

ゴム支承のせん断変形性能に関する実験的研究

竹内 孝徳¹・水野 豪²・鈴木 森晶³・青木 徹彦⁴・前野 裕文⁵・森下 宣明⁶

¹学生会員 愛知工業大学大学院修士課程 建設システム工学専攻 (〒470-0392 豊田市八草町八千草 1247)

²学生会員 愛知工業大学大学院修士課程 建設システム工学専攻 (〒470-0392 豊田市八草町八千草 1247)

³正会員 博(工) 愛知工業大学助教授 工学部土木工学科 (〒470-0392 豊田市八草町八千草 1247)

⁴正会員 工博 愛知工業大学教授 工学部土木工学科 (〒470-0392 豊田市八草町八千草 1247)

⁵正会員 工博 名古屋高速道路公社 保全部保全一課 (〒462-0844 名古屋市北区清水四丁目 17-30 名古屋高速黒川ビル)

⁶正会員 工修 名古屋高速道路公社 工務部設計課 (〒460-0002 名古屋市中区丸の内 2-1-36 NUP フジサワ丸の内ビル)

本研究は、実橋脚に使用される実物大の大型ゴム支承 (1000×1000mm) 3 タイプ (HDR、NR、LRB) に対してせん断変形性能実験を行い、大変形時の特性値、破断強度など各種限界性能や免震効果を明らかにしたものである。実験は大学として国内最大級の耐震実験センターで行われた。このような大型ゴム支承の特性実験は従来見られないものである。実験結果より、等価剛性、等価減衰定数、エネルギー吸収量などの観点からこれら 3 タイプの特性を比較・検証した。

Key Words : *Seismic Isolated, Rubber Bearing, Limit Performance, Characteristic*

1. はじめに

1995 年の兵庫県南部地震以降、地震時に対して構造物の固有周期を長周期化するとともに慣性力を低減もしくは分散させることで、構造物の耐震性向上に有効であると考えられる免震支承を用いた免震構造が急速に普及してきた。また、平成 8 年に改訂された道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編¹⁾では免震設計の章が新たに加えられ、これまで具体的な規定がなかった免震設計法は、地震力の分散と系の高減衰化に重点を置いた設計法として規定された。これに伴い、各研究機関、大学等で免震支承の基本性能や免震効果を明らかにする研究が数多くなされ、徐々に解明されつつある。

しかし、実橋脚で使用される実物大の大型ゴム支承の大変形時による破断強度や使用限界を確認する性能実験は、十分行われていないのが現状である。

本研究では、大学としては国内最大級の実験施設で 3 タイプの大型ゴム支承 (HDR、NR、LRB) に対するせん断変形性能実験を行い、大変形時の破断強度や限界性能について比較することで各ゴム支承の特性を明らかにした。

2. 実験概要

実験供試体は、表-1 に示す積層ゴム支承 3 種類 (HDR…高減衰積層ゴム支承、NR…天然ゴム系積層ゴム支承、LRB…鉛プラグ入り積層ゴム支承) を各 1 体、平面形状 □1000mm×25mm×5 層、いずれもせん断弾性係数 G12 の材料を用いた。

表-1 供試体諸元

供試体		HDR	NR	LRB
積層ゴムの設計寸法	mm	1000	1000	1000
ゴム層厚・積層数	mm	25×5	25×5	25×5
ゴム層厚さ	mm	125	125	125
鉛プラグ	mm	—	—	φ140
支承の面積	mm ²	1,000,000	1,000,000	938,425
鉛直荷重	kN	6,000	6,000	5,630

※せん断ひずみ量 100%=水平変位 125mm とする

載荷装置には、4000kN アクチュエータを鉛直方向に 4 基、水平方向に 4 基、全 8 基を使用して実験を行った。図-1 に載荷装置を示す。

載荷方法として、鉛直荷重は、死荷重反力相当の圧縮応力度 6. 0N/mm² (鉛直荷重 5630kN～6000kN 相当) を載

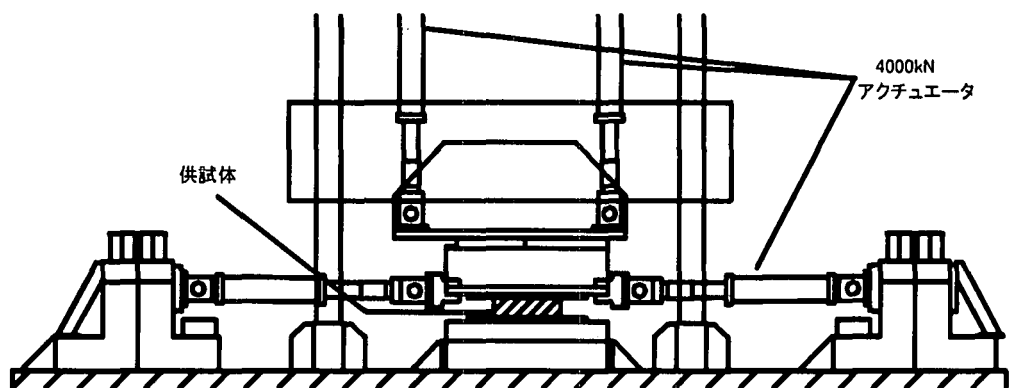


図-1 荷重装置

荷し、水平荷重は、地震時に想定される慣性力として水平方向に正負繰り返し載荷を行い水平荷重－せん断ひずみ履歴曲線を求めた。また、繰り返し載荷パターンとして、表-2 に示すように、せん断ひずみを漸増する方法で行う。繰り返し回数については、免震ゴム支承がその安定性を調べるため、せん断ひずみ 250%までは設計限界値として 10 回必要とされているが、本実験では、せん断ひずみ 300%以上の繰り返しを行うため、半分の 5 回とする。ただし、天然ゴム系積層ゴム支承に関しては過去の実験より 3 回繰り返しとする。

表-2 繰り返し載荷条件

条件	せん断ひずみ (%)	繰り返し回数
	300%、325% ... 25%増分で破断まで	5 (3)

注) () 書きは、NR の場合

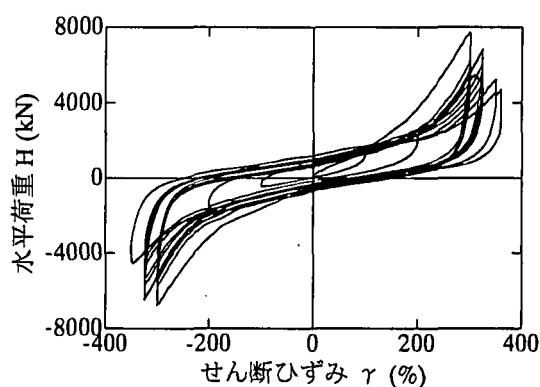
3. 実験結果

(1) 水平荷重－せん断ひずみ

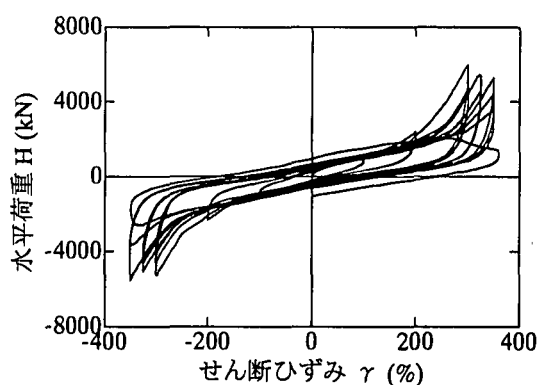
図-2 に各供試体の水平荷重－せん断ひずみ履歴曲線を示す。また、表-3 に各供試体の初期破断時箇所を示す。ここで、初期破断とは音と共に亀裂が入った状態のことである。

表-3 各供試体の初期破断時箇所

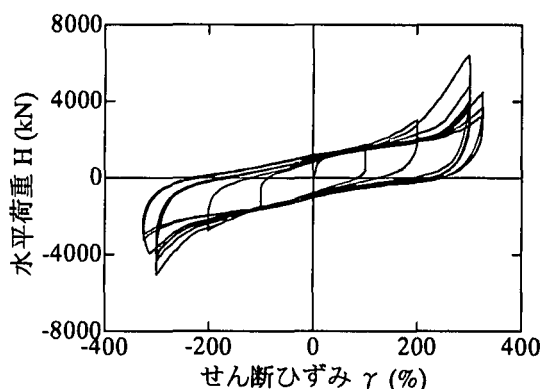
	初期破断時箇所
HDR	325%－2 サイクル
NR	325%－2 サイクル
LRB	300%－1 サイクル



(a) 高減衰積層ゴム支承 (HDR)



(b) 天然ゴム系積層ゴム支承 (NR)



(c) 鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB)

図-2 水平荷重－せん断ひずみ履歴曲線

(2) 包絡線

図-3 に各供試体のせん断ひずみ 100%、200%、300%、325%、350% (HDR、NR のみ) における各 1 サイクル目のループを用いて求めた包絡線を示す。

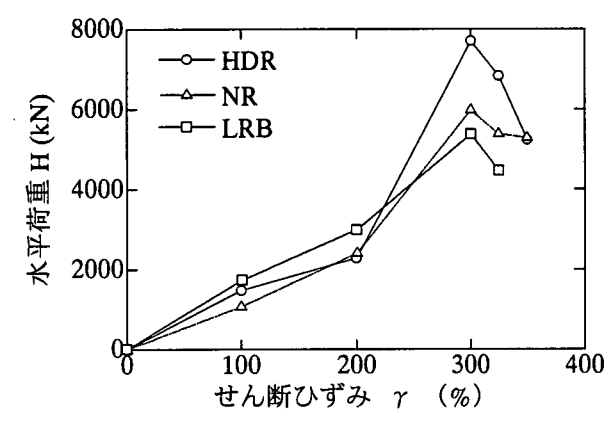


図-3 包絡線

HDR、LRB は、せん断ひずみが 300%を超すと負勾配が急になるが、NR は他に比べ勾配が緩やかである。このことから、せん断ひずみが 300%を超す大変形時を考慮した場合、NR の性能低下が他の 2 つより若干少ないといえる。

(3) 等価剛性

図-4 に各供試体の等価剛性を示す²⁾。ここで、剛性値はそれぞれのループ 1~5 サイクル (NR は 1~3 サイクル) の平均値を使用した。

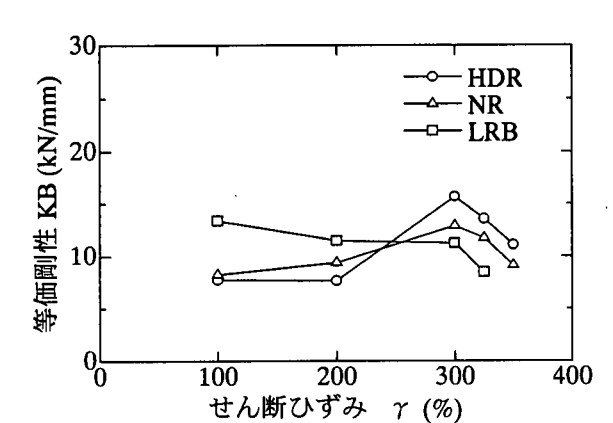


図-4 等価剛性

各供試体とも 200%までは急激な変化は見られないが、HDR、NR は 200%以降急激に増加しており、ハードニング現象が見られる。

(4) 等価減衰定数

図-5 に各供試体の等価減衰定数を示す³⁾。ここで、減衰定数はそれぞれのループ 1~5 サイクル (NR は 1~3 サイクル) の平均値を使用した。

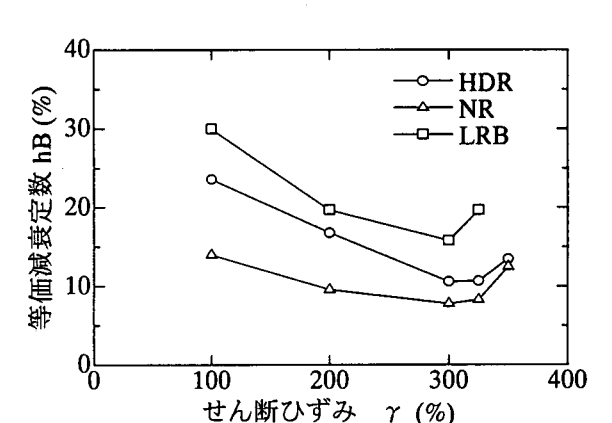


図-5 等価減衰定数

せん断ひずみ 300%まではせん断ひずみの増加に伴い、等価減衰定数が低下し、その後やや上昇している。

HDR は、LRB に比べると等価減衰定数が若干小さいが、NR より高い減衰性能を有している。NR は、全体的に等価減衰定数が小さいが、それでもせん断ひずみ 200%までは 10%の減衰定数があることは注目できる。LRB は、他の供試体に比べ、小変形時から等価減衰定数が大きい事が分かる。

(5) エネルギー吸収量

図-6 にせん断ひずみ 100%、200%、300%、325%におけるエネルギー吸収量の変化を示す。ここで、エネルギー吸収量はそれぞれ 1 サイクル目のループの値を使用する。

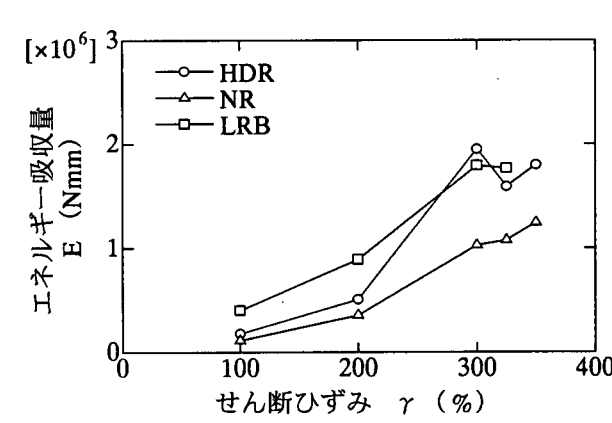
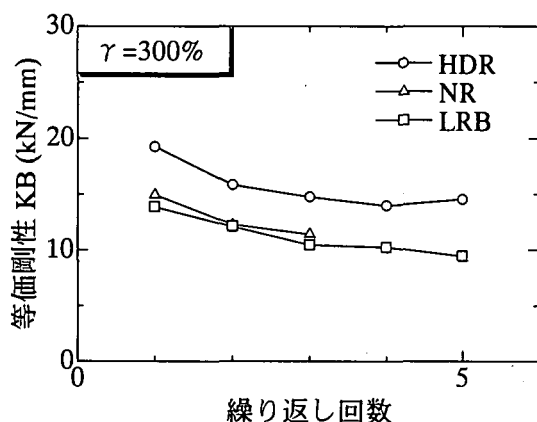


図-6 エネルギー吸収量

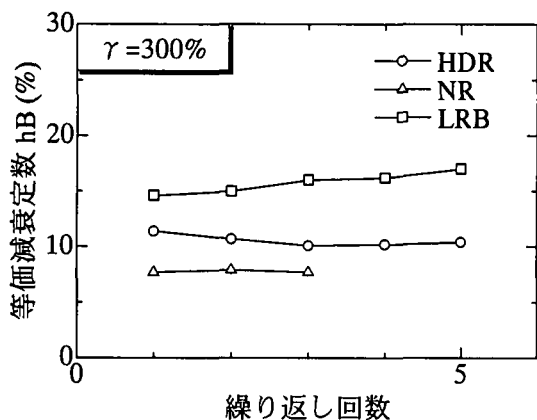
HDR は、LRB に比べて 200%まではエネルギー吸収量が小さいが、それ以降はハードニング現象を起こす事によりエネルギーを吸収している。NR は、300%以降でもエネルギー吸収量が増加し続けている。LRB は、鉛を入れることにより他の供試体に比べ小変形時からエネルギー吸収量が多い。

(6) 繰り返し安定性

図-7 に、各供試体のせん断ひずみ 300%時の繰り返し回数に対する等価剛性および等価減衰定数の変化を示す。



(a) 等価剛性



(b) 等価減衰定数

図-7 繰り返し安定性

等価剛性では、1 サイクル目から 2 サイクル目にかけてやや大きく減少する傾向が見られる。HDR、NR、LRB の 3 体とも 5 サイクル (NR は 3 サイクル) 繰り返すことで、約 5kN/mm 近く減少していることがわかる。

等価減衰定数では、3 体とも繰り返しの影響を受けず、ほぼ特性は安定していることがわかる。

4. おわりに

本研究では、実橋脚に使用される 3 種類 (HDR、NR、LRB) の大型ゴム支承の正負繰り返し載荷実験を実施した。実験結果から以下の点が明らかとなった。

- (1) せん断弾性係数 G12 相当のゴム支承の破断ひずみは 300%~325%であった。
- (2) 繰り返し載荷実験で 200%以下のせん断変形性能を考えると、LRB が各項目で他の 2 体に比べ少し上回っている。
- (3) 200%以上のせん断変形性能を考えると、等価剛性では HDR が LRB より高いが、エネルギー吸収量ではそれほど差が見られない。
- (4) せん断ひずみ 200%以降では、HDR は等価剛性が増加するハードニング現象が顕著に見られ、この現象が大きくなるほどエネルギー吸収性能も増加する傾向がある。
- (5) せん断ひずみ 300%時の繰り返し安定性では、等価剛性は繰り返しの伴い若干減少していくが、等価減衰定数は繰り返しの影響を受けずに、ほぼ安定した減衰性能であった。

本研究により実物サイズにおける各供試体のせん断変形の限界を確認することができた。現状では、試験体ごとのばらつきも多いと言われており、今後更なる実験が必要である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、1996. pp. 97-118
- 2) 日本ゴム協会・免震用積層ゴム委員会：設計者のための免震用積層ゴムハンドブック、2000
- 3) 日本免震構造協会：免震積層ゴム入門、1997

(2001. 5. 25 受付)