

Zn-Al合金を用いた積層ゴム支承の動的特性評価

松田 泰治¹・東 健司²・長弘 健太³・西本 達⁴・池上 僚⁵

¹正会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 (〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39番地1号)

E-mail:mazda@kumamoto-u.ac.jp

²非会員 大阪府立大学大学院 工学研究科 (〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1番1号)

E-mail:higashi@mtr.osakafu-u.ac.jp

³非会員 オイレス工業(株) 免制振事業部 技術開発部 (〒326-0327 栃木県足利市羽刈町1000)

E-mail:nagahiro@oiles.co.jp

⁴学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 (〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39番地1号)

E-mail:123d8820@st.kumamoto-u.ac.jp

⁵学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 (〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39番地1号)

E-mail:147d8804@st.kumamoto-u.ac.jp

1995年に発生した兵庫県南部地震以降後、積層ゴム支承を組み込み、地震力を分散させる設計や免震設計などにより耐震性の向上が図られる例が増えており、現在では、鉛プラグを圧入した鉛プラグ入り積層ゴム支承が普及している。しかしながら近年の環境意識の高まりから、環境に優しく、かつ鉛を用いた積層ゴム支承と同等の特性を持つ金属材料を用いた積層ゴム支承の実用化が望まれている。既往研究では、室温で超塑性を示すZn-Al合金に着目し、金属プラグの径が異なる試験体について、Zn-Al合金を用いた積層ゴム支承と従来用いられてきた鉛プラグ入り積層ゴム支承の動的試験を行った。本研究では、径の直径を9mmで統一した試験体について、Zn-Al合金を用いた積層ゴム支承と鉛プラグ入り積層ゴム支承の動的試験を行い、その力学特性を比較し、超塑性材料を用いた積層ゴム支承の適用性を検討する。

Key Words : laminated rubber bearing, super-plastic metal, zinc, aluminium, structural control

1. はじめに

我が国は、世界有数の地震国であり、いつ大地震が発生してもおかしくない状況に置かれている。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに併発した津波によって壊滅的な被害を受けたことも記憶に新しい。さらに、東海・東南海・南海地震といった大地震の発生も予測されており、土木構造物の耐震技術の高度化と普及が緊急の課題となっている。

兵庫県南部地震以後、橋梁の耐震安全性の向上を目的として、免震ゴム支承が広く導入されるようになった。免震ゴム支承は、ゴムと鋼板を交互に組み合わせて加硫接着することで鉛直方向の剛性は大きく、水平方向の剛性は小さくなっている。したがって、上部構造の固有周期の長期化を図るとともに減衰性能を高め、地震力を軽減するために極めて有効な手段の1つとされている。主に金属プラグの弾塑性変形によりエネルギーを吸収させる性能を持った積層ゴム支承とゴム自体にエネルギー吸

収性能を持つように配合された高減衰ゴム支承に分類され、その中で、積層ゴム支承に用いられる金属プラグには、製作・施工が容易で安価であること、塑性変形による疲労が蓄積しない特性を持つこと、延性に優れており大きな変形にも追従が可能なことなどから広く鉛が用いられている。しかしながら近年、環境意識の高まりから各工業分野で非鉛化が進んでおり、他の金属材料で鉛と同等の特性を持ちつつ、より耐震性能に優れた材料を用いた製品の実用化が必要である考えられる。

様々な分野で活用されているZn-Al合金は、これまでに、200°C以上の高温域においては超塑性現象を発現することが報告されていた。高木ら¹⁾はZn-Al合金のインゴットに加工熱処理を段階的に行うTMCP (Thermo-mechanical Control Process) 技術を用いて結晶粒をナノレベルに微細化する製造プロセスを採用し、室温においても超塑性を発揮する合金を開発し、量産化することに世界で初めて成功した。Zn-Al合金は、超塑性材料の特徴である高いひずみ速度依存性を示し、ひずみ速度が高く

なるにつれて強度は高くなり、逆に伸びは低下する。また、楯部²⁾、³⁾はZn-Al合金が累積ひずみに対して加工硬化せず、応力がほぼ一定で、制振効果の安定性に極めて優れることを明らかにしている。超塑性材料を用いた橋梁を対象とした既往の研究としては、後藤⁴⁾の研究がある。後藤らは超弾性合金と超塑性合金からなる自己修復型複合構造ダンパーを開発し、鋼製橋脚で支持された2径間連続桁橋の耐震補強への適用を想定し、従来の鋼製軸降伏型ダンパー、粘性ダンパーを用いた場合と比較している。また、福田⁵⁾は地球環境と共存できる、環境にやさしい積層ゴムの開発を目指し、金属プラグに錫を用いた錫プラグ入り積層ゴムアイソレータを開発し、圧縮せん断試験を行い、アルミニウムや従来広く用いられてきた鉛などの金属材料との比較を行っている。また、松田⁶⁾は直径9mmの超塑性材料Zn-Al合金を用いた積層ゴム支承と直径29mmの鉛プラグ入り積層ゴム支承を0.01Hzの振動数で水平方向へ载荷する静的試験を行い、その性能を比較している。

本研究では、超塑性材料Zn-Al合金を用いた積層ゴム支承と鉛プラグ入り積層ゴム支承について、同径の金属プラグの試験体で動的試験を行い、超塑性材料Zn-Al合金を用いた積層ゴム支承の適用性を検討する。

研究の第1の目的は、超塑性材料を用いた積層ゴム支承の動的試験の実測データを示すことである。

第2の目的は、降伏荷重特性値、等価剛性、減衰定数の動的特性について、振動数依存性（加振振動数による免震性能の変化）、せん断ひずみ依存性（せん断ひずみの違いによる性能変化）を明らかにすることである。超塑性材料は、延性に優れ、一般に引張ひずみ100%以上の変形性能を持ち、繰り返し荷重下においてもひずみ劣化や加工硬化が少ないといった材料特性を有しており⁷⁾、それらの特性が発揮されると予測される超塑性材料を用いた積層ゴム支承（以下、ZARBと呼ぶ）と鉛プラグ入り積層ゴム支承（以下、LRBと呼ぶ）との比較を行い、その性能の差異を調べる。

表-1 試験体の寸法・形状

| | | |
|-----------|--------------------------------|----------------------|
| せん断弾性率 | G | 0.8N/mm ² |
| ゴム径 | D _R | 100mm |
| ゴム層厚 | Σt _r | 13.8mm |
| 一次形状係数 | S ₁ | 10.2 |
| 二次形状係数 | S ₂ | 7.2 |
| 一次剛性/二次剛性 | K ₁ /K ₂ | 6.5 |
| プラグ径 | D | 9mm |
| プラグ断面積 | A | 63.6mm ² |

2. 試験概要

(1) 試験体

ZARB, LRBの試験体の寸法および形状を表-1に、試験体図と断面図を図-1に示す。試験体の積層ゴム支承(RB)は1辺110mmの正方形断面で高さ25.3mmの積層ゴムである。2.3mmのゴムが6層、その間に2.3mmの内部鋼板が5枚重なり、それを連結鋼板が上下に挟み込み、さらに内部ゴムの劣化を防ぐため外側が5mmの被覆ゴムによって覆われている。プレートを取り付けるために上下部にそれぞれ8個のネジ穴を設けた。RBの中心にφ9mmの貫通穴を設け、そこにLRBでは鉛、ZARBではZn-Al合金をそれぞれ圧入した。これら2種類の試験体に対して载荷試験を行う。

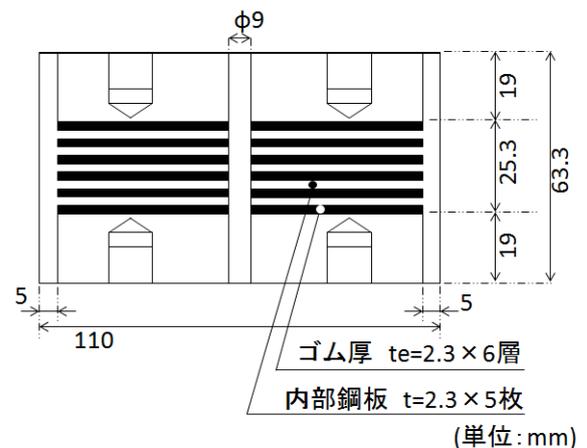
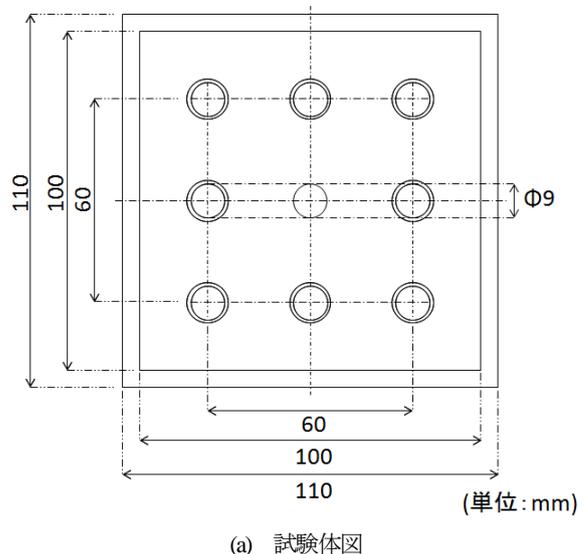


図-1 試験体

(2) 試験装置

試験には巴技研製の可搬型ハイブリッドアクチュエータ20kN型装置を用いて変位制御による水平方向への载荷を行う。ハイブリッドアクチュエータの概略図を図-2に、性能を表-2に示す。本研究では試験装置の制約により支承に作用する軸力を与えず、水平方向のみの载荷を行っている。計測にはレーザー変位計LB-01（Keyence社製）を用いた。ハイブリッドアクチュエータは2軸载荷試験プログラムで制御されており、荷重もしくは変位による制御が可能である。運転は手動/自動の切り替えが可能で、入力波は正弦波、三角波、矩形波、ランプ波、任意波から選択することができる。試験体は上下をフランジプレートで挟み込み、さらに取付プレートでハイブリッドアクチュエータと固定している。

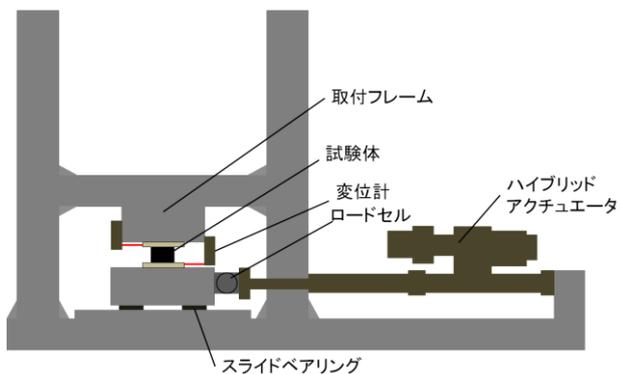


図-2 ハイブリッドアクチュエータの概略図

(3) 試験方法

ゴム支承試験体は、ZARBとLRBそれぞれ1体ずつ用意した。試験体上面を鋼製フレームに固定した状態で、試験体下面の取付架台にハイブリッドアクチュエータにより水平方向に正弦波と三角波を変位制御で4サイクルの载荷を行い、安定した挙動を示す3サイクル目のデータを使用する。試験体ゴム層厚に対するせん断ひずみを基準として、50%、100%、150%、200%について载荷を行う。振動数は、表-2に示すハイブリッドアクチュエータの性能から、0.01Hz、0.05Hz、0.1Hz、0.2Hz、0.5Hz、1.0Hz、1.5Hz、2.0Hz、3.0Hzの9ケースに設定し、0.01Hzから振動数の小さい順番に载荷を行う。せん断ひずみレベル50%では0.01Hzから3.0Hzまで载荷するが、ハイブリッドアクチュエータの性能を考慮し、100%までは2.0Hzまで、150%では1.5Hzまで、200%では1.0Hzまでの载荷とした。载荷試験の入力条件を表-3に示す。

表-2 ハイブリッドアクチュエータの性能

| | |
|-------|-----------|
| 最大荷重 | ±40kN(静的) |
| | ±20kN(動的) |
| 最大速度 | 23kine |
| ストローク | ±200mm |

表-3 载荷試験の入力条件

| 制御方法 | 変位 | | | | | | | |
|----------|------------|-----|------------|-----|------------|-----|------------|-----|
| | 载荷回数 | 4回 | | | | | | |
| 片振幅 | 6.9mm | | 13.8mm | | 20.7mm | | 27.6mm | |
| ゴムせん断ひずみ | 50% | | 100% | | 150% | | 200% | |
| 波形 | 正弦波 | 三角波 | 正弦波 | 三角波 | 正弦波 | 三角波 | 正弦波 | 三角波 |
| 加振振動数 | 0.01-3.0Hz | | 0.01-2.0Hz | | 0.01-1.5Hz | | 0.01-1.0Hz | |

3. 試験結果

(1) 等価剛性及び減衰定数の算出

試験で得られた履歴曲線の等価剛性 K_{eq} 、減衰定数 h を式(1a)、(1b)により算出する。また、せん断ひずみ γ は式(1c)によって算出した。図-3に免震ゴム支承の水平方向力学特性の定義を示す。

$$K_{eq} = \frac{F_{(D_{max})} - F_{(D_{min})}}{D_{max} - D_{min}} \quad (1a)$$

$$h = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{\Delta W}{W} \right) \quad (1b)$$

$$\gamma = \frac{\text{水平変位}}{\text{ゴム総厚}} \times 100 \quad (1c)$$

ここで

K_{eq} : 等価剛性

h : 減衰定数

Q_d : 降伏荷重特性値

γ : せん断ひずみ

$F_{D_{max}}, F_{D_{min}}$: 最大復元力, 最小復元力

D_{max}, D_{min} : 最大変位, 最小変位

W : ひずみエネルギー

ΔW : 履歴吸収エネルギー

(2) 動的特性

正弦波載荷時のZARBとLRBの荷重 - 変位曲線の50%, 100%, 150%, 200%の重ね書きを図-4に示す。

同様に三角波載荷時のZARBとLRBの荷重 - 変位曲線の50%, 100%, 150%, 200%の重ね書きを図-5に示す。図-4, 5より, ZARB, LRBの履歴特性はともに, ゴムせん断ひずみレベルに依存しない安定した特性を示している。さらに, 振動数が増加しても安定した履歴特性を示していることがわかる。高振動数での載荷時に, 履歴曲線にノイズが生じたため, 正弦波と三角波の0.05Hz以上のケースにおいて, バンドパスフィルター処理を行っている。

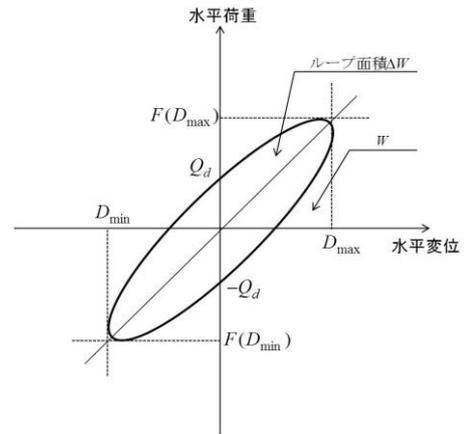


図-3 免震ゴム支承水平方向力学特性の定義

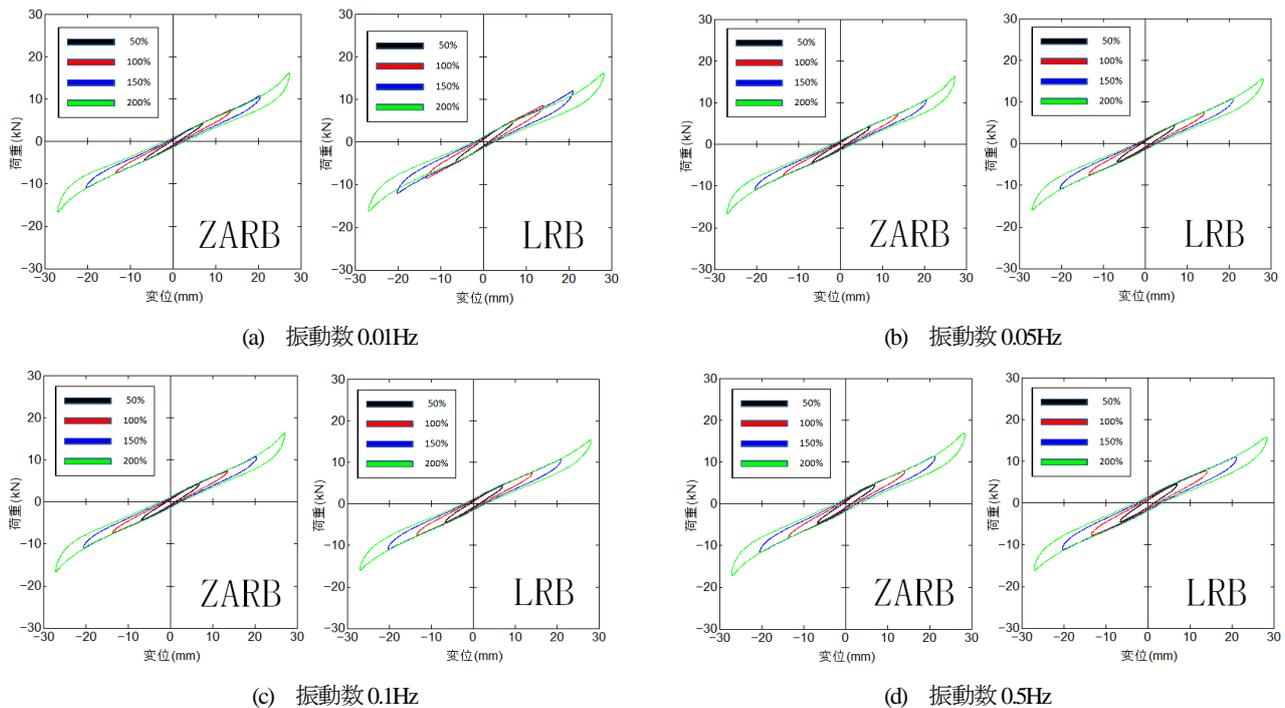


図-4 正弦波載荷時の履歴特性の比較

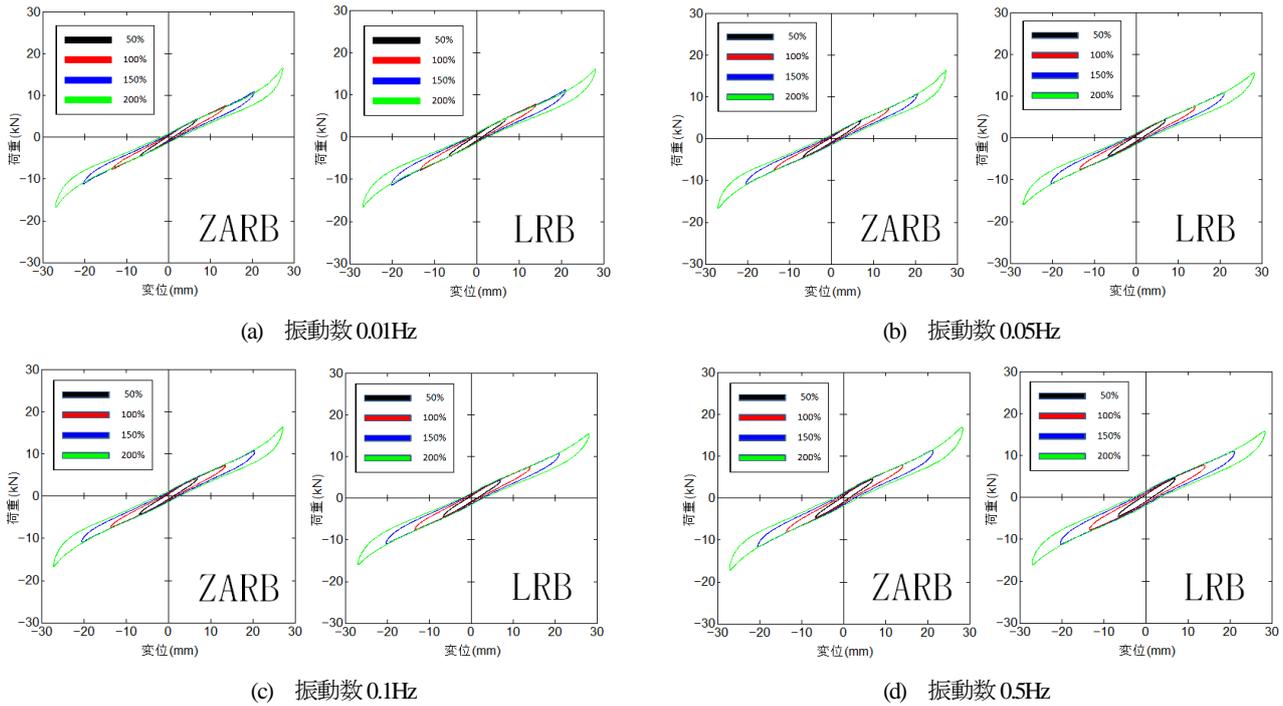


図-5 三角波載荷時の履歴特性の比較

動的試験から得られた履歴曲線より変位ゼロにおける切片荷重から降伏荷重特性値を読み取り、式(1a)、(1b)を用いて等価剛性及び減衰定数を算出した。さらに、これらの特性値について振動数依存性及びせん断ひずみ依存性を明らかにした。

a) 降伏荷重特性値

本試験において、降伏荷重特性値とは切片荷重のことである。切片荷重をプラグの断面積で除した値は見かけの降伏応力度を表しており、同じせん断ひずみレベルでの切片荷重が大きいことは履歴曲線の面積が大きいことを示している。したがって、降伏荷重特性値が大きくなると履歴曲線の面積が大きくなり、高いエネルギー吸収性能を有することを意味する。

正弦波載荷時の降伏荷重特性値の振動数依存性を図-6に、せん断ひずみ依存性を図-7に示す。また、0.01Hzでの試験結果と各振動数における試験結果の数値との比を基準化降伏荷重特性値とし、振動数に対してプロットしたものを図-8に、せん断ひずみレベル50%での試験結果と各せん断ひずみにおける試験結果の数値との比を、同様に基準化降伏荷重特性値とし、せん断ひずみに対してプロットしたものを図-9に示す。図中の凡例において、頭文字ZをZARBの結果、頭文字LをLRBの結果とする。以降の図の凡例においても同様の表現を用いる。

図-6よりZARBでは、降伏荷重特性値はいずれのせん断ひずみレベルにおいても振動数の増加に伴い増加傾向

を示している。図-7よりZARBでは、せん断ひずみレベルの増加に伴う増加傾向も認められる。

LRBについても、ZARBと同様に降伏荷重特性値は振動数の増加、せん断ひずみレベルの増加に伴い増加傾向を示している。

図-8より、せん断ひずみレベル100%時の最大加振振動数2.0Hzにおける基準化降伏荷重特性値を読み取ると、ZARBでは約2.5倍であるのに対して、LRBでは約2.0倍であり、ZARBはLRBに比べ、振動数依存性が顕著である。これは振動数の増加によりひずみ速度が増加し、高いひずみ速度依存性を持つZn-Al合金の特性が発揮されたものと考えられる。

図-9より、せん断ひずみレベル200%時の各振動数における基準化降伏荷重特性値をZARB、LRBで比較するとLRBでは約1.7~2.5倍とばらつきがあるのに対して、ZARBでは約2.3~2.5倍と安定しており、地震動の振動特性に依らず安定した性能を維持することが可能であると考えられる。

三角波載荷時の降伏荷重特性値の振動数依存性を図-10に、せん断ひずみ依存性を図-11に示す。また、基準化降伏荷重特性値を振動数に対してプロットしたものを図-12に、基準化降伏荷重特性値をせん断ひずみに対してプロットしたものを図-13に示す。

図-10~13よりZARB、LRBは三角波載荷でも正弦波載荷時の結果とほぼ同等の傾向を示した。

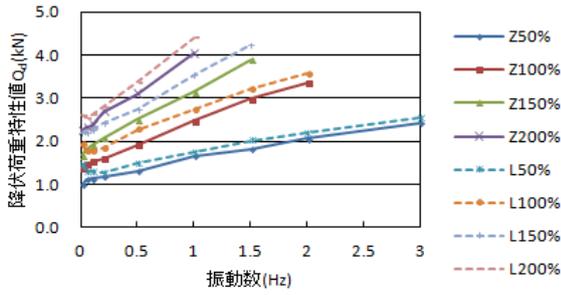


図-6 降伏荷重特性値の振動数依存性(正弦波載荷時)

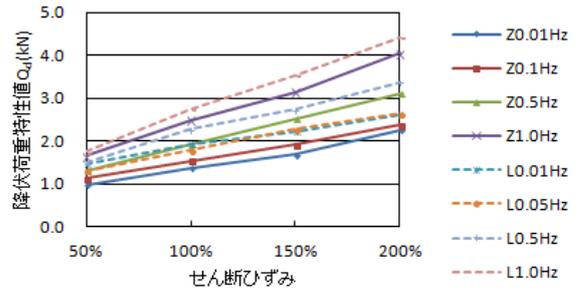


図-7 降伏荷重特性値のせん断ひずみ依存性(正弦波載荷時)

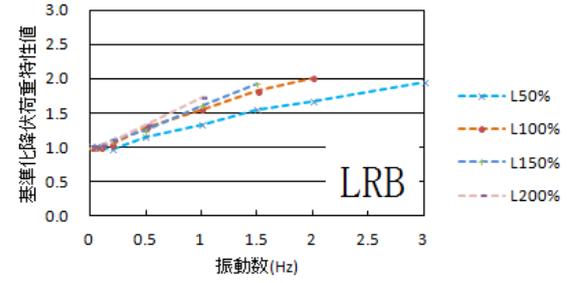
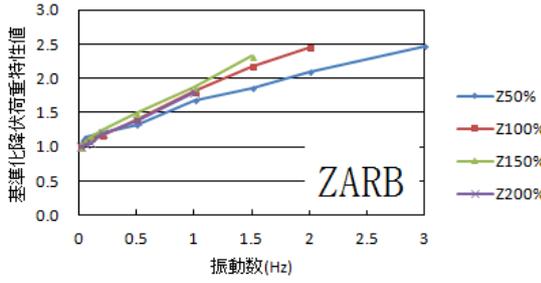


図-8 基準化降伏荷重特性値の振動数依存性(正弦波載荷時)

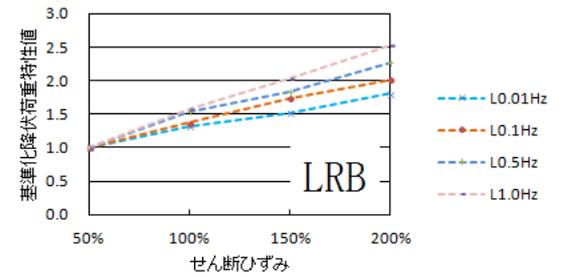
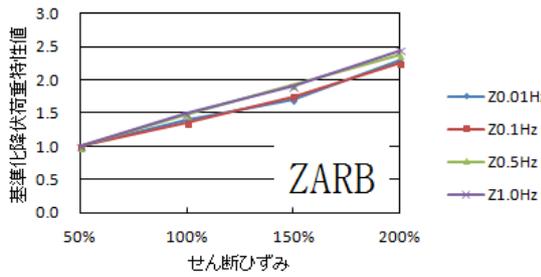


図-9 基準化降伏荷重特性値のせん断ひずみ依存性(正弦波載荷時)

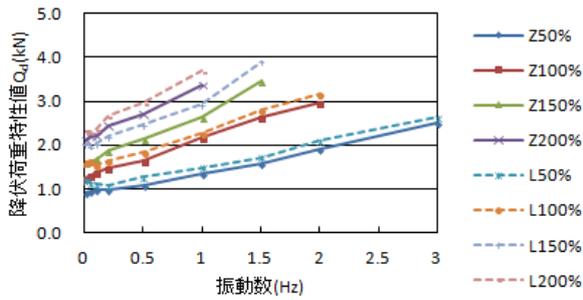


図-10 降伏荷重特性値の振動数依存性(三角波載荷時)

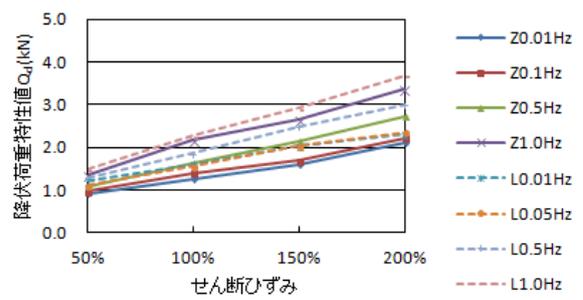


図-11 降伏荷重特性値のせん断ひずみ依存性(三角波載荷時)

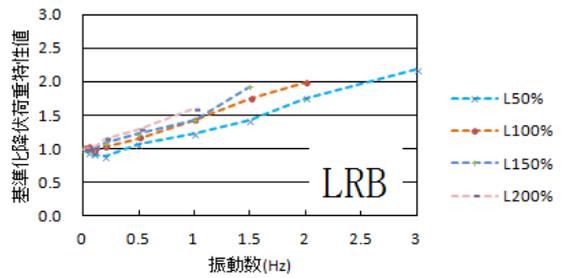
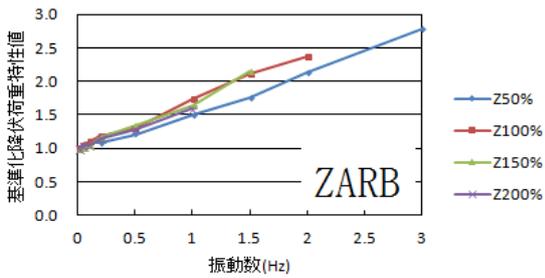


図-12 基準化降伏荷重特性値の振動数依存性(三角波載荷時)

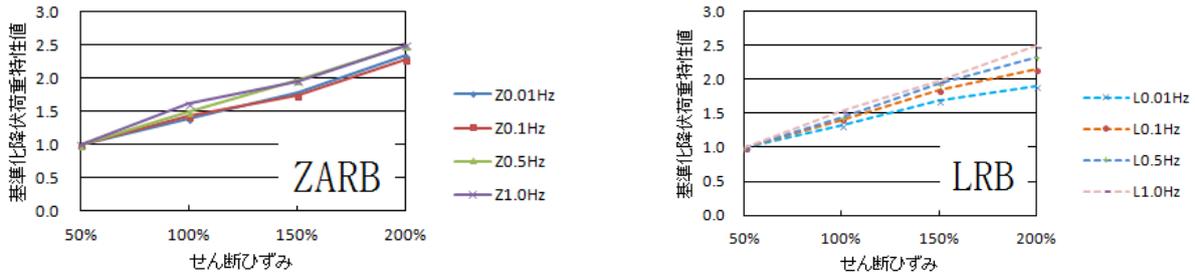


図-13 基準化降伏荷重特性値のせん断ひずみ依存性(三角波載荷時)

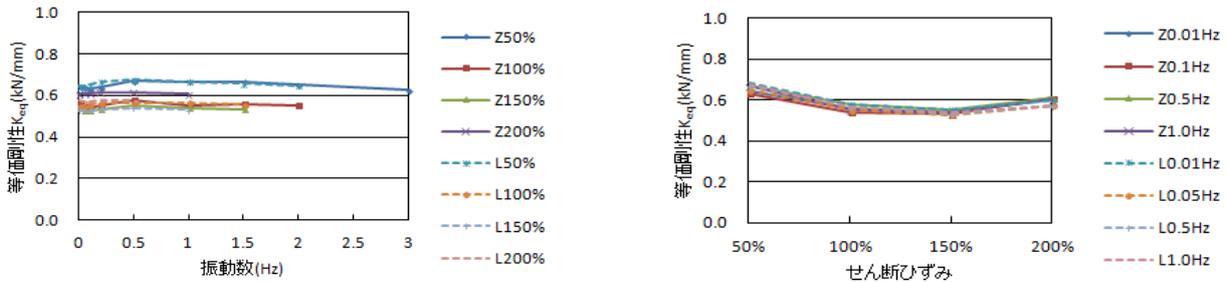


図-14 等価剛性の振動数依存性(正弦波載荷時)

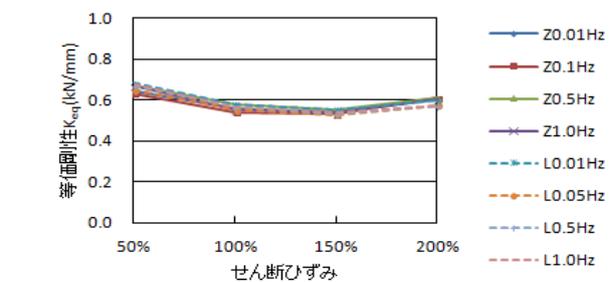


図-15 等価剛性のせん断ひずみ依存性(正弦波載荷時)

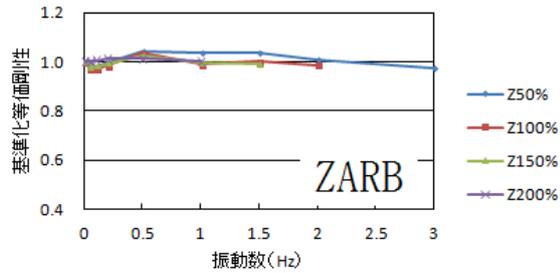


図-16 基準化等価剛性の振動数依存性(正弦波載荷時)

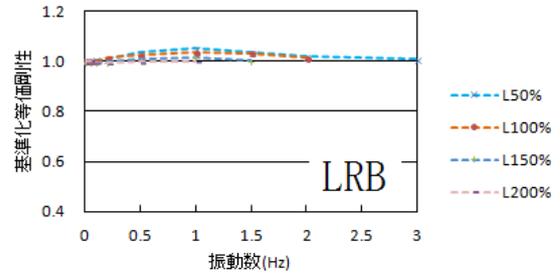


図-17 基準化等価剛性のせん断ひずみ依存性(正弦波載荷時)

以上の結果から、ZARB、LRBともに降伏荷重特性値について振動数依存性、せん断ひずみ依存性を示すことがわかった。ZARBは振動数依存性についてLRBに比べ顕著であり、また、せん断ひずみ依存性に対しては振動数に依らず相対的に安定していることが確認された。

b) 等価剛性

正弦波載荷時の等価剛性の振動数依存性を図-14に、せん断ひずみ依存性を図-15に示す。また、基準化等価剛性を振動数に対してプロットしたものを図-16に、基準化等価剛性をせん断ひずみに対してプロットしたものを図-17に示す。

図-14よりZARB、LRBともに、等価剛性は振動数に依存せずほぼ一定の値を示している。また、図-15よりせん断ひずみの増加に伴いせん断ひずみレベル100%までは減少し、150%まではほぼ一定の値を示した後、200%において増加する傾向を示している。200%時に増加した理由としてゴムのハードニング現象により剛性が増加したためであると考えられる。図-16、17においても、同様の結果が確認できる。

三角波載荷時の等価剛性の振動数依存性を図-18に、せん断ひずみ依存性を図-19に示す。また、基準化等価剛性を振動数に対してプロットしたものを図-20に、基

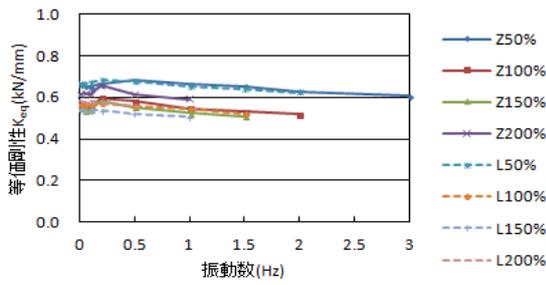


図-18 等価剛性の振動数依存性(三角波載荷時)

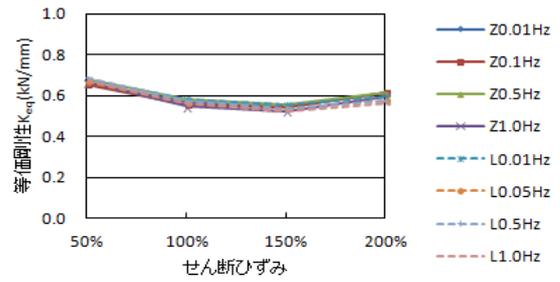


図-19 等価剛性のせん断ひずみ依存性(三角波載荷時)

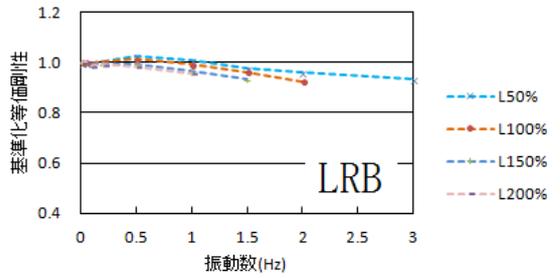
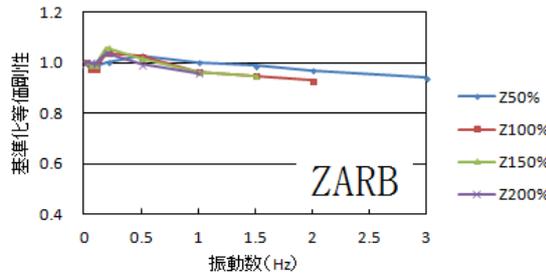


図-20 基準化等価剛性の振動数依存性(三角波載荷時)

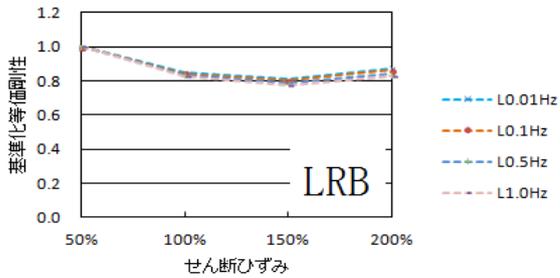
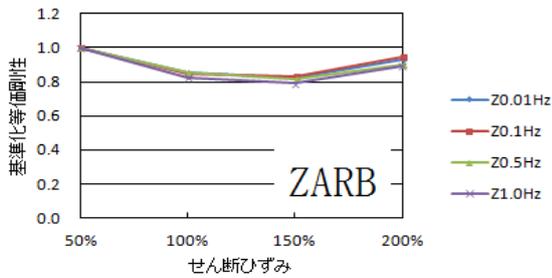


図-21 基準化等価剛性のせん断ひずみ依存性(三角波載荷時)

準化等価剛性をせん断ひずみに対してプロットしたものを図-21に示す。

図-18~21よりZARB, LRBは三角波載荷でも正弦波載荷時の結果とほぼ同等の傾向を示した。

以上の結果から, ZARBは等価剛性についてLRBとほぼ同等の性能を持つといえる。さらに, ZARB, LRBのいずれにおいても振動数依存性, せん断ひずみ依存性は低く, 高振動数, 高せん断ひずみにおいても安定していることが確認された。

c) 減衰定数

正弦波載荷時の減衰定数の振動数依存性を図-22に, せん断ひずみ依存性を図-23に示す。また, 基準化減衰定数を振動数に対してプロットしたものを図-24に, 基準化減衰定数をせん断ひずみに対してプロットしたものを図-25に示す。

図-22よりZARB, LRBともに, 減衰定数は振動数の増加に伴い, 増加傾向を示している。また, 図-23よりせん断ひずみの増加に伴い, 減少傾向を示している。

図-24よりせん断ひずみレベル50%時の最大加振振動数3.0Hzにおける基準化減衰定数を読み取ると, ZARBで

は約2.5倍であるのに対して, LRBでは約2.0倍であり, ZARBはLRBに比べ, 振動数依存性が顕著である。

図-25より, ZARB, LRBともに, せん断ひずみレベル200%においては50%時と比較し, 2割程度の減少となっている。しかしながら, その減少傾向は異なっていることが確認できる。LRBについて, せん断ひずみレベル100%までは減少し, 100%から150%間で減少の程度が緩まり, ほぼ一定の値を示した後, 200%において再度減少する傾向を示す。一方, ZARBについて, せん断ひずみレベル150%まではLRBと同様の傾向を示すが, 200%においてほぼ一定の値を示している。したがって, ZARBはLRBに比べ, 高せん断ひずみレベルにおける減衰性能に優れていると考えられる。

三角波載荷時の減衰定数の振動数依存性を図-26に, せん断ひずみ依存性を図-27に示す。また, 基準化減衰定数を振動数に対してプロットしたものを図-28に, 基準化減衰定数をせん断ひずみに対してプロットしたものを図-29に示す。

図-26~29よりZARB, LRBは三角波載荷でも正弦波載荷時の結果とほぼ同等の傾向を示した。

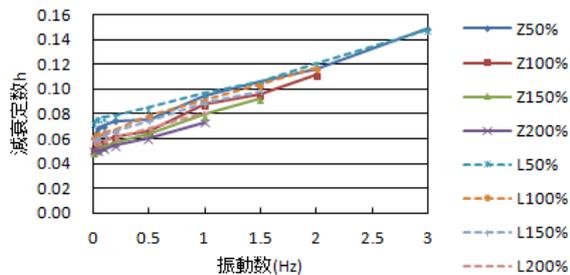


図-22 減衰定数の振動数依存性(正弦波載荷時)

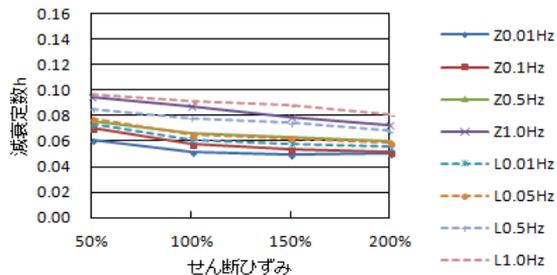


図-23 減衰定数のせん断ひずみ依存性(正弦波載荷時)

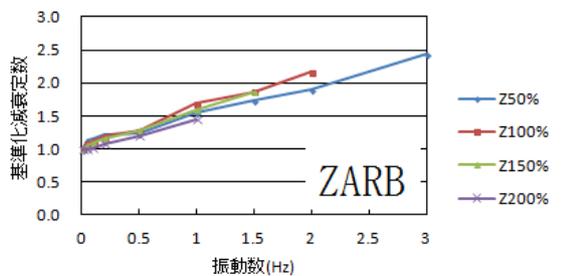


図-24 基準化減衰定数の振動数依存性(正弦波載荷時)

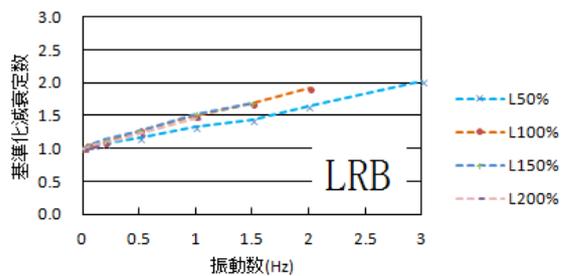


図-25 基準化減衰定数のせん断ひずみ依存性(正弦波載荷時)

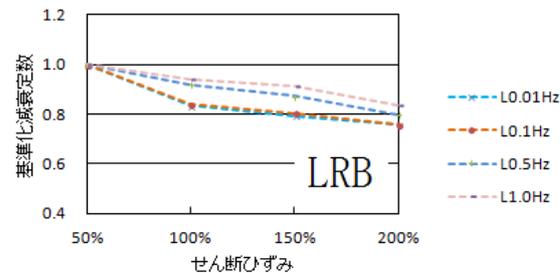
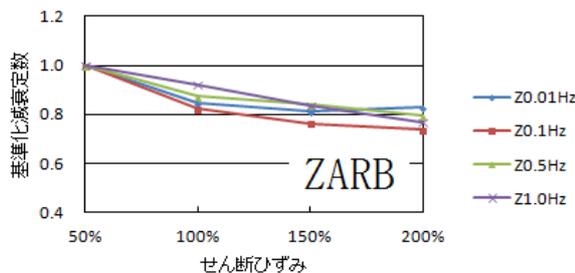


図-25 基準化減衰定数のせん断ひずみ依存性(正弦波載荷時)

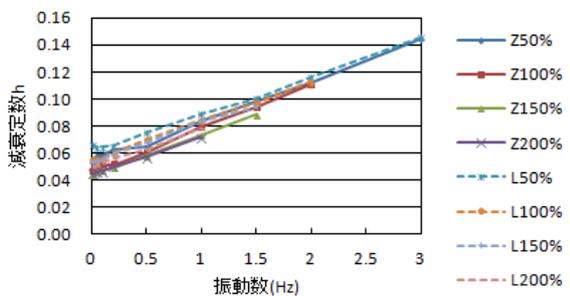


図-26 減衰定数の振動数依存性(三角波載荷時)

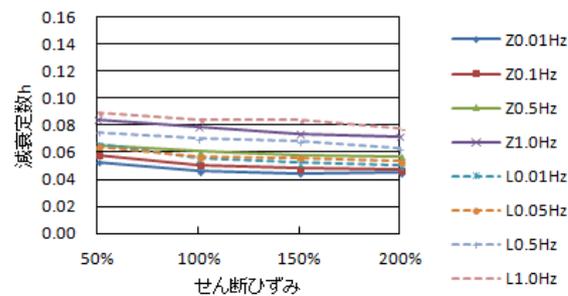


図-27 減衰定数のせん断ひずみ依存性(三角波載荷時)

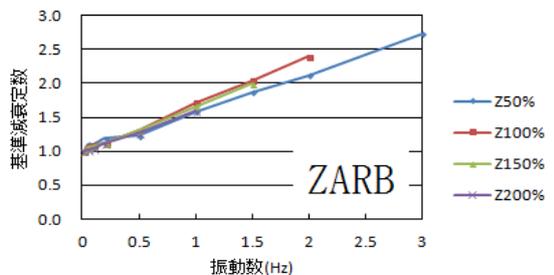
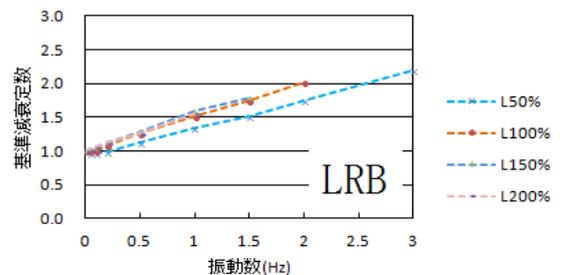


図-28 基準化減衰定数の振動数依存性(三角波載荷時)



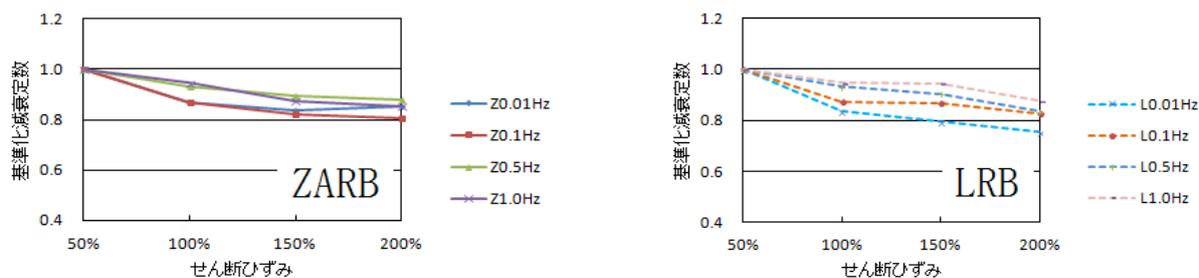


図-29 基準化減衰定数のせん断ひずみ依存性(三角波載荷時)

以上の結果から、ZARBは減衰定数についてLRBとほぼ同等の性能を持つといえる。ZARB、LRBのいずれにおいても減衰定数は振動数の増加につれて増加し、せん断ひずみの増加につれて減少すること確認された。さらに、ZARBはLRBよりも振動数依存性が顕著であり、高せん断ひずみレベルにおける減衰性能に優れていると考えられる。

4. 結論

道路橋の耐震性能の向上を目的とした超塑性材料を用いた積層ゴム支承の力学特性評価を行うために、Zn-Al合金を用いた積層ゴム支承と鉛プラグ入り積層ゴム支承を対象とした動的試験を実施した。試験結果より得られた力学特性の比較・検討を行い、以下のことが明らかとなった。

- ・ Zn-Al合金を圧入した積層ゴム支承は、鉛プラグ入り積層ゴム支承と同様に、ゴムせん断ひずみの増加と載荷振動数の増加に対して安定した履歴特性を示すことを確認した。
- ・ ZARBは降伏荷重特性値について、LRBの約75%程度の値を示し、振動数依存性とせん断ひずみ依存性を示す。振動数依存性はLRBに比べ顕著であり、せん断ひずみ依存性に対しては振動数に依らず相対的に安定している。
- ・ ZARBは等価剛性について、LRBとほぼ同等の性能を示し、振動数依存性、せん断ひずみ依存性は低く、高振動数、高せん断ひずみレベルにおいても安定している。
- ・ ZARBは減衰定数について、LRBとほぼ同等の性能を示し、振動数の増加につれて増加し、せん断ひずみの増加につれて減少する。さらに、LRBよりも振動数依存性が顕著であり、高せん断ひずみレベルにおける減衰性能に優れている。

先述したように本研究では試験装置の制約から支承に作用する軸力を与えず、水平方向のみの載荷試験を行っている。したがって、道路橋を対象としたZn-Al合金を用いた積層ゴム支承の適用性の評価を行うことは本研究データだけでは難しい。今後は、軸力を考慮した載荷試験を行い、より精度の高い比較を行う必要があると考えられる。

これらの課題を含め、より詳細な検討を実施し、Zn-Al合金を用いた積層ゴム支承のエネルギー吸収装置としての適用性を検証する予定である。

参考文献

- 1) 高木敏晃, 南知幸, 櫛部淳道, 滝川順庸, 東健司: 室温超塑性 Zn-Al合金の開発と制振ダンパーへの適用, まてりあ 第48巻 第2号, pp.88-90, 2009.
- 2) A. Kushibe, K. Makii, L. F. Chang, T. Tanaka, M. Kohzu, K. Higashi: Application to Seismic Dampers in High-Strain-Rate Superplastic Zn-Al Alloy, Materials Science Forum, vols.475-479, pp.3055-3060, 2005.
- 3) A. Kushibe, T. Tanaka, Y. Takigawa, K. Higashi: Fracture Mechanisms in Ultrafine-grained of Zn-22Al Alloy Exhibiting Room-temperature High-strain-rate Superplasticity, Processing and Fabrication of Advanced Materials XVIII, pp.25-34, 2009.
- 4) 後藤芳顕, 海老澤健正, 和田廣人, 松澤陽: 超弾性合金と超塑性合金からなる自己修復型複合構造ダンパー, 構造工学論文集, vol.59A, pp.540-551, 2013.
- 5) 福田滋夫, 松村佳孝, 柏木栄介, 山口直之, 田中久也, 朴紀行: 錫プラグ入り積層ゴムアイソレータの開発, 昭和電線レビュー, vol.56, no.1, pp.37-41, 2006.
- 6) 松田泰治, 東健司, 長弘健太, 西本達: 道路橋を対象としたZn-Al合金を用いた免震支承の開発に関する基礎的研究, 土木学会論文集A1, vol.70, No.4, pp.810-817, 2014.
- 7) 東 健司: 超塑性と超塑性材料の進歩, 粉体工学会誌, 第25巻, 第8号, pp.528-536, 1988.

EVALUATION OF DYNAMIC PROPERTY ON LAMINATED RUBBER BEARING WITH Zn-Al ALLOY PLUG

Taiji MAZDA, Kenji HIGASHI, Kenta NAGAHIRO, Satoru NISHIMOTO
and Ryo IKEGAMI

After The South Hyogo prefecture earthquake in 1995, adoption of seismic damper for highway bridges to absorb the kinetic energy of upper structure was increased. An ultra fine grained Zn-Al alloy was developed by means of thermomechanical control process. This alloy has super-plasticity properties at room temperature. So, it is effective in the construction of a seismic damper for highway bridges. In this research, focus on Zn-Al alloy to utilized in various fields in recent years and cyclic loading test of laminated rubber bearing with Zn-Al alloy plug. Basic mechanical property is compared with lead rubber bearing. Applicability as seismic damper for highway bridges is investigated.