

視覚的に力の流れを認識する橋の形に関する研究

A STUDY ON THE VISUAL PERCEPTION OF FORCE FLOW ON BRIDGE FORMS

阿部哲子*, 石井信行**, 藤野陽三***, 阿久津正大****

Satoko ABE and Nobuyuki ISHII and Yozo FUJINO and Masahiro AKUTU

* 東京大学大学院 工学系研究科土木工学専攻 (〒113 東京都文京区本郷7丁目)

** 東京大学助手 工学系研究科土木工学専攻

*** Ph.D 東京大学教授 工学系研究科土木工学専攻

**** 玉川大学講師 工学部経営工学科 (〒194 東京都町田市玉川学園6丁目)

Concerning an esthetic of bridges there is a view that a form on which one can perceive flow of force is desirable. Based on this concept quantitative evaluation of visual perception of force was studied and application to bridge design was considered. It was assumed that eye movement had an important role in visual perception, and locus of eye-mark, recorded by an eye-camera, was chosen for analysis. First, a study was made on the theory proposed by Arunhaim, a German psychologist, if quantitative evaluation was applicable to visual perception of force in pillars, employing fractal value as an index. The result showed that the theory could be explained by the value. Next, application of the evaluation to bridge design was discussed. Profiles of arch bridges were analyzed with the same method to see difference according to their figure. In this case, any meaningful difference could not be found even though there were certain features on each locus of figures. Because of the qualitative, it is recommended that another index should be employed to quantitative valuation.

Key Words: Bridge, Arch rib, visual perception, force flow, eye-camera, Fractal

1. はじめに

橋梁美の一つのとらえ方に、力の流れが表現されているものを美しいとする考えがある。すなわち、美しいと感じられる橋梁においては、観察者がその構造または形態に対して直感的に何らかの「力の流れ」を認識しているとするものである。このような考え方は美学者・竹内が提唱した「技術美」に由来しているものであろう。竹内は、「『有用な』ものとして使用される工作物がそれ自身美しいものとして観照されるのは、所詮、その機能の直観的形態化を決定的契機として非美的価値が美的価値に転化されるからにほかならない。」¹⁾と述べている。このような美を彼は「技術美」とよび、その本質を「機能の力動的表現」であるとしている。

しかし、実際のところ、「力の流れ」を認識することのできる橋は意外に少ない。橋梁形式によっても差があるが、例えば一般の人にとって、下路アーチのアーチリブや吊り材が単なる飾りにしか見えなかったり、また、斜張橋のケーブルは桁を吊っているのではなく塔を支えているように見えてしまうというような誤解も生じている。「力の流れを表現する」ということがデザイン

の手法として提案されているにもかかわらず、「力の流れ」の意味、そしてそれを表現するために必要なデザイン原則についての基礎的な研究はほとんど行われていないのが現状である。

視覚的な力の認識には人の本能や視線の動き、過去の体験など様々な要因がからんでいると考えられる。例えば、人の「暑い」か「寒い」という感覚も温度だけで決まるものではなく、湿度や風の状態、個人の体質等の影響を受ける。しかし、この感覚には温度という定量的尺度があるため万人がほぼ共通の基盤で会話をすることができる。同様に、力の認識に関しても温度に相当するような定量的尺度となる指標が見いだせばその工学的意味は大きいと考えられる。そこで、視覚的な力の認識に関して定量的評価を与え、視覚心理を橋梁デザインへ応用させることを目的として研究を進めた。

本研究は、竹内の言う「技術美」の考え方にに基づき、橋の機能を視覚的にうったえる形とはどのようなものかを探るものである。従来の視覚心理を橋梁デザインへ応用させることを試みた研究では、美しいと感じられる橋梁のもつ特徴を単にゲシュタルトで言う図と地の関

係等から説明しようとしたものが多い。しかし、このようなアプローチでは本論が対象としているような「技術美」に関しては説明しきれないのではないかと考え、ここでは、視覚的な力の認識という反応の機構を解明することを試みた。また、この反応は、ある橋梁を美しいと感じる、あるいは感じないという判断に比べ、より人間の本能に近いものであり、何らかの普遍性を持った法則が存在している可能性は高いと考えた。

さらに、本研究では、後述するように「力の流れ」の認識に時間の概念を導入して考えている。従来の視覚心理の適用は瞬間視で認識される美しさを説明したものが多いのに対し、この点でも異なったアプローチをとっている。

2. 視覚心理の定量的評価

2.1 視覚的な力の認識に関する既往の研究

視覚的な力の認識に関する研究は、従来、芸術や建築の分野で行われてきた。

(1) 彫刻に対する力の認識

すぐれた彫刻作品は生命体のもつような力感を感じさせる。高山正喜久は立体に対する力の認識は「我々の心の中にある明確な形をした基本形と、眼前に見えている形とを直感的に比較し、その違いやどのような力の働きでそうなったのかを瞬間的に判断するため」²⁾におこるのではないかと述べている。

(2) 感情移入の原理

ドイツの心理学者・美学者であるテオドル・リップスは建築における力の認識の心理学的背景として「感情移入の原理」があると言っている³⁾。つまり、建築における柱を見た場合、人は自分を柱におきかえて考え、そのときに感じるであろう力を柱の中に見いだすのではないかと考えたのである。

(3) アルンハイムの理論

ルドルフ・アルンハイムは柱における力の認識に影響を与える要素として形の変化をとりあげた⁴⁾。アルンハイムは、もともとゲシュタルト心理学を専攻し、その視覚芸術への応用を追求した心理学者である。彼は、晩年その理論を建築に対しても適用し、「建築形態のダイナミクス」という本を著した。その中で、柱における力の認識について次のように説明している。

『柱は本質的に線的な物体であるから、そこに働く力のベクトルは主に垂直の両方向、つまり、上と下に働く。・・・(中略)・・・柱の高さに対する太さの割合が大きくなると垂直方向の直線性は弱められ、上下方向へのダイナミクスも弱くなる。・・・(中略)・・・古典的な柱は一番下のところが一番太くなっており、そこに重さの重心ができて一番上へ向けて先細りになって

いく。この形は大地との強いつながりをつくり、先のほうの、比較的自由的な部分に向けて上昇する推力を表す。柱身が上部で最も太く下へいくに従って細くなるという反対の例ではダイナミクスは下へ向きがちである。』以上を本論文では「アルンハイムの理論」と呼び、図1にその説明を図化したものを示す。

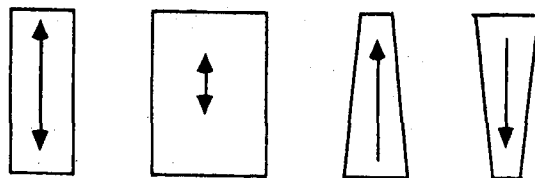
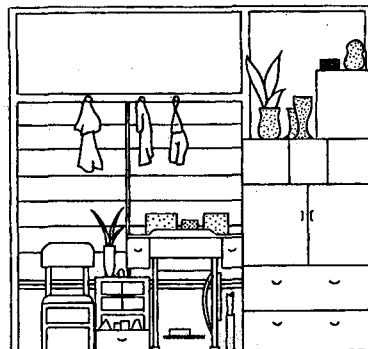


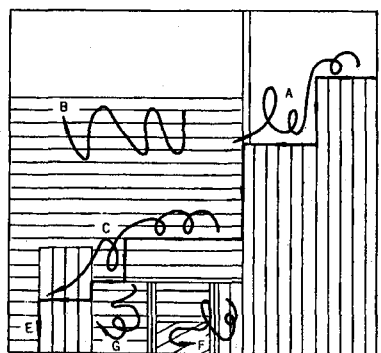
図1 アルンハイムの柱の理論
(→ は力を感じる方向を示す)

(4) サイコベクトル

橋梁に存在する心理的な力に関しては、サイコベクトルの概念が知られている。以下に橋梁におけるサイコベクトルに関する既往の研究結果についてまとめ、本研究で対象とする「力の流れ」の認識とサイコベクトルの概念との違い、および関連性について述べる。



(a)



(b)

図4 部屋のサイコベクトル⁴⁾

サイコベクトルとは心理学者小林重順によって提唱されたもので、事物の形態がもつ心理的な誘因力を示すものである⁴⁾。例えば、図2(a)に対するサイコベクトルは同図(b)のようになっている。

山本宏は橋梁の形成するサイコベクトルに関し、人々をホメオスタージス(心地よい)状態にする橋梁形態のもつ特徴をまとめている。また、杉山俊幸らは、橋梁景観を、そこに形成されるサイコベクトルによって定量化し、好まれる橋梁景観のもつ傾向を見出した⁵⁾⁶⁾。

図2からわかるようにサイコベクトルは事物の形態にのみに依存し構造的な力とは無関係に決まるものである。一方、本研究で対象とするのは、構造的な力に対する視覚的な認識であり、サイコベクトルとは異なる概念である。関連性としては、橋梁部のサイコベクトルの方向が構造的な力の伝達方向と一致している場合において、そのサイコベクトルが強く認識される形態を探ることが本研究の目的であると言えるであろう。

2.2 研究方法

上述した既往の研究は、感覚的な説明によっている。しかし、橋梁という工学的デザインへの応用を考える場合、力の認識に関する定量的な評価指標が必要であると考えられる。そこで、心理学者の理論に対し、定量的評価を与えることで評価指標の提案を行い、橋のデザインへ応用させることを試みた。

上述の既往の研究の中から、本研究では、「アルンハイムの理論」に着目することとした。彼の理論に着目した理由は、力の認識に影響を与える要素として形の変化を取り上げていることから橋梁デザインへの応用性が高いと判断したこと、また定量的に評価できる可能性が最も高いと考えられたことによる。

まずはじめに、彼の理論を定量的に評価するためには力の認識の違いに対応した何らかの計測可能な反応の違いを検出する必要があると考えた。ここで、視覚情報としてとらえた構造物に力を認識するという反応は、人間のもつ視覚特性と深く関わっていると考えられる。アルンハイムの理論では、力の認識の違いは柱の形の違い起因していると説明されており、このことは、人間の形態認識時における視覚特性に違いがあることを示唆している。そこで本研究では、人間の視覚特性の中で、眼球運動に着目することとした。眼球運動は後述するように人間が形態認識を行う際に必ずあらわれる生理的な反応である。力の認識の違いに対応して眼球運動の違いがあらわれれば、それは力の認識の背後に存在する生理的レベルの反応であり、定量的評価指標になりうると考えた。

2.3 眼球運動について

図3に示したのは眼球の断面図である。外界からの光線は角膜、前眼房、水晶体、ガラス体を通して網膜に達する。視力が最も鋭いのは網膜中心部の中心窩とよばれる領域(直径視角 5°)においてである。この領域で対象をとらえることを中心視とよび、周辺視野における周辺視と区別して考えられる⁷⁾。

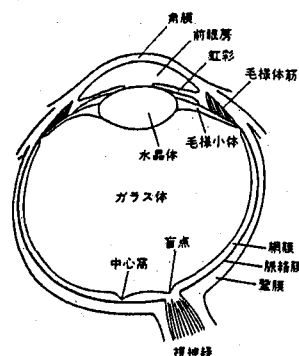


図3 眼球断面図⁷⁾

視野内に視角 5° をこえる図形が存在する場合には、眼球運動を行って中心視野の位置(注視点)を変化させることにより、その形態知覚を行う。図4は人の顔を知覚する場合の眼球運動軌跡を描いたものであるが、この図から分かるように、眼球運動には、眼が急速にある距離移動している時(一つの注視点から他の注視点への移動)と、ある時間停留している時(注視点における凝視停留)とがある。心理学者鳥居修晃は図4において眼のあたりに注視点が集中していることから考えて、「停留点の密度分布の違いこそ、ものの視覚認知やその仕方に深くかかわりあっている事象ではないか」⁸⁾と述べている。また、ヤープスは、注視軌跡パターンの個人差や同一被験者の日変動はあまりないことを実験結果として明らかにしている。

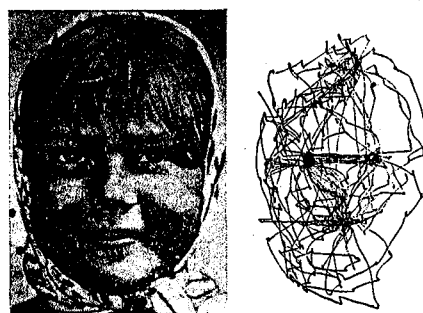


図4 顔写真に対する視線運動⁸⁾

2.4 眼球運動の測定

アルンハイムの理論と眼球運動との関係を求めるため、図4のAからFに示すような6種類の図形に対し、形態知覚時の眼球運動をアイマークレコーダーにより測定した。

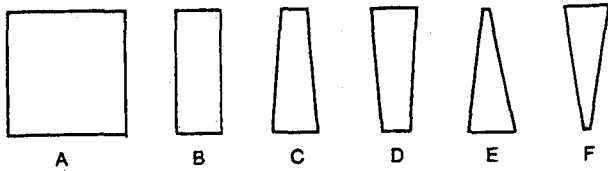


図5 実験対象とした図形

ここで、Bを柱の基本形とし、Aで太さの効果、C, D, E, Fでテーパ（形の変化）の効果を調べている。実験の諸条件は以下のように設定した。

- ・提示時間： 10秒
- ・視距離： 60cm
- ・提示順序： ランダム
- ・提示図形： A～Fの6種類
高さ15cm（視角 14.25° ）
- ・教示： 「提示される図形を自由に見てください」
- ・実験場所： 玉川大学工学部経営工学科阿久津研究室
- ・被験者： 同研究室内の学生3名

結果の一例を図6に示す。この図では、アイマーク軌跡の上に重ねて、注視点を中心にそこでの停留時間に比例した大きさの円を描いている。ここで注視点は0.1秒以上視線が停留した点として定義した。また、棒グラフは累積停留時間の縦方向分布を示している。複数の被験者に共通した特徴として、力の認識の方向性が強い柱の形の場合、注視点が形の両端部に集中し途中には少なくなるという傾向が得られた。

2.5 複雑な図形の定量的評価に関する既往の研究

測定されたアイマーク軌跡は、注視点分布の特徴の違いに対応してその複雑さに違いが表れている。力の認識の方向性が強い柱の形の場合、視線は上下に直線的に移動して左右方向へあまり動いてない。逆に、認識の方向性が弱い柱の形の場合には視線の左右方向への動きが

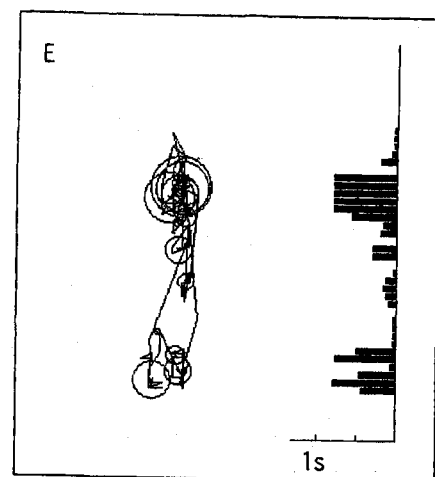
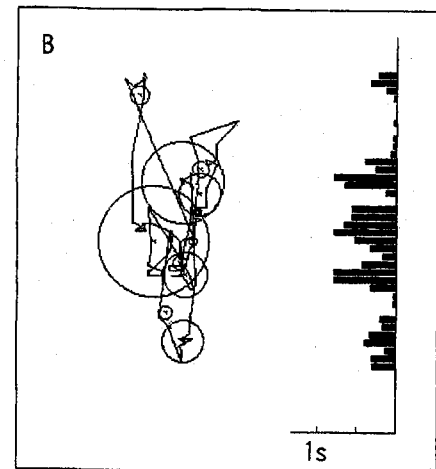
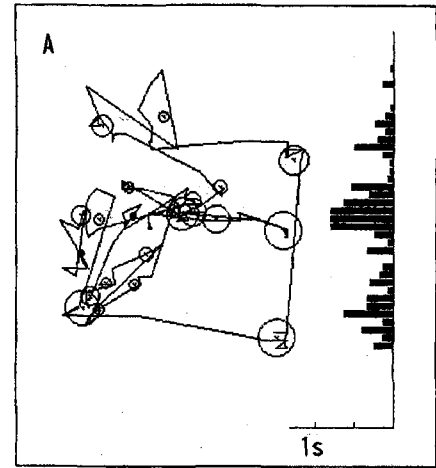


図6 アイマーク軌跡

大きい。ここで、上下方向の眼球運動を基準に考えと、横方向の動きは視線の迷いに相当すると考えられ、眼球運動軌跡の複雑さは視線の迷いの大きさに対応していると考えられる。

一方、片山恒雄等の研究に、災害時の非難行動における動線形状の複雑さをフラクタル次元によって定量的に評価したものがある¹¹⁾。ここで動線形状の複雑さとは非難行動における迷いの大きさと考えられる。つまり、被験者があまり迷うことなく直線的に出口まで到達すれば軌跡のフラクタル次元は低く、迷いが大きくなると軌跡のフラクタル次元は高くなっている。

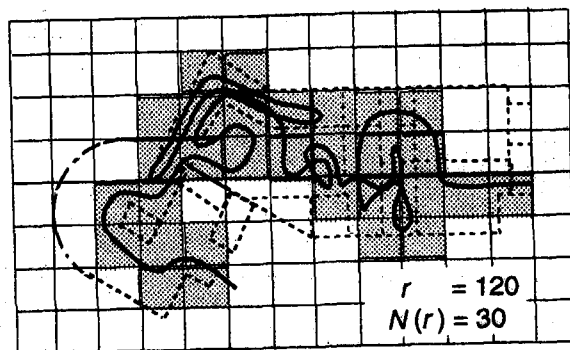
軌跡の複雑さがある種の迷いの大きさに相当しているという点において、片山らの研究における動線形状と本解析における眼球運動軌跡は同様の性質を持ったものであると考えた。そこで、眼球運動軌跡に関してフラクタル次元による定量化を試みることにした。

フラクタルとは、マンデルブロによって提案された概念であり、海岸線や山の起伏、川の形のように特徴的長さを持たない図形や構造現象などの総称（高安 1989¹⁰⁾）であり、フラクタル図形の性質をその複雑さによって定量化する指標がフラクタル次元である。

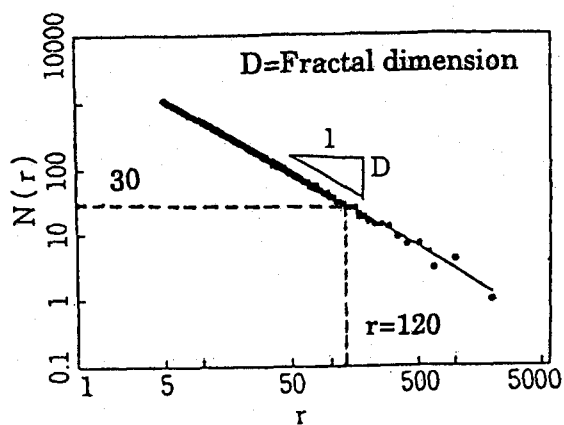
フラクタル次元の実用的な定義方法としては、1) 粗視化の度合を変える方法、2) 測度の関係より求める方法、3) 相関関数より求める方法、4) 分布関数より求める方法、5) スペクトルより求める方法などがあるが、これらのいずれの方法を用いた場合でも、次元の算定結果が不自然に異なる結果とはならないことが報告されている（高安 1989）。

2.6 軌跡のフラクタル次元による評価

ここでは、粗視化の度合を変える方法を用いてフラクタル次元を求めた。この方法ではフラクタル次元を求めたい図形に、図 7 (a) のように一辺の長さ r の正方形のメッシュを重ね、軌跡の一部でも含むような正方形の数 $N(r)$ を数える。 r の値を変化させた時の、 r と $N(r)$ の関係を 図 7 (b) のように両対数グラフ上に描くと、 $N(r) \propto r^{-D}$ をみたす D がフラクタル次元となる。本研究における解析では、測定されたアイマーク座標の x , y 方向の平均値 x_m, y_m を求め、 (x_m, y_m) を中心としてメッシュをきった。フラクタル次元を求めた結果を表 1 に示す。この結果から力の認識の方向性が強いほどその柱の形に対するアイマーク軌跡のフラクタル次元は低くなっている、つまり、視線が単純な軌跡を描いているということがわかる。このことから、アルンハイムの理論に関してはアイマーク軌跡のフラクタル次元によって定量的に評価できる可能性がある。



(a)



(b)

図 7 粗視化の度合を変える方法¹¹⁾

表 1 軌跡のフラクタル次元

	被験者 1	被験者 2	被験者 3	Ave.
A	1.30	1.54	1.54	1.47
B	1.23	1.44	1.32	1.33
C	1.11	1.27	1.09	1.16
D	1.21	1.30	1.11	1.21
E	1.00	0.96	1.04	1.00
F	1.00	1.04	1.15	1.06

3. 橋の形への応用

3.1 研究方法

先に述べたように、橋梁美の一つのとらえ方に「力の流れ」が表現されているものを美しいとする考えがある。しかし、こうした考え方において、実際のところ「力の流れ」という言葉の使われ方はあいまいであり、その意味が必ずしもはっきりとしていないのが現状である。力は構造物の中で流体のように現象として流れているわけではなく、「力の流れ」という表現はいわば抽象的なものである。そこで本節ではまず「力の流れ」を定義することから始める。

次に、アルンハイムの理論に関して行った定量的評価を橋における「力の流れ」の認識に応用させるため、まず、認識試験により「力の流れ」を認識しやすい橋の形とそうでないものとを抽出することとした。ここで、認識試験は「下路アーチのアーチリブ形状」に限定して行った。アルンハイムの理論の特徴は、部材形状の断面変化に着目している点にあり、それを応用させるのに適していると判断したためである。

また最後に、その抽出された形に対するアイマーク軌跡の測定を行うことで、両者の関係を考察することとした。

3.2 「力の流れ」の定義

「力の流れ」の定義を考えるにあたり、最も単純なモデルとして図8に示すような単純支持の梁を考える。なお、ここでは集中荷重を考えているが、分布荷重に関してはこのモデルの積分で表すことができると考える。この梁に1の荷重が作用すると、その荷重につりあうように2の反力が地盤から発生する。この荷重と反力という2種類の力は梁に対して外力として働き、梁内部では断面力（この場合はせん断力と曲げモーメント）が発生して、内外力のつり合いが保たれている。このように考えると、力はつり合い状態にあって「流れ」という概念は出てこない。

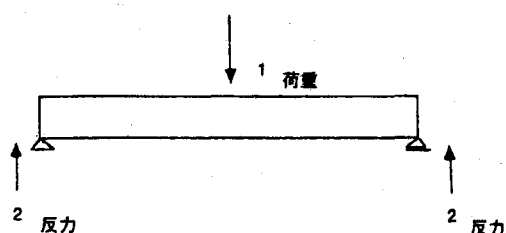


図8 梁の力学

そこで、「流れ」というものは時間の関数で表されることから、図9のように時間の概念を導入して考えた。(a)のようにまず $t=0$ で1のような荷重が作用したとする。この荷重は両端の支点へ向けて(b)のように伝達していく。図8の考察ではこの伝達にかかる時間を無視して考えていたが、ここでは荷重の伝達にかかる時間を Δt と考えることにする。つまり、反力は荷重作用に対して、 Δt の時間差をもって発生すると考えるわけである。このように考えることで流れの概念が生まれる。以上の考察から、ここでは「力の流れ」に対して「荷重が伝達する際の方向性をもった経路」という定義づけを行うこととした。

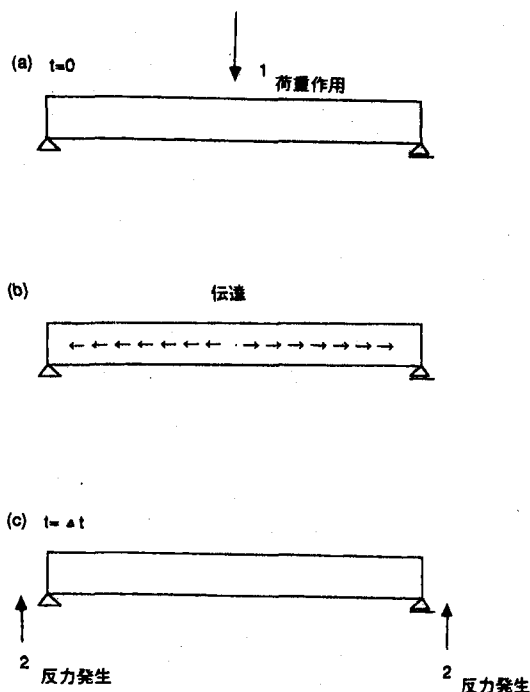


図9 梁における「力の流れ」の概念モデル

このように時間の概念を導入することで、従来の視覚心理学で説明される瞬間視における認識とは異なってくることが予想される。

3.3 認識試験

先の定義を教示した認識試験を実施し、下路アーチのアーチリブ形状に関して「力の流れ」を認識しやすいものとそうでないものとを抽出することとした。

ここで、アーチリブにおける「力の流れ」の認識に影響を与える大きな要素として、アーチの曲線の種類、ライズ比、テーパの割合を考えた。そこで、これらを表2のように変化させて組み合わせをつくり、被験者に一つの組み合わせの中で「力の流れ」を最も認識しやすい

ものと、最も認識しにくいものを選んでもらうこととした。ここで、ライズ比とはアーチのスパンに対する頂部での高さの割合、テーパーの割合とはアーチ中央部での太さを1とした場合の端部での太さを表している。アルンハイムの柱に関する理論から判断すると、人は先細りになる方に力を感じるようである。この考え方をアーチリブにそのまま適用すると中央部から両端部へ向けて断面を小さくすれば、アーチリブにおける「力の流れ」を視覚的に認識させることができると推定されたため、テーパーの割合は表のように変化させた。

表2 認識試験の組み合わせ

	曲線	ライズ比	テーパーの割合	種類
1-(1)	放物線、円、三心円	1/5	1/2	3
(2)	放物線、円、三心円	1/7	1/2	3
2-(1)	放物線	1/5, 1/6, 1/7, 1/8	1	4
(2)	放物線	1/5, 1/6, 1/7, 1/8	1/2	4
3-(1)	放物線	1/5	1.5/6, 2/3, 1/2, 1/3, 1/6	6
(2)	放物線	1/7	1.5/6, 2/3, 1/2, 1/3, 1/6	6

認識試験は、東京大学工学部土木工学科および都市工学科の2年生 約60名を対象とし、実施に先立ち、図7に示した「力の流れ」の概念モデルと下路アーチ橋の荷重伝達機構についての説明を行った。また、視覚試料としてはアーチリブとその下部に大地をイメージさせる陰をつけたものを用いた。

調査結果のうち、それぞれ曲線、ライズ比、テーパーの割合の違いによる認識の差異が比較できるような例を選んで示すと図10のようになる。

グラフから以下のことがよみとれる。

- ・曲線の性質としては円、放物線に比べて三心円は「力の流れ」を認識しにくい。
- ・ライズ比が小さいと「力の流れ」を認識しにくく、大きいと認識しやすいという傾向がある。ただし、ライズ比 1/5 では「力の流れ」を認識しやすい人数が多い反面、認識しにくい人数も多い。
- ・テーパーに関しては、「力の流れ」を認識しやすいものとして 1/2 のものと等断面のものを選ぶ割合が高い。しかし、等断面のものは「力の流れ」を認識しやすい人数が多い反面、認識しにくい人数も多い。また、「力の流れ」を認識しにくいものとしては、テーパー 1/6 のものが選ばれる割合が最も高い。

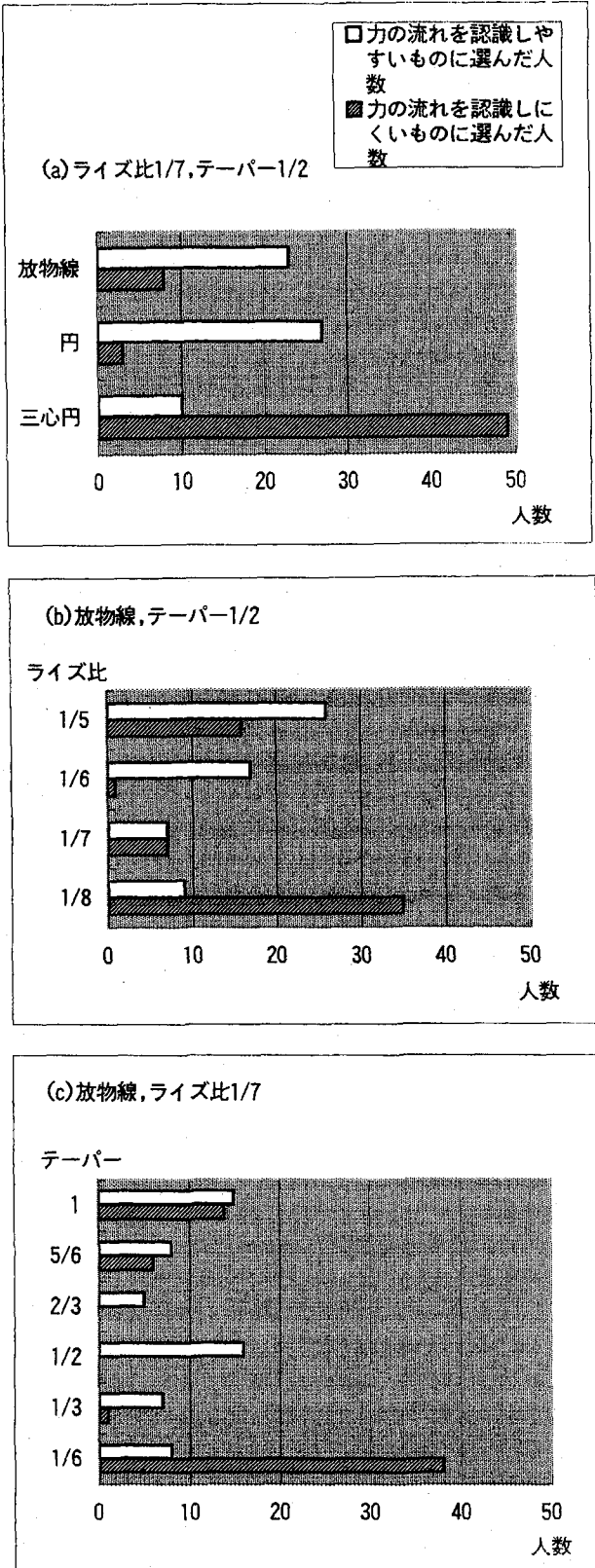


図10 認識試験結果

一つのアーチリブ形状に対し、「力の流れ」を認識しやすいという人と、しにくいという人の両方が存在している。よって、どちらか一方の人数の多少だけでは「力の流れ」の認識のしやすさ、しにくさは評価できない。そこで、ここでは次のような指標（認識者数）を設定し、この値によって「力の流れ」の認識しやすさを判断することとした。

$$\begin{aligned} \text{(認識者数)} &= \text{(認識しやすいと答えた人数)} \\ &\quad - \text{(認識しにくいと答えた人数)} \end{aligned}$$

ライズ比、テーパーによって（認識者数）が変化する様子を図 11 に示す。この図から、ライズ比はある程度高い方が「力の流れ」を認識しやすいということ、また、1/2 程度のテーパーが有効であることがわかる。

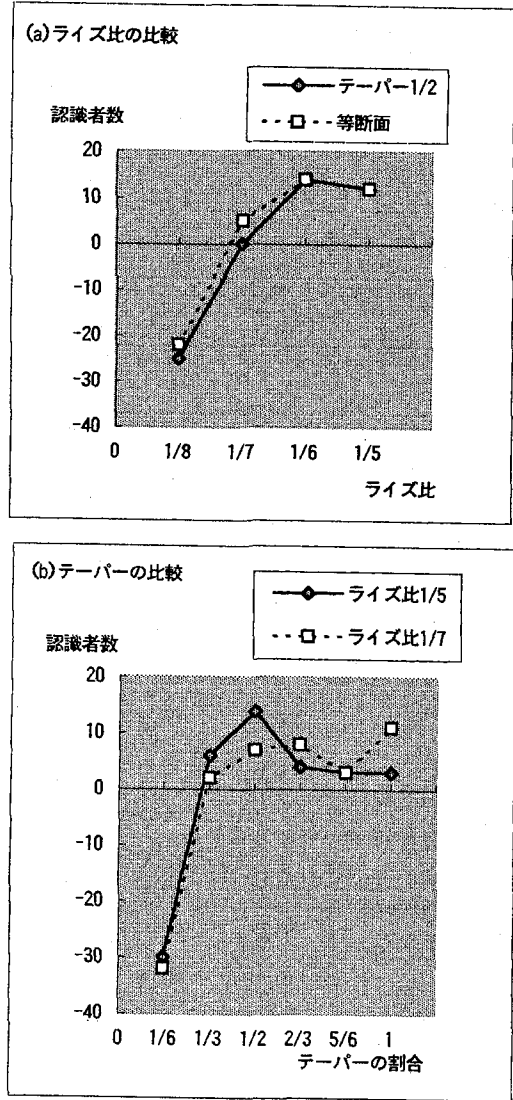


図 11 認識試験結果

3.3 眼球運動測定によるアーチリブ形状の評価

次に、認識試験で使用したアーチリブ形状のうち、表 3 に示すような 9 種類に対してアイマーク軌跡の測定を行った。A,B,C で曲線の比較、A,D,E,F でライズ比の比較、A,G,H,I でテーパーの比較をそれぞれ行っている。

実験の諸条件は前回と同様に設定した。結果の数例を図 12 に示す。解析方法も前回と同様である。また、表 4 には各アーチリブに対するフラクタル次元の値を示した。

表 3 眼球運動測定に用いたアーチリブ形状

	曲線	ライズ比	テーパーの割合
A	放物線	1/7	1/2
B	円	1/7	1/2
C	三心円	1/7	1/2
D	放物線	1/5	1/2
E	放物線	1/6	1/2
F	放物線	1/8	1/2
G	放物線	1/7	1/6
H	放物線	1/7	1
I	放物線	1/7	2

3.4 認識試験結果とフラクタル次元の比較

次に認識試験結果とフラクタル次元による評価の比較を行った。表 5 は両者による評価順位を対比させて示したものである。表から分かるように、ここでは両者による評価順位は必ずしも一致していない。つまり、橋における「力の流れ」の認識に関するこの実験ではフラクタル次元による定量的評価は適用できなかったことになる。

しかし、注視点分布の特徴は認識試験で「力の流れ」を認識しやすいという傾向が出たものとそうでないものとは明らかに異なる。円、放物線は、注視点がアーチ頂部と両端部に集中する傾向があるのに対し、三心円では、アーチ頂部と両端部に加え、曲率の変化点にも視線が停留するため注視点全体に分散するような傾向となっている。また、放物線でも、ライズ比の低いものや等断面のものはアーチ頂部や両端部が明確な注視点にはならず、全体に分散する特徴がある。これらの特徴を何らかの指標で定量化できれば、橋における「力の流れ」の認識に関しても定量的評価は可能であると考えられる。

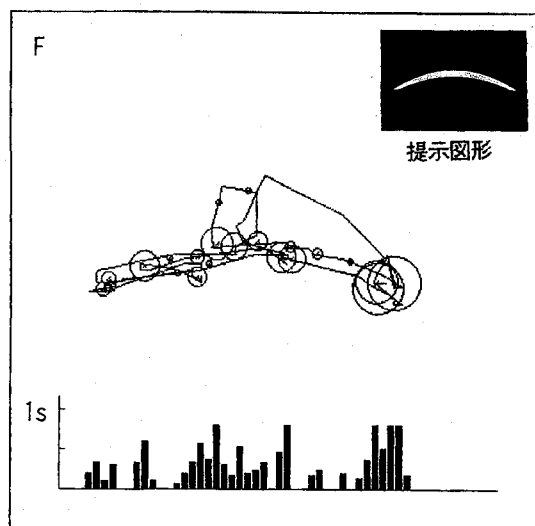
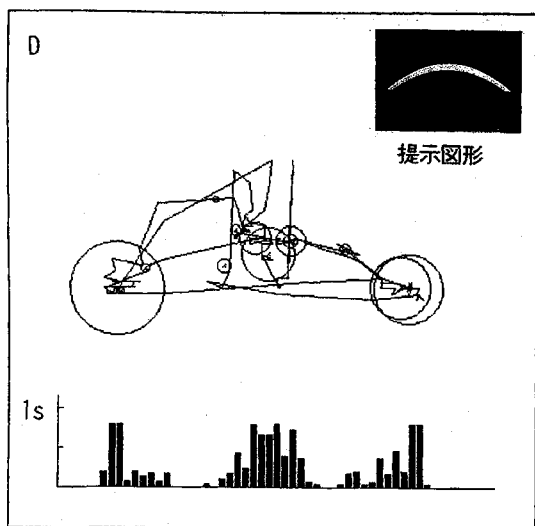
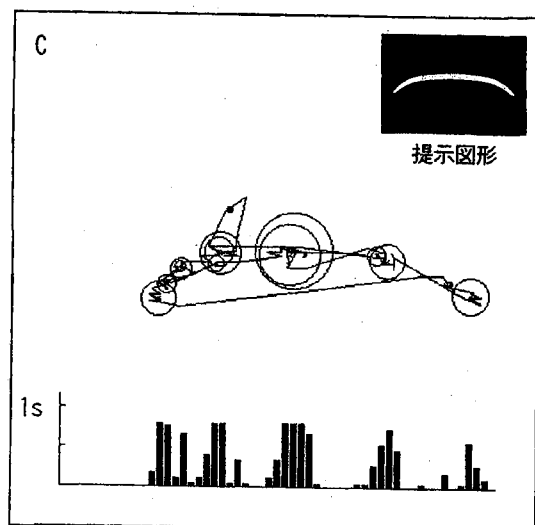


表4 軌跡のフラクタル次元

	被験者1	被験者2	被験者3	Ave.
A	1.39	1.29	1.33	1.37
B	1.38	1.18	1.24	1.27
C	1.29	1.22	1.33	1.28
D	1.23	1.36	1.26	1.28
E	1.14	1.23	1.36	1.24
F	1.29	1.21	1.42	1.31
G	1.23	1.08	1.24	1.18
H	1.46	1.16	1.40	1.34
I	1.14	1.19	1.33	1.22

表5 認識試験結果とフラクタル次元

	認識者数	フラクタル次元	認識試験の順位	フラクタルの順位
曲線の比較				
A. 放物線	17	1.35	1	3
B. 円	18	1.27	2	1
C. 三心円	-35	1.28	3	2
ライズ比の比較				
D. 1/5	11	1.28	2	2
E. 1/6	15	1.24	1	1
G. 1/7	0	1.37	3	4
F. 1/8	-25	1.31	4	3
テーパの比較				
G. 1/6	-30	1.18	3	1
H. 1/2	14	1.37	1	3
I. 1	3	1.34	2	2

図12 アイマーク軌跡

ここで、アーチリブにおける「力の流れ」の認識に関する定量的評価にフラクタル次元が適用できなかった原因の一つとして、アイマークレコーダーの検出精度の問題が考えられる。アルンハイムの柱の形に関する実験では5cmの幅をベースにテーパをつけた図形を用いたが、アーチリブは最も太いところで1.5cmであった。アイマークレコーダーの検出精度は視角にして約2°であり、視距離60cmの場合、画面上の2cmに相当する。つまり、この実験ではアーチリブの軸直角方向の動きの検出に関してはあまり信頼できないということである。水平方向の注視点分布には上記のような明確な違いがあるにもかかわらず、フラクタル次元に差が現れなかったのはこのためではないとも考えられる。よって、アイマークレコーダーの精度を向上させる、もしくは図を大きくする等の実験方法の改良を行うことによってフラクタル次元による定量的評価の可能性も残されている。

5. あとがき

アーチリブ形状に対する認識試験と眼球運動測定から「力の流れ」を認識する橋の形とそうでないものとは、人間は生理的レベルで異なった特徴を持つ反応をしていることがわかった。形態認識時の眼球運動が構造物における力の認識機構に深く関連していると言える。

本論文では眼球運動測定の結果の解析においてその軌跡の特徴に関しての定量化を試みている。しかし、眼球運動測定の結果には軌跡だけでなく、注視点や停留時間の分布という情報も含まれており、これらの特徴を定量的に評価していくという方向も考えられる。今後の課題としたい。

また、認識試験を行った際の被験者の感想に、「力の流れ」の概念というものが非常に理解しにくいという意見が多かった。今回の試験では、純粋にアーチリブ形状の違いによる効果を調べるために、あえて橋桁や吊り材、支柱等の要素を除いたが、このような認識試験における視覚試料の作成方法についても今後検討したい。さらに、被験者の感想には「力の流れ」を認識することと、「力強さ」、「力動感」を混同している例も幾つか見られた。このことから、一般の人は橋梁に対して「力の流れ」を認識するという概念をあまり持っていないのではないとも考えられる。一般の人は橋を美しいと感じる理由として「力の流れ」が表現されているからというようにはまず考えないのではないだろうか。つまり、技術者から見て「力の流れ」が表現された構造形態というのは、一般の人に対しては認識という過程を経ずに直接「美の感性」を刺激すると考えられる。したがって、一般の人々に対しては技術者やデザイナーとは分けて、「力の流れ」という概念を持ち込まずに橋梁美を議論する必要がある

あると考えられる。

本研究では、視覚的な力の認識機構を、形態認識時の眼球運動との関係において明らかにすることを試みた。しかし、視覚的な力の認識には、眼球運動だけでなく、感情移入の効果や経験的なもの等、様々な要因がからんでいると考えられる。視覚的な力の認識機構を明らかにするためには、様々な要因の効果を総合的に考慮していく必要があると考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたり、篠原修教授、斉藤潮助教授から貴重なアドバイスを度々いただいた。また、東洋大学の尾崎晴男講師には眼球運動の測定器具を貸していただいた。以上の先生方に心から感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 竹内敏雄：「塔と橋」弘文堂 1971
- 2) 高山正喜久：「立体構成の基礎」美術出版社 1982
- 3) R・アルンハイム：「建築形態のダイナミクス（上・下）」乾正雄訳 鹿島出版会 1980
- 4) 山本宏：「橋梁美学」森北出版 1980
- 5) 杉山俊幸、深沢泰晴、辻和政、高橋良武：「サイコベクトルを用いた橋梁景観の定量的評価」構造工学論文集 Vol.35A 1983, 3
- 6) 杉山俊幸、深沢泰晴、清水克彦、中村哲也、寺西功：「荷重目的決定分析法を用いたサイコベクトルによる橋梁景観の定量的評価」構造工学論文集 Vol.37A 1991, 3
- 7) 大山正、今井省吾、和気典二：「視覚・知覚心理学ハンドブック」誠信書房
- 8) 大山正：「講座 心理学4・知覚」東大出版会 1970
- 9) 鳥居修晃：「視覚の心理学」サイエンス社 1982,5
- 10) 高安秀樹：「フラクタル」朝倉書房 1986
- 11) 片山恒雄、山崎文雄、目黒公郎、永田茂、大槻明、横山秀史：「地震火災時の人間の非難行動に関する実験およびシミュレーション研究」（1993年度科学研究費補助金 一般研究（B））
- 12) 阿部哲子、石井信行、藤野陽三：「土木学会年次学術講演会概要集 1995」