

- 21 橋梁健全度評価に対する拡張マハラノビス距離の適用性に関する研究

Study of Applicability of extended Mahalanobis distance to the evaluation of bridge integrity

阿曾克司¹・近田康夫²

Katsushi Aso, Yasuo Chikata

抄録：本論文は、橋梁アセットマネジメントに必要な健全度評価に対して多次元情報を解析する際に利用されているマハラノビスの距離を拡張した形(複合距離)で適用し、考慮する項目の検討及び従来の健全度評価手法との比較を行うことにより、その適用性に関する検証を行ったものを示す。

Abstract : The multi-dimensional information analytical method (MTS: Mahalanobis-Taguchi system) using Mahalanobis Distance developed in the quality engineering was applied for total integrity of bridge. The compound distance (extended Mahalanobis Distance) by MTA(Mahalanobis-Taguchi adjoint) method was derived from normal space to evaluate the rank of bridges with some deterioration as evaluations of bridge integrity. In this paper, the influence at the compound distance by the choice of the items from the inspection results was examined and the applicable of this distance as the substitution of BHI (bridge health index) using weight parameter was examined. As a result, it was found that this method was able to substitute for BHI and to evaluate the bridge integrity quantitatively from the inspection results.

キーワード：アセットマネジメント, マハラノビス距離, 橋梁総合健全度評価, BHI

Keywords : assets management, Mahalanobis distance, evaluation of total bridge integrity, bridge health index(BHI)

1. はじめに

戦後から現在に至るまでに大量に構築されてきた土木構造物施設はこれから更新時期を迎えるが、我が国では経済成長の鈍化に加え少子高齢化が進行し必要となる社会資本整備費の捻出が非常に困難になることが予想されている。このため、既存の構造物を維持管理しながら、できるだけ延命化するための橋梁維持管理システム (Bridge management system, BMS) やアセットマネジメントに代表される研究が早急の課題として活発に行われている。

橋梁のアセットマネジメントでは、対象とする構造物の劣化予測および補修・補強の優先順位策定等に各構造物の健全度評価を指標として用いる必要がある。これは、適切に点検された結果をもとにして点数として算出される指標であり、構造物を構成する各部材に対する検査点検を基に点数評価を行い、その評価から部材単位あるいは構造物全体の健全度を評価するものである。橋梁の全体の健全度評価は、これまで専門家による評価を基本とし、計算によって算出する手法として、加重計算法及び減点法¹⁾が用いられている。これらの手法における重み係数の設定は重要な検討課題であり、長大橋などの橋梁形式による補正や地震環境、自然条

件及び交通環境による補正が必要であることから、適切な評価法の確立が必要となっている。

筆者らは橋梁の健全度評価に対して多次元情報を解析する際に利用されているマハラノビスの距離を拡張した形で適用することを試みている²⁾。本手法は、多くの項目を考慮することが可能で、項目毎の重み係数を別途もとめる必要がなく、重み係数を内含した形で評価可能なことが特徴で、専門家でない人によっても簡単に評価可能となることが重要な要素である。

本研究では、拡張マハラノビス距離と従来手法等との比較によりその実用性の検証を行った。

2. MTA法について

品質確保の目的において様々な管理・評価等に関する手法の開発が行われてきており、その中のひとつとして品質工学 (品質工学会: 1993年設立) でのタグチメソッドがある。実験計画法から発展してきたこの技術は、調べたい因子の効果を少数サンプルで評価するための統計的な手法であり、平均値の変化の解析を基礎とすればらつきや劣化をなくすための予防設計技術として発展してきている³⁾。

本論文において橋梁健全度評価に適用を試みた手法

1 : 正会員 工修 金沢大学大学院自然科学研究科 (株式会社 日本海コンサルタント)
(〒921-8042 金沢市泉本町二丁目一六番地, Tel :076-243-8258, E-mail : k-aso@nihonkai.co.jp)

2 : 正会員 工博 金沢大学教授 金沢大学大学院自然科学研究科環境科学専攻 (〒920-1192 金沢市角間町)

は、タグチメソッドの手法の一つで総称して MT システム^{4), 5)}と呼ばれているものである。ある個体（状態）があるとき、その個体が正常の個体の集団の中心からどの程度ずれているかを判定する方法で、MT システムではどのくらいずれているか判定する尺度（ものさし）としてマハラノビスの距離⁶⁾を用いている。図-1 に異常判定概念図を示す。

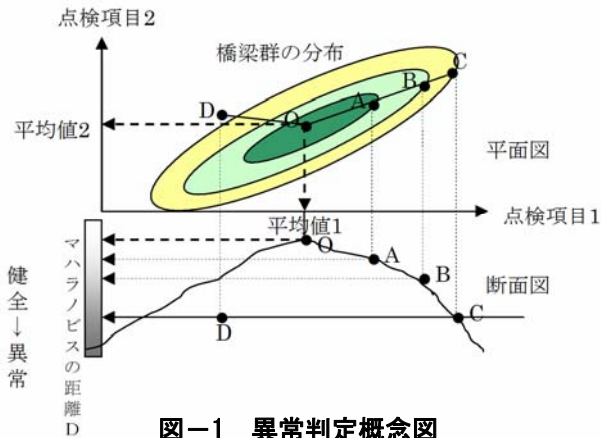


図-1 異常判定概念図

MT システムでは、認識したい多次元の情報を正常（基準）空間とし異常判定を行うのに正常空間のデータだけから相関係数行列を算出し、それを利用して異常空間の個別データ毎のマハラノビス空間から距離を求める方法である。基準空間が集団の端にあり、異常になると正常空間からの距離が大きくなって異常との識別がしやすい場合に効果を発揮する。橋梁診断の場合は異常値に大きな意味があり、その内訳（原因とその構成要素）を詳しく検討すべきであるが、アセットマネジメントを運用するにあたっての健全度評価のランク付けを簡易に行う意味において本手法は意義があるものと考えられる。現時点では、MT システムは、MT 法（Mahalanobis-Taguchi）、MTA 法（Mahalanobis-Taguchi adjoint）及び TS 法（Taguchi-Schmidt）の 3 つの手法より構成されている。本論文では、橋梁総合健全度評価に対して、この 3 つの手法の中から MTA 法⁷⁾を選択した。MTA 法は、MT 法の派生法であり MT 法のマハラノビス距離算出時における問題点である項目間の多重共線性（multi-co linearity）に対して解決する手法として開発された。

基準空間で標準偏差がゼロでない項目、 X_1, X_2, \dots, X_k から複合項目としての距離 D を次のようにして求める。MT 法と異なって相関行列ではなく、次式の分散共分散行列 V から始める。

$$V = \begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1k} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{k1} & V_{k2} & \dots & V_{kk} \end{pmatrix} \quad (1)$$

これから、次式の余因子行列 A を求める。

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1k} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{k1} & A_{k2} & \dots & A_{kk} \end{pmatrix} \quad (2)$$

ここに、 A_{ij} は分散共分散行列の V_{ij} の余因子、すなわち分散共分散行列で i 行、 j 列を除いた残りの余因子の行列式の値である。行列 A の行列式の値がゼロでも、上記の余因子行列は求めることができる。

基準空間内の各メンバーに対しての距離（複合距離と呼ぶ）は、その 2 乗を D^2 として次式で求める。

$$D^2 = \frac{1}{k} \sum_{ij} A_{ij} \times (X_i - m_i) \times (X_j - m_j) \quad (3)$$

- D : マハラノビス距離
- k : 項目数
- A_{ij} : 分散共分散行列の余因子行列 A の ij 成分
- X : データ
- m : 平均値

基準空間に属さないメンバーについても上式を利用して D^2 を算出する。基準空間外のデータは、基準空間の平均、標準偏差、分散行列には用いていないので、上式はパターン差を含んだ距離ということになる。以上が MTA 法による距離の算出方法で、MT システムではこの距離を複合距離と呼んでいる。

3. 点検結果健全度評価と複合距離

本章では、既存の点検結果に対して MTA 法を適用し、項目の複合距離に対する影響度を分析する。

(1) 既存点検橋梁データ

橋梁のデータには I 県が昭和 57 年～63 年に行った表-1 に示すような 14 の点検項目と総合評価からなる橋梁点検台帳の点検結果を用いた。各点検項目の基準として、○（ほとんど損傷していない。危険性はない。）、△（損傷している。危険性はやや高い。）、×（損傷が激しい。危険度が高い。）の 3 段階評価が設定され、各橋梁の健全度評価は、各点検項目の結果に基づいて点検者と同じ診断の専門家が、A（健全であり、目立った損傷は見られない。）、B（軽微な補修を必要とする損傷がある。）、C（早急に補修を必要とする損傷がある。）、D（架替え、あるいは全面的な補修を必要とする。）の 4 段階で行ったものであるが、今回の検討に際しては、各要因の判断基準を○、△、×の順に 1, 2, 3, 健全度評価を A, B, C, D の順に 1(良い), 2, 3, 4(悪い)と数値化した。この点検台帳には 208 橋の点検結果が収録されている。

表-1 点検結果例

橋梁名	橋長	幅員	橋年令	橋面舗装	地覆・高欄	床版	床組工	主構	支承	伸縮装置	排水装置	塗装	河床洗掘	躯体変動	安定性(構造)	安定性(材質)	耐震性	健全度評価
	m	m	年	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	L1	L2	L3	L4	E1	
A	12	15.6	80	○	○	△	△	△	×	×	○	○	○	△	×	×	×	C
B	28.9	4.7	70	○	×	△	△	△	×	×	×	○	△	△	×	×	×	D
C	6	5.5	69	○	○	○	○	△	△	△	○	○	○	○	△	△	△	B
.
.
.
Z	12.5	12		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	A

表-2 追加項目

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
橋長	幅員	橋年令	交通量	大型車	形式	塩害の有無	ASRの有無	荷重値	橋下特性	下部工形式

表-3 追加評価項目の点数化の基準

評価項目	点数化の基準	
	範囲・区分	点数
車両交通量 (台/12h)	10,001以上	3
	3,001~10,000	2
	3,000以下	1
大型車両交通量 (台/12h)	5,001以上	3
	1,001~5,000	2
	1,000以下	1
橋下特性	その他	4
	道路	3
	鉄道	2
	河川	1
下部工形式	壁式	4
	パイルベント式	3
	逆T式	2
	重力式	1
橋種別	鋼製(ST)	3
	RC	2
	PC	1
塩害・ASRの有無	有り	3
	無し	1
設計荷重	T-25	1
	T-20	2
	T-14	3
	それ以外	4

健全度の内訳は、健全度-1が2橋、健全度-2が56橋、健全度-3が127橋、健全度-4が23橋になっている。

項目の取り上げは、正常空間の特性を定義つける上で重要な作業となる。本論文では、点検結果項目以外に表-2に示す追加項目を考慮した。項目においてはカテゴリデータとして点検結果の点数同様に表-3の点数を与えた。ただし、橋梁の特性データとして幅員、橋年令は、点数化せずオリジナルデータのまま考慮し、橋長に関しては、後述するようにカテゴリ化の影響を分析する対象項目とした。

表-4 検討ケース一覧

CASE	項目数	備考
CASE-1	25	全項目
CASE-2	14	点検項目
CASE-3	17	点検+特性データ*1
CASE-4	25	全項目(特性データカテゴリ化*2)
CASE-5	17	点検+特性データ(カテゴリ化)
CASE-6	18	点検+(交+大交+塩+ASR)*3
CASE-7	21	点検+特性データ(カテゴリ化)+(交+大交+塩+ASR)
CASE-8	15	点検+構造形式

*1: 特性は、橋長、幅員、橋年令を示す。

*2: 特性カテゴリ化は橋長のみを4段階に分類し表-5に示す点数化を行った

*3: 交+大交+塩+ASR: 交通量、大型車交通量、塩害、ASR

*4: 構造形式: RC橋、PC橋、鋼橋

表-5 橋長のカテゴリ化

評価項目	点数化の基準	
	範囲・区分	点数
橋長 (m)	10m以下	1
	50m以下~10m超	2
	100m以下~50m超	3
	100m超	4

表-6 距離平均と距離合計

	健全度評価 件数	項目数	1	2	3	4	総計
			26	32	127	23	
距離平均	CASE-1	25	1,000	4,247	4,078	5,109	3,833
	CASE-2	14	1,000	1,933	2,241	3,512	2,179
	CASE-3	17	1,000	2,901	2,965	3,824	2,804
	CASE-4	25	1,000	3,955	3,596	5,315	3,517
	CASE-5	17	1,000	2,550	2,583	3,755	2,509
	CASE-6	18	1,000	2,012	2,206	3,351	2,152
	CASE-7	21	1,000	2,552	2,555	3,586	2,474
	CASE-8	15	1,000	1,951	2,238	3,472	2,176
距離合計	CASE-1	25	26,000	135,919	517,853	117,500	797,272
	CASE-2	14	26,000	61,870	284,664	80,770	453,305
	CASE-3	17	26,000	92,821	376,543	87,946	583,309
	CASE-4	25	26,000	126,554	456,744	122,248	731,547
	CASE-5	17	26,000	81,590	327,979	86,359	521,927
	CASE-6	18	26,000	64,374	280,118	77,079	447,570
	CASE-7	21	26,000	81,666	324,480	82,467	514,613
	CASE-8	15	26,000	62,427	284,271	79,861	452,559

(2) 考慮する項目による複合距離の相違

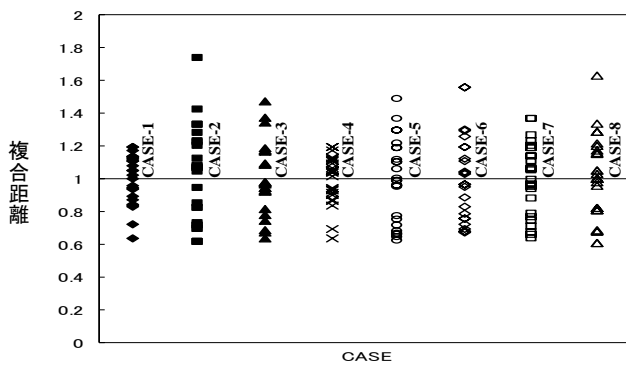
1) 検討ケース

考慮する項目の相違がどのように複合距離に影響を及ぼすかについて検証した。点検データに付随する内容で項目として考慮できるものは表-2に示す25項目ある。文献2)では項目の有用性に関し直交表を利用した影響度分析を行っているが、今回の検討はその分析した結果を踏まえ表-4に示す検討ケースを選定した。

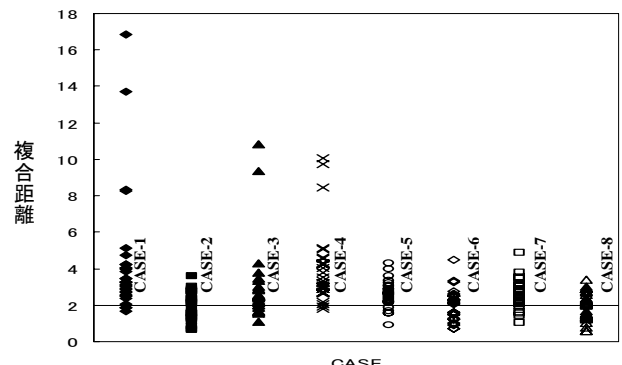
2) 検討結果

(a) 距離の平均値と合計

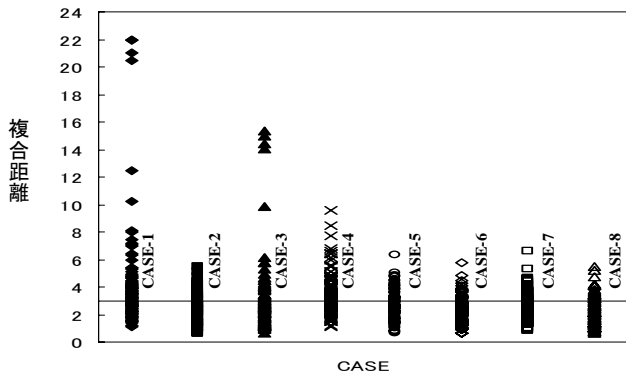
表-6に各CASEの複合距離平均値と距離の合計値を示す。考慮する項目数が多いほど距離の平均値が大きくなる傾向があり、さらに橋梁特性項目を考慮する場合は大きい平均値を示した。距離合計も同様な傾向を示している。健全度-2と健全度-3では、項目数が21を超えると、健全度-2の平均値が健全度-3の平均値に比して高くなる。



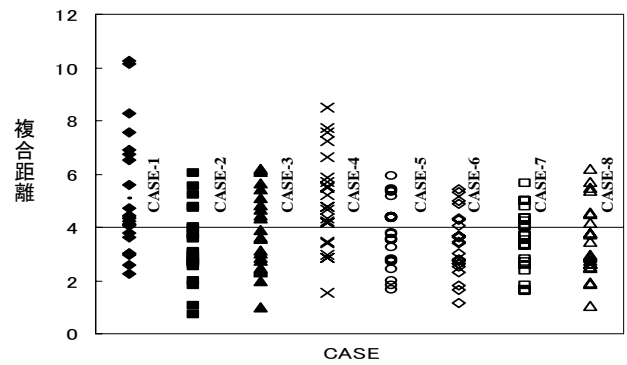
(a) 健全度-1



(b) 健全度-2



(c) 健全度-3



(d) 健全度-4

図-2 複合距離のばらつき

表-7 相関係数一覧表

	項目数	橋長	幅員	橋年齢	交通量	大型車交通量	塩害	ASR	構造形式
case-1	25	0.8625	0.2935	-0.0095	0.2918	0.2895	-0.0662	0.0319	0.1786
case-2	14	-	-	-	-	-	-	-	-
case-3	17	0.8404	0.2541	0.0288	-	-	-	-	-
case-4	25	0.3631	0.2885	0.0371	0.1963	0.2477	0.0056	0.0673	-0.0031
case-5	17	0.1915	0.2300	0.1339	-	-	-	-	-
case-6	18	-	-	-	0.2572	0.3564	0.1168	0.1000	-
case-7	21	0.2195	0.2657	0.1167	0.2256	0.3200	0.0939	0.1226	-
case-8	15	-	-	-	-	-	-	-	-0.0022

(b) 項目と相関関係

検討各 CASE の追加考慮した項目との相関関係を調べた。相関係数一覧表を表-7に示す。CASE-1 及び CASE-3 の橋長との相関係数が 0.8 を超え非常に高い相関を示している。橋長をカテゴリー化することにより、CASE-4 では 0.3 まで減少していることから、橋長が複合距離に対して大きく影響していることがわかる。また、大型車交通量も比較的大きな相関を示している。

(c) 健全度毎のばらつき

各健全度におけるケース毎の複合距離のばらつきを図-2に示す。健全度-1 においては、項目数が多いケース (CASE-1, 4, 7) ほど、ばらつきが少ない結果となっている。また、他の健全度に比べて健全度-1 は正常空間として定義していることから、含まれるデータは比較的均一な集団であり、複合距離の分布範囲の広がり小さくばらつきも小さい。CASE-3 と CASE-7

の比較より、健全度-1 の橋梁群には、交通量、大型車交通量、塩害、ASR などの評価の悪い項目を持つ橋梁が少ないことがわかる。CASE-1 と CASE-4 の比較より、健全度-1 においては、橋長の項目が複合距離値に対して大きな影響を及ぼしていないことがわかる。

健全度-2 では CASE-1, CASE-3 及び CASE-4 のばらつきが橋長データのカテゴリー化により改善されている。また、CASE-3 と CASE-5 の比較より、橋長の項目が複合距離値に対して大きな影響を及ぼしていることがわかる。

健全度-3 は概ね健全度-2 と同じ傾向にあるが、ばらつきの範囲は健全度-2 より大きくなっている。

健全度-4 においては CASE-2 と CASE-3 の比較より、橋梁特性項目がばらつきにあまり影響のないことがわかる。また、CASE-4 と CASE-7 の比較より、CASE-7 で考慮されていない下部工形式、橋下特性がばらつきに影響しているものと考えられる。表-8 に各健全度のデータ特性 (健全度別スパン分類表) を示す。健全度-1 にはスパンの長い橋梁が含まれておらず、上記の結果と一致する。

(d) 頻度と複合距離

複合距離の算出結果を健全度毎の頻度グラフとして、検討ケース毎 (CASE-1~4) にまとめたものを図-3~6 に示す。CASE-2 及び CASE-3 の結果は健全度-3 が

表-8 健全度別スパン分類

スパン	健全度-1橋梁群				健全度-2橋梁群				健全度-3橋梁群				健全度-4橋梁群			
	RC橋	PC橋	鋼橋	合計	RC橋	PC橋	鋼橋	合計	RC橋	PC橋	鋼橋	合計	RC橋	PC橋	鋼橋	合計
10m \geq	3	—	—	3	5	2	1	8	14	4	—	18	4	1	—	5
50m \geq L>10m	7	9	6	22	5	8	5	18	23	30	19	72	4	4	6	14
100m \geq L>50m	—	1	—	1	1	1	1	3	4	9	12	25	1	1	1	3
L>100m	—	—	—	0	—	2	1	3	2	3	7	12	—	—	1	1
合計	10	10	6	26	11	13	8	32	43	46	38	127	9	6	8	23
平均スパン長	16.6	24.5	25.6		19.3	53.3	61.4		27.6	38.7	92.8		18.4	23.0	54.7	
	22.2				44.6				53.0				32.0			
平均橋年令	60.9	41.4	42.2		44.0	40.1	45.8		52.1	40.2	46.2		55.9	41.2	48.0	
	48.2				43.3				46.2				48.4			

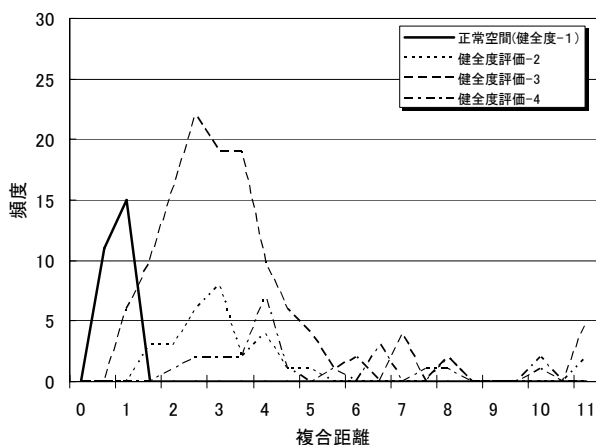


図-3 頻度グラフ (CASE-1:25項目)

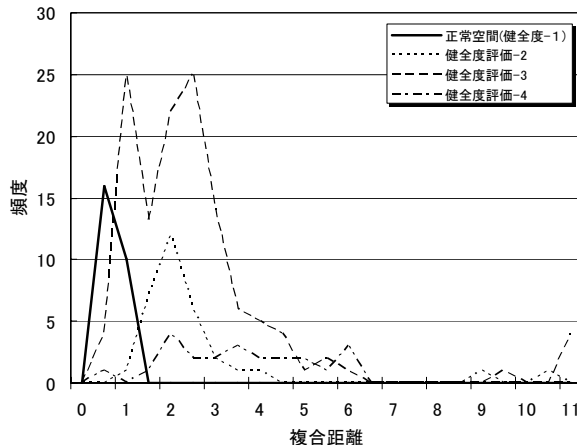


図-5 頻度グラフ (CASE-3:17項目)

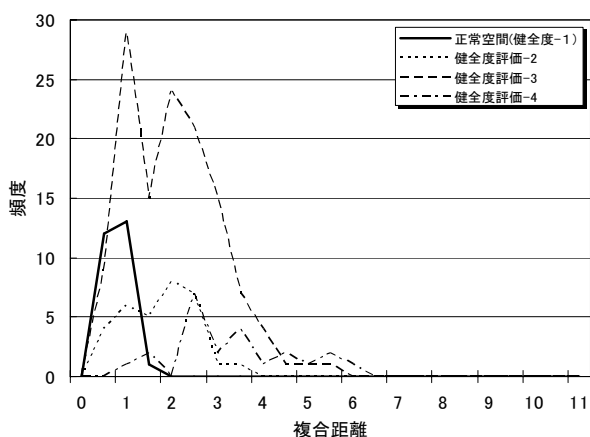


図-4 頻度グラフ (CASE-2:14項目)

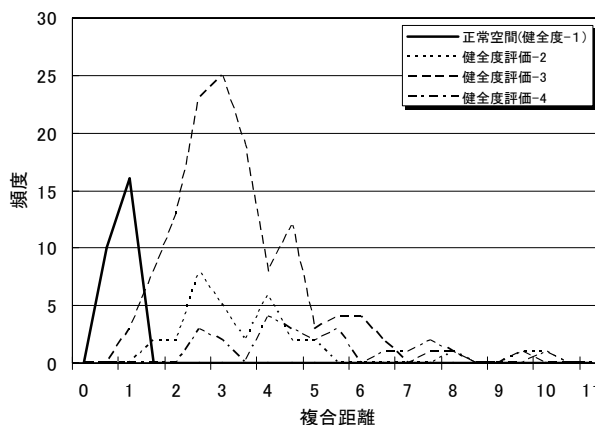


図-6 頻度グラフ (CASE-4:25項目)

他の健全度を包絡しており、複合距離に対して閾値を設定し健全度判別を行うことは困難であることがわかる。これは考慮している項目数が少ないほどその傾向が強い。

図-2 及び表-6 では、橋長をカテゴリー化することによりばらつき、距離平均と距離合計の低減ができることを示したが、図-3 と図-6 の頻度グラフにおける比較では、その効果を確認することができない結果となった。

(e) まとめ

以上の検討結果のまとめを以下に示す。

① CASE-2 の 14 点検項目のみを考慮した場合は、どの健全度においても算出された複合距離のばらつ

きは少なくなるが、頻度グラフからわかるように各健全度のかさなりが大きく、複合距離に対して閾値を設定することにより健全度を判別することはほとんど不可能である。

② 今回の点検結果に付随している健全度評価は専門家による判断により設定されているが、上記①から、この健全度評価は点検項目のみから判断された評価ではなく、それ以外の項目が含まれているものと想定できる。なお、既存のデータの問題点として文献⁸⁾にも同様なことが記載されている。

③ 複合距離のばらつきへの影響は、項目での評価点の開きと健全度-1 の正常空間に含まれるデータ特性に依存するものと考えられる。橋長のように数値に開きが大きく健全度-1 の正常空間には長スパン橋

表-9 重み係数 (I 県)

部材(部位)	重み係数
橋面工(地覆・縁石)	0.04
上部工(主桁・横桁等)	0.38
上部工(床版)	0.14
下部工・基礎	0.38
その他(支承等)	0.06
合計	1.00

表-10 重み係数 (横浜市⁹⁾)

部材(部位)	重み係数					
	安全性		使用性	第三者影響度		
上部工	主桁・横桁	0.40	0.50	-	0.50	0.80
	床版	0.10		-	0.30	
下部工	橋台・橋脚	0.25	0.25	-	0.20	0.20
	基礎			-	-	
支承等	0.10	0.10	0.10	-	-	
橋面工	0.15	0.15	0.90	-	-	
合計	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

梁が少ないような場合は、長スパン橋梁を多く含む健全度空間の複合距離のばらつきにつながる。このような場合は、カテゴリー化して点数を与えることを行う必要がある。重要度を項目において考慮する場合は、逆に、与える点数の差を大きくすると複合距離に明確な差が生じ、優先度ランキングに結びつけることが可能になる。

4. 橋梁総合健全度評価指標 (BHI) と複合距離

橋梁単位の定量的な健全度指標として、次式に示すような各部材の健全度と部材間の重み係数を用いて加重平均法により計算する橋梁総合健全度指標 (Bridge Health Index :以下, BHI と呼ぶ) がある。橋梁を構成する部材毎に重み係数を設定し、点検結果にこれに乗じ加算することによって算出される指標である。現時点において重み係数の設定には管理団体のよってまちまちである。

$$BHI = \sum_i (h_i \cdot w_i) \times 100 \quad (4)$$

ここに、

h_i : 損傷 i の健全度指標で、劣化予測モデルに基づく任意の時点の値 ($0 \leq h_i \leq 1$)

w_i : 各部材 i に対応する重み係数

$$(w_1 + w_2 + \dots + w_n = 100)$$

本論文では、MTA 法により算出された複合距離が BHI とどのような関係にあるか検証し、本手法が BHI を代用できるかどうかを検討した。

(1) 重み係数

今回検証用に設定した重み係数を表-9~11 に示す。

表-11 重み係数 (近田ら¹⁰⁾)

項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	橋面舗装	地覆・高欄	床版	床組工	主構	支承	伸縮装置	排水装置	塗装	河床洗掘	躯体変動	安定性(構造)	安定性(材質)	耐震性
RC橋	0.17	0.23	0.3	0.13	0.08	0.13	0.23	0.08	-	0.18	0.12	0.36	0.32	0.17
ST橋	0.17	0.21	0.22	0.13	0.08	0.13	0.27	0.07	0.08	0.07	0.59	0.36	0.18	0.14

表-12 相関係数

	I 県	横浜市	近田ら
CASE-1	-0.19389	-0.15901	-0.14464
CASE-2	-0.79672	-0.79894	-0.71116
CASE-3	-0.3168	-0.29089	-0.25723
CASE-4	-0.43517	-0.41637	-0.37585
CASE-5	-0.66117	-0.65131	-0.59645

表-13 重相関係数一覧表

スパン	橋梁数	RC橋		PC橋		鋼橋		全体
10m \geq	34	0.6512	26	0.2033	7	-	1	0.5961
50m \geq L>10m	126	0.7053	39	0.8107	51	0.5872	36	0.6711
100m \geq L>50m	32	0.8538	6	0.5815	12	0.7288	14	0.7138
L>100m	16	1.000	2	0.0915	5	0.4065	9	0.2864
全体	208	0.6844	73	0.7255	75	0.5672	60	

なお、表-11 の近田らの重み係数は感度分析結果¹⁰⁾から得られたものである。

BHI との比較対象とする複合距離は、表-12 の相関係数一覧表から、最も相関の高いCASE-2 の場合、すなわち14の点検項目のみで算出される複合距離を使用した。

(2) 複合距離との比較

算出された BHI と複合距離の相関を見るために、図-7~9 に散布図を示す。また、構造形式及び橋長で分類した重相関係数の一覧を表-13 に、図-10 に散布図及び回帰線を示す (I 県の BHI と比較)。

全体の比較 (図-7~9 参照) に関しては、用いる重み係数により相関の程度に相違が生ずるもののどの場合においても重相関係数は 0.5 を超え相関が高いと言える。

構造形式で分類した場合 (表-13 参照) に回帰線の中で最も重相関係数が高いのは、構造種別では PC 橋が高く (0.7255)、橋長別では 100m 以下-50m 超のスパンで高い (0.7138) 結果となった。

RC 橋は、全体的に重相関係数は高く、どのスパンにおいても BHI との相関が高いといえる。

PC 橋は全体としての高い相関を示すものの、10m 以下および 100m 超において、相関が低い結果となっている。

鋼橋は 100m 超において、相関が低い結果となった。

おおむね重相関係数は 0.5 を越えており、構造形式で分類しても複合距離と BHI の相関は高いと言える。

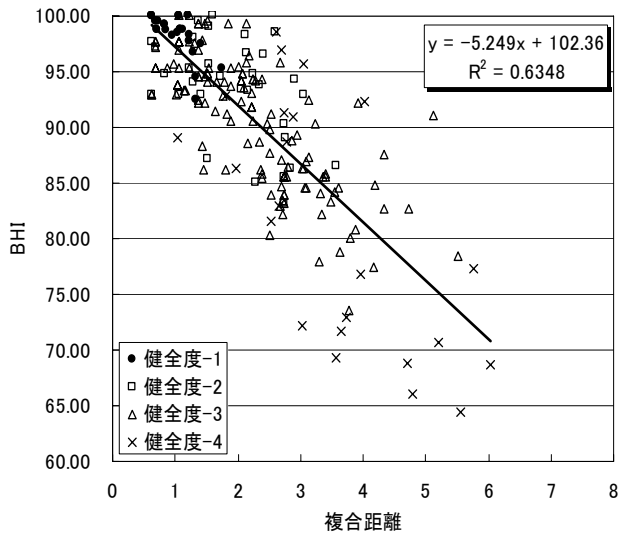
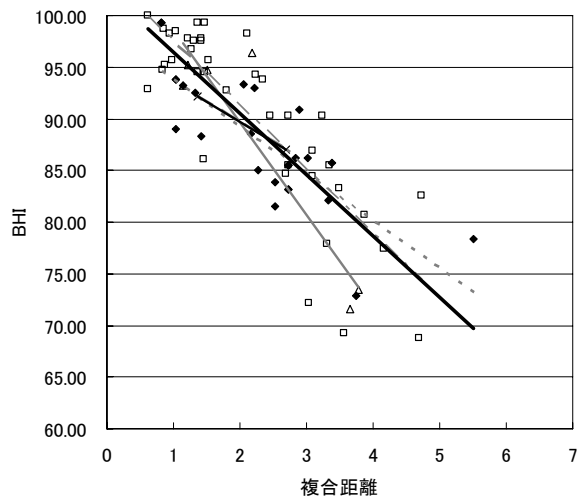


図-7 相関散布図 (I 県)



(a) RC 橋

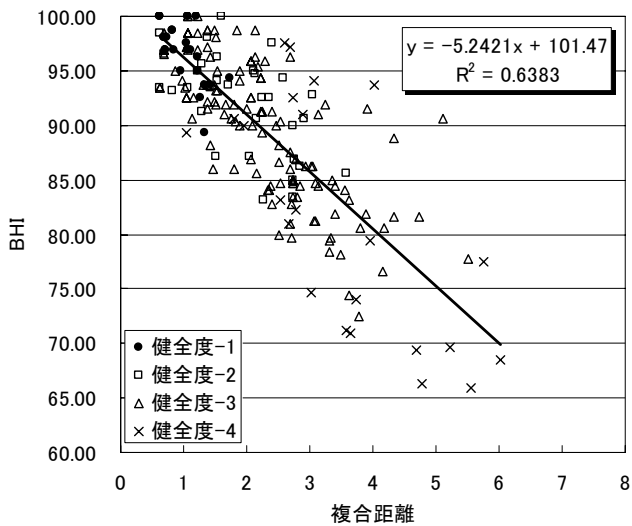
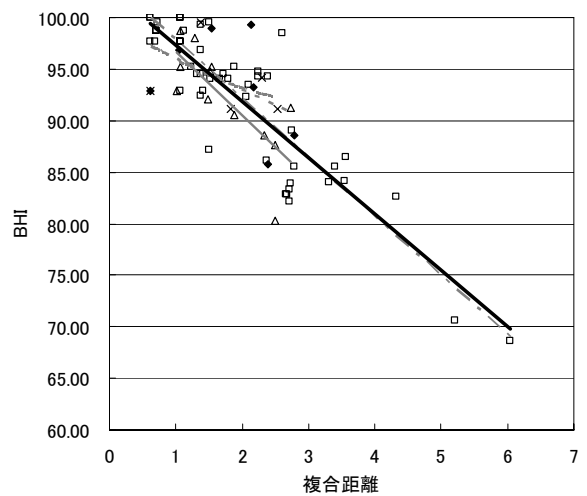


図-8 相関散布図 (横浜市)



(b) PC 橋

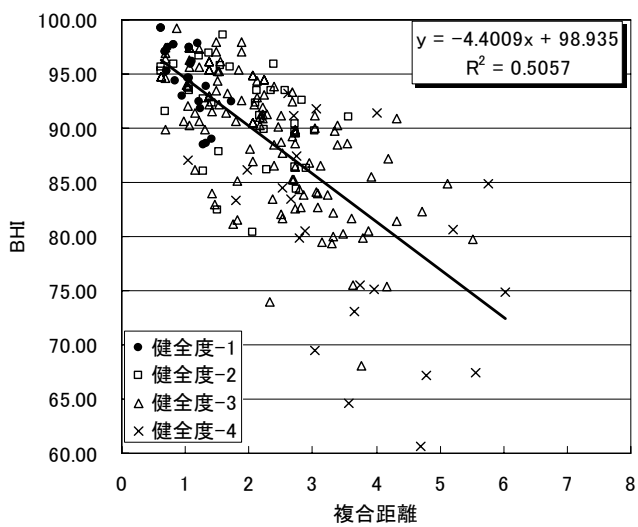
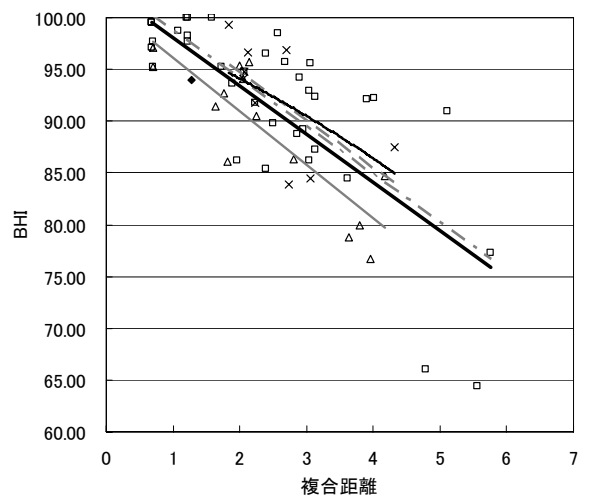


図-9 相関散布図 (近田ら)



(c) 鋼橋

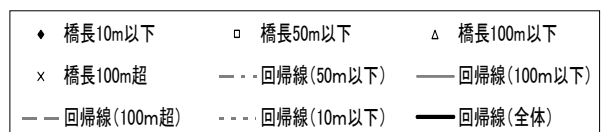


図-10 相関散布図 (構造形式分類)

(3) まとめ

- 1) BHIは点検項目をベースに重みを乗じて算出されることから基本的にはそれ以外の項目は考慮されない。複合距離は点検項目以外の項目を考慮し算出できるが、BHIとの相関が最も高いのは、複合距離の算出を点検項目のみで行った場合である。
- 2) 重み係数の設定値により、複合距離とBHIとの相関には相違が生ずる。今回のデータでは最も相関の高い重み係数は、横浜市で設定された重み係数が最も高い相関を示した。
- 3) 構造形式による相関程度の相違はほとんどないものと言える。RC橋はスパンに関係なく相関が高いが、PC橋はスパンが長くなると相関が弱くなる傾向がある。
- 4) 以上の結果より、BHIの代用として複合距離を使用することが可能と言える。複合距離は正常空間の特性により、算出される距離が異なることから正常空間にはできるだけ点検結果の問題のない橋梁群を数多くそろえる必要がある。

5. 結論

(1) 考慮する項目による複合距離の相違

- 1) 複合距離の算出結果は、各健全度毎の複合距離のばらつきが大きく、閾値設定による健全度判別が困難であることがわかった。特に少ない項目で複合距離を算出した場合にその傾向が強くなる。今回の点検結果に付随している健全度評価は、専門家により点検項目以外の項目に対して配慮した上で判断、設定されているものと想定できる。
- 2) 複合距離のばらつきへの影響は、項目での評価点の開きと健全度-1の正常空間に含まれるデータ特性に依存する。カテゴリー化し点数を与える項目の精査が必要である。
- 3) 設定による健全度評価は、別途精度のよいデータで検証する必要がある。

(2) 橋梁総合健全度評価指標(BHI)と複合距離

- 1) BHIと複合距離の相関は高く、BHIの代用として使用することが可能と言える。BHIとの相関が最も高い複合距離は、点検項目(14項目)のみで算出した場合である。複合距離は各部材に対する重みの設定を行う必要がないため、BHIより簡便にその値を算出することが可能で、この点においてBHIより優れていると考えることができる。
- 2) 構造形式による相関程度の相違はほとんどない。ただし、スパンによる相関程度には開きがある。

橋梁の点検結果に基づく健全度評価は、アセットマ

ネジメントへ導入する際の扱う単位に関して議論が必要である。部材単位で扱う方法や橋梁全体での総合健全度評価による方法などの提案があり、付随する得失が一長一短で、現時点では議論は集約されていない¹¹⁾。このような中、地方自治体へのアセットマネジメント導入は不可避であり、自治体管理する橋梁の特性を考慮すると、導入されるアセットマネジメントシステムは運用面に優れ、できるだけ簡素な必要がある。当然、特有の劣化要因などを持つ橋梁は専門家によるケアが必要であるが、その他の多くの橋梁はできるだけ維持管理が簡素であることが望ましい。今回検証した手法は、算出される複合距離を橋梁全体の健全度を表現する指標とみなすものである。検証に使用した既存データに専門家により付けられている健全度評価を、複合距離の閾値により健全度評価を再現することは困難であったが、点検結果に重みを乗じ加算して算出するBHIとの相関は高く、複合距離はBHIの代用が可能であることを示した。

今後は、複合距離を利用した劣化曲線の推定、BHIとの対応におけるサービス許容限界水準の設定、優先度の算出など、アセットマネジメントへの導入に関して調査研究する予定である。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：橋梁マネジメントの開発に関する調査研究報告書，土木研究所資料，第3633号，1999年。
- 2) 阿曾克司，近田康夫：拡張したマハラノビス距離の橋梁総合健全度への適用，構造工学論文集，Vol.52A，pp.151-162，2006年3月
- 3) 立林和夫：入門タグチメソッド，日科技連，pp.167-191，2004年4月
- 4) 鴨下隆志，田端和人，岡野晴敏，高橋和仁，矢野宏：マハラノビスの距離による多次元情報システムの最適化，品質工学，Vol4，No.3，pp.54-68，1996年。
- 5) 長谷川良子，加部勇，能地和子：MTSを用いた健康診断による信頼性向上，品質工学，Vol7，No.2，pp.67-74，1999年。
- 6) P.C.Mahalanobis：On the generalized distance in statistics，Proceedings National Institute of Science of India，2，pp.49-55，1936。
- 7) 田口玄一：マハラノビスタグチシステム目的と手法，株式会社オーケン，pp.5-13。
- 8) 近田康夫，橋 讓二，城戸隆良，小堀為雄：GAによる既存橋梁の補修計画支援の試み，土木学会論文集，No.513/I-31，pp.151-159，1994年4月
- 9) 横浜市道路局：横浜市橋梁長期保全更新計画検討報告書，2004年。
- 10) 近田康夫，辻岡信也，城戸隆良：NNによる橋梁損傷度判定の精度向上に関する研究，鋼構造工学年次論文報告集（日本鋼構造協会），Vol.6，pp.451-456，1998年11月。
- 11) 社団法人 土木学会：アセットマネジメント導入への挑戦，技報堂出版，第7章，pp.94-98，2005年。

(2006.5.16受付)