

機能損失確率による橋梁全体系の耐震性評価に関する基礎的研究

山口大学大学院 学生員○中山英志 (株) 鴻池組 正会員 金好昭彦
山口大学工学部 正会員 中村秀明 山口大学工学部 正会員 宮本文穂

1. はじめに

近年橋梁の耐震設計法の見直しが行われ、橋梁全体系で耐震性を評価する必要性が述べられてきている。この評価手法の確立を目的として本研究では耐震設計法の検討項目の1つである橋梁全体系としての耐震性評価の実現を目的とし、FTAを適用することにより従来の研究¹⁾から得られた“損傷状態確率”を用いて橋梁全体系の耐震性を定量化し、その数値をもとに耐震性の評価を行う。

2. 橋梁の機能²⁾

橋梁はその道路種別および機能、構造に応じて2種類に区別される。

- ・“A種の橋”…重要度が標準的な橋
- ・“B種の橋”…特に重要度が高い橋

また、地震動もその発生確率および強度の大きさにより2種類に区別される。目標とする耐震性

はこれらの組み合わせに応じて3つの目標が定められている。表-1にその詳細を示す。

ここで、“健全性を損なわない”とは構成部位部材が降伏状態を越えるような損傷が生じないこと，“致命的な被害を防止する”とは、主要構成部位部材が落橋（下部工の崩壊・倒壊によるそれを含む。）を生じる状態の手前にあること，“限定された損傷にとどめる”とは、橋梁としての機能回復を速やかに行うために先に述べた“致命的な被害を防止する”の主要構成部位部材の状態よりもさらに余裕を持った状態であることを示す。これらの点に着目し、橋梁全体系で耐震性を評価する。

3. FTA³⁾

FTAとは、与えられた望ましくない事象（Top事象）の生起を招くような様々なシステム状態（故障）を同定し、その原因となる事象を下位のレベルに向けて展開し、その展開された要素（故障事象または基礎事象）の因果関係によりシステム全体の故障を解析する手法である。

FTAではある事象に対する従属事象を和（ORゲート）または積（ANDゲート）などの論理関係を用いて結合することにより故障樹木を作成する。この故障樹木をもとに各事象の生起する確率を統合していくことで、システム全体の機能損失

（Top事象）確率を定量的に算定することができる。FTAでは各論理記号に対して、その下位の事象の生起確率を統合する計算規則が定められている。その規則を図-1に示す。

4. 本研究における故障樹木

本研究では橋梁の果たすべき機能に着目し3つの故障樹木を作成する。Top事象を危険度A、危険度B、危険度Cとし、これらの各危険度の定義を以下に示す。

表-1 耐震設計で考慮する地震動と目標とする橋の耐震性²⁾

耐震設計で考慮する地震動	目標とする橋の耐震性	
	A種の橋	B種の橋
橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動	健全性を損なわない	
橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動	致命的な被害を防止する。	限定された損傷にとどめる。

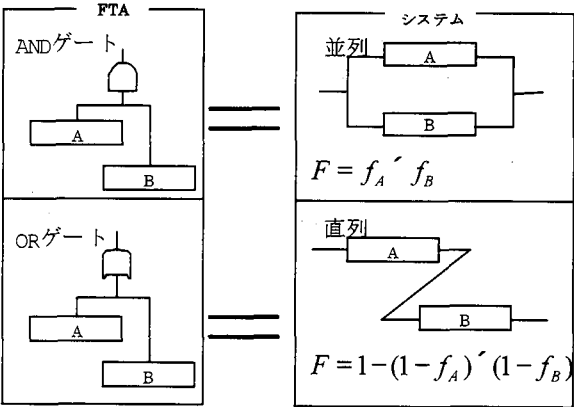


図-1 論理記号の系統的観点

危険度 A…“致命的被害”に対する機能損失を下部工の崩壊、倒壊または大変形などにより桁の落橋が発生することから生じる全車両が通行不可の状態

危険度 B…“限定された損傷“以上の損傷により与えられる機能損失。仮受等応急処置による制限付き車両通行が可能な損傷状態

危険度 C…“健全性を損なわない“程度で車両の通行が可能な損傷状態。

また、故障樹木を構成する要素は各構成部位部材の損傷状態であり、機能損失確率の算出には入力として損傷状態確率を用いる。

5. 適用

作成された故障樹木を危険度 A, B, C それぞれについて図-2 に示す。従来の研究¹⁾で対象とした3パターンの橋脚についてまた、耐震対策（橋脚曲げ補強の適用、免震支承の適用、両案の併用）を導入した場合の算出された機能損失確率のグラフを図-3 に示す。このグラフによりその橋梁の耐震性の評価を行った。図-3 によると以下の共通点がみられる。

- ① P-1, P-2 橋脚は耐震対策として検討した中で橋脚補強が最も適している。
- ② P-3 橋脚は免震支承およびヒューズ効果を有する支承の使用によりその耐震性を向上することができる。
- ③ P-3 橋脚は無対策でも比較的良好な耐震性を有している。

各橋脚はその特徴として P-1 を基準とみると、P-2 は同じ高さの橋脚で太さのある橋脚であり、P-3 は同じ太さで高い橋脚であり、ことから上述した共通点は以下のように言い換えられる。

- ① P-1 橋脚程度の高さを持つ橋梁はその耐震対策として橋脚補強が適している。
- ② P-3 橋脚程度の高さを持つ橋梁に適する耐震対策は免震およびヒューズ効果を持つ支承の適用が望ましい。
- ③ P-3 程度の高さの橋脚を持つ橋梁は無対策でも“A種の橋”に求められるほどの耐震性を保有している。

6. まとめ

本研究では、今日の耐震性の評価に適するように FTA による機能別の損失確率を算出し、その確率により対象橋梁の耐震性評価を行った。

本研究により得られた成果と課題を以下に示す。

- ① FTA を用いて故障樹木を作成することにより、橋梁全体での耐震性向上評価が量的に行えるようになった。橋梁の復旧にかかるコスト（時間、費用）と関連づけることにより、最適損傷配分について検討が行えるものと思われる。

- ② 部位部材数を増やして機能損失確率の推移をスムーズに表現する必要がある。

参考文献

- 1) 金好昭彦, 宮本文穂, 古家武士, 中島 募: 橋梁構造システムの耐震性能評価に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.613/V-42, 1999.2
- 2) (社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 1996.12
- 3) 藤野陽三, 黒田勝彦, 亀田弘行, 伊藤 學 共訳: 土木・建築のための確率統計の応用, 丸善, 1988.1

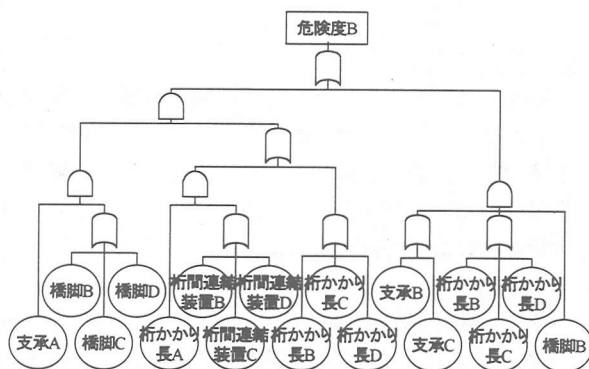


図-2 危険度 B の故障樹木（橋軸方向）

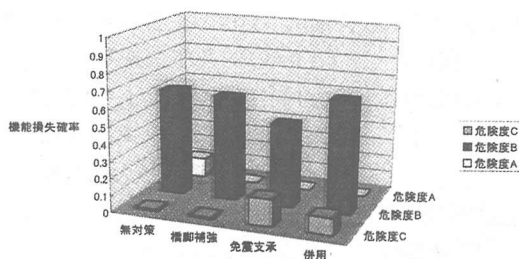


図-3 各危険度に対する機能損失確率（P-3 橋脚）