

I-87

全道橋梁の耐震性能を含む健全度診断評価

北見工業大学 ○学生員 平 成晴 (株)ナオック 佐生 壽和
 北見工業大学 学生員 丹波 郁恵 北見工業大学 フェロー 大島 俊之
 北見工業大学 正 員 三上 修一

1. はじめに

主として供用開始から 20 年以上経過している橋梁が経年劣化および交通環境の変化などにより数多くの損傷事例が報告されている。それに加えて近年大規模な災害が発生しており、防災面においても橋梁点検要領や示方書の規定が見直されてきている。道路の一部でもある橋梁は我々が生活していくうえで重要な交通機能であり、特に震災時には被災地への救援物資・復旧用資機材等の緊急輸送路としての確保が必要である。このため橋梁部材の損傷度と同時に震前対策として耐震性を考慮した判定法を検討することが望ましいと考えられる。しかしこれらを基準とした判断手法を検討した研究はあまり行われていない。

著者らはこれまで健全度診断評価に関する研究として建設省土木研究所の「橋梁点検要領(案)」を参考に、部材の損傷度から橋梁の総合判定を数量化理論Ⅱ類で評価する手法を提案している。^{1)~5)}ここでは、これまでの部材項目の中から耐震性に関連する項目と今回新たに震災発生時に必要とする項目を加味して、橋梁の耐震性能を考慮した評価方法を検討した。

2. 数量化理論Ⅱ類における解析方法

2.1 アンケート調査

点検データを評価するとき、その評価基準を客観的・定量的に設定する必要がある。ここでは数量化理論の解析方法として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いう方法を用いることにする。このことを踏まえて本論文ではエキスパート個々の判断と全体的な判断との関係を検討することにより、総合的判断を客観的・定量的な結果に近づけるような解析を行っている。

2.2 橋梁耐震性評価

著者らは橋梁の耐震性診断評価をアンケート調査で判断する際に表 1 のような 10 項目のアイテムとそれに伴ったカテゴリーの選定を行い、そして表 2 のような仮想橋梁のシミュレーションを 300 橋作成した。また、それぞれのデータを評価するための外的基準については橋梁耐震性の見地から表 3 のような 4 段階に分類した。今回、データ収集を行う方法として表 3 のように 300 橋を 6 つのグループに分割し 1 グループあたり 50 橋とした。そしてアンケート調査を依頼するにあたり、表 3 のように各方面で土木業務に従事している 17 名の方々に 1 名につき 2 グループずつ、すなわち 100 橋分の仮想橋梁を表 2 の一番右にある判定欄に記入して頂いた。

2.3 解析処理の概要

アンケート調査から得られたものから数量化理論Ⅱ類によって解析を行うとき、解析値としてまずそれぞれのカテゴリー毎にカテゴリースコアが求められる。このカテゴリースコアは外的基準のグループを同じグループに属する同士が近い値を取り、他のグループとは離れた値を取るよう分類され

*Diagnostic Evaluation of Bridges Integrity Including Seismic Performance in Hokkaido Area
 by Shigeharu TAIRA, Toshikazu SAOI, Ikue TAMBA, Toshiyuki OSHIMA and Shuichi MIKAMI*

表1 耐震性のアイテムとカテゴリー

アイテム	カテゴリー	
	判定	判定区分
1 上部構造	II	II 損傷が大きく、詳細調査を実施し補修するかどうかの検討を行う必要がある。
2 下部構造	III	III 損傷が認められ追跡調査を行う必要がある。
3 支 承	IV	IV 損傷が認められ、その程度を記録する必要がある。
	OK	OK 点検の結果から、損傷は認められない。
4 桁掛長 (S _E)	S _E 未満	必要桁掛長 (S _E) 未満
	S _E 以上	必要桁掛長 (S _E) 以上
	1.5S _E	1.5×必要桁掛長 (S _E) 以上
5 落橋防止装置	無	落橋防止構造なし
	有	不明
		桁と下部構造を連結する構造
		桁または下部構造に突起を設ける構造
		2連の桁を相互に連結する構造
		アンカーバータイプの移動制限装置
6 液状化	可能性高 場合による	可能性が高い 場合によっては可能性が高い
	可能性低	可能性が低い
7 地盤種別	III種	III種地盤
	II種	II種地盤
	I種	I種地盤
8 適用示方書	昭和	平成2年未満の示方書
	平成2年	平成2年以降から平成8年未満の示方書
	平成8年	平成8年示方書
9 地域区分	A	地域別補正係数 C _a =1.0 の地域
	B	地域別補正係数 C _a =0.85 の地域
	C	地域別補正係数 C _a =0.7 の地域
10 重要度	A種	下記以外の橋
	B種	重要度の要因 (地域防災計画、2次災害、利用状況・代替性、機能回復の難易) が大きいもの

表3 外的基準

判定	耐震性能の程度
A	耐震性あり
B	耐震性劣る
C	かなり危険
D	早急に要補強

表4 アンケート調査割り当て

	1号橋	2号橋	3号橋	4号橋	5号橋	6号橋
A氏		○				○
B氏	○				○	
C氏			○	○		
D氏	○		○			
E氏		○			○	
F氏	○					○
G氏	○	○				
H氏			○	○		
I氏					○	○
J氏		○		○		
K氏			○			○
L氏				○	○	
M氏	○			○		
N氏		○	○			
O氏				○		○
P氏			○		○	
Q氏			○	○		
合計	5	5	7	7	5	5

表2 アンケート調査用紙

橋梁耐震性影響調査										判定	
上部構造	下部構造	支 承	S _E	落橋防止装置	液状化	地盤種別	適用示方書	地域区分	重要度	判定	
1 II	II	III	SE以上	有	場合による	II種	平成8年	A	B種	99	
2 II	III	II	SE以上	有	可能性低	II種	昭和	B	B種	99	
3 III	II	III	SE未満	有	場合による	II種	平成2年	A	A種	100	
4 III	III	III	SE以上	有	可能性低	I種	平成2年	B	B種	200	
5 II	II	III	SE以上	無	可能性低	I種	昭和	B	B種	52	
6 III	III	II	SE未満	無	場合による	II種	平成2年	A	A種	200	
7 III	II	III	SE以上	有	可能性低	II種	昭和	B	A種	100	
8 II	II	II	SE以上	無	可能性高	I種	昭和	C	A種	11	
9 II	II	II	SE未満	有	可能性高	III種	平成2年	B	B種	7	
10 II	II	III	1.5SE	有	場合による	III種	平成8年	A	A種	12	

外的基準 A・B・C・D

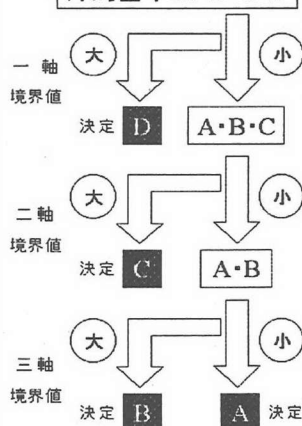


図1 外的基準の判別

ている。このカテゴリースコアの値を用いて範囲は式(1)で表すことができる。

$$(\text{範囲}) = (\text{各アイテム内のカテゴリー数量の最大値}) - (\text{各アイテム内のカテゴリー数量の最小値}) \quad \cdots \text{式(1)}$$

ここでいう範囲とは、要因アイテムが外的基準に対してどの程度の影響を及ぼしているのかを示す尺度である。この範囲を用いることによって、各アイテムが全アイテムに対して重み付けの程度を知ることができ、その結果がアイテム毎にそれぞれ百分率で表されている。すなわちその値が高いほど重

要なアイテムといえる。偏相関係数は各アイテムが単独に外的基準のカテゴリに与える影響の程度を示す尺度である。相関比は $0 \leq (\text{相関比}) \leq 1$ の範囲にあり、外的基準の群がどの程度判別されているのかを示す尺度のことで1に近い程よく判別され、逆に0に近づくにつれてあまりよく判別されないことを表している。すなわち相関比の値が大きいくほどばらつきが小さく精度の高い結果であるということがいえる。また、一軸・二軸・三軸は外的基準を判別するための境界軸であり、図1のように一軸境界値の大小でA,B,CとDの分類、二軸境界値の大小でA,BとCの分類、三軸境界値の大小でAとBの分類と判別される。

3. 健全度診断評価の解析結果と考察

3.1 アンケート調査結果（個人）

アンケート調査より判定した結果を表5および図2・図3に示す。このデータは表4の割り当ての中からK氏とP氏に判定していただいたものであり、ともに3グループ50橋の仮想橋梁を対象としている。なお、K氏は北見工業大学土木開発工学科で橋梁工学を専攻している学生で、P氏はコンサルタント会社に勤務している会社員である。まず、表5に示す一軸の数量化理論Ⅱ類による解析結果より外的基準の配分を比較してみると、K氏はB、Cの判定が多いのに対し、P氏はA、Bの判定が多くなっている。これより条件として50橋中におけるカテゴリーの内訳が度数で表されているが、対象としている橋梁データが同じにもかかわらず判定に個人差が生じていることがわかる。また表5にある範囲および図2の円グラフより各項目に対する重みを示しているが、K氏は上部構造から落橋防止装置までを合わせた重みが6割以上を占めており、橋梁自体に関連する項目の比重が大きくなっている。一方P氏はそれがわずか3割以下で、橋梁自体よりその周辺環境に関連する項目の比重が大きくなっており、K氏と比較すると正反対の結果が得られていることがわかる。さらに表5よりばらつきの指標となる相関比が両氏ともほぼ同じ値となっており、一軸については外的基準の群がある程度よく判別しているといえる。また、図3にそれぞれの一軸・二軸の散布図を示している。K氏はA群とD群についてははっきりと分類されているが、B群とC群は大きく混在している。これに対しP氏はD群については分離されているが、A群とB群およびB群とC群に混在している部分が見られ、両氏ともに判定の難しいデータがあることを示唆している。

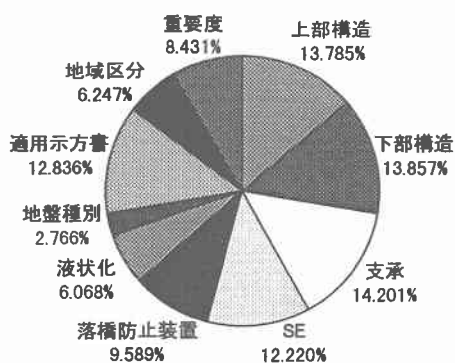
表5 アンケート調査の解析結果

(a) K氏の解析結果

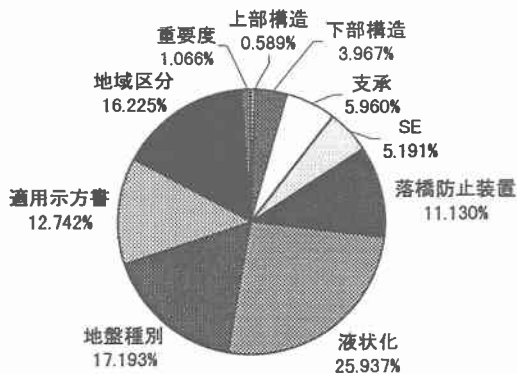
アイテム	カテゴリ	度数	一 軸		
			カテゴリ-スリ	範囲	偏相関係数 (%)
上部構造	Ⅲ	26	-0.4406	0.91791	0.56157
	Ⅱ	24	0.4732	(13.765)	(13.484)
下部構造	Ⅲ	24	-0.4798	0.92268	0.58191
	Ⅱ	26	0.44289	(13.857)	(13.972)
支 承	Ⅲ	27	-0.43498	0.9456	0.60924
	Ⅱ	23	0.51062	(14.201)	(14.628)
SE	1.6SE	10	-0.16011	0.8137	0.4882
	SE以上	23	-0.30579	(12.220)	(11.722)
	SE以下	17	0.50791		
落橋防止装置	有	28	-0.28094	0.6385	0.47312
	無	22	0.35756	(9.589)	(11.360)
液状化	可能性低	24	-0.04068	0.40407	0.24195
	場合による	11	-0.19556	(6.068)	(5.809)
	可能性高	15	0.20851		
地盤種別	I 種	16	0.06489	0.18415	0.11669
	Ⅱ 種	21	-0.0244	(2.766)	(2.802)
	Ⅲ 種	13	-0.11927		
適用示方書	平成8年	10	-0.66384	0.85475	0.4449
	平成2年	15	0.12437	(12.836)	(10.682)
	昭 和	25	0.19091		
地域区分	C	14	0.15569	0.41596	0.26227
	B	22	-0.22231	(6.247)	(6.297)
	A	14	0.19365		
重要度	A 種	29	0.2358	0.56143	0.38497
	B 種	21	-0.32563	(8.431)	(9.243)
外的基準	A:耐震性あり	3	-1.64598	相関比	
	B:耐震性劣る	23	-0.49405	0.76558	
	C:かなり危険	19	0.29496		
	D:早急に要補強	5	2.13935		

(b) P氏の解析結果

アイテム	カテゴリ	度数	一 軸		
			カテゴリ-スリ	範囲	偏相関係数 (%)
上部構造	Ⅲ	26	-0.01933	0.04028	0.03233
	Ⅱ	24	0.02092	(0.589)	(0.864)
下部構造	Ⅲ	24	0.14102	0.27119	0.21276
	Ⅱ	26	-0.13017	(3.967)	(5.687)
支 承	Ⅲ	27	-0.18743	0.40745	0.3292
	Ⅱ	23	0.22002	(5.96)	(8)
SE	1.6SE	10	-0.1956	0.35486	0.18738
	SE以上	23	-0.03267	(5.191)	(5.009)
	SE以下	17	0.15925		
落橋防止装置	有	28	-0.33476	0.76083	0.57493
	無	22	0.42606	(11.13)	(15.368)
液状化	可能性低	24	-0.73452	1.77302	0.70603
	場合による	11	0.18646	(25.937)	(18.872)
	可能性高	15	1.0385		
地盤種別	I 種	16	-0.32439	1.17529	0.64679
	Ⅱ 種	21	-0.27959	(17.193)	(17.289)
	Ⅲ 種	13	0.8509		
適用示方書	平成8年	10	-0.51849	0.87099	0.4382
	平成2年	15	-0.24184	(12.742)	(11.714)
	昭 和	25	0.3525		
地域区分	C	14	-0.60281	1.10909	0.54735
	B	22	0.06143	(16.225)	(14.631)
	A	14	0.50628		
重要度	A 種	29	-0.0306	0.07286	0.06598
	B 種	21	0.04226	(1.066)	(1.764)
外的基準	A:耐震性あり	14	-0.88661	相関比	
	B:耐震性劣る	24	-0.21701	0.79402	
	C:かなり危険	7	1.1511		
	D:早急に要補強	5	1.91262		

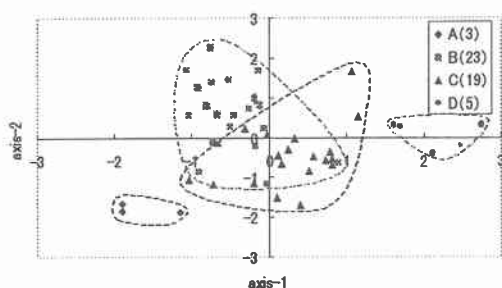


(a) K 氏の重み付け

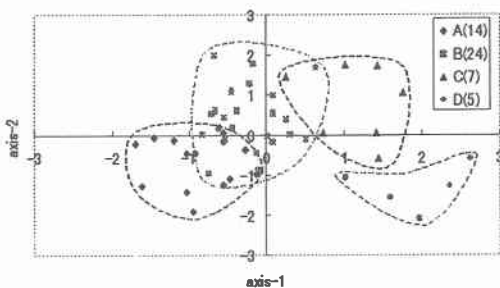


(b) P 氏の重み付け

図2 耐震性能における項目別重み付け



(a) K 氏の散布図



(b) P 氏の散布図

図3 散布図 (1-2 軸)

表6 3グループ全体を平均化した解析結果

アイテム	カテゴリ	度数	一 軸			二 軸			三 軸		
			カテゴリスコア	範 囲 (%)	相関係数 (%)	カテゴリスコア	範 囲 (%)	相関係数 (%)	カテゴリスコア	範 囲 (%)	相関係数 (%)
上部構造	Ⅲ	26	-0.14331	0.26657 (4.366)	0.33614 (5.665)	0.44395	0.92489 (9.662)	0.25705 (11.596)	-0.11148	0.23225 (3.116)	0.03809 (3.504)
	Ⅱ	24	0.15526			-0.48094			0.12077		
下部構造	Ⅲ	24	-0.35706	0.88865 (10.042)	0.61472 (10.380)	-0.44020	0.84654 (8.844)	0.21487 (9.983)	0.35631	0.68521 (8.182)	0.09654 (8.880)
	Ⅱ	26	0.32859			0.40634			-0.32080		
支 承	Ⅲ	27	-0.34823	0.75703 (11.071)	0.70926 (11.854)	-0.29673	0.64508 (6.739)	0.18891 (8.522)	-0.18929	0.41149 (5.520)	0.06664 (6.148)
	Ⅱ	23	0.40860			0.34834			0.22221		
SE	1.5SE	10	0.01068	0.74254 (10.859)	0.62447 (10.525)	0.82796	1.54913 (16.184)	0.34666 (15.729)	0.31376	0.55273 (11.439)	0.11289 (10.385)
	SE以上 SE以下	23 17	-0.31825 0.42429			-0.72115 0.48863			0.28195 -0.53897		
落橋防止 装置	有 り	26	-0.48253	1.09667 (16.036)	0.82827 (13.959)	0.22854	0.51486 (5.379)	0.15970 (7.204)	0.23874	0.54259 (7.279)	0.08999 (8.278)
	無 し	22	0.61413			-0.26832			-0.30385		
液状化	可能性低 場合による	24	-0.35950	0.86076 (12.880)	0.83816 (10.755)	-0.44809	1.10000 (11.492)	0.21629 (9.757)	-0.34697	0.73459 (8.860)	0.09023 (8.300)
	可能性高	15	0.70357 0.52125			0.08866 0.85192			0.38802 0.27081		
地盤種別	I 種	18	0.10995	0.35330 (5.167)	0.38898 (6.556)	0.44138	0.85061 (8.888)	0.18380 (8.292)	0.15204 -0.33608	0.69181 (9.281)	0.10402 (9.569)
	Ⅱ 種 Ⅲ 種	21 13	-0.18683 0.16647			-0.08293 -0.40925			0.35575		
適用示方書	平成9年 平成2年 昭 和	15 10 25	-0.36771 -0.18187 0.25621	0.62392 (9.124) (8.563)	0.50928 (8.563)	0.61370 -0.52897 0.07190	0.21648 (11.837) (9.765)	0.30280 (17.711)	-0.52241 0.29199	0.81440 (10.925)	0.10801 (9.936)
	C B A	14 22 14	-0.16623 -0.19244 0.46864	0.66109 (9.668)	0.59451 (10.020)	-0.81932 1.03354 -0.80482	1.85266 (19.357)	0.39280 (17.711)	-0.35664 0.94895	1.33833 (17.927)	0.18670 (17.358)
重要度	A 種 B 種	29 3	0.30975 -0.42774	0.73749 (10.785)	0.88964 (11.623)	0.06112 -0.08440	0.14551 (1.520)	0.03835 (1.730)	0.48410 -0.68852	1.15261 (15.482)	0.19178 (17.641)
外的基準	A:耐震性あり	3	-2.03234	相関比 0.89197		-1.81329	相関比 0.29949		-0.08211	相関比 0.11770	
	B:耐震性多る	21	-0.57458			0.36050			0.18130		
	C:かなり危険	24	0.69332			-0.05974			-0.31258		
	D:早急に要補強	2	2.66356			-0.97889			1.22965		

3.2 アンケート調査結果（グループ）

次に3グループ全体の解析結果を表6および図4・図5に示す。これらは3グループに該当した7名のデータを平均して求めた値である。まず、図4の円グラフ結果より橋梁自体に関連する項目と周辺環境に関連する項目がほぼ半分ずつの比重を占めていることがわかる。また表6より外的基準はほとんどがBとCに判定されており、これに対してAとDの個数はわずかである。また、一軸の相関比は0.89197であり、3.1で述べた個人データの結果より平均化したことで判別度が向上している。しかし表6で示すように二軸、三軸となるにつれて相関比が小さくなっており、この現象はアンケートを頂いたすべての個人データにも同じような結果となった。また図5に示す散布図はA群とD群は完全に分離しており、B群とC群はわずかに混在している部分があるものの、3グループ7名の判定平均はほぼ明確に分類されていることがわかる。

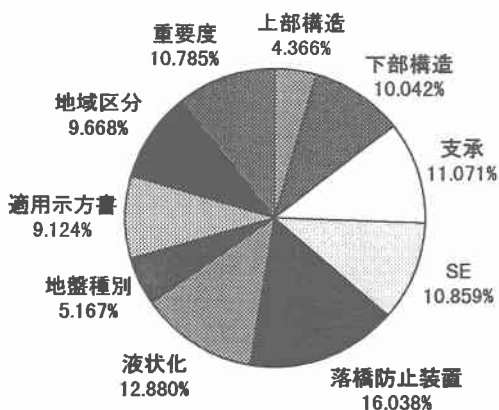


図4 3グループ全体を平均化した項目別重み付け

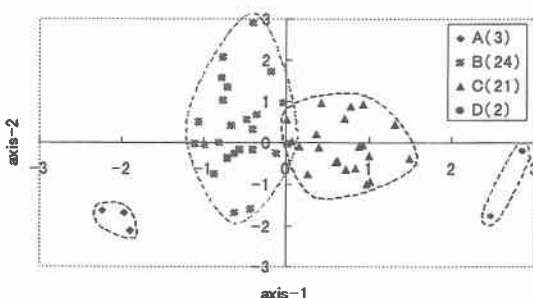


図5 3グループを平均化した散布図（1-2軸）

4. 道内橋梁の健全度診断評価

本研究では北海道から頂いた実橋データとして表7に示すように各土木現業所より集積された375橋を対象としている。このうちのほとんどが1955年から1975年の間に架設されたものであるが、中には適用示方書の平成2年におけるカテゴリー数が29橋存在しているようにごく最近に架け換えられた橋梁も含まれている。また表8にこれらの橋梁における各アイテムのカテゴリー数を示している。最終的にはこの橋梁データをアンケート調査の解析結果で各軸への外的基準の平均値を求め、そこから得られる境界値に基づき総合判定と順位付けを行っていく。

表7 現業所毎橋梁数

現業所名	橋梁数
札幌	85
小樽	51
函館	56
室蘭	57
旭川	24
留萌	17
稚内	18
網走	31
釧路	13
帯広	23
合計	375

表8 道道橋梁の各カテゴリー数

アイテム	カテゴリー	
	判定	橋梁数
上部構造	Ⅱ	35
	Ⅲ	340
下部構造	Ⅱ	40
	Ⅲ	335
支 承	Ⅱ	32
	Ⅲ	343
桁掛長 (S_E)	S_E 未満	153
	S_E 以上	211
	$1.5 S_E$	11
落橋防止装置	無	135
	有	240
液状化	可能性高	14
	場合による	29
	可能性低	332
地盤種別	Ⅲ 種	18
	Ⅱ 種	109
	Ⅰ 種	248
適用示方書	昭和	346
	平成2年	29
	平成8年	0
地域区分	A	52
	B	257
	C	66
重要度	A 種	111
	B 種	264

5. まとめ

本研究では数量化理論Ⅱ類を用いて耐震性を考慮した橋梁の健全度診断評価を行うことを目的としアンケート調査を実施したが、現在のところアンケートの回収が完了していない。このため最終的な総合判定までを紹介することができなかったので今後データが揃いしだいさらに検討をしていく。そして前述したように4で示した実際の道内橋梁で健全度診断評価を行い総合判定とランク付けを行っていく。本論文では前述した解析結果において3グループ全体とそこから2人の個人データを報告したが、今後は個々のデータを平均化するときどのように処理すればよいか詳細な検討を行ったり、判定のばらつきが大きいようなデータや他の人と大きく離れているデータは信頼性が低くなるのでそれらを除外しなければならないなどの対策法が考えられる。また、二軸、三軸の相関比が小さく2つの群間における適切な判定が行われていない可能性があるので Fuzzy 理論による解析を行っていく必要がある。このことにより外的基準がよりよく分類され、信頼性の高い結果を得ることが可能と期待される。今後の指針として各現場における橋梁点検に際して健全度診断評価の結果を用いて更なる効果的な点検を実施したり、より一層の技術的な検討や事例の集積を重ね橋梁を含めた道路の防災性を高め、信頼性の向上を目指すものとする。

謝 辞

本研究を行うにあたりましてデータの提供や整理、御指導などを頂けた北海道開発局の小林氏、北海道建設部道路整備課の天沼氏、(株)中神土木設計事務所の本間氏、(株)長大の榎氏、北見工業大学土木開発工学科の東海林さん、並びにアンケート調査に御協力を頂いた北海道建設部道路整備課技術係、北見市都市建設部の各機関および(株)開発工営社、(株)ダイヤコンサルタント、(株)釧路製作所、(株)長大、(株)構造技研、(株)中神土木設計事務所、八千代エンジニアリング(株)、北海道開発コンサルタント(株)、太平洋総合コンサルタント(株)の各企業の技術者の方々ここに記して感謝の意を表します。また、本研究は平成10年度文部省科学研究費(研究代表者 山崎智之)の補助を受けて行われました。

参考文献

- 1) 森・大島・三上・阿部・山本：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，pp.713-720，Vol.1 1993
- 2) 森・大島・三上・天野・井上：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，No501/I-29，pp.113-121，1994.10
- 3) 本間・林・大島・森：橋梁の維持補修計画支援システムについて，土木学会北海道支部論文集，第50号，pp.242-245，1994.2
- 4) 平・大島・三上・本間・村上・水元：橋梁の健全度評価システムの開発，土木学会北海道支部論文集，第54号，pp.276-279，1998.2
- 5) 平・大島・三上・本間・村上・水元：数量化理論による橋梁の健全度診断評価，構造物の診断に関するシンポジウム論文集，pp.53-58，1998.7
- 6) 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
- 7) 建設省道路局：平成8年度道路防災総点検要領[地震]，1996.8