

## 視覚心理実験による橋梁の認知プロトタイプ存在の検討

A study on cognitive prototypes of bridges proposed for the cognitive model employing optical psychological experiments

石井信行\*, 白倉 誠\*\*, 鈴木美穂 \*\*\*, 行場次朗 \*\*\*\*

Nobuyuki Ishii, Makoto Usukura, Miho Suzuki, Jiro Gyoba

\*工博, 山梨大学講師, 大学院医学工学総合研究部工学領域社会システム工学系 (〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11)

\*\*学士, 山梨大学修士課程, 大学院医学工学総合研究部工学領域社会システム工学系  
(〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11)

\*\*\* 修士, 東北大学博士課程, 大学院文学研究科心理学講座 (〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内)

\*\*\*\* 理博, 東北大学教授, 大学院文学研究科心理学講座 (〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内)

One of the authors proposed “a Cognitive Model of a Sense of Dynamism of a Structure’s Form.” The model based on the cognitive science should be used to explain how one sees stress and movement on a form of a structure, especially a bridge. This study is to prove existence of prototypes which were hypothesized for the model and which were supposed to work as references during a process of recognizing an object. The authors carried out psychological experiments, whose aim was to see cognitive scientific differences between ordinary people and bridge engineers in a case of perceiving drawings of bridges. The authors confirmed several differences and concluded that the prototypes existed.

*Key Words: Structural Design, Cognitive Science, Prototype, Psychological Experiment*

キーワード: 構造デザイン, 認知科学, プロトタイプ, 心理学的実験

### 1. はじめに

20 世紀の近代橋梁における美は、機能美や構造的合理性が規範となっていた。その時代の橋梁造形に対しては、結果として現れた形態に、力の流れや支持の様子が観て取れるかということが評価された。しかし、20 世紀後半になると、橋に要求される機能の多様化や架設条件の複雑化と、それらに応える計算技術や材料の発達により、形態からは直観で構造システムが理解し難いものが現れるようになり、橋梁はデザインという面では停滞期となった。そのような中、1987 年にスペインのバルセロナで完成したバック・デ・ローダ=フェリペⅡ世橋は、設計者であるサンチャゴ・カラトラバの造形表現が構造システムにまで及んだものとして、それ以降の橋梁デザインに大きな影響を与えることになった。ダイナミクス（動きの感覚）を重視してデザインしていると言う<sup>1)</sup>、カラトラバの作品は、その橋梁システムの有する力のやり取りが誰の目にも見える形態をしている。

著者の一人はカラトラバの橋梁に触発された研究を継続的に行ってきた<sup>2, 3, 4, 5)</sup>。これまでに、人が物の形態から力や動きを感じ取る認知過程を視覚的力学と定義し、特に構造物に関して、認知科学の知見に基づきその過程をモデル化した「構造物力動性認知モデル」を提案している<sup>5)</sup>。このモデルは、観察者が橋梁のような構造物に力

や動きを感じることを、観察者が観察時点で有している構造物に関する物としての意味（「橋である」、「物を渡す」というようなこと。）、構造物を成立させているシステムの理解、および人間が本来的に有している上下左右、重力というような感覚との組み合わせで説明しようと試みたもので、人が対象を認知する過程において、各個人が脳に抽象化された状態で保持している事物に対する認識（プロトタイプ）と対象物を照合するという、認知科学におけるモデルに基づいている<sup>6)</sup>。具体的には、観察者が観察時点で有している、「人や車を対岸に渡すために渡された構造物は橋である」というような、構造物に関する物としての意味の認識である物プロトタイプと、「対岸に渡された太いケーブルで人や車が通る道路面を支えている」というような、構造物を成立させているシステムの理解であるシステムプロトタイプ、および「対岸に渡された太いケーブルで人や車が通る道路面を支えている構造物は吊橋である」というような、両者を合わせた物システムプロトタイプが構造物について存在することを仮定している。

従来の SD 法を用いた単純形態に関する力動性のイメージ分析<sup>7)</sup>や橋梁形態の評価<sup>8)</sup>の研究においては視覚情報と印象との関係を示すにとどまったが、「構造物力動性認知モデル」を用いることにより、構造物が示す力や動きを論理的に説明することはできた<sup>7)</sup>。しかしながら、先行研究においては、仮定したプロトタイプの存在を確認するに至

っていない。そこで次の段階として、人の顔や言語に関するプロトタイプ抽出を行った認知科学の分野の既存研究<sup>89)</sup>を参考にして、心理学的方法によりそれらの存在を客観的に示すことにした。

## 2. 目的

認知科学の知見に基づき、「構造物力動性認知モデル」の前提となる構造物に関する、プロトタイプ（物プロトタイプ、システムプロトタイプ、物システムプロトタイプ）が存在することを客観的に示す方法論を提案し、その方法論に従ってプロトタイプの存在を検証する。

## 3. 方法論

### 3.1 仮説

本論文では、次のような論理でプロトタイプの存在を客観的に示すことが可能と考えた。

- ①構造物に関するプロトタイプが存在する。
- ②プロトタイプが有する情報量が多いほど、視対象との照合に時間を要する。
- ③低次の（情報量が少ない）プロトタイプを持つ観察者は照合する情報要素がもともと少ないので視対象の有する情報量が増加しても照合する情報要素はあまり増加しないので認知に要する時間の変化が小さく、一方、高次の（情報量が多い）プロトタイプを持つ観察者は視対象の有する情報量が多くなるほど照合する情報要素が多くなるので認知に要する時間が長くなる。
- ④したがって、低次のプロトタイプを持つと思われる観察者のグループと、高次のプロトタイプを持つと思われる観察者のグループについて、視対象の有する情報量と認知に要する時間の変化を比較し、情報量が多いほど両者の差が大きくなれば、プロトタイプが存在すると結論付けれる。

本仮説では、ある特定の構造物に関してプロトタイプを持たない観察者を考慮していないが、その様な場合については具体的な研究方法を構築する段階で論理に破綻が起きないように配慮する。

### 3.2 方法

本論文では、視覚心理学的実験により観察者が視対象を認知するに要する時間を測定すると共に、認知の結果を記録する。

具体的には、仮説に基づいて構造要素の組み合わせや形態を操作した橋梁図形を視覚試料として被験者に提示し、被験者は提示された図形が予め与えられた橋梁形式の何れに属するものであるかを判断し、定められた方法で実験者に回答する。

## 4. 対象

### 4.1 プロトタイプ

橋梁のプロトタイプ（物プロトタイプ、システムプロト

タイプ、物システムプロトタイプ）とする。本来であればこれら3者を区別することができる実験方法を実施することが望ましいと考えられる。しかしながら、認知科学の分野のプロトタイプに関する既存研究で扱われる顔の図形や語という対象に比較して、橋梁の外観が有する情報は質の複雑さが高く、量が多いので、現段階でこれらを区別すると実験が複雑になりすぎることから、本論文ではこれら3者を一括して扱う。

### 4.2 橋梁形式

吊橋と斜張橋とする。両者の構造システムは異なるものの、補剛桁、塔、ケーブル群という構造要素と配置が似ているので、プロトタイプの有無が認知に要する時間と判定に対して大きく影響を与えられられるためである。

### 4.3 観察者

低次のプロトタイプを持つと思われる観察者として、橋梁の計画、設計、架設に関わらない一般の人、高次のプロトタイプを持つと思われる観察者のグループとして、橋梁の計画、設計、架設に関わっている橋梁技術者とする。

## 5. 視覚心理学的実験

### 5.1 橋梁形式認知に関する仮説

提示した仮説を検証することは、本実験において次に挙げる橋梁形式認知に関する仮説が立証されることであると考えた。

(1) 観察者が極めて低次のプロトタイプしか持たない場合（プロトタイプを持たない場合を含む）には、単純な図像記憶である、輪郭を構成する要素、それらの要素が持つ図形的特徴、または視知覚されやすい条件を持った要素のみを照合して判断するので、その他の要素の違いによる回答と回答時間の変化に対する影響は高次のプロトタイプを持つ場合よりも小さい。

(2) 観察者がある橋梁図形を斜張橋であるか吊橋であるか判断する際に、低次のプロトタイプを持つ場合は、階層的構造記述表現<sup>10)</sup>において最上位の階層である、輪郭を構成する要素をプロトタイプと照合して判断するので、その他の要素の違いによる回答と回答時間の変化に対する影響は高次のプロトタイプを持つ場合よりも小さい。

(3) 観察者が高次のプロトタイプを持つ場合は、階層的構造記述表現において最上位の階層以外の形態要素も含めてプロトタイプと照合し判断しようとするので、操作する要素が最上位の階層から下がるに従って回答と回答時間の変化に対する影響は大きくなる。

### 5.2 被験者

#### (1) 内訳

①一般の人 20名

社会人2名、学生（大学生、短大生、専門学校生）17名、中学生1名

男性7名、女性13名

## ②橋梁技術者 20名

設計コンサルタント A 社 8 名, 設計コンサルタント B 社 5 名, 建設会社 7 名

男性 19 名, 女性 1 名

## (2) 被験者数の設定

心理学分野（プロトタイプ抽出心理実験）で、定量的に結果を述べる最低限の人数であるとされている 20 人を採用した。

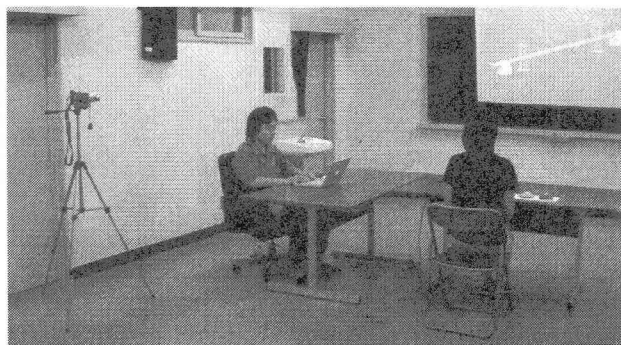


写真-1 実験風景

## (3) 被験者の選定条件

①視覚実験であるため、裸眼または眼鏡・コンタクトレンズ装着で視力 0.8 以上。

②一般の人については、低次のプロトタイプを持っているらしいことが条件であるので、実験前に橋梁と専門的な関わりがないことを簡単なインタビューで確認した。

## (4) 性別

性別に関しては予備的に行った実験において特別な差が表れなかったため、今回は考慮しないこととした。

## 5.3 実験装置と配置

①デジタルプロジェクターを使用して、スクリーンに実験試料を映写した。

②被験者はスクリーンに映写した画面の幅が視角 60 度になる位置に、画面中心に対する視線が仰角約 10 度になるように、スクリーンに正対して着座して貰った。（実験を行った部屋の状況により、被験者とスクリーンの距離は 3 ～ 5 メートルの間で調整した。）

③被験者の前に机を設置し、その上に青、黄、赤のプッシュライト（上部を手で押すと点灯する。）をこの順序で左から配置した。

④デジタルビデオカメラレコーダー（ソニー製 DCR-TRV70K 以後 DV カメラと表記する。）を被験者の視野に入らない後方で、3 個のプッシュライトとスクリーン（または実験者のコンピュータ画面）が同時に撮影できる位置に配置した。

## 5.4 実験の流れ

①視力および橋梁との専門的関わりに関するインタビュー

②教示と手順の説明

③練習実験と質問受付

## ④本実験

## ⑤本実験の内容に関する質問

## 5.5 実験の手順

①被験者に基本図形 A（斜張橋）、B（吊橋）を 1 秒間ずつ提示する。

②試料図形を提示し、その提示された図形が、A の橋に属するか B の橋に属するか、またはどちらでもないかを判断した時点で、それぞれに対応する色のプッシュライトを押してもらう。

③ ①-②の操作を 32 の試料図形について連続して行う。実験の手順を決定するに当たっては、次の 4 点を考慮した。

(1) 試料図形を被験者が有するプロトタイプと照合させるために、基本図形と試料図形を同時に提示しない。

(2) 記憶力の差によって反応がゆがむことは避ける必要があるので、橋梁技術者と比較して橋梁に対する経験が少ない一般の被験者が基本図形を忘れたまま判断することがないように、基本図形を毎回提示する統制を行う。

(3) 基本図形を反復して提示することにより、図像記憶に含まれる情報が増大していくことが考えられるので、1 回の提示時間を 1 秒とした。

(4) 判断には、試料図形が A、B のいずれかに属する、いずれにも属さない、分からないという 4 通りが考えられるが、4 件法で反応時間を測定すると条件間の差が小さくなる可能性があるため、いずれにも属しないとわからないのは 1 つのカテゴリーとして、3 件法を採用する。

## 5.6 教示と手順の説明

「これから始まる実験について説明します。まず、はじめに 2 つの形式を代表する図形 A、B をそれぞれ 1 秒間ずつ提示します。次に図形を 1 つ提示します。その橋が A とおおむね同じ形式だと思える場合には青色、B とおおむね同じと思える場合には赤色、どちらでもないと思う、また、分からない場合には黄色を分かった時点ですぐに押してください。以上のことがひとつのセットとなつてすべてで 30 数セットあります。」

この他に、プッシュライトの使用方法について説明したが、ここでは省略する。

## 5.7 図形の作成

CAD ソフト（Auto CAD 2002）で 3 次元図形を作成し、陰線処理を行った後にグラフィックソフト（Adobe Photoshop 7.0）に取り込み画像操作を行い、完成した画像をプレゼンテーションソフト（Power Point 2001）に貼り付けた。

## 5.8 基本図形

仮説に基づき、輪郭を構成するケーブルに着目した分析

表-1 試料図形一覧

| 輪郭を構成するケーブル | プロポーション | 主径間     |         | 側径間     |         | アンカーブロック | ぼかし度 | 試料番号<br>(提示順番) |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|------|----------------|
|             |         | ハンガーロープ | ステイケーブル | ハンガーロープ | ステイケーブル |          |      |                |
| 曲           | 吊       | 直       | 無       | 直       | 無       | 有        | 0    | 5              |
|             |         |         |         |         |         |          | 1    | 14             |
|             |         |         |         |         |         |          | 2    | 27             |
|             |         |         |         |         |         | 無        | 0    | 9              |
|             |         |         |         |         |         |          | 1    | 25             |
|             |         |         |         |         |         |          | 2    | 16             |
|             |         | 斜       | 無       | 斜       | 無       | 有        | 0    | 1              |
|             |         |         |         |         |         | 無        | 0    | 23             |
|             |         |         |         |         |         | 有        | 0    | 20             |
|             |         | 無       | 無       | 無       | 無       | 無        | 0    | 15             |
|             |         |         |         |         |         | 有        | 0    | 29             |
|             |         |         |         |         |         | 無        | 0    | 12             |
|             | 斜       | 直       | 有       | 直       | 無       | 有        | 0    | 6              |
|             |         |         | 無       | 無       | 有       | 無        | 0    | 31             |
|             |         |         | 逆       | 直       | 逆       | 有        | 0    | 17             |
|             |         |         |         |         |         | 無        | 0    | 2              |
|             |         | 無       | 曲       | 無       | 曲       | 有        | 0    | 24             |
|             |         |         |         |         |         | 無        | 0    | 11             |
| 直           | 斜       | 直       | 無       | 直       | 無       | 有        | 0    | 26             |
|             |         |         |         |         |         |          | 1    | 18             |
|             |         |         |         |         |         |          | 2    | 4              |
|             |         |         |         |         |         | 無        | 0    | 32             |
|             |         |         |         |         |         |          | 1    | 28             |
|             |         |         |         |         |         |          | 2    | 8              |
|             |         | 斜       | 無       | 斜       | 無       | 有        | 0    | 21             |
|             |         |         |         |         |         | 無        | 0    | 7              |
|             |         | 無       | 有       | 無       | 有       | 有        | 0    | 19             |
|             |         |         |         |         |         |          | 1    | 30             |
|             |         |         |         |         |         |          | 2    | 10             |
|             |         |         |         |         |         | 無        | 0    | 13             |
|             |         |         |         |         |         |          | 1    | 3              |
|             |         |         |         |         |         |          | 2    | 22             |

を行うため、他の要素の形態が似たものを選定することとし、門型塔（H型塔）でトラス補剛桁を共に有する横浜ベイブリッジを基本図形 A（斜張橋）、関門橋を基本図形 B（吊橋）とした。但し、練習実験では別の実橋を用いた。

## 5.9 試料図形

試料図形は次の3種に分類されるものを作成した。図形の数、1 図形に対する操作時間を 15 秒と見積もり、1 被験者に対する実験が 15 分以内に収まるように最大でも 50 とすることを条件にバリエーションを考えた結果、次頁表-1 のように、32 図形となった。なお、被験者に図形要素の変更操作のパターンを推察されないように、提示順（試料番号が提示順）を決定した。

### (1) 実在する斜張橋と吊橋

基本図形と同じ横浜ベイブリッジと関門橋

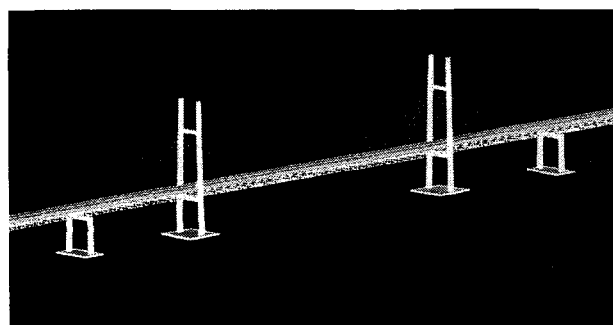


図-1 試料図形-13 基本図形 A 横浜ベイブリッジ

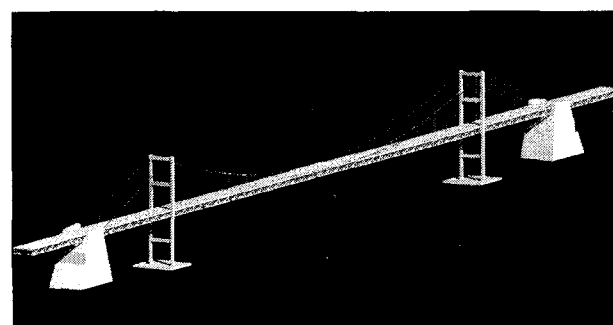


図-2 試料図形-5 基本図形 B 関門橋

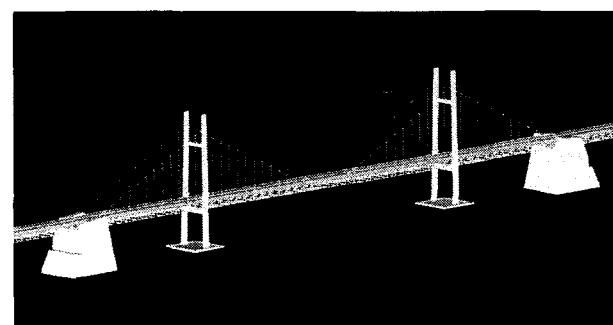


図-3 試料図形-26

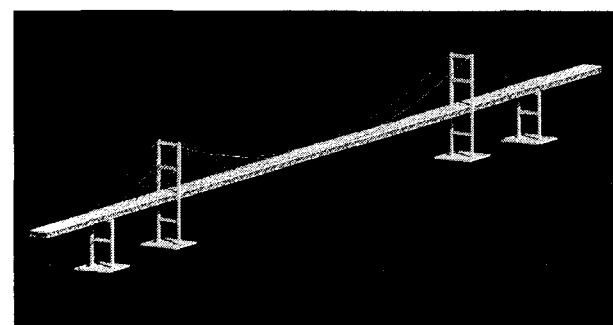


図-4 試料図形-31

(2) (1) の斜張橋と吊橋の形状をベースに構造的に変化を加えたもの

試料図形の作成に当たっては、次に示す斜張橋と吊橋の橋梁の形態（構造）要素およびプロポーションに着目して、付加、削除という加工をした。

①輪郭を構成するケーブル：直＝斜張橋要素，曲＝吊橋要素

②ハンガーロープ：吊橋要素：輪郭を構成しない直線ケーブルでメインケーブルまたはケーブルと補剛桁に定着しているもの。鉛直に配置した「直」と、トラス状

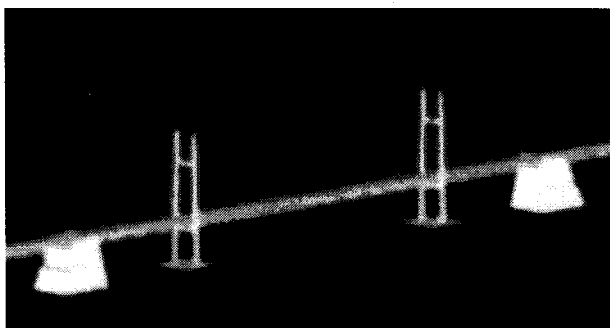


図-5 試料図形-18

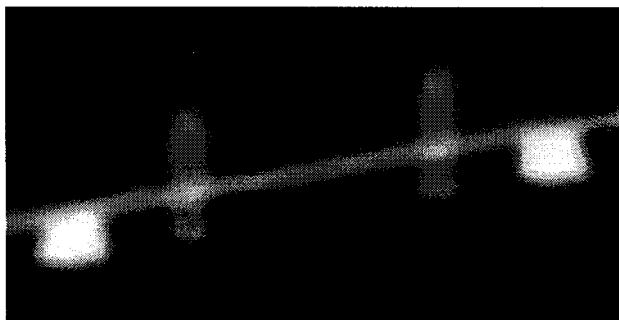


図-6 試料図形-4

に配置した「斜」の2通りを採用した。

- ③ステイケーブル：斜張橋要素：輪郭を構成しない直線ケーブルで塔と補剛桁に定着しているもの。輪郭を構成するケーブルと傾斜方向が同じものと、反対方向の「逆」の2通りを採用した。
- ④アンカーブロック：吊橋要素
- ⑤プロポーショナル：主側径間比および主径間塔高比が斜張橋を基にしている「斜」と、吊橋を基にしている「吊」を採用した。

### (3) (1) および (2) をぼかしたもの

基本的な考え方は (2) で一部の要素を削除した場合と同じで、ぼかすことにより少ない情報量で判断をさせるものである。視覚心理学の分野では4段階が一般的に必要とされているが、本実験において4段階の図形を作成しても意味のある情報量の差が得られなかったため、ぼかしの程度は次の3段階に設定した。ぼかし図形の作成はグラフィックソフトの機能を利用した。

ぼかし度0：ぼかしなし

ぼかし度1：ぼかしガウス3ピクセル

ぼかし度2：ぼかしガウス12ピクセル

## 5.10 反応時間の計測

本実験における反応時間は、試料図形が提示されてから被験者が押したプッシュライトが点灯するまでの時間と定義した。反応時間の計測は、実験状況をDVカメラで撮影し、録画されたデジタル映像のコマ数から計算するという方法をとった。計測に使用したコンピュータはアップル製Power Book G4(OS X.2.3)、動画ソフトはiMovieで、1コマが1/30秒(約0.0333秒)である。

## 6. 実験結果

### 6.1 データ処理

実験の結果、32試料図形について一般の人20名、橋梁技術者20名から、試料図形がスクリーンに映写されてから被験者が押したプッシュライトが点灯するまでの時間(反応時間)と、被験者が選択した形式がデータとして得られた。

反応時間に関しては、本研究が試料図形の情報の差異による認知に要する時間の変化に着目しているため、被験者ごとに全試料図形に対する反応時間の平均を取り、標準偏差および各試料図形に対する偏差値を求めた。

### 6.2 分析の項目・方法

#### (1) 個人別回答傾向

試料図形の提示順や実験に対する慣れが反応時間と判断に与えている影響を見るために、各被験者の個人データで、試料番号と偏差値および選択形式との関係を分析した。

#### (2) 個人別形態要素と選択形式

基本図形に対する形態要素の付加・削除およびぼかしの度合いが、反応時間および判断に与えている影響を見るために、各被験者の個人データで、試料図形が含む形態要素(プロポーショナルを含む。)と偏差値および選択形式との関係を分析した。

着目した形態要素と試料図形の組合せは次のような17パターンになっており、試料番号は基本図形から形態操作の度合いが増す順またはぼかし度合いが増す順に並べている。試料図形13および5はそれぞれ基本図形A(斜張橋)およびB(吊橋)と同じ図形である。

- ①輪郭を構成するケーブル(曲→直)+プロポーショナル(吊→斜)+アンカーブロック(有→無)：5-26-32 および 1-21-7
- ②主側径間ステイケーブル(無→有)+アンカーブロック(有→無)：5-29-12
- ③側側径間ステイケーブル(無→直)+アンカーブロック(有→無)：5-6-31
- ④輪郭を構成するケーブル(直→曲)+主側径間ステイケーブル(有→曲)+アンカーブロック(無→有)：13-11-24
- ⑤主側径間ハンガーロープ(直→斜)+アンカーブロック(有→無)：5-1-23
- ⑥主側径間ハンガーロープ(有→無)+アンカーブロック(有→無)：5-20-15
- ⑦主側径間ステイケーブル(有→無)+主側径間ハンガーロープ(無→直)+アンカーブロック(無→有)：13-32-26
- ⑧主側径間ステイケーブル(有→無)+主側径間ハンガーロープ(無→斜)+アンカーブロック(無→有)：13-7-21
- ⑨主側径間ステイケーブル(無→逆)+アンカーブロック：5-17-2
- ⑩アンカーブロック(有→無)：5-9
- ⑪アンカーブロック(無→有)：13-19
- ⑫ぼかし：吊橋基本図形：5-14-27
- ⑬ぼかし：吊橋基本図形+アンカーブロック(無)：9-25-16
- ⑭ぼかし：輪郭を構成するケーブル(直)+プロポーシ

表-2 個人別データ集計表 (一般の人#20)

| figure | RT(s) | color | bridge element    |   |      |      |      |     |                     |    |    |     |     |      |   | sh | s.s  | note                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------|-------|-------|-------------------|---|------|------|------|-----|---------------------|----|----|-----|-----|------|---|----|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |       |       | suspention bridge |   |      |      |      |     | cable stayed bridge |    |    |     |     |      |   |    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|        |       |       | m                 | a | h(v) | h(s) | p(s) | c.o | c                   | st | bt | c.c | a.n | p(c) | o |    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1      | 1.233 | 3     | 1                 | 1 |      | 1    | 1    |     |                     |    |    |     |     |      |   | 1  | 41.0 | figure:試料図形番号<br>RT:反応時間(秒)<br>color:判断した形式<br>青(1):斜張橋<br>黄(2):どちらでもない<br>赤(3):吊橋<br>ave:平均<br>s.d:標準偏差<br>bridge element:試料図形に含まれる形態要素<br>m:輪郭を構成する曲線ケーブル<br>a:アンカー<br>h(v):鉛直ハンガーロープ<br>h(s):斜めハンガーロープ<br>p(s):吊橋のプロポーション<br>c.o:ケーブルにおけるその他の要素<br>c:輪郭を構成する直線ケーブル<br>st:主径間ステイケーブル<br>bt:側径間ステイケーブル<br>c.c:主側径間ステイケーブルを曲線としたもの<br>a.n:アンカー無し<br>p(c):斜張橋のプロポーション<br>o:その他<br>sh:ぼかし具合<br>1→2→3の順にぼかしが強い<br>s.s:偏差値 |
| 2      | 0.933 | 3     | 1                 |   | 1    |      | 1    | 1   |                     |    |    |     |     |      |   | 1  | 39.4 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 3      | 1.133 | 1     |                   |   |      |      |      |     | 1                   |    |    | 1   | 1   |      |   | 2  | 40.5 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 4      | 5.033 | 1     |                   |   |      |      |      |     | 1                   |    |    |     |     | 1    |   | 3  | 61.2 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 5      | 0.933 | 3     | 1                 | 1 | 1    |      | 1    |     |                     |    |    |     |     |      |   | 1  | 39.4 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 6      | 0.867 | 3     | 1                 | 1 | 1    |      | 1    |     |                     |    |    |     |     |      |   | 1  | 39.1 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 7      | 2.933 | 1     |                   |   |      |      |      |     | 1                   |    |    |     |     | 1    | 1 | 1  | 50.0 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 8      | 1.733 | 3     |                   |   |      |      |      |     |                     |    |    |     |     |      |   | 3  | 43.7 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 9      | 0.967 | 3     | 1                 |   | 1    |      | 1    |     |                     |    |    |     |     |      |   | 1  | 39.6 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 10     | 5.633 | 1     |                   |   |      |      |      |     |                     |    |    |     | 1   |      |   | 3  | 64.4 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 11     | 1.633 | 1     | 1                 | 1 |      |      |      |     |                     |    |    | 1   | 1   | 1    |   | 1  | 43.1 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 12     | 2.867 | 3     | 1                 |   | 1    |      | 1    |     |                     |    |    |     |     |      |   | 1  | 49.7 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 13     | 1.800 | 1     |                   |   |      |      |      |     | 1                   |    |    |     | 1   | 1    |   | 1  | 44.0 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 14     | 4.700 | 1     |                   |   |      |      |      |     |                     |    |    |     |     |      |   | 2  | 59.4 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 15     | 9.000 | 1     |                   |   |      |      |      |     |                     |    |    |     |     | 1    | 1 | 1  | 82.3 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 16     | 5.300 | 3     | 1                 |   |      |      |      | 1   |                     |    |    |     |     |      |   | 3  | 62.6 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 17     | 4.733 | 3     | 1                 | 1 | 1    |      | 1    |     |                     |    |    |     |     |      |   | 1  | 59.6 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 18     | 4.167 | 3     |                   | 1 | 1    |      |      |     |                     |    |    |     |     |      |   | 2  | 56.6 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 19     | 2.367 | 1     |                   |   |      |      |      |     | 1                   |    |    |     |     | 1    |   | 1  | 47.0 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 20     | 2.100 | 1     |                   |   |      |      |      |     |                     |    |    |     |     |      | 1 | 1  | 45.6 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 21     | 2.400 | 3     |                   | 1 |      |      | 1    |     |                     |    |    |     |     |      |   | 1  | 47.2 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 22     | 3.600 | 1     |                   |   |      |      |      |     |                     |    |    |     | 1   | 1    |   | 3  | 53.6 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 23     | 3.667 | 3     | 1                 |   |      |      | 1    | 1   |                     |    |    |     |     |      |   | 1  | 53.9 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 24     | 1.833 | 1     | 1                 | 1 |      |      |      |     |                     |    |    | 1   |     | 1    |   | 1  | 44.2 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 25     | 1.967 | 1     |                   |   |      |      |      |     |                     |    |    |     |     | 1    |   | 2  | 44.9 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 26     | 1.300 | 3     |                   | 1 | 1    |      |      |     |                     |    |    |     |     |      |   | 1  | 41.4 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 27     | 6.167 | 2     | 1                 |   |      |      | 1    | 1   |                     |    |    |     |     |      |   | 3  | 67.2 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 28     | 2.300 | 3     |                   |   | 1    |      |      |     |                     |    |    |     |     |      |   | 2  | 46.7 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 29     | 3.533 | 1     |                   |   |      |      |      |     |                     | 1  |    |     |     |      |   | 1  | 53.2 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 30     | 4.067 | 2     |                   | 1 |      |      |      |     |                     | 1  |    |     |     |      | 1 | 2  | 56.1 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 31     | 1.467 | 3     | 1                 |   | 1    |      |      | 1   |                     |    |    |     |     |      |   | 1  | 42.2 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 32     | 1.267 | 3     |                   |   | 1    |      |      |     |                     |    |    |     |     |      |   | 1  | 41.2 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| ave    | 2.926 |       |                   |   |      |      |      |     |                     |    |    |     |     |      |   |    |      | 一般の人NO20(女)、大学生教育人間科学部                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| s.d    | 1.881 |       |                   |   |      |      |      |     |                     |    |    |     |     |      |   |    |      | 視力:1.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

ヨン(斜)+主側径間ハンガーロープ(直)+アンカーブロック(有): 26-18-4

⑮ぼかし: 輪郭を構成するケーブル(直)+プロポーション(斜)+主側径間ハンガーロープ(直)+アンカーブロック(無): 32-28-8

⑯ぼかし: 斜張橋基本図形+アンカーブロック(有): 19-30-10

⑰ぼかし: 斜張橋基本図形: 13-3-22

### (3) 属性別形態要素と選択形式

基本図形に対する形態要素の付加・削除およびぼかしの度合いが、被験者の属性(一般の人・橋梁技術者)により反応時間および判断に与えている影響に傾向があるかを見るために、試料図形を含む形態要素(プロポーションを含む。)と各属性の偏差値の平均および選択形式の度数との関係に差異があるかを分析した。

着目した形態要素と試料図形の組合せは(2)と同じである。

## 6.3 分析結果概要

### (1) 個人別の回答傾向

提示順序が回答や回答時間に影響がないかを中心に、全被験者の個人別データ集計表(表-2はその一例)を分析した。個人では、前半よりも後半で偏差値が大きくなっているという傾向が見られる被験者もあったが、明確に共通した傾向は見られなかった。選択形式の結果からは、橋梁技術者の方が、どちらかの形式に確定しようとする傾向が見られた。

### (2) 個人別形態要素と選択形式

表-3 個人別選択形式結果表 (一般の人#20)

| ② 形態要素 | a( 5 ) | sta( 29 ) | stan( 12 ) |
|--------|--------|-----------|------------|
| h(v)   | 吊橋     | 斜張橋       | 吊橋         |

② 主径間ステイケーブル+アンカーブロック  
(共通要素:m,h(v),p(s))

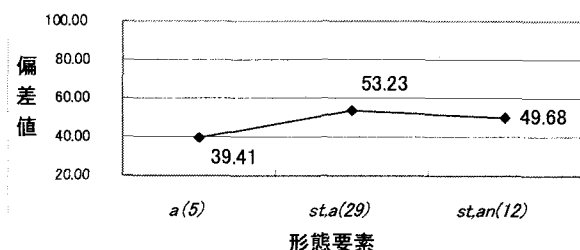


図-7 個人別偏差値グラフ (一般の人#20)

個人別データ集計表を用いて、着目した形態要素と試料図形の組合せごとに、選択形式結果表(表-3はその一例)および偏差値グラフ(図-7はその一例)を被験者ごとに作成した。

偏差値グラフは基本図形に対する各形態要素の付加・削除およびぼかしの度合いの増加が認知の過程に影響を与える程度が同じであれば右上がりの折れ線となり、被験者のプロトタイプが高次であるほど、グラフの傾きが大きくなると仮定したものである。

両属性とも、ほとんどのグラフで左端のデータが最も小さい値となっているが、必ずしも右上がりのグラフとはなっていない。また、一般の人の方が、グラフの形にばらつ

表-4 属性別偏差値平均データ集計表(凡例は表-2 参照)

| 一般の人<br>形態要素 |    |   |      |   |      |      |      |    |   |     |     |     |   | 橋梁技術者<br>形態要素 |           |    |    |   |      |   |      |      |      |    |   |     |     |     |   |    |       |       |
|--------------|----|---|------|---|------|------|------|----|---|-----|-----|-----|---|---------------|-----------|----|----|---|------|---|------|------|------|----|---|-----|-----|-----|---|----|-------|-------|
| 試料           | sh | m | p(s) | c | p(c) | h(v) | h(s) | st | 主 | st側 | c.c | c.o | a | an            | 偏差値       | 試料 | sh | m | p(s) | c | p(c) | h(v) | h(s) | st | 主 | st側 | c.c | c.o | a | an | 偏差値   |       |
| 22           | 2  |   |      |   | 1    | 1    |      |    |   |     |     |     |   | 1             | 56.19     | 32 | 0  |   |      |   | 1    | 1    | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 61.59 |       |
| 30           | 1  |   |      |   | 1    | 1    |      |    |   |     |     |     |   | 1             | 55.07     | 26 | 0  |   |      |   | 1    | 1    | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 56.17 |       |
| 10           | 2  |   |      |   | 1    | 1    |      |    |   |     |     |     |   | 1             | 54.74     | 21 | 0  |   |      |   | 1    | 1    |      | 1  |   |     |     |     |   | 1  | 56.00 |       |
| 27           | 2  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 54.33     | 30 | 1  |   |      |   | 1    | 1    |      |    |   |     |     |     |   | 1  | 55.31 |       |
| 31           | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   | 1   |     |     |   | 1             | 53.45     | 12 | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   | 1   |     |     |   | 1  | 54.31 |       |
| 18           | 1  |   |      |   | 1    | 1    | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 53.40     | 11 | 0  |   |      |   |      | 1    |      |    |   |     |     | 1   |   | 1  | 53.89 |       |
| 24           | 0  |   |      |   |      | 1    |      |    |   |     | 1   |     |   | 1             | 53.01     | 24 | 0  |   |      |   |      | 1    |      |    |   |     |     | 1   |   | 1  | 53.73 |       |
| 16           | 2  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 52.17     | 27 | 2  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 53.34 |       |
| 15           | 0  | 1 | 1    |   |      |      |      |    |   |     |     |     |   | 1             | 52.15     | 19 | 0  |   |      |   | 1    | 1    |      |    |   |     |     |     |   | 1  | 53.11 |       |
| 21           | 0  |   |      |   | 1    | 1    |      | 1  |   |     |     |     |   | 1             | 51.48     | 31 | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   | 1   |     |     |   | 1  | 52.19 |       |
| 7            | 0  |   |      |   | 1    | 1    |      | 1  |   |     |     |     |   | 1             | 50.89     | 29 | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   | 1   |     |     |   | 1  | 51.85 |       |
| 17           | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     | 1 | 1             | 50.65     | 10 | 2  |   |      |   | 1    | 1    |      |    |   |     |     |     |   | 1  | 51.76 |       |
| 23           | 0  | 1 | 1    |   |      |      |      | 1  |   |     |     |     |   | 1             | 50.63     | 25 | 1  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 51.53 |       |
| 19           | 0  |   |      |   | 1    | 1    |      |    |   |     |     |     |   | 1             | 50.60     | 16 | 2  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 51.21 |       |
| 25           | 1  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 50.43     | 7  | 0  |   |      |   | 1    | 1    |      |    | 1 |     |     |     |   | 1  | 50.86 |       |
| 14           | 1  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 50.31     | 23 | 0  | 1 | 1    |   |      |      |      | 1  |   |     |     |     |   | 1  | 49.82 |       |
| 12           | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    | 1 |     |     |     |   | 1             | 50.15     | 22 | 2  |   |      |   |      |      |      |    |   |     |     |     |   |    | 1     | 49.54 |
| 29           | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    | 1 |     |     |     |   | 1             | 49.46     | 28 | 1  |   |      |   | 1    | 1    | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 49.30 |       |
| 11           | 0  |   |      |   |      | 1    |      |    |   |     | 1   |     |   | 1             | 49.23     | 18 | 1  |   |      |   | 1    | 1    | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 49.06 |       |
| 8            | 2  |   |      |   | 1    | 1    | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 49.22     | 17 | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     | 1   | 1 | 1  | 49.05 |       |
| 9            | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 48.93     | 2  | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 48.95 |       |
| 2            | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 48.53     | 15 | 0  | 1 | 1    |   |      |      |      |    |   |     |     |     |   | 1  | 48.32 |       |
| 28           | 1  |   |      |   | 1    | 1    | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 48.50     | 3  | 1  |   |      |   | 1    | 1    | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 46.84 |       |
| 3            | 1  |   |      |   | 1    | 1    | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 48.35     | 8  | 2  |   |      |   | 1    | 1    |      |    |   |     |     |     |   | 1  | 46.78 |       |
| 1            | 0  | 1 | 1    |   |      |      |      | 1  |   |     |     |     |   | 1             | 48.25     | 20 | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 46.23 |       |
| 4            | 2  |   |      |   | 1    | 1    | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 48.12     | 4  | 2  |   |      |   | 1    | 1    | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 45.54 |       |
| 32           | 0  |   |      |   | 1    | 1    | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 47.36     | 9  | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 45.53 |       |
| 26           | 0  |   |      |   | 1    | 1    | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 47.33     | 14 | 1  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 45.35 |       |
| 20           | 0  | 1 | 1    |   |      |      |      |    |   |     |     |     |   | 1             | 46.23     | 13 | 0  |   |      |   | 1    | 1    |      |    |   |     |     |     |   | 1  | 45.19 |       |
| 13           | 0  |   |      |   | 1    | 1    |      |    |   |     |     |     |   | 1             | 44.69     | 6  | 0  | 1 | 1    |   |      |      |      |    | 1 |     |     |     |   | 1  | 44.48 |       |
| 5            | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1             | 43.50     | 5  | 0  | 1 | 1    |   |      |      | 1    |    |   |     |     |     |   | 1  | 42.21 |       |
| 6            | 0  | 1 | 1    |   |      |      |      |    |   | 1   |     |     |   | 1             | 42.65     | 1  | 0  | 1 | 1    |   |      |      |      | 1  |   |     |     |     |   | 1  | 40.96 |       |
| 標準偏差 3.17    |    |   |      |   |      |      |      |    |   |     |     |     |   |               | 標準偏差 4.40 |    |    |   |      |   |      |      |      |    |   |     |     |     |   |    |       |       |

きが大きい傾向が認められる。

選択形式については、ほかしのない図形の組合せにおいて、ほかしの段階を上げるにつれ、「どちらでもない」という回答が多く並ぶ被験者が一般の人には数人存在するが、橋梁技術者では全体的に「どちらでもない」という回答が少ないだけでなく、ほかしの段階を上げるにつれ多く並ぶという回答を示した被験者はいなかった。ほかしのある図形の組合せにおいては、ほかし1段階に「どちらでもない」という回答が多く並んだ被験者が、両グループに少数ながら存在した。

### (3) 属性別形態要素と選択形式

属性ごとに各試料図形に対する偏差値の平均をとり、値の大きい試料から降順に示した、属性別偏差値平均データ集計表(表-4)において、上の行ほど認知に時間がかかったことを示しており、形態要素との対応を見ることができる。この表からは次のことが読み取れる。

- ・標準偏差が、一般の人よりも橋梁技術者の方が高いことから、一般の人の方が橋梁技術者より反応時間にばらつきがない。
- ・一般の人では、ほかした図形の反応時間が長い傾向がある。特に輪郭を構成するケーブルが直線、プロポーションが斜張橋の時に偏差値が高い。また、輪郭を構成するケーブルが曲線の場合において、斜材が入っている橋梁の偏差値が高くなっている。
- ・橋梁技術者では、斜張橋基本図形にアンカーブロックを付加したものや鉛直ケーブルを付加したものなど、輪郭を構成するケーブルが直線、プロポーションが斜

張橋の橋梁から1ないし2形態要素を付加または削除したのに対して反応時間が長い傾向がある。

次に、17の比較パターンについて、一般の人と橋梁技術者の平均データを一つのグラフ上に記入した偏差値グラフ(図-8,10,12)と選択形式度数グラフ(図-9,11,13)により、図形操作の影響度の差異を比較したところ、比較的明確な違いが見られたパターンは、偏差値グラフについては次の4通りであった。

- ①輪郭を構成するケーブル(曲→直)+プロポーション(吊→斜)+アンカーブロック(有→無):5-26-32 および 1-21-7
  - ⑤主側径間ハンガーロープ(直→斜)+アンカーブロック(有→無):5-1-23
  - ⑦主側径間ステイクケーブル(有→無)+主側径間ハンガーロープ(無→直)+アンカーブロック(無→有):13-32-26
  - ⑩ほかし:斜張橋基本図形:13-3-22
- また、選択形式度数グラフについては、次の4通りであった。
- ②主側径間ステイクケーブル(無→有)+アンカーブロック(有→無):5-29-12
  - ⑤主側径間ハンガーロープ(直→斜)+アンカーブロック(有→無):5-1-23
  - ⑥主側径間ハンガーロープ(有→無)+アンカーブロック(有→無):5-20-15
  - ⑩ほかし:斜張橋基本図形:13-3-22

## 6.4 詳細分析・考察

ここでは、表-5 および表-6 を参考に、偏差値グラフの形状および選択形式度数グラフにおいて明確な差異が見られたパターンから、①輪郭を構成するケーブル+プロポーション+アンカーブロック+鉛直ハンガーロープ、⑤主側径間ハンガーロープ+アンカーブロック、⑪ほかし：斜張橋基本図形の3パターンを代表例として、詳細な分析と考察を示す。

表-5 属性別偏差値の有意差検定結果

| 橋梁 |                         |          | 橋梁 |                        |          |
|----|-------------------------|----------|----|------------------------|----------|
| 図形 | 構成要素                    | 解        | 図形 | 構成要素                   | 解        |
| 1  | m, p(s), h(s), a        | 0 3.3663 | 17 | m, p(s), h(v), c, o, a | 0 0.7061 |
| 2  | m, p(s), h(v), c, o, an | 0 -0.173 | 18 | c, p(c), h(v), a       | 1 2.2325 |
| 3  | c, p(c), an             | 1 0.6758 | 19 | c, p(c), a             | 0 -0.709 |
| 4  | c, p(c), h(v), a        | 2 1.1914 | 20 | m, p(s), a             | 0 0.000  |
| 5  | m, p(s), h(v), a        | 0 1.263  | 21 | c, p(c), h(s), a       | 0 -1.858 |
| 6  | m, p(s), bt, h(v), a    | 0 -1.077 | 22 | c, p(c), an            | 2 3.1754 |
| 7  | c, p(c), h(s), an       | 0 0.0107 | 23 | m, p(s), h(s), an      | 0 0.3985 |
| 8  | c, p(c), h(v), an       | 2 1.4076 | 24 | p(c), h(v), c, c, a    | 0 -0.231 |
| 9  | m, p(s), h(v), an       | 0 1.3296 | 25 | m, p(s), h(v), an      | 1 -0.479 |
| 10 | c, p(c), a              | 2 0.7999 | 26 | c, p(c), h(v), a       | 0 -3.05  |
| 11 | p(c), h(v), c, c, an    | 0 -1.861 | 27 | m, p(s), h(v), a       | 2 0.385  |
| 12 | m, p(s), st, h, an      | 0 -1.63  | 28 | c, p(c), h(v), an      | 1 -0.364 |
| 13 | c, p(c), an             | 0 -0.373 | 29 | m, p(s), st, h(v), a   | 0 -0.863 |
| 14 | m, p(s), h(v), a        | 1 2.1991 | 30 | c, p(c), a             | 1 -0.126 |
| 15 | m, p(s), an             | 0 1.6276 | 31 | m, p(s), bt, h(v), an  | 0 0.3517 |
| 16 | m, p(s), h(v), an       | 2 0.6834 | 32 | c, p(c), h(v), an      | 0 -3.493 |

自由度=38, t (0.05) = ±1.687  
 解：ほかしの段階、評価：無（有意差無し）、一般（有意差を持って一般の人の偏差値が大）、橋梁（有意差を持って橋梁技術者の偏差値が大）

表-6 偏差値グラフ形状

|       |    | グラフの形状      |            |    |    |             |    |            |    |
|-------|----|-------------|------------|----|----|-------------|----|------------|----|
|       |    | 一般          | 橋梁         | 一般 | 橋梁 | 一般          | 橋梁 | 一般         | 橋梁 |
| 傾き（大） | 橋梁 | 5→26 (c, p) |            |    |    | 1→23 (-an)  |    | 26→32 (-a) |    |
|       | 一般 | 13→11 (c)   |            |    |    | 1→21 (c, p) |    |            |    |
| 傾き（小） | 橋梁 | 5→29 (st)   | 20→15 (-a) |    |    | 13→32 (+h)  |    |            |    |
|       | 一般 | 13→7 (+h)   |            |    |    | 7→21 (a)    |    |            |    |
|       | 橋梁 | 5→17 (+co)  |            |    |    |             |    | 5→1 (h)    |    |
|       | 一般 | 5→9 (-a)    |            |    |    |             |    |            |    |
|       | 橋梁 | 13→19 (+a)  |            |    |    |             |    |            |    |

傾き（大）：有意差有り、傾き（小）：有意差無し

(1) パターン①a：輪郭を構成するケーブル+プロポーション+アンカーブロック（ハンガーロープ(直)）

### 1) 偏差値グラフ

橋梁図形5は、吊橋基本図形である。この橋梁に関して、一般の人と橋梁技術者の偏差値に有意差がない。輪郭線を構成するケーブルを(曲)→(直)に(プロポーション(吊)→(斜)も変化)変えると両属性ともに偏差値が上がっている。試料図形26において偏差値は、一般の人は、3.83上がり、47.33、橋梁技術者は、13.96上がって、56.17である。偏差値の差(一般の人-橋梁技術者)は、-8.84であり、橋梁技術者のほうが有意差を持って偏差値が大きい。また、偏差値の変化度においても橋梁技術者の方が大きい。

次に試料図形32は、試料図形26にアンカーブロックを(有)→(無)に変えたものであり、一般の人の偏差値は、0.03わずかながら上がって47.36であるのに対し、橋梁技術者は、5.42上がって61.59と偏差値がさらに高くなって

①a 輪郭を構成するケーブル+プロポーション+アンカーブロック+主側径間鉛直ハンガーロープ

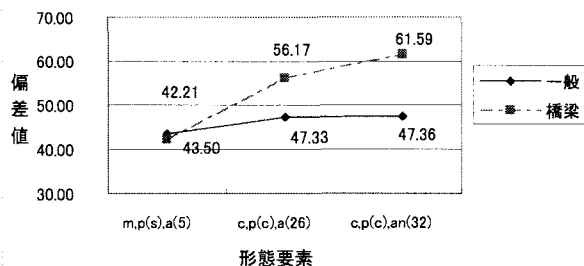


図-8 偏差値グラフ（パターン①a）

①a 輪郭を構成するケーブル+プロポーション+アンカーブロック+主側径間ハンガーロープ(直)

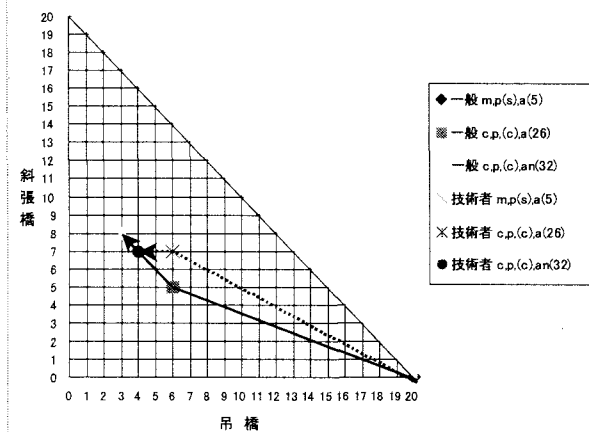


図-9 選択形式度数グラフ（パターン①a）

いる。偏差値の差(一般-橋梁技術者)は、-14.23であり、橋梁技術者のほうが有意差を持って偏差値が大きい。また、偏差値の変化度においても有意差を持って橋梁技術者の方が大きい。

### 2) 選択形式度数グラフ

試料図形5は、両属性全員が吊橋と判断した。この試料図形5に輪郭線を構成するケーブルを(曲)→(直)に、プロポーションを(吊)→(斜)に変える(試料図形26)と両属性とも「どちらでもない」と判断する人が増え、吊橋と判断する人が減った。また、試料図形26にアンカーブロックをなくしても、変化は、あまりなかった。そして、選択形式度数グラフ(図-9)において、両属性とも判断度数に差があるとは言えない。

### 3) 考察

試料図形5と試料図形26とのデータを比較すると、ハンガーロープ(直)を残し、輪郭線を構成するケーブルを(曲)→(直)に、プロポーションを(吊)→(斜)に変えたことにより、両属性とも形式の認知に大きな変化が生じたことから、斜張橋要素である輪郭線を構成するケーブル(直)かプロポーション(斜)またはそれら両要素が判断に重要な要素であることが分かる。一方、一般の人が橋梁技術者に比べ偏差値が低く偏差値の変化についても小さいことから、低次のプロトタイプを持つ人は、高次のプロトタイプを持つ人に比べて少ない要素のみを照合していると考え

られ、変化を与えた輪郭を構成する要素のみを照合しているとするのが妥当であると考えられる。

試料図形 26 からアンカーブロックをなくすという変化は、基本図形から試料図形 26 への変化に比べ、選択形式度数の変化は両属性とも小さく、属性間の差も小さい。一方、偏差値グラフでは、試料図形 26 に比べ、一般の人は変化が小さく値がほぼ一定であるのに対し、橋梁技術者は、偏差値が大幅に大きくなっている。このことから、アンカーブロックによる変化でも、低次のプロトタイプを持つ人が高次のプロトタイプを持つ人に比べ、偏差値と偏差値の変化が小さいことから、低次のプロトタイプを持つ人は、高次のプロトタイプを持つ人に比べて少ない要素のみを照合していると考えられ、具体的には輪郭を構成する要素のみを照合しているとするのが妥当であると考えられる。

また、アンカーブロックの変化が輪郭を構成するケーブルの変化に比べ変化が小さいことから低次のプロトタイプを持つ人は、最上位の階層にアンカーブロックは存在していない可能性があると考えられる。

興味深いものとして、プロポーション (斜) で、輪郭線を構成するケーブルが (直)、ハンガーロープ (直)、アンカーブロック (無) の橋梁に対し、吊橋要素がハンガーロープ (直) しかないにも関わらず、吊橋と判断したのが 4 人もいたということがある。このような判断については、視知覚のレベルで輪郭線を構成するケーブルが曲線に見えてしまったか、プロトタイプの輪郭線を構成するケーブルの形態が曖昧であったことが考えられる。

## (2) パターン⑤: 主側径間ハンガーロープ+アンカーブロック

### 1) 偏差値グラフ

試料図形 5 は、吊橋基本図形である。この橋梁に関して、一般の人と橋梁技術者の偏差値に有意差がない。輪郭線を構成するケーブル (曲) を残し、ハンガーロープを (直) → (斜) に変えた試料図形 1 において偏差値は、一般の人は、4.75 上がり、48.25、橋梁技術者は、1.24 下がって、40.96 である。偏差値の差 (一般の人-橋梁技術者) は、7.29 であり、一般の人の方が有意差を持って大きい。また、偏差値の変化度においても有意差を持って一般の人の方が大きい。

次に試料図形 1 にアンカーブロックを (有) → (無) に変えると一般の人の偏差値は、2.37 と上がって 50.63 であるのに対し、橋梁技術者は、8.86 上がって 49.82 と偏差値が上がっている。偏差値の差 (一般の人-橋梁技術者) は、0.81 であり有意差はない。変化度においては橋梁技術者が大きい有意差はない。

### 2) 選択形式度数グラフ

試料図形 5 は、両属性全員が吊橋と判断した。この試料図形 5 にハンガーロープ (直) → (斜) に変化 (試料図形 1) しても、両属性全員が吊橋と判断した。また、試料図形 1 のアンカーブロックを (有) → (無) に変えると、一般の人は 8 人が吊橋と判断し 10 人がどちらでもないと判断した。一方、橋梁技術者は、吊橋と判断した人が 2 人減っただけであった。選択形式度数グラフ (図-11) は、こ

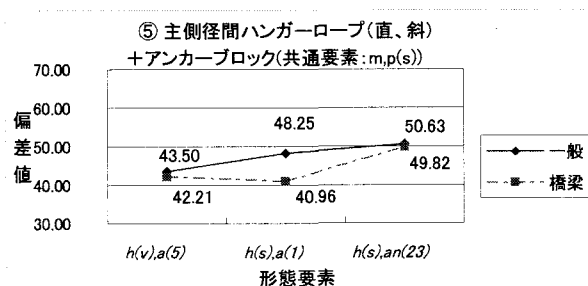


図-10 偏差値グラフ (パターン⑤)

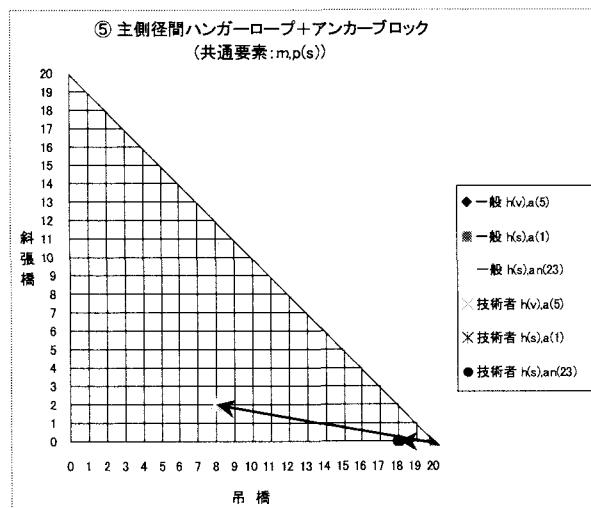


図-11 選択形式度数グラフ (パターン⑤)

のアンカーブロックをなくすという変化で、一般の人と橋梁技術者で判断に差が生じたことを示している。

### 3) 考察

試料図形 5 と試料図形 1 とのデータを比較すると、ハンガーロープ (直) → (斜) に変えても選択形式度数では、両属性には全く差がない。このことより、両属性とも吊橋要素である輪郭を構成するケーブル (曲)、プロポーション (吊)、アンカーブロック (有) のいずれか、またはその組合せがハンガーロープよりも判断に対して重要な要素であると考えられる。

また、一般の人よりも橋梁技術者の偏差値が上がらなかったことについては次のように考えられる。低次のプロトタイプを持つ人は、図像記憶に多く頼り図形的特徴で判断していたため、ハンガーロープが (直) → (斜) に変化したことで、視覚が敏感に反応する鉛直要素が減り、そのため違う図形と先ず判断することとなり認知に必要な時間が増えたのに対し、高次のプロトタイプの持つ人は、ハンガーロープをプロトタイプの要素と認知したため同じ反応時間しか要さなかった。

試料図形 1 と試料図形 23 のデータを比較すると、ハンガーロープ (斜) で、アンカーブロック (有) → (無) に変えた時、両属性の偏差値は増加しながらほぼ等しくなるが、選択形式度数では一般の人で吊橋以外と判断した数が大幅に増えている。このことから低次のプロトタイプを持つ人は、ケーブルに斜め要素が存在することと斜張橋要素であるアンカーブロック (無) の組合せが、前段階と同様

に視覚が敏感に反応する鉛直要素が減ると共に、図像的に大きな視覚要素がなくなったことで、吊橋基本図形と図像的に大きく離れてしまい、その結果として、さらに認知に必要な時間が増え、判断にもばらつきが生じたと考えられる。一方、橋梁技術者は、偏差値が大きくなったものの、9割が吊橋と判断したこと、アンカーブロック（有）が吊橋と認知するのに重要な要素であったために、その要素が欠落した図形の形式をすぐに認知できなかったこと、その一方で他の要素またはそれらの組合せが斜張橋ではないと判断するのに重要であると考えられる。しかしながら、両属性の偏差値がほぼ等しくなる理由に関しては明確ではなく、さまざまな要因が重なり合ったことで偶然にほぼ等しくなったとするのが妥当であると考えられる。

アンカーブロックをなくすことで判断度数に影響を与えるということより、低次のプロトタイプを持つ人全員が必ずしも最上位の階層に輪郭を構成するケーブルがあるとは言えないということが考えられる。しかしこの場合は、上のように図像記憶で解釈することが妥当であると考えられる。

### (3) パターン⑩：ぼかし：斜張橋基本図形

#### 1) 偏差値グラフ

試料図形 13 は斜張橋基本図形である。この橋梁に関して、一般の人と橋梁技術者の偏差値に有意差がない。次にぼかし一段階目に入ると、両属性の偏差値がともに上がっている。試料図形 3 は一般の人は 3.66 上がって 48.35、橋梁技術者は、1.65 上がって 46.84 である。偏差値の差（一般の人-橋梁技術者）は、1.51 であるが、両属性に有意差はない。

次にぼかし 2 段階目（試料図形 22）に入るとさらに両属性ともに偏差値が上がっている。試料図形 22 における偏差値は、一般の人は、7.84 上がって 56.19 であるのに対し、橋梁技術者は、2.7 上がって 49.54 である。偏差値の差（一般の人-橋梁技術者）は、6.65 であり一般の人の方が、有意差を持って偏差値が大きい。偏差値の変化度においても一般の人の方が有意差を持って大きい。

#### 2) 選択形式度数グラフ

ぼかしなし（試料図形 13）は、一般の人は全員、橋梁技術者は 19 人が斜張橋と判断した。次に、ぼかし 1 段階目（試料図形 3）では、一般の人は、「斜張橋」と判断した人が 2 人減り、「どちらでもない」と判断した人が同数増えたのに対し、橋梁技術者は変化しなかった。最後に、2 段階目（試料図形 22）では、一般の人は、「どちらでもない」と判断する人が 9 人増え、斜張橋と判断する人が半数の 9 人に減った。橋梁技術者も、「どちらでもない」と判断する人が 4 人増え、「斜張橋」と判断する人が減ったが、それは一般の人の半数であり変化の度合いが小さい。ぼかしの 2 段階目で両属性に判断度数の差が生じている。

#### 3) 考察

ぼかし 1 段階目の図形に関しては、選択形式度数グラフでは大きな差がなく、偏差値グラフでは両属性とも偏差値が上がり有意差がない。これは、ぼかし 1 段階では視覚的に重要な要素もプロトタイプの重要な要素も知覚できる

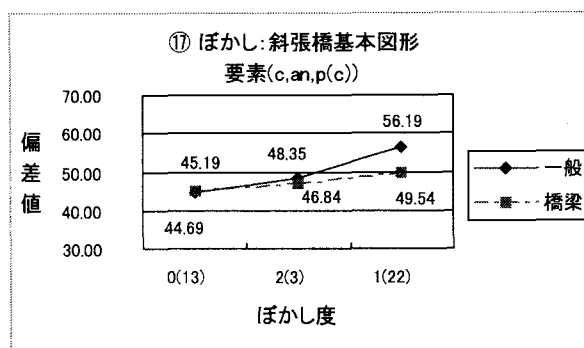


図-12 偏差値グラフ（パターン⑩）

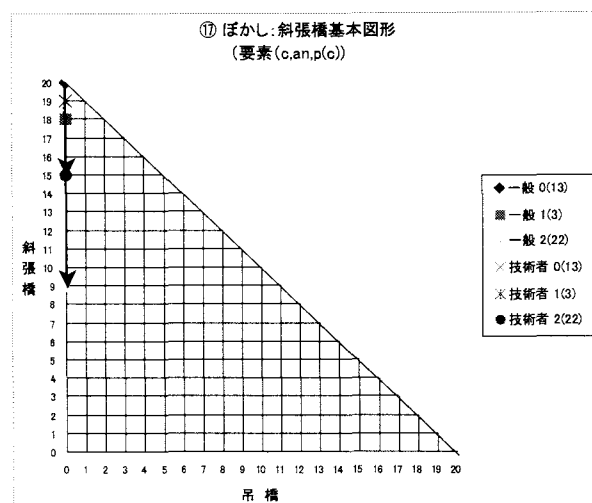


図-13 選択形式度数グラフ（パターン⑩）

が、補助的な要素が知覚しにくくなっていることにより認知に要する時間が増加するためであると考えられる。

さらにぼかし 2 段階目になると選択形式度数グラフでは、「どちらでもない」と判断する一般の人が橋梁技術者に比べ、2 倍増えていること、および偏差値グラフでぼかし 1 段階目と比較すると、橋梁技術者より一般の人の偏差値の方が大きく上がっていることから、判断する情報量がさらに少なくなり、図形的特徴をつかめず判断が困難となったため認知に時間を要したと考えられる。

以上のことから低次のプロトタイプを持つ人は、高次のプロトタイプを持つ人に比べ、照合する情報要素が少ないため、個々の要素が判断に与える影響が大きく、それらの情報に不足があるとかえって認知に時間を要すると思われる。

## 6.5 まとめ

個人別形態要素と選択形式の分析からは、橋梁技術者に対して一般の人の方が、図形操作に対する変化を示す偏差値のばらつきが大きいことが示された。また、属性別形態要素と選択形式の分析からは、一般の人と比較して橋梁技術者の方が、先ず全体的な傾向として図形に対する操作の度合いが大きいほど反応時間が長くなる傾向がより顕著であり、例外的な傾向を示したものについても論理的に説明できた。

具体的には、5.1 に示した橋梁形式認知に関する仮説に

即して次のようなことを検証することができた。

(1) ばかり図形の結果より、低次のプロトタイプを持つ人は、単純な図形記憶と照合して判断していることが示され、さらに、輪郭を構成する要素などの、それらの要素が持つ図形的特徴、または視知覚されやすい条件を持った要素のみを照合し判断していることが示せた。

橋梁要素を操作する図形の結果から、要素の違いによる回答と回答時間の変化に対する影響は高次のプロトタイプを持つ人より小さいことが示すことができた。これらのことから橋梁形式認知に関する仮説(1)が妥当であると考える。

(2) 橋梁要素を操作する図形の結果から、低次のプロトタイプを持つ人は、輪郭を構成する要素を最上位の階層の要素としてプロトタイプと照合し判断している可能性が高いことや、その他の要素の違いによる回答と回答時間の変化に対する影響は高次のプロトタイプを持つ人より小さいことから、橋梁形式認知に関する仮説(2)は妥当であると考える。

一方で、輪郭を構成する要素以外の要素が認知における最上位である可能性があるため、プロトタイプを用いた論理では輪郭を構成する要素が必ずしも最上位であるとは言いきれない。しかし、この場合には図像記憶と視知覚で説明すると妥当であることを示した。

(3) 橋梁要素を操作する図形の結果から、高次のプロトタイプを持つ人は最上位の階層以外の形態要素も含めてプロトタイプと照合していることを示すことができ、さらに操作する階層が最上位から下がるに従って回答と回答時間の変化に対する影響は大きくなることが示せた。このことから橋梁形式認知に関する仮説(3)は妥当であると考える。

以上の結果から吊橋と斜張橋に関して、橋梁形式認知に関する仮説が成立することを示すことができたので、3.1に示した仮説が成立したことになり、プロトタイプの存在を確認できたと考える。

## 7. 結論

低次と高次のプロトタイプを持つであろう属性の被験者グループを比較するという視覚心理学的実験を用いた方法論に基づいて、情報量を操作した試料図形に対する両グループの反応において、統計的に有意な差異が生じることを示すことにより、「構造物力動性認知モデル」の前提となる構造物に関するプロトタイプが存在することを、客観的に示すことができた。

しかしながら、反応に有意差が無い、または逆の反応が得られた場合が存在している。これらについては、6.4に

示したような解釈によって妥当性を述べたが、本来は方法論または手法において考慮すべきであったと考える。また、認知科学の知見に基づいた方法論において、認知科学における研究対象の情報量と橋梁構造物の持つ情報量との差が大きいことが、反応のばらつきや安定に影響を与えていた。

## 8. 今後の課題

本論文から導かれた課題は、次の通りである。

- ・今回の実験のデータを用いて、各被験者が実験時に持っていたプロトタイプを具体的に示す。
- ・他の形式の橋梁のプロトタイプを抽出する研究方法論を開発する。

## 謝辞

本研究の実験に協力していただいた、パシフィックコンサルタンツ(株)構造部、大日本コンサルタント(株)構造技術一部、鹿島建設(株)土木設計本部の方々にはこの場を借りてお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 篠原修, 石井信行: カラトラバのスケッチと作品, 土木学会誌 Vol.81.4, pp.68-73, 1996.
- 2) 阿部哲子, 石井信行, 藤野陽三, 阿久津正大: 視覚的に力の流れを認識する橋の形に関する研究, 構造工學論文集 Vol.42A, pp.471-480, 1996.
- 3) 岡本真和, 天野光一, 石井信行: 構造形態が喚起する安定・不安定感の心理学実験による検討, 構造工學論文集 Vol.44A, pp.575-580, 1998.
- 4) 村田啓治, 石井信行: 柱状形態が喚起する安定・不安定感の心理学的実験による考察 Vol.45A, pp.579-588, 1999.
- 5) 小林重順: 建築デザイン心理学, 彰国社, 1977.
- 6) 杉山和雄: 橋梁形態の観照と評価に関する基礎的研究, 東京大学博士学位請求論文, 1987.
- 7) 石井信行: 構造物の視覚的力学, 鹿島出版会, 2003.
- 8) Reed, S. K.: Pattern Recognition and Categorization, Cognitive Psychology, 3, pp.382-407, 1972.
- 9) Posner, M. I., Goldsmith, R. & Welton, K. E., Jr.: Perceived Distance and the classification of distorted patterns, Journal of Experimental Psychology, 73, pp.28-38, 1967.
- 10) 伊藤正男他編: 認知科学の基礎, 岩波書店, 1995.
- 11) 川人光男他編: 視覚と聴覚, 岩波書店, 1994.

(2003年9月12日受付)