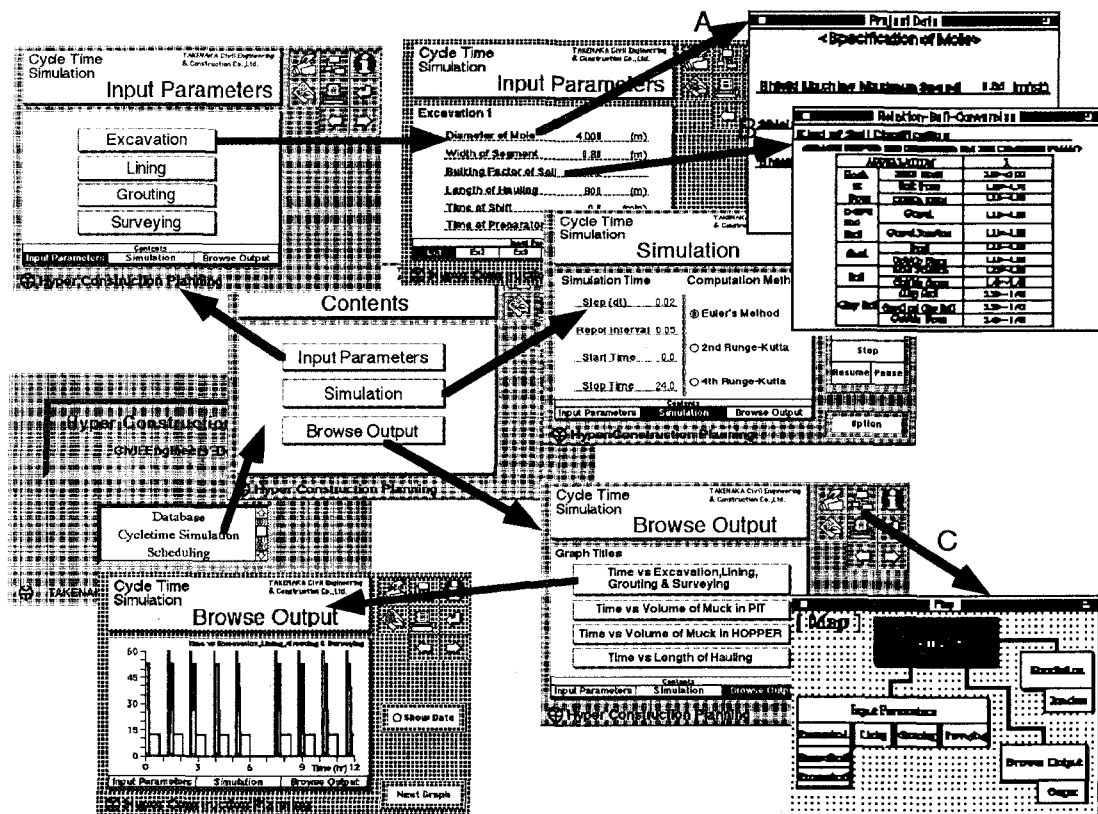


図-9 ハイパーテキストネットワークの例

る。これにより利用者はシミュレータ固有の操作方法を知らなくてもシミュレーションを行うことができる。シミュレーションのように試行錯誤をともなう作業（非定型な作業）においてハイパーテキストを応用することにより思考や作業の分断なくインタラクティブに行うことができる。本プロトタイプ構築にはHyperCardを用いるため利用者自身がオーサリングすることも可能である。

9. まとめ

施工計画で用いる情報とシミュレーションなど情報利用環境の統合化にユーザフレンドリーでかつ標準化されたインターフェースを付加したツールの提案を行った。

本ツールは施工計画などの意思決定の際の情報利用、処理を容易にすると考えられる。ユーザーインターフェースに応用してあるハイパーテキストのナビゲーションにより施工計画に関する初心者でも必要な情報利用、処理が容易になる。またナビゲーションと必要な情報処理のリンクを利用して施工計画立案の教育用ツールとなる可能性もある。さらに、施工計画に本ツールを標準的に用いれば施工計画における実績情報が自動的に同様の形式で蓄積できる利点もある。今後はデータベースの充実、CADなど他のアプリケーションの統合およびドキュメントマネジメントのプロトタイピングなどを進めていくと同時に試用によりシステムの評価も行う予定である。

【謝辞】

本研究におけるプロトタイプの開発は明星大学理工学部土木工学科 計算力学研究室 藤枝茂樹氏（1991年度）、田島信浩氏（1992年度）の卒業研究として行われた。同研究室内の竹内則雄助教授および藤枝茂樹氏、田島信浩氏に謝意を表す。

【参考文献】

- 1) Ambron他：Learning with Interactive Multimedia, Microsoft Press, 1990
- 2) Apple Computer：HyperCard Stack Design Guidelines, 1989
- 3) Apple Computer：HyperCard User's Guide, 1992
- 4) Berk他：Hypertext/Hypermedia Handbook, 1991
- 5) Chan他：A Database/Spreadsheet Application for Equipment Selection, Construction Management and Economics, Vol.7, pp.235-247, 1989
- 6) Cherneff他：Integrating CAD with Construction-Schedule Generation, Jour. of Computing in Civil Engineering, ASCE, pp.64-84, 1991
- 7) Cornick, S.M.：Hypercode: The Building Code as a Hyperdocument, Engineering with Computers, Vol.7, No.1, pp.37-46, 1991
- 8) Gertley他：Hypermedia Applied Manufacturing Environments, Proc. of 3rd ACM Conference on Hypertext, pp.419-426, 1991
- 9) High Performance Systems, Inc.：A Business User's Guide to STELLA, 1990
- 10) High Performance Systems, Inc.：A User's Guide to STELLA Stack, 1990
- 11) Horn, R.E.：Mapping Hypertext, The Lexington Institute, 1989
- 12) Ioannou, P.G.：Construciton Technology/Method Identification and Selection System, Construction in the 21st Century, pp.638-643, 1991
- 13) Kano, N.：Hierarchical Construction Planning and Scheduling, Proc. of 4th

International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, pp.376, 1991

14) Moselhi他 : Hybrid Expert System for Construction Planning and Scheduling, Jour. of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol.116, No.2, pp.221-238, 1990

15) Nelson J. : Computer Lib/Dream Machines, Tempus Books of Microsoft Press, 1974

16) Nielsen J. : The Art of Navigating through Hypertext, Communications of ACM, Vol.33, No.2, pp.296-310, 1990

17) Nielsen J. : HYPERText & HYPERMedia, Academic Press, 1990

18) Nyce他 : From Memex to Hypertext: Vannevar Bush and the Mind's Machine, Academic Press, 1991

19) Paulson他 : Construction Operations Simulation by Microcomputer, Jour. of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol.113, No.2, pp.302-314, 1987

20) Tanaka, Y. : Application of Hypertext to Construction Planning, Proc. of 4th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, pp.375, 1991

21) Tanaka, Y. : Cycletime Simulation of Shield-Tunneling Operation, Proc. of 5th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, pp.1386-1389, 1993

22) Williams, T.P. : Hypertext Data Base Application in Construction, Jour. of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol.117, No.3, pp.460-467, 1991

23) 池田他 : 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集、pp.223-230、1990

24) 市原他 : シールド施工計画支援エキスパートシステム、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、VI、pp.4-5、1991

25) 早田他 : トンネル工事のための知的施工計画書作成システム、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、VI、pp.308-309、

26) 宮川他 : システム・ダイナミックス 経営・経済系の動力学、白桃書房、1991