

鉄筋コンクリート床版補修工法の選定条件に対する一対比較法による重みづけの方法

関西大学工学部 正会員 三上市藏
 ㈱東洋情報システム 正会員 ○田中成典

1. まえがき 著者らは、鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版）における維持管理に関するエキスパート・システム（以下、ES）を構築する努力をしてきた。¹⁾²⁾ それらは、RC床版の経過年数を考慮した損傷度を判定し、補修工法を選定するES¹⁾と、損傷要因の推定に関するES²⁾である。以上の研究によって、ESは着実に実用化に向けて改良された。しかし、まだ発展の余地や開発すべきテクニックが種々残っている。文献1)では、工法選定条件³⁾の重みづけをESの使用者である技術者に要求したが、初中級技術者には重みづけが困難であることが多い。本研究では、一対比較法(Method of Paired Comparison: 以下、MPC)⁴⁾と階層分析法(Analytic Hierarchy Process: 以下、AHP)⁵⁾を適用して、工法選定条件の重みを決定する方法を試みた。

2. MPCとAHPの比較 本研究では、工法選定条件の評価項目として、「(a)耐荷力増加を望む」、「(b)可能な交通規制の程度」、「(c)施工性が良い工法を望む」、「(d)経済性が良い工法を望む」、「(e)美観を重んじる」がある。これらの評価項目間の重みを決定する上で、MPCとAHPの比較を表-1に示す。両方法は、特定の基準からみた価値の程度を定めるのは困難であるが、二つのものを見比べて比較判断を下すことは、容易であることに注目した方法である。n個の対象を比較評価しなければならないときは、n個の対象の任意の2個につき、広義の比較吟味を評価者に行わせる。可能な比較対の数は $nC_2 = n(n-1)/2$ であるから、nが少し大きくなるとかなりの数になり、実施に多大な時間を要するので、通常、3~12個の対象を用いる。

3. MPCの適用 MPCの適用過程を表-2~4に示す。まず、一人一回のアンケート調査を行う。今、評価者24名の場合に、表-2の集計が得られたとしよう。ここに、第1行第2列の度数11は、「(a)耐荷力増加を望む」よりも「(b)可能な交通規制の程度」を「より重要」と判断した評価者が11名存在したことを示している。主対角に関して対称な位置の度数の和は、評価者数に等しくなる。

表-2の度数を評価者数で割って無次元化を図ると、比率が表-3のように求まる。主対角上の比較対は、同一評価項目を比較したことになり、「より重要」と「非重要」が半々になると考え、比率は0.500とする。ここで、平均値が0、標準偏差が1であるような標準正規分布 $N(0, 1)$ を考える。パーセント点uに対する下側確率Pを表-3に対して求めると、表-4のようになる。

表-1 MPCとAHPの比較

	MPC	AHP
①比較の方法	二つのものを見比べてどちらかを選ぶ	二つのものを見比べて見比べる
②評価者数	多数	一人
③評価者レベル	平均的レベルの専門家	ハイレベルの専門家
④経済性	時間とコストに敏感有り	時間や停業可能でコストが安価
⑤特徴	多数の専門家の意見が反映される	一人の専門家の価値観が反映される
⑥統計処理法	標準正規分布を用いる	固有値と固有ベクトルを用いる
⑦適合度	Hosellerの方法で適合度を検討する	適合度と整合比から信頼度を検討する
⑧適用分野	社会心理学的アプローチ	工学的アプローチ
⑨実用性	専門委員会のある重要決定に向く	小規模な決定に向く

表-2 一対比較判断による度数 (対象: 24名)

	(a) 耐荷力増加を望む	(b) 可能な交通規制の程度	(c) 施工性が良い工法を望む	(d) 経済性が良い工法を望む	(e) 美観を重んじる
より重要 非重要					
(a) 耐荷力増加を望む		11	9	5	8
(b) 可能な交通規制の程度	13		10	5	8
(c) 施工性が良い工法を望む	15	14		8	10
(d) 経済性が良い工法を望む	19	19	16		14
(e) 美観を重んじる	16	16	11	10	

表-3 度数から得られる比率

	(a) 耐荷力増加を望む	(b) 可能な交通規制の程度	(c) 施工性が良い工法を望む	(d) 経済性が良い工法を望む	(e) 美観を重んじる
より重要 非重要					
(a) 耐荷力増加を望む	0.500	0.458	0.375	0.208	0.333
(b) 可能な交通規制の程度	0.542	0.500	0.417	0.208	0.333
(c) 施工性が良い工法を望む	0.625	0.583	0.500	0.333	0.542
(d) 経済性が良い工法を望む	0.792	0.792	0.667	0.500	0.583
(e) 美観を重んじる	0.667	0.667	0.458	0.417	0.500

Ichizou MIKAMI, Shigenori TANAKA

表-4の各列の和を求めると、(A)合計のようになる。これを工法選定条件の評価項目数5で割り、平均を求めると、(B)平均のようになる。ここで、各列の平均値から負の値を除くために、最小値を0にする。表-4の場合、「(d)経済性が良い工法を望む」の列の平均-0.453が最小値なので、この値の絶対値を各列の平均値に加えると、(C)のようになる。これが、工法選定条件の重みで、最小値が0の値として算出される。

4. AHPの適用 AHPの適用過程を表-5、6に示す。一人一回、評価項目の比較対の重要度を一対比較させる。評価項目間の一対比較値を表-5のように得られたとしよう。ここに、第1行第2列の比較値1/2は、「(a)耐荷力増加を望む」よりも「(b)可能な交通規制の程度」を1/2「より重要」と判断したことを示している。対称な位置の比較値は、積が「1」に等しくなる。表-6の一対比較値を一対比較行列Aとする。主対角上の比較対は、同一評価項目を比較したことになり、「より重要」と「非重要」が半々になると考え、比較値は1とする。

次に、表-6の各列の幾何平均を取り、その横計「7.319544」で(A)幾何平均を割ると、(B)重みのようになる。これを初期ベクトルとして、行列Aに対して、べき乗法(Power Method)を適用し、最大固有値 λ_{max} と最大固有ベクトル v を求める。この最大固有ベクトルを、(C)最終重みとする。これが、工法選定条件の重みで、その横計は「1」になる。

5. システム MPCとAHPを適用した推論システムを構築した。二つのシステムは、エキスパート・シェルBRAINSと言語 UTILisp, FORTRAN 77を用いて構築した。MPCのシステムは、全アンケート結果が標準正規分布をなすという仮定から、算出される重みに、適合度を検討していない。しかし、AHPのシステムは、一人の評価者のアンケート結果がそのまま価値観として反映されるため、信頼性の検証を行った。両システムは、時と場合によれば、容易に専門家の知識を導き、数量として知識の優先順位を付けることが可能であることが分かる。

近年、ESのための知識を引き出すことに重点が移りつつある。今まで、KE(Knowledge Engineer)とされている人々がESを構築してきたが、知識の受け渡しに満足になされないことが多い。そこで、今回構築した両システムは、十分に威力を発揮するものと考え、なお、システムの実行例は講演当日に譲る。

表-4 標準正規分布のパーセント点と評価項目の重み

より重要 非重要	(a) 耐荷力増加を望む	(b) 可能な交通規制の程度	(c) 施工性が良い工法を望む	(d) 経済性が良い工法を望む	(e) 美観を重んじる
(a) 耐荷力増加を望む	0.000	-0.105	-0.319	-0.812	-0.431
(b) 可能な交通規制の程度	0.105	0.000	-0.210	-0.812	-0.431
(c) 施工性が良い工法を望む	0.319	0.210	0.000	-0.431	0.105
(d) 経済性が良い工法を望む	0.812	0.812	0.431	0.000	0.210
(e) 美観を重んじる	0.431	0.431	-0.105	-0.210	0.000
(A) 合計	1.666	1.349	-0.203	-2.266	-0.546
(B) 平均	0.333	0.270	-0.041	-0.453	-0.109
(C) 平均+0.452	0.786	0.723	0.412	0.000	0.344

表-5 評価項目間の一対比較値

より重要 非重要	(a) 耐荷力増加を望む	(b) 可能な交通規制の程度	(c) 施工性が良い工法を望む	(d) 経済性が良い工法を望む	(e) 美観を重んじる
(a) 耐荷力増加を望む		1/2	1/5	1/9	1/6
(b) 可能な交通規制の程度	2		1/3	1/7	1/4
(c) 施工性が良い工法を望む	5	3		1/3	1/2
(d) 経済性が良い工法を望む	9	7	3		3
(e) 美観を重んじる	6	4	2	1/3	

表-6 一対比較行列と重みの算出

より重要 非重要	(a) 耐荷力増加を望む	(b) 可能な交通規制の程度	(c) 施工性が良い工法を望む	(d) 経済性が良い工法を望む	(e) 美観を重んじる
(a) 耐荷力増加を望む	1	1/2	1/5	1/9	1/6
(b) 可能な交通規制の程度	2	1	1/3	1/7	1/4
(c) 施工性が良い工法を望む	5	3	1	1/3	1/2
(d) 経済性が良い工法を望む	9	7	3	1	3
(e) 美観を重んじる	6	4	2	1/3	1
(A) 幾何平均	3.519482	2.111786	0.832553	0.281374	0.574349
(B) 重み ((A)/(Aの横計))	0.480834	0.288513	0.113744	0.038441	0.078468
(C) 最終重み	0.481145	0.288430	0.114110	0.038827	0.079489
(D) 備考	$\lambda_{max} = 5.09383$, C.I. = 0.023457, C.R. = 0.02944				

参考文献 1) 三上・田中・安藤・小森：電算機利用に関するシンポジウム，'87.10. 2) 三上・松井・田中・新内：構造工学論文集，'88.3. 3) 土木学会関西支部：既存橋梁の耐荷力と耐久性，'85.7. 4) 心理学実験指導研究会編：実験とテスト-心理学の基礎-，'68. 5) 刀根薫：ゲーム感覚意思決定法，日科技連，'86.