

### 3. 新築建築物への適用を想定した 1600kN 級四連型大容量摩擦ダンパーの開発

#### Development of a 1600kN class Quadruple-type Large-capacity Friction Damper for Application to New Buildings

土田 堯章\* 波田 雅也\* 上田 英明\*\*

#### —概要—

筆者らは、「摩擦ダンパー（図 1）」を組込んだ制震ブレースを既存建物の外壁面に設置することで、建物を使用しながら耐震性能を向上させる補強工法（以下、制震ブレース工法）を開発・実用化している。制震ブレース工法に用いる摩擦ダンパーの規格荷重は 100～600kN であり、許容ストロークは ±40mm である。制震ブレース工法を新築建築物に適用する場合、特に制震構造を採用することが多い高層・超高層建築物の新築建築物に適用する為には、耐震補強対象建物と比較して建物規模が大きい、設置個所がコア周り等に限定される等の条件により、摩擦ダンパーの大容量化・長ストローク化を図る必要があった。

#### —技術的な特長—

摩擦ダンパーの要であるダイス・ロッドで構成されるリング機構を 4 基並列に配置することで、摩擦荷重の大容量化を実現する四連型大容量摩擦ダンパー（以下、大容量摩擦ダンパー）を考案した（写真 1）。大容量摩擦ダンパーを組込んだブレースの取付けは、一般的な鉄骨ブレース材と同様の方法で可能である（図 2）。本研究では、大容量摩擦ダンパーの基本的な性能を確認することを目的として、設定摩擦荷重 1600kN、許容ストローク ±75mm の実機を用いた性能確認試験を実施した。

試験の結果、大容量摩擦ダンパーの摩擦荷重は、ダイス・ロッド 4 基の荷重を累加した値であること、安定した完全弾塑性型の履歴形状を示すことを確認した（図 3）。

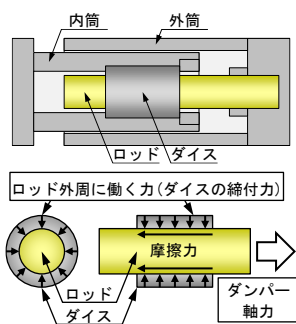


図 1 摩擦ダンパーの機構

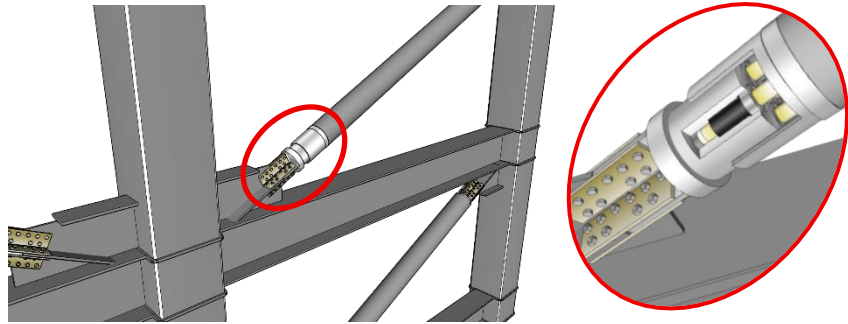


図 2 大容量摩擦ダンパーの設置イメージと拡大パース

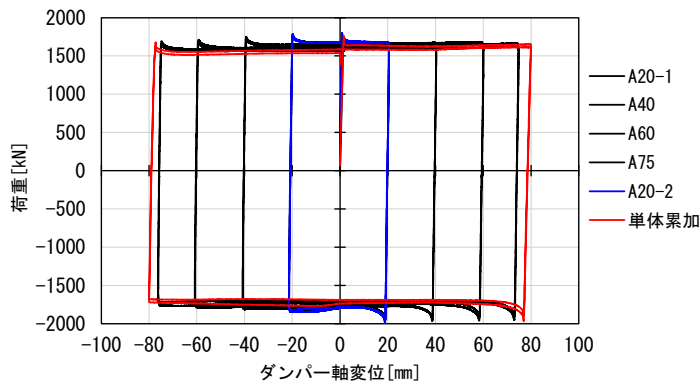


図 3 荷重－変位関係



写真 1 ダンパー部の拡大

\*技術研究所 構造研究部 \*\*技術研究所 副所長

# 新築建築物への適用を想定した 1600kN 級四連型大容量摩擦ダンパーの開発 Development of a 1600kN class Quadruple-type Large-capacity Friction Damper for Application to New Buildings

○土田 堯章\*      波田 雅也\*      上田 英明\*\*  
Takaaki TSUCHIDA      Masaya HADA      Hideaki AGETA

**ABSTRACT** The authors have commercialized a "Damping Brace Method" that uses damping braces with built-in friction dampers to improve the seismic performance of buildings. In order to apply the damping brace method to newly constructed buildings, it was necessary to increase the capacity and stroke of the friction dampers. Therefore, we devised a "quadruple-type large-capacity friction damper" that arranges four ring mechanisms consisting of die rods in parallel to achieve a large capacity of friction load. Performance verification tests confirmed that the large-capacity friction damper exhibited stable performance.

**Keywords** :摩擦ダンパー, 制震ブレース, 新築建築物, 制震構造  
*Friction Damper, Damping Brace, Newly Constructed Buildings, Seismic Response Control*

## 1. はじめに

筆者らは、「摩擦ダンパー」を組み込んだ制震ブレースを既存建物の外壁面に取り付けることで、建物を使用しながら耐震性能を向上させる補強工法を開発・実用化している<sup>1),2)</sup>(写真1)。摩擦ダンパーは、ダイス(鋼材の環)の内径より少し太いロッド(銅合金の芯棒)をダイスにはめ込み、ダイスとロッドの摩擦面に一定の締付力が生じる仕組みを利用したダンパーであり(図1)、一定の摩擦荷重を保持しつつ摺動し、エネルギー吸収効率の高い完全弾塑性型の履歴特性を發揮する。

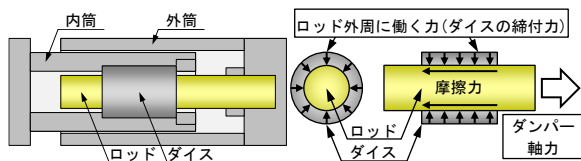


図1 摩擦ダンパーの機構

耐震補強工法に用いる摩擦ダンパーの規格荷重は 100~600kN であり、許容ストロークは ±40mm である。この摩擦ダンパーを新築建築物に適用する場合、特に制震構造を採用することが多い高層・超高層建築物に適用する為には、耐震補強対象建物と比較して建物規模が大きい、設置個所がコア周りに限定される等の条件により、摩擦ダンパーの大容量化・長ストローク化を図る必要があった。

そこで、ダイス・ロッド4基を並列に束ねて一体化することで、摩擦荷重の大容量化を実現する四連型大容量摩擦ダンパー(以下、大容量摩擦ダンパー)を考案した(写真2)。本研究では、大容量摩擦ダンパーの基本性能の確認を目的として、設定摩擦荷重 1600kN、許容ストローク±75mmの実機を用いた性能確認試験を実施した。



(a) 建物全景      (b) 制震ブレース  
写真1 制震ブレース工法適用事例



写真2 大容量摩擦ダンパー  
(ダンパー部拡大)

\*技術研究所 構造研究部    \*\*技術研究所 副所長

## 2. 四連型大容量摩擦ダンパー

### 2.1 概要

大容量摩擦ダンパーの構成要素(写真 3)は、これまで耐震補強工法に用いてきた摩擦ダンパーと同一であるが、4 基のダイスを並列に配置し固定できるよう、内筒に蓮根状の孔部を設けている。

大容量摩擦ダンパー試験体の諸元を表 1 に示す。設定摩擦荷重は 1600kN (400kN 用ダイス・ロッド 4 基)とし、軸剛性の値は耐震補強工法用の 400kN 摩擦ダンパーの軸剛性値の 4 倍とした。ダンパー部長さは 579mm であり、許容ストロークは次節で述べる想定架構を基に設定している。

### 2.2 想定架構

大容量摩擦ダンパーを組込んだ制震ブレースのイメージパスを図 2 に示す。一般的な鉄骨造建物を想定した階高 4m×スパン 6.4m のフレームに、制震ブレースを片掛け(図 3(a))または K 型(図 3(b))に配置する。架構の諸元を表 2 に示す。

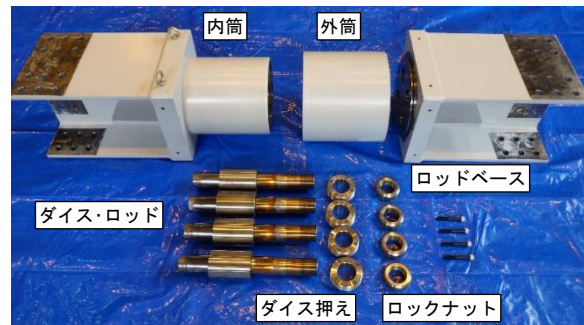


写真 3 大容量摩擦ダンパーの構成要素

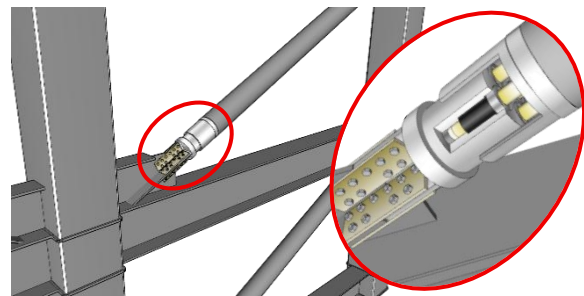


図 2 設置イメージパス

表 1 大容量摩擦ダンパーの諸元

設定摩擦荷重 [kN]	軸剛性 [kN/mm]	ダンパー部長さ [mm]	許容ストローク [mm]	限界ストローク [mm]
1600	2468	579	75	80

表 2 想定架構の諸元

		摩擦ダンパー制震ブレース (片掛け)	摩擦ダンパー制震ブレース (K型)	
ブレース架構	階高	mm	4000	
	ブレース取付けスパン	mm	6400	
	ブレース節点間	mm	7547	
	ダンパー部長さ	mm	579	
	ダンパー部長さ比	-	0.08	
	パネル部長さ	mm	755	
	弾性部長さ	mm	6213	
弾性部の諸元 (鋼管ブレース)	取付角	rad	0.848	
	材質	-	STKN490	
	板厚	mm	16.0	
	幅(径)	mm	355.6	
	降伏点	N/mm <sup>2</sup>	325	
	弾性部断面積	mm <sup>2</sup>	17070	
	ダンパー振動開始時	振動開始摩擦荷重(1本あたり)	kN	1600
水平力(1セット)		kN	1357	
ダンパー部		ダンパー剛性	kN/mm	2468
		ダンパー変位	mm	0.65
弾性部		弾性部剛性	kN/mm	563
		弾性部変位	mm	2.84
ブレース節点間		ブレース剛性	kN/mm	459
		ブレース変位	mm	3.49
		層間変位	mm	4.11
目標変形時		層間変形角	rad	1/972
	ダンパー変位/ブレース変位	-	0.19	
目標変形時	ブレース変位	層間変形角	rad	0.020
		層間変位	mm	1/50
	軸力	ブレース変位	mm	80
		荷重上昇率	-	67.8
	変位内訳	最大軸力	kN	50.0
		ダンパー変位	mm	1.000
	塑性率	弾性部変位	mm	1600
		ブレース	-	65.0
	歪換算	ダンパー部	-	48.1
		ブレース	-	2.8
歪換算	ダンパー部	-	19.4	
	ブレース	-	20.1	
歪換算	ダンパー部	-	100.3	
	ブレース	-	74.2	
歪換算	ダンパー部	-	0.90%	
	ブレース	-	0.98%	

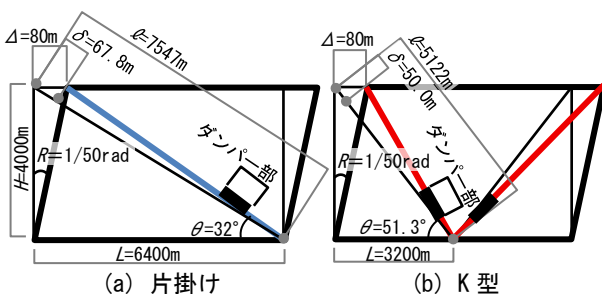


図 3 想定架構

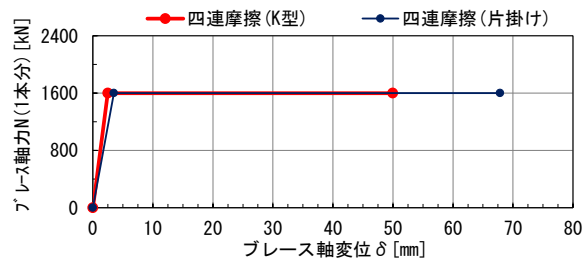


図 4 軸力-軸変位関係(制震ブレース 1本あたり)

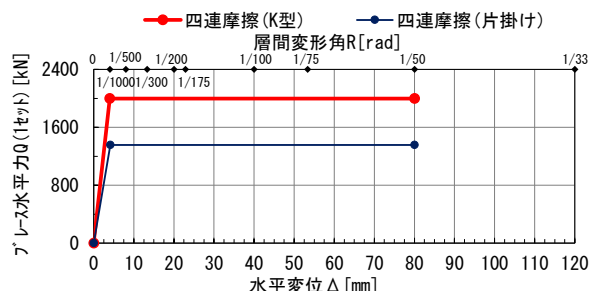


図 5 水平力-水平変位関係(制震ブレース 1セット)

目標変形時(層間変形角 1/50rad)、ブレース接点間変位は 67.8mm(片掛け)となるため、試験体の許容ストロークは±75mm(限界ストローク±80mm)とした。ダンパー部の摩擦荷重と剛性を設計値とした時の、制震ブレース 1 本当たりの軸力-軸変位関係を図 4 に、制震ブレース 1 セット当たりの水平力-水平変位関係を図 5 に示す。

### 3. 実験方法

#### 3.1 ダイス・ロッド単体の荷重 (事前確認)

大容量摩擦ダンパー試験体に用いるダイス・ロッド 4 基の荷重確認結果を表 3 に、荷重-変位関係を図 6 に示す。入力波形は、速度一定(0.1cm/s)の三角波、振幅:±80mm、繰返し数は 2 回とした。図より、いずれダイス・ロッドも完全弾塑性型の履歴形状を示していることがわかる。

#### 3.2 大容量摩擦ダンパー試験体

前節のダイス・ロッド 4 基を用いて大容量摩擦ダンパー試験体を製作した。なお、試験装置への接続の都合上、接続部材には H 形鋼を用いているが、通常採用されることが多い円形鋼管(十字型接続部)も問題無く使用可能である。また、ダンパー内部の状況を確認する為、外筒を外した状態で試験を実施した。

#### 3.3 加振条件

試験状況を写真 4 に示す。当社保有の試験装置に縦置きで設置し、アクチュエータを用いて、ダンパー軸方向に準静的な加振実験を実施した。加振ケースを表 4 に、入力波形を図 7 に示す。入力波形は、速度一定(0.1cm/s)の三角波、繰返し数は 2 回とした。計測項目は、荷重とダンパー部の軸変位である。

表 3 荷重確認結果一覧(ダイス・ロッド単体)

ダイス・ロッド	サイクル	エネルギー吸収量 [kJ・mm]	平均摩擦荷重 [kN]	切片荷重 [kN]		最大荷重 [kN]	
				引張	圧縮	引張	圧縮
DR1	1	126503.2	400.5	-417.9	438.0	-491.8	
	2	123193.7	390.5	385.0	-404.6	393.7	-476.7
DR2	1	133176.2	422.5		-439.2	436.2	-499.0
	2	128763.3	407.9	397.9	-424.6	420.9	-484.4
DR3	1	134905.9	427.8		-448.0	444.9	-499.3
	2	131159.9	415.8	406.3	-434.8	421.1	-498.6
DR4	1	132118.0	419.2		-431.6	442.4	-499.1
	2	129573.2	410.8	396.3	-425.3	424.4	-488.5

## 4. 実験結果

### 4.1 荷重-変位関係

荷重-変位関係を図 8 に、結果一覧を表 5 に示す。図表より、加振振幅によらず、摩擦荷重はダイス・ロッド 4 基の荷重を累加した値と概ね同じであり、安定した完全弾塑性型の履歴形状を示している。軸剛性も設計値よりも大きい値を示した。

### 4.2 平均累積塑性変形倍率

軸力、ダンパー部軸変位、累積エネルギー吸収量の推移を図 9 に、実験値を用いて算出した平均累積塑性変形倍率<sup>4)</sup>を表 6 に示す。累積変位量が 1,750mm に達しても、履歴特性や摩擦荷重に大きな変化は無いことがわかる。また、K 型配置(図 3(b))を想定し、表 2 で示した弾性部を連結した制震ブレース全体の軸力-変位関係を図 10 に、塑性率と平均累積塑性変形倍率を表 7 に示す。図表より、制震ブレース全体で評価しても優れたエネルギー吸収性能を有していることがわかる。

### 4.3 等価減衰定数

加振ケース毎の 2 サイクル目の結果から算出した等価減衰定数  $h_{eq}$ <sup>5)</sup>を表 8 に示す。大容量摩擦ダンパーの等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  は、振幅によ

表 4 加振ケース一覧

No.	加振ケース	振幅A [mm]	周期 [s]
1	A20-1	20	80
2	A40	40	160
3	A60	60	240
4	A75	75	300
5	A20-2	20	80

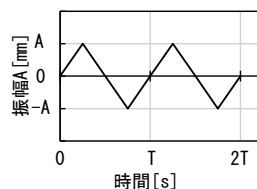


図 7 入力波形

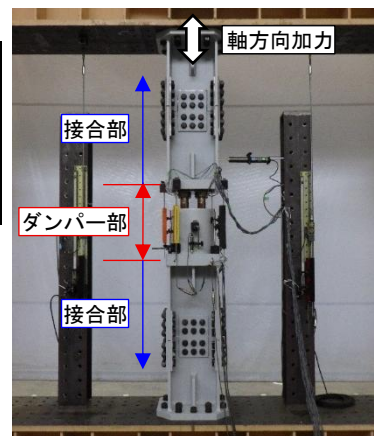


写真 4 大容量摩擦ダンパー試験状況

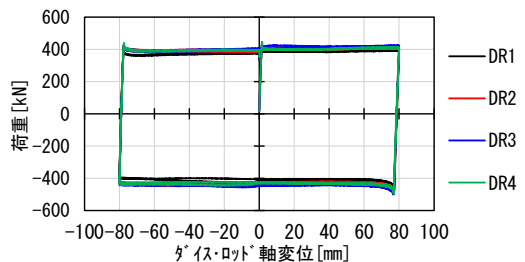


図 6 荷重-変位関係(荷重確認)

らず 0.63 前後の高い値であり、剛塑性に近い優れたエネルギー吸収性能を有していることがわかる。また、繰返し加振しても  $h_{eq}$  が殆ど変化していないことがわかる。

### 5. まとめ

本研究では、新築建築物への適用を想定し考案した、大容量摩擦ダンパーの概要と基本性能を確認した実験について示した。試験の結果、大容量摩擦ダンパーの摩擦荷重はダイス・ロッド4基の荷重を累加した値になること、加振振幅によらず安定した完全弾塑性型の履歴形状を示すこと、高いエネルギー吸収能力を有することを確認した。

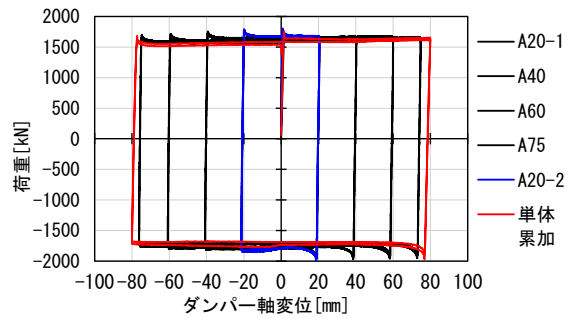


図8 荷重-変位関係

表5 試験結果一覧

加振ケース	サイクル	最大変位 [mm]		エネルギー吸収量 [kN・mm]	平均摩擦荷重 [kN]	切片荷重 [kN]		最大荷重 [kN]	軸剛性 [kN/mm]
		引張	圧縮			引張	圧縮		
A20-1	1	20.5	-21.3	141351.3	1737.0	-	-	-	3158.4
	2	20.5	-21.4	141394.4	1735.2	1671.6	-1796.1	1780.5	
A40	1	40.3	-40.8	275761.0	1725.2	-	-	-	3281.6
	2	40.3	-40.8	273581.7	1709.8	1657.2	-1771.5	1751.7	
A60	1	60.0	-60.7	407530.5	1704.0	-	-	-	3457.7
	2	60.1	-60.8	399519.0	1666.5	1620.3	-1724.4	1716.0	
A75	1	74.7	-76.1	504830.5	1685.9	-	-	-	3309.3
	2	74.8	-76.3	493321.2	1645.0	1600.8	-1698.9	1721.1	
A20-2	1	20.5	-21.4	141965.3	1746.8	-	-	-	3119.6
	2	20.5	-21.4	141514.3	1740.1	1674.3	-1791.3	1763.1	

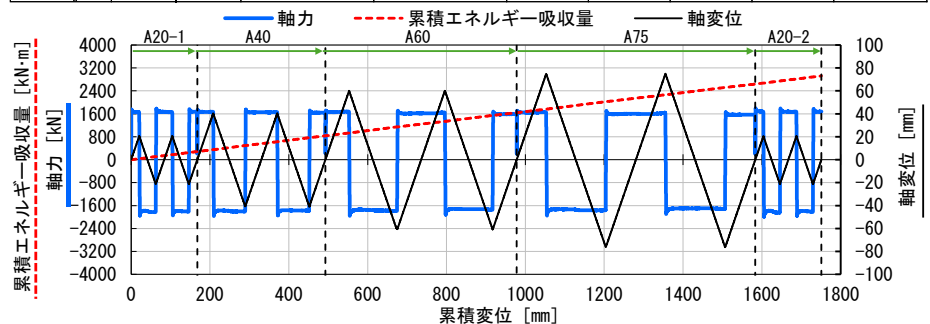


図9 軸力、軸変位、累積エネルギー吸収量の推移

表6 大容量摩擦ダンパー単体の塑性率と平均累積塑性変形倍率

摺動開始時 軸力 [kN]	変位 [mm]	軸剛性 [kN/mm]		最大軸力 [kN]		軸力 上昇	最大変位 [mm]		塑性率	ひずみ 換算 [%]	累積 変位 [mm]	累積エネルギー 吸収量 [kN・mm]	平均累積 塑性変形 倍率 [-]
		引張	圧縮	引張	圧縮								
1740	0.56	3120	1797	1797	-1989	1.14	75	-76	136.7	13.2%	1751	2921	1504

表7 制震ブレース全体の塑性率と平均累積塑性変形倍率

摺動開始時変位 [mm]	最大変位 [mm]				塑性率		平均累積塑性変形倍率				
	ダンパー 全体	全体/ ダンパー	ダンパー 全体	全体/ ダンパー	ダンパー	全体	ダンパー	全体	全体/ ダンパー		
0.56	2.56	4.59	76.3	78.5	1.03	136.7	30.6	0.22	1504	327	0.22

#### 【参考文献】

- 1)北嶋圭二:外付け制震ブレースを用いた耐震補強工法と実施例, 建築技術, No.652, pp.160-165, 2004.5
- 2)上田、北嶋ほか:既存鉄筋コンクリート造建物の耐震補強に用いるリング機構式摩擦ダンパーに関する研究,日本建築学会構造系論文集, 第88巻, 第810号, pp.1273-1283, 2023.8
- 3)上田、北嶋ほか:400kN摩擦ダンパー並列配置による大容量制震ブレースの開発(その1,2),日本建築学会大会, pp.533-536, 2008.9
- 4)建築研究所監修:鋼構造建築物へのエネルギー法活用マニュアル, 技法堂出版, 2009
- 5)柴田明德:最新耐震構造解析(第3版・補訂版), 森北出版, 2021

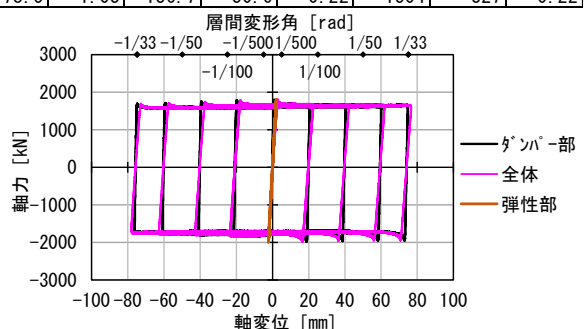


図10 制震ブレース全体の荷重-変位関係

表8 等価減衰定数一覧

加振ケース	最大変位 [mm]		累積変位 [mm]	等価剛性 [kN/mm]	エネルギー吸収量 [kN・mm]	ポテンシャルエネルギー [kN・mm]	等価減衰定数 $h_{eq}$ [-]
引張	圧縮						
A20-1	20.5	-21.4	168	81.4	141394	17855	0.630
A40	40.3	-40.8	493	42.0	273582	34575	0.630
A60	60.1	-60.8	978	27.7	399519	50627	0.628
A75	74.8	-76.3	1583	21.9	493321	62496	0.628
A20-2	20.5	-21.4	1751	82.3	141514	18046	0.624