

面壁型トンネル坑門の塗装によるリメイク手法の評価

井上 義之¹・山下 秀信²・熊谷 孝司³・中園 真人⁴・中川 浩二⁵

¹フェロー会員 大成エンジニアリング株式会社 代表取締役社長 (〒162-0045 東京都新宿区馬場下町1-1)

²正会員 日本道路公団 北陸支社 敦賀管理事務所 所長 (〒914-0014 敦賀市井川17号字稲荷藪8-1)

³正会員 株式会社ハーディア 調査設計部 (〒731-0102 広島市安佐南区川内5-25-12)

⁴正会員 工博 山口大学 教授 工学部 感性デザイン工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1)

⁵フェロー会員 工博 山口大学 教授 工学部 社会建設工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1)

高速道路において、面壁型トンネル坑門に対する運転者の流入抵抗感に関しては多くの議論がある。またこの抵抗感を軽減するためのグラデーション塗装が試みられた例がある。本研究は、流入抵抗感の軽減と自然景観への配慮を目的に、グラデーション塗装および今回提案する逆グラデーション塗装によるリメイクを行った坑門を対象に、CG動画と実写ビデオによる心理評価実験を行い、坑門リメイクデザインと流入抵抗感・好感度評価の関係を明らかにし、逆グラデーション塗装によるリメイク手法の有効性を論じたものである。

Key Words : highway, redesign method, semantic differential method, tunnel portal,

1. 序論

高速道路のトンネル入口は、ドライバーにとっては走行環境が変わる境界面であり、進入時の心理的圧迫感や視環境の変化によりブレーキングで速度低下を引き起こし、渋滞発生の原因となることがある。一方、トンネル坑門は地としての山に対し、坑口が図としての大切な景観要素となるため、景観への配慮も欠かせない。

全国的高速道路の約1,000本のトンネル坑門は、完成形状から面壁型と突出型とに大別されるが、面壁型は全体の8割以上を占め、その内約4割は無処理である。これらの面壁型坑門の中には、建設時期や場所によってコンクリートの劣化や汚れの付着により建設当初の機能を維持できず、補修を必要とする状況も発生している。高速道路の建設当初、坑門工の面壁部の修景に関しては、ドライバーの眩光防止のための輝度低下に配慮したテクスチャーとする程度で、景観設計の面からの本格的な取り組みは少数であった。これに対し、近年では壁面に変化を持たせた例(写真-1.b)や、コンクリート面に装飾したもの(塗装、面壁模様、特殊構造)も施工されており、これらの効果の検証とリメイクへの適用可能性の検討が必要な時期に来ているといえよう。

筆者等は、松山自動車道 伊予～大洲間(図-1)の景観設計において、既に完成した面壁型トンネル坑門のリメイクを検討する機会を得、塗装による手法を提案、実施した。ここでは数少ないが以前に採用事例のある順グラデーション塗装(坑口周辺を暗いトンネル内部に近い

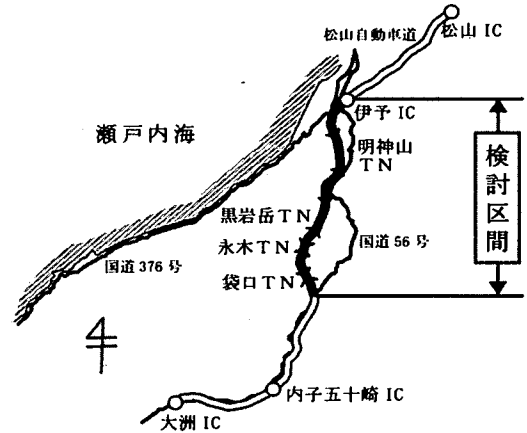
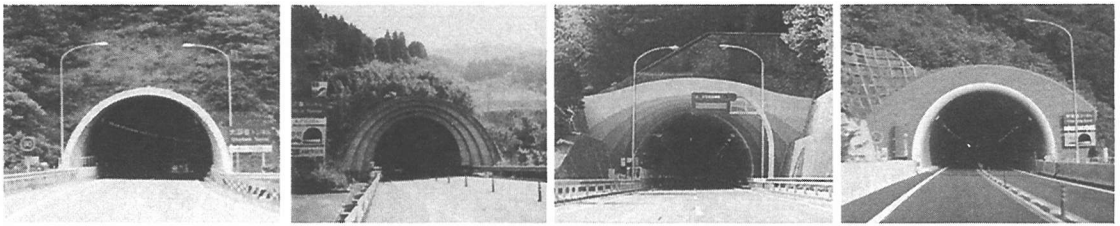


図-1 検討区間概略図

色で塗装し、徐々に明るい色で塗装) (写真-1.C)の他に、新たに逆グラデーション塗装(坑口周辺を明るく見せ、周囲を自然景観に馴染む色で塗装)を採用したリメイクを行った。なお、本検討においては、濃淡の順序に重きを置き、従来は3色以上を用いていたグラデーション塗装を広義に解釈し、単色及び2色についても上記の定義の原則にもとづいてグラデーションと呼称した。

順グラデーションによる手法については、後述するように入流抵抗感軽減効果が指摘されているが、周辺環境との調和や利用者のデザインに対する評価を示した報告は未だなされていない。また、今回初



a 山陽自動車道
大羽谷トンネル

b 高知自動車道
法皇トンネル

c 名神高速道路
天王山トンネル

d 徳島自動車道
新境目トンネル

写真-1 トンネル坑門の施工例

めて採用した逆グラデーション塗装に関しては、流入抵抗感や好感度について評価を行った報告は筆者が知る限りではない。

本論文は、今回の施工事例を対象に、順グラデーションおよび逆グラデーション塗装によるリメイク手法の有効性に関する心理評価実験の結果を報告し、過去に最も多く建設されてきた無装飾の面壁型坑門をリメイクする場合の、流入抵抗感の軽減や自然景観に配慮した景観設計の方向づけを提案するものである。

2. トンネル坑門の塗装によるリメイク手法

(1) 既往研究の考察

まず、トンネル坑門工に関する既往研究を整理し、面壁型トンネル坑門のリメイクにおけるデザイン選定方針について考察する。

第一に、形状に関する心理評価研究¹⁾から坑門形態が与えるイメージについて整理すると、面壁型坑門の形状に関しては、上部を曲線化することにより、明るさ・柔らかさ・軽快さ・開放感などに高い評価が得られる。また、壁面を視認性の高い仕上げとすることで、軽快さ・明るさについて高い評価を得られる。突出型坑門の形状に関しては、突出部の厚さに変化を持たせると、柔らかさ・軽快さ・開放感などに高い評価が得られる。

以上から、面壁型坑門のリメイクに当っては、曲線を取り入れると明るさ・軽快感と開放性が得られ、流入抵抗感の軽減が期待できる。また突出型の特徴を面壁に適用するとすれば、坑口を視認性の高い仕上げとしたり、坑口を広く見せる加工や厚さの変化を付ける工夫等が考えられる。

第二に、デザインに関する心理評価²⁾について整理すると、坑口を拡大させたもの、曲線を取り入れた滑らかなデザイン、坑口面を傾斜させた竹割式については流入抵抗感を和らげる効果がある。坑門の表面積が小さい突出式は周辺環境との調和に対する評価は高くなる。トンネ

ルの存在を印象付けるには、特殊で独特な形状を採用すれば効果は高いが、流入抵抗感は大きくなる。

以上より、面壁型坑門の場合アーチウィング形式(写真-1.d)の評価が高く、坑門上部に曲線を用いて面壁をできるだけ小さくする工夫が重要といえよう。

第三に、トンネル坑門形状の違いによるドライバーの運転挙動の相違を分析した結果³⁾より、トンネル坑門形状がドライバーに与える心理的影響について整理すると、トンネル暗部や坑口の右側部は心拍数の上昇やアクセル使用量の減少といった形でドライバーに心理的影響を与える。竹割型(写真-1.a)やアーチウィング型は、ドライバーに与える心理的影響が小さく、結果として速度低下を生じさせにくい。ウィング型のように坑門のコンクリート面積が大きい形状は、ドライバーに心理的圧迫感を与え易く速度低下が生じる。


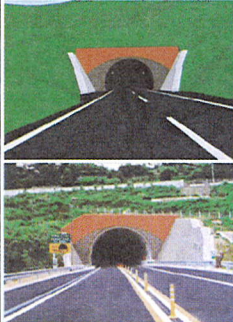
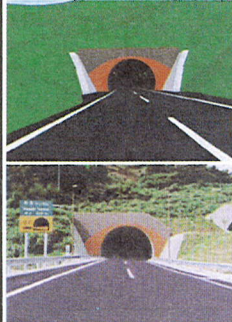



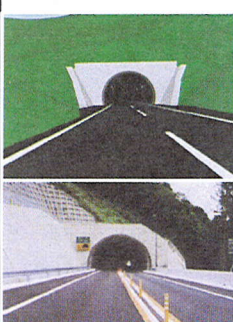
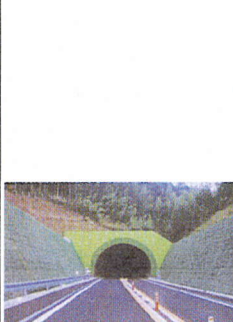

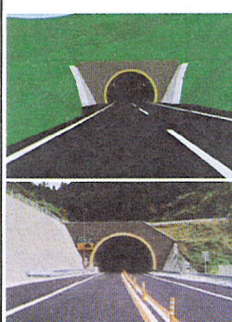
以上より、竹割およびアーチウィング型のようにコンクリート面積が小さい坑口形状は速度低下を生じさせにくく、非対称な面壁型坑門の流入抵抗感の改善に応用できると考えられる。

第四に、グラデーション塗装の評価に関する雑誌⁴⁾や新聞記事⁵⁾を見ると、名神高速道路の天王山トンネル(写真-1.c)において施工した、坑口から外側に向け順に濃から淡となる塗装とし、遠近感を持たせ圧迫感を和らげる手法は、ドライバーの評判もよく、トンネルを先頭に発生していた自然渋滞の回数が、天王山トンネルでは14回から4回に、梶原トンネルでは8回から4回に減少したと報告されている。また、色彩計画を今後の道路計画に取り入れれば、よりよい道路走行環境を生み出せる可能性があるとも述べられており、面壁型坑門のリメイク手法の一方が示唆されている。

(2) 松山道におけるトンネル坑門の塗装手法

リメイクを行ったトンネル数は4本(図-1)であるが、暫定施工の対面二車線通行のため、入口側坑口は8ヶ所となり、すべて面壁型(左右非対称・粗面ブロック模様仕上げ)で完成していた。既往研究より明らかなように、

表-1 提示画像

| 形状 | | 手法 | 順グラデーションによる手法 | | 逆グラデーションによる手法 | |
|--------|--------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | 坑口周辺を暗い色で塗装し、その外側を明るい色または無塗装としたデザイン | | 坑口周辺を明るい色で塗装し、その外側を暗い色で塗装としたデザイン | |
| 二心円タイプ | 坑口より大きな円弧で描画 | CG動画 実写ビデオ | ①二心円 | ②グラデーション | ③逆グラデーション | |
| | | |  <p>坑口周辺をこげ茶で塗装，その外側を無塗装とした二心円</p> |  <p>坑口周辺をこげ茶，外側全面を明るい茶色の二心円で塗装</p> |  <p>坑口周辺を明るい茶色，外側全面を暗いこげ茶の二心円で塗装</p> | |
| 併用タイプ | 二つの異なる円弧で描画 | CG動画 実写ビデオ | | ⑦三重グラデーション | ④逆グラデーション (上部曲線) | ⑧二心円 (黄) |
| | | | |  <p>坑口周辺をこげ茶，その外側を明るい茶の二心円，残り全面を明るい肌色で塗装した三心円。②の改良 (計画案-不採用)</p> |  <p>坑口周辺を明るい茶色，外側を少し大きな二心円を用いて暗いこげ茶で塗装</p> |  <p>坑口周辺を黄色の同心円，外側を少し大きな二心円を用いて暗いこげ茶で塗装。①と⑥を併用 (計画案-不採用)</p> |
| 同心円タイプ | 坑口と同じ円弧で描画 | CG動画 実写ビデオ | ⑤同心円 | ⑨ 同心円 (緑) | ⑩ 同心円 (緑・白) | ⑥同心円 (黄) |
| | | |  <p>坑口周辺をこげ茶の同心円で塗装</p> |  <p>坑口部を暗い緑色の同心円，外側全面を明るい緑色で塗装 (他路線のためデザイン検討に使ったCG動画無し)</p> |  <p>坑口部を白色の同心円，外側全面を濃い緑色で塗装 (他路線のためデザイン検討に使ったCG動画無し)</p> |  <p>坑口部を黄色の同心円，外側全面を暗いこげ茶で塗装</p> |

実写ビデオは、①袋口トンネル南、②明神山トンネル南、③～⑥は表-2に示すトンネル、⑨松山道 川中トンネル北、⑩徳島道 白地トンネル東である。

表-2 周辺状況と採用理由の整理

デザイン番号は表-1 提示画像の番号を示す

| トンネル名 | 位置 | 坑口周辺の状況 | デザイン番号 | 採用理由 |
|---------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 黒岩岳トンネル | 南 | 線形は緩い左カーブ (R=1100m) で、遠くより坑口を認識できる。坑口は非対称で左側の吹きつけや右側のブロックなど白い面が目立つ。 | ① | 坑口は認識できるが、周辺の白い面が目立つので、坑口全面を塗装せず、左右対称の二心円を描くことにより、坑口に丸みを付け、はっきりさせ、やわらかさを表し周辺景観と調和を図る。 |
| 袋口トンネル | 南 | 線形は緩い右カーブ (R=2000~R=1000m) であるが、遠くより坑口を認識できる。坑口は非対称で右側の切土が目立つ。坑口上を横断する道路や、家屋など煩雑な状況にある。 | ① | 右の山が迫ってきて、周辺の白い面が目立ち、傾いた不安定な坑口となっている。坑口全面を塗装せず、左右対称の二心円を描くことにより、アーチで囲め、不安定感をなくし坑口をはっきりさせ、繊細さと景観調和を図る。 |
| 明神山トンネル | 南 | 線形は緩い左カーブ (R=1000m) でかつ下り勾配の厳しい区間であるが、遠くより見通しが効くので、坑口を認識できる。坑口は非対称で右側の切土が目立つ。坑口上を横断する道路や、家屋など煩雑な状況にある。 | ② | 周辺景観との調和に配慮する必要がある坑口であり、坑口の認識は可能なため、順グラデーションを施すことにより、中側のこげ茶で、坑口を広く見せ、外側の薄茶で周辺景観と調和を図る。 |
| 明神山トンネル | 北 | 線形は直線に近く (R=2400m)、遠くより坑口を認識できる。坑口は非対称であるが、切土は小さく、奥の山も深くなっており緑より茶が合う状況である。坑口左側に盛土を行い景観の改善を図った。 | ② | |
| 永木トンネル | 南 | 線形は右カーブ (R=800m) で、2車から4車への幅員区間でもあり、坑口を認識できない。下り車線の坑口や坑口上の横断道路、木々の少ない背景の山など注視点が多い状況にある。 | ③ | 注視点が多いため交通安全上トンネルを意識させる必要があり、逆グラデーションを採用する。中側の薄茶でトンネル坑口を意識させ、外側のこげ茶で周辺との調和を図る。 |
| 永木トンネル | 北 | 線形は、トンネル内でSカーブ (R=700右とR=700左) しており、また4車から2車線への摺り付け区間でもあり当区間で最も運転しづらい箇所である。坑口上部から左側にブロック積があり、坑口が目立たない状況にある。 | ④ | 周辺が白く坑口が認識しづらく、交通安全上坑口をはっきり見せる必要があるため、逆グラデーションを採用する。外側のこげ茶によりアーチ形状をはっきりさせトンネルを意識させると共に、中側の薄茶で坑口をはっきり意識させる。 |
| 袋口トンネル | 北 | 線形はほぼ直線 (R=∞~1000m) で、遠くより坑口を認識できる。短いトンネルであり、出口が確認できる。坑口は非対称で左側のアンカーブロックの白い面が目立つが、右側が開けているのであまり圧迫感を感じない。 | ⑤ | 左側は切上区間が続くため、トンネル案内標識が面壁に設置される。全面塗装はかえって逆効果となるため、幅広同心円を描くことにより、坑口を少し大きく見せる工夫を図る。 |
| 黒岩岳トンネル | 北 | 線形は緩い右カーブ (R=1600m) で、左側の側道が坑口上部に続き、左側のコンクリート擁壁、右側の盛土や奥の山により、あまり坑口の認識ができない。 | ⑥ | 暫定2車線で坑口が認識しづらいので、逆グラデーションを施すが、トンネル案内標識が面壁に設置されるため、同心円タイプとし、クリーム色の縁取りで坑口をはっきりさせ、外側のこげ茶で周辺との調和を図る。 |

面壁形式では流入抵抗感を増大させ、景観との調和も必ずしも図られておらず、利用者の好感も得られない可能性が高いと考えた。しかし、開通を1年後に控えた状況でのデザイン変更や加工は、工期的・工費的に困難な状況であり、今後の既存坑門のリメイクへの適用可能性（施工性・経済性）も考慮して、塗装によるリメイク手法を採用することにした。

面壁塗装については、既述した天王山トンネル（写真-1.c）が代表的な先行事例といえるが、筆者等は既往研究において面壁型坑門の中ではアーチウイング型の評価が高い点に着目し、表-1の実写ビデオ（画像番号①②③④）に示すように、ウイング型面壁の上部と下部坑口周囲をアーチ形の曲線で色彩区分し、アーチウイング型の形状をイメージさせるとともに、印象的で柔らかさも感じさせるデザインを考案した。色彩に関しては、坑口部を広く見せて圧迫感を軽減する目的で、坑口周辺を暗いトンネル内部に近い色で塗装し、徐々に明るい色で塗装することにより遠近感を持たせ、従来からその効果について触れられてきた順グラデーションの塗装を施したタイプ（画像番号①②）と、坑口周辺の明度を高め、坑口を明瞭に認識させ、上部をグラデーションにより自然景観に馴染ませた、逆グラデーション塗装を施したタイプ（画像番号③④）を考案した。

次に、突出型坑門の中では竹割型が流入抵抗感を軽減する典型的なタイプとされているが、その理由として、坑口が明瞭に視認できることと、周囲の景観と調和していることの2点が指摘出来よう。この特徴を面壁型坑門の塗装で表現するとすれば、トンネル坑口周辺をリング状に塗装し、竹割型のように坑口形状を明瞭に見せる手法が有効であると考え、画像番号⑤⑥に示すようなデザインを考案した。色彩に関しては、画像番号⑤では塗装色の明度が低いタイプ、同⑥はリング部分の明度を高くし、周辺面壁部の明度を下げ全面塗装したタイプ、同⑦は3色を用いたグラデーション、同⑧はリング部分の明度を高くし、周辺面壁部の明度を下げアーチ形の曲線で色彩区分したタイプとした。

これらの塗装色の決定に当たっては、四季を通じて周辺との調和が図られ、またその地域に昔からある色に合わせることを前提に、コンピュータによりカラーパレット⁹⁾を作成し検討した結果、緑系統より茶系統が当該路線の景観には適合しており、落ち着きと新鮮さの特徴を持っていると判断した。⑨⑩は他区間で施工された事例（緑）（緑・白）であり、参考のために入れた。

本路線の面壁型坑門のリメイクは、これらのタイプを組み合わせ、交通対策上重要な箇所は坑口を明瞭に認識させるために逆グラデーションを採用し、坑口を広く見

表-3 被験者の年齢と性別

| 職業と年齢 | | 30代未満 | 30代 | 40代 | 50代以上 | 合計 | | | | |
|-------|----|-------|-----|-----|-------|-----|----|----|-----|----|
| J H | | 11 | 12 | 11 | 7 | 41 | | | | |
| HDE | | 19 | 12 | 7 | 10 | 48 | | | | |
| 男性 | 女性 | 4 | 15 | 10 | 2 | 6 | 7 | 10 | 30 | 18 |
| 学生 | | 98 | | | | 98 | | | | |
| 男性 | 女性 | 51 | 47 | | | 51 | 47 | | | |
| 合計 | | 128 | 24 | 18 | 17 | 187 | | | | |
| | | 66 | 62 | 22 | 2 | 17 | 1 | 17 | 122 | 65 |

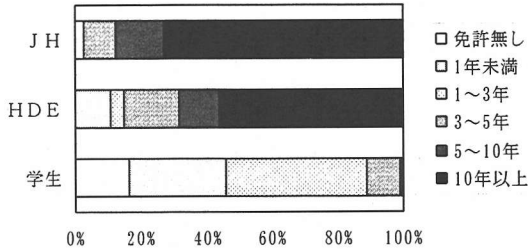


図-2 被験者の運転歴

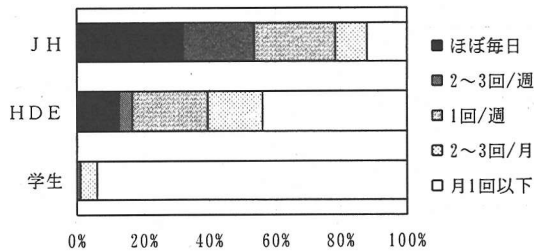


図-3 被験者の高速道路利用頻度

せ調和を図る箇所には順グラデーションを採用することにした。各トンネルの採用理由等を表-2 に示す。

3. 心理評価実験の方法

(1) 実験概要

実験は、グラデーションパターンの相違性と心理評価の関係に視点を置き、表-1 に示すCG動画(アニメーション)と実写ビデオを提示し、被験者が印象を5段階評価するSD法を用いた。実写ビデオの場合、坑口周辺の坑門形状・切土法面・周辺景観等の条件が異なり、心理評価に影響することが予測されるため、これらの条件を統一したCG動画を併用して比較することとした。走行速度による影響も考慮し実勢速度に近い80km/hに統一した。

CG動画は市販品のソフトを使用して作成し、完成四車線で、両側がブロック積み切土構造の面壁型トンネル坑門工とし、微細なティデールの再現は行わず、色と線

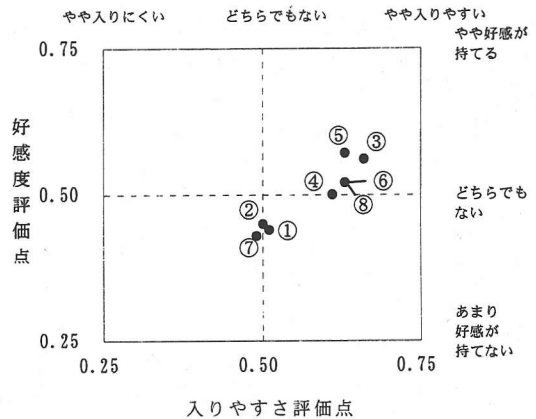


図-4 入りやすさと好感度の評価平均値 (CG)

により緑の山並みと坑口デザインを再現した。評価対象は表-1 に示す8坑口より同一デザインを採用している2坑口を除いた6坑口と、検討案の内、施工しなかった⑦三重グラデーションと⑧二心円(黄)を含めた8坑口とし、周辺景観等の坑門デザイン以外の要素は全て同一画像とした。

実写ビデオは、開通前に撮影した画像で、供用すると生じる対向車等運転者の心理に影響を与える要素を排除したものである。ここでの検討対象は施工した6デザインと、近隣区間で同様な塗装を行った事例の⑨同心円(緑)⑩同心円(緑・白)を追加した8坑口とした。

評価項目としては、総合評価としての入りやすさ・好感度と、個別評価としての見えやすさ・安心感・開放性・明るさ・周囲との調和・新鮮さの8語彙を選定した。実験は平成12年12月に山口、松山、広島での3会場で実施したが、説明・実験方法は全て同一手順とし、最初に全ての画像を提示し全体のイメージを把握してもらい、次にCG動画を用いた実験を行い、その後トンネルの実写ビデオによる実験を行った。結果の分析は市販品のソフトを使用して行った。

(2) 被験者の属性

被験者は3組の機関に依頼した。日本道路公団関係者(以下「JH」とする)は、工事および管理担当者であり日常的に状況を把握している専門技術者としての評価を、建設コンサルタント社員(以下「HDE」とする)は、幅広い年齢層の一般社会人の男性技術者(事務系の一般社会人も含む)および一般社会人の女性としての評価を、大学生は一般若年ユーザーとしての評価を期待した。被験者の選定にあたり、一般女性ユーザーについて、もう少し対象を広く採用する必要も感じたが、現時点でより多くの被験者を得ることができる調査をと考えた上で決定した。表-3 および図-2、図-3 に被験者の属性を示す。

表-4 固有値と寄与率 (CG)

| 因子 | 第1因子 | 第2因子 | 第3因子 |
|-----------|--------|--------|--------|
| 固有値 | 4.2169 | 2.0491 | 1.3937 |
| 寄与率 (%) | 52.7 | 25.6 | 17.4 |
| 累積寄与率 (%) | 57.4 | 78.3 | 95.7 |

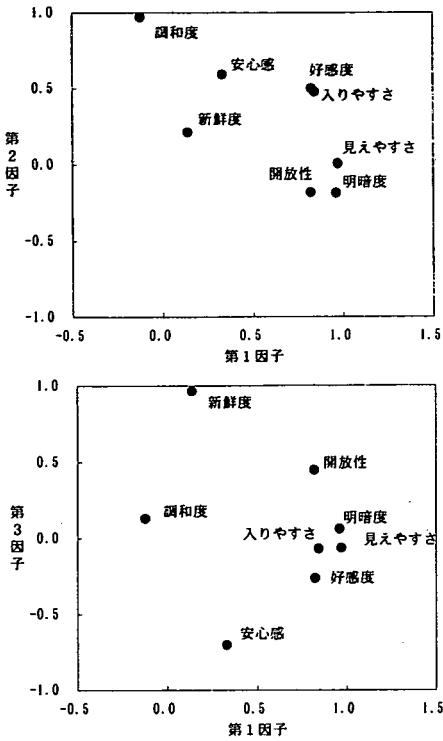


図-5 因子分析 (CG)

JHは男性のみ, HDEは男性6割, 女性4割, 学生は男女半々の割合で, 年齢はJHおよびHDEは20代未満から50代以上までの幅広い年齢層のデータが得られた。運転経験はJHおよびHDEは免許取得後10年以上が半数以上を占めるが, 学生は大半が免許取得後3年未満である。また高速道路の利用頻度は, JHは毎日利用している割合が高く, HDEはJHより利用頻度は少ないが, 週1回以上の利用者が4割近い。一方学生は月1回以下が9割以上で, 高速道路の利用経験が少なく, 初心者のデータとして位置づけられる。

4. CG動画によるデザイン評価の分析

(1) 入りやすさと好感度の評価

総合評価としての入りやすさ評価と好感度評価との関係を図-4に示す。評価値は5段階のカテゴリー評価に各々1.0, 0.75, 0.5, 0.25, 0の値を与え, これの平均値を

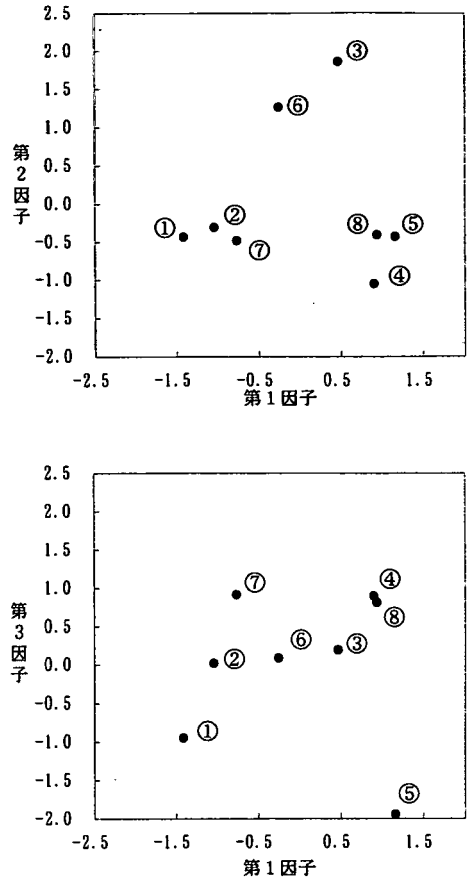


図-6 因子得点 (CG)

求めたものである (以下同様。なお, 図中の番号は表-1の坑門番号を示す。) 入りやすさ評価では, 逆グラデーションタイプの③④, 同心円タイプの⑤⑥および二心円タイプの⑧の評価値が高く, 逆に順グラデーションタイプの⑦②①の評価が低い。また好感度評価も入りやすさ評価と相関しており, 特に③⑤の評価が高い。このように, アーチウイング形状の逆グラデーション塗装と竹割型をイメージしたリング塗装タイプの評価が高い点は, 新たに試みた設計の意図が評価に反映されたものと判断できる。

(2) 形容詞対評価の因子分析

因子分析によって評価因子を求めた結果を表-4および図-5に示す。第1因子は見えやすさ・明暗度・入りやすさの因子負荷量が大きく, トンネルへ進入するまでの視認性を示す因子と解釈される。第2因子は, 調和度・安心感・好感度の因子負荷量が大きいので, 周辺環境との調和を示す因子と解釈される。第3因子はマイナス側に安心感の因子負荷量が小さく, プラス側に新鮮度の因

表-5 入りやすさ評価と好感度評価の要因分析 (C G)

| アイテム | カテゴリー | 反応数 | 入りやすさ評価 | | | | | 偏相関係数 レンジ | 好感度評価 | | | | | 偏相関係数 レンジ |
|-------|---------------------|------|---------|------|---|-----|-----|--------------|-------|------|---|-----|-----|--------------|
| | | | -0.2 | -0.1 | 0 | 0.1 | 0.2 | | -0.2 | -0.1 | 0 | 0.1 | 0.2 | |
| 性別 | 男性 | 975 | | | | | | 0.0025 | | | | | | 0.0522 |
| | 女性 | 520 | | | | | | 0.0011 | | | | | | 0.0204 |
| 年齢 | 30代未満 | 1023 | | | | | | 0.0508 | | | | | | 0.0781 |
| | 30代 | 192 | | | | | | 0.0400 | | | | | | 0.0438 |
| | 40代 | 144 | | | | | | | | | | | | |
| | 50代 | 136 | | | | | | | | | | | | |
| 運転歴 | 免許無し | 136 | | | | | | 0.1113 | | | | | | 0.1083 |
| | 1年未満 | 272 | | | | | | 0.0819 | | | | | | 0.0651 |
| | 1～5年 | 527 | | | | | | | | | | | | |
| | 5年以上 | 560 | | | | | | | | | | | | |
| 利用頻度 | 2～3回以上/週 | 248 | | | | | | 0.0740 | | | | | | 0.0234 |
| | 2～3回以上/月 | 304 | | | | | | 0.0458 | | | | | | 0.0114 |
| | 月1回以下 | 943 | | | | | | | | | | | | |
| 母集団 | JH | 328 | | | | | | 0.0596 | | | | | | 0.0146 |
| | HDE | 384 | | | | | | 0.0324 | | | | | | 0.0074 |
| | 学生 | 783 | | | | | | | | | | | | |
| 見えやすさ | やや見えにくい/見えにくい | 282 | | | | | | 0.3590 | | | | | | 0.1410 |
| | どちらでもない | 292 | | | | | | 0.2703 | | | | | | 0.0769 |
| | やや見えやすい | 593 | | | | | | | | | | | | |
| | 見えやすい | 328 | | | | | | | | | | | | |
| 安心感 | やや落ち着いていない/落ち着いていない | 391 | | | | | | 0.3012 | | | | | | 0.3627 |
| | どちらでもない | 559 | | | | | | 0.1703 | | | | | | 0.1928 |
| | やや落ち着いている/落ち着いている | 545 | | | | | | | | | | | | |
| 開放性 | やや閉鎖的である/閉鎖的である | 334 | | | | | | 0.1964 | | | | | | 0.1494 |
| | どちらでもない | 598 | | | | | | 0.1223 | | | | | | 0.0678 |
| | やや開放的である/開放的である | 563 | | | | | | | | | | | | |
| 明暗度 | やや暗い/暗い | 393 | | | | | | 0.0406 | | | | | | 0.2191 |
| | どちらでもない | 454 | | | | | | 0.0347 | | | | | | 0.1645 |
| | やや明るい | 495 | | | | | | | | | | | | |
| | 明るい | 153 | | | | | | | | | | | | |
| 調和度 | 調和していない | 146 | | | | | | 0.1463 | | | | | | 0.3841 |
| | あまり調和していない | 504 | | | | | | 0.1080 | | | | | | 0.2789 |
| | どちらでもない | 484 | | | | | | | | | | | | |
| | やや調和している/調和している | 361 | | | | | | | | | | | | |
| 新鮮度 | やや新鮮でない/新鮮でない | 354 | | | | | | 0.0598 | | | | | | 0.2506 |
| | どちらでもない | 570 | | | | | | 0.0317 | | | | | | 0.1191 |
| | やや新鮮な感じがする/新鮮な感じがする | 571 | | | | | | | | | | | | |

重相関係数 = 0.6875

重相関係数 = 0.7755

子負荷量が大きいため、デザインの新鮮さと安定性を示す因子と解釈される。

第1-第3因子軸のケース得点を示したのが図-6であるが、視認性の評価を示す第1因子得点が高いのは、⑤同心円、⑧二心円、④③逆グラデーションで、これらはトンネル内部との境界を着色して区別したデザインで、部分塗装により曲線化したものである。逆に第1因子得点小さいのは、①二心円、②グラデーション、⑦三重グラデーションで、これらは順グラデーションの二心円を基本としたタイプである。

調和と好感度を示す第2因子得点が高いのは、③逆グラデーション、次に⑥同心円(黄)で、これらは共に全面塗装により周辺環境との調和を保ちつつ、トンネル内部との境界を着色して区別したデザインであり、面壁塗装の効果が示されている。

デザインの新鮮さを示す第3因子の得点が高いのは、④逆グラデーション、⑦三重グラデーション、⑧二心円(黄)で、これらは併用タイプで面壁に多種着色したデザインである。一方、安心感を示す第3因子の得点小さいのは⑤同心円と①二心円で、共に面壁のコンクリート色とこげ茶のシンプルな色の組み合わせのタイプである。

以上から、走りやすさの評価は坑門の見えやすさ、明るさ、開放性に対する評価に規定され、特に⑤④⑧の坑

門でこれらの評価が高く、走りやすいと評価されていることを示している。また③⑥の坑門では周辺環境との調和と安心感に対する評価が特に高く、好感をもたれるとともに、走りやすいと評価されていることを示している。

また総合評価である入りやすさと好感度は第1因子・第2因子ともに得点が高く、これらの因子得点が共に大きい坑門③⑤が総合的に高い評価がなされているものと解釈できる。また、今回採用した順グラデーションタイプの①②⑦が総合的に低い評価であった。これは坑口周辺の暗色塗装範囲がやや広く目立つため、流入抵抗感と好感度評価を低下させたのではないかと考える。

(3) 入りやすさ・好感度評価の要因分析

トンネル視環境の評価として、入りやすさに差をもたらす要因とその影響度を整理するため、入りやすさを外的基準とし、被験者属性および評価項目を内的基準とした数量化I類分析を行った結果および好感度を外的基準とした分析結果を表-5に示す。

入りやすさ評価に及ぼす影響度を示すレンジが最も大きいのは見えやすさで、運転者からのトンネル坑門の視認性がデザイン上重要な要素となることを示している。次いで安心感、開放性、調和度の順に大きく、こうした印象を与えるデザインが、入りやすく感じるトンネル坑

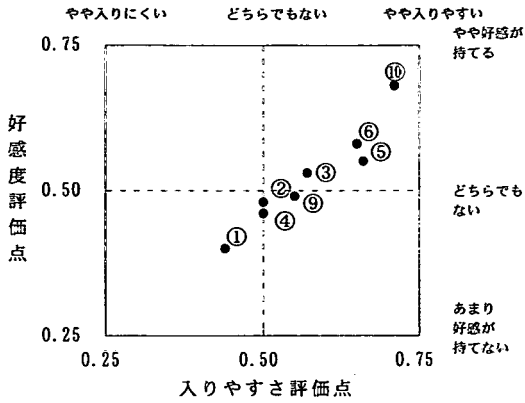


図-7 入りやすさと好感度評価の平均値 (ビデオ)

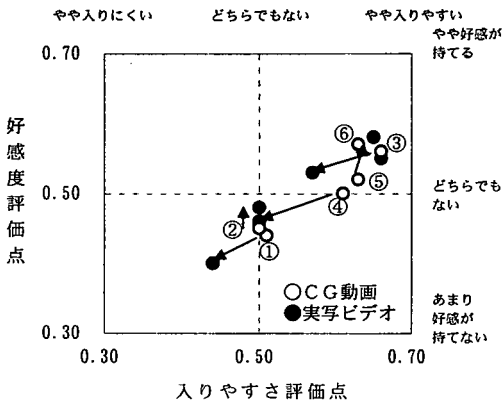


図-8 CG動画と実写ビデオの評価平均値比較

門の条件となることを示す。

一方、好感度評価に及ぼす影響度を示すレンジが最も大きいのは調和度で、次いで安心感、明暗度の順に大きく、周辺環境と調和した、落ち着きがあって違和感のない、明るいデザインが好感をもたらすことを示している。また新鮮度のレンジも比較的大きく、従来に無い新しいデザインも好感がもたれることを示している。

被験者の属性については、入りやすさ評価、好感度評価共に運転歴の長さ（免許無し）が若干影響しているようにも見えるが、表-5のカテゴリスコアのレンジは感性による評価に比べ小さい値であり、総合評価に影響を与えないものと考えられる。

5. 実写ビデオによるデザイン評価

(1) 入りやすさと好感度の評価

図-7 に入りやすさ評価と好感度評価の評価平均値を示すが、両評価の間には明瞭な相関関係がみられる。評

表-6 固有値と寄与率 (ビデオ)

| 因子 | 第1因子 | 第2因子 |
|-----------|--------|--------|
| 固有値 | 5.7890 | 1.1897 |
| 寄与率 (%) | 72.0 | 14.9 |
| 累積寄与率 (%) | 72.0 | 86.9 |

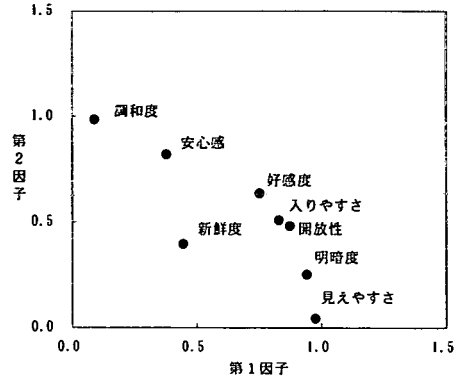


図-9 因子分析 (ビデオ)

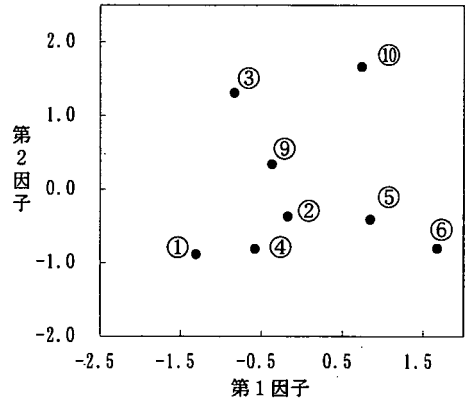


図-10 因子得点 (ビデオ)

値が最も高いのは⑩同心円 (緑・白) である。次に⑤、⑥の同心円の評価値も高く、CGの評価と比較すると二心円タイプより同心円タイプの評価が相対的に高い。ただし、緑系の全面塗装を施した⑨の同心円タイプの評価はさほど高くない。また二心円タイプでは、順グラデーション①②より逆グラデーション③の評価が高く、CG動画の場合と同様の評価結果が得られている。

ここでCG動画と実写ビデオの評価を比較するため、CG動画と実写ビデオに共通する6坑門をプロットし、入りやすさと好感度の両評価を比較したのが図-8である。一部両評価に差が生じており、CG動画に比べ①二心円③逆グラデーション④逆グラデーション (上部曲線) で実写ビデオの評価が低い。CG動画はデザインの比較検討に用いたもので、光線の当たり具合や山の木々の状況など微細なディテールまで再現するには費用対効果の

表-7 入りやすさ評価と好感度評価の要因分析 (ビデオ)

| アイテム | カテゴリー | 反応数 | 入りやすさ評価 | | | | | 好感度評価 | | | | | | |
|-------|---------------------|------|----------|------|---|-----|-----|--------------|----------|------|------|---|-----|--------------|
| | | | カテゴリースコア | | | | | 偏相関係数 レンジ | カテゴリースコア | | | | | 偏相関係数 レンジ |
| | | | -0.2 | -0.1 | 0 | 0.1 | 0.2 | | | -0.2 | -0.1 | 0 | 0.1 | |
| 性別 | 男性 | 976 | | | | | | 0.0326 | | | | | | 0.0471 |
| | 女性 | 519 | | | | | | 0.0147 | | | | | | 0.0186 |
| 年齢 | 30代未満 | 1023 | | | | | | 0.0218 | | | | | | 0.0627 |
| | 30代 | 192 | | | | | | 0.0138 | | | | | | 0.0336 |
| | 40代 | 144 | | | | | | | | | | | | |
| | 50代 | 136 | | | | | | | | | | | | |
| 運転歴 | 免許無し | 136 | | | | | | 0.0224 | | | | | | 0.0844 |
| | 1年未満 | 271 | | | | | | 0.0149 | | | | | | 0.0480 |
| | 1～5年 | 528 | | | | | | | | | | | | |
| | 5年以上 | 560 | | | | | | | | | | | | |
| 利用頻度 | 2～3回以上/週 | 248 | | | | | | 0.0040 | | | | | | 0.0941 |
| | 2～3回以上/月 | 304 | | | | | | 0.0023 | | | | | | 0.0453 |
| | 月1回以下 | 943 | | | | | | | | | | | | |
| 母集団 | JH | 328 | | | | | | 0.0378 | | | | | | 0.0206 |
| | HDE | 384 | | | | | | 0.0244 | | | | | | 0.0103 |
| | 学生 | 783 | | | | | | | | | | | | |
| 見えやすさ | やや見えにくい/見えにくい | 615 | | | | | | 0.3515 | | | | | | 0.1743 |
| | どちらでもない | 283 | | | | | | 0.2438 | | | | | | 0.1049 |
| | やや見えやすい | 384 | | | | | | | | | | | | |
| | 見えやすい | 213 | | | | | | | | | | | | |
| 安心感 | やや落ち着いていない/落ち着いていない | 316 | | | | | | 0.2784 | | | | | | 0.3481 |
| | どちらでもない | 498 | | | | | | 0.1683 | | | | | | 0.1913 |
| | やや落ち着いている/落ち着いている | 681 | | | | | | | | | | | | |
| 開放性 | やや閉鎖的である/閉鎖的である | 451 | | | | | | 0.2116 | | | | | | 0.1479 |
| | どちらでもない | 552 | | | | | | 0.1371 | | | | | | 0.0823 |
| | やや開放的である/開放的である | 492 | | | | | | | | | | | | |
| 明暗度 | やや暗い/暗い | 579 | | | | | | 0.0841 | | | | | | 0.2068 |
| | どちらでもない | 419 | | | | | | 0.0505 | | | | | | 0.1088 |
| | やや明るい/明るい | 497 | | | | | | | | | | | | |
| 調和度 | やや調和していない/調和していない | 402 | | | | | | 0.1447 | | | | | | 0.3225 |
| | どちらでもない | 377 | | | | | | 0.1052 | | | | | | 0.2053 |
| | やや調和している | 505 | | | | | | | | | | | | |
| | 調和している | 211 | | | | | | | | | | | | |
| 新鮮度 | やや新鮮でない/新鮮でない | 416 | | | | | | 0.0142 | | | | | | 0.2185 |
| | どちらでもない | 598 | | | | | | 0.0076 | | | | | | 0.1148 |
| | やや新鮮な感じがする/新鮮な感じがする | 481 | | | | | | | | | | | | |

重相関係数 = 0.7046

重相関係数 = 0.7774

面からも判断し、簡易モデル作成による比較で行った。よって坑口デザインの違いを比較できることを目的とした画像としたため実写ビデオとの差が生じたとも考えられる。また、当区間は南北に走っており、北坑口と南坑口では光のあたり具合などの条件が異なり、実写ビデオは、撮影の時間帯や太陽の位置により周囲の自然景観(背景の木々の色)や内壁の色が変化する点が要因の一つと考えられる。①に関しては、周辺が樹木に覆われているため、CG動画と比較して光線の具合で内壁の色がやや暗く鮮明でない点が影響しているものと考えられる。③については逆に太陽光の直射により、塗装面の色彩が薄く見える点、道路構造が2車線から4車線へと変化する点などが影響したものと考えられる。また④の場合には、坑門周辺のコンクリート法面の多さ、道路構造が4車線から2車線へと変化する反対車線の坑口が視野に入る点などが影響している可能性が大きく、さらに手前の路面は直射光が当たり明るいのにに対し、坑口周辺は日陰で薄暗く、評価が低くなった可能性も考えられる。

(2) 形容詞対評価の因子分析

次に因子分析の結果を表-6および図-9に示す。第1因子は、見えやすさ・明暗度・開放性・入りやすさの因

子負荷量が大きく、トンネルへ進入するまでの視認性を示す因子と解釈される。第2因子は、調和度・安心感・好感度の因子負荷量が大きいので、周辺環境との調和を含むデザインの好感度を示す因子と解釈される。因子得点(図-10)より、視認性の評価を示す第1因子得点が高いのは⑥同心円(黄)で、次に⑤同心円、⑩同心円(緑・白)である。これらはトンネル内部と面壁との境界を同心円状に着色して区別したもので、視認性に優れたデザインとして評価されていることがわかる。調和と好感度を示す第2因子得点が高いのは⑩同心円(緑・白)、③逆グラデーションで、これらは周辺環境との調和を考慮して着色したデザインである。総合評価である入りやすさと好感度は第1・第2因子ともに比較的大きいので、これらの因子得点が高い⑩同心円(緑・白)が総合的に高い評価がなされているものと解釈できる。

(3) 入りやすさ・好感度評価の要因分析

入りやすさ評価および好感度評価に影響を与える要因を明らかにするため、数量化I類を用いた要因分析を行った結果を表-7に示す。入りやすさ評価に及ぼす影響度を示すレンジが最も大きいのは見えやすさで、次に安心感、開放性、調和度の順に大きく、CG動画の場合とほ

ば同様の結果が得られた。また被験者属性のレンジは小さく、評価への影響度は低いことが分かる。

好感度評価に及ぼす影響度を示すレンジが最も大きいのは調和度、次いで安心感、明暗度の順で、これもCG動画の場合とほぼ同様の結果が得られた。

被験者の属性については、入りやすさ評価、好感度評価共にほとんど影響しない。

6. 面壁塗装デザインの評価

以上の心理評価実験の分析結果より、面壁型トンネル坑門の塗装によるデザインに対する評価を整理すると、以下のようにまとめられよう。

(1) アーチウイング型逆グラデーション塗装の評価

今回、逆グラデーションを採用した坑門は、道路線形や周辺景観条件が厳しい箇所であったが、③の逆グラデーション手法は高い評価が得られた。また④の逆グラデーション(上部曲線)は、周辺のコンクリート面が影響し景観との調和に関する評価が若干低いが、①②と比較すると高い評価が得られており、一般的条件下では更に改善効果が期待できる。また周辺景観色が緑の場合には、今回新たに採用したこげ茶は、周辺景観と違和感なく調和していることが示された。

(2) 同心円型塗装の評価

⑥⑩は、坑口周辺部のみをリング状に塗装し、他の面壁部を周辺と調和するよう全面塗装したタイプで、実写ビデオ実験では、最も高い評価がなされている。また⑤の同心円は、塗装範囲が坑口周辺のみで、塗装が目立わず坑口が多少大きく見えるため、高い評価が得られたものと推察できる。

これまで、順グラデーション塗装によるスムーズインの考え方は提案・実践されているが、今回新たに提案した同心円型塗装の考え方は、走りやすさ・デザインに対する好感度の両面において効果が大きいことが認められた。

(3) アーチウイング型順グラデーション塗装の評価

今回の順グラデーション手法は、二心円タイプについてはすべて低い評価である。これはこげ茶色に塗装した部分が大きすぎるため、遠近感により坑口を広く見せることができず、逆に目立ってしまっているためと考えられる。実走ビデオの評価が最も低かった①二心円は、CG動画の⑧二心円(黄)として改善可能であり、入りやすさの評価を高めることが期待できる。

また、②の順グラデーション全面塗装に関しては、効

果が認められないことから、③の逆グラデーション全面塗装の考え方に変更することが望ましい。⑦の三重グラデーションについては、デザインの新鮮さに対する評価は認められるが、走りやすさ・好感度の評価は最も低く、効果が認められない。

7. 結論

本論文では、高速道路で最も多く建設・供用されている面壁型のトンネル坑門を対象に、CG動画と実写ビデオによる心理評価実験を行い、塗装によるリメイク手法の有効性に関し検討を行った。得られた知見は以下の通りである。

(1) コンクリート面が多く、流入抵抗感の大きいウィング型の坑口に対し、上部を曲線化したアーチウイング型の塗装を行い、配色を逆グラデーションとする方法は、トンネル流入抵抗感を低減させ、利用者が好感を持てる手法として有効であることを示した。

(2) 坑口形状が明瞭に視認できる竹割型をイメージしたリング塗装は、流入抵抗感を低減させる効果が大きく、さらにリング周辺面壁をトンネル周辺と調和した色彩で全面塗装することにより、好感をもたらず相乗効果があることを示した。

(3) トンネル坑口の流入抵抗感を軽減するデザイン要素として、見えやすさ・安心感・開放感を感じさせるデザインが重要となること、また好感がもたれる要素として、周辺との調和・安心感・明るさを感じさせるデザインが重要となることを示した。特に周辺環境と調和を図るには、コンクリート素面を少なくし、面壁全体の塗装色を目立たない色にする方法が有効であることが明らかとなった。

以上、本論文ではCG動画と実写ビデオによる心理評価実験をもとに(1)～(3)の知見を得た。今後、安全で快適な高速交通の確保にとって、大きな課題であるトンネル坑門(最も多く、かつ高速交通にとって問題の多い面壁型坑門)のリメイクにこの知見を生かし、大きな成果が期待できるものと考えられる。

謝辞:最後に今回の心理評価実験には、日本道路公団 松山工事事務所をはじめ、松山管理事務所、(株)ハーディアの社員、山口大学工学部学生等の協力と、岩本 慎二(醇建築まちづくり研究所)、片岡 慎二、中村 裕子(株)ハーディア) 諸氏の支援をいただいた。末尾ながら記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中園 真人, 鈴木 昌次, 古川 浩平, 中川 浩二: 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, 土木学会論文集, No. 474/VI-20, pp. 85-94, 1993. 9.
- 2) 中田 雅博, 赤木 渉: トンネル坑門の評価に関する一考察, ハイウェイ技術, No. 8, pp. 26-38, 1997. 10.
- 3) 松本 晃一, 野口 雅弘, 森 康男, 飯田 克弘: 交通機能面から見たトンネル坑口のあり方に関する研究, JH試験研究所報告, Vol. 36, pp. 118-126, 1999. 11.
- 4) 土木の風景 天王山・梶原トンネル坑口, 日経コンストラクション, pp. 68-70, 1996. 2. 9.
- 5) トンネル恐怖を緩和: 読売新聞 夕刊記事, 1994. 3. 3.
- 6) 日本道路公団: 設計要領 第三集トンネル(1)トンネル本体工建設編, p. 135, 1998. 10.
- 7) 中園 真人: CGによる高速道路の景観設計, 高速道路と自動車, 第40巻-5号, pp. 23-32, 1997. 5.
- 8) 日本道路公団: 高速道路の景観整備実践マニュアル, p. 35, 1994. 2.
- 9) 井上義之, 尾崎真理, 望月秀次, 小林正美: 都市内連続高架橋の景観設計, 高速道路と自動車, 第43巻-10号, pp. 25-32, 2000. 10.

(2002. 6. 7 受付)

EVALUATION OF REDESIGN METHOD OF WALL TYPE OF TUNNEL PORTAL

Yoshiyuki INOUE, Hidenobu YAMASHITA, Takashi KUMAGAI,
Mahito NAKAZONO and Koji NAKAGAWA

The effect of painting color gradation in reducing the resistance to the inflow of vehicles into the tunnels has been discussed in the past study. However, the influence of the painting with a reverse-course gradation has not been evaluated yet. This paper describes results of mental-evaluate experiments, conducted by using CG and video images. The subject of the discussion are tunnel portals, which was redesigned by painting with a normal and a reverse-course gradation in order to reduce the resistance and consider the landscape. The study indicates the relation between the resistance to the inflow and the congenial driving environment. Moreover, it has shown the effectiveness of the redesign by painting with a reverse-course gradation.