

神戸大学工学部	フェロー	川谷 充 郎	大阪大学大学院	学生員	○白 神 亮
東海旅客鉄道(株)	フェロー	関 雅 樹	神戸大学工学部	学生員	神 蘭 卓 海
(株) 日 建 設 計	正 員	西 山 誠 治	大阪大学大学院	フェロー	西 村 宣 男

1. まえがき

よりよい環境条件への配慮から、高速鉄道高架橋においても振動軽減対策の検討が必要となってくる。これまで土構造部分では路盤下地盤への注入により、地盤の周波数特性を変化させ成果が得られている^{1),2),3)}。また、高架橋を対象として枕木増設により、振動特性の高周波数側へのシフト、軌道変形の減少による応答値の低減等を目的とした対策を試行している⁴⁾。しかし、高架橋は端部が自由端の張出し構造になっており、この部分の振動に着目し、張り出し構造部分の連結化、ストラットでの補強について検討した。本研究では、高速鉄道高架橋を対象として、走行車両との連成を考慮した動的解析を実施し、解析手法の妥当性を検証するとともに、これらの対策工について解析的検討を行い、有効な振動軽減対策の検討を目的とする。

2. 動的応答解析

2.1 橋梁モデル 対象橋梁は一般的な鉄筋コンクリートのラーメン高架橋(1連24m)の2連(48m)について、Fig.1に示すような有限要素にモデル化する。すべて一節点6自由度を有する三次元梁要素である。質量は節点集中質量とし、橋梁部分の鉄筋コンクリートおよびパラストの質量、さらに軌道部分の質量を考慮する。橋軸直角方向について、両端の張出し部の質量は最外側の節点に付加する。橋軸方向端部は前述のように自由端である。ストラット補強の場合、補強材は橋脚と比べて約2分の1程度の剛性を持ったH型鋼とする。補強材と高架橋の接続条件は剛結合とする。橋脚下端部は、地盤の影響を考慮するために二重節点を定義し、地盤ばねを設ける。地盤ばねの値をTable 1に示す。

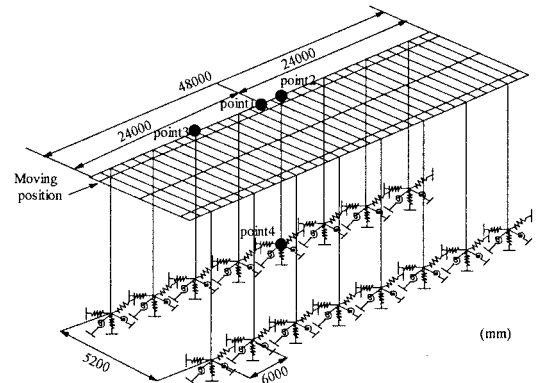


Fig.1 Analytical model of bridge

Table 1 Ground spring constant

	Longitudinal	Transverse
Vertical spring of pile top (kN/m)	3.86×10^6	
Rotating spring of pile top (kN·m/rad)	3.64×10^6	2.42×10^6
Horizontal spring of footing (kN/m)	4.84×10^3	4.72×10^3
Horizontal spring of pile top (kN/m)	8.22×10^4	8.08×10^4

2.2 走行列車モデル 16両編成列車の各車両を前輪、後輪ともに2軸を有する平面の2自由度振動系にモデル化する。走行車両1両についてその構造諸元をTable 2に、またその寸法をFig.2に示す。列車の走行速度は270km/hとし、走行位置は下り線の線路の中心位置である橋脚の中心から500mmの位置とする。

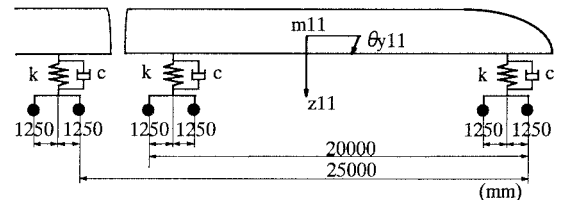


Fig.2 Dimension of vehicles

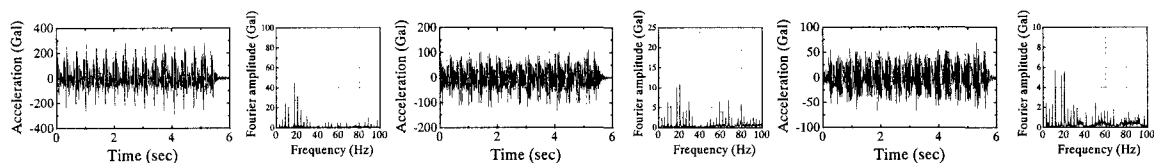
2.3 軌道モデル レールは一節点6自由度を有する三次元はり要素とする。軌道支持部の構造として、枕木位置下端に二重節点を定義し、鉛直方向にばねを設ける。軌道のばね係数をTable 3に示す。ばね係数は、輪重とレールの上下変位の比で求めた値を

Table 2 Dynamic properties of moving vehicles

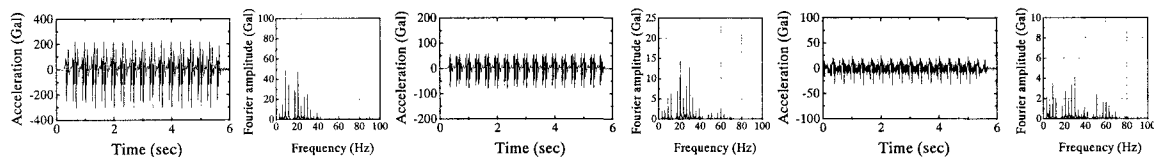
Total mass (t)	45.32
Mass moment of inertia ($\text{t} \cdot \text{m}^2$)	3.14×10^3
Spring constant k (N/m)	1.28×10^6
Damping coefficient c ($\text{N} \cdot \text{s/m}$)	6.96×10^6

Table 3 Property of railway

Area (m^2)	7.75×10^{-3}
Mass (t/m)	0.0608
Moment of inertia (m^4)	3.09×10^{-5}
Spring constant of track (MN/m)	140



(a) Experiment



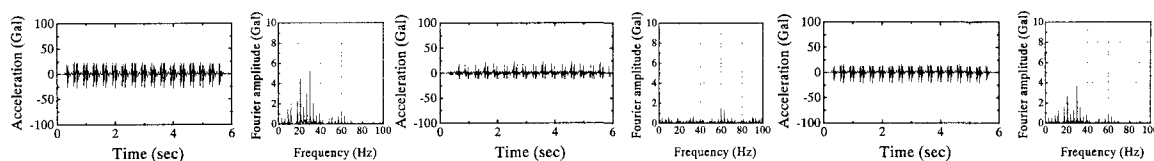
Point1

Point2

Point3

(b) Analysis

Fig.3 Acceleration of Bridge



(a) Without reinforcement

(b) Rigid joint

(c) With strut

Fig.4 Acceleration of pier base

用いる。レールの軌道狂いについては、高低狂いのみ考慮する。

2.4 解析ケース 解析ケースは、張出し構造部分を補強しない場合、剛結合する場合、ストラット補強をする場合の3ケースについて、列車との連成解析を行い比較検討する。

3. 解析結果

3.1 固有値解析 固有値解析の結果は、2Hz付近で水平方向の振動が卓越し、12Hz～16Hzで鉛直振動が卓越する。解析時に考慮する振動次数は加速度応答の収束を考慮して200次($f_{200}=92\text{Hz}$)とする。

3.2 実測値との比較 下り線を列車が速度270km/hで走行する場合について考察する。実測値と解析値の鉛直方向の加速度波形とフーリエスペクトルを、Point1(張出し部)、Point2(第1柱)、Point3(第3柱)についてFig.3に示す。実測値と解析値で加速度応答の波形の概形はほぼ同じであり、解析は実測の波形をよく表現できている。またフーリエスペクトルについても、地盤振動に影響の大きい10Hzおよび20Hz付近が卓越しており、解析は周波数特性も表現できている。これらのことから解析の妥当性が確認できる。ただし、高周波数の成分では解析では実測と比較して少し小さくなっている。

3.2 補強の影響 補強前と張出し構造部分の剛結合およびストラット補強の場合の解析結果を鉛直方向の加速度波形とフーリエスペクトルでFig.4に示す。着目点は地盤へ与える影響を考察するために、Point4(第1柱橋脚下部)とする。これはPoint4が張出し構造部にもっとも近い柱であり、地盤への影響が大きいためである。張出し部を剛結合した場合とストラット補強をした場合ともに橋脚下部部の振動は低減しており、周辺地盤の振動も低減できると考えられる。実際の構造物においては施工性等も考慮しなければならないが、張出し構造部分の補強は地盤振動の低減に有効であるといえる。

参考文献

- 1) 関雅樹・大上卓司・徳丸哲義・青柳幸穂：鉄道振動の発生と伝播に関する一考察，鉄道連合シンポジウム(J-rail'96),1996.
- 2) 斎藤一・関雅樹・青柳幸穂・徳丸哲義：薬液注入による地盤振動特性の変化，土木学会第51回年次学術講演会，VII-265，1996.9.
- 3) Masaki Seki, Yoichi Inoue and Yasukuni Naganuma："Reduction of subgrade vibration and track maintenance for Tokaido Shinkansen", WCCR'97,Vol.E, 1997.
- 4) 川谷充郎・関雅樹・西山誠治・白神亮・下村一朗・西村宜男：高速鉄道高架橋の枕木増設による振動軽減対策，土木学会55回年次学術講演会概要集，I-B79，2000.9.