

河川内橋脚の耐震補強の検討

花岡 信明¹・後藤 和満²・大塚 篤生³

¹千葉県土木部 道路維持課（〒260-8776 千葉県中央区市場町1番1号）

^{2,3}(株)建設技術研究所 東京支社道路本部技術第四部（〒103-8430 東京都中央区日本橋本町4-9-11）

1. はじめに

平成7年の阪神・淡路大震災以降、緊急3ヶ年の道路橋の耐震補強事業においては、主に主要交差となる立体高架橋など、陸上部を主体に展開されてきた。今後は、残された河川内橋梁の耐震補強が増加することとなるが、陸上部分と異なり、河川条件など制約が多く、コストの面からも仮設工（仮栈橋、仮締切等）が全工事費の大半を占めるようなことになってしまう場合が多い。この様なことから、河川を跨ぐ橋梁の耐震補強設計においては、橋梁を全体系でとらえ、固定橋脚と可動橋脚の荷重分担の割合を考慮しつつ、河川内橋脚の補強量を減少させ、全体工事費の縮減及び基礎への負担を低減させるような設計が必要となる。本稿で紹介する事例は、河川部分に固定橋脚と可動橋脚の両方が配置されている既設橋梁において、個々の橋脚の特性に応じた補強方法の採用を検討したものである。

2. 河川内の道路橋の耐震補強の在り方

既設橋梁の耐震補強においては、建設年代の相違・規格基準の変遷など「現行・示方書」の技術基準を当てはめると、既設橋梁においては様々な箇所に不適合がある。その中でも最大の課題は、想定地震規模であり、建設当時の設計震度は $kh=0.2$ 程度である。兵庫県南部地震においては、こうした小さい震度を遥かに上回る地震力を受けていることから、耐震補強は必須の防衛策と考えられる。しかし、細目を調べると、様々な点で、「規格不適合」という部分もあり、また「基礎の耐震補強」などの進め方についても課題とされる。

なかでも、河川部分での耐震補強には特別の課題があり、その対処方法について整理してみるものとする。

河川内橋梁の下部構造は、一般的には大断面の小判型橋脚などの“みかけじん性”のある形式となっており、兵庫県南部地震の際に被災を強く受

表-1 耐震補強検討の方針

パターン分類	概略説明
Aパターン（1基独立） 地震時保有水平耐力法	全橋脚において、地震時保有水平耐力法による照査を満足するよう補強量を決定する。
Bパターン（支承存置） 非線形動的解析法	橋梁全体系での非線形動的解析による照査を満足するよう補強量を決定する。
Cパターン（支承取替） 分散・免震支承化	既存のタイプA支承をタイプB支承に取替え、地震時保有水平耐力法および非線形動的解析による照査を満足するよう補強量を決定する。

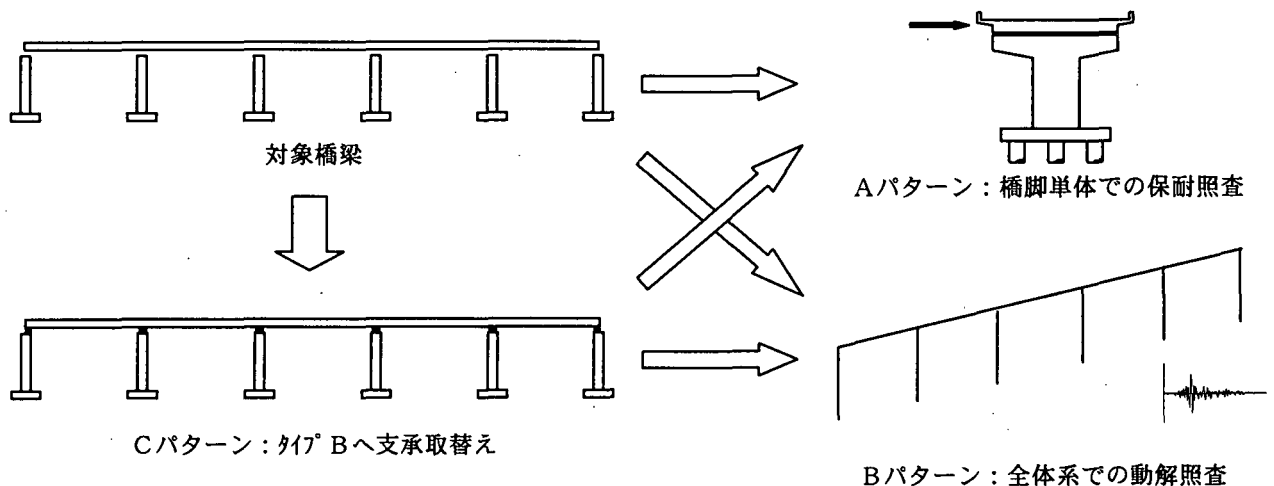


図-1 補強設計方針概念図

けている都市型の橋脚と大きく異なっている。次に、橋脚の固定・可動の条件が明瞭で、形状は同じでも配筋が相違している。また、高水敷の橋脚と河川に入っている橋脚とでは、著しく施工条件が相違するものとなる。

そこで、構造全体を考慮することにより、「耐震補強量」の配分を取り込むことが必要となる。

表-2 河川部分の耐震補強の配分

橋脚位置	高水敷	低水護岸内
耐震補強	強固な補強	軽微な補強
落橋防止	変位制限構造	免震支承化

検討を進める際に配慮した「補強設計の考え方」を3つのパターンに分類したので、この比較を表-1に示し、概念図を図-1に示す。ただし、今回の対象橋梁は、支承取替えを行ってからの比較的年数が経っていないこと、落橋防止システム（変位制限装置、段差防止装置）が既に支承まわりに設置されていることから、Cパターンの採用は困難であると判断し、事実上AパターンおよびBパターンのみの検討となった。

3. Aパターン：個別の耐震補強

一般的に用いられている耐震補強設計方法であり、固定橋脚・可動橋脚とも地震時保有水平耐力法による照査を満足するよう補強量を決定する。

ここでは、詳述は省くが対象橋梁に対して補強設計を行った場合、既設橋脚の照査において、固定橋脚・可動橋脚とも地震時保有水平耐力法による照査を満足しなかった。よって、補強が必要となるが、補強工法としてはRC巻立て工法を採用することとし、補強量を算出したところ以下のようなになった。

【Aパターンによる補強量】

固定橋脚：RC巻立て（25cm）-2基

可動橋脚：RC巻立て（25cm）-4基

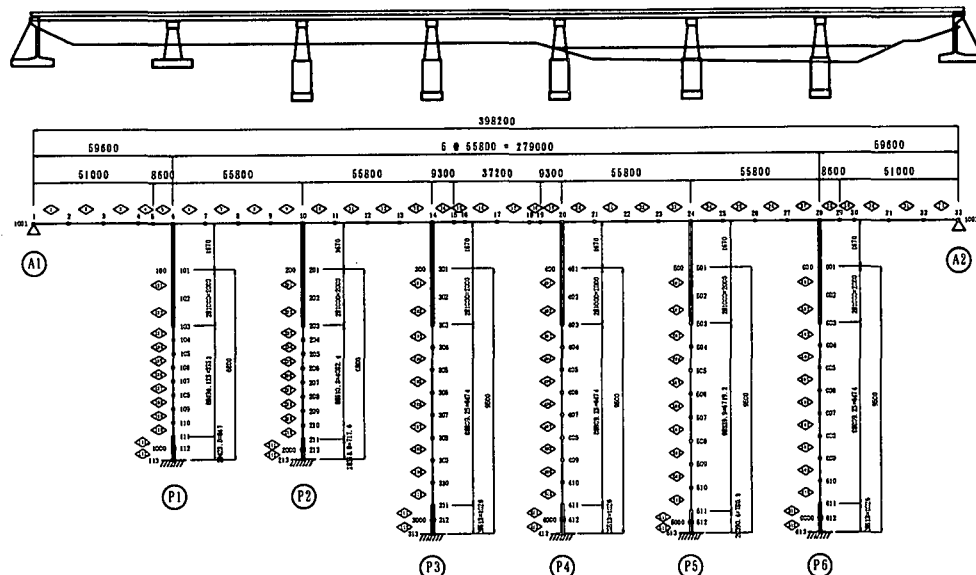


図-3 解析モデル図（橋軸直角方向）

4. Bパターン：全体系を考慮した耐震補強

橋梁全体系での非線形動的解析を行い、固定橋脚・可動橋脚の荷重分担を橋梁の実挙動を追跡することで把握し、補強量を決定する方法である。図-2に補強設計の流れを示す。

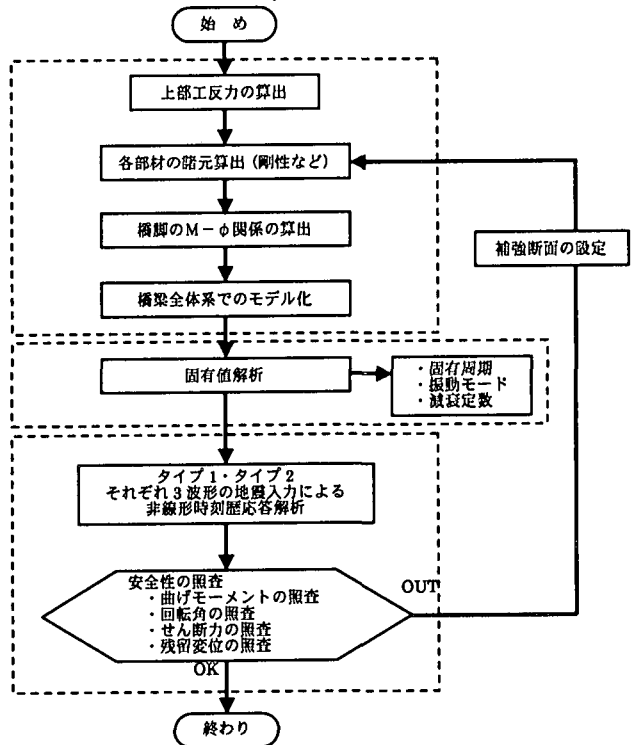


図-2 補強設計フロー

(1) 解析モデル

本検討における、解析モデル図を図-3に示す。対象橋梁は、ゲルバー部を有する下路連続ワーレントラス橋であり、支承条件はP2・P5橋脚が固定、その他が可動条件となっている。橋台（固定）については、剛体としてモデル化した。

なお、固定橋脚については、先に橋軸方向の検討を行い、RC巻立て補強が必要と判定されているため、補強を行ったものとして断面性能を算出している。モデル化は、上部構造は線形梁要素とし、下部構造については、塑性化が集中する柱の基部に塑性ヒンジ領域を設け、無限大の剛性を有する梁部材の中心に曲げモーメントと回転角の関係($M-\theta$ 関係)を用いてモデル化した弾塑性回転バネを配置した。塑性ヒンジ領域以外の柱部材は、曲げモーメントと曲率の関係($M-\phi$ 関係)を用いた弾塑性梁要素でモデル化した。

(2) 固有値解析

動的解析に先立ち固有値解析を行い、得られた固有振動数およびモード減衰定数を用いて、時刻歴応答解析におけるRayleigh減衰を定義した。表-3に固有値解析結果を示す。Rayleigh減衰の係数は卓越する振動モードに対して算出することとし、2次と7次の振動モードの振動数と減衰を用いて算出した。

表-3 固有値解析結果

次数	固有振動数 F(Hz)	固有周期 T(sec)	モード減衰定数 h(%)
1	4.167	0.240	2.253
2	4.355	0.230	2.127
3	4.459	0.224	2.387
4	4.626	0.216	2.400
5	5.048	0.198	2.336
6	6.153	0.163	2.310
7	6.874	0.145	2.335
8	9.705	0.103	2.371
9	11.014	0.091	2.404
10	12.282	0.081	2.333

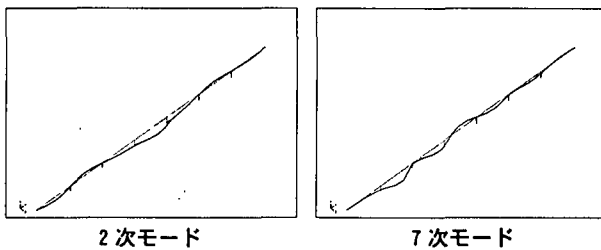


図-4 固有振動モード図

(3) 時刻歴地震応答解析

入力地震動としては、タイプ1およびタイプ2の地震動に対してそれぞれ、道路橋示方書V編に規定される標準加速度応答スペクトルに近い特性を有するように振幅調整されたものを3波ずつ計6波用いた。また、照査項目としては、橋脚の回転角

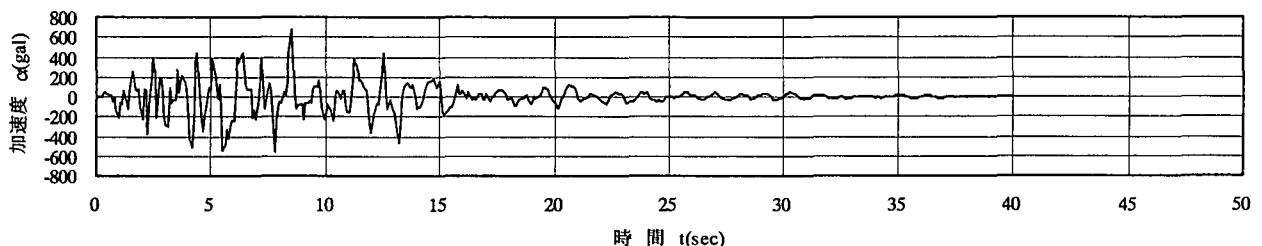


図-5 入力地震加速度波形(タイプ2)

の照査、せん断耐力の照査、残留変位の照査を行った。その際、タイプ1およびタイプ2のそれぞれ3波ずつ解析を行い、その平均値を用いて照査することとした。図-5に代表的な入力地震波形を示す。

時刻歴応答解析により得られた最大加速度応答分布図・最大応答曲げモーメント分布図および最大応答せん断力分布図を以下に示す。

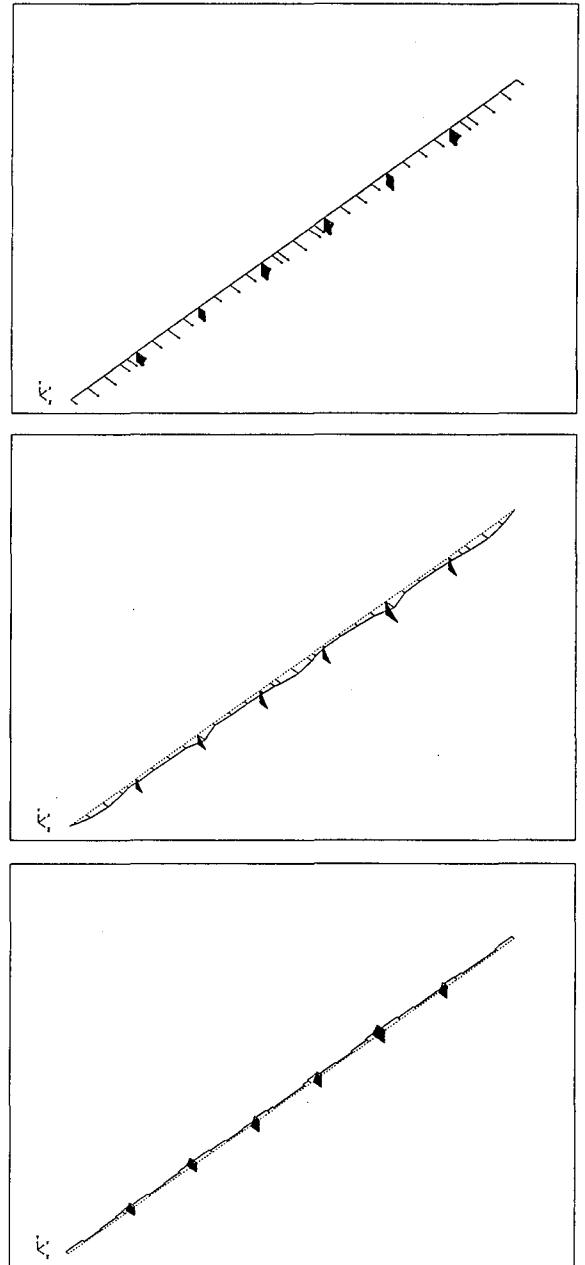


図-6 最大加速度応答分布図
上段：加速度、中段：曲げモーメント、下段：せん断力

解析結果によると、各照査項目（回転角・せん断力・残留変位）は全て照査を満足することが分かった。これにより、固定橋脚は橋梁全体の重量を地震時に負担できるよう補強することが前提となるが、可動橋脚については、固定橋脚を補強することにより、可動橋脚に作用する荷重が相対的に小さくなることから、補強量としては、RC 巻立て等の耐力を増加させるような補強は必要とならず、最低限、段落し補強を行い、破壊形態を基部での曲げ破壊型とすることのみでよいことが分かった。

【Bパターンによる補強量】

固定橋脚：RC 巻立て（25cm） -2 基
 可動橋脚：炭素繊維巻立て -4 基

これにより、Aパターンでは可動橋脚に対してRC 巻立て補強が必要であったが、Bパターンで補強設計を行えば、可動橋脚に対しては地震時に弱点となる鉄筋段落し部のみを補強すればよいこととなり、仮締切り工など河川内の工事で工費の大半を占める仮設工のコストを大幅に削減することが可能となった。

5. Cパターン：支承取替え

今回の報告においてはCパターンの検討は行われなかったが、以下にCパターンを用いて補強設計を行った例を示す。

対象橋梁は、河川内に3橋脚と陸上部に1橋脚を有する鋼ゲルバー箱桁橋となっている。概要図を図-7に示す。河川内2橋脚は、固定支承が採用されており、両側2橋脚が可動支承となっている。従って、河川内中間橋脚の地震時水平力を減少させるため、既存の支承を免震支承に取り替えることで、各橋脚の荷重分担率を積極的に変更し、河川内中間橋脚で負担する地震力を端橋脚に分配するとともに、減衰により地震力を低減した。これにより、河川内中間橋脚2基の補強は、炭素繊維シートによる段落し補強のみとなり、河川内の二重締切り等のコストを大幅に削減することが可能となった。

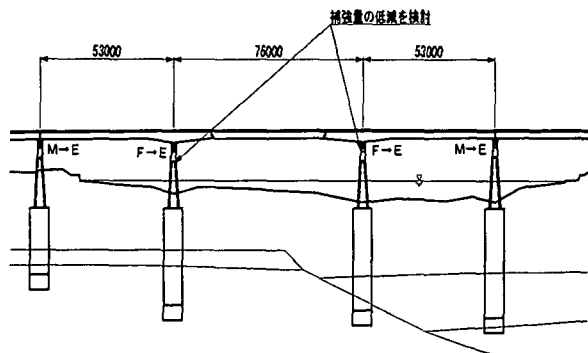


図-7 対象橋梁概要図

6. おわりに

以上の検討より、BパターンあるいはCパターンにより設計を行うことで、河川内橋脚の補強量を減少することが可能であることが分かった。よって河川内橋脚の補強設計は、基本的に上記2つのパターンによることを提案する。

兵庫県南部地震以降、数々の橋梁に対して耐震補強が行われてきているが、特に、河川内の橋梁に対しては、仮締切り・仮架橋等の仮設工費が大きな課題となっている。そこで、本報告のような解析を行ったわけであるが、河川内の橋梁に対しては、橋梁構造の全体系を考慮して、適切な上部構造の慣性力作用を検討し、また、場合によっては、免震支承等を用いることで河川内の橋脚の負担力を減少させ、陸上部の橋脚の負担力を増加させるなどの工法も検討し、できるだけ河川内橋脚に対する補強量を減らすことであれば、工費の縮減につながる。ここで、想定地震動等の耐震補強の目的とする“耐震性能”については道路橋示方書に準拠することは当然であり、その他、ここでは触れていないが、落橋防止システムの補強・追加についても別途検討することはもちろんのことである。

参考文献

- 1) 道路橋示方書 V耐震設計編：日本道路協会，1996.
- 2) 既設道路橋の耐震補強設計に関する参考資料：日本道路協会，1997.