

兵庫県南部地震で被災を受けた 都市高速道路橋の復旧費に関する検討

足立幸郎¹・庄司 学²

¹阪神高速道路公団工務部工務第一課 係長 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3)

E-mail: yukio-adachi@hepc.go.jp

²筑波大学機能工学系 講師 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail: gshoji@kz.tsukuba.ac.jp

合理的な耐震設計を行っていくためには、大規模地震動に対する耐震安全性の確保だけでなく、中小規模の地震動をも含めた地震動による構造物被災の復旧とそれが及ぼす社会的影響度を考慮した設計法の体系化を図る必要がある。現行の耐震設計では、最大応答塑性率もしくは残留変位の照査を行うことにより、被災復旧や社会的影響の影響度を間接的に考慮されていると考えられるが、ここではそれらをさらに直接的に定量評価することを目的とし、兵庫県南部地震で被災を受けた都市高速道路高架橋の被災復旧費について分析を行い、構造物の被災度と復旧費の関係を明らかにした。その結果、再構築と補修補強費用には大きな差があるが、軽微な被災度区分間の復旧コスト差は小さいことが判明した。

Key Words : Cost analysis, Seismic damage index, Restoration cost, Hyogoken-Nanbu earthquake

1. はじめに

合理的な耐震設計を行っていくためには、大規模地震動に対する耐震安全性の確保だけでなく、中小規模の地震動をも含めた地震動による構造物被災の復旧とそれが及ぼす社会的影響度を考慮した設計法の体系化を図る必要がある。現行の耐震設計では、最大応答塑性率もしくは残留変位の照査を行うことにより、被災復旧や社会的影響の影響度を間接的に考慮されていると考えられる。しかしながら、設計法の合理性および社会的説明性を高めるためには、被災復旧にかかるコスト、さらには被災による社会への影響を直接的に評価し、構造物に付与すべき耐震性を検討する必要がある。

被災復旧費を考慮した耐震設計法に関しては、庄司ら¹⁾が高架道路橋システムにおける地震時損傷配分の最適化の試みとして、地震時の被災復旧費を考慮した最適設計について論じている。また港湾施設の分野では、一井²⁾が兵庫県南部地震時の港湾施設の復旧費を分析し、トータルコストに基づく耐震設計を提案している。このように被災復旧を考慮した耐震設計法の提案が行われる中で、被災復旧費についてはグロブ的な評価もしくはある被災シナリオ仮定に従って算定した被災復旧費が考慮される場合が多い。

ここでは兵庫県南部地震時に被災した都市高速

道路高架橋を対象として、実際の復旧費をもとに各橋梁部材の復旧コストについて調査した。また調査結果は被災度区分にしたがって整理した。本稿ではその結果について報告する。

2. 被災度の評価方法

兵庫県南部地震により被災した都市高速道路高架橋の被災度の診断に当たっては、道路震災対策便覧(震後復旧編)に示される5段階(A_s , A , B , C , D)の被災度分類に基づき評価を行った。この5段階評価の基本的考え方は、 A_s , A については甚大な被災であり再構築による復旧が望まれ

表1 被災度分類の定義(RC橋脚の場合)

被災度	定 義
A_s	崩壊、倒壊した場合、また損傷変形が著しく大きなもの。
A	鉄筋の破断等が生じ、変形が大きなもの。
B	鉄筋の一部の破断やはらみだし及び部分的なかぶりコンクリートの剥離や亀裂がみられるもの。
C	ひび割れの発生や局部的なかぶりコンクリートの剥離がみられるもの。
D	損傷がないか、あっても耐荷力的に影響のないきわめて軽微なもの。

表3 R C 橋脚の被災度と復旧方法の関係

被災度		復旧方法	
		補修	補強
A s	損傷が甚大であることから、橋脚を撤去し、耐震性を確保した新しい橋脚を構築する。		
A			
B	損傷したコンクリート部分を撤去し、座屈鉄筋を切断補修、クラックについては樹脂注入し断面修復を行う	補修が完了後、鋼板併用コンクリート巻き立て補強により補強を行う。	
C			
D			
その他	被災度 B , C , D 橋脚で残留傾斜の著しい橋脚は、撤去再構築を行う。		



写真 1 2 次災害防止対策状況

写真 2 RC橋脚を撤去状況

写真 3 鋼製梁架設状況

写真 4 鋼桁補修状況

写真 5 杭基礎補強状況

るもの、B、Cについては残留耐荷力はあるが補強・補修が必要なもの、Dについては無被災かまたは被災が非常に軽微なものであり場合によっては長期展望にたった補修が必要なものである。表1にはR C 橋脚における被災度分類の定義を示す。

3 . 都市高速道路高架橋の被災復旧の流れ

(1)二次災害防止対策

兵庫県南部地震直後には、道路橋の被災状況の概略調査が直ちに実施され、余震等の影響によって被害が拡大され周辺への二次災害が懸念される場合は、本復旧までの応急対策として橋脚基部損傷部への鋼板巻き立て補強（損傷部への樹脂注入、主鉄筋補強、鋼板型枠によるコンクリート充填等の補助工法も含む）、および橋脚梁部に対する支

保工、桁部に対する支保工等の二次災害防止対策が行われた。

(2)被災構造物の復旧

検討対象とした都市高速道路高架橋では、外観調査に基づく橋脚の被災度に応じて、概ね表2に示す復旧方法が採用された。

倒壊または使用不可能（被災調査で被災度A s , A と被災判定されたもの）と判断された構造物は撤去し、再構築とした。しかし、詳細な調査・検討を行った結果、部材取替えなどにより復旧可能なものは部分的な取替えに留め、補強・補修で対処している。また、外観調査で被災度B以下のランクに判定された橋脚で、傾斜の著しいものについても、撤去再構築するものとした。その他の橋脚については補修後、補強を行っている。写真1

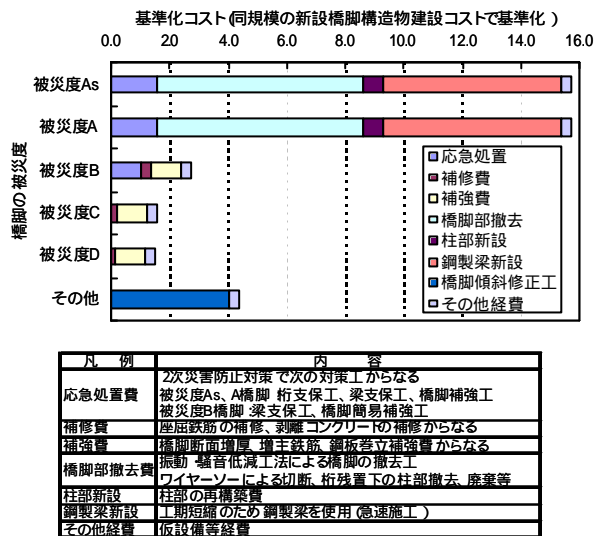


図1 R C 橋脚の復旧コスト

から写真5に代表的な復旧状況写真を示す。

4. 都市高速道路高架橋の復旧コスト

(1) コストの算定方法

ここでは、兵庫県南部地震で被災した場所打杭基礎、鉄筋コンクリートT型単柱橋脚（橋脚高が10-15m）、鋼I桁橋（道路幅員4車線）、およびRC床版からなる都市高架橋の復旧に要した復旧費について整理した。なお、橋脚および上部構造の復旧費については、内陸部に位置する都市高速道路の復旧に係る全25工区の結果を基に算出を行った。基礎構造物については湾岸部に位置する都市高速道路の復旧費を基に算出した。さらに最終的に積算エキスパートによるレビュー結果も反映させた。

なお復旧コストについては新設時の各構造部位の建設コストにより基準化を行っている。したがって、橋梁全体の復旧という観点からは橋梁全体の建設コストに対する各構造部位の建設コストが占める割合も考慮する必要がある。

(2) 橋脚の復旧コスト

RC橋脚の平均基準化復旧コストを図1に示す。被災度がAsおよびAに着目した場合、被災度の差による復旧コストの差は見られない。これは、被災度がAsおよびAランクに判定された場合は、撤去再構築されたためである。約新設の約1.5倍のコストを2次災害対策（鋼板型枠にコンクリートを充填する簡易な橋脚補強、梁支保工、および橋桁支保工）に費やしている。さらに、RC橋脚の撤去に新設の約8倍のコストを要している。これは、橋脚の撤去において、都市高速道路直下の国道の交通への影響を最小限にするためや、近隣住民への騒音・振動の低減するために、ワイヤーソー工法を採用したためである。したがって、都市内高速道路と全く建設環境条件の異なる地域で

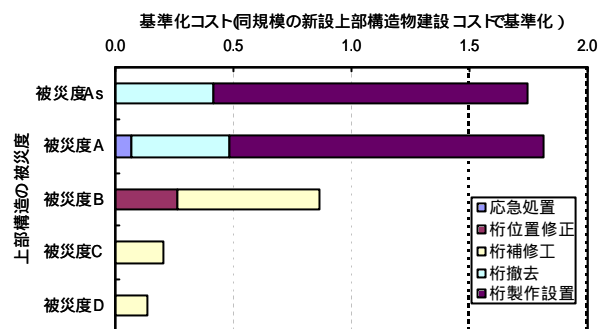


図2 鋼I桁上部構造の復旧コスト

は、これら、2次災害防止コストおよび撤去コストはより小さいものになると考えられる。さらに鋼製梁の建設には新設の約6倍のコストが必要とされた。鋼製梁の採用は、復旧期間を短縮するために採用されたものである。したがって、復旧期間に生じる社会影響のコストと比較次第では、RC構造を採用し復旧コストを低減することは可能と思われる。

被災度B、C、Dに着目した場合、被災度Bに対して行った二次災害防止対策コストによる差が支配的な差となっている。橋脚補修工については被災度によりその差が若干認められるが、その差は比較的小さい。兵庫県南部地震前後に耐震基準で考慮すべき地震力が変化したために必要となった補強コストが、補修コストに比較して大きいためである。

その他として、橋脚傾斜修正工のコストも算出した。橋脚傾斜の修正にあたっては、被災度、現地条件などを考慮して、その適用性を十分に検討する必要があるが、一般に、被災度が大きく橋脚基部に塑性ヒンジが形成されている場合は容易に傾斜を修正することが可能であるが、塑性ヒンジが十分に形成されていない場合は、損傷部の鉄筋を切断するなど強制的にヒンジ化させなければ、傾斜修正が困難であることがわかっている。

以上のように、橋脚の復旧コストに関しては、復旧方法として撤去再構築が必要か否かで大きく変化することがわかる。また、一方で被災度B、C、Dの復旧コストの差は小さいことがわかる。

(3) 上部構造の復旧コスト

上部構造の基準化復旧コストの平均を図2に示す。

橋脚の復旧コストと同様に、上部構造においても被災度AsおよびAの被災を受けた上部構造は撤去再構築を行うという復旧方針を設けている。このように撤去再構築を行った場合、復旧コスト

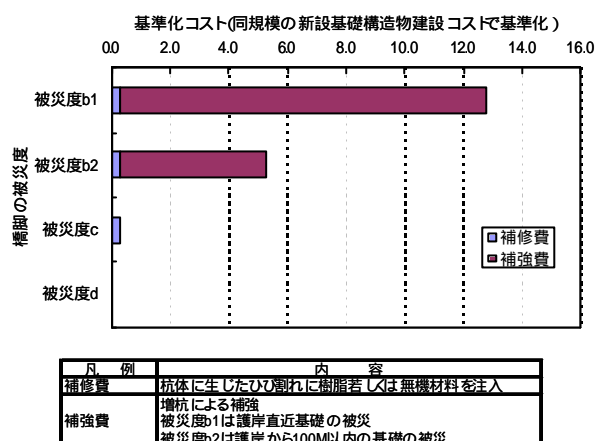


図3 基礎構造の復旧コスト

が大幅に増加していることがわかる。上部構造の建設コストが橋梁全体に占める割合は高いため、撤去再構築を行った場合でも基準化コストは1.6前後であるが、その絶対額は橋脚のそれに比較してはるかに大きい。

被災度AsおよびAの上部構造はそのほとんどが、被災による橋脚の沈下によるものが多い。また被災度B, C, Dの上部構造の被災程度は、桁端部での損傷が多い。被災度B, C, Dの復旧コストに着目した場合、被災度Bでは上部構造の補修費に加えて桁位置の調整のコストが無視できないことがわかる。ただ、桁位置修正については、被災度Cであっても被災度Bと同等の桁位置修正コストが必要となった事例もあった。

(4) 基礎構造の復旧コスト

基礎構造の基準化復旧コストの平均を図3に示す。

基礎の復旧コストは、被災した既設杭基礎の残留耐力により大きく異なる。

被災度b1は、護岸直近で水平方向に約1m程度移動した基礎の復旧コストを示している。ここでは、既設杭基礎の水平方向の残留耐力を無視して補強を行っており、新設杭基礎の建設コストに比較

して約1.2倍のコストが必要となった。これは、高コストの主因は桁下という狭隘空間での施工となるためである。

被災度b2は、護岸から約100m程度以内の基礎の復旧事例であり、既設杭基礎の水平方向残留耐力がある程度残存しているとして復旧した場合のコストを示している。概ね新設杭基礎の約5倍のコストが必要となっている。

被災度cは、杭体にひび割れ損傷が生じたもので、樹脂注入等による補修が必要とされる場合の復旧コストを示している。新設杭基礎の約30%程度のコストが必要となっている。

5. おわりに

兵庫県南部地震で被災を受けた都市高架橋の復旧コストについて検討を行い、同規模の橋梁を建設する場合に必要とされるコストで基準化した復旧コストを算定した。

被災度AsおよびAの被災を受けたRC橋脚および鋼I桁上部構造は復旧コストが大きく、被災度B以下の復旧コストとの差が大きい。それに比較して被災度B, C, D間の復旧コストの差は小さい。特に被災度CとD間の復旧コストの差は、被災度判定のばらつきも影響するためかほぼないに等しい。

また同様に耐力の補強を必要とするような基礎の復旧には復旧コストを要することが整理された。

参考文献

- 1) 庄司学, 藤野陽三, 阿部雅人: 「高架道路橋システムにおける地震時損傷配分の最適化の試み」, 土木学会論文集, No.563/I-39, 1997
- 2) 一井康二: 「トータルコストに基づく耐震設計の提案と試算」, 第11回日本地震工学シンポジウム論文集, P2371-2376, 2002
- 3) (社)日本道路協会: 道路震災対策便覧(震災復旧編), 昭和63年

(2003. 9. 11 受付)

RESTORATION COST OF SEISMICALLY DAMAGED EXPRESSWAY BRIGES DUE TO HYOGOKEN-NANBU ERATHQUAKE

Yukio ADACHI and Gaku SHOJI

Not only considering seismic safety against intensive earthquake, but also considering restoring cost and influence to society against moderate earthquakes is necessary to construct cost-effective seismic design. It is considered that the current design code checks restoring cost and influence to the society indirectly by analysing maximum response ductility and residual displacement to consider. In order to analyze such cost directly, restoring cost of the urban expressway bridges damaged due to Hyogoken-Nanbu earthquake was computed by using actual data. As the result of this study, the relation between damage index and restoring cost was clarified.