

天然ゴム系支承の引張限界性能

鵜野禎史¹・西川典男²

¹正会員 川口金属工業株式会社 技術本部開発部（〒332-8502 埼玉県川口市宮町 18-19）
²正会員 東洋ゴム工業株式会社 加工品技術部（〒675-11 兵庫県加古郡稲美町六分一 1183）

1. 試験の目的

現在、ゴム支承の設計において地震時における上向きの力に対しゴム支承本体の引張で抵抗するように設計を行っている。このときのゴム支承の許容引張応力度は、せん断変形と引張力が同時に作用している場合、ゴム材料 G10 において補強鋼板面積に対し $\sigma_{\text{g}}=1.5\text{N/mm}^2$ が、また G8 において $\sigma_{\text{g}}=1.2\text{N/mm}^2$ が用いられている。この許容引張応力度の根拠は、免震支承における引張試験報告書¹⁾によるものであった。しかしながら、天然ゴム系支承における引張とせん断変形を同時に载荷した実験報告はほとんどなかった。本報告書では、天然ゴム系支承の引張限界に着目し、せん断変形を与えた状態での引張試験と引張を与えた状態でのせん断変形試験を行ったので報告する。

2. 供試体

(1) 材料

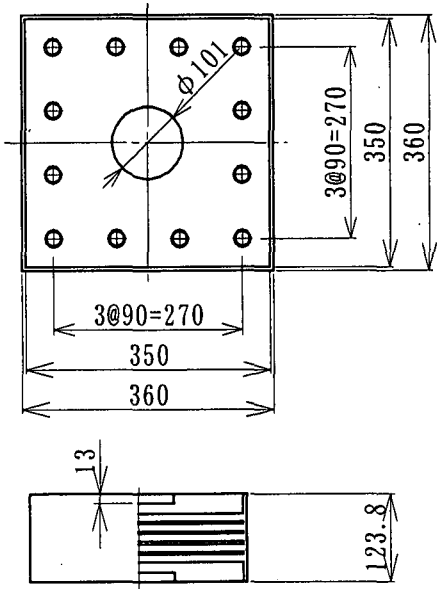
試験に用いたゴム材料は、G8,G10 の 2 種類とし、その物理的性質試験の結果を表-1 に示す。ここで、G8 とはせん断弾性係数が 0.8N/mm^2 相当のゴム材料をいう。なお、試験に用いた試験片は、シート加硫したダンベル試験片とした。

表-1 試験に用いたゴムの物理的性質

項目		単位	G8	G10
静的せん断弾性率		N/mm ²	0.79	0.95
硬さ		度	54	58
伸び		%	620	590
引張強さ		kN/m ²	21700	21000
老化試験	25%伸張 応力変化率	%	+12	+20
	伸び変化率	%	-8	-10
圧縮永久ひずみ		%	16	17
耐水性		%	1.4	1.5
耐オゾン性		肉眼観察でき裂なし		

(2) 形状

試験に用いた供試体の形状を図-1 に示す。供試体の形状は、試験機の性能から引張応力度として 3.0N/mm^2 を载荷できる最大の大きさとして決定した。また、ゴム 1 層あたりの厚さおよび層数は、一般的に使用される形状として、1 次形状係数(S1)を 8 程度とし、2 次形状係数(S2)を 6 程度として決定した。なお、S1 および S2 は、式(1)および式(2)により求められる。



ゴム厚 11 mm×5層 (NR G10,G8)
上下鋼板 28 mm×2枚 (SM490A)
中間鋼板 3.2mm×4枚 (SS400)

図-1 供試体形状

$$S1 = \frac{a \cdot b}{2(a + b)te} \tag{1}$$

$$S2 = \frac{a}{\Sigma te} \tag{2}$$

ここに、a：ゴム支承の加振軸方向の辺長
b：ゴム支承の加振軸直角方向の辺長
te：ゴム 1 層厚
 Σte ：ゴム総厚 (=te×層数)

3. 試験機の概要

試験に用いた試験機は、東洋ゴム工業所有の 2000kN 二軸載荷試験機を用いた。試験機能力を表-2 に示す。

表-2 試験機能力一覧表

項 目	能 力
最大鉛直荷重	+2000kN
最小鉛直荷重	-400kN
最大水平荷重	±400kN
最大水平変位	±200kN
最大加振速度	630mm/s

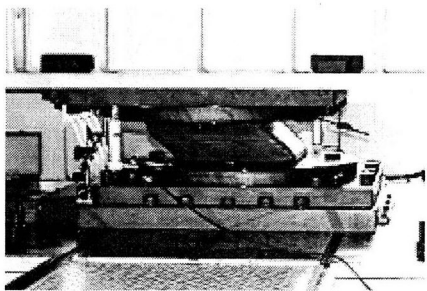


図-2 試験状況

4. 試験条件および試験方法

(1) 基本特性試験

基本特性試験は、引張試験の前に行うこととし、引張試験前後における特性の変化を調べることにした。ただし、引張試験において、破断に至ったものについては、その例外とした。

a) 鉛直剛性試験

ゴム支承の鉛直特性を求めるための鉛直剛性試験は、載荷荷重として、圧縮応力度 0.5N/mm²(61.3kN)から 8N/mm² (980kN)までの繰返し載荷を 3 回行い、3 回目の値を当該供試体の特性値とした。ここで、最小圧縮応力度として 0.5N/mm²としたのは、製作誤差により試験体の上下面の平行度が確保できていないため、圧縮応力度 0N/mm² による設定が困難なためである。また、最大圧縮応力度は、ゴム支承の許容圧縮応力度が 8N/mm²であることから、これに準拠することとした。なお、せん断変形は与えないこととした。

b) 水平剛性試験

ゴム支承の水平特性を求めるための水平剛性試験は、載荷荷重として支圧応力度 6N/mm² 相当 (735kN) を載荷した状態で、水平方向にせん断ひずみ 175%(96mm)による正負繰返し載荷を 3 回行い、3 回目の値を当該供試体の特性値とした。

(2) 引張試験

a) せん断引張試験

せん断引張試験は、ゴム支承にせん断変形を与えた状態で引張応力度 0N/mm² から所定の引張応力度までの繰返し載荷を行い、このときの荷重-変位曲線を得るものである。ここで、最大引張応力度として、1.0N/mm² (-122.5kN), 2.0 N/mm²(245kN), 3.0 N/mm²(367.5kN)の 3 ケースについて行うこととした。ここでいう引張応力度とは、引張荷重を内部鋼板の面積で除した平均応力度をいうものとする。また、せん断ひずみは、地震時有効設計変位として 175%(96mm)のせん断ひずみを与えた状態での特性を求めることとした。加振回数は 3 回とし、3 回目の値を当該供試体の特性値とした。

b) 引張せん断試験

引張せん断試験は、所定の引張応力度を与えた状態でせん断ひずみ 175%による正負繰返し載荷を行い、このときの荷重-変位曲線を得るものである。ここで、引張応力度は、せん断引張試験と同様に 1.0N/mm², 2.0 N/mm², 3.0 N/mm²の 3 ケースとし、各ケースごとにせん断ひずみ 175%による水平剛性試験を実施することとした。なお、加振振動数は 0.5Hz とした。また、加振回数は 3 回とし、3 回目の値を当該供試体における特性値とした。

5. 試験結果

(1) 基本特性試験

a) 鉛直剛性試験

鉛直剛性試験により得られた各試験対における鉛直剛性を表-3 に示す。鉛直剛性は、次式により求めた。

$$K_v = \frac{P_v}{\delta_v} \tag{3}$$

ここに、K_v : 鉛直剛性 (kN/mm)

P_v : 最大鉛直荷重 (kN)

δ_v : 鉛直たわみ量 (mm)

また、図-3 に G8-1 試験体の履歴曲線を示す。表-3 において、材料呼称の後に続く数字は、1 がせん断引張試験に使用した試験体を示し、2 が引張せん断試験に使用した試験体を示す。

表-3 試験前基本特性試験における鉛直剛性

	鉛直剛性 (kN/mm)
G8-1	445.2
G8-2	453.5
G10-1	484.7
G10-2	486.0

表-4 試験前後における水平剛性とその変化率

	水平剛性(kN/mm)		変化率
	試験前	試験後	
G8-1	1.591	1.505	-5.4%
G8-2	1.606	1.540	-4.1%
G10-1	1.964	1.885	-4.0%
G10-2	1.983	1.851	-6.7%

表-5 試験前後における等価減衰定数とその変化率

	等価減衰定数		変化率
	試験前	試験後	
G8-1	0.046	0.051	+10.9%
G8-2	0.049	0.049	-0%
G10-1	0.060	0.058	-3.3%
G10-2	0.055	0.056	+1.8%

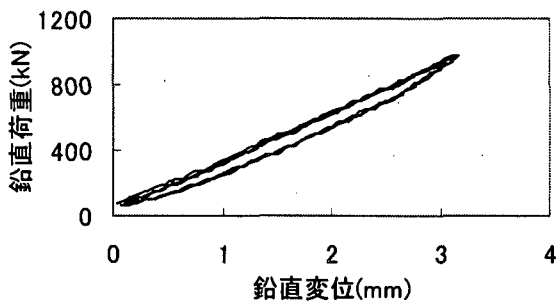


図-3 鉛直基本特性試験における履歴曲線(G8)

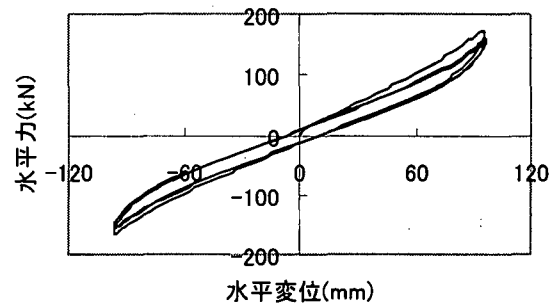


図-4 水平基本特性試験における履歴曲線

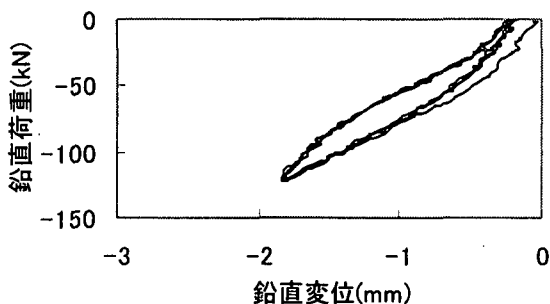
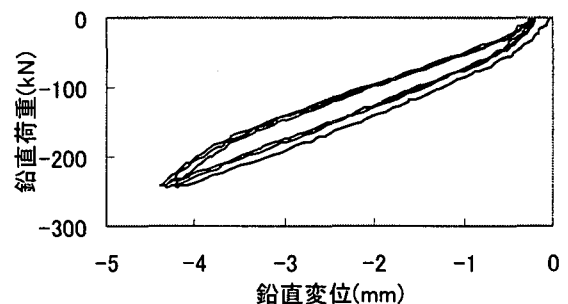
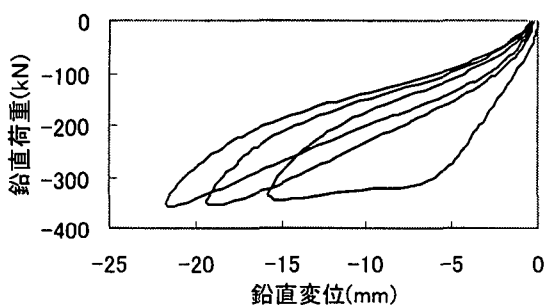
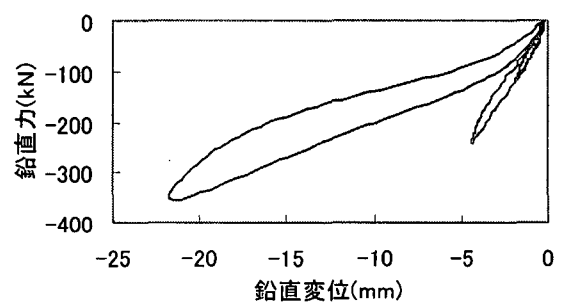
図-5 せん断引張試験 (G8, $\sigma_t=0\sim1\text{N/mm}^2$)図-6 せん断引張試験 (G8, $\sigma_t=0\sim2\text{N/mm}^2$)図-7 せん断引張試験 (G8, $\sigma_t=0\sim3\text{N/mm}^2$)

図-8 せん断引張試験 (G8, 各3回目)

b) 水平剛性試験

図-4 に G8 における水平剛性試験の結果を示す。表-4 は、引張試験前後における水平剛性とその変化率を示したものである。引張試験後における変化率は4~6%と小さく、また目視による外観検査において特に有害な傷等の損傷はみられなかった。また、表-5 は、引張試験前後における等価減衰定数とその変化率を示したものである。

(2) 引張試験

a) せん断引張試験

図-5~図-7 は、G8 における引張応力度 0N/mm^2 から $1\sim3\text{N/mm}^2$ までの繰返し載荷時の履歴曲線を示す。また、図-8 に各3回目の履歴曲線を重ね書きしたものを示す。図-8 において、引張応力度 2N/mm^2 までは、同様の鉛直剛性を示しているが 3N/mm^2 では、1/2 以下に剛性が低下している。これは、図-7 において、初回の載荷において

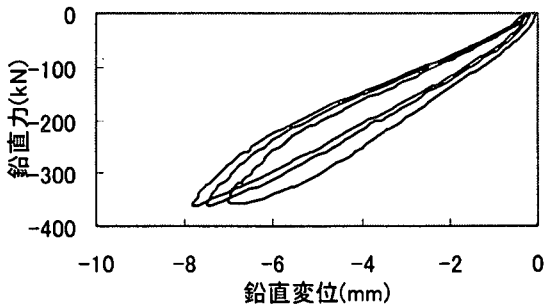


図-9 セン断引張試験 (G10, $\sigma_t=0\sim 3\text{N/mm}^2$)

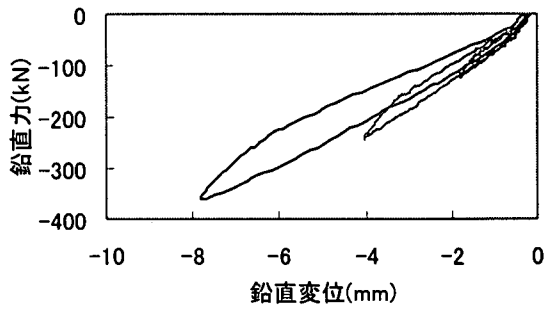


図-10 セン断引張試験 (G10, 各3回目)

-300kN 付近で大きく剛性が低下していることによるものである。この大きく剛性が低下する点がゴムの引張限界であると思われる。

これに対し、図-9 は、G10 における引張応力度 $0\sim 3\text{N/mm}^2$ 時の履歴曲線を、また図-10 は各3回目の履歴曲線を重ね書きしたものを示したものであるが、その変化は小さい。これは、G10 の引張限界以下であることを示していると考えられる。

5.3 引張せん断試験

図-11 は、G8 における引張せん断試験における履歴曲線を示したものである。図-4 の履歴曲線と比べてみると、若干履歴面積が小さく引張応力度の影響を受けているように思われる。表-4 は、等価剛性と等価減衰定数の基本特性試験と引張試験結果の比較を行ったものである。表-4 において、等価剛性で約10%程度、等価減衰定数で20%程度低下することが確認できた。

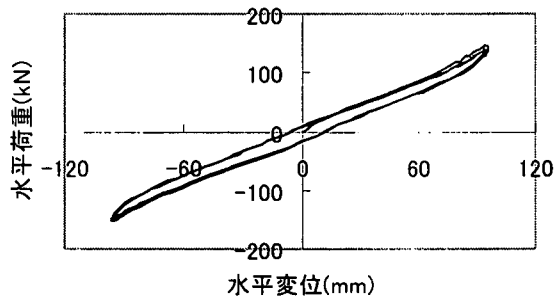


図-11 引張せん断試験時履歴曲線 (G8)

表-6 基本特性と引張

		基本特性 (kN/mm)	引張試験 (kN/mm)	変化率
等価 剛性	G8	1.606	1.493	-7.0%
	G10	1.983	1.793	-9.6%
減衰 定数	G8	0.055	0.048	-12.7%
	G10	0.049	0.040	-18.4%

6. まとめ

試験の結果より得られた所見を以下に示す。

(1) セン断引張試験

- セン断引張試験は、試験機的能力から今回は最大 3N/mm^2 までしか行わなかったが、G8 における限界点 (約 $\sigma_u=2.4\text{N/mm}^2$) を見つけることができた。これは、セン断変形を受ける場合の G8 における許容引張応力度 $\sigma_u=1.2\text{N/mm}^2$ に対し、十分な安全性を有していると考えられる。
- 引張力が生じた後の水平剛性の変化は約 10%低下するが、その荷重-変位曲線は安定した履歴を描いており、引張力を経験した後も十分共用できると思われる。

(2) 引張せん断試験

- 引張せん断試験は、許容引張応力度相当の引張力を与えた状態での水平特性試験であり、正反力を与えた状態での水平特性試験に比べ、10%程度水平剛性が低下する傾向を示している。しかしながら、外観上有害な損傷は見られず、安定した荷重-変位曲線を示していることから、十分な安全性が確保されていると思われる。

7. あとがき

今回の試験では、試験体の数が少なく、試験体によるばらつきの影響を含んだ結果となっている。また、試験機的能力から試験体の破断まで至らなかったため、内部の破損状況を確認することができなかった。この結果をふまえ、次の試験では G12 のゴム材料を含めた3種類のゴム材料による引張破断試験を実施する予定である。

参考文献

- (社) 日本支承協会、ゴム支承協会：免震支承の引張とせん断同時載荷試験報告書、平成8年4月