

# RC橋脚の橋座部に生じるせん断損傷に対する 応急復旧工法の考案とその効果の検証実験

榎本武雄・井上崇雅・篠原聖二・星隈順一

## 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震をはじめとした過去の地震においては、古い時代に設計された壁式RC橋脚の橋座部において、支承から伝達された地震力の作用によりせん断ひび割れが発生する損傷事例が報告されている（写真-1）<sup>1),2)</sup>。この種の損傷は余震による再度の地震力の作用によってせん断破壊に至り、当該支点が桁端部の場合には落橋等につながる可能性も考えられることから、橋としての機能に重要な影響をもたらす損傷モードの一つと言える。

既設RC橋脚に対する耐震対策としては、震前対策である耐震補強に着目した研究が多い。一方で、写真-1に例示したものと同様な構造条件の状態にある既設RC橋脚では、今後の地震によって同様な損傷が生じることが考えられる。したがって、このような既設RC橋脚に対する当面の対応方法として、減災の観点から、少しでも早期に緊急車両等が通行できる状態に挽回するための応急復旧方法を予め検討し、備えをしておくことも重要と考えられる。RC橋脚躯体部に対する応急復旧工法としては、これまでに土木研究所でも研究<sup>3)</sup>を行っており、また道路震災対策便覧<sup>4)</sup>においても例が示されているが、橋座部のせん断損傷を対象とした応急復旧工法について、その復旧効果を実験により検証した研究例は少ない。

そこで本研究では、既設の壁式RC橋脚の橋座部周辺に生じるせん断損傷を対象としてその応急復旧工法について検討した。ここで、その検討にあたっては、東日本大震災における教訓を踏まえ、大地震後には復旧に必要となる資機材や特殊工事ができる作業員の確保が困難となるという条件を考慮した。そして、壁式RC橋脚の模型供試体に対する水平力載荷実験により、対象とした応急復旧工法における復旧効果の検証を行った。



写真-1 壁式RC橋脚における橋座部のせん断損傷<sup>2)</sup>

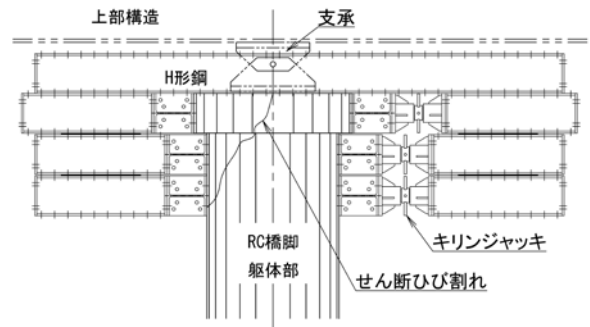


図-1 応急復旧工法の概要図

## 2. 橋座部のせん断損傷に対する応急復旧工法の検討

### 2.1 検討にあたって考慮した前提条件

写真-1に示すような壁式RC橋脚のせん断損傷を補修する工法としては、炭素繊維巻立て工法やRC巻立て工法等が考えられる。しかしながら、これらの工法では材料の調達も含め施工に時間を要するため、短時間での応急的な機能回復を目的とした応急復旧には適用が難しい場合がある。そこで本研究では、大地震直後の混乱した状況下という条件で施工することが求められることを踏まえ、以下の条件を考慮して応急復旧工法の検討を行った。

- (1) 余震によって損傷が進展して致命的な被害に至ることを防止すること
- (2) 短期間の工程で施工できること
- (3) 施工管理が容易であること
- (4) 使用資材は一般に市場において在庫量が確保されているもので、各地で入手が容易であること

(5) 本復旧工法の選定や施工に支障を生じさせることのない工法であること

### 2.2 H形鋼を用いた橋座部の応急復旧工法

上述の条件を踏まえ、本研究では、応急復旧工法として、H形鋼を主部材とした鋼製山留材（以下「H形鋼」という。）を用いた工法（図-1）を提案する。本工法は、橋脚躯体をH形鋼で挟み込むことにより、支承部から伝達されてくる地震力をせん断損傷が生じている断面領域に負担をかけずにその下部の破壊していない部位へと伝達させるという思想に基づいており、これによりRC橋脚全体として低下したせん断耐力を損傷前のレベルにまで回復させることを目的とするものである。ここで、本工法では、橋座上で橋軸方向にH形鋼を設置する必要があるため、支点上の横桁と橋座面の間の空間にH形鋼が挿入可能であることが前提条件となる。

本工法におけるH形鋼の組立ては、一般の鋼製山留材を構築する作業と同様であるため、施工にあたって特殊な技術は要さない。また、H形鋼及びキリンジャッキは、一般に市場において広く在庫量が確保されており、調達しやすい資材である。さらに、この応急復旧工法では現場溶接や上下部構造への削孔という施工プロセスを要さず、また、本復旧工事の段階では取り外しが可能という特徴を有している。

## 3. 応急復旧効果の検証実験

### 3.1 検証実験の概要

前述した応急復旧工法により、橋座部でせん断損傷したRC橋脚の水平耐力が損傷前の状態にまで回復させることができるかを検証するため、実際の既設橋脚を模した約1/2縮尺の壁式RC橋脚模型を用いて一方向静的繰返し載荷実験を行った（写真-2）。本実験では、まず既設橋脚の状態で行った。載荷は橋脚模型の橋座部に設置した支承部を模した2基の鋼製治具に油圧ジャッキを接続して水平変位を漸増させることにより行った。ここで、橋座部にせん断損傷が生じ、水平力の低下が確認されるまで水平変位を漸増させた（写真-3）。次に、H形鋼による応急復旧の施工を行った（図-3、写真-4）。そして、再度油圧ジャッキにより載荷を行い、水平耐力の回復について確認を行った。

### 3.2 応急復旧工法の施工手順

本実験における応急復旧工法の施工手順を図-2に示

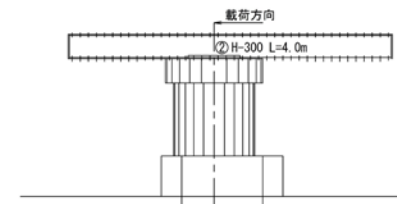
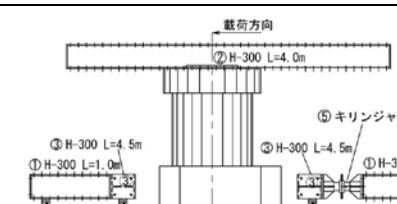
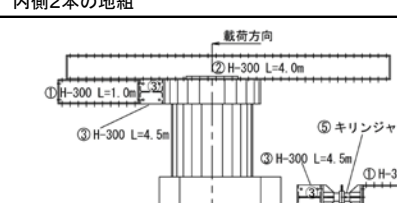
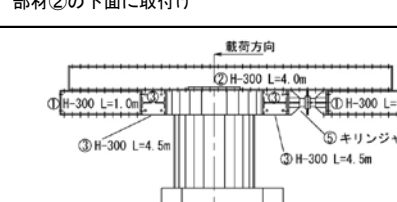
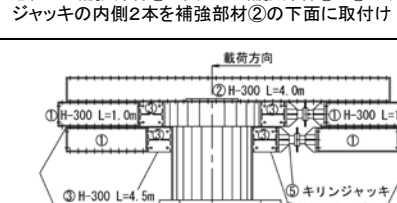
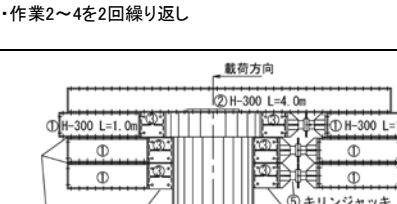
ステップ	作業内容
1	 <p>・補強部材②4本の位置出しおよび橋座面への設置</p>
2	 <p>・補強部材③1本および補強部材①4本の地組 ・補強部材③1本および補強部材①と⑤キリンジャッキの内側2本の地組</p>
3	 <p>・地組した補強部材③1本および補強部材①4本を補強部材②の下面に取付け</p>
4	 <p>・地組した補強部材③1本および補強部材①と⑤キリンジャッキの内側2本を補強部材②の下面に取付け</p>
5	 <p>・作業2～4を2回繰返し</p>
6	 <p>・補強部材①と⑤キリンジャッキの外側2本を補強部材②の下面に取付け ・高力ボルトおよびキリンジャッキの締め付け</p>

図-2 本実験における応急復旧工法の施工手順



写真-2 検証実験のセットアップ状況

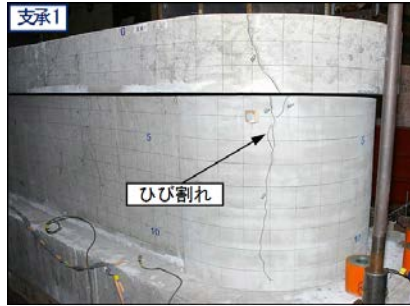


写真-3 橋座部に生じた損傷状況



写真-4 応急復旧工事を実施した状況

す。なお、図-2 はあくまで実験室内で実施した施工手順を示したものである。実際の橋脚では足場を設置する等の事前工程が必要となることが考えられるが、ここでは、H形鋼の組立て及びキリンジャッキによる固定等、力学的な観点から重要となる施工工程に着目して示した。

本工法における組立て作業では、ステップ 1 の工程において、橋座部に直接据付ける H 形鋼を吊り上げ、支点部横桁と橋座面の間に橋軸方向にスライドさせて設置する。また、ステップ 6 の工程におけるキリンジャッキによる既設 RC 橋脚躯体部への締め付けは、H 形鋼と橋脚躯体が確実に面接触するように手締めにて締め付けを行った。この工程は、H 形鋼を介して水平力を損傷が生じている部位よりも下部の断面へと円滑に伝達させるために必要となる重要なプロセスである。

### 3.3 応急復旧効果とそのメカニズム

既設橋脚に対する載荷実験の結果、支承1では、図-4 に青線で示す水平力ー水平変位の関係が得られた。すなわち、支承1に作用する水平力が662kNに達した際に、写真-3及び図-5中の紫色の線で示すように、支承側面から橋座部の側面方向へのひび割れ、橋座部前面への斜め方向へのひび割れ及び橋座頂部から橋脚下端方向へのひび割れがほぼ同時に発生し、これに伴って水平力の急激な低下が生じた。

次に、応急復旧後の再載荷実験により得られた支承1における水平力ー水平変位の関係を図-4中に赤線で比較して示す。これより、当初よりも剛性は小さくなるが、既設橋脚における最大水平力であった662kNを上回る水平抵抗を発揮できていることが確認できる。さらに加力を続け、水平荷重が700kNに到達すると、橋座部から橋脚前面へ生じていたせん断ひび割れの幅が拡大し始めた。そして、その後も載荷変位の増加につれて、そのひび割れ幅がさらに拡大していく挙動となった(図-5中の青色の線)が、この時点でも目標と

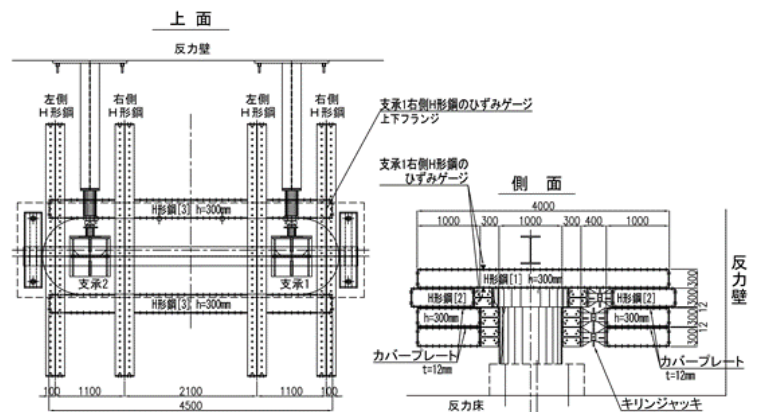


図-3 応急復旧後の載荷実験のセットアップ図

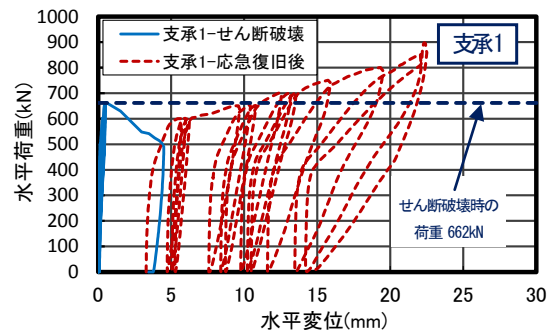


図-4 載荷点での水平荷重と水平変位の関係

している耐力は確保できている状態であった。なお、支承2についても同様な挙動となった<sup>5)</sup>。

図-6に載荷点位置における水平荷重と橋座部に据え付けたH形鋼(図-3中の支承1の右側H形鋼)のフランジに生じたひずみの関係を示す。これより、水平荷重が900kNで最大500 $\mu$ 程度のひずみが生じていることがわかる。ひび割れが生じた橋座部のコンクリート部分は、載荷変位の増加に伴い載荷方向に移動しようとするが、この動きを応急復旧部材が拘束しようとするため橋座部に据え付けたH形鋼には曲げモーメントが発生する。この作用曲げモーメントに対してH形鋼には自身の曲げ剛性によって抵抗力が生まれ、これにより橋座部を水平方向に押さえつけようとする力が導入される(図-7)。このようなメカニズムで橋座部に作

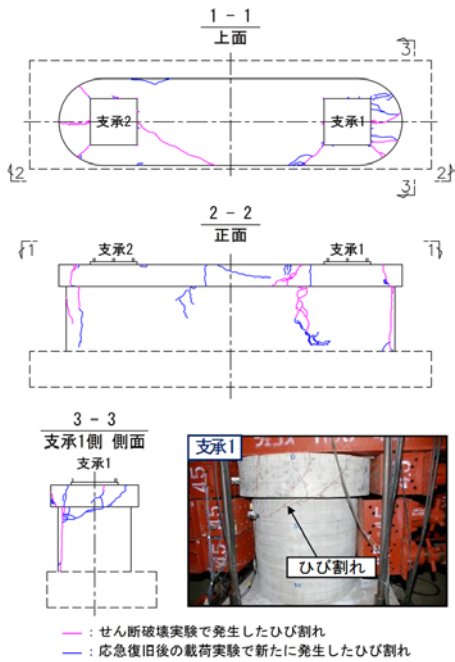


図-5 応急復旧後の載荷実験終了後の損傷状況

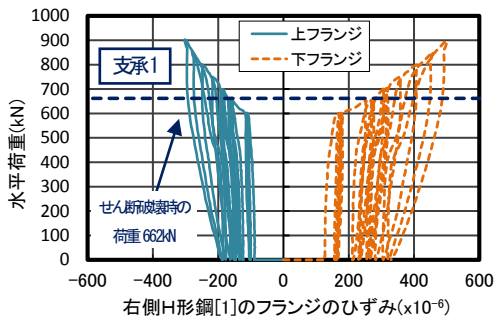


図-6 載荷点位置における水平荷重とH形鋼[1]のひずみの関係

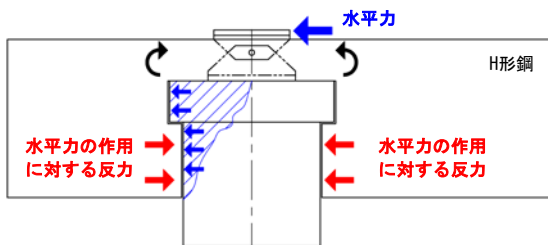


図-7 本工法のメカニズム

用するせん断力を応急復旧部材が分担することにより、失われた水平耐力が回復したのではないかと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、既設の壁式RC橋脚において、地震の影響によって支承が取り付く橋座部で生じる可能性のあるせん断損傷を対象として、その応急復旧工法の検討を行い、その効果を壁式RC橋脚模型に対する水平力載荷実験により検証した。本応急復旧工法の適用条件を明確化していくためには、応急復旧効果が発現するメカニズムの精査、応急復旧効果の発現の前提となる施工上の管理項目等についてさらに検討が必要ではあるが、本文で示した検討の範囲内で得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- (1) 橋座部のせん断損傷に対して比較的速やかかつ容易に施工が可能な応急的な復旧工法として図-1の工法を考案した。
- (2) 本応急復旧工法により、橋座部の損傷に伴って失われたせん断耐力を損傷前の状態にまで回復させることが可能であることを載荷実験により明らかにした。

#### 参考文献

- 1) 建設省土木研究所：1978年宮城県沖地震災害報告書、土木研究所報告、第159号、1982
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告、国総研資料第814号／土研資料第4295号、2014
- 3) 堺淳一、運上茂樹：地震により曲げ破壊した鉄筋コンクリート橋脚に対する緊急復旧工法の提案、地震工学論文集、Vol.30、pp.306～316、2009
- 4) 日本道路協会：道路震災対策便覧(震災復旧編)、2007
- 5) 榎本武雄、篠原聖二、星隈順一：RC橋脚の橋座部周辺で生じたせん断破壊に対する応急復旧工法に関する実験的研究、第17回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、pp.269～276、2014

榎本武雄



研究当時 土木研究所構造物メンテナンス研究センター交流研究員、現 (株)ビービーエム開発本部  
Takeo ENOMOTO

井上崇雅



土木研究所構造物メンテナンス研究センター 交流研究員  
Takamasa INOUE

篠原聖二



研究当時 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、現 阪神高速道路(株)技術部技術推進室、工博  
Dr.Masatsugu SHINOHARA

星隈順一



土木研究所構造物メンテナンス研究センター 上席研究員、工博  
Dr.Jun-ichi HOSHIKUMA