

土 木 研 究 所 資 料

エキスパートシステムによる
橋梁形式選定システムに関する研究

平成3年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

「Copyright © (1991) by P.W.R.I.

All rights reserved. No Part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

エキスパートシステムによる 橋梁形式選定システムに関する研究

構造研究室 室長 横山 功一
主任研究員 佐藤 弘史 *
研究員 小路 泰広
東久保正徳

要 旨

近年、人工知能の一分野であるエキスパートシステムの活用がいろいろな分野で行われるようになってきている。本研究では、エキスパートシステムの土木分野への適用性を検討するため、橋梁を計画する際の形式選定をとりあげ、専門家からの知識の抽出・整理を行い、エキスパートシステムを構築した。次にこれを従来専門家が行っていた結果と対比し、システムの評価を行った。その結果、本システムによる選定結果は専門家による選定結果と100%の一致をみたわけではないものの比較的良好な一致を示し、技術者が設計を行うときの支援システムとして実用化を考えるべきとの結論が得られた。

キーワード：エキスパートシステム，橋梁形式選定，知識ベース，推論機構，ツール

*現在：北陸地方建設局羽越工事事務所長

ま え が き

近年、人工知能の一分野であるエキスパートシステムの活用がいろいろな分野で行われるようになって来ている。土木工学が経験工学といわれるように、従来からの経験に裏打ちされた専門知識に基づいて判断が行われる事が多く、併せて最近の人手不足から専門家の育成、知識の継承が難しくなっている事から、土木分野においてもエキスパートシステムの活用は大いに期待されているところである。

土木研究所においても、昭和63年から平成2年度の3年間でエキスパートシステムの土木分野への適用性を検討するために、橋梁を計画する際の橋梁形式選定をとりあげ、エキスパートシステムを構築し、従来専門家が行っていた結果と対比し、システムの評価を行った。

ここでは、先ずエキスパートシステムの概要、言語、電子計算機、開発手法などの基礎知識を整理した。次に、橋梁形式選定システムの構築の基本計画、システム開発のためのハードウェア、ソフトウェア、システムの構成、システムへ取り込む知識を紹介し、それぞれに対する留意事項を示した。最後に、実績と対比する事によりシステムの評価を行い、エキスパートシステムの土木分野への適用性を展望し、今後の課題を取りまとめた。

目 次

まえがき

1. エキスパートシステムの概説	1
1.1 エキスパートシステムとは	1
1.2 建設分野における研究・開発の動向と実績	5
2. エキスパートシステムの開発環境と開発手法	9
2.1 開発の手順	9
2.2 知識獲得手順	10
2.3 知識の表現	11
2.4 知識表現の決定	12
2.5 稼働機器と構築言語およびツール	13
2.6 最新の動向	15
3. エキスパートシステムによる橋梁形式選定システムの構築	17
3.1 システム構築の概要	17
3.1.1 システム構築の目的	17
3.1.2 システム化の範囲	17
3.1.3 システム構築の全体計画	18
3.2 橋梁形式選定手法に関する調査	21
3.2.1 橋梁についての用語の定義および橋梁の分類	21
3.2.2 橋梁形式選定の流れ	34
3.2.3 橋梁形式選定における検討事項	34
3.2.4 知識の抽出・整理	39
3.3 プロトタイプシステムの構築	39
3.3.1 システムの対象範囲と流れ	39
3.3.2 使用したツールの特性	41
3.3.3 専門家知識の整理	42
3.3.4 システムの評価と問題点	42
3.4 実用化のためのシステムの再構築	48
3.4.1 構築の概要	48
3.4.2 知識の追加検討	50
3.4.3 入出力部の改良	50
3.4.4 システム構築結果	51
3.5 小型運用システムの開発	64

3. 5. 1	開発の目的と概要	64
3. 5. 2	運用環境の検討	64
3. 5. 3	機能の分割と構成の検討	66
4.	まとめ	68
4. 1	結 論	68
4. 2	今後の課題と展望	68
参考文献		70

付属資料

1.	プロトタイプシステムにおける専門家知識	73
2.	経済性検討の知識の概要	85
3.	施工性評価の知識の概要	93

1. エキスパートシステムの概説

1.1 エキスパートシステムとは

近年、計算機の処理能力の向上やソフトウェア技術の発展により、これまでの数値計算のみならず、知識を用いて判断を行う事が可能になってきており、土木構造物の調査、計画、設計、施工、維持管理などにおける数値的に扱うことが困難で経験を積んだ専門家でなければ判断できなかった問題を、コンピュータを使って判断する試みが増えている。これがエキスパートシステム (Expert System; 以下、ESと呼ぶ) である。この背景には豊富な知識と経験をもつ各種専門家の不足が深刻であり、対応がせまられている実情があろう。

エキスパートシステムに関しては多くの研究、開発調査が行われており、また土木分野への適用への展望も紹介されているので、詳しいことは他¹⁾²⁾を参考にさせていただくこととし、ここではエキスパートシステムのあらましを紹介しておく。

エキスパートシステムとは、図-1.1に示されるような専門家の知識やノウハウを知識ベース (知

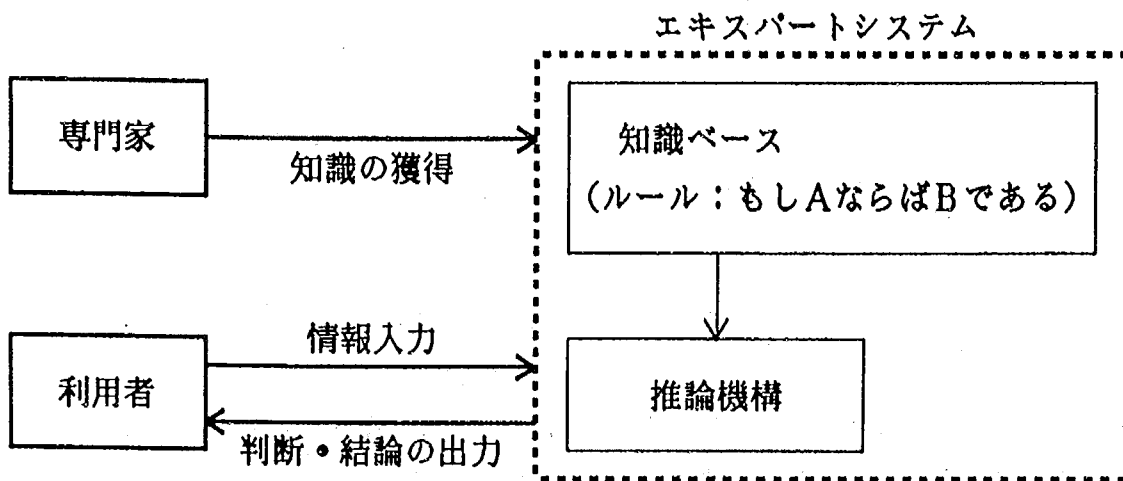
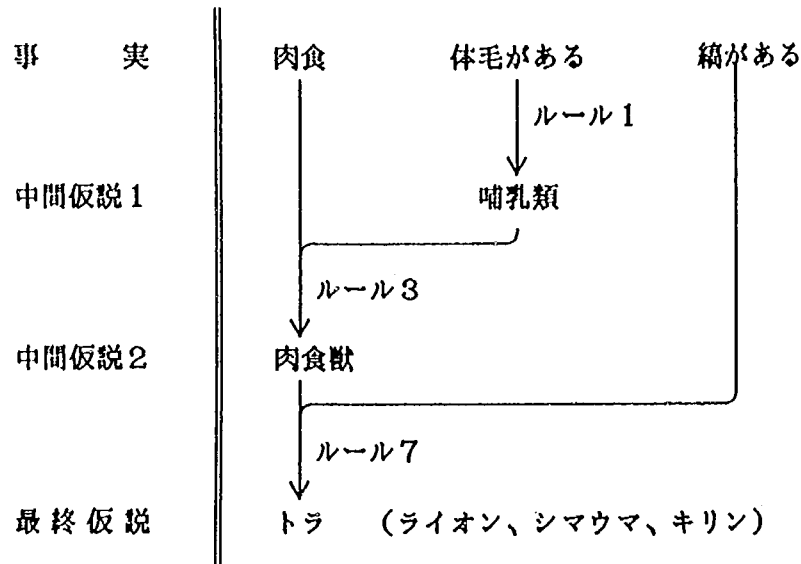


図-1.1 エキスパートシステムの概要

識をデータベースしたもの) にもち、これをもとに推論を行って専門家と同等の判断やその支援を実行するコンピュータシステムである。エキスパートシステムは知識ベースと推論機構より構成される。知識ベースには専門家から獲得した知識が、プロダクションルール (もしAならBである) という形で蓄積されている。ルールを組み合わせ有効な判断、結論を導く部分は推論機構と呼ばれる。解決したい問題に関する情報は対話形式により利用者からシステムに入力される。エキスパートシステムにおける推論方法は基本的に分类型推論である。すなわち、事実に関するデータよりルールを介して中間仮説を導き、さらにルールを介して最終的な1つの仮説に帰着させるという推論を行う。簡単な例として、動物の特徴から動物名を推論する例を図-1.2に示す。この場合には「事実」は動物の特

- ルール
1. 乳を与えるか体毛があれば哺乳類である。
 2. 羽毛がありかつ飛びかつ卵を産めば鳥である。
 3. 哺乳類でありかつ肉食であれば肉食獣である。
 4. 哺乳類でありかつひづめがあれば有蹄動物である。
 5. 有蹄動物でありかつ首が長ければキリンである。
 6. 有蹄動物でありかつ縞があればシマウマである。
 7. 肉食獣でありかつ縞があればトラである。
 8. 肉食獣でありかつたてがみがあればライオンである。



図－1.2 分類型推論の例

徴であり，‘最終仮説’は動物名（トラ，ライオン，シマウマ，キリン）である。入力された事実および8つのルールにもとづき，1つの動物名が推論される。‘肉食’ ‘体毛がある’ および ‘縞がある’ という特徴が入力されれば中間仮説（哺乳類，肉食獣など）を経て ‘トラ’ という最終仮説が選択される。

このような推論方法は非常に大きな適用範囲を持つ。表－1.1に代表的なエキスパートシステムの開発例が紹介されているが，例えば病人の症状より病名を推論する医療診断，あるいは鉱山の諸特徴より鉱物埋蔵の可能性の最も高い鉱山を推論する鉱物資源探査などが挙げられるが，これらはエキスパートシステムが成功を収めた代表例であり，それぞれMYCINおよびPROSPECTORというシステムが開発されている。

土木構造物の分野においても，架橋地点の諸条件より最適な橋種を推論する橋種選定，あるいは橋梁の損傷状況より損傷原因，対応策を推論する橋梁維持管理の分野において，エキスパートシステムは大いに有効であるものと期待される。しかしながら，土木建築の分野におけるエキスパートシステムの適用は開始されたばかりであり，橋梁選定，橋梁維持管理の分野においては実用的なシステムは

表-1.1 エキスパートシステムの適用分野と開発例³⁾

応用分野	シ ス テ ム	機 能 説 明
産業応用	・ACE ・MUD ・Dipmenter Advisor ・PROSPECTOR ・SACON ・EL ・EURISKO ・DART ・XCON ・YES/MVS ・REACTOR	電話回線の故障診断 掘削作業で用いる掘削泥水の処理法をアドバイスする 石油探掘 鉱物探掘 構造物の有限要素法を用いた解析支援 電気回路の解析 3次元のVLSIの設計 ハードウェアの故障診断 コンピュータ・システムの構成法 MVSシステムの管理と制御 原子炉の故障診断支援
自然科学への応用	・DENDRAL ・MOLGEN ・CRYSALIS ・MACYMA ・NEWTON	質量分析結果から分子構造の推定 分子遺伝学研究用のDNAの解析 X線回析像からたんぱく質の構造を推論 数式処理システム 物理の問題解決システム
医学応用	・MYCIN ・PUFF ・CENTAUR ・VM ・CASNET/GLAUCOMA ・EXPERT ・ONCOCIN ・CLOT ・Internist/Caduceus ・A±/RHEUM	脳膜炎と血液伝染病の診断と治療 肺機能の診断 重症者に対する呼吸補助の診断・治療 緑内障の診断・治療 甲状腺疾患の診断・治療 ガン治療のコンサルテーション・システム 血友病の診断 内科学一般に関する診断システム リウマチなどの診断システム
教育への応用	・SOPHIE ・SCHOLAR ・GUIDON ・STEAMER	電気回路の故障診断に関するCAI 地理学習用CAI 医学生教育用CAI 磁気などの推進力に関する工学教示システム
農 業	・PLANT/ed ・PLANT/ds ・POMME	根切り虫によるとうもろこしの被害の予測 大豆の病気についての診断 りんごの収穫を改善するためのコンサルテーション・システム
人文科学への応用	・AUDITOR ・JUDITH ・TAXADVISOR	ローン返済能力の評価 民法のケースについての理由付け 現金や財産計画についてのコンサルテーション

まだできあがっていない。

図-1.3 はエキスパートシステムの開発に要する時間の年代別の推移を模式的に示したものであり、

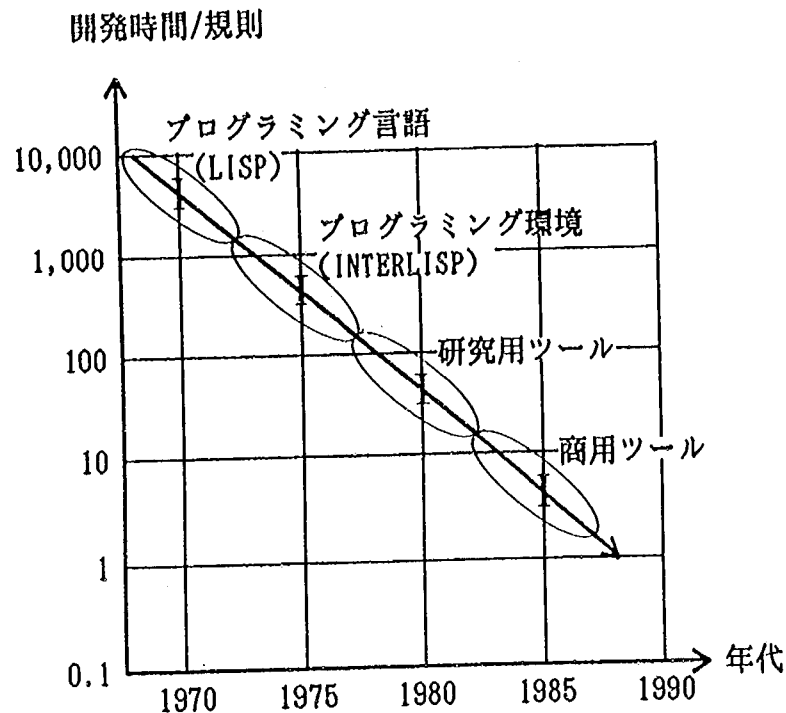


図-1.3 エキスパートシステムの開発時間

1970年頃には1つのルール（AならばBである）あたり数千時間が必要であった。一般に実用的なエキスパートシステムには100～1000程度のルールが必要であるが、このような状況ではエキスパートシステムの応用は非常に困難であった。しかしながら、ツールの高性能化に伴い、エキスパートシステムの開発に要する時間は減少しつつあり、1985年には1つのルールあたり数時間で済むようになってきている。

ここでツールについて説明したい。ツールとは推論機構および知識表現の骨組みを既にプログラミングしたものである。比喩的に表現すると、判断、意志決定を音楽鑑賞に対比させた場合(表-1.2)、専門家に直接相談しながら判断、意志決定を行う事は演奏会で音楽鑑賞することに対応する。一方、エキスパートシステムによる判断は自宅でステレオ演奏により音楽鑑賞することに対応する。さらに、エキスパートシステムはステレオ演奏に、ツールはステレオに、知識ベースはレコードにそれぞれ対応する。エキスパートシステム用の計算機言語はLISPが多く用いられるが、これは、ステレオ部品に対応する。図-1.3に示したように1970年には、このステレオ部品に対応するLISPしか整備されていなかったため、この時代にエキスパートシステムを構築するためには、部品組み立て、レコード吹き込みに相当する作業を行う必要があり、エキスパートシステム開発に多くの時間が必要であ

った。1985年ではステレオは完成されており、レコード吹き込みに相当する専門家からの知識獲得さえ行えば、エキスパートシステムが構築できる環境となってきた。すなわち、土木構造物にエキスパートシステムを適用するための環境は今ようやく整ってきたものと考えられる。

表-1.2 エキスパートシステムの比喩的表現

判断, 意志決定	音楽鑑賞
専門家による判断	演奏会における音楽鑑賞
エキスパートシステムによる判断	ステレオ演奏による音楽鑑賞
エキスパートシステム	ステレオ演奏
LISP (計算機言語) ツール 推論機構, 知識表現 知識ベース (ルール)	ステレオ部品 ステレオ レコード

1.2 建設分野における研究・開発の動向と実績

建設分野は古くから経験工学と呼ばれ、経験、度胸、勘が大きくものを言う、合理化・省力化の難しい分野であると言われてきた。一方、構造計算に代表されるように、精度・容量・速度の面で飛躍的に発展しつつあるコンピュータの利用が非常に進んでいる分野でもある。このような中で、これまで数値的に扱うことが困難で経験を積んだ専門家でなければ判断できなかった問題を、エキスパートシステムを使って判断する試みが進められている。

エキスパートシステムは、その性質から大きく「分析型」と「合成型」に分類される¹⁾。「分析型」が、対象を細かく分類して解を絞り込んでいくのに対して、「合成型」は、小さな部分解を組み合わせながら制約条件を満たす解を導いていくものである。一方、適用分野から分類すれば、「診断」、「計画」、「設計」、「制御」に大別され、両分類の関連は次のようになる。

「分析型」……「診断」、「計画」の一部、「設計」の一部、「制御」

「合成型」……「計画」、「設計」

以上の分類より、「合成型」は「計画・設計型」とも呼ばれる。次に、エキスパートシステムの開発動向を把握するため、これまで構築されたといわれるシステムを、適用分野の分類に従って以下に列挙する。

[診断]

- | | |
|--------------|------------------|
| ① 鋼構造物の寿命予測 | ⑤ 建物の耐震性診断 |
| ② コンクリート劣化診断 | ⑥ 建物の安全性診断, 被害査定 |
| ③ RC床版の耐用性評価 | ⑦ 溶接不良評価 |
| ④ 鉄道施設の故障診断 | ⑧ 地盤診断, 改良 |

⑨ 塗膜診断

⑩ 海外工事のクレーム問題処理

[計画]

① 土地利用企画提案

⑥ トンネル掘削助言

② 振動（騒音，薬物，排ガス）公害予測

⑦ 斜面安定工法選択

③ 杭打ち工法選択

⑧ 建設工事災害予知

④ 防水工法選択

⑨ 作業停電計画作成

⑤ 山留め壁形式選定

⑩ 地理解析と地図作成

[設計]

① 変電所のレイアウト設計支援

⑦ 地盤液状化判定

② 建築法規コンサルティング

⑧ 基礎杭形式選定

③ 橋梁形式選定

⑨ 想定地震推定

④ 溶接設計支援

⑩ 地盤解析

⑤ 有限要素構造解析コンサルティング

⑪ 港湾形状決定

⑥ 耐震設計基準コンサルティング

[制御]

① 発・変電所の運転支援

③ 列車運行，運転管理

② シールド掘削機に取り付けたジャッキ操作

④ 下水処理制御

以上，各適用分野毎に構築事例を概観したが，実にさまざまな分野に適用されている。その中でも実用化の進んでいるのは診断や制御などの「分析型」に属するものであるが，最近では計画・設計型問題を対象とするものも増えつつあり，また今後期待される分野でもある。

計画・設計型問題では，

① 制約条件や評価基準が多数あり，互いにトレードオフの関係にある。

② 制約条件や評価基準が定量化できない。

③ 変数が不連続になる。

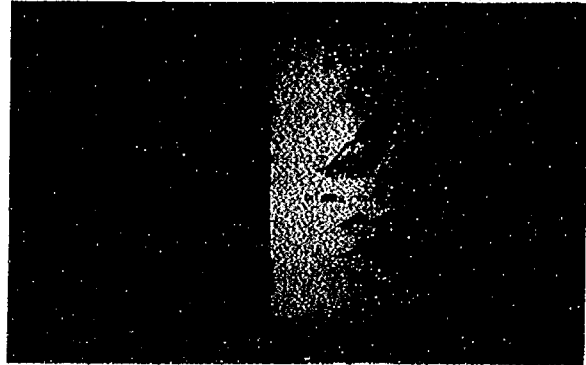
④ 環境変化が激しく，画一的な論理や従来型のソフトで開発されたシステムではすぐに陳腐化する。

といった特徴があり²⁾，これらの問題点をESの特徴を生かして解決することが期待されている。そのため，分析型に比べて遅れている計画・設計型の問題を扱うシステムが今後多く構築され，その技術が蓄積されることが望まれる。

最近開発された計画・設計型のシステムのうち，筆者らが訪問・体験する機会に恵まれたものについて，以下にいくつか紹介することとする。

トンネル坑口の施工コンサルテーションシステム

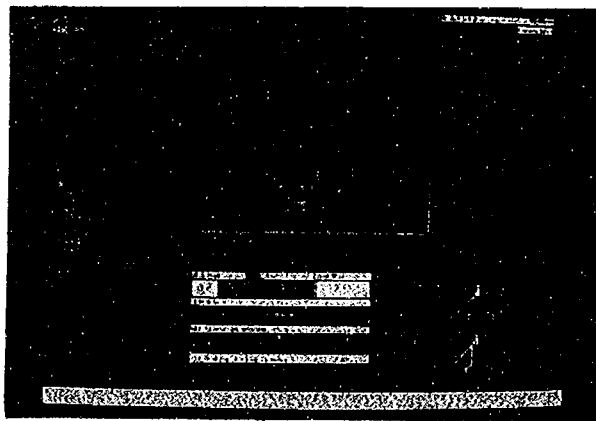
専門家の経験が必要とされる山岳トンネル坑口部の施工計画を支援する。3つのエキスパートシステム（①地形や地質、災害記録などの諸情報から地滑りや斜面崩壊などの危険な現象を予測，②適切な対策工法を選択，③施工実績より類似した事例を抽出・提示）と，技術計算や報告書自動作成などの補助機能から構成され，危険現象の予測，対策工法を選択，類似事例の抽出を行う。また，データベースと接続され，推論結果にもとづいて必要な文献資料の検索を行う。



写真－1.1 トンネル坑口の施工コンサルテーションシステム

橋梁上下部工形式選定システム

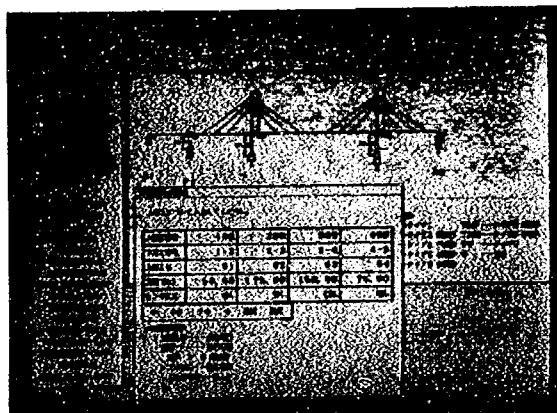
河川橋梁（橋長400m，最大14径間まで）を対象に，径間割，橋種の選定を行うとともに，選定された上部工形式に適用できる最適な橋台，橋脚，基礎工の形式選定を行い，上下部工工費の算定を行う。さらに経済性，維持管理，走行性の評価を行うこともでき，杭形式の選定には土質条件等の不確実な量を扱えるようにファジィ理論を導入している。また，設計者が径間割と橋種を入力することにより，下部工の形式選定と総工費の算定を行うこともできる。



写真－1.2 橋梁上下部工形式選定システム

道路橋耐震設計コンサルテーションシステム

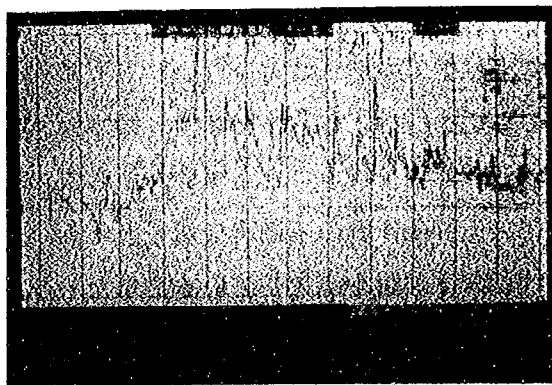
道路橋の耐震設計では「道路橋示方書Ⅴ.耐震設計編」に従い設計水平震度を算定するが、規定の適用や係数の設定などには知識と経験が必要である。また、橋の構造形式や規模などにより経験的に固有周期の近似値を求めたり、安全側に設定する必要がある。本システムでは示方書の内容に設計部門の解釈、ノウハウ、実績等を加えて知識ベースが構成され、補正係数の決定、固有周期の算定・推定、設計水平震度の算定、動的解析の要否の判定、地震時保有耐力の照査を行う。



写真－1.3 道路橋耐震設計コンサルテーションシステム

流出計算支援エキスパートシステム

流域の降雨が河川に流出する現象は、流域の地形、地質、気候、土地利用などの要素が複雑に影響しあって生じており、流出計算を行う場合にはこれらの要因を実用に必要な精度の範囲内で、できるだけ単純な形にモデル化する必要がある。本システムは、流出計算手法としてタンクモデルを用いたときの、特に専門家の知識が必要となるモデルの確定部分を対象とし、タンク係数の推定、実測値とのパターン比較、適合度の判断などの作業を繰り返し、流域のタンク係数の決定を行う。



写真－1.4 流出計算支援エキスパートシステム

2. エキスパートシステムの開発環境と開発手法

2.1 開発の手順

エキスパートシステムの完成までの手順の概要は図-2.1に示すようになる。なお、各ステップの特徴は次のとおりである。

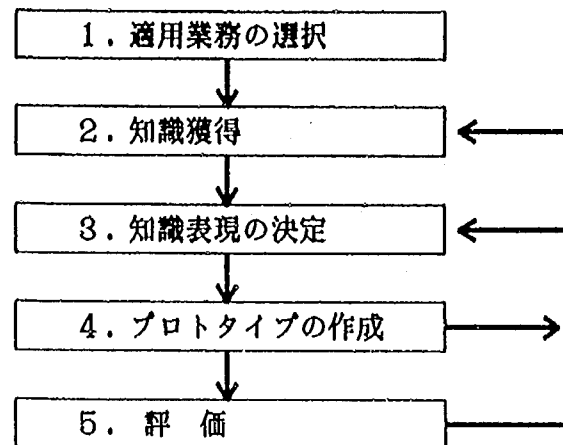


図-2.1 エキスパートシステム完成までの手順

①適用業務の選択

エキスパートシステムの対象とする問題分野を選択する。本当に専門家を必要としている分野かどうかを分析し、どの範囲までシステム化するかを決め、エンドユーザーを決める。

②知識獲得

専門家の協力のもとに、専門知識を洗い出して整理する。同時に、関連する知識や特殊な知識もすべて整理する。

③知識表現の決定

知識の複雑さに応じて、適切な知識表現形式を決める。一般には、ルール表現（プロダクションルール）は簡単な知識からやや複雑な知識の表現に向いており、フレーム表現は複雑な知識表現に向いている。表現方式が決まれば、エキスパートシステム構築ツールも決まる。

④プロトタイプ作成

エキスパートシステムの原型（プロトタイプ）は、システムの主要な機能を部分的に実現するものである。プロトタイプによって、手法の妥当性や開発コストなどを確認することもでき、場合によっては知識獲得まで戻ってやり直すこともありうる。したがって、次のステップである評価の一部をこの段階で行い、ことによって作り直す。

⑤評価

実際の事例を通じて正確性、完全性や処理効率などの評価を行う。専門家が行うのと同じような判断との違いなどから、知識獲得や知識表現を工夫し、実行化システムを構築する。

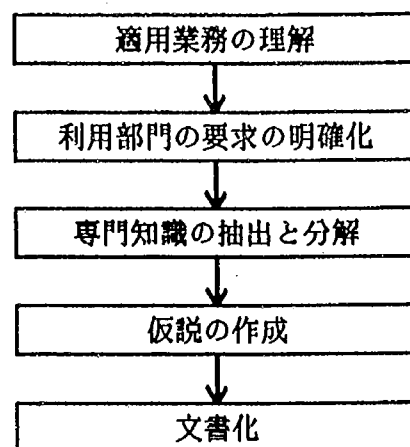
これらの手順の中でもっとも重要視されるのが知識獲得である。専門家の持つ意識している以上の知識（無意識の世界にある専門知識）を取り出すことが大変な仕事となる。

2.2 知識獲得手順

知識獲得とは、利用者および専門家が望んでいることを理解してエキスパートシステムの知識ベースに必要な情報（知識）を入手することである。エキスパートシステム構築での知識獲得は、最終的にはコンピュータが理解できる形式に表現しなければならない。したがって多くの場合、専門家から知識を引き出して特定の形式に変換するためにナレッジエンジニアが介在することになる。

一般に専門家の持つ知識が整理された資料の形式で存在しない場合には、専門家から知識を得なければならない。しかし、専門家ですら知識を正しく表すのは困難である。経験や勘による知識は曖昧さを含んでいたり、過去の処理ケースのすべてを洗い出して整理するのに物理的に時間がかかるからである。

専門家の知識を正しく抽出する手順を図－2.2に示す。



図－2.2 知識獲得のための手順

①適用業務の理解

予備知識とした適用業務の主な仕事の内容と仕事間の流れを理解する。発生するデータの入力と出力要件を決定する。

②利用部門の要求の明確化

構築するエキスパートシステムの適用業務は利用部門が要求している諸要件を本当に満足しているかを明確にしなければならない。エンドユーザーを明確にする。

③専門知識の抽出と分解

利用部門の要求を解決するための解法を見つける。ナレッジエンジニアが専門家にインタビューすることによって知識を抽出することが多い。インタビューも焦点を絞ってインタビューする方法と多様な質問を駆使したインタビューする方法がある。予め質問表に答えてもらい、

疑問点についてインタビューする。その他に既存の事例を集めたものから帰納的に法則を見いだして高度な知識を構築する方法もある。

獲得した知識は事実を決定し、事実間の関係を決して、意味のある知識構造を作り上げる。

④仮説の作成

抽出した専門家の知識をもとに仮説（結論）を明らかにする。事実と事実の関連図の確認と決定を行い、専門家に検証してもらう。

⑤文書化

抽出した知識について、抽出しやすい浅い知識や専門家も認識していない深い知識の度合いを見るためにベン図、意味ネットワーク、階層木、決定木、決定表を用い明確にする。

2.3 知識の表現

(1) プロダクションシステム

1960年代から1970年初期にわたって作成されたエキスパートシステムは、知識を「もし～ならば__である。」というプロダクションルールで表現した。現在では認知モデルとしてのプロダクションシステムはエキスパートシステムの知識の表現形式および推論方法の1つとして多くのシステムに適用されている。

ルールは「if 条件部 then 結論部」のように表現する。条件部、結論部にも要素を複数個並べることができる。また、ルールとして不確定な要素を含むときには確信度と呼ぶ-1から1までの係数を用いて曖昧さを表す方式もある。また、言い表しにくい曖昧なことを表現するためにファジィ理論がエキスパートシステムに適用されてきている。

プロダクションシステムの推論は作業領域の事象や事実とのルールの照合によって行う。事象を与えることによってルールの条件部に照合するものと結論部を作業領域に加えるような推論を前向き推論といい、仮説を与えることによってルールの結論部に照合するものの条件部が作業領域の事実で証明できるかを調べる推論を後ろ向き推論という。

推論の処理効率をあげるためにルール間の関係を示す適切なメタ知識を作成する方法がある。しかし、ルール自体が単純であるためにより複雑な知識構造を表現することは不可能である。したがって、プロダクションシステムの適用業務は複雑すぎない適度なものを対象にすると良い。

(2) フレームシステム

スロットからなるフレームは意味ネットワークから派生したものである。フレームは知識を階層的に表現することができデータの継承と関連知識によって遂行することができ、この知識を効果的に利用することによって柔軟なエキスパートシステムを構築することができる。

(3) 黒板モデル

知識をグループ化した知識源とそれぞれに対応した黒板のレベルを効果的に利用することによって、巨大な知識を分割してシステムを構築していく方法が黒板モデルである。段階的に推論を行っていくような問題に対して黒板のレベルを利用しながら協調的な処理を行うことが可能である。

2.4 知識表現の決定

エキスパートシステムの適用業務は図-2.3に分類することができる。また、その知識は分類を表すもの（静的なグループ）と行動や例外記述を表すもの（動的なグループ）に大別できる。動的なグループは意味ネットワークによる表現が多く、静的なグループは階層木や決定木などの表現が多い。診断、予測、処方、は主として静的なグループに分けられ、残りのタイプは動的なグループに分けられることが多い。

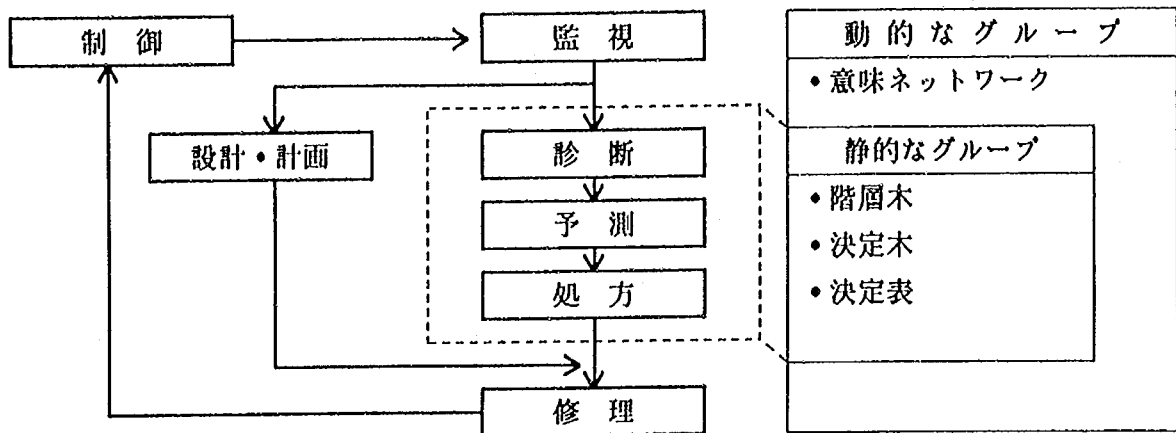


図-2.3 適用業務と知識の主な性質

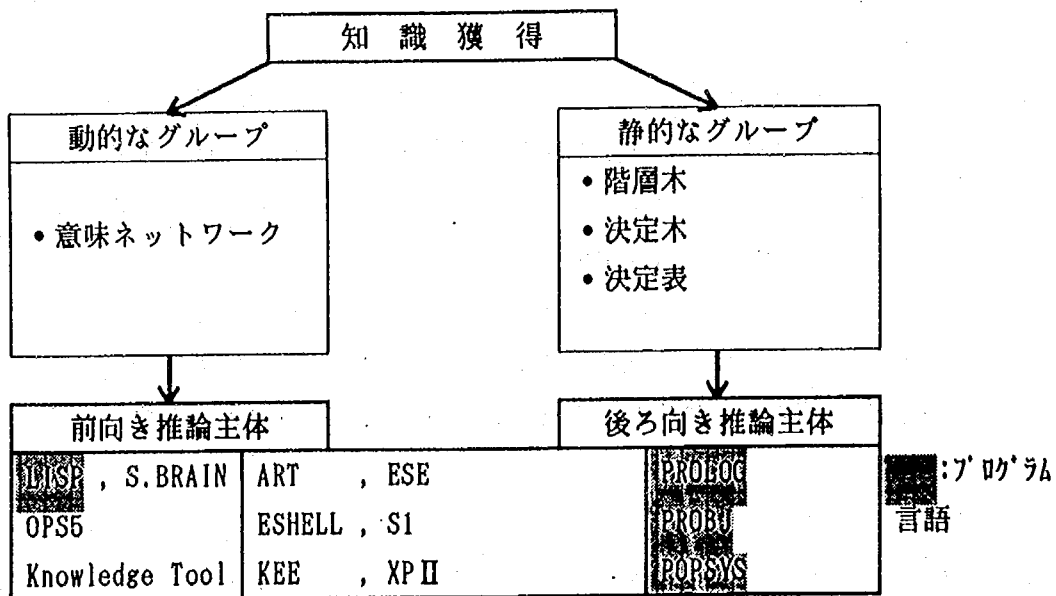


図-2.4 知識の主な性質と推論

さらに、問題タイプの知識を抽出し、推論方式を分類すると図-2.4のようになるが、複合型のものもある。よって、1つのAI言語とエキスパート構築ツール、技術計算システムとリンクした開発が増えている。

2.5 稼働機器と構築言語およびツール

適用業務の選択からエキスパートシステムに使用するコンピュータが決定され、知識獲得で得られた知識から、知識の表現方式やルール数より、構築言語や構築ツールが決定する。ここではエキスパートシステム構築に用いられたコンピュータや言語およびツール、運用されているコンピュータ等について示す。

(1) エキスパートシステムに用いられているコンピュータ

エキスパートシステムの開発に用いられるコンピュータのタイプによって次のような特徴がある。

①汎用機

汎用機上のエキスパートシステムの運用形態では、バッチ処理 (Batch System) と T S S 処理 (Time Sharing Programing System) がある。バッチ処理のシステムでは処理の対象となるデータを一定量にまとめて一定の順序で処理する方式でデータを迅速に処理する能力がある。この方式は科学技術計算などによく用いられており、プロダクションルールのみとなった実用のシステムには用いることが可能となる。一方、T S S 処理のシステムでは対話型方式で知識の記述ファイルの作成や構築ツールによる対話型推論を行うことができる。

汎用機上の欠点は、構築ツールを用いたシステム作成では汎用機で培われているFORTRAN, COBOLのシステムとのリンクが難しく、入出力に問題があり、トータルなマンマシン・インタフェースが整っていない。

汎用機上の長所としては、作成にあたってメモリの制約を受けない。汎用機上のデータベースを利用できる。実用システムとなった場合に多数の端末で稼働させることができる。

②エンジニアリングワークステーション (EWS)

エンジニアリングワークステーション (以下、EWSと略す) のほとんどはOSにUNIXを使用しており、汎用機のようにバッチ処理、T S S 処理が可能である。

EWS上の欠点は、多数の端末を稼働させることができない。

EWS上の長所としては、WINDOW処理でデータ入力およびデータの確認をディスプレイで確認することが可能である。A I 言語や科学技術計算言語とのリンクが容易である。

③A I 専用機

A I 向きの言語のための専用機で処理が早い。しかし、他の言語を用いることが難しい。

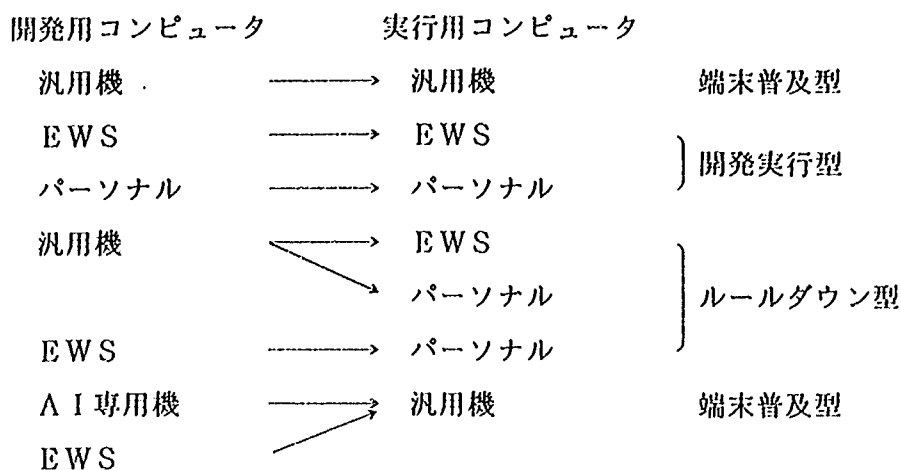
④パーソナルコンピュータ

パーソナルコンピュータのほとんどはOSとしてMS-DOSを用いており、メモリ容量が640KBと小さい。メモリ容量を増やす方法でEMSを用いることも可能である。

パーソナルコンピュータ上での欠点はメモリ容量の制限があり、処理速度が遅く、並列処理ができない。

パーソナルコンピュータでの長所はシステムが比較的安価である。

このようにコンピュータのタイプにより、それぞれの特徴があり、「開発マシン→実用マシン」の形態は次のようにされている。



(2) エキスパートシステムの構築言語と構築ツール

初期のエキスパートシステムは専門知識をゼロから獲得し、推論エンジンや説明機構などもゼロから作成した。ある専門知識を獲得するためには、対象領域の専門家の協力が必要とし、知識ベースをゼロから作成した。その後、推論エンジンや説明機構は共有できそうであることがわかってきた。図-2.5に示すようにAシステムもBシステムも同一の推論エンジンを利用することができるのである。

このような考え方に従って、エキスパートシステムの知識ベースの部分だけを空にしたシステムが作られた。このように推論エンジンや説明機構の部分を持ち、知識ベースを作るだけで新たなエキスパートシステムを作成することができる道具のことをエキスパートシステム構築ツールという。エキスパートシステム構築ツールは知識の表現方法が異なっていたり推論の方式が異なっていたりする。作成したいエキスパートシステムの知識の特徴などを分析して最適なエキスパートシステム構築ツールを選べば良いのである。

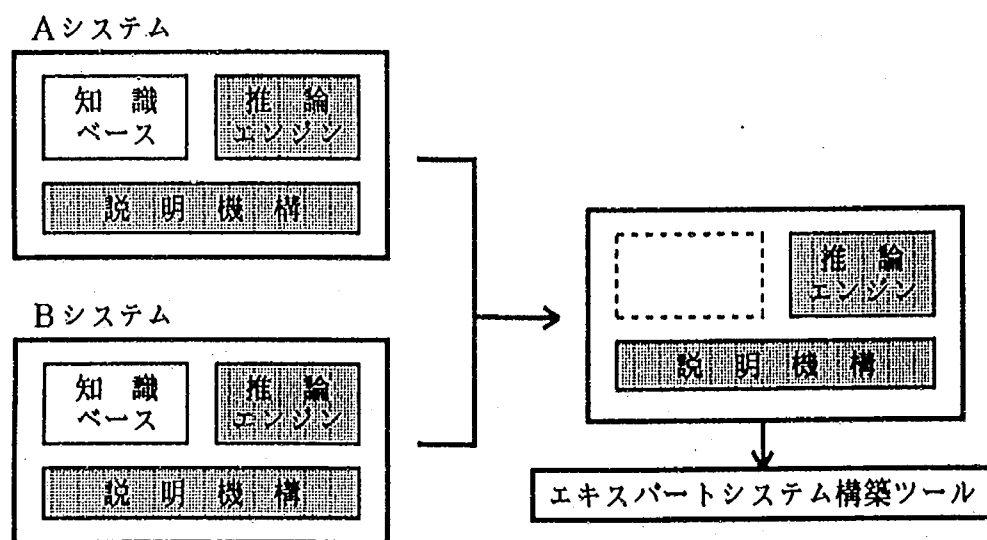


図-2.5 エキスパートシステム構築ツール

1) AI 向きのプログラミング言語

従来から使われているコンピュータ言語は数値データの処理を主体とするために、記号表現による知識を処理するのには不向きである。知識の表現や処理を容易に行うことのできる言語のことをAI 向きの言語といい、LISPやPROLOGが有名である。

表-2.1 代表的なAI 向き言語

言語名	タイプ	特 徴
LISP	関数型	リスト処理を中心
PROLOG	論理型	後ろ向き推論エンジンバックトラック機構
SMALLTALK	オブジェクト指向	オブジェクト間の性質の継承機構

2) エキスパートシステム構築ツール

エキスパートシステム構築ツールを選ぶにあたって、代表的な構築ツールの知識表現や推論方式について分類し、表-2.2 に示す。

表-2.2 代表的なエキスパートシステム構築ツール

ツール名	知 識 表 現	推論方式
ESHELL	ルール、フレーム、黑板	前向き、後ろ向き
ES/KERNEL	ルール、フレーム、黑板	前向き、後ろ向き
KBE	ルール、フレーム、オブジェクト	前向き、後ろ向き
OPS5	ルール	前向き
Super-BRAINS	ルール、フレーム	前向き
KBMS	ルール、フレーム、オブジェクト	前向き
ART	ルール、フレーム、黑板、オブジェクト	前向き、後ろ向き
XPT II	ルール、フレーム、オブジェクト	前向き、後ろ向き

これらのAI 向きの言語およびエキスパートシステム構築ツールを用いてのエキスパートシステムを作成する場合に、現在の構築ツールは完成度が低く、トータルなマンマシン・インタフェースの充実が望まれる。また、知識獲得に対して専門家さえ気づきにくい法則性を発見するため既存事例や仮定インタビューの結果から帰納的に知識を獲得できるのツールの充実が望まれる。

2.6 最新の動向

エキスパートシステムは、人工的に知的なシステムを作り上げる分野の成果である。知的なシステ

ムにするためには人間とシステムとの間の対話がスムーズにできるようにしなければならない。人間同士の対話と同じようなやりとりを行うためには図-2.6のような能力を持つことが前提になる。

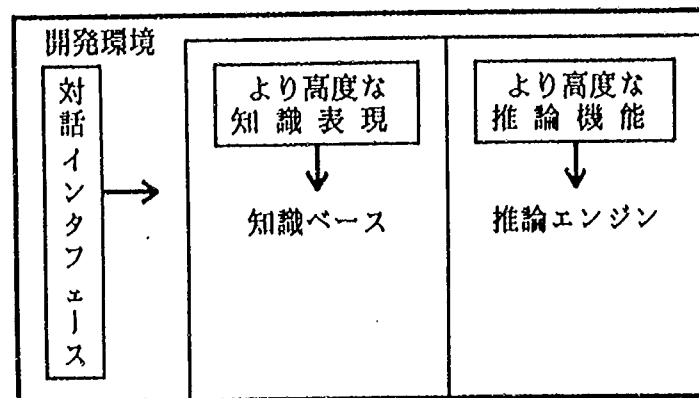


図-2.6 発展に望まれる事柄

(1) より高度な知識表現

ルール表現やフレームなどは、単純な知識や高層知識を表現するのには便利であるが、人間が持っているような複雑な知識を表現するのには不向きと考えられる。あいまいな知識、浅い知識、深い知識などをより簡単に表現できるような新しい知識表現形式の開発が望まれる。

(2) より高度な推論機能

人間の推論機能そのものがあまり解明されていないこともあり、人間の推論と同じような働きをするものがほとんどないといってもよい。人間は状況に応じて一つの知識を各種の用途に使い分けることができるが、ルールでは一つの解釈しか適用しない。人間は推論結果を推論した人なりに最高のものと考えることができるが、エキスパートシステムでは推論方法によっては複数の結果を出してくることもあるので、これらの結果の中から選択しなければならない。これらの問題を克服するためにはより高度な推論方式が望まれる。

今までの推論方式は、知識獲得より得た外部で整理された知識を利用する方式である。新しく望まれる推論方式は実例からの学習による方式で、与えられた事例間の類似性を見つけて、一方の事例に関する知識を変換して新しい知識を求める類似推論（類推）、与えられたデータ群から一般則としての知識を求める機能推論、あいまいさを加味したファジィ推論などがある。

(3) 開発環境

より知的なシステムを構築するための開発環境も知的であるべきである。開発環境が知的であるためには、人間の言葉に近いレベルで指示やコーディング（記述）ができる必要がある。知識の指定方法が一段と簡単にできることも重要になる。対話インタフェースを重視した開発環境が必要になってくる。また、今までFORTRAN、COBOLなどで作成した情報処理システムとの統合やC A Iシステムとの融和およびデータベースシステムとの結合への動きがある。

3. エキスパートシステムによる橋梁形式選定システムの構築

3.1 システム構築の概要

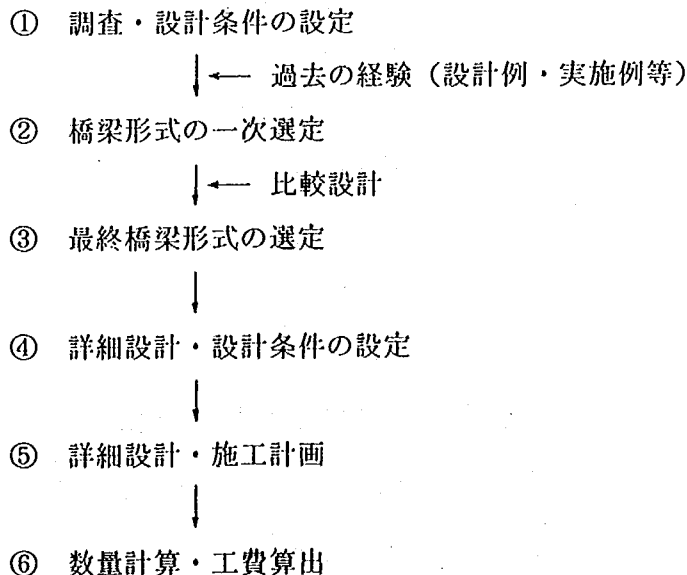
3.1.1 システム構築の目的

まず、ESの特徴、既往の適用事例、およびその構築のための方法に関する調査を、文献調査あるいはES開発経験者との面談により実施した。土木構造物においてESを利用するための問題を抽出し、またその解決を図るためには、実際にESを構築し、その過程で生ずる問題に対して具体的に対応していくことが最も有効であると考えられたため、「橋梁形式選定エキスパートシステム」を構築することとした。ケーススタディとして橋梁形式選定を選んだ理由は以下のとおりである。

橋梁計画では、架設地点の条件や道路構造条件に合わせ、橋梁工学的および地域社会的、経済的な観点から、多くの要因を検討しつつ最適な橋梁形式を選定する必要がある。橋梁形式は鋼橋、コンクリート橋を含めると30種類以上あり、与えられた支間長に対して適用可能な橋梁形式は10種類以上に及ぶことも多い。また、下部工形式選定にあたっては上部工からの反力、橋脚高さ、地盤条件等を勘案して決定する必要があるが、経験に乏しい技術者が適切な形式を判断することは容易ではない。このような分野でESが実用化すれば、専門家に代わる判断システムとして、あるいは実務者の判断を助ける支援システムとして、業務の合理化・効率化に大きく寄与することが期待できる。

3.1.2 システム化の範囲

橋梁計画は大別すると、以下の流れで行われる。



このうち、②の橋梁形式選定作業は膨大な知識と経験を背景に①で得られた調査結果と各種制約条件下での最適な橋種を試行錯誤を繰り返して選定するものである。

今回ESを作成する範囲としては、架橋地点が決定した後に地形、地盤、交差条件を考慮して、可能性が高いと考えられる数種の橋梁形式（橋長、支間割、上部工形式、下部工形式、基礎形式、架設

工法など)を選定するまでを考えている。

3.1.3 システム構築の全体計画体計画

システム構築はフローで進めることとした。また、各検討項目の内容は以上のとおりである。図-3.1に示す。

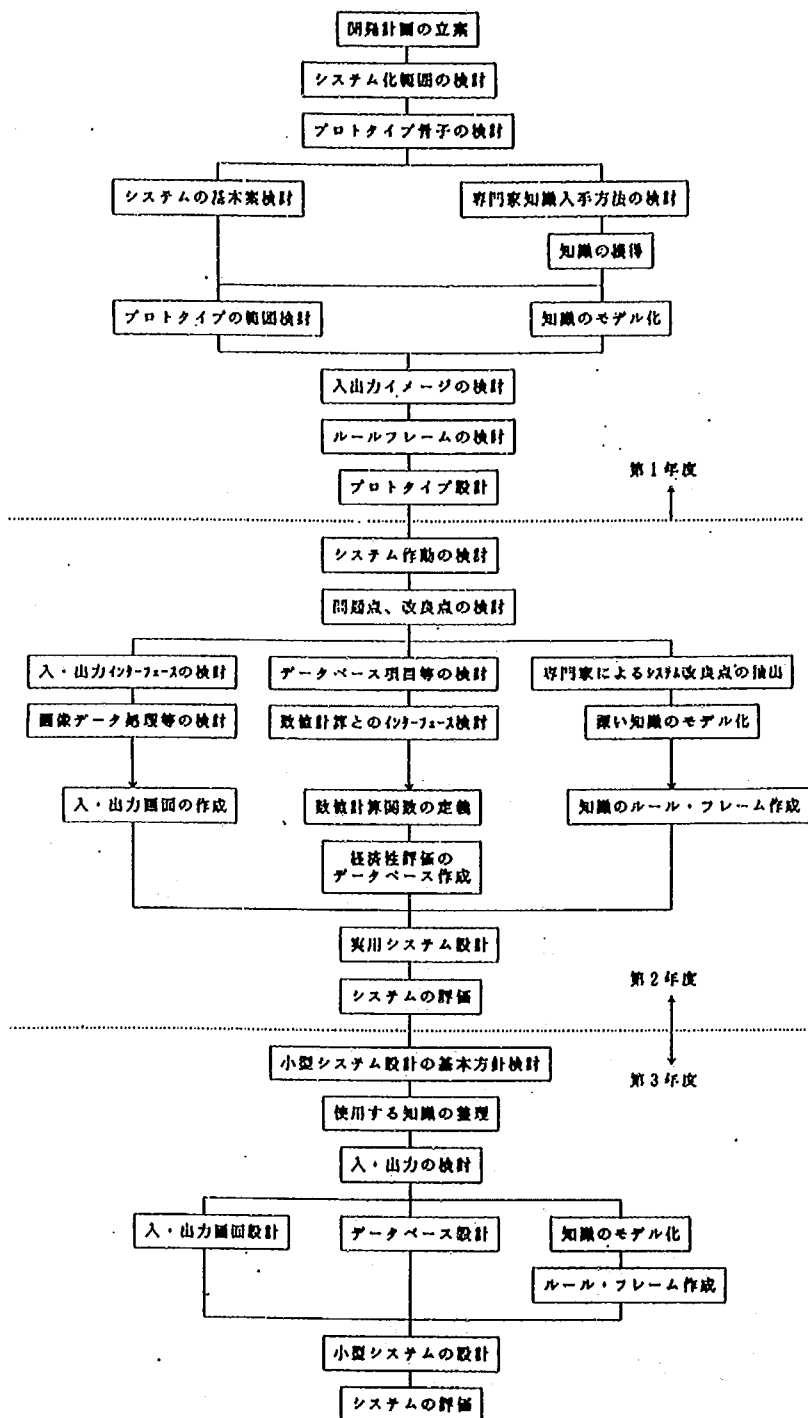


図-3.3.1 全体計画のフロー

i) プロトタイプ作成

① プロトタイプ骨子の検討

プロトタイプレベルのシステムについて、具体化する上での骨子を検討する。

- ・各種条件の入力手段
- ・知識のレベル分け
- ・推論の流れ
- ・推論結果の表示方法

② 専門家知識の獲得

ここでは、全体システムを対象とし、ケーススタディを通じ専門家が行う判断に着目し、判断に要する知識について検討を加える。

- ・ケーススタディの選定
- ・システム全体のフロー設計
- ・各部分の専門家の判断部整理
- ・判断に要する知識のヒアリング
- ・知識間の関係の整理（教科書的知識と経験的知識の分類）

③ 知識のモデル化

②で得られた知識について、システム化を想定したモデル化を実施する。

- ・思考モデルの作成（知識のモデル化）
- ・プロトタイプモデルに要する思考モデルの整理
- ・思考モデルをもとにツールに適したシステム化の検討
- ・ルール、フレームのモデル化案作成

④ 入出力の設計

③の知識をもとに、判断に必要な項目のうち、利用者側から提供される条件を入力としてシステムに取り込む事になりその取り込み方法を設計する。

- ・知識と入力項目の関係の検討
- ・入力範囲の限定される項目の入力手段（選定方式の入力）
- ・イメージとして取り組む必要のあるデータの処理
- ・ツールのもっている入出力手段と本システムに求められる入力手段の比較 また、推論結果は利用者にわかりやすく提示する必要がある、その方法を設計する。
- ・出力項目の整理
- ・出力方法の検討
- ・出力画面の設計

⑤ ルールの設計

ここでは、③で得られた知識を、ツールに従い具体的にルール・フレームとして作成する。

⑥ プロトタイプの設計

⑥ プロトタイプ的设计

⑤のルール及び入出力画面を組み合わせプロトタイプを設計する。

各種データ等を取り込んだ後、プロトタイプレベルでのシステムの動きをチェックし、部分的な知識の変更及び入出力の変更等を実施する。

ii) 実用化レベルのシステムの作成

① プロトタイプシステムにおける問題点の検討

ここでは、i) のプロトタイプについて

- ・入力システムの問題点
- ・出力システムの問題点
- ・判断に要する知識の問題点
- ・ケーススタディの適用及び、その結果の評価

② 入出力インターフェースの検討

プロトタイプの入出力画面に改良を加える。

③ データベース項目等の検討

- ・外部から取り込むデータの形式についての検討
- ・推論の結果を再度利用（参照利用）するため経験データとして蓄積する方法の検討

④ 知識の改良項目の検討

プロトタイプの問題点を解決すべく知識を付加する。

（より深い知識及び関連知識の取り組み）

⑤ 数値計算とのインターフェース検討

判断に用いるデータとして数値計算の結果を用いる場合は、そのインターフェースについて検討する。

⑥ 実用システムの設計

プロトタイプの改良あるいは、新規に実用システムを作成する。

⑦ 実用システムの評価

プロトタイプから改良事項の確認及びケーススタディとの適合性確認

iii) 利用者を想定した小型システムの作成

ii) の実用システムをもとに、パソコンレベルでの利用を前提としたエキスパートシステムへの知識の移行を行う。

3.2 橋梁形式選定手法に関する調査

3.2.1 橋梁についての用語の定義および橋梁の分類

本研究における橋梁の範囲を明らかにするため、またシステムに持たせる橋梁についての知識を明確にするため、橋梁の用語の定義および分類について整理する。

(1) 用語の定義

本研究における橋梁の基本的な知識として、橋梁各部の名称を「図解橋梁用語辞典 佐伯彰一編」より整理し、以下に示した。

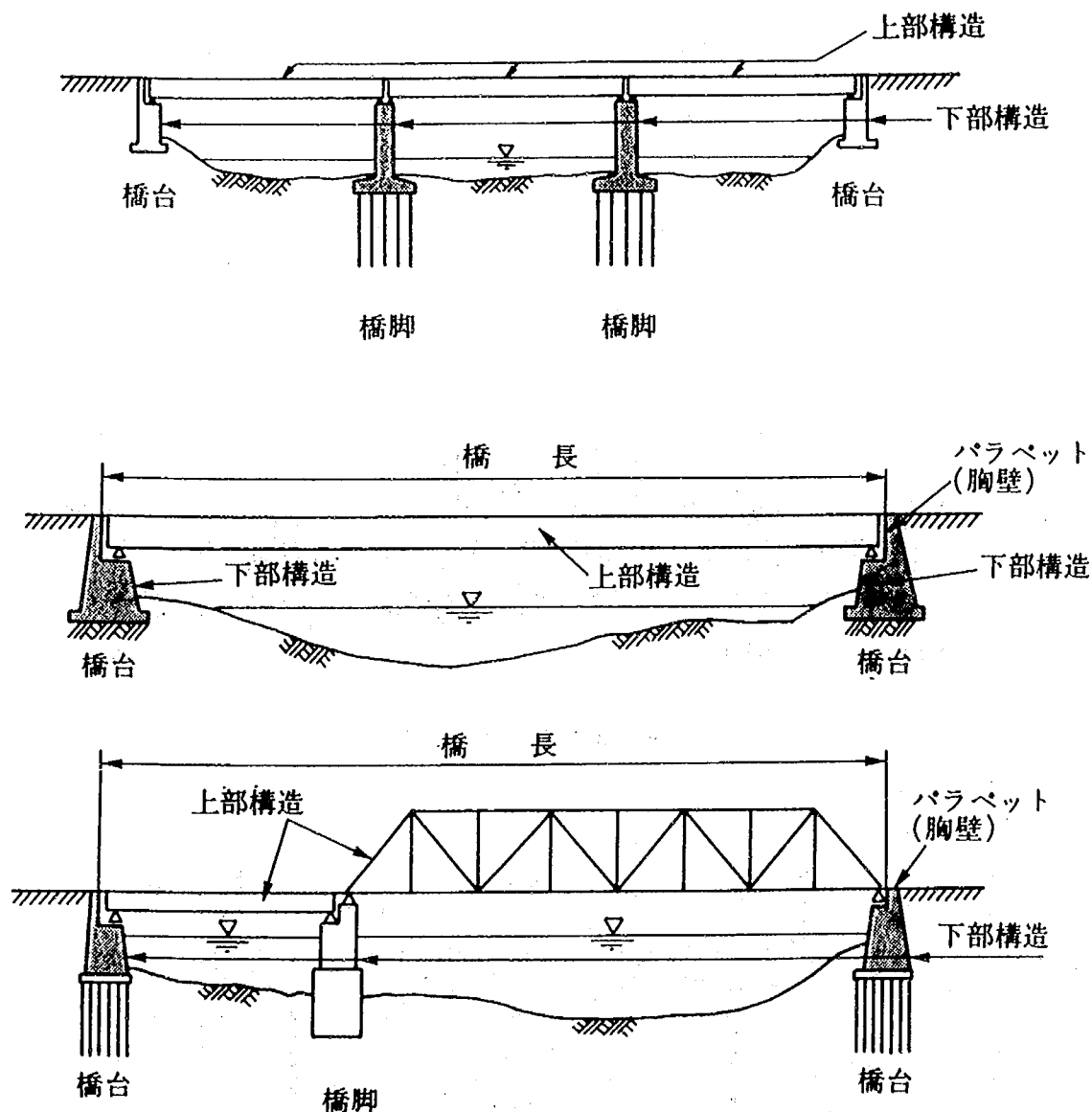


図-3.2.1 橋長、橋台、橋脚

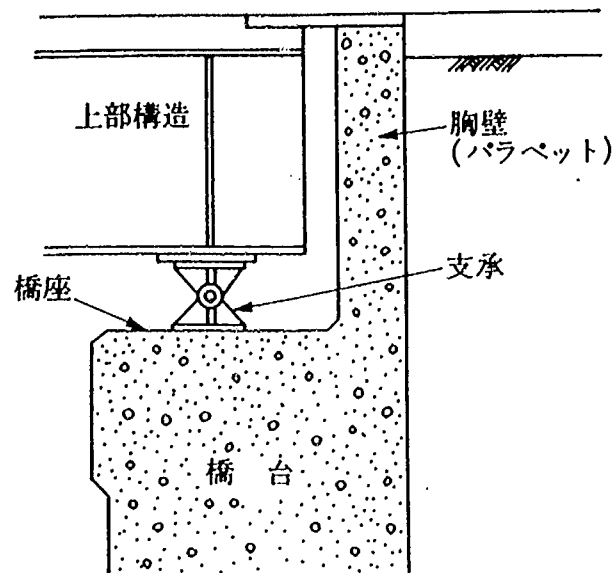


図-3.2.2 橋座, 胸壁

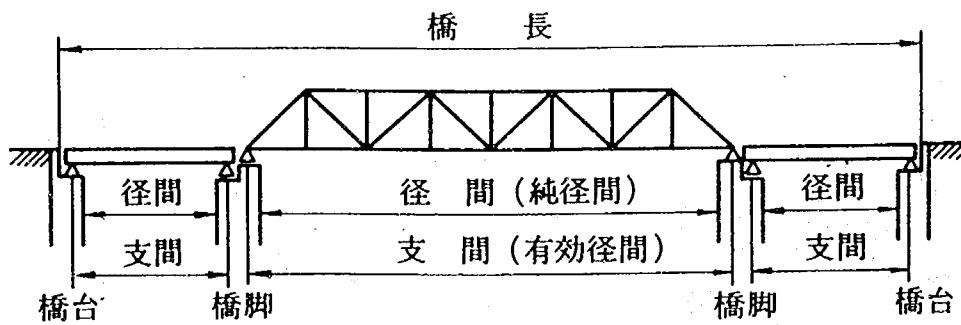


図-3.2.3 径間

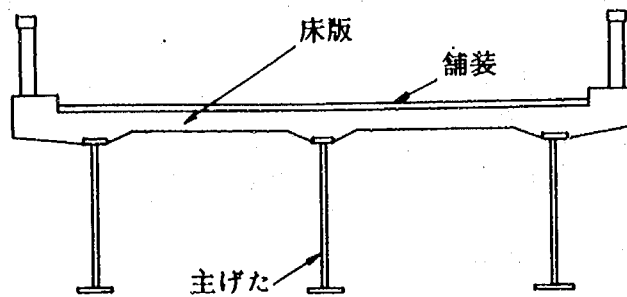


図-3.2.4 床版

(2) 橋梁の分類

橋梁の分類は、1) 用途、2) 使用材料、3) 通路の位置、4) 平面形状、5) 構造形式に従いなされており、本システムでもこれに従い、以下のように分類した。

表-3.2.1 橋梁の分類

項目	分類	内 容
用	1 道路橋	道路（路面電車軌道を含む）を通す橋。 道路橋示方書では道路橋を一等橋，二等橋に分類している。
	2 鉄道橋	鉄道を通す橋。
	3 歩道橋（人道橋）	歩行者（場合によっては自転車を含む）専用の橋。
	4 水路橋	水道，かんがい用，発電水力などの水路を通す橋。水管橋はその一つである。
	5 運河橋	河川や低地の上に運河を通す橋。
	6 併用橋	道路と鉄道，道路と水路などを同時に通す橋。
	7 架道橋	交差する道路と平面的に交差するのを避け上下に分離して交差するため架けた橋。道路をまたぐ橋，こ道橋ともいう。
	8 跨線橋	鉄道線路を横断してその上に架ける橋。
	9 陸橋	河川，湖沼，海峡などの水上ではなく陸上に架けられる橋。
途	10 可動橋	船舶の通過時に邪魔にならないように橋桁を開閉できるようにした橋。橋桁の開閉方式によって旋開橋，昇開橋，跳開橋及び転開橋に分けられる。開橋ともいう。
	11 固定橋	橋を動・不動によって分類したものの一つで，橋桁が動かない橋。 可動橋の対語。
	12 永久橋	半永久的に使用することを目的として架設された橋。道路構造令において道路橋は鋼構造，コンクリート構造またはこれに準ずる構造すなわち永久橋として建設することが規定

用 途		されている。 木橋は永久橋とみなされない。対語に仮橋、応急橋がある。
	13 仮橋（応急橋）	洪水や地震などで落橋した場合に応急的に架ける橋，橋の架替え時に代替として架ける橋あるいは工事用車両などを通行させるために架ける橋など一時的に使用することを目的として架けた橋。 永久橋の対語。
使 用 材 料	1 木橋	主要部分を木材で作った橋。木橋は耐荷力が小さく耐久性に劣ることから，現在はほとんど用いられない。
	2 石工橋	主要部分を石材，れんが，コンクリートなどで造った橋の総称。
	(1) 石橋	石材で造った橋の総称でおもなものに石造けた橋および石造アーチ橋がある。
	(2) れんが橋	主要部分をれんがで積み上げて造った橋。
	(3) コンクリート橋	上部構造の主要部分をコンクリートで造った橋。
	①鉄筋コンクリート橋 （R C 橋） ②プレストレスト コンクリート橋 （P C 橋）	鉄筋とコンクリートが外力に対して一体となって働くようにしたものをいう。圧縮応力に対してはコンクリートが，引っ張り応力に対しては鉄筋が分担するもので，コンクリートおよび鉄筋の長所をそれぞれ利用した橋。 P C 鋼材によってプレストレスングされたコンクリートを用いた橋。コンクリートは圧縮に強いが引張りに弱い。この特徴に対処するため，死荷重や活荷重によって生じる引張り応力を減殺するため，その部分にあらかじめ P C 鋼材で圧縮応力を加えたコンクリート。プレストレスの与え方によって，プレテ

使 用 材 料	③鉄骨鉄筋 コンクリート橋 (SRC橋)	ンション方式とポストテンション方式に分けられる。 コンクリートは引張りに弱い。それを補強するため一般にはコンクリート中に鉄筋を配置するが(鉄筋コンクリート), 鉄筋だけでなく形鋼などの鉄骨を配し, 力学的にそれらが一体として働くようにした構造の橋。
	3 鋼橋	橋の主要構造に鋼材を用いた橋。加工が容易で複雑な構造に適する, 軽量であることなどが, その特徴で, コンクリート橋とともに最も多く用いられる形式の橋。特に長支間橋に適する。
通 路 の 位 置	1 上路橋	通行路をけたやトラスあるいはアーチなど橋の主構造の上方に設けた橋。
	2 下路橋	通行路をけたやトラスあるいはアーチなど橋の主構造の下方に設けた橋。
	3 中路橋	通行路をけたやトラスあるいはアーチなど橋の主構造の中間部に設けた橋。
	4 二層橋	一つの橋に上下2段の通行路を設けた橋。
平 面 形 状	1 直線橋 ①直橋 ②斜橋	橋軸が直線の橋。 橋軸が直線で橋軸と支承とのなす角が直角な橋。 橋軸と支承線となす角が直角でない橋。また, 両者のなす角の鋭角側の値で傾き方の程度を表し, これを斜角という。
	2 曲線橋	橋軸が曲線の橋。
構 造 形 式	1 けた橋 ①Iけた橋 ②Tけた橋	主構造にけたを用いた橋 主けたの断面形状がI字形(Iけた)となっている橋。鋼橋として最も一般的に用いられる。 主けたの断面形状がT字形(Tけた)とな

構造	③箱げた橋	っている橋で、主としてコンクリート橋に用いられる。 主げたに箱げたを用いた橋。 中空の閉じた断面のけた。I げた, T げたなどに比べ曲げ剛性およびねじれ剛性が大きく、長支間の橋や曲線橋の主げた, 吊橋や斜張橋の補剛げた用いられる。一般的に断面形状は方形および逆台形となる。
	④プレートガーダー橋	鋼板あるいは形鋼を組み上げて造ったけたこのけたを主げたとして用いた橋。
	⑤合成げた橋	異種材料からなる部分あるいは別個に作られた部分を力学的に一体化させたけたを用いた橋。
	⑥格子げた橋	並列する数本の主げたとそれらに交差する数本の横げたとが、格点において接合された構造を格子げたという。格子げた構造を利用した橋梁が格子げた橋。
	2 トラス橋	主構造にトラスを用いた橋。
形式	3 単純橋	両端を単純支持したけたやトラスを主構造として用いた橋。
	4 連続橋	主げたや主構などの主構造が2径間以上にわたって力学的に連続している橋。
	5 ゲルバー橋	連続げたの支間部に不静定次数に等しい数のヒンジを設け静定構造としたけたを用いた橋。
	6 アーチ橋	アーチを主構造として用いた橋。 一つの平面内での形状が上側に凸の曲線になっている構造形式。荷重によって主として圧縮が生じるのが特徴。
	(1)支持条件による 分類	

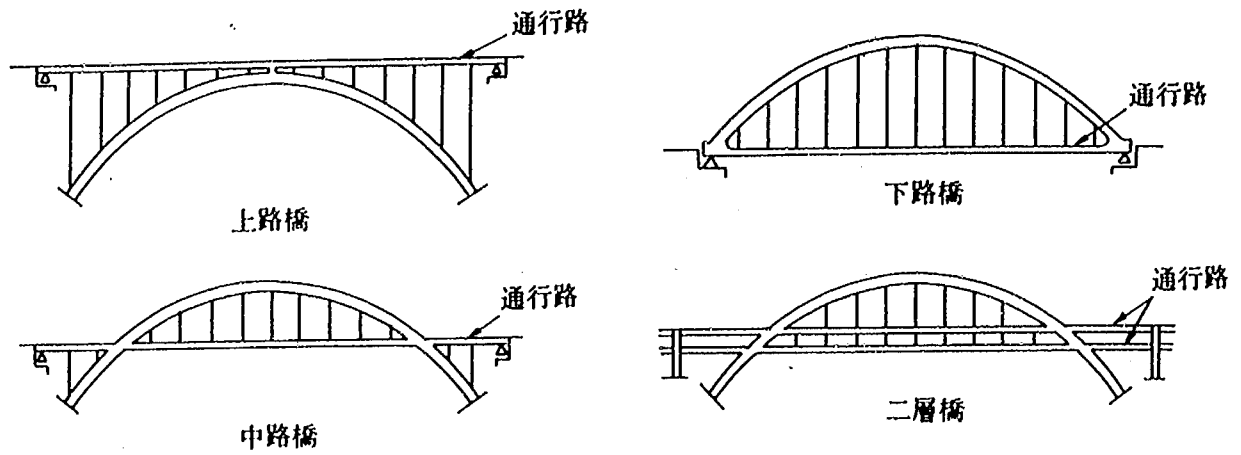


図-3.2.5 通行路の位置による橋の分類

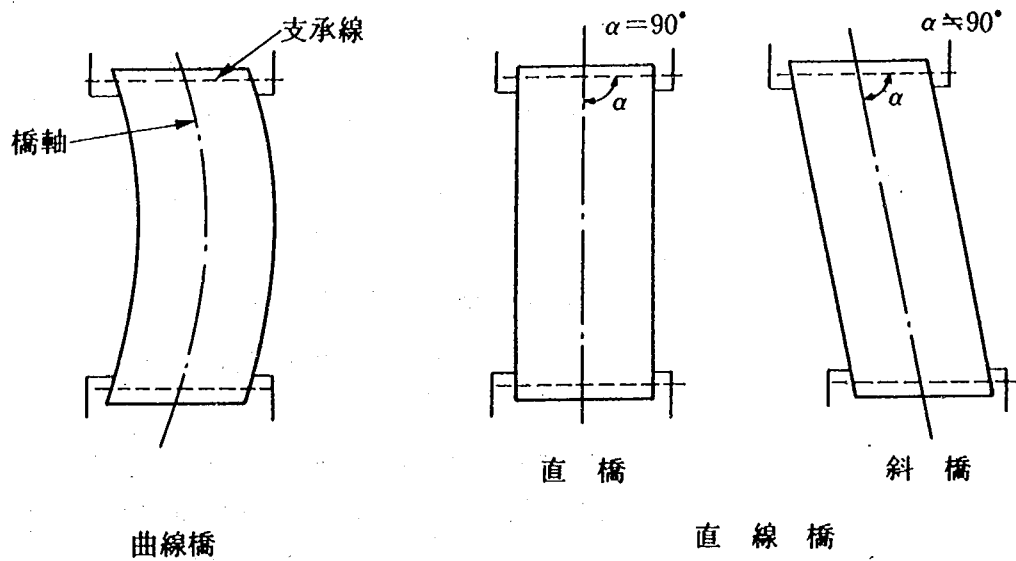


図-3.2.6 平面形状による橋の分類

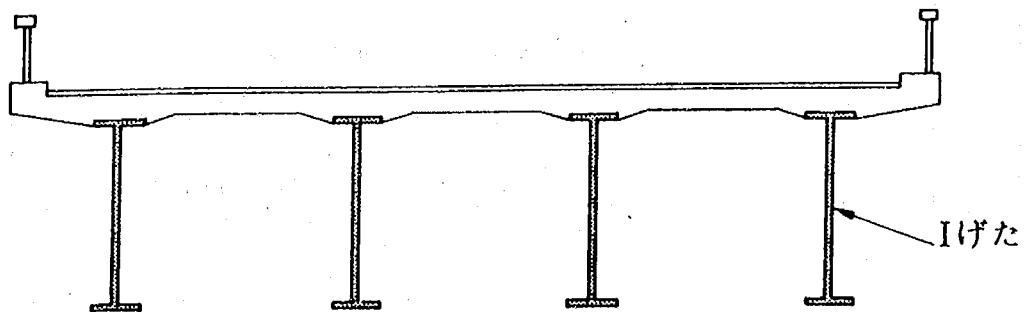


図-3.2.7 Iげた橋

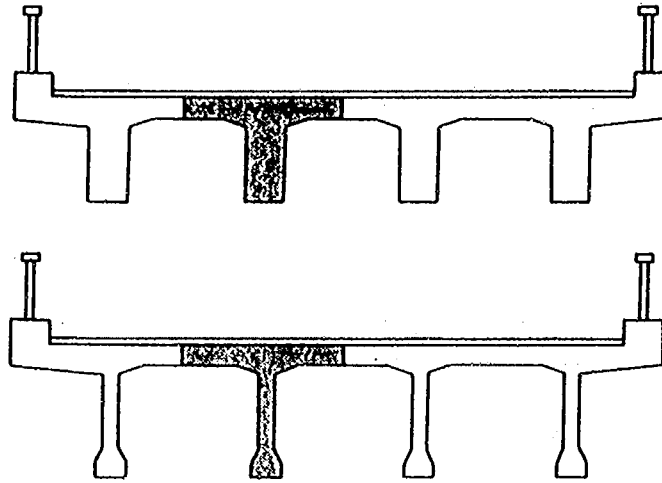


図-3.2.8 Tげた橋

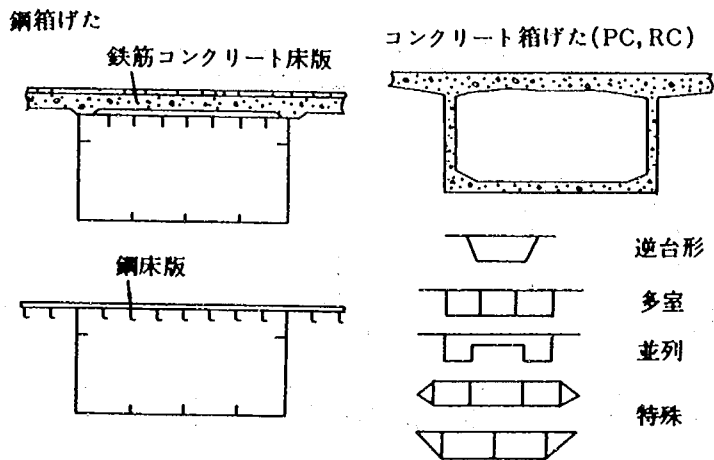


図-3.2.9 箱 げ た

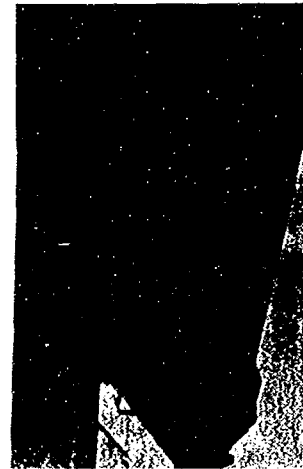


図-3.2.10 箱げた橋



図-3.2.11 プレートガーダー橋

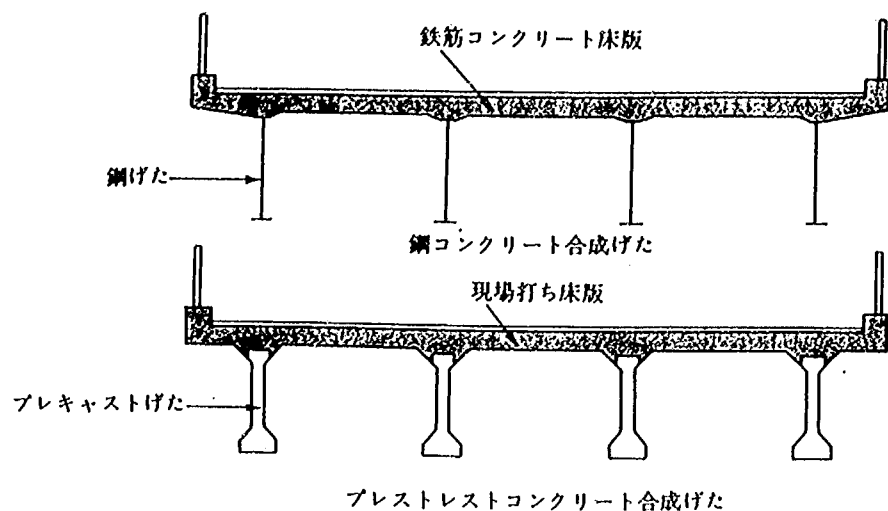


図-3.2.12 合成げた

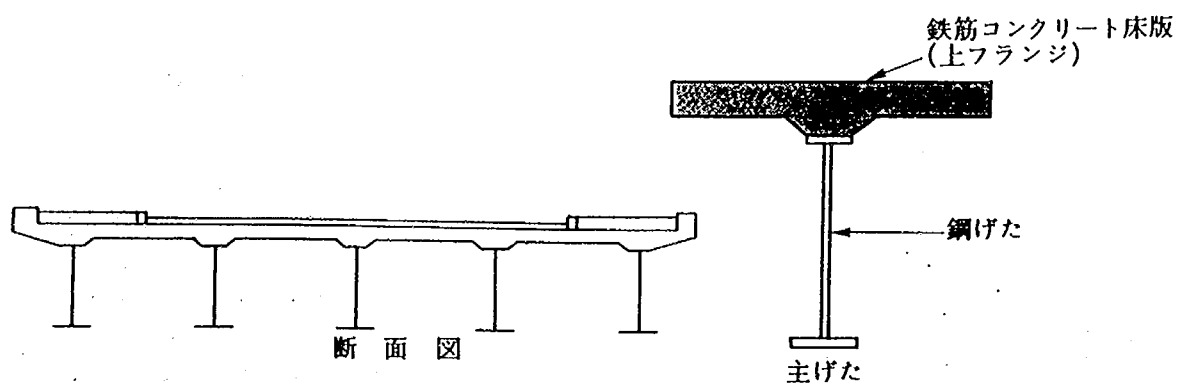


図-3.2.13 鋼コンクリート合成げた

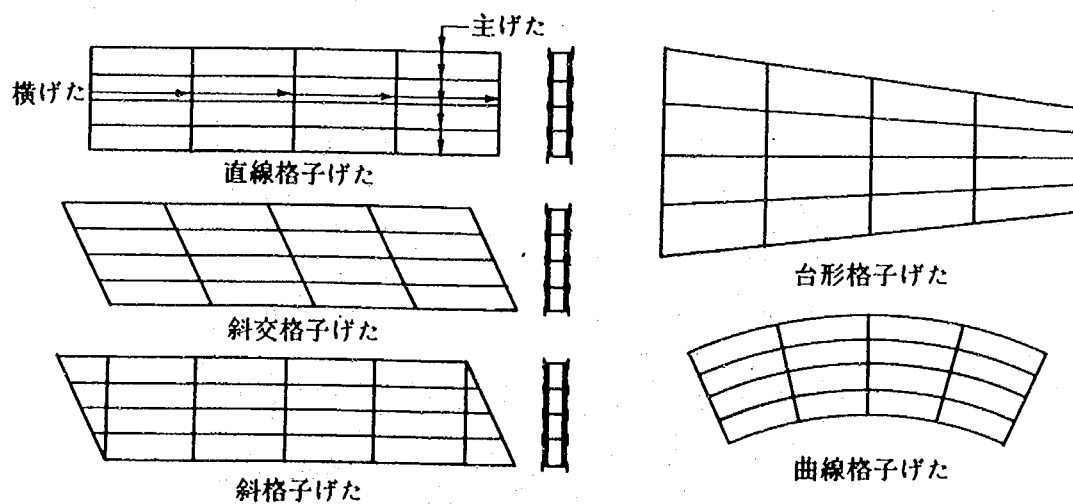
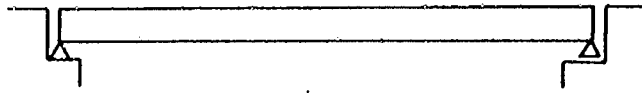


図-3.2.14 格子げたの分類

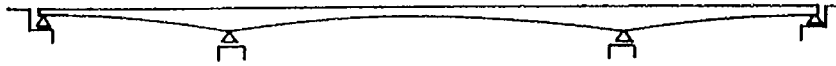


単純げた橋

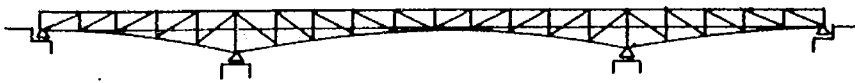


単純トラス橋

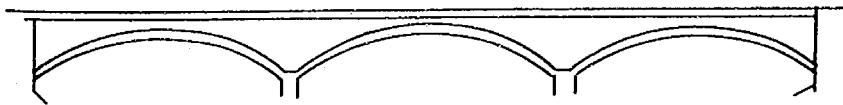
図-3.2.15 単純橋



連続げた橋

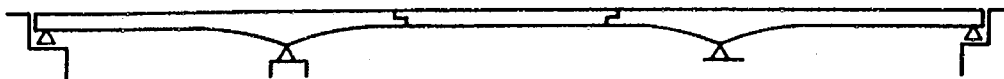


連続トラス橋

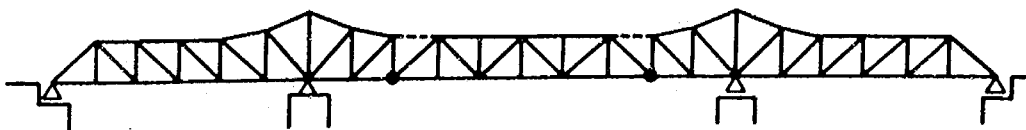


連続アーチ橋

図-3.2.16 連続橋



ゲルバーげた橋



ゲルバートラス橋

図-3.2.17 ゲルバー橋

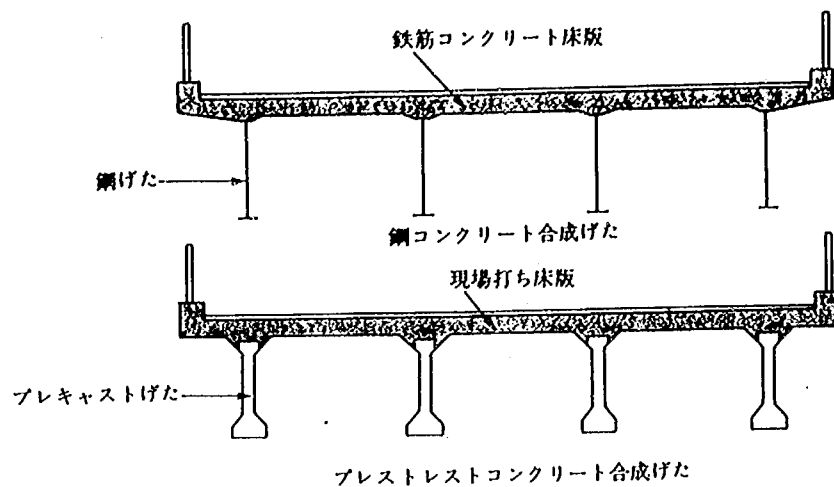


図- 3. 2. 18 アーチ橋

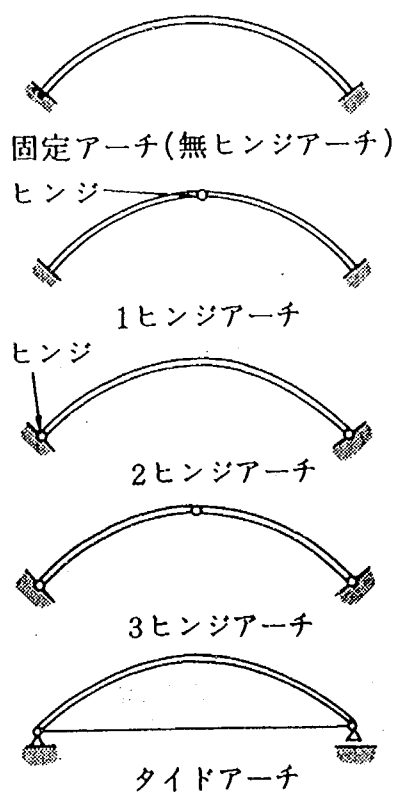


図- 3. 2. 19 アーチの形式

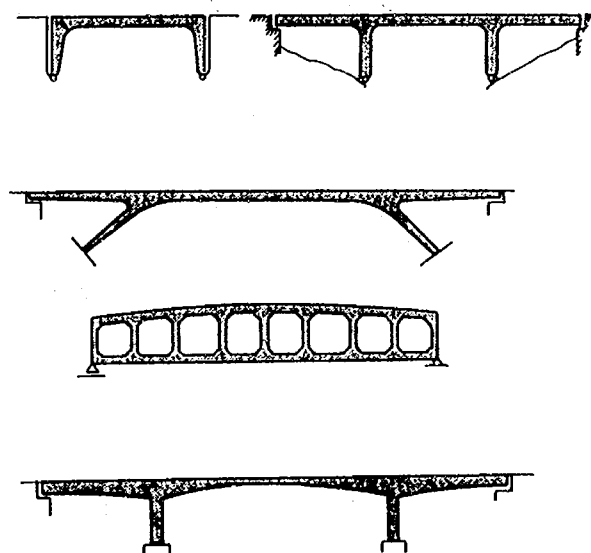


図- 3. 2. 20 ラーメン橋の例

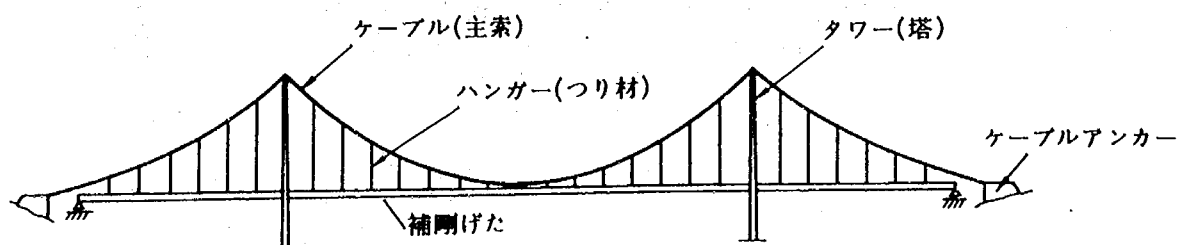


図- 3. 2. 21 つり橋

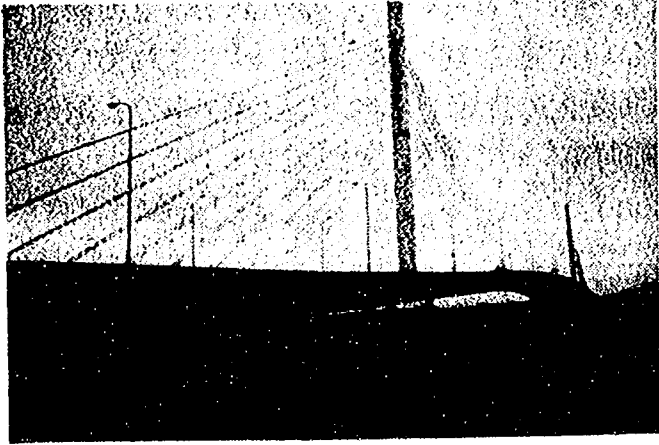


図-3.2.22 斜張橋

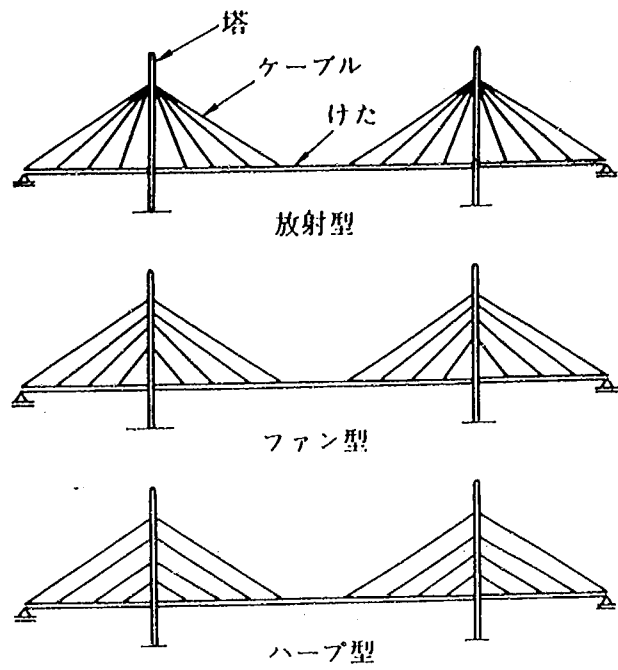
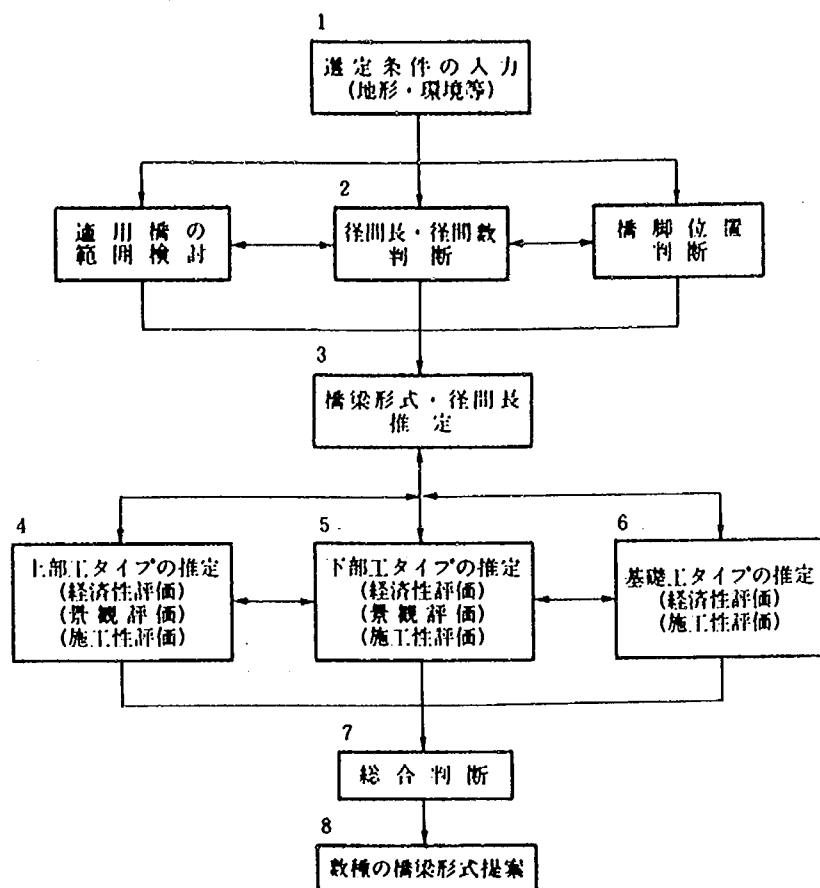


図-3.2.23 斜張橋のケーブル配置

3.2.2 橋梁形式選定の全体の流れ

橋を架けるという条件が与えられたときに、どのような検討、調査を実施すべきかその手順について整理する。なお、まず第一に河川に架ける道路橋を中心に知識をまとめ、次いで各種の橋梁を対象に知識を拡張するものとする。また、橋を検討するのに必要となる架橋地点およびその地形図等のデータは入手してあるものとし、調査の手順をまとめる。

一般に、都市計画や道路建設計画が検討され、河川等がある場合には、橋を架ける必要が生ずる。このときの一般的な橋梁形式選定作業の流れは図－3.2.24のとおりである。



図－3.2.24 橋梁形式選定フロー

3.2.3 橋梁形式選定における検討事項

橋梁形式選定における検討事項は、1) 地形・地盤条件、2) 交差する河川や他の交通路との関係、3) 施工条件、4) 環境条件、5) 経済性、の各項目であり、次のような内容である。

1) 地形・地盤条件

架橋地点の地形は道路線形を左右するだけでなく、橋台や橋脚の施工が可能な位置を限定し、橋梁の支間を決定する条件にもなる。地盤条件は耐震設計上重要であり、水平力に対する支持方式を決定するための主要因となる。

気象条件も自然条件の一種と考えられるが、台風や地震など橋梁の強度に直接影響するものばかりでなく、河川の増水や降雪など施工可能な期間を左右する要因ともなる。

2) 交差する河川や他の交通路との関係

多くの橋梁では、交差する河川や他の交通路との関係から支間割りやクリアランスなどの条件が決定されるのが普通である。この場合、交差する物件の管理者の了解を得なければならないため、将来計画を含めて十分に協議しておく必要がある。

3) 施工条件

前述したように、自然条件や工事に必要な交通規制などにより工期が制約を受けることがあり、これにより選定し得る橋梁形式が限定されることがある。また、製作工場からの距離、使用可能な輸送手段や架設機材、地組スペースの有無なども形式選定上の要因となる。

4) 環境条件

日本海沿岸の塩害多発地域や温泉地帯のように厳しい腐食環境に架設する場合には、防食上の配慮が必要となるが、最近ではむしろ、周囲の景観との調和を考慮して橋梁形式を選定するという意味で環境条件をとらえることが多くなっている。また、市街地においては、伸縮継手上通過時における騒音が問題となることが多く、伸縮継手を減らす構造、すなわち多径間連続桁形式が採用される事例が増加している。

5) 経済性

上に述べた種々の条件を考慮して橋梁形式の選定が行われるが、経済性が最終的な決定要因となることが多い。それぞれの橋梁形式には、最も経済的な支間の領域があり、支間割りが決定されれば、検討の対象となる橋梁形式の数をかなり絞り込むことができる。表-3.2.2は形式別の適用支間長を示したものの一例である。この種の図表は過去の事例に基づいて作成されるのが普通であるが、施工法の進歩などにより、最も経済的となる支間長は必ずしも一定ではない。時代とともに変化するものであることを頭に入れて利用することが大切である。

通常、経済性を評価する場合には、建設時のコスト、すなわち初期コストについての比較が行われるが、最近では維持管理に要するコストを含めた総合的な評価が行われるケースが増えている。一般に、鋼橋では塗り替えに費用がかかるため、コンクリート橋に比べて不利であると評価される場合が多いが、環境条件が特に厳しくなければ、耐候性鋼材の無塗装使用や溶融亜鉛メッキを採用することにより、維持管理コストをコンクリート橋と同等に低減することもできる。前者については、裸使用とすることによって初期コストの低減を併せて期待することも可能であり、すでに暫定的な設計・施工要領が作成されている。

これらの項目をもとに、橋梁選定要因を整理すると表-3.2.2～3.2.4のとおりである。

表一3.2.2 橋梁形式と標準適用支間長

橋梁形式	支間長																			通 要
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	
単純合成H桁																				
単純合成板桁																				
単純合成箱桁																				
連続非合成板桁																				
連続非合成箱桁																				
連続合成桁																				
鋼床版桁																				
ラーメン橋																				
単純トラス																				
連続(ゲルバー)トラス																				
ランガー桁																				
逆ランガー桁																				
ローゼ桁																				
逆ローゼ桁																				
ランガートラス																				
トラストランガー																				
ニールセン橋																				
アーチ橋																				
斜張橋																				
吊橋																				

一般的によく適用される範囲
 比較的適用される範囲
 ● 適用された大支間例

表－ 3. 2. 3 (1) 橋種選定に関する要因 (1)

選 定 要 因		比 較 要 因
環境への調和	自然環境との調和 地形・地震・地盤・地下水脈 断層・地震発生予測 洗掘・なだれ・雨量・積雪・高温 凍結・湿度 風速・飛砂・海塩粒子 工業排ガス・交通排ガス・火山 流量・水深・高水位・低水位	根入れ深さ・不等沈下 振動性状・地震水平力の分担 基礎への持続水平荷重 耐風安定・風琴振動・振動性状

表－ 3. 2. 3 (2) 橋種選定に関する要因 (2)

選 定 要 因		比 較 要 因
環境への調和	社会環境 河川堤防・河川改修計画 建築物・既設段橋脚 地下鉄・地下街・地下埋設物（ガス・水道・ケーブル） 送電線・レーダー障害 遺跡・文化財・国立、国定公園・神社・仏閣・墓所 樹木・並木・野鳥・自然生態系・漁業・農業・観光 既設物・他の移設の可否 自然保全（指定・係争内容） 建築限界（道路・鉄道・水路・航空） ・航路幅・マスト高・航空障害規定 既設道路幅員・拡幅計画・嵩上げ計画 都市機能への対応力（添架物） 非常時対応性（非常駐車帯） 将来対応（拡幅可否・維持性） 道路計画条件対応（線形・大型車混入率・特殊車両・将来交通量・登板能力・鉄道併用・歩道有無）	シンボル・モニュメント 水質・日照・騒音・水脈衝突 土地の有効利用 機能性 補強・補修・点検調査の難易 道路線形との調和 橋梁の投資効果 疲労強度・耐久性
	生活環境 周辺生活（美観・騒音・他） 橋上歩行（景観・揺れ） 橋上走行（景観・走行性・速度感）	環境との調和・構造美 歩行者の快適さ・安心感 自動車の走行性・運転者の視界
	施工条件 工事用地・搬入条件 工期・時期・各種検討期間 交通規制・関連工事・施工順序・特殊 機材調達 法律・規定（法規・条例・特許・諸官 庁の指導・仕様）	所要工期 施工管理の難易・労働環境 第三者への影響 施工時の安定性・安全性 施工条件への対応性

表－3.2.3(3) 橋梁選定に関する要因 (3)

選 定 要 因			比 較 要 因
直 接 要 因	技 術 水 準	設計（解析・手段） 素材（鋼材，骨材，セメント，他） 施工技術（製造・輸送・架設） 架設機材（特殊）	力学的特殊の明解さ 腐食性・新材料 製作・施工の難易・ 施工実績・新工法
	経 済 性	建設費（上・下・基礎工） 維持費（塗装・舗装・伸縮継手・沓・ 排水・床版・下部工） 撤去費（資源として再利用）	

表－3.2.4 橋梁選定に関する要因 (4)

（橋梁美を照査する8要素）

1	各部のデザインに秩序正しさがあるか	全体のデザイン思想
2	プロポーションが合理的であるか	スレンダーな感じ，力学的合理性
3	スケールが妥当であるか	物の大きさ，周囲の状況に対して
4	優美さのポイントをもつか	直線・曲線のもつ役割を利用
5	色 { 風景に溶け込むか 新しい景観を創るか	コンクリートにも色を考える時期にある
6	ディテールのデザインにも要注意	沓，高欄，ブラケット，耐震装置，照明，排水管，その他
7	周囲との調和	風景として考える
8	構造美に無駄はないか	何か取り去ると不安定な外観となるデザインである

3.2.4 知識の抽出・整理

知識ベースを構築するための、橋梁形式選定に関する知識の抽出・整理を行う。知識としては、教科書あるいは示方書等から取り出される事実に関する知識と過去の経験により得られる経験的知識、また、どのような知識をどのように利用すべきかという知識に関する知識（メタ知識）の3種類に分類される。

知識の抽出・整理にあたっては、まずメタ知識を専門家よりヒアリングした。その結果にもとづき、基準、マニュアル等の知識を整理した。使用した基準、マニュアル類を表-3.2.4に示す。

表-3.2.4 参考基準・図書

・デザインデータブック	1987年7月	社団法人	日本橋梁建設協会
・道路橋示方書・同解説	昭和53年1月	社団法人	日本道路協会
	昭和55年2月		
	昭和55年5月		
・PC道路橋計画マニュアル	平成元年11月	社団法人	フルストレスト・コンクリート建設業協会
・設計要領第二集	昭和55年4月		日本道路公団
・鋼橋計画マニュアル	昭和60年3月		日本鋼構造協会編
・設計マニュアル（案）〔橋梁編〕	昭和61年6月		東北地方建設局
・解説・河川管理施設等構造令	昭和53年3月	社団法人	日本河川協会
その他工費関係資料として			
道路橋予備設計資料	平成元年8月		東北地方建設局道路部

次に、これらの知識だけでは判断できない部分について、専門家の経験による知識をヒアリングして収集した。今回知識収集を行った専門家は、橋梁設計に関して約15年の経験を有している。

専門家の知識は主観的なものであり、これを1人の専門家の知識に頼るべきか、あるいは複数の専門家に頼るべきかについては議論の余地のあるところである。ESでは知識の変更が可能であり、また、実務では1人の専門家の知識にもとづき橋梁形式選定が実施されていることなどを考慮し、今回は、システムがある程度完成するまでは1人の専門家に頼ることとし、その後に必要に応じて他の専門家にシステムの試行結果を見てもらい、知識を修正することとした。

3.3 プロトタイプシステムの構築

3.3.1 システムの対象範囲と流れ

専門家の知識を整理した結果、河川を跨ぐ道路橋を中心にとすると、全体の知識の大部分が含まれる

ことになるため、プロトタイプシステムにおいては、表－3.3.1に示す橋梁を対象とした。

表－3.3.1 対象とする橋梁の種類

項 目	種 類
用 途	道路橋
架設場所	河川
材 料	鋼橋，P C 橋，R C 橋
平面形状	直線橋
構造形式	支間長100m以下の構造

また、システムにおける橋梁形式選定作業は、概ね次のような手順で決定されていく。

① 対象となる地点の地形・計画諸元の入力

↓

② 橋台位置の判断………橋長の把握

↓

③ 支間割り・支間長の決定

↓

④ 上部工形式の組み合わせ判断

↓

⑤ 上部工形式の抽出

↓

⑥ 上部工諸元の決定

↓

⑦ 橋台形式の判断

↓

⑧ 橋脚形式の判断

↓

⑨ 基礎形式の判断

↓

⑩ 部材断面の決定

↓

⑪ 工事費の概算

↓

⑫ 総合判断

以上の流れで判断を行った結果、可能性の高い橋梁形式を10案程度出力するものとした。

3.3.2 使用したツールの特性

プロトタイプシステムの構築において使用した電算機は土木研究所の大型電子計算機(HITAC M-680 II)であり、ツールは土木研究所所有のSuper-Brains (UTI-LISP版)である。大型電子計算機を用いた理由は、開発の段階で容量等の制約を意識しないですむからであり、またSuper-Brainsを用いた理由は、上記電算機で使用できるツールのうち、ES開発に用いられた実績が最も多かったからである。以下に、Super-Brainsの特徴を整理する。

Super-Brainsは昭和61年3月に、それまでのBrainsを発展させ開発されたものでプロダクションルールとフレーム型を統合したいわゆるハイブリッド型のAIツールである。

Super-Brainsの持つ推論機構は①分類型推論、②フレーム型推論、③プロダクション型推論とに分かれ、各々次のような適用があげられている。

① 分類型推論

あらかじめ推論結果となる仮説を分類しておき、仮説を決定する入力データを整理してルール化を行う。すなわち、入力データと仮説の因果関係をルールに表して、ルールが作り出す事象と仮説のネットワークをたどることで推論結果が得られる。

Brainsはこのタイプの推論システムであるが、Super-Brainsではさらにさまざまな拡張を図っている。

② フレーム型推論

知識ベースの表現方法にフレーム型を取り入れているので、知識ベースの記述の効率化とともに、対象に合わせた柔軟な推論を実行できる。

すなわち、インヘリタンス(属性の継承)の考え方にもとづいて、階層的な概念を記述することができ、また、デモン(付加手続き)と呼ばれる処理を組み込むことで、データ中心の考え方の表現も可能である。

③ プロダクション型推論

人間の認知過程のモデルとして、1967年にA. Newellによって提案されたもので、

イ、内部データ(状況の反映)とルール型知識の照合(MATCH)

ロ、最優先に適用される知識(ルール)の選択(SELECT)

ハ、選択された知識(ルール)の実行部の実行

という認知-行動サイクルを、状況に対応する知識がなくなるか、あるいは、あらかじめ設定されたゴールが実現するまで繰り返す。この方式は、純粹プロダクションシステムと呼ばれ、OPS5, ART, KNOWLEDGE-CRAFT等のツールで用いられていたものである。

Super-Brainsのプロダクション型の推論も、ほぼOPS5と同じ手順をとっている。

Brains及びSuper-Brainsは、当初はかなり多数のシステムが利用されていたが、1987~1988年にかけて実用的なシステム開発では、あまり増加がみられなくなっている。これはLISPベースによ

るツールの特徴で、ハードウェアにかなりの限定が生じる事、他言語とのインターフェイスが問題となる事、また、グラフィック環境があまり良くない事などが原因となっており、C言語によツール等が増加の傾向にある。

3.3.3 専門家知識の整理

整理対象の項目は次の6項目である。

- ① 条件の入力
- ② 橋台位置および橋長の判断
- ③ スパン割り案の抽出（支間割り、支間長の決定）
- ④ 上部工形式の選定（単純、連続形式の組み合わせおよび形式諸元の選定）
- ⑤ 下部工形式の選定（橋台、橋脚）
- ⑥ 結果の出力

付録-1に、プロトタイプシステムの知識ベースに組み込んだ専門家知識の概要を示す。

3.3.4 システムの評価と問題点

(1) 既往事例との比較によるシステム検査結果

各事例におけるシステムの選定結果を、既往の検討事例と合わせて一覧表にまとめた結果を表-3、3.2に示す。径間数や形式の一致が断片的にみられるが、全体的な選定能力としては必ずしも満足のいく結果が得られたとは言えない。

(2) 開発環境の評価

本システムは、知識表現にUTI-LISP上のSUPER-BRAINSを利用し、大型汎用電子計算機の上に構築したが、インターフェイスの部分でグラフィック機構をツールと同時に十分に利用するまでにいたらなかった。したがって図形の表示および図形上での判断を言葉での判断に置き換えている。具体的には、入力された河道断面の形状の判断等であり、専門家が実際に判断するときには、やはり地図等を用いて幅・深さ・低水路の位置等を見て断面形状を判断するが、ここでは全て言葉により判断する方法とした。

また、システムを構築する過程で、専門家の知識の抽出にあたり、システムの具体的なイメージを提示して把握してもらい、その上で必要な知識を抽出するという手順が有効と考えられる。しかし、大型汎用機を利用することから、専門家からの知識抽出の過程で具体的なシステムを専門家に提示して開発を進める形態をとることは困難であり、すべて机上でのイメージをもとに開発を進めざるを得なかった。

以上の理由により、今回利用した開発環境は必ずしも有利ではないと考えられた。

表-3.3.2(1) 各 橋 梁 の 選 定 候 補 - 覧

既 往 の 検 討 事 例 に よ る									エ キ ス パ ー ト シ ス テ ム に よ る							一致の状況
No	橋梁名	案No	径間数	桁形式	上部工形式	橋台	橋脚	基礎	案No	径間数	桁形式	上部工形式	橋台	橋脚	基礎	
1	A 橋	1	7 径間 4068 + 3068	連続4 + 連続3	連続鋼箱桁	逆壁式	壁式 (小判型)	杭及び 鋼矢 管板	1	7 径間 (53.7+ 81.4)+ 45.8 + 4063.6	連続2 + 単純1 + 連続4	連続2径間 鋼非合成箱 桁+単純鋼 合成板桁+ 連続4径間 非合成板桁	逆T式	壁式	杭	径間数一致
									2	7 径間 (53.7+ 81.4)+ 45.8 + 4063.6	連続2 + 単純1 + 単純4	連続2径間 鋼非合成箱 桁+単純鋼 合成板桁+ 連続4径間 非合成箱桁	逆T式	壁式	杭	径間数一致
									3	6 径間 (2074.2 +61.2) +(87.2 2074.2)	連続3 + 連続3	連続3径間 非合成箱桁 + 連続3径間 非合成箱桁	逆T式	壁式	杭	
									4	6 径間 (2074.2 +61.2 +(87.2 2074.2)	連続3 + 連続3	連続3径間 非合成箱桁 + 連続3径間 非合成板桁	逆T式	壁式	杭	
									5	5 径間 5089.1	連続5	連続5径間 鋼床版箱桁	逆T式	壁式	杭	
									6	5 径間 5089.1	連続3 + 連続2	連続3径間 鋼床版箱桁 + 連続2径間 鋼床版箱桁	逆T式	壁式	杭	
									7	5 径間 5089.1	連続3 + 連続2	連続3径間 鋼床版箱桁 + 連続2径間 非合成板桁	逆T式	壁式	杭	
2	B 橋	1	5 径間 21+32+ (55+ 68.5+ 55)	単純×2 + 連続3	単純合成H + 単純合成 板桁 + 連続鋼板桁	逆T式 (ラーメン) 直 接 基 礎	壁式 (ラーメン)	杭	1	7 径間 24.0 +(35.9 3029.9) +39.4 +20.0	単 純 + 連続4 + 単純×2	単純鋼合成 板桁 + 連続4径間 非合成板桁 +単純鋼合 成板桁2連	逆T式	壁式	杭	
		2	5 径間 21+32+ (55+ 68.5+ 55)	単純×2 + 連続3	単純合成H + 単純合成 板桁 + 連続鋼箱桁	逆T式 (ラーメン) 直 接 基 礎	壁式 (ラーメン)	杭	2	7 径間 24.0 +(35.9 3029.9) +39.4 +20.0	単 純 + 連続4 + 単純×2	単純PCスパン T桁 + 連続4径間 PCスパンT桁 +単純PCス パンT桁2連	逆T式	壁式	杭	

表-3.3.2(2) 各橋梁の選定候補一覧

既往の検討事例による									エキスパートシステムによる									一致の状況
No	橋梁名	案No	径間数	桁形式	上部工形式	橋台	橋脚	基礎	案No	径間数	桁形式	上部工形式	橋台	橋脚	基礎			
2	B 橋	3	5 径間 21+32+ (50+ 78.5+ 50)	単純×2 + 連続 3	単純プレテン T桁 + 単純 P C 和-スラブ 3径間連続 P C箱桁	逆T式 (ラーメン) 直接 基礎	壁式 (小判型)	杭	3	5 径間 (46.0 +37.8 +42.0) +2642.0	連続 3 + 連続 2	連続 3 径間 鋼非合成版 桁+連続 2 径間鋼非合 成版桁	逆T式	壁式	杭	径間数一致 上部工形式一 致		
									4	5 径間 (46.0 +37.8 +2642.0)	連続 5	連続 5 径間 鋼非合成版 桁	逆T式	壁式	杭	径間数一致 上部工形式一 致		
		4	3 径間 (64+ 80+64)	連続 3	3径間連続 鋼箱桁	逆T式 (ラーメン) 直接	壁式 (小判型)	杭	5	5 径間 (46.0 +37.8 +42.0) +2642.0	連続 3 + 連続 2	連続 3 径間 鋼非合成版 桁+連続 2 径間鋼非合 成箱桁	逆T式	壁式	杭	径間数一致 上部工形式一 致		
									6	4 径間 4652.4	連続 4	連続 4 径間 鋼非合成版 桁	逆T式	壁式	杭			
									7	4 径間 4652.4	連続 4	連続 4 径間 鋼非合成箱 桁	逆T式	壁式	杭			
									8	4 径間 4652.4	連続 4	連続 4 径間 P C箱桁	逆T式	壁式	杭			
3	C 橋	1	5 径間 2664.8 + 3664.8	連続 2 + 連続 3	2及び 3径間 連続鋼床 版桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	1	6 径間 64.8 +(44.0 +4654.4)	単 純 + 連続 5	単純鋼合成 箱桁+連続 5径間非合 成版桁	逆T式	壁式	杭			
		2	5 径間 5665.0	連続 5	5径間連続 鋼箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	2	6 径間 64.8 +(44.0 +4654.4)	単 純 + 連続 5	単純鋼合成 箱桁+連続 5径間非合 成箱桁	逆T式	壁式	杭			
		3	5 径間 64.3×5	単純×5	単純鋼床版 箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	3	6 径間 3665.3 + 2665.3	連続 3 + 連続 2	連続 3 径間 鋼非合成箱 桁+連続 2 径間鋼非合 成箱桁	逆T式	壁式	杭			
		4	5 径間 5665.0	連続 5	5径間連続 鋼床版箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	4	5 径間 5665.3 2654.4	連続 5	連続 5 径間 鋼床版箱桁	逆T式	壁式	杭			
		5	5 径間 5665.0	連続 5	5径間連続 下路トラス	逆T式	壁式 (小判型)	杭										
		6	5 径間 5665.0	連続 5	5径間連続 P C 箱 桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭										

表-3.3.2(3) 各橋梁の選定候補一覧

既往の検討事例による									エキスパートシステムによる									一致の状況
No.	橋梁名	案No.	径間数	桁形式	上部工形式	橋台	橋脚	基礎	案No.	径間数	桁形式	上部工形式	橋台	橋脚	基礎			
4	D 橋	1	6 径間 3033.0 + 3033.0	連続 3 + 連続 3	3径間連続 鋼板桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	1	6 径間 6032.6	連続 6	連続 6 径間 PC板スパンT桁	逆T式	壁式	杭			
									2	6 径間 6032.6	連続 6	連続 6 径間 鋼非合成 板桁	逆T式	壁式	杭			
5	E 橋	1	3 径間 3030	連続 3	3径間連続 鋼板桁	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎 杭	1	3 径間 3029.3	連続 3	連続 3 径間 PC板スパンT桁	逆T式	壁式	杭			
		2	3 径間 30+30 +30	単純×3	単純PC板ス パンT桁	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎 杭	2	3 径間 3029.3	連続 3	連続 3 径間 PC板スパン中 空床版桁	逆T式	壁式	杭			
		3	3 径間 30+30 +30	単純×3	単純合成 板桁	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎 杭										
6	F 橋	1	1 径間 33.5	単純	単純合成 板桁	逆T式	—	杭	1	1 径間 32.0	単純	単純板スパン 箱桁	逆T式	—	杭	上部工形式 一致		
		2	1 径間 33.5	単純	単純鋼床版 板桁	逆T式	—	杭	2	1 径間 32.0	単純	単純板スパン T桁	逆T式	—	杭	上部工形式 一致		
		3	1 径間 33.5	単純	単純合成 箱桁	逆T式	—	杭	3	1 径間 32.0	単純	単純非合成 板桁						
		4	1 径間 33.5	単純	単純鋼床版 板桁	逆T式	—	杭	4	1 径間 32.0	単純	単純合 成板桁				上部工形式 一致		
		5	1 径間 33.5	単純	単純PC板ス パンT桁	逆T式	—	杭										
7	G 橋	1	6 径間 3058.3 + 3058.3	連続 3 + 連続 3	3径間連続 鋼床版箱桁 2連	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎 杭	1	5 径間 3070.3 + (68.7 + 72.0)	連続 3 + 連続 2	連続 3 径間 鋼床版箱桁 + 連続 2 径間 鋼床版箱桁	逆T式	壁式	杭	径間数一致		
		2	6 径間 3058.3 + 3058.3	連続 3 + 連続 3	3径間連続 下路式トラス 2連	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎 杭	2	5 径間 (3070.3 +68.7 +72.0)	連続 5	連続 5 径間 鋼床版箱桁	逆T式	壁式	杭			
		3	5 径間 3069.5	単純×5	下路式単純 トラス 5連	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎 杭	3	4 径間 2087.9 +(100.8 +75.1)	連続 2 + 連続 2	連続 2 径間 鋼床版箱桁 + 連続 2 径間 鋼床版箱桁	逆T式	壁式	杭			
		4	6 径間 6058.4	連続 6	6径間連続 PC箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎 杭										

表-3.3.2(4) 各橋梁の選定候補一覧

既往の検討事例による									エキスパートシステムによる							一致の状況
No.	橋梁名	案No.	径間数	桁形式	上部工形式	橋台	橋脚	基礎	案No.	径間数	桁形式	上部工形式	橋台	橋脚	基礎	
7	G 橋	5	5 径間 4058.3 + 117.0	連続 5	5 径間連続 PC箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎	4	3 径間 30117.2	連続 3	連続 3 径間 鋼床版箱桁	逆T式	壁式	杭	橋台・橋脚・ 基礎形式一致
		6	5 径間 2058.4 + 117.0 + 2058.4	連続 2 + 単 + 連続 2	2 径間連続 鋼床版箱桁 + ローゼ + 2 径間連続 鋼床版箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎								
8	H 橋	1	5 径間 5037.4	連続 5	5 径間連続 鋼鉄桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	1	5 径間 (40.2 + 33.8 + 37.1) + (33.8 + 40.2)	連続 3 + 連続 2	連続 3 径間 鋼非合成鉄 非合成鉄桁	逆T式	壁式	杭	径間数一致 橋台・橋脚・ 基礎形式の一 致
		2	4 径間 (42.5 + 2051.0 + 42.5)	連続 4	4 径間連続 鋼鉄桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭								
		3	3 径間 (57.4 + 73.0 + 57.4)	連続 3	3 径間連続 鋼鉄桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	2	5 径間 (40.2 + 33.8 + 37.1 + 33.8 + 40.2)	連続 5	連続 5 径間 鋼非合成鉄 桁	逆T式	壁式	杭	径間数一致 上部工形式一 致 橋台・橋脚・ 基礎形式一致
		4	3 径間 3062.25	連続×3	3 径間連続 下路式トラス	逆T式	壁式 (小判型)	杭								
		5	2 径間 65+122		斜長橋	逆T式	壁式 (小判型)	杭	3	5 径間 (40.2 + 33.8 + 37.1) + (33.8 + 40.2)	連続 3 + 連続 2	連続 3 径間 PC鉄桁 + 連続 2 径間 PC鉄桁	逆T式	壁式	杭	径間数一致 橋台・橋脚・ 基礎形式一致
		6	5 径間 3036.68	単純×5	単純PC 鉄桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭								
		7	4 径間 5036.68	連続 4	4 径間連続 P C 箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	4	4 径間 4046.3	連続 4	連続 4 径間 鋼非合成箱 桁	逆T式	壁式	杭	径間数一致 橋台・橋脚・ 基礎形式一致
		8	3 径間 (57.4 + 73.0 + 57.4)	連続 3	3 径間連続 P C 箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭								
9	I 橋	1	6 径間 2031.85 +3034.35 +31.85	単純×6	単純鋼合成 鉄桁	逆T式	壁式	杭	1	3 径間 -(58.0 + 75.3 + 66.7)	連続×3	3 径間連続 鋼床版箱桁	逆T式	壁式	杭	橋台・橋脚・ 基礎形式一 致
		2	6 径間 2031.75 +3034.2 +31.75	単純×6	単純PC鉄桁	逆T式	壁式	杭								

表-3.3.2(5) 各 橋 梁 の 選 定 候 補 一 覧

既往の検討事例による								エキスパートシステムによる								一致の状況
No.	橋梁名	案No.	径間数	桁形式	上部工形式	橋台	橋脚	基礎	案No.	径間数	桁形式	上部工形式	橋台	橋脚	基礎	
9	I 橋	3	6 径間 (2032.4 + 34.75) + (2034.75 +32.4)	連続×3 + 連続×3	3径間連続 鋼板桁2連	逆T式	壁式	杭	1	3 径間 (58.0 +75.3 +66.7)	連続×3	3径間連続 鋼床版箱桁	逆T式	壁式	杭	橋台・橋脚・ 基礎形式一致
		4	5 径間 (44.0 +48.5 +44.0 +2032.5)	連続3 + 連続2	3径間連続 鋼板桁 + 2径間連続 鋼板桁	逆T式	壁式	杭	2	2 径間 (100 +100)	連続×2	2径間連続 鋼床版箱桁	逆T式	壁式	杭	橋台・橋脚・ 基礎形式一致
		5	5 径間 2032.1 + 2052.3 + 31.75	連続2 + 連続2 + 単純	2径間連続 鋼板桁 + 2径間連続 トラス + 単純鋼合成 板桁	逆T式	壁式	杭								
		6	5 径間 2032.1 + 2052.3 + 31.75	連続2 + 連続2 + 単純	2径間連続 鋼板桁 + 斜長橋 + 単純鋼合成 板桁	逆T式	壁式	杭								
		7	4 径間 2031.9 + 104.85 + 31.5	連続2 + 単純 + 単純	2径間連続 鋼板桁 + トラスガ- + 単純鋼合成 板桁	逆T式	壁式	杭								

3.4 実用化のためのシステムの再構築

3.4.1 構築の概要

(1) 検討内容

システムを実用的なものとするため、プロトタイプシステムの改良を行った。検討内容は大きく分けると①知識の追加検討、②入出力部の改良の2項目であり、橋梁形式選定の精度を高め、入出力の使い勝手を向上させるため、プロトタイプシステムの構築の中で得られた知識やノウハウを生かし、新しい開発環境のもとでエキスパートシステムの再構築を行った。

追加する知識としては、河川橋梁に加えて新たに山岳橋梁、都市部の橋梁を対象に含め、主に経済性に関する知識および施工性に関する知識の追加を行った。

(2) 開発環境

開発環境については、プロトタイプを構築する中で得られた教訓を生かして、より効率的にシステムを構築できる環境を選択した。すなわち、ハードウェアについてはCPUを占有して開発でき、画像処理に優れるEWS (VAX-3100) を、ツールについてFORTRANなどの他言語との統合や計画・設計型問題への適応に優れるOPS5を用いることとした。

次に、具体的なソフトウェア環境を以下に示す。

①OS

VAX/VMS V4.7 以上

②開発言語

日本語VAX OPS5 V2.2 以上

VAX FORTRAN V4.7 以上

日本語 DEC GKS V4.0 以上

(3) OPS5によるシステム構築概要

OPS5を用いて構築するエキスパートシステムでは、プロダクション・メモリ、ワーキングメモリ、インタプリタの3要素から構成される。

これらの相互の関係は、図-3.4.1のとおりとなる。

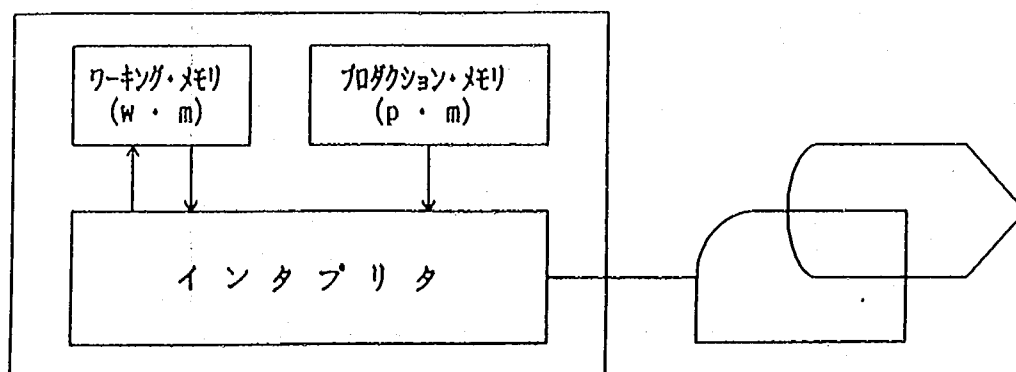


図-3.4.1 エキスパートシステムの概要

・プロダクション・メモリ

プロダクション・メモリは、IF～THENルールの形に整理した専門家の知識を記憶する領域であり、エキスパートシステムの知識ベースである。

・ワーキングメモリ

ワーキングメモリは、対象とする問題の解釈の過程を表現する領域であり、状態を表す空間として確保される。

具体的には、知識ベースの中の多数のIF～THENルールから、その時のワーキングメモリの状態に応じ、適用すべきルールが選択され、そのルールの実行に伴い、ワーキングメモリ内の状態が異なり、別のルールが選択されることになる。

・インタプリタ

インタプリタでは、プロダクション・メモリ内のルールとワーキングメモリ内の情報を用いて推論を進めるしくみであり、エキスパートシステムの推論エンジンの部分である。

OPS5によるエキスパートシステムは、これら3つの機構の相互の協力のもと推論を進め、結果を導き出すしくみとなっており、入出力に関する情報はワーキングメモリ内に構築される事になる。

(4) システムの構成

本システムは、FORTRANをメインとし、OPS5をサブとして図-3.4.2のようなタスクフローとする。

尚、下の図には表示されていないが、他にOPS5から呼ばれるFORTRANの外部ルーチンや通常のサブルーチンがある。

大きな矢印 (→) ……呼出し関係を表す

小さな矢印 (→) ……データの流れを表す

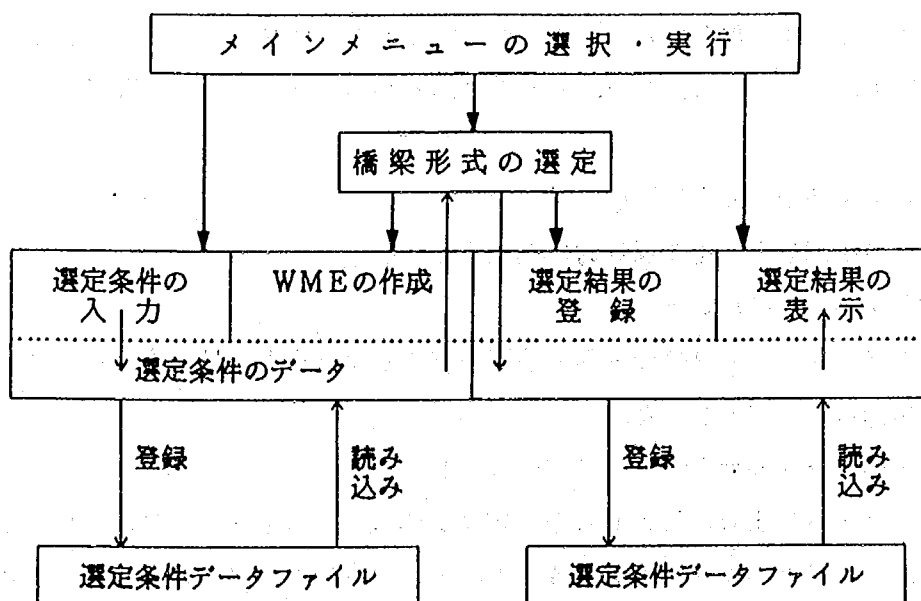


図-3.4.2 システムのタスクフロー

3.4.2 知識の追加検討

ここでは新たにシステムに追加する知識の概要を整理する。

(1) 経済性検討の知識（付録－2 参照）

経済性についての評価は、名橋梁形式案についての全体評価を行う時点で実施されるものであり、

①上部工工費、②下部工工費よりなる。

橋梁上部工は、本体、床版、舗装、付属品等を対象に製作、架設、施工に必要な費用も含め全体の水準が同一になるよう調整し、経済性を判断する知識を整理した。

下部工は、上部工の条件による反力を求め、反力、下部工形式、躯体高さ、地盤条件に応じ必要な費用を上部工同様に同じ水準に調整し、経済性を判断する知識として整理した。

工費算出に必要な各種単価データは、現時点では東北地方建設局によるものを用いているが、これと異なるデータを用いる場合や物価変動などにより単価を変更する必要があるときのために、工費データを修正する機能を持たせることとした。

(2) 施工性評価のための知識の概要（付録－3 参照）

橋梁形式案を選定するための重要な要件として架設に関する項目がある。架橋地点の諸条件および橋梁形式案に応じ、可能な施工法を提示し、各々の施工のしやすさや留意点等を専門家の知識から整理し、施工性の評価方法をまとめた。

施工法は上部工、下部工それぞれを評価し、上部工は鋼上部工とコンクリート上部工別に評価する。下部工に関する施工法は基礎形式に関するものがほとんどであり、橋脚躯体の施工に関して問題になることは少ないので、基礎の施工法の評価が下部工の評価となる。

3.4.3 入出力部の改良

(1) 入出力画面の検討

プロトタイプでは設計条件などの入力是对話型で行えるようになっていたが、諸条件や選定結果の画面出力は文章による表現であったため、使用性に問題があった。それらの問題点を考慮し、入出力において、

- ① 架橋地点の諸条件を画面上に図形表示
- ② 入力データの確認を画面上で視覚的に実施
- ③ 橋梁形式選定結果の図形表示

等を目的に、タスクの各ステップでの画面の検討を実施した。また、ほとんどの操作をマウス入力で行えるなど、効率的なものに改善した。

(2) 入出力データのファイル保存とファイル読み出し

エキスパートシステムにより、橋梁形式を選定する場合、入力データには、河川の断面形状座標や河川計画の諸元、道路計画の諸元、地盤情報など数多くのデータが必要になる。したがって、システムで一部のデータを変更し、繰り返し検討を行う場合や過去の入力データに基づき判断結果を得る場合等に入力データがファイルとして確保されていればよりスムーズな運用が可能となる。

また、出力についても判断結果の複数案についてファイルされていれば、入力ファイルと併せ容易にシステム上に再現することが可能となり、入出力の簡潔化、迅速化が図られることになる。既往システムの設計を見直し、このようなファイル処理の方法を検討した。

3.4.4 システム構築結果

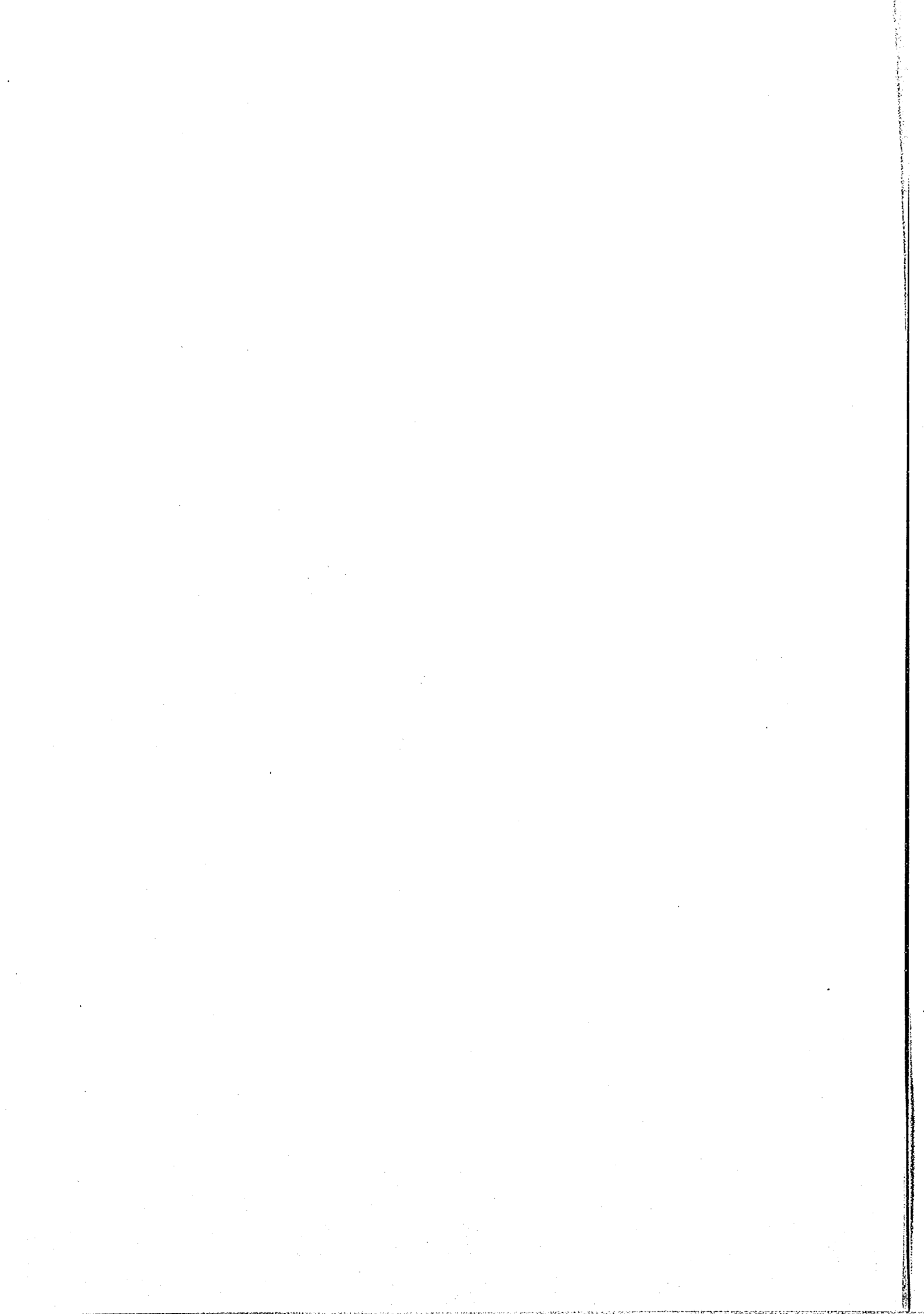
(1) 構築されたシステムの概要

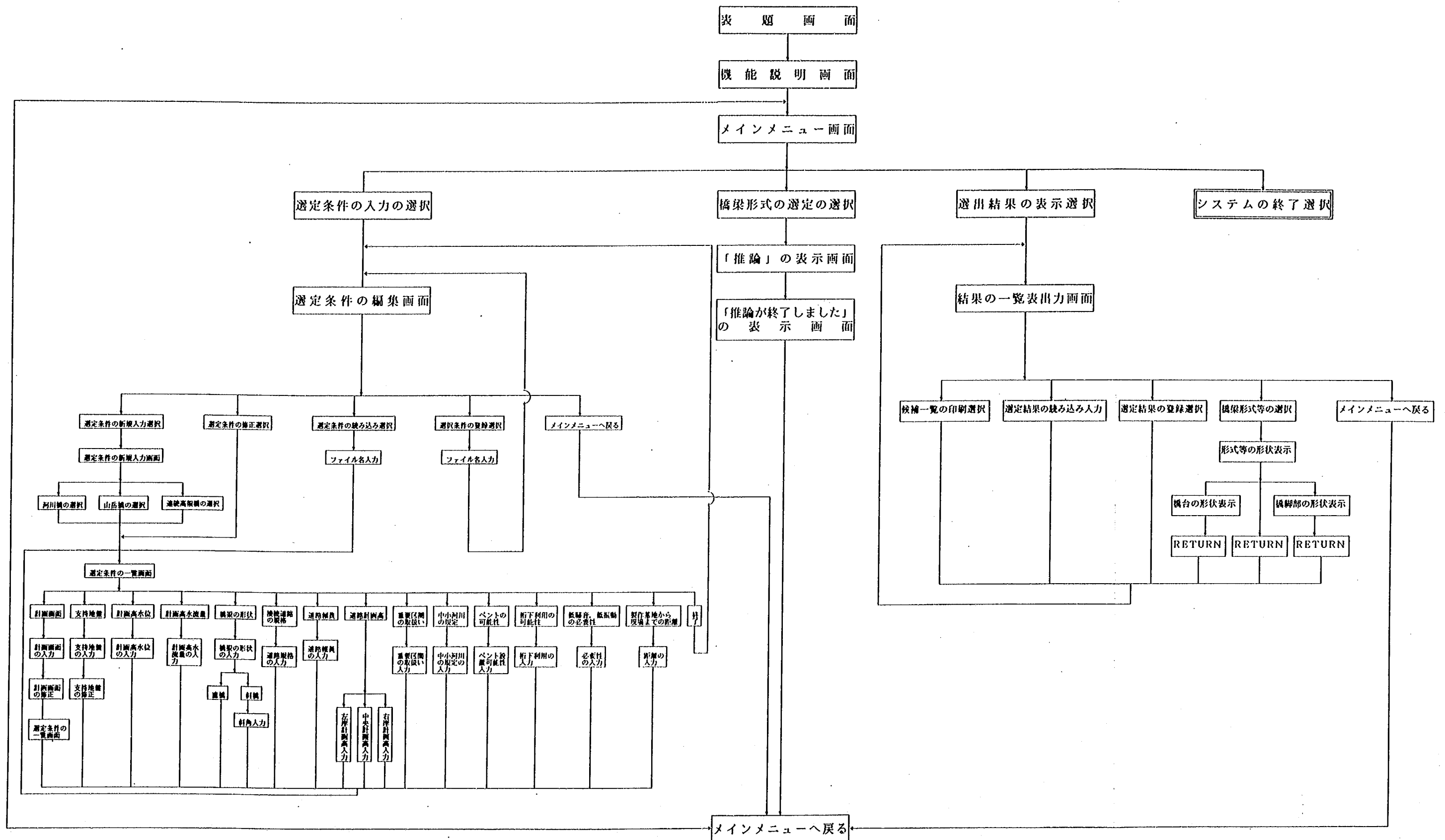
システムのタスクフローに従った画面の流れと機能の一覧を図－3.4.3に示す。

(2) 選定結果の評価

既往の橋梁形式選定における架橋地点の諸条件と選定結果のデータを9事例収集し、本システムによる選定結果と比較した。

その結果、事例と今回の選定による形式案の候補は概ね類似した結果となったが、実際に採用された形式案は必ずしも経済性順位の高いものではない場合も多かった。この理由として、①システムの持つ知識に不完全や偏りがある、②現実の選定において特別な判断基準が存在する、などが考えられる。ESの目的からして②への対応は難しいが、①についてはその原因を明らかにして知識の追加修正を引き続き行う必要がある。





図一 3. 4. 3 タスクフローに従う画面の流れ及び機能一覧

表-3.4.1(1) 各橋梁の選定候補一覧

No.	橋梁名	既往の検討事例による							エキスパートシステムによる								評 価
		案No.	径間数	桁 形 式	上部工形式	橋台	橋 脚	基礎	案No.	支 間 割	上部工形式	橋 台		橋 脚		事業費 (100万円)	
												形式	基礎	形式	基礎		
1	A橋	1	7径間 4066 + 3068	連 続 4 + 連 続 3	連続鋼箱桁	控壁式	壁式 (小判型)	杭及び 鋼管 矢板	1	75.9 +3098.7 +75.9	変断面連続 箱桁	扶壁	杭	壁	杭	1,627	
									2	3083.4 +3065.9	鋼床版箱桁	扶壁	杭	壁	杭	1,895	
									3	3083.4 +3065.9	鋼床版箱桁 +トラス橋	扶壁	杭	壁	杭	1,987	
									4	5089.6	鋼床版箱桁	扶壁	杭	壁	杭	2,027	
									5	3083.4 +3065.9	トラス橋+ 鋼床版箱桁	扶壁	杭	壁	杭	2,088	
									6	3083.4 +3065.9	トラス橋	扶壁	杭	壁	杭	2,112	
									7	5089.6	トラス橋	扶壁	杭	壁	杭	2,372	
2	B橋	1	5径間 21+ 32+ (55+ 68.5+ 55)	単純×2 + 連 続 3	単純合成H + 単純合成 鋼桁 + 連続鋼桁	逆T式 (ラーメン) 直接 基礎	壁式 (ラーメン)	杭	1	4052.3	PC連続箱 桁	逆T	杭	壁	杭	1,039	
									2	63.4 +82.4 +63.4	PC変断面 連続箱桁	逆T	杭	壁	杭	1,092	
		2	5径間 21+32 +(55 +68.5 +55)	単純×2 + 連 続 3	単純合成H + 単純合成 鋼桁 + 連続鋼箱桁	逆T式 (ラーメン) 直接 基礎	壁式 (ラーメン)	杭	3	4052.3	非合成箱桁	逆T	杭	壁	杭	1,197	
									4	3069.8	非合成箱桁	逆T	杭	壁	杭	1,304	
									5	3069.8	トラス桁	逆T	杭	壁	杭	1,385	

表-3.4.1(2) 各橋梁の選定候補一覧

No.	橋梁名	既往の検討事例による							エキスパートシステムによる								評価
		案No.	径間数	桁形式	上部工形式	橋台	橋脚	基礎	案No.	支間割	上部工形式	橋台		橋脚		事業費 (100万円)	
												形式	基礎	形式	基礎		
2	B橋	3	5径間 21+ 32+ (50+ 78.5+ 50)	単純×2 + 連続3	単純ラメン T桁 + 単純PC ホースラブ + 3径間連続 PC箱桁	逆T式 (ラメン) 直接 基礎	壁式 (小判型)	杭									
		4	3径間 (64+ 80+ 64)	連続3	3径間連続 鋼箱桁	逆T式 (ラメン) 直接 基礎	壁式 (小判型)	杭									
3	C橋	1	5径間 2@64.8 + 3@64.8	連続2 + 連続3	2及び 3径間連続 鋼床版桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	1	71.5 +2@93.0 +71.5	PC変断面 連続箱桁	逆T	杭	壁	杭	1,260	
		2	5径間 5@65.0	連続5	5径間連続 鋼箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	2	36.9 +4@73.0	単純非合成 鈑桁 + 非合成箱桁	逆T	杭	壁	杭	1,328	
		3	5径間 64.3 ×5	単純×5	単純鋼床版 箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	3	36.9 +4@73.0	単純合成 鈑桁 + 非合成箱桁	逆T	杭	壁	杭	1,332	
		4	5径間 5@65.0	連続5	5径間連続 鋼床版箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	4	36.9 +4@73.0	単純合成鈑 桁+トラス桁	逆T	杭	壁	杭	1,357	
		5	5径間 5@65.0	連続5	5径間連続 下路トラス	逆T式	壁式 (小判型)	杭	5	36.9 +4@73.0	単純非合成 鈑桁 + トラス桁	逆T	杭	壁	杭	1,361	

表-3.4.1(3) 各橋梁の選定候補一覧

No.	橋梁名	既往の検討事例による							エキスパートシステムによる								評価
		案No.	径間数	桁形式	上部工形式	橋台	橋脚	基礎	案No.	支間割	上部工形式	橋台		橋脚		事業費 (100万円)	
												形式	基礎	形式	基礎		
3	C橋	6	5径間 5@65.0	連続5	5径間連続 PC箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	6	4@82.2	鋼床版箱桁	逆T	杭	壁	杭	1,392	
		7	4径間 2@72.5 + 2@90.0	連続4	4径間連続 鋼床版箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	7	4@82.2	トラス桁	逆T	杭	壁	杭	1,478	
		8	4径間 2@72.5 + 2@90.0	連続4	4径間連続 PC箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭									
		9	4径間 2@72.5 + 2@90.0	連続4	4径間連続 下路トラス	逆T式	壁式 (小判型)	杭									
4	D橋	1	6径間 3@33.0 + 3@33.0	連続3 + 連続3	3径間連続 鋼板桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	1	6@32.8	非合成板桁	扶壁	直接	扶壁	直接	452	
									2	5@39.4	非合成板桁	扶壁	直接	扶壁	直接	460	
									3	4@49.2	非合成板桁	扶壁	直接	扶壁	直接	493	
									4	4@49.2	非合成箱桁	扶壁	直接	扶壁	直接	555	
									5	4@49.2	PC連続箱桁	扶壁	直接	扶壁	直接	577	
									6	59.6 +77.5 +59.6	PC変断面 連続箱桁	扶壁	直接	扶壁	直接	609	

表-3.4.1(4) 各橋梁の選定候補一覧

No.	橋梁名	既往の検討事例による							エキスパートシステムによる								評価
		案No.	径間数	桁形式	上部工形式	橋台	橋脚	基礎	案No.	支間割	上部工形式	橋台		橋脚		事業費 (100万円)	
												形式	基礎	形式	基礎		
4	D橋								7	6@32.8	PC中空床版橋	扶壁	直接	扶壁	直接	621	
									8	3@65.6	非合成箱桁	扶壁	直接	扶壁	直接	629	
									9	3@65.6	トラス桁	扶壁	直接	扶壁	直接	655	
									10	5@39.4	鋼床版箱桁	扶壁	直接	扶壁	直接	689	
5	E橋	1	3径間 3@30	連続3	3径間連続 鋼板桁	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎 杭	1	3@30.1	非合成板桁	逆T	杭	壁	直接	214	
		2	3径間 30+30 +30	単純×3	単純PC スパンT桁	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎 杭	2	2@45.2	非合成板桁	逆T	杭	壁	直接	225	
		3	3径間 30+30 +30	単純×3	単純合成 板桁	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎 杭	3	2@45.2	非合成板桁	逆T	杭	壁	直接	256	
									4	2@45.2	PC連続箱 桁	逆T	杭	壁	直接	304	
									5	3@30.1	PC中空床 版橋	逆T	杭	壁	直接	334	
									6	90.4	アーチ系橋	逆T	杭	なし	なし	339	
									7	90.4	単純トラス 橋	逆T	杭	なし	なし	363	
6	F橋	1	1径間 33.5	単純	単純合成 板桁	逆T式	—	杭	1	34.4	単純合成板 桁	逆T	杭	なし	なし	158	
		2	1径間 33.5	単純	単純鋼床版 板桁	逆T式	—	杭	2	34.4	単純非合成 板桁	逆T	杭	なし	なし	162	

表-3.4.1(5) 各橋梁の選定候補一覧

No.	橋梁名	既往の検討事例による							エキスパートシステムによる							評 価	
		案No.	径間数	桁 形 式	上部工形式	橋台	橋 脚	基礎	案No.	支 間 割	上部工形式	橋 台		橋 脚			事業費 (100万円)
												形式	基礎	形式	基礎		
6	F橋	3	1 径間 33.5	単純	単純合成 箱桁	逆T式	—	杭	3	34.4	ポステンT 桁	逆T	杭	なし	なし	166	
		4	1 径間 33.5	単純	単純鋼床版 箱桁	逆T式	—	杭									
		5	1 径間 33.5	単純	単純PC ポステンT型	逆T式	—	杭									
7	G橋	1	6 径間 3058.3 + 3058.3	連 続 3 + 連 続 3	3 径間連続 鋼床版箱桁 2 連	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎	1	45.9 +3087.4 +45.9	単純合成鉄 桁 + 鋼床版箱桁 + 単純合成鉄 桁	逆T	直接	壁	直接	1,301	
		2	6 径間 3058.3 + 3058.3	連 続 3 + 連 続 3	3 径間連続 下路式トラス 2 連	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎									
		3	5 径間 5069.5	単純×5	下路式単純 トラス5連	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎	2	45.9 +3087.4 +45.9	単純非合成 鉄桁 + 鋼床版箱桁 + 単純非合成 鉄桁	逆T	直接	壁	直接	1,302	
		4	6 径間 6058.4	連 続 6	6 径間連続 PC箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎									
		5	5 径間 4058.3 + 117.0	連 続 5	5 径間連続 PC箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	直接 基礎	3	45.9 +3087.4 +45.9	単純合成鉄 桁 + トラス桁 + 単純合成 鉄桁	逆T	直接	壁	直接	1,390	

表-3.4.1(6) 各橋梁の選定候補一覧

No.	橋梁名	既 往 の 検 討 事 例 に よ る							エ キ ス パ ー ト シ ス テ ム に よ る								評 価
		案No.	径間数	桁 形 式	上部工形式	橋台	橋 脚	基礎	案No.	支 間 割	上部工形式	橋 台		橋 脚		事業費 (100万円)	
												形式	基礎	形式	基礎		
7	G橋	6	5 径間 2@58.4 + 117.0 + 2@58.4	連 続 2 + 単 純 + 連 続 2	2 径間連続 鋼床版箱桁 + ローゼ + 2 径間連続 鋼床版箱桁	逆 T 式	壁式 (小判型)	直接 基礎	4	45.9 +3@87.4 +45.9	単純合成 鈑 桁 + トラス桁 + 単純非合成 鈑桁	逆 T	直接	壁	直接	1,392	
									5	2@80.6 +2@96.5	鋼床版箱桁	逆 T	直接	壁	直接	1,425	
									6	2@80.6 +2@96.5	トラス桁 + 鋼床版箱桁	逆 T	直接	壁	直接	1,477	
									7	2@80.6 +2@96.5	鋼床版箱桁 + トラス桁	逆 T	直接	壁	直接	1,592	
									8	2@80.6 +2@96.5	トラス桁	逆 T	直接	壁	直接	1,546	
8	H橋	1	5 径間 5@37.4	連 続 5	5 径間連続 鋼鈑桁	逆 T 式	壁式 (小判型)	杭	1	4@46.9	非合成鈑桁	逆 T	杭	壁	直接	291	
		2	4 径間 (42.5+ 2@51.0 +42.5)	連 続 4	4 径間連続 鋼鈑桁	逆 T 式	壁式 (小判型)	杭	2	4@46.9	非合成箱桁	逆 T	杭	壁	直接	325	
									3	4@46.9	P C 連続箱 桁	逆 T	杭	壁	直接	352	
									4	3@62.5	非合成箱桁	逆 T	杭	壁	直接	361	

表-3.4.1(7) 各橋梁の選定候補一覧

No.	橋梁名	既往の検討事例による							エキスパートシステムによる								評 価
		案No.	径間数	桁 形 式	上部工形式	橋台	橋 脚	基礎	案No.	支 間 割	上部工形式	橋 台		橋 脚		事業費 (100万円)	
												形式	基礎	形式	基礎		
8	H橋	3	3径間 (57.4+ 73.0+ 57.4)	連 続 3	3径間連続 鋼钣桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭	5	56.8 +73.8 +56.8	PC変断面 連続箱桁	逆T	杭	壁	直接	364	
		4	3径間 3@ 62.25	連 続 3	3径間連続 下路式トラス	逆T式	壁式 (小判型)	杭	6	3@62.5	トラス桁	逆T	杭	壁	直接	389	
									7	2@93.7	鋼床版箱桁	逆T	杭	壁	直接	425	
		5	2径間 65+122		斜張橋	逆T式	壁式 (小判型)	杭	8	2@93.7	トラス桁	逆T	杭	壁	直接	490	
		6	5径間 36.68 ×5	単 純 5	単純PC ボスンT桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭									
		7	4径間 4@ 46.75	連 続 4	4径間連続 PC箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭									
		8	3径間 (57.4+ 73.0+ 57.4)	連 続 3	3径間連続 PC箱桁	逆T式	壁式 (小判型)	杭									
9	I橋	1	6径間 2@ 31.85 +3@ 34.85 +31.85	単純×6	単純鋼合成 钣桁	逆T式	壁式	杭	1	57.2 +2@72.6	単純合成箱 桁 + 非合成箱桁	逆T	杭	壁	杭	1,352	
									2	57.2 +2@72.6	単純合成箱 桁+トラス桁	逆T	杭	壁	杭	1,396	

表-3.4.1(8) 各橋梁の選定候補一覧

No.	橋梁名	既 往 の 検 討 事 例 に よ る							エ キ ス パ ー ト シ ス テ ム に よ る								評 価
		案No.	径間数	桁 形 式	上部工形式	橋台	橋 脚	基礎	案No.	支 間 割	上部工形式	橋 台		橋 脚		事業費 (100万円)	
												形式	基礎	形式	基礎		
9	I 橋	2	6 径間 2@ 31.75 +3@ 34.2 +31.75	単純×6	単純PC #ステンT桁	逆T式	壁式	杭	3	25.2 +2@76.0 +25.2	単純合成箱 桁 + 非合成箱桁 + 単純合成箱 桁	逆T	杭	壁	杭	1.421	
		3	6 径間 (2@ 32.4 + 34.75) + (2@ 34.75 + 32.4)	連 続 3 + 連 続 3	3 径間連続 鋼鈑桁 2 連	逆T式	壁式	杭	4	25.2 +2@76.0 +25.2	単純非合成 鈑桁 + 非合成箱桁 + 単純非合成 鈑桁	逆T	杭	壁	杭	1.429	
									5	25.2 +2@76.0 +25.2	単純合成鈑 桁 + トラス桁+ 単純合成鈑 桁	逆T	杭	壁	杭	1.446	
		4	5 径間 (44.0+ 48.5+ 44.0)+ 2@32.5	連 続 3 + 連 続 2	3 径間連続 鋼鈑桁 + 2 径間連続 鋼鈑桁	逆T式	壁式	杭	6	25.2 +2@76.0 +25.2	単純非合成 鈑桁 + トラス桁+ 単純非合成 鈑桁	逆T	杭	壁	杭	1.454	
		5	5 径間 2@32.1 + 2@52.3 + 31.75	連 続 2 + 連 続 2 + 単純	2 径間連続 鋼鈑桁 + 2 径間連続 トラス + 単純鋼合成 鈑桁	逆T式	壁式	杭	7	25.2 +2@76.0 +25.2	#ステンT桁 + P C変断面 連続箱桁 + #ステンT桁	逆T	杭	壁	杭	1.948	

表-3.4.1(9) 各橋梁の選定候補一覧

No.	橋梁名	既 往 の 検 討 事 例 に よ る							エ キ ス パ ー ト シ ス テ ム に よ る							評 価	
		案No.	径間数	桁 形 式	上部工形式	橋台	橋 脚	基礎	案No.	支 間 割	上部工形式	橋 台		橋 脚			事業費 (100万円)
												形式	基礎	形式	基礎		
9	I 橋	6	5 径間 2032.1 + 2052.8 + 31.75	連 続 2 + 連 続 2 + 単 純	2 径間連続 鋼鈑桁 + 斜張橋 + 単純鋼合成 鈑桁	逆 T 式	壁式	杭									
		7	4 径間 2031.9 + 104.85 + 31.5	連 続 2 + 単 純 + 単 純	2 径間連続 鋼鈑桁 + トリスドランガー + 単純鋼合成 鈑桁	逆 T 式	壁式	杭									

3.5 小型運用システムの開発

3.5.1 開発の目的と概要

エキスパートシステムでは開発時のシステムと運用時のシステムの2段階のシステムが考えられ、開発時のシステムには開発者の負担が軽減できるように、処理速度が高速で主記憶容量の大規模なEWS等が選択され、かつプログラミングもツールにより行われることが多い。しかしエキスパートシステムを広く普及させて実用化を図るためには、パソコン等の環境で実行できるシステムでなければならない。また、運用時のシステムとしては、入出力画面（インターフェース）は利用者にとって親和性の高いシステムとして構築されなければならない。

よってここでは、実用化を目指した運用システムの開発を行うことを目的とし、①システムの運用環境、②具体化する機能、の2つの面から運用システム開発の方針を検討する。

3.5.2 運用環境の検討

(1) 適用ハードウェア

建設省内のパソコン保有状況や国内での利用状況を考慮すると、エキスパートシステムの運用対象のパソコンとしては、

- 1) NEC PC9800シリーズ
- 2) NEC N5200シリーズ
- 3) 東芝 J3100シリーズ
- 4) 富士通 FMRシリーズ、9450シリーズ

等があげられる。

特に将来の簡便な利用を考慮した場合には上記1)～4)のラップトップをも対象とする必要がある。

また、既往のシステム開発事例から求められる機能としては、

- i. OS.....MS-DOSとする（V2.1以降）
- ii. 主記憶.....640KB以上
- iii. フロッピーディスク.....3.5' 又は 5' × 1
- iv. ハードディスク.....20MB以上
- v. ディスプレイ.....カラーCRT（7色以上）又は液晶
- vi. グラフィック.....640×400ドット以上
- vii. 漢字表示.....40字×25行

などが主要な機能となる。

これらを考慮し、ここでは対象機種を次の3種類とする。

- 1) PC9801RX以上（デスクトップ）

OS: MS-DOS V2.1以降

主記憶：640KB

フロッピーディスク：5'×2

ハードディスク：20MB

ディスプレイ：カラーCRT

グラフィックス：640×400ドット カラー16色

2) 東芝 J3100GX以上(ラップトップ)

OS：MS-DOS V2.1以降

主記憶：1MB

フロッピーディスク：3.5'×1

ハードディスク：40MB

ディスプレイ：プラズマ

グラフィックス：640×400ドット モノクロ、カラー

3) 富士通FMシリーズ〔50LX〕以上(カラーラップトップ)

OS：MS-DOS V2.1以降

主記憶：2MB

フロッピーディスク：3.5'×2

ハードディスク：40MB

ディスプレイ：カラー液晶

グラフィックス：640×400ドット 16色

(2) 構築言語

構築言語は、適用ハードウェアとの関係により、ある程度制限される。運用システムの構築実績が多く、前述のハードウェアに共通する言語を抽出すると表-3.5.1のとおりである。

表-3.5.1 主要な共通言語、ツール一覧

言語、ツール名	NEC ハードウェア 適用性	東芝ハードウェア 適用性	富士通ハードウェア 適用性	総 合
B a s i c	○	○	○	○
C	○	○	○	○
P r o l o g	○	○	○	○
創 玄	○	○	○	○
O p s 8 3	○	○	○	○
G u r u	○	○	○	○
ESHELL/FM	×	×	○	×

各ツールでの機能および日本語表示，グラフィック利用等を比較すると表-3.5.2のとおりとなる。

表-3.5.2 各言語の機能一覧

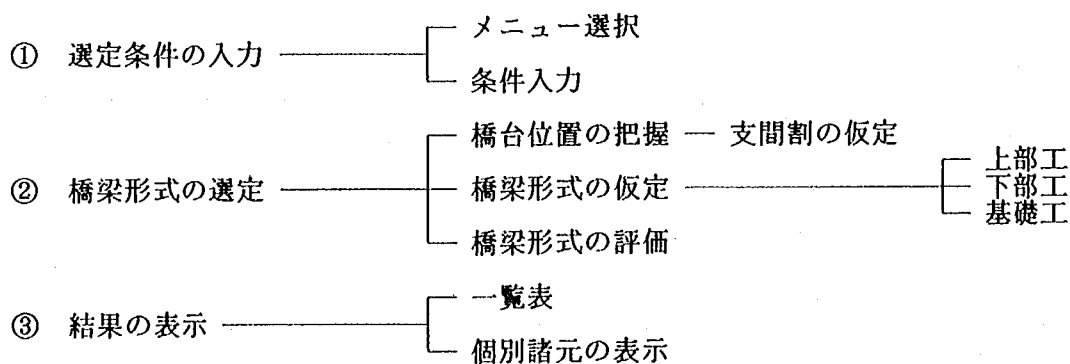
機能名称	Basic	C	Prolog	創 玄	OPS83	Guru
日本語利用	○	○	○	○	○	×*1
グラフィック利用	○	○	△	×	△	×
他言語とのリンク	-	--	--	○	○	×*1
グラフィックスの ツールの有無	○	○	△	△	△	×*1
ツール表現	×	×	○	○	○	○
価 格	安	安	中	中	高	高
総 合	○	○	△	×	△	×

*1) Guruは東芝では英語版MS-DOS上で，稼働するため関連ツールが英語版のみとなる。

この結果から，言語を利用する場合はC又はBasic，ツールを利用するならば，OPS83が考えられる。

3.5.3 機能の分割と構成の検討

本エキスパートシステムの機能は，

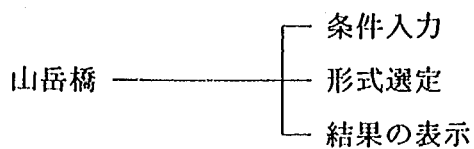
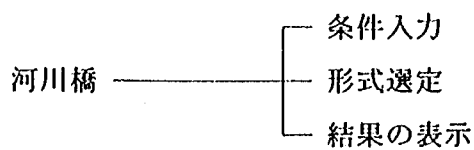


に区分されている。

ここで，①，②，③はそれぞれ独立したシステムとして構築でき，独立のシステムとしての利用ができるが，その中の一部のデータはファイル等を利用して受渡しを行わなければならない。

また，推論部は河川橋，山岳橋，都市部の橋に大きく分類され，それぞれは全く独立に推論を実施するシステムである。

従って，次の9分類が可能である。

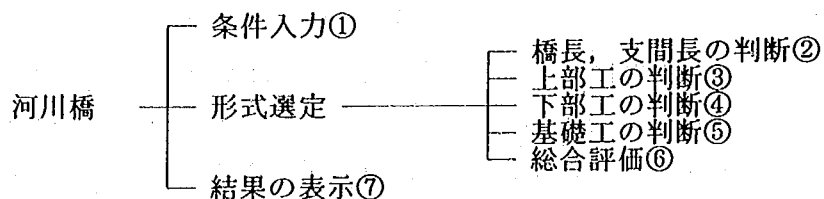


次に、推論部の内容を分析すると、次の5段階に分類できる。

- ・ 橋長、支間長の判断
- ・ 上部工の判断
- ・ 下部工の判断
- ・ 基礎工の判断
- ・ 総合判断

各タスクフローの間では、それぞれの判断結果を相互にやりとりし、推論を進めるものである。

以上の結果から、河川橋を例にシステムの機能を分解すると次のとおりで、7項目に区分される。



山岳橋、都市部の橋も同様に7項目に区分される。

4. まとめ

4.1 結 論

本研究の目的は、橋梁形式選定を取りあげてエキスパートシステム（ES）を構築し、評価することを通じて、土木分野へのエキスパートシステムの適用可能性を探ることであり、以下に、本研究の結論をとりまとめた。

(1) 人工知能（AI）の発達を振り返ってみると、過度に期待がふくらんだ時期と、失望の時期との繰り返しであったようである。ESも万能である訳ではなく、過度の期待をいただくのは禁物である。

第1章および第2章では「ESとはどんなものか？」という点から基礎知識を整理したが、「ESは何々でなければならない」という見方をするのは不適當であり、コンピュータのハードウェア、ソフトウェアの進歩に歩調を合わせた数値計算以外の分野へのコンピュータの活用という面からとらえたらよいのではないかと考えられる。

(2) 今回の橋梁形式選定エキスパートシステムによる選定結果を橋梁設計実務者が行った予備設計結果と比較した。その結果は、必ずしも100%良い一致を見たわけではない。その理由としては、本来禁止されている位置への橋脚の配置や、システムではスパンからその適用を制限した上部工工種の選択などであり、前者は実務では河川管理者との協議などで法令面での制約条件が緩和されるような場合であり、後者はエキスパートシステム構築のための専門知識の差に起因している。また、システムでは河川を横断する橋梁、山岳部あるいは都市部の橋梁という区分けをしたが、必ずしもこれにあてはまらないケースも多いという問題も指摘された。

橋梁設計では、10人の設計者がいたら10人別々の設計案が考えられる可能性もあり、今回のシステムの選定結果が100%一致することを求める必要はない。計画型のシステムは、分析型のシステムとは異なり選択された複数の候補がよい対応を示す場合に良いシステムと評価してよいであろう。このような考え方からすると、この種のテーマに対してはESは専門家に代わり得るものではなく、あくまでも技術者の支援システムと位置づけられるべきであろう。

(3) この数年間に土木分野でいろいろなエキスパートシステムが作成されている。その中にはプロトタイプが多いが、部内での実用に供されるというレベルに近づいているものもあるようである。

土木分野で、診断や制御に関する分野へのESの適用は効果が大ききようであり、RC床版の損傷診断などが注目されている。

4.2 今後の課題と展望

今回は土木分野の中で「橋梁形式選定」を取りあげ、エキスパートシステムの適用性を検討したが、土木のこれ以外の課題にも適用していく必要があると考えており、その際に留意すべき項目、参考となる事項を以下にとりまとめた。

(1) 土木技術者はこれまでコンピュータの利用は、数値計算とその図形処理が中心であった。しかしエキスパートシステムは言語、ツールなどFORTRANを中心とした数値計算問題とは趣を異にする。通常エキスパートシステム開発にはKE (Knowledge Engineer, 知識工学者) と呼ばれるエキスパートシステムに詳しい専門家と対象技術に詳しい専門家とが必要であり、両者の共同作業によって仕事が進められると言われている。現在まで土木技術者でESに詳しいという人は少数であるが、技術計算でFORTRAN等を学習したのと同じように今後はESを身近なものとし、ハードウェア、ソフトウェアに詳しくなる必要があろう。

(2) ESを初めて構築しようとする場合、ハードウェア、ソフトウェアの選択に迷うことになる。ここでの検討では大型計算機、EWS、パソコンの3機種に対してシステムを構築することになり、言語（またはツール）も異なったものを用いた。それぞれのハードウェア、ソフトウェアには特徴があるが、絶対これではなければならないといった制約がある訳ではないようである。ただし、土木分野では入力、出力に図形データを用いたり、またESに数値計算をリンクさせる必要が生じたりする事があるため、これに便利なハードウェア、ソフトウェアを選択する事に注意した方がよいであろう。

また、ハードウェア、ソフトウェアの進歩は著しくまた早く、KEとの共同作業の中で相談しながら選択していく事になろう。

(3) 現在、土木関連分野でいろいろなデータベースが作成されている。データベースは作成する事に意味があるわけではなく、活用していくことが大切である。その際エキスパートシステムとのリンクは、両者の役割を補完しあい、有意義なものとするであろう。

(4) 土木分野における仕事は、関係する事柄も多く、多量のデータを処理しなければならない場合が多い。全ての仕事にESを構築する必要はないであろうが、ひとつの仕事にESを適用してみたらどうなるだろうかという観点からの見直しも有効ではないだろうか？例えば、建築物への階段の配置にはいろいろな法律や通達面で守らなければならない項目が多く、またそれらの関係も複雑なため、専門的な知識が必要とされるため、これをES化しようという試みが行われている。これを反省してみると、法律や基準などが必ずしもシステムの的に組み立てられているわけではないことに起因するのではないだろうか？一度、設計基準をES化してみると意外に今とは異なった形で整理されるかもしれない。

[参考文献]

1 章

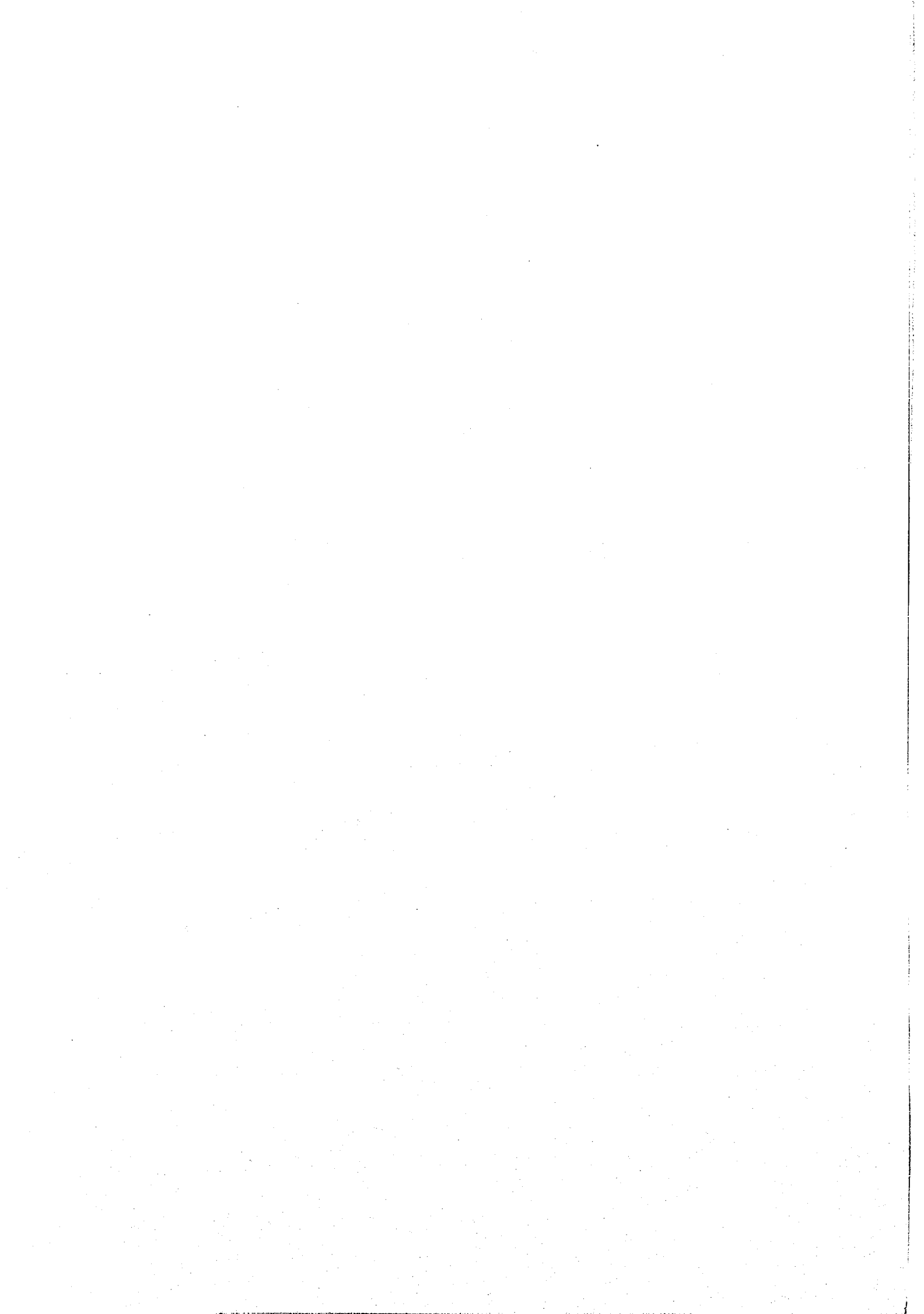
- 1) 中村秀治：「知識工学と土木構造物」，土木学会論文集 第386号/1-8, 1987年10月
- 2) 古田 均：「エキスパートシステム技術の現状と展望」，土木技術資料Vol.32, No.11, 1990
- 3) 阪神高速道路公団，(株)システム総合研究所：「橋梁設計におけるエキスパートシステムの応用に関する研究業務」，1988年3月

2 章

- 1) 白井良明，辻意潤一：「人工知能」，岩波書店，1982
- 2) 長尾 誠：「言語工学」，昭晃堂，1983
- 3) 江村潤朗，平尾隆行：「エキスパートシステム入門」，オーム社，1989
- 4) 大須賀節雄：「知識の獲得と学習」，オーム社，1987
- 5) 日経データプロ編：「エキスパートシステムー理論と応用」，日経マグローヒル，1986
- 6) 日経B P社：「日経A I付録」，第97号付録1990' 1/15, 第121号付録1991' 1/14

付 録 - 1

プロトタイプシステムにおける専門家知識



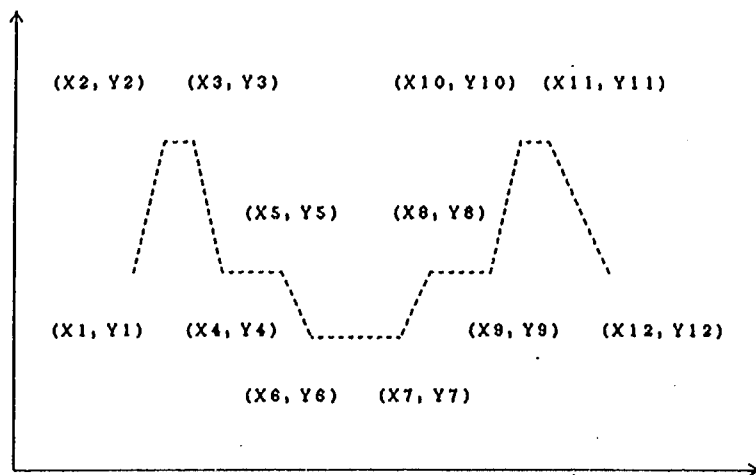
§ 1. プロトタイプシステムにおける専門家知識

(1) 径間長・径間数の判断

径間長・径間数の判断のためには橋台位置の判断、つまり橋長の判断を行い、その結果と河道の計画諸元等をもとに実施される。以下に橋台橋長の判断と径間長（L）と径間数（N）の判断知識を示す。

イ) 橋長の判断

橋長は断面形状から堤防間の幅（川幅）を判断。（計画断面で判断し決める）さらに、次の①～③の3タイプを判断し、それぞれに応じて橋長を決定する。（沓座幅は、この段階では考えない）



- ① 川幅が50m以下の築堤河川（ $Y_2 - Y_1 > 0.0$ 又は $Y_{11} - Y_{12} > 0.0$ ）のケース
- ② 川幅が50m以上の築堤河川（ $Y_2 - Y_1 > 0.0$ 又は $Y_{11} - Y_{12} > 0.0$ ）のケース
- ③ 掘り込み河川（ $Y_2 - Y_1 = 0.0$, $Y_{11} - Y_{12} = 0.0$ ）のケース

①～③の区分での橋長は次の知識で判断する。

ケース①川幅が50m未満で築堤河川ならば橋長は川幅である。

ケース②第一に計画高水位を判断する。わからなければ計画流量を表-付1.1の内容をもとに高さを求める。

次に、計画高水位と堤防位置から左・右岸の高水法線位置を判断し、その間の距離により築堤河川の河幅を決定する。

表-付 1. 1 堤防余裕高の一覧

項	1	2	3	4	5	6
計画高水流量 (単位 1 秒間 につき立法メー トル)	200未満	200以上 500未満	500以上 2000未満	2000以上 5000未満	5000以上 10000未満	10000 以上
計画高水位に加 える値 堤防余裕高 (単位 メートル)	0. 6	0. 8	1. 0	1. 2	1. 5	2. 0

ケース③掘り込み河道なら、橋長は川幅である。

ロ) 径間長(L) と径間数Nの判断

① 径間長はを求める基本式は、次のとおりであり、②～⑨に制約の条件を示した。

$$L = 20 + 0.005 Q$$

L ; 径間長 (m)

Q ; 計画高水流量 (m^3/s)

② 大都市周辺の建設省令で定める区域内の河川で計画流量が $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の河川は

$$L = 30 + 0.005 Q$$

である。

③ 建設省令で定める公共施設等（高速自動車道、幅員30m以上の道路等）に架ける橋で計画高水流量が $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 未満の場合は、

$$L = 30 + 0.005 Q$$

である。

④ Lが70以上となる場合は、①～③で求まるLと、 $L = 70$ の2ケースを検討対象とする。

⑤ 径間数(N) は、橋長 $B \div L$ で得られる得の小数点以下を切り捨てた値とする。

⑥ Lが30より大きいときは、N及びN+1を用い平均径間長として $LL1 = \text{橋長}(B) \div N$ として $LL2 = \text{橋長}(B) \div (N+1)$ を求め、LL1が $L+5$ より大きく、LL2が $L-5$ より大きい場合は、N+1の径間数を採用する。

⑦ ②、③以外で、計画高水流量が $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 未満かつ川幅30mのときは $L \geq 12.5$ とする。

⑧ ②、③以外で、計画高水流量が $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 未満かつ川幅30m以上のときは $L \geq 15.0$ とする。

⑨ ②、③以外で計画高水流量Qが $500 Q < 2000 \text{ m}^3/\text{s}$ の河川に架ける橋のときは $L \geq 20$ とする。

以上の知識により橋長、径間長と径間数の案が決定される。

(2)上部工桁形式案の組み合わせ作成の知識

径間長，径間数が決まると上部工の形式選定が判断の対象となり，その知識は次のとおりである。

イ) 第一に，対象とする橋梁の径間割りから，桁形式を判断する。判断の方法は，次の2項目である。

① 5 径間までは連続桁のケースと単純桁のケース両方を検討

② 6 径間からは単純桁と連続桁の両方を検討し，特に連続桁については，1) 12径間までは全長600 mまでの範囲で連続桁形式を検討し，2) 他に3径間4径間の組み合わせの連続桁を検討対象とする

ロ) 次に桁形式と径間長をもとに適用橋梁形式を抽出する。その手順は次のとおりである。

径間数 n ，各支間長 l n が決まると各径間の上部工形式を単純桁，及び連続桁それぞれについて，鋼橋，PC橋，RC橋での橋梁形式を決める。このとき，適用可能な桁形式はすべて抽出する。

(3)上部工橋梁形式案の絞り込み

(2)で，多数の上部工橋梁形式案が求められ，次にここではこれらの形式から適用の可能性の高い形式についての絞り込みを行う。その知識は次のとおりである。

イ) 鋼橋の単純合成と非合成の比較がある時は単純合成桁を選択する。

ロ) 多径間橋梁は連続桁を優先させ，特に鋼橋の単純を続ける案は低くする

ハ) 径間別の連続形式の採用順位は次の案とする

① 2 径間のケース

1 位……鋼橋で連続 2，PCの連続 2，RCの連続 2，PCの 1 + 1，RCの 1 + 1

2 位……鋼橋の 1 + 1 +

② 3 径間のケース

1 位……鋼橋の連続 3，PCの連続 3，RCの連続 3

2 位……PCの 1 + 1 + 1，RCの 1 + 1 + 1

③ 4 径間のケース

1 位……鋼橋の連続 4，PCの連続 4，RCの連続 4

2 位……PCの 1 + 1 + 1 + 1，RCの 1 + 1 + 1 + 1

④ 5 径間のケース

1 位……鋼橋の連続 5，PCの連続 5，RCの連続 5

2 位……鋼橋の 3 + 2，PCの 3 + 2，RCの 3 + 2

3 位……PCの 1 + 1 + 1 + 1 + 1，RCの 1 + 1 + 1 + 1 + 1

⑤ 6 径間のケース

1 位……鋼橋の連続 6，PCの連続 6，RCの連続 6

2 位……鋼橋の 3 + 3，PCの 3 + 3，RCの 3 + 3

3 位……PCの 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1，RCの 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1

(4)下部工及び基礎形式の判断

下部工の形式は，橋台形式と橋脚形式及び基礎形式の判断結果より決定される。各々の判断の知識

は次のとおりである。

イ) 橋台形式の判断

① 手順

i データの入力

ii 橋台高・胸壁高・橋座幅・死荷重反力の計算

iii 対応表から適用可能形式の判断

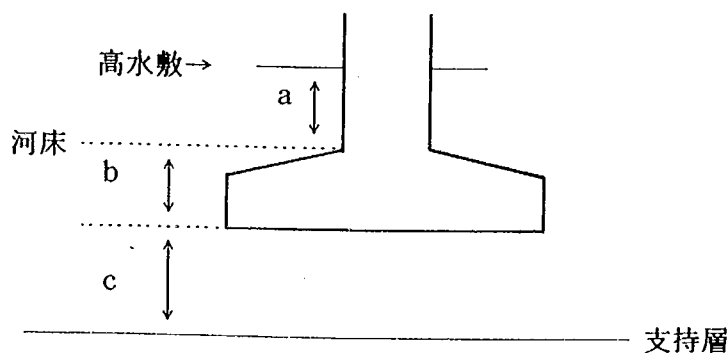
iv マニュアル等に基づき適用可能性の判断

v 選定された形式について、地盤条件などによる判断を行う

② 必要データ：路面高，高水敷高・河床高，支間長，道路幅員，支持地盤の位置（河床地盤からの深さ），基礎地盤の条件

③ 判断1：橋台高さの決定のために基礎の判断を行う

→（直接基礎又はくい基礎・ケーソン基礎）



単断面の場合： $a = 2 \text{ m}$ ， $b = \{a + (\text{路面} - \text{河床})\} \times \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{8}\right)$

複断面の場合： $a = 1 \text{ m}$ ， $b = \{a + (\text{路面} - \text{高水敷})\} \times \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{8}\right)$

$c \leq 3 \text{ m}$ …直接基礎とし、底面を支持層まで下げる。

$3 < c < 7 \text{ m}$ …直接基礎，くい基礎，ケーソン基礎とも検討

$c \geq 7 \text{ m}$ …くい基礎

以上により橋台高さ（H）が決定される。

④ 判断2：胸壁高さ（h）の判断

胸壁高さは、次のように決定される。

$$h = \text{桁高} + 0.85$$

桁高は支間長×下表である。

得られた胸壁高さ h を 0.5, 1.0, 1.5, ~3.0, と 0.5m 毎に 2 捨 3 入, 7 捨 8 入する。

表-付 1. 2 橋梁形式と桁高比の一覧

橋梁型式		桁高比	橋梁型式	桁高比	橋梁型式	桁高比
単純桁橋	合成H桁	1/25	単純床版橋	1/13	プレテン床版橋	1/23
	合成鉄桁	1/18	連続床版橋	1/14	プレテン中空床版橋	1/24
	非合成鉄桁	1/18	単純中空床版橋	1/16	プレテン中空床版橋	1/24
	合成箱桁	1/20	連続中空床版橋	1/16	プレテンT桁	1/18
連続桁	非合成鉄桁	1/18	単純T桁橋	1/13	ポストテンT桁	1/18
	非合成箱桁	1/23	連続T桁橋	1/16	ポストテン箱桁	1/18
鋼床版	鉄 桁	1/25	単純箱桁	1/16	単純合成桁	1/15
	箱 桁	1/27	連続箱桁	1/18	連続合成桁	1/15
トラス	単 純	1/9			連続合成桁	1/16
	連 続	1/10			連続箱桁 (片持工法)	1/15
アーチ系		1/6. 5			連続箱桁 (支保工法)	1/18
					π 型ラーメン	1. 32

⑤判断 3 : 橋座幅 b の判断

橋座幅 b は、支間長 L をもとに

$$L \leq 100\text{m} \text{ のとき } b = 70 + 0.5 \times L$$

$$L > 100\text{m} \text{ のとき } b = 80 + 0.4 \times L$$

であることより、ここでは、支間長 100m 以下を対象とする。

$$b = 70 + 0.5 \times L$$

により求め、小数点以下 1 桁で求める。

⑥判断 4 : 死荷重反力 R_d (t/m) の決定

上部工重量 W は、各橋梁形式毎に支間長と幅員の関係から 1 m^2 当たりの重量 Δ を求め、その値に支間長と道路幅員 B を掛け、

$$W = \Delta \times L \times B$$

として求められる。これより上部工の単位長さの死荷重反力 R_d (t/m) は

$$R_d = W \div B \div 1000$$

となる。

次に、表-付 1. 3 を用いることから、 R_d を 5, 10, 15, 20, 25, 30, ……と 5 単位で 2 捨 3 入、7 捨 8 入した値を決定する。

⑦判断 5 : 橋台高さ H 、胸壁高 h 、橋座幅 b 、死荷重反力 R_d を用い、次表から重力式、逆 T 式の橋台形式を判断する。

また、図-付 1. 1, 1. 2 を用い橋台高さ H に基づき橋台形式を判断し、これらの結果を用い総合

的に判断して最終的な橋台形式を決定する。

表一付 1. 3 建設省標準設計による橋台の適用部分

胸壁高 h (m)	橋座幅 b (m)	死荷重反力 R d (t/m)	橋台高 H (m)									
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.5	0.6	5										
	0.7	5										
	0.8	5								B		
1.0	0.6	5, 10	(重力式)									
	0.7	5, 10, 15										
	0.8	5, 10, 15										
	0.9	10, 15										
1.5	0.7	10, 15										C
	0.8	5, 10, 15, 20										
	0.9	5, 10, 15, 20										
	1.0	15, 20										
2.0	1.0	15, 20, 25										
	1.1	25, 30										
2.5	1.0	15, 20										
	1.1	25, 30, 35										
	1.2	30, 35, 40										
3.0	1.0	20, 25		A								
	1.1	20, 25, 30										
	1.2	40										

形式 \ 高さ	(m)			
	5	10	15	20
ラーメン式 (15~25m)				
控壁式 (12~20m)				
逆T式 (5~15m)				
半重力式 (5m以下)				
重力式 (5m以下)				

図-付1.1 東北地建設計マニュアル(案)による橋台形式と適用高さ

橋台形式	高さ (m)				備考
	10	20	30		
重力式	4				
半重力式	6				
逆T式	12				
控え壁式					
ラーメン	15				
箱式	12				
中抜き	15				

図-付1.2 道路公団設計第2集による橋台形式選定表

ロ) 橋脚形式の判断

①必要データ：架橋地点（河川部，平地部，山間部，都市部，インターチェンジ部）

河道幅（計画高水位による水面幅）

河川の流向（兩岸に対し平行等）

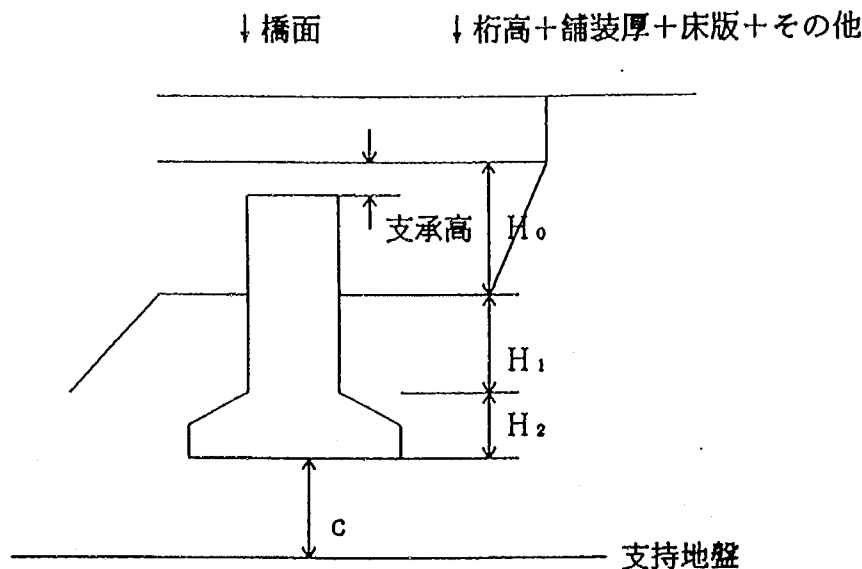
地盤の状態（軟弱ではないか）

支持地盤の位置（河床，地盤からの深さ）

②高さの決定方法

1) 基礎形式か，直接か，くいか，ケーソンかの判断

2) 橋脚高さの決定



ア) H_1 は高水敷のとき最低1 m，河岸（低水路）のとき最低2 mとして決定する。

次に橋面（おおよそ堤防位置での線形の高さ）から（桁高（H）+0.85）mを差し引いた値を求める。

さらに，その値から高水敷又は河床高まの値を差引 H_0 の値を求める。

次いで， $(H_0 + H_1)$ の $1/6 \sim 1/8$ で H_2 を求める

ここまでで， $H_0 + H_1 + H_2$ が求まる。

さらに，支持地盤と橋脚底面との距離 c を求め，

$c \leq 3 \text{ m}$ ……直接基礎とし，底面を支持層まで下げる。

$3 < c \leq 7 \text{ m}$ ……直接基礎，くい基礎とも検討

$c \geq 7 \text{ m}$ ……くい基礎

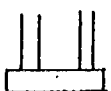
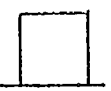
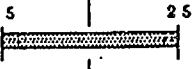
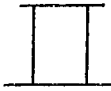
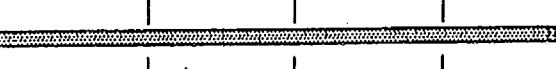
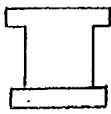
以上により，橋脚高さ $(H_0 + H_1 + H_2)$ 又は $(H_0 + H_1 + H_2 + c)$ が決定される。

③橋脚形式の判断

橋脚高さをもとに，下表から適用可能橋脚形式を判断する。

また，一般的な条件として，次の判断を加える。

- i 河川部 …… 壁式橋脚（小判型，特殊として円柱式）
 - ii 平地部 …… ラーメン橋脚，橋式橋脚，壁式橋脚
 - iii 山間部 …… ラーメン式橋脚（一層・二層），柱式橋脚，壁式橋脚，但し高橋脚の場合（25～30m）には，I型橋脚（フレキシブル式）の採用も考えられる。
 - iv 都市部 …… ラーメン橋脚，柱式橋脚
 - v インターチェンジ部 …… ロッキング橋脚，ラーメン橋脚，柱式橋脚
- 今回は河川部を対象とすることから i のケースとなる。

橋脚形式	高 さ (m)				備 考
	10	20	30	以上	
二 柱 式					R C床版の場合 
ラーメン式 (一層)					
ラーメン式 (二層)					
壁 式 柱 式					中空壁式を含む 
I 形					

ハ) 基礎形式の判断

イ) 及びロ) の橋台・橋脚の高さ決定条件式のなかから，Cの値をもとに判断する。

① $C > 7.0\text{m}$

くい基礎

② $C \leq 7.0\text{m}$

直接基礎

付 録 ー 2

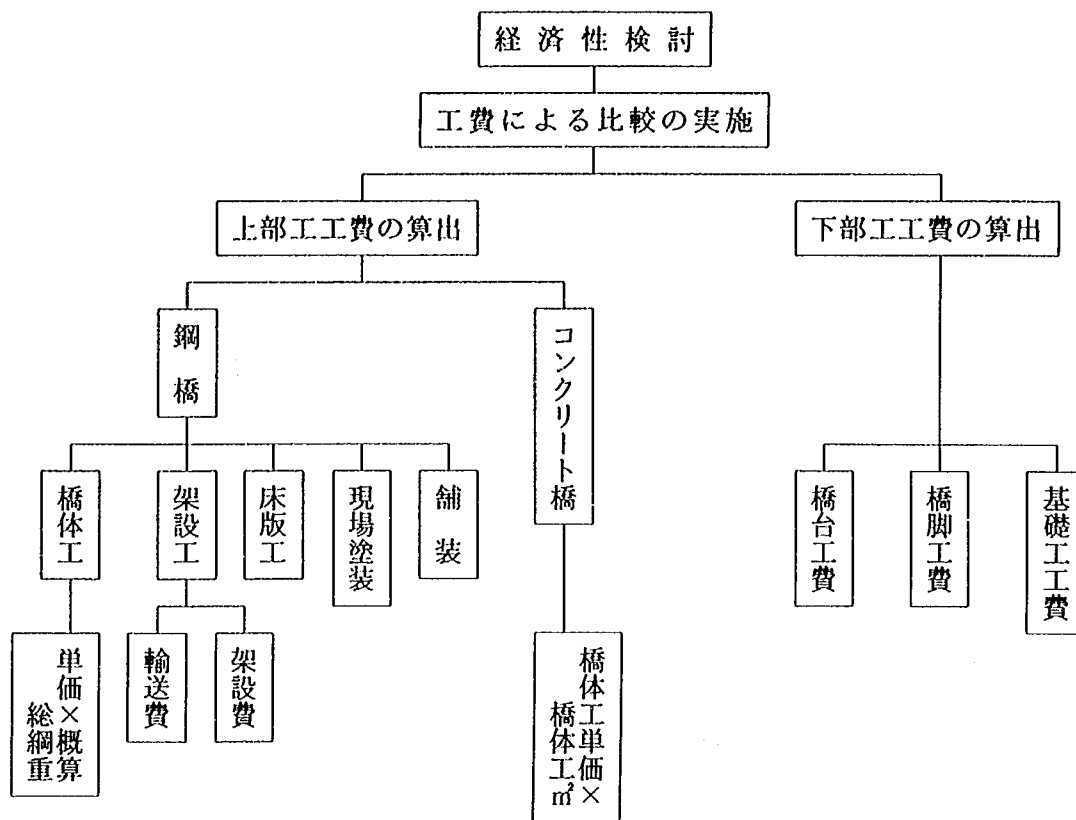
経 済 性 検 討 の 知 識 の 概 要

§ 2. 経済性検討の知識

経済性についての評価は、各橋梁形式案についての全体評価を行う時点で実施されるものであり、

①上部工工費、②下部工工費により算出する。

工費の算出手順は図－付 2. 1 のフローのとおりである。



図－付 2. 1 経済性検討の手順

上部工，下部工の工費算出の内容を次の手順に示す。

(1)上部工工費

鋼橋・コンクリート橋別に工費の推定過程は次のとおりである。

①鋼橋の場合の工費

次の 5 項目を求め、それらの総和を総工費とする。

- 1) 橋体工 (含 支承工, 伸縮継手, 高欄等)
- 2) 架設工 (輸送, 架設工)
- 3) 床版工
- 4) 現場塗装
- 5) 舗装

各々の推定方法は次の通りである。

1) 橋体工の工費推定方法

・概算総鋼重を次式より求める。

$$\Sigma W = C \cdot W \cdot A$$

ΣW ; 概算総鋼重 (kg)

C ; 総鋼重と橋体工鋼重の比率で表一付 2. 2 より求める。

W ; 構造形式に対応する橋体工鋼重 (kg/㎡)

A ; 橋面積 (㎡)

$$A = B \cdot L$$

B ; 有効幅員 (m)

L ; 橋長 (m)

表一付 2. 2 総鋼重と橋体工鋼重の単位面積当り比率の読み取り値

W (kg)	C
100	1. 245
125	1. 165
150	1. 125
175	1. 10
200	1. 085
225	1. 08
250	1. 07
275	1. 065
300	1. 06
325	1. 055
350	1. 05
375	1. 047
400	1. 044
425	1. 042

注) 上部工の形式によらずこれらの値を用いる。
橋体工鋼重100(kg) ~425(kg) の範囲は内挿値を使用する。
100kg以下425kg以上は一定値を使用する。

・橋体工単価は

$$(\text{鋼材単価} + \text{製作単価}) \times \text{間接費}$$

より求める。間接費=1.26とする。

橋体工に関する単価は次のとおりである。

(千円/t)

橋	種	鋼材単価	製作単価	橋体工単価	上 部 工 形 式
鉄 桁	単 純	109	217	411	単純合成H桁 単純合成鉄桁 単純非合成鉄桁
	連 続	109	235	434	非合成鉄桁
	鋼床版	109	315	535	鋼床版鉄桁
箱 桁	単 純	110	287	500	単純合成箱桁
	連 続	110	287	500	非合成箱桁
	鋼床版	110	330	555	鋼床版箱桁
トラス	単 純	106	333	553	単純トラス橋
	連 続	106	339	561	トラス橋
アーチ		109	355	585	アーチ系橋

・橋体工概算費＝橋体工単価×概算総鋼重

2) 架設工

・輸送費

$$C = 9.6 + 0.042 \times L$$

C ; 輸送費コスト (千円/t)

L ; 制作基地から現場までの距離 (km)

距離不明の場合には $L = 300\text{km}$ 程度と考え $C = 20\text{千円/t}$ とする。

輸送費＝C×概算総鋼重

・架設費

架設費単価は次表のとおりである。

(千円/t)

上 部 工 形 式	架 設 工 法	河川採用単価
単純合成H桁 単純合成鉄桁 単純非合成鉄桁 非合成鉄桁 鋼床版鉄桁	ベントの自走クレーン	125
	送り出しの手延べ	115
単純合成 非合成箱桁 鋼床版箱桁	ベントの自走クレーン	75
	送り出しの手延べ	115
単純トラス橋 トラス橋	ベントのトラベルクレーン	105
	送り出しの架設桁	115
アーチ系橋	ケーブルエレクション	265

3) 床版工

28,000円/㎡

ただし、鋼床版の場合 床版工は0円となる。

4) 現場塗装

2,500円/㎡とする。

塗装面積は、次表を用いて概算総鋼重より求める。

箱桁は内面の塗装面積を考慮しないものとする。

橋 種	トン当り塗装面積㎡/t
鈑 桁	18.5
箱 桁	11.0
トラス	16.0
アーチ	17.0

5) 舗装

3,500円/㎡を採用。

舗装費=3,500×L×B

L ; 橋長 (m)

B ; 有効幅員 (m)

②コンクリート橋

橋体工㎡当り単価がグラフにより与えられるものに関しては、工事費を次式により求める。

工事費=L×B×C1×a1×a2×L×B×C2

L ; 橋長 (m)

B ; 有効幅員 (m)

C1 ; 橋体工㎡当り単価

a1 ; 径間数による補正係数 (下表参照)

a2 ; 幅員による補正係数

C2 ; 橋面工㎡当り単価

C1……グラフより求める。

a1の範囲

径間数N	1	2	3	4	5～10	11～
補正係数	1.20	1.10	1.00	0.96	0.93-0.01X(N-5)	0.88

a2……a2=1.0+0.02×(9.0-B)

C2……2,500円/㎡

1) プレテン床版橋

橋体工㎡当たり単価のグラフの読み取り値

支間長 (m)	5.0	14.0
単価 (千円/㎡)	75.0	100.0

2) プレテン中空床版板

建設省標準PRH桁と同一である。

橋体工㎡当たり単価のグラフの読み取り値

支間長 (m)	10.0	20.0
単価 (千円/㎡)	87.5	100.0

3) プレテンT桁

橋体工㎡当たり単価のグラフの読み取り値

支間長 (m)	10.0	20.0
単価 (千円/㎡)	93.75	106.25

4) ポステンT桁

橋体工㎡当たり単価のグラフの読み取り値

支間長 (m)	20.0	25.0	40.0	50.0
単価 (千円/㎡)	106.25	106.25	118.75	125.05

5) 中空床版橋 固定式支保工

橋体工㎡当たり単価のグラフの読み取り値

支間長 (m)	30.0	40.0	50.0	60.0
単価 (千円/㎡)	193.75	200.00	206.25	218.75

6) 中空床版橋 移動式支保工

橋体工㎡当たり単価のグラフが与えられていないので、単価を次のように求める。

施工延長を x とすると、

施工延長 800m未満 単価 = $240 - x \times 6 / 40$ (千円/㎡)

施工延長 800m以上 単価 = 120

7) 連続箱桁（片持工法）片持

橋体工㎡当たり単価のグラフ読み取り値

支間長 (m)	50.0	60.0	70.0	80.0	100.0	110.0
単価 (千円/㎡)	200.0	212.5	225.0	237.5	250.0	293.75

8) 連続箱桁（支保工法）固定式支保工

橋体工㎡当たり単価のグラフの読み取り値

支間長 (m)	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
単価 (千円/㎡)	137.5	150.0	162.5	175.0	187.5

9) 連続箱桁（支保工法）押し出し

橋体工㎡当たり単価のグラフの読み取り値

支間長 (m)	30.0	40.0	50.0	60.0
単価 (千円/㎡)	193.75	200.0	206.25	218.75

(2) 下部工工費

下部工の工費は、橋台工費＋橋脚工費＋基礎工工費により算出され、それぞれの値を求める方法は次のとおりである。

① 橋台工費

単価54,000円/㎡

② 橋脚工費

単価62,000円/㎡

③ 基礎工工費

1) 鋼管くい

直径 600mmのくいの単価…… 32,000円/m

直径 800mmのくいの単価…… 42,000円/m

建設機械運搬費……800,000円（1橋梁に対し）

2) 場所打ちくい

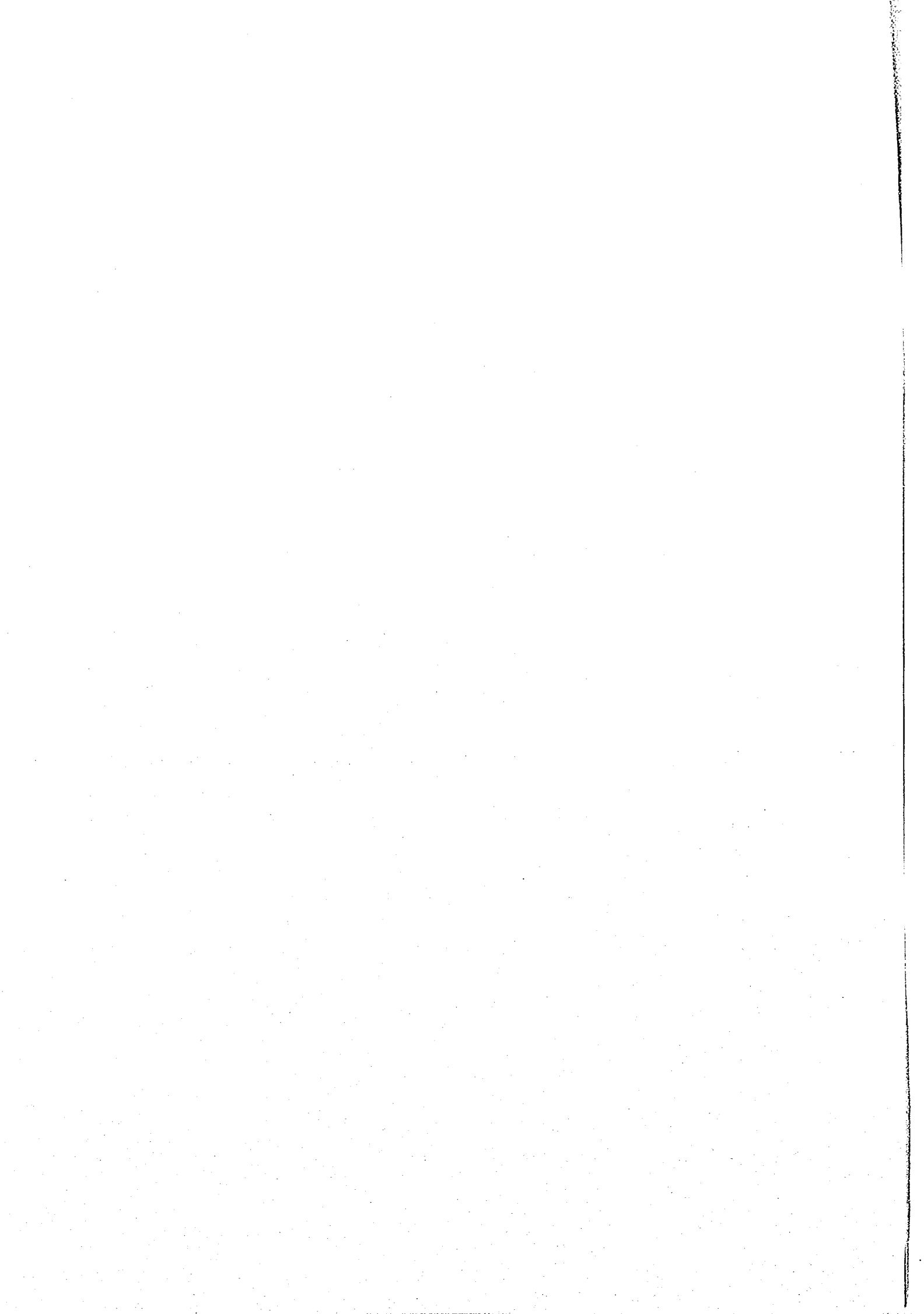
直径1000mmのくいの単価…… 65,000円/m

直径1200mmのくいの単価…… 80,000円/m

建設機械運搬費…… 10,000,000円（1橋梁に対し）

付 録 ー 3

施工性評価の知識の概要



§ 3. 施工性判断の知識

施工性に関する評価には、想定される橋梁に対してどのような施工法が適しているかの判断が必要となり、その知識を整理すると次のとおりである。

(1) 評価対象の範囲

施工性の評価は施工法の選択を各工法の評価によりなされる。ここでは、施工法の選択におけるその範囲を整理したものであり、結果は次のとおりである。

① 施工法を検討する範囲

施工法が評価の問題となるのは、上部工、下部工それぞれで上部工では鋼上部工とコンクリート上部工別に評価し、下部工では、橋脚等あげられるが、基本的には基礎の施工性を評価することにより、下部工の評価は可能となる。

② 施工法の種類

1) 鋼上部工

ベント式工法、ケーブル式工法、架設桁工法、送り出し工法、
片持ち式工法、一括架設工法、回転工法

2) コンクリート上部工

現場打固定支保工式架設工法、現場打移動式支保工式架設工法、
プレキャスト桁架設工法、プレキャストブロック架設工法、
押し出し工法、回転架設工法

3) 下部工（基礎）

直接基礎、打ち込み杭、中掘り杭、場所打ち杭、ケーソン基礎

(2) 施工方法の選定フロー

① 鋼上部工の架設工法選定フロー

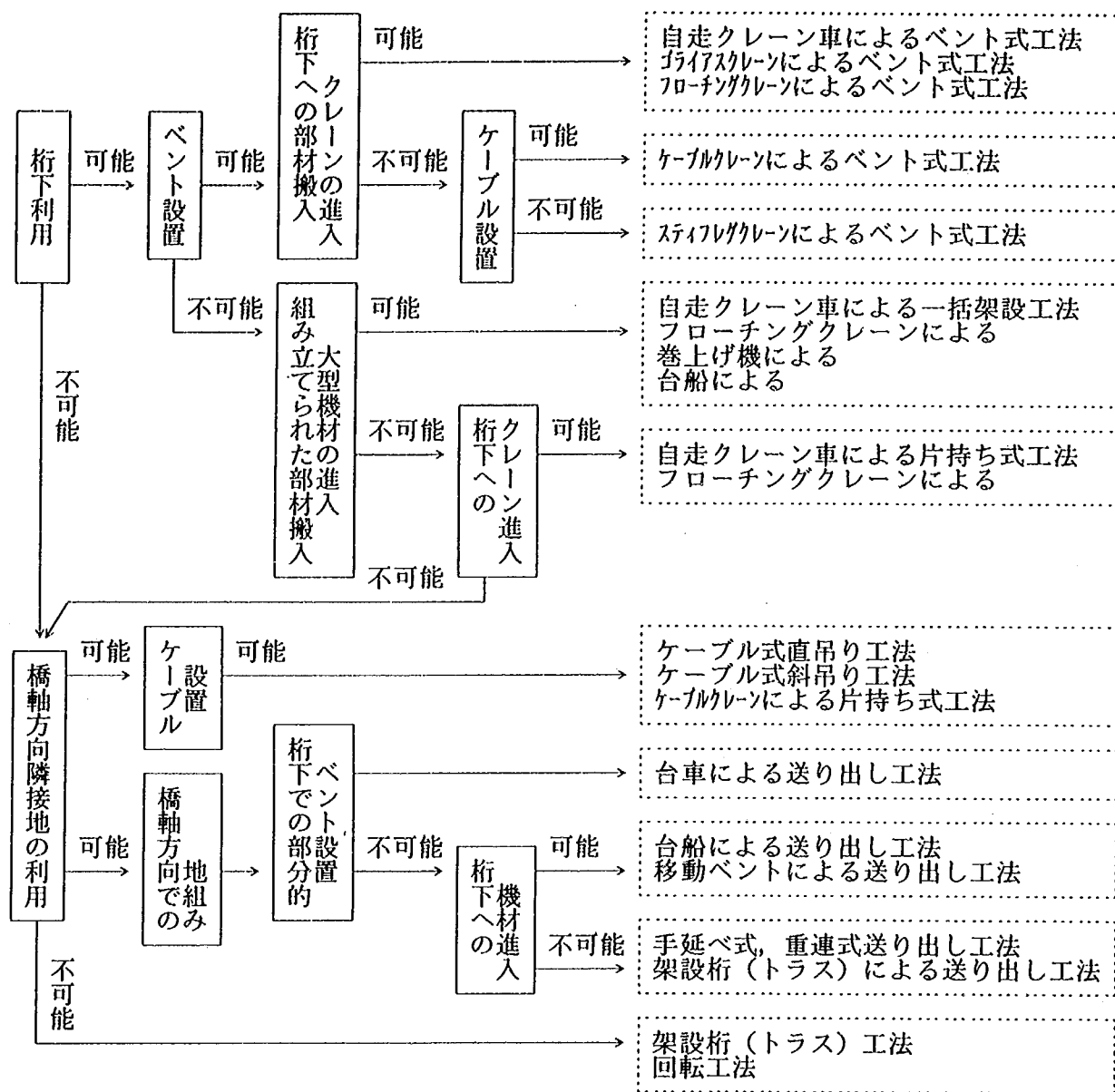
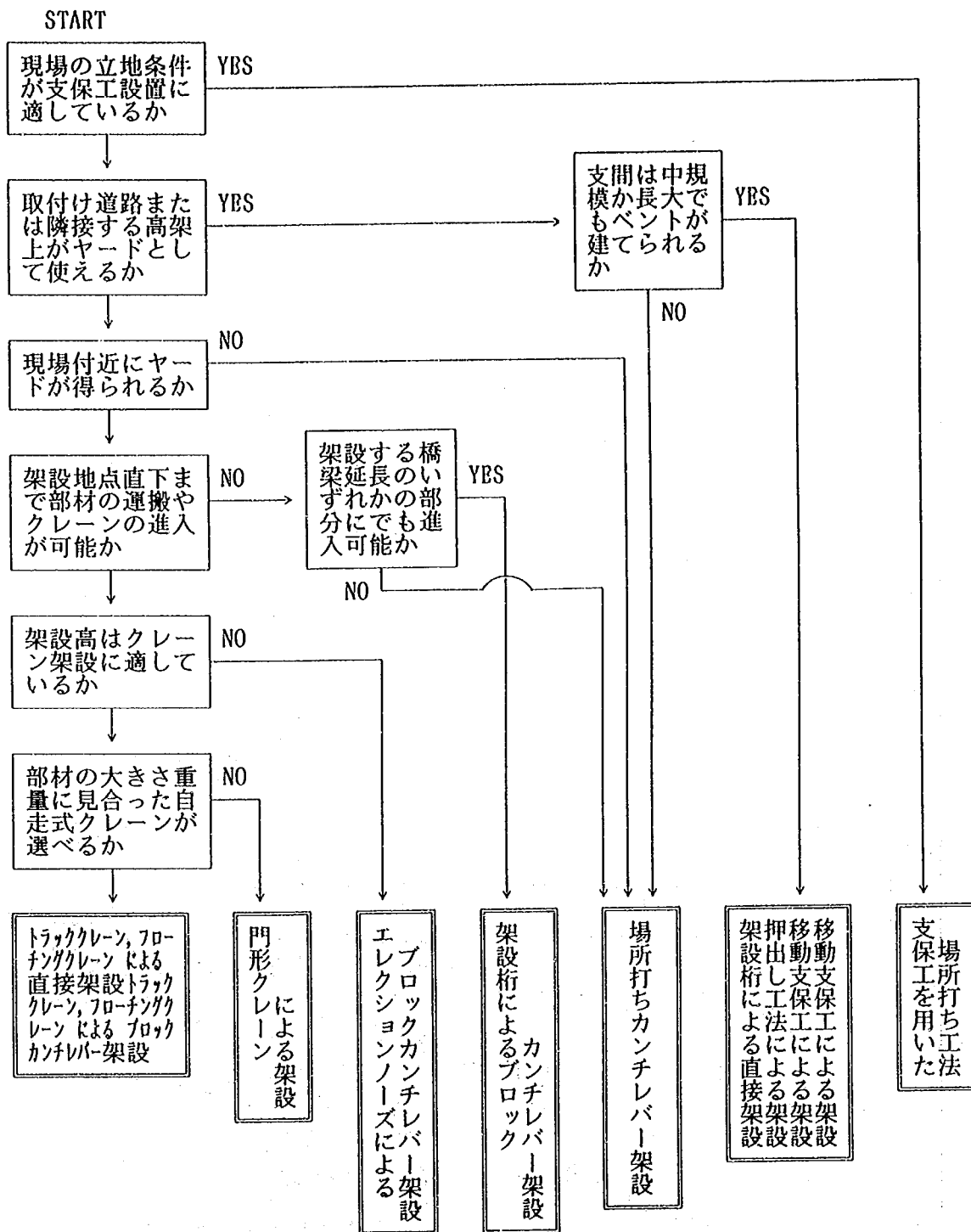


図-付 3. 1 架設地点の利用条件から選ばれうる鋼上部工架設工法

②コンクリート上部工の架設工法選定フロー



③下部工（基礎）の施工性の判断項目

表-付3.1 下部構造施工条件の着目点

調査の種類		調査の主要目的	調査内容	摘要
施工条件の調査	気象調査	i) 施工時の気象状況の予測 ii) 工法, 使用機械, 作業方法および施工時期などの検討 iii) 現場の保全対策及び施工の安全対策の検討	イ) 気温, 湿度, 降雨, 積雪, 風向, 風速, 凍上, 凍結, 融解及び台風など過去の記録	
	周辺環境調査	i) 施工による周辺への影響度の把握 ii) 工法, 使用機械器具, 作業方法などの検討 iii) 周辺環境の保全対策の検討	イ) 周辺の建物, 騒音, 振動, 地盤の変動, 井戸の水位, 水質, 交通などの現況 ロ) 採用しようとする工法, 使用機械器具, 作業方法により施工時に予想される騒音, 振動, 地盤沈下などの発生度合い及び井戸水交通状況の変化 ハ) 史跡, 文化財などの有無 ニ) 防雪林, 水源地, 温泉などの特殊な環境の有無	「騒音規制法」「振動規制法」「水質汚濁防止法」などをはじめ, 地方自治体の関係条例などの関連についても掌握しておく必要がある。
	作業環境調査	i) 作業上の諸制約条件の把握 ii) 近接構造物と当該下部構造との相互の影響度の検討 iii) 工法, 工事用諸設備の位置, 使用機械器具, 作業方法などの検討 iv) 現場の保全対策及び施工の安全対策の検討	イ) 作業面積, 作業空間, 工事道路の幅員, 線形, 交通規制の有無など ロ) 掘削土砂の処分場所, 処分可能量及び処分方法 ハ) 電気給排水などの位置及びその量 ニ) 近接構造物, 地下埋設物, 架空線などの位置, 形式, 規模	「労働安全衛生法」「同施行令」や各種の関係規則などの内容についても把握しておくべきである
	その他	i) 下部構造の設計, 施工全般についての参考資料	イ) 実施例の設計図書 施工記録 ロ) 関係者の体験談及び専門家の意見の聴取	

(3)施工性の評価方法

施工に関する評価項目は大別して次の2つに分けられる。

①最適な施工法の選定に関するもの。

②比較設計の対象となっている橋種の施工の難易度や施工ヤードの有無など現場状況に関する評価。

ここでは、主として②に関する評価が中心となり、①は本来経済性に大きく関係するので、経済性評価における対象といえる。しかし、①と②はそれぞれに独立しているわけではなく、一般の比較設計において①の多くの部分が経済性評価で行われており施工性の評価で②が行われている例が多いが、①、②をまとめて施工性の評価とする場合もある。従って、ここでは、両者について整理した。

①施工法の選定について

施工法の選定に関しては、(1)及び(2)で各構造例に各施工法の適用性と選定のフローチャートを示した。

しかし、これらの結果からでは1つの橋種に対して数多くの施工法が可能となる。一般の施工では、施工法が必ずしも1つの方法に限定されるわけではなく、架橋地点の状況構造により適したものを選定している。

ここでは一般の比較設計において施工性の評価として着目している項目から次のような項目に注目し、その内容を評価し施工法を選定する方法とする。

①現場作業の多少

②施工法の難易度

③支保工の要否あるいは適、不適

④施工ヤードの必要性の度合い

⑤特殊作業の要否

⑥工期の制約等に関する適用性

⑦水中あるいは水上施工などに対する適用性

⑧上空制限などに対する適用性

⑨地形、地質などに対する適用性

⑩環境（騒音、振動など）に対する適用性

⑪その他の特殊条件など

②経済性の評価について

施工法の選定の最も大きな条件の1つとして、施工法による経済性の評価が上げられる。ここでは、各種施工法による標準的な工事費を整理して施工法評価の判断資料とする。なお、これらは、経済性と密接な関係があり、一般の場合は経済性評価の項で評価される事が多い。

以下に各施工法による工費（施工費）を整理する。

(1)鋼上部工

a) 架設工法……現地条件及び経済性工程等を勘案の上、「架設工法を決めるためのフローチャート」を参考にして決定する。（設計積算資料参照）

b) 架設費（工事費）

橋梁形式	架設工法	単価（千円/t）	適用範囲
プレートガー ター形式	トラッククレーン工法	112 ～ 76	100t程度
	トラッククレーンによるベント工法	150 ～ 100	100t ～ 500t
	ケーブルクレーンによるベント工法	149 ～ 128	100t ～ 300t
箱 桁 形 式	トラッククレーンによるベント工法	86 ～ 64	100t ～ 1,000t
	ケーブルクレーンによるベント工法	200 ～ 140	100t ～ 500t
	引き出し工法	128 ～ 100	200t ～ 300t
トラス形式	トラッククレーンによるベント工法	110 ～ 95	200t ～ 500t
	ケーブルクレーンによるベント工法	153 ～ 148	200t ～ 500t
	ケーブルエレクション工法	280 ～ 250	200t ～ 500t

- 注) 1. 上記単価は、仮栈橋、ベント基礎等の仮設備を含まない標準的な単価である。
 2. プレートガーター形式及び箱桁形式については、架設t数が小さいと間接費率が大きくなり割高になる。

(2)コンクリート上部工

a) 架設工法……………現地条件及び経済性、工程等を勘案の上決定する。

b) 単価（千円/t）……P C 橋単価表により規模、形式の類似のものを選定し、単価を決定する。

単価の目安

項 目	種 別	工 事 費	最 終 値
架 設	ガーダー	20,800円/t～30,000円/t	22,300円/t
	トラッククレーン	6,000円/t～9,500円/t	6,600円/t

(3)下部工他

土留・締切工（直工費）

（円／㎡）

工 法				自立	切架 1 段	切架 2 段	切架 3 段	切架 4 段
鋼 矢 板	一 重	パ イ プ ロ		5,200	6,800	7,400	8,000	9,000
		プレボーリング		6,700	8,000	9,000	9,900	11,300
		JV (ジェット カッター)	1 台	8,900	9,600	10,200	10,800	11,700
			2 台	12,900	13,800	14,700	15,600	16,900
	二重	パ イ プ ロ		5,400	7,000	7,900	8,500	9,900
親 杭	パ イ プ ロ			10,000	11,500	12,400	13,400	14,800
	プレボーリング			11,800	13,400	14,400	15,300	16,700

注) 上記単価は、仮設材損料（2～3ヵ月程度）を含む（横）矢板㎡当たりの平均的単価である。

仮棧橋

仮棧橋（工事費）

種別	供 用 日 数	上部工		下部工		塗装単価 (千円/㎡)	全体単価 (千円/㎡)
		重量 (t/㎡)	単価 (千円/㎡)	重量 (t/㎡)	単価 (千円/㎡)		
仮橋	120日 ～ 222日	0.2～0.3	18～23	0.1～0.2	2～11	4～6	24～40

エキスパートシステムによる橋梁
形式選定システムに関する研究

ISSN 0386-5878
土研資料第2989号
平成3年3月(1991)
横山 功一 佐藤 弘史
小路 泰広 東久保正徳

要 旨

近年、人工知能の一分野であるエキスパートシステムの活用がいろいろな分野で行われるようになってきている。本研究では、エキスパートシステムの土木分野への適用性を検討するため、橋梁を計画する際の形式選定をとりあげ、専門家からの知識の抽出・整理を行い、エキスパートシステムを構築した。次にこれを従来専門家が行っていた結果と対比し、システムの評価を行った。その結果、本システムによる選定結果と100%の一致をみたわけではないものの比較的良い一致を示し、技術者が設計を行うときの支援システムとして実用化を考えるべきとの結論が得られた。

キーワード：エキスパートシステム、橋梁形式選定、知識ベース、推論機構、ツール

郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

構造橋梁部構造研究室 御中

No. 3

No. 3

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第2989号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 ④

○ 土木研究所資料第2989号