

I-B 256 高架橋システムにおける地震時損傷配分評価の試み

東京工業大学工学部 正会員 庄司 学
 東京大学大学院工学系研究科 正会員 藤野陽三
 同上 正会員 阿部雅人

1. 本研究の立場・目的

兵庫県南部地震では阪神高速道路3号神戸線などの都市内高架橋に甚大な被害が発生した。神戸海洋気象台の強震記録による加速度応答スペクトル(5%減衰時)は、構造物への影響が大きい0.5秒から1.0秒の周期帯域で2g, もしくはそれに近い値を示している。本研究では第一の前提として、重要度の高い高架橋に対してはこの地震動レベルに備えるべきであるとする。一方、今回の地震動レベルに対して全く損傷を許さないという設計法は工学的見地から得策ではないと考える。そこで、第二の前提として激震時には高架橋に補修可能な程度の損傷は許すという立場に立つ。

以上より本研究では、桁、支承、橋脚、基礎で構成される高架橋システムにおいて各要素へ損傷を合理的に配分し、高架橋全体で耐震性能を確保するという考え方を提案する。そして、各要素の損傷度の関数で高架橋全体の損傷度を定量化できるような評価指標を構築し、高架橋システムの好ましい損傷配分を検討する。好ましい損傷配分は、設計レベルを反映する初期投資額と地震動入力後の補修費用との和が最小となる条件から求める。

2. 研究方法

研究方法は第一に、各要素の損傷度と補修費用を結びつける指標、ならびに設計レベルに応じた初期投資額の感度を表す指標を作成する。前者を損傷度評価曲線、後者を初期投資額の感度曲線と呼ぶことにする。各要素の損傷度は最大応答塑性率(以下、塑性率)で表し、また設計レベルは降伏強度で評価を行う。損傷度評価曲線は今回得られた被害データを活用し、実被害のパロメータである被災度判定を介して求める^{1,2,3)}。一方で、初期投資額の感度曲線は専門家へのアンケート調査によって作成する。第二に、基礎のswayとrockingを加味した高架橋モデルを用いて非線形動的解析を行い、各要素の損傷分布を調べる⁴⁾。最終的に、非線形動的解析から導かれる塑性率を損傷度評価曲線に対応づけて補修費用を算出し、一方で、ある降伏強度における初期投資額をその感度曲線から算出し、高架橋システムの好ましい損傷配分を決定する。

なお、対象とする高架橋は阪神高速道路3号神戸線の中から都市内高架橋の典型例として表1の諸元のものを選択した。また、支承部は3号神戸線の復旧状況を考慮し免震支承、橋脚はコンクリート充填鋼製橋脚、基礎は場所打ち杭をそれぞれ想定した⁵⁾。

表1 対象とする高架橋

桁	鋼Box桁 スパン：50m 幅員：20.25m
橋脚	T型張り出し式鋼製単柱
基礎	場所打ち杭 杭径：1.5m 杭長：15.0m 杭数：8本

3. 損傷度評価曲線、ならびに初期投資額の感度曲線

以上の過程を経て作成した損傷度評価曲線を図1に、初期投資額の感度曲線を図2に示す。これら2つの指標から、第一に各要素への損傷配分として考えられる塑性率2から7の範囲では杭基礎の補修費用が格段に大きいこと、第二に免震支承の補修費用と初期投資額は他の要素に比べて低いことが示された。つまり、基礎への損傷をでき

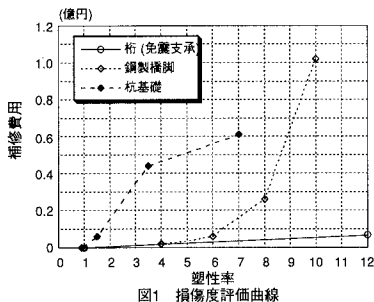


図1 損傷度評価曲線

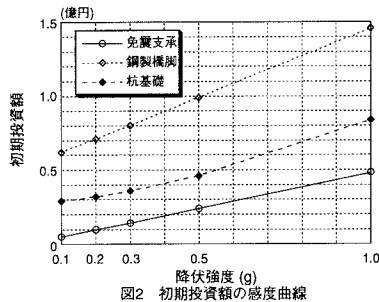


図2 初期投資額の感度曲線

る限り避け、免震支承に相応の損傷を負担させることが好ましい設計であると示唆される。

4. 損傷分布の傾向

次に、非線形動的解析により、支承部の降伏強度を0.1gから0.5gに変化させた時の各要素の塑性率の変化を調べた。ここでは、橋脚の降伏強度は0.2g、基礎の降伏強度は0.5gに設定している。各要素の復元力モデルは全てバイ・リニア型を用い、それらの値は文献⁵⁾を参考に定めた。

また、入力地震動は神戸海洋気象台のNS成分を用いている。解析結果を図3に示す。図3より、支承部の降伏強度を高めると支承自身の塑性率は減少するが、橋脚や基礎の塑性率は高まる。つまり、ある要素の設計レベルが他の要素の損傷量に与える影響は大きく、一つの要素の耐震性能を高めるだけでは高架橋システム全体の損傷量のバランスは合理的に改善されないことが示唆された。

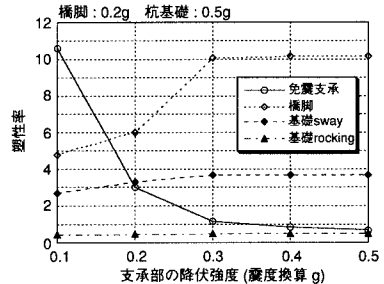


図3 支承部の降伏強度に対する塑性率の変化

5. 損傷配分評価

図1の損傷度評価曲線と図2の初期投資額の感度曲線を用い、基礎の降伏強度を0.5gから0.9gに、支承と橋脚の降伏強度を0.1gから0.5gに変化させた場合、その組み合わせの中から初期投資額と補修費用の和が最小となる好ましい損傷配分を求めた。基礎の降伏強度を0.9gに設定した場合の結果を図4に示す。

図4より、支承部の降伏強度を0.1g程度に、橋脚の降伏強度を0.2gから0.3gに設計したケースが最も経済的となり、補修の負担が軽いことが示された。なお、この時の塑性率は、免震支承が11から14、橋脚が3から5の範囲にあり、現設計において十分対応できる値であることを確認している。

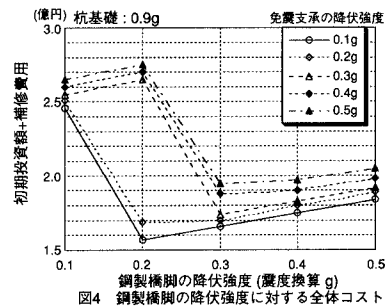


図4 鋼製橋脚の降伏強度に対する全体コスト

一方、図には示していないが、基礎の降伏強度を0.5gに設計した場合はコスト的には0.9g設計に比べて大きな差が認められないものの、増し杭を容認する設計になってしまう。つまり、コストがほぼ等しいなら、弾性設計に近い0.9g程度に設計する方がより安全であると考えられる。最終的に結論として、想定した高架橋システムの設計方針、すなわち好ましい損傷配分は、(1)免震支承に可能な限りの塑性変形を許し、(2)コンクリート充填鋼製橋脚にある程度の塑性変形を許し、(3)杭基礎で若干のエネルギー吸収を見込むという方向性であることが示された。

6. まとめ

震災後、高架橋の耐震設計の方向性が模索されている中、本研究では、桁、支承、橋脚、基礎の各要素で構成される高架橋システムにおいて、各要素へ損傷を合理的に配分することにより高架橋システム全体で耐震性能を確保するという考え方を提案した。具体的には、各要素の損傷度と補修費用を結びつける指標と、設計レベルに応じた初期投資額の感度を表す指標を作成し、それら2つの評価指標と非線形動的解析を組み合わせることで高架橋システムの好ましい損傷配分を求めた。そこで得られた知見は常識的ではあるが、実被害データをベースに求めているという点で価値があり、耐震設計の一つの方向性を示唆する結果であると考えている。

謝辞：本研究を進めるにあたり、阪神高速道路公団石崎課長、林課長、川北氏には有用な資料を提供していただいた。東京工業大学川島教授には定式化において有益な助言を、(株)長大の矢部氏にはモデルパラメーターに関して御教示いただいた。最後に、アンケート調査、ならびにヒアリング調査に快く応じて下さった方々に厚く御礼を申し上げます。

参考文献：1) 土木研究センター：道路橋の免震設計法マニュアル(案), 1993.12. 2) 宇佐美勉, 鈴木俊光, 伊藤義人：実橋脚をモデル化した基部を有するコンクリート充填鋼柱のハイブリッド地震応答実験, 土木学会論文集, No.525/I-33, pp.55-67, 1995.10. 3) 幸左賢二, 木村亮, 木村嘉富, 伊藤恭平：実杭を用いた大変形載荷試験結果の考察, 第29回土質工学研究発表会, pp.1595-1598, 1994.6. 4) 土岐憲三：構造物-基礎系における耐震安全性の配分, 基礎工, pp.2-7, 1993.12. 5) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」の準用に関する参考資料(案), 1995.6.