

桁衝突を許容した耐震補強のコストパフォーマンスに関する基礎的検討

Fundamental consideration on cost performance of seismic reinforcement allowing pounding of bridge girders

森山卓郎*, 濱本朋久**

Takuro Moriyama, Tomohisa Hamamoto

*博士(工学), 阿南工業高等専門学校准教授, 創造技術工学科建設コース

(〒774-0017 徳島県阿南市見能林町青木 265)

**博士(工学), 群馬工業高等専門学校助教, 環境都市工学科 (〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町 580)

Key Words:(pounding, gap reduction, rubber shock absorber, seismic reinforcement, cost performance)

キーワード: 桁衝突, 桁遊間縮小化, ゴム緩衝材, 耐震補強, コストパフォーマンス

1. 目的

現在, 道路橋における耐震性の向上や老朽化対策などは喫緊の課題である. 現行の道路橋の耐震補強では, 隣接する橋桁と橋台の間などにおいて, レベル 2 地震動に対して必要な桁遊間を確保し, 桁衝突を許容しない耐震補強が行われている¹⁾. しかしながら, 桁遊間を大きく確保した場合では, 伸縮装置の大型化や橋脚の過剰な耐震補強などのコストの増加が懸念される.

これらの耐震補強コストを縮減する一つの方策としては, 桁衝突を許容し, 桁遊間にゴム緩衝材を取り付けて見かけの桁遊間を縮小化する耐震補強が考えられる^{2)~4)}. このとき, 桁遊間に取り付けるゴム緩衝材は, 桁衝突による橋桁や橋脚の損傷を低減させるための役割も有している.

そこで本研究では, 中小規模の 2 径間の PC 橋において, 橋桁端部のゴム緩衝材の有無と桁遊間の大きさを変化させた動的応答解析を行い, 桁衝突時における橋桁や橋脚の動的応答から桁衝突を許容する耐震補強の有効性について検討を行った. さらに, 現行の桁衝突を許容しない耐震補強と提案する桁衝突を許容する耐震補強において, それぞれおおよその耐震補強コストを実際に算出し, コストパフォーマンスの比較からも桁衝突を許容する耐震補強の有効性を検討した.

2. 解析方法

2.1 解析対象橋梁

本研究では, 両端に橋台を有する 2 径間の PC 橋を解析対象に用いた. 解析対象の橋梁緒元を図-1 に示す. 橋桁と橋脚は 2 次元線形はり要素でモデル化した. 橋脚基部には塑性ヒンジを設け, 非線形回転ばねを取り付けた. 塑性ヒンジ部の非線形履歴特性には, 鉄筋コンクリートの劣化を考慮できる武田モデルを用いた. 支承は, 両端橋台部を可動支承, 中間橋脚は固定支承とした. 固定支承は, 桁衝突時においても健全であるものとした.

2.2 桁衝突のモデル化

本研究では, 解析対象橋梁の両端の橋台の橋軸方向で桁衝突が生じることを想定した. 桁衝突は, 衝突ばね⁵⁾によってモデル化を行った. 衝突ばねの作用力と変形量の関係を図-2 に示す. 上部構造のヤング率を E , 断面積を A , 部材長さを l , 要素分割数(等分割)を n とすると衝突ばねのばね定数 k_i は, (1)式のように表される.

$$k_i = \frac{EA}{l/n} \quad (1)$$

本研究で用いた解析対象橋梁では, 上部構造のヤング率は, 2.89×10^7 kN/m², 断面積 12.4m², 部材長さ 40.0m であり, 要素分割数は 2 とした. 以上のことから, 衝突ばねのばね定数 k_i は, 17.9×10^6 kN/m となった.

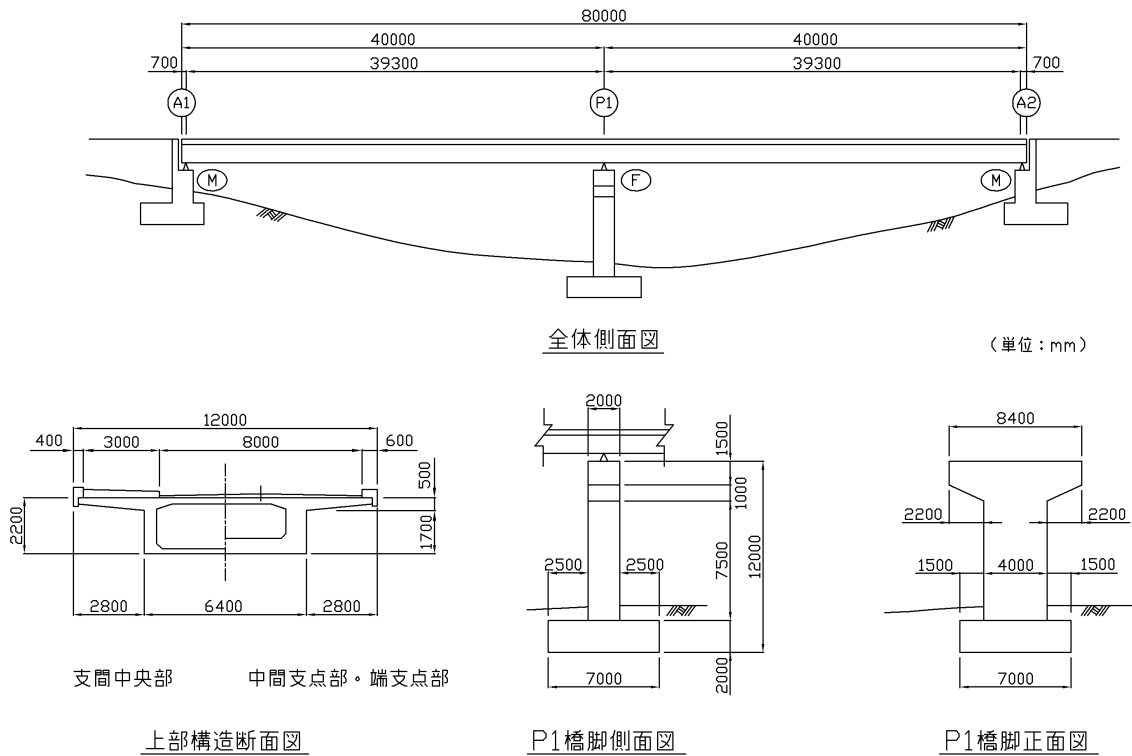


図-1 解析対象橋梁

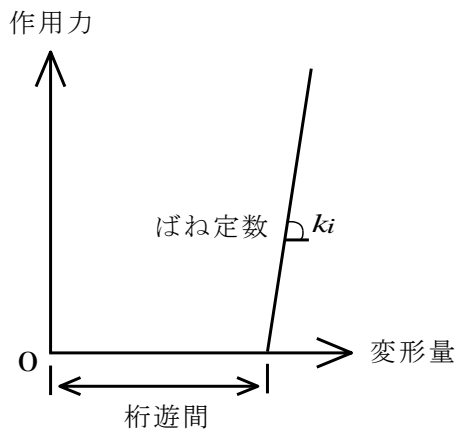


図-2 衝突ばねモデルの作用力と変形量の関係

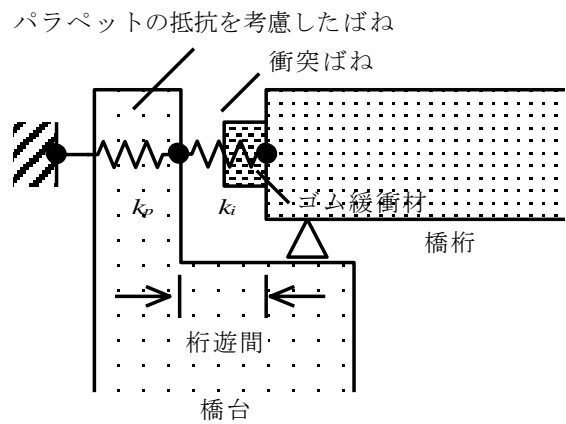


図-3 橋桁端部のモデル化

また、本研究では、桁衝突を表す衝突ばねに加えて、橋桁と橋台の衝突後における橋台パラペットの抵抗を考慮したばねを衝突ばねと直列に橋桁端部に取り付け、図-3に示す合成ばねとして橋桁端部の挙動のモデル化を行った。

本研究で用いた解析対象橋梁における3次元有限要素を用いた橋桁と橋台の衝突解析では、衝突速度 2.5m/sec でパラペットにおいて最大衝撃力 4.7×10^4 kN、最大変位 40mm が発生した際に、パラペット基部で大きな引張りひずみが発生し、ウイングや壁基部にも損傷が進展して

いる結果が得られた⁶⁾。本研究では、予備解析を行った結果、最大振幅 500gal の加速度を入力したときのゴム緩衝材のない遊間 50cm の場合において最大衝突速度が約 2.5m/sec であったことから、本解析モデルにおけるパラペットの抵抗を考慮したばねのばね定数 k_p を算出した結果、 4.7×10^4 kN / 40mm $\approx 1.2 \times 10^6$ kN/m となった。

したがって、橋桁端部の合成ばねのばね定数 k は、衝突ばねとパラペットの抵抗を考慮したばねのばね定数を合成することにより(2)式を用いて算出した結果、 1.13×10^6 kN/m となった。

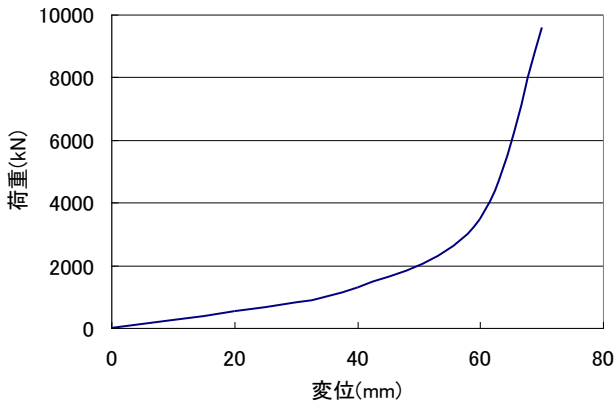


図-4 ゴム緩衝材の荷重-変位関係

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_p} + \frac{1}{k_i} \quad (2)$$

2.3 ゴム緩衝材のモデル化

本研究では、解析対象橋梁の両端の桁遊間に硬度 50 のゴムの緩衝材を取り付けた場合についても同様に解析を行った。ゴム緩衝材の厚さは 10cm とした。図-4 に、本解析に用いたゴム緩衝材の荷重-変位関係を示す。ゴム緩衝材の荷重-変位関係は、図-2 に示した衝突ばねにおける衝突後のばね定数を変化させることにより、モデル化を行った。

2.4 解析方法

本解析の入力波には、解析モデルの共振加速度（固有周期 2.20sec）の正弦波を用いた。最大加速度振幅は 250gal とした。この入力波を解析モデルの橋軸方向に入力した。このとき、応答解析の数値積分には、Newmark の β 法 ($\beta = 0.25$) を用い、積分時間間隔は 0.0005 秒、解析時間は 20 秒とした。両端の桁遊間にゴム緩衝材がない場合と硬度 50 のゴムの緩衝材を取り付けた場合について、それぞれ桁遊間の大きさを 10cm から 50cm まで 10cm ずつ変化させて動的応答解析を行い、橋桁や橋脚の動的応答の時刻歴を算出した。

3. 解析結果および考察

3.1 橋桁端部の最大応答応力

図-5 に、桁遊間にゴム緩衝材がない場合とある場合について、動的応答解析から得られた橋桁端部の最大応答応力と桁遊間の関係を示す。遊間 50cm でゴム緩衝材がない場合では桁衝突が生じなかったが、他のすべてのケースでは桁衝突が生じた。図-5 から、桁遊間が大きい場合では、桁遊間が小さい場合よりも橋桁端部の最大応答応力が大きくなるのがわかる。また、桁遊間にゴム緩衝材のない場合と比較して、ゴム緩衝材がある場合

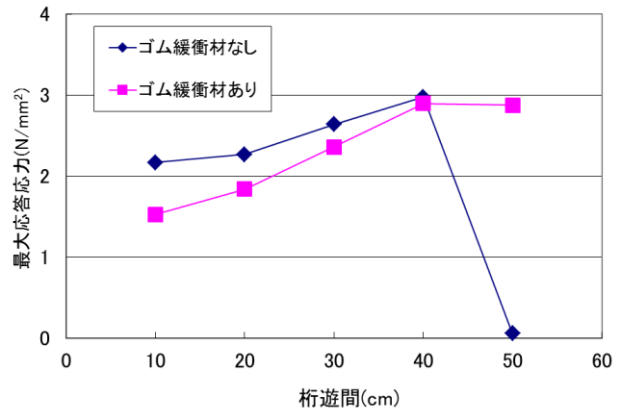


図-5 橋桁端部の最大応答応力と桁遊間の関係

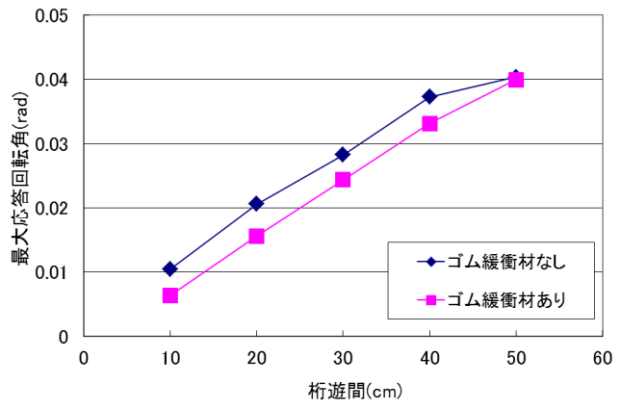


図-6 橋脚基部の最大応答回転角と桁遊間の関係

では橋桁端部の最大応答応力が低減され、特に桁遊間が小さい場合にその効果が顕著であることがわかる。

したがって、このことから、桁衝突を許容し、桁遊間にゴム緩衝材を取り付けて見かけの桁遊間を縮小化する耐震補強は有効であることがわかる。

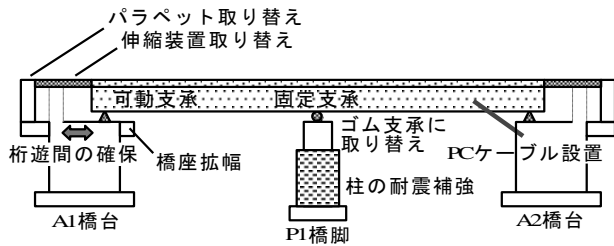
3.2 橋脚基部の最大応答回転角

図-6 に、橋脚基部の最大応答回転角と桁遊間の関係を示す。図-6 から、桁遊間が大きいと橋脚基部の最大応答回転角は大きいことがわかる。また、いずれの桁遊間においてもゴム緩衝材を用いた場合では、ゴム緩衝材がない場合より橋脚基部の最大応答回転角は小さくなり、特に桁遊間が小さいときにその効果が顕著である。

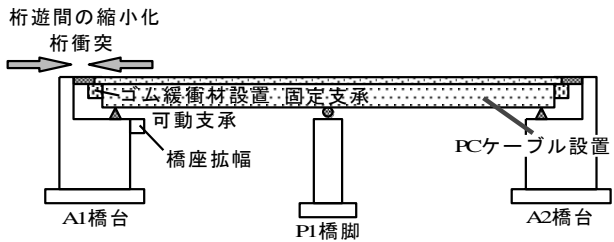
したがって、このことから、桁衝突を許容し、桁遊間にゴム緩衝材を取り付けて見かけの桁遊間を縮小化する耐震補強は有効であることがわかる。

3.3 コストパフォーマンスの比較

図-7 に、現行の耐震補強と提案する耐震補強のイメージ図を示す。現行の耐震補強では、パラペットや伸縮装置の取り替え、鋼板巻き立てなど橋脚の耐震補強が必要となる。一方、提案する耐震補強では、これらは不要となり、新たに取り付けるものとしては、桁遊間のゴム



(a) 現行の耐震補強



(b) 提案する耐震補強

図-7 耐震補強のイメージ図

緩衝材のみとなる。

表-1 に、現行の桁衝突を許容しない耐震補強と提案する桁衝突を許容した耐震補強において、それぞれ概算の耐震補強コストを示す。現行の桁衝突を許容しない耐震補強では、伸縮装置の大型化や橋脚の耐震補強などにより耐震補強コストは高くなる。しかし、桁衝突を許容する耐震補強では、伸縮装置の大型化は不要となり、橋脚の耐震補強も最小限ですむので、耐震補強コストを抑えることができる。新たにゴム緩衝材の取り付けは必要となるが、これは低コストである。

図-8 に、耐震補強コストの内訳の割合の比較を示す。トータルの耐震補強コストを比較すると、桁衝突を許容する耐震補強では、桁衝突を許容しない現行の耐震補強の約30%まで削減できることがわかる。

4. まとめ

本研究では、桁衝突を許容し、桁遊間にゴム緩衝材を取り付けて見かけの桁遊間を縮小化する耐震補強の有効性について動的応答解析およびコストパフォーマンスの比較から検討した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 動的応答解析の結果から、桁衝突を許容し、桁遊間にゴム緩衝材を取り付けて見かけの桁遊間を縮小化する耐震補強の有効性が確認できた。
- 2) コストパフォーマンスの検討を行った結果、桁衝突を許容し、桁遊間にゴム緩衝材を取り付けて見かけの桁遊間を縮小化する耐震補強は、桁衝突を許容し

表-1 概算の耐震補強費の比較

	現行の耐震補強		提案する耐震補強	
	内訳	金額 (千円)	内訳	金額 (千円)
支承部	ゴム沓とジャッキアップ他	25,000	—	0
橋桁部	支承撤去	5,000	—	0
橋台部	パラペット部の撤去・新設	5,000	—	0
	橋座拡幅	3,000	橋座拡幅	3,000
橋脚部	巻き立て工法	20,000	必要に応じて変動	10,000
伸縮装置	撤去・新設	15,000	—	0
緩衝材	—	0	ゴム緩衝材	5,000
落橋防止装置	PCケーブル	7,000	PCケーブル	7,000
耐震補強費の合計		80,000		25,000

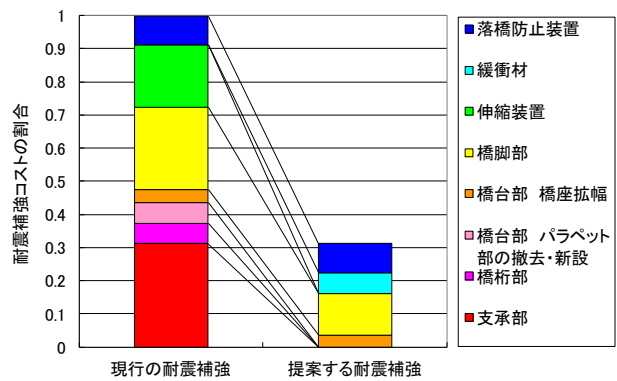


図-8 提案する耐震補強のコスト削減効果

ない現行の耐震補強のコストの約30%まで削減可能である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善，2012。
- 2) 森山卓郎，瀨本朋久，山尾敏孝：桁衝突を許容した耐震補強のコストパフォーマンスに関する一考察，土木学会第69回年次学術講演会講演概要集第I部門，pp.527-528，2014。
- 3) 瀨本朋久，森山卓郎，西本安志，石川信隆：PC橋の桁衝突における積層繊維補強ゴム緩衝材の有効性に関する基礎的検討，コンクリート工学論文集，第22巻第2号，pp.35-44，2011。
- 4) 瀨本朋久，森山卓郎，依田照彦：PC橋の桁衝突を許容した変位拘束効果に関する解析的検討，コンクリート工学年次論文集，第32巻，pp.847-852，2010。
- 5) 川島一彦：動的解析における衝突のモデル化に関する一考察，土木学会論文報告集，第308号，pp.123-126，1981。
- 6) 玉井宏樹，園田佳巨，後藤恵一，梶田幸秀，瀨本朋久：桁端衝突による橋台の損傷度評価および衝突ばね特性に関する基礎的研究，構造工学論文集，Vol.53A，pp.1219-1226，2007。