

故障モード影響解析(FMEA)を用いた橋梁健全度評価手法の開発

京都大学大学院工学研究科	学生員	○八木康仁
京都大学大学院工学研究科	正会員	杉浦邦征
京都大学大学院工学研究科	正会員	大島義信
京都大学大学院工学研究科	正会員	小野統一
(株)ニュージエック	正会員	陵城成樹

1. はじめに

高度成長期に建設された多くの橋梁において部材の損傷や劣化が問題となっており、橋梁の補修、補強を効率よく行うため全体の健全度を適切に評価することが重要である。既に様々な橋梁の健全度評価手法が提案されてきているが、部材の重要度の定義に検討の余地がある^[1]。そこで、本研究では故障モード影響解析(FMEA)を用いた橋梁健全度評価手法の提案を行う。

2. 橋梁における FMEA (Failure mode and effect analysis)

FMEAとは、複数の技術者のディスカッションによりシステムの潜在的な故障を峻別するというブレインストーミングの手法である^[2]。本研究では数値解析を併用して故障の重要度を算定する。今回は 7 径間連続の鋼桁ゲルバー橋の端吊桁においてFMEAを適用した。以下にその手順を示す。

1) 橋梁の任務の確認と機能の定義

まず、橋梁の任務と機能を定義する。橋梁の任務は、車両や人を安全かつ快適に通行させることにある。そして、橋梁の要求性能として本研究では耐荷性を想定する。

2) 橋梁システムの細分化

次に、耐荷機能に着目して、橋梁システムを構成品に分解し、そして構成品を部品へと分解する。その結果を信頼性ブロック図として図 1 に示す。

3) 故障モードの列挙と影響度の評価

次に、構成品において起こりうる故障モードを列挙し、橋梁機能への影響度を 1~4 の 4 段階で評価する。ここでは、故障モードを構成品の機能の喪失と定義し、損傷モードを部品の機能喪失と定義している。本研究では故障モードとして床版構造の崩壊、主桁構造の崩壊、主桁端部の亀裂を想定している。いずれの故障モードも橋梁機能に対して最大の影響を及ぼすため、それぞれの故障モードにおいて影響度は 4 とした。

4) 損傷モードの列挙

起こりうる故障モードが確定した後、故障モードにかかわる損傷モードを列挙する。本研究では主桁端部の亀裂にかかわる損傷モードとして支承の拘束を想定する。健全時には橋軸方向の変位と橋軸直角方向を軸とする回転以外の自由度を拘束し、損傷時は全ての自由度について拘束を行う。モデル橋梁には主桁が 4 つ存在するので支承も 4 つ存在する。よって、それぞれの支承における損傷の組合せも損傷モードとして想定する。対称性を考慮した損傷モードの組合せを表 1 に示す。

5) 損傷モードの寄与度の評価

支承の損傷が桁端部の亀裂にどの程度寄与するのかを決定する必要がある。そこで本研究では数値解析上で支承

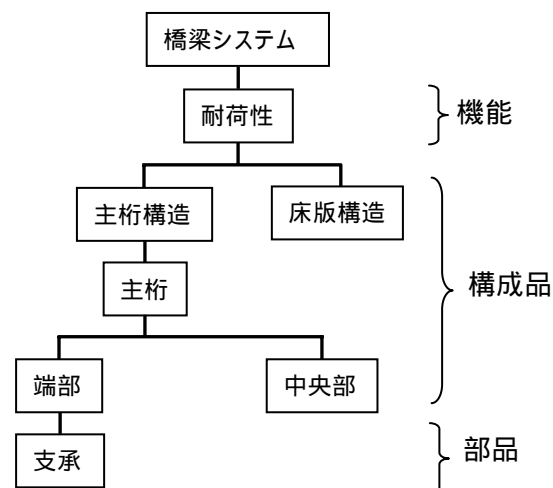


図 1 信頼性ブロック図

表 1 支承に係わる損傷モード

モード番号	G1	G2	G3	G4
1	拘束	拘束	拘束	拘束
2	拘束	自由	自由	自由
3	自由	拘束	自由	自由

キーワード: FMEA, 故障モード, 損傷モード

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科 TEL 075-753-4791

の損傷により桁端部に発生する応力の変化率を寄与度と定義する。まず損傷による応力変化を健全時の許容値に対する余裕度で割ることで変化率 Δ を定義する。

$$\Delta = \frac{\sigma_d - \sigma_0}{f_s - \sigma_0} \quad (\sigma_d: \text{損傷時の応力}, \sigma_0: \text{健全時の応力}, f_s: \text{応力の許容値})$$

この変化率に応じ

て表2に示すように寄与度を決定する。解析モデルを図2に、解析条件を表3に示す。数値解析の結果、局所的に発生する変化率

表3 解析の条件

	コンクリート	鉄
単位体積質量	2.3g/cm ³	7.85g/cm ³
弾性係数	20kN/mm ²	200kN/mm ²
ポアソン比	0.3	0.3
荷重	L 荷重 (B 活荷重)	
応力の許容値	140N/mm ²	

表2 損傷モードの寄与度

寄与度	0	1	2	3	4
Δ	0	0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.7	0.7~

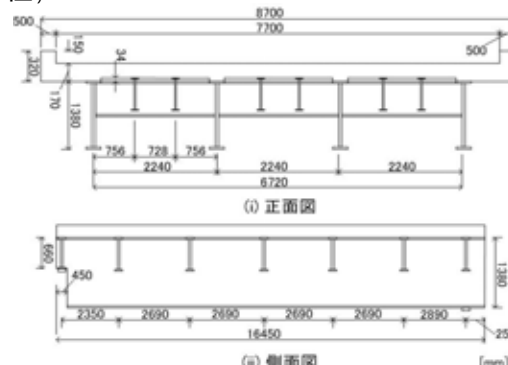


図2 解析モデル

の最大値はそれぞれモード1では1.59、モード2では0.66、モード3では1.43となった。

6) 損傷モードの致命度の算定

次に損傷の頻度、点検の難易度、補修の難易度を決める必要があるが、これらも4段階とする。今回の支承の損傷についてはそれぞれレベル3であるとする。最終的に、これらの諸量と故障モードの影響度を掛け

表4 損傷モードの致命度

損傷モード	故障モード 影響度	損傷モード 寄与度	発生頻度	点検の 難易度	補修の 難易度	致命度
1	4	4	3	3	3	432
2	4	3	3	3	3	324
3	4	4	3	3	3	432

合せ、損傷の致命度とする。結果を表4に示す。同様に他の損傷モードについても致命度を求めることで、潜在的な損傷の致命度と順位を求めることができる。ただし今回の検討では他のモードについての検討は行っていない。

7) 橋梁全体の致命度の評価

実際の健全度評価では、まず点検等により実際に発生している損傷モードを選定する。次に、各部品において実際に発生した損傷モードの致命度をすべての部品について合計した値をSとし、それを各部品における損傷モードの致命度の最大値の総和 S_M で割った値を橋梁全体の致命度とする。例えば点検の結果、G1 桁の支承に不具合が発見されたとすると、この場合の損傷モードの致命度は324である。また、支承の損傷モードの致命度の最大値は432である。このとき、例えば支承以外の損傷モードの致命度の合計が1000であったとすれば、 $S=1324$ となる。これに対し、支承以外の損傷モードの致命度の最大値の合計が3000であったとすると、 $S_M=3432$ となる。よって、橋梁全体の致命度は $S/S_M=1324/3432=0.39$ と計算することができる。ただし、今回はこの評価が妥当であることを検討していないため、今後他の評価法と比較して検証する必要がある。

4. 結論

以上より、故障モード影響解析(FMEA)を用いて故障モード、損傷モードを列挙することにより、点数化を行うことが可能であることが分かった。しかし、数値モデル上において細部の応力をより正確に評価する必要がある。また実際にはより多くの橋梁機能、構成品、部品が存在するため、今後より多くの損傷モードについての検討を行い、また、数値モデルについても局所モデルを併用してより忠実に実際の橋梁を再現する必要がある。

[参考文献]

- [1] 大島俊之他: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(675), 201-207, 2001
- [2] 鈴木順二郎他:FMEA・FTA実践法,日科技連出版社,2002.
- [3] 社団法人 日本道路協会編,“道路橋示方書(I 共通編・II 鋼橋編)・同解説”,日本道路協会,2002