

軸応力をパラメータとした 積層ゴム支承のせん断特性確認実験

崔 準祐¹・原 暢彦²・今井 隆³・植田 健介⁴・成 炫禹⁵

¹正会員 九州大学大学院 助教 工学研究院 社会基盤部門 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744)

E-mail:choi@doc.kyushu-u.ac.jp

²正会員 ゴム支承協会 技術委員会 (〒107-0051 東京都港区元赤坂 1 丁目 5-26 東部ビル)

E-mail: hara@tokyo-fabric.co.jp

³正会員 ゴム支承協会 技術委員会 (〒107-0051 東京都港区元赤坂 1 丁目 5-26 東部ビル)

E-mail:imai@mgb-gouda.co.jp

⁴正会員 ゴム支承協会 技術委員会 (〒107-0051 東京都港区元赤坂 1 丁目 5-26 東部ビル)

E-mail:ueda@mgb-gouda.co.jp

⁵学生会員 九州大学大学院 修士課程 建設システム工学専攻
(〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

E-mail:sung@doc.kyushu-u.ac.jp

ゴム支承の水平方向に対する力学的特性や耐震性能については、これまで多くの実験により確認されてきており、その設計手法についても確立されているが、ゴム支承の鉛直方向に対する力学的特性に関しては、これまで検討事例が少なく設計手法が確立されていない状況である。特にゴム支承が引張力を受けた状態で水平方向の地震力を受けた場合の支承の力学的特性については不明なところが多く、支承本体に引張力が生じる場合にはゴム支承を採用しないことを原則としている。本研究では、ゴム系支承の引張せん断特性を明らかにすることを目的とし、積層ゴム支承(RB)を対象に一次形状係数の異なる2つの供試体を作製し、軸応力をパラメータとしたせん断実験を実施した。実験により得られた水平荷重-変位履歴から、等価剛性、等価減衰定数などを軸応力ごとに整理し、ゴム支承に作用する軸応力がゴム支承のせん断特性に及ぼす影響について調査した。

Key Words : rubber bearing, tensile-shear loading test, shear property

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震では、高速道路や幹線道路において鋼製支承に大きな損傷や破壊が生じ、橋梁としての機能を損なった被害が多かったことから¹⁾、近年は粘性の高いゴム材料を使用したゴム支承を導入し、上部構造の地震時水平力の分散やエネルギー吸収により橋梁に作用する地震力の低減を図った橋梁構造物が増えてきている。このことから、ゴム支承の水平方向に対する力学的特性や耐震性能については、これまで多くの実験により確認されてきており、その設計手法についても確立されている。

一方、ゴム支承の鉛直方向に対する力学的特性に関しては、これまで基本的な性能確認試験は過去に行われているものの、ゴム支承が圧縮力に対して十分な耐力を有していることや‘ゴム支承本体に引張力が生じる場合は

原則としてゴム支承を採用してはならない’という規定²⁾があることから、実設計において厳密に考慮されていないのが現状である。しかし、地震時上部構造の鉛直方向の挙動が複雑といわれている曲線橋や桁高が高く幅の狭い橋、T 型橋脚が連続する高架橋、また鉛直方向の地震動が大きくなりやすい地盤上の橋梁の他、伸縮装置が連続するかけ違いの橋などには、支承部に負反力が生じる可能性があり、ゴム支承を採用する場合はこうしたゴム支承の鉛直方向の力学的特性を適切に考慮して設計する必要がある。特にゴム支承の引張特性に関しては、圧縮剛性に比べ引張剛性が非常に小さいことが過去の試験により明らかになっており³⁾、こうしたゴム支承の引張特性を取り入れて地震応答解析を行うと、現行の設計手法により求められた地震時応答と大きく異なる結果が得られることが知られている⁴⁾。また、2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震では、曲線高架橋において複数の

ゴム支承が破断する被害が発生⁵⁾，2016年に発生した熊本地震では複数の曲線橋においてゴム支承が破断する被害が発生している⁶⁾．このような被害については現在様々な観点から原因分析が進められていると思われるが，著者らは地震時上部構造の複雑な挙動によりゴム支承に引張力と水平地震力が同時に作用したことも一つの原因ではないかと考えている．

そこで，本研究では，ゴム支承の引張せん断特性を把握することを目的とし，積層ゴム支承（RB）を対象に軸応力をパラメータとし，一次形状係数の異なる2種類のゴム支承を用いてせん断実験を実施した．実験により得られた水平荷重-変位履歴から，等価剛性，等価減衰定数などを軸応力ごとに整理し，ゴム支承に作用する軸応力がゴム支承のせん断特性に及ぼす影響について調査した．

2. 実験概要

(1) 実験供試体諸元

本実験に用いた供試体の構造図を図-1に，諸元を表-1に示す．本実験に用いた供試体は積層ゴム支承（RB）7体であり，供試体寸法は JIS の標準試験体⁷⁾に合わせ，平面寸法を 400mm×400mm とした．また，総ゴム厚は 54mm としたが，本実験では一次形状係数の違いがゴム

支承の引張せん断特性に及ぼす影響を確認するため，2種類の異なる形状係数を有する供試体を作製した．ここでは，1層のゴム厚を 18mm とし 3 層としたもの（以下，供試体 A），1層のゴム厚を 9mm とし 6 層としたもの（以下，供試体 B）を用いた．一次形状係数 S_1 と二次形状係数 S_2 は，道路橋支承便覧⁸⁾に基づき，式(1a)，(1b)を用いて求めた． S_1 については，道路橋支承便覧⁸⁾における最小値 4 から最大値 12 の範囲で設定しており，供試体 A の場合ゴム単層が 18mm と厚く，一次形状係数が 5.56 である．本実験では，ゴム支承の形状条件をできるだけ厳しいと考えられるゴム厚を用いることとし，供試体 A を基本供試体とした．一方，供試体 B はゴム単層が 9mm と薄く，一次形状係数が 11.11 である．

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

$$S_2 = \frac{\min(a,b)}{\sum t_e} \quad (1b)$$

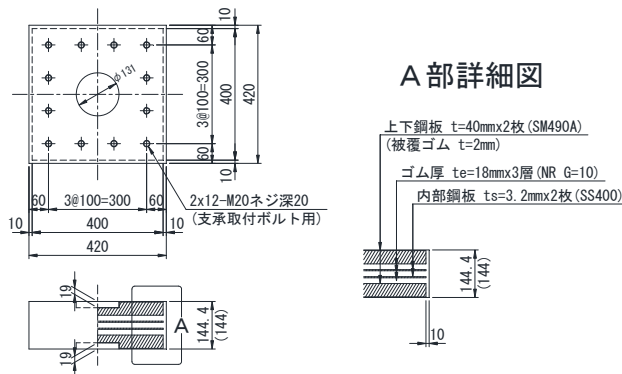
ここに， A_e ：ゴムの断面積

a, b ：ゴム支承の平面寸法

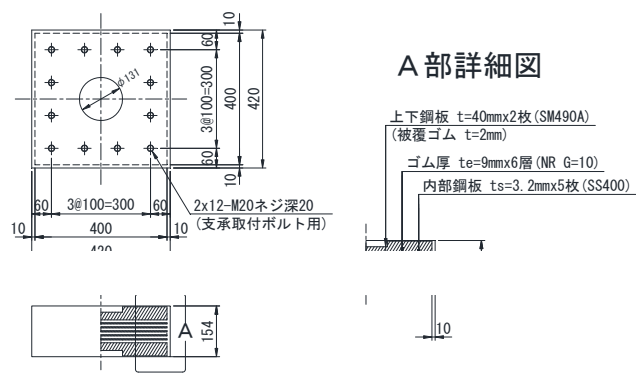
t_e ：ゴム1層の厚さ

(2) 実験装置の概要

本実験の実験ケースを表-2に示す．Case1は供試体Aを用い，軸応力をJISのせん断特性試験方法⁷⁾に基づいて



(a) 供試体 A（一次形状係数 $S_1=5.56$ ）



(b) 供試体 B（一次形状係数 $S_1=11.11$ ）

図-1 実験供試体の構造図（単位：mm）

表-1 実験供試体の諸元

	単位	供試体A	供試体B
平面形状	(mm)	400×400	400×400
単層厚	(mm)	18	9
総ゴム厚	(mm)	54	54
1次形状係数	—	5.56	11.11
2次形状係数	—	7.41	7.41
ゴム材の呼び	—	G10	G10

表-2 実験ケース

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7
軸応力 (MPa)	6	0	-1	-2	6	-2	-2
供試体	A	A	A	A	A'	A'	B
载荷方法	軸力载荷後，せん断ひずみ±175%10回 → せん断ひずみ±250%10回 → せん断ひずみ±300%1回						

※軸応力の符号：圧縮＋，引張－

※Case5, Case6の供試体A'は供試体Aと同諸元であるが，製造メーカーが異なる

6MPaとし、水平荷重をせん断ひずみ $\pm 175\%$ を10回繰り返し、その後、せん断ひずみ $\pm 250\%$ を10回繰り返し、最後にせん断ひずみ $\pm 300\%$ を1回載荷したケースである。Case2はCase1から軸応力を0にしたケース、Case3はCase1から軸応力を-1MPaにして引張力を与えたケース、Case4はCase1から軸応力を-2MPaにして引張力を与えたケースである。Case5、Case6、Case7は、形状係数の影響を確認するためのケースであるが、供試体Bは供試体Aと製造メーカーが異なる関係で、供試体Aと同諸元の供試体を供試体Bの製造メーカーが作製し（供試体A'）、Case1およびCase4と同実験を実施した（Case5、Case6）。

(3) 荷重装置および荷重条件

本実験では、鉛直荷重（圧縮最大 20MN、引張最大 2MN、鉛直ストローク最大 500mm）と水平荷重（最大 ± 6 MN、水平ストローク最大 ± 600 mm）を同時に載荷することが可能な 2 軸試験機を用い、軸力の載荷速度を 1mm/sec、水平力の載荷速度を 10mm/sec と設定して実験を行った。実験供試体のセットアップの状況を写真-1に示す。



写真-1 実験供試体のセットアップ状況

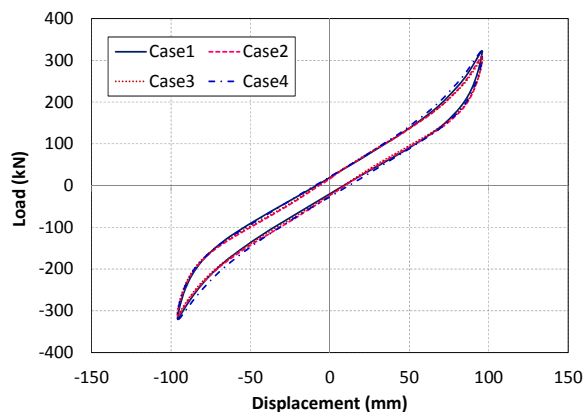
3. 実験結果

(1) 軸応力をパラメータとした場合のゴム支承のせん断特性変化

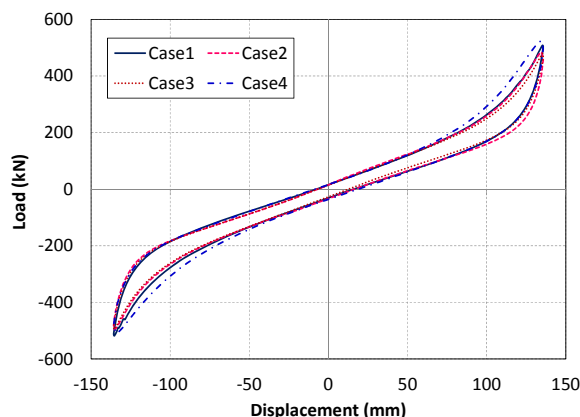
a) 水平荷重-変位履歴の変化

せん断ひずみ 175%、250%、300%載荷時の Case1～Case4 の水平荷重-変位履歴を図-2 に示す。せん断ひずみ 175%と 250%の載荷では、それぞれ 10 回ずつ繰り返し載荷を行っているが、ここでは荷重-変位履歴をケースごとに比較しやすくするため、バージン効果が見られる 1 回目の履歴を除き、2 回目から 10 回目の履歴を平均化したもので示している。

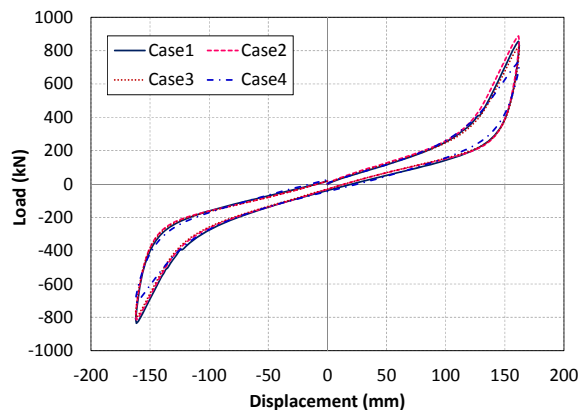
まず、せん断ひずみ 175%載荷時の結果をみると、軸応力が変化しても水平荷重-変位の変化はほとんどみられていない。一方、せん断ひずみ 250%載荷では、Case1、Case2、Case3 の履歴においてはほとんど変化がみられていないが、Case4 の履歴においては他のケースに比べ、せん断変位約 60mm（せん断ひずみ 111%）から履歴がやや膨らんでいく現象がみられた。これは、ゴム支承が 2MPa の引張応力を受けながらせん断変形することで、ゴム自体の変形が大きく変わったことが原因であると考えられる。すなわち、ゴム支承に作用する軸応力の変化により、ゴム支承の変形が変わったことによるものと考えられるが、各ケースのせん断ひずみ 250%載荷時の変形様子を比較してみると、Case4 ではゴム支承が鉛直方向に大きく伸びた状態でせん断変形し、8 回目以降の載



(a) 175%載荷時の荷重-変位履歴



(b) 250%載荷時の荷重-変位履歴



(c) 300%載荷時の荷重-変位履歴

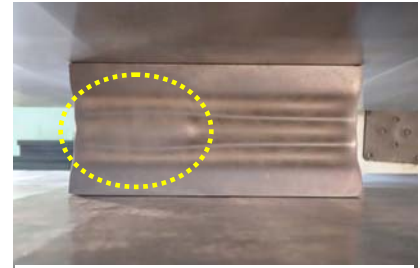
図-2 実験供試体の水平荷重-変位履歴



(a) 250%載荷時の様子 (Case1)



(b) 250%載荷時の様子 (Case4)



(c) 250%載荷後の様子 (Case4)

写真-2 Case1 と Case4 の引張せん断実験時の供試体の様子

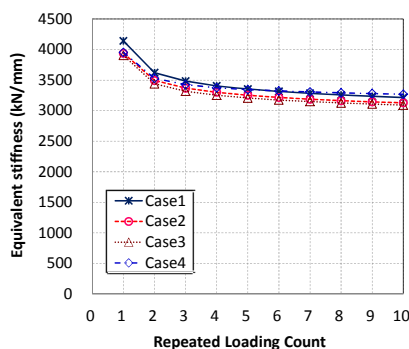
荷からは内部鋼板が上下方向に変形していることが確認された(写真-2)。このように、ゴム支承が引張力を受けた状態でせん断ひずみ 250%程度せん断変形していくと、ゴムが鋼板から剥がれてやわらかくなった状態でせん断変形を行い、それによりゴムの内部摩擦が徐々に増加していたことが考えられる。しかし、せん断ひずみ 250%10 回の載荷が終わるまで外観上ゴムに亀裂が入るなどの損傷はみられなかった。

また、せん断ひずみ 300%載荷時の履歴を比較してみると、Case1, Case2, Case3 ではせん断ひずみ 250%載荷時と同様に履歴の変化がほとんどみられていないが、Case4 ではせん断変位約 140mm (せん断ひずみ約 260%) 付近から荷重が低下する傾向を示しており、せん断ひずみが 250%を超えると引張の影響がみられた。

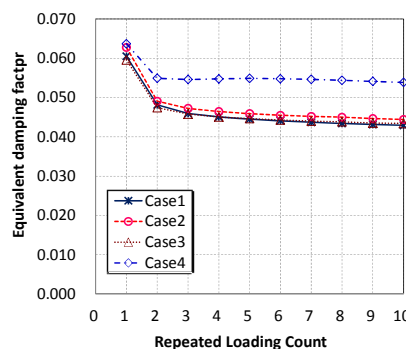
せん断ひずみ 250%まではゴム支承が弾性範囲にとどまっていると考えられるため、ゴム分子間の亀裂が少なく、耐力力の増加範囲であったが、せん断ひずみが 300%に到達した時点ではゴム分子間の結合が切れ出して弾性を失いつつある現象となっているため、耐力力が低下したと考えられる。

b) せん断ひずみ 175%載荷時の等価剛性および等価減衰定数の変化

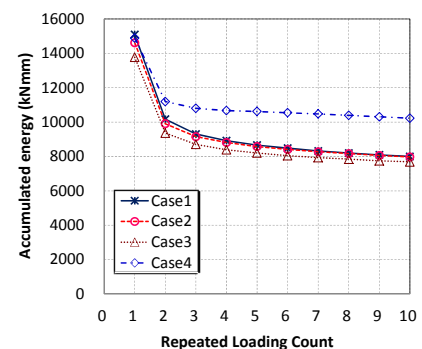
図-3 は、各ケースにおいてせん断ひずみ 175%を 10 回繰り返し載荷した結果から、等価剛性、等価減衰定数、履歴吸収エネルギーを載荷回数ごとにプロットしたものである。等価剛性は、最大水平耐力が生じたときの点と減点を結ぶ勾配として評価し、+側と-側の平均値で算定した。等価減衰定数は、道路橋支承便覧⁹⁾に基づき、式



(a) 等価剛性

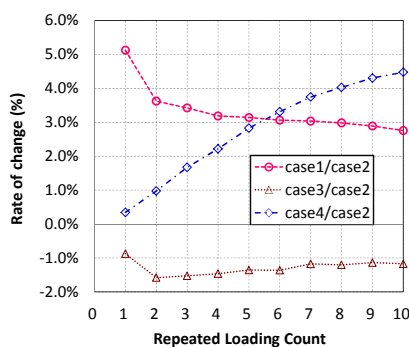


(b) 等価減衰定数

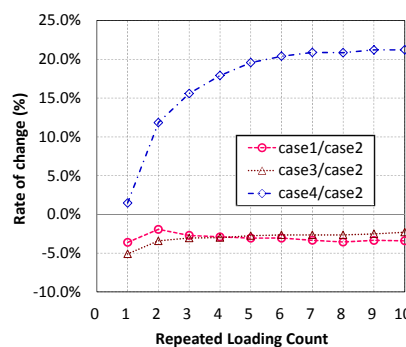


(c) 履歴吸収エネルギー

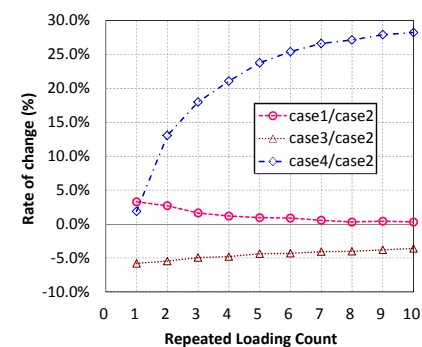
図-3 等価剛性、等価減衰定数、履歴吸収エネルギーの変化 (せん断ひずみ 175%)



(a) 等価剛性



(b) 等価減衰定数



(c) 履歴吸収エネルギー

図-4 等価剛性、等価減衰定数、履歴吸収エネルギーの Case2 に対する変化率 (せん断ひずみ 175%)

(2)を用いて算出した。

$$h_B = \frac{\Delta W}{2\pi W} \quad (2)$$

ここに、 W ：ゴム支承の弾性エネルギー

ΔW ：ゴム支承が吸収するエネルギーの合計

また、図-4は、等価剛性、等価減衰定数、履歴吸収エネルギーを軸応力を0にしたCase2に対する変化率を載荷回数ごとに求めたものである。

まず、等価剛性については、図-3 より、すべてのケースにおいて、初期載荷時のバースン効果により 1, 2 回目の載荷時に等価剛性が高くなるが、その後は等価剛性が徐々に低下していく傾向を示していることがわかる。等価剛性の変化をケースごとに比較してみると、ゴム支承に圧縮応力を 6MPa 載荷した Case1 では他のケースに比べやや高く評価されており、軸応力が 0 である Case2 に比べ約 3%程度大きい。一方、引張応力-1MPa を載荷した Case3 では Case2 に比べ等価剛性が 1%程度低下しており、軸応力による影響はほとんどないといえる。引張応力-2MPa 載荷した Case4 では Case2 に対する等価剛性の変化率が繰り返し載荷回数が増えるにつれて徐々に上

昇することが確認された。

また、等価減衰定数についても、等価剛性と同様にすべてのケースにおいて、初期載荷時のバースン効果により 1, 2 回目の載荷では履歴が膨らむ形となり等価減衰定数が高くなるが、その後は等価減衰定数が徐々に低下し、3, 4 回目の載荷からはほとんど変化がみられていない。等価減衰定数をケースごとに比較してみると、Case1, Case2, Case3 では 0.045~0.05 程度の等価減衰定数が得られているが、引張応力-2MPa を載荷した Case4 では繰り返し載荷回数が増えていくにつれ等価減衰定数が徐々に増加し、Case2 に比べて 21%程度大きくなることが確認された。これは、実験供試体のばらつきも一因と考えられるが、上述のとおり Case4 ではゴム支承が 2MPa の引張応力を受けながらせん断変形することで、ゴム自体の変形が大きく変わったことが原因であると考えられる。このような結果は履歴吸収エネルギーにおいても同様に現れており、Case2 に比べて Case4 の履歴吸収エネルギーが最大 28%程度大きく評価される結果となった。

以上のようにせん断ひずみ 175%載荷時においては、Case1, Case2, Case3 まではゴム支承のせん断特性に大きな差異は見られなかったが、引張応力-2MPa を与えた

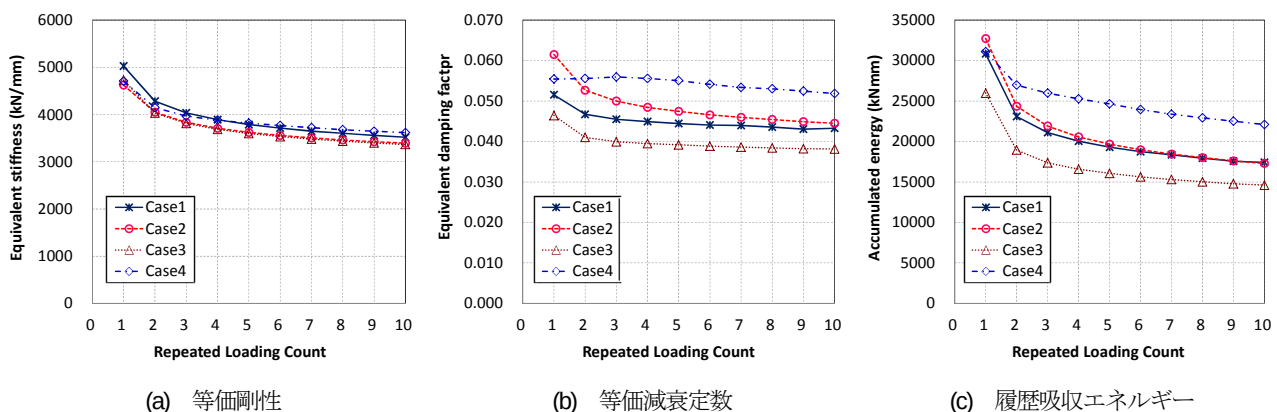


図-5 等価剛性、等価減衰定数、履歴吸収エネルギーの変化（せん断ひずみ 250%）

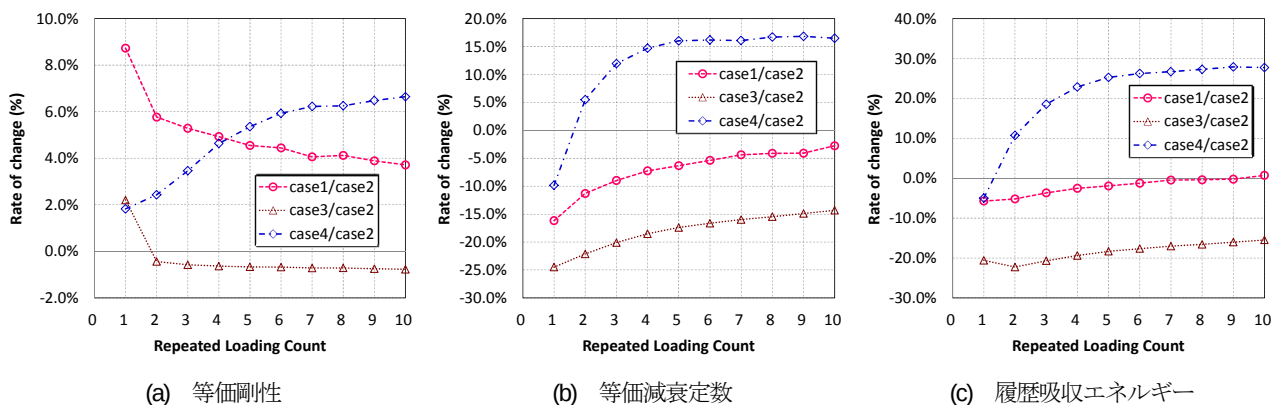


図-6 等価剛性、等価減衰定数、履歴吸収エネルギーの Case2 に対する変化率（せん断ひずみ 250%）

Case4 ではゴム支承のせん断特性が変化しており、軸応力の変化による影響が確認された。

c) せん断ひずみ 250%載荷時の等価剛性および等価減衰定数の変化

図-5は、各ケースにおいてせん断ひずみ 175%を 10 回繰り返し載荷した結果から、等価剛性、等価減衰定数、履歴吸収エネルギーを載荷回数ごとにプロットしたものである。これらの算定方法は、a)にて述べたせん断ひずみ 175%時の算定方法と同じである。また、図-6 には、等価剛性、等価減衰定数、履歴吸収エネルギーを軸応力を 0 にした Case2 に対する変化率を載荷回数ごとに示す。

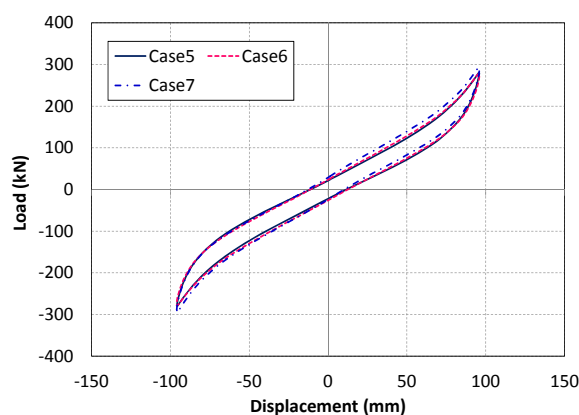
まず、等価剛性については、せん断ひずみ 175%時の等価剛性と同様に、すべてのケースにおいて初期載荷時のバージン効果により、1, 2 回目の載荷時に等価剛性が高くなるが、その後は等価剛性が徐々に低下してくる傾向を示した。等価剛性の変化をケースごとに比較してみると、ゴム支承に圧縮応力を 6MPa 載荷した Case1 では、Case2, Case3 に比べ等価剛性がやや高く評価されたが、Case4 と比較してみると繰り返し載荷回数 5 回以降からは Case4 の値が徐々に大きくなっていることがわかった。Case2 に対する等価剛性の変化率をみると、Case1 の場合 4~6%、Case3 の場合-0.5%、Case4 の場合最大 6.6%であり、圧縮、引張ともに軸応力が大きくなると等価剛性が大きくなることがわかった。

等価減衰定数においても、等価剛性と同様にすべてのケースにおいて、初期載荷時のバージン効果により、1, 2 回目の載荷では履歴が膨らむ形となり等価減衰定数が高くなるが、その後は等価減衰定数が徐々に低下し、3, 4 回目の載荷からはほとんど変化がみられていない。等価減衰定数をケースごとに比較してみると、圧縮応力 6MPa を与えた Case1 では 0.045 程度の等価減衰定数が得られているが、引張応力-1MPa を与えた Case3 では 0.040 程度と Case2 に比べ 15%~20%程度低く、引張応力-2MPa を載荷した Case4 では 0.055 程度と Case2 に比べ 16%程度大きくなっており、せん断ひずみ 250%時には引張応力の加減によって減衰定数の変化が大きいことがわかった。引張応力-1MPa を与えた Case3 では切片荷重が小さく、全体的に履歴面積が小さかったことと、上述のとおり引張応力-2MPa を与えた Case4 ではゴムが大きく変形していたため、その変形に伴い内部摩擦が増加し、履歴形状が膨らんでいったことが原因として考えられる。このような傾向は、図-6(c)の履歴吸収エネルギーにおいても同様であることが確認できる。

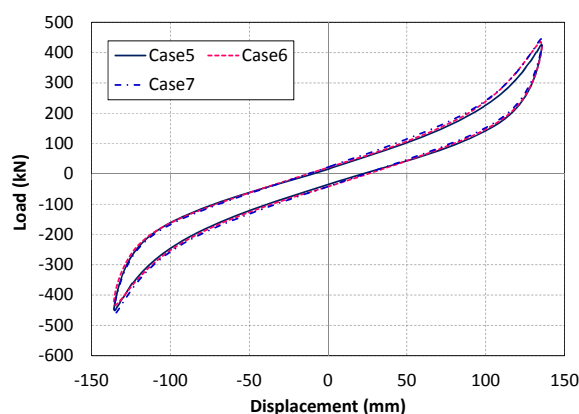
(2) 一次形状係数の違いによる影響

a) 水平荷重-変位履歴の変化

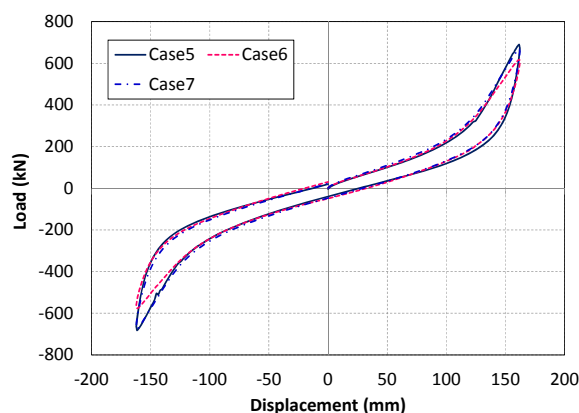
Case5, Case6, Case7 のせん断ひずみ 175%, せん断ひずみ 250%, せん断ひずみ 300%載荷時の荷重-変位履歴



(a) 175%載荷時の荷重-変位履歴



(b) 250%載荷時の荷重-変位履歴



(c) 300%載荷時の荷重-変位履歴

図-7 水平荷重-変位履歴の比較 (Case5, Case6, Case7)

を図-7 に示す。履歴形状の変化について着目してみると、せん断ひずみ 175%載荷では Case7 の履歴形状が少し大きくなるもののほとんど変化はみられなかった。またせん断ひずみ 250%載荷では引張応力-2MPa を与えた Case6 と Case7 において履歴形状が少し大きくなるものの、全体を通して履歴形状の変化はほとんどみられていない。一方、せん断ひずみ 300%載荷では、一次形状係数が 5.56 である Case6 において、せん断変位 135mm (せん断ひずみ 250%) を超えてから水平耐力が低下していき、これに伴い履歴形状も変化し、等価剛性や等価減衰

定数，履歴吸収エネルギーも変わる結果となった。
Case6 において水平耐力が低下したのは，せん断ひずみが 250%を超えてからは内部鋼板の変状を伴いゴム支承が大きく変状したためである。一方，一次形状係数が 11.11 である Case7 においては，履歴形状が Case5 とほとんど変わっておらず，耐力の低下もみられていない。これはゴムの 1 層厚が小さいため，引張を受ける際ゴムに大きな変状が生じないためである。写真-3 に Case7 のせん断ひずみ 250% 載荷時の様子と，Case6 と Case7 のせん断ひずみ 300% 載荷後の供試体の様子を示しており，一次形状係数が低い Case6 では内部鋼板の変状を伴うせん断変形を行っていたが，Case7 ではゴムが鉛直方向に延

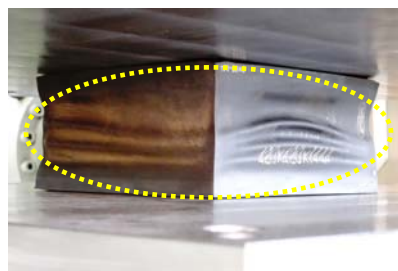
びているものの内部鋼板の変状等はみられていないことがわかる。これらの結果より，せん断ひずみ 250%までは一次形状係数による影響はみられなかったが，せん断ひずみが 250%を超えると一次形状係数による影響が表れることがわかった。

b) せん断ひずみ 175% 載荷時の等価剛性および等価減衰定数の変化

図-8 は，Case5，Case6，Case7 においてせん断ひずみ 175%を 10 回繰り返して載荷した結果から，等価剛性，等価減衰定数，履歴吸収エネルギーを載荷回数ごとにプロットしたものである。これらの算定方法は，(1)にて述べた算定方法と同じである。また，図-9 には，Case6



(a) 250% 載荷時の様子 (Case7)

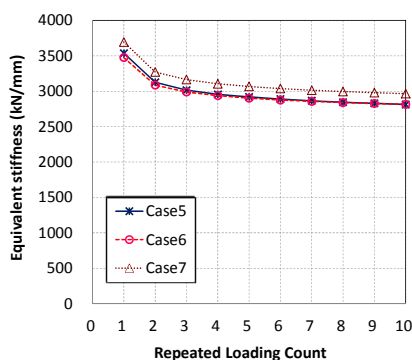


(b) 300% 載荷後の様子 (Case6)

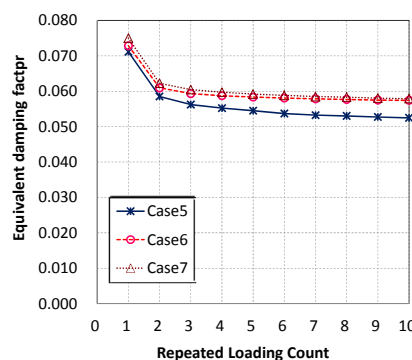


(c) 300% 載荷後の様子 (Case7)

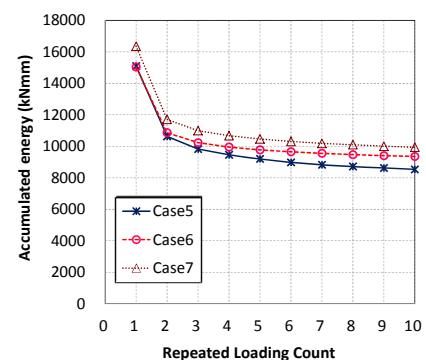
写真-3 Case6 と Case7 の引張せん断実験時の供試体の様子



(a) 等価剛性

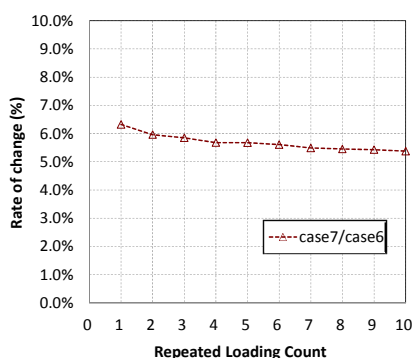


(b) 等価減衰定数

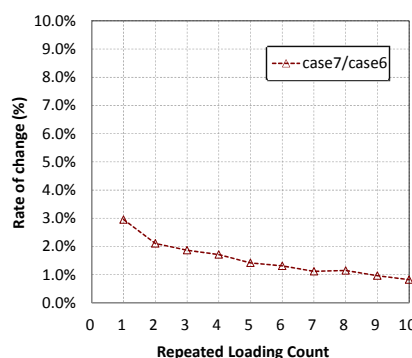


(c) 履歴吸収エネルギー

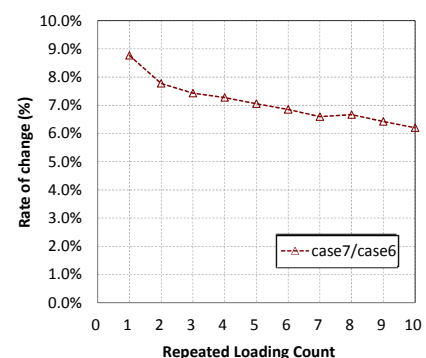
図-8 等価剛性，等価減衰定数，履歴吸収エネルギーの変化（せん断ひずみ 175%）



(a) 等価剛性



(b) 等価減衰定数



(c) 履歴吸収エネルギー

図-9 等価剛性，等価減衰定数，履歴吸収エネルギーの Case6 に対する変化率（せん断ひずみ 175%）

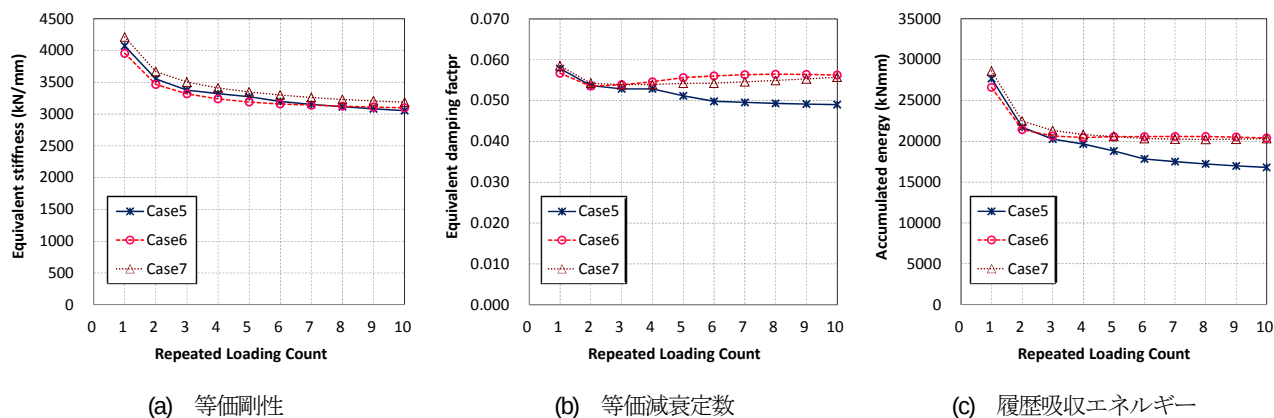


図-10 等価剛性，等価減衰定数，履歴吸収エネルギーの変化（せん断ひずみ 250%）

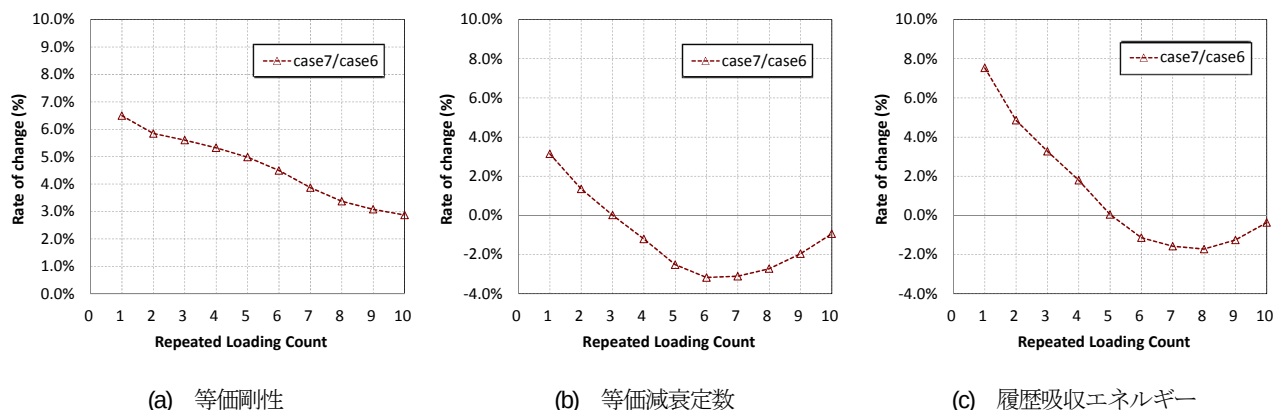


図-11 等価剛性，等価減衰定数，履歴吸収エネルギーの Case6 に対する変化率（せん断ひずみ 250%）

（一次形状係数 $S_I=5.56$ ）に対する Case7（一次形状係数 $S_I=11.11$ ）の等価剛性，等価減衰定数，履歴吸収エネルギーの変化率を载荷回数ごとに示す。

まず，等価剛性については，Case5 と Case6 でほとんど差がみられていないが，Case7 では Case6 より約 5.5% 大きくなっていることがわかる。また，等価減衰定数については，引張応力による影響で Case5 より Case6 の値が 7~9% 程度大きくなっているが，Case6 と Case7 の相違は 1~2% 程度とそれほど大きくない。一方，履歴吸収エネルギーは Case6 より Case7 の方で 6~7.5% 程度大きくなる結果となった。

c) せん断ひずみ 250% 载荷時の等価剛性および等価減衰定数の変化

図-10 は，Case5，Case6，Case7 においてせん断ひずみ 250% を 10 回繰り返し载荷した結果から，等価剛性，等価減衰定数，履歴吸収エネルギーを载荷回数ごとにプロットしたものである。これらの算定方法は，これまでと同じである。また，図-10 には，Case6（一次形状係数 $S_I=5.56$ ）に対する Case7（一次形状係数 $S_I=11.11$ ）の等価剛性，等価減衰定数，履歴吸収エネルギーの変化率を载荷回数ごとに示す。

まず，等価剛性については，引張の影響で Case5 より Case6 の値がやや小さく評価されていることが確認できる。また Case6 と Case7 の比較では，1，2 回目の载荷結

果を除き，Case7 が 3~5.5% 程度大きくっており，せん断ひずみ 175% 時と同様に 1 次形状係数が大きい供試体の等価剛性が大きく評価されることがわかった。しかし，図-11(a) に示すように繰り返し载荷回数が増えるにつれてその変化率は小さくなっており，一次形状係数が大きい供試体の場合，引張応力下のせん断ひずみ 250% 領域では繰り返し载荷による剛性変化が大きいことが確認された。一方，等価減衰定数，履歴吸収エネルギーについては，Case7 より Case6 の値が徐々に大きくなっていく傾向にあることがわかる。これは，一次形状係数が小さい供試体の場合，引張応力下でせん断ひずみ 250% を繰り返し受けると，ゴムが徐々に大きく変形していき，その変形に伴い内部摩擦が増加し，履歴形状が膨らんでいったことが原因として考えられる。

4. まとめ

本研究では，ゴム支承の引張せん断特性を把握することを目的とし，積層ゴム支承（RB）に対し軸応力をパラメータとし，一次形状係数の異なる 2 種類のゴム支承を用いてせん断ひずみを 175%，250%，300% を与えた繰り返し载荷実験を実施した。本実験により得られた知見を以下にまとめる。

せん断ひずみ175%の荷重では、軸応力の変化によるゴム支承の荷重-変位履歴に変化はほとんどみられておらず、軸応力の影響はみられなかったが、せん断ひずみ250%と300%の荷重では、引張応力-2MPaを与えた場合ゴム支承が鉛直方向に大きく伸びた状態でせん断変形し、内部鋼板が上下方向に変形していることが確認された。これに伴いゴム支承のせん断特性が変わる結果となった。

また、一次形状係数の違いによる影響については、せん断ひずみ 175%程度のせん断変形であれば引張応力下でのせん断特性がそれほど大きく変化しないが、せん断ひずみ 250%以上の領域ではゴム支承が一次形状係数の変化による影響を受けやすいことがわかった。一次形状係数が小さい供試体の場合、ゴムの変状に伴い水平耐力や等価剛性が低下する結果となり、引張応力下においてはゴム支承の一次形状係数の影響は大きいことが確認された。また、一次形状係数の小さいゴム支承においては、ゴム支承が引張力を受けた状態で水平力が作用する場合、限界状態に対する余裕が少ないことが分かった。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 15K18107 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書，1995.
- 2) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2012.
- 3) 植田健介，星隈順一，岡田太賀雄，堺淳一：鉛プラグ入り積層ゴムの引張特性に関する研究，土木学会第65回年次学術講演会，pp.65-66，2010.
- 4) 崔準祐，岩本周哲，植田健介：ゴム支承の引張特性試験に基づく解析モデルを用いた橋梁全体系解析によるゴム支承の地震時挙動特性とコンパクト化について，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.71，No.4（地震工学論文集第34巻），pp.I_650-I_658，2015.
- 5) 村田宣幸：東北地方太平洋沖地震に伴うゴム支承の応急復旧 - 仙台北部道路利府高架橋 -，プレストレストコンクリート工学会第21回シンポジウム論文集，2012.
- 6) 公益社団法人土木学会：平成28年（2016年）熊本地震 地震被害調査結果速報会 ホームページ掲載資料，ホームページ： <http://committees.jsce.or.jp/eec2/node/76>
- 7) 日本工業標準調査会：道路橋免震用ゴム支承に用いる積層ゴム試験方法，JIS K 6411，2012.
- 8) (社)日本道路協会：道路橋支承便覧，2004.

AN EXPERIMENTAL STUDY ON EVALUATION OF SHEAR PROPERTIES OF RUBBER BEARINGS WITH AXIAL STRESS PARAMETERS

Joon-Ho CHOI, Nobuhiko HARA, Takashi IMAI, Kensuke UEDA and Hyunwoo SUNG

Couple of rubber bearings on highway bridges were damaged by 2011 Tohoku Pacific Offshore Earthquake and 2016 Kumamoto Earthquake. Even though the seismic design method using the rubber bearings has been widely used since 1995 Kobe Earthquake, the vertical and shear properties of the rubber bearing has not been identified due to lack of related experimental studies. In this study, in order to investigate the shear behavior and shear properties of Rubber Bearings (RB) subjected to tensile force, cyclic loading tests using 4 test specimens of RB were conducted. To evaluate the shear properties of RB, here in, the tests varied with axial stress were carried out. Furthermore, to evaluate the influence of the primary shape factor (S_1) which was defined in the design code of bearing support on the shear properties of RB, the cyclic loading tests using a different specimen of S_1 .