



評 定 書 (工法等)

申込者 日鉄エンジニアリング株式会社 取締役常務執行役員 山下 芳浩 様
扶桑機工株式会社 代表取締役社長 渡瀬 昌明 様

件 名 長周期地震動に対する免震材料の性能変化
(新日鉄住金エンジニアリング式免震 U 型ダンパー、
日鉄エンジニアリング式免震 U 型ダンパー、
新日鉄住金エンジニアリング式天然ゴム系積層ゴム支承一体型免震 U 型ダンパー、
日鉄エンジニアリング式天然ゴム系積層ゴム支承一体型免震 U 型ダンパー)

令和 4 年 6 月 24 日付けで評定の申し込みのあった本件については、下記のとおり評定申込事項に係る技術的基準に照らし妥当なものと評定します。

なお、本評定書の有効期間は、本評定日より令和 9 年 6 月 24 日までとします。

令和 4 年 6 月 24 日



記

1. 評定申込事項

本評定は、免震 U 型ダンパー及び天然ゴム系積層ゴム一体型免震 U 型ダンパーの長周期地震動に対する性能変化について評定申込がなされたものである。なお、天然ゴム系積層ゴム一体型免震 U 型ダンパーについては、免震 U 型ダンパー部のみを対象としている。

2. 評定の区分

変更

3. 評定をした工法等

別紙 1 のとおり

4. 評定の内容

(1) 方法

本評定は、免震材料評定委員会 (委員長: 北村春幸) において、申込者から提出された資料に基づき審査を行ったものである。

(2) 審査内容

別紙 2 のとおり

5. 備考

本評定は、設計・施工・品質管理等が適切に行われることを前提に、提出された資料に基づいて行ったものであり、個々の製品の適切性は評定の範囲に含まれていない。

別紙1

1. 対象となる免震材料

1-1 認定番号一覧

表1 対象となる免震材料の一覧

件名	認定番号	認定日
新日鉄住金エンジニアリング式免震 U 型ダンパー	MVBR-0501 (BCJ 基評-IB0894-01)	平成 26 年 2 月 12 日
日鉄エンジニアリング式免震 U 型ダンパー ^{※1}	MVBR-0594 (BCJ 基評-IB1010-01)	令和 3 年 3 月 15 日
新日鉄住金エンジニアリング式天然ゴム系積層ゴム支承一体型免震 U 型ダンパー (S29,S34,S39,S44) ^{※2}	MVBR-0523~0526 (BCJ 基評-IB0910-01~ IB0913-01)	平成 27 年 1 月 16 日
日鉄エンジニアリング式天然ゴム系積層ゴム支承一体型免震 U 型ダンパー (S29,S34,S39,S44) ^{※1, ※2}	MVBR-0624~0627 (BCJ 基評-IB1028-01~ IB1031-01)	令和 4 年 6 月 1 日

※1. MVBR-0594 及び MVBR-0624~0627 は、それぞれ MVBR-0501、MVBR-0523~0526 に対し、1 次剛性(K1)及び降伏荷重(Qy)の実績をもとにした見直しにより、変更していることに注意する。

※2. 積層ゴム一体型の評定対象範囲は U 型ダンパー部分(ダンパー部)のみとし、積層ゴム部分(支承材部)については、本評定の対象外とする。

1-2 製品概要

新日鉄住金エンジニアリング式免震 U 型ダンパー及び日鉄エンジニアリング式免震 U 型ダンパー（以降、別置型免震 U 型ダンパーと称す）は、免震構造に使用される弾塑性系減衰材である。鋼材 SN490B を U 型形状に成型した減衰材（U 型ダンパー）を放射状に配置したものを、上下のベースプレートにダンパー接合用ボルトで接合している。免震層の水平変形に追従して U 型ダンパーが塑性変形しエネルギー吸収を行う。表 2 及び表 3 に別置型免震 U 型ダンパーの形状および各部名称を示す。ダンパー接合用ボルトについては、ダンパーシリーズにより 2 本組仕様と、4, 6, 8 本組仕様があり、4, 6, 8 本組仕様(MVBR-0501 は 4, 6 本組仕様のみ)のものを R タイプと称す。

新日鉄住金エンジニアリング式天然ゴム系積層ゴム支承一体型免震 U 型ダンパー及び日鉄エンジニアリング式天然ゴム系積層ゴム支承一体型免震 U 型ダンパー（以降、一体型免震 U 型ダンパーと称す）は、上記の U 型ダンパーを天然ゴム系積層ゴムの周囲に放射状に配置し、上下

のフランジプレートにダンパー接合用ボルトで接合したものである。図 1 に代表的な一体型の形状および各部名称を示す。なお、R タイプの U 型ダンパーとの組み合わせの一体型免震 U 型ダンパーは、ダンパー接合用ボルトが 4, 6 本組仕様のものとなる。一体型免震 U 型ダンパーの評定対象範囲は、U 型ダンパー部分(ダンパー部)のみとし、積層ゴム部分(支承材部)については、本評定の対象外とする。

表2 別置型免震U型ダンパー代表形状および各部名称

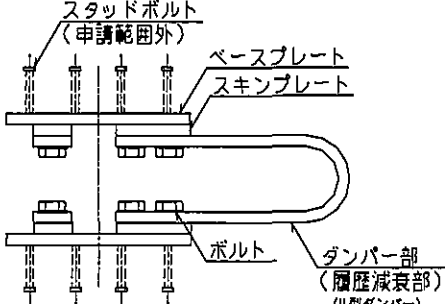
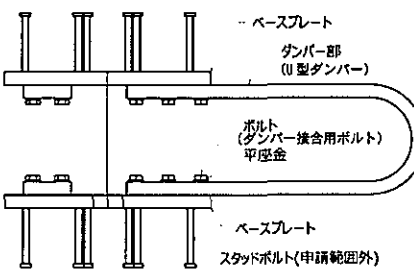
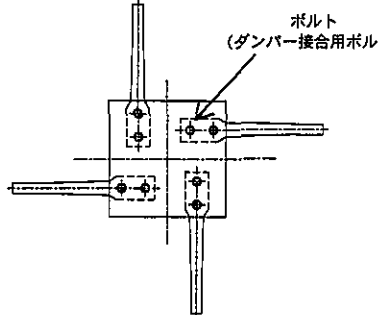
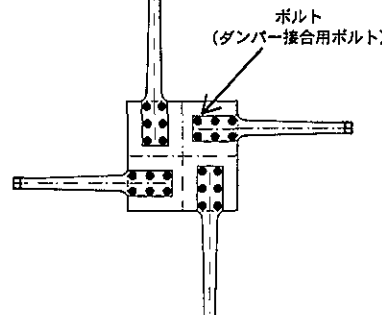
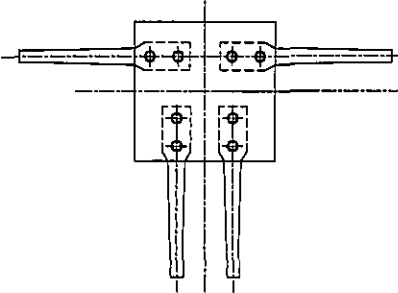
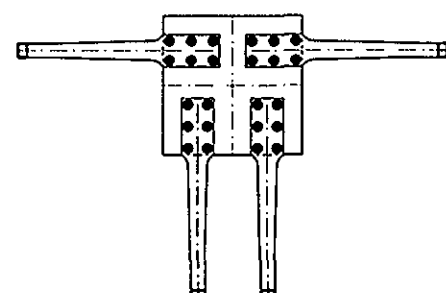
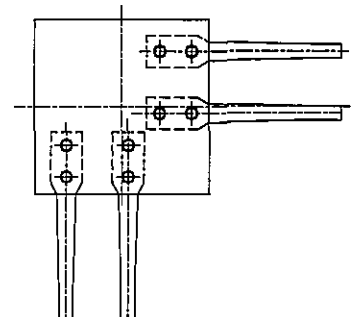
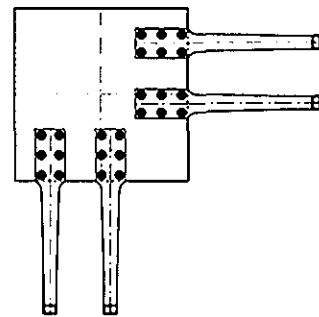
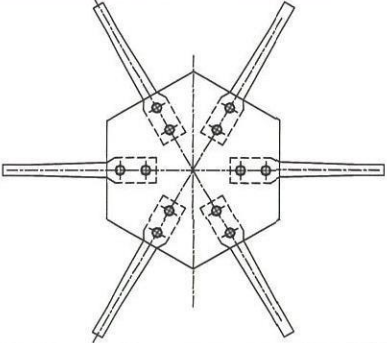
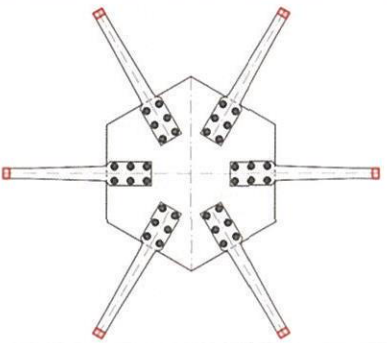
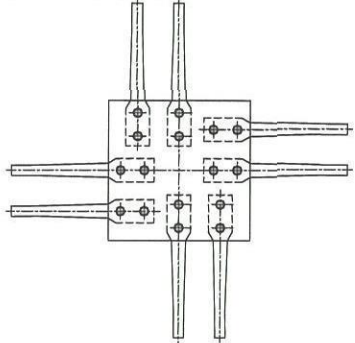
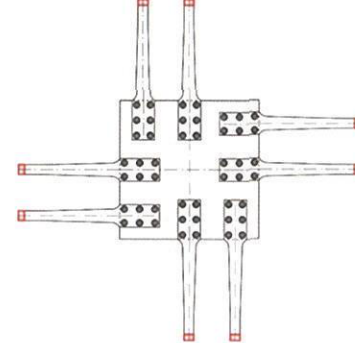
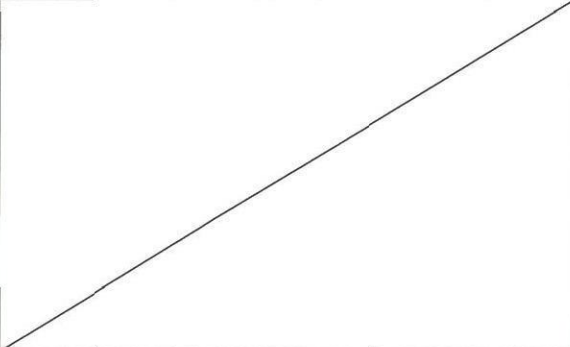
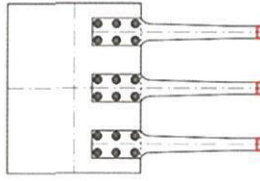
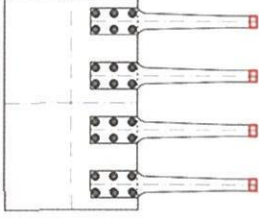
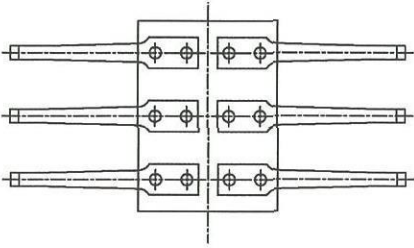
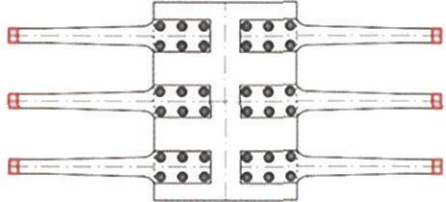
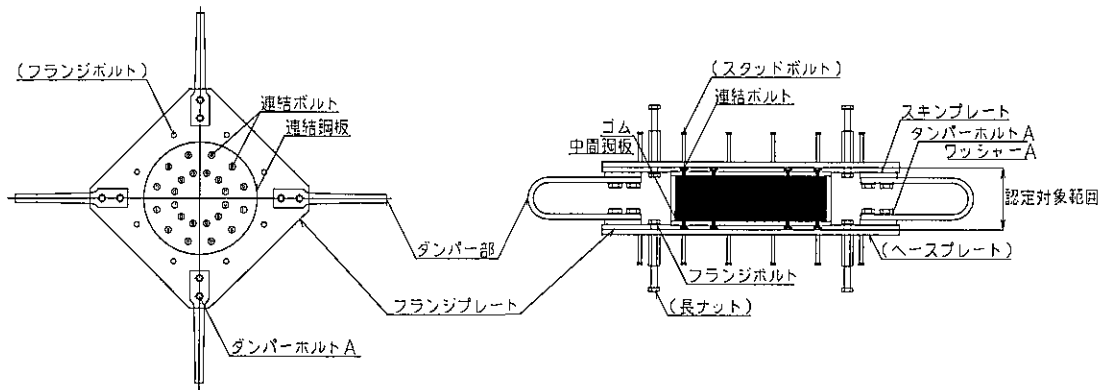
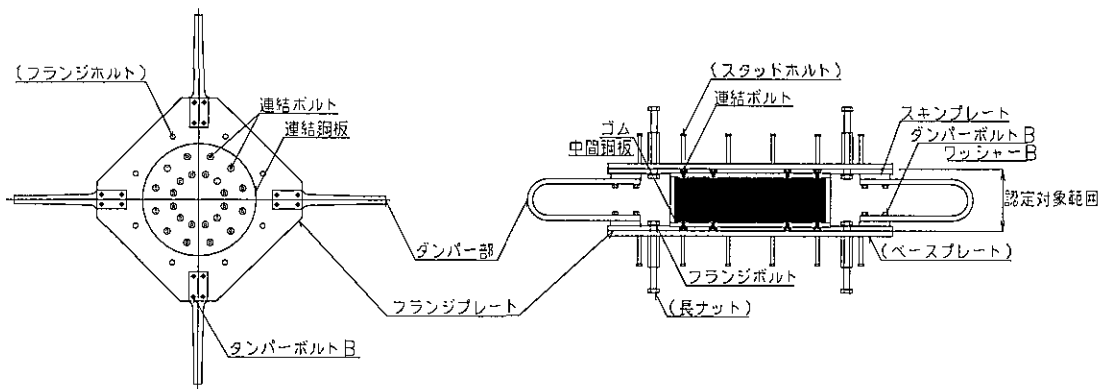
ダンパー接合用ボルト2本組仕様 MVBR-0501	ダンパー接合用ボルト4, 6, 8本組仕様(Rタイプ) MVBR-0501, MVBR-0594
立面図(共通)	立面図(共通)
	
NSUD * * ×4	NSUD * * R×4
	
NSUD * * ×4T	NSUD * * R×4T
	
NSUD * * ×4L	NSUD * * R×4L
	

表3 別置型免震U型ダンパー代表形状および各部名称 (つづき)

ダンパー接合用ボルト2本組仕様 MVBR-0501	ダンパー接合用ボルト4, 6, 8本組仕様(Rタイプ) MVBR-0501, MVBR-0594	
NSUD**×6	NSUD**R×6	
		
NSUD**×8	NSUD**R×8	
		
	NSUD**R×3P	NSUD**R×4P
		
NSUD**×6P	NSUD**R×6P	
		



【ダンパー接合ボルト 2 本組仕様 (MVBR-0523~0526)】



【ダンパー接合ボルト 4、6 本組仕様 (MVBR-0523~0526, MVBR-0624~0627)】

- 注) 1. () 表示部分は認定対象範囲外
 2. 支承材部 (連結鋼板、連結ボルト、中間鋼板、ゴム) は積層ゴムメーカーで製造

図 1 一体型免震 U 型ダンパー代表形状

1-3 品質基準一覧

【別置型免震 U ダンパー】

表 4~表 7 に別置型 U ダンパーの品質基準一覧を、図 2 に別置型 U ダンパーの荷重履歴を示す。

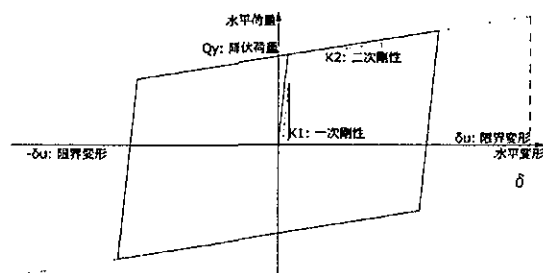


図 2 別置型免震 U 型ダンパーの荷重履歴

表 4 免震材料の品質基準一覧 (MVBR-0501)

() 内は規格値のバラツキの範囲を示す

項目	型式名	NSUD40シリーズ			NSUD40Rシリーズ		
		NSUD40×4 NSUD40×4L NSUD40×4T(A),(B)	NSUD40×6(A),(B)	NSUD40×8	NSUD40R×4 NSUD40R×4L NSUD40R×4T(A),(B)	NSUD40R×6(A),(B)	NSUD40R×8
材料の構成	ダンパー部鋼材規格	SN490B					
	機械的性質	下降伏点(N/mm ²): 370±10%以内、引張強さ(N/mm ²): 540±10%以内、 伸び(%): 25以上、シャルピー衝撃値(O ^o C): 27J以上					
各部の形状 寸法及び 寸法精度	鋼板板厚 t (mm)	28(-2.5以上+1.3以下)					
	ダンパー部長さ L (mm)	415.5(±8以内)			450(±8以内)		
限界性能	ダンパー部高さ Hd (mm)	231(±10以内)					
	限界変形 δu (mm)	550					
水平性能	荷重履歴	水平性能で規定されるバイリニア特性による					
	1次剛性 K1 (kN/m)	5,920(±592以内)	8,880(±888以内)	11,800(±1,180以内)	5,920(±592以内)	8,880(±888以内)	11,800(±1,180以内)
	2次剛性 K2 (kN/m)	100	150	200	100	150	200
	降伏荷重 Qy (kN)	112(±11.2以内)	168(±16.8以内)	224(±22.4以内)	112(±11.2以内)	168(±16.8以内)	224(±22.4以内)
	等価粘性減衰定数 hd (%)	*1参照	*1参照	*1参照	*1参照	*1参照	*1参照
水平性能の 変化率	規定変形 (mm)	200					
	温度依存性	表1.14による					
	経年変化率	減衰材は鋼材のため、機械的脆特性に経年変化を生ずることはない					
	周期依存性	表1.15による					

項目	型式名	NSUD45シリーズ			NSUD45Rシリーズ		
		NSUD45×4 NSUD45×4L NSUD45×4T(A),(B)	NSUD45×6(A),(B)	NSUD45×8	NSUD45R×4 NSUD45R×4L NSUD45R×4T(A),(B)	NSUD45R×6(A),(B)	NSUD45R×8
材料の構成	ダンパー部鋼材規格	SN490B					
	機械的性質	下降伏点(N/mm ²): 370±10%以内、引張強さ(N/mm ²): 540±10%以内、 伸び(%): 25以上、シャルピー衝撃値(O ^o C): 27J以上					
各部の形状 寸法及び 寸法精度	鋼板板厚 t (mm)	36(-2.5以上+1.3以下)					
	ダンパー部長さ L (mm)	517(±10以内)			560(±10以内)		
限界性能	ダンパー部高さ Hd (mm)	284(±10以内)					
	限界変形 δu (mm)	650					
水平性能	荷重履歴	水平性能で規定されるバイリニア特性による					
	1次剛性 K1 (kN/m)	7,600(±760以内)	11,400(±1,140以内)	15,200(±1,520以内)	7,600(±760以内)	11,400(±1,140以内)	15,200(±1,520以内)
	2次剛性 K2 (kN/m)	128	192	256	128	192	256
	降伏荷重 Qy (kN)	184(±18.4以内)	276(±27.6以内)	368(±36.8以内)	184(±18.4以内)	276(±27.6以内)	368(±36.8以内)
	等価粘性減衰定数 hd (%)	*1参照	*1参照	*1参照	*1参照	*1参照	*1参照
水平性能の 変化率	規定変形 (mm)	300					
	温度依存性	表1.14による					
	経年変化率	減衰材は鋼材のため、機械的脆特性に経年変化を生ずることはない					
	周期依存性	表1.15による					

項目	型式名	NSUD50シリーズ			NSUD50Rシリーズ		
		NSUD50×4 NSUD50×4L NSUD50×4T(A),(B)	NSUD50×6(A),(B)	NSUD50×8	NSUD50R×4 NSUD50R×4L NSUD50R×4T(A),(B)	NSUD50R×6(A),(B)	NSUD50R×8
材料の構成	ダンパー部鋼材規格	SN490B					
	機械的性質	下降伏点(N/mm ²): 370±10%以内、引張強さ(N/mm ²): 540±10%以内、 伸び(%): 25以上、シャルピー衝撃値(O ^o C): 27J以上					
各部の形状 寸法及び 寸法精度	鋼板板厚 t (mm)	40(-2.5以上+1.6以下)					
	ダンパー部長さ L (mm)	601.5(±12以内)			651.5(±12以内)		
限界性能	ダンパー部高さ Hd (mm)	335(±10以内)			335(±10以内)		
	限界変形 δu (mm)	750			750		
水平性能	荷重履歴	水平性能で規定されるバイリニア特性による			水平性能で規定されるバイリニア特性による		
	1次剛性 K1 (kN/m)	8,320(±832以内)	12,500(±1,250以内)	16,600(±1,660以内)	8,320(±832以内)	12,500(±1,250以内)	16,600(±1,660以内)
	2次剛性 K2 (kN/m)	144	216	288	144	216	288
	降伏荷重 Qy (kN)	232(±23.2以内)	348(±34.8以内)	464(±46.4以内)	232(±23.2以内)	348(±34.8以内)	464(±46.4以内)
	等価粘性減衰定数 hd (%)	*1参照	*1参照	*1参照	*1参照	*1参照	*1参照
水平性能の 変化率	規定変形 (mm)	300					
	温度依存性	表1.14による					
	経年変化率	減衰材は鋼材のため、機械的脆特性に経年変化を生ずることはない					
	周期依存性	表1.15による					

表 5 免震材料の品質基準一覧 (MVBR-0501) (つづき)

() 内は規格値のバラツキの範囲を示す

項目	型式名	NSUD55シリーズ			NSUD55Rシリーズ		
		NSUD55×4 NSUD55×4L(A),(B) NSUD55×4T(A),(B)	NSUD55×6(A),(B) NSUD55×6P	NSUD55×8	NSUD55R×4 NSUD55R×4L(A),(B) NSUD55R×4T(A),(B)	NSUD55R×6(A),(B)	NSUD55R×8
材料の構成	ダンパー部鋼材規格	SN490B					
	機械的性質	下降伏点(N/mm ²):370±10%以内、引張強さ(N/mm ²):540±10%以内、 伸び(%):25以上、シャルピー衝撃値(0°C):27J以上					
各部の形状 寸法及び 寸法精度	鋼板板厚 t (mm)	45(-2.5以上+1.6以下)					
	ダンパー部長さ L (mm)	673(±13以内)			673(±13以内)		
限界性能	ダンパー部高さ Hd (mm)	374(±10以内)					
	限界変形 δu (mm)	850					
水平性能	荷重履歴	水平性能で規定されるバイリニア特性による					
	1次剛性 K1 (kN/m)	9,800(±960以内)	14,400(±1,440以内)	19,200(±1,920以内)	9,600(±960以内)	14,400(±1,440以内)	19,200(±1,920以内)
	2次剛性 K2 (kN/m)	160	240	320	160	240	320
	降伏荷重 Qy (kN)	304(±30.4以内)	456(±45.6以内)	608(±60.8以内)	304(±30.4以内)	456(±45.6以内)	608(±60.8以内)
	等価粘性減衰定数 hd (%)	*1参照	*1参照	*1参照	*1参照	*1参照	*1参照
水平性能の 変化率	規定変形	400					
	温度依存性	表1.14による					
	経年変化率	減衰材は鋼材のため、機械的的特性に経年変化を生ずることはない					
	周期依存性	表1.15による					

※NSUD55×6Pにおいては、一つの建物に偶数台設置するものとし、その半数を残りの半数に対して平面的に90度回転させた方向で設置するものとし、免震層内での配置は設置方向による性能の違いを考慮して平面的にバランスの良い配置とする。

項目	型式名	NSUD60シリーズ		
		NSUD60×4 NSUD60×4L NSUD60×4T(A),(B)		
材料の構成	ダンパー部鋼材規格	SN490B		
	機械的性質	下降伏点(N/mm ²):370±10%以内、引張強さ(N/mm ²):540±10% 伸び(%):25以上、シャルピー衝撃値(0°C):27J以上		
各部の形状 寸法及び 寸法精度	鋼板板厚 t (mm)	55(-2.5以上+1.6以下)		
	ダンパー部長さ L (mm)	817(±16以内)		
限界性能	ダンパー部高さ Hd (mm)	454(±10以内)		
	限界変形 δu (mm)	1,000		
水平性能	荷重履歴	水平性能で規定されるバイリニア特性による		
	1次剛性 K1 (kN/m)	11,600(±1,160以内)		
	2次剛性 K2 (kN/m)	196		
	降伏荷重 Qy (kN)	432(±43.2以内)		
	等価粘性減衰定数 hd (%)	*1参照		
水平性能の 変化率	規定変形	500		
	温度依存性	表1.14による		
	経年変化率	減衰材は鋼材のため、機械的的特性に経年変化を生ずることはない		
	周期依存性	表1.15による		

【表 4, 表 5 の注記】

*1: 等価粘性減衰定数は以下の式により計算する (告示 2009 号第 6 第 5 号口(1))。

$$Hd = (0.8 \times \Sigma \Delta Wi) / (4\pi \Sigma Wi)$$

ここで、ΔWi 及び Wi は弾塑性系減衰材の以下の値で計算する。

$$\Delta Wi = 4 \times Qy \times [\delta s - \{Qy + K2 \times (\delta s - Qy / K1)\} / K1]$$

$$Wi = \{Qy + K2 \times (\delta s - Qy / K1)\} \times \delta s \times 0.5$$

K1: 弾塑性系減衰材の 1 次剛性 K2: 弾塑性系減衰材の 2 次剛性

Qy: 弾塑性系減衰材の降伏荷重 δs: 設計限界変位

*2: 表 4, 表 5 中の「水平性能の変化率/温度依存性」欄の“表 1.14”と「同/周期依存性」欄の“表 1.15”は、大臣認定 MVBR-0501 の別添による。

表 6 免震材料の品質基準一覧 (MVBR-0594)

()内は基準値のばらつきを示す。
二次剛性の基準値は固定値である。

項目		型式名		
		NSUD40Rx4 / T / L	NSUD40Rx6	NSUD40Rx8
材料の構成	ダンパー部の材質規格	3. 2による		
	機械的性質			
限界性能	限界変形 δ_u (mm)	550		
	荷重の履歴	7. 1による		
水平性能	一次剛性 K_1 (kN/m)	6,160(±924)	9,240(±1,386)	12,300(±1,845)
	二次剛性 K_2 (kN/m)	100	150	200
	降伏荷重 Q_y (kN)	115(±17.3)	173(±26.0)	230(±34.5)

項目		型式名		
		NSUD45Rx4 / T / L	NSUD45Rx6	NSUD45Rx8
材料の構成	ダンパー部の材質規格	3. 2による		
	機械的性質			
限界性能	限界変形 δ_u (mm)	650		
	荷重の履歴	7. 1による		
水平性能	一次剛性 K_1 (kN/m)	8,060(±1,209)	12,100(±1,815)	16,100(±2,415)
	二次剛性 K_2 (kN/m)	128	192	256
	降伏荷重 Q_y (kN)	193(±29.0)	290(±43.5)	386(±57.9)

項目		型式名		
		NSUD50Rx4 / T / L	NSUD50Rx6	NSUD50Rx8
材料の構成	ダンパー部の材質規格	3. 2による		
	機械的性質			
限界性能	限界変形 δ_u (mm)	750		
	荷重の履歴	7. 1による		
水平性能	一次剛性 K_1 (kN/m)	8,150(±1,223)	12,200(±1,830)	16,300(±2,445)
	二次剛性 K_2 (kN/m)	144	216	288
	降伏荷重 Q_y (kN)	234(±35.1)	351(±52.7)	468(±70.2)

項目		型式名			
		NSUD55Rx3P	NSUD55Rx4 / T / L / P	NSUD55Rx6 / P	NSUD55Rx8
材料の構成	ダンパー部の材質規格	3. 2による			
	機械的性質				
限界性能	限界変形 δ_u (mm)	850			
	荷重の履歴	7. 1による			
水平性能	一次剛性 K_1 (kN/m)	7,130 (±1,070)	9,500 (±1,425)	14,300 (±2,145)	19,000 (±2,850)
	二次剛性 K_2 (kN/m)	120	160	240	320
	降伏荷重 Q_y (kN)	230(±34.5)	307(±46.1)	461(±69.2)	614(±92.1)

なお、NSUD55Rx*P の一次剛性及び二次剛性の基準値は、同じ型式を、ある方向とそれに直交して設置した荷重-変形曲線の和の 1/2 として定める。

表 7 免震材料の品質基準一覧 (MVBR-0594) (つづき)

()内は基準値のばらつきを示す。
二次剛性の基準値は固定値である。

項目	型式名	
	NSUD60Rx4 / T / L	
材料の構成	ダンパー部の材質規格	3. 2 による
	機械的性質	
限界性能	限界変形 δ_u (mm)	1,000
	荷重の履歴	7. 1 による
水平性能	一次剛性 K_1 (kN/m)	11,600(±1,740)
	二次剛性 K_2 (kN/m)	196
	降伏荷重 Q_y (kN)	462(±69.3)

温度変化及び周期による一次剛性と降伏荷重の変化率は十分小さいので無視できる。経年変化による一次剛性と降伏荷重の変化は無い。

【表 6, 表 7 の注記】

- *1: 温度変化及び周期による一次剛性と降伏荷重の変化率は十分小さいので無視できる。経年変化による一次剛性と降伏荷重の変化は無い。
- *2: 表 6, 表 7 中の「材料の構成」欄の“3. 2”と「限界性能／荷重の履歴」欄の“7. 1”は、大臣認定 MVBR-0594 の別添による。(“7. 1”の内容は図 4 と同じ)

【一体型免震 U ダンパー】

MVBR-0523～0526 のダンパー部の品質基準については前述の別置型免震 U ダンパーの品質基準の表 4, 表 5 に、MVBR-0624～0627 のダンパー部の品質基準については表 6, 表 7 に同じ。

2. 長周期地震動に対する疲労特性および吸収エネルギー量の変化率

2-1 用語の定義

- ・ 免震 U 型ダンパー

別置型免震 U 型ダンパー及び一体型免震 U 型ダンパーの積層ゴムを除いた部分の総称。

- ・ 降伏荷重 (記号: Q_y 、単位:kN)

免震 U 型ダンパーの規定変形時の振幅での試験結果と等価な吸収エネルギーとなるバイリニアモデルに置換した時の折れ曲がり点の荷重。

- ・ ダンパー変形量 (記号: δ または δ_i 、単位:mm)

免震 U 型ダンパーの水平変形量 (片振幅)

- ・ 低減係数 (記号: α 、単位:なし)

免震 U 型ダンパーの繰返しによる吸収エネルギーの変化率を降伏荷重 Q_y の変化率として考慮する時の Q_y に対する低減係数

- ・ 低減降伏荷重 (記号: Q_y' 、単位:kN)

免震 U 型ダンパーの繰返しによる吸収エネルギーの変化率を降伏荷重 Q_y の変化率として考慮する時の降伏荷重 ($Q_y' = \alpha \cdot Q_y$)

- ・ 疲労回数 (サイクル数) (記号: N_f または N_{fi} 、単位:回)

免震 U 型ダンパーの一定振幅載荷での繰返しによる破断までの回数

- ・ 繰返し回数 (記号: n または n_i 、単位:回)

ある免震 U 型ダンパー変形量 δ の時の繰返し回数の合計

- ・ マイナー (Miner) 則

ランダムな荷重に対する金属疲労の評価に用いられ、ある変形量 δ_i に対する破断までの繰返し回数を N_{fi} とした場合、その振幅 1 サイクル当りでは $1/N_{fi}$ の疲労損傷度を被るとして、各サイクルの疲労損傷度を総和した値が 1 となった時点で破断が予想される。

- ・ 累積変形量 (記号: $\Sigma\delta$ 、単位:m)

時刻歴応答解析での免震 U 型ダンパーの累積変形量

- ・ 累積損傷度 (記号: D 、単位:なし)

免震 U 型ダンパーのある振幅 δ_i に対する破断までの繰返し回数を N_{fi} とした場合、マイナー則により、その振幅 1 サイクル当りでは $1/N_{fi}$ の疲労損傷度を被るとして、各サイクルの疲労損傷度を総和した値。累積損傷度 D が 1 となった時点で破断が予想される。

- ・ レインフロー法

ランダムな変動荷重によるひずみの時間変化を建物の屋根に見立て、屋根を流れる水 (雨だれ) の経路の振幅・範囲・回数をカウントする方法で、その雨だれの経路から、疲労寿命に寄与する応力あるいはひずみの大きさ (振幅・範囲) とその発生回数 (繰返し数) を決定する。得られたひずみとマイナー則を組み合わせることで、累積損傷度を予測することができる。

2-2 長周期地震動による性能変化の考え方と適用範囲

免震 U 型ダンパーの繰り返しによる吸収エネルギーの低下の要因は、降伏荷重 Q_y の低下であり、1 次剛性・2 次剛性の変化はほとんどないことから、吸収エネルギー量の低下を降伏荷重 Q_y の低減で定式化することで考慮する。降伏荷重 Q_y を低減した値での時刻歴応答解析の結果より、免震 U 型ダンパーの累積損傷度 D を求め、免震 U 型ダンパーの安全性を確認する。

長周期地震動を考慮した応答評価法のフローを図 3 に示す。Step1 で免震 U 型ダンパーの降伏荷重 Q_y の低減を考慮しない通常の時刻歴地震応答解析を行い、Step2 で累積変形量 $\Sigma\delta$ の算出を行う。Step3 では、累積変形量 $\Sigma\delta$ に応じた降伏荷重の低下式を用いて低減降伏荷重 Q_y' を設定し、Step4 で再度時刻歴地震応答解析を行う。Step5 では時刻歴応答変位の繰り返し回数と振幅の関係をレインフロー法で整理し、その結果を免震 U 型ダンパーの疲労性能式を使いマイナー則で累積損傷度 D を計算・評価する。

累積損傷度 D の評価は、1 回分の地震波に対して $D \leq 1$ であれば免震 U 型ダンパーは破断しないが、損傷は地震毎に累積されるため対象とする建物が耐用年数中に受けるであろう地震を考慮し、累積損傷度 D の評価は設計者（または建築主）が判断する。

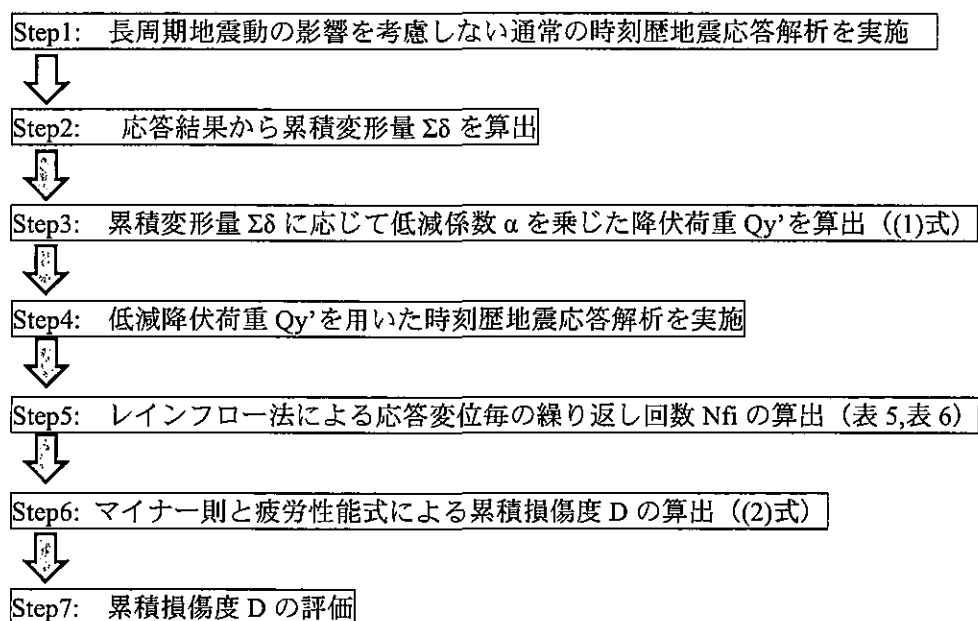


図 3 長周期地震動を考慮した応答評価法のフロー

図3のフローに関する適用範囲を表8に示す。時刻歴地震応答解析による最大変形量と累積損傷度Dについては表8の適用範囲内とする。

表8 各ダンパーシリーズの適用範囲

シリーズ	最大変形量 δ (mm)	累積損傷度D
UD40, UD40R	533	1以下
UD45, UD45R	650	
UD50, UD50R	750	
UD55, UD55R	850	
UD60, UD60R	1000	

2-3 降伏荷重 Q_y' の算出

図4に免震U型ダンパーの繰り返しによる吸収エネルギーの低下の例と、規定変位でのバイリニアモデル(直線)を重ねて示す。

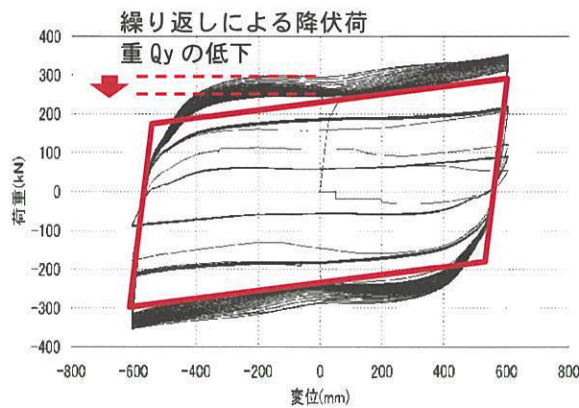


図4 UD50Rの一定振幅±600mm、A方向の試験結果とバイリニアモデル

吸収エネルギー量の低下については、降伏荷重 Q_y に低減係数 α を掛けた低減降伏荷重 Q_y' を用いることで(1)式のように考慮する。表9に各シリーズの降伏荷重 Q_y の低減係数 α の式を示す。図5に表9に示した低減係数 α と累積変形量 $\Sigma\delta$ の関係を示す。

低減係数 α は累積変形量 $\Sigma\delta$ の関数とし、一定の累積変形量を越えた後は $\alpha=0.8$ (一定値) とする。

$$Q_y' = \alpha \cdot Q_y \quad \text{--- (1)}$$

表9 降伏荷重 Q_y の低減係数 α の計算式

シリーズ (サイズ)	累積変形量 $\Sigma \delta$ (m)	降伏荷重 Q_y の 低減係数 α
UD40 UD40R	$0 \leq \Sigma \delta \leq 22$	$\alpha = 1.0 - 0.2 \times (\Sigma \delta / 22)$
	$22 \leq \Sigma \delta$	$\alpha = 0.8$ (一定)
UD45 UD45R	$0 \leq \Sigma \delta \leq 26$	$\alpha = 1.0 - 0.2 \times (\Sigma \delta / 26)$
	$26 \leq \Sigma \delta$	$\alpha = 0.8$ (一定)
UD50 UD50R	$0 \leq \Sigma \delta \leq 30$	$\alpha = 1.0 - 0.2 \times (\Sigma \delta / 30)$
	$30 \leq \Sigma \delta$	$\alpha = 0.8$ (一定)
UD55 UD55R	$0 \leq \Sigma \delta \leq 34$	$\alpha = 1.0 - 0.2 \times (\Sigma \delta / 34)$
	$34 \leq \Sigma \delta$	$\alpha = 0.8$ (一定)
UD60 UD60R	$0 \leq \Sigma \delta \leq 40$	$\alpha = 1.0 - 0.2 \times (\Sigma \delta / 40)$
	$40 \leq \Sigma \delta$	$\alpha = 0.8$ (一定)

※ 低減係数 α の適用範囲は表5の疲労性能式の適用範囲内とする。

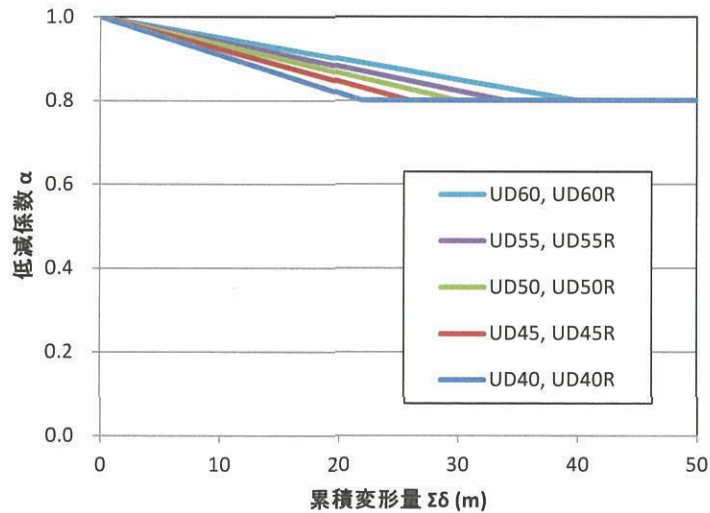


図5 降伏荷重 Q_y の低減係数 α と累積変形量 $\Sigma \delta$ の関係

2-4. 累積損傷度 D の算出

免震U型ダンパーの疲労損傷度の評価方法については、時刻歴応答変位結果からレインフロー一法に基づき、ある変位 δ_i と頻度 n_i との関係を整理し、表10の疲労性能式にマイナー則を用いて計算することで累積損傷度 D の評価として式(2)のように示される。

$$D = \sum_{i=1}^n (n_i/N_f i) \leq 1 \quad \text{----- (2)}$$

表 10 に U 型ダンパー変形量 δ (mm) (片振幅) とサイクル数 N_f (回) との関係を表す疲労性能式とその適用範囲を示す。表 10 の疲労性能式をグラフ化したものを図 6 に、ダンパーサイズ毎に破断までの繰り返し回数とその時のダンパー変形量に換算したものを表 11 に示す。

表 10 疲労性能式と適用範囲

ダンパーシリーズ	疲労性能式	範囲	
		サイクル数 N_f (回)	変位量 δ (mm)
UD40, UD40R	$\delta = 0.890 \times (35N_f^{0.15} + 3620N_f^{0.80})$	$(10 \leq N_f \leq 1000)$	$(24 \leq \delta \leq 533)$
UD45, UD45R	$\delta = 1.094 \times (35N_f^{0.15} + 3620N_f^{0.80})$	$(10 \leq N_f \leq 1000)$	$(29 \leq \delta \leq 650)$
UD50, UD50R	$\delta = 1.290 \times (35N_f^{0.15} + 3620N_f^{0.80})$	$(10 \leq N_f \leq 1000)$	$(35 \leq \delta \leq 750)$
UD55, UD55R	$\delta = 1.441 \times (35N_f^{0.15} + 3620N_f^{0.80})$	$(10 \leq N_f \leq 1000)$	$(39 \leq \delta \leq 850)$
UD60, UD60R	$\delta = 1.749 \times (35N_f^{0.15} + 3620N_f^{0.80})$	$(10 \leq N_f \leq 1000)$	$(47 \leq \delta \leq 1000)$

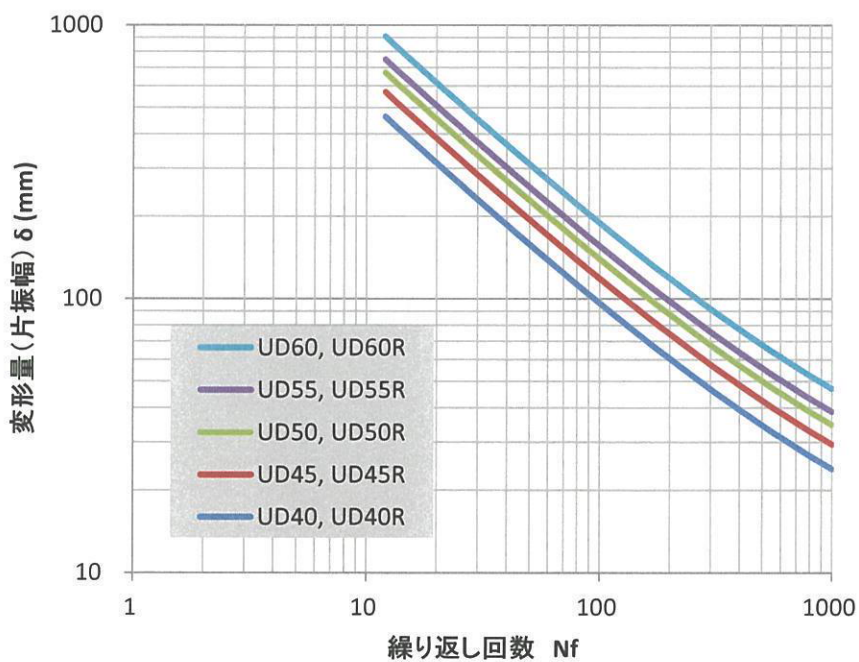


図 6 各ダンパーシリーズの疲労曲線

表 11 疲労性能式の数値換算表

ある δ_i に対する破断までの繰り返し回数 Nfi	ダンパー変形量 δ (mm)				
	UD40 UD40R	UD45 UD45R	UD50 UD50R	UD55 UD55R	UD60 UD60R
10	533	650	750	850	1000
12	463	569	671	749	909
14	411	505	596	665	808
16	371	456	538	601	729
18	339	417	492	549	667
20	313	385	454	507	615
25	264	325	384	428	520
30	231	284	335	373	453
35	206	253	298	333	404
40	186	229	270	302	366
50	158	194	229	256	311
60	139	170	201	224	272
70	124	153	180	201	244
80	113	139	164	183	222
90	104	128	151	168	204
100	97	119	140	156	190
150	73	90	106	118	144
200	61	74	88	98	119
300	47	58	68	76	92
400	39	48	57	64	77
500	35	43	50	56	68
600	31	38	45	51	61
800	27	33	39	43	53
1000	24	29	35	39	47

評定内容

本評定は、長周期地震動に対する新日鉄住金エンジニアリング式免震 U 型ダンパー、日鉄エンジニアリング式免震 U 型ダンパー及び新日鉄住金エンジニアリング式積層ゴム一体型免震 U 型ダンパーの性能変化の評価法について申込みがなされたものである。対象とする製品は、平成 26 年から令和 4 年に大臣認定を取得した 10 件である。なお、新日鉄住金エンジニアリング式積層ゴム一体型免震 U 型ダンパーは、U 型ダンパー部のみを対象としており、積層ゴム部については別途長周期地震動に対する性能変動について検討する必要がある。

主な評定内容は下記のとおりである。下記 (1) ~ (4) については、以下の試験結果より求められている。

- ・静的繰り返し試験：ダンパー単体での試験は、各サイズ (UD40~UD60) について、規定変形と限界変形の 2 水準で行い、ダンパー破断までの一定振幅繰り返し試験を行っている。製品による試験は、加振方向 0,30,45,60,90 度ごとに、限界変形までの正負漸増繰り返し載荷 (振幅 10,30,50,100mm,以降は 100mm ずつ増分) を行っている。

(1) 性能変化の算出方法の考え方

免震 U 型ダンパーは、以下の①、②の確認を行う事により、長周期地震動による安全性を確認している。

- ①降伏荷重 Q_y の低減係数 α : 免震 U 型ダンパーは、繰り返しの影響により降伏荷重 Q_y が低下する。このため、まず長周期地震動による影響を考慮しない Q_y を用いた時刻歴応答解析により、免震 U 型ダンパーの累積変形量 $\Sigma\delta$ を求め、 $\Sigma\delta$ から Q_y の低減係数 α を算出する。
- ②免震 U 型ダンパーの累積損傷度 D : 免震 U 型ダンパーの降伏荷重を、長周期地震動による影響を考慮した低減降伏荷重 $Q_y' (= \alpha Q_y)$ とし、時刻歴応答解析を行う。求められた免震 U 型ダンパーの応答変位から、レインフロー法により各振幅に対する繰り返し回数を求め、ダンパー種類毎に定められた疲労性能式から累積損傷度 D を算出し、疲労破断しないことを確認する。

(2) 降伏荷重 Q_y の低減係数 α

試験結果より、各ループの降伏荷重 Q_y と累積変形量 $\Sigma\delta$ との関係から、ダンパー種類毎に降伏荷重 Q_y の低減係数 α の式を規定している。 α の下限値は、ダンパー種類によらず、0.8 となっている。

(3) 免震 U 型ダンパーの疲労性能式

試験結果より、ダンパー種類毎に、製品としての疲労性能式を定めている。

(4) 適用範囲

試験結果より、適用範囲は最大変形量 δ と累積損傷度 D の 2 項目とし、最大変形量はダンパー種類毎に規定し、累積損傷度 D は 1 以下としている。

本評定における主な検討事項は以下の通りである。

- 1) 長周期地震動による性能変化の考え方の確認
- 2) 降伏荷重 Q_y の低減係数 α の妥当性

- 3) 免震 U 型ダンパーの疲労性能式の妥当性
- 4) 累積損傷度Dの妥当性
- 5) 適用範囲の妥当性

以上により本件は、申し込みの範囲内において、妥当なものであると判断する。