大地震時における鉄道コンクリート長大橋と隣接橋との衝突の影響に関する解析的検討

鉄道総研　正会員　○松橋　宏治　　正会員　岡本　大　　正会員　谷村　幸裕
鉄道・運輸機構　　正会員　西　　恭彦

1. 検討の目的

本検討は，大地震時における鉄道コンクリート長大橋と隣接橋との衝突が橋梁の応答に及ぼす影響を，橋脚の固有周期をパラメータとした時刻歴動的解析により検討したものである．

2. 検討対象構造物および解析モデル

図 1 に本検討で対象とした構造物の解析モデルの概要を示す．対象構造物は，長大橋として橋長 185m の 3 径間連続 PC ラーメン橋を，隣接橋は単純桁橋とし**表 1** に示す 3 種類を考慮した．橋脚は鉄道構造物等設計標準 [1]で定義される等価固有周期 T_{eq} をパラメータとし，長大橋(P3，P4)，隣接橋(P1，P2，P5，P6)それぞれに対し T_{eq}＝1.0，1.2，1.4(sec)の 3 ケースを考慮した．これは，既往の設計実績を考慮して設定したものである．

また，解析では桁を全断面有効剛性を有する線形の梁要素によりモデル化し，部材軸方向に分割した要素長に応じた質量を各節点に配置した．ただし，解析モデル両端の桁 2 については質点のみでモデル化している．ここで，桁に配置した質量には死荷重および列車荷重を考慮した．

各橋脚は，質点，および**図 2** に示すバイリニア型の非線形特性を有する水平ばねによりモデル化した．**図 2** に示す水平ばねの初期剛性 K_y および降伏荷重 P_y は，支持する桁の重量，前述の等価固有周期に応じ，既往の設計実績を参考に適切に設定した．ここで，図中の計算式における W は等価質量で $W=W_u+0.3W_p$（W_u：橋脚が支持する桁の重量，W_p：耐震設計上の地盤面より上の橋脚重量），δ_y および k_{hy} は橋脚基部が曲げ降伏に達するときの水平変位量および水平震度を意味する [1]．

また，長大橋と桁 1 の間には，**図 3** に示す特性を有するばね要素を設置し衝突挙動を評価した．ここで，**図 3** で桁の遊間量をあらわす u_g は，本検討対象構造物では 5cm 程度である．また，衝突ばねの剛性 K_I は式(1)[2]により算定した．

$$K_I = \frac{n \cdot E \cdot A}{L} \qquad (1)$$

ここに，n は桁の要素分割数，E は桁のヤング係数，A は桁の断面積，L は桁長を表す．

表 1　隣接橋の検討ケース

隣接橋	桁 1	桁 2
①	20mRC 桁	10mRC 桁
②	35mPRC 桁	35mPRC 桁
③	50mPRC 桁	35mPRC 桁

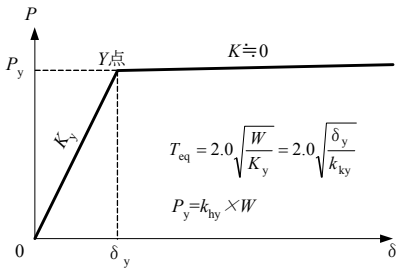

図 2 橋脚の水平ばね要素

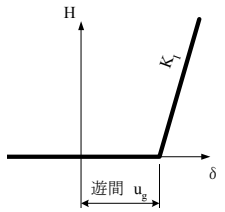

図 3　桁間のばね

3. 解析結果

(1) 衝突力

図 4 に桁同士の衝突力 P_i と，長大橋と隣接橋の等価固有周期 T_{eq} の比 α（長大橋／隣接橋）との関係を示す．図中に破線で示す曲線は，隣接橋ケースごとの解析結果を 2 次関数で回帰したもので，R^2=0.68～0.89 と比較的高い相関を示している．隣接橋②，③の場合，衝突

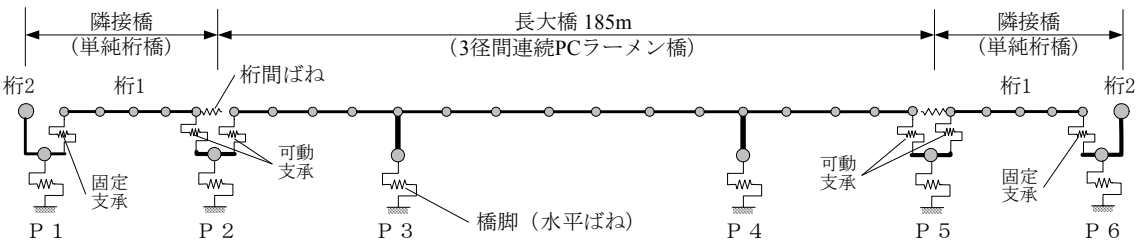

図 1　検討対象構造物および解析モデルの概要

キーワード　桁衝突，地震応答解析，固有周期比
連絡先　　〒185-8540　東京都国分寺市光長 2－8－38　(財) 鉄道総合技術研究所　TEL 042-573-7281

力には固有周期比 α=1 付近に極小値があり，その前後で増加する傾向となっている．また，隣接橋①の場合は，α=0.7 付近に極小値があり α の増加とともに衝突力が増加している．

(2) 隣接橋脚の応答

桁の衝突が隣接橋脚の応答に与える影響を確認するため，**図 5** には，隣接橋脚 P1 または P6 の応答変位比 δ / δ_d と橋脚の固有周期比 α の関係を示した．ここで，応答変位比 δ / δ_d において，δ とは本検討で実施した時刻歴動的解析結果の最大応答変位を，δ_d とは橋脚の等価固有周期 T_{eq} および降伏震度 k_{hy} から文献 1 に示される非線形応答スペクトルにより求まる L2 地震動（スペクトルⅡ）[1] に対する設計最大応答変位を意味する．図中に破線で示す曲線は，解析結果を 2 次関数で回帰したもので，**図 4** と同様に R^2=0.77～0.97 と高い相関が見られる．ただし，**図 4** に示す衝突力の場合とは異なり，固有周期比の増加とともに隣接橋脚の応答が右肩上がりに増加する傾向が全てのケースで見られる．

4.考察

ここでは，衝突力が隣接桁の応答に与える影響について考察する．隣接桁②，③について**図 4** と**図 5** を比較すると，固有周期比 α が 1 以上の領域では，α の増加とともに衝突力，隣接橋脚の応答がともに増加する．一方，α が 1 よりも小さい領域では，α の減少とともに衝突力は大きくなるが，隣接橋脚の応答は若干減少傾向にある．これは，固有周期比 α が 1 よりも大きな領域では，長大橋の応答が相対的に大きくなるため，長大橋側から隣接橋に衝突し，これにより隣接橋脚の応答を増大させるが，α が 1 よりも小さい領域では，反対に隣接橋側から長大橋に衝突するため，衝突の影響は隣接橋脚の最大応答変位を抑制するためである．**図 6** に固有周期比 α=1.4 のケースにおける隣接橋③と長大橋の時刻歴変位，および衝突力の時刻歴を示した．これより，1.0(sec)付近において負側に変位する際に，

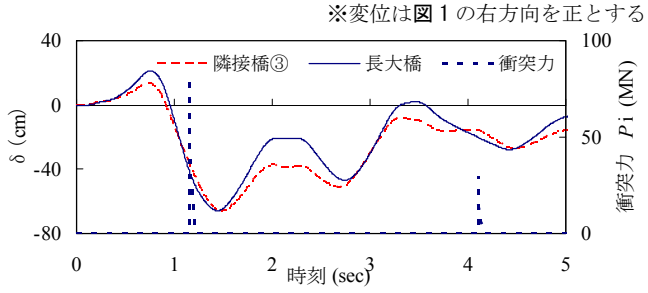

図 6 長大橋と隣接桁③の時刻歴変位(固有周期比 1.4)

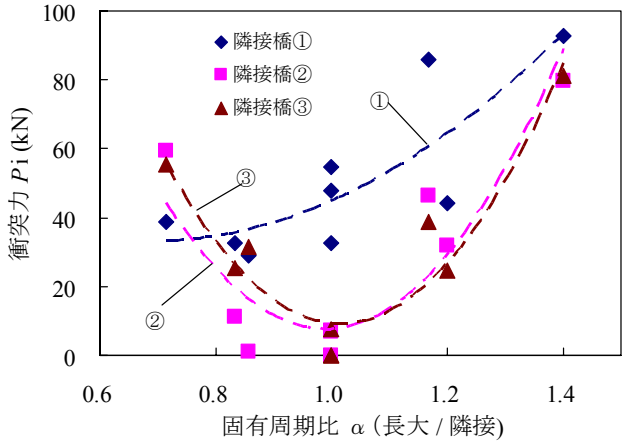

図 4　衝突力と固有周期比の関係

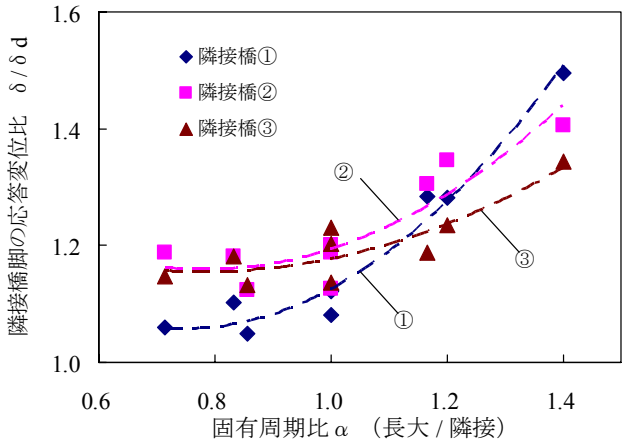

図 5　隣接橋脚の応答変位比と固有周期比の関係

長大橋から追突する形で衝突の生じている状況が分かる．

また，隣接橋①の場合は，今回の解析範囲ではほとんど全てのケースで長大橋側からの衝突であったため，**図 4** と**図 5** は同様の傾向を示している．

5.まとめ

本検討で得られた知見を以下にまとめる．

- 長大橋とこれに隣接する単純桁橋における地震時の衝突力と，橋脚の固有周期比には相関関係が見られ，衝突力が極小となる固有周期比が存在する．
- 衝突力が極小となる固有周期比よりも大きい領域では，長大橋側からの衝突の影響で隣接橋の応答変位が大きくなり，小さい領域では隣接橋側から衝突するため，応答が若干抑制される傾向を示している．

参考文献：

1) 鉄道総合技術研究所編　鉄道構造物等設計標準･同解説 耐震設計，1999.11

2) 川島一彦：動的解析における衝突のモデル化に関する一考察，土木学会論文報告集，第 308 号，pp123-126，1981