

各種ゴム支承の引張限界性能に関する研究

炭村 透¹・鵜野禎史²・金井宏司³

¹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

²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

³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限界性能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、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, Ultimate property under tension

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 σ_{ta} として、せん断弾性係数 G が 0.8N/mm^2 (G8)のゴム支承では $\sigma_{ta}=1.6\text{N/mm}^2$ が、 $G=1.0\text{N/mm}^2$ (G10)以上では $\sigma_{ta}=2.0\text{N/mm}^2$ が許容値として設定されている。この許容値は、免震支承の引張試験報告書¹⁾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、引張応力度 3.0N/mm^2 までの実験を行った。この時、G8での限界点は確認することができたが、実験装置の能力の都合上、G10では確認するまでには至らなかった²⁾。本研究では、実験に用いる供試体として、NRに加えて、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種類について実験を行った。

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。

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

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

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

t_e ：ゴム1層厚

$\sum t_e$ ：ゴム総厚（ $=t_e \times \text{層数}$ ）

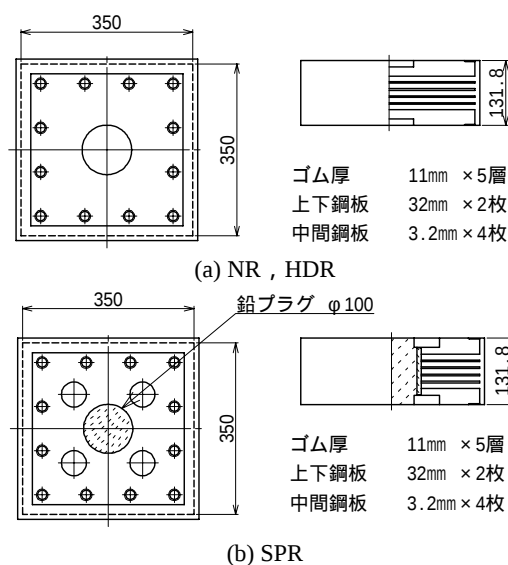


図-1 供試体形状

(2)実験装置

引張実験は、川口金属工業（株）所有の二軸載荷装置を用いた。能力の概要を表-1に示す。

(3)実験方法

a)引張実験

引張実験条件を表-2に示す。なお、本研究において、+は圧縮、-は引張としている。供試体のゴム総厚の175%に相当するせん断変形量（96.3mm）をオフセットした状態で、引張応力度0N/mm²から1.0N/mm²までの繰返し載荷を3回行った。以降、引張応力度を1.0N/mm²ずつ増加させながら、降伏に至るまで実験を繰返し行った。ここで、引張応力度とは、供試体に作用させる引張荷重を供試体の平面積で除したものを指す。表-2において、SPRの鉛直荷重が異なるのは、鉛プラグの面積を除いた平面積から鉛直荷重を設定したためである。なお、引張実験はせん断変形をオフセットした状態で行ったため、実際に供試体に生じる応力は、引張荷重をせん断変形分を差し引いた上下鋼板のラップ面積で除した値となる。表-2には実際の引張応力度もあわせて示した。

b)基本特性実験

各供試体の基本特性として、せん断特性、圧縮特性の確認実験を行った。実験条件を表-3に示す。

せん断特性の確認実験は、6.0N/mm²に相当する圧縮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での加振を行った。加振回数は、NRは3回、HDR、SPRは5回とし、それぞれ最終サイクルの等価剛性、等価減衰定数を当該条件における特性値とした。また、圧縮特性の確認実験として、圧縮応力度0.5～8.0N/mm²に相当する鉛直荷重の繰返し載荷を3回行った。なお、基本特性実験はそれぞれ引張実験の前後に実施し、引張降伏前後の基本特性の変化について確認した。

3．実験結果

(1)引張実験

ゴム支承に引張荷重を作用させると、図-3の模式図に示すように、初期は比較的高い剛性を示す。しかし、過大な引張荷重を与えると、降伏に達して剛性が大きく低下し、急激に伸びが進行して破断に至ることが既往の研究^{1,3)}からも知られている。本研究では、この剛性の低下の発現をゴム支承の引張限界と見なすこととした。

図-4にNRの各供試体の荷重 - 変位曲線を示す。鉛直荷重と共に縦軸に示した軸応力度とは、引張荷重を供試体のせん断変形分を差し引いた上下鋼板ラップ面積で除した値を示している。いずれの供試体も、ある荷重領域から緩やかに剛性が低下してひずみが増大し、降伏に至っているのがわかる。また、一度降伏に達した後、繰返し載荷を行うと、前サイクルで示した最大点を目指す履歴経路をたどる特性

表-1 二軸載荷装置の概要

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	± 200mm
最大加振速度	630mm/sec

表-2 引張実験条件

実験 ケース	軸応力度 (N/mm ²)	鉛直荷重 (kN)		せん断 ひずみ
		NR,HDR	SPR	
case1	0～-1.0(-1.4)	0～-123	0～-115	175% (96.3mm)
case2	0～-2.0(-2.8)	0～-245	0～-229	
case3	0～-3.0(-4.1)	0～-368	0～-344	
case4	0～-4.0(-5.5)	0～-490	0～-459	
...	以降-1.0N/mm ² ずつ			

括弧内はせん断変形を考慮した実際の引張応力度。

表-3 基本特性実験条件

	軸応力度 (N/mm ²)	鉛直荷重 (kN)		せん断 ひずみ
		NR,HDR	SPR	
圧縮	0.5～8.0	61～980	57～917	0
せん断	6.0	735	688	±175 % (96.3mm)



図-2 引張実験状況

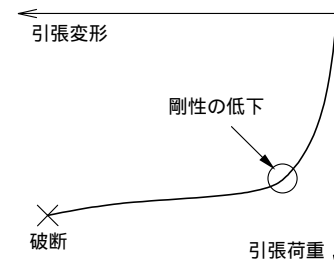


図-3 ゴム支承の引張時の挙動

を有していることが確認できる。G8およびG10はcase3実施中に、G12はcase4実施中に降伏に達した。G8およびG10は同荷重条件の実験実施時に降伏に達したが、G8の最大変位が約14mmであるのに対し、G10の最大変位は約6.5mm程度であり、同荷重条件時の変位量はG10の方が小さくなっている。したがって、せん断弾性係数の大きなゴム支承の方が、引張に対して高い強度を有していることがわかる。

図-5にHDRの各供試体の荷重 - 変位曲線を示す。G8はcase2実施中に、G10およびG12はcase3実施中に降伏に達した。NRと同様に、G10およびG12は同条件の実験実施時に降伏に達したが、G12の方が変形

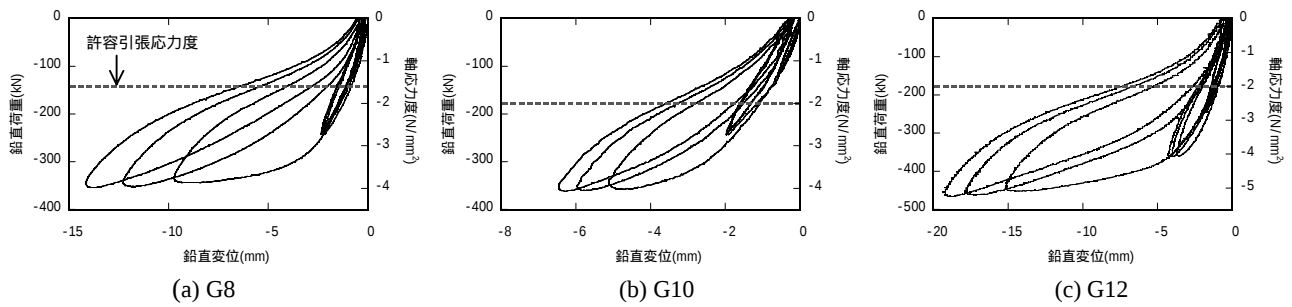


図-4 NRの実験結果

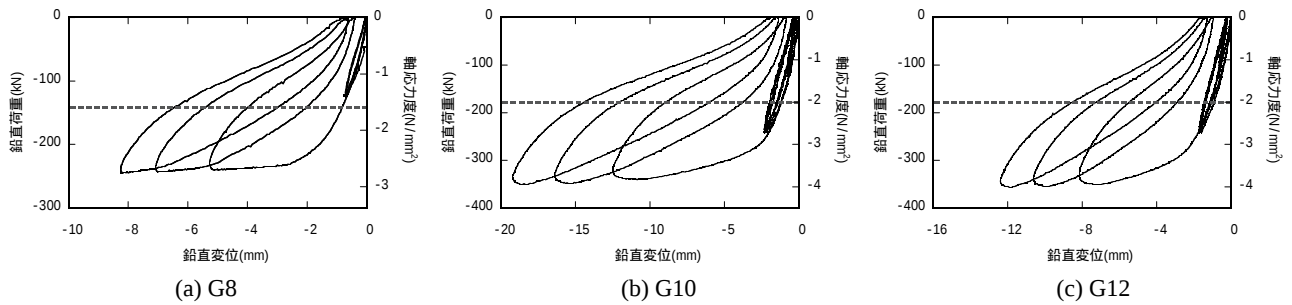


図-5 HDRの実験結果

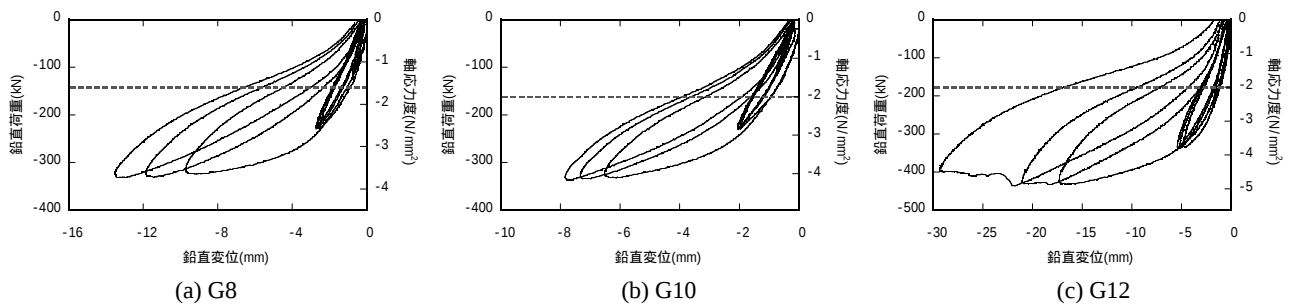


図-6 SPRの実験結果

量が小さいことから，HDRについてもせん断弾性係数の大きなゴム支承の方が，引張に対して高い強度を有していると考えられる．

図-6にSPRの各供試体の荷重 - 変位曲線を示す．G8およびG10はcase3実施中に，G12はcase4実施中に降伏に達した．他と同様に，G8およびG10は同条件の実験実施時に降伏に達したが，G10の方が変形量が小さいことから，SPRについてもせん断弾性係数の大きな方が，引張に対して高い強度を有していると考えられる．なお，G12のcase4において，2サイクル目から3サイクル目にかけての変形量が他と比べても非常に大きくなっている．これは，供試体の破断によるものと考えられるが，実験後の供試体の外観に特に異常は見られなかった．したがって，供試体内部の部分的な損傷などが原因として考えられる．また，NRとSPRの荷重 - 変位曲線は，いずれのG値に対しても近い形状を示している．SPRにもゴム材料としてNRが用いられていることから，SPRの引張挙動に対し，鉛プラグはあまり寄与していないと考えられる．

図-4～6には，各せん断弾性係数に対する許容引張応力度を点線で示している．いずれの供試体についても，許容応力度付近では降伏前の安定した線形特性を示す領域にあることがわかる．しかし，従来

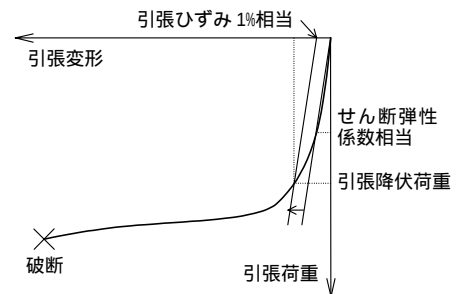


図-7 引張降伏荷重の定義（文献4）による）

表-4 降伏応力度（文献4）による）

	単位：N/mm ²		
	G8	G10	G12
NR	2.18	2.43	2.79
SPR	1.83	2.31	2.48
HDR	2.06	2.41	2.49
許容応力度	1.6	2.0	2.0

道路橋用ゴム支承の引張降伏に関する定義はなく，荷重 - 変位曲線の勾配の変化も緩やかであるため，降伏点を決定するのは困難である．現在，建築の分野では，図-7に示すように，引張実験から得られた荷重 - 変位曲線から，ゴムのせん断弾性係数に相当

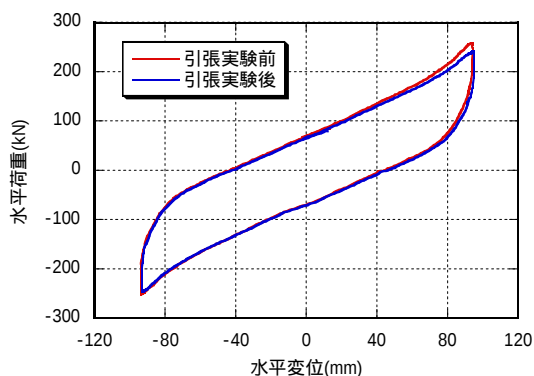


図-8 引張実験前後のせん断特性

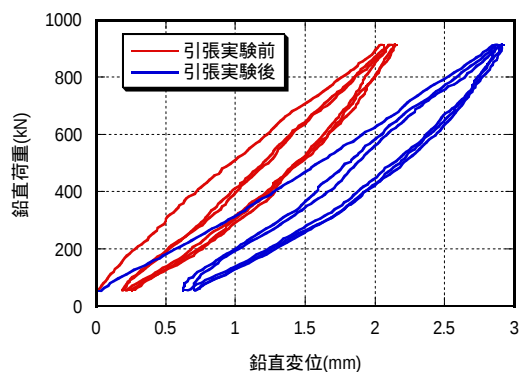


図-9 引張実験前後の圧縮特性

する荷重と原点を結んだ直線を，引張ひずみ1%に相当する変位分をオフセットし，その直線と荷重 - 変位関係の曲線が交わった点を引張降伏荷重と定義している⁴⁾．参考までに，この定義に従って本実験から得られた各供試体の引張降伏応力度を算出したものを表-4に示す．この手法を用いると，許容応力度を上回る値が得られた．

(2)基本特性実験

図-8，9にSPR-G10の引張実験前後のせん断・圧縮基本特性実験結果を示す．引張降伏前後の水平荷重 - 水平変位曲線はほぼ同様な形状を示しており，引張降伏がゴム支承のせん断特性に与える影響は小さいと考えられる．+変位側の大ひずみ領域でのハードニングが若干抑えられているが，これは，引張実験時のオフセット変位として+側にせん断変形を与えて引張実験を行ったため，結果的に+側の剛性が若干小さくなったものと考えられる．この傾向は，他の供試体でも同様に見られた．圧縮特性は，引張降伏後の圧縮変形量が非常に大きくなっており，剛性の低下が顕著に見られる．

図-10に全供試体の引張実験前後における特性値の比を示す．圧縮特性値として圧縮剛性を，せん断特性値として等価剛性・等価減衰定数を示している．いずれの供試体においても，せん断特性に比べ，圧縮特性の変化の方が大きくなる傾向が見られる．等価剛性が10%以上低下しているケースも見られるが，前述のように，引張実験時にせん断変形をオフセットした影響を含んでいると考えられる．

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実験を行った結果，すべての供試体の引張限界点を確認することができた．

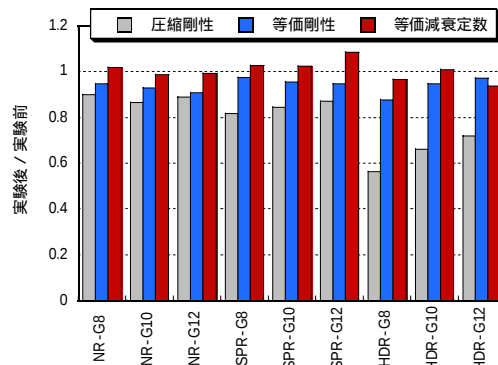


図-10 引張実験前後における特性値の比

- (2) NR，HDR，SPRのいずれのゴム支承についても，ゴム材料のせん断弾性係数が大きいほど，引張強度が大きくなる傾向にある．
- (3) 本実験で用いた供試体は，引張許容応力度付近では安定した挙動を示しており，許容値に対する安全性が確認できた．
- (4) 引張降伏前後の圧縮・せん断の基本特性実験を行った結果，引張降伏がせん断特性に与える影響よりも，圧縮剛性に与える影響の方が大きい．

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
- 3) 大塚久哲，栗木茂幸，池永雅良：引張力を受ける鉛プラグ入り積層ゴムの引張限界に関する実験，構造工学論文集，Vol.48A，2002.3
- 4) 国土交通省住宅局建設指導課，独立行政法人建築研究所，日本建築行政会議，(社)日本免震構造協会，(財)日本建築センター：免震建築物の技術基準解説及び計算例とその解説，2001.5

(2003.10.10 受付)