

橋梁の耐震性の向上に向けて

—東北地方太平洋沖地震における耐震補強された橋の挙動—

星隈順一* 張 広鋒** 塚 淳一***

1. はじめに

2011年3月11日14時46分頃、三陸沖を震源とするモーメントマグニチュード9.0の平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震が発生した。今回の地震では、地震による揺れだけでなく、地震後に大規模な津波が発生し、これにより社会基盤施設にも大きな被害が生じた。道路橋においては、津波によって上部構造が流出した橋や、地震の揺れによって橋脚や支承部に損傷が生じた橋などが数多く広範囲で確認されている。地震の揺れによって被災した橋の多くは、古い基準で設計されかつ耐震補強が実施されていない橋であったが、既に耐震補強が実施されていた橋の中にも損傷が生じた事例があった。1995年兵庫県南部地震以降、これまでに優先度を考慮しながら順次既設橋の耐震補強が進められてきているところであるが、このような耐震補強対策を施した橋が大きな地震の影響を受けたことになる。そこで、構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)では、国総研と連携して、耐震補強されていた橋の状態についても調査を実施してきた。

本文では、今回の地震による被害状況を通じて耐震補強対策の効果を検証することを目的として、耐震補強された橋に的を絞って調査・分析した結果について報告する。また、これらの橋に対して、地震後の損傷の状況とともに応急的になされた対策の実施状況についても併せて紹介する。なお、本文では、地震の揺れに対する耐震補強効果の観点からの報告としているため、津波により被災した橋に対する検討は含まれていない。

2. 耐震補強された橋の被災状況の概説

検討対象とした橋は、鉄筋コンクリート(RC)橋脚の主鉄筋段落し(縦方向鉄筋の一部が中間高さの断面で止められていること)部に対する補強対策、変位制限構造の設置等による支承部

の対策、落橋防止構造*の取付け等の対策が実施されていた橋である。これらの耐震補強は、1995年兵庫県南部地震等の過去の震災経験を踏まえ、落橋や倒壊等の致命的な破壊に至った構造的な要因に対して補強等の対策を施してきたものである。なお、これらの橋の中には、1978年宮城県沖地震で被害を受け、その後、耐震補強が実施されたものも含まれている。

これまでの調査の結果をまとめると、耐震補強対策が実施された橋の被災状況の全体的な特徴としては以下のことが言える。

- 1) 1995年兵庫県南部地震で落橋や倒壊をもたらす要因となった軸方向鉄筋段落し部の損傷については、当該部位を耐震補強した橋では、橋脚躯体部に同様な損傷は生じていない。
- 2) 既設の支承の機能を補完するために設置した変位制限構造の取付部、あるいは橋全体の減衰特性を高めるために設置した制震ダンパーの取付部に損傷が生じている橋が数橋あった。
- 3) 落橋防止構造が取付くトラス橋の下弦材に損傷が生じたり、躯体部が耐震補強されたT型RC橋脚の横梁付け根付近で損傷が生じたりした事例がそれぞれ1橋あった。

本文では、耐震補強された橋の状態として、上記に関する幾つかの事例を紹介することとする。

3. 地震動の影響を受けたと考えられる耐震補強された橋の状況

3.1 耐震補強が橋の耐震性能に及ぼした効果

3.1.1 近接した2橋における損傷の比較

写真-1(a)は、茨城県水戸市(気象庁震度6弱)に架かる2連の3径間連続鋼箱桁橋から構成される橋におけるRC橋脚の被害状況を示したものである。本橋脚では軸方向鉄筋の段落し部に対する耐震補強が行われていなかったが、地震の揺れによって、軸方向鉄筋の段落し位置において曲げひびわれが発生し、そのひびわれは斜めひびわれとなって進行している損傷が確認された。この損傷は、過去の震災でも多く見られている損傷形態で

Towards Improving the Seismic Performance of Bridges
-Seismic Behavior of Retrofitted Bridges during the
2011 Great East Japan Earthquake-

*土木用語解説：落橋防止構造



(a) 耐震補強が実施されていない橋

(b) 耐震補強が実施された橋

写真-1 近接した2橋における損傷の比較 (両橋間の距離は約400m)



(a) 1978年宮城県沖地震後の状況²⁾



(b) 東北地方太平洋沖地震後の状況

写真-2 1978年宮城県沖地震の時の損傷との比較

あり、1995年兵庫県南部地震では橋脚の倒壊に至った例もある。本橋では、地震後に全面通行止めの措置がなされ、応急対策として橋脚躯体部に炭素繊維シートを巻立て、損傷した部位の耐力を復旧させる対策が施された。

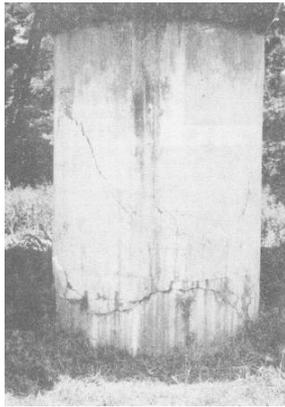
一方、写真-1(b)は、写真-1(a)の橋から約400m離れた位置にほぼ平行して架かる3径間連続鋼箱桁橋と4径間連続鋼箱桁橋から構成される橋におけるRC橋脚の状況を示したものである。この橋脚では、RC巻立て工法により耐震補強がなされているため、地震による損傷は生じていない。

これらの2橋は、上部構造の幅員や橋脚の寸法等に違いはあるが、構造形式が概ね同様であり、振動特性も近似していると推測される。また、距離的にも非常に近接し、さらに橋が架かっている方向もほぼ同じであることから、両橋は同等の地震動の影響を受けたものと考えられるが、地震後において橋としての機能の回復が速やかに行えたかどうかという観点からみると、橋脚に対して実施していた耐震補強の効果が明確にわかる事例と

いえる。

3.1.2 1978年宮城県沖地震の時の損傷との比較

ここでは、1978年宮城県沖地震においてRC橋脚の軸方向鉄筋の段落し部に大きな損傷を受け、その後、補修ならびに耐震補強が実施された橋が今回の地震でどのようになったかを紹介する。写真-2(a)は、1978年宮城県沖地震において、横梁と躯体の接合部付近に位置した軸方向鉄筋の段落し部でかぶりコンクリートが剥落する程度の損傷が生じた橋（仙台市）を示したものである²⁾。本橋脚は、1978年宮城県沖地震の後にRC巻立て工法により補強が実施され、その後車線の拡幅に伴い、既設橋脚部の両側に拡幅部を支持する橋脚が新たに構築された。さらにその後、これら3基の橋脚が一体化されて壁式橋脚となり、その中間高さ位置付近を炭素繊維シート巻立てにより補強がなされた構造となっている。このため、1978年宮城県沖地震の時とは構造が大きく異なっているため、単純な比較はできないが、本橋脚では、今回の地震による構造的な損傷は確認されなかった。



(a) 1978年宮城県沖地震後の状況²⁾



(b) 東北地方太平洋沖地震後の状況

写真-3 1978年宮城県沖地震の時の損傷との比較

また、写真-3のRC橋脚（名取市）も、1978年宮城県沖地震の際に軸方向鉄筋の段落し部に大きな斜めひびわれを伴う損傷を受け²⁾、その後、RC巻立て工法により耐震補強が実施されたものである。この橋脚においても、今回の地震による損傷は確認されなかった。

今回の地震による仙台市や名取市での揺れの特性が1978年宮城県沖地震におけるこれらの地点での揺れの特性と完全に同一ではないため、両地震による損傷状況を単純に比較して評価することはできないものの、今回の地震においてこれらの橋の橋脚に損傷が生じなかったのは、耐震補強の効果が貢献しているためと考えられる。

3.2 トラス橋の下弦材に損傷が生じた橋

写真-4 は、3径間連続鋼トラス橋（福島市）の下弦材格点部付近に損傷が生じた橋の例である。ここで、写真-4 に示すように、本橋では、桁端部の落橋防止対策として落橋防止構造が耐震補強の一環として取り付けられており、その落橋防止構造の取り付けのためのブラケットが下弦材のほぼ中間位置付近で接合されている。また、そのブラケット周囲の下弦材も当て板補強がなされている。今回の地震では、当該下弦材の一端部である固定



(a) 東北地方太平洋沖地震後の状況



(b) 応急対策後の状況

写真-4 落橋防止構造の取付部周辺の損傷例

支承には損傷が生じてなく、落橋防止構造が作動するような上部構造の移動は生じていないため、落橋防止構造を通じて地震力が作用したわけではないが、落橋防止構造が取り付けられている部位の付近で下弦材の座屈や格点部付近で亀裂が確認された。

なお、地震後の応急対策としては、損傷が生じた箇所に対する当て板補強が実施された。

3.3 張出し部付け根付近のひび割れや変位制限構造部の損傷が生じたT型RC橋脚

写真-5 は、2径間連続鋼箱桁橋（郡山市）の中間橋脚であるT型RC橋脚の損傷状況を示したものである。ここで、下り線の橋脚は、鋼製支承を持つ固定支持であり、躯体部はRC巻立て工法により耐震補強が実施されていたが、張出し部付け根付近において、天端上面から下方に向かって縦方向の幅約10mmのひび割れが生じた。一方、変位制限構造には、損傷は確認されなかった。下り線の橋脚については、張出し部付け根のひび割れの進展及び二次災害の防止のために、写真-5に示すように張出し部を支持する仮設支保工を設置し、



(a) 東北地方太平洋沖地震直後の状況

(b) 応急対策後の状況

写真-5 張出し部付け根付近のひび割れまたは変位制限構造に損傷が生じたT型のRC橋脚

はり部下端部と柱部の隙間はコンクリートで埋める処置が緊急的になされた。一方、上り線の橋脚は、ゴム支承により上部構造を支持した構造であり、ゴム支承の変形に伴い、変位制限構造に損傷が生じたが、下り線側の橋脚に生じたような張出し部のひび割れは生じていない。

なお、下り線の橋脚に対しては、PC鋼棒を用いて橋軸直角方向における横締めがなされた後、横梁の外側をコンクリートで巻き立てる対策が応急的に実施された。

4. まとめ

本文では、東北地方太平洋沖地震において、既に耐震補強が実施されていた橋に対する調査の結果を中心にまとめた。調査の結果、軸方向鉄筋段落し部に対して耐震補強が行われていた橋脚では、その補強した部位に損傷が生じた例はなく、耐震補強の効果が有効に発揮されたものと考えられる。これにより、平成7年兵庫県南部地震で発生したような橋脚の倒壊といった致命的な被害も発生しなかった。その一方で、耐震補強により設置され

た変位制限構造や落橋防止構造等については、その取付部、もしくはこれらが取付けられる構造部材に損傷が生じた事例があった。大規模な地震に対しては、橋に求められる性能に応じて、部材に一定の損傷が生じることを許容した設計が行われているが、既設橋の耐震補強の設計において、どの部位に損傷を誘導するのが合理的なのか、今回の被害経験を基にさらに研究を進めていきたい。

謝 辞

本検討の実施にあたり、国土交通省東北地方整備局道路部、岩手県より様々な情報の提供を受けました。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震 土木施設災害調査速報、国総研資料、第646号、土研資料、第4202号、平成23年7月
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0646.htm>
- 2) 1978年宮城県沖地震災害調査報告、土木研究所報告、第159号、1983.3

星限 順一*



独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター 首席研究員、博(工)
Dr. Jun-ichi HOSHIKUMA

張 広鋒**



独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター 研究員、博(工)
Dr. Guangfeng ZHANG

堺 淳一***



独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター 主任研究員、博(工)
Dr. Junichi SAKAI