

優秀な橋梁デザイナーが有する プロトタイプの特徴

石井 信行¹, 高橋 朗浩²

¹正会員 博士 (工学) 山梨大学大学院医学工学総合研究部社会システム工学系
(〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11, E-mail:nobur32@yamanashi.ac.jp)

²非会員 山梨大学大学院医学工学総合教育部土木環境工学専攻
(〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11, E-mail:g09mc006@yamanashi.ac.jp)

近年、橋梁の設計をプロポーザル・コンペ方式等を用いて個人・企業に業務を委託する場が増えている中で、橋梁技術者には諸条件をクリアし、場に適した橋梁デザインの提案が求められていく。そのため橋梁技術者は抽象的なイメージから具体的な橋梁デザインへ転換させていく。本研究では、イメージの基底となるプロトタイプを抽出することを目的とし、橋梁技術者に対して実験し、分析、考察を行った。その結果、個人が有するプロトタイプの特徴として、2種類のプロトタイプが確認された。

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

2008年度、国内初の橋梁を対象にした国際コンペが行われ、海外6カ国の7点を含む29作品の応募があった。世界的に橋梁コンペは珍しくないが、日本でこのような動きが見られたことは日本における橋梁デザインの転換期であることを予兆させる。社会資本から造られる橋梁は安全性と経済性を満たすことが条件であるが、マイルやカラトラヴァといった社会から評価される橋梁技術者が設計する橋梁はさらにデザイン力に長けていると言える。橋梁技術者には今まで以上にデザイン能力が求められるであろう。

橋梁の設計にデザインが主要要素となる中で、著者等の一人は、構造物の視覚情報から力や動きのイメージが形成されると仮定した構造物力動性認知モデルを提案した¹⁾。このモデルは橋梁のような構造物を目にした瞬間の認知を、物としての理解(「橋である」「物を渡す」)、構造物力学といったシステムの理解の組合せによって、個人が捉え方が異なっていること、またその捉え方で力や動きのイメージが形成される可能性について説明を試みた。これは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。

著者等の一人は、構造物力動性モデルの妥当性を検証するために、先行研究²⁾で視覚実験を行い、吊橋、斜

張橋、アーチ橋の認知プロトタイプの存在を論理的に説明し、その後アーチ橋において具体的な橋梁認知プロトタイプを特定した³⁾。しかしながら論理的に欠落の無い構成にすることを目標としたために、特定するために実験、分析に時間と手間を要する方法論となった。今後、橋梁認知プロトタイプを教育・実務に生かしていくためには、容易に橋梁認知プロトタイプを特定する方法論を確立することが必要であると考えられる。

橋梁認知プロトタイプの特定方法が確立できれば、被験者に対する負担も軽減されるので、優れた橋梁デザイナーであると社会的に評価されている、多くの場合極めて多忙な技術者を対象に実験を依頼することが可能になり、彼らが有するプロトタイプの共通する特徴を抽出し、その成果によって橋梁技術者のデザイン力を高める教育に貢献が期待できる。

2. 目的・対象

本論文では、先行研究で「構造物力動性認知モデル」に基づき、個人が有する橋梁認知プロトタイプを特定した方法に対して、容易な方法を提案した上で、実際に特定したプロトタイプの特徴を抽出することを目的とする。

対象とする橋梁形式はアーチ系とし、被験者は橋梁技術者とする。橋梁形式をアーチ系とするのは、先行研究で橋梁認知プロトタイプの抽出内容を具体的に説明でき

ているためである。

3. 橋梁認知プロトタイプ特定方法

(1) 認知プロトタイプ

先行研究の「構造物力動性認知モデル」では、構造物の認識、構造システムの認識の組合せにより次の3種類のプロトタイプが仮定されている。構造物の認識とは構造物の目的・意味、機能を理解していることであり、構造システムの認識とは、構造物の力学的関係を理解していることである。

a) 物システムプロトタイプ

対象とする構造物とその構造システムが認識されている。

b) 物プロトタイプ

対象とする構造物は認識されているが、構造システムは認識していない。

c) システムプロトタイプ

対象とする構造システムは認識しているが、構造物は認識していない。

本論文では橋梁の形式を形態の理解のみで認知した場合を物プロトタイプ、力学的な理解で認知した場合を物システムプロトタイプとして扱う。なお、構造物（橋である）の認識ができない可能性は低いことから、システムプロトタイプは扱わないこととする。

(2) 実験方法

a) 内容

被験者に、提示した橋梁図形の橋梁形式を認知させ、回答させる視覚心理学的実験とする。

b) データ

認知に要する時間と、認知の結果をデータとして得る。ここでの認知は、直接橋梁形式の名称等を回答させても、被験者のプロトタイプの内容が分からないので、刺激図形を基本図形と同定、基本図形以外と同定、及び同定不可のいずれかを選択することとする。

また、基本図形以外と回答した場合については、判別基準となった要素を指摘させる。

c) 刺激

視覚試料として構造要素の組み合わせや形態を操作した橋梁図形を作成し、均等に4分割した画面の左上に全体像、左下、右上には形態を操作した要素の拡大図を表示する。

d) 先行研究からの変更内容

先行研究の問題点として、基本図形を図像としての

記憶してしまう実験方法であったため、橋梁認知プロトタイプで照合ができていない可能性を有していた。また、判断基準となった構造要素を特定するために、多くの手間を必要とした。そのため問題点を解決して、橋梁認知プロトタイプを抽出する方法論を再構築にする必要があるため、次の4点を変更した。

① 基本図形の視線・提示時間

基本図形の視線が毎回一定であったため、単調となる。提示時間は、図像として記憶ができてしまう時間であったと考えたため。

② ブランク画像

背景が黒画面であったため、白ベースで作成した基本図形が図像として残りやすいと考えたため。

③ 刺激試料の画面構成

基本図形と同じ画面構成であったため、図像をそのままの型で照合でき、記憶しやすい環境であったため。

④ 刺激試料へのマーキング画面

判別基準となった構造要素を特定するために、分析に膨大な手間を要して、具体的に特定できていないため。

(3) 分析方法

a) 認知に要する時間

刺激試料が提示されてから、指定のボタンを押すまでに要した反応時間であるが、先行研究のデータを吟味したところ、個人によって提示回数と反応時間に相関を有する被験者を確認したため、提示回数を反映させた反応時間を扱う。

刺激試料の認知過程が同様であれば、反応時間が近い値となる可能性が高い。このため、反応時間の近い値をグルーピングすることで、認知過程が同様である刺激試料の抽出が可能であると考えられる。また物プロトタイプで判断した場合より物システムプロトタイプで判別した場合の方が認知に要する時間は長くなると考えられる。これは、力学的な理解は形態変化を認知した後、開始されるためと考えられる。このため、反応時間が短い橋梁図形群を物プロトタイプ、反応時間が長い橋梁図形群を物システムプロトタイプとして特定できる。

b) 認知の結果

先行研究では、回答結果で分析を行い、形態を操作した要素の優劣関係を具体的に特定することができなかった。本論文では被験者自身に回答後に判別基準とした要素をマーキングさせることで各要素の優劣関係を特定する。構造要素は次の3層に優劣をつけることができる。

・1次要素

常に判別基準となるため、プロトタイプと一致しない要素。実験結果では、ある変更要素を含む全ての橋梁図形に対して、判断基準のマークがつけられている。

・2次要素

判別基準となりうるが、無視される場合もあるため、橋梁図形の構成要素によってプロトタイプと一致するか左右される要素。実験結果では、ある要素を含む橋梁図形に対して、1つでも判断基準のマークがつけられている。

・3次要素

常に判別基準とならないため、プロトタイプと一致する要素。実験結果では、ある変更要素を含む全ての橋梁図形に対して、判断基準のマークがついていない。

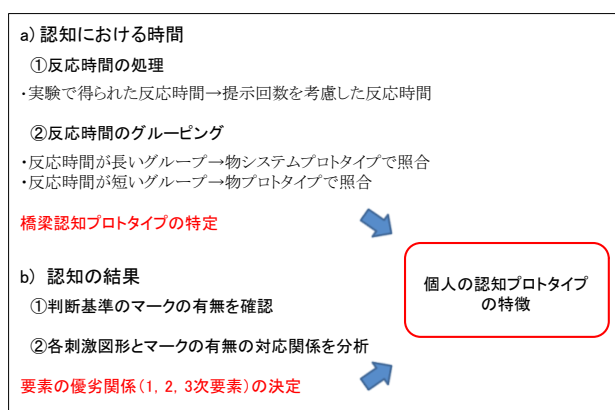


図-1 分析の流れ

4. 視覚心理学的実験

(1) 被験者

a) 被験者数の設定

先行研究において橋梁技術者が橋梁認知プロトタイプを有していること、提案した視覚心理実験でプロトタイプを抽出することが可能なことが確認されているので、本研究では統計的な検定を行うことはしない。したがって、時間の制約の中で可能な限り被験者を募った。

b) 内訳

- ・A社：建設コンサルタント：4名(男性)
 - ・B社：建設コンサルタント：4名(男性)
 - ・C社：建設コンサルタント：4名(男性)
 - ・D社：建設コンサルタント：4名(男性)
 - ・E社：建設コンサルタント：5名(男性)
- 合計21名(全て設計業務に従事)

c) 被験者の選定条件

橋梁技術者を対象とした視覚実験であるため、豊富な実務経験を有する橋梁技術者が望ましい。各社に中堅技

術者以上と依頼し、実際には実務経験については3年から20年、視力については0.3が2名、0.4が2名で、0.5以上が17名という内訳であった。

d) 性別

性別に関しては先行研究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。(実際には全て男性。)

(2) 実験装置と配置

a) 実験装置

パソコン：FMV-B I B L O NB55A

反応測定ソフト：「実験プログラム experiment」

山梨大学大学院医学工学総合研究部

コンピュータ・メディア工学科

木下 雄一朗 助教 作成

b) 実験装置

① 被験者の前に机を設置し、その上に実験者のノートパソコンとPCキーボードを配置し、ノートパソコンのディスプレイに実験試料を表示する。

② 被験者はパソコンに表示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俯角8~10度になるように、パソコンに正対して着座してもらう。(被験者とPCディスプレイの距離は0.4m~0.6mの間で調整。)

③ PCキーボード上の矢印キー(←, ↓, →)を押しボタンとする。今回の実験では、判断のしやすさを考慮して矢印キーの上に←印キーには「○」、↓印キーには「×」、→印キーには「?」の台紙を貼り付けた。

また、X(エックス)キーには「修正」、スペースキーには「マーク終了」の台紙を貼り付け、その他の使用しないキーは誤って押さないように覆ってしまった。

(3) 実験の流れ

- ① 視力の確認
- ② 教示と手順の説明
- ③ 練習実験と質問受付
- ④ 本実験
- ⑤ 橋梁業務経験に関するアンケート

(4) 実験の手順

- ① 被験者に提示番号を0.5秒間提示する。
- ② 被験者にノイズ画像を0.5秒間提示する。
- ③ 被験者に基本図形を0.1秒間提示する。
- ④ 被験者にノイズ画像を0.5秒間提示する。
- ⑤ 試料図形を提示し、その提示された図形が、「基本図形と同じ橋梁形式である(○)」か「異なる橋梁形式である(×)」か、または「どの橋梁形式であるかわ

からない(?)」と判断した時点で、それぞれに対応するキーボード上の対応するキーを押してもらおう。

⑥「異なる橋梁形式である(X)」と判断した場合のみ、判別基準となった要素へマウスを使用して、マークをつけてもらう。

①～⑥の過程をディスプレイ表示で48セット連続で行う。実験の手順を決定するに当たっては、先行研究で得られたデータを吟味し、次の2点を考慮した。

- ・プロトタイプを意図的に喚起させるため基本図形を毎セット提示するのだが、その行為は図像として記憶させる可能性がある。そのため基本図形の提示時間、ブランク画面を考慮した。提示時間は短いほど図像記憶の低減が期待できる。但し、橋梁形式は認知できるように、事前に山梨大学土木学科の学生に実験を行い、最適とする0.1秒とした。またブランク画面は図像記憶の妨害効果が期待できるノイズ画像とした。

- ・複数個の変更要素が含まれた視覚刺激の回答結果は、どの要素を基準に回答したのか不明確であったため、回答直後、画面上にマークができるプログラム仕様とした。

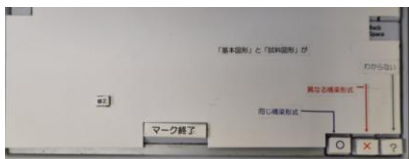


写真-1 PC キーボードの仕様



写真-2 実験風景

(5) 教示と手順の説明

「これから始まる実験は、はじめに数字が提示されます。次にこの数字は提示番号です。再度ノイズ画面が提示されます。次に、ある橋梁形式の図形が0.1秒間提示されます。これを基本図形とします。再度ノイズ画面が提示されます。次に、ある橋梁形式の図形が提示されます。これを試料図形とします。画面は橋梁の全体像と、ある要素を拡大させた図で構成されています。この4つはすべて1つの橋梁図形から構成されています。この試

料図形が基本図形と同じ橋梁形式に属すると判断した場合は『Oボタン』を、基本図形と異なる橋梁形式に属すると判断した場合は『Xボタン』を、どの橋梁形式であるか判断できない場合は『?ボタン』をあなたが判断した時点で押してください。ボタンが押されないまま、10秒経過しますと、次の提示番号の画面へ自動的に切り変わります。また『Oボタン』『?ボタン』を押した場合も同様に次の提示番号に移り変わります。ここでボタンを押間違えた場合、事実を確認するために「間違えました」と私に知らせ、実験を止めずにこれまでと同じように継続して下さい。『Xボタン』を押した場合のみ、次の画面に移ります。ここでは『Xボタン』を押す基準となった要素すべてに、マウスを使用してマークをつけて頂きます。マークは丸でも線状の印でも、好きな形状で付けて下さい。『マーク終了』を押すまで画面が移行することなく、押すと次の提示番号に移り変わります。書いたマークを消したい場合、『修正』を押しますとマークを全て消すことが出来ます。以上、ここまですべて1セットとなり、計48セット行います。ここまでの説明で何かわからない点はございますか？なければ最初に練習を行います。」

(6) 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、JPEG形式で保存した。さらに試料図形は、4つの図を1つの図に保存可能なソフト

(Microsoft Office PowerPoint 2007) で合成させ、JPEG形式で保存した。

(7) 基本図形

a) 橋梁形式

基本的な3つの下路アーチ系形式である、ランガー桁橋、ローゼ桁橋、ブレースドリブタイドアーチ橋を基本図形とした。基本図形を3個とする理由は、1つの基本図形を繰り返し提示した場合に、試料図形の作図パターンが被験者に推測されやすくなること、基本図形の図像記憶による情報が増大する可能性があることを回避することである。

b) 視線

1形式において、全て異なる視線とした。但し、橋梁形式が認知できない、試料図形において形態を操作した要素が認知できない視線は用いていない。

(8) 試料図形

a) 試料図形数

試料図形の数、形態を操作した組合せで作成可能な48図形とした。

b) バリエーションの作成方法

基本図形（ランガー桁橋，ローゼ桁橋，ブレースドリブタイドアーチ橋）をベースに構造要素を変化させるものとした。

c) 変化させる構造要素（橋梁変化要素）の決定

先行研究において次の3種類の構造要素が判別基準になる可能性が高いと明らかになったため，本論文でも同様の構造要素を用いる．変化させる橋梁の要素と変化のさせ方は，次の通りである。

① 基本構造（補剛桁構造，アーチ構造）

桁とアーチリブとの結合の有無であり，既存研究⁴⁾では視線誘引箇所として抽出されている。

② アーチリブの軸線（円，三角）

輪郭線を構成する要素であり，形態知覚，図と地の関係において重要な役割を果たすと考えられる。

③ 吊材の配置（鉛直，斜め，鉛直と斜め，無し）

水平成分が卓越する橋梁形態の中で，鉛直成分が卓越する要素であり，実際の橋梁においてもバリエーションがある。

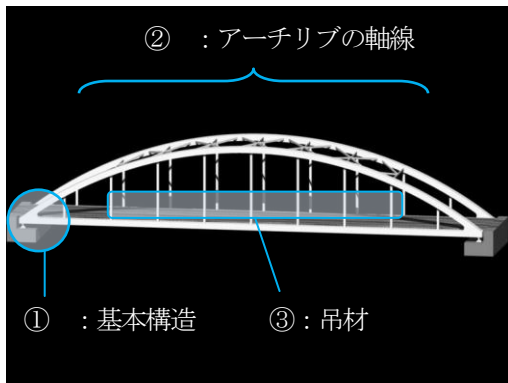


図-2 橋梁変化要素の概説図

d) 画面構成

先行研究では，基本図形と試料図形の画面構成が同じなために，図像記憶の照合を含んだ可能性がある実験結果となった．本論文では試料図形の画面構成を変更することで問題の解決を試みる．画面は4分割に構成されており，判別基準になると考えられる要素の拡大図を画面左下，右上下に配置した．また不連続な拡大図のみでは正しく照合ができない可能性があるため，全体像が把握できる図を画面左上に配置した（図-3）．全体像と拡大図は次の点を考慮した。

- 全体像は，基本図形と視覚的記憶の照合の可能性をなくすため視線入射角と俯角を変更させる．基本図形と試料図形の全体図は各セットの角度差の違いによる影響を含ませないように，視線入射角 $\pm 30^\circ$ ，俯角 $\pm 30^\circ$ の範囲で変化させた。

- 3つの拡大図は提示角度の変化による影響を含ませない

ように，全ての試料図形で一定とした．手前と奥の吊材が重ならず，3次元形態が把握しやすい，視線入射角 50° ，俯角 10° を採用した。

e) 提示順序

被験者に実験の意図が読まれないことを考慮して乱数表を用いて，ランダム提示とした．実際の提示順序を表-1に示す。

表-1 橋梁図形の構造要素・提示順序・視線 一覧

形式	リフ	基本構造	吊材	図形番号	提示番号	視線入射角(左), 俯角(右)			
						基本図形	試料図形(全体像)		
ランガー形式	円	補剛桁	直	1	28	60	20	90	-10
			斜	2	40	80	0	50	30
			直+斜	3	15	60	-10	90	20
			無	4	47	70	20	40	-10
		アーチ	直	5	11	50	30	80	0
			斜	6	4	40	0	70	30
			直+斜	7	21	40	30	70	0
			無	8	8	50	10	80	40
	三角	補剛桁	直	9	39	65	15	95	-15
			斜	10	36	60	10	90	40
			直+斜	11	30	70	10	40	40
			無	12	48	70	30	40	0
		アーチ	直	13	25	80	10	50	40
			斜	14	20	55	25	85	-5
			直+斜	15	12	80	50	50	20
			無	16	27	50	40	80	10
ローゼ形式	円	補剛桁	直	17	33	60	20	90	-10
			斜	18	14	80	0	50	30
			直+斜	19	35	60	-10	90	20
			無	20	24	70	20	40	-10
		アーチ	直	21	34	50	30	80	0
			斜	22	38	40	0	70	30
			直+斜	23	42	40	30	70	0
			無	24	17	50	10	80	40
	三角	補剛桁	直	25	44	65	15	95	-15
			斜	26	3	60	10	90	40
			直+斜	27	19	70	10	40	40
			無	28	31	70	30	40	0
		アーチ	直	29	7	80	10	50	40
			斜	30	26	55	25	85	-5
			直+斜	31	9	80	50	50	20
			無	32	2	50	40	80	10
ブレースドリブタイドアーチ形式	円	アーチ	直	33	37	60	20	90	-10
			斜	34	13	80	0	50	30
			直+斜	35	5	60	-10	90	20
			無	36	22	70	20	40	-10
		補剛桁	直	37	32	50	30	80	0
			斜	38	45	40	0	70	30
			直+斜	39	41	40	30	70	0
			無	40	6	50	10	80	40
	三角	アーチ	直	41	29	65	15	95	-15
			斜	42	1	60	10	90	40
			直+斜	43	10	70	10	40	40
			無	44	18	70	30	40	0
		補剛桁	直	45	23	80	10	50	40
			斜	46	16	55	25	85	-5
			直+斜	47	46	80	50	50	20
			無	48	43	50	40	80	10

基本図形と異なる構造要素

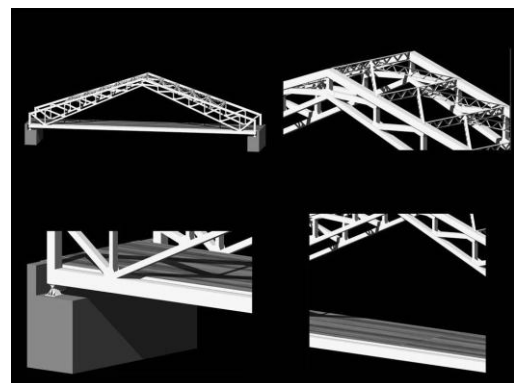


図-3 試料図形の画面構成

5. データ処理方法

実験は2009年9月1日と3日に行った。実験結果は実験プログラムより回答結果，反応時間，判別基準要素へマークされた画像が自動保存される仕様となっている。

(1) 一覧表の作成

橋梁図形の構成要素，提示番号，回答結果，反応時間，判断基準マークの有無を示した一覧表を作成する。

(2) 反応時間 (変換処理)

実験結果で得られた反応時間は，提示回数を反映させた反応時間として扱うため，データ処理する必要がある。X軸（提示番号），Y軸（反応時間）とした散布図を作成して，近似直線を求める。近似直線の傾きが提示回数が被験者に及ぼす影響と考えたため，提示回数を反映させた反応時間：Tは，実験で得られた反応時間：t，近似直線の傾き：a，提示番号：N，を求めることで次式で示すことができる。

$$T = t - a \times N \quad (1)$$

(3) 反応時間 (グルーピング)

(1)式で求められた反応時間を用いて，X軸（図形番号），Y軸（反応時間）として散布図を作成する。また反応時間の近い値を次の手順でグルーピングする。

- ① 最も反応時間の間隔が短い2点を1グループとする。
- ② 他点において同間隔である2点を1グループとする。
- ③ ①～②を繰り返していき，あるグループAの点と他グループBの点の2点が，間隔が短い2点になったとする。その場合，グループA，Bは1つのグループとしてグルーピングを行っていく。
- ④ ①～③を繰り返し，最終的に2，3つのグループとなるまでグルーピングを行っていく。

(4) 作業用画面

判断基準マークの有無を示した表を作成する。マークの有無を示す要素は，変更した構造要素（アーチリブ・基本構造・吊材）とそれ以外の要素とする。実験結果として判断基準マークがつけられた画像はマウスを使用して書き込まれている。被験者が任意でマークをつけたため，具体的にある要素を指摘したマークとなっていない可能性がある。そのためある要素を明確に指摘されたマーク（図-4）のみを扱い，曖昧なマーク（図-5）は実験結果として扱わない。

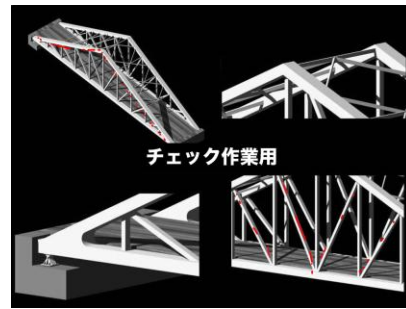


図-4 明確に指摘された橋梁図形（アーチリブと吊材）

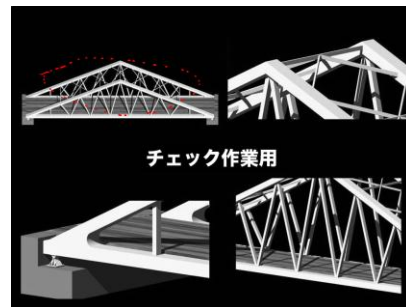


図-5 曖昧に指摘された橋梁図形

6. 分析結果

B社，被験者No. 1のランガー形式におけるの分析例を示す。

(1) B社，被験者No. 1，ランガー形式

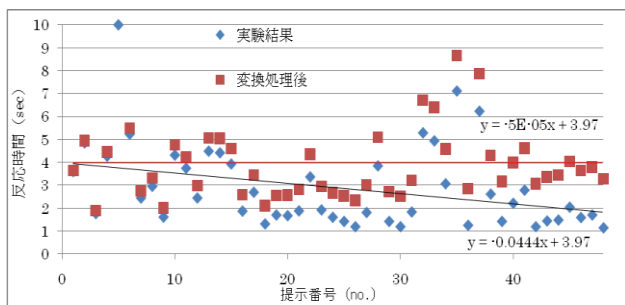
（実務経験3年，年齢30歳，視力1.0，アーチ系橋梁の設計経験有）

表-2 全形式の実験結果一覧表

type	No.	no.	time	Ans	ar	st	hu	o	type	No.	no.	time	Ans	ar	st	hu	o	
ラン ゲ ー 形 式	1	28	5.09	○					ブ レ ー ス ド リ ブ タ イ ド 形 式	33	37	7.87	○					
	2	40	3.99	×						34	13	5.06	○					
	3	15	4.59	×						35	5	10	99					
	4	47	3.79	×						36	22	4.34	×					
	5	11	4.23	×						37	32	6.71	○					
	6	4	4.44	×						38	45	4.04	×					
	7	21	2.82	×						39	41	4.6	×					
	8	8	3.31	×						40	6	5.49	×					
	9	39	3.15	×						41	29	2.71	×					
	10	36	2.85	×						42	1	3.64	×					
	11	30	2.52	×						43	10	4.76	×					
	12	48	3.27	×						44	18	2.11	×					
	13	25	2.53	×						45	23	2.94	×					
	14	20	2.56	×						46	16	2.58	×					
	15	12	2.98	×						47	46	3.63	×					
	16	27	3.01	×						48	43	3.35	×					
ロ ー ゼ 形 式	17	33	6.4	○														
	18	14	5.04	○														
	19	35	8.66	×														
	20	24	2.67	×														
	21	34	4.57	×														
	22	38	4.3	×														
	23	42	3.06	×														
	24	17	3.45	×														
	25	44	3.44	×														
	26	3	1.9	×														
	27	19	2.55	×														
	28	31	3.21	×														
	29	7	2.75	×														
	30	26	2.35	×														
	31	9	2.01	×														
	32	2	4.94	×														

*type: 橋梁形式
 *No.: 図形番号
 *no.: 提示番号
 *time(s): 反応時間
 *Ans: 回答結果
 ○: 同じ橋梁形式 ? : わからない
 ×: 異なる橋梁形式 99: 時間切れ
 判別基準となったマーキングの有無
 *ar: アーチリブ
 *st: 基本構造
 *hu: 吊材
 *o: 変更要素以外の要素
 ●: 判別基準マーク有
 ■: 構造要素の変更を示す

表-3 反応時間の変換



a) 構造要素における優劣関係

ランガー形式において、アーチリブ（三角），基本構造（アーチ構造），吊材（斜め），吊材（鉛直と斜め），吊材（無し）において判断基準マーク（●）の有無を示した（表-4）．また構造要素の優劣関係をまとめたものを表-5に示した．

表-4 構造要素の優劣検討表（ランガー形式）

	la					
	No.	no.	A	S	H	O
none	1	28				
hun1	2	40				
hun2	3	15			●	
hun3	4	47			●	
str	5	11		●		
str & hun1	6	4		●		
str & hun2	7	21		●		
str & hun3	8	8		●		
arc	9	39	●			
arc & hun1	10	36	●			
arc & hun2	11	30	●			
arc & hun3	12	48	●			
arc & str	13	25	●			
arc & str & hun1	14	20	●			
arc & str & hun2	15	12	●			
arc & str & hun3	16	27	●			

・No.: 図形番号
 ・no.: 提示番号
 基本図形より変更させた要素
 ・none: 変更要素なし
 ・arc: アーチリブ
 ・str: 基本構造
 ・hun1: 吊材(斜め)
 ・hun2: 吊材(鉛直と斜め)
 ・hun3: 吊材(無し)
 判別基準となったマーキングの有無
 ・A: アーチリブ ・H: 吊材
 ・S: 基本構造 ・O: 変更要素以外の要素
 ・●: 判別基準マーク有
 ・○: 判別基準マーク無
 ・■: 構造要素の変更を示す
 橋梁形式
 ・la: ランガー形式

表-5 B社, 被験者 No. 1 における構造要素の優劣関係

・1次要素
アーチリブ(三角), 基本構造(アーチ構造), 吊材(無し)
・2次要素
吊材(斜め), 吊材(鉛直と斜め)
・3次要素
該当要素なし

・アーチリブ（三角）

No. 11～16は、アーチリブの変更を有した橋梁図形である。「A: アーチリブ」の全ての欄に判断基準マークがついていることが確認できる。

・基本構造（アーチ構造）

No. 5～8, 13～16は、基本構造の変更を有した橋梁図形である。「S: 基本構造」の全ての欄に判断基準マークがついていることが確認できる。

・吊材（斜め）

No. 2, 6, 10, 14は、吊材の変更を有した橋梁図形である。「H: 吊材 (hun1)」のNo. 2, 10の欄に判断基準マークがついていることが確認できる。

・吊材（鉛直と斜め）

No. 3, 7, 11, 15は、吊材の変更を有した橋梁図形である。「H: 吊材 (hun2)」のNo. 3, 7, 11の欄に判断基準マークがついていることが確認できる。

・吊材（無し）

No. 4, 7, 11, 15は、吊材の変更を有した橋梁図形である。「H: 吊材 (hun3)」の全ての欄に判断基準マークがついていることが確認できる。

b) グルーピング

X軸（図形番号），Y軸（反応時間）とした散布図を用いてグルーピングを行い，反応が早いグループと遅いグループに大別した（図-5）．No. 1-3, No. 4-8の間隔で反応時間の差が大きくなっていることがわかる．各グループの抽出結果を示す（表-6）．

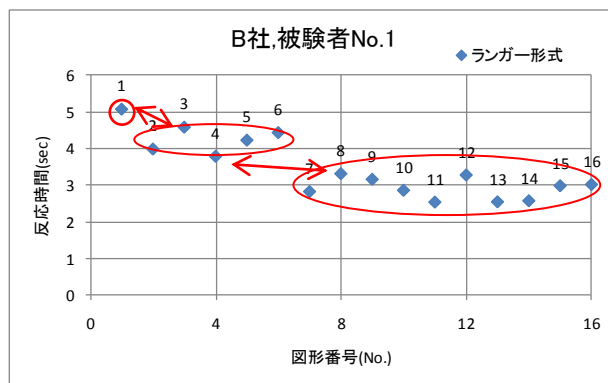


図-5 反応時間のグルーピング

表-3 グループの大別

・グループ1（反応時間が長い）
図形番号 1
・グループ2（中間層に位置する）
図形番号 2,3,4,5,6
・グループ3（反応時間が短い）
図形番号 7,8,9,10,11,12,13,14,15,16

c) 認知プロトタイプ

各グループの抽出結果から，認知プロトタイプの特定を行う．反応時間が長い場合，物システムプロトタイプと照合，反応時間が短い場合，物プロトタイプと照合とする．但し，No. 1は形態変化を有していない橋梁図形であるため，物システムプロトタイプの照合が行われていないと考えられる．そのため，グループ2（中間層に

位置する)を物システムプロトタイプの照合が行われたと考えられ、グループ3(反応時間が短い)を物プロトタイプで照合が行われたと考えられる。

d) 認知プロトタイプの特徴

物システムプロトタイプ、物プロトタイプの照合が行われた橋梁図形から、各プロトタイプが喚起する要因となった構造要素を抽出する。

表-7 認知プロトタイプの特徴抽出

物システムプロトタイプの特徴
<ul style="list-style-type: none"> •No.2→判断基準マーク箇所:吊材(斜め) •No.3→判断基準マーク箇所:吊材(鉛直と斜め) •No.4→判断基準マーク箇所:吊材(無し) •No.5→判断基準マーク箇所:基本構造 •No.6→判断基準マーク箇所:基本構造
<p>物システムプロトタイプの照合を喚起させる要因</p> <ul style="list-style-type: none"> ①基本構造の形態変化 ②吊材のみの形態変化(斜め,鉛直と斜め,無し) <p>但し,①+②のように,複数の形態変化を有する場合,喚起されない可能性がある。</p>
物プロトタイプの特徴
<ul style="list-style-type: none"> •No.7→判断基準マーク箇所:基本構造,吊材(斜めと鉛直) •No.8→判断基準マーク箇所:基本構造,吊材(無し) •No.9→判断基準マーク箇所:アーチリブ •No.10→判断基準マーク箇所:アーチリブ,吊材(斜め) •No.11→判断基準マーク箇所:アーチリブ,吊材(斜めと鉛直) •No.12→判断基準マーク箇所:アーチリブ,吊材(無し) •No.13→判断基準マーク箇所:アーチリブ,基本構造 •No.14→判断基準マーク箇所:アーチリブ,基本構造 •No.15→判断基準マーク箇所:アーチリブ,基本構造 •No.16→判断基準マーク箇所:アーチリブ,基本構造,吊材(無し)
<p>物システムプロトタイプの照合を喚起させる要因</p> <ul style="list-style-type: none"> ①アーチリブの形態変化 ②複数個の形態変化

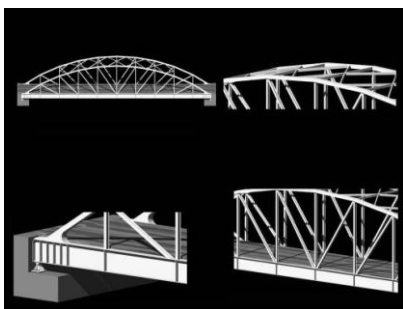


図-6 物システムプロトタイプで照合した可能性がある橋梁図形 (No. 3)

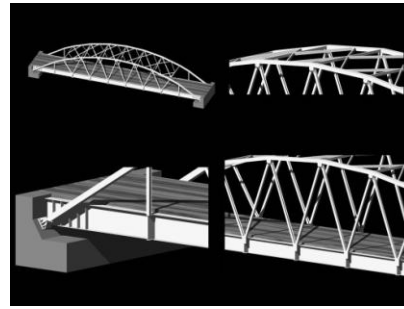


図-7 物システムプロトタイプで照合した可能性がある橋梁図形 (No. 6)

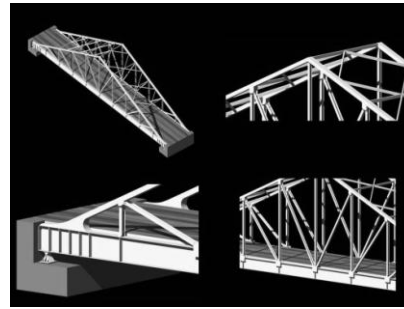


図-8 物プロトタイプで照合した可能性がある橋梁図形 (No. 11)

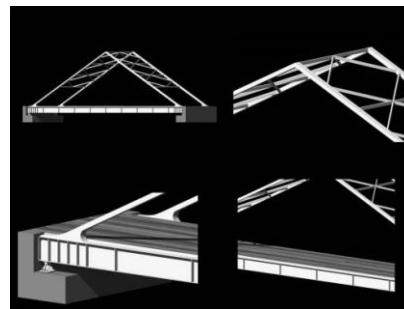


図-9 物プロトタイプで照合した可能性がある橋梁図形 (No. 12)

7. 結論

先行研究では、基本図形の図像記憶による実験結果を除く手間を必要としたが、本論文は実験方法を改善したことで、その手間を省き、容易にプロトタイプが特定できる実験方法となった。また橋梁プロトタイプの構造要素に対して優劣関係を特定し、2種類のプロトタイプの存在を確認できたことで、個々人が有するプロトタイプの特徴の1つとして抽出することができた。

8. 今後の課題

本論文では、反応時間の短長を指標として、認知プロトタイプを特定したが、その中間に位置するデータに関

して、認知プロトタイプを特定できていない。また散布図のグルーピングを認知過程の切り替えとしたが、その妥当性について言及できていない。認知の切り替えとした反応が検知できる1つの方法として、脳波計を用いた実験を行うことができれば、さらに具体的な認知プロトタイプの特定期待できる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、実験プログラムを作成して頂いた木下雄一朗 助教（山梨大学コンピュータ・メディア工学科），被験者としてご協力して頂いた方々に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 石井信行：構造物の視覚的力学，鹿島出版会，2003.
- 2) 石井信行，白倉 誠，鈴木美穂，行場次朗：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，構造工学論文集Vol. 50A, pp. 303-313, 2004.
- 3) 石井信行，奥田隆啓，：橋梁専門家が有する橋梁認知プロトタイプの特定期方法，構造工学論文集Vol. 53A, pp. 246-277, 2007.
- 4) 杉山和雄：橋の造形学，朝倉書店，pp. 97～100, 2001.
- 5) 岡林春雄：認知心理学入門，金子書房，pp. 32-33, 1995.
- 6) 行場次郎，箱田裕司：知性と感性の心理学，福村出版，pp. 80-84, 2000.
- 7) 高野陽太郎：認知心理学，東京大学出版，pp. 13-15, 2006.