

東日本大震災における橋梁被害と 技術基準の向上・耐震補強効果に関する検討 —1978年宮城県沖地震と2011年東北地方太平洋沖地震の比較—

川島 一彦¹・松崎 裕²

¹フェロー 工博 東京工業大学教授 大学院理工学研究科土木工学専攻
(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

²正会員 博(工) 東京工業大学助教 大学院理工学研究科土木工学専攻(同上)

1. はじめに

一般に技術基準が改良されてから、どのようにこれが被害の軽減に寄与したかを知る機会はなかなか得られないのが普通である。しかし、東日本大震災の被災地のうち仙台市内およびその北部の地域は1978年宮城県沖地震でも多くの被害が生じ、当時、被災橋の全数調査が行われている^{1), 2)}。この当時には、1980年道路橋示方書が最新規定であったが、実際に被災した橋の多くはこれ以前の技術基準に準拠していた。

一方、現在では1990年道路橋示方書に導入された地震時保有耐力の照査法が1995年兵庫県南部地震を経て、1996年道路橋示方書において地震時保有耐力法として取り入れられ、耐震設計法が一変した。特に、地震時保有耐力法に用いるタイプI地震動、タイプ地震動は強震時に生じる現実的な地震動を初めて耐震設計に取り入れたもので、設計地震動の大幅な向上につながった³⁾。さらに、RC橋脚の変形性能の向上、積層ゴム支承や高減衰積層ゴム支承、鉛入り積層ゴム支承の標準化、免震設計の採用、落橋防止構造の大幅な強化、液状化及び流動化に対する下部構造の耐震設計法の導入はいずれも橋梁の耐震性の向上に大きく貢献した。さらに、1995年兵庫県南部地震以降、3万橋脚以上が耐震補強されてきた。

このような観点から、ここではこれらの耐震設計法の向上と耐震補強対策がどのように地震動による橋梁の耐震性軽減に貢献したかを中心に、東日本大震災による被害⁴⁾を検証することとする。なお、この検証は2011年東北地方太平洋沖地震による当該橋

梁架設地点での地震動が1978年宮城県沖地震による地震動よりも同等か大きかったとの仮設に基づくものであり、これについては、別途、検証しなければならない。

2. 耐震補強され、無被害であった橋梁

写真-1 に示すように、千代大橋は一般国道4号線



写真-1 千代大橋 (1978年宮城県沖地震)

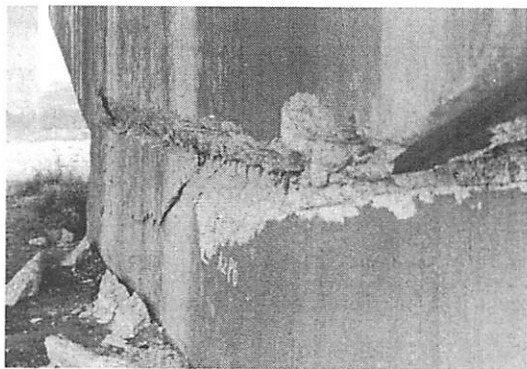


写真-2 P6の被害 (1978年宮城県沖地震)

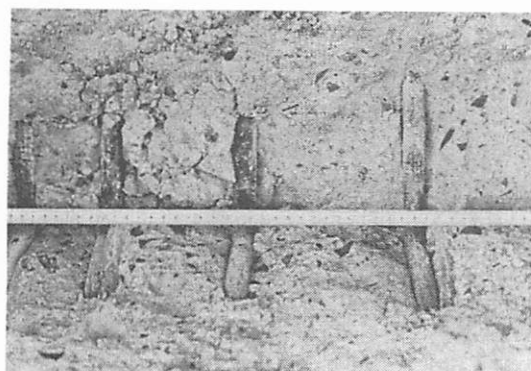


写真-3 鉄筋の座屈
(躯体と横ばりとの接合部, 1978年宮城県沖地震)

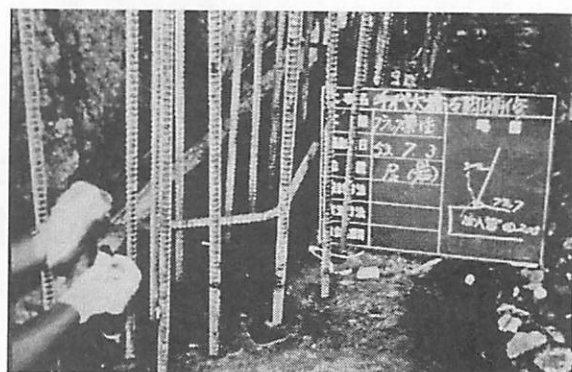


写真-6 軸方向鉄筋の追加
(1978年宮城県沖地震後)

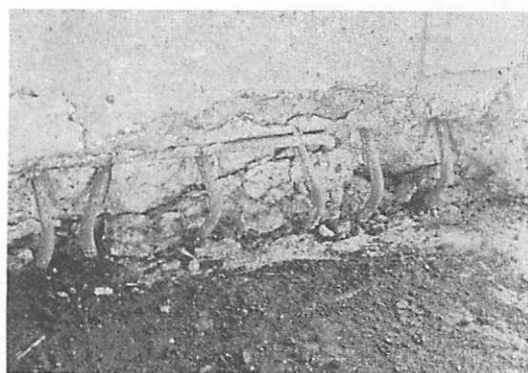


写真-4 鉄筋の座屈 (躯体基部, 1978年宮城県沖地震)

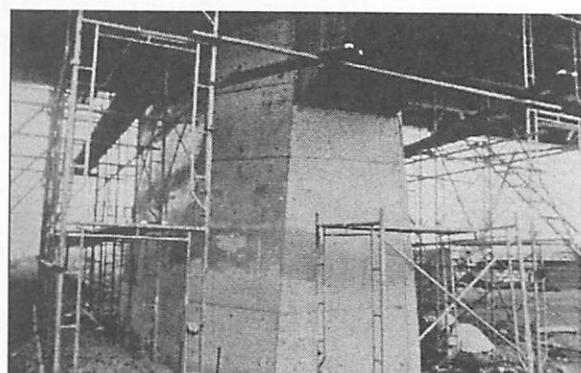


写真-7 コンクリート巻き立て
(1978年宮城県沖地震後)

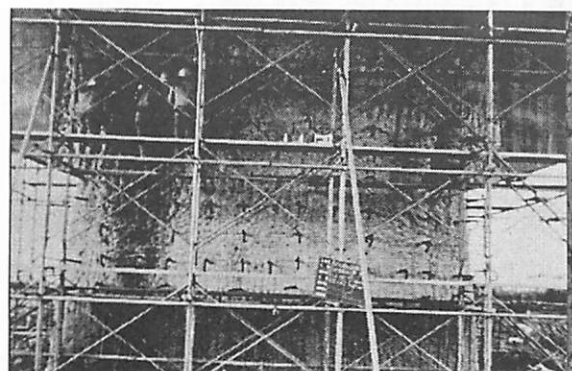


写真-5 チッピング後差し筋のセット
(1978年宮城県沖地震後)

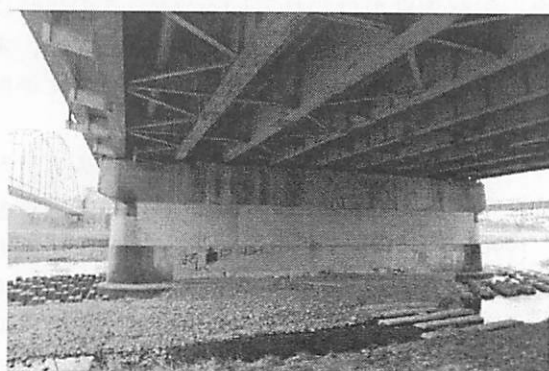


写真-8 東日本大震災後の橋脚

が広瀬川を横架する箇所に 1965 年に架設された 9 径間活荷重合成桁からなる橋長 310m の橋梁である。写真-2～写真-4 に示すように、1978 年宮城県沖地震では橋脚の横ばりと躯体の継ぎ目で鉄筋が座屈した³⁾。低鉄筋断面によく生じる被害形態である。写真-5～写真-7 に示すように宮城県沖地震後には、軸方向鉄筋を増加し、RC 巻き立て工法で補強された。

写真-8 に示すように、今回の地震では、1978 年当時の本線橋脚の両側に独立した 2 基の橋脚を設け、さらにこれらを一体として繊維補強モルタルで巻き立てた構造となっていた。橋脚には被害は生じてお

らず、写真-9、写真-10 に示すように当時の鋼製支承を積層ゴム支承に取り替え、2002 年道路橋示方書に準拠した落橋防止構造が設置されていた。これらには全く被害は生じていなかった。

写真-11 に示すように、新飯野川橋は国道 45 号線が北上川を横架する箇所に位置する 3 径間連続鋼版桁 2 連からなる橋長 441.5m の橋である。1978 年宮城県沖地震によって、写真-12 に示すように P4 橋脚上のピン支承が切り欠き部で折損し、キャップボルトが破断してピンキャップが抜け落ちた。このため、上沓は下沓に対して橋軸直角方向に 48mm 残留移動

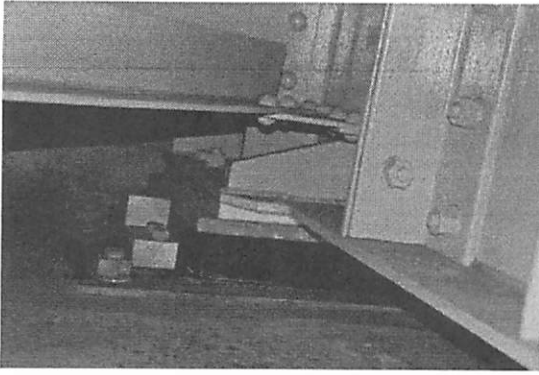


写真-9 無被害であった積層ゴム支承

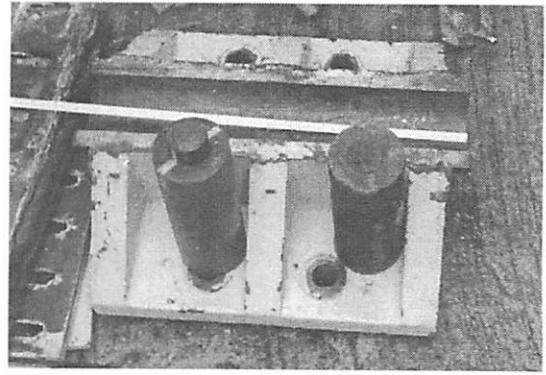


写真-12 ピンが破断したピン支承
(1978年宮城県沖地震)

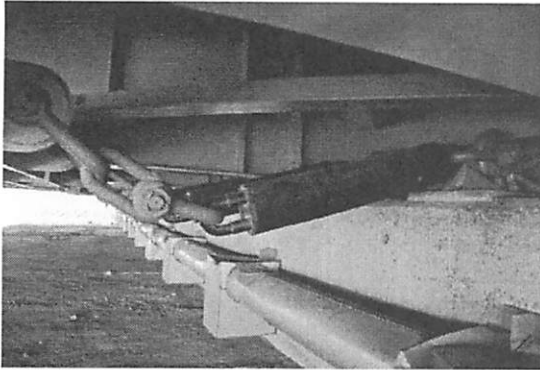


写真-10 無被害であった落橋防止構造



写真-13 ピンが破断したピン支承
(1978年宮城県沖地震)

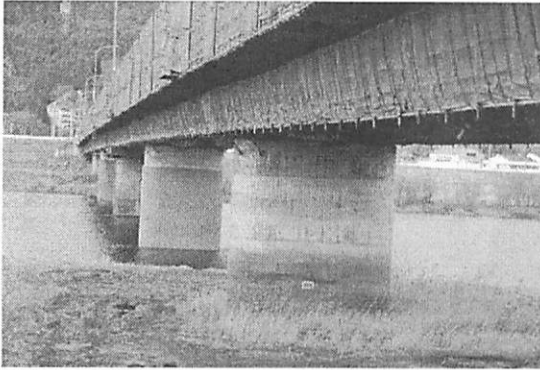


写真-11 新飯野川橋
(1橋脚毎に橋脚が鋼版巻き立てにより耐震補強されている)

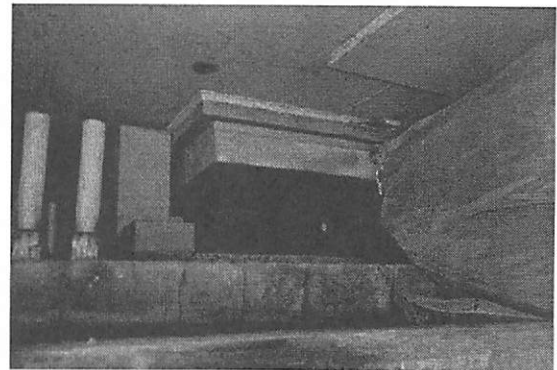


写真-14 無被害であった積層ゴム支承

を生じた⁵⁾。また、その他のピン、ローラー支承においても、写真-13に示すように水平方向に地震力を受けた下杓が回転し、この結果、アンカーボルトが抜け上がり、支承としての機能を失った。

新飯野川橋では、1978年宮城県沖地震後、写真-11に示したように、橋脚を1基おきに鋼板巻き立て工法により耐震補強すると同時に、ピン、ローラー支承を積層ゴム支承に入れ替えた。写真-14に示すように、今回の地震では支承部には全く被害が生じなかった。

3. 耐震補強が不十分で再度被害を受けた橋梁

写真-15は1959年に完成した国道45号線が旧北上に架かる天王橋である。1978年宮城県沖地震では、写真-16に示すようにピン支承を支持する壁式橋脚の上端が大きく損傷し、落橋寸前となった。このため、写真-17に示すように、応急的な落橋防止策として橋脚頂部をロープで巻き立て、その後、写真-18に示すように鉄筋を設置し、RC巻き立てにより橋脚を復旧した。こうした地震後の復旧では橋脚基

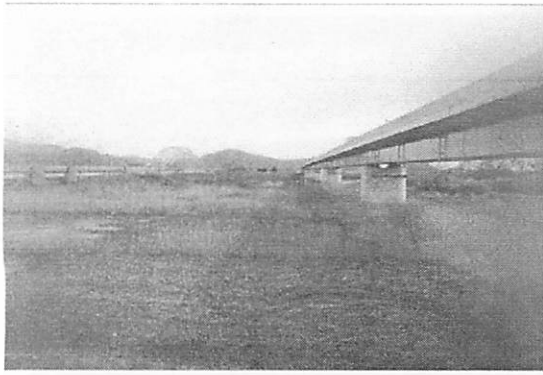


写真-15 旧天王橋（左）と新天王橋（右）

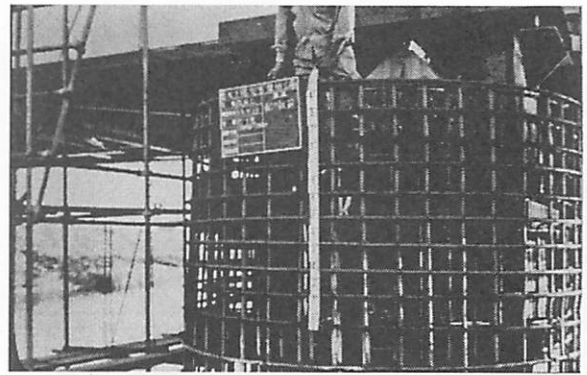


写真-18 RC 巻き立て前の鉄筋設置
(1978 年宮城県沖地震)



写真-16 落橋寸前であった支承下橋脚頂部の被害
(1978 年宮城県沖地震)

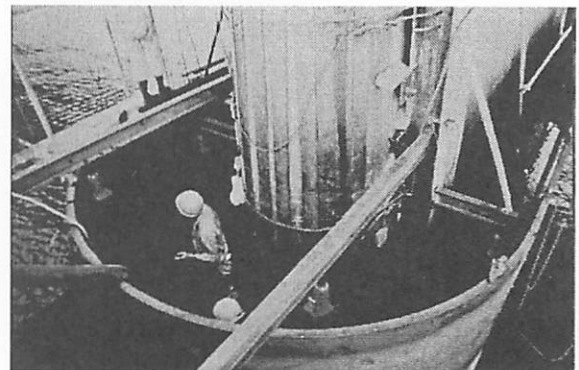


写真-19 橋脚基部の補強のための水止め工
(1978 年宮城県沖地震)

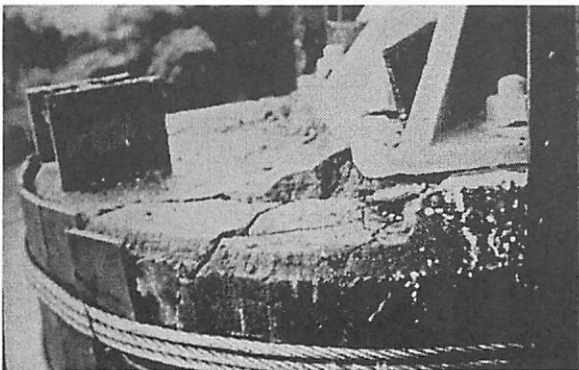


写真-17 落橋防止のための応急対策
(1978 年宮城県沖地震)



写真-20 ピン支承固定部の被害

礎部の水切りが問題であり、写真-19 に示すように鋼矢板で仮締め切りして施工された。ライフサイクルコストの観点から、耐震性を考慮しておくことの重要性を示す好例であると考えられる。

今回の地震では、橋脚は巻き立て補強されていたため、支承支持部には被害は生じなかったが、依然として支承のアンカーボルトが写真-20 に示すように抜け出すと同時に、トラス上横斜材が数カ所で座屈し、さらに、写真-21 に示すようにトラス下横斜材がもう一方の下横斜材と交差する中央がセット部において破断した。

また、写真-22 は 1974 年に竣工した名取川に架かる中央ヒンジ型 3 径間連続 PC ラーメンとその前後の PC 単純桁から構成されている。1978 年宮城県沖地震では写真-23、写真-24 に示すように、ラーメン部及び桁支持部の橋脚にせん断クラックが生じた。また、写真-25 に示すように PC 桁桁端部の支承直情に大きなクラックが生じるとともに、写真-26 に示すようにラーメン桁端部のピン支承が損傷した。

東日本大震災では、橋脚には顕著な損傷は見られなかったが、写真-27 に示すように、1978 年宮城県沖地震と同じ箇所に被害が繰り返されている。また、

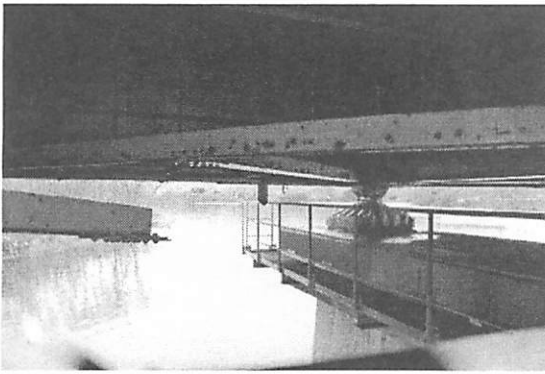


写真-21 トラス下横斜材の破断



写真-22 関上大橋 (1978年宮城県沖地震)

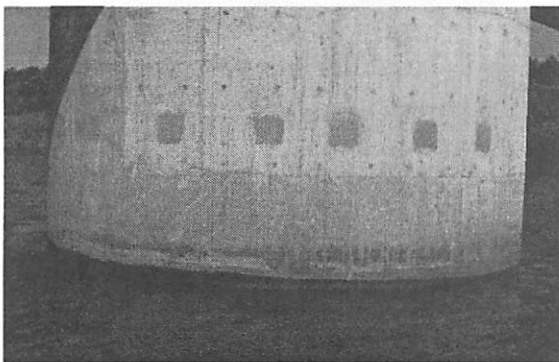


写真-23 主橋脚のせん断クラック
(1978年宮城県沖地震)

写真-28 に示すように、ラーメン桁端部のローラー
支承においてもローラーが完全に逸脱した。

4. 従来型の被害を生じた橋梁

今回の震災でも従来型の被害が生じている。一例
として、写真-29は岩手県地方道の藤橋である。今
回の地震により、主鉄筋段落とし部で写真-30に示
すようにせん断破壊を生じた。このため、写真-31
に示すように、被災度の著しい橋脚ではH鋼で応急
補強後、RC巻き立てにより、また、写真-32に示す
ように被災度が中程度の橋脚ではカーボンファイバ
ーシート巻き立てにより、それぞれ復旧された。

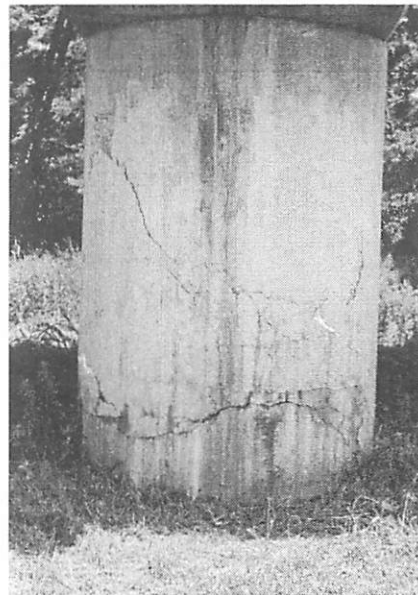


写真-24 桁端を支持する橋脚のせん断クラック
(1978年宮城県沖地震)



写真-25 桁端部支承位置のクラック
(1978年宮城県沖地震)

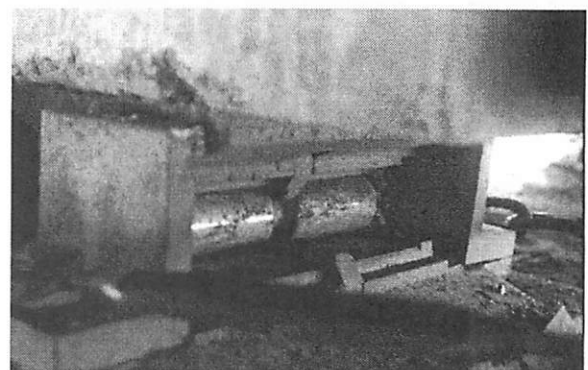


写真-26 ラーメン橋脚端部のローラー支承
(1978年宮城県沖地震)

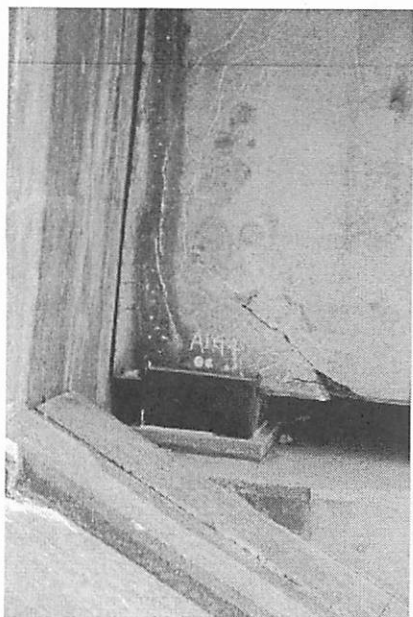


写真-27 桁端部支承位置のクラック



写真-28 完全に逸脱したローラー
(向こう側と手前のローラー支承)

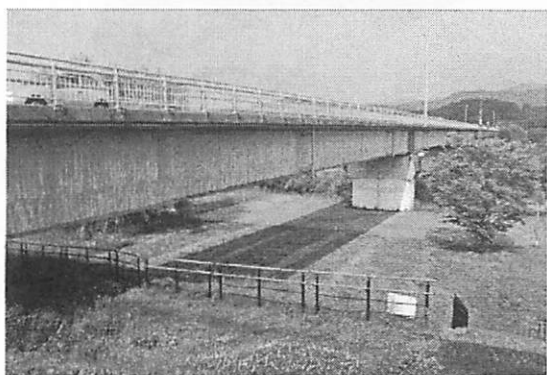


写真-29 藤橋

5. 地震時保有耐力法で新設された橋梁

1990年以降の地震時保有耐力法で設計された橋梁として、2例を示す。写真-33は三陸自動車道の新天王橋である。これは写真-15に示した旧天王橋の上流川に位置する橋であり、1990年道路橋示方書に基



写真-30 主鉄筋段落し部で破壊した藤橋
((独) 土木研究所構造物メンテナンス
研究センター星隈氏による)

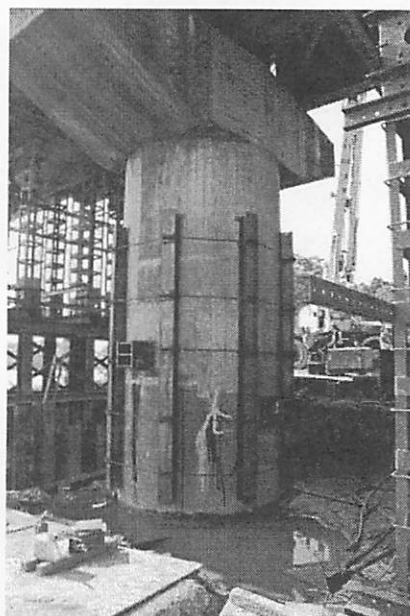


写真-31 H型鋼により緊急対策



写真-32 カーボンファイバーシート巻き立てによる補強

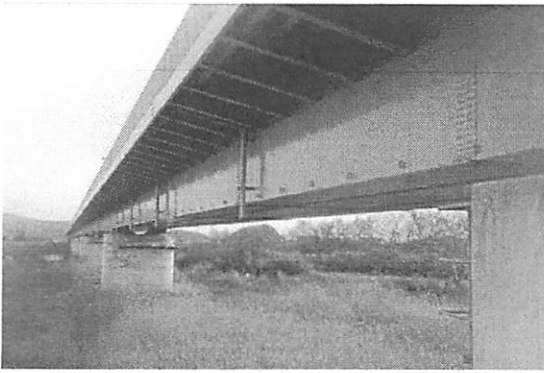


写真-33 新天王橋



写真-35 東松島大橋

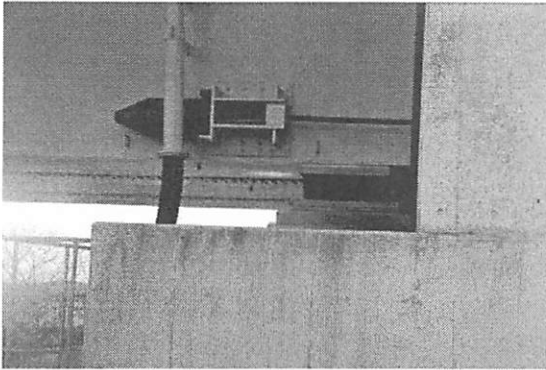


写真-34 積層ゴム支承と落橋防止構造



写真-36 支承部

づき2003年に供用開始されている。写真-34は橋台部の積層ゴム支承と落橋防止構造を示したものである。全体として、被害は認められなかった。

写真-35は北上川を横架する東松島大橋である。2002年道路橋示方書に準拠して設計され2007年に竣工した。写真-36に示すように、支承部を含めて被害を受けていない。

6. 結論

1978年宮城県沖地震による橋梁被害との比較に重点を置いて、東日本大震災における地震動による橋梁被害の検討し、地震時保有耐力法と中心とする1990年以降の技術基準の向上と1995年兵庫県南部地震以降実施されてきた耐震補強の効果を検証した。本検討の前提条件は2011年東北地方太平洋沖地震による橋梁架設地点での地震動が1978年宮城県沖地震による地震動よりも同等か大きかったという点であり、これについては、別途、検証しなければならない。上記の前提に基づき本検討結果から得られた結論は、以下の通りである。

1) 1978年宮城県沖地震の際に被災し、ほぼ現状復旧されただけの橋梁の中には、東日本大震災で同種の被害を繰り返した例がいくつかある。ま

た、1978年宮城県沖地震の際には被災しなかった橋で、耐震補強しなかった橋には、主鉄筋段落し部の被害等、従来型の被害を生じた例がある。

- 2) 反対に、1978年宮城県沖地震において被災し、その後、橋脚の補強、鋼製支承の積層ゴム支承への入れ替え、落橋防止構造の強化等を図った橋では、東日本大震災によって無被害で済んだ橋が多数ある。
- 3) 以上より、東日本大震災において地震動による橋梁被害は比較的限定的であったが、この理由は1990年以降の技術基準の向上と1995年兵庫県南部地震以降実施されてきた耐震補強の効果が大きいためと考えられる。

謝辞：東日本大震災による橋梁被害調査は土木学会被害調査団の一環として実施したものであり、一緒に現地調査を行った西岡勉、高橋和良、秋山充良、渡邊学歩、古賀裕久の各氏、並びにUJNR合同調査に際しお世話になった田村敬一及び星隈順一氏の他、ご関係の皆様にご心からお礼申し上げます。また、写真-30は（独）土木研究所構造物メンテナンス研究センターからご提供いただいたものである。

参考文献

- 1) 岩崎敏男, 川島一彦, 常田賢一: 1978年宮城県沖地震被害調査概報, 土木研究所資料, 第1422号, 建設省土木研究所, 1978.
- 2) 川島一彦, 西川和廣: 宮城県沖地震による道路橋の支承被害, 土木技術資料, Vol. 22-10, pp. 523-528, 1980.
- 3) 土木学会地震工学委員会: 地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造物の耐震設計法の開発, 地震時保有耐力法に基づく耐震設計法の開発に関する研究小委員会, 2001.
- 4) 川島一彦, 西岡勉, 高橋和良, 秋山充良, 渡邊学歩, 古賀裕久, 松崎裕: 土木学会東日本大震災被害調査団緊急地震被害調査報告書, 第9章 橋梁の被害, 土木学会, 2011.
- 5) 岩崎敏男, 川島一彦, 高木義和, 相澤 興: 新飯野川橋橋脚の地震応答特性並びに1978年宮城県沖地震による被害原因の検討, 土木研究所資料, 第1581号, 建設省土木研究所, 1980.