

周辺状況から推定した2011年東北地方太平洋沖地震 による道路橋の挙動

矢部正明¹・塚本英子²・鍋島信幸²・佐藤崇³

¹正会員 博士（工） 株式会社長大 耐震技術部（〒305-0812 茨城県つくば市東平塚730）

²非会員 株式会社長大 耐震技術部（〒305-0812 茨城県つくば市東平塚730）

³正会員 修士（工） 株式会社長大 耐震技術部（〒305-0812 茨城県つくば市東平塚730）

1. はじめに

2011.3.11に発生した2011年東北地方太平洋沖地震は、地震動による被害、津波による被害、液状化による被害等、様々な構造物に様々な形態の被害を生じている。その被害は、岩手県、宮城県、福島県、茨城県だけでなく東京都、千葉県、神奈川県等の近隣にも及んでいる。著者らの生活の場である茨城県も被災地であり、地震後には茨城県内の道路橋の被災状況等を調査してきた。地震後、約3ヶ月が経過してから岩手県や茨城県を中心に積層ゴム系支承を用いた道路橋の状況を確認してきた。

積層ゴム系支承の調査は、K-NET、KiK-netで観測された地震動¹⁾を用いて地震応答スペクトルを算出し、地震動が道路橋に与える影響が大きいと予想される地域を抽出するとともに、第1著者が参加していた道路橋の免震構造研究委員会（（財）土木研究センター、委員長：川島一彦東京工業大学大学院教授）²⁾のメンバーやインターネット上から積層ゴム系支承を用いた道路橋に関する情報（主に、構造形式と架橋位置）を収集し、それらの情報を頼りに、調査に向かった。一部の道路橋を除けば、積層ゴム系支承を用いた道路橋は、今回の地震によく耐えたというのが、大方の見方である。そのため、積層ゴムが破断した道路橋を除けば、積層ゴム系支承を有する道路橋に関する情報は、著者が知る限りではほとんど公開されていない。

第1著者は、E-ディフェンスを用いた橋梁の耐震実験のC2実験計画（進行性破壊実験、橋梁システム実験）とその一貫として実施された免震橋の実大震動実験（1995年兵庫県南部地震JR鷹取駅記録3方向成分の地震動強度40%加震）結果³⁾より、ゴムのよ



写真-1 栗原中央大橋全景



図-1 栗原中央大橋と築館(NYG004)の位置

うな変位依存性が強い支承構造は、設計で考慮した地震動とは異なる地震動が作用している状況下では、設計で想定した力学挙動とは異なるのではないかと予想している。

本報告では、著者らが調査した積層ゴム系支承を用いた道路橋15橋の中から免震橋3橋と、被災が報告されている道路橋で調査に向かった結果、橋の状況から興味ある状態にあった2橋について報告する。

免震橋は、橋台部に設置された免震支承は近づく

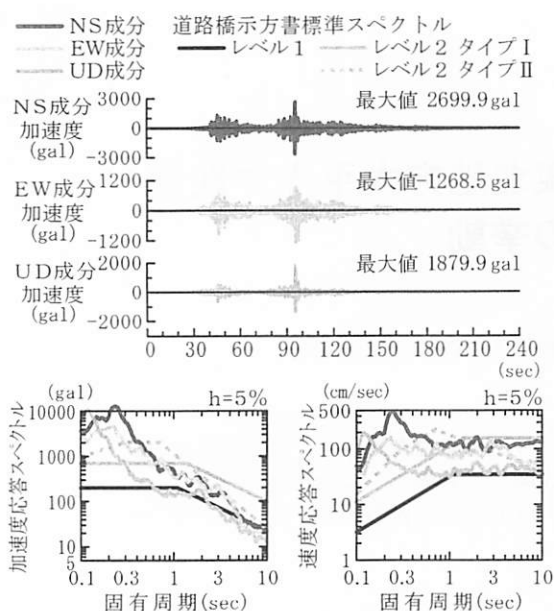


図-2 築館 (NYG004) I 種地盤上で観測された地震動

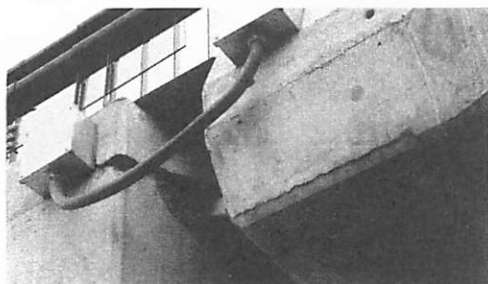


写真-2 栗原中央大橋橋台部の損傷

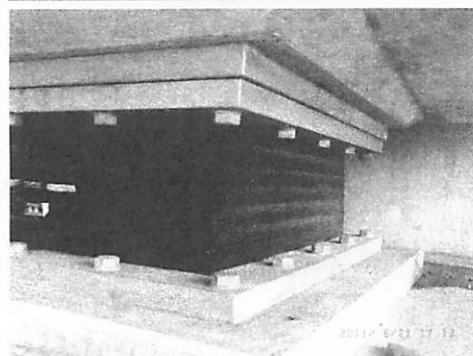
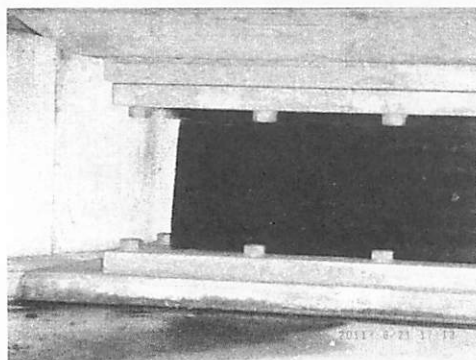


写真-3 橋台部の免震支承の変形

ことができるが、中間橋脚上の免震支承は遠方からの目視しかできないが、ソールプレートの傷跡や伸縮装置および周辺地盤の状況から、免震支承が変形

したかの判断をしている。また、免震支承と確認できたものは免震支承と明記し、免震支承か積層ゴム支承かが確認できなかったものは積層ゴム系支承と表記している。

本報告で対象とした5橋は、著者らの興味だけで選出したものであるが、言葉を変えれば、今回の地震での挙動を追跡する価値があると判断したものである。

2. 免震橋（積層ゴム系支承）の状況

(1) 栗原中央大橋（5径間連続PC波板ウェブ箱桁橋、橋長約204m、写真-1）

図-1は、栗原中央大橋の架橋地点とその付近のK-NETの観測地点を示したものである。栗原中央大橋に一番近いK-NETの観測地点は、築館である。図-2に示すように、2011年東北地方太平洋沖地震で地震動強度が強かった地点である。橋の付近に設置された建設時の状況の広報板より超高減衰積層ゴム支承が設置されていることがわかる。

紙数の都合で写真は示さないが、橋台周辺の地盤は沈下しており、斜面上のブロックにも損傷が生じていた。写真-2に示すように、橋台部にも損傷が生じている。橋台部に設置された免震支承は、橋軸方向の変形は、地震動による変形だけでなく温度変化によって生じる変形も大きいため、本橋のように橋軸方向と橋軸直角方向の両方向に免震効果を期待した橋の場合、ソールプレート等に痕跡がないため、ゴム支承に生じた橋軸方向の変形が地震によるものか温度によるものかわからない。通常は、橋梁の両端部におけるゴム支承の変形方向から温度による桁の伸縮によるものか、地震動によるものかを判断しているが、地震後約3ヶ月が経過した後は、温度による影響が卓越していると思われる。しかし、写真-3より、橋台部の免震支承には橋軸直角方向の変形も確認できるので、免震支承は機能したと予想される。橋名板より、橋の供用が平成20年11月頃と予想され、本橋の設計図書は散逸せずに残っているはずなので、築館で観測された地震動を入力地震動とした挙動分析を行いたい橋である。

(2) 涸沼川橋（11径間連続PC橋+10径間連続PC橋+11径間連続PC橋、写真-4）

2011.3.6に開通した東関東道の茨城町JCT～茨城空港北IC間の連続形式のPC橋3連である。茨城空港も天井等が落下する映像がTVで放映されていたので、この周辺も地震動強度が大きかったと予想される。



写真-4 涸沼川橋の全景

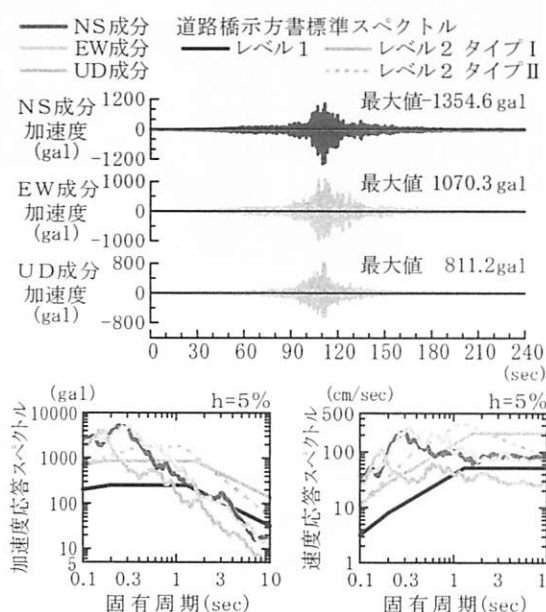


図-3 涸沼川橋と水戸・鉾田の位置および鉾田 (IBR013) II 種地盤上で観測された地震動

橋脚と橋台周辺がフェンスで囲まれているため、橋脚躯体と周辺地盤の状況は確認できないが、橋脚周辺に建設されたばかりの貯水槽らしき構造の壁が損傷しており、河川堤防に地割れも生じていた。図-3に示すように、涸沼川橋の架橋地点は、K-NETの水戸と鉾田が比較的近い。

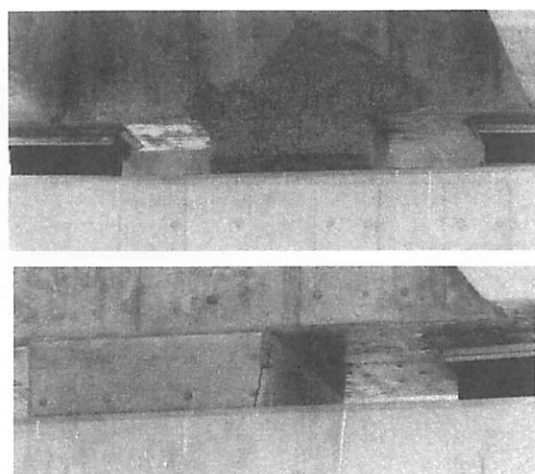


写真-5 涸沼川橋の支承周辺の状況

写真-5に示すように、直角方向への動きを拘束するためのストッパー部の表面に損傷が生じている。ストッパーの表面が引き剥がされたような損傷は次のように生じたと思われる。ストッパー内には橋軸直角方向への動きを拘束するアンカーバーが設置されていると予想される。ストッパーは、設計上は、橋軸方向に対しては何の拘束も受けず自由に動けるとしているが、ストッパーと橋脚頂部の間には薄いゴムが設置されており、桁を架設した時点で両側の積層ゴム系支承が圧縮変形した結果、橋脚頂部-ゴム-桁間が橋軸方向に設計で想定したように、自由に動けるような状況にはなく、上部構造から作用する橋軸方向慣性力に対して、両側の積層ゴム系支承と中央のストッパーで抵抗したと予想される。

供用が開始されたばかりの橋なので、設計図書は残っているはずなので、水戸や鉾田で観測された地震動を入力地震動とした挙動分析を行いたい橋である。

(3) 旭高架橋 (4径間連続PC箱桁曲線橋+7径間連続PC箱桁橋2連、橋長1160m、写真-6) ²⁾

旭高架橋は、日立駅の近くの海岸にかかる橋で、4径間連続PC箱桁橋のランプ部は、写真-6に示すように、曲線橋である。本橋の橋脚は海岸部に建設されているため、支承の状況は、遠方から目視で確認するしかなかった。橋台部もフェンスで囲まれているが、7径間連続PC箱桁橋側の橋台部の積層ゴム系支承は、フェンス越しにその状況を確認することができた。写真-7に示すように、積層ゴム系支承が橋軸方向と橋軸直角方向の両方向に変形が生じていることが確認できる。旭高架橋は、積層ゴム系支承の上下鋼板も防錆対策を目的にゴムシートで覆っているが、そのゴムシートがえぐられるように傷つき、内部の鋼板も見えていた。



写真-6 旭高架橋：曲線部から直線部のかけ違い付近

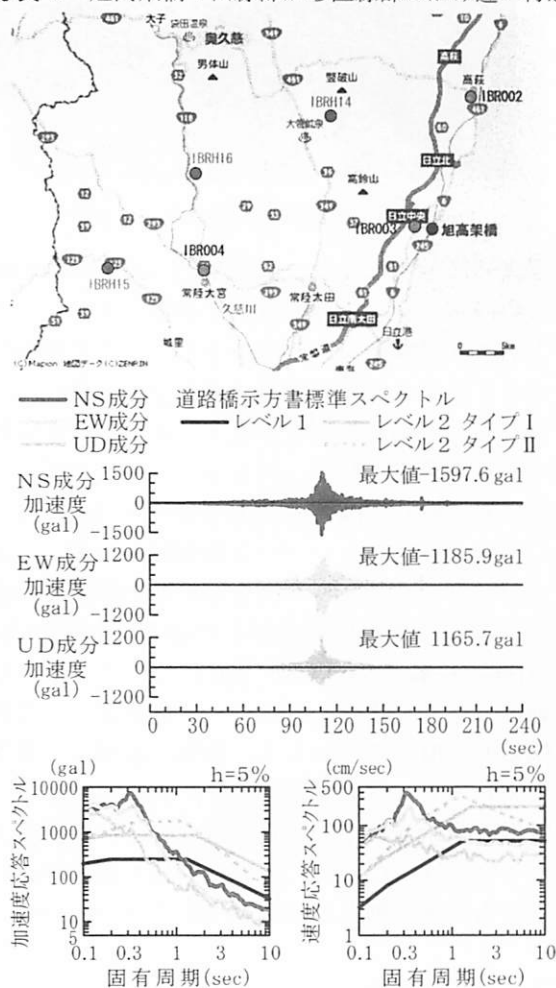


図-4 旭高架橋と日立の位置および日立(1BR003)II種地盤上で観測された地震動

写真-8は、曲線部と直線部のかけ違い部の支承と伸縮装置の状況を示したものである。桁端部であるため、温度変化の影響も大きい、感覚的には、遊間がひらき過ぎているように感じてしまう。

写真-6に示すように、本橋の道路線形や上部構造の形式から判断して、桁がねじれる固有振動モードが比較的低次に現れるのではないかと予想される。桁のねじれは、積層ゴム系支承に変動軸力を生じさせる。軸方向の引張力に抵抗する性能が低い、積層ゴム系支承がそのような状況下で複雑な線形を有する上部構造からの慣性力に対してどう応答したかとともに、曲線橋部の積層ゴム系支承の耐震設計がどう行われたかが興味ある点である。

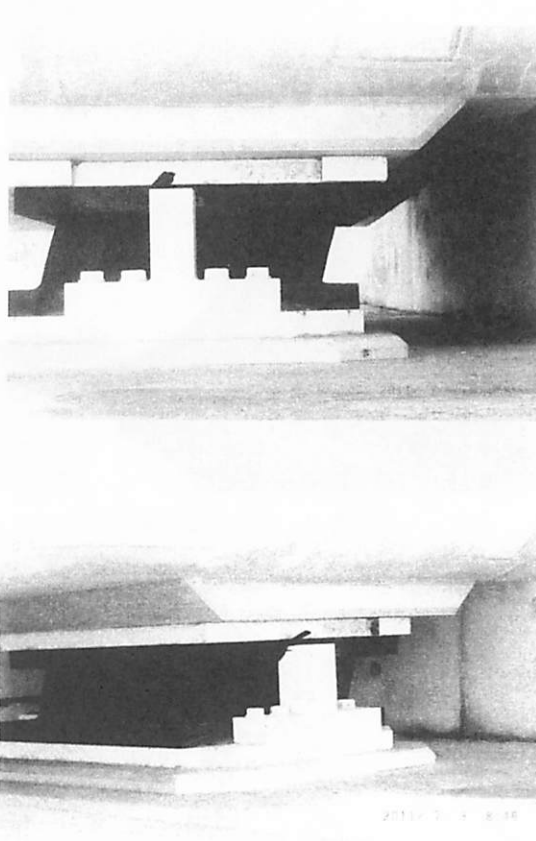


写真-7 橋台部の積層ゴム系支承の状況

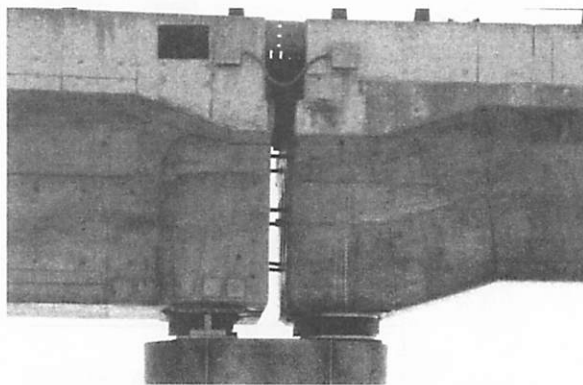


写真-8 曲線部と直線部かけ違い部の状況

図-4に示す日立で観測された地震動を入力地震動とした挙動分析を行いたい橋である。

3. 基礎構造と地盤の動的相互作用の痕跡（神崎大橋、3径間連続鈹桁橋2連ランガー形式の下路式アーチ橋3連）

写真-9に示す神崎大橋は、多種多様な耐震補強工事が施されていた。3径間連続鈹桁橋は、落橋防止構造が設置されRC橋脚はRC巻立て工法による耐震補強が施されていた。ただし、支承は既設の支承がそのまま設置されており1点固定方式の連続橋である。ランガー桁部は単純形式3連を桁連結し、既設支承を積層ゴム支承に交換し、3径間連続形式の地震時水平力分散構造に構造形式が変更されているようである。

著者らが興味を持ったのは、茨城県側の3径間連



写真-9 神崎大橋全景

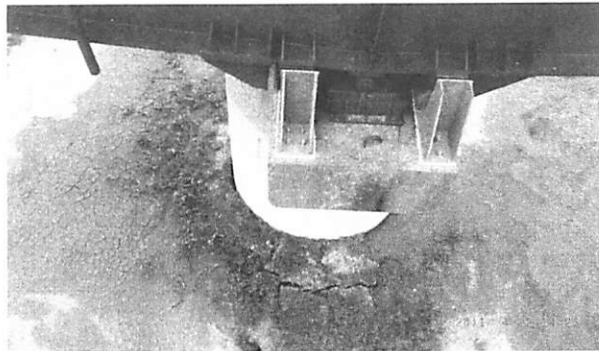


写真-10 可動支承位置

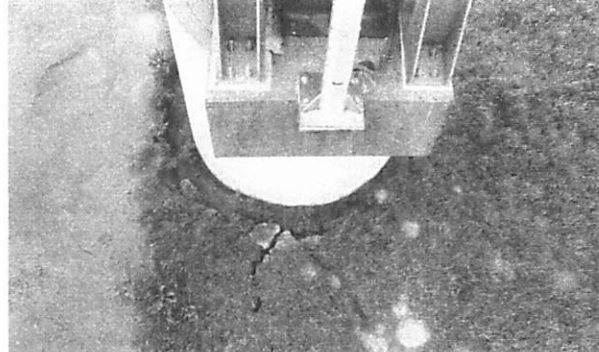


写真-11 固定支承周辺

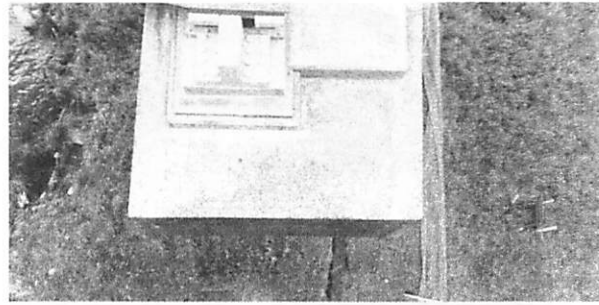


写真-12 かけ違い位置周辺

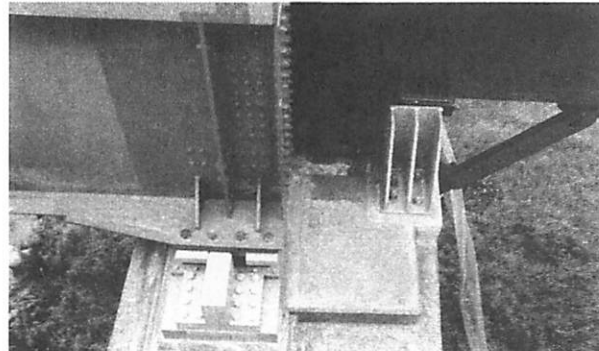


写真-12 かけ違い位置周辺

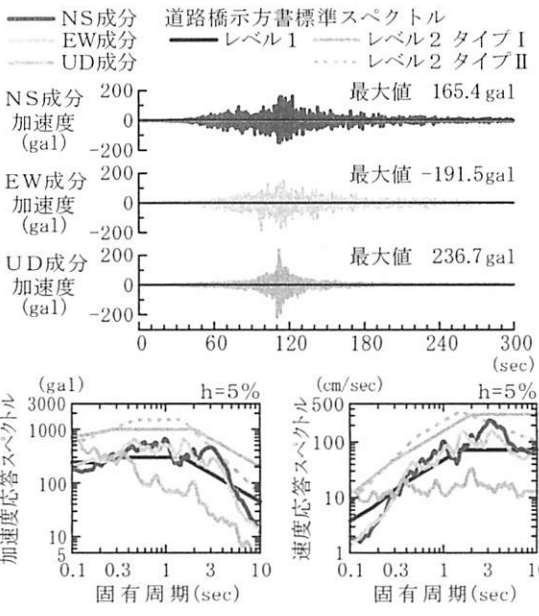


図-5 神崎大橋と江戸崎の位置および江戸崎 (IBRH07) III 種地盤上で観測された地震動

続鋼鉄桁橋の橋脚と周辺地盤の関係である。噴砂もあり、液状化が生じたことも確認できる。写真-10は橋軸方向の支承条件が可動の橋脚と周辺地盤、写真-11は橋軸方向の支承条件が固定の橋脚と周辺地盤、写真-12は河川に接しているかけ違い部の橋脚と周辺地盤の様子である。写真-10と写真-11を比較すると橋脚と周辺地盤間の剥離の幅が大きく異なることがわかる。両橋脚とも周辺には噴砂もあるが、橋軸方向の振動方向の橋脚と周辺地盤の剥離の幅は、可動支承位置で約10cm、固定支承位置で50cm以上となっている。可動支承位置と固定支承位置でこれだけの差が生じた理由の1つに、固定支承を有する橋脚は橋としての振動をし、周辺地盤とは異なる振動をしたのに対して、可動支承を有する橋脚は橋脚躯体の重量に起因する振動だったために、周辺地盤

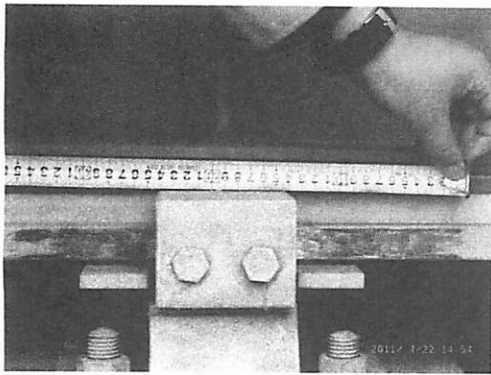


写真-13 支承に残る橋軸方向への振動の痕跡

と一体となって振動したのではと予想している。

写真-12に示すかけ違い部は、液状化を起点とする流動化が生じた結果、橋脚と周辺地盤間に約150cmという幅を有する剥離が生じたのではと推定している。なお、かけ違い部なので、ランガー桁部の上部構造慣性力は積層ゴム支承を介してこの橋脚に作用すること、鋼板桁側の可動支承も変位制限構造でその動きが止められていたので、橋脚の橋としての振動と周辺地盤の振動が異なった可能性もある。写真-13より、神崎大橋が橋軸方向に大きく振動したと想像される。

神崎大橋は、著者が調査した後、杭基礎に損傷が発見され、5月17日から通行止めとなっているようである。著者としては、耐震補強設計の段階で、耐震補強された橋脚と基礎構造の耐力の比はどうなっていたか、液状化時は基礎構造の応答塑性率によって照査を満足するとしていたのか、数多くの興味がある橋である。

図-5に示すように、近くにKik-netの江戸崎の観測地点もあるので、地震時の挙動分析を行いたい橋である。

4. 上り線と下り線で損傷状況が異なる下路トラス橋（大仏大橋、3径間連続下路平行弦ワーレントラス橋）

写真-14に示す大仏大橋は、土木研究所の玄関に下弦材の亀裂と座屈に関する損傷について揭示されていたので、調査に行った。調査に行った時は、写真-15に示すように、下弦材は復旧工事が完了していた。

大仏大橋は、上り線と下り線（下弦材が損傷）で損傷状況が大きく異なっていた。大仏大橋の上り線は片側歩道と2車線、下り線は3車線の構成となっている。調べてみると下り線は1972年、上り線は1975年に開通しているが、下り線も当初は、片側歩道と

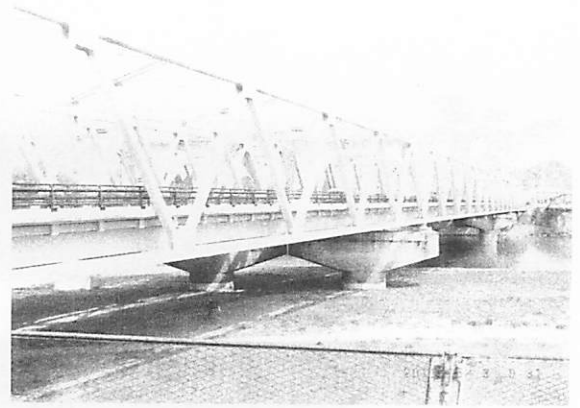


写真-14 大仏大橋全景



写真-15 損傷した下弦材の復旧

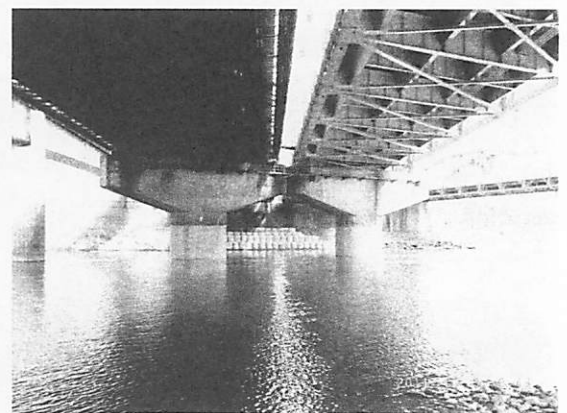


写真-16 上り線と下り線の比較

2車線という構成であったようだが、混雑解消のため

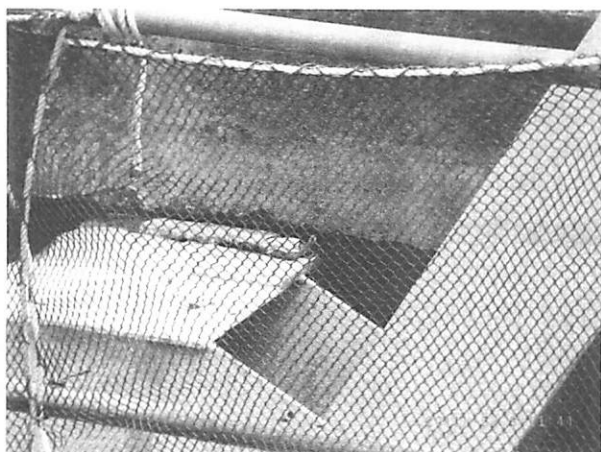


写真-17 下り線のトラス格点部位置で生じた損傷



写真-18 上り線と下り線の橋脚の損傷状況

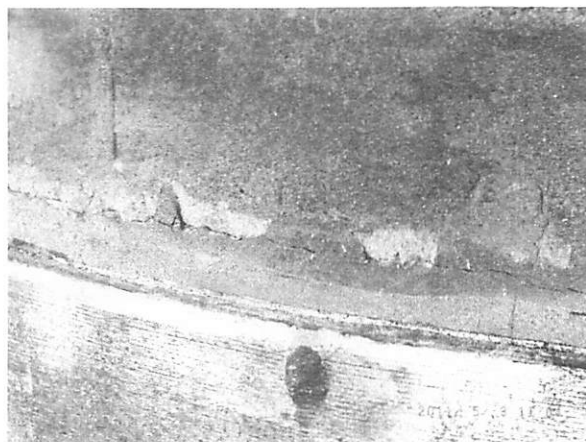
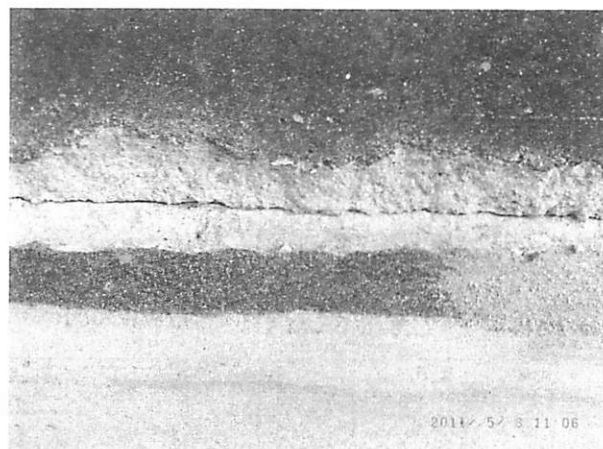


写真-19 下り線の橋脚に生じた損傷



めに、下り線の歩道を走行車線に変更したようである。

写真-16に示すように、上部構造は下り線に損傷が集中している。下り線の上部構造には、下弦材に生じた損傷とは別に、写真-17に示すように格点部で床版との接合（接着）がきれるような損傷が生じている。

一般的に、片側歩道+車道2車線の方が、その歩道を車線に変更して車道3車線としたものよりも重い。損傷が集中している下り線よりも上り線の方が重量が重いのであるが、下り線に損傷が集中しているのは、交通量が多いため、常時状態において下り線の方が上り線に比較してその性能が劣化しているからかと思つて上部構造の損傷を眺めていた。しかし、橋脚を見てみると、写真-18と写真-19に示すように、橋脚も上り線よりも下り線の方が損傷が大きかった。下り線は、打ち継目らしき箇所でも全週に渡ってひび割れが生じていた。上述したように、上部構造の重量は、片側歩道+車道2車線の上り線の方が重いと予想される。しかし、軽い上部構造を支持する下り線の方に大きな損傷が生じている。

写真-16に示したように、下弦材が損傷している側の橋台の前面の護岸部も下り線側だけに損傷が集

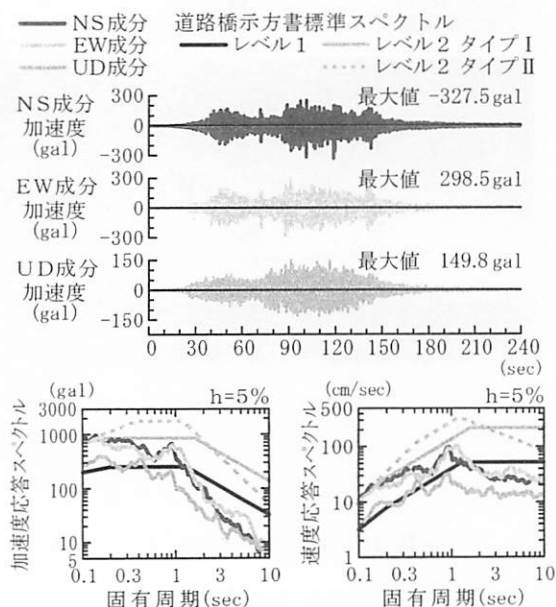


図-6 大仏大橋と福島的位置および福島（FKS003）II種地盤上で観測された地震動

中していた。

大仏大橋に生じた、上り線と下り線の損傷の違いは、当該橋梁で地震観測も行っていない限りその説明は難しいが、図-6に示すように大仏大橋の近くに

は、K-NETの福島の観測地点があるので、地震時の挙動分析を行いたい橋である。

5. まとめ

2011年東北地方太平洋沖地震において道路橋がどのように挙動したかを明らかにするために、調査に行った地点の周辺状況と橋に生じている状態に基づいて起きたと予想されることを整理した。ここで対象とした5橋は、地震観測記録のような科学的な情報はないが、近くのK-NETやKiK-netで観測された地震動を用いて、動的解析等を行えば科学的な情報が欠落していることへの参考指標にはなるのではと思っている。例えば、神崎大橋などは、解析的検討を行う場合には、基礎構造－周辺地盤間の動的相互作用モデルをどう作成するかで悩むことになる。しかし、起きている事実があるので、目指すべき方向は自ずと決まらと思っている。

2011年東北地方太平洋沖地震は、広範囲に渡って地震による影響を与えている。そのため、道路橋の挙動を明らかにするためには、長い時間がかかるかも知れないが、地道な調査が必要と考えている。

参考文献

- 1) <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 2) 財団法人土木研究センター：道路橋の免震構造研究委員会平成17・18年度報告書、2007。
- 3) 中山学，川島一彦，矢部正明：E-ディフェンスを用いた免震支承の震動実験，土木学会第65回年次学術講演会講演概要集（CD-ROM），I-018，pp.35-36，2010。