

## シーケンスデザインを用いたトンネル坑口の交通安全対策の検討

阪神高速道路(株)	京都建設部調査設計・審査グループ	岩里 泰幸
//	神戸建設部工事企画グループ	藤井 康男
//	京都建設部調査設計・審査グループ	足立 幸郎
//	環境・景観室 景観グループ	玉川 大

### 要 旨

阪神高速道路 8 号京都線稲荷山トンネル山科坑口部は坑口を出てから交差点までの距離が 140m と短く、トンネル内を走行した車両が十分に減速できない可能性があることが危惧されている。その解決策として、従来は建築等の分野で緊張感緩和等のために採用されていたシーケンスデザインを、交通安全対策の手法として利用することを発案し、シーケンスデザインが運転者に与える影響についてアンケート等を通じて検討を行い、トンネルへの応用方法について検討した。さらに CG 動画を用いた室内実験により、検討したシーケンスデザインによる速度抑制効果を定量的に検証した。

**キーワード:**シーケンスデザイン, トンネル, 交通安全対策, 内装工, コスト縮減

### はじめに

阪神高速 8 号京都線稲荷山トンネル山科坑口部では図-1 に示すように本線部トンネル坑口を出て 140m で交差点に接続する構造となっている。交差点の最大滞留長は 81.5m, すなわちその時は坑口から最大滞留長末尾までの距離が約 60m と坑口に近接しており、トンネル内を走行した車両が十分に減速できない可能性があることが危惧されている。

これに対する交通安全対策としては一般的に道路標識や路面標示による交通安全対策が考えられるが、これら文字や図形による注意喚起は多すぎるとかえって紛らわしさが増大し、運転に支障を来すことも考えられる。そのため、新しい手法による安全対策が求められていた。

トンネル部は土工部や橋梁部と異なり、周囲が壁面で覆われているという特徴がある。そこで内

装工によりトンネル空間の明色化を図っている壁面に着目し、運転者の速度抑制を目的としたシーケンスデザインをこの壁面に適用することを検討した。このようなシーケンスデザインは標識や路面標示との相乗効果により、運転者への負担が少なくかつ効果的な交通安全対策が可能になると考えられた。



図-1 山科坑口部の状況

本研究は、模様の基礎特性とその展開方法について実験的に検討し、その効果を検証した。本稿はその概要について報告する。

## 1. シークエンスデザイン

「シークエンス」とは連続性ないし連続して起こる順序を意味し、「シークエンスデザイン」とは連続性を持って展開する一連のデザインを意味する。シークエンスデザインは主に建築デザインやランドスケープデザインにおいて快適性の向上等を目的に採用されるデザインの一手法として利用されている。土木の分野においてもシークエンス景観に配慮したインフラ整備の考え方<sup>1)</sup>や快適性の向上等を目的としたシークエンス性のあるデザインの適用<sup>2)</sup>が注目されつつある。例えば中部縦貫道路の小鳥トンネルでは図-2のようにトンネル内の単調な空間の改善や緊張感の緩和等による交通快適性の向上を図るため、シークエンス性のあるデザインをトンネル壁面に施している。ここではシークエンスデザインの手法を、快適性の向上を目的とするのではなく、新しい交通安全



図-2 小鳥トンネルのシークエンスデザイン<sup>3)</sup>

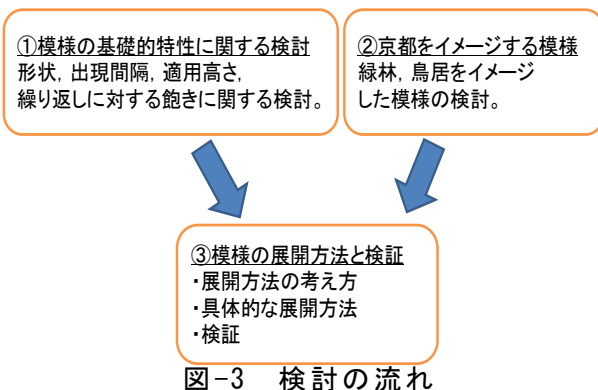


図-3 検討の流れ

対策の一手法として適用する場合のデザイン手法について検討したものである。なお本稿では次のように用語を定義する。

デザイン：シークエンス性をもって展開する模様の集合体。

模様：デザインを構成する最小要素。

## 2. 検討の流れ

交通工学上、デザインのシークエンス性が運転者の心理に与える影響については未研究の分野である。そこで模様の基礎特性を把握し、その展開方法を図-3のように検討することとした。

## 3. 模様の交通安全上の基礎特性

### 3-1 模様の形状に関する検討

望ましい模様の形状を検討するためにCG動画をを用いたアンケートを行った。望ましい模様の形状とは、運転者に対してスピード感は与えつつも危険感や視線の奪われやすさ、運転のしにくさ、距離間隔のつかみにくさを与えない形状である。

アンケートは京都市及び阪神高速の道路技術者17名に対し、CGにより作成された壁面模様の異なる8種類の動画を用いて、各々の模様に対して危険性、スピード感、視線散漫性、運転快適性、距離感の観点から各々9段階の評価を行った。

図-4にはアンケート結果を指標化した結果を示す。ここで「①危険を感じる」「③壁に視線

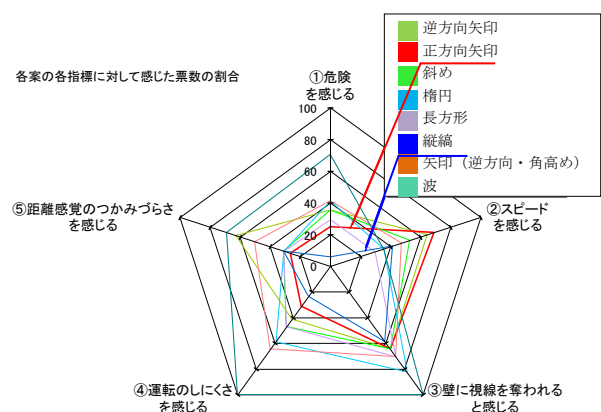
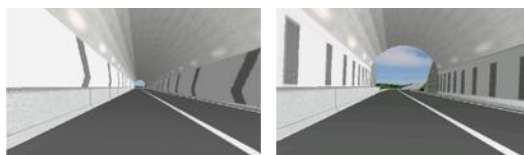


図-4 望ましい模様の形状に関するアンケート結果（母数：17）

を奪われると感じる」「④運転のしにくさを感じる」「⑤距離感覚のつかみづらを感じる」といった項目は運転者の安全な走行を妨げる要因となるため低い方が望ましく、「②スピードを感じる」は運転者の自発的な減速につながると考えられるため高い方が望ましい。その結果、図-5 に示すスピード感が高いものの危険性等をあまり感じさせない「正方向矢印」、及び各評価指標に対してバランスがよい評価が得られた「縦縞」が望ましい模様の形状として考えられた。

### 3-2 模様の繰り返しと飽きに関する検討

繰り返す模様に対する“飽き”を検討するため、同じく CG 動画を用いたアンケートを行った。アンケートではコンサルタント技術者 15 名（有効回答 13 名）に対して、走行中の模様の形状が縦縞で出現間隔が 0.2 秒/間隔=5Hz の CG 動画を用いて、スピード感を感じる時点と飽きを感じる時点を測定した。この時間の差を、運転者が模様へ飽きる時間と定義した。図-6 に示す結果の平均値から概ね 8.8 秒間同じ模様が繰り返されると“飽き”の現象が現れることがわかった。



(a) 正方向矢印 (b) 縦縞

図-5 望ましい模様の形状の検討に使用したCG動画

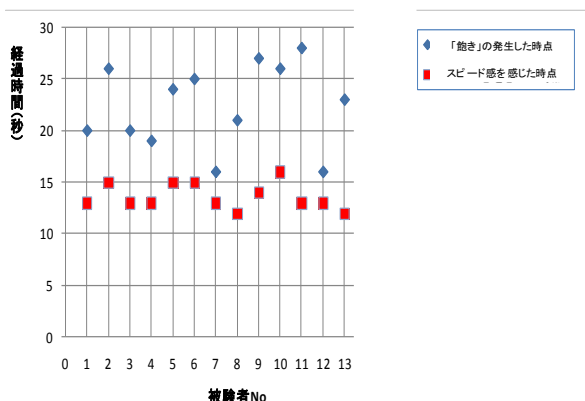


図-6 “飽き”に対するアンケート結果

### 3-3 模様の出現間隔と適用高さに関する検討

模様の出現間隔や適用高さが運転者に与える影響を検討するため、図-7・8 に示すように当社ホームページや当社が開催した現場見学会にて、一般の方を対象にアンケートを実施した。アンケートでは図-9・10 に示す模様の出現間隔、適用高さのそれぞれ異なる CG 動画を用いて、スピード感、危険性、快適性について評価を行った。有効回答は 624 件（インターネット：518 件、現場見学会：106 件）であり、回答者の構成は当社道路利用者の構成とほぼ一致している。

図-11 に模様出現間隔に関するアンケート結果を示す。高密度すなわち模様出現間隔が短くなると危険性が高まり、逆に低密度すなわち模様出現間隔が長くなると快適性が高まることがわかった。このような結果から、危険性と快適性の近似曲線が交差する点が、運転者が快適とも危険とも感じない、望ましい模様間隔出現間隔と考えられる。



図-7 当社ホームページ上でのアンケート



図-8 現場見学会でのアンケート

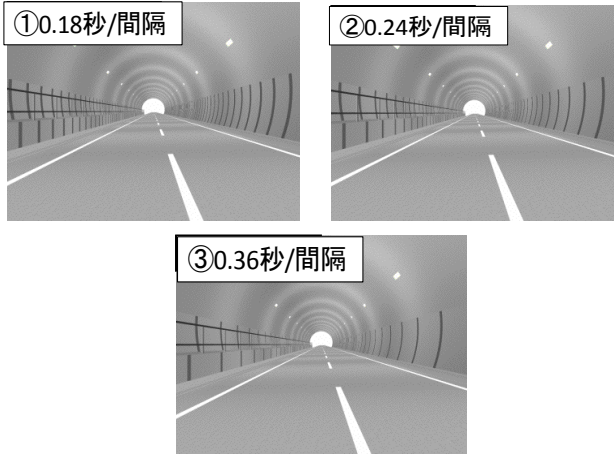


図-9 模様出現間隔のアンケートに用いたCG動画

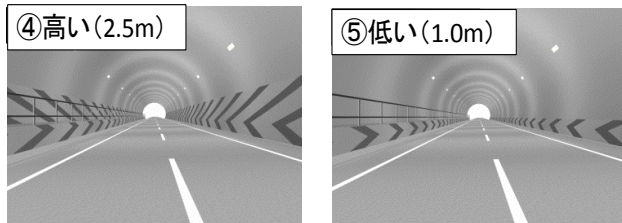


図-10 模様の適用高さのアンケートに用いたCG動画

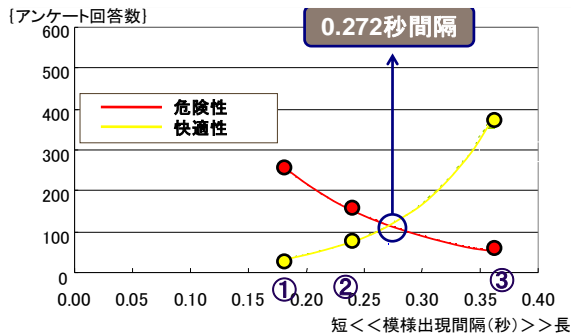


図-11 模様の出現間隔と危険性、快適性等との関係

アンケートの結果によると、0.272 秒/間隔 = 3.6Hz が望ましい模様出現間隔であると考えられる。例えば希望走行速度を 40km/h とした場合、模様配置間隔は約 3.0m となり、このような模様が配置された中を希望走行速度を超過して運転した場合には危険感を与え、そうでない場合には快適感を与えることができると考えられる。

模様の適用高さやスピード感に関するアンケート結果を図-12 に示す。適用高さが低い範囲ではスピード感が少ないことから、ある程度の適用高さを確保する必要があることが確認された。

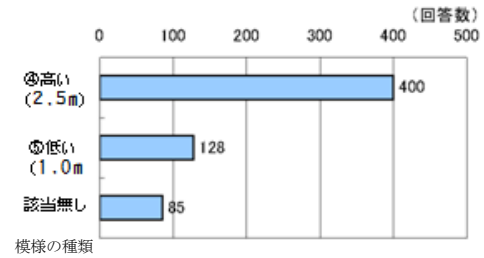


図-12 適用高さやスピード感との関係

#### 4. 京都をイメージする模様に関する検討

前述で望ましい模様の形状として検討された「正方向矢印」や「縦縞」を違和感なく取り込み、京都に新しく建設されるトンネルにふさわしくかつ京都をイメージするものとして、「嵯峨野の緑林」及び「寺社の鳥居」をイメージして模様を検討することとした。

##### 4-1 緑林案

図-13 のような緑に囲まれた京都、日本庭園、鴨川の緑、現地の竹林等をイメージしたものである。緑林の中を走行するような空間によって安心・快適な走行空間が創造できると考えた。また、緑は安全色であり急激な走行環境の変化をもたらさない効果もある。具現化した CG を図-14 に示す。

##### 4-2 鳥居案

緑林案と比較して注意を促す赤色を利用した模様であり、図-15 のような寺社の鳥居をイメージしたものである。警戒色である赤色を採用することにより、より強い速度抑制効果を期待できると考えた。具現化した CG を図-16 に示す。

#### 5. 効果的な模様の展開方法に関する検討

##### 5-1 展開方法

模様の展開にあたっては、急な速度変化による危険性を避けるため、徐々に速度抑制を行う必要がある。そのためには模様の形状や適用高さ、出現間隔を連続的に変化させて速度抑制の効果を高める必要があると考えられるため図-17 に示すよ



うな展開方法を考えた。

この展開方法に従って図-18 (a)に示す展開案を検討した。



図-13 緑林案のイメージ



図-14 緑林案のCG



図-15 鳥居案のイメージ



図-16 鳥居案のCG

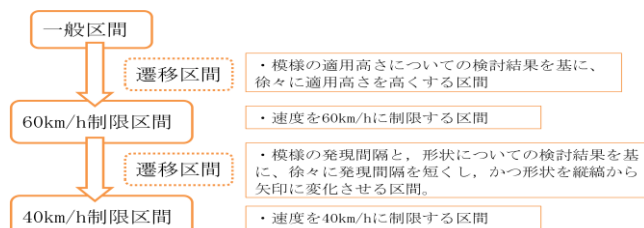


図-17 展開方法の考え方

### Case1) 路面表示のみ (壁面デザイン無し)

坑口から 180m 手前の「減速・誘導区間」路面表示により速度抑制を図っている。

### Case2) 緑林案+路面表示

緑林により「正方向矢印」と「縦縞」を形成し、トンネル坑口に近づくに連れて徐々に速度抑制効果を高める展開方法である。速度抑制のピークとは、最も速度抑制効果の高い「正方向矢印」かつ希望走行速度 40km/h を設定して配置間隔 3.0m を採用した区間である。それを図-18 中 Case2 の第5区間に示すように坑口手前に配置しており、路面表示との相乗効果は考慮していない。

### Case3) 鳥居案+路面表示

警戒色である赤色で速度抑制を図り、模様は危険感を与え過ぎないように「縦縞」を採用した上で、トンネル坑口に近づくに連れて徐々に速度抑制効果を高める展開方法である。速度抑制のピークは坑口手前の図-18 中 Case3 の第5区間に配置しており、路面表示との相乗効果は考慮していない。

### Case4) 緑林案+路面表示

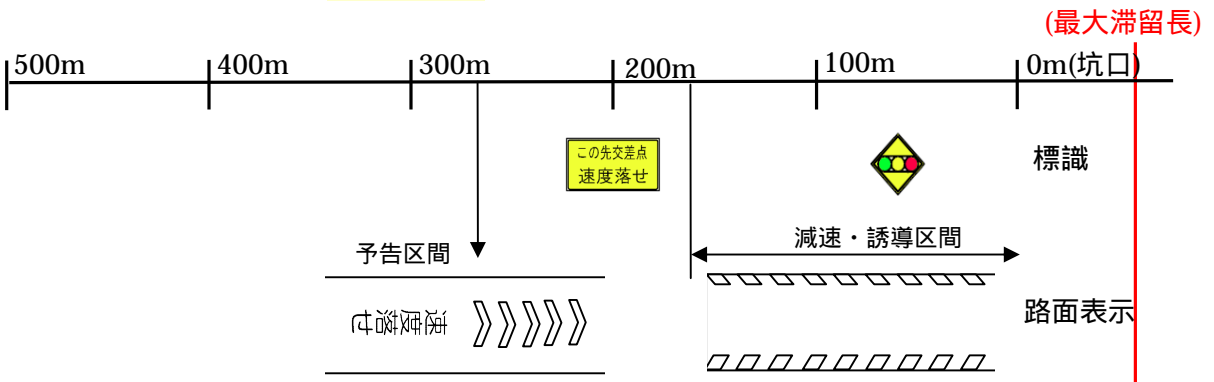
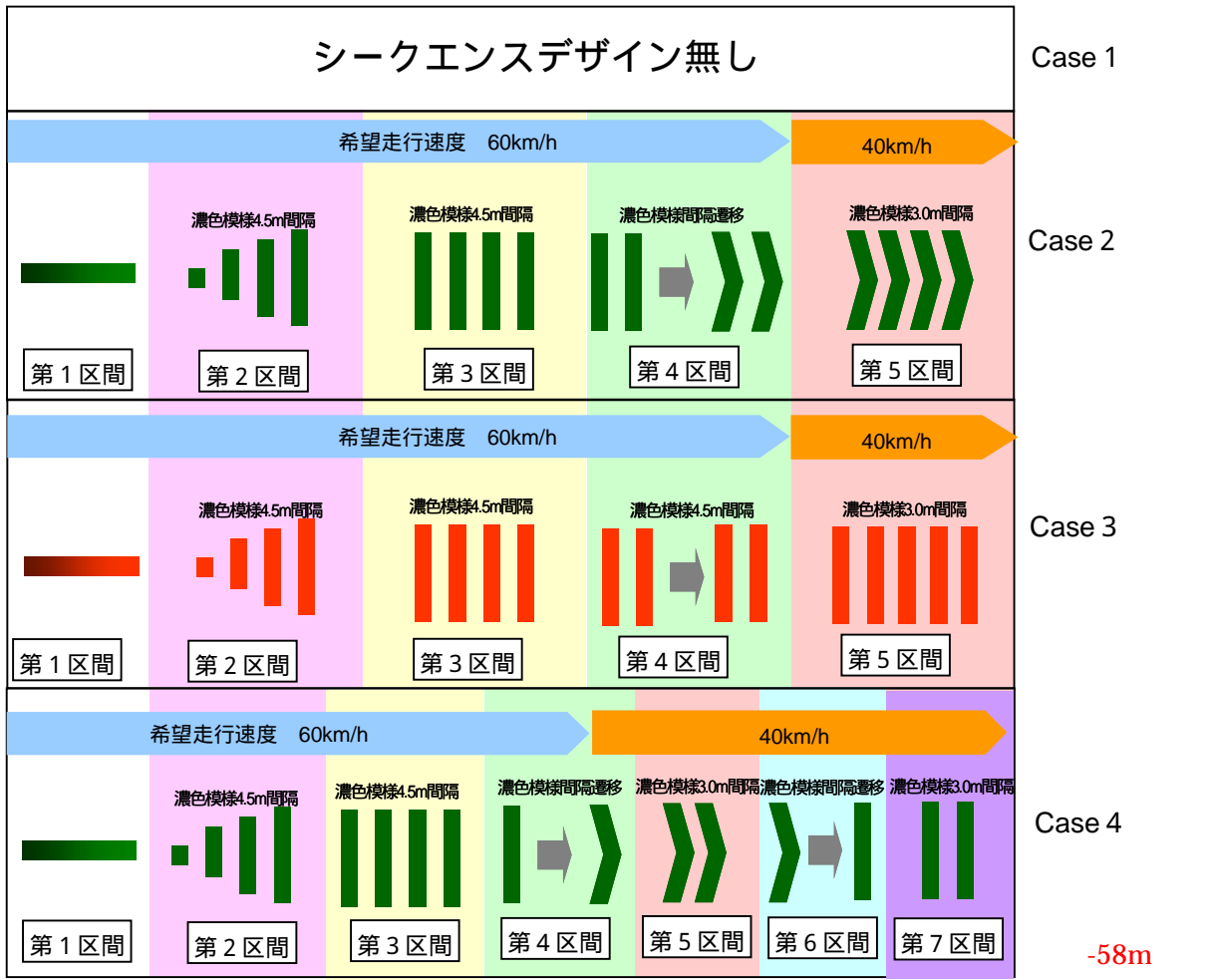
(路面表示との相乗効果有り)

基本は Case2 と同様であるが、路面表示において最も減速効果の高い「減速・誘導区間」よりも前に壁面デザインによる速度抑制のピークを配置し、路面表示との相乗効果を期待した。速度抑制のピークは坑口から約 200m 手前である図-18 中 Case4 の第5区間に配置している。

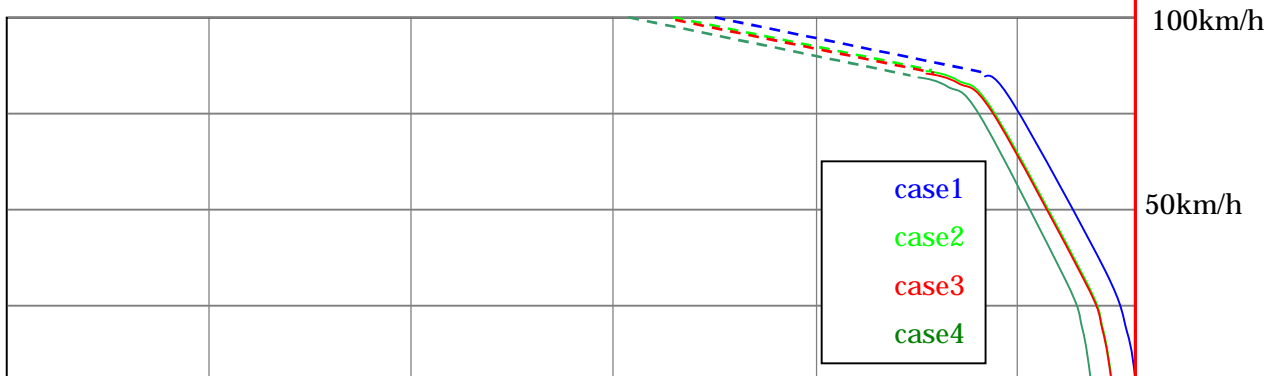
## 5-2 展開方法とその効果の検証

模様の展開方法の効果の検証にあたってはドライビングシミュレーターなどによる検証実験が有効であるが、コストの面から困難である。そこで CG 動画を用いた室内実験により効果を検証することとした。被験者は道路に関する研究者及び実務者 21 名である。

実験は CG 動画を一定速度で上映し、被験者がその動画をみながらアクセル解除位置とブレーキ作動位置を確認し、その2点の平均値を用



(a) シークエンスデザインの展開案と、交通安全施設の配置



(b) 各案の制動停止挙動

図-18 シークエンスデザイン位置関係と、実験結果

いて制動停止距離を算出した。

制動停止距離を算出にあたっては図-19 に示すとおり、アクセルを踏した段階で惰性走向及びトンネルの勾配による減速効果（(a)惰性走行）及び式(1)により算出<sup>4)</sup>されるブレーキによる減速効果（(b)ブレーキによる減速）を考慮して算出した。

$$S = 1/2\alpha \times (V/3.6)^2 \quad (1)$$

$\alpha$  : 減速度

(路面すべり摩擦係数 0.31 の場合 3.04 )

V : ブレーキを踏んだ時点での速度(km/h)

本検討は速度超過の車に対しての対策を検討するため、CG 動画上の走行速度は 100km/h とした。また本来制動距離とは減速し始めてから停止するまでの距離であるが、今回は停止位置を分かりやすくするため、坑口から停止した地点までの距離を制動停止距離として表した。

実験結果を図-18(b)及び表-1 に示し、制動停止距離の比較図を図-20 に示す。これらにより、Case 1 と Case 2・Case 3・Case 4 とを比較すると、壁面デザインを施した Case 2・Case 3・Case 4 は、施していない Case 1 よりも速度抑制効果が高いことがわかった。Case 2 と Case 3 を比較すると、速度抑制効果に差がみられない。このことから、比較した模様・色にはその効果に差がみられないことがわかった。Case 2 と Case 4 を比較すると、Case 4 の速度抑制効果が高いことがわかる。これは、速度抑制のピークをより手前に配置し、路面標示との相乗効果が効果的に作用したものと考えられる。以上より、Case 4 が最も効果的なシーケンスデザイン案として考えられる。

## おわりに

ここでは、トンネル側面に適用したシーケンスデザインが、速度抑制効果に及ぼす効果について検討した。本研究で得られた知見は次のとおりである。

1) 危険感を伴わず速度抑制効果の高い望ましい模様は「正方向矢印」「縦縞」であることがわかった。

2) 模様の出現間隔は、3.6Hz を境に運転者の感じる危険感と快適感が逆転することがわかった。これと、希望走行速度とを関連付けることにより、速度抑制効果のあるシーケンスデザインが可能になることを提案した。

3) 同じ模様が 8.8 秒繰返し出現すると、“飽き”の現象が現れることがわかった。

表-1 CG 動画による実験結果

	制動停止距離 (坑口を 0m とする)
case1	57m
case2	46m
case3	46m
case4	40m

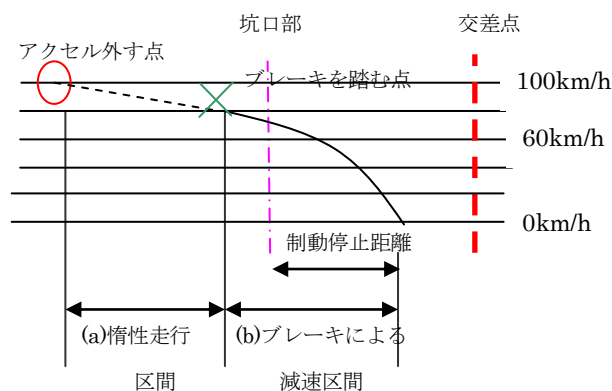


図-19 制動停止距離の算出方法

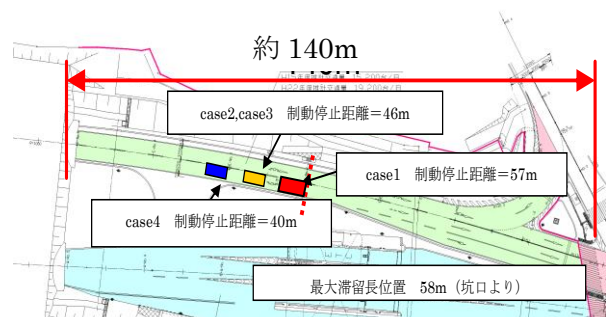


図-20 制動停止距離の比較

4) 交通安全色である「緑」と交通危険色である「赤」とでは、速度抑制効果に差がないことがわかった。

5) シークエンスデザインは、路面標示と相乗効果を期待することにより、より効果が発揮されること、さらにより早い時点で速度抑制のピークを配置することにより効果が発揮されることがわかった。

本研究では、あくまでも CG 動画を用いたアンケートや実験等によりその効果を検証したものである。今後さらに実際の環境での効果を検証する

ため、実トンネルを利用した走行実験を行う予定にしている。

#### 参考文献

- 1)景観に配慮した防護柵の整備ガイドライン (財)国土技術研究センター, 2004. 7, pp7
- 2)畝本勝弘:小鳥トンネルのシークエンスデザインについて平成 17 年度国土交通省国土技術研究会, 2005. 10
- 3)高山国道事務所ホームページ  
<http://www.cbr.mlit.go.jp/takayama/>
- 4)道路構造令の解説と運用,(財)日本道路協会 2004.2

## A NEW TRAFFIC SAFETY TECHNIQUE FOR SPEED REDUCTION OF TUNNEL TRAFFIC BY USING SEQUENCE DESIGN METHOD

Yasuyuki IWASATO, Yasuo FUJI, Yukio ADACHI and Dai TAMAGAWA

Hanshin expressway Kyoto route at Yamashina exit is directly connected to the intersection of local roads. The distance between the intersection and the tunnel mouth is so close as about 140m; therefore, over-speeded traffic might have traffic accident because of failure of reducing speed. A new traffic safety technique is developed in this study for such speed down of the tunnel traffic by the sequence design painted on the tunnel wall. Basic studies for fundamental effect of the design pattern for the drivers' feelings are performed by questionnaire on the internet and other methods. Based on these studies, reasonable and suitable sequence design for speed reduction of the tunnel traffic is proposed and such effect is verified by the experiments using computer graphics movies.

岩里 泰幸



阪神高速道路株式会社  
京都建設部調査設計・審査グループ  
Yasuyuki IWASATO

藤井 康男



阪神高速道路株式会社  
神戸建設部工事企画グループ  
Yasuo FUJI

足立 幸郎



阪神高速道路株式会社  
京都建設部調査設計・審査グループ  
Yukio ADACHI

玉川 大



阪神高速道路株式会社  
環境・景観室環境グループ  
Dai TAMAGAWA