# 積層ゴム系の支承を用いた変位制御型の道路橋の免震設計法に関する一考察

九州大学大学院学生員 山田純司 九州大学大学院 正会員 松田泰治 九州大学大学院 フェロー 大塚久哲 (株)建設技術研究所 正会員 入江達雄 (株)構造技術センター 正会員 神農誠

### 1.はじめに

橋梁の免震設計の最終目的は,橋脚の基部に生じる曲げモーメントを低減して損傷を最小限に止め,橋梁の機能を維 持することにある これを実現するために桁および橋脚に生じる応答加速度が低減するよう免震支承の特性を定める際, 免震支承に生じる変位が橋の機能に悪影響を与えないよう配慮しなければならない .そこで ,本研究では高減衰積層ゴ

ムおよび鉛入り積層ゴムを対象に,地震時に生じる変位が設計時に想定す る変位を上回らないよう免震支承の力学特性および形状を定める変位制御 型の免震設計法を提案した.

2. 変位制御型の免震設計

#### 2.1目標設計変位と免震橋梁の固有周期

本研究では 種地盤上に建設される積層ゴム系の支承を有する橋梁を対 象とする.検討用の入力地震波は道路橋示方書の標準波における 種地盤 のタイプ ,タイプ 地震波よりそれぞれ1波( - -1, - -1) を選択した.免震橋梁の設計の第一段階では,地震時に上部構造に対して 許容できる変位すなわち目標設計変位を定める.目標設計変位とは地震時 に免震橋梁に生じる変位の総和を指し,変位吸収装置等の性能を考慮して この目標設計変位を定める.目標設計変位は20,30,40cmの3ケースを検討 対象とした.設計の第二段階では目標設計変位を満足する免震橋梁の固有 図-1 加速度および変位応答スペクトル 周期と減衰を設定する必要がある、高減衰積層ゴム支承の場合、ゴムの材 料が選択された後に,支承の等価剛性に基づき形状を定めると自動的に支 承の等価減衰定数が決定される.本研究では高減衰積層ゴム支承の等価減 衰定数として10%を仮定した.鉛入り積層ゴム支承では鉛プラグの形状を 変えることにより等価剛性と等価減衰定数を任意に選択可能である.今回 鉛入り積層ゴム支承の等価減衰定数10%のケースを検討対象とした.固有 周期の設定には免震支承の等価減衰定数と等しい減衰定数としたタイプ およびタイプ 標準波に対する変位応答スペクトルを利用する(図-1).-つの目標設計変位を満足する固有周期はタイプ とタイプ それぞれの地 震動に対して定まるが,その両者の短い方の周期を目標固有周期とする. 2.2 免震支承の力学特性と形状

(1) 免震支承の水平バネ定数

」道路橋示方書<sup>1)</sup>を参考に桁が固定の場合の橋の固有周期 T<sub>a</sub>を求め , T<sub>a</sub>よ リ図 -2(a)の1 質点系モデルで表される橋脚と基礎 - 地盤系を含む等価な 水平ばね定数 k,を求める(式(1)). 質点に考慮するのは桁の質量および橋 脚と基礎の質量の80%である.次に桁の質量を分離して免震支承を考慮し た図 -2(b)の2 質点系モデルにおいて,系の一次固有周期T,が先に示した 変位応答スペクトルより定まる目標固有周期と一致するように,免震支承 の等価な水平ばね定数 k, を定める(式(2)).

(2)免震支承の形状設計および非線形パラメータ

目標設計変位を とすると ,この より免震支承の最大せん断ひずみが2.5以下になるよ うにゴム総厚 t<sub>e</sub>を定め(式(3)),有効設計変位u<sub>ne</sub>を0.7 とし,ゴムの有効せん断ひずみ を求める(式(4)).

以上の手順は免震支承のタイプに依らない一般的な特性決定の手順となる 高減衰積層ゴ ム支承においては等価減衰定数が任意に選択不可能であるのに対し、鉛入り積層ゴム支承に おいては免震支承の等価減衰定数が鉛プラグの形状を変えることで自由に選択可能である.

キーワード:免震,変位応答スペクトル,高減衰積層ゴム支承(HDR),鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB),道路橋 連絡先:〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学大学院工学府建設システム工学専攻 TEL 092-641-3131(内線)8653





橋の固有周期 T<sub>0</sub> 免震橋梁の1次固有周期 T, (a) 1 質点系モデル (b) 2 質点系モデル m<sub>11</sub>:上部構造の質量 m。: 下部構造躯体の質量 *m*<sub>*x*</sub>:フーチングの質量 m<sub>w</sub>:下部構造の質量の80%と それが支持している上部構造の質量 k::橋脚と基礎地盤系の等価水平ばね定数  $m_1 = 0.8(m_p + m_r)$  $m_2 = m_{\mu}$  $m_T = m_U + 0.8(m_P + m_F)$ 

# 図 -2 免震支承の水平ばね定数 計算用質点系モデル

$$k_{1} = \frac{4 \mathbf{p}^{2} m_{T}}{T_{0}^{2}}$$
 (1)

$$k_{2} = \frac{m_{1}m_{2}n_{1}^{4} - k_{1}m_{2}n_{1}^{2}}{(m_{1} + m_{2})n_{1}^{2} - k_{1}}$$
(2)  
$$\overline{c_{1}} \overline{c_{2}} \overline{c_{3}} + n_{2} = 2\mathbf{p}/T$$

$$\sum_{e} t_{e} \ge d/2.5 \quad (3)$$

$$\boldsymbol{g} = 0.7 \boldsymbol{d} / \sum t_e \quad (4)$$

この特徴から両者の支承平面形状の決・高減衰積層ゴム支承の場合  $\int G(\ ) = a_0 + a_1 + a_2^{2} + a_3^{3} + a_4$ 定手順は大きく異なってくる.

道路橋の免震設計法マニュアル(案)<sup>2)</sup>  $(A_R = k_2 \sum t_e / (n \cdot G()))$ を参考にした両者の支承平面形状の決定手順を以  $\int K_1 = n \cdot A_R \cdot G_1(-) / \sum t_e$ 下に示す。  $K_2 = n \cdot A_R \cdot G_2(-) / \sum t_e$  (6)

(2-1)高減衰積層ゴム支承

 $Q_{v} = n \cdot A_{R} \cdot (v)$ ゴムの有効せん断ひずみ よりゴムのせん断弾 G<sub>1</sub>(): 第一剛性に関するせん断 性係数 G()を算出し,免震支承の水平バネ定数 弾性係数  $k_1$ によりゴムの平面形状(ゴムの面積  $A_{p_1}$ , ここで  $G_{2}$ ( ):第二剛性に関するせん断 は正方形を仮定)を決定する(式(5)). 弾性係数

():降伏応力度 ゴムの有効せん断ひずみ に対して非線形解析 のための高減衰積層ゴム支承の力学特性値(第一剛性 $K_1$ ,第二剛性 $K_2$ ,降伏力 $Q_2$ )を 式(6)より算出する.

(2-2)鉛入り積層ゴム支承

ゴムの有効設計変位u<sub>Re</sub>に対して非線形解析のための力学特性値(第一剛性K<sub>1</sub>,第 二剛性 K,,降伏強度 Q,)を関係式(7)より決定する.

免震支承の降伏強度 Q<sub>4</sub>および水平バネ定数 k<sub>2</sub>によりゴムの平面形状(ゴムの面積

A, , ここでは正方形を仮定)と鉛プラグの平面形状(鉛プラグの面積A, , ここでは円形を仮定)を決定する(式(8)). ここで係数 $a_a \sim a_a, b_a \sim b_a$ には高減衰積層ゴム,鉛入り積層ゴム両支承とも道路橋の免震設計法マニュアル(案)に示 されている値を用いる.

3. 変位制御型の免震設計の実橋梁への適用

種地盤A地域の支承固定の条件で耐震設計された3径間鋼桁橋のうちー本の橋脚 に着目し,橋脚-基礎系と免震支承からなる免震橋梁の断面設定を行った.図-3に その構造概要を示す.鋼桁は桁の重心位置において1質点でモデル化し,フーチング を含むRC橋脚は二次元はり要素でモデル化した 免震支承は水平ばねで置き換え 鉛 直方向は剛とした.フーチング下端には地盤ばねを考慮した.2.2に示した形状設計 の手順に従い,免震支承を試設計した結果を表-1に示す.

以上で述べた免震橋梁のタイプ タイプ 地震波に対して非線形動的解析を行っ た結果を表-2に示す、支承部分を固定とした耐震モデルでは橋脚基部のはり要素の 最大曲率と橋脚基部断面における降伏曲率の比が9.631であるのに対し、免震モデル

ゴム総 積層ゴム

の種類

HDR

LRB

HDR

LRB

LRF

-653-

積(cm2)

3 8/F±03

4 68E+03

2.60E+03

2.94E+03

2 25E±03

厚(cm)

9

13

17

ゴムの面 鉛プラグの 正方形ゴム

の辺長(

70

51

55

面積(cm2)

49E + 02

9.65E+01

7 50E+01

目標設計 目標固有

変位<sub>(cm</sub>

20

30

40

周期(sec

1.2

1.7

2.2

ではその比は1.0以内に収 まっておりすべてのケースに 上部構造重量6570kN,橋脚躯体重量1937kN,フーチング重量1134kN,支承数4 対して免震効果が確認でき た.また,全てのケースに対 してタイプ およびタイプ 地震波入力時の桁の最大変位・

は目標設計変位以下となって、

おり,変位制御型の免震設計法の適用性が確認された.

4.まとめ

1)変位応答スペクトルの重ね書きを用いて 目標設計変位 より定まる目標固有周期に対して積層ゴム系の支承の形状 設計を行う変位制御型の免震設計法の手順を示した. 2)橋梁の全体系モデルを対象に本免震設計法の適用性を検 討した.免震橋梁の応答変位は目標設計変位以下となり, 全体系モデルに対する本手法の適用性が確認された.

## 参考文献

1) 日本道路協会:道路橋示方書·同解説 耐震設計編,1996. 2) 土木研究センター: 建設省道路橋の免震設計法マニュアル (案), 1992.

#### 白雲橋の動的解析結果 ÷ 0

2次形

状係数

69

77

30

4.2

ゴム面圧

(MPa

5.08

4 06

7 5 1

6.45

8 4 5

	入力 地震波	目標 固有 周期 (sec)	積層ゴム の種類	動的解析結果			
目標 設計 変位 (cm)				免震モデル			耐震モデル
				支承の 最大変位 (m)	桁の 最大変位 (m)	橋脚基部の 最大曲率と 降伏曲率 との比	橋脚基部の 最大曲率と 降伏曲率 との比
20	タイプ	1.2	HDR	0.141	0.165	0.858	0.993
			LRB	0.121	0.143	0.804	
	タイプ		HDR	0.133	0.150	0.790	9.631
			LRB	0.128	0.146	0.774	
30	タイプ	1.7	HDR	0.216	0.232	0.499	0.993
			LRB	0.201	0.215	0.499	
	タイプ		HDR	0.196	0.213	0.513	9.631
			LRB	0.195	0.210	0.495	
40	タイプ	2.2	HDR	0.266	0.279	0.388	0.993
			LRB	0.299	0.311	0.414	
	タイプ		HDR	0.257	0.267	0.457	9.631
			LRB	0.264	0.273	0.444	



第1剛性;

1 18E+05

3 79E+04

5.12E+04

降伏変

位(m)

0.0116

0.0050

0.0154

0.0074

0.0190

2.98E+04 0.0099 0.154

を承4個の合計

低下率

0.210

0.154

0 196

0 1 5 4



・鉛入り積層ゴム支承の場合

(5)

$$K_{1} = 6.5 K_{2}$$

$$(7)$$

$$M_{B} = \frac{2Q_{d} \{ u_{Be} + Q_{d} / (K_{2} - K_{1}) \}}{\cdot u_{Be} (Q_{d} + u_{Be} \cdot K_{2})}$$

F: 有効設計変位に対するせん断 ひずみ における水平力

 $h_{R}$ :等価減衰定数

$$\begin{cases} F = n(A_R \cdot G_R \cdot + A_P \cdot q) \\ Q_d = n(A_P \cdot q_0) \\ q = a_0 + a_1 + a_2 \\ q_0 = b_0 + b_1 \end{cases}$$
(8)

q:せん断ひずみが の時の鉛プ ラグのせん断応力

q<sub>a</sub>: 鉛プラグの降伏強度における せん断力