

せん断力を受ける橋梁用積層ゴム支承の 限界状態を設定する方法の検討

余野 智哉¹・今井 隆²・久慈 茂樹³・澤田 守⁴・大住 道生⁵

¹正会員 （国研）土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 交流研究員
（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

²正会員 工修 ゴム支承協会 （〒107-0051 東京都港区元赤坂1-5-26）

³正会員 ゴム支承協会 （〒107-0051 東京都港区元赤坂1-5-26）

⁴正会員 工修 （国研）土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 主任研究員
（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

⁵正会員 工修 （国研）土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員
（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

1. はじめに

平成 29 年の道路橋示方書¹⁾では、橋の性能のひとつに耐荷性能が位置づけられ、限界状態設計法、部分係数法が導入された。支承部においても限界状態を明らかにし、限界状態を超えないことを照査するための特性値や制限値を設定することが求められる。

しかし、支承においては、鋼材やゴム材料などの材料ごとの限界状態では支承としての限界状態を代表させることはできず、材料を組み合わせた支承としての限界状態を把握する必要がある。道路橋示方書には、限界状態の設定にあたっては、支承に求められる荷重伝達、変位追従などの機能が失われる状態が明らかであり、その状態に至らないとみなせる安全性が確保できること、地震による繰返し作用に対して強度の低下が生じず安定して挙動すること等の力学的特性が実験により明らかである範囲を考慮して行わなければならないこと及び支承の荷重と変位の関係、減衰特性等の力学的特性を評価する方法が明らかである範囲を考慮して行わなければならないことが示されているが、ゴム支承に対しては、これらの要求事項を検証するための実験による力学的特性に基づく指標や閾値に関する研究データが十分でないのが現状であった。

そこで、本研究ではゴム支承の中でも、地震時水平力分散型ゴム支承や免震支承などの弾性支持型の積層ゴム支承に着目し、（国研）土木研究所と国内

支承メーカー⁹社との共同研究において、せん断力を受ける積層ゴム支承の力学特性に関する実験を行い、せん断力を受ける積層ゴム支承の限界状態を超えないと見なせる点（以下「限界状態」という）を設定するための検討を行った。

つぎに、支承部にはせん断力と同時に鉛直力（圧縮力または引張力）が作用するため、前述の実験からの考察を基に、別途、せん断力及び鉛直力が作用した場合の力学特性に関する実験を行い、せん断力及び鉛直力を受ける積層ゴム支承の限界状態を設定するための検討も行った。本稿では、それらの結果の主な内容を報告する。

2. せん断力を受ける積層ゴム支承の力学特性 に関する試験と限界状態の考察

(1) 供試体諸元

供試体は、道路橋で使用される積層ゴム支承のデータを広く取得することを目的として、国内支承メーカー⁹社の製品で、一般的な弾性支持型の積層ゴム支承126体（表-1）とした。供試体の選定にあたっては、支承平面寸法、座屈荷重や水平剛性に影響する支承本体のゴムの総厚に対する支承の短辺の比である二次形状係数のばらつき等を考慮し、実際に使用される範囲をできるだけ網羅できる条件とした。図-1に支承一辺の寸法と二次形状係数の関係を示す。供試体のせん断弾性係数(G_e)は、一般的な支承に用いられるゴム材料のうち、破断ひずみが平均的に最

表-1 供試体諸元

平面寸法		ゴム厚			鉛プラグ		一次	二次	供試 体数 - (体)
a × b (mm)	1層厚 te (mm)	層数 n (層)	総厚 Σte (mm)	本数 m (本)	直径 φ (mm)	形状係数 ³⁾ S1 (-)	形状係数 ³⁾ S2 (-)		
地震時水平力分散型ゴム支承									
240 × 240	7	5	35	—	—	8.57	6.86	8	
	7	8	56			8.57	4.29	7	
	7	10	70			8.57	3.43	7	
	10	3	30			6.00	8.00	2	
	10	4	40			6.00	6.00	3	
	10	5	50			6.00	4.80	2	
	10	6	60			6.00	4.00	3	
	10	7	70			6.00	3.43	2	
	10	8	80			6.00	3.00	3	
	10	9	90			6.00	2.67	2	
400 × 400	10	10	100	6.00	2.40	3			
	11	5	55	5.45	4.36	8			
	12	5	60	8.33	6.67	1			
	18	5	90	5.56	4.44	1			
600 × 600	16	6	96	6.25	4.17	1			
	18	5	90	8.33	6.67	1			
一次形状係数範囲：5.45～8.57 二次形状係数範囲：2.40～8.00						合計＝		54	
免震支承【鉛プラグ入り積層ゴム支承】									
240 × 240	7	5	35	4	φ34.5	8.01	6.86	8	
	7	5	35	1	φ70	8.00	6.86	1	
	7	8	56	4	φ34.5	8.01	4.29	8	
	7	10	70	4	φ34.5	8.01	3.43	8	
	11	5	55	4	φ34.5	5.10	4.36	7	
	11	5	55	1	φ70	5.09	4.36	1	
400 × 400	9	10	90	1	φ115	10.39	4.44	1	
	11	6	66	1	φ115	8.50	6.06	1	
	12	5	60	4	φ57.5	7.79	6.67	1	
	16	6	96	1	φ115	5.84	4.17	1	
600 × 600	18	5	90	4	φ57.5	5.19	4.44	1	
	14	10	140	4	φ85	10.04	4.29	1	
	17	5	85	4	φ85	8.27	7.06	1	
1000 × 1000	22	6	132	4	φ85	6.39	4.55	1	
	29	4	156	4	φ144	5.99	6.41	1	
一次形状係数範囲：5.09～10.39 二次形状係数範囲：3.43～7.06						合計＝		42	
免震支承【高減衰積層ゴム支承】									
240 × 240	7	5	35	—	—	8.57	6.86	5	
	7	8	56			8.57	4.29	4	
	7	10	70			8.57	3.43	4	
	11	5	55			5.45	4.36	5	
400 × 400	16	3	48			6.25	8.33	2	
	16	4	64			6.25	6.25	2	
	16	6	96			6.25	4.17	3	
	16	8	128			6.25	3.13	2	
800 × 800	32	6	192			6.25	4.17	2	
1000 × 1000	29	7	203			8.62	4.93	1	
一次形状係数範囲：5.45～8.62 一次形状係数範囲：3.13～8.33						合計＝		30	

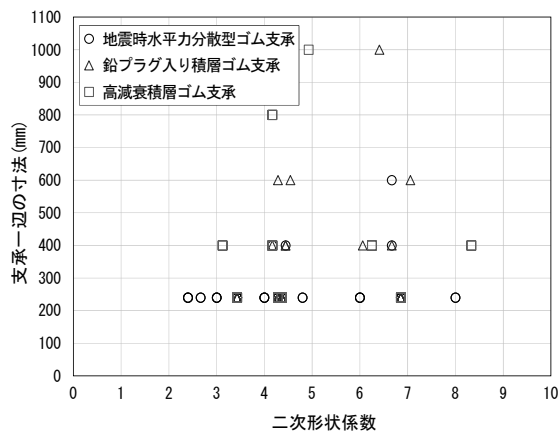


図-1 支承平面寸法と二次形状係数分布

も小さい材料である1.2N/mm²とした。これにより、破断に対する限界状態を考える際、安全側の値が得られることとなる。各支承メーカーの製造方法、品質管理方法等には特に条件を設けずに、従来製造している方法で製作した。

(2) 試験方法

試験は、地震時に繰返しせん断力を受ける積層ゴム支承の力学特性および破断特性を把握するため、

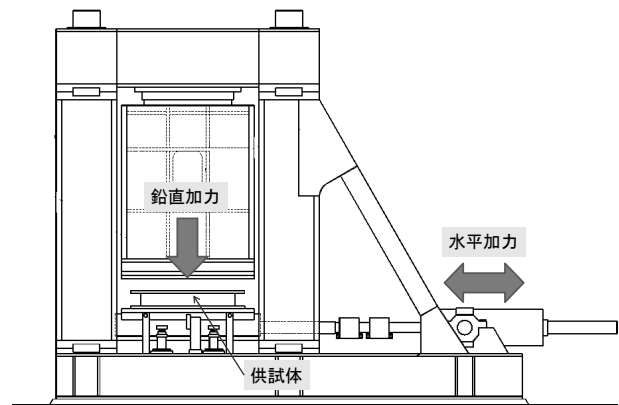


図-2 試験機概要図

表-2 载荷ステップ

载荷 ステップ	せん断 ひずみ	繰返し回数(回)	
		地震時水平力 分散型ゴム支承	鉛プラグ入り積層ゴム支承 高減衰積層ゴム支承
1	175%	3	11
2	250%	6	6
3	300%	2	2
4	破断ひずみ	単調载荷 (破断するまで)	単調载荷 (破断するまで)



図-3 試験状況写真(ステップ4)

鉛直力が载荷された状態で繰返しせん断力を与えられるように、図-2に示すような二軸载荷試験機を用いて行った。载荷条件は、設計死荷重反力相当として圧縮応力度6N/mm²を载荷した状態で、表-2に示す载荷ステップで水平方向に正負交番繰返し変位を与え、最後に図-3に示すような破断に至るまで単調漸増変位を与えた。変位を与える際の速度には特に制限を設けず、各メーカーの試験機の性能による速度で、正負交番繰返し変位を与えた試験では8～10mm/sec、単調漸増変位を与えた試験では2～8mm/secとなっている。载荷方法は、国内で実際に観測された456成分の強震記録による地震応答解析結果²⁾を参考にするとともに、現行設計におけるレベル2地震動に対する許容変位に相当するせん断ひずみ250%を目安として、以下のとおり決定した。

载荷ステップ1では、道路橋支承便覧³⁾に示されて

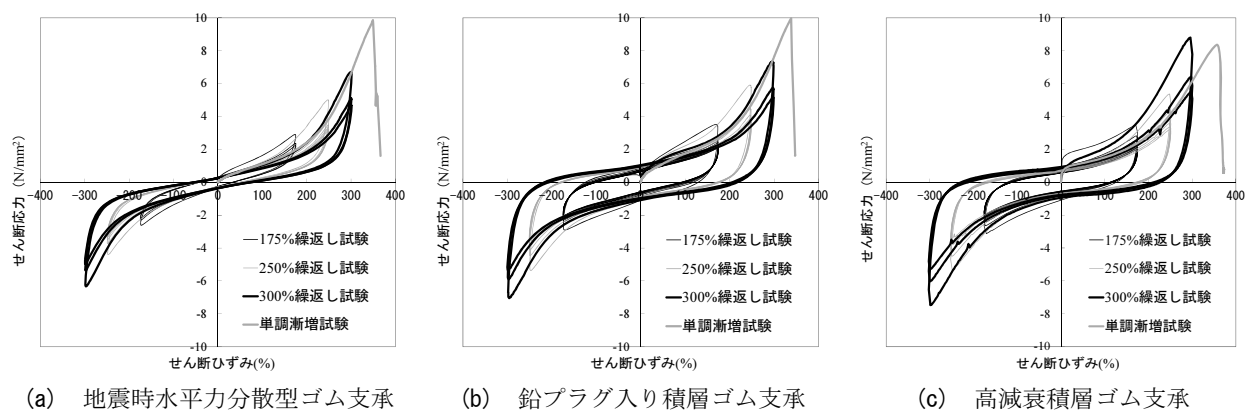


図-4 試験結果履歴の例

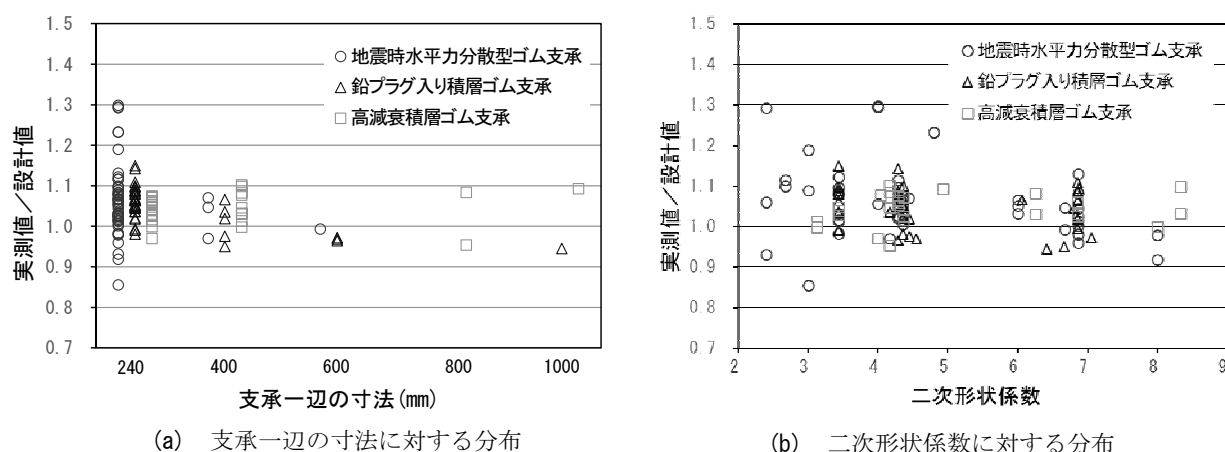


図-5 ステップ1におけるせん断剛性または等価剛性の分布

いる製品検査における水平変位である有効ゴム厚の175%に相当する変位を正負繰返し与えた。繰返し回数は、地震時水平力分散型ゴム支承は、3回程度で履歴が安定する傾向を示す³⁾ため3回とした。免震支承は、繰返し载荷による履歴の変化が大きく、履歴が概ね一定値に落ち着く回数⁴⁾として11回とした。

载荷ステップ2では、レベル2地震動に対する設計上の許容変位に相当するせん断ひずみ250%を正負6回繰返し与えた。繰返し回数については、様々な固有周期の振動系を対象とした地震応答解析による検討結果から、レベル2地震動が作用した橋の応答では、最大振幅に対して5回程度の繰返し回数を考慮していれば安全側に評価できることが明らかになっている²⁾ことから6回とした。

载荷ステップ3では、さらに大きい水平力が作用した際でも、安定して履歴を描く事を検証するために、300%に相当する変位を正負繰返しにより载荷した。繰返し回数は、履歴曲線が閉じる2回とした。

载荷ステップ4では、積層ゴム支承の最大耐力を明らかにするために、単調载荷により破断又は座屈などの耐荷機能が失われる損傷が生じるまでせん断

変位を単調载荷で与えた。但し、試験機能力の制約により、当該損傷が生じるまでの変位を与える事ができなかった供試体もあった。

(3) 試験結果

試験の結果得られた、荷重 - 変位関係の例を図-4に示す。1回目の履歴は初期载荷の影響があり、2回目以降に比べて大きな履歴を描くこと、2回目以降は徐々に変化率が小さくなっていることおよび载荷時のせん断ひずみが大きくなるに従い、荷重 - 変位関係の傾きが大きくなるハードニング現象が生じていることがわかる。

ステップ1の試験結果より得られた、支承平面寸法または二次形状係数に対するせん断剛性または等価剛性（荷重 - 変位関係正負の頂点同士を結んだ傾き）の実測値と設計値の比較を図-5に示す。これらの結果からは、支承平面寸法または二次形状係数とせん断剛性または等価剛性の実測値と設計値の比率（実測値/設計値）との明確な関係は認められなかった。

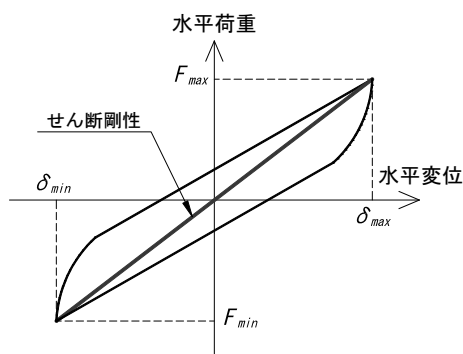


図-6 地震時水平力分散型ゴム
支承の設計履歴モデル

a) 地震時水平力分散型ゴム支承の限界状態

エネルギー吸収を大きく期待しない地震時水平力分散型ゴム支承は、線形履歴でモデル化することが一般的であり、図-6に示す荷重 - 変位関係の正負の頂点同士を結び求めるせん断剛性が用いられる。繰返し水平力が作用すると、履歴が変化し、せん断剛性も同様に变化する。

限界状態1を考慮するうえで重要となる、繰返し作用に対して安定的な履歴となる観点からは、せん断剛性が所定の変化の中に収まる必要があると考えられる。ステップ2の結果によるせん断剛性の变化を図-7に示す。設計履歴モデルとして使用する3回目のせん断剛性に対して、4回目以降の各回のせん断剛性は、二次形状係数が4以上の供試体においては±10%以下の変化に収まっており、繰返し作用に対して安定した履歴挙動に収まっていると考える。

限界状態3に関して、図-8にステップ4までで荷重し、破断または座屈が生じた時点のせん断ひずみと二次形状係数の関係を示す。二次形状係数が4以上の場合には座屈は見られなかった。また、二次形状係数が4以上のものは破断ひずみは概ね300%を超えていた。

地震時水平力分散型ゴム支承は、履歴減衰によるエネルギー吸収を考慮しない部材であるため、限界状態2に対する照査は求められない。

b) 鉛プラグ入り積層ゴム支承の限界状態

免震支承は、弾性応答といえる範囲で荷重 - 変位関係に非線形性を有しており、履歴吸収エネルギーによる減衰性能を発揮する。そのため、橋の時刻歴応答解析において免震支承は図-9に示すような非線形履歴モデルによりモデル化することが一般的である。従って応答の再現性を確保するためには、支承の繰返し作用に対する応答における二次剛性が安

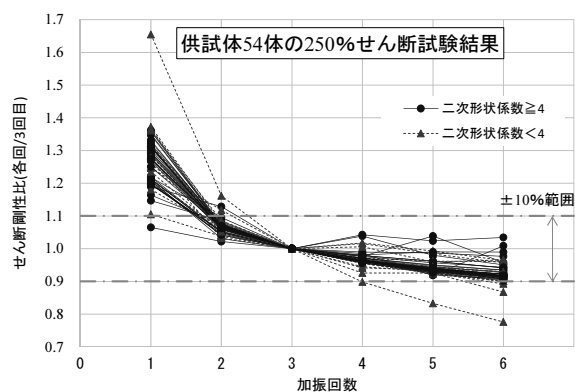


図-7 ステップ2におけるせん断剛性変化

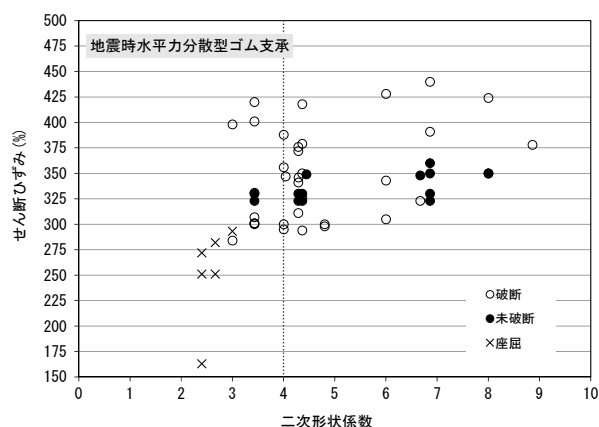


図-8 破断ひずみ分布

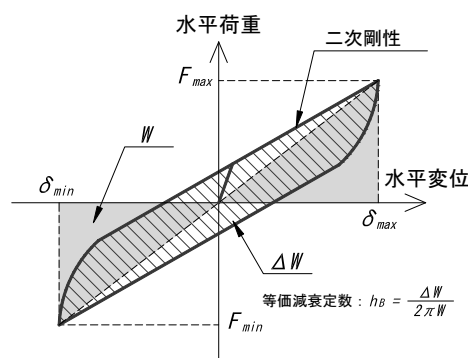


図-9 免震支承の設計履歴モデル

定していることが必要であると考えられる。

ステップ1の結果による二次剛性の変化を図-10に示す。設計における履歴モデルとして使用する5回目の二次剛性に対して、6回目以降の二次剛性は、全ての供試体が±10%以下の変化率となっている。繰返し作用に対して安定した履歴挙動であり、限界状態1を超えない状態であると考えられる。なお、崔ら⁵⁾によると、鉛プラグ入り積層ゴム支承に250%のせん断ひずみを100回繰返し载荷した場合

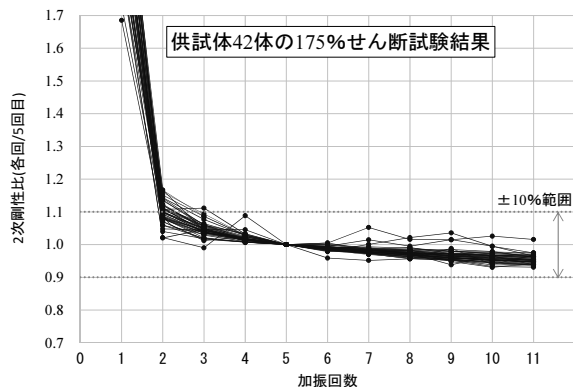


図-10 ステップ 1 における二次剛性変化

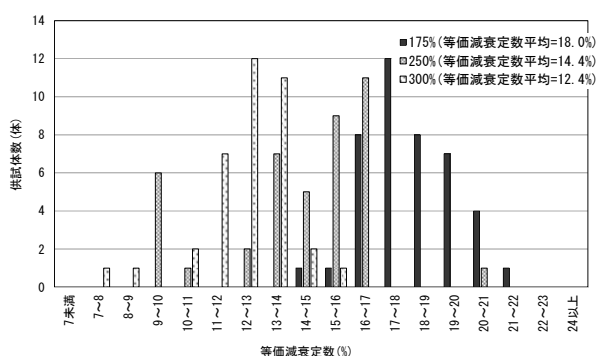


図-11 等価減衰定数分布

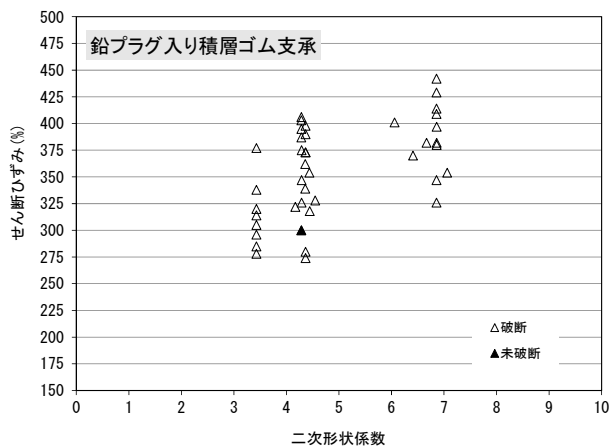


図-12 破断ひずみ分布

には、途中で最大耐力が低下し、履歴が安定しなくなる結果が報告されている。

ステップ 1～3 における等価減衰定数の分布を図-11 に示す。エネルギー吸収を期待する免震支承は、繰返し作用に対し、設計で想定するエネルギー吸収が確保される必要がある。このため、減衰性能の大小を表す目安として用いられている、図-9 の通り定義される等価減衰定数が設計値以上であることが

求められる。せん断ひずみが大きくなるにしたがって、等価減衰定数は減少する傾向となっている。250%せん断ひずみにおいて、設計で用いる値(11%程度)以下となるデータが一部みられるものの概ね設計値以上となっている。この設計値以上となっているものについては、限界状態 2 を超えない範囲にあるといえる。

限界状態 3 に関して、図-12 にステップ 4 まで载荷し、破断または座屈が生じた時点のせん断ひずみと二次形状係数の関係を示す。ステップ 4 までの結果から、座屈が確認された供試体はなかった。また、破断ひずみは、250%を下回るものはなかったが、300%未満の供試体もあった。

c) 高減衰積層ゴム支承の限界状態

前述の通り、免震支承は応答の再現性を確保するためには、支承の繰返し作用に対する応答における二次剛性が安定していることが必要であると考えられる。ステップ 1 の結果による二次剛性の変化を図-13 に示す。5 回目の二次剛性に対して、6 回目以降の二次剛性は、9 割程度の供試体の変化率が±10%以下であり、この変化率に収まった供試体については、繰返し作用に対して安定した履歴挙動となっており、限界状態 1 を超えない状態であると考えられる。また、崔ら⁵⁾によると、高減衰積層ゴム支承に250%のせん断ひずみを 100 回繰返し载荷した場合には、途中で最大耐力が低下し、履歴が安定しなくなる結果が報告されている。

ステップ 1～3 における等価減衰定数の分布を図-14 に示す。せん断ひずみが大きくなるにしたがって、等価減衰定数は減少するが、250%せん断ひずみにおいては、設計で用いる値(13%程度)以上となっており、エネルギー吸収能が想定する範囲内で確保できており、限界状態 2 を超えない範囲と考えることができる。

限界状態 3 に関して、図-15 にステップ 4 まで载荷し、破断または座屈が生じた時点のせん断ひずみと二次形状係数の関係を示す。ステップ 4 までの結果から、座屈が確認された供試体はなかった。また、破断ひずみは、250%を下回るものはなかったが、300%未満の供試体もあった。

3. せん断力及び鉛直力を受ける積層ゴム支承の力学特性に関する試験と限界状態設定の考察

前章の試験結果より得られたせん断力を受ける積

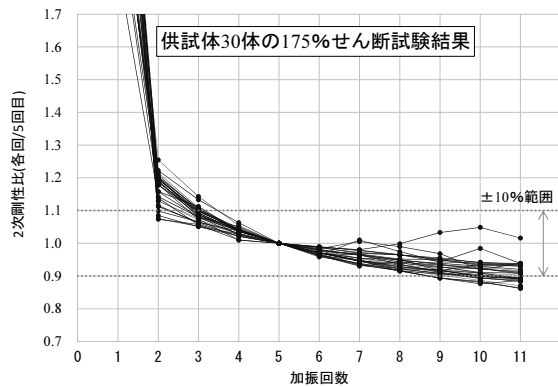


図-13 ステップ1における二次剛性変化

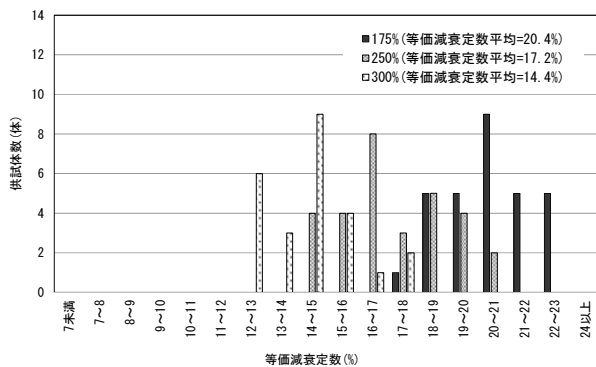


図-14 等価減衰定数分布

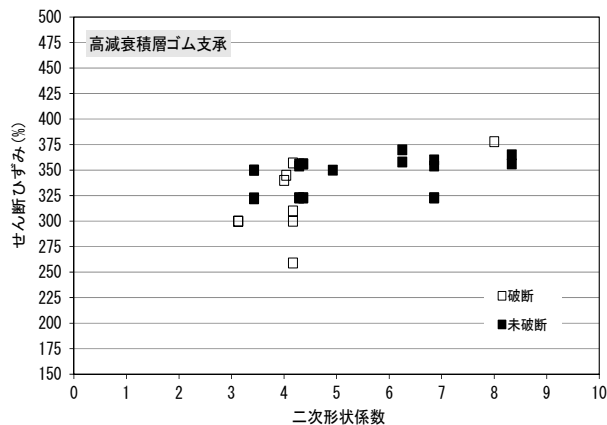


図-15 破断ひずみ分布

層ゴム支承の限界状態に関する考察を基に、支承にせん断力と鉛直圧縮力またはせん断力と鉛直引張力が作用した場合の力学特性に関する試験を行った。

(1) 供試体諸元

供試体形状は、JIS K 6411に規定される No.2 の地震時水平力分散型ゴム支承の標準供試体とし、被覆ゴムを除いた平面寸法は 400×400、ゴム厚は 9mm×6 層、一次形状係数は 11.11、二次形状係数は 7.41 の

表-3 载荷ステップ

载荷 ステップ	圧縮or引張 応力度 (N/mm ²)	せん断 ひずみ (%)	繰返し 回数 (回)
1	6	250	11
2	圧縮の場合	24	250
	引張の場合	1.4	250
3	6	250	11

供試体とした。せん断弾性係数は一般的に使用される 0.8、1.0、1.2、1.4N/mm² の 4 種類とし、それぞれ鉛直圧縮力を受ける試験に用いるものと、鉛直引張力を受ける試験に用いるもので分けた計 8 体とした。

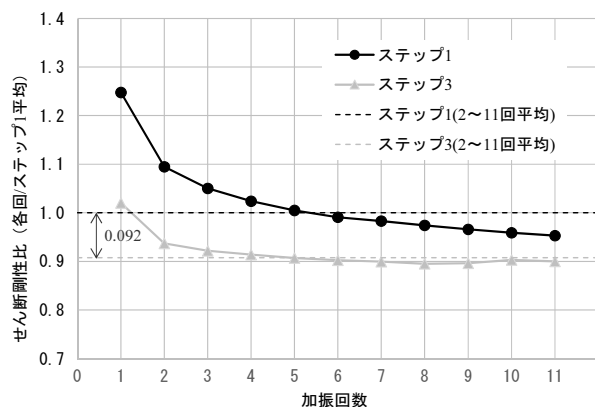
(2) 試験方法

試験は、前章で示した試験と同様の二軸载荷試験機を用いて行った。载荷条件は、表-3 に示すように、ステップ 1 で設計死荷重反力相当として 6N/mm² を载荷した状態で、限界状態 1 に相当する水平変位と考えられるせん断ひずみ 250% を 11 回繰返し与えた。回数については、前章に示した試験と異なる回数としている。これは、前章の一連の試験では、せん断力に対する限界状態 3 を確認するための回数としたものであり、本試験では、国内で実際に観測された 456 成分の強震記録による地震応答解析結果²⁾を参考に、最大応答の 70% に相当する変位を超えた場合の分布より 11 回とした。

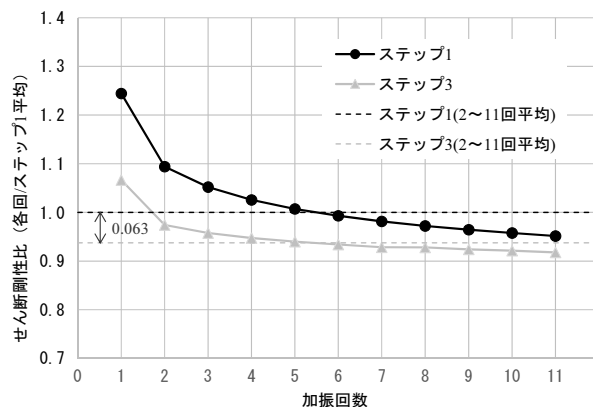
ステップ 2 では、供試体に地震時の鉛直反力が最大となる限界状態に相当する状態とすることを目的として、圧縮応力度 24N/mm² または引張応力度 1.4N/mm² を载荷した状態で、せん断ひずみ 250% を 1 回正負繰返し与えた。この鉛直反力は、250%せん断変形時においては有効面積に対して、圧縮応力度は 36N/mm²、引張応力度は 2.1N/mm² となり、圧縮側、引張側それぞれ設計で想定される最大の鉛直反力と考えられる。

ステップ 3 では、ステップ 1 と同じ载荷条件とした。これによりステップ 2 における鉛直反力による経験を受ける前後の履歴が求められ、ステップ 1 でせん断剛性が安定していること、ステップ 3 で、せん断剛性の安定していること、ステップ 3 による結果が、ステップ 1 と比較して復元性を有していることを確認することで、ステップ 2 でも可逆性を失っていないと考えることができる。

変位を与える際の速度は、道路橋支承便覧では周期 2 秒に相当する速度が標準とされているが、試験機の制約から、ステップ 1 及びステップ 3 では 6.4mm/sec、ステップ 2 では 3.2mm/sec としている。



(a) 鉛直圧縮力を与えた場合



(b) 鉛直引張力を与えた場合

図-16 せん断剛性変化 (G8)

表-4 せん断剛性変化率 (2~11 回平均/各回)

鉛直力	せん断弾性係数 (N/mm ²)	載荷 ステップ	2~11回目平均に対するせん断剛性比											平均比 ※
			1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	11回目	
圧縮力	0.8	1	-	-	1.05	1.02	1.00	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95	-
		3	-	-	1.02	1.01	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.91
	1	1	-	-	1.06	1.03	1.01	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	-
		3	-	-	1.02	1.01	1.01	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.91
	1.2	1	-	-	1.08	1.04	1.01	0.99	0.97	0.95	0.94	0.93	0.92	-
		3	-	-	1.05	1.03	1.01	1.00	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.93
	1.4	1	-	-	1.09	1.04	1.01	0.99	0.97	0.95	0.94	0.93	0.92	-
		3	-	-	1.05	1.03	1.01	1.00	0.98	0.97	0.96	0.95	0.95	0.93
引張力	0.8	1	-	-	1.05	1.03	1.01	0.99	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	-
		3	-	-	1.02	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.94
	1	1	-	-	1.06	1.03	1.01	0.99	0.98	0.96	0.96	0.95	0.94	-
		3	-	-	1.02	1.01	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.94
	1.2	1	-	-	1.08	1.05	1.01	0.99	0.97	0.95	0.94	0.93	0.92	-
		3	-	-	1.05	1.03	1.01	1.00	0.99	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95
	1.4	1	-	-	1.09	1.04	1.01	0.99	0.97	0.95	0.94	0.93	0.92	-
		3	-	-	1.05	1.03	1.01	0.99	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.94

※ ステップ1に対するステップ3の2~11回平均せん断剛性の比

(3) 試験結果

実施した試験のうち、せん断弾性係数 0.8N/mm^2 のステップ1（鉛直力を与える前）とステップ3（鉛直力を与えた後）におけるせん断剛性の変化を図-16に示す。ステップ1の初期載荷の影響を考慮し、ステップ1の1回目を除いた2~11回目のせん断剛性の平均に対しての変化率を示している。前章の試験では、3回目のせん断剛性に対する変化率で整理しており、この点が異なっている。これは地震時水平力分散型ゴム支承のせん断剛性が3回目で安定すると考えられている³⁾ものの、多少のばらつきを有するため、安定したせん断剛性との差異を確認するために、2~11回のせん断剛性の平均で整理したものである。ステップ1、ステップ3ともに設計履歴モデルとして使用する3回目以降のせん断剛性の変化率は、2~11回目の平均値に対して $\pm 10\%$ 以内であり、せん断力に対して安定しており、鉛直圧縮力または鉛

直引張力の影響を考慮しても安定した履歴であると考えられる。加えて、ステップ1とステップ3の2~11回目の平均せん断剛性を比較すると、これも $\pm 10\%$ 以内となっており、可逆性を有している範囲であると考えられる。また、表-4に、全ての供試体のせん断剛性の変化を示す。こちらもせん断弾性係数 0.8N/mm^2 と同様の結果となっており、限界状態1の範囲を超えない結果であったと考えられる。

4. まとめ

繰返しせん断力を受ける積層ゴム支承、せん断力及び鉛直力を受ける積層ゴム支承について、近年、一般的に製造されている方法で製造された様々な諸元の積層ゴム支承を用いて、限界状態を超えないとみなせる点を設定する方法を検討した。さらに、近年、一般的に製造されている積層ゴム支承が、提案

した限界状態にどの程度の頻度で収まっていると考えられるかを確認した。

その結果、繰返しせん断力を受ける積層ゴム支承については、繰返し載荷に対するせん断剛性または等価剛性の安定性により限界状態1を、繰返し載荷に対する等価減衰定数が設計値を下回らないことにより限界状態2を、繰返し載荷に対して座屈や破断に対して安全であることで限界状態3を設定できることを示した。

また、せん断力及び鉛直力を受ける積層ゴム支承については、せん断変形したときの有効断面を考慮した設計最大鉛直力を載荷する前後で繰返しせん断力を受ける積層ゴム支承の限界状態1を超えないことにより、限界状態1を超えないことを確認する方法を提案した。

さらに、提案した限界状態に対して、近年一般的に製造されている積層ゴム支承は、地震時水平力分散型ゴム支承については、250%のせん断ひずみの範囲においては、履歴が安定した状態であり、可逆性を有しており、限界状態1を超えない範囲であると考えられる。また、鉛直圧縮力または鉛直引張力が作用した場合においても、その前後で特性に大きな違いは見られなかったことから、鉛直力及び水平力が作用した場合においても、250%のせん断ひずみの範囲においては、限界状態1を超えない状態であると考えられる。

免震支承については、175%のせん断ひずみの範囲においては、履歴が安定した状態であり、かつ可逆性を有しており、限界状態1を超えない範囲であると考えられる。175%を超えるようなせん断ひずみが大きい範囲では、ハードニング現象が顕著となるものの、せん断ひずみ250%の範囲においては、設計で想定する以上のエネルギー吸収能が概ね確保でき、限界状態2を超えない範囲と考えられる。今回、免震支承についてはせん断力及び鉛直力を考慮した状態の限界状態については試験していない。これについても、地震時水平力分散型ゴム支承と同様の試験を行い、限界状態を確認することが必要であると考えられる。

限界状態3については、二次形状係数が4以上のものでは全ての供試体で座屈は生じなかった。その内、破断ひずみが300%を超えた物については、安全余裕を考慮し、また250%を超える範囲においては適切な設計モデルを構築するために必要となる知見がないことから、限界状態3に対する照査としてせん断ひずみ250%を制限値とすることができると考える。300%未満で破断した供試体については、本試験では限界状態3は確認できない結果となった。

本研究では、各支承メーカーの製造方法、品質管理方法等について条件を設けずに、従来より製造している方法で製作された供試体により試験を行った。従って本研究により得られた限界状態を表すせん断ひずみの具体的な数値は普遍的なものではないが、近年、一般的に製造されてきた積層ゴム支承が限界状態を超えないと考えられる指標値を示すことができたと考えられる。

謝辞：本検討の実施にあたっては、九州大学大学院工学研究院社会基盤部門崔元助教および共同研究「ゴム支承の地震時の性能の検証方法に関する共同研究」メンバーに多大なるご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，2017.
- 2) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編に関する参考資料，2015.
- 3) (公社) 日本道路協会：道路橋支承便覧，2004.
- 4) (財) 土木研究センター：建設省 道路橋の免震設計法マニュアル（案），1992.
- 5) 崔準祐，成炫禹，今井隆，植田健介，和氣知貴：大ひずみを複数回経験したゴム支承の残存耐震性評価確認実験，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.73，No.4（地震工学論文集第36巻），I_443～I_456，2017.