

## (140) 免震橋用の落橋防止構造の開発

大成建設(株) 正会員 ○塚本敦之  
 大成建設(株) 正会員 尾崎大輔  
 東京ファブリック工業(株) 松本史郎

### 1. まえがき

免震装置が支承部に配置された免震橋では、大規模地震時にすべての支点上・下部構造の間にはある程度の相対変位が生じている。免震装置の限界性能が損なわれないように、さらには関東地震クラスの地震動を越える大きさの地震でも落橋しない耐震安全性を確保するためには、落橋防止構造が必要であり、それは上・下部構造の相対変位を柔軟に受け止める構造であることが望ましい。<sup>1)</sup>

そこで、図-1に示すように橋脚および橋台上に設置可能な落橋防止構造について、アンカーバーと積層ゴム(緩衝材)で柔軟に受け止める緩衝装置として開発し、モデル橋による数値解析及び装置の要素試験を行ったので、その結果について報告する。

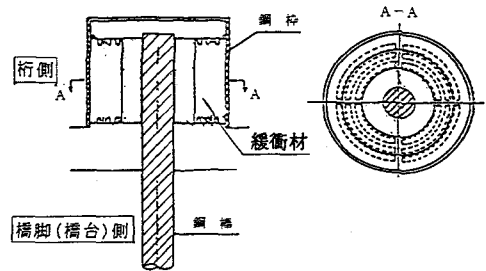


図-1 緩衝装置の構造概要図

### 2. 数値解析

#### (1) 解析条件

図-2に示すモデル橋について非線形時刻歴応答解析を行った。落橋防止構造は、関東地震クラス以下の地震時には免震装置の基本性能を妨げず、それ以上の大きさの地震動で機能する構造とした。そのため入力地震動としては、関東地震クラスの約1.3倍の大きさの地震を想定した。図-3に入力加速度を示す。

免震装置は図-4、表-1に示すようにバイリニア型の履歴特性を有する非線形部材として設定し、落橋防止構造は図-5、表-2に示すように骨格曲線に沿ってばね剛性が変化するばね部材で5ケース設定した。なお、支承部には免震装置と落橋防止構造のバネ部材を並列に配置してモデル化を行った。

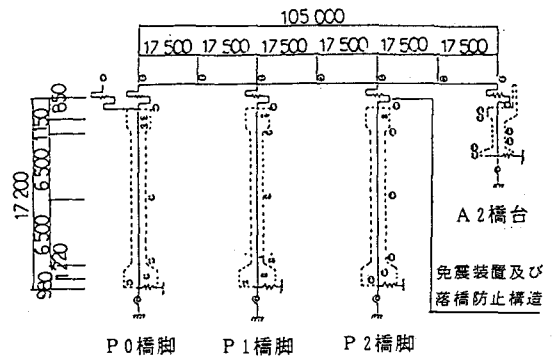


図-2 モデル橋

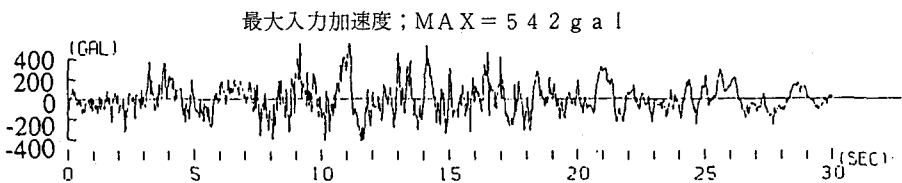


図-3 入力加速度

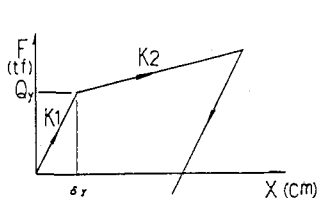


図-4 免震装置のモデル化

表-1 免震装置の特性値

諸元	P0	P1	P2	A2
K1(tf/cm)	49.4	125.0	125.0	49.4
K2(tf/cm)	10.2	25.4	25.4	10.2
Qy(tf)	30.5	77.7	77.7	30.5
$\delta y$ (cm)	0.62	0.62	0.62	0.62

(2) 解析結果

表-3及び図-6に上・下部構造の最大応答水平変位と落橋防止構造の最大応答水平力を示す。また、図-7にP1橋脚上の落橋防止構造の応答水平力の時刻歴を示す。

表-3 解析結果

落橋防止構造 モデルケース	最大相対変位 (cm)				
	P0	P1	P2	A2	
無し	22.2	21.7	21.7	24.5	
ケースA	15.2	15.1	15.1	17.4	
ケースB	①型	18.5	18.4	18.4	22.7
	②型	18.0	16.9	16.9	21.5
	③型	17.1	16.0	16.0	20.2
ケースC	17.9	16.9	16.9	21.5	

落橋防止構造 モデルケース	最大水平力 (tf)				
	P0	P1	P2	A2	
無し	—	—	—	—	
ケースA	1949	2023	1993	3583	
ケースB	①型	118	281	281	191
	②型	299	474	474	456
	③型	623	746	743	960
ケースC	295	469	470	458	

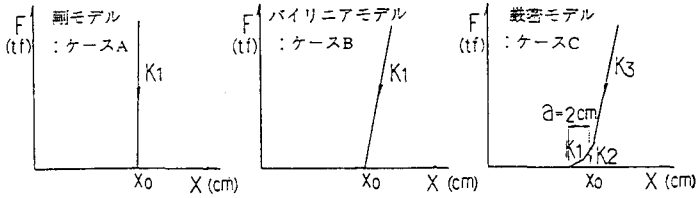


図-5 落橋防止構造のモデル化

表-2 落橋防止構造の物性値

モデルケース	諸元	P0	P1	P2	A2
全ケース	Xo (cm)	15	15	15	17
ケースA	K1(tf/cm)	10 000	25 000	25 000	10 000
ケースB	①型 K1(tf/cm)	33	83	83	33
	②型 K1(tf/cm)	100	250	250	100
	③型 K1(tf/cm)	300	750	750	300
ケースC	K1(tf/cm)	6	15	15	6
	K2(tf/cm)	30	75	75	30
	K3(tf/cm)	100	250	250	100

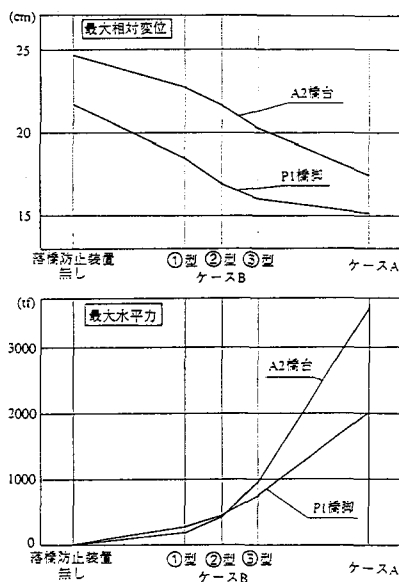


図-6 解析結果

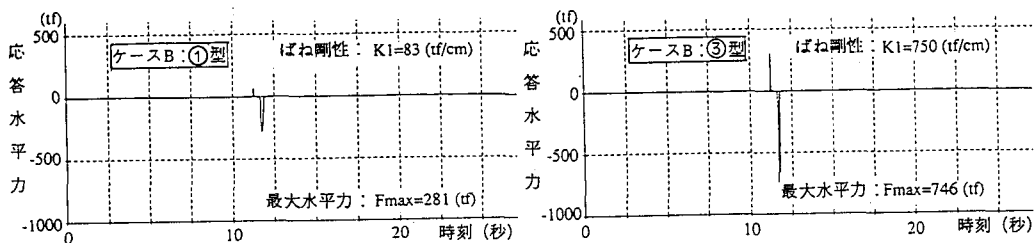


図-7 応答水平力の時刻歴 (P1橋脚)

(3) まとめ

解析結果をまとめると以下のとおりである。

- ① 剛モデル（ケースA）によって生じる最大反力は著しく大きい。
- ② 適当なばね定数の緩衝材を用いることにより、アンカーバーに作用する水平力を低減することができ緩衝効果を十分に期待できる。
- ③ 今回の解析では、上部構造の変位をある程度抑制し緩衝効果が十分に期待できるばね定数の範囲は、橋脚上で約150～500tf/cm、橋台上で約60～200tf/cmであった。
- ④ 落橋防止構造に作用する水平力（衝撃力）は、緩衝材のばね定数が小さいほど、その衝撃時間は長く最大衝撃力は小さい。
- ⑤ 落橋防止構造のモデル化において、バイリニア型（ケースB：②型）と厳密型（ケースC）とでは解析結果に差がない。

3. 要素試験

(1) 試験概要

図-8に示すように丸鋼で積層ゴムを静的に圧縮载荷する試験を行った。図-9に供試体の断面図を、表-4に供試体（積層ゴム）および丸鋼の材料特性を、表-5に供試体の寸法と試験ケースを示す。

(2) バネ定数の設定方法

圧縮変位-反力特性から、図-10に示すような包絡線を引くことによりバネ定数、及び包絡線と横軸の交点aを求めた。なお、図-10に示す繰り返し载荷した時のピーク点の包絡線と1回の载荷で荷重を増加させた場合の圧縮変位-反力特性とはほぼ一致していることを試験により確認している。

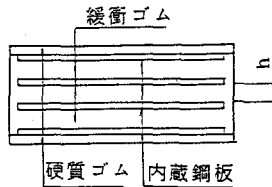


図-9 供試体断面図

表-5 試験ケース

試験ケース	1層のゴム厚 h (mm)	層数	合計厚 (mm)
A-1	12	2	50
A-2	12	3	65
A-3	12	4	80
B-1	16	2	55
B-2	16	3	80
B-3	16	4	100
C-1	20	2	65
C-2	20	3	90
C-3	20	4	115

注) 供試体の寸法は200mm×200mmである。

注) 全ての試験ケースにおいて、丸鋼はφ100、φ150、φ200の丸鋼を使用。

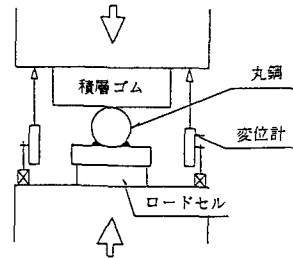


図-8 圧縮試験概要図

表-4 材料特性

材料	材質	物理的特性
供試体	緩衝ゴム	高減衰ゴム G = 6 kg/cm <sup>2</sup> 硬度: 50度
	硬質ゴム	合成ゴム G = 150 kg/cm <sup>2</sup> (縦維入り) 硬度: 90度
	内蔵鋼板	SS400 (t=4.5mm)
丸鋼		SS400

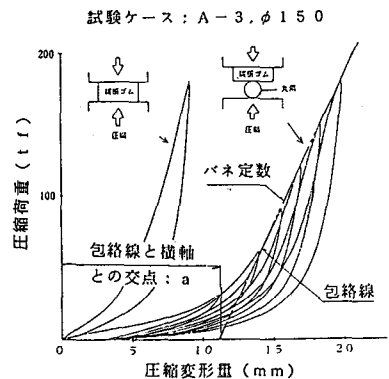


図-10 圧縮特性

(3) 試験結果

表-6及び図-11にばね定数、表-6及び図-12に包絡線との横軸の交点aを示す。また、図-13には繰り返しによる圧縮特性の変化を示す。

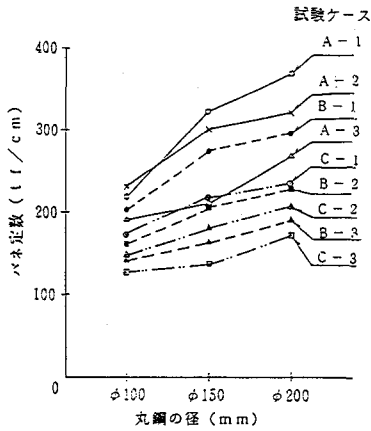


図-1 1 ばね定数

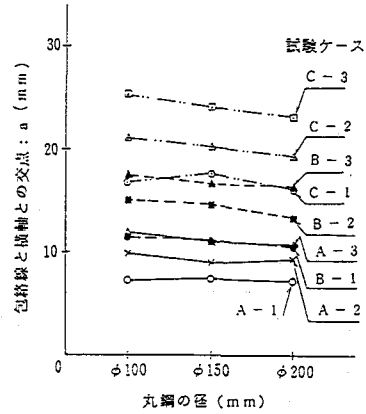


図-1 2 包絡線との横軸の交点 a

表-6 ばね定数・包絡線との横軸の交点 a

試験ケース	ばね定数 (tf/cm)			包絡線と横軸の交点 (mm)		
	丸鋼の径 (mm)			丸鋼の径 (mm)		
	φ 100	φ 150	φ 200	φ 100	φ 150	φ 200
A-1	218	321	367	7.2	7.4	7.2
A-2	231	300	321	9.9	8.9	9.3
A-3	191	212	269	11.9	10.9	10.6
B-1	202	273	295	11.4	11.1	10.5
B-2	162	205	228	14.9	14.4	13.3
B-3	142	164	191	17.5	16.6	16.3
C-1	173	214	231	16.6	17.6	16.0
C-2	149	180	207	21.1	20.2	19.3
C-3	129	137	171	25.3	23.9	23.0

試験ケース：B-1, φ 150

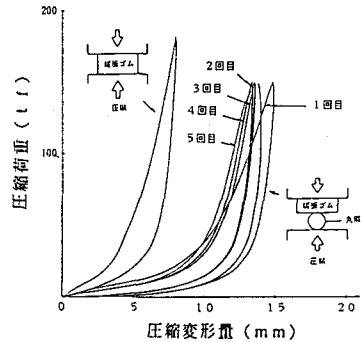


図-1 3 繰り返し特性

実験結果をまとめると以下のとおりである。

- ① 緩衝材が同じで丸鋼の径が大きくなれば、ばね定数は大きくなる。
- ② 丸鋼の径が同じで緩衝材のゴム厚を変化させると、ばね定数もそれに応じて変化している。
- ③ 包絡線と横軸との交点 a は、丸鋼の径に関係なく緩衝材が同じであればほぼ一定である。
- ④ 繰り返しによるばね定数の変化は 1 回目より 2 回目～5 回目の方が高くなっているが、2 回～5 回の間ではほぼ一定である。

#### 4. おわりに

緩衝材と丸鋼との間の最適なばね定数の設定、ばね定数の算定式の提案、アンカーバーに作用する最大水平力の算定式の提案、さらには実橋への適用方法等が今後の課題としてあげられる。

なお、本報告書は建設省土木研究所と民間 28 社との官民連帯共同研究道路橋の免震構造システムの開発の一環として行われたものである。

#### <参考文献>

- 1) 川島一彦他 4 名；免震橋の振動特性に関する模型実験 土木技術資料 Vol.30-10,1988年10月
  - 2) 土木研究所他 29 社；道路橋の免震構造システムの開発に関する共同報告書 (その 1)  
土木研究所共同研究報告書第 4 4 号,平成 2 年 3 月
  - 3) (財)国土開発技術研究センター；道路橋の免震設計法ガイドライン(案),平成元年 3 月
- <連絡先> 大成建設(株) 土木設計部 社会施設第四設計室 TEL 03-5381-5297 (ダイヤルイン)