

## 道路橋施工実績調査資料の解析

### STATISTICAL ANALYSIS OF THE HIGHWAY BRIDGES

松尾寿一\*・島常信\*\*・福山俊郎\*\*\*  
By Jyuichi Matsuo, Tsunenobu Shima and Toshiro Fukuyama

#### 1. はしがき

道路橋の設計にあたって、1) その等級、2) 道路規格、3) 施工主体、4) 市街地であるか山間部であるかなどの架設場所の相違、5) 河川橋か跨線橋か、または、跨道橋であるかなどの橋梁の用途などにより、また、6) 橋梁の全長、7) 幅員、8) critical span の長さ、9) critical clearance、10) 斜角、11) 曲線、12) 架設地点の地形、13) 地質、または、14) 設計施工時の社会的、経済的事情など——これらを要因とよぶ——によって、橋梁構造の上・下部、および、基礎工の形式、形状寸法、材質、あるいは、架設方法、したがって、工費——これらを属性とよぶ——が変わってくる。

これらの与えられた要因のすべてを考慮した最適設計を追求することは、多くの技術労力、時間、および、経費を必要とする。

この問題を一挙に解決することは非常に困難であるから、その橋わたし的な一つの方法として、既設橋梁の施工実績を調査集計し、要因分析などの統計的手法によって、その要因と属性の間の関連を数量的に整理解析して、設計に役立たせようと思う。

もちろん、総合的な観点からみて、既設橋梁が、必ずしも、最適設計のものばかりであるとはいえないが、この方法による選定方法の結果は、その地区の最近の橋梁工学の平均的技術水準を表わすものであるといえよう。

このために、九州地方建設局管内の既設の橋梁を調査して、これらのもつ特性を把握するために、九州地建本局、および、各工事事務所に保管されている設計書から、詳細なデータを収集した。管内の橋梁は多いが、設計方針や施工材料が年々進歩しているため、対象を昭和

37年以降のデータに限った。そのため、統計処理上データが不足したから、中国地建、近畿地建、日本道路公団福岡支社、福岡県、広島県の管轄の橋梁からも、同様な方法で1等橋のデータを収集した。工費についての資料は年度によって変動があるので、建設材料、および、人件費の変動率を調べて、昭和43年に換算した。スパン60m以上の橋梁は、対象とした地域にその例が少なかったため、残念ながら今回の解析からはずした。

#### 2. 資料の分類整理

得られた資料から、属性、および、要因の関係を分類整理して数量化するために、つぎに示す4つの方法を用いた。

##### (1) 単純集計

既設橋梁350カ所の資料を、属性と要因の各item——itemとは属性にあっては橋梁の上・下部、または、基礎工の構造形式、スパン割りなど、要因にあっては施工主体官庁名、路線名、施工場所などの大項目をいう——に細分し、全体をそれに属するサンプルの数、すなわち、度数ごとに集計したものが単純集計である。多数得られた結果の代表例を、属性に関しては図-1~3に、要因に関しては図-4~7に、棒グラフで示す。

たとえば、図-1は属性1:上部工構造形式別の単純集計であるが、集計された資料総数350のうち、102橋が活荷重合成鋼I型単純桁で、つぎに多いのがPCポステン単純桁95橋であることを示している。

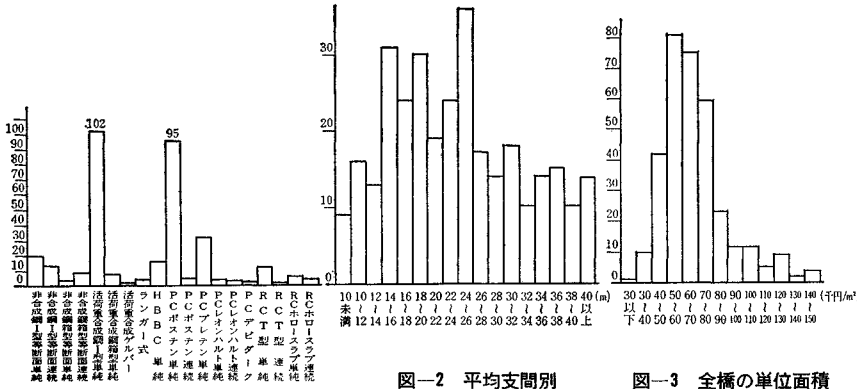
##### (2) クロス集計

収集された資料の特性を知るためには、単純集計だけでは不満足であるため、クロス集計を行なう。これは、属性のあるitemが他のitem category——itemの内容を細分して説明するもの、たとえば、属性の上部工構

\* 正会員 建設省九州地方建設局道路部長

\*\* 正会員 建設省九州地方建設局道路工事課長

\*\*\* 正会員 (株)福山コンサルタント代表取締役



図一 上部工構造形式別

図二 平均支間別

図三 全橋の単位面積あたり工費別

造形式では、活荷重合成鋼 I 型単純桁など——について、どのような頻度をもっているかを集計するものである。これはまた、属性の item と要因の item, または、要因の item と属性の item の間にも、その関係を調べることができる。単純集計によって、属性、および、要因の category のうちの最大度数を見出すことができるが、クロス集計によれば、さらに、それを各 category に細分したものを見出すことができる。得られた結果の代表例として、表一は、属性×属性について得られた

の単位面積あたり工費を  $y_i$  とし、これが橋長が何 m であるかを表わすのに  $x_j$  を与える。あるいは、どういう地形にあるかを  $x_j$  としてもよい。すなわち、要因の item の任意の category  $L_j$  の数量を  $x_j$  とおく。  $x$  と  $y$  との相関係数を  $\rho$  とする。これが最大となるような  $x$  と  $y$  を求める。すなわち、

$$\rho = C_{xy} / \sigma_x \cdot \sigma_y \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

$C_{xy}$  :  $x, y$  の共分散,  $\sigma_x, \sigma_y$  :  $x, y$  の標準偏差

結果のうち、最も頻度の高い item に対応する item の最大値をかきならべたもの一例であって、調査された橋梁群のもつ特性を示している。

(3) パターン分類  
(数量化モデル 第3類)

数量化をさらに進めるために、パターン分類を試みる。資料 i の上部工

表一 属性間関連

属性の category 単位 属性の item		① 上部工構造形式																		
		① 非合鋼 I 等単純	② 非合鋼 I 等連純	③ 非合鋼箱単純	④ 非合鋼箱連純	⑤ 活合鋼 I 等単純	⑥ 活合鋼 I 等連純	⑦ 活合鋼箱単純	⑧ 活合鋼箱連純	⑨ 活合鋼 I 等単純	⑩ 活合鋼 I 等連純	⑪ 活合鋼箱単純	⑫ 活合鋼箱連純	⑬ 活合鋼 I 等単純	⑭ 活合鋼 I 等連純	⑮ 活合鋼箱単純	⑯ 活合鋼箱連純	⑰ RC T 型単純		
①	上部工構造形式	(20)*	(13)	(3)	(8)	(102)	(1)	(8)	(1)	(4)	(16)	(95)	(5)	(31)	(4)	(3)	(2)	(11)		
②	不等スパン割りのときの最大スパン	m	22~26	40~	40~	40~	32~40	40~	40~	40~	40~	40~	~14	18~22	40~	14~	22~26	18~22	40~	14~18
③	平均スパン	"	22~26	40~	40~	40~	32~40	40~	40~	40~	40~	40~	~14	18~22	32~40	14~	26~32	18~22	40~	14~18
④	桁高	"	1.6~2.0	1.6~2.0	1.6~2.0	2.0~2.4	1.6~2.0	1.4~1.6	1.6~2.0	2.0~2.4	2.0~2.4	~0.8	1.0~1.2	2.8~	0.8~	1.2~1.4	1.0~1.2	2.8~	1.6~2.0	
⑤	上部工単位面積当り鋼	kg/m <sup>2</sup>	120~140	140~160	250~300	250~300	140~160	200~250	200~250	160~200	140~160	100~120	-	-	-	-	-	-	-	
⑥	上部工単位面積当りコンクリート量	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40~0.45	0.40~0.45	0.70~	0.55~0.70		
⑦	上部工単位面積当り工費	千円/m <sup>2</sup>	40~45	45~60	60~75	40~45	30~35	45~60	45~60	45~60	45~60	75~80	25~30	30~35	40~45	25~30	35~40	40~45	45~60	-
⑧	下部工単位面積当り工費	"	25~30	45~60	60~85	60~85	35~45	45~60	25~30	25~30	20~25	20~25	20~25	20~25	25~35	45~25	30~20	25~20	35~45	-
⑨	全橋の単位面積当り工費	"	65~75	100~130	130~	130~	65~80	100~130	70~90	70~90	80~100	45~55	50~60	80~100	45~50	60~70	70~80	80~100	60~80	
⑩	橋台躯体形式		重力式	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	半重力式	同左	同左	同左	同左	重力式
⑪	橋台基礎形式		直接式	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
⑫	橋脚躯体形式		壁式	同左	同左	柱式	ハマー式	同左	同左	同左	同左	同左	同左	壁式	ハマー式	同左	柱式	壁式	同左	同左
⑬	橋脚基礎形式		鋼杭	直接式	ウエルゲーション	同左	直接式	同左	同左	同左	ウエルゲーション	同左	直接式	同左	鋼杭	直接式	同左	同左	同左	RC杭

[注] \* ( ) 内の数字は上部工構造形式の度数を示す

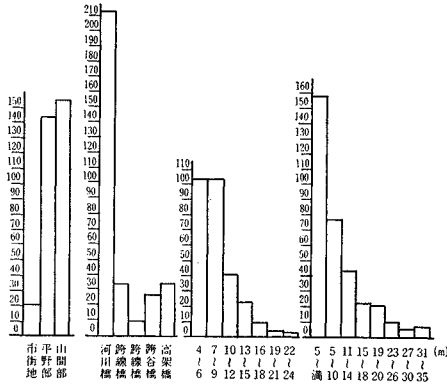


図-4 施工場所別  
図-5 橋梁用途別  
図-6 橋面から地盤  
までの高さ平  
均別  
図-7 根入れ深さ別

$$l_i = \sum_{j=1}^R \delta_{i(j)} \dots\dots\dots (2)$$

$S_i$  :  $i$  タイプのパターンをもつ資料の数

$n$  : 資料の総数

$Q$  : パターンの総数

$\bar{l} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^Q S_i l_i$  (一つの資料が選択した category 数の平均)

$$n\bar{l} = \sum_{i=1}^Q S_i l_i \text{ (総選択 category 数)}$$

これらの記号を用いて、 $C_{xy}$ ,  $\sigma_x$ , および、 $\sigma_y$  をつぎのように表わす。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y^2 &= \frac{1}{n\bar{l}} \sum_{i=1}^Q S_i l_i y_i^2 - \left\{ \frac{1}{n\bar{l}} \sum_{i=1}^Q S_i l_i y_i \right\}^2 \\ \sigma_x^2 &= \frac{1}{n\bar{l}} \sum_{i=1}^Q \sum_{j=1}^R \delta_{i(j)} S_i x_j^2 - \left\{ \frac{1}{n\bar{l}} \sum_{i=1}^Q \sum_{j=1}^R \delta_{i(j)} S_i x_j \right\}^2 \\ C_{xy} &= \frac{1}{n\bar{l}} \sum_{i=1}^Q \sum_{j=1}^R \delta_{i(j)} S_i y_i x_j - \left\{ \frac{1}{n\bar{l}} \sum_{i=1}^Q S_i l_i y_i \right\} \\ &\quad \times \left\{ \frac{1}{n\bar{l}} \sum_{i=1}^Q \sum_{j=1}^R \delta_{i(j)} S_i x_j \right\} \dots\dots\dots (3) \end{aligned} \right\}$$

である。いま、 $\delta_{i(j)}$ ,  $l_i$ , および、 $S_i$  などをつぎのように定義する。

$\delta_{i(j)} = 1$ , または、数量比 ( $i$  タイプのパターンが要因の  $j$  category を選択したときは 1 とし、 $i$  タイプが数量で与えられるときは、その要因の item ごとに、任意の基準数量に対する数量比とする)

$\delta_{i(j)} = 0$  (しらかざるとき)

$\rho$  の最大値を求めるためには、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial x_k} &= 0 \quad (k=1, 2, \dots, R) \\ \frac{\partial \rho}{\partial y_e} &= 0 \quad (e=1, 2, \dots, Q) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

の最大値表

		③ 平均 スパン								④ 全橋の単位面積あたり工費									
⑬ RC I型連続	⑭ RCホロースラップ単純	⑮ RCホロースラップ連続	⑯ 14m未満	⑰ 14~18	⑱ 18~22	⑲ 22~26	⑳ 26~32	㉑ 32~40	㉒ 40以上	㉓ 40千円/m <sup>2</sup> 以下	㉔ 40~50	㉕ 50~60	㉖ 60~70	㉗ 70~80	㉘ 80~100	㉙ 100~130	㉚ 130以上		
(1)	(5)	(3)	PCプレテン単純	PCボステン単純	PCボステン単純	PCボステン単純	活合鋼I単純	活合鋼I単純	活合鋼I単純	P Cボステン単純	P Cボステン単純	P Cボステン単純	活合鋼I単純	活合鋼I単純	活合鋼I単純	活合鋼I単純	活合鋼I単純		
22~26	14~18	18~22	14~	14~18	18~22	22~26	26~32	32~40	40~	14~18	14~18	22~26	22~26	40~	40~	40~	40~		
18~22	14~18	14~18	(38)**	(55)	(50)	(58)	(49)	(49)	(38)	14~18	14~18	14~18	22~26	32~40	40~	40~	40~		
1.0~1.2	1.0~1.2	0.8~1.0	0.8未満	0.8~1.0	1.0~1.2	1.2~1.4	1.4~1.6	1.6~2.0	2.0~2.4	1.2~1.4	1.2~1.4	1.2~1.4	1.4~1.6	1.6~2.0	2.0~2.4	2.0~2.4	2.0~2.8		
-	-	-	-	-	-	-	140~160	140~160	160~200	-	-	-	140~160	160~200	200~250	200~250	300~		
0.70~	0.55~0.70	0.45~0.55	-	-	-	-	-	-	-										
25~30	-	30~35	25~30	25~30	30~35	35~40	30~35	45~60	45~60										
35~45	-	60~85	~20	20~25	35~45	~20	~20	20~25	25~30										
60~75	-	90~120	45~50	45~55	65~80	55~60	50~55	65~85	70~90										
半重力式	重力式	半重力式	重力式	半重力式	重力式	半重力式	同左	同左	同左	重力式	半重力式	同左	同左	同左	同左	同左	同左		
直接式	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	直接式	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左		
壁式	同左	同左								壁式	ハンマー式、ラーメン式	ハンマー式	同左	同左	壁式	同左	同左		
直接式	同左	鋼桁								直接式	同左	同左	同左	ウエッセル	同左	同式	同式		

\*\* ( ) 内の数字は平均スパンごとの度数を示す

を解けばよい。その結果として、

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^R \left\{ \sum_{i=1}^Q (\delta_{i(j)} \delta_{i(k)} / l_i) S_i \right\} x_j \\ & - \sum_{j=1}^R \left\{ \frac{1}{nl} \sum_{i=1}^Q \delta_{i(j)} S_i \sum_{i=1}^Q \delta_{i(k)} S_i \right\} x_j \\ & = \rho^2 \left[ \left( \sum_{i=1}^Q S_i \delta_{i(k)} \right) x_k \right. \\ & \left. - \sum_{j=1}^R \left\{ \frac{1}{nl} \sum_{i=1}^Q \delta_{i(k)} S_i \sum_{i=1}^Q \delta_{i(j)} S_i \right\} x_j \right] \dots (5) \end{aligned}$$

を得る。ここで、

$$\begin{aligned} a_{jk} &= \sum_{i=1}^Q \frac{\delta_{i(j)} \delta_{i(k)} S_i}{l_i}, \\ b_{jk} &= \frac{1}{nl} \sum_{i=1}^Q \delta_{i(j)} S_i \sum_{i=1}^Q \delta_{i(k)} S_i \\ h_{jk} &= a_{jk} - b_{jk}, \quad d_k = \sum_{i=1}^Q S_i \delta_{i(k)} \end{aligned}$$

とおくと、

$$\sum_{j=1}^R h_{jk} x_j = \rho^2 \sum_{j=1}^R f_{jk} x_j \quad (k=1, 2, \dots, R) \dots (6)$$

となる。ここに、

$$f_{jk} = \begin{cases} -b_{jk} & (j \neq k) \\ d_k - b_{jk} & (j = k) \end{cases}$$

である。また、

$$h_{jk} = h_{kj}, \quad f_{jk} = f_{kj}$$

であるから、

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & \dots & h_{1R} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & \dots & h_{2R} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{R1} & h_{R2} & h_{R3} & \dots & h_{RR} \end{bmatrix} \dots (7)$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_R \end{bmatrix} \dots (8)$$

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & \dots \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{R1} & f_{R2} & f_{R3} & \dots \end{bmatrix} \dots (9)$$

とおき、マトリックス表示を行なうと、

$$HX = \rho^2 FX, \quad H^T = H, \quad F^T = F \dots (10)$$

となる。

上の固有値問題を解くことによって、最大の  $\rho^2$  と、これに応ずる  $X$  の値を求め得る。

ここで、

$$Z_k = \sqrt{d_k} x_k, \quad g_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sqrt{d_k} \sqrt{d_j}}$$

とおいて、変形すると、

$$GZ = \rho^2 Z \dots (11)$$

となり、一般の固有値問題となる。

一方、 $y$  の値は、 $\bar{y} = 0$  の条件のもとで

$$y_e = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot \frac{1}{l_e} \sum_{j=1}^R \delta_{e(j)} x_j$$

となり、 $x$  より容易に求めることができる。かつ、寸法

はどうでもよいから、 $(1/\rho)(\sigma_y/\sigma_x) = 1$  とおけば、

$$y_e = \frac{1}{l_e} \sum_{j=1}^R x_j \delta_{e(j)} \dots (12)$$

この値を、つぎの演算によって normalize する。

$$y_{ne} = \frac{y_e - \bar{y}}{\sigma_{ye}} \dots (13)$$

ここに、 $\sigma_{ye}$ 、 $\bar{y}$  はつぎのようである。

$\sigma_{ye}$  :  $y_e$  の標準偏差,  $\bar{y}$  :  $y_e$  の平均値

これを 3 次元について適用してもよいことは、文献 1) において証明されているので、これから得られた固有値の最大値のうち、大きい順に 3 つをとりだし、それに対する固有ベクトルを大きさの順に 1, 2, 3 軸について表わしたものを、表-2 にあげる。

このベクトルを要因の category のもつ score (数量) とよぶ。すなわち、 ${}_1x_j$  は 1 軸、 ${}_2x_j$  は 2 軸、 ${}_3x_j$  は 3 軸に対する score である。

これから、式 (12)、および、式 (13) を用いて、属性の item それぞれに対する category ごとに、 ${}_1y_i$ ,  ${}_2y_i$ , および、 ${}_3y_i$  を求めて、要因の item category の 3 次元空間と同一の尺度で配列する。それによって、属性の category ごとの空間分布の重心位置と主軸方向、および、分散を計算することができる。これを集中だ円として図示したものが、図-8~10 である。これがこのパターン分類の最終結果であって、3. で述べるように、この集中だ円図を用いて、新しい橋梁を選定することが可能となる。

#### (4) 数量化モデル第 2 類

パターン分類によって、要因と属性の関連が数量的に解析整理されるが、さらに、橋梁群の属性の分類の精度を大きくするため、数量化モデル第 2 類が考えられる。

この方法は  $x_{jk}$  を相関比  $\eta^2 = \sigma_b^2 / \sigma^2$  が最大になるように定めるものである。ただし、 $\sigma_b^2$  : 層間の分散,  $\sigma^2$  : 全体の分散、を示す。その計算の詳細については、文献

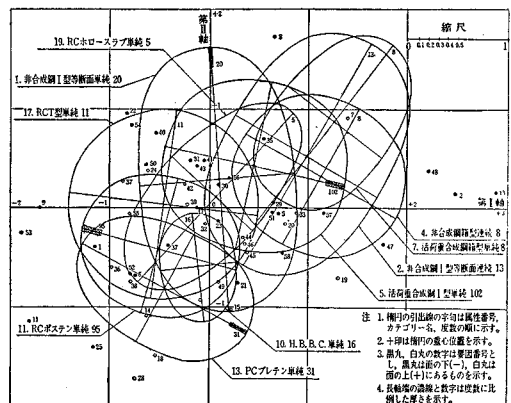


図-8 属性 1. 上部工構造形式集中だ円図

1) によられたい。

この場合、いままで属性の item としてきたものを、

表-2 パターン分類による Category 数量表

item No.	item	Cat. No.	category	score				
				1 軸	2 軸	3 軸		
1	施工主体官庁名	1	九州地建	-1.1849	-0.4211	-0.2183		
		2	中国地建	2.4657	0.1407	-2.7672		
		3	近畿地建	0.7136	2.0598	1.0539		
		4	福岡県その他	1.2495	-1.5591	2.1325		
2	路線名	5	一般国道 2 号線	0.6739	-0.0313	-0.6357		
		6	〃 3 〃	-0.7984	-0.7069	-0.1690		
		7	〃 8 〃	1.3937	0.9038	1.3793		
		8	〃 9 〃	0.6545	1.6989	-0.6966		
		9	〃 10 〃	-1.7439	0.0098	-0.4738		
		10	〃 25 〃	0.0466	3.2882	0.2349		
		11	〃 34 〃	-0.5630	-1.5091	0.9479		
		12	〃 35 〃	-1.8329	-1.1768	-0.0413		
		13	〃 42 〃	0.2001	2.9408	1.7207		
		14	〃 54 〃	2.8767	0.2620	-3.9963		
		15	〃 57 〃	-0.6739	-1.1004	0.2447		
		16	〃 201 〃	0.2042	-1.0473	1.9987		
		17	〃 207 〃	-1.4332	-1.2144	-1.2489		
		18	〃 210 〃	-0.1593	0.0154	-0.6624		
		3	施工場所	20	市街地	0.7422	-0.1971	1.3153
				21	平野部	0.2773	-0.7874	-0.1250
				22	山間部	-0.8366	0.9237	-0.2759
		4	橋梁の用途	23	河川橋	0.0594	-0.1286	-0.2131
24	跨線橋			-0.6753	0.3717	0.2898		
25	跨道橋			-1.2330	-1.4337	-0.4891		
26	跨谷橋			-0.6325	2.4586	0.8548		
27	高架橋			-0.4390	-0.3965	-0.2856		
5	橋長	29	橋長 (1/100)	0.6305	0.0728	0.0266		
6	クリチカスパンの長さ	30	クリチカスパンの長さ (1/10)	0.0486	0.2209	-0.1460		
7	クリチカルクリヤランスの高さ	31	クリチカルクリヤランスの高さ (1/10)	-0.2105	0.4587	-0.0913		
8	橋梁幅員	32	橋梁幅員 (1/10)	-0.0742	-0.1764	0.0146		
9	橋梁面積	33	橋梁面積 (1/100)	0.8795	-0.0643	0.1651		
10	斜角	34	斜角 (1/10)	-0.2482	0.0290	0.0133		
11	曲率	35	曲率 (1/r × 100)	-0.5502	0.7584	-0.3404		
12	地盤までの高さ最大	36	地盤までの高さ最大 (1/10)	-0.0978	0.4738	-0.0641		
13	〃 最小	37	〃 最小 (1/10)	-0.2831	0.2208	-0.1541		
14	〃 平均	38	〃 平均 (1/10)	-0.1517	0.4093	-0.0924		
15	根入れ深さ最大	39	根入れ深さ最大 (1/10)	0.3245	-0.3119	0.1306		
16	〃 最小	40	〃 最小 (1/10)	0.3706	-0.4486	0.1980		
17	〃 平均	41	〃 平均 (1/10)	0.3403	-0.3792	0.1701		
18	N 値	42	30 未満	1.7326	-0.3791	-1.3235		
		43	31 ~ 35	2.1962	0.3752	-0.5566		
		44	36 ~ 50	0.0719	-0.7625	0.5702		
		45	51 ~ 55	0.6807	0.4182	-0.8463		
		46	55 以上	0.6019	-0.0417	-0.3839		
19	施工年度	47	昭和 37 年	-0.8210	-0.6960	0.0106		
		48	〃 38 〃	-1.9319	-0.2844	-1.0578		
		49	〃 39 〃	-0.8255	0.8083	-0.4778		
		50	〃 40 〃	-0.8304	-0.0639	0.1294		
		51	〃 41 〃	0.1787	0.2938	1.5757		
		52	〃 42 〃	1.1301	-0.0577	-0.6489		
		53	〃 43 〃	0.7148	-0.4866	-1.2806		

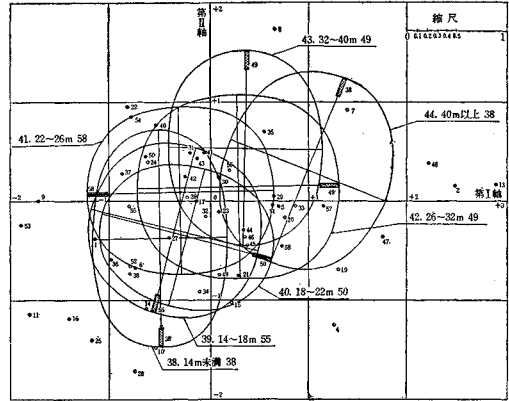


図-9 属性 3. 平均スパンの集中円図

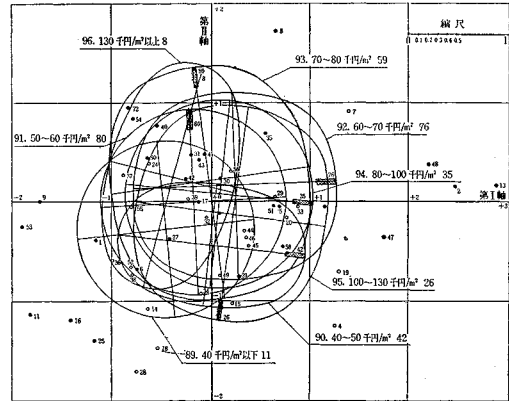


図-10 属性 9. 全橋の単位面積あたり工費集中円図

外的基準とよびかえる。

外的基準の分類が  $T$  個あるとき、つぎの方程式が成立する。

$$HX = \eta^2 FX \dots\dots\dots (14)$$

ここで、行列  $H$  の要素は、

$$\sum_{i=1}^T \frac{g^t(uv)g^t(jk)}{n_i} - \frac{1}{n} n_{uv} n_{jk} \dots\dots\dots (15)$$

であり、かつ、

$$g^t(uv) = \sum_{i=1}^t \delta_{i(t)}(uv), \quad g^t(jk) = \sum_{i=1}^t \delta_{i(t)}(jk)$$

$$n_{uv} = \sum_{i=1}^T g^t(uv), \quad n_{jk} = \sum_{i=1}^T g^t(jk)$$

であり、また、行列  $F$  の要素は

$$f(uv \cdot lm) = \frac{1}{n} n_{vn} n_{lm} \dots\dots\dots (16)$$

である。

ここに、 $f(uv, lm)$  はつぎのようである。

$f(uv, lm)$  :  $u$  item の  $v$  category と  $l$  item の  $m$  category に属する頻度、すなわち、クロス集計値。

式 (14) の固有値の大きい方から 3 つの固有ベクトル

表-3 数量化モデル第2類による橋梁構造形式に対する要因の影響度

item No.	item	Cat. No.	category	score		
				1軸	2軸	3軸
1	施工主体官庁名	1	九州地建	0.3592	-2.2234	0.3063
		2	中国地建	1.8385	-0.5263	1.6772
		3	近畿地建	3.0384	0.1909	0.4077
		4	福岡県その他	0.0731	0.0041	0.0560
2	路線名	5	一般国道 2号線	0.8048	1.8674	-0.1435
		6	〃 3 〃	0.1424	1.9573	0.0777
		7	〃 8 〃	-0.8107	0.6726	-0.4211
		8	〃 9 〃	-1.0836	-0.3693	-0.8402
		9	〃 10 〃	-0.5036	1.5529	-0.1582
		10	〃 25 〃	-4.3665	1.1783	-4.3080
		11	〃 34 〃	0.0301	1.5079	-0.8625
		12	〃 35 〃	-2.0183	-1.0305	0.5675
		13	〃 42 〃	0.5889	0.0391	-1.6822
		14	〃 54 〃	-0.7455	1.2381	-0.7059
		15	〃 57 〃	-0.0684	0.5408	0.1469
		16	〃 201 〃	0.3977	0.4987	-0.0807
		17	〃 207 〃	-0.6761	0.7795	-1.9633
		18	〃 210 〃	-0.0260	1.0725	1.2638
3	施工場所	19	その他	0.0731	0.0041	0.0560
		20	市街地	-0.4035	1.3465	2.6892
		21	平野部	-0.2688	0.4673	-0.2910
		22	山間部	0.0731	0.0041	0.0560
4	橋梁の用途	23	河川橋	-0.0847	-0.6439	-0.1583
		24	跨線橋	-0.4726	-0.9632	-0.1878
		25	跨道橋	0.0707	-0.7664	0.6122
		26	跨谷橋	0.3306	0.0513	-0.4070
		27	高架橋	0.2708	-1.1250	1.1931
		28	その他	0.0731	0.0041	0.0560
5	橋長	29	橋長(1/100)	-0.4818	-0.2051	-0.2156
6	クリチカルスパンの長さ	30	クリチカルスパンの長さ(1/10)	1.9610	-0.6804	0.1299
7	クリチカルクリヤランスの高さ	31	クリチカルクリヤランスの高さ(1/10)	-0.4914	-0.2196	0.0272
8	橋梁幅員	32	橋梁幅員(1/10)	-0.2956	-0.6790	-0.7803
9	橋梁面積	33	橋梁面積(1/100)	0.3950	0.6270	-0.0097
10	斜角	34	斜角(1/10)	0.0640	0.0909	-0.1714
11	曲率	35	曲率(1/r×100)	0.4229	-0.6534	0.8868
12	地盤までの高さ最大	36	地盤までの高さ最大(1/10)	1.2984	-1.2587	-0.8576
13	〃 最小	37	〃 最小(1/10)	0.1003	-0.7990	-0.6059
14	〃 平均	38	〃 平均(1/10)	-0.0413	2.9421	2.2306
15	根入れ深さ最大	39	根入れ深さ最大(1/10)	1.0054	0.7277	0.3378
16	〃 最小	40	〃 最小(1/10)	0.3899	-0.0781	1.2953
17	〃 平均	41	〃 平均(1/10)	-1.1608	-0.4755	-0.8730
18	N 値	42	30 未満	-0.0961	0.0717	-0.6538
		43	31 ~ 35	-0.1527	-0.3983	-0.0450
		44	36 ~ 50	-0.9260	0.5303	0.3727
		45	51 ~ 55	-0.2759	0.4915	-0.0397
		46	56 以上	0.0731	0.0041	0.0560
19	施工年度	47	昭和 37 年	0.4366	-1.3803	0.2791
		48	〃 38 〃	-0.7013	-0.9868	0.2191
		49	〃 39 〃	1.1680	-1.3244	0.4705
		50	〃 40 〃	0.3265	-0.9242	0.1820
		51	〃 41 〃	0.2904	-1.6802	0.0567
		52	〃 42 〃	-0.0179	-1.0756	0.3535
		53	〃 43 〃	0.0731	0.0041	0.0560

を求め、それを normalize したものが  $x_{i(j)}$  の score となる。表-3 は橋梁構造形式を外的基準としたときの要因の score を示す。橋長、critical span の長さなどの要因の item を数量で与えたため、それらの item の影響度がわからないのが残念であるが、分類で与えられた item category の range が大きい要因ほど外的基準の決定に大きな影響を与えるを知ることができる。この要因の item category の score を、つぎのように、資料ごとに集計する。

$$y_i = \sum_{j=1}^R \delta_{i(j)} x_j \dots\dots\dots (17)$$

すなわち、式(17)を計算して、その資料の score を得る。

たとえば、橋梁構造形式を外的基準にとったとき、category 5 と 9 の score に対する度数分布を、1軸、および、2軸に関してえがいたものが、図-11~12 で、図-13 は、橋種を外的基準としたときの集中だ円図である。ただし、この場合は、式(17)からわかるように、 $y_i$  の値は加重平均でもなく、また、normalize もされない。図-8 のパターン分類で求められた集中だ円の配置と比較すると、この方法によるほうが、分離がよくなっていることがわかる。図-14~15 は累積グラフであって、これを使って橋梁の構造形式を判別することができる。たとえば、表-4 で示すように、唐崎第2橋の score を表-3 から計算する。1軸の値が 9.44、2軸の値が -2.29 であったとする。図-14、および、図-

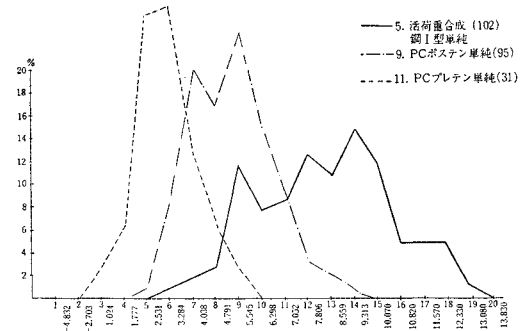


図-11 上部工構造形式判別グラフ (1軸)

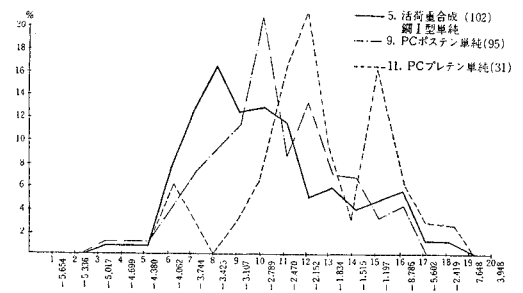


図-12 上部工構造形式判別グラフ (2軸)

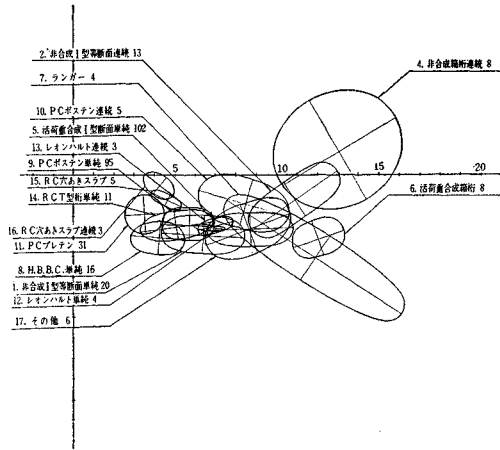


図-13 数量化モデル第2類による外的基準を橋種としたときの集中円図

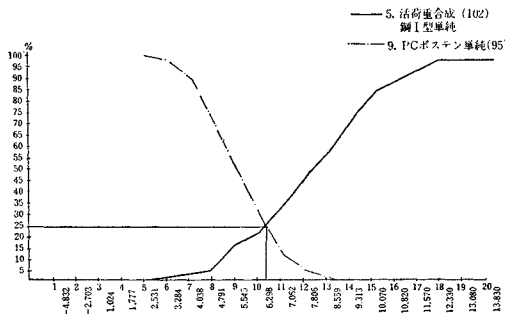


図-14 上部工構造形式累積グラフ (1軸)

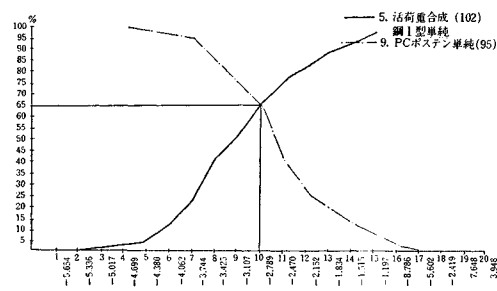


図-15 上部工構造形式累積グラフ (2軸)

15の横軸にそれぞれその score をプロットしてみる。図-14において、この点は6.223より右側にあるから、この橋梁の構造形式が活荷重合成単純桁であることが、75%の確率でいうことができる。ただし、この比較では、形式5と9との区別ができるだけであって、他の形式との比較にあたり、必要なだけ同じ手間をくりかえさなければならない。図-13の集中円図を使っても判別できる。

この方法は3.で述べるパターン分類による橋種選定方法とまったく同一である。

表-4 唐崎第2橋  
(数量化モデル第2類による score)

Cat. No.	$\delta$	$x_1$	$x_1\delta$	$x_2$	$x_2\delta$
1	1.0	0.3592	0.3592	-2.2234	-2.2234
9	1.0	-0.5036	-0.5036	1.5529	1.5529
22	1.0	0.0731	0.0731	0.0041	0.0041
23	1.0	-0.0847	-0.0847	-0.6439	-0.6439
29	1.4480	-0.4818	-0.6976	-0.2051	-0.2969
30	3.600	1.9610	7.0596	-0.6804	-2.4494
31	0.967	-0.9414	-0.4751	-0.2196	-0.2123
32	0.700	-0.2956	-0.2069	-0.6790	-0.4753
33	1.014	0.3950	0.4075	0.6270	0.6357
34	9.000	0.0640	0.5760	0.0909	0.8181
35	0	0.4229	0	-0.6534	0
36	1.0800	1.2984	2.3371	-1.2587	-2.2656
37	0.460	0.1003	0.0461	-0.7990	-0.3675
38	1.147	-0.0413	-0.0473	1.9421	3.3745
39	1.300	1.0054	1.3070	0.7277	0.9460
40	1.0	0.3899	0.3899	-0.6790	-0.6781
41	1.150	-1.1608	-1.3349	-0.4755	-0.5468
44	1.0	-0.9260	-0.9260	0.5303	0.5303
49	1.0	1.1680	1.1680	-1.3244	-1.3244
計			9.4404		-2.2870

### 3. 統計的橋種選定方法

数量化モデル第2類は、パターン分類よりも、分類の精度がよいが、外的基準が変わるごとに、固有値と固有ベクトルを求めねばならないから、計算時間が長くなる。

著者らは、判別を簡易化するため、パターン分類による集中円図を利用して、任意の資料が属性のいかなる item category に属するかの確率指数を導き、これによって新しい橋梁の形式を選定しようと試みた。

もちろん、この方法は九州、中国、近畿地建管内の1等橋についてあてはまるものであり、かつ、これで選出されたものが、必ずしも最適設計ではないことは、はしがきに述べたとおりである。

以下、その方法を述べる。ある橋梁を設計しようとするれば、まず、その架設地点についての要因を、道路計画、および、現地調査によって調査し、item category に分類する。表-2 にあげてある要因の item category のなかで、橋長は地形、幅員は交通量その他の条件から、設計者が定めるべき問題であるが、今回は、一応、それらが与えられたところから出発する。

いま、 $i$  なる橋梁の橋種を選出しようとする場合には、まず、表-2 を用いて、

$$\sum_{j=1}^R \delta_{i(j)1} x_j l_i, \quad \sum_{j=1}^R \delta_{i(j)2} x_j l_i, \quad \sum_{j=1}^R \delta_{i(j)3} x_j l_i$$

を計算する。これを、 ${}_1y_i$ 、 ${}_2y_i$ 、および、 ${}_3y_i$  とする。すなわち、架橋地点のもつ要因の category score の平均値を求める。さらに、式(13)によって normalize する。これがその橋梁のもつ score にほかならない。さきに、

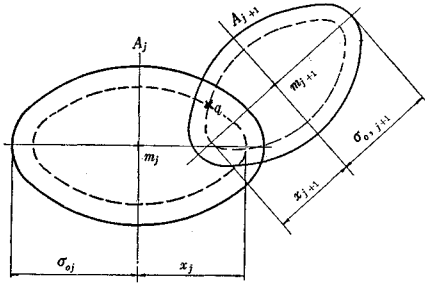


図-16

属性の item category ごとの集中だ円図が、図-8~10として求めてあるので、この図上に求めた score をプロットする。

このだ円を利用して、橋梁の属性、すなわち、1) 上部工の形式、2) スパン割り、3) 桁高、4) 下部工の形式、5) 全橋の単位面積あたり工費など、を推定することができる。

まず、図-16 に示すように、任意の橋梁の normalized score  $q$  と、その所属を求めた円  $A_j$  と  $A_{j+1}$  に着目する。 $A_j$  と相似で、しかも、同一中心をもつだ円をえがき、その長軸の長さ  $x_j$  を図上で測定する。集

中だ円  $A_j$  のもつ資料の数  $N_j$  は図に記入してあるし、標準偏差  $\sigma_{0j}$  は、この図から scale up して求める。

この数値を用いて、付録 (category 確率指数の求め方) に示される確率指数、すなわち、

$$P_{q(j)} = N_j \begin{cases} 1 - \min\{0.523 x^{1/2} \sigma_0^{-1/2}, 0.9\} & : 0 \leq x \leq 3 \sigma_0^3 \\ 0 & : x > 3 \sigma_0^3 \end{cases} \dots\dots\dots(18)$$

なる式で、 $P_{q(j)}$  を計算する。まったく同様に、 $A_{j+1}$  についても確率指数を求める。すなわち、score  $q$  に近接しているいくつかの集中だ円のうち、その最大値をもつものが、この橋梁の属性の category であることが判別できる。

この指数は近似式であるので、数値が近接しているときは、どの category が最適かどうかは厳密には判別できない。この際は、どちらに決定しても大差がないものと考えてよい。

計算例として、表-5 に示す橋梁を考える。この表の2列目がこの地点のもつ現地条件、すなわち、要因を示す item category であり、設計の当初から与えられたものである。

表-5 要 因 表 (唐 崎 第 2 橋)

No.	Cat.	$\delta_i$	$1x_j$	$\delta_i 1x_j$	$2x_j$	$\delta_i 2x_j$
1	九州地建	1	-1.1849	-1.1849	-0.4211	-0.4211
9	国道10号線	1	-1.7439	-1.7439	0.0098	0.0098
22	山間部	1	-0.8366	-0.8366	0.9237	0.9237
23	跨川橋	1	0.0594	0.0594	-0.1286	-0.1286
29	橋長 144.8 m (1/100)	1.448	0.6305	0.9130	0.0728	0.1054
30	クリチカルスパンの長さ (1/10)	0.0486	0.0486	0.2209		
31	クリチカルクリヤランスの高さ 8 m (1/10)	0.800	-0.2105	-0.1684	0.4587	0.3670
32	橋梁幅員 7 m (1/10)	0.700	-0.0742	-0.0519	-0.1764	-0.1235
33	橋梁面積 1012 m <sup>2</sup> (1/1000)	1.012	0.8795	0.8901	-0.0643	-0.0651
34	斜角 90° (1/10)	9.000	-0.2482	-2.2338	0.0290	0.2610
35	曲率 (1/r×100)	0.5502	0.5502	0.7584		
36	地盤までの高さ最大 14 m (1/10)	1.400	-0.0978	-0.1369	0.4738	0.6633
37	〃 最小 6 m (1/10)	0.600	-0.2830	-0.1698	0.2208	0.1325
38	〃 平均 10 m (1/10)	1.000	-0.1517	-0.1517	0.4093	0.4093
39	根入れ深さ最大 14 m (1/10)	1.400	0.3245	0.4543	-0.3119	-0.4367
40	〃 最小 10 m (1/10)	1.000	0.3706	0.3706	-0.4486	-0.4486
41	〃 平均 12 m (1/10)	1.200	0.3408	0.4090	-0.3792	-0.4550
44	支持層 N 値 50~	1	-0.6807	-0.6807	0.4182	0.4182
49	昭和39年度	1	-0.8255	-0.8255	0.8083	0.8083
計		$\bar{\delta}_i = 25.560$		$\Sigma \delta_i 1x_j = -4.0099$		$\Sigma \delta_i 2x_j = 2.0199$

∴  $1y = \frac{-4.0099}{25.560} = -0.1569$ ,  $1y_n = \frac{-0.1569 + 0.1027}{0.1895} = -0.286$ ,  $2y = \frac{2.0199}{25.560} = 0.1059$ ,  $2y_n = \frac{0.1059 - 0.0549}{0.1567} = 0.325$   
 (ここに  $1\bar{y} = -0.1027$ ,  $2\bar{y} = 0.0549$ ,  $1\sigma_{ye} = 0.1895$ ,  $2\sigma_{ye} = 0.1567$  は電算で得られた値)

表-6 確率指数の計算の一例 (属性 1. 上部構造形式の判定の場合)

No.	Cat.	重心との距離	サンプルだ円長軸の長さ $x_j$	$x_j^{1/2}$	だ円長軸 $\sigma_{0j}$	$\sigma_{0j}^{1/2}$	$\sigma_{0j}^{-1/2}$	$N_j$	$P_{q(j)} = (1 - 0.523 x_j^{1/2} \sigma_{0j}^{-1/2}) N_j$	順位
5	活合鋼 I 単純	0.75	0.78	0.882	0.94	0.970	1.03	102	$(1 - 0.470) \times 102 = 54.0$	1
11	PC ボスチン単純	0.77	0.81	0.900	0.81	0.900	1.11	95	$(1 - 0.520) \times 95 = 45.5$	2
1	非合鋼 I 単純	0.40	0.47	0.685	1.37	1.170	0.85	20	$(1 - 0.306) \times 20 = 13.9$	3
17	RC T 型単純	0.35	0.41	0.640	0.97	0.985	1.01	11	$(1 - 0.340) \times 11 = 7.2$	4
19	RC ホロースラブ	0.42	0.46	0.675	1.17	1.080	0.95	5	$(1 - 0.335) \times 5 = 3.3$	5



表一 属性判定表

属性 1. 上部 I 構造形式				属性 3. 平均スパン				属性 7. 上部単位面積あたり工費			
No.	Cat.	$P_{q(j)}$	順位	No.	Cat. (m)	$P_{q(j)}$	順位	No.	Cat. (千円/m <sup>2</sup> )	$P_{q(j)}$	順位
5	活合鋼 I 単	54.0	①	41	22 ~ 26	41.9	①	75	40 ~ 45	57.6	①
11	PCポステン単	45.5	2	39	14 ~ 18	29.8	2	73	30 ~ 35	48.2	2
1	非合鋼 I 単	13.9	3	42	26 ~ 32	28.8	3	71	~ 25	31.5	3
17	RCT型単	7.2	4	40	18 ~ 22	24.5	4	72	25 ~ 30	18.6	4
19	RCホロースラブ単	3.3	5								

属性 9. 全橋の単位面積あたり工費				属性 10. 橋台躯体形式				属性 12. 橋脚躯体形式			
No.	Cat. (千円/m <sup>2</sup> )	$P_{q(j)}$	順位	No.	Cat.	$P_{q(j)}$	順位	No.	Cat.	$P_{q(j)}$	順位
91	50 ~ 60	53.8	①	99	半重力式	95.3	①	120	なし	93.5	—
92	60 ~ 70	46.5	2	98	重力式	69.7	2	117	ハンマー式	58.7	①
93	70 ~ 80	42.3	3	100	逆T式	21.0	3				
94	80 ~ 100	22.0	4								
90	40 ~ 50	18.4	5								

表一 判定と実例の比較表

属性	1. 上部 I 構造形式	3. 平均スパン	7. 上部単位面積あたり工費
判定	活合鋼 I 単	22~26 m	40~45 千円/m <sup>2</sup>
実例	活合鋼 I 単	36~40 m	41.9 千円/m <sup>2</sup>

属性	9. 全橋の単位面積あたり工費	10. 橋台躯体形式	12. 橋脚躯体形式
判定	50~60 千円/m <sup>2</sup>	半重力式	ハンマー式
実例	63.6 千円/m <sup>2</sup>	半重力式	ハンマー式

表一 から、要因の score  $1x_j$ , および,  $2x_j$  をとりだしたのが、この表の 4, および, 6 列目の数値である。これに 3 列目の数値を乗じて加重平均したのち normalize すれば、この地点のもつ score  $1y_j$ , および,  $2y_j$  が求められる。

つぎに、確率指数を表一 で示す様式で計算する。その計算結果が表一 である。表一 の順位 1 のものが、この地点に適した橋梁の上・下部の形式、その他の諸元を示すものといえる。指数が接近しているものは、その大きさの順に category を列記して判定することとする。実は、この橋梁は九州地建の実在の橋梁を例にとったもので、この図表で計算した結果と実例との比較を表一 に示す。基礎工に対しても、同様の方法で判定を試みたが、精度があまりよくなかった。これは、基礎地盤についてのデータが乏しいため、データが揃いさえすれば、十分な結果が得られることが予想される。

#### 4. あとがき

まず、既往の資料をパターン分類によって数量化して、要因としての現地条件の score と属性としての設計諸元の関係を、要因 score 表、および、集中だ円図として記録しておく。いま、新しい架設地点に対する現地条件が与えられたとすれば、その要因の item category の score からその橋梁の normalized score を計算し、集中だ円図を用いて、確率指数を計算する。それによ

て、該当地区の既設橋梁の設計方針に基づいた橋種、および、橋梁諸元を決定することができることを述べた。集計対象が地域的に限られているので、全国的な橋梁予備設計資料としては、一般性にかけるが、地域的なみならず、スパン 60 m 以上に及ぶ長大橋についての資料の範囲をふやせば、ふやすだけ、まったく同一の方法によって、だんだんと一般性に富んだ橋種選定が可能となってくるし、また、技術の進歩によってよりすぐれた橋梁のデータが加われば、これがまた、すぐれた成果を表わすことになってゆくものと考えられる。

この論文は九州地方建設局から(株)福山コンサルタントに発注された「道路橋施工実績調査解析による橋種選定方法」の内容の一部であるが、これを発表することを許可されたことに対して、当局にお礼申し上げる。また、資料収集にあたり、ひとかたならぬご尽力をいただいた各位に感謝する次第である。

#### 参考文献

- 1) 林 知己夫(統数研): 市場調査の計画と実際, 1967年, 日刊工業新聞社

### 【付録】 category 確率指数の求め方

#### 1. 判別方法

いくつかのグループからなる母集団に対して、ランダムにとりだされた対象が、これらのグループのどれに属しているかを判別しようとする。なお、説明上、平面空間で解説するが、多次元の空間でも同じ論理で処理できることが容易にわかる。

いま、超だ円面  $A_j, A_{j+1}$  は、それぞれの単位超だ円面の各軸の長さを、 $\sigma_{0j}, \sigma_{0(j+1)}$  倍した長さの軸をもつ超だ円とし、その標本の数を  $N_j, N_{j+1}$  とする。いま、任

意の観測点  $q=(x, y)$  をとおる超だ円面の軸の長さが、その単位超だ円面の軸の長さの  $q_j, q_{j+1}$  倍であると仮定する。  $A_j$  に属する点  $q$  の標本実験から、

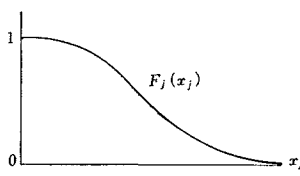


図-17

$x_j=q_j$  という値をとる確率を近似関数  $F_j(x_j)$  で表わすとき、図-17 に示すように、  $F_j(x_j)$  は

$$F_j(0)=1, F_j(\infty)=0, \text{ただし, } x_j \geq 0$$

なる性質をもつ。

したがって、  $F(x)$  の密度関数を  $f(x)(\geq 0)$  とすると、

$$F_j(x_j) = \int_{x_j}^{\infty} f(u) du$$

という形で  $F_j(x_j)$  が表わされる。この関数  $F_j(x_j)$  によって、  $q$  点がどちらに属するかが判別される。

$$\left. \begin{aligned} \frac{N_j}{\sum_i N_i} \cdot F_j(x_j) &> \frac{N_{j+1}}{\sum_i N_i} \cdot F_{j+1}(x_{j+1}) \Rightarrow q \in A_j \\ \frac{N_j}{\sum_i N_i} \cdot F_j(x_j) &< \frac{N_{j+1}}{\sum_i N_i} \cdot F_{j+1}(x_{j+1}) \Rightarrow q \in A_{j+1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (19)$$

でもって判別することができる。

なお、ここでの  $(N_j/\sum_i N_i)F_j(x_j)$  は、  $m_j$  を中心として、  $q$  をその境界とする超だ円面の軸の長さが、その単位超だ円面の  $x_j$  倍であるとき、  $q$  が  $A_j$  に属する確率を示すものである。

2. 分布関数  $F_j(x_j)$  の求め方

いま、任意の観測点  $q$  をとおる超だ円面  $A'_j$  を考え、その長軸の長さを  $q_j$  とする ( $\sigma_{0j}=1$  と考える)。

任意の観測点  $q$  が図-18の斜線部にあるとき、その度数分布は  $x_j=-q_j$  の関数で表わし、図の非斜線部のとき、その度数分布は  $x_j=q_j$  の関数で表わす。このとき、これらの観測点の性質として、

- (1)  $|x_j|=q_j$  の小さい点は、  $|x_j|$  の大きい値よりもその度数分布は大きい。
- (2)  $|x_j|=q_j$  が等しければ、その度数分布確率は正

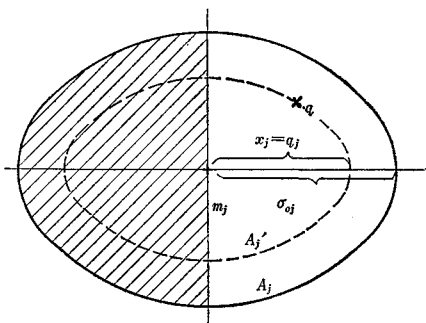


図-18

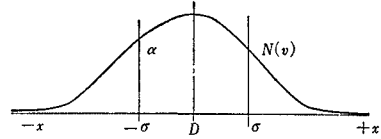


図-19

負の両側に同じ確率で見られる。

(3)  $|x_j|=\infty$  の度数分布確率は無視できる。

の3つの性質がある。したがって、  $A_j$  の長軸を横座標にとり、  $0$  を原点として、さきに定義した  $x_j$  に関する度数分布を 図-19 のように、正規分布と仮定しても、それほど矛盾は生じないと考える。

また、左右対称であるので、上の  $x_j$  に関する度数分布を  $|x_j|$  の度数分布で表わす。さきの  $x_j$  に関する分布関数を  $\bar{F}_j(x_j)$ 、  $|x_j|$  に関する分布関数を  $F_j(|x_j|)$  とすると、

$$F_j(|x_j|) = \bar{F}_j(x_j) + \bar{F}_j(-x_j)$$

となる。

したがって、

$$F_j(|x_j|) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{x_j}^{\infty} \exp\left(-\frac{x-\mu}{2\sigma^2}\right) dx$$

が成立する。

なお、ここでの  $\sigma$  は、仮定分布の分散であって、本質的にはデータの分散  $\sigma_0$  とは異なるものであり、かつ、その  $\sigma$  を求めなければ、せっかく求めた密度関数

$$f(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

が実用的でなくなる。そのため、ここでは、データの分散  $\sigma_0$  がわかっているので、それと  $\sigma$  との関連を計算すれば、密度関数  $f(x)$  が求められる。以下、その手順を略記する。

$\bar{x}$  : データの平均値 (ここではわかっていない)

$\sigma_0$  : データの標準偏差

$$\bar{x} = \int_0^{\infty} x \cdot \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx = \sigma \sqrt{\frac{2}{\pi}} \dots (20)$$

$$\begin{aligned} \sigma_0^2 &= \int_0^{\infty} (x-\bar{x})^2 \cdot \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx \\ &= \int_0^{\infty} x^2 \cdot \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx \\ &\quad - \int_0^{\infty} 2x\bar{x} \cdot \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx \\ &\quad + \int_0^{\infty} \bar{x}^2 \cdot \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx \dots\dots\dots (21) \end{aligned}$$

ここで

$$\frac{x}{\sqrt{2}\sigma} = t$$

とおき、上式を整理すると、

$$\sigma_0^2 = \frac{4\sigma^2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} t^2 \exp(-t^2) dt - 2\bar{x}^2$$

$$+ \frac{2\bar{x}^2}{\sqrt{x}} \int_0^\infty \exp(-t^2) dt = \sigma^2 \left(1 - \frac{2}{\pi}\right) \approx 0.363 \sigma^2$$

よって

$$\sigma \approx 1.66 \sigma_0 \dots\dots\dots(22)$$

これから、密度関数  $f(x)$  は、

$$f(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \approx \frac{1.205}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp\left(-\frac{x^2}{(2.35\sigma_0)^2}\right) \dots\dots\dots(23)$$

$$F(x) = 1 - \frac{2.83}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\pi}{24}} \left\{ 6 - 2 \exp\left(\frac{-x}{(2.35\sigma_0)^2}\right) \right\} - 3 \exp\left(\frac{-4}{3}\right) \left(\frac{x}{2.35\sigma_0}\right)^2 - \exp\left\{-2\left(\frac{x}{2.35\sigma_0}\right)^2\right\}$$

$$= \begin{cases} 1 - \min\{0.523 x^{1/2} \sigma_0^{-1/2}, 0.9\} & : 0 \leq x \leq 3\sigma_0^3 \\ 0 & : x > 3\sigma_0^3 \end{cases}$$

なお、 $0.523 x^{1/2} \sigma_0^{-1/2} > 0.9$  なる確率は 10% 以下であり、かつ、 $x > 3\sigma_0^3$  なることは無視できるので、

$$F_j(x_j) \approx 1 - 0.523 x_j^{1/2} \sigma_0^{-1/2} \dots\dots\dots(25)$$

として作業を進めても、ほとんどさしつかえない。

### 3. category 確率指数の求め方

これから、ある属性の category の数を  $Q$  とすれば、そのうちの category  $j$  に属する確率  $P_{q(j)}$  は、つぎのようにして表わされることになる。

となる。したがって、

$$F(x) = \int_x^\infty \frac{1.205}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp\left\{-\frac{u^2}{(2.35\sigma_0)^2}\right\} du$$

$$= \frac{2.83}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty 2.35\sigma_0 \exp(-t^2) dt \dots\dots(24)$$

これを積分して、つぎの解を得る。

$$P_{q(j)} = \frac{N_j}{\sum_i N_i} F_j(x_j) \dots\dots\dots(26)$$

各 category ごとに  $P_{q(j)}$  を計算して、その最大値を求めれば、属性のもつ category が決定されることになる。計算の便のため橋種選定に際しては下式による。

$$P_{q(j)} = N_j F_j(x_j) = N_j (1 - 0.523 x_j^{1/2} \sigma_0^{-1/2}) \dots\dots\dots(27)$$

(1969.4.21・受付)