産業施設に適した建屋免震構造の基礎的研究*

(第2報, 粘性ダンパを用いた場合の免震性能)

藤田 聡^{*1}, 藤田 隆 史^{*1}, 佐々木 恒夫^{*2}
藤本 滋^{*2}, 成川 昇^{*2}, 鶴谷 千明^{*3}Fundamental Study of Earthquake Isolation Systems
Suitable for Buildings of Industrial Facilities
(2nd Report, Performance of Earthquake Isolation Systems
Using Viscous Dampers)Satoshi FUJITA, Takafumi FUJITA, Yukio SASAKI,
Shigeru FUJIMOTO, Noboru NARIKAWA, and Chiaki TSURUYA

Earthquake isolation systems for industrial facilities should perform satisfactorily not only for the buildings but also for the internal equipment. From this point of view, earthquake isolation systems using laminated rubber bearings and various types of energy absorbing devices have been evaluated through experimental tests of a 0.3 scale model of a two-storey steel-frame building and theoretical analysis, to find the most suitable systems for industrial facilities. The performance of two types of isolation systems using oil dampers and viscous shear dampers, being representative of viscous damper, respectively was examined. Both systems using these viscous dampers could not only reduce the response accelerations of the building itself but also remarkably attenuate the response of the internal equipment. However neither system, particularly the system using oil dampers, seemed to be suitable to earthquake of having lower dominant frequencies such as Akita NS ground motion record because the deflexion of rubber bearings was not adequately limited.

Key Words: Vibration, Earthquake Isolation of Building, Industrial Facilities, Rubber Bearing, Viscous Damper

1. ま え が き

産業施設に適した建屋免震構造を検討する場合, 建屋内の機器設備への免震効果が重要であり, それは使用するエネルギー吸収装置の減衰特性に大きく影響される。前報⁽¹⁾では, 履歴ダンパを用いた場合の免震性能を調査した。その結果, 免震系の一次固有振動数近傍における過大な擬共振現象は履歴ダンパの非線形特性によりよく押さえられていたが, 高次振動数域での機器への免震効果は十分とはいえないことが示された。

本報では, 縮尺建屋免震構造モデルによる振動実験と応答解析により, 粘性ダンパ(オイルダンパと粘性せん断形ダンパ)を用いた場合の免震性能を検討した結果について述べる。

2. 対象とした粘性ダンパ

本研究で用いたオイルダンパは, ピストン・シリンダ構造(図2参照)を有し, 流体の動圧抵抗によって減衰力を生じる。本ダンパは, 水平設置が前提の鉄道車両用ダンパ(車体と台車間の左右動抑制に用いられる)として広く使用されており, 他のオイルダンパと同様に, 伸縮一方向のみに所定の速度比例減衰力を生じる。したがって, 実際の免震構造に適用する場合には, 水平面内いずれの方向にも減衰効果が得られるように組合せて設置することが必要となる。

一方, 粘性せん断形ダンパは, 円板と容器底面間のすきま(図4参照)における粘性せん断力により減衰力を得るもので, 元来配管等の制振に用いられていた。今回のように高粘度の粘性体を使用する場合, 減衰力の温度特性は良好とはいえないが, 水平面内任意の方向に対して減衰力を得られる利点があり, 最近では建物免震用ダンパとして使用され始めている⁽²⁾。

3. 振動実験の供試体と実験方法

3・1 縮尺建屋モデル 図1は免震支持された縮尺建屋モデル(縮尺比0.3)で, 履歴ダンパを用いた場合⁽¹⁾と同じ建屋モデルである。本縮尺建屋モデルの総

* 昭和62年4月1日 第64期通常総会講演会において講演, 原稿受付 昭和61年10月1日。

^{*1} 正員, 東京大学生産技術研究所(〒106 東京都港区六本木7-22-1)。

^{*2} 正員, (株)東芝総合研究所機械研究所(〒210 川崎市川崎区浮島町4-1)。

^{*3} 正員, オイレス工業(株)(〒252 藤沢市桐原町8)。

質量(以下、かっこ内に実大系に換算した値を示す)は5700 kg (211 000 kg)で、振動台に直に固定した場合の水平方向固有振動数は一次が13.3 Hz (3.98 Hz)、二次が28.5 Hz (8.45 Hz)である。また、積層ゴムのみで支持した場合の水平方向固有振動数は一次が1.75 Hz (0.53 Hz)、二次が15.3 Hz (4.50 Hz)、三次が29.8 Hz (8.70 Hz)、四次が56.7 Hz (17.0 Hz)である。

使用した積層ゴムは、直径134 mm、厚さ1.5 mmの天然ゴム系のゴム板と厚さ0.9 mmの鉄板を交互に30層積層したものである。

3・2 粘性ダンパの実験モデル 図2は実験に用いたオイルダンパである。オリフィス形状が比例弁形であるため、図3(アクチュエータによる加力試験結果)に示されるように減衰力(2本使用時)は速度におおむね比例し、またオリフィス部の油の流れを一方方向に制御する弁が設けられているため、伸縮方向での減衰力はほぼ等しくなっている。また、この減衰力は、免震系一次の固有振動数での減衰比22%に相当するものであった。なお、図3中の点線、一点鎖線については、5章において述べる。

図4は同じく実験に用いた粘性せん断形ダンパである。使用した粘性体はブタン系高分子化合物で、粘度

は実験時の温度25°Cにおいて8.8 kN・s/m²と比較的高粘度のもので、その減衰力は実験的に以下のように示される⁽³⁾。

$$F_D = 56.6 \cdot e^{-0.043T} \cdot A \cdot (v/d)^{0.5} \quad (\text{kN}) \cdots \cdots (1)$$

ここで、 $T(^{\circ}\text{C})$ は粘性体の温度、 $v(\text{m/s})$ は円板と容器の相対速度、 $A(\text{m}^2)$ は円板の面積、 $d(\text{m})$ は円板と容器底面間のすきまである。式(1)に今回用いたパラメータ値を代入すると、減衰力は式(2)のように示されるが、これは等価的に、免震系一次の固有振動数における減衰比20%に相当するものであった(詳しくは5章で述べる)。

$$F_D = 13.8 \cdot v^{0.5} \quad (\text{kN}) \cdots \cdots (2)$$

3・3 実験方法 正弦波加振実験と地震波加振実験を行った。地震波加振実験(水平・鉛直方向同時加振)では、図8に示す計8波の実地動記録波を相似則に従い、時間軸を0.3倍にし、加速度値を $1/0.3 = 3.33$ 倍(水平10 m/s²、鉛直5 m/s²)にして入力した。計測は、図5に示すように、各質量の水平・鉛直方向加速度と積層ゴムの水平変形量を測定した。また、粘性せん断形ダンパは温度依存性が大きいので、熱電対を用いて粘性体温度を測定し、 $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の範囲で実験を行った。

図1 免震支持された縮尺建屋モデル
(粘性せん断形ダンパを用いた場合)

図2 実験に用いたオイルダンパ

図3 オイルダンパの減衰力特性

図4 実験に用いた粘性せん断形ダンパ

4. 解析モデル

免震支持された建屋の解析モデルとして、図6に示すように、建屋モデル各質量の水平変位と建屋モデル全体の回転(剛体回転)を考慮した4自由度系モデルを使用した。各エネルギー吸収装置のモデル化は、オイルダンパを速度比例形の線形減衰として扱い、粘性せん断形ダンパは、式(2)に示すように速度の1/2乗に比例する減衰力とした。回転角を微小とし、鉛直方向運動を無視すると、運動方程式は以下になる。

$$m_3 \ddot{x}_3 + c_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2 - h_3 \dot{\phi}) + k_2(x_3 - x_2 - h_3 \phi) = -m_3 \ddot{z}_H \quad (3)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 - c_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2 - h_3 \dot{\phi}) + c_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1 - h_2 \dot{\phi}) - k_2(x_3 - x_2 - h_3 \phi) + k_1(x_2 - x_1 - h_2 \phi) = -m_2 \ddot{z}_H \quad (4)$$

$$m_1 \ddot{x}_1 - c_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1 - h_2 \dot{\phi}) + C_H(\dot{x}_1 - h_1 \dot{\phi}) - k_1(x_2 - x_1 - h_2 \phi) + K_H(x_1 - h_1 \phi) + F_D = -m_1 \ddot{z}_H \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^3 J_i \ddot{\phi}_i - \{c_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2 - h_3 \dot{\phi}) + k_2(x_3 - x_2 - h_3 \phi)\} h_3 - \{c_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1 - h_2 \dot{\phi}) + k_1(x_2 - x_1 - h_2 \phi)\} h_2 - \{C_H(\dot{x}_1 - h_1 \dot{\phi}) + K_H(x_1 - h_1 \phi) + F_D\} h_1 + (L^2 C_V + C_\phi) \dot{\phi} + (L^2 K_V + K_\phi) \phi = 0 \quad (6)$$

ただし、粘性ダンパの種類により、式(5)、(6)中の F_D は次のようになる。

(i) オイルダンパを用いる場合

$$F_D = C_D(\dot{x}_1 - h_1 \dot{\phi}) \quad (7)$$

(ii) 粘性せん断形ダンパを用いる場合

$$F_D = \alpha \cdot |\dot{x}_1 - h_1 \dot{\phi}|^{0.5} \cdot \text{sgn}(\dot{x}_1 - h_1 \dot{\phi}) \quad (8)$$

ここで、 x_1, x_2, x_3 はおのおの建屋モデル各質量の重心の地表面に対する相対変位、 ϕ は建屋モデル全体の回転角、 m_1, m_2, m_3 はおのおの建屋モデル各階相当

の質量、 J_1, J_2, J_3 はおのおの各質量の重心まわりの慣性モーメント、 k_1, c_1, k_2, c_2 はおのおの1層、2層の柱のばね定数、減衰係数、 K_H, C_H はおのおの積層ゴムの水平方向ばね定数、減衰係数、 K_V, C_V はおのおの積層ゴムの鉛直方向ばね定数、減衰係数、 K_ϕ, C_ϕ はおのおの積層ゴムの回転に対するばね定数、減衰係数、 C_D はオイルダンパの減衰係数、 α は粘性せん断形ダンパの粘度、温度、円板面積、粘性体厚によって決まる定数、 h_1 は積層ゴム上面側取付け面と質量 m_1 の重心間距離、 h_2, h_3 はおのおの質量 m_1 と m_2, m_2 と m_3 の各重心間距離、 $2L$ は水平方向の積層ゴム取付け位置間距離、 $\ddot{z}_H$ は地表面の水平方向加速度である。

5. 実験および解析結果

5.1 正弦波加振の場合 図7は、縮尺建屋モデルの質量 m_3, m_2 (図6参照)の応答加速度と積層ゴムの水平変形量に関する共振曲線であり、実大系に換算した振動数軸と応答加速度軸および応答変位軸を併記した。一次固有振動数近傍では、積層ゴムの変形量が非常に大きくなるため、入力加速度振幅の大きさを、1/10の 1m/s^2 としたが、応答は線形であるとみなし、応答値を10倍することで同一図中に整理した。

オイルダンパを用いた場合は、一次固有振動数(1.75 Hz)において22%の減衰比を有していた。これは、図3中の点線で示す減衰力に相当し、ダンパの直接加力試験による減衰力よりも大きな値を示した。また、二次(15.3 Hz)、三次(29.8 Hz)の各固有振動数での応答加速度は、前報⁽¹⁾で述べた履歴ダンパに比べ、1/3~1/2に押さえられていた。なお、連続的に加振を行うと、オイルダンパの温度はかなり上昇(70~80°C程度)したが、常温(25°C)の時に比べて、応答が増大するようなことは見られず、オイルダンパの温度依存

図5 供試体と計測箇所

図6 解析モデル

性は実用上無視できるものと思われる。

粘性せん断形ダンパを用いた場合は、粘性体自体に弾性があるため（したがって、厳密には粘弾性体である）、一次固有振動数が2.0 Hzとなったが、二次、三次の固有振動数はおおよそ14.8 Hz、30.0 Hzとあまり変化しなかった。

一次共振点における応答の大きさは、線形減衰系の減衰比20%に相当するもので、オイルダンパとほぼ同程度の減衰効果を有していることが示された。また、二次、三次固有振動数での応答も、オイルダンパの場

合同程度であった。

なお、図7中の点線で示した解析結果は、地震波加振に対して用いた減衰力により解析したものであり、詳しくは次節において述べる。

5.2 地震波加振の場合 ここでは、主に建屋自体に対する免震性能について検討する。図8は、地震波加振実験による全結果を示したものである。免震された場合の最大応答加速度と積層ゴムの最大変形量を実線で表し、また比較のために免震されない場合の結果を点線で示した。

図7 免震支持された場合の応答加速度と応答変位に関する共振曲線

		— : Isolated - - - : Non-isolated		NS	El Centro	EW	NS	Taft	EW	NS	Hachinohe	EW	NS	Akita	EW			
Oil damper $\zeta_D = 0.113$	Horizontal	m_3 acc. (m/s ²)		39.0	8.70	8.01	24.8	33.2	6.48	7.84	32.1	28.1	7.57	12.0	17.8	12.0	10.4	
		m_2 acc. (m/s ²)		10.8	8.08			8.09	8.87			7.33	8.96	14.8	8.75	9.34	24.0	
		m_1 acc. (m/s ²)		20.0	4.95	6.76	17.1	23.0	4.73	4.96	20.2	18.6	6.79	7.33	8.38	8.99	19.4	
	Input acc. (m/s ²)		12.7		12.0		10.3		10.2		8.78		11.2	8.26		10.8		
	Deflection of rubber bearing $\times 10^{-2}$ (m)		12.7		12.0		10.3		10.2		8.78		11.2	8.26		10.8		
			3.12		4.68		2.56		2.81		5.37		4.79		6.42		7.38	
Vertical	m_3 acc. (m/s ²)		7.78	6.13		11.8	8.55	7.41		5.55	5.04		3.98	4.59				
	m_2 acc. (m/s ²)		11.6		11.8	11.8	7.50	12.3		5.05	5.06		3.48	3.50				
	m_1 acc. (m/s ²)		6.56	4.92		9.11	7.50			4.94	4.46		3.00	3.82				
Input acc. (m/s ²)		10.5	10.2		8.14	9.65			4.54	4.56		3.54	3.33					
Deflection of rubber bearing $\times 10^{-2}$ (m)		5.08	4.65		5.13	5.45			4.12	4.08		3.06	2.97					
		9.78	9.59		7.90	9.25			4.61	4.60		3.42	3.27					
		5.08	4.65		5.13	5.45			4.12	4.08		3.06	2.97					
Viscous shear damper $F_D = 10.4 \text{ v.s. kN}$	Horizontal	m_3 acc. (m/s ²)		33.1	5.71	6.87	20.7	36.3	3.55	6.33	35.4	33.0	6.71	8.42	20.4	9.42	6.16	22.3
		m_2 acc. (m/s ²)		17.0	4.90	5.76	14.2	25.2	4.58	4.11	22.2	21.9	4.96	7.32	12.9	8.56	6.16	18.0
		m_1 acc. (m/s ²)		10.8		10.0		11.3	2.00	3.60	11.2	10.3	5.17	6.52	9.48	9.98	9.98	9.98
	Input acc. (m/s ²)		10.8		10.0		11.3		11.2		10.3		9.79	9.48		9.98	9.98	
	Deflection of rubber bearing $\times 10^{-2}$ (m)		2.72		3.45		11.3		11.2		10.3		9.79	9.48		9.98	9.98	
			0.81		1.37		0.81		1.37		2.63		4.09	5.79		4.04		
Vertical	m_3 acc. (m/s ²)		7.34	6.27		9.51	7.77		6.64	6.26		4.13	4.70					
	m_2 acc. (m/s ²)		8.73	8.50		8.52	9.08		5.58	5.50		3.82	3.59					
	m_1 acc. (m/s ²)		6.21	5.03		10.1	7.88		5.94	5.56		3.11	3.91					
Input acc. (m/s ²)		6.74	7.06		7.14	7.71		5.27	5.26		3.53	3.49						
Deflection of rubber bearing $\times 10^{-2}$ (m)		4.95	4.48		5.33	5.46		4.77	4.72		3.06	3.04						
		6.98	7.06		7.22	7.88		5.27	5.26		3.55	3.48						
		4.95	4.48		5.33	5.46		4.77	4.72		3.06	3.04						

図8 地震波加振実験での免震性能

免震された場合の水平方向加速度は、粘性せん断形ダンパのほうが若干低い値を取ったが有意な差ではなく、使用したダンパの種類および入力地震波によらずおおむね同じ値を示し、建屋への免震効果はほぼ同程度であったといえる（履歴ダンパ⁽¹⁾を用いた場合も、応答加速度の低減率はほぼ等しい）。鉛直方向応答加速度は、前報⁽¹⁾で述べたように、積層ゴムを低圧縮ひずみ下で用いたため所定の鉛直方向剛性が得られず、実大系よりも不利な条件であったが、オイルダンパを用いた場合の El Centro NS 波と Taft NS 波加振を除いて応答の顕著な増幅等は見られなかった（粘性せん断形ダンパは、意図したものではないが、ある程度鉛直方向振動を拘束していたものと思われる）。

一方、応答変位（積層ゴムの変形量）は入力地震波の性質に大きく影響され、特に秋田 NS 波のように免震系一次の固有振動数近傍に卓越する成分を持つ場合、かなり大きな値となった。相対的に粘性せん断形ダンパはオイルダンパに比べ変位抑制効果が高かったが、この点に関しては、強い非線形性を有する履歴ダンパ⁽¹⁾のほうが効果的であった。

図 9, 10 は、それぞれオイルダンパを用いた場合、粘性せん断形ダンパを用いた場合に対し、El Centro NS 波を入力した際の応答波形の解析結果と実験結果を比較したものである。

オイルダンパを用いた場合の応答波形は、解析と実験で大きな差異が認められる。実験で得られた質量 m_2 の応答波形には、系の三次固有振動数である 30 Hz の成分が、そして質量 m_3 の応答波形には系の二次固有振動数の 15 Hz の成分が大きな割合で含まれ

ている。このような現象は、El Centro 波や Taft 波のような高振動域に卓越する成分を持つ地震波に対して特に顕著であった。これは、オリフィス部における油の流れを一方向に制御する弁（図 2 参照）が、高次振動のリップルに対して作動せずに、ほぼ固定した状態となり、系の二次や特に三次固有振動を励起したためと考えられる。

また、解析に用いた減衰比 11.3 % は、各地震波加振実験における応答変位と解析値を等しくするような減衰比の平均値である。これは正弦波加振実験で得られた減衰比 22 % に比べ、かなり低い値であり、地震波加振での減衰力は低減することが示された。なお、この結果は前出の図 3 においては一点鎖線で、また図 7 には点線で併記した。

一方、粘性せん断形ダンパを用いた場合の応答波形は、図 10 に示すようによく一致した。解析に用いた減衰力 $F_D = 10.4 \cdot v^{0.5} (\text{kN})$ （式 (8) において、 $\alpha = 10.4 (\text{kN} \cdot \text{s}^{1/2} / \text{m}^{1/2})$ とおいたもの）は、オイルダンパの場合と同様にして求めた減衰力の平均値であり、図 7 にはこの値を用いた場合の結果を点線で示した。さらに、線形粘性減衰系モデル（オイルダンパを用いた場合の解析モデル）を用いて計算したところ、この減衰力は減衰比 16 %（正弦波加振では、オイルダンパとほぼ同程度の 20 % であった）に相当することが確かめられた。したがって、図 8 に示したように、粘性せん断形ダンパのほうがオイルダンパに比べて変位抑制効果が大きかったものと思われる。

なお、粘性せん断形ダンパの温度依存性が大きいことは前述したが、El Centro NS 波で加振した際には、

図 9 オイルダンパの場合の地震応答波形例

図 10 粘性せん断形ダンパの場合の地震応答波形例

24.5°Cが24.6°Cへと0.1°C上昇し、秋田NS波の場合は25.0°Cが26.5°Cと1.5°C上昇したにすぎず、この程度の温度上昇は、特に問題とはならなかった。むしろ、実用時の気温変化に対する減衰力の変化のほうが問題となろう。

5・3 床応答スペクトルでの免震性能 エネルギー吸収装置の違いによる施設建屋内機器設備への免震効果の差を明確にするため、床応答スペクトルを用いて検討する。図11は、オイルダンパおよび粘性せん断

形ダンパを用いた場合に対し、El Centro NS波を入力した際に、機器の減衰比を1%として求めた床応答スペクトルである。図中の実線は免震されない場合の結果を示し、免震された場合の実験結果を細かい点線、解析結果を粗い点線で示した。また、各質量の最大応答加速度(床応答スペクトルの入力となる)を棒グラフで併記した。同様に、秋田NS波を入力した際の結果を図12に示す。

いずれの粘性ダンパを用いても、実大系における機

図11 床応答スペクトルでの免震性能 (El Centro NS波)

図13 建屋の減衰を増加した場合の床応答スペクトル (El Centro NS波)

図12 床応答スペクトルでの免震性能 (秋田NS波)

図14 建屋の減衰を増加した場合の床応答スペクトル (秋田NS波)

器の固有振動数が約 1 Hz (周期 1 秒で縮尺モデルでは 0.3 秒となる) 以上の幅広い振動数域において良好な免震性能が得られた。これは、履歴ダンパ⁽¹⁾を用いた場合の免震効果が実大系の 5 Hz 以上の帯域に限られていたことに比べ、非常にすぐれたものである。ただし、El Centro NS 波を入力した際、オイルダンパを用いると振動数 30 Hz (周期 0.033 秒) で大きな応答を示すが、これは前節で述べたようにダンパ構造上の問題である。この結果を、即実大系にあてはめることは、振幅、振動数ともに異なるので難しいが、オイルダンパを使用する際には留意すべき点である。しかし、粘性せん断形ダンパを用いた場合は、このような振動数域でも十分な減衰効果を示した。

一方、免震系一次の固有振動数近傍での応答の逆転現象 (免震をしない方が応答が小さい) は、履歴ダンパ⁽¹⁾の場合に比べて大きかった。これは、対象とする施設建屋内にこのような固有振動数を持つ機器 (例えば、スロッシングを起こすような機器等) が設置されている場合に、免震を採用したことにより、かえって応答が増幅する可能性があることを示唆するものである。この応答を抑制するためには、さらに大容量のダンパ (履歴ダンパ程度に押さえるためには、減衰比 30~40 % 程度が必要であると思われる) が必要となるが、この点に関しても履歴ダンパ⁽¹⁾を用いるほうが効果的である。

ところで、本縮尺建屋モデルは鋼製溶接構造のため、一次、二次モード減衰比がおおの 0.18 %, 0.69 % と極めて小さいものであった。そこで、実際のコンクリート造建屋における免震性能を確認するために、一次、二次モード減衰比を 5 % とした場合について求めた床応答スペクトルを図 13, 14 に示す。なお、ここでは粘性せん断形ダンパを用いた場合について解析し、機器の減衰比は 1 % とした。

建屋の減衰が増加したことで、二次、三次固有振動数での応答はより小さいものとなったが、変化の度合

は小さく、粘性ダンパを用いた場合は建屋の減衰の大小にかかわらず、応答はほぼ等しくなることを示している。また、振動モードは一次モード (剛体モード) が卓越し、積層ゴムの変形量も、建屋の減衰にかかわらず変化がなかった。

6. あとがき

本報では、エネルギー吸収装置として粘性ダンパ (オイルダンパと粘性せん断形ダンパ) を用いた場合の、建屋および建屋内機器設備への免震効果について検討した。建屋自体に対する免震効果は、前報⁽¹⁾で検討した履歴ダンパを含め、いずれのダンパを用いても、おおむね同程度であったが、建屋内機器設備への免震効果には大きな差があることが明らかとなった。

建屋免震構造において、最終的な免震対象となる機器設備への免震効果は、今回対象とした粘性ダンパが非常にすぐれている。特に粘性せん断形ダンパは、水平面内いずれの方向にも減衰力を得られる利点もあり、免震用ダンパとして適したものであると考えられる。

ただし、免震系一次の固有振動数近傍での擬共振現象をより抑制するためには、かなり大容量のダンパが必要となるが、この点では履歴ダンパのほうが効果的であった。

そこで、粘性ダンパと履歴ダンパそれぞれの長所を生かし、互いを最適な容量で併用することにより、機器設備に対して、さらにすぐれた免震効果が得られる可能性がある。この件については、次報で報告する。

文 献

- (1) 藤田(聡)・ほか 5 名, 本論文集の 1401 ページ。
- (2) 速水・ほか 3 名, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭 59-10), 1017。
- (3) オイレ工業(株), オイレ・パイブロック, カタログ KC 00-701-0, 7。

討 論

〔質問〕 笠井 洋 昭 [(株)日立製作所機械研究所]

(1) オイルダンパ系の解析において、正弦波加振と地震波加振で減衰比が異なっている。特に地震波加振のほうが小さいがこの物理的要因はどのように考えるか。またこの現象はオイルダンパの一般的性質か。

(2) 図 3 にオイルダンパの減衰力特性が示してあるが、このデータの試験方法を具体的に説明して欲し

い。特に加振波は正弦波、三角波か。また周波数範囲はどのくらいか。

〔回答〕 (1) 本オイルダンパの地震波加振時における減衰力低下の要因としては、下記の二点が考えられる。

(i) 油の圧縮性により、特に小振幅の際、オリフィス部の油の流量が設計値より減少し、減衰力が低下

する。

(ii) 特に小振幅において、ピストン速度が大きくなると(振動数が高くなる)、安全弁が開き、減衰力が低下する。

本正弦波加振実験(図7参照)では、一次共振点でのダンパ部相対速度が0.2 m/s程度であるのに比べ、地震波加振(図9参照)においては、地震波の種類によって異なるが、相対速度は0.3~0.8 m/s程度(El Centro NS波では約0.5 m/s)と大きく、主に上記の理由(ii)により、減衰力が低下したと思われる。

また、正弦波加振のように定常加振の場合と比べ、

地震波加振のように非定常な場合、油圧反力の位相遅れなどの影響が考えられるが、質問(2)における試験においては確認されていない。

(2) 図3に示したオイルダンパの減衰力特性は、ダンパメーカー側で測定されたものである。試験方法は、ダンパの一端をロードセルを介して固定し、他端から油圧サーボシリンダによる正弦波加振を行った。入力が正弦波であるため、図3は振動数の影響を含んだ特性を示したものとなる。その加振振動数範囲は、0.23 Hz(振幅±70 mm, 速度0.1 m/s時)から9.55 Hz(振幅±5 mm, 速度0.3 m/s時)となる。