

I-31 既存橋梁の最適補修項目の選定に関する研究

愛媛大学工学部 正員 谷脇一弘,
○広島県警 井上元章,

愛媛大学工学部 正員 大賀水田生
ZYCC(株) 米田孝行

1. はじめに

近年、構造物の建設の時代から維持管理への時代へと移行し、既存の橋梁についてもその耐用年数に近づき老朽化した橋梁が多く存在するようになってきており、これらの既存の橋梁について適切な維持管理対策により、限られた予算を最大限に活用して効率的かつ経済的な補修を行うことが要求されてきている。そこで本研究では、まず現地調査により得られた損傷状況より専門技術者に対して実施したアンケート結果、ニューラルネットワークおよび実験計画法を用いて導入した橋梁の危険度評価式を目的関数として考慮することにより橋梁の最適補修項目の選定を行うことができるシステムを開発し、その有用性および能率性について検討を行ったものである。

2. 既存橋梁の最適補修項目の選定問題およびその解法

本研究では、最適補修項目の選定問題を橋梁の補修予算 $\bar{C}$ のもとで、鋼橋の重要度 W_s を考慮した危険度評価関数 f_s およびコンクリート橋の重要度 W_c を考慮した危険度評価関数 f_c の和を最小とする補修項目を選定する問題として定式化した。すなわち、

$$\text{Find } \mathbf{X}_s, \mathbf{X}_c, \text{ which } \text{minimize } F(\mathbf{X}_s, \mathbf{X}_c) = \sum_{i=1}^n W_{si} f_{si}(\mathbf{E}_s) + \sum_{i=1}^m W_{ci} f_{ci}(\mathbf{E}_c) \quad (1)$$

$$\text{subject to } C(\mathbf{X}_s, \mathbf{X}_c) \leq \bar{C} \quad (2) \quad \text{ここに, } X_{si} \in \{0,1\} \ (i=1,\dots,n), \ X_{ci} \in \{0,1\} \ (i=1,\dots,m)$$

ここに、 $\mathbf{X}_s$ 、 $\mathbf{X}_c$ は鋼橋及びコンクリート橋の補修項目の決定変数であり、補修する場合0、補修しない場合1の離散値となる。 n 、 m はそれぞれ損傷した鋼橋及びコンクリート橋の数である。 $\mathbf{E}_s$ 、 $\mathbf{E}_c$ はそれぞれニューラルネットワークにより決定した鋼橋10パーツおよびコンクリート橋9パーツの損傷度を示す。

上記の0-1計画問題の解法としてこれまでに、遺伝的アルゴリズムを適用し、その有効性が明らかにされているが、本研究では、目的関数が陽な関数として表されているため感度係数が容易に求まること、解の信頼性が高いことより分枝限定法を用いることとした。分枝限定法により、多大な数の変数を考慮して離散最適化を行う場合には、解くべき部分最適化問題の数をいかにして減少させるかが重要な問題となる。そこで本研究では、下記の二段階の分枝限定法のアルゴリズムを用いることにより、解くべき問題数を削減し、効率的かつ正確に解が得られるようにした。すなわち、第一段階として分枝操作により得られた一対の部分最適化問題を解き、その目的関数が小さくなる方にのみ着目して分枝操作を行い最終的な離散解を先行して求める。次に第二段階では初期値として第一段階において得られた離散解を用い、第一段階により得られた離散解を限定操作のしきい値として考慮し、その部分最適化問題の解がしきい値より大きくなる場合には分枝操作を中止し、しきい値より小さくなるすべての問題について分枝操作を行うことにより、正確な最適解を求めている。次に述べる計算例においては、最適解はすべて第一段階の分枝操作により得られた結果となったことより、上で述べた二段階の分枝限定法はきわめて有効な方法であることが明らかとなった。

3. 最適補修項目の選定例および考察

本研究の計算例では、表-1に示すように損傷している橋梁として鋼橋100橋(ST1~ST100)、コンクリート橋100橋(CN1~CN100)を考慮し、1橋あたり5パーツ程度の補修が必要と仮定し、総補修パーツの数を1000個、すなわち補修決定変数の数を1000個、総補修費用97億7123万円の内、補修予算を10億円と仮定した。鋼橋では、橋長31m~145.7mの単純および連続鉄桁を想定し、コンクリート橋では、橋長13.5m~

99mの単純 RC 床版橋を想定している。本研究では、橋梁の重要度を考慮せずすべての重み W_s , W_c を 1.0 とした場合および鋼橋及びコンクリート橋ともに 60～80 番目の橋梁の重要度をその他の橋梁の 3 倍とした場合について検討を行った。

橋梁の重要度を考慮しない場合、最適補修項目選定の結果による橋梁全体の危険度の変化を図-1 に示す。この問題では、第一段階の分枝限定法において 122 個の最適化問題を解き離散解を決定した後、第二段階で分枝操作により作成されたすべての最適化問題を解き最適解を決定した結果、最終的に第一段階で得られた解が最適解となった。この場合の補修費用は予算の 10 億円と等しくなっており、鋼橋、コンクリート橋を合計した全危険度は 519.9155 から 398.1171 へと減少し補修予算内で危険度を最小にさせる補修項目が選定されている。選定された補修項目に着目すると、主桁や床版の補修費は比較的高く設定されているため、選定された橋梁は橋長の短い橋や幅員の狭い橋に限られているが、比較的補修費が安価な橋梁の安価な単位補修費当たりの危険度の減少度が大きい二次部材、地

覆および伸縮装置は全般に優先的に選定されている傾向を示している。重要度を考慮した場合の橋梁全体の危険度の変化を図-2 に示す。この計算例でも、最終的に第一段階で 84 個の最適化問題を解き得られた解が最適解となった。使用した補修費用は予算の 10 億円と等しくなっており、全危険度は 410.1800 となり、重要度を考慮しない場合と比較して全危険度は改善されていないが、重要度を大きくした鋼橋およびコンクリート橋の 60～80 橋目は優先的に補修項目が選定され、橋梁の危険度評価の値は重要度を考慮しない場合よりも大幅に減少している。それ以外の橋梁については、鋼橋の 4, 28 橋目やコンクリート橋の 36, 53, 81 橋目のように明らかなごとく、重要度が高い橋梁に補修予算を優先的に使用したため補修予算の不足により、橋梁の危険度評価が重要度を考慮しない場合ほど改善されない結果となった。

4. まとめ

専門技術者に対するアンケート結果及び実験計画法により導入した橋梁の危険度評価式を目的関数として考慮した最適補修項目選定問題を、二段階の分枝限定法を用いて解くことにより、予算内で正確にかつ能率的に最適な補修項目を選定できることが明らかとなった。

表-1 設定した鋼橋とコンクリート橋の損傷度、補修費用

	主桁	床版	二次部材	橋脚	支床	落橋防止	高欄	地覆	伸縮装置	舗装	危険度(F) 費用(C)	橋長(m)	幅員(m)	
	E _{s1}	E _{s2}	E _{s3}	E _{s4}	E _{s5}	E _{s6}	E _{s7}	E _{s8}	E _{s9}	E _{s10}				
ST-1	損傷度	1.63	4.12	1	1	1.95	3.41	3.19	1	1	2.84	55	10	
	費用(千円)	17775	55000			9000	4500	1444			87719			
ST-2	損傷度	1	2.11	3.74	1	1	1.29	1.83	1.29	1	2.25	52	11	
	費用(千円)		26600	1575			455	260	1238		32128			
⋮														
ST-100	損傷度	1.98	2.56	1.82	2.73	1	1	1	2.58	2.08	4.35	3.34	145.7	8
	費用(千円)	7200	43710	1500	8400				1457	2700	3497	68464		
CN-1	損傷度	1	2.2		2.23	3.13	1	1	1	2.77	1.65	2.5	49.5	10.9
	費用(千円)		28978		4200	4000				1226	405	36809		
CN-2	損傷度	4.65	3.4		1	1	1	1	2.66	2.68	1	3.65	40.8	11.12
	費用(千円)	18148	34027						1632	1251		55058		
⋮														
CN-100	損傷度	1	1.55		2.08	3.63	2.38	1	2.29	3.12	1	2.68	63	10
	費用(千円)		15750		4200	6000	4000		2520	1125		33595		

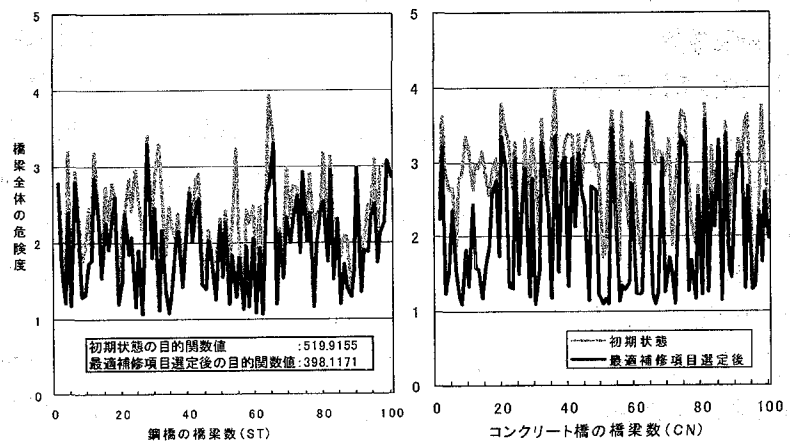


図-1 重要度を考慮しない場合の橋梁全体の危険度の変化

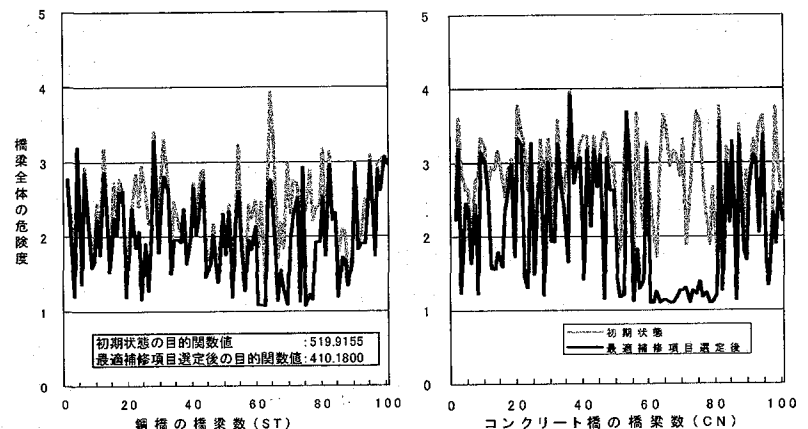


図-2 重要度を考慮する場合の橋梁全体の危険度の変化