

トンネル坑門デザインの心理評価構造に関する 実験的研究

中園真人*・鈴木昌次**・古川浩平***・
中川浩二****

本研究は、高速道路のトンネル坑門デザインに関し、面壁型及び突出型坑門を対象としたスライド写真による心理評価実験により、坑門形態が与えるイメージについて比較考察し、坑門設計の留意点について述べたものである。本論では坑門形態に対する印象及び好感度をSD法により把握し、ファジィ数量化理論Ⅱ類と数量化理論Ⅱ類を用いてトンネル坑門の好感度の判別要因分析を行っている。

Key Words : tunnel gate, design, semantic differential method, image analysis

1. はじめに

トンネル坑門の主たる役割として、(1) 後背斜面土圧を受け止め地山を安定させたり、落石・雪崩から道路を護る等の構造物としての基本的役割、(2) 明暗差の緩和によるドライバーの目の順応性の確保や面壁輝度低下による眩しさの解消等の視覚的安全性を確保する役割、(3) 暗部に高速で進入する際の心理的緊張感の緩和及び坑門周辺の景観との調和を図る役割が挙げられる。(1)は道路及び鉄道トンネルにおける力学的な基本的課題であり、従来から斜面安定問題を含め多く検討されてきた。また近年、FEM等による数値解析技術の発達によりその信頼性も高まっている。これに対し、(2)(3)は特に道路トンネルにおいて重要性が指摘される役割である。(2)は基本的には道路計画上の課題であり、目の順応性の確保に関してはこれまでも進入路の線形や坑門付近の照明等に多く検討が加えられてきた。このように(1)及び(2)の一部の問題に関しては、今日では多くの研究成果を見る事が出来る^{1),2)}。

一方近年土木構造物のデザインに対する社会的要請が高まり、坑門に関しても個々の建設事例において、必要に応じて計画・設計段階において景観設計の観点からの検討も行われ始めた。しかし、一般的な設計方針という点では未だ充分な検討が行われているとは言いがたい。(3)の景観設計の立場からトンネル坑門をとりあげる場合、従来は道路利用者の走行安全性の向上に視点を置いた人間工学的アプローチが行われてきた³⁾。これはいわばリスク回避を目標にした設計概念であるが、今日ではトンネル坑門を道路景観の主要な構成要素として位置

づけ、道路利用者の坑門形態に対する心理的な印象や快適感の向上を目指す視点からのデザインが求められている。一方道路建設に伴うトンネル開削は自然環境の改変をもたらす、特にトンネル坑門は法面擁壁とともに地域景観に及ぼす影響が大きいことから、周辺環境と調和した新たな景観創造という視点からのデザインが重要である。

土木工学においては、橋梁設計の分野でこうした視点からの研究・設計事例の蓄積が豊富であり⁴⁾⁻⁸⁾、近年では河川計画の分野においても様々な試みがなされている⁹⁾⁻¹³⁾が、トンネル坑門のデザインに関しては、筆者等の知る限りにおいては過去に研究例は見当たらない。そこで本論では既存のいくつかの形式の異なる坑門をとりあげ、心理評価実験によりトンネル坑門の形態特性と人間の心理評価との関係を明らかにする。尚、構造物の設計に関しては前述した力学的問題、道路計画上の問題を含め総合的に論ずるべきであるが、ここでは課題を明確にするため、道路利用者の快適性向上という立場からの景観を対象とする。

方法としては、まず坑門のデザイン要素について考察し、坑門形態を要素別に分類する。次にこの坑門分類をもとに坑門写真を用いた心理評価実験を行う。評価方式として、新たな試みとしてファジィ理論の応用を念頭においた回答形式を適用している。分析手順は、まずデザイン要素と形態評価の関係に関する基本的検討を行い、次いで数量化理論を用いて好感を持たれる坑門形式の判別要因を明らかにする。

2. トンネル坑門のデザイン要素

図-1はトンネル坑門の一般的な形式を示したものであり¹⁴⁾、面壁型と突出型は現状では最も典型的な形式として位置づけられる。

面壁型坑門はその面壁形状によりウィング式とアーチ

* 正会員 工博 山口大学助教授 工学部社会建設工学科
(〒755 宇部市常盤台 2557)

** 正会員 工博 (株)大本組 技術研究所

*** 正会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科

**** 正会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科

種類 項目	面壁型		半突出型	突出型		
	ウィング式	アーチウィング式	パラベット式	突出式	竹割(逆)式	ベルマウス式
形状と種類						

図—1 坑門形式

ウィング式に区分されるが、ウィング式は両切土の場合や背面土圧を全面的に受ける場合に採用される形式で、切土法面保護のためのトンネル上部擁壁が露出する等の、景観の配慮に欠ける施工事例も見られる。アーチウィング式は比較的地形がなだらかな場合や左右の切土が少ない場合に採用される形式で、面壁形状としては一般的に左右対象の整った形状となる。これら面壁型坑門のデザイン要素としては第一に面壁の形状があげられ、ウィング式の場合には面壁上部の処理方法により直線形や台形等のバリエーションが存在する。またアーチウィング式の場合には面壁上部のアーチ曲線形状及びアーチ部分の壁高によりデザインに多様性が見られ、面壁上部の形態決定がデザイン手法として重要な意味を持つ。また第二には面壁の仕上げとその処理方法があげられる。従来面壁に関しては、運転者の安全確保のための輝度低下が設計上の配慮事項として取り上げられる程度であったが、近年では打放しコンクリートに目地入れし面に変化をもたせた事例や、コンクリート面に仕上げ用タイルを張り付けた事例、さらには壁画を嵌め込んだ事例等、面壁の装飾例が増加している。

一方突出型坑門はその突出部の立体形状により一般的には突出式、竹割式、逆竹割式、ベルマウス式、逆ベルマウス式に区分されている。突出式は坑口周辺の地質が不良で押さえ盛土が必要な場合に用いられる。竹割及び逆竹割式は坑門周辺地形がなだらかな場合に用いられる。ベルマウス及び逆ベルマウス式は地形・地質が比較的良く、坑口周辺が開けている場合等に採用される形式である。このように突出式は地山の地質や地形が基本的な選択条件となるが、いずれにせよ面壁型と異なり突出部の立体形状が最大のデザイン要素であり、設計の自由度が高い事から半円形のみでなく種々の形状が設計可能である。

このようにトンネル坑門のデザインは第一義的には地山の地形・地質条件に規定されるものの、同一条件下においても景観設計の自由度は高く、その設計要素は次のように整理出来る。(1)面壁型では共通して面壁形状が主たるデザイン要素である。(2)ウィング式の場合には面壁の仕上げも重要な要素となる。(3)またアーチウィング式の場合にはアーチ部分の壁高が重要な要素である。(4)突出型はその突出部の立体形状によりデザインが決定されると言っても過言ではない。

3. 心理評価実験の概要

(1) トンネル坑門のタイプ選択

トンネル坑門デザインの心理評価を行う上では、評価対象とするトンネル坑門のタイプ選定を行う必要がある。本実験では前章の検討をもとに、坑門のデザイン要素別に写真—1に示す5グループの写真群を用いた(以下では写真の下に付した番号でトンネル坑門タイプを示す)。グループ1は面壁型で面壁形状の異なる坑門1~3である。グループ2はウィング式で面壁の仕上げの異なる坑門4~7である。グループ3は突出部厚みの異なる坑門8~10¹⁵⁾である。グループ4, 5は突出型でその突出部の立体形状の異なる6タイプ¹⁶⁾である。

(2) 実験及び分析方法

被験者として山口大学工学部男子学生(103名)、宇部短期大学女子学生(54名)及び専門職従事者として山口県土木技術男子職員(10名)を対象とした¹⁷⁾。実験は各被験者集団に対し、グループ内でのデザインの相違とこれに対する評価の差を検討するため、まずグループ1(写真—1参照)の全てのトンネルを1枚のスライドで提示し、各トンネルについて簡単な説明を行い、被験者にトンネルの相違を認識する時間を1分程度与える。具体的には、グループ内の坑門毎に写真—1に示す坑門番号順に従って形状・仕上げに関する特徴点を解説し、坑門背後の地山等の景観は考慮に入れず、坑門のデザインについての評価のみを行うよう指示した。本来トンネル坑門のデザインは、後背斜面の状態やドライバーの目の順応性確保、進入時の緊張感緩和、周辺景観との調和等を考慮した上で、総合的判断のもとに決定されるものであるが、本実験ではデザインの適合性評価ではなく、坑門デザインの相違性がどのような評価の差として現れるかを検討する事を目的としているため、デザインに関する説明のみに限定した。次いでトンネルを1枚ずつ写したスライドを、1枚につき1分程度示し、トンネル坑門の特徴を表現できるような複雑度(単調な—複雑な)・柔硬度(硬い—柔らかい)・明暗度(暗い—明るい)・軽快度(重々しい—軽快な)・開放度(閉鎖的な—開放的な)及び総合評価尺度としての好感度(好感の持てない—好感の持てる)の6形容詞対に対する評価を、図—2に示す調査表に記入してもらう。以下同様の手順でグループ2~5について実験を繰り返した。






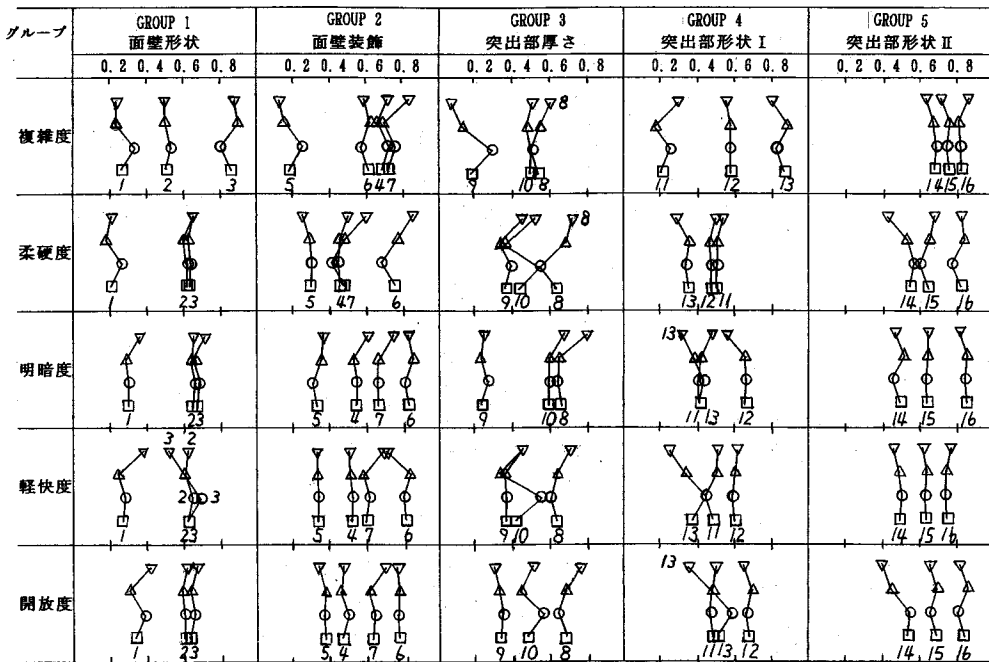
面壁形状			
	1	2	3
面壁装飾			
	4	5	
			
	6	7	
突出部厚み			
	8	9	10
突出部形状 I			
	11	12	13
突出部形状 II			
	14	15	16

写真-1 評価実験に使用した坑門写真



凡例：▽土木職員 △男子学生 ○女子学生 □全体
注：図中の数字は写真番号を示す

図-3 設問項目の評価平均値

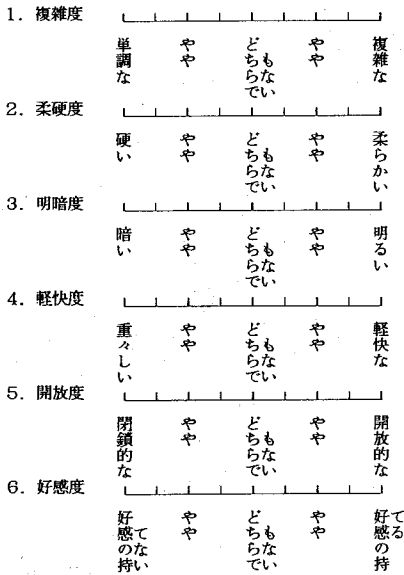


図-2 設問内容

こうした実験手法では、被験者が示された形容詞のいずれかを選択するのが一般的であり、分析においては被験者の質的な認識や評価はカテゴリカルなデータとして扱われる。これに対して最近では、人間の判断や認識はカテゴリカルな形で表現されるよりもさらに曖昧なものと考え、ファジ理論の応用を試みた研究例がある^{18), 19)}。例えば文献 19) ではアンケートで判断する内容が複雑

で、明確な回答が困難であると考えられることから、形容詞を直接選択するのではなく、形容詞にある幅をもたせ、被験者は自己の認識に合った軸線上の任意の位置で回答するよう設定されている。これに対して本実験で被験者に求められる判断は直観的なものであるが、人間の直観を準備された形容詞に置き換えることも個人的主観に左右され、同様の問題を含むものと考えられる。従ってここでも図-2の各形容詞対が示された直線上の任意の位置に○を記入する方式を適用した。

ところがこの回答方式の場合には直接カテゴリカルなデータとして扱うことは出来ない。そこで図-2の各設問項目において相反する意味の形容詞を結んだ軸線をファジ理論におけるメンバーシップ関数の要素軸として用いた。また、軸線の最も左側の形容詞のグレードを0、最も右側の形容詞のグレードを1とし、その間の○印が記入された位置でのグレードは [0, 1] における無次元距離で置き換えた。

実験結果の基本的分析を行う4, 5章では、このグレードを被験者の評価値として議論する。また好感度に対する判別分析を行う6章では、本実験では従来と異なる回答方式を採用しているため、数量化理論Ⅱ類とファジ数量化理論Ⅱ類²⁰⁾を適用し、比較検討を行う。

4. デザイン要素と形態評価の関係

ここでは3章で分類したグループ毎に、坑門のデザイ

ン要素に着目し、形態評価の特徴を明らかにする。図一3に質問項目の内の複雑度から開放度までの5項目の評価平均値を示す。

(1) 面壁型坑門の場合

面壁形状の異なる坑門1~3に対する複雑度から開放度までの5項目の評価値を比較すると、複雑度の評価値に最も大きな差があり、面壁上部が直線の坑門1が単調側に、また上部の曲線が複雑でかつ坑門両サイドに擬似木のある坑門3が複雑側に評価されている。ただし女子学生の場合には、坑門1と3の評価値の差が相対的に少ない傾向がみられる。これに対し柔硬度・明暗度・軽快度・開放度は坑門2, 3がほぼ同一の評価値であるが、坑門1のみが異なる傾向を示し、男子学生の軽快度、開放度に対する評価値が他の母集団に比べ低い特徴がみられる。特に柔硬度評価においては、全体的に坑門1が硬い印象を与えている事が示されている。これより面壁の上部形状の相違は複雑度の差として認識され、かつ直線か曲線かにより柔硬度・明暗度・軽快度・開放度評価に強く影響することがわかる。

次に面壁装飾の異なる坑門4~7の評価をみると、複雑度はチップ処理をした坑門5の評価値が0.2程度であり最も単調な印象を与えているのに対し、坑門4, 6, 7は0.6~0.7の評価値で比較的類似している。坑門4, 7の場合、面壁の装飾のみでなく形状も作用している可能性があるが、坑門5と同様上部が直線で壁面に飛魚が描かれた坑門6の方がより複雑な印象を与えており、面壁の装飾の有無と複雑度評価には関連がみられる。これに対し柔硬度・軽快度評価は類似したパターンを示し、坑門6が最も柔らかくかつ軽快な評価がなされ、反対に坑門5が硬くかつ重々しい評価がなされている。一方、坑門4, 7が近似した評価値で両者の中間値をとる。ただし、土木技術者の軽快度評価は他の母集団と異なり、坑門6, 7の評価値に差がみられない。これより具象的装飾は柔硬度・軽快度評価に対する影響が大きく、縞模様は縦か横かは評価にさほど影響しないものと考えられる。また明暗度・開放度評価も比較的類似したパターンを示し、評価順位は柔硬度・軽快度の場合と同様であるが、坑門4, 7の評価値の差がやや大きく、横縞のスリットの入った坑門7の方が明るく開放的な評価がなされている。これは坑門4の縦縞部分が影になっている影響も考えられる。

(2) 突出型坑門の場合

突出部の厚みの異なる坑門8~10の評価は、複雑度、明暗度評価が共に類似しているが、坑門9がやや単調で暗い印象を与えている。複雑度評価の差は、坑門9の突出部の厚みが一定でかつ単純な半円形であるのに対し、坑門8, 10は両端部と中央上部で突出部の厚みに差があり、この形状の違いと関連性がみられる。ただし女子学

生の坑門9の評価値は他の母集団よりも高く、厚みの差による複雑度評価の差が少ない傾向にある。また明暗度評価の差は、突出部の面積が坑門8, 10の方が広く、明るい印象を与えている点、坑門9の写真の突出部がやや暗い点等と関連があるものと考えられる。また柔硬度・軽快度評価も類似したパターンを示し、男子学生・土木技術職員では坑門8が坑門9, 10に比べ相対的に柔らかく軽快な評価がなされている。これは坑門8の突出部下部的のみが厚みを増しており、上部と下部の厚みの差と関連しているものと考えられる。これに対し女子学生では坑門8, 10が坑門9に対し柔らかく軽快な評価がなされ、突出部上部の厚みの差が大きい坑門8と坑門10の評価値に差がみられず、突出部下部が広がる形状と半円形とで評価が分かれている。これに対し開放度評価は坑門8が最も開放的な印象を与えている点は他の評価項目と同様であるが、坑門9, 10の評価値の差が柔硬度・軽快度評価の場合よりも大きい点が異なる。

次に突出部立体形状の異なるグループ4の坑門11~13の評価は、複雑度の評価値の差が最も大きく、変形形状の坑門13が複雑側に、半円形の坑門11が単純側に評価されている。これに対し柔硬度評価は坑門13が硬い、坑門11が柔らかい印象を与えており、坑門形状との関係はみられるが他の項目に比較して評価値の差は小さい。一方明暗度と開放度の評価パターンは類似しており、坑門12が坑門11, 13よりも明るく開放的な評価がなされている。これはベルマウス型の広がりのある形状が評価と関連しているものと考えられる。一方、坑門11, 13を比較すると、評価値の全体平均の差は小さいものの、土木技術者と女子学生の差が大きく、土木技術者が特殊形状の坑門13に対し最も暗い、重々しい、閉鎖的な印象を受けている点が特徴である。

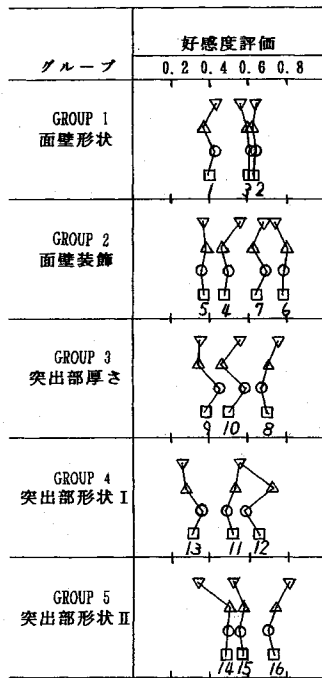
次にグループ5のベルマウス型の立体形状差の大きい坑門14~16の評価をみると、複雑度はともに評価値が0.65~0.85と複雑な印象を与えているのに対し、他の評価項目では全て坑門16の評価値が最も高く、次いで坑門15, 14の順で、かつ評価値の差が複雑度よりも大きい。これは車道側への突出度合いの大きい坑門の場合には、共通して複雑な形態印象を与えるものの、その立体形状の差が大きい程柔硬度・明暗度・軽快度・開放度に対する評価値の変動パターンは類似した傾向を示す。

5. 好感度評価

ここでは坑門形態に対する総合評価としての好感度評価について考察を加える。図一4に被験者集団ごとの平均評価値を示す。また表一1に全体の平均値と被験者集団ごとの好感度評価値の標準偏差を示す。

(1) 面壁型坑門の場合

面壁型坑門のグループ1の好感度の被験者全体の順位



凡例：▽土木職員 △男子学生 ○女子学生 □全体
注：図中の数字は写真番号を示す

図-4 好感度評価の平均値

は坑門 2, 3, 1 の順で、評価値平均は坑門 2 が 0.64、坑門 3 が 0.60 と面壁上部が曲線型のタイプがともに好感度が高い。標準偏差は坑門 2 が最も小さく評価のばらつきが小さいのに対し、坑門両サイドに擬似木のある坑門 3 は 0.30 と大きく評価が分かれており、特に女子学生でこの傾向が強い。最も標準的な形態の坑門 1 の直線型の評価は低くかつ標準偏差も 0.25 と小さい。特に土木技術者の場合類似した評価がなされている。また各被験者集団の評価順位も同様であり、男子学生の坑門 1 の評価値及び土木技術者の坑門 3 の評価値がやや低い点を除けば母集団による差は小さい。これより面壁形状は上部形状が曲線で変化のあるものが好まれていることがわかる。

次に面壁の仕上げの異なるグループ 2 の好感度の被験者全体の順位は、坑門 6, 7, 4, 5 の順で、特に面壁に飛魚が描かれた坑門 6 の好感度が高く、同一の形状ながらチッピング仕上げの坑門 5 との差が大きい。コンクリート壁に横スリットの入った坑門 7 と、縦スリットの入った坑門 4 は中間の評価値が与えられているが、坑門 7 が相対的に好感度が高く、面壁表面に立体的仕上げを施した坑門 4 のほうが好感度は低い。各被験者集団の評価順位も同様であるが、男子学生の坑門 7, 4 に対する評価が他集団に比較し相対的に低い。標準偏差は評価値の差が大きい坑門 6, 5 が小さく類似した評価が与えら

表-1 好感度評価の平均値と標準偏差

グループ	坑門番号	平均値		標準偏差		
		全体	全体	土木職員	男子学生	女子学生
GROUP 1 面壁形状	1	0.399	0.250	0.161	0.260	0.256
	2	0.653	0.231	0.250	0.228	0.241
	3	0.599	0.298	0.270	0.292	0.315
GROUP 2 面壁装飾	4	0.490	0.290	0.245	0.295	0.292
	5	0.378	0.234	0.230	0.241	0.228
	6	0.801	0.208	0.163	0.206	0.228
	7	0.655	0.259	0.218	0.265	0.267
GROUP 3 突出部厚さ	8	0.704	0.245	0.163	0.228	0.284
	9	0.390	0.296	0.213	0.280	0.314
	10	0.524	0.270	0.297	0.267	0.239
GROUP 4 突出部形状 I	11	0.521	0.256	0.203	0.257	0.26
	12	0.663	0.255	0.211	0.243	0.258
	13	0.314	0.325	0.271	0.326	0.341
GROUP 5 突出部形状 II	14	0.492	0.260	0.177	0.261	0.282
	15	0.561	0.290	0.278	0.284	0.297
	16	0.742	0.282	0.225	0.298	0.268

れているのに対し、縞模様の仕上げがなされた坑門 7, 4 の標準偏差は相対的に大きく、仕上げに対する評価にばらつきがみられ、土木技術者よりも学生でこの傾向が強い。

(2) 突出型坑門の場合

突出部分の厚さの異なるグループ 3 の被験者全体の順位は、坑門 8, 10, 9 の順で、特に突出部の上部厚みが小さく曲率に変化のある坑門 8 の好感度が高く、逆に突出部の厚みが坑門 8 よりもやや大きい半円形をした坑門 9 の好感度が低い。各被験者集団の評価順位も同様であるが、土木技術者の坑門 9 及び男子学生の坑門 10 に対する好感度が相対的に低い。また標準偏差は坑門 8, 9 の場合には土木技術者が最も小さく、女子学生が大きい傾向にあるが、一方突出部の厚みの大きい坑門 10 では女子学生の標準偏差が相対的に小さく、逆の傾向がみられる。

次に突出型の坑門立体形状に対する被験者全体の順位は、グループ 4 では台形ベルマウス型の坑門 12 の好感度が最も高く、これに次いで突出部厚さでは好感度の低い突出式半円形の坑門 11 の順であり、突出式で台形を変形させた坑門 13 の好感度は低く、標準偏差が 0.32 と高いことから特殊形状に対する評価にばらつきがみられる。特に女子学生の場合には標準偏差が 0.34 で、土木技術者に比べ大きい。各被験者集団の評価順位も同様であるが、男子学生の坑門 12 の好感度の評価値は 0.72 と他の集団に比べると高い点が異なる。

グループ 5 の被験者全体の好感度は、逆ベルマウス式で坑口の広がり大きい坑門 16 が最も高く、次いでベルマウス式でやはり坑口下部の広がり大きな坑門 15 の順で、逆ベルマウス式で坑口上部が突出した坑門 14

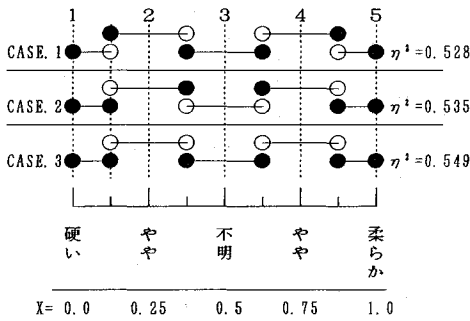


図-5 説明変数のカテゴリー化

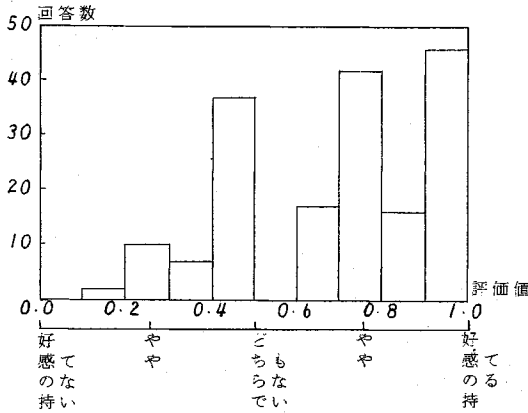


図-6 回答の頻度分布

の好感度は相対的に低い。被験者集団の評価順位も同様であるが、土木技術者の評価値の差が大きく、坑門16の評価値は0.81と最も高く、逆に坑門14の評価値は0.34と低いのが特徴である。また標準偏差は坑門15が全体で0.29と高く、母集団の差が小さいが、坑門14、16では土木技術者が他の集団よりも相対的に評価のばらつきが小さい。

以上から、グループ4、5の評価値を直接比較することはできないが、突出型の中では坑口の広がり大きい坑門16に高い評価が与えられている事から、突出型の中では坑口の広がり大きく、開放的で明るい印象を与えるベルマウス式トンネルが高く評価される傾向にある。

6. 好感度評価の判別要因分析

(1) 分析方法

トンネル坑門の好感度は複雑度・柔硬度・明暗度・軽快度・開放度の各要素に対する心理評価の総合評価であると仮定し、各々の評価が好感度に及ぼす影響の度合いを数量的に解析するため、数量化理論Ⅱ類及びファジィ数量化理論Ⅱ類を適用し、それらの妥当性を検討した上で、好感度の判別要因分析を行う。

具体的には、図-2に示した設問項目のうち好感度を

表-2 最大相関比の比較

グループ	坑門番号	ファジィ数量化Ⅱ類	数量化Ⅱ類
GROUP 1 面壁形状	1	0.091	0.403
	2	0.091	0.469
	3	0.136	0.436
GROUP 2 面壁装飾	4	0.139	0.433
	5	0.099	0.458
	6	0.100	0.441
	7	0.140	0.532
GROUP 3 突出部厚さ	8	0.155	0.549
	9	0.181	0.478
	10	0.091	0.550
GROUP 4 突出部形状Ⅰ	11	0.160	0.583
	12	0.160	0.535
	13	0.176	0.419
GROUP 5 突出部形状Ⅱ	14	0.109	0.530
	15	0.174	0.555
	16	0.165	0.456

外的基準とし、これを除いた5項目を内的基準とする。ただし、前述した回答方式を用いているため、数量化理論Ⅱ類の分析においては評価値をカテゴリー化する必要がある。このため、被験者全体の坑門1に対する評価データを対象に、図-5に示すようにカテゴリー範囲を変化させた3ケースについて試行した。この場合外的基準である好感度の分類は、第1群〔好感の持てない：評価値 ≤ 0.25 〕、第2群〔どちらでもない： $0.25 < \text{評価値} < 0.75$ 〕、第3群〔好感の持てる： $0.75 \leq \text{評価値}$ 〕としている。その結果、相関比はケース1、2、3でそれぞれ0.528、0.535、0.549となり大きな差はないが、ここでは最大の相関比を示したケース3を以後の解析に採用することとした。またファジィ数量化理論Ⅱ類は、質的データの分析方法としては従来の数量化理論Ⅱ類と同様である。ただし、数量化理論Ⅱ類が(0, 1)の2値でカテゴリーへの反応の有無を表現するのに対して、ファジィ数量化理論Ⅱ類では[0, 1]の多値で反応の程度を表現する。そこで3.(2)で説明したグレード値をそのまま反応の程度として用いた。

以上の条件のもとで数量化理論Ⅱ類及びファジィ数量化理論Ⅱ類の両手法を用いて解析を行い、それぞれの相関比を被験者全員について求めたのが表-2である。ファジィ数量化理論Ⅱ類の最大相関比が0.091~0.181の水準にあるのに対して、数量化理論Ⅱ類の最大相関比は0.403~0.583の水準にある。この点に関して、両手法は対象とするデータが質的に異なるため同一の基準での比較は困難ではあるが、両手法とも最大相関比は群間変動に対する全変動の比で定義され、判別の程度が最大相関比によって判断される事には変わりない。即ちこの結果からは、この問題に関しファジィ数量化理論Ⅱ類よりも数量化理論Ⅱ類の方が判別が明快であるといえる。また図-6は一例として坑門1の好感度に対する回答の

頻度分布を示したものである。図-2の調査票回答欄の形容詞が記してある位置の縦目盛りで○印を記入された頻度に対し、形容詞と形容詞の中間に記入された頻度は非常に少ない。この傾向はほとんどの質問項目に対して同様であった。これより本実験のように直観的に判断される対象については、被験者は回答欄に示された形容詞を単純に選択する傾向にあり、中間位置での回答にことさら着目する意味に乏しいと推察される。これらの理由から、以下では数量化理論Ⅱ類による全サンプルを対象とした解析結果を用いて分析を行うこととする。ただし相関比が0.5程度では、分析結果の信頼性に関しては充分満足できるとは言いがたい。しかし、客観的評価に対する数量化理論Ⅱ類の適用においては高い相関比が得られることがあるが、景観評価等の感性を対象とした心理評価の分析においては、高い相関比が得られることは多くないと考えられる。また図-6に示したように、「やや」といった抽象的な回答も含まれる事を考慮すると、ここで得られた相関比0.5は同様の目的での数量化理論Ⅱ類の適用結果としては、比較的良好な判別がなされていると考えられる。尚、誤判別率は全坑門での平均で38%であり、「複雑度」～「開放度」の各変量が「好感度」に対してどの程度の影響を与えているかを、変量毎に考察する目的に対しては有効であると判断した。

(2) 面壁型坑門の場合

表-3は数量化理論Ⅱ類によって得られたカテゴリーレンジ（以下レンジと略す）を示したものである。

先ず面壁型坑門のグループ1についてみると、好感度が高い坑門2では明暗度のレンジが最も大きく、ついで複雑度、軽快度の順であり、面壁の明るさ、面壁上部の曲線がもたらす軽快さが総合評価としての好感度に寄与していることを示す。開放度のレンジは好感度評価値の類似した坑門3よりも低く、面壁の壁高と関連しているものと考えられる。坑門3では複雑度、明暗度のレンジが相対的に低く逆に開放度が高い。これは坑門上部の面壁高と関連しているものと考えられる。一方面壁上部が直線の坑門1のレンジは、曲線の坑門2、3と異なるパターンを示し、開放度・軽快度のレンジが高く柔硬度が相対的に低い。これは面壁部分の面積が大きく、坑門上部が最も壁高が低い点が開放度・軽快度に、また直線の面壁形状が柔硬度と関連しているものと考えられる。

次に面壁仕上げの異なるグループ2について、面壁形状が同一で好感度評価の差が大きい坑門6、5についてみると、複雑度のレンジはともに小さく差がないが、明暗度・軽快度は好感度評価の高い坑門6が高く、特に軽快度のレンジが大きい。明暗度のレンジ差は、坑門6の面壁に青色の飛魚が描かれ、バックの面壁の白色がより強調される点、また坑門5の面壁はチップング処理がなされており、面壁の明度が坑門6よりも低い点と関連が

表-3 数量化理論Ⅱ類によるカテゴリーレンジ

グループ	坑門番号	複雑度	柔硬度	明暗度	軽快度	開放度
GROUP 1 面壁形状	1	0.083	0.046	0.121	0.132	0.204
	2	0.092	0.057	0.213	0.085	0.078
	3	0.050	0.081	0.044	0.091	0.108
GROUP 2 面壁装飾	4	0.080	0.024	0.056	0.120	0.118
	5	0.063	0.087	0.129	0.099	0.116
	6	0.058	0.195	0.463	0.997	0.077
	7	0.056	0.059	0.031	0.131	0.103
GROUP 3 突出部 厚さ	8	0.089	0.074	0.073	0.103	0.193
	9	0.017	0.052	0.078	0.129	0.149
	10	0.073	0.085	0.046	0.169	0.067
GROUP 4 突出部 形状Ⅰ	11	0.051	0.046	0.135	0.087	0.110
	12	0.092	0.029	0.053	0.223	0.173
	13	0.119	0.119	0.087	0.049	0.190
GROUP 5 突出部 形状Ⅱ	14	0.094	0.065	0.065	0.049	0.175
	15	0.035	0.017	0.049	0.178	0.124
	16	0.069	0.115	0.095	0.100	0.123

あるものと考えられる。また軽快度のレンジ差は、坑門6の面壁にリズム感のある飛魚がモチーフとして選定されている事と関連しているものと考えられる。

次に面壁にスリットの入った坑門7と坑門4についてみると、軽快度・開放度のレンジはともに0.1を上回り類似しているが、柔硬度は好感度評価の高い横スリットの坑門7のレンジが高く、複雑度・明暗度は縦スリットの坑門4が高い。柔硬度・複雑度のレンジ差は、坑門4では坑門面積に対する面壁の比率が高く、面壁上部が直線で視認される壁量が多い点、縦スリットが立体的で視覚への刺激度が高い点と関連しているものと考えられる。一方明暗度のレンジ差については、坑門4の縦スリットが立体的構成であるため、面部分とスリット部分の明度差が大きく、面部分の明るさがより強調される点、坑門7の面壁後部の擁壁がコンクリートで坑門面壁との色調差が少ない点と関連しているものと考えられる。

(3) 突出型坑門の場合

グループ3の突出部の厚さの好感度評価に対しては、複雑度・柔硬度・明暗度のレンジは全て小さく作用していない。好感度の高い坑門8では開放度のレンジが最も大きく、突出部の薄さが重視されている事を示す。これに対し突出部に厚みのある坑門10では、開放度のレンジは小さく軽快度のレンジが最も大きい。これは面壁量が多く、突出部上部の厚みの大きさが開放度の評価に作用し、坑門と面壁の二重の曲線が軽快度評価に作用しているものと考えられる。

次に突出部立体形状の異なる2グループについてみると、グループ4の中で好感度の高い台形ベルマウス型の坑門12では、複雑度・柔硬度・明暗度のレンジは小さく作用しておらず、軽快度・開放度が好感度に寄与している事を示す。これに対し好感度評価の低い坑門13では軽快度のレンジが最も小さく、逆に複雑度・柔

硬度のレンジは坑門 12 よりも高く、左右非対象の変形状と関連している。一方中間の好感度評価が与えられている半円形の坑門 11 は、開放度・軽快度とともに明暗度のレンジが大きく、非円形坑門との相対比較のため複雑度のレンジは最も小さい。

次にグループ 5 の場合、好感度の最も高い坑門 16 では開放度・柔硬度が評価に寄与している。これは逆ベルマウス形状であるが、坑門上部の両側面を下方よりも膨らませているため坑門内側の視認面積が広く、トンネル内部が他の坑門に比較し広く見える効果が作用している事、また坑門形状が下部よりも上部の方が膨らんだ滑らかな曲面で形成されている事と関連しているものと考えられる。またベルマウス式の坑門 15 は好感度評価は坑門 16 よりも低く、評価項目毎のレンジを比較すると明暗度のレンジが低く、軽快度のレンジが高い点が異なる。明暗度のレンジの差については、坑門 15 は坑門下部が面積を狭めながら外側に広がる形状で、坑門 16 よりも明るく見える部分の面積が少なくかつその位置が坑門の外側にあるため、トンネル内部の明るさとして認識されていない可能性があり、この点との関連性があるものと考えられる。一方軽快度のレンジの大きさについては、坑門突出部が坑門 16 よりも薄い断面で構成されている点、坑門が下部から上部に向かって細くなる方向性の強い形状である点と関連しているものと考えられる。また開放度のレンジが坑門 16 同様大きい理由については、ベルマウス式の特徴である坑門下部が外側に広がる形状である点、これに関連して下部では坑門内部の面が見えるのに対し、上部は薄い突出部のみが視認される点と関連しているものと考えられる。好感度評価の低い坑門 14 は他の坑門に比べ軽快度のレンジが小さく開放度のレンジが大きい。同じ逆ベルマウス式の坑門 16 と比較すると、坑門上部のみが突出した形状でかつその突出部が厚いため、圧迫感を生じやすい形状である点と関連しているものと考えられる。

7. まとめ

本論ではトンネル坑門のデザインに関し、スライドによる心理評価実験を行い、形態特性と心理評価との関係について考察した。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 面壁型坑門の上部形状の相違は複雑度の差として明瞭に認識され、直線よりも曲線の方が「柔らかい」、「明るい」、「軽快な」、「開放的な」印象をあたえる。面壁の仕上げはスリットの幾何学的装飾よりも具象的装飾を施した場合の方が柔らかくかつ軽快な印象を与えるという結果を得たが、描かれる対象により評価は変動する可能性がある。突出型坑門では下部突出部が厚く上部が薄い突出部に变化のある坑門が「柔らかい」、「軽快な」、「開放的な」印象を与え、

立体形状は坑口の広がり大きな坑門が「明るい」、「開放的な」印象を与える。

- 2) 面壁型坑門では、上部形状が曲線で変化のあるものが好感度が高く、面壁の仕上げは無地よりも視認性の高い仕上げを施した場合のほうが好感度が高い。突出型坑門では逆ベルマウス式及び台形ベルマウス式の評価が高く、デザインとしての好感度が高いことが明らかとなった。また坑門突出部の厚さの相違も心理評価に影響を及ぼし、突出部上部の薄いものが好まれる傾向がみられた。
- 3) 数量化Ⅱ類により好感度規定要因の分析を行った結果、面壁型坑門で好感度が高い上部形状が曲線のタイプは、明暗度・複雑度が総合評価としての好感度に寄与しており、面壁仕上げは視認性の高い仕上げを施したタイプで軽快度・明暗度が寄与する事がわかる。突出型坑門で好感度の高い台形ベルマウスタイプは軽快度・開放度が好感度に寄与しており、また坑門の広がり大きい逆ベルマウスタイプでは開放度・軽快度とともに柔硬度が寄与している。他の坑門タイプの結果も含めて考察すると、突出型坑門の好感度は開放度・軽快度によりその評価が左右されるといえる。
- 4) 最後に、本研究から得られた知見をトンネル坑門のデザインに関連付けて図化すれば、以下のように整理出来る。ここで () 内は構造形態から受ける印象を示している。

面壁型	上部は曲線が好ましい (明るさ・柔らかさ・軽快さ・開放的) 壁面は視認性の高い仕上げとする (軽快さ・明るさ) 例) 幾何学的・具象的装飾
突出型	突出部の厚さに変化を持たせる (柔らかさ・軽快さ・開放的) 例) 突出部下部から上部にかけて薄く変化させる 坑門口に広がりを持たせる (明るさ・開放的) 例) 逆ベルマウス、台形ベルマウス

施工において、構造や道路計画上の問題がクリアされた上で坑門をデザインする場合には、上記のような関係がある事に留意した設計が行われるのが望ましい。

以上、本論ではスライドによる停止状態での心理評価実験をもとに考察を行ったが、トンネル坑門は実際には一定の速度で走行中に視認されるものであり、心理評価が異なる可能性もある。また本研究は、これまでの一般的なトンネル坑門に対しては、ほとんどデザインの配慮

がなされていない状況下で行われたものであり、今後変化してゆく可能性がある点にも留意する必要がある。さらに実走状態における運転者のトンネルに対する関心度や運転者・同乗者のトンネル認知度の差についても検討する必要がある。これらの点に関しては今後の課題としたい。

謝 辞

本研究における心理評価実験では、筆者等が撮影した写真に加えて、日本道路公団広島建設局より提供された坑門写真と、文献(21)に収録された坑門写真を道路公団の了解を得て用いた。また、評価実験には多くの方々に御協力頂いた。尚評価実験の実施及びデータ集計においては井上義孝氏(元山口大学学生)の協力を得た。末尾ながら記して感謝の意を表します。

注釈・参考文献

- 1) 日本道路公団：設計要領 第三集第9編トンネル，pp.96～105，1985.10.
- 2) (社)日本トンネル技術協会：山岳トンネルの坑口部の設計施工に関する研究報告書，pp.31～88，1985.2.
- 3) 日本道路公団：設計要領 第三集第9編トンネル，pp.106，1985.10.
- 4) 山本 宏：橋梁美学，森北出版，1982.
- 5) 土木学会編：美しい橋のデザインマニュアル，技報堂，1982.
- 6) 山本 宏，早川浩平：計量心理学を応用した橋梁形態の一考察，土木学会論文集 第362号/I-4，pp.267～275，1985.
- 7) 松村 博：橋梁景観の演出，鹿島出版会，1988.
- 8) 杉山俊幸・深沢泰晴他：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.35 A，pp.523～532，1989.
- 9) 近年各地で河川環境管理計画が策定され，親水護岸整備や堤防の緑化，並木の整備等が進められている。
- 10) 村川三郎・西名大作：住民意識による都市内河川環境評価の分析 河川環境評価手法に関する研究 その1，日本建築学会計画系論文報告集，第422号，pp.42～51，1986.
- 11) 中岡義介：水辺のデザイン，森北出版，1986.
松浦茂樹・島谷幸宏：水辺空間の魅力と創造，鹿島出版会
- 12) 赤谷隆一・安藤 昭・五十嵐日出男：北上川の流軸景における開運橋からの岩手山の眺望の確保について，日本都市計画学会学術研究論文集 第25号，pp.625～630，1990.
- 13) 川崎雅史：都市景観の固有性に関する研究(1)河川を軸としたシーケンシャル景観のイメージ分析，日本建築学会計画系論文報告集，第422号，pp.69～76，1991.
- 14) 日本道路公団：設計要領 第三集第9編 トンネル，pp.99，1985.
- 15) No.10の写真はNo.2と同一写真であり，正確には面壁型に分類される坑門であるが，ここでは突出部の厚さのみを比較する実験項目であり，問題ないものと判断して採用した。
- 16) No.11の写真はNo.9と同一写真である。
- 17) この内，男子学生では98名，女子学生では48名，土木技術者9名が運転免許証保有者で，そのほとんどは高速道路の運転経験を有すると考えられる。
- 18) 浅居喜代治・田中英夫・和多田淳三・西岡憲人・白澤政和：ファジィ数量化理論Ⅱ類によるポランティア意識の構造分析，行動計量学 11巻1号，pp.51～65，1983.
- 19) 鈴木昌次・古川浩平・井上洋司・中川浩二：アンケート結果に基づくトンネル施工時の岩盤分類に関する研究，土木学会論文集 第435号/VI-15，pp.51～60，1991.9.
- 20) 和多田淳三・田中英夫・浅居喜代治：ファジィ数量化理論Ⅱ類，行動計量学9巻2号，pp.24～32，1982.
- 21) トンネル坑口写真集：(財)高速道路技術センター，トンネル研究部会，1988.6.

(1992.7.27 受付)

A STUDY ON THE PSYCHOLOGICAL EVALUATION FOR THE SHAPE OF TUNNEL GATE

Mahito NAKAZONO, Shoji SUZUKI, Kohei FURUKAWA and Koji NAKAGAWA

In recent years, the studies at the view point of landscape design are done in the process of constructive planning of a new highway. This study examines the psychological evaluation for the shape of tunnel gates by semantic differential method. In this paper, sixteen photos of tunnel gates which were taken at the highways in Japan are used for the comparison. The results are as follows. In case of wall type, the shape of upper part gives differential image, exactly the curved shape gives lighter, softer and more rhythmic image and more favorable impression than the straight one. On the other hand, the arch type which is slender at the top gives the same image and the bell mouth type gives favorable impression to the people.