

# 各種ゴム支承の引張条件下における 水平特性に関する研究

鵜野禎史<sup>1</sup>・炭村 透<sup>2</sup>・金井宏司<sup>3</sup>

<sup>1</sup>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)

E-mail:uno@kawakinkk.co.jp

<sup>2</sup>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)

E-mail:sumimura@kawakinkk.co.jp

<sup>3</sup>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)

E-mail:h-kanai@kawakinkk.co.jp

ゴム支承は、鉛直地震動、水平地震動、及び風荷重などにより上向きの力（引張力）が作用することがある。本研究では天然ゴム系ゴム支承、高減衰ゴム支承、鉛プラグ入りゴム支承の引張条件下における水平特性を実験的に明らかにすることを目的とし、せん断弾性係数 $G=0.8, 1.0, 1.2\text{N/mm}^2$ の各ゴム支承に対し、引張応力を与えた状態でのせん断試験、およびせん断ひずみを与えた状態での引張実験を行った。

**Key Words :** Rubber bearing, Tension test, Horizontal stiffness under tention

## 1. はじめに

ゴム支承は、鉛直地震動、水平地震動、及び風荷重などにより上向きの力（引張力）が作用することがある。現在、ゴム支承の設計では、地震時に支承本体に生じる引張応力度  $t_a$  として、せん断弾性係数 $G$ が $0.8\text{N/mm}^2$ (G8)のゴム支承では  $t_a=1.6\text{N/mm}^2$ が、 $G=1.0\text{N/mm}^2$ (G10)以上では  $t_a=2.0\text{N/mm}^2$ が許容値として設定されている<sup>1)</sup>。この許容値は、免震支承の引張試験報告書<sup>2)</sup>に基づいて定められたものである。

筆者らは、これまで天然ゴム系ゴム支承（NR）の引張条件下における引張限界性能についての報告として、ゴムのせん断弾性係数G8およびG10を対象とした引張応力度下におけるせん断変形実験を行った。本研究では、実験に用いる供試体として、NRのほかに、新たに高減衰ゴム支承（HDR）、スプリング拘束型鉛プラグ入りゴム支承（SPR）を研究対象に加え、かつ使用するゴム材料もG8、G10、G12の3種類について研究を行った。

## 2. 実験の概要

### (1) 供試体

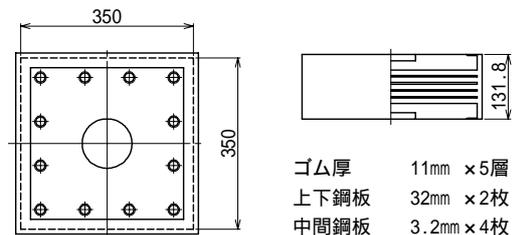
実験に用いた供試体の形状を図-1に示す。ゴム支承の平面形状は、一辺350mmの正方形とし、ゴム1層あたりの厚さおよび層数は、一般的に使用される

形状として、式(1)および式(2)から算出される一次形状係数( $S_1$ )を8程度、二次形状係数( $S_2$ )を6程度として決定した。

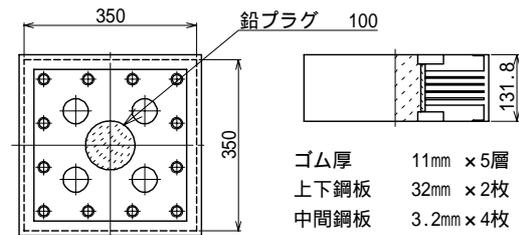
$$S_1 = \frac{a \cdot b}{2(a+b)t_e} \quad (1)$$

$$S_2 = \frac{a}{t_e} \quad (2)$$

ここに、 $a$ ：ゴム支承の加振軸方向の辺長



(a) NR, HDR



(b) SPR

図-1 供試体形状

- b: ゴム支承の加振軸直角方向の辺長
- $t_c$ : ゴム1層厚
- $t_c$ : ゴム総厚 (=  $t_c \times$  層数)

(2) 実験装置

試験に用いた試験機は、2000kN 二軸載荷実験装置を用いた。実験装置の仕様を表-1 に、また実験の状況を図-2 に示す。

表-1 実験装置の仕様

項目	能力
最大鉛直荷重	+ 2000kN
最小鉛直荷重	- 1000kN
最大水平荷重	± 400kN
最大水平変位	± 200kN
最大加振速度	630mm/s



図-2 実験状況

(3) 実験方法

a) 引張せん断実験

表-2に示す軸応力に相当する荷重を載荷した状態で、ゴム総厚の175%に相当するせん断ひずみによる繰り返し水平載荷を行った。なお、加振回数は、NRの場合3回また免震支承であるHDRおよびSPRについては5回とした。得られた履歴曲線から等価剛性・等価減衰定数を算出し、最終サイクル(3回目または5回目)の値を当該条件における特性値とした。

表-2 引張実験条件

実験ケース	軸応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	鉛直荷重 (kN)		せん断ひずみ
		NR,HDR	SPR	
case1	6.0(8.2)	738	690	± 175% (96.3mm)
case2	3.0(4.2)	369	345	
case3	0(0)	0	0	
case4	-1.0(-1.4)	-123	-115	
case5	-2.0(-2.8)	-245	-229	

括弧内はせん断変形を考慮した実際の引張応力度。

b) 基本特性実験

せん断特性の確認実験は、6N/mm<sup>2</sup>に相当する圧縮荷重を載荷した状態で、ゴム層厚の175%に相当するせん断ひずみで繰り返し水平載荷を行った。加振回数は、引張せん断実験に準じ、3回また5回とした。また、圧縮特性の確認試験として、圧縮応力度0.5~8.0N/mm<sup>2</sup>に相当する鉛直荷重の繰り返し載荷を3回行った。なお、基本特性実験は引張せん断実験の前後に実施し、その変化率を求めることとした。

3. 実験結果

(1) 引張せん断実験

表-3~5は、天然ゴム系ゴム支承(NR)、高減衰ゴム支承(HDR)およびスプリング拘束型鉛プラグ入りゴム支承(SPR)の各面圧における等価剛性(KB)と等価減衰定数(heq)の実験結果の一覧表を示したものである。また、図-3および図-4は、ゴム材料G10における面圧ごとの等価剛性および等価減衰定数の変化を示す。表-4,5において、HDRのG8, SPRのG10およびG12の面圧-2.0N/mm<sup>2</sup>は実験時にゴムの伸びが実験装置の使用範囲を越えるか、または破断してしまったためデータを得ることが出来なかった。

表-3 NRの各面圧におけるKBとheq

面圧 N/mm <sup>2</sup>	NR-G8		NR-G10		NR-G12	
	KB	heq	KB	heq	KB	heq
6	1.90	5.94	2.46	6.51	3.14	6.10
3	1.81	4.74	2.34	6.13	2.96	5.37
0	1.76	4.05	2.19	5.48	2.80	4.91
-1	1.75	3.96	2.15	5.43	2.69	5.39
-2	1.77	4.00	2.15	5.48	2.69	5.34

表-4 HDRの各面圧におけるKBとheq

面圧 N/mm <sup>2</sup>	HDR-G8		HDR-G10		HDR-G12	
	KB	heq	KB	heq	KB	heq
6	1.97	15.48	2.35	13.70	2.70	12.96
3	1.81	12.94	2.18	12.47	2.44	12.16
0	1.71	11.46	2.09	12.07	2.32	11.32
-1	1.77	9.87	2.10	11.05	2.20	9.76
-2	-	-	2.48	8.61	2.46	8.49

表-5 SPRの各面圧におけるKBとheq

面圧 N/mm <sup>2</sup>	SPR-G8		SPR-G10		SPR-G12	
	KB	heq	KB	heq	KB	heq
6	2.16	19.21	2.71	17.05	3.08	15.04
3	2.09	18.26	2.57	16.42	2.95	14.22
0	2.10	18.01	2.53	15.98	2.87	14.83
-1	2.12	16.51	2.48	14.88	2.77	14.58
-2	2.04	4.84	-	-	-	-

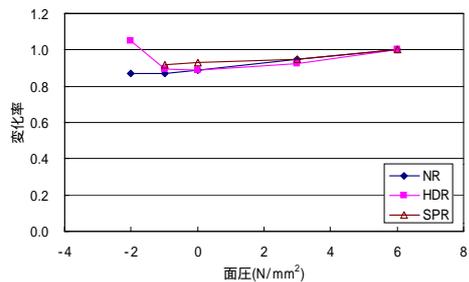


図-3 G10における面圧ごとの等価剛性の変化

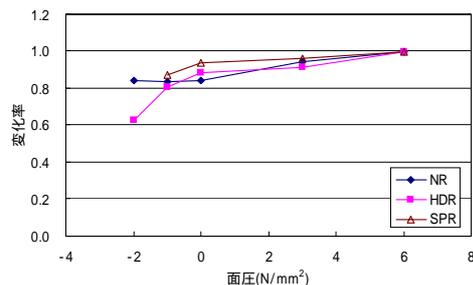


図-4 G10における面圧ごとの等価減衰定数の変化

表-6 NRの試験前後の基本特性

			NR-G8	NR-G10	NR-G12
試験前	圧縮剛性	kN/mm	542.7	663.9	751.9
	等価剛性	kN/mm	1.97	2.51	3.30
	等価減衰定数	%	6.02	7.25	6.23
試験後	圧縮剛性	kN/mm	486.4	592.9	668.6
	等価剛性	kN/mm	1.83	2.31	2.95
	等価減衰定数	%	6.05	7.32	6.10

表-7 HDRの試験前後の基本特性

			HDR-G8	HDR-G10	HDR-G12
試験前	圧縮剛性	kN/mm	629.5	761.3	896.2
	等価剛性	kN/mm	2.08	2.55	2.91
	等価減衰定数	%	14.58	14.13	13.88
試験後	圧縮剛性	kN/mm	376.3	441.4	538.8
	等価剛性	kN/mm	1.86	2.08	2.36
	等価減衰定数	%	14.14	14.33	13.67

表-8 SPRの試験前後の基本特性

			SPR-G8	SPR-G10	SPR-G12
試験前	圧縮剛性	kN/mm	624.3	837.0	1086.2
	等価剛性	kN/mm	2.24	2.71	3.28
	等価減衰定数	%	19.66	17.05	15.02
試験後	圧縮剛性	kN/mm	490.7	-	-
	等価剛性	kN/mm	2.05	-	-
	等価減衰定数	%	20.62	-	-

図-3において、等価剛性の変化は、面圧 $6\text{N/mm}^2$ から $-1\text{N/mm}^2$ までは、すべてのゴム支承において、面圧が小さくなるに従い、徐々に低下する傾向を示している。その後、HDRは $-2\text{N/mm}^2$ 時に再度剛性が高くなる傾向を示し、NRは低くなる傾向を示している。なお、SPRは、破断したが、破断直前の剛性を評価した場合NRと同様の傾向を示していた。

図-4において、等価減衰定数の変化は、面圧が小さくなるに従い、低下する傾向を示している。面圧 $0\text{N/mm}^2$ まではその変化率は15%程度であり、HDRおよびSPRは10%程度と安定している。HDRは、面圧が引張になるとその低下する傾向は大きくなり、 $-2\text{N/mm}^2$ ではその変化率は40%と大きい。

図-5～7は、ゴム材料G10における各ゴム支承の鉛直荷重載荷状態が圧縮状態（面圧 $6\text{N/mm}^2$ 相当）および引張状態（面圧 $-2$ または $-1\text{N/mm}^2$ 相当）での履歴曲線を重ね書きしたものである。NRの履歴曲線は、圧縮状態および引張状態共に膨らみがほとんど変わらないが、最大変位時に圧縮状態ではハードニング（ひずみ硬化特性）が生じているのに対し、引張状態ではハードニングが生じていない。HDRは、圧縮状態に対し、引張状態の方が履歴曲線がやせ細った状態を示しており、最大変位時において引張状態の方にハードニングが見られる。SPRは、NRと同様に履歴曲線の幅に大きな変化はなく、引張状態でも安定した特性を示すと考えられる。

(2) 基本特性実験

各ゴム支承における引張せん断試験前後の基本特性試験結果を表-6～8に示す。また、試験前後の特性の変化をグラフ化したものを図-8に示す。

図-8において、圧縮剛性の試験前後における比率は、NRで10%低下し、HDRは40%、またSPRでは20%低下している。等価剛性は、NRおよびSPRが10%低下しているのに対し、HDRは20%と若干大きな変化を示している。等価減衰定数は、どのゴム支承も試験前後における変化は小さいと思われる。

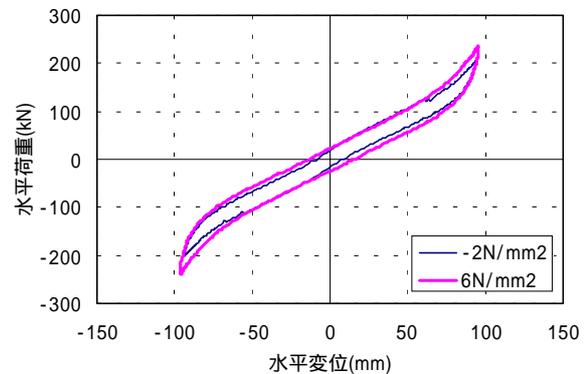


図-5 NRの圧縮・引張状態における履歴曲線

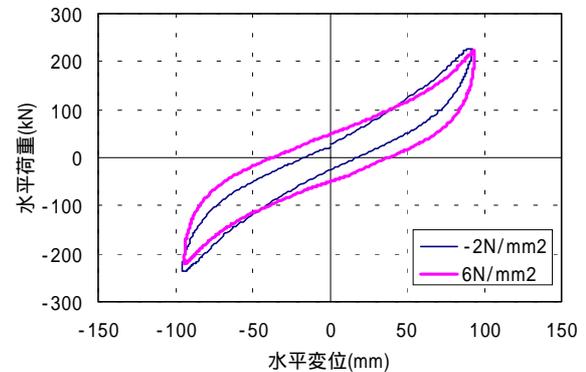


図-6 HDRの圧縮・引張状態における履歴曲線

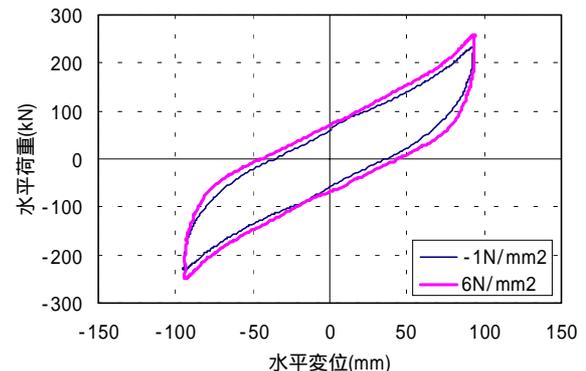


図-7 SPRの圧縮・引張状態における履歴曲線

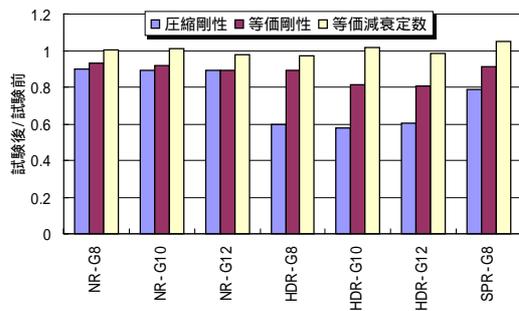


図-8 試験前後における特性の変化

図-9は、SPRの面圧-2N/mm<sup>2</sup>による引張せん断試験時において破断した状況を示したものであり、図-10はその時の履歴曲線を示す。破断箇所は、最下層のゴム層で発生し、写真左側より一気に破断した。破断は加振回数1回目の後半に生じたと考えられる。なお、図-10において細線で描かれた履歴曲線は引張応力度-1N/mm<sup>2</sup>時における履歴曲線を示しており、破断しなかったとした場合、引張応力度-2N/mm<sup>2</sup>時でも同等の性能を保有していたと考えられる。引張条件下でのゴム支承の破断は、上下構造物が破断箇所により完全に分離することとなり危険



図-9 引張せん断試験における破断状況

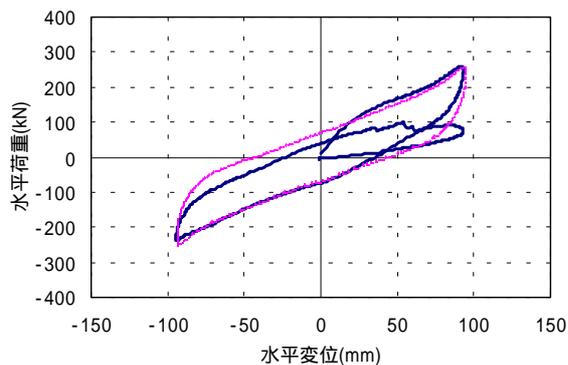


図-10 破断時における履歴曲線

な状態になると考えられる。

#### 4. まとめ

実験の結果より得られた知見を以下に示す。

- (1) NR, HDR, SPRのG8, G10, G12の各供試体を用いて引張せん断試験を行った結果、等価剛性の変化は、面圧6N/mm<sup>2</sup>から-1N/mm<sup>2</sup>までは、すべてのゴム支承において、面圧が小さくなるに従い、徐々に低下する傾向を示している。その後、HDRは-2N/mm<sup>2</sup>時に再度剛性が高くなる傾向を示し、NRは低くなる傾向を示している。なお、SPRは-2N/mm<sup>2</sup>時に破断したが、破断直前の剛性を評価した場合NRと同様の傾向を示していた。
- (2) HDRおよびSPRにおける等価減衰定数の変化は、面圧が小さくなるに従い低下する傾向を示している。その変化率は、面圧0N/mm<sup>2</sup>までは10%程度と安定しているが、面圧が引張になるとその低下する傾向は大きくなる。
- (3) 圧縮状態と引張状態での等価剛性の変化を履歴曲線で見えた場合、NRおよびSPRでは、圧縮・引張状態共に膨らみはほとんど変わらない。HDRは、圧縮状態に比べ引張状態の方が履歴曲線がやせ細った状態を示している。
- (4) 引張せん断試験前後における比率は、圧縮剛性においてNR, SPRに比べHDRの変化が大きい。等価剛性および等価減衰定数は、どのゴム支承も試験前後における変化は小さいと思われる。

#### 参考文献

- 1) (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, 1996.4
- 2) 鶴野禎史, 西川典男: 天然ゴム系ゴム支承の引張限界性能, 第5回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 2002.1

(2003. 10. 10 受付)