振動測定による鉄道免震橋梁の動特性把握に関する基礎的検討

1.はじめに

鉄道では,衝撃振動試験や常時微動測定等の振動測定 による橋梁の動特性把握手法の開発に古くから取り組んで きた¹⁾.橋脚の健全度検査法が既に普及しており²⁾,現在も 高精度な地震時損傷度検査への振動測定検査法の応用³⁾ を検討している.一方,鉄道では列車走行安全性確保の観 点から橋梁の免震化に積極的ではなかったが,近年,橋梁 免震化に向けた検討が始まっている⁴⁾.免震橋梁に用いら れる積層ゴムの剛性にはひずみ依存性があり,地震時ひず みを想定した剛性の設計値と微小ひずみ領域での剛性値 は異なる.微小振動を用いて免震橋梁の動特性を精度良く 把握するためには,このひずみ依存性を考慮する必要があ る.そこで免震橋梁模型の加振実験および衝撃振動測定, 常時微動測定を行い,その結果を用いて積層ゴムのせん断 剛性のひずみ依存性について考察することにした.

2.免震橋梁模型を用いた実験

2-1 鉄道橋梁の新しい免震化手法

本研究では鉄道橋梁の新しい免震化手法の開発を目的 として行った実験のデータを利用する.鉄道橋梁では L1 地震時の列車走行安全性の確保が不可欠でるが,免震支 承を採用すると地震時の桁変位が増大し,走行安全性確保 を目的とした桁変位の規制値を満たせなくなる可能性があ る.そこで,図1に示す免震層と桁間連結層の2層構造から なる新しい免震支承を提案した.平常時ならびに L1地震時 には,免震層内に設けたロック装置が免震層を固定するの で,対象橋梁が従来の非免震鉄道橋梁と同等の走行安全 性を保ち,L2地震時のみ免震化されるよう工夫したものであ る.

2-2 橋梁模型の振動実験

図2に橋梁模型の概観とモデル化のイメージを示す.橋 梁模型は,RC壁式橋脚とPRC単純桁で構成される実橋梁 の1橋脚の橋軸方向振動を想定して作成した縮小模型であ る.橋梁模型各部の質量は,桁部が10.1t,桁連結部が2.4t, 橋脚部が6.8tである.表1に示す装置構成が異なる6種の 橋梁模型を用いた.(a)が非免震橋梁,(b)が上述の新手法 による免震層を設けた免震橋梁,(b)が上述の新手法 による免震層を設けた免震橋梁,(c)が(b)の免震層に粘性 ダンパを付加した橋梁,(d)が従来の免震橋梁をモデル化し たものである.(e),(f)は(b)の免震層に復元型ロック装置,摩 擦ダンパ(油圧ピストン,摩擦シリンダを用いた開発途上の 特殊な機械式装置)を付加したものである.復元型ロック装 置はピストンの押付け力を用いて免震層をロックする装置で あるが,油圧レベルを下げて用いたので摩擦ダンパに近い 鉄道総合技術研究所 正会員 上半 文昭 , 富田 健司 オイレス工業 (株) 非会員 仲村 崇仁

特性を示すと予想される.橋梁模型に用いた積層ゴムのゴムの総厚は 90mm で,ひずみ 100%時のせん断剛性(各部を支える複数の積層ゴムの合計)は表1のとおりである.

表1 実験で用いた橋梁モデルの装置構成

橋梁モデル	積層ゴムせん断剛性(kN/m)			ダンパ及びロック装置	
名称	橋桁下	免震層	橋脚下	ダンパ	ロック状況
(a)非免震	1,700	(1,800)	8,200		完全固定(治具)
(b)免震層免震	1,700	1,800	8,200		
(c)粘性ダンパ	1,700	1,800	8,200	粘性ダンパ	
(d)桁下免震	720	(1,800)	8,200		完全固定(治具)
(e)復元型ロック	1,700	1,800	8,200		復元型ロック装置
(f)摩擦ダンパ	1,700	1,800	8,200	摩擦ダンパ	

振動台は変位制御で水平1方向のみに橋梁模型を加振 できる.模型の各部にセンサが設置されており,振動方向の 加速度,変位を計測する.計測データから,橋梁模型の全 体系の1次固有振動数を推定する.実施した実験・測定お よびその分析方法は次に示すとおりである.

(1) 地震動加振: 模型基部に JMA 神戸波 NS 成分の変位振 幅を 1/2 にした地震動を入力し, 桁部/基部の加速度応答 のフーリエスペクトル比から固有振動数を推定する.

(2)スイープ加振:振幅 5mm の正弦波を 1.0Hz ~ 3.0Hz ま で周波数を 0.1Hz 刻みで変化させて模型基部に入力し, 桁部の変位応答値の変化から固有振動数を推定する.



キーワード:免震橋梁,ひずみ依存性,振動台実験,微動測定,衝撃振動測定 連絡先(〒185-8540東京都国分寺市光町 2-8-38, TEL: (042) 573-7290, E-mail: <u>uehan@rtri</u>.or.jp)

- (3)衝撃振動測定:桁部を掛矢で打撃して,桁部の加速度 応答のフーリエスペクトルから固有振動数を推定する.
- (4)微動測定:桁部/基部の常時微動(加速度)のフーリエス ペクトル比から固有振動数を推定する.

3.測定結果と考察

測定による固有振動数の推定結果を図 3~図6 に示す. 橋梁模型桁部の応答値は,地震動加振(800gal, 143mm),ス イープ加振(280gal, 41mm),衝撃振動測定(9gal, 0.9mm), 常時微動測定(0.2gal)の順に小さくなる.()内は(b)の最大応 答値を示したものである.固有振動数の推定値は模型の応答 値が大きいほど低く,積層ゴムの剛性のひずみ依存性の影響 と考えられる.衝撃振動と常時微動は何れも十分に微小な振 動であり,固有振動数の推定値に有意な差は見られない.

制震機能を有する装置を付加した橋梁モデル(c),(e),(f)の 衝撃振動測定結果では,2つの明瞭な卓越ピークが確認でき る.他の結果との比較から低い方のピークが橋梁模型の全体 系1次モード固有振動数に対応するものと思われる.約2.5Hz のピークは打撃箇所である桁部の錘と積層ゴムからなる系の 固有振動数が,打撃時に制震装置が発生する反作用力の影響で励起されたものであると考える.

機械式装置を付加した(c),(e),(f)では,常時微動測定によ る固有振動数の値が高い.最も振幅レベルが小さい常時微動 では,ピストンの押付け力やシリンダの摩擦力が免震層のロッ ク力として評価されたものと考える.積層ゴム以外の免震装置 についても振動レベル依存性を考慮する必要がある.

4.積層ゴムのせん断削性のひずみ依存性の評価

本実験用に試作した積層ゴムの載荷試験を行って図7の関 係を得た.載荷装置の性能限界のため,ひずみ 10%未満の データは得られなかったが,前章に示した桁部の錘と積層ゴ ムからなる系の固有振動数が約 2.5Hz であるという仮定に基 づき,その際の桁下積層ゴムの剛性を 100% ひずみ時の剛性 で除して微小ひずみ領域での剛性変化も推定した.(b)の振 動実験結果では,橋脚下部,免震層,桁下部の積層ゴムのひ ずみは,地震動加振(5.6%,67%,29%),スイープ加振(1.3%, 26%,12%),衝撃振動測定(計測レンジ外,0.6%,0.4%)程度 であった、それらのひずみに対応する積層ゴムの剛性を図7 から求めて多質点系のモード解析を行ったところ,数値モデ ルの固有振動数は地震動加振時 1.2Hz, スイープ加振時 1.3Hz, 衝撃振動測定時 1.4Hz となり, 実験結果を概ね説明す ることができた、実橋梁に用いる積層ゴムについても図7と同 様の関係を事前に整理しておけば,微小振動による動特性検 査の結果にひずみ依存性の影響を反映できるものと考える.

5.まとめ

衝撃振動測定や常時微動測定から推定される免震橋梁の 固有振動数は,積層ゴムのせん断剛性の微小ひずみ領域で のひずみ依存性の影響を受ける.振動測定検査結果から免 震橋梁の動特性を精度良く分析するためには,積層ゴムのひ ずみ依存特性の事前把握が肝要である.なお,本報告に示し た実験は国土交通省の補助金を受けて「自然災害制御技術 の開発」の一環として実施したものである.



参考文献

- 1)鈴木武夫:振動による橋脚の健全性の判定法,土木学会第6回 年次学術講演会概要, p.18, 1950.
- 2) 西村昭彦, 棚村史郎: 既設橋梁橋脚の健全度判定に関する研究, 鉄道総研報告, Vol. 3, No. 8, 1989.
- 3)上半文昭, 目黒公郎: 非線形構造解析による RC 構造物の即時 地震損傷度判定法に関する一考察, 土木学会応用力学論文集, Vol.3, pp.621-628, 2000.
- 4)岩田秀治,家村浩和,市川篤司,保坂鐵矢,村田清満:鉄道橋の 免震構造化の課題と展望,鉄道技術連合シンポジウム講演論文 集, J-RAIL'99, pp.199-202, 1999.