

ドライバー・同乗者の視点から見た道路トンネル坑口・坑内および周辺景観 の動的デザイン評価

DYNAMIC AND SYNTHETIC DESIGN EVALUATIONS OF ROAD TUNNELS ENTRANCE AND INSIDE IN JAPAN
BASED ON SEMANTIC DIFFERENTIAL METHOD

棚橋由彦*・平山貴規**・蔣 宇静***

Yoshihiko TANABASHI Takanori HIRAYAMA and Yujing JIANG

This paper aims at dynamic design evaluation of road tunnels in Japan based on the Semantic Differential Method (SDM) with aid of video tape recorder. The videos of 48 tunnels were chosen from 130 ones which had been recorded from entering tunnel to the end of each tunnel taken by a person just setting beside a driver. The questionnaire modifiers are divided into three categories: (1) the distant view (100m far away) and closing to the entrance (2) the tunnel entrance (3) the tunnel inside, respectively. The data are analyzed by the SDM. The correlation between the results of SDM and the shape of entrance, extension, grade, service year-time opened to public of tunnels are investigated in detail so as to present a new method for the dynamic design evaluation of tunnels.

1. はじめに

我が国の都市空間においては、量的充実から質的充実へと課題が変化してきており、現在はその途上段階にあるといえる。都市空間の一部である地下空間も同様の段階にあり、デザイン指向が高まっている。今後の地下空間利用を促進するために、地下空間の持つ一般的な負のイメージを払拭し新しいイメージの魅力的な空間を創出することも重要な課題の一つであり、こうした面からの総合的検討が必要と考えられる¹⁾。

特に本研究で焦点を当てたトンネル坑口・坑内は、道路施設として重要な位置づけをされているにもかかわらず、均一的で潤いが無いといったイメージを持たれている。

田中・西(1997)²⁾は、地下街を中心としたスライドを用い、被験者として利用者群と計画・設計者群を選び、地下空間デザインの快適性評価をSD法により分析した。その結果、3つの因子成分(視覚聴覚触覚)により景観評価が可能であること、利用者群と計画・設計者群ではデザイン評価の支配因子が異なることを明らかにした。棚橋ら(1998, 1999)³⁾⁻⁵⁾は、地下施設として国内の地下街、地下鉄、トンネル坑口を取り上げ、SD法

キーワード：道路トンネル、動的、デザイン、SD法、ビデオ映像

* 正会員 工博 長崎大学教授 工学部社会開発工学科

** 諫早市役所

*** 正会員 工博 長崎大学助教授 工学部社会開発工学科

による分析を行っている。トンネル坑口の写真(OHP フィルム)を用いた SD 法による分析結果から、坑口形式は、突出型、特殊型が好まれ、面壁型が嫌われる傾向を把握している。しかし、写真を用いた静的イメージ・アンケートのため、「歩行者の視点から見たトンネル坑口のデザイン評価」となっており、本来の道路トンネルの使われ方を意識した評価がなされておらず、総合評価としても十分なものではなかった。

上述の反省に立ち、本研究はドライバー・同乗者の視点から撮影してきたビデオ映像を用いて、SD 法に基づき、周辺景観との調和も含めたトンネルデザインの評価要因を探り、坑口形式、トンネル等級、延長、供用年との相関を多角的に分析し、動的デザインの総合評価を行うことを目的とする。

2. SD 法

SD(Semantic Differential)法⁶⁾は、ある対象のイメージを調査するときの有力な計量手段の一つである。手順としては、ある対象のイメージを知りたい時に、その対象に適切な形容詞対で構成された複数の評価尺度を用いて、複数の人にアンケートを行い、その平均評価を分析する。分析方法として、ここでは因子分析を用いた。

3. サンプル収集と抽出方法

撮影にはビデオカメラを用い、走行中の助手席から撮影した。高速道路の撮影期間は、1998 年 10 月 19 日～24 日の 6 日間である。できるだけ、イメージアンケートの外乱要因を排除するため、ほぼ晴天の午前 10 時から午後 4 時までの時間帯に撮影し、雨天時の撮影は避けた。

撮影箇所を次に示す。

- (Ⅰ) 高速道路：九州自動車道、中国自動車道、名神高速道、本州－四国連絡道、山陽自動車道
- (Ⅱ) 有料道路：国道 3 4 号線バイパス(長崎)、武雄－佐世保自動車道
- (Ⅲ) 一般道路：長崎市内とその近辺、通過した高速道路の近辺

合計約 130 のトンネルを撮影した。その中から、アンケートに用いるトンネル映像をトンネル等級、延長、供用年、坑口形式などを参考にして、ビデオ映像を 48 抽出した。

なお、トンネル等級とは、その延長と交通量に応じて 5 段階(AA,A,B,C,D)に区分されており、トンネルの非常用施設の設置規模を定める基準となっている。また、交通量が少い場合でもトンネル延長が長いと避難、救助ならびに消火環境が不利になるという配慮のもとに、日交通量が 4000 台/日未満のトンネルにおいてはトンネル延長による区分が設けられている。

アンケートに用いたトンネル 48 の、道路種別、坑口形式、等級、延長、供用年月を一括して、表-1 に示す。

表-1 トンネル資料一覧

番号	トンネル名	道路種別	坑口型式	トンネル等級	延長(m)	供用年
1	日岳(上り)	九州自動車道	面壁	B	780	1982
2	潮見(上り)	九州自動車道	面壁	B	517	1990
3	鳴鼓(下り)	一般道路	面壁	A	2,046	1988
4	金剛山(上り)	九州自動車道	面壁	A	2,177	1988
5	和布利(上り)	九州自動車道	面壁	B	583	1973
6	仏坂(上り)	中国自動車道	竹割	C	219	1974
7	沖平(下り)	中国自動車道	面壁	D	198	1981
8	高瀬(上り)	中国自動車道	面壁	D	661	1980
9	米山(上り)	中国自動車道	面壁	A	3,154	1983
10	古里(下り)	一般道路	面壁	D	200	1981
11	愛宕(上り)	中国自動車道	面壁	C	699	1983
12	鬼ヶ城山(上り)	中国自動車道	面壁	D	211	1983
13	蝶ヶ崎(下り)	一般道路	面壁	B	630	1990
14	境(上り)	中国自動車道	面壁	D	459	1983
15	大井(上り)	中国自動車道	面壁	D	91	1990
16	加計東(上り)	中国自動車道	突出	A	3,277	1983
17	牛頭山(上り)	中国自動車道	突出	A	3,573	1983
18	漆野(上り)	中国自動車道	竹割	D	200	1975
19	式見(上り)	一般道路	面壁	D	108	1927
20	西下野(上り)	中国自動車道	面壁	B	710	1975
21	宝塚西(上り)	中国自動車道	逆竹割	A	347	1975
22	宝塚東(上り)	中国自動車道	逆竹割	A	364	1975
23	滑石(下り)	一般道路	面壁	B	401	1968
24	梶原第一(下り)	名神高速道	特殊	A	702	1995
25	天王山(下り)	名神高速道	特殊	A A	1,771	1995
26	梶原第二(上り)	名神高速道	特殊	B	180	1995
27	西浦上(上り)	一般道路	面壁	D	138	1988
28	舞子(下り)	本州・四国連絡道	面壁	AA	3,300	1997
29	運動公園(下り)	一般道路	面壁	B	934	1995
30	三津(上り)	一般道路	面壁	不明	不明	不明
31	西条(下り)	山陽自動車道	特殊	A	1,100	1988
32	米満(下り)	山陽自動車道	面壁	B	309	1988
33	小江小浦(下り)	一般道路	面壁	B	580	1985
34	志和(下り)	山陽自動車道	突出	A A	2,110	1987
35	安芸(下り)	山陽自動車道	突出	A	1,643	1988
36	欽明路(下り)	山陽自動車道	面壁	B	1,042	1992
37	秋月(下り)	一般道路	面壁	D	77	1980
38	生野第一(下り)	山陽自動車道	面壁	B	376	1990
39	耳取(下り)	山陽自動車道	面壁	D	72	1990
40	根坂(上り)	中国自動車道	竹割	B	390	1974
41	木鉢(下り)	一般道路	面壁	C	730	1979
42	門司(下り)	九州自動車道	面壁	C	255	1984
43	福智山(下り)	九州自動車道	面壁	A A	3,596	1988
44	波佐見(上り)	武雄・佐世保間	面壁	不明	不明	不明
45	三川内(上り)	武雄・佐世保間	面壁	不明	不明	不明
46	西泊(上り)	一般道路	面壁	C	213	1949
47	戸町(下り)	一般道路	面壁	B	327	1933
48	城原(上り)	九州自動車道	竹割	C	153	1985

4. イメージアンケート調査

4.1 調査方法

トンネル遠景(約 100m 手前)からトンネル出口までを助手席同乗者の視点からビデオで見せていき、映像から受ける印象を7段階評価でアンケートに答えてもらった。当学科3,4次学生と、研究室の修士1,2年次学生を調査対象とした。回答者の属性は、年齢20才前半、男性60人、女性6人の計66人である。

4.2 アンケートの内容

アンケートの形容詞対はドライバーの遠景・坑口・坑内と3グループに分け、それを考慮した評価項目を用いた。

5. 因子分析結果と考察

アンケートの平均値データから因子分析を行い共通性の推定にSMC法、軸の回転にバリマックス法を用いた。因子分析はたくさんの変数を用いて行うのが普通である。そうになると、因子の数をいくつまでとるかが問題になるが、現象を単純化して理解するという観点からはできるだけ少数であれば良い、ただ、因子の数には決定的な方法はないため、様々な因子数で計算を行ったところ、因子負荷量グラフ図-1(a)因子1-因子2軸、(b)因子2-因子3軸で見られるように、因子1から因子3を軸とする3次元空間で明瞭に3グループに群別化できるため、3つの因子数で解析を行うことにした。以下に、バリマックス回転後の因子の固有値、寄与率、累積寄与率を表-2に、因子負荷量を表-3に示す。

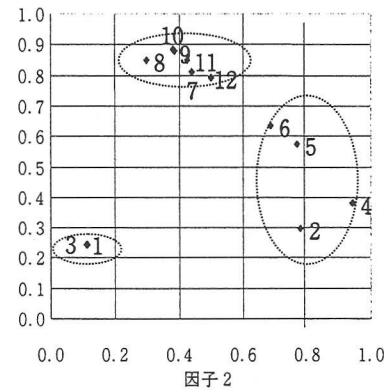
表-2 固有値・寄与率(回転後)

因子No.	固有値	寄与率(%)	累積寄与率(%)
1	5.456592	45.4716	45.47160006
2	3.569744	29.74787	75.21946788
3	2.244864	18.7072	93.92667127

表-3 回転後の因子負荷量

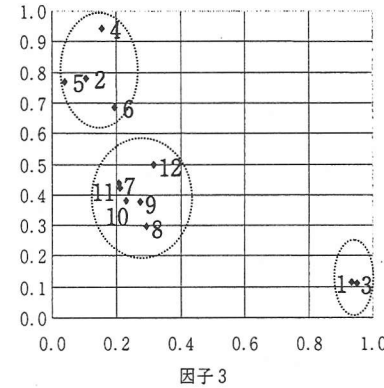
	番号	形容詞句対	因子負荷量			共通性
			因子1	因子2	因子3	
100m手前	1	周りと調和している-調和していない	0.241877	0.11292	0.9321	0.939993
	2	独特のデザイン-平凡なデザイン	0.297978	0.7798	0.105161	0.708129
	3	自然な感じ-人工的感じ	0.243265	0.110762	0.951	0.975755
	4	美しい-汚い(遠景)	0.379563	0.9427	0.15348	1.056307
	5	安心感がある-恐怖感がある	0.573693	0.7689	0.039842	0.921912
坑口	6	入りやすい-入りにくい	0.633732	0.6842	0.193674	0.907197
	7	広い-狭い(坑内)	0.3204	0.435452	0.207311	0.905658
坑内	8	明るい-暗い(坑内)	0.3607	0.295451	0.291915	0.913241
	9	快適だ-不快だ(坑内)	0.3863	0.375674	0.273101	1.001315
	10	安心感がある-恐怖感がある(坑内)	0.3929	0.379361	0.229859	0.994106
	11	美しい-汚い(坑内)	0.576	0.422341	0.210274	0.957922
	12	総合的に好き-嫌い	0.202	0.49816	0.313565	0.98971
	固有値		5.45659	3.569746	2.244908	11.27125
	寄与率(%)		45.47159	29.74789	18.70757	93.92704

因子1



(a) 因子1-因子2軸

因子2



(b) 因子2-因子3軸

図-1 因子負荷量グラフ

次に、形容詞対を考慮した名前付けを行い、因子1を「坑内快適度因子」、因子2を「坑口デザイン因子」、因子3を「調和因子」とした。

因子に含まれる形容詞対が決定したところで、回転後の因子負荷行列に対して、因子得点を算出した。

5.1 周辺環境・トンネル坑口

周辺環境・トンネル坑口の考察には、坑口形式、供用年、トンネル等級別の因子得点プロット図(I軸:坑口デザイン因子, II軸:調和因子)を、それぞれ図-2(a)(b)(c)に示す。図-2(a)中の数値はトンネルのビデオ映像番号(表-1参照)を意味する。(b)中の数値はトンネル供用年であり、例えば88は1988年供用を意味する。

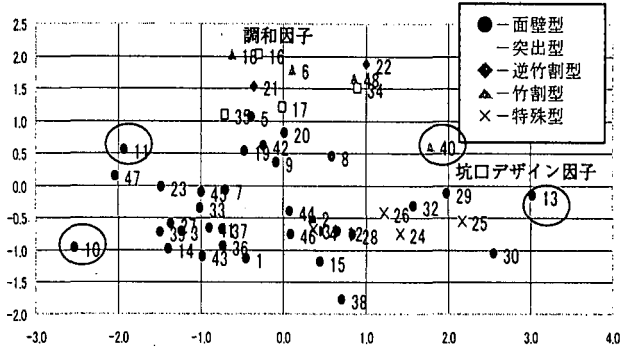
(1)坑口形式(図-2(a))

坑口形式は棚橋ら(1998, 1999)の静的デザイン評価³⁾⁴⁾と同様、面壁型のトンネルは調和因子、坑内デザイン因子ともに評価が低く、第3象限にその大半が集中している。逆竹割、竹割、突出型は、全てのサンプルが第1, 2象限にプロットされており、特に調和因子の評価が高い。逆竹割、竹割、突出型の坑口面積は、面壁型に比べて圧倒的に小さいため、周辺景観を余り阻害しないためと考えられる。周辺景観との調和を優先したデザインを指向するならば、坑口形式とし面壁型は避けるべきであることを示唆している。

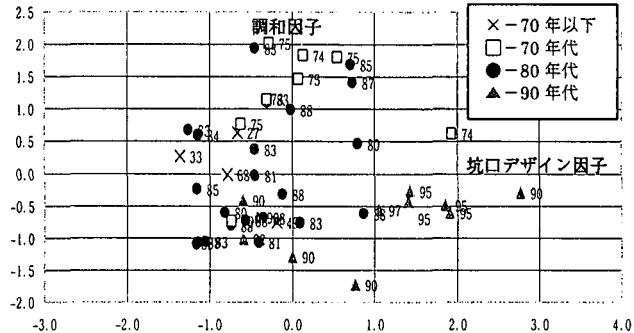
特殊型トンネルは坑口デザイン因子が高い評価を得ているが、人工的な坑口が多いため調和因子は低い評価となっている

(2) 供用年(図-2(b))

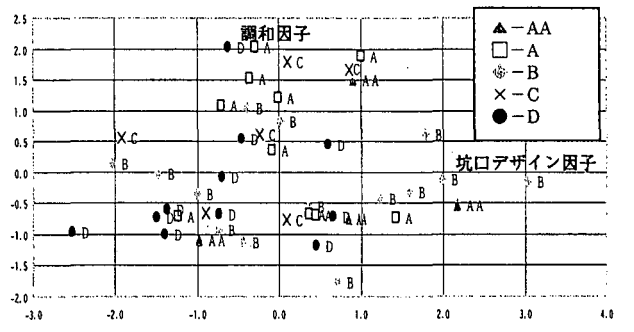
供用年代によるデザイン評価を行ったところ、調和因子で高い評価を受けたトンネルは70年代が多かった。一般的に、年を経るに伴い、周りとの調和が達成されると考えられるが、70年以前(図中×印)の調和因子評価が余り高くないのは、デザインの配慮不足や、経年による坑口の汚れに起因すると考えられる。また、坑口デザイン因子では90年代のものが高い評価を得ている。トンネル設計に坑口デザインが重視されるようになってきた成果が反映されていると見るべきであろう。しかし、周辺景観との調和の面でまだ問題がある。適度な年を経るに伴い、調和因子評価は高くなるものと予想される。周辺景観とのバランスを考慮した坑口デザインが今



(a)坑口形式



(b)供用年



(c)トンネル等級

図-2 因子得点プロット図

後の課題となろう。

(3) トンネル等級(図-2(c))

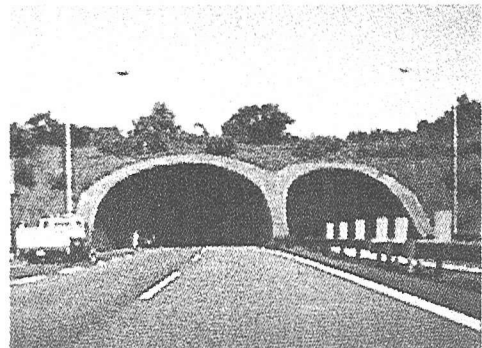
トンネル等級による因子得点プロット点は非常にばらついており、どの象限にも様々な等級がプロットされている。トンネル等級と調和、坑口デザイン因子評価には、ほとんど相関は見られない。トンネル等級は坑内の設備指標であるので、等級が高いトンネルでもデザイン評価には影響しないことは予想できる。しかし、トンネル等級には、交通量の多さも考慮され決定するので、逆に言えば、人々が頻繁に通過するトンネルに、坑口デザインが加味されていないということも言えよう。

(4) 事例の考察

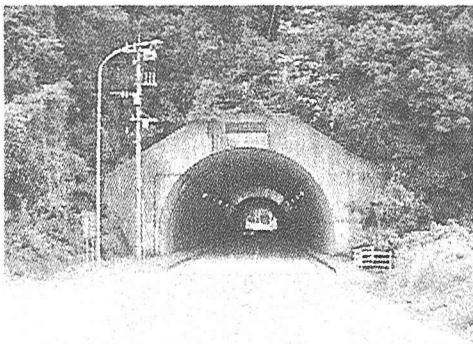
図-2で特徴的な結果を示した坑口を考察する。ビデオ-40,11,10,13は、因子得点プロット点が、それぞれが属する図-2(a)の第1,2,3,4象限と対応する。ビデオ-40は、2連続アーチ型でユニークなデザインである。壁面積も小さく景観への影響が少ない。ビデオ-11は坑口に植生があるが、デザインの工夫が皆無である。ビデオ-10は、供用年が1981年と比較的年数を経ているにも拘わらず、周りの植物との調和がとれておらず、汚れた壁面で恐怖感がある。また、坑口壁面にもデザインの工夫は皆無である。これら3つの特徴から、遠景との調和には植生と壁面積が評価に大きく作用することがわかる。なお、ビデオ-13 蝶ヶ崎トンネル(写真-(d))は、一般国道の面壁型トンネルにも拘わらず、全サンプル中最も高い坑口デザイン評価を得ている。このビデオを詳細に分析することで、面壁型坑口の理想的デザインを究明する可能性があると思われる。



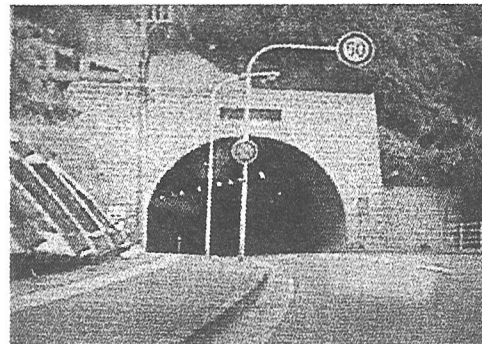
(a)ビデオ-11 愛宕トンネル



(b)ビデオ-40 根坂トンネル



(c)ビデオ-10 古里トンネル



(d) ビデオ-13 蝶ヶ崎トンネル

写真-1 坑口ビデオ静止画像4事例

5.2 トンネル坑内

トンネル坑内の考察には、トンネル等級、延長、供用年別の因子得点プロット(I軸:坑内快適度因子、II:坑

口デザイン因子)を用いた。それぞれを図-3 (a)(b)(c)に示す。なお、図-3 (b) の図中の数値はトンネル延長(m)である。

(1) トンネル等級 (図-3(a))

図-3 (a)のトンネル等級別の因子得点プロットを見ると、トンネル等級AやAAは第1象限とその周辺に集中し、坑口デザイン・坑内快適度因子ともに高く評価されている。トンネル等級は交通量とトンネル延長で決まるので、AAやAは延長が長く、トンネル断面も比較的大であり、坑内非常用施設も充実しているため、特に坑内快適度因子が高く評価されたものと考えられる。

(2) トンネル延長(図-3(b))

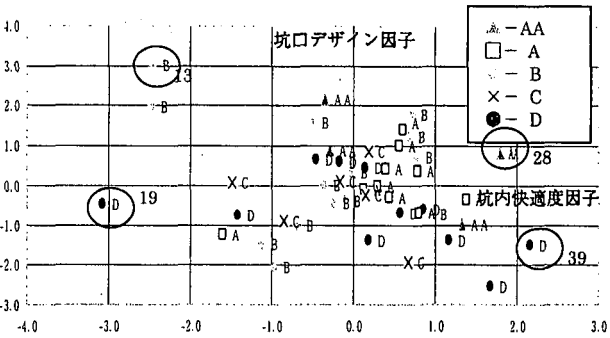
図-3 (b)のトンネル延長別の因子得点プロットを見ると、坑内快適性因子の評価が高い第1,4象限に、どのトンネル延長でも片寄らずプロットされており、トンネル延長と坑内快適性には相関が見られない。すなわち、坑内快適性を決定する要因は、延長ではなく、明るさや広さ、美しさなど様々な要因が関係しているようである。

(3) 供用年(図-3(c))

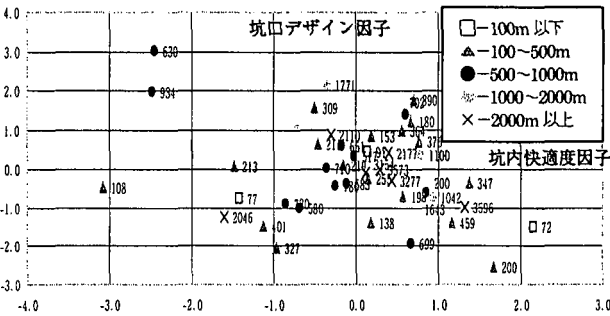
図-3 (c)の供用年代別では、90年代のトンネルが第1象限と、その付近に多く分布しており、新しいトンネルほど坑内快適性が高く評価されている。70年以前(図中×印)のトンネルは坑内快適性が低く評価されており、これは、坑内の煤煙による壁面の汚れ等がその一因として考えられる。また、70,80年代のプロットが原点付近に集中していることから、70年以前と90年代の中間に坑内快適性が評価されている。

(4) 事例の考察

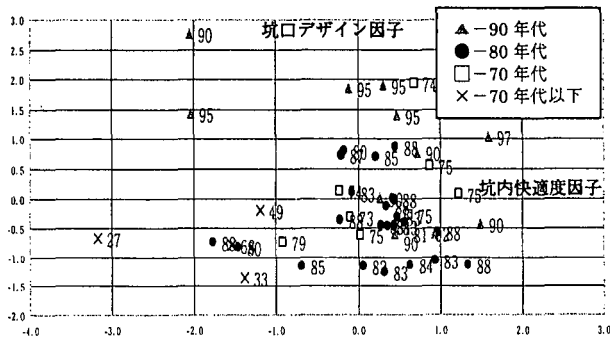
図-3で特徴的な評価を受けたサンプルを考察する。ビデオ-28,13,19,39は、因子得点プロット点が、それぞれが属する図-3 (a)の第1,2,3,4象限と対応する。ビデオ-28(舞子トンネル、クラスAA、延長3,300m、供用1970年)は、1997年供用開始の最近のトンネルであり、坑内壁面も汚れておらず明るい。3車線であるので広さも十分にある。このように、トンネル延長が長くても、快適度で高い評価が得られた事例が見られる。ビデオ-13(蝶ヶ崎トンネル、クラスB、延長630m、供用1990年)は、それほど明るくも広くもなく、坑内快適性は低い評価を受けている。ビデオ-19(式見トンネル、クラスD、延長108m、供用1927年)は、坑内には照明が一つもなく、1車線しかなく狭い。したがって、坑内快適性は全サンプル中最低の評価を受けている。ビデオ-39(耳取トンネル、クラスD、延長72m、供用1974年)は、広さも普通で、坑内照明はそれ



(a) トンネル等級



(b) トンネル延長



(c) 供用年数

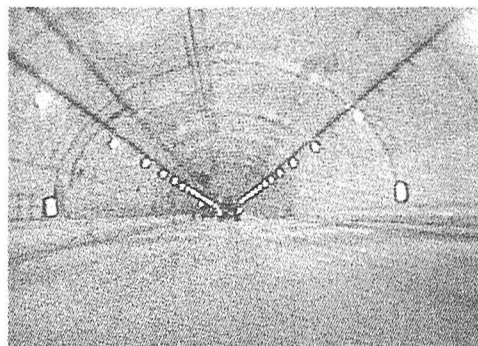
図-3 因子得点プロット図

ほど明るいとは言えない。しかし、坑内快適性因子が高い評価を受けているのは、延長が72mと極端に短かくトンネル内の精神的ストレスを受ける暇が無いほど、あっという間に通り過ぎることに起因しているものと考えられる。

以上のことから、トンネルの快適性は、延長、広さ、明るさ、壁面やクラウン部の化粧等、様々な要因のバランスが重要であることがわかる。



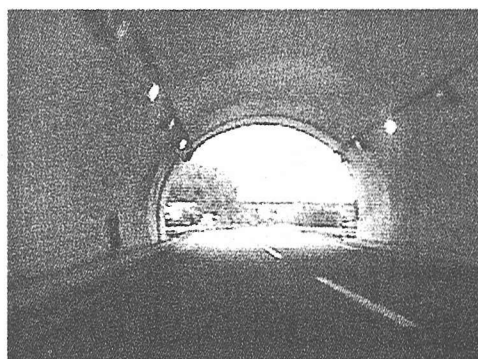
(a) ビデオー13 蝶ヶ崎トンネル



(b) ビデオー28 舞子トンネル



(c) ビデオー19 式見トンネル



(d) ビデオー39 耳取トンネル

写真ー2 坑内ビデオ静止画像4事例

5.3 トンネルデザインの総合評価

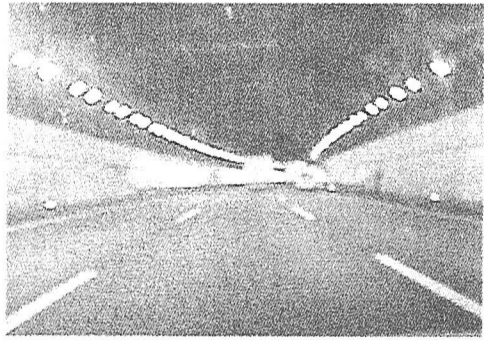
(1) 総合評価最高事例

坑口・坑内を合わせた総合評価が最も高いのは、ビデオー22(宝塚東トンネル、クラス A、延長 364m、供用 1975 年)であった。宝塚東トンネルは坑口形式が逆竹割で、坑口上部の植栽もトンネル形状に合わせて同一の高さに揃えられ、地山植生も含めて、周辺の植生、植栽との調和がよく取れている。また、一般に、逆竹割型は進入しやすい坑口形式であるといわれているように、逆竹割の坑口形式にも起因するが、坑口に進入する前の道路両サイドに、坑口と同系色の防音壁が続いているため、ドライバーにとって感覚的に坑口に入りやすいことも高い総合評価の一因となっている。供用 1975 年と約四半世紀を経た古いトンネルであるが、維持管理が行き届いていることが植生をみてもすぐに判明する。また、逆竹割型は、経年による古臭さを感じさせない斬新な坑口形式と言えよう。

坑内は3車線で照明も明るく、延長は364mと短い。さらに、坑内の壁面も光を反射するパネルが貼ってあり少しの光でより明るくなるような工夫も見られる。このように、快適性における要因がすべて満たされている。



(a) 坑口

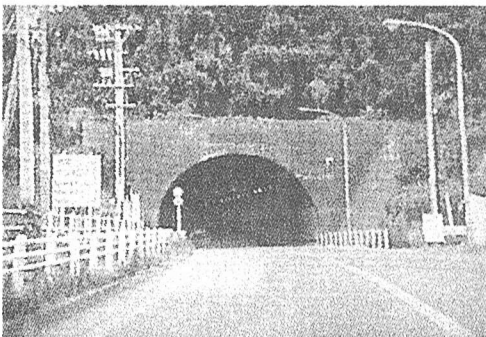


(b) 坑内

写真-3 総合評価最高事例 (ビデオ-22 宝塚東トンネル)

(2) 総合評価最低事例

次に、最も評価の低かったトンネルはビデオ-3(鳴鼓トンネル, クラス A, 延長 2,046m, 供用 1988 年)であった。鳴鼓トンネルは面壁型の型式で、一般道のトンネルでありながらも延長が 2,046m と長く、供用 1988 年である。坑口デザインにはなんの工夫も感じられず、壁面積が広すぎてバランスが悪い。周辺景観との調和の面でも問題のある坑口であり、非常に重々しい感じがする。坑内はトンネル等級 A である割には、非常用施設はあまり目立たず、照明はかなり暗い。また、トンネル断面積が狭くて延長が長い、といった坑内の評価要因全てがマイナスの要素を持っているトンネルである。



(a) 坑口



(b) 坑内

写真-4 総合評価最低事例 (ビデオ-22 鳴鼓トンネル)

6. まとめ

トンネルの動的デザイン評価を、周辺景観、トンネル坑口、坑内の3つに区分して考察した結果、トンネル坑口で周辺景観との調和を図れる坑口形式は、逆竹割、竹割、突出型であり、特殊型（本研究のサンプルは供用 90 年代のものが多かった）はデザインが強い主張をしており、その坑口だけが目立つ事例が多かった。面壁型は既往の研究^{4) 5)} 同様、低い評価であった。しかし、年を経るに伴いトンネル坑口は自然となじんでくる傾向が見られるから、将来の植生成長と坑口のバランスまでも考慮した坑口デザインが必要とされるだろう。例を挙げれば、坑口壁面のスリットに植物を植えるなどの方法が考えられる。また、トンネル等級の比較から、頻繁に利用する、しないに関係無くトンネルデザインが施されている傾向が見られた。頻繁に利用する一般道路のト

ンネルにこそ、優れたデザインを施すことが重要と言えよう。

トンネル坑内の評価は延長、明るさ、広さなど複数の要素で構成されており、一つの要素が大きく影響することではなく、それぞれのバランスが重要である。トンネル内の非常用施設も、坑内で安心感をもたらす要因であることがわかった。

7. 今後の課題

近年のトンネル設計においてはデザインが加味された設計がなされているが、まだ調和の面で問題があるようで、今後は、遠景および周辺景観との調和を考慮したデザイン設計も必要となってくるであろう。

最後に、この研究を通して感じたことは、トンネル坑口でも述べたが、変わった坑口形式やデザインが考慮されているトンネルは圧倒的に高速道路にあり、利用頻度の高い一般道では、ほとんどが面壁型でありデザインもほとんど加味されていない。トンネル坑口を景観に大きな影響を与えるモニュメントとして捉え、一般道のトンネルでも人々を豊かにさせるような坑口を多く作ることも、一つの課題と言えるだろう。

【謝辞】

本研究を進めるにあたり、ビデオ撮影に遥々遠方にまで協力してくれた中田啓介(現・長崎大学大学院修士課程1年)・岩田吉弘(現・佐伯建設)両君と、トンネル資料を提供して頂いた日本道路公団調査役・竹内孝光殿、同技術部道路技術課・八木 弘殿、長崎県土木部技術情報室・前田佳朗殿、長崎市役所交通政策課・池田敏明殿、撮影器材を貸して頂いた本学機械システム工学科・茂地徹教授に深謝の意を表する。また、アンケートに協力して頂いた本学学生諸君にも深謝の意を表する次第である。

【参考文献】

- 1) 河野 宏：地下空間と人間シリーズ4 地下空間のデザイン，社団法人土木学会，1995.
- 2) 田中 正・西 淳二：地下空間デザインの快適性評価について，土木計画学研究・論文集，No.14，1997.
- 3) 棚橋由彦・佐藤貴文：我が国の地下街を事例とした地下空間デザインの調査研究，地下空間シンポジウム論文・報告集，第3巻，土木学会，pp.193-199，1998.1.
- 4) 棚橋由彦・佐藤貴文・花田里美：地下鉄・トンネル坑口を事例とした地下施設のデザイン評価，第53回土木学会年次学術講演概要集，共通セッションCS-146，神戸，pp.290-291，1998.10.
- 5) 棚橋由彦，佐藤貴文，花田里美：SD法に基づく地下施設のデザイン評価，地下空間シンポジウム論文・報告集(審査付き論文部門)，第4巻，土木学会，pp.47-54，1999.1.
- 6) 増山英太郎・古林茂雄：センサー・エバリュエーションー官能検査へのいざないー，垣内出版，1993.