第24回橋梁等の耐震設計シンポジウム
講演論文集（2021年7月）

支承部の地震後における応急復旧方法の評価

中尾　尚史[1]・江口　康平[2]・菅原　達也[3]・大住　道生[4]

[1]正会員　博(工)　国立研究開発法人土木研究所　構造物メンテナンス研究センター　専門研究員
（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）
[2]正会員　博(工)　国立研究開発法人土木研究所　構造物メンテナンス研究センター　研究員
（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）
[3]正会員　国立研究開発法人土木研究所　構造物メンテナンス研究センター　交流研究員
（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）
[4]正会員　博(工)　国立研究開発法人土木研究所　構造物メンテナンス研究センター　上席研究員
（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

1. はじめに

社会資本整備審議会[1)]では，強靭で信頼性の高いネットワークの構築による安全，安心な社会の現実に向けて，災害からの迅速な復旧と早期の日常生活・経済活動の再開の両方から新たな目標の設定が必要とされている．イメージとして，発災後概ね1日以内に緊急車両の通行を確保し，かつ概ね1週間以内に一般車両の通行を確保等が挙げられている．そのため，損傷した部材の早期点検，早期復旧が求められる．また，2011年東北地方太平洋沖地震による道路橋の緊急点検を行った結果[2)]，損傷箇所の約10%が支承であったことから，支承部の早期点検及び早期復旧は重要である．

地震等により被災した支承部の点検を行う場合，支承部に生じた損傷の程度と復旧に要する時間を早急に判定し，その結果を考慮して支承部の被災度を診断することが重要となる．さらに，被災直後は点検を要する橋が膨大になることから，支承に関する知識が充分でない者が点検を行う場合がある．そのため，予め点検で着目すべき箇所を整理し，支承部に生じた損傷の程度と復旧に要する時間を比較的容易に判定する方法の確立が求められている．

支承部の被災度を診断するうえで参考になるのが，道路震災対策便覧(震災復旧編)[3)]であり，支承部の損傷箇所ごとに被災度を区分している．しかし，この便覧で示されている支承部の被災度は，主に損傷の観点から区分されているため，復旧の観点からは十分に考慮されていない．復旧に要する時間は，損傷箇所が同じでも損傷の状態や支承が設置されている状況等により異なる．そのため，支承部の損傷状態から応急復旧可能な方法を検討し，かつ各方法について復旧に要する時間を評価する必要がある．

そこで本研究では，支承の地震後における応急復旧方法の評価方法を確立することを目的として，被災した支承部の復旧事例を基に応急復旧方法を評価する方法の検討を行った結果を報告する．

2. 応急復旧方法を評価する方法の検討

(1) 地震後における支承部に求められる性能

道路橋の支承は，道路橋支承便覧[4)]に記載されている支承部に要求される性能(**表-1**)を満足する必要があり，地震後においてもこれらの機能が残存していることが望ましい．しかし，応急復旧の観点で考えた場合，応急復旧で必要な機能が残存しておけば良く，この機能を復旧できれば良いと考えられる．

ここで，地震直後の応急復旧において重要な橋の機能は，緊急輸送としての機能と余震による更なる被害を防止する機能であり，これら機能の早期復旧が求められる．支承部も上記に関連する機能を早期復旧する必要がある．そのため，**表-1**に示した支承部に求められる性能のうち，鉛直方向の高さを保持する機能，鉛直下向きの荷重伝達機能，及び水平方向の荷重伝達機能を早期復旧することが基本となる．本研究では，鉛直方向の高さを保持する機能，鉛直下向きの荷重伝達機能，及び水平方向の荷重伝達機

表-1　支承に要求される性能

支承部の要求性能		
鉛直方向		荷重伝達機能（上向き）
		荷重伝達機能（下向き）
		鉛直方向の高さを保持する機能
水平方向	橋軸方向	荷重伝達機能
		水平変位追随機能
	橋軸直角方向	荷重伝達機能
		水平変位追随機能
回転方向		荷重伝達機能
		回転変位追随機能

表-2　主な復旧方法と必要となる資機材

地震直後に要求される性能	機能が喪失する要因	応急復旧方法
鉛直方向の高さを保持する機能	桁や一部の支承部品の脱落	高さの調整
鉛直下向きの荷重伝達機能	支承部を構成する部材の損傷	仮受け等による鉛直支持
水平方向の荷重伝達機能	支承部を構成する部材の損傷	部品交換や補強等による水平抵抗力の確保

能の復旧方法に着目して検討を行う．

なお，鉛直上向きの荷重伝達機能，水平方向の変位追随機能，回転方向の荷重伝達機能及び回転変位追随機能は，応急復旧により限定的な通行が確保されている短期的な期間では機能喪失による影響は小さいと考え，応急復旧の優先度は低いと考えられる．

表-2は主な支承部の応急復旧方法を示したものである．前述した機能を復旧する方法は，主に鉛直高さの調整，仮受け等による鉛直支持，部品交換や補強等による水平抵抗力の確保が考えられる．

(2) 応急復旧方法の評価方法

支承部の応急復旧方法を評価するうえで重要となるのは，復旧までにどれくらいの時間を要するかである．そのため本研究では，各応急復旧方法において，作業手順が多い方法は復旧に時間を要すると考えた．ただし，各応急復旧方法において実際に要した時間については，本研究の範囲では調査できていない．

a) 高さ調整する場合の評価方法

鉛直方向の高さを調整する場合，主にジャッキが用いられている．そのため，ジャッキを挿入するスペース及びジャッキの反力をとる箇所が重要であり，それによって復旧時間に影響を与える．

ジャッキを挿入するスペースとジャッキの反力をとる箇所がある場合，該当場所にジャッキを挿入することで，早急に復旧作業に取り掛かることができる．そのため，応急復旧に時間を要しないと評価した．

一方，桁が橋脚天端上へ落下するなど，ジャッキを挿入するスペースがない場合，例えば下部構造にブラケットを設置したり，**写真-1**のように地面からベントを新たに立てる必要がある．また，上部構造

写真-1　ベント設置の状況[5)]

写真-2　H鋼による仮支持した例[6)]

写真-3　ライナー挟み込みによる高さ調整した例[6)]

側にジャッキの反力をとる箇所がない場合は，ジャッキの反力をとれるように桁を補強する必要がある．そのため，応急復旧に時間を要すると評価した．

b) 鉛直荷重を支持する場合の評価方法

鉛直荷重を支持する場合，主にサンドルやベント等を用いた仮受けによる復旧が行われる．仮受けを行う場合，支承高さ又は路面段差量が応急復旧に影響すると考えられる．

支承高さや路面段差量が小さい場合，例えば**写真-2**や**写真-3**のように反力受けに使用する鋼材等の資材は単体ですむ．そのため，応急復旧に時間を要しないと評価した．

一方，支承高や路面段差量が大きい場合，例えば**写真-4**のようにサンドル用の資材を何段も組み，かつ各部材をボルト等で固定する必要がある．支承高さや路面段差量が小さい場合に比べて作業に時間を要すると考えられるため，応急復旧に時間を要すると評価した．

また，**写真-5**のように，モルタルを充填すること

写真-4　H鋼を組んで仮支持した例

写真-5　モルタルを充填して補修した例

(a) 損傷直後の状態　　(b) 応急復旧後

写真-6　上沓ストッパーの復旧事例[4)]

で荷重支持する方法もある．この場合，モルタルが所定の強度を得るまでに時間を要する．

c) 水平抵抗力を確保する場合の評価方法

水平抵抗力を確保する方法としては，損傷した部品を交換する方法，損傷部を補修する方法，及び新たに水平抵抗する機構を設置する方法が考えられる．この場合，損傷箇所が評価に影響する．

部品交換の容易な箇所が損傷した場合，新たに部品を取り付けることで応急復旧することができる．例えば**写真-6**に示す上沓ストッパーの損傷した場合は，損傷した部品をプレートに取替えて応急復旧している．そのため応急復旧に時間を要しないと評価した．ただし，施工条件によって，ボルト締め又は溶接があり，復旧に要する時間は若干異なる可能性がある．

損傷部品の交換が困難又は不可能な場合，損傷部を補修する方法，又は新たに水平方向の力に抵抗する機構を取り付ける方法が考えられる．前述した**写真-2**は，仮受けしたH鋼に簡易的な上揚力止めを取り付けている．この様な方法は，H鋼に穴をあけてボルト留めすることで施工可能なため，比較的応急復旧に時間を要しないと評価できる．一方，例えばコンクリート巻立てによる復旧を行う場合，あと施工アンカーを設置するために削孔する必要があり，かつ既設の鉄筋を切らないように削孔位置を考える必要がある．そのため，他の方法よりも復旧に時間を要すると評価できる．

3. 復旧方法の評価例

ここでは一例として，文献7)で損傷度を検討した支承部の損傷事例を基に，考えられる応急復旧の方法と，応急復旧方法の評価を試みた．**表-3**に評価した結果を示す．なお，本研究では，各方法で判定した結果を総合して評価しているため，復旧に時間を要するか断定できないケースについては評価できないとした．

損傷事例1は，セットボルトが損傷したことで桁が橋脚天端に落下している．この状態で応急復旧するためには，鉛直高さの調整，鉛直荷重の支持，及び水平抵抗力の確保する必要がある．鉛直高さを調整する場合，ジャッキを挿入するスペースを確保できないため，応急復旧するにはブラケットやベントを設置する必要がある．また，この支承はピン支承で支承高さは比較的大きいため，鉛直荷重を支持するには複数本の鋼材を組んで仮受けする必要がある．さらに，水平方向の荷重伝達機能を回復させるために，新たに水平荷重に抵抗する装置を設置する必要がある．そのため，このような損傷状態における応急復旧は時間を要すると評価できる．

損傷事例2のように，片方のサイドブロック取付ボルトが損傷して上沓が下沓の上に載っている場合，ライナー等による高さ調整が必要となる．この様な損傷状態の場合，高さ調整を行うことで鉛直下向きの荷重伝達機能は十分に確保される．また，水平方向の荷重伝達機能を回復させるために，サイドブロック取付ボルトを交換する必要がある．よって，サンドルやジャッキが不要であり，復旧に時間を要しないと評価できる．

損傷事例3のように，1本ローラー支承のサイドブロック取付ボルトが損傷した場合，残留変位等は生じていないため，高さを調整する必要はない．ただし，鉛直下向きの荷重伝達機能は十分に残存していないため，サンドル等による仮受けは必要になる．また，橋軸直角方向の荷重伝達機能を回復させるために，サイドブロック取付ボルトを交換する必要がある．よって，サイドブロック取付ボルトの交換では復旧に時間を要しないが，サンドルによる仮受け

表-3　復旧事例の評価例

			損傷事例1	損傷事例2	損傷事例3	損傷事例4	損傷事例5
損傷状態	損傷写真						
	支承形式		ピン支承	BP支承（可動沓）	1本ローラー支承	BP支承（固定沓）	BP支承（固定沓）
	損傷箇所		セットボルトの破断	サイドブロック取付ボルトの破断	サイドブロック取付ボルトの破断	上沓ストッパーの破断	上沓ストッパーの破断
	損傷後の状態		桁が落下した状態	上沓が下沓に乗った状態	残留変位はほぼ見られない	橋軸方向に可動範囲を大きく変位	可動範囲内の変位
考えられる応急復旧方法	鉛直方向の高さを保持する機能	ジャッキによる高さの調整	ジャッキを設置するスペースなし 判定：時間を要する	ライナー等による傾きの調整 判定：時間を要しない	不要 （鉛直高さは保持されている）	不要 （鉛直高さは保持されている）	不要 （鉛直高さは保持されている）
	荷重伝達機能 鉛直下向き方向	鉛直荷重を支持	H鋼を組む必要あり 判定：時間を要する	不要（傾き調整により荷重支持機能は保持さる）	H鋼を組む必要あり 判定：時間を要する	H鋼を組む必要あり※※ 判定：時間を要する	不要（鉛直下向き方向の荷重支持機能は保持されている）
	荷重伝達機能 橋軸方向	部品交換or新たな機構設置	変位制限装置等の設置 判定：時間を要する	サイドブロック取付ボルトの交換※ 判定：時間を要しない	不要 （可動支承のため）	変位制限装置等の設置※※※ 判定：時間を要する	上沓ストッパーの代用となる部材の取り付け 判定：時間を要しない
	荷重伝達機能 橋軸直角方向	部品交換or新たな機構設置	変位制限装置等の設置 判定：時間を要する	サイドブロック取付ボルトの交換※ 判定：時間を要しない	サイドブロック取付ボルトの交換※ 判定：時間を要しない	サイドブロック取付ボルトの交換※※※ 判定：時間を要しない	不要（橋軸直角方向の荷重支持機能は保持されている）
応急復旧の評価			時間を要する	時間を要しない	評価できない	時間を要する	時間を要しない

※取付ボルトが容易に外せない場合のリスクもある．サイドブロックの代用となる部材が必要になる場合がある

※※モルタルを充填する方法も考えられる　　※※※モルタルを充填した場合は不要

には復旧に時間を要すると考えられる．したがって本研究では，評価できないとした．

損傷事例4のようにBP支承の上沓ストッパーが破断して橋軸方向に大きく変位が生じた場合，鉛直方向の高さは保持されているため，高さの調整は不要であるが，鉛直下向きの荷重伝達機能は低下しているため，サンドル等による仮受けは必要となる．また，水平方向の荷重伝達機能を回復させる必要もある．この場合は，新たな水平力に抵抗する機構を設置する必要がある．したがって，応急復旧に時間を要すると評価できる．

損傷事例5のように，BP支承の上沓ストッパーが破断しているが，変位は生じていない場合，鉛直方向の高さは保持されているため，高さの調整は不要であり，仮受けも必要ない．水平方向の荷重伝達機能については，鋼板等の上沓ストッパーの代用となる部品を取付けることで復旧は可能である．そのため，応急復旧に時間を要しないと評価できる．

以上より，各復旧方法に時間を要するか推定することで，応急復旧方法を評価することは可能であることを確認できた．今後は，様々な復旧条件において，復旧に要する時間を詳細に判定するためには，多くの事例を収集して調査する必要がある．

4. まとめ

本研究では，支承の地震後における応急復旧方法の評価方法を確立することを目的として，被災した支承部の復旧事例を基に検討を行った．その結果，復旧に重要となる機能及び応急復旧に時間を要するかに着目して，その復旧方法を論理的に評価することができた．

本研究では，前述したとおり，各復旧方法を詳細に評価できるまでは至っていない．そのため，今後は根拠を積み上げることで，様々な条件における復旧方法を評価できるように検討する予定である．

参考文献

1) 社会資本整備審議会，道路分科会，第43回国土幹線道路部会，2020.9.24. https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01_sg_000522.html
2) 赤川正一：東日本大震災への対応と課題，第4回CAESAR講演会講演会資料，2011. https://www.pwri.go.jp/caesar/lecture/pdf04/6_akagawa.pdf
3) （公社）日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編），2007.
4) （公社）日本道路協会：道路橋支承便覧，2018.
5) 湯本大祐，柿沼努，村井向一，吉田昌由：支承部の損傷と対策事例－経年劣化から地震による被害まで－，平成23年度橋梁技術発表会資料，2011. https://www.jasbc.or.jp/images/imageparts/title/release/ronbun/2011/H23_06.pdf
6) 福島道人，田中寛泰，柿沼努：震災時における補修・補強事例－応急対応から本復旧まで－，平成26年度橋梁技術発表会資料，2014. https://www.jasbc.or.jp/images/imageparts/title/release/ronbun/2014/H26_005.pdf
7) 中尾尚史，菅原達也，大住道生：地震直後における支承部の損傷度判定方法に関する研究，令和3年度全国大会第76回年次学術講演会，2021.