I－6 橋梁形状検索型データベースシステムに関する基礎的研究
A Study on Database System for Visual Reference of Bridge Form

○政木 英一* 伊藤 学** 窪田陽一** 今福 克***
Hidekazu MASAKI Manabu ITO Yoichi KUBOTA Suguru IMAHUKU

【抄録】 本研究は、橋梁形状（”かたち”）から検索することのできる形状検索型データベースシステムの構築を目的としている。本研究では、橋梁形状を構成する要素を抽出し、それぞれの要素についてパターン分類し、それらをデータ検索のための検索キーとして既存橋梁データに割り当てた。また、形状認識には曖昧さが存在するため、本研究ではこれを考慮したパターン分類を行っている。本システムにより、イメージする橋梁形状から既存事例を検索することが可能である。

【Abstract】 In this study, the authors have developed a database system for visual reference of bridge form. Bridge form could be divided into several components and each component was classified into several visual patterns. All components and these patterns are reference-key for referring existing bridge data. Because of uncertain judgment on bridge form recognition, the authors took into consideration of such uncertain judgement on classifying components. By using this database system, it is effective to refer existing bridge data by means of visual image of bridge form.

【キーワード】
形状検索型データベースシステム、パターン分類、形状認識
【Keywords】
database system for visual reference, visual pattern, form recognition

1 緒言

近年、コンピュータのハードウェアは急速な発展を遂げている。特にパーソナルコンピュータ（以下ＰＣ）においては、ここ数年で飛躍的に進歩しており、現在ではかなり高度な処理を行うことが可能になっている。最近では、マルチメディアを意識したデータベースの研究も数多く見られるようになってきている。橋梁データベースシステムにおいても同様で、橋梁諸元等の文字データばかりでなく、写真画像等による映像データを扱うことのできるデータベースの研究[1)、2)]が発表されている。しかしながら、現在では、マルチメディアの技術を検索結果の出力に適用するに留まっており、データベースの検索方法は、従来の橋梁データベースとほぼ同様でテキストデータの入力に頼っている。

橋梁景観設計を考慮したデータベースシステムを考えた場合、橋梁形状（“かたち”）から検索するということは至極当然のことであり、景観設計の立場からのデータベースシステムはそうあるべきであると著者等は考える。島田他[3)]は筆者等と同じ視点にたち、橋梁形状によるデータ検索を可能にしたシステムを開発している。島田は、コンピュータを用いたパターン認識の技術を用い、橋梁の概略形状による検索を可能にした。しかしながら、この検索手法には、人の形状認識に対する概念が考慮されていないため、人のイメージした形状よりも狭い範囲で、データを検索する可能性を含んでいる。本研究では橋梁景観設計を支援することを目的とした、自由度

連絡先：* 〒102 東京都千代田区六番町２番地 国際航業（株） 東日本事業本部 企画二部 企画１グループ
TEL 03-3237-2173 FAX 03-3237-7367
** 〒338 埼玉県浦和市下大久保 ２５５ 埼玉大学 工学部 建設工学科
*** 〒107 東京都港区南青山５丁目１２番地４号 （株）日本構造橋梁研究所 設計第一部設計第三課

の高い検索を行えるデータベースシステム検索手法を構築し、システムの開発を行った。即ち、本研究は橋梁形状（“かたち”）から既存橋梁データを検索することができる形状検索型橋梁データベースシステムの構築を目的としている。

2　形状検索型データベースシステム

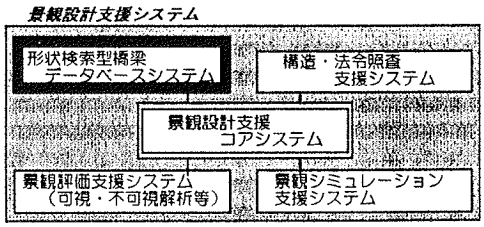
2－1 景観設計支援システムにおける本システムの位置づけ

本システムは著者等が既に開発している景観設計支援システム[3)、4)]の一機能として開発を行った（図－1）。本システムを景観設計支援システムの一機能として取り込むことにより、イメージする橋梁の形状から橋梁の既存事例を検索することが可能となる。

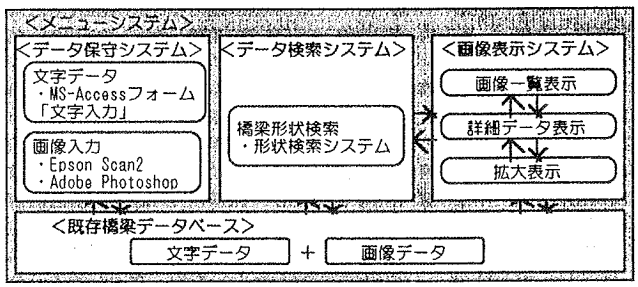
2－2 本システムの構成

景観設計で用いるデータベースは、①文字データ（橋梁諸元），②画像データ（写真・図面）の２つの種類のデータから構成される。また、データの検索手法としては、従来の文字による検索の他に、景観的諸条件（ここでは、“かたち”）から検索できることが要求される。

本システムは形状検索システム、画像表示システム及びシステム全体を統合するメニューシステムによって構成される（図－2）。本システムでは橋梁年鑑及びプレストレストコンクリート年鑑より約６００橋のデータを収集した。



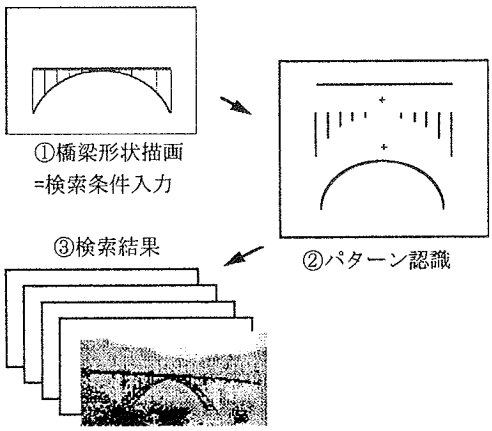
図－1　支援システムにおける本システムの位置づけ



図－2　本システムの概略構成図

2－2－1 形状検索システム

イメージから”かたち”を導き出すことが、景観設計の中心的思考作業であるため、既存橋梁の事例を検索する際に、求めるイメージにあった検索をできるようにすることが必要不可欠である。景観設計支援のためのデータベースシステムを考えた場合、既存事例の検索は①「イメージする形状の描画」→②「形状のパターン認識」→③「パターンに一致する形状の検索」といった手順となる（図－3）。また、形状のパターン認識を行うためには、橋梁形状を構成する要素を抽出し、それぞれの要素についてパターン分類をすることが必要である。橋梁形状の分類については３章に述べる。



図－3　形状検索の手順

データベースの特徴として、検索条件の内容により、検索結果を絞り込むことが可能となることが挙げられる。形状検索型データベースにおいてもこの特徴を継承する。例えば、検索条

件として、必ずしも橋梁形状を全て描画することが必要とはされず、曲線形状のある橋梁をイメージしたならばイメージする曲線を描画し、それを検索条件として検索することが可能である（図－４）。

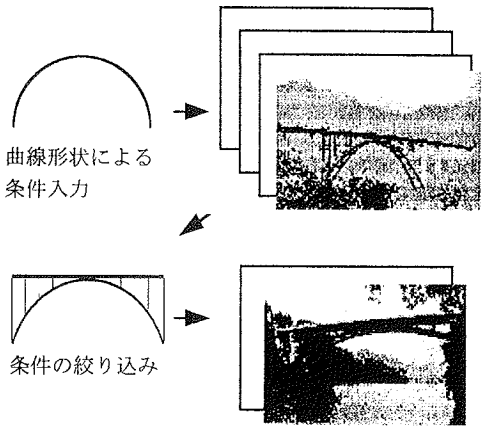
本研究では、形状検索の基礎的システムとして以下に示す手順で検索を行うことのできるシステムの開発を試みた。

①分類された形状のパターンを選択

②プランナーのイメージする橋梁形状を検索

③既存データ（文字行う及び画像データ）を提示

形状検索システムでは、分類された橋梁形状に従って検索キーを割り当て、それをもとに検索を行う。また、検索条件の選択はビジュアルな環境で行えるようにすることが必要である。



図－４　検索条件

２－２－２　画像表示システム

イメージに基づいて検索された結果はやはり視覚的に表現することが必要である。そこで、画像表示システムの構築を行う。画像の表示には以下の三段階の表示方法を採る。①検索した結果の一覧表示。②検索の結果の一覧を見てより詳細なデータを必要とする橋梁のデータ（図面等の画像データ及び構造的諸元等の文字データ）の表示を行う。③詳細表示で表示されている画像の拡大表示を行う。なお、画像表示システムの構築はMicrosoft Visual Basic Ver2.0を用いて行った。

３　形状検索のための橋梁形状の分類

３－１　橋梁形状の分類

橋梁形状を構成する要素として、①橋梁のアウトライン、②曲線の向き、③曲線と路面の位置関係、④部材の配置、⑤連続のパターン、⑥曲線形状の６要素が考えられる。これら６要素のうち①～⑤は、今回収集した既存橋梁の事例を参考に著者等が独自に判断したものである。また、⑥については評価実験を行い分類した。なお、本研究では、曲線をアウトラインにもつ形状について要素を抽出している。従って、②～⑥までの要素は、曲線についての橋梁形状の構成要素である。それぞれの要素について形状のパターン分類を行う。

①　橋梁のアウトライン

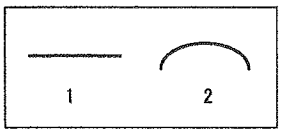
その橋梁の形状が直線的であるか曲線的であるかの２通りに分類できると考えられる。（図－５）。

②　曲線の向き

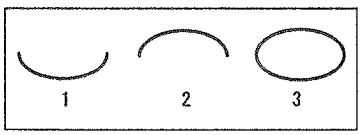
アウトラインとなる曲線の向きを３通りに分類できると考えられる（図－６）。

③曲線と路面の位置関係

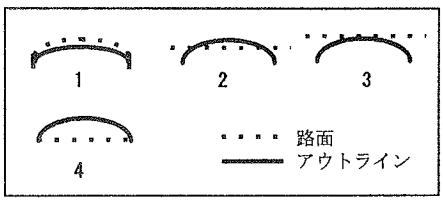
アウトラインとなる曲線の位置、路面の位置、橋梁の全体的な形状により、４通りに分類できると考えられる（図－７）。



図－５　橋梁のアウトラインの分類



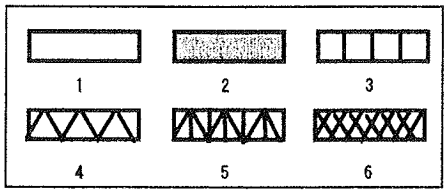
図－６　曲線の向きの分類



図－７　曲線と路面の位置関係の分類

④　部材の配置パターン

橋梁のアウトライン内部の構成部材の配置パターンにより６通りに分類することができると考えられる（図－８）。また、部材の配置パターンは、同一のパターンにおいてもその間隔によりさらに細分することできると考えられるが、本研究では、考慮していない。（今後、評価実験を行うことで細分する予定）

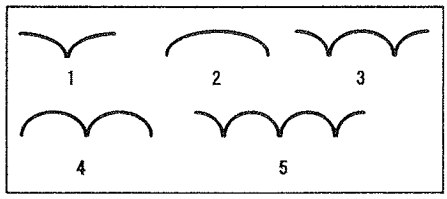


図－８　部材の配置の分類

⑤　連続のパターン

橋梁の持つ曲線の数により５通りに分類する（図－９）。

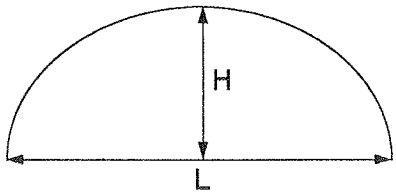
ここでは「（２）曲線の向き」が分類２の上に凸の場合を例として示す。なお、分類５は分類４以上の場合のことである。例えば３連、４連アーチなどが項目５に分類される。



図－９　連続のパターン

⑥　曲線形状

曲線の曲率を表す値としてアーチ橋で用いられるライズ比と同様に長さと高さの比を用いて５通りに分類する。次の３－２に曲線形状の分類の方法について述べる。



Ｌ：スパン
Ｈ：曲線の高さ
曲線形状＝Ｈ／Ｌ

図－１０　曲線形状を表す指標

３－２　曲線形状の分類

本形状検索システムでは、検索項目の入力において形状を画面に表示し、それを選択することにより検索条件の入力とする。しかし、ここで二つの問題が生じる。一つは、「表示する曲線の大きさは何種類必要なのか」であり、二つめは「曲線形状の大きさを構成する要素のパラメータの区切りをどこに設定するか」である。筆者等は、これらの問題を解決するために、曲線形状の認識実験を行いそのデータを基に曲線形状の大きさを５つのグループに分類し、各グループにおける上・下限値を設定した。

３－２－１　曲線形状の分類に関する実験

（１）評価対象となる曲線形状の選定

曲線形状を決定する要因を、図－１０の様に考える。これは、アーチ橋におけるライズ比に当たるものであるが、ここでは橋梁データとして変断面桁橋も考慮しているため曲線形状を表す一般指標としてＨ／Ｌ比を設定する。

表－１　構造形式に依存するＨ／Ｌの範囲

変断面桁橋（鋼）	0.0045～0.0455
〃　（PC）	0.0167～0.0417
アーチ橋	0.0588～0.4

本実験に用いるＨ／Ｌのデータとして、変断面桁橋（PC、鋼）、PCラーメン橋及びアーチ橋を選定した。変断面桁橋及びラーメン橋のＨ／Ｌの範囲を示すデータが存在しないため、PC道路橋計画マニュアルの統計データを基に断面変化における桁高・支間の比率を基に算出した。また、鋼変断面桁橋においては、このデータがないため、橋梁年鑑から中間支間部及び支間中央部の寸法のわかるものを抽出し（２４橋）、PC橋と同様の作業を行うことによりＨ／Ｌの範囲を設定した。アーチ橋のＨ／Ｌにおいては、既存の資料[6]にライズ比の目安の範囲があるためそれを使用した。本実験で使用した、Ｈ／Ｌの範囲を表－１に示す。

（２）実験の方法

実験に用いる曲線形状は、（１）で述べたＨ／Ｌを基に曲線形状を変化させ、４４種類作成した。図－１１に今回使用した曲線形状の例を示す。なお、曲線形状は、桁橋のＨ／Ｌの範囲で0.05刻み、アーチ橋で0.1刻みでで変化させた。

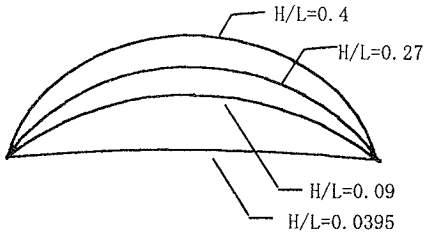
実験は、４４枚のカードにＨ／Ｌの異なる曲線形状を描いたものを、Ｈ／Ｌの順番がランダムになるようにま

とめた。これを被験者に掲示し曲線形状が似ていると感じるものについてグルーピングを行ってもらった。また、グループ数の指定は特にしていない。被験者は学生２２名であった。

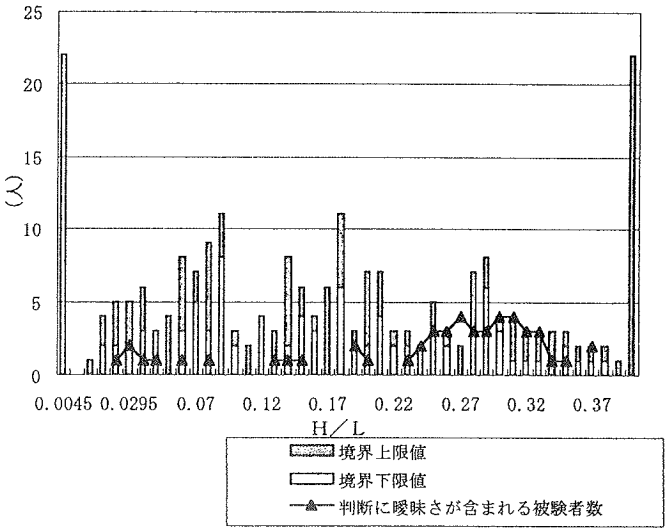
（３）実験の結果と考察

ａ）実験の結果

実験の結果、曲線形状は３から９グループに分類された。曲線形状を４グループに分類した被験者が最も多く９人であった。実験の結果をまとめたものを図－１２に示す。境界下限値及び境界上限値は、曲線形状の各グループでのＨ／Ｌの最も小さい値、最も大きい値をそれぞれ示している。ここで、被験者が曲線形状の判断を数値的に正確に行っていると仮定すると、Ｈ／Ｌとグループの関係は表－２の被験者Ａのようになるはずである。しかしながら、実際には被験者は数値的に正確に判断していないため、表－２の被験者Ｂ、Ｃのような結果となることがある。例えば表－２の被験者Ｂが曲線形状の類似性を数値的に正確に判断しているならばグループ２（G2）の上限G2_2のＨ／Ｌより大きい値のＨ／Ｌ（=0.33）がグループ３（G3）の下限G3_1になるはずである。即ち、Ｈ／Ｌ(0.28～0.31）は全てG2であると判断するはずである。ところが、被験者Ｂは、Ｈ／Ｌ=0.29～0.31をG2ではなく、G3であると判断している。これは、曲線形状の類似性の判断に曖昧さが存在することを示唆していると見ることができる。このような判断の曖昧さは、曲線形状の分類を行う上で非常に重要な要素となるので、これを「曲線形状の判断の曖昧さ」として取り扱うことにする。これを各被験者ごとにカウントすると図－１２の折れ線のようになる。例えば、表－２のＨ／Ｌ＝0.29は被験者Ｂ，Ｃに曖昧に判断されているので、Ｈ／Ｌ＝0.29を曖昧に判断する人は２人と数えデータをプロットする。



図－１１　対象とした曲線形状の例



図－１２　実験結果

表－２　被験者によるグルーピング結果の例

H/L	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.3	0.31	0.32	0.33
A	G2_1		G2_2	G3_1					G3_2	
B		G2_1			G3_1				G2_2	G3_2
C	G2_1		G3_1				G3_2	G2_2		

判断に曖昧さがあると考えられるＨ／Ｌ
Ｇｉ_１：ｉ番目のグループの境界の下限
Ｇｉ_２：ｉ番目のグループの境界の上限
A,B,C：被験者

図－１２により、境界値として認識されるＨ／Ｌは、0.0195～0.0345、0.06～0.09、0.14～0.21、0.28～0.29に現れることが読みとれる。また、Ｈ／Ｌ=0.25～0.33の範囲において曲線形状の判断が曖昧になるようである。

ｂ）判断の曖昧さの解釈

人の形状の判断には曖昧さが存在することは実験結果より既に明らかである。ところで、この判断の曖昧さとはいったい何によるものなのであろうか。実験の結果から、判断の曖昧さが生じる原因の解釈として以下の二通

りが考えられる。

①そのH／Lが境界値と判断される可能性があるが正確に判断できない。

②その前後でのH／Lで判断されたグループの境界は判断のミスである可能性がある。

という解釈である。表－２を例に二つの解釈を説明する。①は、BはH／L=0.3でG3の上限値と判断しているが、判断の曖昧さのあるH／Lの領域（H／L=0.29～0.31）もG3の上限値として判断する可能性があるとする解釈であり、②は、BはG2,G3を別のグループと考えたが、これは判断のミスであり、G2,G3は同一のグループになる可能性があるとする解釈である。Cの場合も同様の解釈をすることができると考えられる。この二つの解釈は３－２－２曲線形状の分類のグルーピングに適用される。

c）形状分類特性

類似な形状と判断される曲線形状の分類特性を知るために、隣接するH／Lの曲線形状と類似な形状と判断される確率（以後P(i)）を算出し、それをプロットした（図－１４）。P(i)は次式により算出される。

$$P(i)=1-(Niu+Nil)/N-f(i) \quad \cdots \quad (1)$$

ただし　i=1, 2･･･44　（i=1の時H／L=0.0045, ・・・, i=44の時H／L=0.4）

Niu　:i番目のH/Lをグループの上限と判断した人数,

Mil　:i番目のH/Lをグループの下限と判断した人数

N　:被験者数, f(i)　:i番目のH/Lにおいて判断の曖昧さが出現する確率

また、

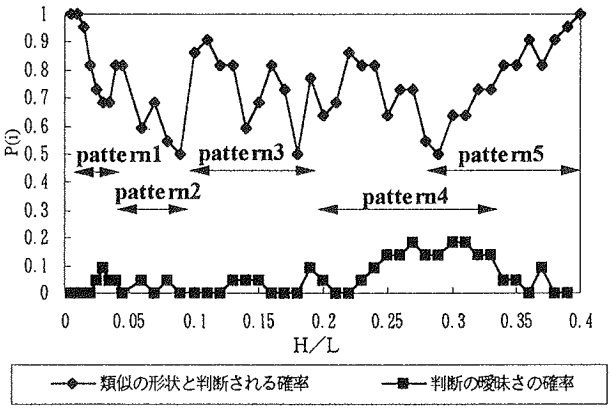
$$f(i)=Si/N \quad \cdots \quad (2)$$

ただしi=1, 2･･･44

Si　:i番目のH/Lにおける判断の曖昧さの数

Siは前述した曖昧さの判断の解釈の①の考え方を取り入れたものである。即ちi番目のH／LにおけるSiはグループの境界と判断される可能性があると考えることができる。f(i)はここでは、境界と判断される確率ということができる。

図－１３に示すとおり、類似の形状と判断される確率の分布特性は５つのパターンに分類することができる。また、図－１３中のpattern4とpattern5では、判断の曖昧さが存在するため境界が重なっている。これを判断の曖昧さの解釈の②で考察すると、この範囲では、境界と判断されたことにミスである可能性があると考えることができる。このことを考慮し、５パターンそれぞれにおけるH／Lの分布領域を考えると表－２のようになる。



図－１３　類似した形状と判断される確率分布

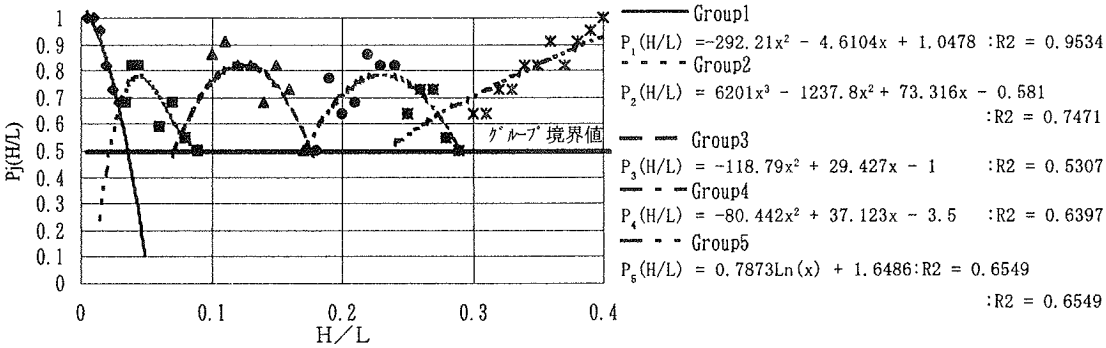
３－２－２　曲線形状の分類

図－１３の確率分布を表－２のH／Lの領域でそれぞれの分布特性を回帰的に近似すると図－４６の通りになる。図－１４の各〃の回帰式のR^2値を考慮すると、曲線形状の大きさは５つのグループに分類して良さそうである。即ち、回帰式は帰属度予測（グループに属する確率予測）関数と捉えることができる。

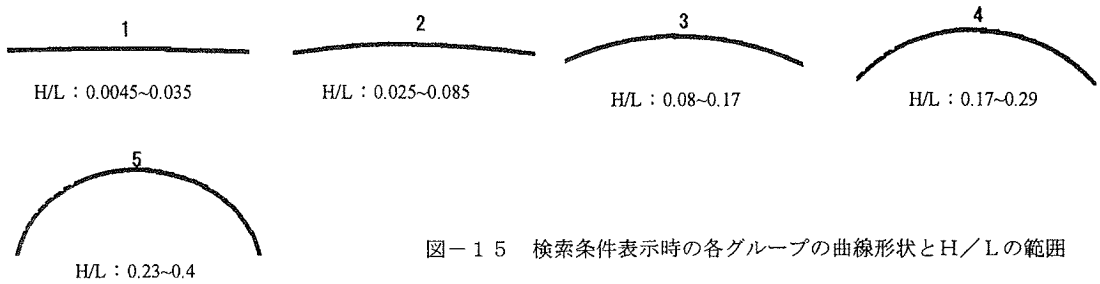
表－３　各分布特性のH／Lの範囲

	H/Lの範囲
pattern1	0.004~0.0245
pattern2	0.0245~0.09
pattern3	0.09~0.18
pattern4	0.18~0.31
pattern5	0.25~0.4

次に、各グループの領域を算出する。Pj(H/L)（ただし、j=1,2,・・・5)の値が0.5以上となるH／Lを求め、その領域をjグループの領域とする。図－１５に検索条件入力時に表示される曲線形状及び各グループのH／Lの範囲を示す。検索条件入力時に表示される曲線形状は、各グループにおける、帰属度が最も大きくなるようなH／Lを算出し、それをグループの曲線形状として表示する。



図－１４　Pj(H/L)の予測式



図－１５　検索条件表示時の各グループの曲線形状とH／Lの範囲

4　実行例

本システムの実行例を図－１７に示す。ステップ①は、形状検索の基本となるアウトラインの形状を選択する画面である。ここでは、曲線形状を選択している。②のステップでは、イメージする形状を選択することで検索条件の入力を行うことができる。図中の赤枠が条件として選択されている。③では、②の検索条件に一致した形状を持つ既存橋梁の一覧を掲示する。ステップ④では、③で一覧表示された画像を一つマウスで選択することにより、詳細情報を見ることが可能である。また、画像の拡大表示を行うことも可能である。⑤及び⑥は形状検索のフィードバックを説明するステップである。曲線形状の大きさの検索条件を上から３番目の一つのみとする（ステップ⑤）ことで、対象となる橋梁形状が絞り込まれる（ステップ⑥）。

5　結語

5-1 本システムの有効性

本システムは、従来のデータベースシステムと異なり、プランナーのイメージする橋梁の”かたち”を基にビジュアルな環境で既存事例の検索を行うことが出来る。また、検索条件の変更などのフィードバックも容易で、橋梁景観設計における造形作業を容易に支援することが出来る。

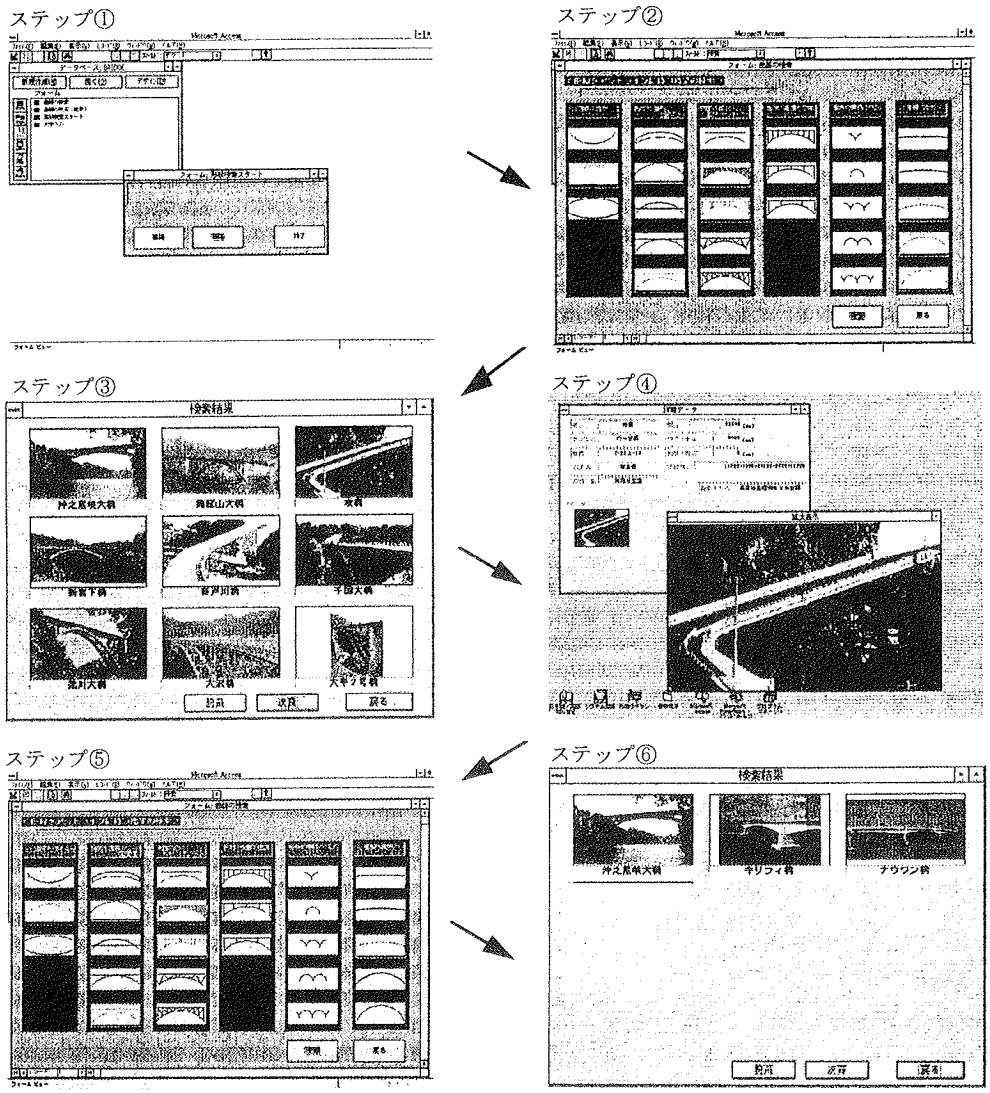
この様な検索手法により、プランナーの柔軟な発想を生かした景観設計の支援を行うことが出来る。

5-2 本システムの今後の課題

今後の課題としては、より多方面からの検討を支援するために、画像データを中心とした既存橋梁データの拡充が必要である。また、本研究では、曲線形状を持つ橋梁形状に対して有効な検索システムの構築を行ったが、

上記以外の形状に対しても検索可能にすることで、より一層有効なシステムとする。

そして、より柔軟にイメージを検索することを支援するために、「描画した橋梁形状から直接検索できる」検索手法の開発が必要である。本システムでは、橋梁の側面形状による分類に基づいた検索を行っている。今後、橋梁の見えかたによる検索システムの研究・開発を行うことで、同じ形状の橋梁でも視点により、イメージした形状と異なって見えたり、また逆に、違う形状の橋梁でも同じ形状に見えたりすることを考慮した景観設計の支援を行うことが可能となる。



図－１７　システムの実行例

<参考文献>

1）二宮弘行、三ツ木幸子、成田直矢、島田静雄，橋の映像データベースの二次元情報の作成，第１９回情報システム講演集，1994年，pp65-68

2）桑原清、井口光雄，ＰＥＷＳにおけるマルチメディアデータベース，第１９回情報システム講演集，1994年，pp73-76

3）S.Shimada, K.Kondo, H.sato & K.Oshida,Sensory retrieval to the bridge pictures database for landscape design,Proceedings of the sixth International Computing in Civil and Building Engineerig, 1995, pp867-872.

4）窪田陽一、政木英一、吉川正嗣，橋梁景観設計プロセスに関する一考察，構造工学論文集 Vol39A，1993年，pp573-582

5）政木英一、八木英夫、窪田陽一、伊藤学，非熟練技術者のための橋梁景観設計支援システムに関する一考察，土木情報システム論文集 Vol.3，1994年，pp87-94

6）小西一郎、鋼橋（設計編 II）、丸善