

計量心理学を応用した橋梁形態の一考察

A STUDY ON THE FORM OF BRIDGE DUE TO PSYCHOMETRICAL TECHNIQUES

山本 宏*・早川浩平**

By Hiroshi YAMAMOTO and Koohei HAYAKAWA

In the design of bridge, the designer's subjectivity enters into the form of bridge, willynilly.

Accordingly, in this paper, a means giving the objective data in examination of the form is proposed from a standpoint of application of PSYCHOMETRICAL TECHNIQUE. This technique includes "Method of Paired Comparisons", "Method of Rank Order" and "Method of Successive Categories".

It is thought that these methods are not only the form but also applicable for the colour and scene of bridge.

1. ま え が き

橋梁各部の形態や寸法は、主として力学をはじめとする論理的な考察から決定される。しかし、架橋地点の環境との調和や、人々の好みを加味して検討される面もある。これらは橋梁という刺激を視神経を通して受けることから来る感覚に由来し、個人の主観に属する精神領域の問題を含み、非論理的な面をもっている。本文は、

- ① 人々が高架橋に対してどのような要求をもつのか
- ② 橋の形式からどのような印象を受けるのか

の2点を少しでも客観的なデータで表わして計画や設計に反映できないかと、数量化を図った試みである。

感覚の測定には精神物理的測定法が用いられるが、刺激と感覚の量的関係を数量化する試みの中で、サーストンは「比較判断の法則」によって1つの道を開いた。

本文は、計量心理学の手法を用いて上記の点に関するアンケート調査を行い、「一対比較法」,「順位法」ならびに「系列カテゴリー法」で尺度化し、併せて従来から概念的に認識されていることと対応させようとするもの

である。

なお、理論的なものは関係の文献をみられたく、ここでは数値の整理に必要なものを掲げるとどめる。また、以下は文献1)によったことを付記する。

2. 一対比較法

跨道橋に対する人々の好み(要求)を知るために、一対比較法によるアンケートを行って尺度化を試みた。一対比較法とは次のようなものである。

r 個の対象 a_1, a_2, \dots, a_r があるとき、これらを (a_i, a_j) のように2個ずつ組み合わせ、 $r(r-1)/2$ 通りの対(ついで)を作る。これを被験者に示して a_i が a_j より好ましいか否かを答えさせ、「 a_i が a_j より好ましいと判断される確率 $\Pr(a_i > a_j)$ 」を求める。この確率は被験者のうち、 a_i が a_j より好ましいと答えた者の比によって求める。こうして得られた確率に基づいて、好ましさに関する「心理学的尺度(選好尺度)」を作る。

いま r 個の対象から、規準としての対象を a_1 に決めたとすれば、一対比較法の問題は

$$f(a_i) = F\{\Pr(a_i > a_1)\}$$

となる関数 F を求めることに帰着する。 $f(a_i)$ は a_i の好ましさを表わす量で、 a_i の選好尺度値という。

(1) 尺度値の計算法

* 正会員 工博 九州工業大学教授 工学部開発土木工学科
(〒804 北九州市戸畑区仙水町1-1)

** 日揮情報システム(株)応用システム部
(〒233 横浜市長南区最戸1-13-1)

$\Pr(a_i > a_j)$ を考えるのは、人々の判断は変動するとの考えからで、サーストンは対象 a_i の好ましさを選好尺度上における確率変数 X_i とし、 X_i は平均 μ_i 、分散 σ_i^2 の正規分布をすると仮定し、

$$f(a_i) = \mu_i \quad (i=1, 2, \dots, r) \dots\dots\dots(1)$$

と定義した。

これによれば (a_i, a_j) の比較において、 $X_i > X_j$ であれば $a_i > a_j$ 、 $X_i < X_j$ であれば $a_i < a_j$ という判断が生じる。つまり $X_i - X_j$ の正負により a_i と a_j のどちらが好ましいかが決定される。

いま X_i と X_j が正規分布すると仮定すれば、 $X_i - X_j$ も次の平均と分散の正規分布をする。

$$E(X_i - X_j) = \mu_i - \mu_j \dots\dots\dots(2)$$

$$\sigma^2(X_i - X_j) = \sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2\sigma_{ij} \dots\dots\dots(3)$$

σ_{ij} は X_i と X_j の共分散である。ここで (4) を考えたと Z_{ij} は平均 0、分散 1 の標準正規分布をする。

$$Z_{ij} = \frac{(X_i - X_j) - (\mu_i - \mu_j)}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2\sigma_{ij}}} \dots\dots\dots(4)$$

上式で $X_i - X_j > 0$ すなわち $a_i > a_j$ となる確率を求めるのに、 $X_i - X_j = 0$ のときの Z_{ij} を $-z_{ij}$ とおくと

$$-z_{ij} = -\frac{\mu_i - \mu_j}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2\sigma_{ij}}} \dots\dots\dots(5)$$

このとき

$$\Pr(a_i > a_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-z_{ij}}^{\infty} e^{-\frac{z_{ij}^2}{2}} dz_{ij} \dots\dots\dots(6)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z_{ij}} e^{-\frac{z_{ij}^2}{2}} dz_{ij}$$

(6) の右边を $\Phi(z_{ij})$ とおけば、

$$\Pr(a_i > a_j) = \Phi(z_{ij}) \dots\dots\dots(7)$$

(5) に (1) を代入して

$$f(a_i) - f(a_j) = z_{ij} \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2\sigma_{ij}} \dots\dots\dots(8)$$

(8) はサーストンの比較判断の法則とよばれ、尺度構成の基礎を与えるが、未知数の数が多すぎて、これからただちに尺度値を求めることができない。したがってモステラーの方法を用いるが、これは

$$\left. \begin{aligned} \sigma_i &= \sigma_j = \sigma \\ \rho_{ij} &= \rho \quad (\text{すべての } \rho_{ij} \text{ は等しい}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

とおくものである。 ρ_{ij} は X_i と X_j の相関係数で

$$\rho_{ij} = \sigma_{ij} / \sigma_i \sigma_j \dots\dots\dots(10)$$

(9) と (10) より

$$\sigma_{ij} = \sigma_i \sigma_j \rho_{ij} = \sigma^2 \rho \dots\dots\dots(11)$$

(8) に (9), (11) を代入して

$$f(a_i) - f(a_j) = z_{ij} \sigma \sqrt{2(1-\rho)} \dots\dots\dots(12)$$

ここで $\sigma \sqrt{2(1-\rho)}$ を単位にとれば、

$$f(a_i) - f(a_j) = z_{ij} \dots\dots\dots(13)$$

となり、これから尺度値が求められる。

(2) アンケートの内容^{注1)}

跨道橋に対する人々の好み(要求)を知るために4項目を選び、項目ごとに形態または寸法比を変えた7種の図を用意し、次のような4グループを作った。

Aグループ……跨道橋の望ましい形式、橋台・橋脚の形状を知ろうとするもの (Fig. 1)。

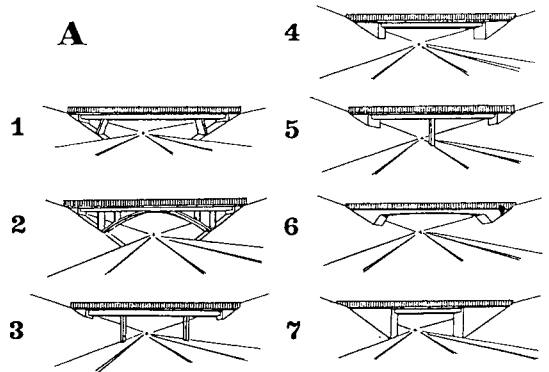


Fig. 1 A-Group.

Bグループ……橋脚上桁高(A)と支間中央桁高(B)の比が、どの程度のときに軽快さを感じるかを知ろうとするもの (Fig. 2)。図中の数字はA/Bの値である。

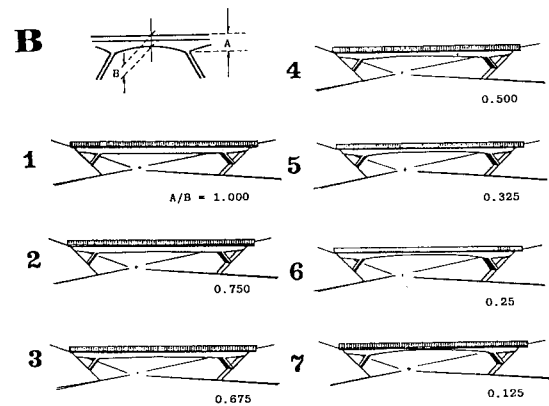


Fig. 2 B-Group.

Cグループ……床版厚(E)と桁高(F)の比がどれくらいのときにスレンダーさを感じるかを知ろうとするもの (Fig. 3)。E/Fの値は図中に記入してある。なお、E、Fは支間中央で考える。

Dグループ……桁下高(C)と支間長(L)の比がどの程度のときに、全体としての形態のバランス(安定)を感じるかを知ろうとするもの (Fig. 4)。C/Lの値は図中に示す。

なおこれらの図は、ドライバーを想定して路面上1.5 m、道路中央より4.6 m、橋の手前60 mを視点とし、

注1) 文献4)を参考にした。

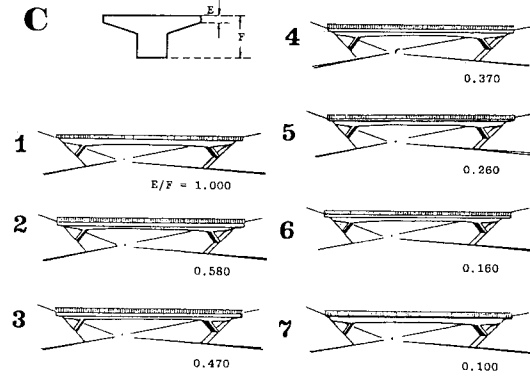


Fig. 3 C-Group.

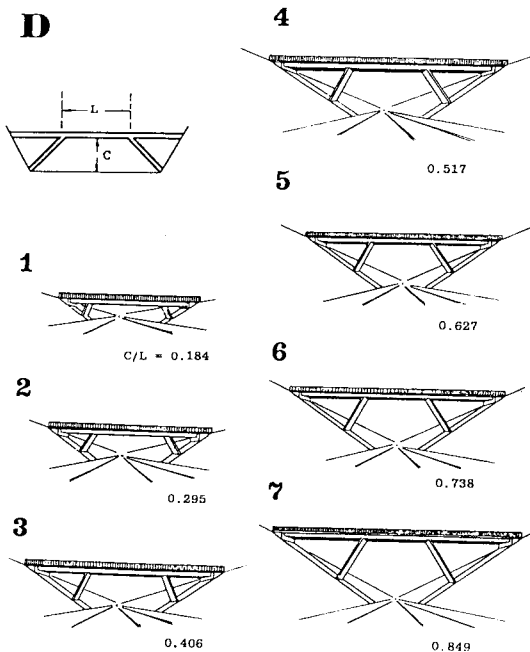


Fig. 4 D-Group.

視線は道路中心線に平行・水平として、コンピュータ・グラフィックスで作製した。被験者 113 名は、全員が自動車免許所有者である。

(3) アンケートによる尺度値

a) A グループ

Table 1 はアンケートの結果であるが、A1, A2 などとあるのは A グループの 1, 2 のことである (他グループの場合も同様に標示する)。表中、たとえば第 1 列第 4 行の 0.752 は、(A1, A4) の対で A1 を好ましいと答えた者が全体の 0.752 (113 名×0.752=85 名) あったことを示している。対角線上は、好きと嫌いが半分ずつになるとして 0.500 とする。なお、アンケートでは好ましいと判断する理由も答えてもらった。

① 尺度値の計算

Table 1 Pr(A_i>A_j) of A-Group.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
A1	0.500	0.310	0.097	0.248	0.027	0.381	0.062
A2	0.690	0.500	0.097	0.381	0.168	0.584	0.106
A3	0.903	0.903	0.500	0.920	0.283	0.920	0.221
A4	0.752	0.619	0.080	0.500	0.124	0.796	0.027
A5	0.973	0.832	0.717	0.876	0.500	0.938	0.531
A6	0.819	0.416	0.080	0.204	0.062	0.500	0.044
A7	0.938	0.894	0.779	0.973	0.469	0.956	0.500

Table 1 を (7) によって z 変換したのが Table 2 である。これには正規分布表を用いるが、たとえば、

$$\Pr(A1 > A4) = 0.752 = \Phi(0.681)$$

$$\therefore z_{14} = 0.681$$

となる。

Table 2 の上段はこうして求めた z_{ij} で、(13) より f(A_i-A_j) である。したがって各列の平均は、

$$\text{第 1 列 } \bar{z}_1 = f(A1) - \sum f(A_i)/7$$

$$\text{第 2 列 } \bar{z}_2 = f(A2) - \sum f(A_i)/7$$

$$\vdots$$

$$\text{第 7 列 } \bar{z}_7 = f(A7) - \sum f(A_i)/7$$

いま f(A7)=0 とすれば第 7 列は $-\sum f(A_i)/7$ となり、

z₁ からこれを引けば f(A1) を得る。他も同様にして各対象の尺度値を求めたのが、Table 2 の f(A_i) である。

Table 2. Values of z_{ij} and f(A_i) of A-Group.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
A1	0.00	-0.50	-1.30	-0.68	-1.93	-0.30	-1.54
A2	0.50	0.00	-1.30	-0.30	-0.96	0.21	-1.25
A3	1.30	1.30	0.00	1.41	-0.57	1.41	-0.61
A4	0.68	0.30	-1.41	0.00	-1.16	0.83	-1.93
A5	1.93	0.96	0.57	1.16	0.00	1.54	0.08
A6	0.30	-0.21	-1.41	-0.83	-1.54	0.00	-1.71
A7	1.54	1.25	0.61	1.93	-0.08	1.71	0.00
計	6.25	3.10	-4.24	2.69	-6.24	5.40	-6.96
平均	0.893	0.443	-0.606	0.384	-0.891	0.771	-0.994
f(A _i)	1.887	1.437	0.388	1.378	0.103	1.765	0.000

② 内的整合性

さて、こうして得られた f(A_i) が Table 1 の値をよく表わしているのか、その内的整合性を検討する。

たとえば、Table 2 で f(A3)=0.388, f(A6)=1.765 であるが、(13) より

$$z'_{63} = 1.765 - 0.388 = 1.377$$

正規分布表から $\Phi(1.377) = 0.914$ 。(7) より $\Pr^*(A6 > A3) = 0.914$ 。一方 Table 1 より $\Pr(A6 > A3) = 0.920$ であるから、両者はかなり一致している。

他も同様にチェックできるが、Pr(A_i>A_j) と Pr*(A_i>A_j) はそれぞれ r_{c2} 通りなので、

$$\bar{d} = \frac{\sum |\Pr(A_i > A_j) - \Pr^*(A_i > A_j)|}{r_{c2}}$$

はデータの内的整合性を測る指標になる。本例では $\bar{d} = 0.024$ で、かなり一致している。

③ 心理学的尺度 (選好尺度)

Table 2 の尺度値はみにくいで、次の変換を施す。

$$f^*(A_i) = \alpha f(A_i) + \beta$$

表中の $f(A_i)$ の最小値 $f(A_7)$ と最大値 $f(A_1)$ を $f^*(A_7)=0, f^*(A_1)=100$ に定め、 α と β を求めて作ったのが Fig. 5 の尺度 A である (図には他グループの尺度も入れてある)。なお、この尺度は最小・最大値をそれぞれ 0 と 100 に定めて好ましきの程度を表わしたもので、絶対的な数値ではない。

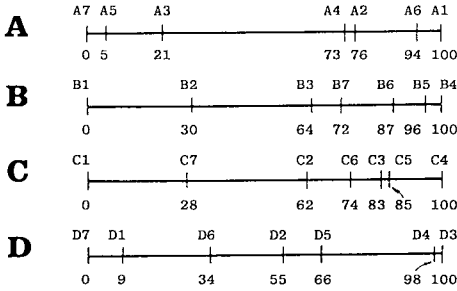


Fig. 5 Psychological scale by Method of Paired Comparisons.

b) B, C, D グループ

Table 3, 4, 5 は、それぞれ B, C, D グループのアンケート結果で、これをもとにして求めた尺度が Fig. 5 の B, C, D である。

(4) アンケートの取りまとめ

[Aグループ] このアンケートは「跨道橋の好ましい形式や橋台・橋脚の形状を知る」ものであるが、Fig. 5A のように (A1, A6, A2, A4) と (A3, A5, A7) の 2 群に分かれた。被験者は、前者は見通しがよく、視覚的にすっきりしていて運転心理に与える影響が少なく、特に A1 は直截で傾斜した橋脚が桁下空間を広くみせるとする。また、後者のうち A3 は垂直な 2 本の橋脚

が桁下を狭くし、中央に橋脚 1 本をもつ A5 は安定感に薄い。A7 の道路側に張り出した大きな橋台は風景の連続性を断ち、眼前に立ちふさがるような圧迫感や、ぶつかりそうな危険感を覚えるとしている。このようなことを含めた判断の結果が、上記の尺度となって現われたことになる。

[Bグループ] 「軽快さを与える A/B」は、Fig. 5B と Fig. 2 より 0.50~0.25 程度のものである。これは桁下縁が凸の曲線と判別できる範囲のようで、この曲線もつ力の緊張感も関係するのだろうか。B4 の評価が最も高い。

[Cグループ] Fig. 5C と Fig. 3 より、スレンダーさは E/F が 0.26~0.47 程度のとき感じられるようである。床版の張り出しによって橋の側面に入る横の線の効果が影響するようで、張り出しのないものは重厚で圧迫感があるようである。

[Dグループ] 全体的なバランスでは、C/L が 0.41~0.63 くらいがよいようで、この値が小さいと圧迫感や恐怖感を覚え、大きすぎると安定感が薄くなる。もっとも C/L には地形や道路幅員などが影響するが。

3. 順位法

順位法とは、被験者に r 個の対象を示し、これらある規準 (たとえば好ましき) によって順位づけさせ、得られたデータから尺度化しようとするものである。

(1) 跨道橋について

Fig. 1 の 7 形式を、前記の対比較法の被験者に好ましきの順に順位づけをさせ、順位法によっての尺度化を試みる。

a) 尺度

① 方法 1

Table 6 の上段はアンケートの結果で、たとえば A1 の列は A1 を第 I 位とした者が 48 名、II 位とした者が 29 名あったことなどを示している。

いま各順位の等間隔性を仮定して、第 I 位に 7、II 位に 6、…、VII 位に 1 の重みを与え、各対象の加重平均を求める。Table 6 の最下行がそれで、これが尺度値である。

Table 3 $\Pr(B_i > B_j)$ of B-Group.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
B1	0.500	0.894	0.832	0.903	0.903	0.832	0.796
B2	0.106	0.500	0.832	0.912	0.876	0.832	0.637
B3	0.168	0.168	0.500	0.805	0.628	0.593	0.558
B4	0.097	0.088	0.115	0.500	0.575	0.522	0.478
B5	0.097	0.124	0.372	0.425	0.500	0.469	0.425
B6	0.177	0.168	0.407	0.478	0.531	0.500	0.398
B7	0.204	0.363	0.442	0.522	0.575	0.602	0.500

Table 4 $\Pr(C_i > C_j)$ of C-Group.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0.500	0.796	0.796	0.850	0.876	0.823	0.664
C2	0.204	0.500	0.619	0.655	0.611	0.540	0.389
C3	0.204	0.381	0.500	0.646	0.363	0.398	0.345
C4	0.150	0.345	0.354	0.500	0.363	0.301	0.292
C5	0.124	0.389	0.637	0.637	0.500	0.451	0.133
C6	0.177	0.460	0.602	0.699	0.549	0.500	0.177
C7	0.336	0.611	0.655	0.708	0.867	0.823	0.500

Table 5 $\Pr(D_i > D_j)$ of D-Group.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
D1	0.500	0.805	0.735	0.690	0.655	0.602	0.522
D2	0.195	0.500	0.673	0.646	0.504	0.460	0.434
D3	0.265	0.327	0.500	0.442	0.327	0.239	0.257
D4	0.310	0.354	0.558	0.500	0.257	0.239	0.195
D5	0.345	0.496	0.673	0.743	0.500	0.257	0.204
D6	0.398	0.540	0.761	0.761	0.743	0.500	0.212
D7	0.478	0.566	0.743	0.805	0.796	0.768	0.500

Table 6 Ranking distribution and Scale of each Object (Method 1).

順位	重み	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	計
I	7	48	22	3	5	4	31	0	113
II	6	29	25	1	21	1	34	2	113
III	5	20	21	5	34	6	26	1	113
IV	4	9	33	7	46	7	10	1	113
V	3	5	2	63	7	14	4	18	113
VI	2	1	5	27	0	32	5	43	113
VII	1	1	5	7	0	49	3	48	113
計		113	113	113	113	113	113	113	
加重和		664	562	330	536	247	616	209	
平均		5.88	4.97	2.92	4.74	2.19	5.45	1.85	

る。各対象の順位は、一対比較法の結果（順位）と一致している。

② 方法2

方法1に対し、各順位の尺度上における境界は中央付近に比較的集まり、中央から離れるにつれて間隔を広げる傾向をもつので、各順位は尺度上の標準正規分布の面積を等分割するように存在するとして境界を定め、各順位の重みをそれぞれの順位が占める面積を2等分する位置によって定めることとする。

Fig. 1の対象は7個であるから標準正規分布の面積は7等分され、各順位の重みはFig. 6に示すように1.47, 0.80, 0.37, …になる。ただし、この値を使いやすくするために

$$W = 10z + 50 \dots \dots \dots (14)$$

の変換を行う（文献1）にならって）。Table 7の重みはこうして求めたもので、最下行が尺度値である。

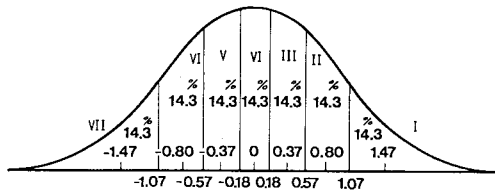


Fig. 6 Boundary of range in case of 7-objects.

Table 7 Ranking distribution and Scale of each Object (Method 2).

順位	重み	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
I	64.7	48	22	3	5	4	31	0
II	58.0	29	25	1	21	1	34	2
III	53.7	20	21	5	4	6	26	1
IV	50.3	9	33	7	46	7	10	1
V	46.3	5	2	63	7	14	4	18
VI	42.0	1	5	27	0	32	5	43
VII	35.3	1	5	7	0	49	3	48
計		113	113	113	113	113	113	113
加重和		6611	6126	5153	5987	4714	6368	4657
平均		58.51	54.21	45.60	52.98	41.72	56.35	40.33

③ 方法1と方法2の比較

Table 8は両方法の比較であるが、比較にあたってそれぞれの尺度値に次の変換を施した。

$$\frac{\text{各対象の尺度値} - \text{最小尺度値}}{\text{最大尺度値} - \text{最小尺度値}} \times 100$$

これによれば両者の値はよく一致しているので、本例のような場合は方法1で十分と思われる。なお、この順位は一対比較法の順位とも一致している。

Table 8 Comparison of Method 1 and 2.

	方法1	方法2
A1	10.0	10.0
A2	7.7	7.6
A3	2.7	2.9
A4	7.2	7.0
A5	0.8	0.8
A6	8.9	8.8
A7	0.0	0.0

b) 一対比較法のデータとの対応

次に順位法のデータに一対比較法的処理を施し、一対比較法のデータとの対応をみることにする。

まず Table 6 を用いて第 i 位より下位にある各対象の数を求める (Table 9)。次いで Table 10 を作る。表中 (1) 欄は A1 が第 i 位である数 (Table 6)。(2) 欄は A1 が第 i 位のとき、それより下位にある A2 の数で、A1 と同じ順位の A2 はその半数がこの条件を満たすと考える。(3) 欄は (1) × (2)。* を付した数値は A1 > A2 の関係をもつ A1 と A2 の対の数。** は Pr(A1 > A2) = 8 604.0 / 113² である。

Table 9 Number of lower ranked object than i -rank.

順位	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
I	89.0	102.0	111.5	110.5	111.0	97.5	113.0
II	50.5	78.5	109.5	97.5	108.5	65.0	112.0
III	26.0	55.5	106.5	70.0	105.0	35.0	110.5
IV	11.5	28.5	100.5	30.0	98.5	17.0	109.5
V	4.5	11.0	65.5	3.5	88.0	10.0	100.0
VI	1.5	7.5	20.5	0.0	65.0	5.5	69.5
VII	5.0	2.5	3.5	0.0	24.5	1.5	24.0

計算例 (表 2 * 1 参照)

第 1 列第 1 行 89.0 = 1+1+5+9+20+29+48/2
 第 1 列第 2 行 50.5 = 1+1+5+9+20+29/2

Table 10 Calculation of Pr(A1 > A2).

順位	(1)	(2)	(3)
I	48	102.0	4896.0
II	29	78.5	2276.5
III	20	55.5	1110.0
IV	9	28.5	256.5
V	5	11.0	55.0
VI	1	7.5	7.5
VII	1	2.5	2.5
	113		8604.0*
			0.674 **

この要領で求めたのが Table 11 で () 内は Table 1 の値である。両者の差の絶対値の平均は 0.031 で、順位法と一対比較法のデータはかなり一致している。このことは被験者の回答の信頼性を示すものとも考えられる。

(2) 都市内高架橋について

都市内道路路上に設けられる高架橋の形態に対する人々の意見を知る目的で、Fig. 7 の 7 種^(注2)を被験者 92 名 (全

Table 11 Comparison of Value of Paired Comparisons Method and Estimated Value due to Rank Order Method.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
A1							
A2	0.674 (0.690)						
A3	0.933 (0.903)	0.861 (0.903)					
A4	0.769 (0.752)	0.574 (0.619)	0.095 (0.080)				
A5	0.939 (0.973)	0.880 (0.832)	0.714 (0.717)	0.905 (0.876)			
A6	0.585 (0.619)	0.401 (0.416)	0.113 (0.080)	0.305 (0.204)	0.092 (0.062)		
A7	0.976 (0.938)	0.931 (0.894)	0.792 (0.779)	0.972 (0.973)	0.532 (0.469)	0.947 (0.956)	

注 2) 文献 5) をもとに作製した。

員自動車免許保持) にみせ、

質問1……ドライバーにとって好ましい形態

質問2……都市空間に調和する形態

質問3……ドライバーにも都市空間にも望ましい形態について、それぞれ順位をつけさせた。

a) 順位

各質問に対する順位は Table 12 のようであった (アンケート結果と尺度値は後に掲げる)。順位は評価の高かった順に I, II, …とつけてある。

b) アンケートの取りまとめ

以下に各質問についての結果をまとめる。

[質問1]

被験者は E5 に最高の評価を与えたが、道路が広く見え、視野が妨げられず、圧迫感が少ないことによるようである。円柱橋脚は角柱と違って方向性がなく、どの方向からも同じにみえて違和感がなく、すっきりしている。同じ、1本橋脚でも角柱の E4 が下位になったのは、このことが関係しているらしい。

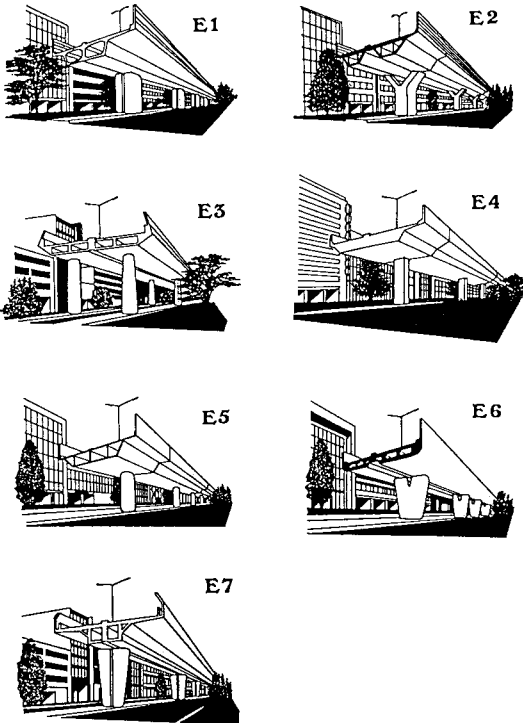


Fig. 7 E-Group.

Table 12 Ranking of object in each Question.

順位	I	II	III	IV	V	VI	VII
質問1	E5	E7	E4	E2	E1	E6	E3
質問2	E7	E6	E2	E5	E4	E1	E3
質問3	E7	E5	E6	E2	E4	E1	E3

Table 13 Ranking distribution and Scale of each Object (Question 1).

順位	重み	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
I	64.7	0	0	3	32	40	1	16
II	58.0	8	12	5	12	28	7	20
III	53.7	9	20	7	4	4	16	32
IV	50.3	32	9	4	17	2	20	8
V	46.3	20	27	0	11	2	20	12
VI	42.0	23	24	5	8	8	24	0
VII	35.3	0	0	68	8	8	4	4
計		92	92	92	92	92	92	92
加重和		4435	4471	3677	4953	5232	4401	5004
平均		48.20	48.60	39.97	53.83	56.87	47.84	54.39

[質問2]

E7, E6 の評価が高い。アーバンチックでモダン、シャープとソフトな感じを併せもつのがよいらしい。丸味をもったソフトな円柱橋脚の E5 は質問1 では I 位であったのに、ここでは IV 位になっている。質問1 がドライバーの立場だったのに対し、質問2 はそれを離れていることの違いが出たのだろうか。E6 は桁の外縁下側に丸味がついているために圧迫感が薄く、落ち着いた雰囲気にするようである。

Table 14 Ranking distribution and Scale of each Object (Question 2).

順位	重み	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
I	64.7	0	5	0	12	0	19	56
II	58.0	0	24	0	4	15	25	22
III	53.7	20	32	4	4	8	20	4
IV	50.3	28	12	6	8	28	8	2
V	46.3	16	8	8	28	24	8	0
VI	42.0	20	8	12	36	9	7	0
VII	35.3	8	3	60	0	8	5	8
計		92	92	92	92	92	92	92
加重和		4335	4842	3628	4425	4464	4989	5489
平均		47.12	52.63	39.43	48.10	48.52	54.22	59.67

[質問3]

質問1 と質問2 を合わせたものであるが、被験者は E7, E5, E6 に高い評価を与えた。

Table 15 Ranking distribution and Scale of each Object (Question 3).

順位	重み	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
I	64.7	0	0	3	5	26	14	44
II	58.0	7	8	0	24	12	22	19
III	53.7	16	12	12	4	12	18	18
IV	50.3	13	48	5	7	16	0	3
V	46.3	11	16	0	0	28	13	24
VI	42.0	36	8	8	20	10	10	0
VII	35.3	9	0	64	4	3	4	8
計		92	92	92	92	92	92	92
加重和		4255	4580	3691	4549	4944	4811	5342
平均		46.25	49.79	40.12	49.45	53.74	52.30	58.07

4. 系列カテゴリー法

計画または設計された橋梁全体から人々はどうのような印象を受けるか——このことは造形美または環境との調和という点から関係者の関心を引く。ここではトラス橋とプレートガーダー橋の例を、系列カテゴリー法で検討

する。

系列カテゴリー法とは、 r 個の心理的因子と、ある規準によって順序づけられた m 個のカテゴリーを作る。被験者に対象を示し、 r 個の心理的因子を m 個のカテゴリーのいずれかに分類させ、得られたデータをもとに尺度化を行うものである。

(1) アンケートの内容

心理的因子は橋梁に対してよく用いられると思われるものから 15、カテゴリーは 5 としたが、これらはデータ整理にあたっては記号に置き換えた (下記)。

[心理的因子]		[カテゴリー]	
圧迫感	A 1	非常にある	C1
スケール感	A 2	ややある	C2
開放感	A 3	どちらでもない	C3
軽快	A 4	ややない	C4
特異	A 5	非常にない	C5
美しい	A 6		
リズム感	A 7		
ダイナミック感	A 8		
すっきりした	A 9		
目立つ	A10		
安定感	A11		
スピード感	A12		
男性的	A13		
印象的	A14		
総合的によい	A15		

被験者 114 名にトラス橋とプレートガーダー橋の図をみせ、これらの心理的因子を示して、それぞれを 5 個のカテゴリーのいずれかに分類させた。

(2) トラス橋

Fig. 8 が、被験者にみせたトラス橋の図である。

アンケートの結果をまとめたのが Table 16 である。表中、たとえば A1 の行は〈圧迫感〉についての回答であるが、C1 (非常にある) と答えた者が 39 名、C2 (や

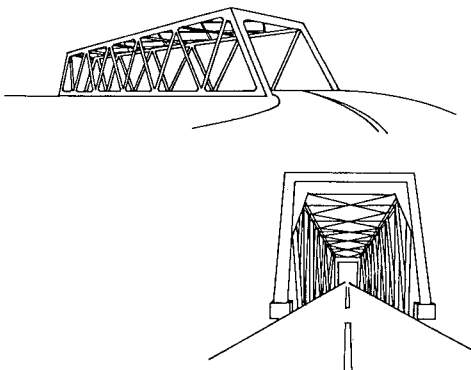


Fig. 8 Truss Bridge.

Table 16 Classification of Opinion.

	C1	C2	C3	C4	C5	計
A 1	39	38	14	14	9	114
A 2	10	44	36	18	6	114
A 3	1	8	10	65	30	114
A 4	5	8	26	51	24	114
A 5	3	26	44	28	13	114
A 6	2	9	38	52	13	114
A 7	8	18	29	42	17	114
A 8	6	20	44	34	10	114
A 9	3	19	21	46	25	114
A10	6	17	36	39	16	114
A11	30	49	25	6	4	114
A12	14	21	36	28	15	114
A13	20	44	41	6	3	114
A14	2	15	38	40	19	114
A15	1	14	53	37	9	114

やある) と答えた者が 38 名だったことなどを示している。

a) 尺度値

Table 16 のそれぞれの行について、左側のカテゴリーから順に人数を累積して、114 名に対する比率を求めたのが Table 17 である。いま g 番目以下のカテゴリーの累積比率を p_{gj} で表わせば、 $p_{31}=0.799$ 、 $p_{25}=0.254$ などとなる。

Table 17 Ratio of Cumulative number of Table 16.

	C1	C2	C3	C4	C5
A 1	0.342	0.675	0.799	0.821	1.000
A 2	0.088	0.474	0.789	0.947	1.000
A 3	0.009	0.079	0.167	0.737	1.000
A 4	0.044	0.114	0.342	0.789	1.000
A 5	0.026	0.254	0.640	0.886	1.000
A 6	0.018	0.096	0.430	0.886	1.000
A 7	0.070	0.228	0.482	0.851	1.000
A 8	0.053	0.228	0.614	0.912	1.000
A 9	0.026	0.193	0.377	0.781	1.000
A10	0.053	0.202	0.518	0.860	1.000
A11	0.263	0.693	0.912	0.965	1.000
A12	0.123	0.307	0.623	0.868	1.000
A13	0.175	0.561	0.921	0.974	1.000
A14	0.018	0.149	0.482	0.833	1.000
A15	0.009	0.132	0.596	0.921	1.000

さて、 A_j には前記のサーストンの仮定を適用する。さらに g 番目と $g+1$ 番目のカテゴリーの選好尺度上における境界も確率変数 T_g と考え、 T_g は平均 t_g 、分散 σ_g^2 の正規分布をなすと考える ($g=1, 2, \dots, m-1$: 最初のカテゴリーの下限と最後のカテゴリーの上限は考えない)。したがって A_j については $T_g - X_j \geq 0$ であれば g 番目以下のカテゴリーへの分類が行われ、 $T_g - X_j < 0$ であれば $g+1$ 番目以上のカテゴリーへの分類が行われることになる。

前記の (1)~(13) で X_i の代わりに T_g 、 $f(a_i)$ の代わりに t_g とおけば (13) に相当する次式が得られる。

$$t_g - f(a_i) = z_{gj} \dots \dots \dots (15)$$

ただし、 z_{gj} は a_j について g 番目以下のカテゴリーの p_{gj} に対する標準正規分布の横座標である。すなわち、 $\Phi(z)$ を (7) で定義すれば、

$$p_{gj} = \Phi(z_{gj}) \dots \dots \dots (16)$$

である。いま g 列の計を求めると、

$$r t_g - \sum f(a_j) = \sum z_{gj}$$

$\bar{z}_g = \sum z_{gj} / r$ とすれば、

$$t_g - \sum f(a_j) / r = \bar{z}_g$$

$$\therefore t_g - t_{g-1} = \bar{z}_g - \bar{z}_{g-1} \dots \dots \dots (17)$$

となる。もしカテゴリーの数が奇数 ($m = 2k + 1$) の場合には、 $k + 1$ 番目のカテゴリーが中央にあるので、 t_k と t_{k+1} の中央を 0 に定める。そのためには

$$c = \frac{\bar{z}_k + \bar{z}_{k+1}}{2}$$

$$= \frac{t_k + t_{k+1}}{2} - \frac{1}{r} \sum f(a_j)$$

として、

$$t_g^* = \bar{z}_g - c \dots \dots \dots (18)$$

とする。

Table 18 は、Table 17 から作った z_{gj} の値である。

Table 18 Values of Scale and Boundary.

	t1	t2	t3	t4	計	平均	$f^*(A_j)$
A 1	-0.407	0.454	0.838	1.412	2.231	0.559	-0.553
A 2	-1.353	-0.065	0.803	1.616	1.001	0.250	-0.244
A 3	-2.366	-1.412	-0.966	0.634	-4.110	-1.028	1.034
A 4	-1.705	-1.206	-0.407	0.803	-2.715	-0.679	0.885
A 5	-1.943	-0.662	0.359	1.206	-1.040	-0.260	0.266
A 6	-2.097	-1.305	-0.176	1.206	-2.372	-0.593	0.599
A 7	-1.476	-0.745	-0.045	1.041	-1.225	-0.306	0.312
A 8	-1.616	-0.745	0.290	1.352	-0.719	-0.180	0.186
A 9	-1.943	-0.867	-0.313	0.776	-2.347	-0.587	0.593
A10	-1.616	-0.834	0.045	1.083	-1.322	-0.331	0.336
A11	-0.634	0.504	1.353	1.812	3.035	0.759	0.753
A12	-1.160	-0.504	0.319	1.117	-0.228	-0.057	0.063
A13	-0.935	0.154	1.412	1.943	2.574	0.644	0.638
A14	-2.097	-1.041	-0.045	0.966	-2.217	-0.554	0.560
A15	-2.366	-1.117	0.243	1.412	-1.828	-0.457	0.463
計	-23.714	-9.391	3.710	18.379			
平均	-1.581	-0.626	0.247	1.225		-0.1895	
t_g^*	-1.391	-0.437	0.437	1.415		0.006	

C3 が中央カテゴリーであるから、

$$c = \frac{-0.626 + 0.247}{2} = -0.1895$$

となり、Table 18 のように $t_2^* = -0.437$ 、 $t_3^* = 0.437$ で、C3 の中央値が 0 になっている。表より、各カテゴリーの境界は次のようになる。

- C1: ~ -1.391
- C2: -1.391 ~ -0.437
- C3: -0.437 ~ 0.437
- C4: 0.437 ~ 1.415
- C5: 1.415 ~

各心理的因子の尺度値は、Table 18 より求められる。すなわち、第 j 行の合計は

$$\sum t_g - (m-1)f(a_j) = \sum z_{gj} \dots \dots \dots (19)$$

いま、 $\bar{t} = \sum t_g / (m-1)$ 、 $\bar{z}_j = \sum z_{gj} / (m-1)$ とすれば、(19) は、

$$f(a_j) = \bar{t} - \bar{z}_j \dots \dots \dots (20)$$

カテゴリーの境界値として t_g^* を用いるときは、

$$\bar{t}^* = \sum t_g^* / (m-1) \text{ として、}$$

$$f^*(a_j) = \bar{t}^* - \bar{z}_j \dots \dots \dots (21)$$

を用いる。Table 18 では $\bar{t}^* = 0.006$ であるから、

$$f^*(A_j) = 0.006 - \bar{z}_j$$

である。この値は Table 18 に示されている。

b) 心理学的尺度

上記の尺度値を図示したのが、Fig. 10 である。たとえば A1 (圧迫感) の尺度値 -0.553 は境界領域 C2 に属するので、Fig. 10 では「圧迫感がややある」のところ印される。図中には、次項のプレートガーダー橋のものも記入されている。両者の比較を容易にするためである。

(3) プレートガーダー橋

プレートガーダー橋の Fig. 9 を被験者にみせて、トラス橋と同様のアンケート調査を行った。

その結果を Table 19 に示す。これに前記と同様の処理を施して尺度値を求めて、図示したのが Fig. 10 の実線で示すものである。

(4) トラス橋とプレートガーダー橋の印象

Fig. 10 には、トラス橋とプレートガーダー橋を同時に記入した。これによれば、人々はトラス橋とプレートガー

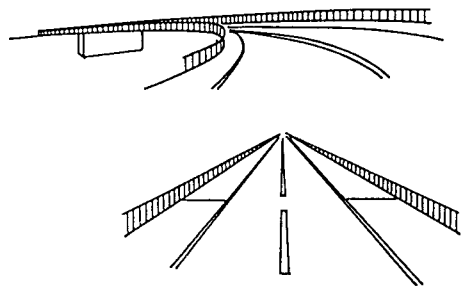


Fig. 9 Plate-Girder Bridge.

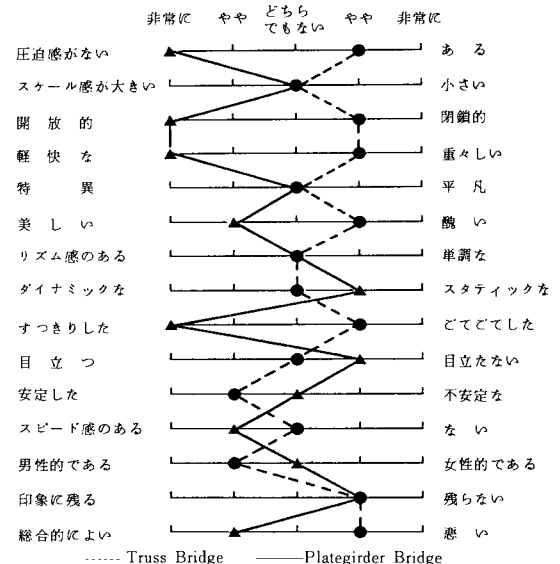


Fig. 10 Psychological Scale.

Table 19 Classification of opinion.

	C1	C2	C3	C4	C5	
A 1	6	4	5	12	87	114
A 2	31	12	31	20	20	114
A 3	93	13	3	4	1	114
A 4	74	25	7	5	3	114
A 5	23	17	26	11	37	114
A 6	19	23	50	16	6	114
A 7	14	15	31	24	30	114
A 8	7	10	32	33	32	114
A 9	91	14	2	5	2	114
A10	8	11	25	23	47	114
A11	33	24	22	20	15	114
A12	51	24	19	9	11	114
A13	12	11	45	23	23	114
A14	11	16	22	25	40	114
A15	23	52	21	13	5	114

ダー橋とからは異なった印象を受けている。もっとも、これは被験者にみせた図からの印象をもとにした結果であることを断っておかなければならない。

しかし、Fig. 10 からすれば、これら形式の橋梁に対して今まで概念的にもたれてきたものとはほぼ同じような結果になっていると、考えてもよいのではなからうか。

5. 結 論

以上、項目は少なかったが、橋梁の計画や設計にあたって個人の主観に属すると思われる点を取り上げてみた。すなわち構造問題は力学その他の工学条件から決められるが、人間の感覚をもとに検討するのが望ましい点もあることを考え、

① ドライバーが安全かつ快適に運転できる高架橋の形状と寸法比

② 橋梁全体から人々が受ける印象

に関する若干の点を対象に、種々の図を用いて、計量心理学の手法を応用したアンケート調査によって数量化(尺度化)を試みた。

ただ一対比較法、順位法、系列カテゴリー法は完全なものとはいいがたく、不十分な点もあろう^{注3)}。また人間の感覚や感情を数量化するという考えに根本的な問題があるのかもしれない。不十分な点を補うための他の角度からの検討とともに総合的な判断をすべきであろうが、ここでは計量心理学の現在の考えに従った。

その結果、本文にみられるように、今まで概念的に認識されてきたことに似たような結果が得られたようである。

数少ない検討例から性急な論及はつつまなければならないが、計量心理学の手法は、橋梁の計画や設計にあたって、数式に表わされない非論理的な人間の感覚や感情に関するデータを得るための一方法として利用されるのではなからうか。その際、アンケートの内容と要領を十分に検討しておくことはいうまでもない。

注3) 文献6) 参照。

6. あとがき

上記の結論を前提として、目的に応じたアンケート調査によって、

① 橋梁形式についての一般の人々の好みや印象

② 視覚的バランスの面からみた橋梁各部の好ましい形状や寸法比

などを知ることができよう。さらに、

③ 色彩を含めた橋梁の形態と、架橋地点の環境や風景との調和の検討

にも利用できるのではないかと思われる。

しかし問題となるのは、アンケート調査に用いる図や絵の作製である。その方法としては、橋梁本体だけではなく風景をも含めた景観図をつくるのに、

① 絵画

② カラー・フォト・モンタージュ

によるものが挙げられる。しかし、これらは熟練・設備・費用を要するので、それに代わるものとしてコンピュータ・グラフィックスを利用した

③ 橋梁本体の透視図の作製

④ アニメーションの応用

⑤ フラクタル幾何学の応用

が考えられるが、これらは別の機会に譲ることにする。

本文をまとめるにあたって参考にさせていただいた文献の著者である武藤真介氏、ならびに貴重な示唆をいただいた(株)構造計画研究所の山本順子氏に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 武藤真介：計量心理学，朝倉書店，1982。
- 2) 梅津・宮城・相良・依田編：心理学事典，平凡社，1972。
- 3) 塩見・金光・足立編：心理検査・測定ガイドブック，ナカニシヤ出版，1982。
- 4) 八十島・中村・小柳：橋梁景観の計量心理学的評価に関する研究，土木学会年次学術講演会概要集第4部（昭48年10月）。
- 5) 日本道路協会：景観を考慮した都市高速道路の設計に関する調査研究（その3）委員会報告書，昭55年。
- 6) 小柳・篠原・田村・中村・樋口：土木工学大系13，彰国社，1977。
- 7) 土木学会：美しい橋のデザインマニュアル，1982。
- 8) 山本・早川：計量心理学を応用した橋梁形態の一考察，土木学会年次学術講演会概要集第1部（昭59年10月）。
- 9) 山本・藤崎：カラー・グラフィックスを用いた地形シミュレーション及びフラクタルの応用，土木学会西部支部研究発表概要集（昭60年2月）。

(1984.12.8・受付)