

| |
|-------|
| 鉄道一般 |
| 車両 |
| 施設 |
| 電気 |
| 運転・輸送 |
| 防災 |
| 環境 |
| 人間科学 |
| 浮上式鉄道 |

都市内の鋼鉄道橋を耐震診断・補強する

都市内では、おもに明治から昭和初期にかけて、ロッキング橋脚を有する鋼製の鉄道橋りょうが多く建設されてきました。これらの橋りょうは、これまでの地震で被害を受けたことは少ないのですが、地震時に損傷を受けると落橋する可能性があります。このため、これらの橋りょうに対して、これまで耐震診断が行われ、必要に応じて耐震補強が進められています。耐震診断では地震時に弱点となる部位に着目して評価し、その結果に基づき必要な部位を補強します。ここでは、これらの耐震診断・補強の方法を紹介します。



斉藤 雅充
Masamichi Saito
構造物技術研究部
鋼・複合構造研究室
副主任研究員



和田 一範
Kazunori Wada
鉄道地震工学研究センター
地震応答制御研究室
副主任研究員



池田 学
Manabu Ikeda
鉄道力学研究部
構造力学研究室長



豊岡 亮洋
Akihiro Toyooka
鉄道地震工学研究センター
地震応答制御研究室長

はじめに

都市内では、明治から昭和初期にかけて高架化された鉄道路線が多く存在します。このような路線で道路や線路をまたぐ箇所には、鋼製の橋りょうが用いられています。幅の広い道路や線路本数の多い鉄道を越える場合は橋りょうが長くなるため、橋りょう両端の支点（端支点部）に加えて、中間に橋脚（中間橋脚）を設けて鋼桁を支えます（図1、2）。中間橋脚には、鋼製の柱の上下にピボット支承とよばれる支承を有する「ロッキング橋脚」が多く用いられています。ピボット支承は、

球面状の突起をもつ下沓とくぼみをもつ上沓を組み合わせ、全方向に回転することができます。中間橋脚にこのロッキング橋脚を用いることで橋りょうが静定構造（参照）となり、コンピュータの発達していない時代でも設計計算を容易に行うことができました。

ロッキング橋脚を有する橋りょうは、地震で揺れた場合に、端支点部のみが水平方向の力（水平力）に抵抗し、ロッキング橋脚は水平力に抵抗しない構造となっています。このため、地震が起こると端支点部に設置された桁支承が

静定構造

各部に生じる力を、力のつり合い条件だけで計算することができる構造。単純ばりや片持ちばりなどが静定構造に該当します。これに対して、連続ばりなどの不静定構造は、力のつり合い以外の条件も考慮した複雑な計算が必要となります。



図1 ロッキング橋脚を有する橋りょう

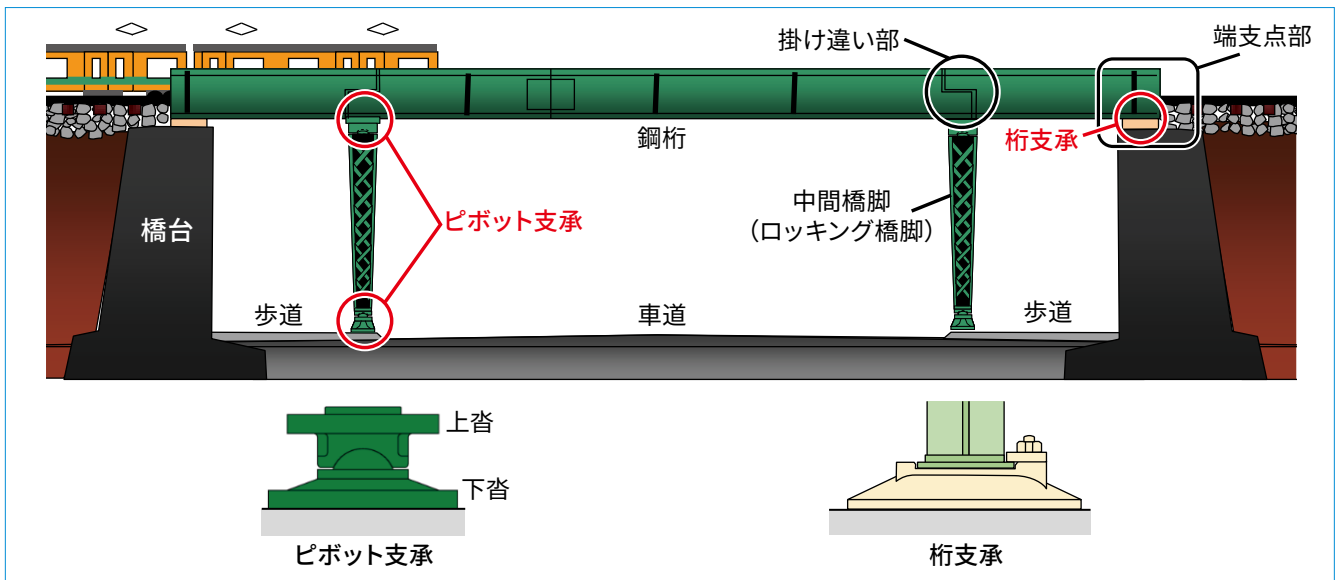


図2 ロッキング橋脚を有する橋りょうの概要

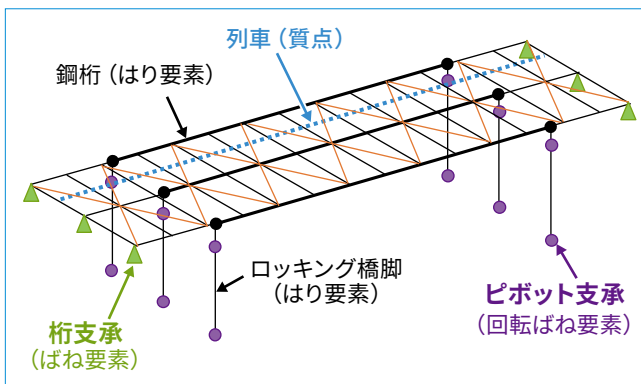


図3 解析モデル

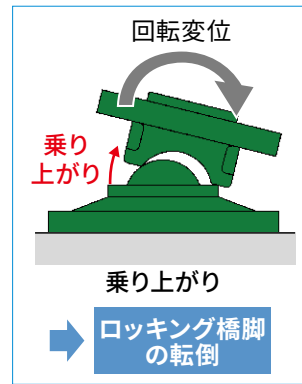


図4 ピボット支承の
乗り上がり

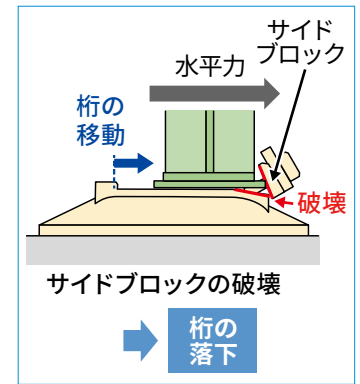


図5 桁支承の破壊、桁の移動
乗り上がり

損傷しやすく、これにともない桁が水平方向に移動してロッキング橋脚が転倒し、落橋に至る可能性のある構造となっています。

これまで、鉄道橋においては地震による落橋などの被害は発生していませんが、2016年の熊本地震で道路橋が落橋する事例がありました¹⁾。これを受けて、2018年にロッキング橋脚を有する橋りょうが「特定鉄道等施設に係る耐震補強に関する省令」の対象施設に追加され、重点的に耐震診断が行われており、診断結果に応じて耐震補強が行われてきています。ここでは、このロッキング橋脚を有する橋りょうの耐震診断・補強の方法を紹介します。

耐震診断の方法

耐震診断では、図3のように橋りょうをモデル化し、想定する地震動を作用させた解析を行い、ピボット支承、端支点部の桁支承、鋼桁、ロッキング橋脚、掛け違い部といった各部が損傷や破壊に至らないか確認します。このうち、とくに弱点となりやすいピボット支承と桁支承については、次の事項を確認します。

ピボット支承では、上沓が下沓の上に乗りに上がらないかを確認します。これは、図4に示すように、鋼桁の移動が大きくなるとロッキング橋脚が傾斜することでピボット支承での回転変位が増加し、最終的に上沓が下沓の上に

乗り上がり、ロッキング橋脚が転倒するためです。

桁支承は、鋼桁の移動を拘束するためのサイドブロックが、図5のように破壊しないかを確認します。ただし、破壊した場合でも、鋼桁の移動がわずかで、端支点部が橋台上に留まっているかどうかを確認できれば、落橋しないと判断できます。

耐震補強の考え方

ロッキング橋脚を有する橋りょうは、古い年代のものが多いため、大規模地震を想定して設計されていません。そのため、耐震診断の結果、地震時に落橋に至るような損傷の発生が想定され、

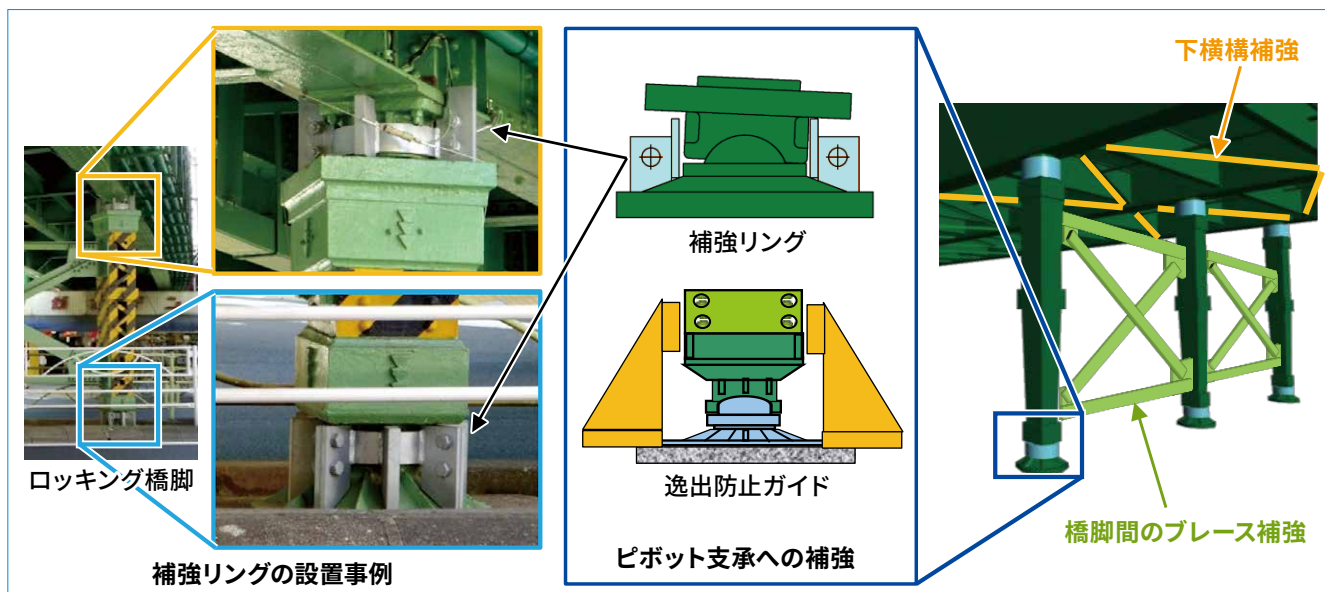


図6 ロックング橋脚の転倒防止対策

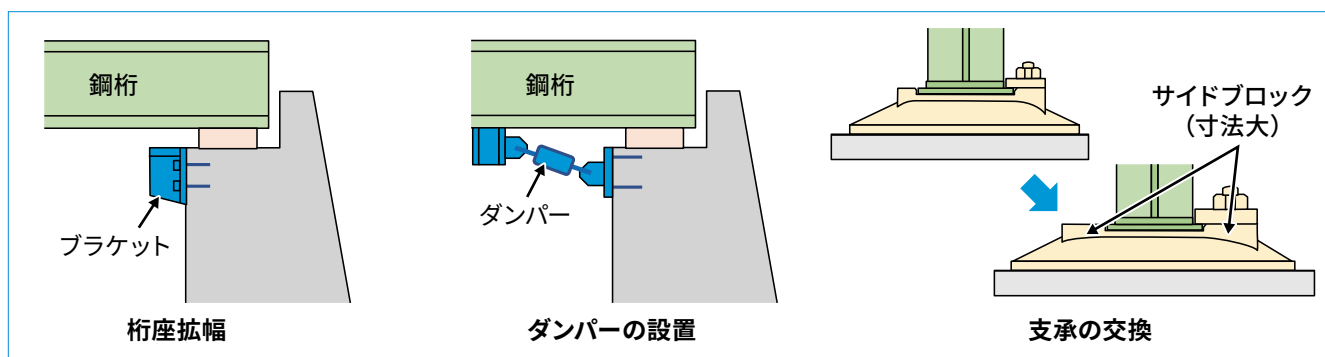


図7 端支点部の鋼桁の落下防止対策

補強が必要となる場合もあります。

耐震補強では、落橋を防ぐとともに、線区の重要度などに応じて列車運行の早期再開も念頭において対策を講じます。耐震補強の方法として、ロックング橋脚の転倒防止対策と、端支点部の鋼桁落下防止対策について紹介します。

ロックング橋脚の転倒防止対策

補強リングや逸出防止ガイドをピボット支承に取り付けることにより、ロックング橋脚の転倒を防止する対策の例を図6に示します。

補強リングは、ピボット支承の通常時の回転機能を損なわずに、上沓が下沓から外れるのを防止します²⁾。逸出防止ガイドは、ピボット支承が地震時

に一時的に外れてロックング橋脚が浮き上がったとしても、橋脚が移動するのを防止し、もとの位置に戻るようにするための対策です。

この補強だけでロックング橋脚の転倒を防げない場合には、橋脚間にブレースを設けたり、鋼桁の下横構を補強したりして鋼桁の橋軸直角方向のたわみを抑制し、ピボット支承の回転変位を小さくします。

端支点部の鋼桁の落下防止対策

地震時に端支点部の桁支承が破壊する恐れがある場合や、桁が橋台から落下する恐れがある場合の対策の例を図7に示します。

桁座拡幅は、橋台の前面にブラケッ

トを設け、支承が破壊して桁が移動しても落橋しないようにしたものです。ダンパーは、鋼桁に伝わる地震のエネルギーを吸収し、鋼桁の移動を抑制します。支承の交換は、より大きなサイドブロックをもつ支承に交換することで、支承が破壊しないようにするものです。

都市内では、橋台上が狭あいであったり桁下空間が道路などで使用されたりして、十分な設置スペースを確保できないことから、装置を設置できない場合があります。さらに、都市内では重要な路線が多いため、鋼桁の移動を小さくし、地震後に列車運行を早期に再開することが望まれます。これに対し、狭あいな箇所でも設置可能な、

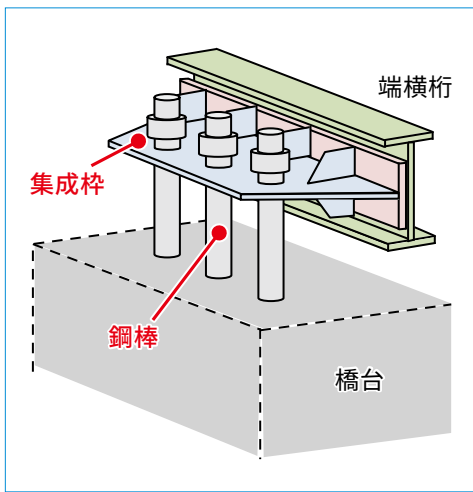


図8 制震・落橋防止装置の概要

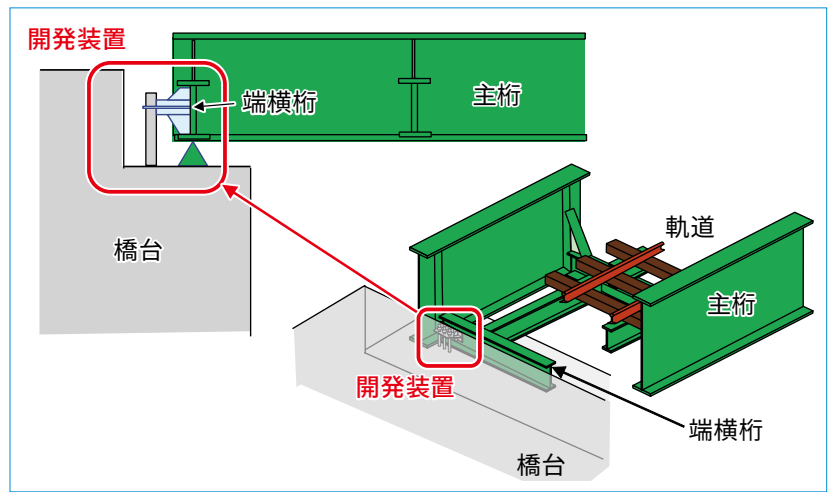


図9 開発装置の狭あい箇所への設置

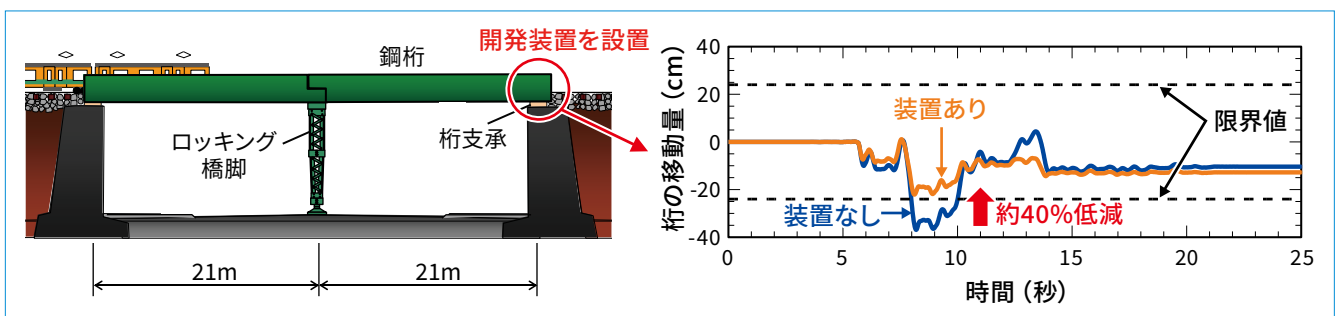


図10 動的解析による効果検証

新たな制震・落橋防止装置を開発しました³⁾。

開発した装置は、図8に示すように、橋台上に固定した複数の鋼棒を集成枠で一体化させ、鋼桁の端部に取り付ける構造で、以下の2つの特長を持っています。

1点目は、鋼棒の変形によってエネルギーを吸収し、地震時の鋼桁の移動を抑制でき、地震後の早期復旧が見込めることです。さらに、鋼棒がよく伸びる性質を有しているため、想定以上の地震動の場合も鋼棒が破断せず、鋼桁の落下を防止することができる点にあります。

2点目は、比較的小型の装置とした点です。図9に示すような、橋台上の狭い箇所にも設置が可能で、かつ、橋台上に設置できるので桁下空頭を支障することはありません。

2径間の橋りょうを対象に、開発装置の効果を解析により検証しました。図10は、地震で端支点部の桁支承が破壊した場合の、開発装置の有無による桁の移動量の時間による変化を比較したものです。検討したケースでは、開発装置を設置することにより、桁の移動量が最大37cmから22cmと40%低減できました。

おわりに

ここでは、都市内に多くあるロックン橋脚を有する橋りょうの耐震診断およびその補強方法を紹介しました。耐震診断によって弱点となる箇所を明らかにし、診断結果に応じて構造全体のバランスや施工の制約などを考えて対策を施していくことが重要です。都市内では、立地の条件によって構造がさまざまであるため、今後も、多種の

構造に対応できる耐震診断や、効果的かつ低コストな補強方法を引き続き検討していく予定です。RRR

文献

- 1) 高橋良和, Gong Yucheng : 2016年熊本地震による横変位拘束構造の損傷メカニズム推定, 土木学会論文集A1, Vol.74, No.4, pp.L_45-L_58, 2018
- 2) 池田学, 芝寛, 吉田直人, 黒田智也 : ピボット支承を有する旧式鋼橋の耐震性評価および補強法, 鉄道総研報告, Vol.25, No.2, pp.23-28, 2011
- 3) 和田一範, 土井達也, 豊岡亮洋, 名波健吾, 齊藤雅充, 福本守 : 狭隘箇所を設置可能な落橋防止機能を有する制震装置の開発 (その1: 装置概要と要素実験による非線形特性評価), 土木学会第76回年次学術講演会, 1-358, 2021