

地震リスクと復旧日数を目的関数とした
既存 RC 橋梁システムの最適補強設計に関する基礎的研究

早稲田大学 学生会員 ○須田 郁慧, 熊崎 達郎, 西山 聡一郎
JFE シビル 正会員 塩田 啓介, 櫻井 有哉, 萩原 健一 早稲田大学 正会員 秋山 充良

1. はじめに

既存橋梁の耐震補強が進められている．例えば，緊急輸送道路にある RC 橋脚に関しては，せん断破壊や軸方向鉄筋の段落とし部の損傷を防ぐ耐震補強は完了しつつある¹⁾．一方で，仮にせん断破壊や段落し部の損傷を防いだとしても，補強後の RC 橋脚は，現行基準を満足する橋脚に比べて地震時保有耐力が十分ではなく，第二段階目の耐震補強を必要とする場合がある¹⁾．さらには，緊急輸送道路にない橋梁では，耐震補強が未着手の橋梁も多数存在している．耐震補強は限られた予算の中で実施されており，橋梁が置かれる地震ハザードの強弱，あるいは，対象橋梁の重要度などを勘案し，耐震補強の目標性能を定めることが合理的である．そこで，本研究では，地震リスクと復旧日数を考慮した最適補強設計フローを提示し，これを南海トラフ地震の影響を受ける地域にある橋梁に適用した．そして，地震リスクと期待復旧日数を最小化する耐震補強設計例を提示した．

2. 既存 RC 橋梁システムの最適補強設計フロー

提案する最適補強設計フローを図-1 に示す．まず，想定するシナリオ地震と解析対象都市を決定する．次に，候補となる耐震補強工法を選定する．地震リスクは，地震ハザードと脆弱性の評価により計算される．脆弱性解析では，動的解析により得られた RC 橋脚と杭基礎の応答値を庄司ら²⁾の検討を基に設定した表-1 に従って損傷度 A～D に分類し，脆弱性曲線を作成した．これと検討地点における地震動強度の確率密度関数を掛け合わせることで橋梁の各部材が各損傷度となる確率 $P_f(i)$ を算定できる．

地震リスク R と復旧日数の期待値 D は，以下の式(2.1)および式(2.2)により求められる．

$$R = \sum_{i=1}^N P_f(i) C_f(i) + C_R \tag{2.1}$$

$$D = \sum_{i=1}^N P_f(i) D_f(i) \tag{2.2}$$

ここに， $C_f(i)$ および $D_f(i)$ は着目する部材の損傷度 DS_i が ds_i となる場合の復旧コストおよび復旧日数， C_R は着目した部材における補強コストである．2つの指標を比較検討することで最適補強量を決定

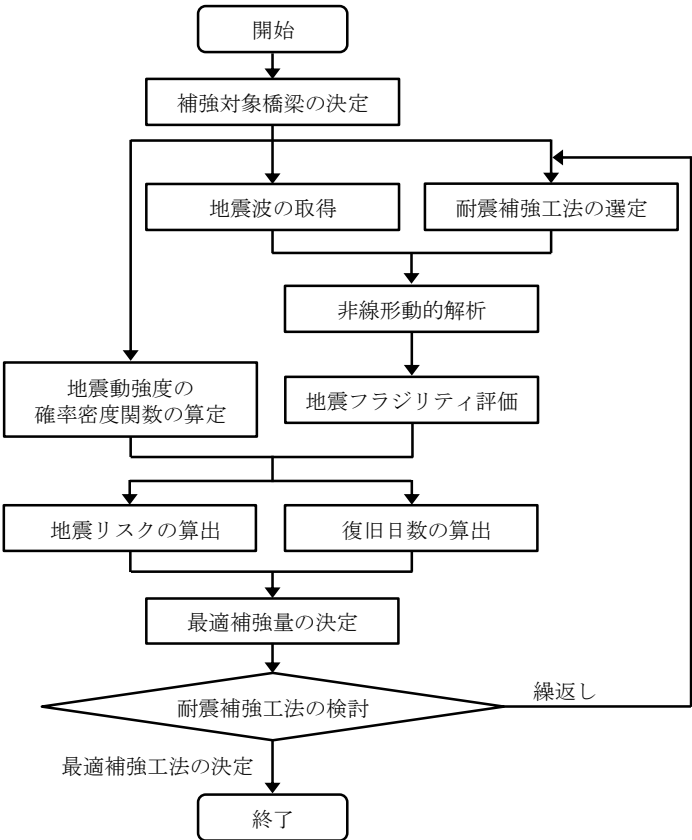


図-1 最適補強設計フロー

表-1 各損傷度における復旧コスト・復旧日数

損傷度		D	C	B	A
RC橋脚	塑性率	~2.0	2.0~4.0	4.0~6.0	6.0~
	復旧コスト(万円)	0	100	800	4000
	復旧日数(日)	0	3	21	77
杭基礎	塑性率	~0.9	0.9~1.5	1.5~3.5	3.5~
	復旧コスト(万円)	0	250	1700	2200
	復旧日数(日)	0	2	40	54

キーワード 既存 RC 橋梁システム，耐震補強，リスク評価，最適補強設計，南海トラフ地震

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学部社会環境工学科 TEL：03-5286-2694

する。最終的には、候補とした全ての耐震補強工法に以上のフローを繰り返し適用し、各工法により得られる地震リスクの低減効果と期待復旧日数を比較することで最適な耐震補強工法が同定される。

3. 解析対象地点と検討対象橋梁および解析モデル

想定するシナリオ地震は南海トラフ地震である。解析対象地点は、三重県尾鷲市と高知県黒潮町である。黒潮町は、南海トラフ地震により生じる強震動が大きいと予想されている。図-2 に検討対象橋梁の解析モデルを示す。昭和55年道路橋示方書以前に設計されたモデル橋梁³⁾を参考に橋脚の断面を決定している。P2橋脚はせん断破壊先行型である。杭基礎と橋脚には十分な耐力格差が設けられている。想定した地盤条件はⅡ種地盤である。本研究で想定した耐震補強工法は、せん断補強として鋼板巻立て(補強コスト:800万円)、曲げ・靱性補強として橋脚ダンパー工法⁴⁾(補強コスト:250万円/1基)である。入力地震動には参考文献5)が公開している地震波群を用いた。

4. 検討結果

検討結果を図-3と図-4に示す。図-3の地震リスクに注目すると、三重県尾鷲市に対象橋梁があると想定すると、地震ハザードが小さいため、少量の補強で耐震性能を満足させることができる。このため、せん断補強が最適補強工法として選択される。一方で、曲げ・靱性補強により復旧日数は小さくできる。重要度の高い橋梁を対象とする場合には、せん断補強に加えて、ダンパー4本を用いた曲げ・靱性補強を行うことも考えられる。黒潮町は、地震ハザードが厳しいため、せん断補強のみでは不十分であり、ダンパー4本を用いた耐震補強工法が最も地震リスクを小さくできる結果となった。なお、ダンパーの本数を増やしても、復旧日数の大きな低減は見込めない結果となったことから、復旧日数の最小化の観点からも、せん断補強+ダンパー4本を用いた曲げ・靱性補強が最適な補強工法と言える。

5. 結論

本稿では、地震リスクと復旧日数を考慮した最適補強設計フローを提案した。さらに、南海トラフ地震を想定したケーススタディを三重県尾鷲市と高知県黒潮町に対して実施し、最適補強設計例を示した。

参考文献

- 1) 張広鋒, 星隈順一, 堺淳一, 運上茂樹: 炭素繊維シートと鋼板を併用したRC橋脚の耐震補強工法とその効果, 土木学会論文集 A1, Vol.67, No.2, pp.430-445, 2011.
- 2) 庄司学, 藤野陽三, 阿部雅人: 高架道路橋システムにおける地震時損傷配分の最適化の試み, 土木学会論文集, No.563/I-39, pp.79-94, 1997.
- 3) 星隈順一, 堺淳一, 安藤滋芳, 岡田慎哉: 耐震補強として支承部に水平力分担構造を設置した橋の地震時挙動の評価に関する研究, 土木研究所資料 第4265号, 2013.
- 4) 熊崎達郎, 竹中孔信, 秋山充良, 塩田啓介, 萩原健一, 櫻井有哉: 脚柱とフーチング間に座屈拘束ダンパーを設置した既存RC柱の耐震性能評価, 土木学会第70回年次学術講演会, pp.617-618, 2015.
- 5) 内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」:(第二次報告) 強震断層モデル編—強震断層モデルと震度分布について—, 2012.

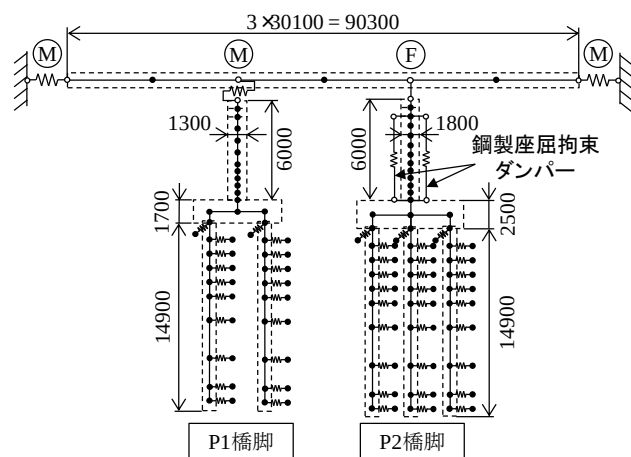


図-2 動的解析モデル

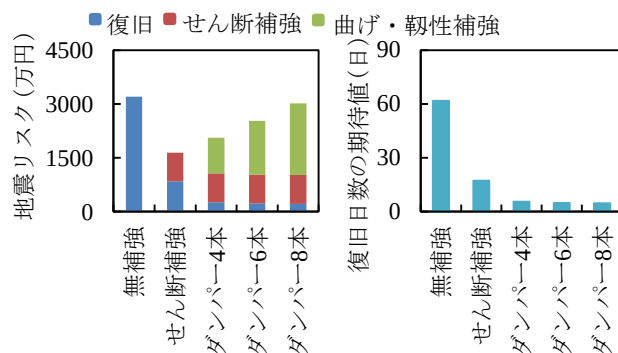


図-3 リスク評価(三重県尾鷲市:ハザード小)

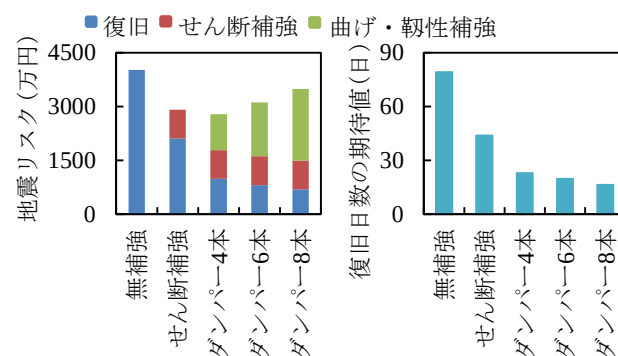


図-4 リスク評価(高知県黒潮町:ハザード大)