

# コンピュータ・グラフィクスと数量化理論を応用した 橋梁の維持点検評価法

森 弘\*・大島俊之\*\*・三上修一\*\*\*・天野政一\*\*\*\*・  
井上 実\*\*\*\*\*

橋梁の維持点検データに基づいて健全度を診断する手法として数量化理論とコンピュータ・グラフィクスを組み合わせた解析方法を提案した。橋梁健全度の総合評価を機能的評価と物理的評価に大別し、機能的健全度評価においては幅員、線形、交通混雑度など7項目のアイテム、また物理的健全度評価においては主部材、床版など17項目のアイテムを設定して数量化理論による解析を行っている。またコンピュータ・グラフィクスの3D Rotation法を用いて評価の解析結果を明確に表示できることを示した。

**Key Words**: bridge integrity, maintenance inspection, quantification method, computer graphics

## 1. はじめに

戦後、昭和20年代に架設された橋梁は供用後40年以上を経過しており、全体としては、ほぼ改築されたものが多く、現在は昭和30年代に建設された橋梁に対する維持管理のための検討事例が多くなってきている。昭和30年代における道路標示方書や道路構造令の規定内容とその後の改正の経緯から明らかなように、日本の高度経済成長期の社会情勢の変化に伴う橋梁を取りまく環境の大きな変化は、橋梁の維持管理技術に多大な影響を及ぼしてきた。さらに高速道路、国道および地方道のそれぞれに架けられた橋梁の維持管理のための判断基準は、道路の性格の違いから自ずと各道路管理者ごとの判断基準に基づいて実施されているので、橋梁の重要度、地域性などに応じてその判断基準が多少異なって当然であるが、具体的評価基準が統一されてはいない。しかし21世紀に向けて先駆的な道路技術開発を旨とする中で<sup>1)</sup>、橋梁の維持管理の高度化をはかり、橋梁のマネジメントシステムの構築を図ることは重要な検討項目と考えられるようになってきた。すなわち「橋梁の健全度」を評価し、その結果を補修、補強工事に活用する必要性の増加する中で、橋梁の健全度評価手法を標準化する必要性が生じてきた。すなわち、橋梁の点検データに基づいてそれを総合的健全度として定量的に評価する手法を確立し、統一しておくことが必要である。

しかし「橋梁が健全である」とはいかなる状態を意味するのであろうか。

一般的考察として健全な橋梁とは

- ① 道路と一体となった平面線形を持ち、交通をスムーズに流すことが出来ること。
- ② 交通需要に対して充分な耐荷力を持つこと。
- ③ 交通需要に見合った幅員構成となっていること。
- ④ 河川の洪水時にもしっかりと耐える下部構造と桁下余裕高を持っていること。
- ⑤ 環境に有害な振動、騒音等を発生しないこと。
- ⑥ くり返し荷重による局部破壊、応力集中のないこと。

など機能的な要件および物理的な要件を満たしている状態と考えられる。参考として小堀<sup>2)</sup>は構造物の寿命を「構造物として使用されてから何らかの理由により使用が停止されるまでの期間、あるいは構造物をこれ以上使用できない終わりの段階」と定義し、次の三つに分類している<sup>3)</sup>。

- ① 物理的寿命
- ② 機能的寿命
- ③ 経済的寿命

このうち、経済的寿命については経済的寿命に至るほど、維持補修費のかかる橋梁は物理的寿命に達していると判断され、統計上もそのように分類されることが多いので、本論文では経済的要因を物理的要因に統合する。その上で橋梁の総合的健全度を機能的健全度と物理的健全度に大別して、以下検討することとする。

さて、これまでの実際の現場におけるエキスパートの点検および維持管理に対する判断は、相対的、主観的な判断が多く、これをより適確なものにするため、Fuzzy理論やエキスパートシステムの活用など多くの研究が行われてきた<sup>4)~7)</sup>。またエキスパートの判断と実際の橋梁の耐荷力不足など客観的事実とを結びつける研究も行われている<sup>7), 18)</sup>。

本来、維持・点検の技術は実験による裏づけや過去の

\* 正会員 工修 北見工業大学助教授 工学部土木開発工学科

(〒090 北見市公園町165)

\*\* 正会員 工博 北見工業大学教授

\*\*\* 正会員 北見工業大学助手

\*\*\*\* JR 東海建設

\*\*\*\*\* 札幌市役所

補修事例を参考データとして判断できることが望ましいが、最近までこれらに関するデータの集積が充分でなかったため、判断基準があいまいで統一されていないと言われてきた。しかし、損傷事例および補修効果データの蓄積<sup>9)</sup>および疲労などの判定指針<sup>10)</sup>が出版されるなど徐々に維持点検技術は統一的基準で実施できる方向へ向かっている。したがって、将来この維持点検技術が基準統一されるまでは個々の事例に対する判断をより客観的かつ定量的に実施するための手法が必要である。

ここで用いる数量化理論の手法はエキスパートによる判断データがより多く蓄積されれば客観的判断に近づくと言われている<sup>11)</sup>ので、ここではこの手法を用いることにする。エキスパートの総合的判断をできるだけ定量的かつ客観的判断に近づけることを意図して、エキスパートの個々の判断およびそれらの個々の判断と全体的・総合的判断との関係に着目して検討を行っている。

本論文の特色はこの数量化理論の解析とコンピュータ・グラフィクスの3D Rotation 技術を組み合わせて、個々の当該する橋梁に対する維持管理の判断を明確にし、可視化して判断できるシステムを開発した点にある。また、本論文では主として道路橋を想定した解析を行っている。

## 2. 機能的健全度評価

現場のエキスパートの維持管理の技術判断にばらつきがある主要な原因は、この機能的健全度の判断に際して多くの要因があり、統一的基準や参照事例などの判断に必要な資料が不足している点あげられる。しかし、文献<sup>9)</sup>にもあるように道路橋、鉄道橋とも機能的要因により架替えられるケースが物理的要因より多いことから、この機能的要因を何らかの手法で定量的かつ客観的に判断する必要性が強いと思われる。

著者らの機能的健全度評価の考え方および解析結果の一例については文献<sup>12)</sup>において示しているのでここではそれに基づき簡単に説明する。著者らは橋梁の機能的健全度を評価する上で橋梁の機能に最も関係の深い因子として交通量を取り出し、これを基本尺度とした。そしてこの交通量と他の機能的項目の現況とを比較することによりその項目の機能的適切度を判定し、健全度の評価をすることとする。交通量の特性を示す指標としては

- ① 12時間交通量
- ② 24時間交通量
- ③ 大型車類混入率

などがあるが、ここでは12時間交通量を用いる。

その他橋梁の機能的健全度に影響を及ぼすと思われる項目を抽出して表一のような機能的点検調査表を作成してそれぞれのデータの収集を行った。

このデータ収集においては、ある限定した地域の昭和

表一 機能的点検表

区名 中央大橋		区画番号 4070		区画名 上武利丸瀬布橋	
道路構造令に準じる階級の規格					
道路区分	3 種 4 級	計画交通量	2050 台/日		
道路の種類	普通	設計速度	40 km/h		
交通量調査年		1981	1991	観測率	
⑦ 年 日 体 日	12時間交通量	台	1733	台	
	〃 (大型車類)	台	236	台	
	大型車類混入率	%	14	%	
	12時間交通量	台	1303	台	
〃 (大型車類)	台	78	台		
大型車類混入率	%	6	%		
河川名		河川名		湧別川	
① ② ③ ④	車線数	2			
	車道幅員	5.5 m	計画流量	m <sup>3</sup> /s	
	路肩幅員	0.5 m	計画標準年数	年	
	歩道幅員	2.5 m	河川改修計画の有・無	未	
⑤	直・斜・曲	直	河川改修計画の有・無		
	起高層	終高層	河床変動		
	車線数	2	物理的総合評価		
	車道幅員	5.5 m	5.5 m	敷置化11類による判定	
路肩幅員	0.5 m	0.5 m	重み付けによる判定		
歩道幅員	6.5 m	5.6 m	総合評価		
曲線半径	m	m			
橋梁周辺の地形状態		直線			
備	架換計画：架換計画有り 架換年次：H10～14 架換理由：道路2次改築				
考					

30年代およびそれ以前に建設された道路橋を対象とした。そして、現在架換計画が有るか、無いかを含めて調査し、機能的要因と寿命との関係に関連づける解析を行った。

### (1) 数量化理論Ⅱ類<sup>13)</sup>による解析

アイテムとしては

- ① 車線幅員
- ② 路肩幅員
- ③ 歩道幅員
- ④ 道路橋梁幅員差
- ⑤ 線形状態
- ⑥ 河川改修計画
- ⑦ 交通混雑度

の7項目を表一の点検表から選定した。カテゴリーについては、まず、アイテム①, ②, ③, ④の幅員に関する項目においては当該する道路の理想的な種別等級を決定し、それに該当する幅員構成をまず設定して、その理想値から現況はどの程度少ないかを尺度として表一2のようにカテゴリーの範囲を決めている。アイテム⑤の線形状態では曲線部の方向転換の角度を尺度に4段階に分けている。アイテム⑥の河川改修計画については計画の有無の他にすでに改修が終了しているか否かも含めて3段階とした。さらに、アイテム⑦の交通混雑度は

$$(\text{日交通量}) / (\text{設計基準交通量})$$

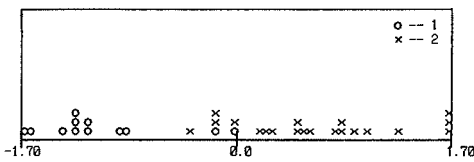
の比を尺度にとって3段階にカテゴリーを分類した。また、橋梁の機能的健全度に関する外的基準としては寿命との関係を考慮して一般に

- 1) 現状維持および機能低下の監視継続
- 2) 機能の再点検評価の必要有 (部分的改修)
- 3) 機能停止 (補修, 改築)

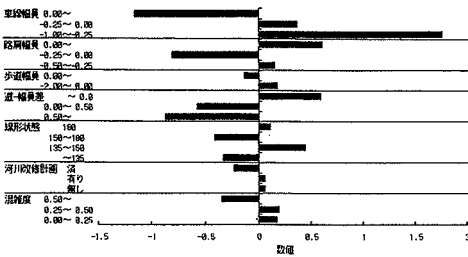
表一 機能的评价の解析結果

アイテム	カテゴリ	度数	カテゴリスコア	範囲 (割合)	偏相関係数 (割合)
車線幅員 (m)	0.00 ~	15	-1.16195	2.92138 (37.14)	0.74904 (26.79)
	-0.25 ~ 0.00	9	0.37264		
	-1.00 ~ -0.25	8	1.75943		
路肩幅員 (m)	0.00 ~	4	0.61238	1.42654 (18.14)	0.51496 (18.42)
	-0.25 ~ 0.00	7	-0.81416		
	-0.50 ~ -0.25	21	0.15474		
歩道幅員 (m)	0.00 ~	18	-0.14211	0.32482 (4.13)	0.18358 (6.57)
	-2.00 ~ 0.00	14	0.18271		
道路橋架橋幅差 (m)	0.00 ~	17	-0.59912	1.47401 (18.74)	0.54654 (19.55)
	0.00 ~ 0.50	10	-0.58106		
線形状態 (°)	180	13	0.11260	0.86365 (10.99)	0.36445 (13.04)
	150 ~ 180	7	-0.41519		
	135 ~ 150	7	0.44846		
河川改修計画	有り	3	-0.23715	0.30519 (3.88)	0.13963 (4.99)
	無し	22	0.06904		
	無し	22	0.06916		
混雑度	0.50 ~	11	-0.35232	0.54936 (6.98)	0.29750 (10.64)
	0.25 ~ 0.50	9	0.13704		
	0.00 ~ 0.25	12	0.17518		
外的基準		12	-1.05573	相関比 = 0.68146	
		20	0.63944		

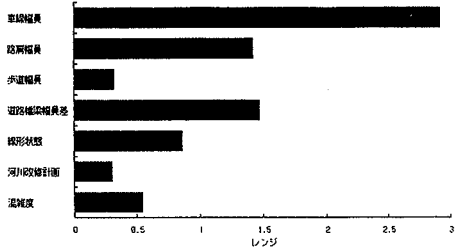
外的基準 1 : 架換計画のないもの  
 2 : 架換計画のあるもの、もしくは架換中のもの



図一 機能的评价の散布図



図二 機能的评价のカテゴリ・スコア



図三 機能的评价のアイテム・レンジ

表三 物理的点検査

項目	検査項目	検査結果
橋	架設年月	8, 9.5, 1.1
	橋長	15.00 m
	幅員	8.0 m
	河川名	横水川
	示方標	S-31 表示
	基礎形式	橋基礎
	上部構造	P.C 座版橋
	床面構造	2
	支保形式	単純支保桁
	架設仕様	S-31 表示
橋	構造種類	鋼製鋼橋
	最高速度	℃
	最低速度	℃
	凍害	%
	漏水	%
	日照率	%
	風速	m/s
	物障からの距離	2.00 km
	行状物質	橋
	架設年月	架設年月
架設年月	架設年月	
橋	検査項目	検査項目
	検査項目	検査項目
	検査項目	検査項目
	検査項目	検査項目
	検査項目	検査項目
	検査項目	検査項目
	検査項目	検査項目
	検査項目	検査項目
	検査項目	検査項目
	検査項目	検査項目

などに分類されると思われるが、ここでは1)と2)を広い意味の現状維持と考えて

- ① 架換計画のないもの
- ② 架換計画のあるものまたは架換中のもの

の2分類とした。総データ数は32橋である。

(2) 解析結果

表一の右側の欄には解析結果のカテゴリスコア、カテゴリスコアの範囲、偏相関係数を示している。また、解析の相関比は0.68146である。外的基準①、②にそれぞれ○印、×印を当てはめたヒストグラムを図一に示しているが、ほぼ判別境界が明確である。図二および図三にはそれぞれ表一のカテゴリスコアおよびアイテムレンジ(範囲)を棒グラフに示している。これらの結果からカテゴリ分類が適当であったこと、および各アイテムの全体評価に占める重みが明らかとなり、車線幅員、道路と橋梁の幅員差などが卓越する結果となった。一般に交通の混雑度および線形状態の良否が橋梁の健全度に関係が深いと思われるが、ここで用いた

データでは架換要因として車線幅員および道路橋梁幅員差による事例が多かったことによるものと考えられる。また、車線幅員と交通混雑度とは内容的に関連している点も影響していると思われる。

3. 物理的健全度評価

建設省土木研究所の「橋梁点検要領」<sup>14)</sup>では物理的的点検項目は非常に多くの項目に分類されており、個々の損傷レベルの判定も、ほぼ適確に統一した基準で判定できると思われる。本論文では基本的にはこの点検要領に基づく点検データを用いるとともに表三および表四のように点検項目のうち頻度の高いものを中心に整理しながら合計17項目の判定結果として点検データを再編した。

前述したように本論文の目的は現場における維持管理技術の統一の基準が確立されるまでの間、橋梁点検データに基づく維持管理の判断をできるだけ定量的かつ客観的に判断できる手法を提供することにある。したがって、

表一四 損傷の種類とその略称

(a) 鋼橋		(b) コンクリート橋	
部材区分	損傷の種類	部材区分	損傷の種類
主部材 ・主桁	腐食(主1)	主部材 ・主桁	割離(主1)
	亀裂(主2) ・亀裂 ・破断		・割離, 鉄筋露出 ひびわれ(主2)
	その他(主3) ・脱着 ・異常音 ・異常振動 ・異常たわみ		その他(主3) ・遊離石灰 ・鋼板接着部の損傷 ・漏水, 滲水 ・異常振動 ・異常たわみ ・欠損
2次部材 ・横桁 ・縦桁 ・斜撐構 ・横構	腐食(補1)	2次部材 ・横桁 ・縦桁	割離(補1)
	亀裂(補2) ・亀裂 ・破断		・割離, 鉄筋露出 ひびわれ(補2)
	その他(補3) ・脱着 ・変形		その他(補3) ・遊離石灰 ・鋼板接着部の損傷 ・漏水, 滲水 ・欠損
床版	割離(床1) ・割離, 鉄筋露出	床版	割離(床1)
	ひびわれ(床2) ・床版ひびわれ		・割離, 鉄筋露出 ひびわれ(床2)
	その他(床3) ・遊離石灰 ・抜け落ち ・鋼板接着部の損傷 ・漏水, 滲水		その他(床3) ・遊離石灰 ・抜け落ち ・鋼板接着部の損傷 ・漏水, 滲水

表一五 橋梁健全度診断調査票

**橋梁健全度診断調査**

記号 A: 現状維持  
 B: 軽い補修を要する  
 C: 大がかりな補修を要する  
 D: 補修より架換を勧める

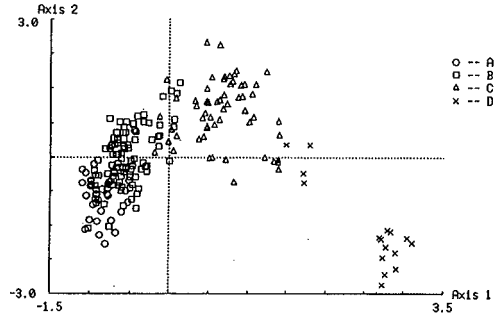
橋梁	上部構造				橋脚	橋墩	支保	附属施設	架設	補修履歴	判定	
	主桁	横桁	縦桁	その他								
1	II	OK	IV	OK	II	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
2	OK	II	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	II
3	OK	OK	OK	OK	OK	IV	OK	OK	OK	OK	OK	IV
4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	IV	II	OK	IV
5	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	II	IV	OK	IV
6	III	OK	OK	IV	OK	OK	IV	OK	IV	OK	OK	IV
7	OK	OK	OK	III	OK	II	OK	IV	II	OK	IV	OK
8	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
9	OK	OK	OK	OK	OK	IV	OK	OK	OK	OK	OK	IV
10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

ここでは現場におけるエキスパートの判断をアンケートにより収集してその解析結果の中から客観的と思われる事実を抽出するとともに、その結果を現場で活用できる手法を提案する。

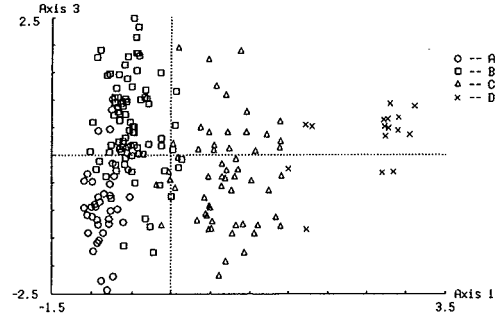
(1) シミュレーションデータによる解析

現場では数多くの橋梁点検データを有しているが、それをそのまま利用するとデータに片寄りが含まれる可能性がある。そこで、本論文では実際の橋梁の点検結果および補修改築の判定結果を参照しながら、実際に発見の可能性のある様々な仮想の老朽橋梁の点検データを表一五のように鋼橋 240 橋、コンクリート橋 240 橋、合計 480 橋分作成した。そして、維持管理に関係の深い専門技術者 10 名を選考して

- A: 現状維持
- B: 軽い補修を要する。



(a) 1-2 軸相関図



(b) 1-3 軸相関図

図一四 分析結果 (鋼橋)

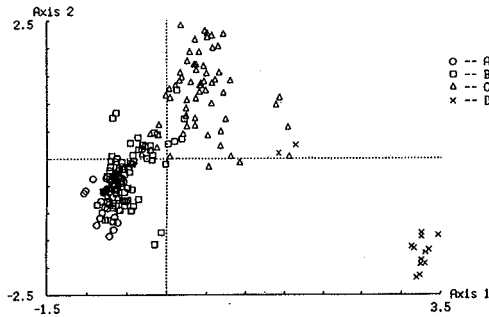
- C: 大がかりな補修を要する。
- D: 補修より架換を勧める。

の 4 分類により表一五の一番右の判定の欄に記入する方式によりエキスパートの判定データを集めた。依頼した専門技術者は道路維持管理担当技術職国家公務員 (経験年数 15 年以上) 2 名, 道路建設担当技術職地方公務員 (経験年数 10 年以上) 2 名, 橋梁設計コンサルタント技術者 (経験年数 15 年以上) 4 名, 橋梁点検評価業務担当責任技術者 (経験年数 10 年以上) 2 名の合計 10 名となっている。

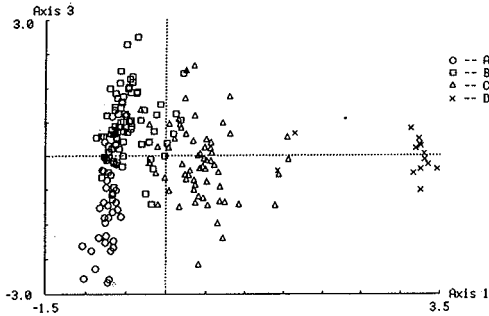
(2) 解析結果

本論文ではできるだけ点検評価の客観的判断結果を重視する立場から A, B, C, D の 4 分類の判断に大きなばらつきの見られるデータを特に慎重に検討した。このばらつきの見られたサンプル数は鋼橋について 38 橋, コンクリート橋分について 41 橋である。ここでは、まずこれらのばらつきの大きなデータを削除した解析結果を示すとともに、後にこれらのデータを含めたすべてのデータについての解析と比較することにする。まず、図一四および図一五はこれらのデータを除いたそれぞれ鋼橋 202 橋, コンクリート橋 199 橋に対する第 1-2 軸および第 1-3 軸の散布図を示している。いずれも D 判定は明確に分離しているとともに C 判定, B 判定間および B 判定, A 判定間が重複している領域が見られる。

さらに同様の解析から得られた各アイテムへの重みに



(a) 1-2軸相関図



(b) 1-3軸相関図

図-5 分析結果 (コンクリート橋)

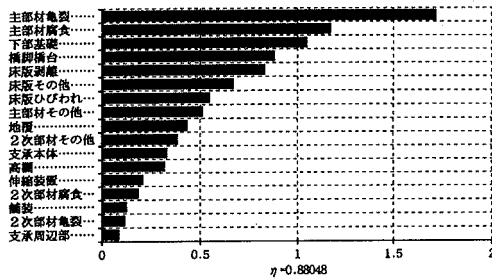


図-6 物理的評価のアイテム・レンジ (鋼橋, 一軸)

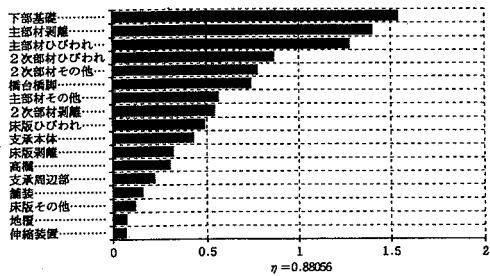


図-7 物理的評価のアイテム・レンジ (コンクリート橋, 一軸)

相当するアイテムレンジ (範囲) の割合 (%) を鋼橋 (202 橋), コンクリート橋 (199 橋) に対してそれぞれ図-6 および図-7 に示している。これによれば 1 軸, 2 軸, 3 軸それぞれに相当する判定の際の各アイテムの重みの変

化が明らかとなっている。以上の結果は先に述べた削除したサンプルデータを加えても相関比が多少低くなるものの大きな変化は見られない。

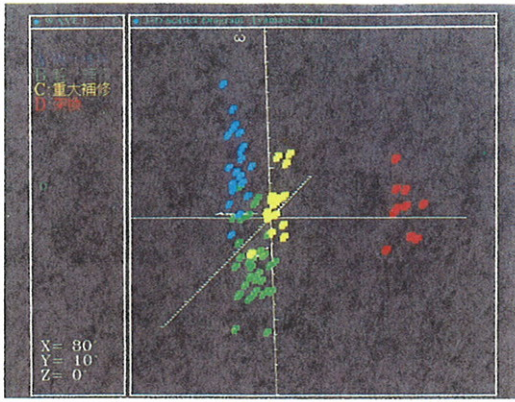
図-6 および図-7 にはこの削除したサンプルデータを含めた鋼橋およびコンクリート橋それぞれ 240 橋に対して同様の計算を行い, 第 1 軸に対するアイテム・レンジに優先順位をつけて示している。この場合相関比  $\eta$  はいずれも 0.88 となっている。前述の図-6 および図-7 においてはいずれも 0.90 であった。これらの結果より各アイテムへの重視の度合は鋼橋では主部材の亀裂, 腐食, 下部構造など, コンクリート橋については下部, 主部材, 剥離, ひび割れなどの順となっており重みの数値とともに妥当な結果が得られている。

### (3) コンピュータ・グラフィクスによる判定の可視化

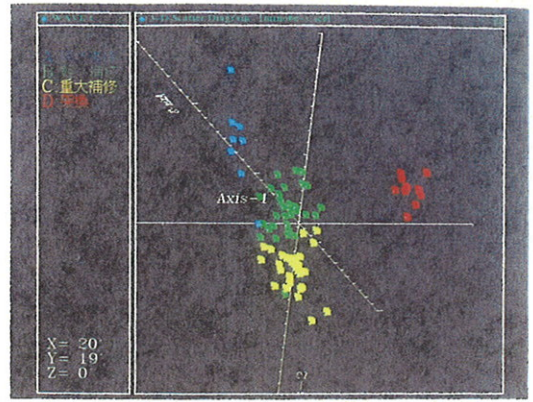
コンピュータ・グラフィクス (CG) の三次元回転表示 (3D Rotation, 3DR) では空間的に配置された 3 次元のデータを座標軸とともに色彩のある画面上で回転させながら, 物理的に有意なデータ構造を詳細に解析することが可能である。本論文では前項で述べた数量化理論の解析結果より得られた 1 軸, 2 軸, 3 軸に対する結果を 3DR の X, Y, Z 軸とみなし, A, B, C, D の判定の違いを, 青, 緑, 黄, 赤に対応して表示する方法を用いている。図-8 および図-9 にはそれぞれ鋼橋およびコンクリート橋に対する結果を示している。

図-8 (a), (b), (c), (d), (e) の 5 つの図には前述した 10 人の専門技術者のうち代表的な 5 名の鋼橋 80 橋に対する判定結果の散布状況を示している。5 名の内訳は, 前述の国家公務員 (図-8 (b)), 地方公務員 (図-8 (e)), コンサルタント技術者 2 名 (図-8 (c), (d)), 点検担当技術者 (図-8 (a)) となっている。また図-8 (f) にはこれらを総合化した 240 橋全体の散布状況を示している。これらの図は画面上で座標軸を 3 次元的に回転させながらデータ構造を観察し, 最も分離状況が明確な角度で画像を停止して求めたものである。また, これらの図において回転角それぞれに工学的意味はないが, 個々のデータの散布状況に応じて 3 次元的にデータ集合分布の分離性が明瞭となるコンピュータ・グラフィクス上の角度が存在している。同様にして図-9 には, コンクリート橋について 5 名の 80 橋に対する判定結果を (a), (b), (c), (d), (e) に示しているとともに, 全体の 240 橋に対する結果を図-9 (f) に示している。いずれも判定結果が多少重複している部分も見られるものの全体としては明確に分離されている状況が明らかである。

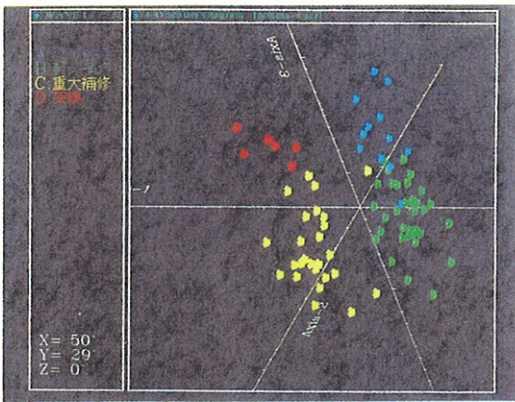
これらの解析内容が信頼性のあるものとして確立されたのちは, その後の個々の老朽橋梁の点検データと各アイテムに対する重みから計算されるサンプルスコアを画



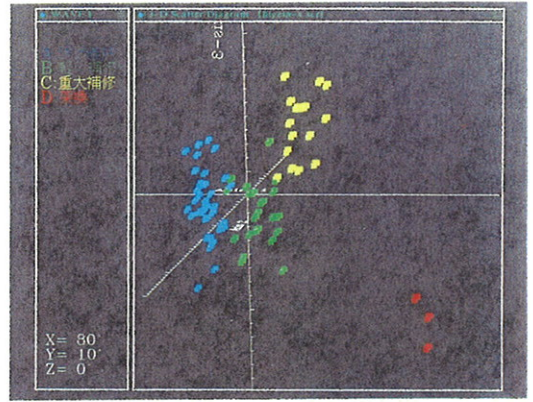
(a)  $X=80, Y=10, Z=0$



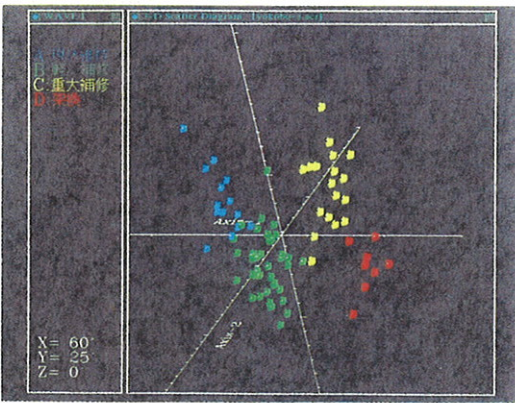
(b)  $X=20, Y=19, Z=0$



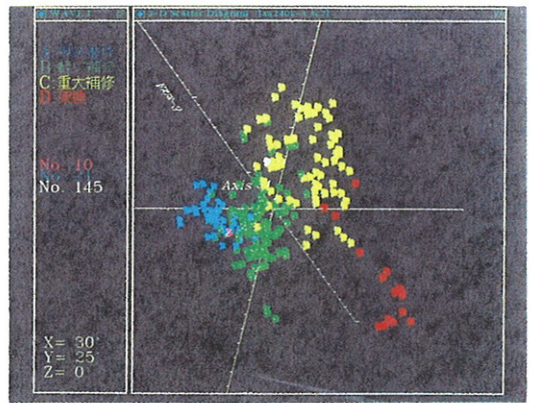
(c)  $X=50, Y=29, Z=0$



(d)  $X=80, Y=10, Z=0$

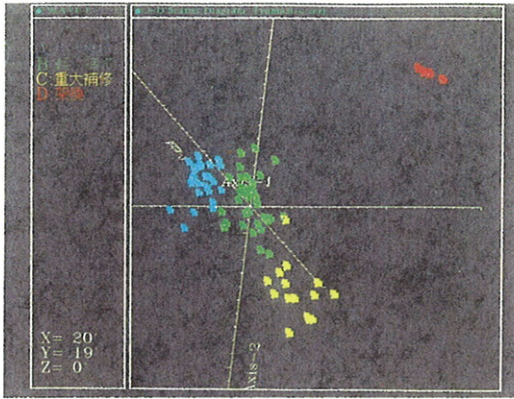


(e)  $X=60, Y=25, Z=0$

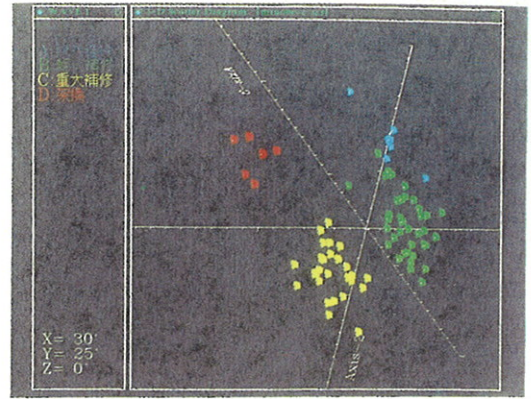


(f) 240 橋  $X=30, Y=25, Z=0$

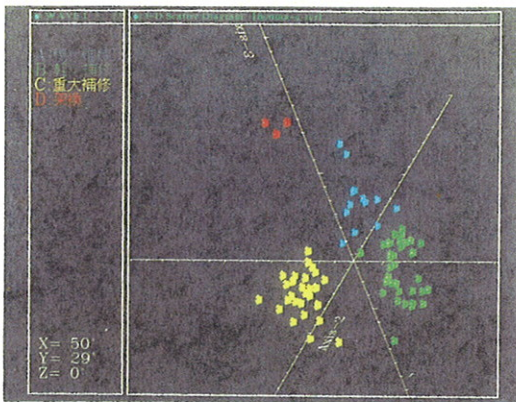
図-8 コンピュータグラフィクスによる判定の可視化  
物理的評価のアイテム・レンジ (鋼橋)



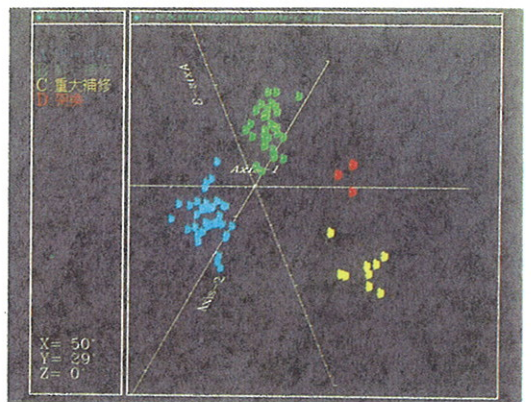
(a)  $X=20^\circ, Y=19^\circ, Z=0^\circ$



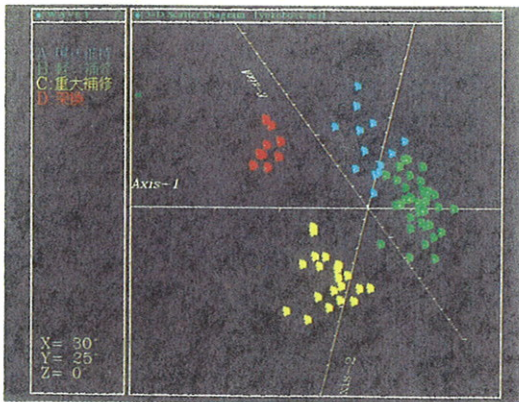
(b)  $X=30^\circ, Y=25^\circ, Z=0^\circ$



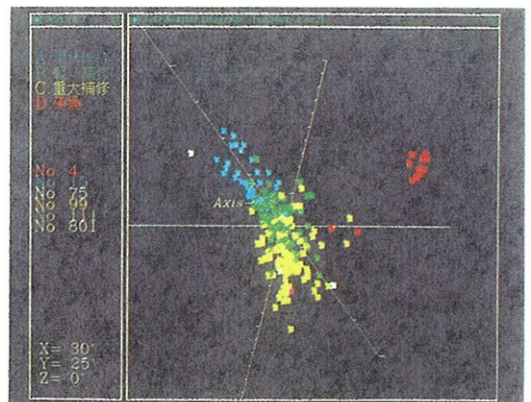
(c)  $X=50^\circ, Y=29^\circ, Z=0^\circ$



(d)  $X=50^\circ, Y=29^\circ, Z=0^\circ$



(e)  $X=30^\circ, Y=25^\circ, Z=0^\circ$



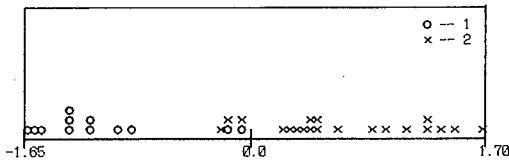
(f) 240橋  $X=30^\circ, Y=25^\circ, Z=0^\circ$

図-9 コンピュータグラフィクスによる判定の可視化  
物理的評価のアイテム・レンジ (コンクリート橋)

表一六 総合評価の解析結果

アイテム	カテゴリ	度数	カテゴリ平均	範囲 (割合)	偏相関係数 (割合)
車線幅員 (m)	0.00~	15	-1.28591	3.11557 (32.33)	0.80431 (23.13)
	-0.25~ 0.00	9	0.51682		
	-1.00~ -0.25	8	-1.82966		
路肩幅員 (m)	0.00~	4	0.72818	1.51042 (15.67)	0.56453 (16.23)
	-0.25~ 0.00	7	-0.78224		
	-0.50~ -0.25	21	0.12205		
歩道幅員 (m)	0.00~	18	-0.12324	0.28168 (2.92)	0.17904 (5.15)
	-2.00~ 0.00	14	-0.15845		
道路橋梁幅員差 (m)	0.00~ 0.50	17	0.87728	1.58889 (16.57)	0.82383 (17.94)
	0.50~	5	-0.91980		
線形状態 (°)	180	13	0.14807	0.64711 (6.71)	0.33424 (9.61)
	150~180	7	-0.30588		
	135~150	7	0.28765		
	~135	5	-0.35945		
河川改修計画	済	7	-0.08356	0.52846 (5.48)	0.18364 (5.28)
	有り	3	-0.44165		
	無し	22	0.08681		
混雑度	0.50~	11	-0.43102	0.68221 (7.08)	0.40158 (11.55)
	0.25~ 0.50	9	0.25119		
	0.00~ 0.25	12	0.20870		
物理的評価 (II類評価) 外的基準	A	26	-0.08305	1.27569 (13.24)	0.36633 (11.11)
	B	4	0.78513		
	C	2	-0.49057		
外的基準	1	12	-1.09742		
	2	20	0.65845		

外的基準 1 : 架換計画のないもの  
2 : 架換計画のあるもの、もしくは架換中のもの

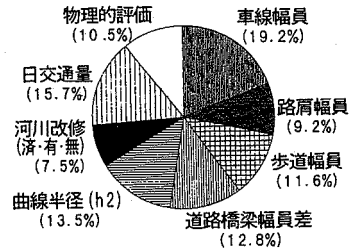


図一〇 総合評価の散布図

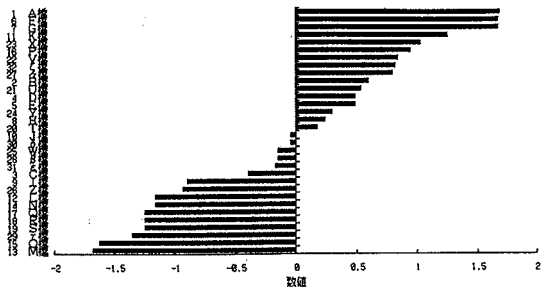
面の3次元空間上にプロットして、当該橋梁がA, B, C, D判定のどの分類に相当するかを直接視覚的に判断することができる。本研究では4章の物理的評価の項目判定の際にこれを用いている。

#### 4. 橋梁点検の総合評価

2章および3章で述べた橋梁の点検の評価は機能的評価および物理的評価のいずれも数量化理論により各アイテムおよびカテゴリーの分類の妥当性は定量的に解析できた。しかし最終的に必要となる両者を総合化した橋梁点検の総合評価についてはあらかじめ想定できる明確なアイテムおよびカテゴリーの分類が存在せず、たとえかりに決定したとしても客観的なものとはなりにくい。また機能的評価と物理的評価を対等の重みで取り扱うか否かの判断も明確ではない。高速道路、国道、および地方道の道路の種類による違いや橋梁の重要度、地域性などによってもその重みの比率が異なるものと予想される。したがって本論文で示す結果はあくまでこれらの状況をつまえた上での程度仮定された条件に対する結果であるため、多少客観性に欠ける点を含むが、手法そのものを否定するものではない。すなわちここで決定したアイテムおよびカテゴリーの分類をより妥当なものに更新することができれば、解析結果の信頼性をより向上させることが期待できる。ここでは文献<sup>3)</sup>より橋梁の寿命が機能的要因に主として支配されている点を重視して、数



図一〇 総合的寿命評価のアイテム別重み



図一二 サンプル・スコア

量化理論を適用する際に、2章で用いた機能的評価に対するアイテムおよびカテゴリーの分類にさらに物理的評価のアイテムおよびカテゴリーを追加する方法で総合評価に対する解析を行った。したがって、2章と同様外的基準については2分類とした。また、用いた実橋のデータは2章と同じ32橋に対するものである。32橋に対する物理的評価はそれぞれの物理的項目に対する実際の評価値をもとに数量化理論のサンプル・スコアを計算し、これを3章で述べたA, B, C, Dの散布図にプロットして決定している。得られた解析結果を表一六および図一〇、図一〇に示している。これらの結果より総合評価に占める各項目の重みが明らかとなった。機能的評価項目で判断した場合は相関比が0.68であったが、物理的評価を含めた総合評価では、0.72に上がった。

また32橋について図一〇に示した散布図のサンプル・スコアをソートして整理して示したものが図一二である。これにより架換の緊急性の順位が判定できる。くり返しになるが、以上の結果は数量化理論により橋梁点検の総合評価および緊急順位が定量的に得られることを示したもので、アイテムおよびカテゴリーが客観的に見て適切か否かは今後データ数の増加とともにさらに明らかとなるものと思われる。特に物理的評価の内容を上部構造および下部構造の二つの評価に分離するなどいくつかの異なるアイテムを設定することも可能である。

#### 5. 結論

以上の検討結果より明らかとなった事項を要約すれば次のようになる。



- (1) 数量化理論Ⅱ類を用いて橋梁の機能的健全度を評価する解析を行った結果、機能的評価を行う上での妥当なアイテムの選定およびそれに対する重みが決定できた。
- (2) コンピュータ・グラフィクスと数量化理論を組み合わせて老朽橋梁のシミュレーション・データに基づく物理的健全度評価の解析を行った結果、点検評価の判定を合理的かつ視覚的に決定できた。
- (3) 機能的評価と物理的評価とを総合化する総合評価法として両者のアイテムを総合して数量化理論を用いて合理的に評価できることを示した。これにより従来明確でなかった機能的因子と物理的因子の相対的重みの比率も決定できた。

以上の解析結果は本研究において得られた実際橋梁に対するデータとアンケート集計解析により得られたものであり、今後さらにデータ数を増加して解析手法を見直すとともに解析結果の信頼性を高める必要がある。また、本研究で提案した数量化理論とコンピュータ・グラフィクスを用いる橋梁診断の手法は実際のデータ数が蓄積されればされるほど解析の信頼性が高まり有効と思われる。今後は良質なデータの収集に努力する予定である。

本研究では非常に多くの機関、方々に研究のご協力をいただきました。ここにお名前を掲載して感謝の意を表します。

阪神高速道路管理技術センター、北海道開発局道路維持課、建設機械工作所、開発土木研究所、北海道土木部道路課の各機関および北海道開発コンサルタント(株)、(株)構研エンジニアリング、(株)ズコーシャ、中神土木設計事務所の技術者の方々。

#### 参 考 文 献

- 1) 建設省道路局：道路技術5箇年計画，1993年6月。
- 2) 小堀為雄：土木構造物の耐用年数（耐用年数の定義），土木学会誌，Vol. 68, No. 10, 1983。

- 3) 日本鋼構造協会：鋼構造物の寿命に関する調査，JSSCレポート，No. 19, 1991。
- 4) 三上市蔵，他：鋼橋疲労損傷の補修方法選定システムにおける知識の再利用，構造工学論文集，Vol. 38 A, 1992。
- 5) 宮本文穂，他：コンクリート橋診断エキスパートシステムの開発と実用化，材料，1991. 3。
- 6) 西川和廣・村越 潤・山本悟司・杉山 純：活荷重による橋梁上部構造の損傷と対策，土木技術資料，Vol. 34-8, pp. 58~65, 1992。
- 7) 古田 均，他著：ファジィ理論の土木工学への応用，森北出版，1992。
- 8) 岡田 清・今井宏典監修，阪神高速道路管理技術センター編：損傷と補修事例にみる道路橋のメンテナンス，山海堂，1993。
- 9) 福本・北田・吉川・長沼・溝渕・岩崎：阪神高速道路における鋼構造物の維持管理の現状と展望，橋梁と基礎，Vol. , 1993. 3。
- 10) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技報堂，1993。
- 11) 大橋・青山：土木計画への数量化理論Ⅱ類適用の信頼度に関する実験的研究，土木学会論文集，第353号/I-2, 1985。
- 12) 森 弘，他：橋梁の健全度診断における総合評価法の開発，鋼構造年次論文報告集，Vol. 1, 1993。
- 13) 田中・垂水・脇本編：パソコン統計解析ハンドブックⅡ多変量解析編，共立出版，1984。
- 14) 建設省土木研究所：橋梁点検要領（案），土木研究所資料，第2651号，1988。
- 15) 阪神高速道路管理技術センター：阪神高速道路における点検マニュアル，1992。
- 16) 阪神高速道路公団：道路構造物の点検標準（土木構造物編），1992。
- 17) 小間井・木俣・小堀：維持管理計画のための橋梁評価システムに関する基礎的研究，土木学会論文集，No. 428/I-15, 1991。
- 18) 木俣・小間井：信頼性の経験的評価システムに基礎を置く補修計画のリスク認識に関する研究，土木学会論文集，No. 464/IV-19, 1993。

(1993. 11. 25 受付)

## EVALUATION METHOD IN MAINTENANCE INSPECTION OF A BRIDGE BY MEANS OF COMPUTER GRAPHICS AND QUANTIFICATION THEORY

Hiroshi MORI, Toshiyuki OSHIMA, Shuichi MIKAMI, Seiichi AMANO and Minoru INOUE

Evaluation method in maintenance inspection of a bridge is proposed by applying a computer graphics and a quantification method in this paper. Total evaluation of a bridge integrity is divided into two sub-evaluations of mechanical and functional evaluation. Thirty two sets of data for actual bridges are used and the results in quantification analysis are shown in 3D rotation of computer graphics