

## 鉄道構造物における危機耐性の定量評価法の提案(その2 危機耐性の試算例)

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 田中 浩平 豊岡 亮洋 坂井 公俊 室野 剛隆  
 中央復建コンサルタンツ株式会社 正会員 ○青田 周平 今村 年成  
 埼玉大学 正会員 齊藤 正人

### 1. はじめに

鉄道構造物における危機耐性の定量評価法について、その1では基本概念の説明を行った。その2では、はじめに、性能指標の達成度  $r_j$  の評価事例として、冗長性  $r_1$  と周辺空間の確保  $r_3$  の評価結果を示す。続いて、RC ラーメン高架橋を対象に危機耐性の試算を行い、建設地点の周辺条件や対策の有無に応じた危機耐性の変化を考察した。

### 2. 性能指標の達成度 $r_j$ の評価例

(1) 冗長性  $r_1$  通常の耐震設計では、柱などの主要部材の1つが終局となった場合を構造全体の終局限界とする。しかし、実際にはラーメン高架橋のような複数柱の構造物では、1部材の破壊と構造全体の破壊は必ずしも同時でない。これを構造体の冗長性と捉えて定量評価する。具体的には、ラーメン高架橋から柱部材が順次損傷する状況を部材の消失で表現し、この部材消失モデル(図1)に水平方向の静的非線形解析を行う。得られた損傷過程から除去した柱本数  $\alpha$  と耐力の関係を整理し、構造全体の破壊とみならず耐力から構造が成立する範囲で最大限除去できる柱本数を把握する。これと全ての柱本数の比を冗長性の達成度  $r_1$  とする。本検討では、設計計算例のラーメン高架橋(柱本数6)<sup>1)</sup>を基本モデルとし、部材消失モデル62パターンに対して静的非線形解析を実施した結果を示す。

解析結果について説明する。柱消失2本以下では全ケースで解析が実行できたが、3本では一部のケース、4本では全ケースで解析が不安定化した。消失した柱本数が1, 2, 3本の場合の荷重～変位曲線を図2に示す。図右端に、各ケースで最も耐力が高い骨格曲線を示しているが、消失本数が多くなるとこの耐力が低下することがわかる。

図2の解析結果から、各ケースの耐力(震度)を基本モデルの耐力(0.91)で割ったものを耐力比  $\gamma$  として評価し、これと除去した柱本数  $\alpha$  の関係を整理したものを図3に示す。この図において柱本数の減少に伴う水平耐力の低下が把握でき、冗長性が高い構造は  $\alpha$  の増加に伴う  $\gamma$  の低下度が低くなると推察される。本検討では、本震で柱が損傷しても、その後の余震に対して初期構造の0.5倍以上の耐力を確保することを要件とし、消失しても構造が成立する柱本数は多くとも2本までと判断した。この結果から、本高架橋の達成度  $r_1$  は、 $r_1=2/6=0.33$  となった。

(2) 周辺空間の確保  $r_3$  達成度  $r_3$  は、地震時に構造物が崩壊するという前提で、これが周辺に与える影響に応じて評価する。「幹線道路が封鎖される」観点からは図4に示す状況が想定される。まず、周辺に幹線道路が存在するが対策をしていない場合には  $r_3=0.0$  となる。封鎖を防ぐ対策として落橋防止工や自重補償柱<sup>2)</sup>等があり、対策により達成度は上がる。落橋防止工は柱が損傷した場合に封鎖を防げないため、達成度をやや小さく設定した( $r_3=0.5$ )。

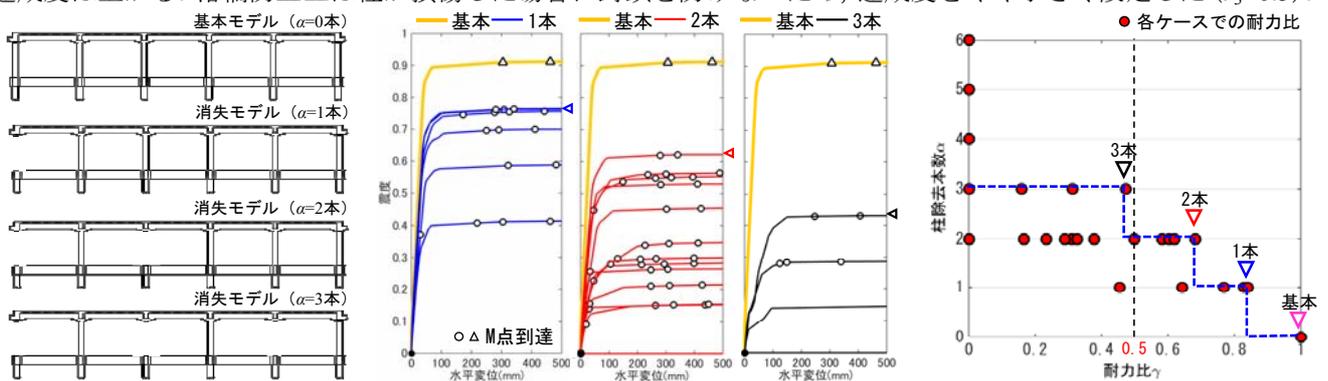


図1 部材消失モデルの概要

図2 部材消失モデルの静的非線形解析結果

図3 耐力比  $\gamma$  と除去本数  $\alpha$  の関係

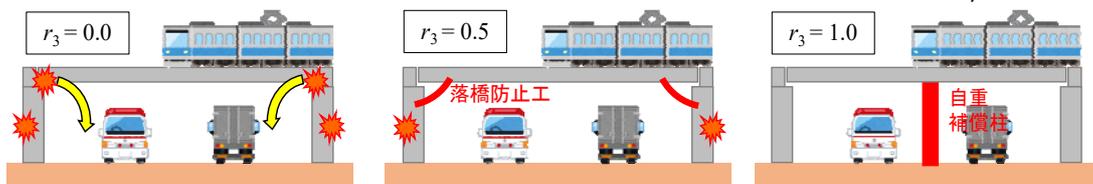


図4 周辺空間の確保に関する達成度の評価(主要幹線道路の封鎖の観点)

キーワード 危機耐性, 性能指標, 冗長性, 試算例, 自重補償機構

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2丁目8-38 TEL:042-573-7394

3. 危機耐性の試算例

提案手法を用いた鉄道構造物における危機耐性の試算例を示す。ここでは、首都圏の直線区間で建設された RC ラーメン高架橋（固有周期 0.5 秒）に対し、以下 3 つのケースを想定して評価を行った。

Case0：一般的な地点， Case1：幹線道路の交差点， Case2：幹線道路の交差点+対策（自重補償機構）<sup>2)</sup>

はじめに各性能指標の達成度  $r_j$  を評価した。評価結果を表 1、図 5 に示し、各指標の算定根拠を以下に列挙する。

- ・冗長性  $r_1$  は Case0, Case1 では 2. (1) から  $r_1=0.33$  となる。自重補償機構を備えた Case2 は、水平力を担保するいずれの柱が崩壊しても上部工は落下しないため  $r_1=1.00$  となる。ロバスト性  $r_2$  は冗長性と同じ達成度を設定した。
- ・周辺空間の確保  $r_3$  は、図 4 から未対策の Case1 では  $r_3=0.00$ ，自重補償機構がある Case2 では  $r_3=1.00$  となる。
- ・耐余震  $r_4$  と構造復旧性  $r_5$  の具体的な評価方法については紙面の都合上省略するが、全 Case で違いがない。

これらの達成度  $r_j$  から、起きてはならない事態の回避能力  $P_i$  を評価した（表 2）。回避能力は、図 6 に示すような Tree の各起因事象に重み付けし、頂上事象の重みを評価する。一例として、乗客の生死に関わる人的被害が発生する事態の回避能力を評価した結果を図 6 に示す。起因事象となる性能指標には、達成度を 1 から引いた重みを与える。その結果、達成度  $r_1=0.33$  の場合は回避能力  $P_1=0.16$ ，達成度  $r_1=1.00$  の場合は回避能力  $P_1=0.50$  となる。

最後に回避能力  $P_i$  と影響度  $C_i$  の積により危機耐性を評価した（表 2、図 7）。ここで、表 2 に示す各事態の影響度  $C_i$  はその 1 の図 1③で示した許容度の値を 100 から引くことによって評価している。Case1 は、一般的な地点 Case0 と比べて危機耐性が小さくなるが、自重補償機構等の対策により、Case2 では大きく上昇することが確認できる。また、この上昇理由は、道路封鎖や甚大な人的被害の発生に関する危機耐性の向上であることもわかる。

提案手法による危機耐性の試算を行い、これまで定性的に把握していた危機耐性の大きさを定量的に評価できていることを確認した。今後は試算例を増やして提案手法の妥当性を確認するとともに、各要素技術の高度化を行う。

参考文献 1) 鉄道総研，鉄道技術推進センター：鉄道構造物等設計標準・同解説 設計計算例 RC ラーメン高架橋（場所打ち杭），2017, 2) 西村,室野,本山,五十嵐：危機耐性を高める自重補償構造の提案と成立性,第18回性能シンポジウム論文集, pp. 299-304, 2015

表 1 各 Case における達成度の評価結果

性能指標	Case0	Case1-1	Case1-2
冗長性 $r_1$	0.33	0.33	1.00
ロバスト性 $r_2$	0.33	0.33	1.00
周辺空間の確保 $r_3$	1.00	0.00	1.00
耐余震 $r_4$	0.86	0.86	0.86
構造復旧性 $r_5$	0.37	0.37	0.37

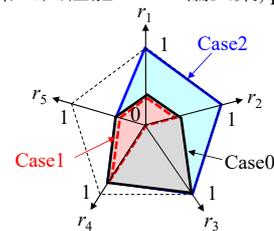


図 5 達成度のチャート図

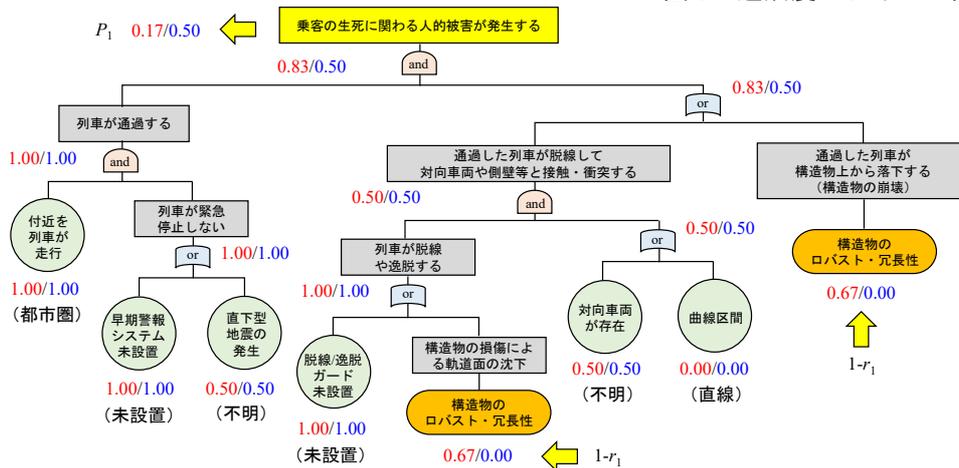


図 6 起きてはならない事態の回避能力の評価事例

表 2 回避能力  $P_i$  と危機耐性  $R$  の評価結果

事態	影響度 $C_i$	回避能力 $P_i$		
		Case0	Case1	Case2
例 I -1 生死に関わる人的被害	75	0.17	0.17	0.50
例 I -2 人的被害（負傷者）	41	0.00	0.00	0.00
例 II -2 幹線道路の封鎖	55	1.00	0.33	1.00
例 II -3 余震による被害	51	0.86	0.86	0.86
例 III -1 復旧の長期間化	35	0.37	0.37	0.37
危機耐性 $R$	-	109	75	134

生死に関わる人的被害 道路封鎖 余震 復旧

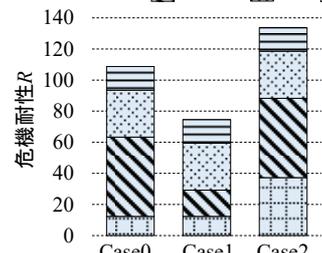


図 7 危機耐性の評価結果