

# 認知過程から見た高架橋の一体感

乾 敬道<sup>1</sup>・平野 勝也<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 東北大学大学院情報科学研究科 博士課程前期2年の課程  
(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻青葉 6-6-06, E-mail:inui@plan.civil.tohoku.ac.jp)

<sup>2</sup> 正会員 工博 東北大学大学院情報科学研究科 准教授  
(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻青葉 6-6-06, E-mail:hirano@plan.civil.tohoku.ac.jp)

高架橋デザインの定説として、上部構造と下部構造の一体感が高評価に繋がると言われている。本研究では、「一体感がある」とは「知覚分化過程において分化が遅いことである」と定義し、認知科学実験と印象評価から、「一体感がある高架橋は美しい」という定説を実証的に明らかにした。更に、桁の側面を滑らかにしフェイスアを強調したデザインが、一体感があり美しいという評価に繋がることがわかった。

**キーワード:** 高架橋, 橋梁デザイン, 知覚分化過程

## 1. はじめに

### (1) 背景と目的

高速鉄道や高速道路などの交通網の整備に伴い、国内には多くの高架橋が建設されてきた。今後も高架橋の社会的ニーズはあり続けるものと考えられる。しかし歩行者や運転者は高架橋から圧迫感や威圧感を感じやすく、そのデザインには、地域景観をリードする役割を持たせることではなく、すっきりと煩雑でないようにまとめることが求められる。すっきりとした橋梁デザインのみをまとめることにより高い評価を得るという手法が考えられる。

橋梁デザインの際に留意すべき事項に関する研究として、プロポーション、視覚的なバランス、周辺環境との調和に着目した杉山らの研究などが挙げられる。上部構造と下部構造の一体感について着目した研究の例はないが、一体感は橋梁全体の形に関わる、重要な留意点である。

従って、本研究の目的は、1. 「一体感がある高架橋は美しい」という定説を実証的に明らかにすること、2. 一体感があり美しい高架橋がどのようなデザイン要素を持っているか明らかにすることとする。

### (2) 観点

複数の高架橋の画像を用意し、それらを美しさで評価し、一体感について別々に評価し2軸にプロットすると、「一体感がある高架橋は美しい」という定説通りであれば図-1のようになると考えられる。この図のように、一体感があり美しいもの（図-1右上）が分布し、一体感はあるが

美しくないもの（図-1左上）が分布しなければ、一体感があるものは美しさの評価が高いことを実証できる。ただし、これは理想的な高架橋を用いた場合に予想される結果であり、部材の組み合わせの悪さ、プロポーションの悪さ、高欄など装飾の悪さ、表面の汚れなどによって、一体感があっても美しくないという評価を受ける可能性はあると考えられる。

一方、美しさを左右する要因は一体感以外にも多様であるので、美しさの評価が高いものには様々な一体感のものが観察されると予想される（図-1右）。更に、右上に分布する高架橋から、一体感があり美しさの評価の高い高架橋がどのようなデザインなのかを明らかにする。

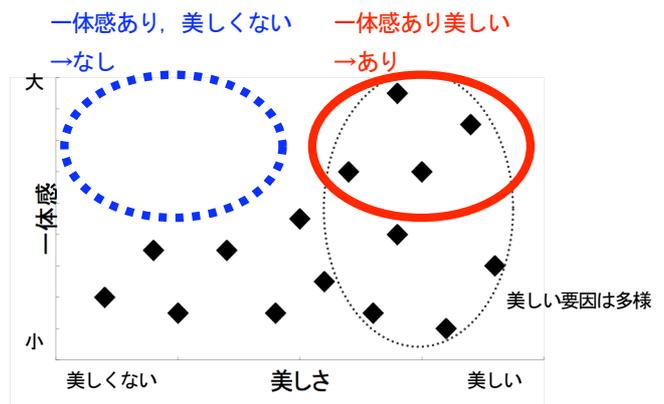


図-1 美しさと一体感の関係

### (3) 評価方法

一体感の評価には、認知科学的アプローチを採用する。SD法などの印象評価は評定法の曖昧さという問題を抱えており、一体感という抽象的な概念を評価するには相応

しくないと考えたからである。

ゲシュタルトの法則により、まとまりのある形ほど1つの塊として認識されやすいことがわかっている。また、大域優先性効果により、人はものを見る時大きなまとまりから認識することがわかっている。すなわち、人がものを知覚する過程においては、まず大きなまとまりを知覚し、徐々に小さなまとまりを知覚してゆくという過程（分化過程）が生じる。従って、この分化過程においては、一体感がある図ほど分化するのが遅いと言えるのではないだろうか。

よって本研究では、「『一体感がある』とは、『知覚分化過程において分化が遅い』ことである」と定義し、知覚分化過程を追うことで一体感の評価を行う。分化過程を把握する手段として瞬間視実験（実験1）を採用する。また、美しさの評価は、順位法を用いた印象評価（実験2）により行った。

## 2. 一体感に関する瞬間視実験（実験1）

### (1) 方法

#### a) 刺激

全刺激について、部材の寸法、刺激画像中の高架橋の占有割合、高架橋の色彩・テクスチャ、視点、光のあたり方は全て同一にする必要がある。従って、刺激画像はCADを用いたCGとした。周辺環境も高架橋の一体感に影響すると考えられるが、周辺環境を刺激ごとに変えると刺激の数が膨大になり実験が煩雑になる上、被験者の回答が難しくなり曖昧さが増すと考えられる。よって本実験では、高架橋自体の一体感に主眼を置き、背景は黒色とした。部材のプロポーシオンは典型的な高架橋と考えられる亀泉高架橋（前橋市）を参考にし、桁と橋脚を組み合わせるのには加算法と減算法を用いた。加算法、減算法とは、杉山<sup>2)</sup>が提案する、人が形をどう解釈しているかを示すもので、加算法は2つ以上の形を足し合せているという解釈、減算法は塊から形を切り出しているという解釈である。

代表的な形状のものとして、桁は水平方向について弧か直線か、鉛直方向について弧か直線かの組み合わせで4種類、橋脚は角型橋脚、V字橋脚、T字橋脚で3種類を選定した（図-2）。それらを組み合わせで加算法で桁橋を、減算法で連続アーチ橋を作成した。減算法で作成した刺激は連続アーチ橋としては見慣れないプロポーシオンだが、これは加算法の刺激とスパンを揃えたためである。なお減算法で水平方向が直線の桁を各橋脚と組み合わせることは理論上不可能であり、全18種類の刺激画像は表-1のようになった。刺激の名前は「桁の水平方

向形状・桁の鉛直方向形状・橋脚の形状型（必要に応じて、加算法か減算法か）」と名付けた。これらはR.G.B256階調・800×600ピクセルで、12.1インチTFTカラー液晶モニターを用いて表示した。

#### b) 手続き

被験者は約57cm前方の画面を両眼視する。実験者が手元のボタンを押すと、黒色の背景に凝視点画面が約0.5秒表示され、その後刺激画像が提示される。直後に被験者の残像を消すためのマスク画面が表示され、その後被験者に見えたものをスケッチさせる。刺激画像の露出時間は50ms, 70ms, 90ms, 150ms, 300ms, 500ms, 1000msの7段階であり、短い露出時間から順に徐々に露出時間を長くしながら画像の提示とスケッチを繰り返した。スケッチは刺激ごとに決められた紙にさせ、露出時間ごとに異なる色の色鉛筆を使うことにより各デザイン要素（後述）がいつ知覚されたかをわかるようにした。被験者の疲労を考慮し、このような課題を一人の被験者に対し全刺激のうち半数についてやらせた。なお被験者の学習を極力排除するため、画像の提示順は露出時間ごと、被験者ごとにランダムにした。また同様の理由から、刺激とは関係のないイラストを書き写す課題を本課題と交互にやらせた。

#### c) 実験計画

実験は2009年1月9日～2009年1月20日に行った。被験者は18歳から25歳の男性31名・女性9名、計40名（1刺激あたり20名）である。ただし、橋梁に関する専門知識があると知識を頼りに見えていない要素を記入してしまう恐れがあるので、被験者には土木・建築の専門家及び学生は含まれていない。なお被験者の大半は学生であるが、本実験は人間に備わる原初的な機能を試すものであり、被験者の偏りは結果に影響しないと考えられる。

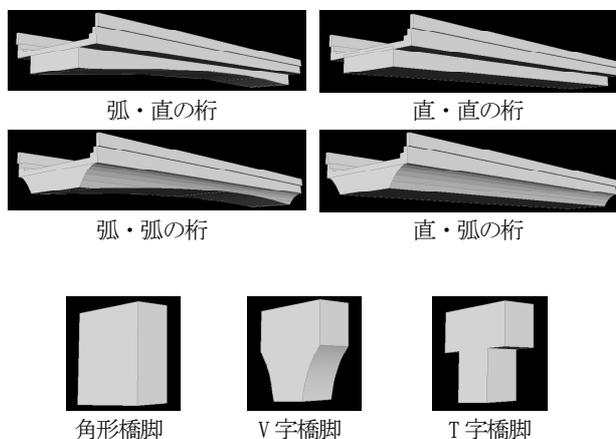
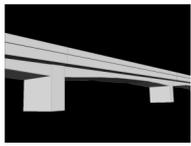
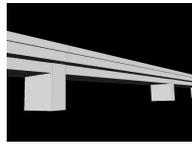
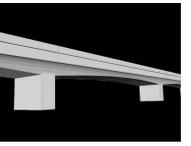
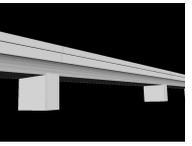
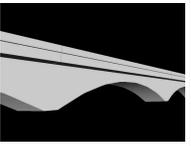
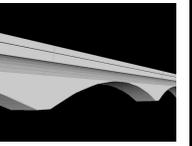
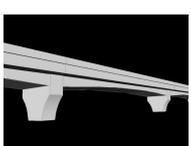
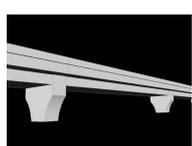
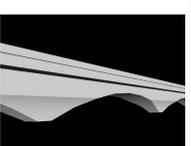
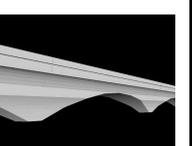
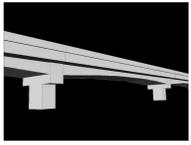
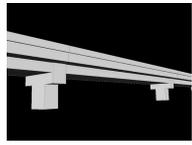
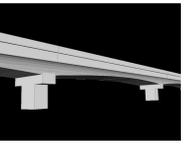
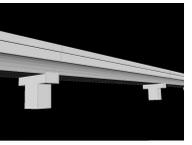
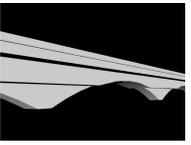
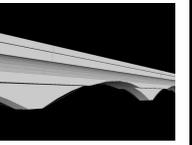


図-2 刺激作成に用いた桁と橋脚

表-1 刺激

	加算法				減算法	
	弧	直	弧	直	弧	弧
桁 水平	弧	直	弧	直	弧	弧
桁 鉛直	直	直	弧	弧	直	弧
桁	弧・直の桁	直・直の桁	弧・弧の桁	直・弧の桁	弧・直の桁	弧・弧の桁
角型橋脚	弧・直・角型(加) 	直・直・角型 	弧・弧・角型(加) 	直・弧・角型 	弧・直・角型(減) 	弧・弧・角型(減) 
V字橋脚	弧・直・V型(加) 	直・直・V型 	弧・弧・V型(加) 	直・弧・V型 	弧・直・V型(減) 	弧・弧・V型(減) 
T字橋脚	弧・直・T型(加) 	直・直・T型 	弧・弧・T型(加) 	直・弧・T型 	弧・直・T型(減) 	弧・弧・T型(減) 

(2) 分化過程の把握

瞬間視実験からは各刺激各露出時間毎の知覚要素が描かれたスケッチが得られる。いつ高架橋のデザイン要素が分化したか、どのような分化過程を辿ったのかの2点に着目し、スケッチから判断する。

高架橋を構成する要素を図-3のように橋脚、主桁、桁側面、壁高欄に分類し、これらをデザイン要素と呼ぶ。上部構造と下部構造の一体感を評価するための指標として、橋脚と主桁がいつ分化したのかに着目し、各刺激各露出時間ごとの知覚要素が描かれたスケッチから判断する。橋脚と主桁が最後まで分化しなかった場合は8段階目、1500msで分化したものとした。また、各刺激においてどのような分化過程が観察されるか調べた。その際デザイン要素が新規知覚として描かれた場合、その時点で分化したものとした。

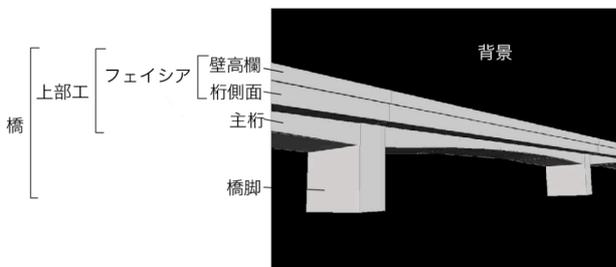


図-3 デザイン要素の名称

(3) 結果

18種の刺激について各20人の被験者から計360枚の

スケッチが得られた。得られたスケッチからいつ橋脚と主桁の分化が生じたか読み解き、刺激ごとにその平均時間 (s) を算出した結果を表-2 にまとめた。被験者によって瞬間的に提示される画像に対する反応時間の違いは見られたが、同一の被験者において刺激によって反応時間が大きく異なることはなかったため、平均時間による分析が可能である。この値が大きいほど分化が遅く一体感がある高架橋だと言え、一体感の大きさを表す指標になる。以後この値を一体感値と呼ぶ。

図-4 は観察された分化過程の例である。分化を実線矢印で、新規知覚を点線矢印で示している。まず刺激画像全体から背景とフェイスア、橋脚が分化し、次にフェイスアから壁高欄と桁側面が分化し、その後に主桁が新たに知覚されたことをまとめた図である。このように、各デザイン要素が分化した順序、新規知覚の起こった順序を基に、フロー図を全スケッチについて作成した。それらを分類すると大きく分けて加算法で10通り、減算法で4通りの分化過程が観察された。

表-2 一体感値 (s)

刺激	時間	刺激	時間
弧・直・角型(加)	0.278	直・弧・角型	0.262
弧・直・V型(加)	0.193	直・弧・V型	0.299
弧・直・T型(加)	0.120	直・弧・T型	0.279
直・直・角型	0.0955	弧・直・角型(減)	1.50
直・直・V型	0.183	弧・直・V型(減)	1.50
直・直・T型	0.211	弧・直・T型(減)	1.50
弧・弧・角型(加)	0.181	弧・弧・角型(減)	1.50
弧・弧・V型(加)	0.293	弧・弧・V型(減)	1.50
弧・弧・T型(加)	0.229	弧・弧・T型(減)	1.50

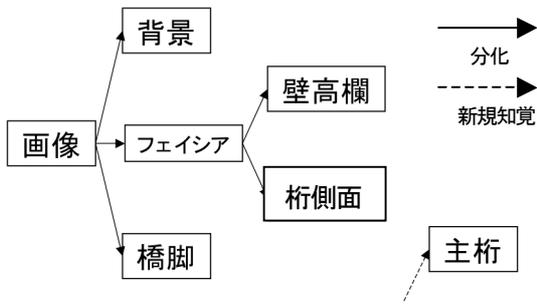


図-4 観察された分化過程の例  
(主桁よりフェイスアが先に知覚された分化過程)

### 3. 美しさの印象評価 (実験2)

#### (1) 方法

##### a) 刺激

橋梁の全体像がよりよく見えるように、実験1で用いた高架橋の、より広範囲の部分が見えるようにしたものを用いた。

##### b) 手続き

順位法を用いて印象評価を行う。評価言語には、橋梁に対する総合評価として「美しさ」を選択した。

1枚につき1つの刺激を全面に印刷した計18枚のA4用紙を被験者に渡し、「美しい」と思う順に並べさせる。作業は十分な広さのある机の上で行わせ、特に時間の制限は設けなかった。

得られたデータからThurstoneの比較判断の法則ケースVに則り、「美しさ」の選好尺度値を算出した。これは選ばれた順序だけでなく、各刺激ごとの選ばれ方の違いも表現している相対値である。

#### (2) 結果

「美しさ」の選好尺度値は表-3のようになった。

表-3 「美しさ」の選好尺度値

刺激	選好尺度値	刺激	選好尺度値
弧・直・角型(加)	0.744	直・弧・角型	0.601
弧・直・V型(加)	1.02	直・弧・V型	0.687
弧・直・T型(加)	0.642	直・弧・T型	0.35
直・直・角型	0.427	弧・直・角型(減)	1.04
直・直・V型	0.711	弧・直・V型(減)	0.855
直・直・T型	0.508	弧・直・T型(減)	0.384
弧・弧・角型(加)	0.936	弧・弧・角型(減)	1.07
弧・弧・V型(加)	0.83	弧・弧・V型(減)	0.862
弧・弧・T型(加)	0.572	弧・弧・T型(減)	0.499

### 4. 考察

図-5は横軸に美しさの選好尺度値、縦軸に一体感値を取り全刺激をプロットしたものである。これより、加算法に比べ減算法の刺激は圧倒的に一体感が大きいことがわかる。その理由については後述するが、高架橋の多くは加算法を用いた桁橋であるため、加算法の刺激の中で一体感が大きいものを明らかにしていくことにも意義があると思われる。以下では、まず1つ目の目的である「一体感がある高架橋は美しい」という定説が明らかになったかについて考察する。次に2つ目の目的である、一体感があり美しい高架橋が、どのようなデザイン要素を持っているかについて考察する。

#### (1) 定説の実証

##### a) 減算法の刺激

表-2より、減算法の刺激全てで一体感値が1.50であることがわかる。すなわち、減算法の刺激の全てにおいて最後まで主桁と橋脚の分化が起こらなかった。これは減算法とは塊から形を切り出す手法であり、橋脚と主桁は一体となって切り出されるためである。従って減算法の高架橋に一体感があるというのは当然の結果と言える。

図-5の減算法の刺激に着目すると、美しさの評価が低い弧・直・T型(減)と弧・弧・T型(減)のグループと、美しさの評価が高いその他の刺激からなるグループがある。前者の美しさの評価が低かったのは、これらは共通して橋脚 $\gamma$ を持っており、T字橋脚は減算法で連続アーチ橋を作るには不向きであるためであると考えられる。つまり、一体感はあるものの美しくないという刺激が表れたのは、現実では考えづらい組み合わせが原因であると考えられる。それ以外の刺激では「一体感がある高架橋は美しい」という定説に従った結果になった。

##### b) 加算法の刺激

表-2より、加算法の刺激の中では弧・直・角型(加)、弧・弧・V型(加)、直・弧・角型、直・弧・V型、直・弧・T型の一体感値が大きい。また加算法のみをプロットした図-6より、これらの刺激のうちの多くは美しさの評価も高いことがわかる。従って、加算法の刺激についても、概ね、「一体感がある高架橋は美しい」という定説を実証的に示す事ができたと言える。例外として直・弧・T型は、一体感はあるものの美しさの評価が低いが、それは直・弧の桁とT字橋脚の相性が悪かったためと推測される。

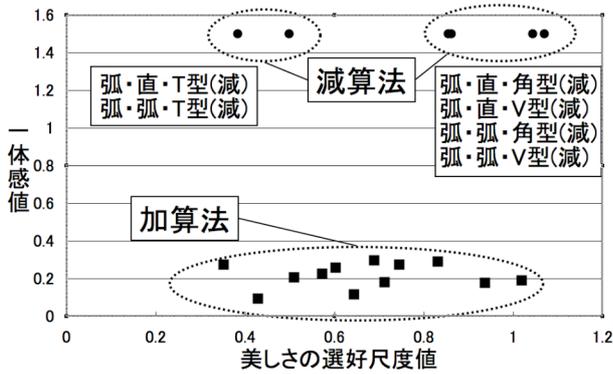


図-5 美しさと一体感 (全刺激)

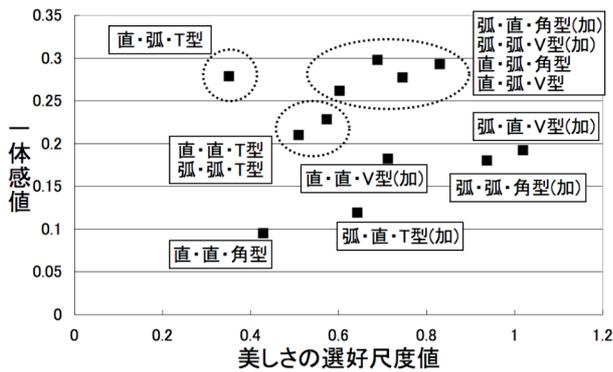


図-6 美しさと一体感 (加算法の刺激のみ)

(2) 一体感が大きく美しい高架橋デザイン要素

a) 減算法の刺激

弧・直・T型(減)と弧・弧・T型(減)以外的高架橋が、一体感があり美しい高架橋デザインである。それにはT字橋脚以外を用いた高架橋が当てはまる

b) 加算法の刺激

そもそも直感的に加算法は減算法に比べ一体感を持たせるのが難しいと思われるが、その中で一体感があると評価を受けたのはどのようなデザインの刺激であったのだろうか。

表-4は、パタン分類した分化課程から、図-4と同様に、先にフェイスア(桁側面+壁高欄)が知覚され、後から主桁が新規知覚されるという分化過程を辿った被験者数を刺激ごとにまとめたものである。弧・弧・角型(加)、弧・弧・V型(加)、弧・弧・T型(加)ではこの分化過程を辿った被験者数が特に多く、直・弧・角型、直・弧・T型でもこのような分化過程が最も多く観察された。従って、弧・弧の桁や直・弧の桁を持つ、主桁の側面を滑らかにし、フェイスアを強調したデザインが、このような分化過程を導いたと考えられる。特に弧・弧の桁は水平方向でも橋脚との繋がりを滑らかにしており、主桁が遅く知覚されやすかったと考えられる。このうち弧・弧・

V型(加)、直・弧・角型、直・弧・T型は一体感値が大きかったが、弧・弧・角型(加)、弧・弧・T型(加)は一体感値が小さい。これらの刺激では、主桁と橋脚のまとまりが悪かったため分化が早かったと推測される。また、直・弧・T型では図-4のような分化過程はあまり多くなく、図-7のような分化過程が7人と最も多く見られた。これより、直・弧・T型では主桁側面を滑らかにしているデザインにより、上部工全体の知覚は早かったものの主桁の知覚が遅くなり、一体感値が大きくなっていると推測される。

以上述べてきた、桁の鉛直方向が弧になっている6つの刺激のうち弧・弧・V型(加)、直・弧・角型、直・弧・V型では一体感だけでなく、美しさの評価も高い。従って、主桁の側面を滑らかにし、フェイスアを強調したデザインが美しさの評価が高く、一体感がある高架橋デザインと言える。

また、もう一つ美しさも一体感も評価の高い弧・直・角型(加)では、図-8のような分化過程が多く見られた。これは上部構造から主桁、桁側面、壁高欄が順に分化するというもので、全体が塊として認識された後、時間をかけ塊の詳細を認識していることがわかった。弧・直・角型(加)では桁と橋脚の組み合わせがよかったことが、美しさと一体感の高評価に繋がったと推測される。

直・弧・T型と同じ橋脚を持つ直・直・T型や弧・弧・T型では、直・弧・T型ほど顕著ではないものの、一体感値は大きい美しさの評価が低かった。従って、T字橋脚は一体感を高めることにより美しさの高評価を狙うには相応しくないデザインであると考えられる。

表-4 主桁よりフェイスアが先に知覚された人数 (20人中)

刺激	人数(人)	刺激	人数(人)
弧・直・角型(加)	3	弧・弧・角型(加)	12
弧・直・V型(加)	4	弧・弧・V型(加)	14
弧・直・T型(加)	8	弧・弧・T型(加)	14
直・直・角型	9	直・弧・角型	9
直・直・V型	0	直・弧・V型	6
直・直・T型	1	直・弧・T型	4

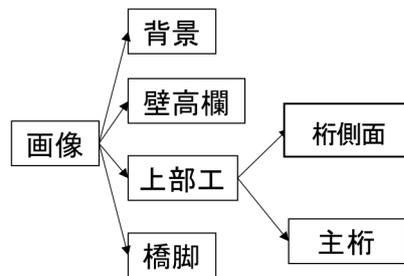


図-7 No. 12で多く見られた分化過程

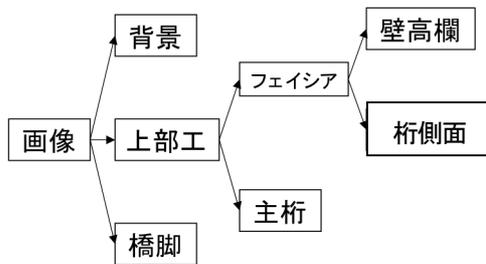


図-8 No.1 で多く見られた分化過程

#### 4. まとめ

「一体感がある高架橋は美しい」という既存の知見を実証することを目的として、一体感を認知実験で評価し、美しさを印象評価で評価した上で両者を突き合わせて検証した。その結果、刺激を単に部材の組み合わせだけで決めたために相性の良し悪しが生じてしまい、一体感が大きくても美しさの評価が低いという刺激が見られた。このように、一般性のある刺激作成方法を優先したために限界はあるものの、その範囲内では概ね定説通りの結果になった。

また、美しさの評価が高く一体感のある高架橋デザインの一部がわかった。具体的には、T字橋脚ではない橋脚を持つ減算法の高架橋と、桁の側面を滑らかにしフェイスを強調した加算法の高架橋が当てはまる。

ただし上記の結果は本実験で用いた刺激に関する限りのものである、今後異なる様式の刺激を用いて実験を行うことによって、新たな知見が得られるものと考えている。

#### 謝辞

本実験に際し、実験環境や貴重なご助言を賜りました東北大学大学院情報科学研究科 和田裕一准教授には厚く謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 杉山俊幸, 深澤泰晴, 清水克彦, 中村哲也, 寺西功: 加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, pp.677-686, 1991
- 2) 杉山和雄: 橋の造形学, 朝倉書店, 2001