PCエクストラドーズド橋の地震時列車走行性に関する研究

鉄道総研　正　曽我部　正道　　鉄道・運輸機構　正　金森　真　　鉄道総研　フェロー　涌井　一

1．目的　PC エクストラドーズド橋は，合理的で経済的な長大橋梁の構造形式として，近年，道路橋で多用されており，既に鉄道橋においてもスパン長 100m 程度のものが建設されている．しかしながら，地震時における当該構造形式と車両との連成挙動は十分に検討されていないのが実情であり，一般化の困難な問題となっている．そこで本研究では，計画中の 4 径間連続 PC エクストラドーズド橋を対象とし，車両と構造物との動的相互作用解析プログラム DIASTARS Ⅱ を用いて，数値実験的な手法によりその列車走行性について検討した．

2．解析方法　**図-1** に 4 径間連続 PC エクストラドーズド橋(橋長 450m，スパン長 75+150+150+75m:スパン長 150m は我が国の新幹線のコンクリート橋としては最大)の形状寸法を示す．本橋梁は複線橋梁であり，主桁は 3 室箱形断面で主塔から 2 面吊りされおり，主塔及び P2～P4 橋脚とは剛結，P1,P5 橋脚では単純支持となっている．

図-2 に橋梁及び軌道の解析モデルを示す．主桁，橋脚は全て梁要素でモデル化した．これらの剛性は何れも線形とした．斜材はトラス要素でモデル化した．斜材の定着位置までは剛な梁を設けて主桁と連結した．主桁，主塔，橋脚の接合部には，各部材ごとに適切な剛域を考慮した．主桁は，P1，P5 橋脚上では単純支持とした．橋脚の非線形性は，下端に標準トリリニア型の回転非線形ばねを設けて考慮した．基礎は，別途静的非線形解析を行ない，標準バイリニア型の水平及び回転非線形ばねを設けて考慮した [1)]．走行性は，車輪の走行面，即ちレール頭頂面の線路方向の曲率の影響を受けるため，本研究では，図中に示すように軌道構造についてもモデル化した．橋梁の減衰定数 ξ は 5.0%とした．総節点数は 5040，総要素数は 7085 となった．

図-3 に車両の解析モデルを示す．車両の解析モデルは，車体，台車，輪軸を剛体と仮定し，これらを，ばねとダンパで結合して構成した．実車では，各構成要素間に相対変位抑制のためのストッパが設けられている．このため，ばねはバイリニア型の非線形ばねとした．列車は 8 両編成とし列車速度 260km/h を標準とした．**図-4** に鉛直方向のレールと車輪間の解析モデルを，**図-5** に横方向のレールと車輪間の解析モデルをそれぞれ示す．

入力地震動には鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震標準）に定める L1 地震動を用いた [1)]．地盤は G2 地盤を想定した．ただしランダム波全体を評価に適用できるように 1 つの解析条件につき列車の走行開始位置を 200m(8 両編成の列車長に相当)ずつシフトさせて 8 ケースの計算を実施した．車両の応答は非線形性が強いため，地震動の入力加速度振幅を線形に漸増させながら検討を行った．

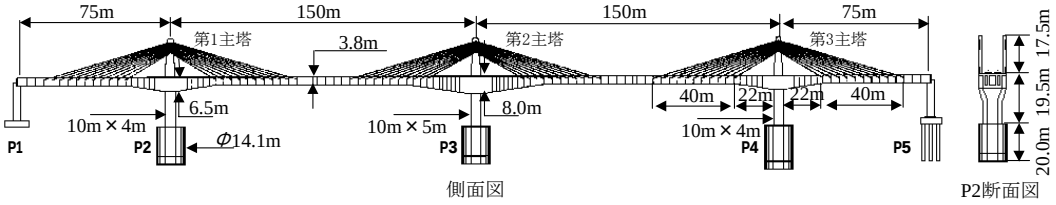


図-1　解析対象橋梁の形状寸法

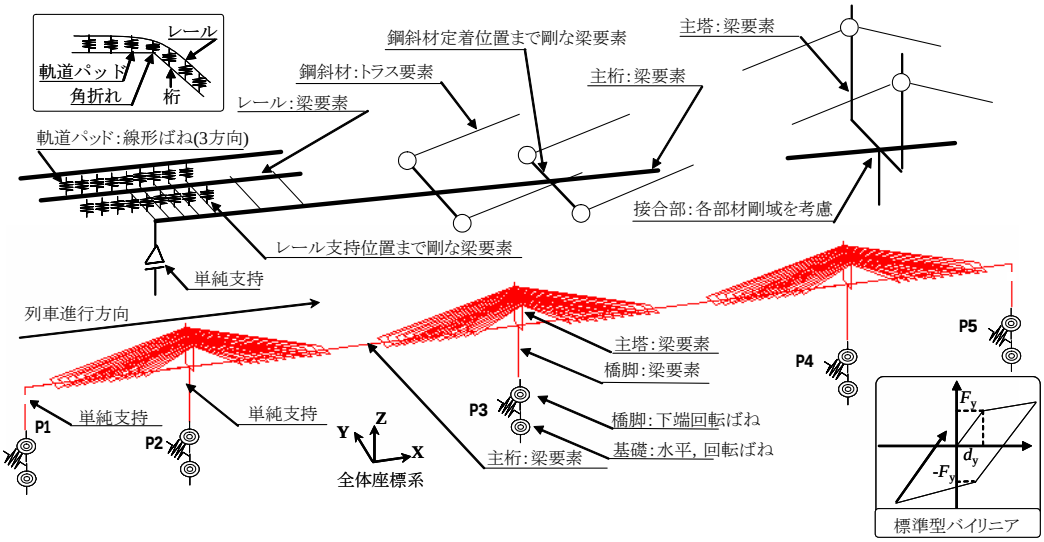


図-2　橋梁及び軌道の解析モデル

キーワード　列車走行性，PC エクストラドーズド橋，動的相互作用解析
連絡先　〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38　(財)鉄道総合技術研究所　構造力学　TEL 042-573-7290

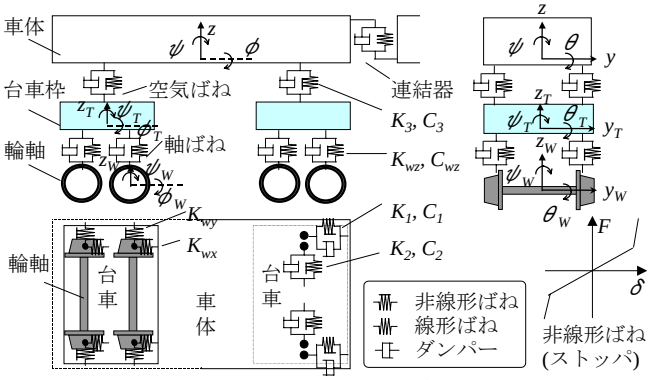


図-3　車両の解析モデル

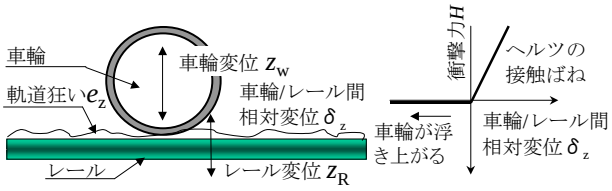


図-4　鉛直方向の車輪とレール間の解析モデル

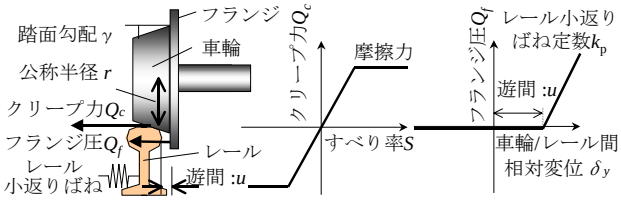
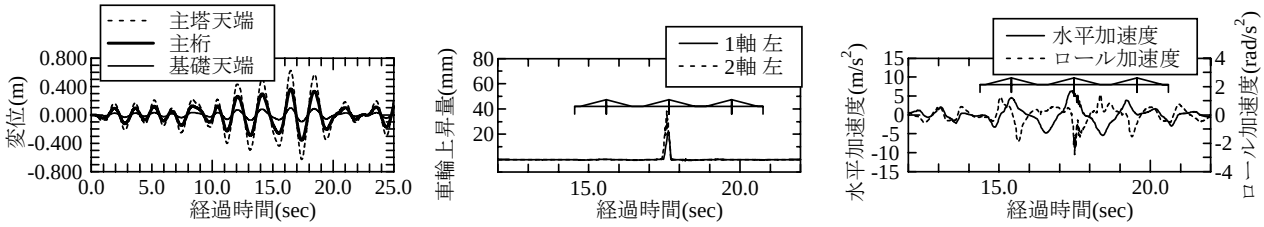
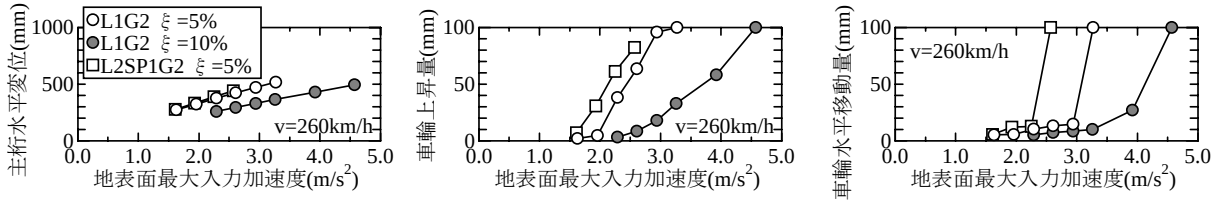


図-5　横方向の車輪とレール間の解析モデル



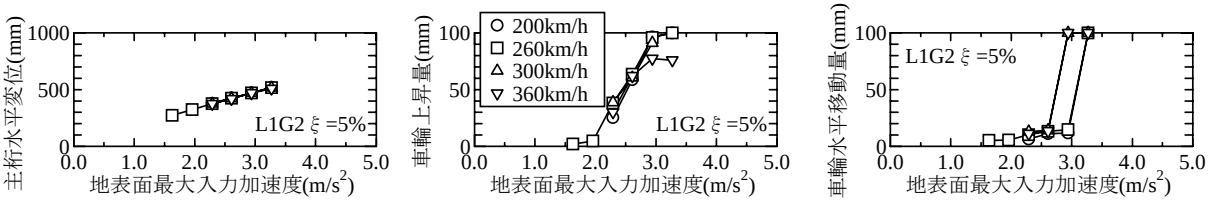
(a)P3 橋脚位置における橋梁の応答　(b)車輪上昇量(2 号車)　(c)車体加速度(2 号車)

図-6　時刻歴波形の例(列車走行開始位置：：橋梁始点から-1000m，地表面入力加速度 230gal)



(a)P3 橋脚位置における橋梁の応答　(b)車輪上昇量　(c)車輪水平移動量

図-7　地震動及び橋梁の減衰定数が列車走行性に及ぼす影響



(a)P3 橋脚位置における橋梁の応答　(b)車輪上昇量　(c)車輪水平移動量

図-8　列車速度が列車走行性に及ぼす影響

列車走行性は，車輪上昇量及び車輪水平移動量で評価した．脱線限界の目安値は車輪水平移動量 70mm である．

3．解析結果　　図-6 に時刻歴波形の例を示す．地表面入力加速度が最大となるのは 10.5 秒付近においてであるが，図-6(a)から橋梁中央部の P3 橋脚位置で最大変位が生じているのは 17.5 秒付近である．図-6(b)，(c)に示すように，列車編成内で車輪上昇量及び車体加速度が最大となっていた 2 号車は，同時刻に橋梁中央付近を走行していたことが分かる．一方，桁端部を通過する際にはいずれの車両も顕著な応答は見られなかった[2)]．

図-7 に地震動及び橋梁の減衰定数が及ぼす影響を示す．各プロット値は 8 種類の走行開始位置の中の最大値を示している．図から減衰定数 10%の場合，同 5%の場合と比較して，車輪水平移動量が 70mm となる地表面最大入力加速度が 3.2 m/s^2 から 4.3m/s^2 となり 30%程度向上していることが分かる．参考として L2 地震動スペクトル 1 についても検討を行った．この場合，車輪水平移動量が 70mm となる地表面最大入力加速度は 2.8 m/s^2 となった．

図-8 に列車速度が及ぼす影響を示す．列車速度 300km/h 及び 360km/h の場合，同 260km/h と比較して車輪水平移動量が 70mm となる地表面最大入力加速度が 3.2 m/s^2 から 2.8m/s^2 となり，高速域で 10%程度の速度依存性が見られた．

4．まとめ　　①列車走行性は橋梁中央付近の振動変位に支配される．②橋梁の減衰定数 5%と 10%では車輪水平移動量 70mm となる地表面最大入力加速度が 3.2 m/s^2, 4.3m/s^2 となる．③高速域で速度依存性がややみられる．

参考文献　1)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)，丸善，1995.　2) 曽我部 正道，池田学，柳澤良和：高橋脚・長スパン鉄道橋梁の地震時列車走行性とその改善方法，鉄道総研報告，Vol.20，No.11，2006.