

ピボット支承を有する旧式鋼橋の耐震評価法と簡易補強法

構造物技術研究部 鋼・複合構造
主任研究員 池田 学

1. はじめに

都市内の旧式鋼橋は、幹線道路や他鉄道線路と交差する重要な箇所によく用いられており、大規模地震に対する安全性確保は緊急かつ重要な課題である。一方、旧式鋼橋は、年代が古く、また構造が多様かつ複雑であり、すべての構造に対する耐震性能の評価法が明確となっていない。特に、旧式鋼橋には、柱の上下端に“ピボット支承”が多く用いられているが、大規模地震時に対するピボット支承の評価や補強が明確となっておらず課題となっていた。

そこで、本研究では、まず都市内の旧式鋼橋を調査して検討対象構造を設定した上で、ピボット支承の交番載荷試験を行いその耐力・変形性能の評価法を提案し、大規模地震に対する耐震評価法を提案した。さらに、代表的な構造物について時刻歴応答解析を行い、各種補強法の提案とその定量的な効果を明らかにした。

2. 旧式鋼橋の検討対象構造の設定

図1に示すような旧式鋼橋について、約30橋の現地調査や図面等の資料調査の結果をもとに、構造形式を分類・整理した。その結果、旧式鋼橋には、構造形式、橋脚断面、ポスト橋脚（形鋼とレーシングを組合せた橋脚）の上下支持条件、橋脚のピボット支承等様々な構造が用いられていることが明らかとなった。

そこで、本研究では、設置数の比較的多い構造形式である、図2に示す構造を検討対象とすることとした。



図1 旧式鋼橋の例

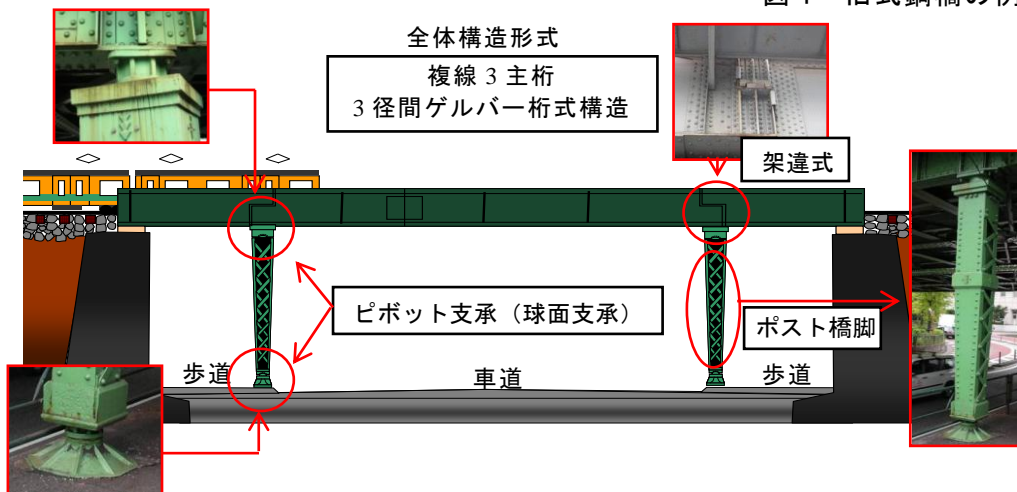


図2 本研究における検討対象構造の概要

この構造に用いられるピボット支承は、球面形状の突起とくぼみを組合せたヒンジ構造の鋼製支承で、古くは明治40年頃に製作されている。ピボット支承は、地震時に万が一破損あるいは逸脱すると、構造全体が不安定となるため、耐震上重要な部位である。一方、ピボット支承に関する検討事例はほとんどなく、大規模地震時の挙動が不明で、かつ弱点となりうる事が想定された。そのため、本研究では、主にピボット支承に着目して検討を行った。

3. ピボット支承の耐力・変形性能の評価法

3.1 ピボット支承の荷重試験と耐力・変形性能の評価法の提案

実橋からの撤去品や新規製作した試験体を用いて、ピボット支承の交番荷重試験を実施した(図3)¹⁾。図4(a)に試験結果を示すように、最初は球面上を転がるため曲げモーメント一定の状態で行き、上下沓が接触すると曲げモーメントが急増する。その後回転角の増大に伴い上沓が下沓に乗り上がろうとする挙動を示し、さらに回転角を増やすと最終的には逸脱に至る。

このような曲げモーメントと回転角の挙動を表現できる復元力モデルとして、図4(b)に示すモデルを提案した。復元力モデルの具体的な設定方法については文献1)による。

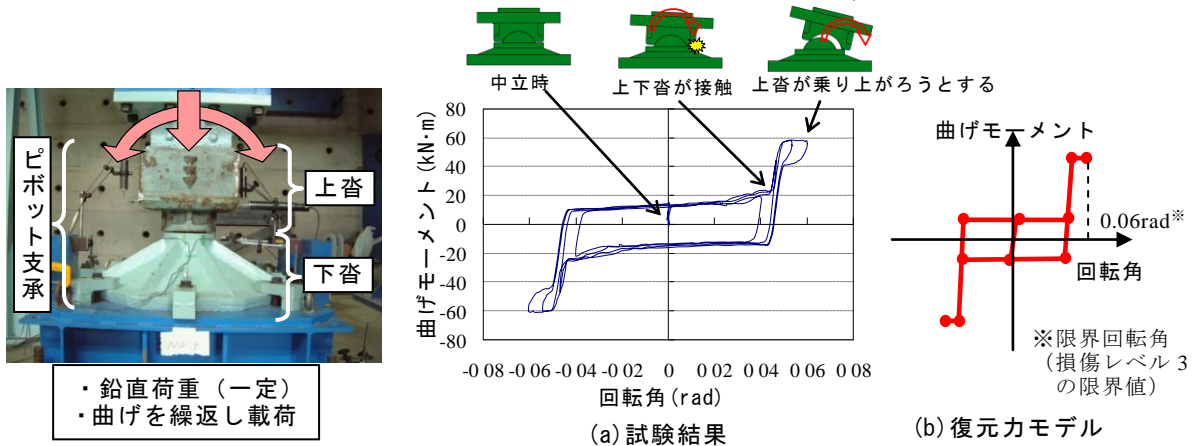


図3 ピボット支承の交番荷重試験

図4 荷重試験結果と復元力モデル

3.2 ピボット支承の地震時挙動の確認

地震時のピボット支承には、前述の交番荷重試験と異なり、変動する鉛直力と回転変形が加わる。そこで、地震時により近い状態での挙動を確認するため、変動する鉛直荷重と回転変形を載荷した。具体的には、図3の試験体に、後述する地震時の時刻歴応答解析結果におけるピボット支承の鉛直荷重と応答回転角の波形を静的に載荷した。載荷に用いた波形の一例を図5に示す。

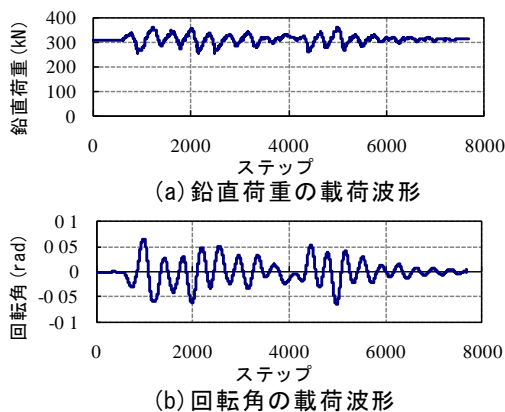


図5 回転角と鉛直荷重の荷重波形

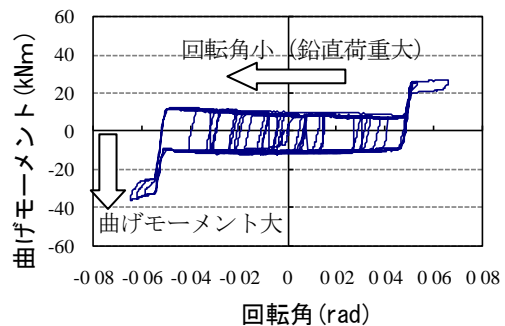


図6 変動波形荷重時の試験結果

図 6 に載荷試験結果の一例を示すが、鉛直荷重の変動により曲げモーメントは変わるが、基本的な挙動は図 4 (a)と同様であることがわかる。このため、図 4 (b)に示す復元力モデルは、回転角や鉛直力が変動する場合にも適用可能であることが確認された。

4. 大規模地震に対する耐震評価法

大規模地震に対する耐震評価法として、構造物を 3 次元骨組解析モデルで表現し、地震波を入力して時刻歴応答解析を行い、各部材の損傷レベルを評価する方法を提案した。図 7 に解析モデルの一例を示す。ピボット支承は図 4 (b)の復元力モデルを有する非線形回転ばね要素、桁支承は非線形ばね要素、それ以外の鋼桁やポスト橋脚等は線形梁要素にモデル化している。桁支承の非線形特性は、実橋からの撤去品を用いた載荷試験を行い水平力と水平変位の非線形関係の算定法を提案しており²⁾、その復元力モデルを用いた。

表 1 に L2 地震動に対する各部の損傷レベルの評価結果を示す。評価は 2 橋について行い、A 橋 (図 7 に示す橋長 23m の直橋) と、A 橋よりスパンが長く斜角を有する B 橋 (橋長 40m, 斜角約 83°) である。

A 橋, B 橋とも大規模地震に対してもすべての部材が損傷レベル 3 以下に留まっており、旧式鋼橋の耐震性能は比較的高いことが確認された。一方で、桁支承とピボット支承は、大規模地震時の損傷レベルが大きく、弱点箇所となりうる可能性もあることが明らかとなった。

また、斜角をパラメータとした解析を行い、斜角が小さく (きつく) になると、ピボット支承の応答は小さく、桁支承の応答は大きくなる傾向にあることを確認した。

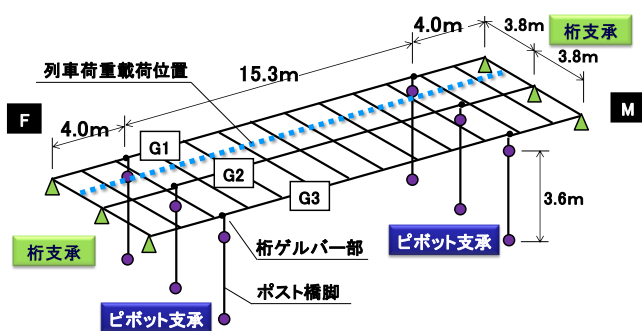


図 7 解析モデルの概要

表 1 耐震性能の評価結果
(L2 地震動スペクトル II に対する評価結果)

部位	A 橋 (橋長 24m)	B 橋 (橋長 40m)
桁	1	1
桁支承	2	2
ポスト橋脚 (柱)	1	1
ピボット支承	1	3

- ・入力地震動：L2 地震動スペクトル II (耐震設計標準)
- ・表中の数値は以下の損傷レベルを表す。
 損傷レベル 1 損傷なし (降伏や座屈しない)
 損傷レベル 2 一部降伏するが軽微な損傷
 損傷レベル 3 損傷が大きくなるが破壊や逸脱しない
 損傷レベル 4 破壊や逸脱する

5. 耐震補強工法の提案とその効果の確認

5.1 ピボット支承の簡易補強

ピボット支承を補強する簡易な工法として、「補強リング」を考案した。図 8 にピボット支承に補強リングを設置した状況を示す。都市内の旧式鋼橋の橋脚は歩車道境界に設置されている場合が多いため、補強部材は可能な限りコンパクトな構造が望まれる。この補強リングは、ポスト橋脚の断面内に収まるサイズであり、現場で人力により簡易に施工できる。

補強リングは、通常時の回転挙動は阻害せず、大規模地震時には上沓のずれを抑えるとともに回転を抑え、かつ回転変形性能を向上できる効果を有する。図 9 に載荷試験結果を示すが、曲げ耐力は約 2 倍、回転変形性能は約 1.5 倍増大する効果がある。

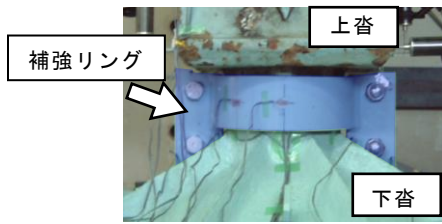


図8 補強リングの設置状況

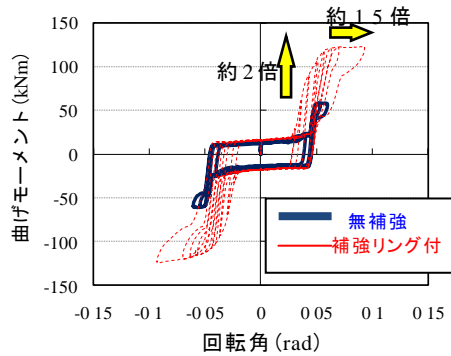


図9 補強リングの効果

5.2 各種補強法の効果

各種補強法の効果を明らかにするために、構造全体系における時刻歴応答解析を実施した。補強方法は、簡易な補強としてピボット支承への補強リングの設置、やや大規模な補強としてポスト橋脚間のブレース補強および主桁の下横構のブレース補強の3つを対象とした(図10)。

図11に、各補強によるピボット支承の照査値(時刻歴応答解析の最大応答値/限界値(図4(b)))の比較を示す。図11(a)より、ピボット支承に補強リングを設置すると、簡易な補強ではあるが、照査値が無補強より4割程度低減する。すなわち、無補強での地震時の応答値が限界値を4割超える場合(照査値1.4)でも、補強リングの設置によりOKとなることが明らかとなった。また、図11(b)より、橋脚や下横構にブレース補強を行った場合には、ばらつきはあるが、ピボット支承の照査値を大幅に低減でき、想定以上の地震動に対する補強として有効であることがわかった。

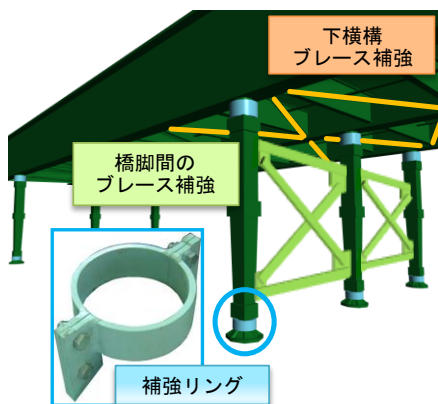


図10 旧式鋼構造物の各種補強法

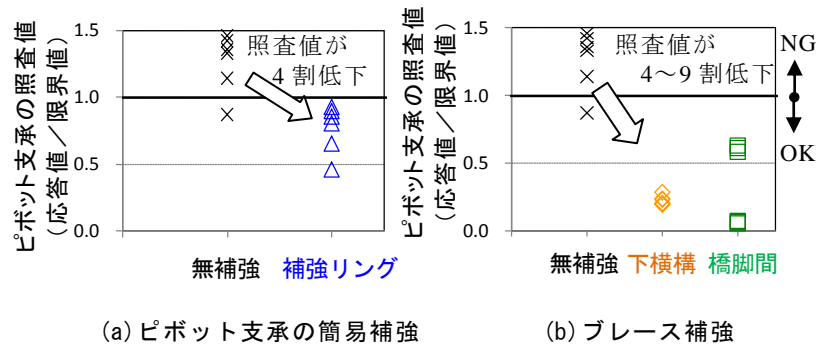


図11 各種補強法の評価例

6. おわりに

都市内のピボット支承を有する旧式鋼橋を対象に、ピボット支承の載荷試験を行い耐力・変形性能の評価法を提案し、時刻歴応答解析により大規模地震に対する耐震性能を把握した。さらに、ピボット支承の簡易補強を提案し、時刻歴応答解析により各種補強法の定量的な効果を明らかにした。

【参考文献】

- 1)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, 第25巻第2号, 2011.2
- 2)中原正人, 池田学, 豊岡亮洋, 永井紘作: 鋳鉄製支承の地震時耐荷力特性と復元力モデル, 鉄道総研報告, 第22巻第3号, 2008.3