

## AHP を用いた橋梁健全度評価方法の検討

Investigation of The Degree Evaluation Method of Bridge Integrity using Analytic Hierarchy Process

|                 |   |      |        |                    |
|-----------------|---|------|--------|--------------------|
| 北見工業大学大学院       | ○ | 学生員  | 藤井 裕子  | (Hiroko Fujii)     |
| (株)ドーコン         |   | 正会員  | 佐藤 誠   | (Makoto Sato)      |
| (株)中神土木設計事務所    |   | 正会員  | 本間 美樹治 | (Mikiji Honma)     |
| 太平洋総合コンサルタント(株) |   | 正会員  | 平 成晴   | (Sigeharu Taira)   |
| 北見工業大学          |   | 正会員  | 三上 修一  | (Shuichi Mikami)   |
| 北見工業大学          |   | フェロー | 大島 俊之  | (Toshiyuki Oshima) |

## 1 はじめに

20 世紀後半, 日本においてインフラ整備が行われ, その中の道路整備に伴い, 多くの橋梁が架設された. また, 新たな架設技術も多数研究され, 実際に施工された. 一方, 土木技術者の関心は架設後の橋梁のメンテナンスにも向けられ, 橋梁点検手法や橋梁健全度診断評価法, 新しいメンテナンス工法などが研究され確立されつつある.

近年の我国の道路橋の橋梁点検業務は, 建設省土木研究所が 1988 年(昭和 63 年)に公表した「橋梁点検要領(案)」<sup>1)</sup>に基づいて実施されており, 統一した判定基準として用いられている. 点検によって得られた個々の部材に対する判定結果のデータは, データファイルとして蓄積され, 膨大な量となっている. またこれらの各橋梁の個々の部材に対する判定データは, 橋梁全体の『総合健全度』<sup>2)</sup>を評価するとともに, 維持補修業務及び架け替えなどの判断のための基礎データとして用いられている.

総合健全度評価は, これまで我が国では加重計算法及び減点法が用いられていた. これまで著者らは, 「橋梁点検要領(案)」<sup>1)</sup>に基づいて点検された実際の点検データを活用して, 橋梁全体の総合健全度をニューヨーク市交通局の計算法にも用いられている加重平均法(重み付き平均法)によって求める方法を検討・提案した<sup>2),6)</sup>. 一方, 文献<sup>5),7)</sup>では橋梁補修計画における AHP の適用性, 妥当性について検討されている. この AHP (Analytic Hierarchy Process: 階層分析法) は意志決定法の一つであり, 最終目標, 評価基準, 代替案を基本とした階層構造に基づいて重み付けを行い, もっとも優先度の高い順に比較することが可能となるような手法で, 道路事業の評価手法としても近年注目されている.

そこで, 著者らは AHP 手法による橋梁健全度評価方法の検討を行うため, 橋梁の物理的健全度評価に関する階層構造におけるアンケート調査を実施し, 橋梁点検項目の重み係数を算出した. そして, これまで検討してきた数量化理論Ⅱ類を用いた重み係数と比較し, 技術者の橋梁部材の損傷への意識の変化や手法による違いの検討を行った.

## 2 橋梁点検データについて

建設省の点検要領(案)では点検箇所は 20 項目に区分されており, 更にそれらに対し材質を考慮した損傷種類が 32 項目選定されている. 本論文においては, 部材材質による損傷の違いを考慮するため主桁及び床版に関しては

3 分類し, 表-1 に示すような点検部材項目 14 項目を選定し橋梁点検データを再編し, 鋼橋とコンクリート橋に分け健全度を評価する. これについては表-2 に示す. また, 点検要領(案)では部材損傷度についての判定基準を OK~Ⅰの 5 段階としているが, 判定Ⅰに関しては早急な調査及び補修等の作業を要するため, 實際上橋梁点検データは OK~Ⅱの 4 段階で判定区分されている. よって, 健全度の総合評価は表-3 に示すように OK~Ⅱの 4 段階とする.

表-1 点検部材項目

|      |      |
|------|------|
| 上部構造 | 主桁1  |
|      | 主桁2  |
|      | 主桁3  |
|      | 2次部材 |
|      | 床版1  |
|      | 床版2  |
| 下部構造 | 床版3  |
|      | 躯体   |
|      | 基礎   |
| その他  | 支承   |
|      | 高欄   |
|      | 地覆   |
|      | 舗装   |
|      | 伸縮装置 |

表-2 主桁及び床版の損傷種類

| 部材 | 損傷の種類                                              |                                                                     |
|----|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|    | 鋼橋                                                 | コンクリート橋                                                             |
| 主桁 | 腐食(主桁1)                                            | 腐食(主桁1)<br>・剝離, 鉄筋露出                                                |
|    | き裂(主桁2)<br>・き裂<br>・破断                              | ひび割れ(主桁2)                                                           |
|    | その他(主桁3)<br>・脱落<br>・異常音<br>・異常振動<br>・たわみ           | その他(主桁3)<br>・遊離石灰<br>・鋼板接着部の損傷<br>・漏水, 滞水<br>・異常振動<br>・異常たわみ<br>・欠損 |
|    |                                                    |                                                                     |
| 床版 | 剝離(床版1)<br>・剝離, 鉄筋露出                               | 剝離(床版1)<br>・剝離, 鉄筋露出                                                |
|    | ひび割れ(床版2)<br>・床版ひび割れ                               | ひび割れ(床版2)<br>・床版ひび割れ                                                |
|    | その他(床版3)<br>・遊離石灰<br>・抜け落ち<br>・鋼板接着部の損傷<br>・漏水, 滞水 | その他(床版3)<br>・遊離石灰<br>・抜け落ち<br>・鋼板接着部の損傷<br>・漏水, 滞水                  |
|    |                                                    |                                                                     |

表-3 総合評価

|    |                 |
|----|-----------------|
| OK | : 現状維持          |
| Ⅳ  | : 軽い補修を要する      |
| Ⅲ  | : 大がかりな補修を要する   |
| Ⅱ  | : 補修より架け替えをすすめる |

3 評価方法と重み係数の比較

3.1 数量化理論Ⅱ類による評価方法

この評価方法では、多数の実橋の点検結果の基礎データに基づいて想定された橋梁に対する総合健全度の判定をエキスパートにアンケート調査として依頼し、この判定結果を数量化理論Ⅱ類（Quantification Theory 2）による解析の際の外的基準に用いた。この数量化理論Ⅱ類を用いて解析する手法は外的基準を各アイテムとの線形結合として表示し、重み係数を計算するものである。本研究では、その結果（文献<sup>2)</sup>参照）により算出された重み係数のうち1軸の結果のみを用いた。重み係数は解析におけるアイテムレンジの割合で表される。またこの係数は、エキスパートの健全度評価時における部材に対する重要度を示す尺度となる。尚、このアンケート調査は平成4年に行われたものである。

3.2 AHPによる評価方法

AHP 手法は、個々の評価結果をある評価値に一元化する場合に、専門家の判断や意識調査の結果などに基づいて評価項目の重みを決定するのに、できる限り合理的に行う方法として用いられる。AHP 手法は、解決すべき問題の要素を最終目標、評価基準、代替案の関係でとらえて階層構造を作り上げる。そして、最終目標から見て評価基準の重要さを求め、次に各評価基準から見て代替案の重要度を評価し、最後にはこれらを最終目標から見た代替案の評価に換算する。次に各レベルの要素間の重み付けを行う。階層図の各レベルの要素をすぐ上のレベルの各要素からみて一対比較し、一対比較マトリックスを作成する。一対比較に用いる値は表-4に示した。

各レベルに  $n$  個の評価項目  $I_1 \sim I_n$  が存在し、その重要度を  $w_i (i=1, \dots, n)$  とすると

$$A=[a_{ij}] \quad , \quad a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$$

このとき、
$$a_{ii} = 1 \quad , \quad a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

以上の関係より、一対比較マトリックス  $A=[a_{ij}]$  と要素の重要度ベクトル  $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  について、理想的には次の式が成立する。

$$A'W' = \lambda'_{\max} W' \quad \dots(a)$$

このとき、 $\lambda'_{\max}$  は行列  $A'$  の最大固有値、 $W'$  は  $A'$  の最大固有値  $\lambda'_{\max}$  に対する正規化した固有ベクトルである。また、評価者による一対比較の判断の整合性を評価する指標として式(b)の整合度（コンシステンシー指数、consistency index）が提案されている。

$$C.I. = \frac{\lambda'_{\max} - n}{n - 1} \quad \dots(b)$$

この  $C.I.$  値が 0.1 以下であれば合格とされている。

表-4 重要度の尺度とその定義

| 重要度の尺度 | 定義      |
|--------|---------|
| 1      | 同じくらい重要 |
| 3      | やや重要    |
| 5      | かなり重要   |
| 7      | 非常に重要   |
| 9      | きわめて重要  |

(2,4,6,8は中間の時に用いる)

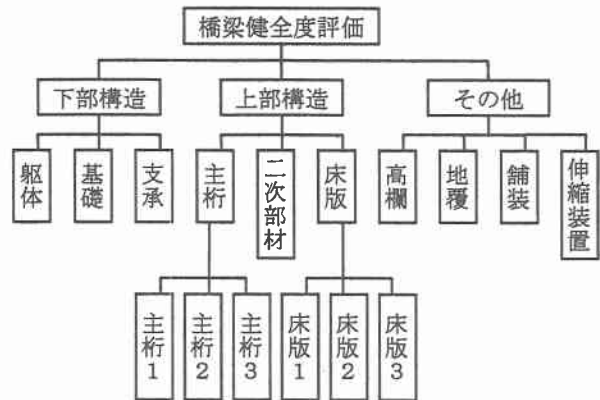


図-2 橋梁健全度評価階層図

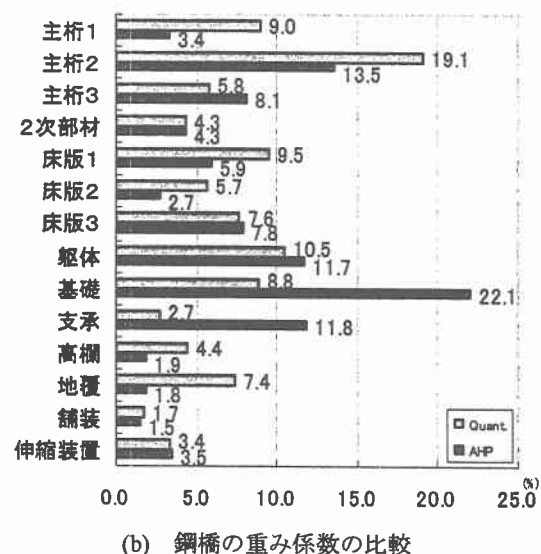
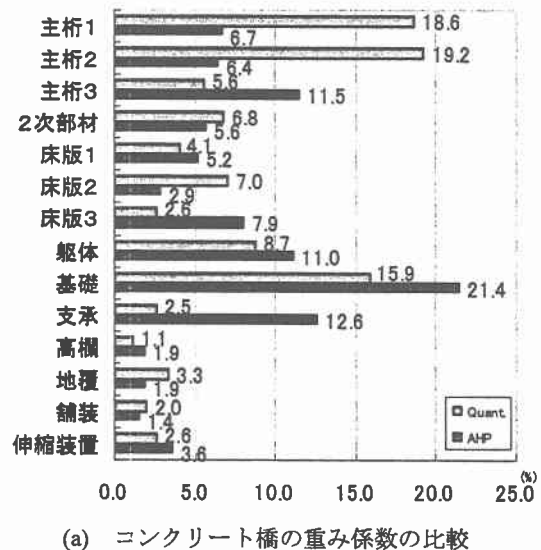


図-3 数量化理論Ⅱ類と AHP による重み係数の比較

### 3.3 重み係数の比較と検討

本研究では、-2 のような橋梁の物理的健全度評価に関する階層を作成し、AHP 手法によるアンケート調査を実施した。アンケート調査は、橋梁設計及び橋梁の維持業務に事する技術者 14 にをし、その結果により重み係数を算出した。アンケート結果には多らつきがあったが、平均化した重み係数は各技術者が重要としている部材が大きな重みになっているため、アンケート結果がされた妥当な重み係数が算出されたといえる。

数量化理論Ⅱ類と AHP の重み係数を比較する (-3)。鋼橋、コンクリート橋ともに、床版 2 (床版 びれ) の重み係数が減している。また、の重み係数は加している。これらの部材はコンクリート橋、鋼橋ともにする部材であり、アンケート調査が行われた代における技術者の意識の違いがであると考えられ、10 年間のうにきた大による示方のや、トンルや橋梁の化に対する関心が向上したことがと考えられる。AHP 手法では、鋼橋、コンクリート橋ともに通にする部材 (床版、部構造、その) については度の重み係数になっており、橋梁の部材の材質がなってもこれらの部材の重要度は大ないことがいえる。また、AHP 手法では各要について一対比較を行っているため、部材そのものの重要度として重み係数が算出されたためであるとわれる。

## 4 橋梁健全度評価の検討

本研究では、2001 年までに「橋梁点検要領 (案)」に基づいて点検された北道国道橋 3767 橋を対に評価を行った。本論文ではそのの鋼橋 2334 橋の結果についてする。

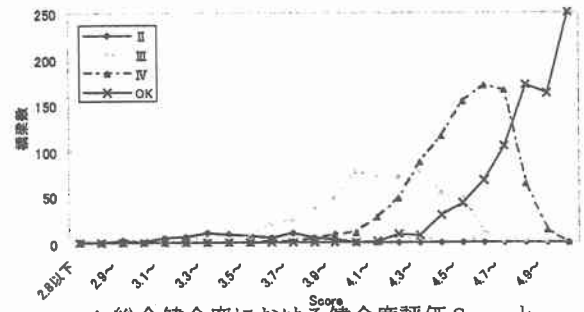
### 4.1 健全度評価式について

数量化理論Ⅱ類と AHP のアンケートによって求められたそれぞれの重み係数を用いて橋梁各部材の健全度評価 Score を求める。健全度評価  $S_i$  をのように表す。

$$S_i = \sum_{n=1}^3 (W_{Mn} S_{Mn} + W_{Sn} S_{Sn}) + W_{Sec} S_{Sec} + W_{Shoe} S_{Shoe} + W_{Sab} S_{Sab} + W_F S_F + W_H S_H + W_C S_C + W_P S_P + W_E S_E \quad (c)$$

たし、 $W_{Mn}$ ,  $S_{Mn}$ =主桁の重み係数, 健全度  
 $W_{Sn}$ ,  $S_{Sn}$ =床版の重み係数, 健全度  
 $W_{Sec}$ ,  $S_{Sec}$ =2 部材の重み係数, 健全度  
 $W_{Shoe}$ ,  $S_{Shoe}$ =の重み係数, 健全度  
 $W_{Sab}$ ,  $S_{Sab}$ =体の重み係数, 健全度  
 $W_F$ ,  $S_F$ =基礎の重み係数, 健全度  
 $W_H$ ,  $S_H$ =高の重み係数, 健全度  
 $W_C$ ,  $S_C$ =の重み係数, 健全度  
 $W_P$ ,  $S_P$ =の重み係数, 健全度  
 $W_E$ ,  $S_E$ =の重み係数, 健全度

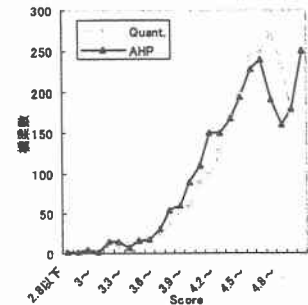
このにより得られた健全度評価 Score を用いて、点検した橋梁の総合健全度を評価する。



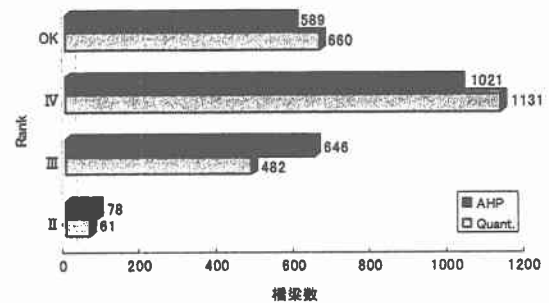
-4 総合健全度における健全度評価 Score と橋梁数の分

表-5 各ランクの

| Rank | Score   |
|------|---------|
| II   | 3.5以下   |
| III  | 3.6~4.2 |
| IV   | 4.3~4.7 |
| OK   | 4.8以上   |



-5 健全度評価 Score の比較



-6 各ランクを Score ので分けた合の橋梁数の比較

表-6 鋼橋における各部材の損傷橋梁数

|      | 主桁1 | 主桁2  | 主桁3  | 2次部材 | 床版1 | 床版2  | 床版3  |
|------|-----|------|------|------|-----|------|------|
| IV   | 0   | 1    | 343  | 136  | 82  | 843  | 60   |
| III  | 154 | 19   | 90   | 143  | 228 | 412  | 391  |
| II   | 96  | 18   | 112  | 70   | 108 | 149  | 234  |
| 総損傷数 | 250 | 38   | 545  | 349  | 398 | 1404 | 685  |
|      | 基礎  | 躯体   | 支承   | 高欄   | 地覆  | 舗装   | 伸縮装置 |
| IV   | 36  | 324  | 170  | 373  | 391 | 339  | 125  |
| III  | 26  | 574  | 150  | 119  | 156 | 120  | 14   |
| II   | 53  | 300  | 1039 | 362  | 294 | 313  | 283  |
| 総損傷数 | 115 | 1198 | 1359 | 854  | 841 | 772  | 422  |

### 4.2 数量化理論Ⅱ類の総合健全度を用いた評価

文献<sup>2)</sup>においてアンケート調査におけるサンルスコアのを1, 2, 3 に関して示しており、ここでは各におけるサンルスコアの間の平均をとっている。のサンルスコアとの大関係により、1 で評価Ⅱ, 2 で評価Ⅲ, 3 において評価Ⅳ及び評価OKを判する。点検橋梁の総合健全度はこののどの評価領にすにより判定されている。この総合健全度の健全度評価 Score の分を-4に示す。健全度評価 Score ら総合健全度を評価するために、-4のラフにより橋梁数がOK ら、ら、らⅡへ変化する Score をに設定した(表-5)。

また、数量化理論Ⅱ類の重み係数による健全度評価 Score と AHP の重み係数による健全度評価 Score の比較を図-5 に示し、総合健全度の各ランクの境界値で分けた橋梁数について図-6 に示した。健全度評価 Score はかなり近い橋梁数であった。境界値によってランク分けした場合の橋梁数も大きな差は生まれなかった。これは、表-6 に示す各部材の損傷数によるものと考えられる。

重み係数が数量化理論Ⅱ類と AHP で大きく変化したのは、主桁 1、主桁 2、基礎、支承、地覆であるが、主桁 1、主桁 2、基礎に関しては損傷数自体が多くないため、評価には影響が少ないものと考えられる。支承、地覆に関しては、損傷数が全鋼橋の半数近くを占めている。また支承は AHP の重み係数の方が数量化理論よりも大きくなっており、地覆は逆に小さくなっている。しかし、この 2 つの重み係数が逆転したことによって総合健全度の評価が大きく変わらなかったと考えられる。

## 5 まとめ

本研究は、AHP を用いて橋梁の健全度評価のための重み係数を算出した。また、これまで検討してきた数量化理論Ⅱ類による橋梁健全度評価で用いた重み係数と比較し、10 年間で技術者の意識がどのように変化してきたかを検討した。さらに、健全度評価 Score の境界値を設定し、AHP の重み係数を用いて総合健全度を評価した。

本研究の結果から以下のことがいえる。

- ・ 今回行った AHP 手法によるアンケート調査では、アンケート結果に多少のばらつきはあったが、それぞれの重み係数を算出し平均化した結果は各技術者が重要視している部材が大きな重み係数になっていたことから、妥当な結果であるといえる。
- ・ 数量化理論Ⅱ類で用いた重み係数と比較すると、10 年前は主桁を重要視していたが、現在は下部構造、特に基礎を重要視しているといえる。これは、示方書の改訂や社会的背景による技術者の意識の変化であると思われる。
- ・ 健全度評価 Score の境界値を設定し、総合健全度の評価を行った。AHP、数量化理論Ⅱ類とも同程度の橋梁数の分布となり、妥当な結果が得られたと思われる。

今後の課題として、今回算出した AHP の重み係数を他の方法で総合健全度を算出する方法を検討して、今回の結果と比較し、最適な方法を見いだしていく必要がある。例えば、図-2 に示した階層の中に外的基準を盛り込み、再度アンケート調査を行う方法などが挙げられる。また、物理的健全度評価だけでなく、機能性健全度評価を算出する方法を検討していき、経済的健全度評価と総合して評価することが課題である。

## 謝辞

本研究では、以下の方々にアンケート調査など研究に対する御理解と御協力を頂きました。ここにお名前を掲載させて頂き、感謝の意を表します。

安江哲氏、佐藤誠氏をはじめとする(株)ドーコンの方々、池田憲二氏（北海道開発土木研究所）、川田工業(株)、八千代エンジニアリング(株)、釧路製作所、北海道開発局、丹波郁恵さん、椎橋亜由美さん（北見工業大学大学院）、菊池一史君（北見工業大学 橋梁工学研究室）

また、この研究は平成 14 年度文部科学省科学研究費（代表者 大島俊之）の補助を受けて行われました。

## 参考文献

- 1) 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。
- 2) 大島俊之、三上修一、山崎智之、丹波郁恵：橋梁健全度評価に用いる評価方法の検討と影響要因の解析、土木学会論文集、No.675/I-55、201-217、2001.4。
- 3) 木下栄蔵：わかりやすい意志決定論入門ー基礎からファジィ理論までー、近代科学社、1996
- 4) 中村英夫、道路投資評価委員会：道路投資の社会経済評価、東洋経済新報社、1997
- 5) 小幡卓司、木村竜太、林川俊郎、佐藤浩一：AHP を用いた橋梁補修計画支援システムの構築に関する一考察、土木学会北海道支部論文報告集、第 57 号、pp178-181、2001.2
- 6) 丹波、大島、本間、三上、工藤、平：橋梁健全度評価の重み係数値に及ぼす影響因子の解析、土木学会北海道支部論文報告集、第 56 号、pp.172-175、2000.2。
- 7) 小幡卓司、濱木道大、林川俊郎、佐藤浩一、松井義孝：橋梁補修計画の意志決定問題に関する AHP の適用性について、第 56 号(A)、pp176-181、2000.2
- 8) 丹波、三上、平、大島、山崎、佐生：ファジィ数量化理論Ⅱ類による橋梁健全度診断評価の改良、第 54 回年次学術講演会、I-A224、pp.448-449、1999.10
- 9) 丹波、大島、三上、山崎、本間、平：ファジィ数量化理論Ⅱ類の橋梁健全度診断評価への応用、土木学会北海道支部論文報告集、第 55 号、pp.334-339、1999.2
- 10) 森弘、大島俊之、三上修一、他：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、土木学会論文集、No.501/I-29、pp.113-121、1994.10。
- 11) 森弘、大島俊之、三上修一、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。
- 12) 田中、垂水、脇本：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。
- 13) 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会：北海道における鋼道路橋の設計および施工指針、1995.12。
- 14) 北海道開発局道路計画課：全国道路交通情勢調査、1996.1。