

ピボット支承を有する旧式鋼橋の耐震性能に関する解析的検討

ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) ○ 二宮 僚

論文要旨

2016年に発生した熊本地震において、ロッキング橋脚を有する道路橋が落橋した事例もあり、対象橋梁については大地震に耐え得る構造とすることが急務となっている。そこで本稿では、L2spc II地震波に対するロッキング橋脚を有する鉄道橋の性能評価および補強工法とその効果について3次元動的解析により検討を行った。まず無補強モデルによる地震時挙動を検討し、その後いくつかの補強パターンを組み込んだモデルにより耐震性能の評価を行っている。補強パターンとしては、桁端へのサイドブロックの設置、桁端への制振装置の設置およびロッキング橋脚部へのブレースの設置としている。その結果、どのケースにおいても耐震補強工法としては有効であることが明らかとなった。

キーワード：耐震補強、ロッキング橋脚、ピボット支承、制振装置

まえがき

主に幹線道路や他鉄道線路交差点において、鋼製橋脚の上下端にピボット支承が用いられている旧式鋼橋が多く見られる。2016年に発生した熊本地震時において、ロッキング橋脚を有する道路橋が落橋した事例もあり、大地震に耐え得る構造とすることが急務となっている。基本的な耐震補強方針としては、ロッキング橋脚を壁式橋脚にするなど、単独で自立可能な構造とする対策がある。しかしながら施工環境の関係上、他の対策工を検討する必要があることが多い。また構造特性上、耐震性能評価が難しく、耐震補強を行う上で多くの課題がある。

そこで本稿では、大規模地震に対するロッキング橋脚を有する橋りょうの性能評価および補強工法とその効果について汎用構造解析プログラム TDAPIIIを用い、3次元動的解析により検討を行った。

1. 解析諸元

図-1および表-1に本検討で使用する解析モデル諸元を示す。杭はモデル化せず下端固定としている。導入地震波は図-2に示すように鉄道標準¹⁾に記載されているL2spc II(G3 地盤)を用い、橋軸直角方向に与えた。減衰は材料減衰とレイリー減衰を考慮し、レイリー減衰は支承部が健全な状態で値を求めた。上部工は線形の梁要素でモデル化し、断面剛性のみを入力した。橋梁端部のRC下部工は剛体もしくは非線形P-δばねの2種類でモデル化し、非線形P-δばねの場合はRC下部工の杭まで考慮し非線形プッシュオーバー解析で算定している。復元力特性はRC構造に用いられる一般的なモデルである武田モデルとした。線支承部はソールプレートおよびサイドブロックの破壊を考慮し、破壊後には摩擦力のみを考慮するものとし、ばねタイプはTDAPIIIの可動支承すべりモデルを使用した。ピボット支承はアンカーボルトを考慮した構成則として

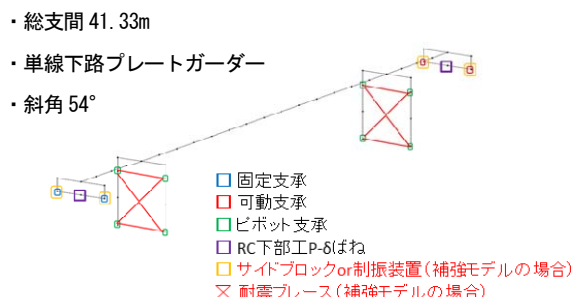


図-1 解析モデル

表-1 支承部等拘束条件

	橋軸方向 X	橋直方向 Y	鉛直方向 Z
固定支承	非線形	非線形	1.00E+10
可動支承	摩擦のみ	非線形	1.00E+10
ピボット支承	非線形	非線形	1.00E+10
下端	FIX	FIX	FIX
	橋軸回り Rx	橋直回り Ry	鉛直回り Rz
固定支承	FREE	FREE	FREE
可動支承	FREE	FREE	FREE
ピボット支承	非線形	非線形	非線形
下端	FIX	FIX	FIX

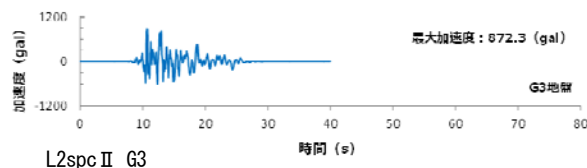


図-2 導入地震波

いる。線支承およびピボット支承のばねの構成則を図-3に示す。またロッキング橋脚は代表1断面の断面剛性を入力し、線形梁要素でモデル化した。死荷重は等分布質量として与え、列車荷重は質点と上部工の節点間をばね要素でモデル化し、列車の質点の応答値が線路方向は0.2G、線路直角方向は0.3Gで頭打ちとなるようバイリニア型のバネ特性を上部工と列車の質点間を与えた。

解析手順としては、まず死荷重解析を行い支点反力を算定し、それによって得られた摩擦力から支承の構成則を設定している。続いて固有値解析によりレーリー減衰を求めたのちに時刻歴解析を行う手順としている。

2. 解析ケース

解析ケースのまとめを表-2に示す。本稿では無補強モデルをベースに、「桁端支承部に鋼製サイドブロックを設置」、「桁端支承部に制振装置を設置」、「ロッキング橋脚部に耐震ブレースを設置」の3ケースの検討を行っている。サイドブロックおよび制振装置は1支承線あたり1基としている。

桁端部に設置する制振装置の構成則イメージを図-4に示す。履歴型ダンパーを想定しており、遊間20mmを設定している。サイドブロックは遊間40mmでモデル化し、耐力は無限と設定している。耐震ブレースは線形梁要素とし、圧縮には効かず引張力のみ生じるものとしている。また座屈や降伏は考慮せず、ロッキング橋脚との結合部はピン結合とする。

3. 解析結果

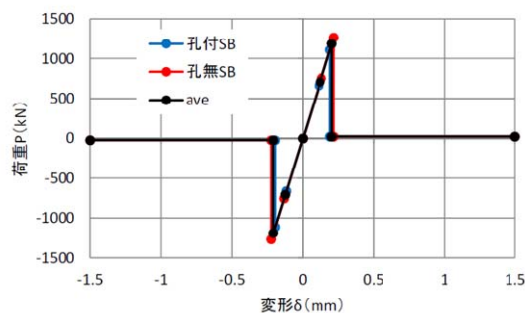
本稿では各応答におけるしきい値を以下のように設定する。(橋軸直角方向)

- ・桁支承部変位: 桁支承幅の1/2 (mm)
- ・ピボット支承: 参考文献^{2,3)}に記載手法による支承耐力 (kN)
- ・サイドブロック、制振装置反力: 上部工総重量(列車荷重慣性力含む) (kN)
- ・ブレース軸力: 上部工総重量(列車荷重慣性力含む) (kN)

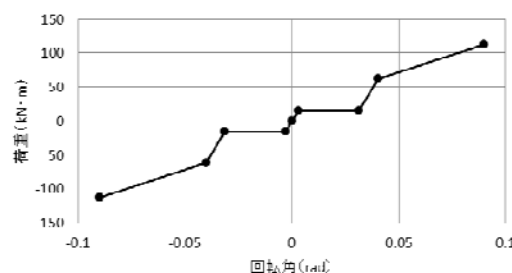
次頁表-3に各ケースにおけるピボット支承部の最大応答回転角をしきい値で除した結果を示している。無補強モデルでは大きくしきい値を超えており、支承逸脱、転倒する結果となっている。補強モデルでは、サイドブロック、制振装置および耐震ブレースのすべてのケースにおいてしきい値を下回っており、ロッキング橋脚に対して補強効果が得られる結果となっている。

また補強モデルにおける補強部材の最大反力(橋直方向)もしくは最大軸力をしきい値で除した結果についても示している。

いずれもしきい値である上部工総重量(列車荷重慣性力



(a) 線支承の構成則(橋軸直角方向)



(b) ピボット支承の構成則

図-3 非線形ばね構成則の一例

表-2 解析ケース

解析ケース	対策工	備考
無補強	-	
SB	サイドブロック	経終点橋台部に計1基設置 王箱のみ考慮
制震	制振装置	経終点橋台部に計4基設置 王箱のみ考慮
ブレース	耐震ブレース	ピン結合で設置 引張のみ考慮

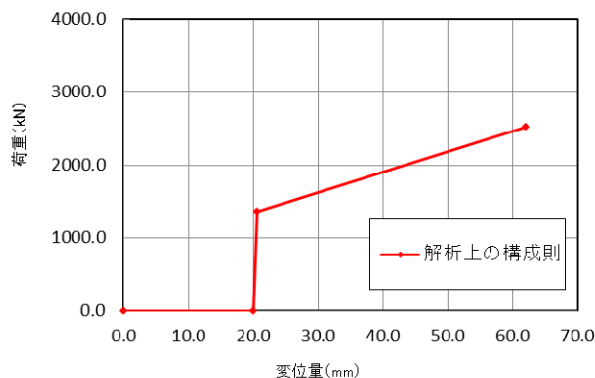


図-4 制振装置の構成則

含む)を超える最大応答反力となっている。しかしながらサイドブロックや制振装置は1支承線上に1基しかモデル化していないため、実施工においては複数基配置することでピボット支承部の回転変位を抑制できると考えられる。また耐震ブレースにおいても圧縮力を受け持たない構成則としているため、引張圧縮ともに受け持つタイプや、制震性のあるタイプのブレースを設置することで、発生軸力を抑えることができると考えられる。

4. 考察

サイドブロックや制振装置に対してしきい値の1.5倍前後の最大反力が生じている。

解析結果の検証のため、すべてのばねを線形ばねとして解析を行ったが、応答値の傾向としては概ね一致する結果となった。また上部工やロッキング橋脚の剛性を変化させたケースで解析を行った場合においても、全体の応答変位や応答反力にはあまり変化が見られない結果となった。

ロッキング橋脚は構造特性上水平力を受け持たないため、桁支承部にすべての水平力が集中するため通常の橋梁よりも応答反力は大きくなる。また過去の大地震において、実現象として2000gal以上の最大加速度を計測しているケースもあり、時刻歴解析の中で1基のサイドブロックや制振装置に慣性力が集中するタイミングがあることを考慮すると、概ね妥当な結果であると言える。しかしながら表-3で示すように、桁端の下部工の剛性を変化させた場合、補強部の応答も大きく変化している。よってモデル内の各構成則がどの程度応答値に影響するかを今後さらに検討する必要がある。

表-3 各ケースの最大応答回転値/しきい値

	最大回転角 しきい値	最大応答値※ しきい値	
	ピボット支承	補強部材 (桁端非線形)	補強部材 (桁端剛体)
無補強	4.19	-	-
SB	0.76	1.52	2.62
制震	0.52	1.37	1.75
ブレース	0.12	1.71	1.61

※SB、制震は橋軸直角方向最大反力
※ブレースは最大引張軸力

5. あとがき

本稿における解析モデルは、着目箇所に対してある程度安全側となる方向に簡略化してモデル化している。そのため詳細にモデル化した場合と結果に差異が生じることが考えられる。実設計においても、例えば桁端下部工の構成則を把握することが難しいケースも多い。桁端にサイドブロックを設置する場合、上部工慣性力が下部工にそのまま

伝わるため、下部工の配筋調査等ある程度詳細に検討を行う必要が生じる。制振装置を設置する場合、本検討においてはある程度最大応答反力が低減する結果となっている。そのため桁端下部工の構造諸元が不明瞭な場合は、サイドブロックではなく制振装置を設置したほうが良いと言える。

一方でロッキング橋脚を有する鉄道橋は非常に多く、耐震補強は迅速に進めていく必要がある。そのため対象橋梁すべてに対して詳細解析を行っていくことは現実的ではない。ある程度簡易に耐震評価できる手法を確立していくことが今後の課題である。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, H.24.9,p273.
- 2) 中原正人, 池田学, 豊岡亮洋, 永井紘作：鑄鉄製支承の地震時耐力特性と復元力モデル, 鉄道総研報告, RTRI REPORT Vol.22, No.3,H20.3.
- 3) 安原真人, 藤橋秀雄, 市川篤司, 三木千壽：既設鉄道鋼製ヒンジラーメン橋脚の耐震性能に関する実物載荷試験, 土木学会論文集 No.752, I-66, H16.1.