論文　RC 橋梁の健全度診断システムの開発

高瀬　隼人[*1]・睦好　宏史[*2]・深井　崇志[*3]・野田　一弘[*4]

要旨： 本研究は，橋梁の健全度を評価する為に，新たな点検シートを用いた点検手法，それに対応する RC 橋梁健全度診断システムの開発を行ったものである。これらを用いて実橋梁の点検を行なった結果，効率よく橋梁点検結果を得る事ができた。また，開発した診断システムによる健全度評価を行なった結果，橋梁点検技術者の評価とほぼ一致した。

キーワード：橋梁診断システム，健全度，点検シート，橋梁点検

1. はじめに

日本で現在供用中の橋梁の多くは，高度経済成長期に建設され，竣工から 50 年以上を経過している。この為，この時期に建設された多くの橋梁は，急速に老朽化が進み，補修・補強を施さなければならない事が予想されており，近年，維持管理についての認識が高まっている。しかし，これらに費やす財政にも限りがあり，今後予想される補修工事をいかに分散し，また費用を抑えるかが問題となっている。

その為，橋梁点検を行い現在の橋梁の状態を的確に判断する必要があるが，我が国には点検結果から橋梁の診断を行なえる技術者数が比較的少ない傾向にあり [1)] 今後の維持管理業務の増大に対し，人材不足の懸念もある。従って，それほど専門知識を得ていない者でも橋梁点検が行なえ，それの結果を用いて正確な橋梁診断が出来るシステムが必要となる。

本研究では，コンピューターに点検結果を入力する事で，橋梁の健全度を定量的に評価する診断システムの開発を行っている。対象橋梁は RC 橋梁である。これまでも過去の研究により，同様の診断システムを開発しているが，健全度診断に必要な点検箇所の多さから，簡易的な点検・診断方法であるとは言い難かった。そこで，新たな橋梁点検シートを用いた点検方法を提案した。また，それに対応した橋梁診断システムの開発，実橋梁点検を行い，診断システムの結果の検討を行なった。

2. 橋梁点検方法

2.1 橋梁点検方法概要

今後，橋梁の多くは老朽化が急速に進み，短い期間での定期的な点検が必要になると考えられる。その為，点検による橋梁の現状の正確なデータ蓄積はもちろんであるが，その点検を簡潔に出来る事が望ましい。また，場合によっては橋梁点検を行なった事が無い者も点検を行なう場合が考えられ，その点から理解しやすい事が求められる。このような理由から，橋梁点検を点検シートに記入する方法で行なうものとした。

2.2 橋梁点検シートの作成

昨年，本研究で同様に実橋梁の点検を行っており，その際にも点検シートを用いたが，点検項目数が最大で 100 項目近くにまで及ぶ為，簡易な点検とは言い難かった。

今回用いた橋梁点検シート（以下，点検シート）は Level 1 点検を「簡易に健全度を評価できる点検」，Level 2 点検を「Level 1 に比べ，各項

*1 埼玉大学大学院　理工学研究科　建設工学専攻　(正会員)
*2 埼玉大学大学院　教授　工博　(正会員)
*3 大和ハウス工業（株）　（元埼玉大学　工学部建設工学科）
*4 八千代エンジニヤリング（株）総合事業本部　構造部　技術第三課主任　(正会員)

目を詳細に記録する点検」と位置付け，これに即して作成した。今回の橋梁点検には Level 2 点検用のシートを用いている。

Leve2 点検シートを**表－1** に示す。点検方法は，点検箇所に対応する損傷内容の状態を，A から C の三段階で評価し記入するものである。点検箇所，点検内容については，国土交通省が定める橋梁定期点検要領（案）に準ずるものとした[2)]。また，点検内容の判断基準も同様とした。点検シート内で灰色に塗られている部分は点検対象外の項目である。Level 1 点検ではこの部分が多く，点検箇所が少なくなっており，さらに詳細な点検が必要と認められる場合に，Level 2 点検を行なう事とした。

点検箇所は「主桁」「床版」「橋台」「橋脚」「舗装」など全 15 箇所，その点検箇所に対し，ひび割れ，剥離・欠損，変色・劣化，等の 18 個の損傷内容がある。遠方目視を基本として点検を行い，評価を記入する。また目視点検が不可能な箇所，その場合には，斜線を引くなどしてすべての空欄を記入する。該当点検箇所が存在しない場合も同様であるが，両者の違いが分かるようしておく必要がある。点検結果を記入する箇所は多いが，点検箇所は 15 箇所であり，比較的容易に点検を行なう事ができる。本点検シートを用いて橋梁点検を行なった際には，一橋あたり 30 分から 40 分程度で終了した。

損傷内容の評価記入の際には，作成した損傷の程度の判断基準を参照にする。**表－2** に損傷内容の一部である「ひび割れ」の判断基準を示す。判断基準は損傷内容全ての項目で設けてあり，それぞれ A から C に対応する判断基準を，A を損傷が無い状態，C を損傷が一番激しい状態として設定した。これらも，国土交通省が定める橋梁定期点検要領（案）を基本としている。損傷内容の「異常音」「異常なたわみ」「沈下・移動・傾斜」については，その損傷が生じているかどうかのみを判断する為，C と A の二段階のみとしている。この箇所以外は三段階で評価する事とした。

表－1　Level 2 点検シート

橋梁名		管理番号	
管轄		路線名	
所在地	自:	至:	
距離標	自:	至:	
点検日	年　月　日	点検者	
径間		備考	

損傷内容 ＼ 点検箇所	主桁	横桁	縦桁	床版	左記以外の上部工部材	橋台	橋脚	落橋防止システム	支承	伸縮装置	排水装置	舗装	地覆・中分	高欄・防護柵	添架物
ひびわれ								－			－				－
漏水・遊離石灰								－	－	－	－	－			－
錆汁									－	－	－	－			－
剥離・欠損											－	－			－
鉄筋露出								－			－	－			－
機能障害	－	－	－	－	－	－	－	－				－	－	－	－
ゆるみ・脱落	－	－	－	－	－	－	－					－	－		
遊間の異常		－	－	－	－		－	－			－	－	－	－	－
変形・破断	－	－	－	－	－	－	－					－	－	－	
腐食	－	－	－	－	－	－	－					－	－	－	
変色・劣化												－			－
異常音・振動						－	－				－		－	－	－
異常なたわみ						－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
沈下・移動・傾斜	－	－	－	－	－			－		－	－	－	－	－	－
漏水・滞水															
路面の異常	－	－	－	－	－	－	－	－	－		－		－	－	－
補強補修の損傷								－	－	－	－	－	－	－	－
洗掘	－	－	－	－	－			－	－	－	－	－	－	－	－
特記事項															

表－2　判断基準（ひび割れ）

判断基準	損傷程度
C	・ひび割れ発生数は多い (最小ひびわれ間隔が50cm 未満) ・ひび割れの方向性は、2 方向・亀甲状である ・構造上問題となる箇所にひび割れが発生している (ひび割れ幅は0.2mm 以上が主である)
B	・ひび割れ発生数は少ない ・ひび割れの方向性は1 方向である (ひび割れ幅は0.2mm 未満が主である
A	・ひび割れは発生していない

3. 健全度診断システム

3.1 診断プロセス

システム内の診断は**図－1** に示すような，診断プロセスによって行なわれる。図中の右端にある部分が，診断システムに必要な点検項目であり，入力項目となる。この項目の点検結果を診断システムに入力する。入力項目は点検シートと同一であり，点検シートを用いて橋梁点検を行うと，診断に必要な入力が収集できる。

各項目のデータが入力されると，入力項目を数個まとめ，一つの状態の評価を行なう。例え

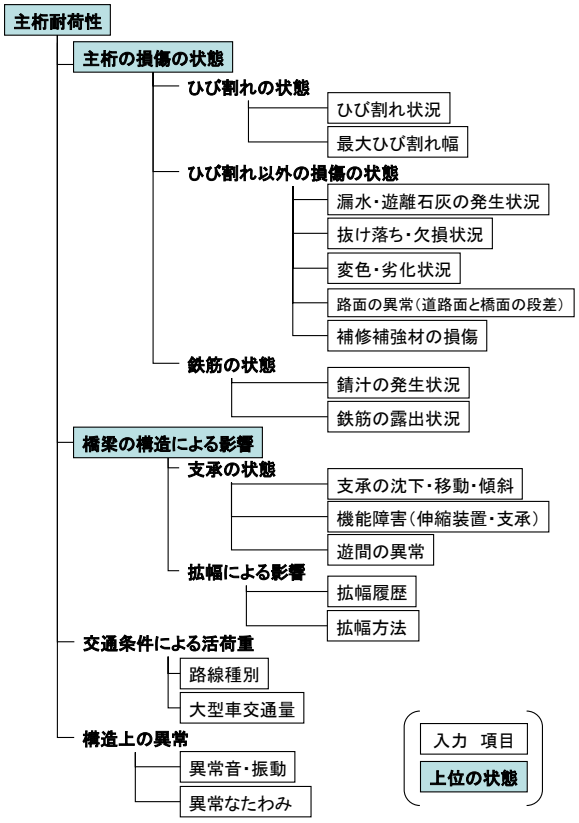
ば，**図－1** で，入力項目「錆汁の発生状況」と「鉄筋の露出状況」をまとめ，「鉄筋の状態」という状態を評価する。各状態は，0 から 100 点の健全度と呼ぶ点数として評価される。このように設定した上位の状態の健全度を算出していき，最終的に部材全体の健全度とする。対象部材は主桁，床版である。本診断システムで最終的に評価されるのは，主桁耐荷性，床版耐荷性，主桁耐久性，床版耐久性，また耐荷性を統一した橋梁耐荷性と，耐久性を統一した橋梁耐久性の六つである。なお，耐荷性と耐久性の診断プロセスは異なる形をしている。

本診断システムではこの診断プロセスを，簡易点検から正確な健全度を算出できるよう，以前のものから全体像を見直した。以前の診断プロセスでは，点検結果以外から得る情報が多く橋梁諸元を必要とした為，この項目を削除し，点検結果のみで健全度診断を行なう事とした。また，点検結果を重視する為に，橋梁健全度・耐久性に占める部材の損傷の影響を大きくした。点検で，ひびわれの項目は一つであるが，診断システム内では二つに分割し，健全度に占める割合を調節するなどしている。

3.2 入力項目からの健全度評価方法

複数の入力項目から，一つの状態の健全度を算出する時，本診断システムは if-then ルールを用いている。

例として**表－3** に，「ひび割れの状態」で使用する if-then ルールを示す。「ひび割れの状態」は「ひび割れ状況」と「最大ひび割れ幅」の点検結果を用いて評価する状態である。表上が，診断システムに点検結果を入力する時の選択の選択肢であり，これは点検シートの A から C に対応している。この選択肢を用いて if-then ルールを構成する。例えば No.4 のルールは「ひび割れ状況」が（少し発生している(B)），「最大ひび割れ幅」が（非常に大きい(C)）が選択された場合用いられるルールである。この例の場合，二つの入力項目が A から C の判断基準によって点検される為，診断システム内では No.9 までのルールを用いる事となる。点検結果の健全度を求める為に，各ルールにはルールの健全度が設定してある。ルールの健全度は，昨年行なった橋梁点検の際の，専門技術者の評価に基づき設定した。このルールの健全度が，入力項目をまとめた状態の健全度となる。



図－1　診断プロセス（主桁耐荷性）

表－3　「ひび割れの状態」での if-then ルール

	ひび割れ状況	最大ひび割れ幅
1 （C）	かなり発生している	非常に大きい
2 （B）	少し発生している	大きい
3 （A）	発生していない	発生していない

No	if-thenルール	
1	かなり発生している (1)	非常に大きい (1)
2	かなり発生している (1)	大きい (2)
3	かなり発生している (1)	発生していない (3)
4	少し発生している (2)	非常に大きい (1)
5	少し発生している (2)	大きい (2)
6	少し発生している (2)	発生していない (3)
7	発生していない (3)	非常に大きい (1)
8	発生していない (3)	大きい (2)
9	発生していない (3)	発生していない (3)

3.3 上位の状態の健全度評価方法

入力項目をまとめた状態の健全度は0から100点の点数として評価される。上位の状態の健全度は，入力項目をまとめた状態の健全度に対し，if-then ルールを用いて算出する。

ここでのルールの健全度は，その点数に応じて Safe，Moderate，Unsafe のように分類されている。まず，入力項目をまとめた状態（以下，先の状態）の健全度が，その分類にどれくらいの割合で適合するかを，状態関数を用いて算出する。**図－2** にその状態関数を示す。状態関数には一次関数を設定してある。ここでは先の状態の健全度が 70 点であった場合を示している。

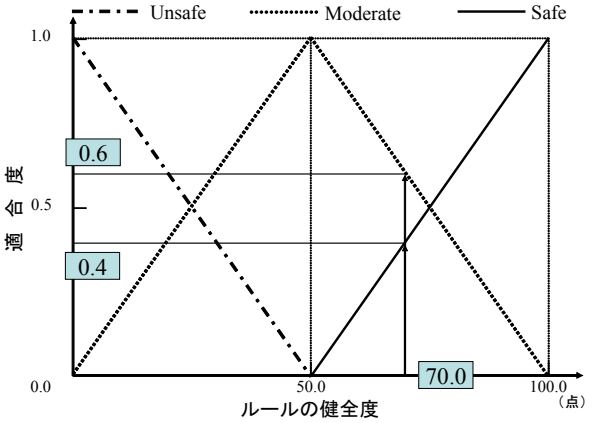
先の状態の健全度を状態関数に代入して，Safe, Moderate, Unsafe それぞれの適合度を算出する。**図－2** では，Safe=0.6, Moderate=0.4, Unsafe=0.0, となる。次にこの適合度を，上位の状態で設定してある if-then ルールに代入し掛け合わせ，その値のルール全体の割合をルールの適合度とする。**表－4** に上位の状態の if-then ルールを示す。ここでもルールに対し，ルールの健全度が設定されている。この健全度も先の状態と同様に専門技術者の評価を基に設定した。最後にルールの適合度と，if-then ルールの健全度を掛け合わせ，この合計を上位の状態の健全度としている。

最終的な橋梁健全度，橋梁耐久性を求めるまでに，異なった先の状態を統一する為，上位の状態でも，それぞれ異なった if-then ルールを設定しておく必要がある。このようにして橋梁健全度，橋梁耐久性の健全度を算出する。

4. 調査対象橋梁

上述の点検シートを用いて，埼玉県下に架かる実橋梁 12 橋の点検調査を行なった。対象橋梁は RC 橋梁とし，目視点検で行なった。ここではその内，2 橋について述べる事にする。A 橋は昭和 18 年竣工の RC の T 桁橋である。橋長は 9.9m と大きくないが，高欄が地覆のように見える程オーバーレイを行なっている為，死荷重が相当増加していると思われる。床版や主桁からは錆びた鉄筋が露出しており，コンクリートの欠落もみられた。また主桁の下面部には亀甲状のひび割れが数箇所確認できた。A 橋の損傷状態を**写真－1**，**写真－2** に示す。

B 橋は昭和 8 年竣工の RC の T 桁橋である。A 橋と比較して，大型車の交通量が多く，活荷重



図－2　上位の状態での状態関数の例

表－4　上位の状態の if-then ルール

No	if-thenルール	
1	Unsafe	Unsafe
2	Unsafe	Moderate
3	Unsafe	Safe
4	Moderate	Unsafe
5	Moderate	Moderate
6	Moderate	Safe
7	Safe	Unsafe
8	Safe	Moderate
9	Safe	Safe
⋮	⋮	⋮

写真－1　張出し床版と主桁の状態（A 橋）

写真－2　主桁下面部のひび割れ（A 橋）

写真－3　主桁の鉄筋露出（B 橋）

の負担が大きい。**写真－3**，**写真－4** に B 橋の損傷状態を示す。主桁の橋台上部部分の損傷が激しく，五本ある主桁全てでコンクリート剥離と鉄筋露出，さらに鉄筋の腐食が確認できた。また，主桁スパン中央部でも至る箇所でコンクリートが浮いており，錆びた鉄筋が露出している。

5. 橋梁点検，健全度診断結果

5.1 点検シートによる点検結果

点検を行なったのは五人であり，全員が同じ時刻に同じ橋梁の点検を行なった。一橋の点検に費やした時間は 30 分から 40 分程度であり，短時間で点検を行なう事ができた。

点検結果は，A 橋 B 橋共に損傷が激しく，「ひび割れ」の項目においてはほぼ一致した点検結果を得る事ができた。しかし，他点検項目では B と C の評価にばらつきがみられた。同様に今回，12 橋の調査を行なっているが，全体的に損傷がみられない橋梁では，ばらつきがみられる。これは，事前に判断基準を作成したが，損傷写真は無く，文章のみの判断基準であった為であると思われる。個人の判断の違いが大きく，視覚的な基準が必要である。また，各点検項目の違いが不明確な点があった。「漏水・滞水」の点検項目と「漏水・遊離石灰」の点検項目の，漏水の意味などがそれにあたる。この点も，視覚的な判断基準が無かった事によるもので，現場で確認できる損傷の写真集の作成が必要である。

写真－4　主桁コンクリートの剥離（B 橋）

5.2 診断システムによる健全度診断

点検結果を用いて，開発した橋梁診断システムによる健全度診断を行なった。両橋梁の健全度を**表－5**，**表－6** に、また**図－3**，**図－4** に点検者による健全度の違いを示す。A 橋では五人の健全度が 10 点前後の間に収まっており、ほぼ同等の診断結果となった。よって，30 点前後でほぼ同じ健全度となった事から，A 橋のこの健全度が現在の耐荷性，耐久性の評価として適当であると考えられる。また，この点数はかなり低い点数と言え，この橋梁の補修が必要である，と判断した橋梁専門技術者の意見と一致した。さらに，A 橋から 50m 程しか離れていない同一の車道に同じ橋齢の橋梁が架かっていたが，すでに主桁全体に鋼板による補強がされており，補強前 A 橋と同様の損傷状態であったと考えられる。この事から，本診断システムで健全度評

表－5　A 橋の健全度

点検者	a	b	c	d	e	平均値
橋梁耐荷性	32.2	26.8	26.8	31.2	36.6	30.7
橋梁耐久性	25.5	18.6	17.1	22.4	33.1	23.3
主桁耐荷性	31.5	25.5	26.5	30.5	35.5	29.9
主桁耐久性	25.0	17.2	17.2	21.9	29.7	22.2
床版耐荷性	33.0	27.2	27.2	31.9	37.7	31.4
床版耐久性	26.0	20.0	17.0	23.0	36.5	24.5

表－6　B 橋の健全度

点検者	a	b	c	d	e	平均値
橋梁耐荷性	42.5	45.7	-	32.8	50.1	42.8
橋梁耐久性	34.5	40.0	-	38.5	57.3	42.6
主桁耐荷性	42.5	45.5	-	33.5	49.5	42.8
主桁耐久性	42.5	40.0	-	22.0	44.6	37.3
床版耐荷性	32.5	46.0	-	32.0	50.6	40.3
床版耐久性	32.5	40.0	-	54.9	70.0	49.4

**C は床版点検部に空欄があったため除外

価を行なった場合，その橋梁の補強後の経過時間を考慮すると，35 点付近を境に何らかの補修・補強が必要となるとして良いと考えられる。

B 橋で主桁の評価では，ばらつきはみられないが床版で，ばらつきが顕著である。これは，点検時に張出し床版を考慮したか否かであり，考慮した場合，健全度が低くなっている。この事を点検シート及び診断システムでも考慮しなければ，点検が正確に行なわれても，健全度にばらつきが出てしまう事がわかった。

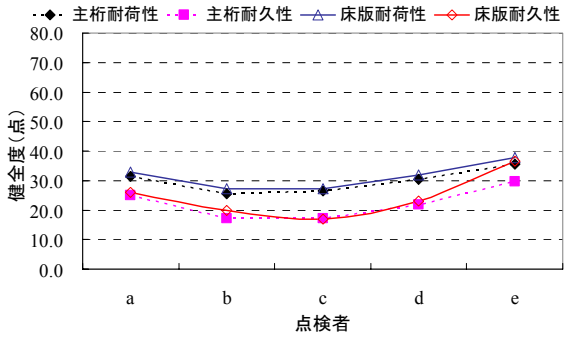
6. まとめ

新たに作成した点検方法と診断システムを用いて実橋梁の健全度診断を行なった結果，以下の事が明らかとなった。

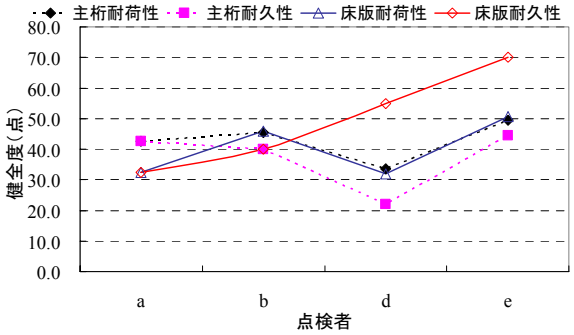
(1)点検シートを用いた点検方法は，効率よく橋梁の状態を記録する事ができる。しかし，点検結果のばらつきを少なくするためには，視覚的な判断基準が必要である。

(2)診断システムによる健全度診断の結果，健全度は専門技術者の意見と一致し，橋梁の状態を表す事ができた。

(3)点検方法，診断システム双方において，ばらつきが出てしまう為，張り出し床版を考慮すべきか否かの検討を行う必要がある。



図－3　点検者による健全度の違い（A 橋）



図－4　点検者による健全度の違い（B 橋）

謝辞

橋梁調査において八千代エンジニヤリング（株）上杉泰右氏，同鈴木智行氏に多大なるご協力を頂いた。また埼玉県環境部水環境課の斉藤昌美氏に，調査に関する資料を提供して頂いた。ここに記して，感謝いたします。

参考文献

1) 川村　圭：Bridge Management System(BMS)の開発および実用化に関する研究，山口大学大学院　学位論文，pp.1-3，2000.3
2) 国土交通省：橋梁定期点検要領（案），2004.3
3) 橋梁メンテナンス技術研究会：信州発あなたにもできる橋の点検，信州大学・地域共同研究センター，2004.11
4) 土木学会：コンクリート標準示方書「維持管理編」，2001