

鋼製橋脚の補強工事による振動特性の変化*

Vibration Characteristics Change by Reinforcement Work of Steel Pier

徳永法夫** 西村昂*** 藤原敏彰****

By Norio TOKUNAGA** Takashi NISHIMURA*** Toshiaki FUJIWARA****

1.はじめに

阪神高速道路では、現在耐震性能向上を目的とした鋼製橋脚の補強工事が行われている。ここでは、高架道路橋の鋼製橋脚補強工事の前後における、振動特性の変化について調査・分析した内容について以下に述べる。

2.鋼製橋脚補強工事の概要

補強工事実施個所と振動測定個所の平面図、断面図を図 1、図 2に示す。

当該橋脚の補強工事については、「既設鋼製橋脚の耐震補強設計要領(素案)平成9年3月 阪神高速道路公団」等に基づき耐震補強設計が行われ、主として鋼製橋脚内部のコンクリート充填高さが検討された。

その結果、本線部橋脚については、耐震設計による追加後中埋めコンクリート必要高さが11.9mとなり、既存中埋めコンクリート高さ2.1mに9.8mを増打した。コンクリート増打により、橋脚重量は約197tから約385t(約2倍)に増加した。ONランプ部橋脚については耐震設計による追加後中埋めコンクリート必要高さが14.4mとなったが、構造上の制約から既存中埋めコンクリート高さ2.1mに10.4mを増打し、残余の2.0mの範囲を補剛材で補強するとともに、アンカー補強を行った。コンクリート増打により橋脚重量は約211tから約410t(約2倍)に増加した。

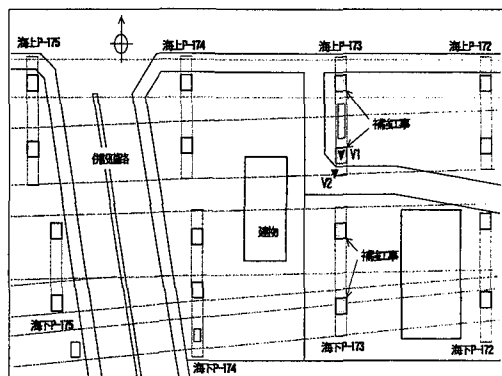


図 1 補強工事実施個所と振動測定個所(平面)

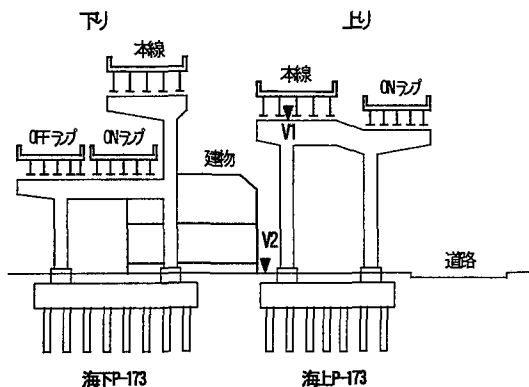


図 2 補強工事実施個所と振動測定個所(断面)

* キーワード:環境計画、環境問題

** 正員、工学博士、阪神高速道路公団神戸第二建設部
(神戸市中央区東川崎町1-3-3 TEL 078-360-8141 FAX 078-360-8158)

*** 正員、工学博士、大阪市立大学工学部土木工学科
(大阪市住吉区杉本3-3-138 TEL 06-6605-2731 FAX 06-6605-2731)

**** 正員、工学修士、株式会社 エスタ
(神戸市中央区元町通3-17-8 TEL 078-334-1292 FAX 078-334-1294)

3. 振動特性調査方法

(1) 測定回数と頻度

調査回数は橋脚補強工事前後各1回とし、頻度は毎正時から10分間を24回連続とした。

(2) 測定箇所

高架道路橋から発生する振動は橋脚を介して地盤に伝わり、沿道建物に伝播することから、高架道路の発生源側の振動特性を把握する測定箇所として、補強工事を実施した橋脚(海上P-173)の天端上(V1)と近傍地盤上(V2)を選定した。

表 1 振動加速度ピックアップの配置

測定位置	方向成分		
	X	Y	Z
V1: 海上 P-173 橋脚天端上	X1	Y1	Z1
V2: 海上 P-173 橋脚近傍地盤上	X2	Y2	Z2

(3) 測定方法

振動測定は、各個所に設置した振動加速度ピックアップ(X、Y、Zの3方向^{※1})を延長コードで振動レベル計^{※2}本体に接続し、その振動加速度出力を1台のデータレコーダに全チャンネル同時に入力・記録した。

4. 振動エネルギーの増減

振動特性の変化の検討として、鋼製橋脚補強工事前後における振動エネルギー平均値を比較した。時期の異なる測定値の比較を行う場合、測定時の交通量に差異が生じるため、単純にレベル差を求めて比較することはできない。ここでは、換算交通量と振動加速度レベル等との回帰分析を行い、その回帰式の差から振動低減効果を算出した。

回帰分析における説明変数は換算交通量とし、補強工事を実施した高架道路(上り本線部)の交通量を基に、次式により換算交通量を算出した。

$$Q = Q_L + 13Q_H$$

ここで、 Q :換算交通量(台/10分)

Q_L :小型車類交通量(台/10分)

Q_H :大型車類交通量(台/10分)

数式 1 換算交通量の算出式⁽¹⁾

回帰分析における目的変数(y)は、振動加速度レベル及び振動レベルのエネルギー平均値とした。

表 2に、振動加速度レベル及び振動レベルの工事前後の比較を示す。

表 2 鋼製橋脚補強工事による振動エネルギーの増減

測定箇所と 方向成分	振動加速度レベル	振動レベル
X1	-1.1	0.0
Y1	+0.7	+1.1
Z1	-0.8	-2.1
X2	+1.4	-0.9
Y2	+0.7	-1.3
Z2	+3.9	+1.9

振動加速度レベル及び振動レベルの鋼製橋脚補強工事によるエネルギー増減には以下の傾向が見受けられる。

(1) 振動加速度レベルの増減

V1:橋脚天端上では、Y方向(橋軸方向)成分は工事後に約1dB程度増加しているが、X方向(橋軸直角方向)成分とZ方向(鉛直方向)成分は工事後に約1dB低減している。V2:橋脚近傍地盤上では、全方向成分において約1～4dBの増加が認められる。

(2) 振動レベルの増減

V1:橋脚天端上では、Y方向(橋軸方向)成分は工事後に約1dB程度増加しているが、Z方向(鉛直方向)成分は工事後に約2dB低減している。V2:橋脚近傍地盤上では、水平方向(X、Y方向)成分は約1dB低減し、Z方向(鉛直方向)成分は約2dB程度増加している。

※1 X方向:測定対象とする高架道路橋の橋軸直角方向、Y方向:同じく橋軸方向、Z方向:鉛直方向とした。

※2 JIS C 1510-1995「振動レベル計」

5. 橋脚の振動特性の変化

沿道環境においては、対象とする振動源以外の様々な外乱要因の影響を含んだ信号が測定される。そのため、これらの外乱要因を除く処理が必要となる。ここでは、スペクトラム加算法⁶⁾を用いて、橋脚(天端—地盤間)の振動伝達特性を算出した。スペクトルはFFT(ポイント数512)により求めた。

$$H_k \approx \frac{\lim_{M \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (X_k \cdot Y_k)_m \right]}{\lim_{M \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (X_k \cdot X_k)_m \right]}$$

ここで、

X_k V1におけるX1,Y1,Z1のスペクトル

X_k^* X_k の複素共役

Y_k V2におけるX2,Y2,Z2のスペクトル

M スペクトル加算回数(=570)

数式 2 スペクトラム加算法による振動伝達関数

(1) 振動周波数特性の変化

橋脚補強工事の前後における振動周波数特性の比較を図3に示す。なお、公害振動としての特性を考慮する目的から、周波数特性補正として振動レベル特性補正(X,Y方向は水平方向振動特性、Z方向は鉛直方向振動特性)を施した。また、時間帯による振動周波数特性を平均化する目的から、24回の測定・分析データを算術平均して求めた。これによると、以下の傾向が見受けられる。

X方向(橋軸直角方向)成分では、X1(橋脚天端)、X2(橋脚近傍地盤上)とも、全ての振動数成分が低減している。

Y方向(橋軸直角方向)成分では、Y1(橋脚天端)において、卓越振動数がわずかに高域に移動(2.3Hz→2.7Hz)し、かつそのピーク値が増加(約3dB程度)している。しかし、Y2(橋脚近傍地盤上)においては、卓越振動数はほとんど変化がみられず、かつ全振動数成分の低減が認められる。

Z方向(鉛直方向)成分では、Z1(橋脚天端)、

Z2(橋脚近傍地盤上)とも、卓越振動数に変化は見られない。しかし、Z1(橋脚天端)では全振動数成分が減少し、Z2(橋脚近傍地盤上)では逆に全振動数成分が増加している。

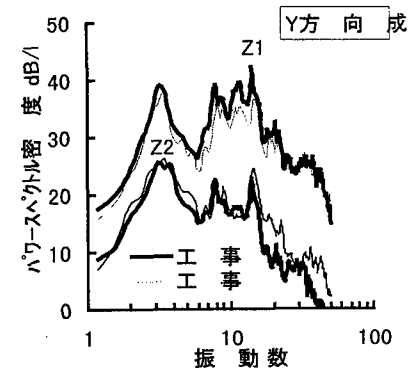
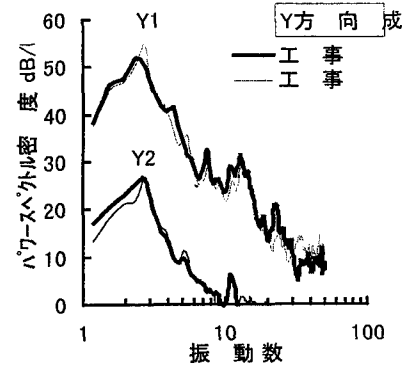
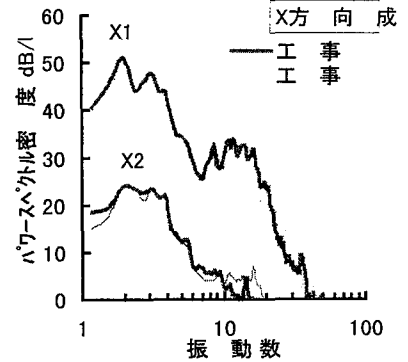


図3 補強工事前後における振動周波数特性の比較

(2)橋脚の振動伝達関数の変化

ここでは、橋脚の天端から近傍地盤面上に至る振動の伝達特性を検討した。

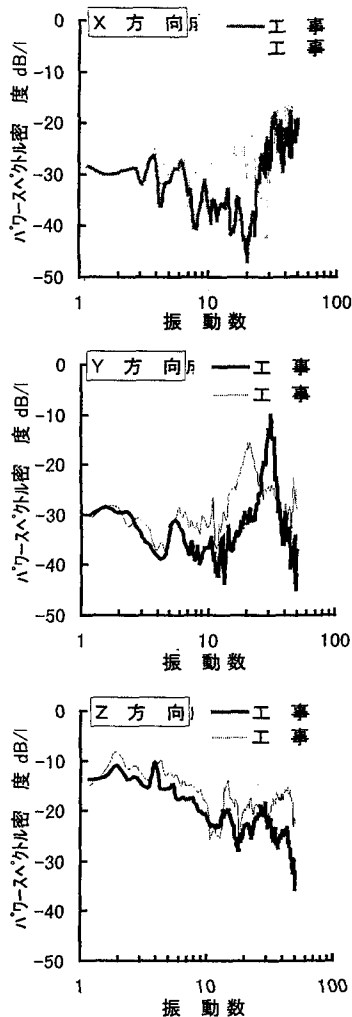


図 4 補強工事前後における振動伝達関数の比較

図 4によると、鋼製橋脚の補強工事に伴い、X方向(橋軸直角方向)成分、およびZ方向(鉛直方向)成分では、ほぼ全振動数で振動が伝達しやすくなっている。一方、Y方向(橋軸方向)成分では、伝達関数の卓越振動数がより低域(31Hz→22Hz)に移行し、かつ5Hz～25Hzの振動数域において増幅が認められる。

6.鋼製橋脚補強工事による振動特性の変化に関する考察とまとめ

鋼製橋脚の補強工事に伴う振動特性の変化としては、①剛性増加による振動エネルギーの低減、②振動伝播媒体の質量増加(空洞のコンクリート充填)による卓越振動数の高域への移行、の2点が予測された。しかし、今回の研究結果によると、橋脚天端における振動エネルギーはある程度低減されることが確認され、その理由として橋脚の剛性増加が挙げられるものの、橋脚近傍地盤における振動エネルギー(振動加速度)は工事前と比較して増加していることが判明した。

その原因としては、剛性増加、質量増加は卓越振動数のみに影響するのではなく、ほぼ全振動数成分において振動を伝播しやすいものとなるからではないかと推察される。

7.まとめ

本文では、高架道路橋の鋼製橋脚補強工事に伴う道路交通振動特性の変化に関して検討した。その結果、振動加速度エネルギーとしては、工事による増加が認められるものの、振動レベル(振動レベル特性補正)としては、

- ① 水平方向成分は約1dB程度低減される
- ② 鉛直方向成分は約2dB程度増加するという傾向が認められる。

このうち鉛直方向成分に関しては、工事後においても振動レベルの閾値(60dB程度)よりかなり小さいことや、道路橋の固有振動数と沿道家屋の固有振動数の共振現象となる水平方向成分の低減が認められた。

参考文献)

- (1)「建設省所管道路事業環境影響評価技術指針」の一部改訂について、建設省技調発 第17号 平成6年2月
- (2)「高架道路沿道家屋の振動特性の推定と共振現象に関する研究」徳永法夫、西村昂、日野泰雄、藤原敏彰 交通工学研究発表会論文報告集、pp.97-100、平成10年11月