

異なる特性を持つ制振デバイスを有する橋脚の 耐震性能に関する研究

A Study On Seismic Performance Of Bridge Piers With Different Characteristics Damping Devices

日比野広之[†], 鈴木森晶^{††}

Hiroyuki HIBINO, Moriaki SUZUKI

Abstract Since HYOGOKEN-NANBU Earthquake in 1995, many important infrastructure have been damaged. For the important infrastructure, it is necessary to ensure sufficient seismic performance after the earthquake. Install the damping device to the structure, the damping device to absorb energy during an earthquake, there is a method to protect a structure. Currently civil engineering, rubber, type that absorb energy by damping rubber, and the like steel yielding to absorb energy by breakdown of the steel. However, such cracks is occurring from a portion of the seismic isolation rubber being used as the damping device many bridges. There are studies that artificially damage the seismic isolation rubber material, experiments using seismic isolation rubber, etc. cracks is not performed much.

In this study, the performance experiment of seismic isolation rubber cracking is found. Thereafter, analysis of the case where seismic isolation rubber is damaged, if the performance is lowered, and to examine whether possible to reduce the effect on the pier by incorporating a separate damping device.

1. 序論

1.1 はじめに

1995年の兵庫県南部地震では、高速道路、鉄道の高架橋など多数の重要公共構造物が甚大な被害を受けたことにより、都市と都市を結ぶ高速道路や高架橋などの重要構造物の崩壊により都市機能の麻痺、救急車両の通行、救援物資の運搬、復旧作業に大きな支障となった。その後、重要構造物においては地震後の構造物の機能維持が要求されている。^{1) 2)}

兵庫県南部地震より約20年が経過するとともに、免震構造も一般的に採用される構造の1つとなり、その建設数も500橋を超えている。先の東北地方太平洋沖地震において地震により甚大な被害を受けた橋梁は少ない³⁾。現在土木分野では、制振デバイスとして、粘性体を用いたシリンダー型、ゴムの減衰によるエネルギー吸収をするゴム型、鋼材降伏型など、様々な材料・構造を用いたタイプが存在する。

しかしながら、近年では橋梁の耐震性能を確保するた

めに重要な部材として制振デバイスが適用されつつあるが、橋梁に設置された制振デバイスがいくら優秀であっても、制振デバイスが経年劣化することによる性能低下が起これば、その効果は十分発揮されず耐震補強自体役に立たなくなる可能性がある。土木分野では多くの橋梁で、制振デバイスとして免震ゴムを組み込むことが一般的となりつつあるが、近年では一部の免震ゴム支承からゴム部分の亀裂および支承内部から鉛のはみ出しが確認されているため、供用開始時の免震ゴムと比べ、経年劣化による性能低下がどの程度なのかを検討する必要がある。

これまで劣化した免震ゴムについての研究は行われてきたが、その多くは人工的に材料を劣化させたものであり、実際に経年劣化により亀裂が見つかった免震ゴムを使った実験は余り行われていない^{4) 5)}。

そこで、本研究では今日まで多くの橋梁で制振デバイスとして使用されている免震ゴムに着目し、供用開始から10年が経過し、経年劣化により亀裂が見つかった免震ゴムが供用開始時と比べ、地震時に有効に機能する性能を有しているかせん断変形性能実験を行う。

さらに、10年経過した際の免震ゴムの性能を解析において予測し、免震ゴムの性能が低下したと仮定した場合、

[†] 愛知工業大学大学院 建設システム工学専攻

^{††} 愛知工業大学 都市環境学科

別の制振デバイスを組み込むことにより, 橋脚に与える影響を軽減することができるか検討する.

2. 制振デバイスの種類と特徴

2.1 鋼材軸降伏デバイス

現在, 土木分野では様々な制振デバイスが橋梁に設置されており, その種類や特徴, 履歴曲線が様々であるため以下にまとめる. 極低降伏点鋼などの鋼材を利用した鋼材軸降伏デバイスは, 中心鋼材となる極降伏点鋼の塑性履歴に伴うエネルギー吸収により減衰性を与える機構を有する制振デバイスである.

鋼材軸降伏系デバイスとして座屈拘束ブレースとせん断降伏型ダンパーの 2 種類が主に使用されている. それぞれの例を写真-1 および 2 に, 代表的な履歴曲線を図-1 および 2 に示す.

座屈拘束ブレースは従来の断面補強工法では耐震設計が困難であったアーチ橋などの長大橋において施工されることがある. しかし, 座屈拘束ブレースの構造性能や長周期地震動に対する性能評価が求められるケースが増えてきているのに対し実物相当の供試体を用いた実験データは少ない.

今ある構造物に対して, 新たに座屈拘束ブレースを導入しようとする, 設置スペースの確保や構造物全体の安定性にどのような影響を与えるかが問題となっている. 図-1 より座屈拘束ブレースの履歴曲線は, 途中で荷重が下がることなく安定した履歴曲線を描いているものの荷重がある程度, 加わらないと鋼材が変形しないため履歴曲線を描くことができない.

せん断降伏型ダンパーはエネルギーを吸収する部材に極低降伏点鋼などの鋼材が使われる. オイルダンパーと比較して減衰性能の温度依存性がないことや安価で扱いやすい材料であり, 構造物の制振デバイスとして注目されている.

しかし塑性変形時に硬化, ひずみ劣化する特性があり, 地震後に交換, 点検を行う必要がある. 図-2 から安定した履歴曲線を描いていることが確認できるが, 変形量が小さいため道路橋に使用する場合, 数 10% もの大きなせん断ひずみ変形能力を有したものが要求される. 本研究室ではこれまで, 高変形性能を有するせん断降伏型ダンパーの開発を行っており, せん断ひずみ変形能力は約 70% に達するダンパーを開発した⁶⁾.

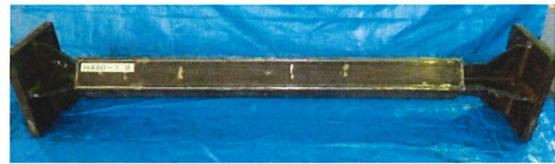


写真-1 座屈拘束ブレース

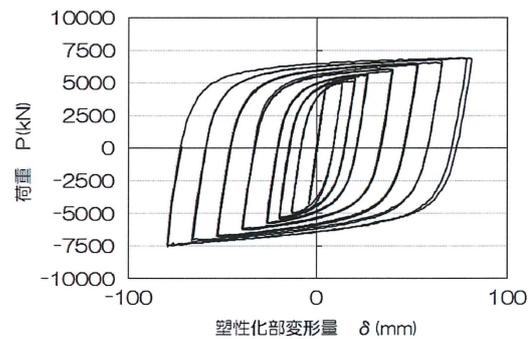


図-1 座屈拘束ブレースの履歴曲線



写真-2 せん断降伏型ダンパー

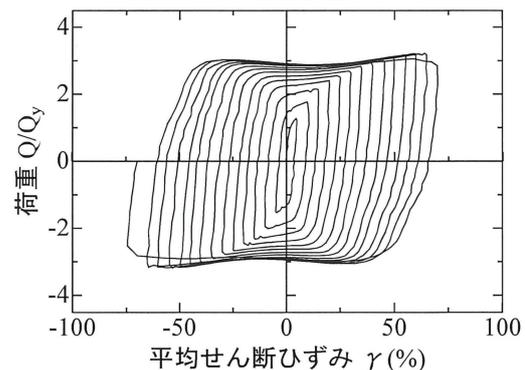


図-2 せん断降伏型ダンパー 履歴曲線

2.2 オイルダンパー

オイルダンパーの例を写真-3 に, 代表的な履歴曲線を図-3 に示す. オイルダンパーはダンパー内部の油などの粘性を利用して衝撃や振動を和らげ, 小振幅から大振幅まで振幅に応じた設計が可能で, ダンパー自体の大きさも自由に決めることができる. そのため多くの分野で利用され現在, 最も普及しているダンパーである. 図-3 か

異なる特性を持つ制振デバイスを有する橋脚の耐震性能に関する研究

ら安定した履歴曲線を描くことが確認でき、小さな荷重に対しても履歴を描くことができる。また、地震波の繰り返しに対して減衰性能を持ち、減衰力の設計精度が非常に高く、信頼性能は高いが、温度依存性の問題や地震発生後の内部の状況を確認することが非常に困難である。

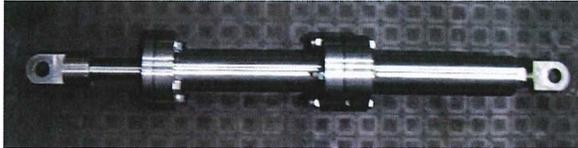


写真-3 オイルダンパー

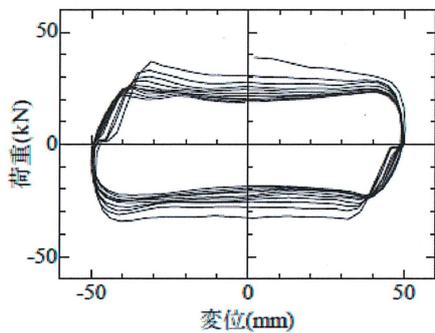


図-3 オイルダンパーの履歴曲線

2.3 免震ゴム

免震ゴムの例を写真-4に、履歴曲線を図-4に示す。免震ゴムはゴム本体の水平剛性を利用したアイソレート機能とエネルギー吸収性能による減衰機能をあわせ持った装置である。ゴムと鋼板を積層して接着することで鉛直方向の剛性が強く、水平方向の剛性は柔らかくなっているのが特徴であるが、そのため重量トラック等の交通振動により、桁の振動が励起され、照明柱や標識柱の基部における疲労破壊が発生する問題や、温度が低くなるほど常温に対する剛性の変化率が大きくなっていく特性がある⁷⁾。また、非常に高価であり近年ではゴムの劣化により供用開始時と比べて、地震時に有効に機能する性能を有しているか、疑問視されている。図-4の履歴曲線より、水平方向に柔らかいため非常に良く伸びる履歴曲線となっている。

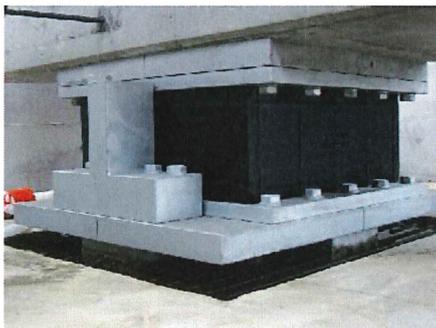


写真-4 免震ゴム

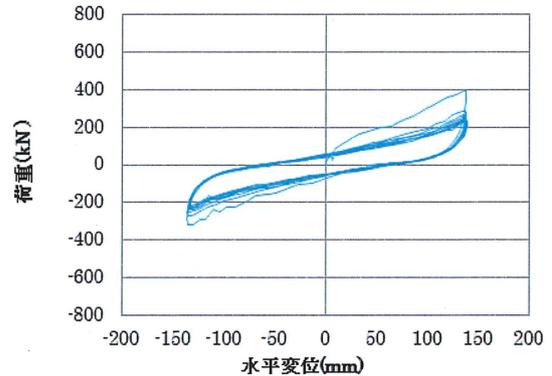


図-4 免震ゴム支承の履歴曲線

3. 実験概要

3.1 実験目的

橋脚 A に上部工耐震補強工事にて設置され供用 10 年が経過し経年劣化により、亀裂が発生している超高減衰ゴム支承を使用し、供用開始時の要求性能を満足しているか、せん断変形性能実験を行う。

3.2 試験体

本実験では橋脚 A において 10 年間使用されたゴム支承（以下 10 年供用沓①,②）を 2 体およびゴム支承と同等の性能で新規に製作したもの、新規製作沓を 1 体の計 3 体の試験体を用いる。本来ならば 10 年前に製作された未使用品を用いるべきであるが、メーカーでも保管されておらず、当時の製造方法と同じ方法で新規に製作した。試験体概要図を図-5に示す。

試験体は積層構造でゴム厚 11mm×5 層=55 mmおよび内部鋼板厚 3mm×4 枚=12 mmで構成されている。また積層構造の周りに厚さ 10mm のゴム被覆がなされている。10 年供用沓①, ②は橋軸直角方向の両辺の被覆ゴム部に内部鋼板と下部鋼板の境目にて亀裂が生じている。亀裂の深さは 10 年供用沓①8mm, 10 年供用沓②で 20mm, となっている。各試験体の製作時の等価剛性および等価減衰定数を表-1に示す。

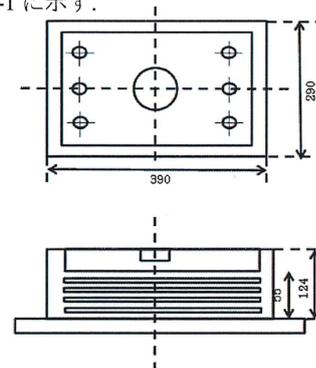


図-5 試験体概要図

表-1 各試験体パラメータ (設計値)

試験体	新規製作	10年 供用済①	10年 供用済②
等価剛性 (kN/mm)	2.10	2.40	2.39
等価減衰定数 (%)	16.0	15.0	15.1

3.3 免震ゴムのパラメータ算出

免震ゴム支承の免震性能は免震支承の等価剛性および等価減衰定数によって定まる。実験で得られた履歴曲線の各サイクルの等価剛性 K_{eq} 、等価減衰定数 h_{eq} を次式 (1.1) および (1.2) に示す⁸⁾。図-6 に免震ゴム支承水平方向力学特性の定義を示す。実験結果から図-7 に記載されている場所より、 K_1 、 K_2 :一次剛性(kN/mm)および二次剛性を算出する。

$$K_{eq} = \frac{F_{(D_{max})} - F_{(D_{min})}}{D_{max} - D_{min}} \quad (1.1)$$

$$h_{eq} = \frac{\Delta W}{2\pi W} \quad (1.2)$$

ここで、 K_{eq} : 免震支承の等価剛性(kN/mm)、 $F_{D_{max}}$: 最大復元力、 $F_{D_{min}}$: 最小復元力、 D_{max} : 最大変位、 D_{min} : 最小変位、 h_{eq} : 免震支承の等価減衰定数: 最小変位; W : 免震支承の弾性エネルギー、 ΔW : 免震支承の履歴吸収エネルギー、 γ : 免震支承のせん断変形量である。

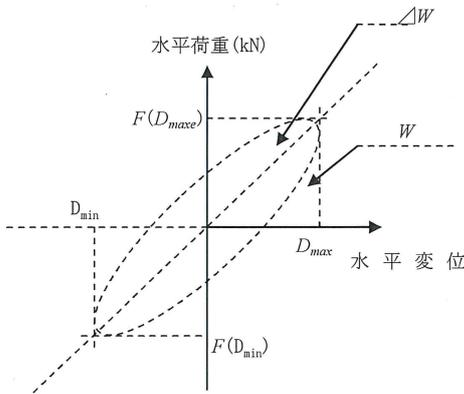


図-6 免震ゴム支承水平方向力学特性の定義

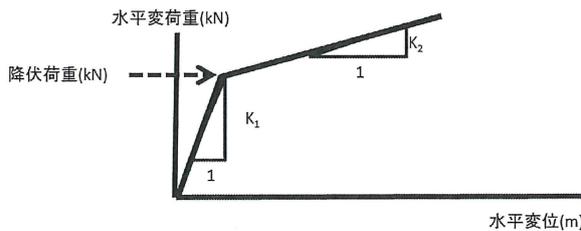


図-7 K_1 、 K_2 :一次剛性(kN/mm) 算出箇所

3.4 実験装置

今回使用する実験装置の全体概要を図-8 に示す。水平力は 2000kN の静的アクチュエータを使用し、変位制御により载荷する。装置中央部をアクチュエータより载荷し、装置上部のメカニズムにより水平移動が可能である。試験体への圧縮荷重は装置下部に設置されている 750kN 油圧ジャッキを 4 基使用し四隅を均一に载荷する。

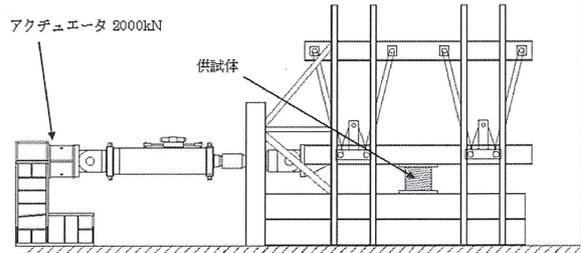


図-8 実験装置

3.5 実験方法

本研究では各試験体に対し、下記の 3 種類の実験を行う。

- ① 実験 I として設計限界値(せん断ひずみ 250%)の繰返しせん断変形性能実験を行う。繰返し回数は特性値を得ることを目的とし 10 回とする。周期は 100 秒の正弦波で加振を行う。
- ② 実験 II として設置当時の設計許容値(せん断ひずみ 300%)のせん断変形性能実験を行う。繰返し回数は地震本震 1 波および余震 2 波を想定し計 3 回とする。周期は 250 秒の正弦波での加振を行う。
- ③ 実験 III として破断までの一方向せん断変形性能実験を行う。一定速度 4.0mm/sec で载荷を行う。

载荷方向は橋軸方向に行い、各実験の水平変位はゴムの層厚(mm)×ひずみ(%)によって算出される。ゴムの温度を下げるため 12 時間以上空けて実験を行っていく、各せん断変形性能実験の実験条件を表-2 に示す。

表-2 実験条件

実験	I	II	III
最大ひずみ (%)	250	300	—
圧縮荷重 (kN)	50	100	100
水平変位 (mm)	±138	±165	—
加振回数 (回)	10	3	1

異なる特性を持つ制振デバイスを有する橋脚の耐震性能に関する研究

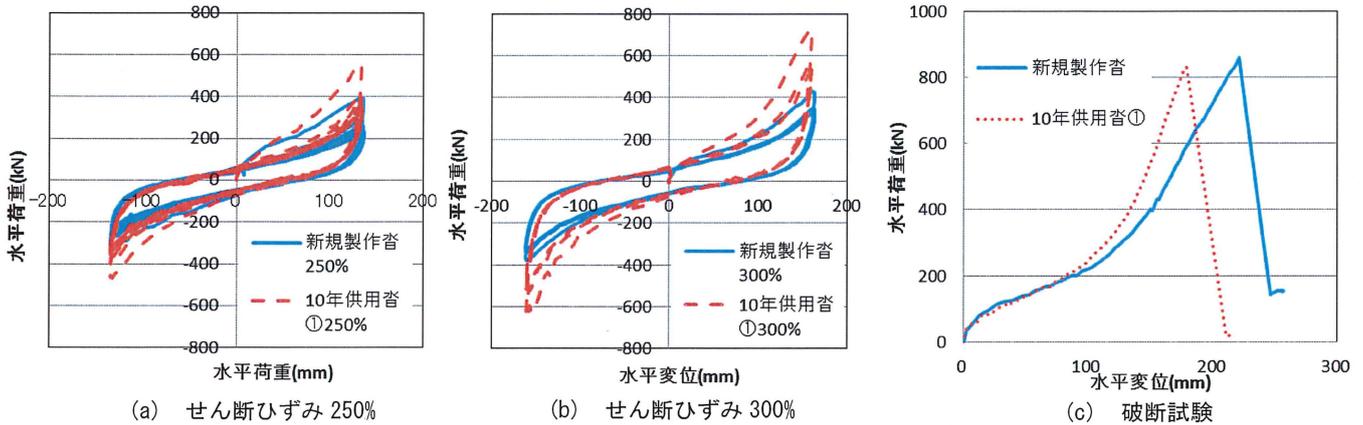


図-9 新規製作沓と10年供用沓① 荷重-履歴曲線

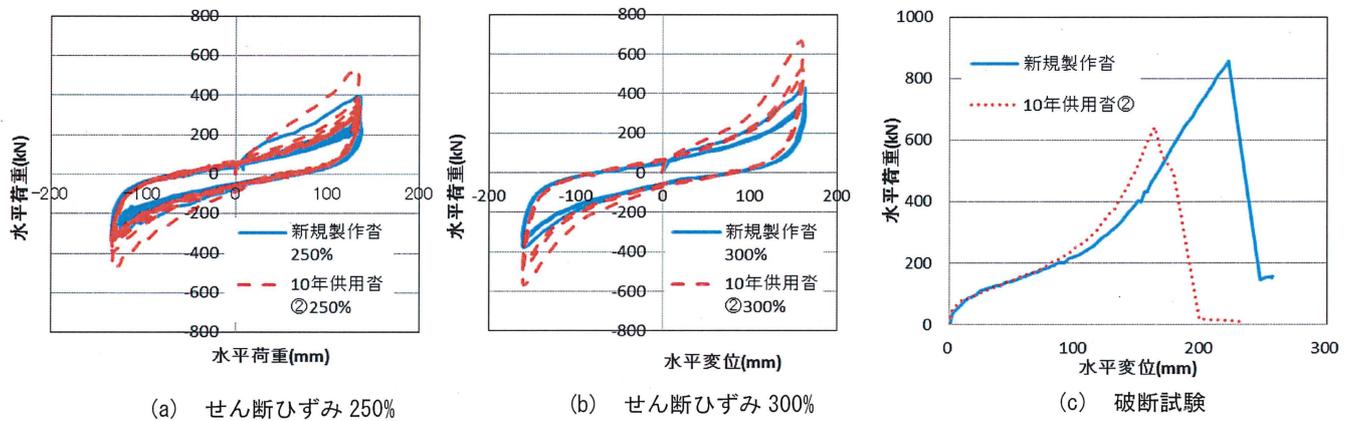


図-10 新規製作沓と10年供用沓② 荷重-履歴曲線

4. 実験結果

4.1 履歴曲線

図-9に新規製作沓と10年供用沓①の荷重-履歴曲線を、表-3に実験ⅠおよびⅡの最大荷重を、表-4に実験Ⅲの結果を示す。図-9(a)および(b)においてどちらの履歴曲線も初回載荷時の荷重値は増加する結果となったが、図-9(b)のひずみ300%の場合、初回載荷時の荷重値は新規製作沓と比べて大幅に増加する結果となった。次に図-9(c)の破断試験では、荷重値は、どちらも違いが見られないが破断時の水平変位を見ると荷重値はほぼ同じなのに対して破断時の水平変位には違いが見られた。これは、免震ゴムの亀裂が関係しているのではないかと考えられる。図-10に新規製作沓と10年供用沓②の荷重-履歴曲線を示す。図-10の履歴曲線からは、図-9で示したことと同様なことが言えるが図-10(c)の破断試験においては新規製作と比べて破断時の荷重値はおおよそ200kN低い値となった。

破断変位に関しては、新規製作沓では221mmに対し、10年供用沓①では179mm、10年供用沓②は164mmで破断する結果となった。これは、ゴムの亀裂が10年供用沓①では8mmで、10年供用沓②では20mmであったので、

表-3 実験Ⅰ・Ⅱの最大荷重

実験	新規製作沓	10年供用沓①	10年供用沓②
Ⅰ	248kN	354kN	325kN
Ⅱ	338kN	541kN	507kN

表-4 実験Ⅲの結果

	新規製作沓	10年供用沓①	10年供用沓②
最大荷重(kN)	857	831	643
破断ひずみ(%)	402	326	298
破断時水平変位(mm)	221	179	164

この亀裂が関係しているのではないかと考えられる。

4.2 等価剛性

図-11にせん断ひずみ250%と300%のサイクルごとの等価剛性を、表-5に式(1.1)より算出した等価剛性を示す。図-11(a)では、初回載荷時の等価剛性はどの試験体も上がる形となり、2サイクル目以降になると等価剛性もほぼ一定値で安定していることがわかる。また、10年供用沓①および②を比べると等価剛性に大きな差は見られない。しかし、新規製作沓と比べると等価剛性は上がっている

ため, 10 年供用沓①および②については免震ゴムが経年劣化によりゴム全体が硬化していると考えられる。

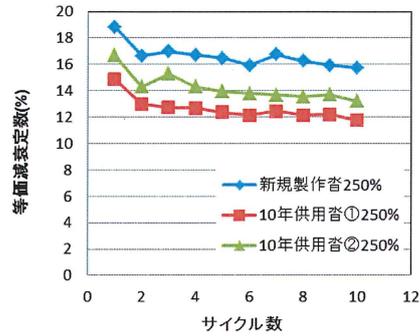
図-11(b)では図-11(a)のひずみ 250%の結果と比べ, 新規製作沓の等価剛性は同じような値となっているが, 10 年供用沓①および②については, 図-11 (a)と比べて等価剛性が大きくなる結果となった。

4.3 等価減衰定数

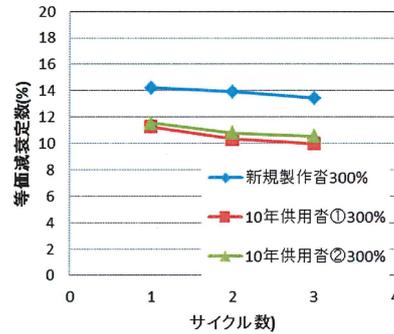
図-12 に各サイクルにおける等価減衰定数を, 表-5 に式(1.2)より算出した等価減衰定数を示す。図-12(a)および(b)の新規製作沓と 10 年供用沓①および②では, ゴムの硬化が進行しているため, 10 年供用沓のどちらも等価減衰定数が新規製作沓と比べ低くなっている。今後 10 年, 20 年経過すると等価減衰定数はさらに低下していくと考えられる。

表-5 等価剛性と等価減衰定数

試験体	等価剛性(kN/mm)	等価減衰定数(%)
新規製作沓	2.50	17.6
10 年供用沓①	3.42	12.5
10 年供用沓②	3.12	14.0

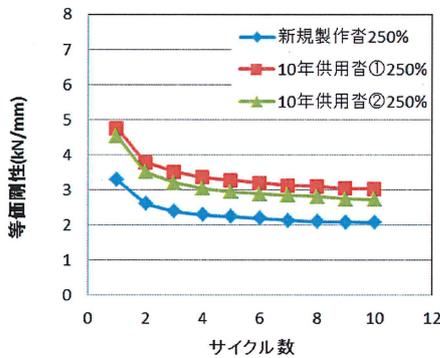


(a) せん断ひずみ 250%

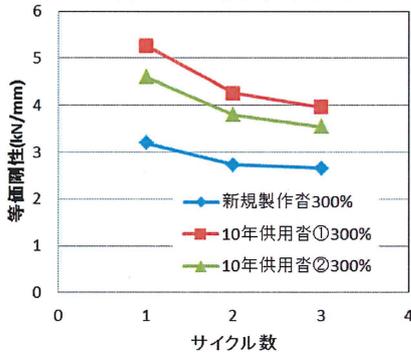


(b) せん断ひずみ 300%

図-12 等価減衰定数



(a) せん断ひずみ 250%



(b) せん断ひずみ 300%

図-11 等価剛性

5. 劣化した免震ゴムの解析

動的解析ソフト「DYMO」⁹⁾を用いて, 橋梁の支承部に 10 年および 20 年経過し, 劣化が進行した免震ゴムを有する場合を想定し, レベルⅡ地震動に対して解析を行う。その後, 20 年後の劣化した免震ゴムを有する橋脚に別の制振デバイスを組み込んだ場合, 橋脚に対する影響を軽減することができるか検討する。

5.1 対象となる橋脚のモデル化

本解析で対象となる橋梁は, 鉄筋コンクリート橋脚で試験体が設置している橋脚 A の橋脚と同等のパラメータを有している。概略図を図-13 に示す。

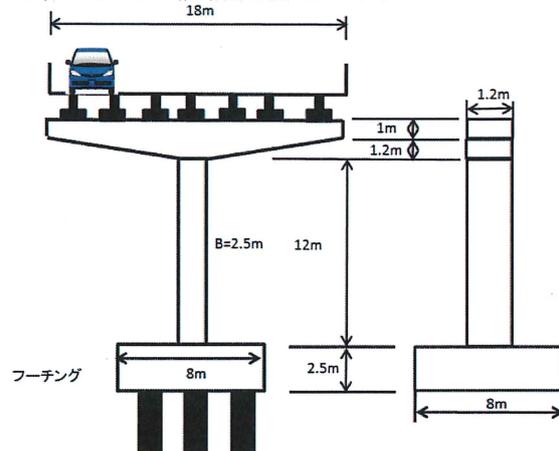


図-13 橋脚 A の概要図およびモデル

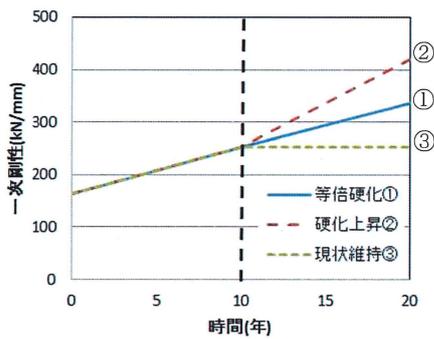
異なる特性を持つ制振デバイスを有する橋脚の耐震性能に関する研究

5.2 劣化の予想

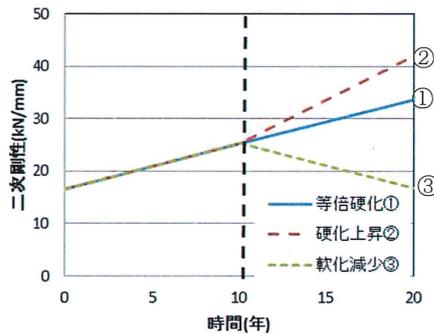
表-6 に実験結果より算出した K_1 :一次剛性および K_2 :二次剛性を示す. 10 年供用期の一次および二次剛性は 2 つの試験体の平均値をとった. 図-14 に 10 年経過した際の一次, 二次剛性の予測図を表-7 に予測図のパラメータを示す. ゴムは時間が経つにつれ硬化するため一次, 二次剛性が大きくなる. そのため実験結果より算出した結果を元に予測をする. 等倍硬化はゴムの硬化が線形的に進んでいくもの, 硬化上昇は硬化がさらに進んでいくもの, 現状維持はひびわれ等により, ゴムの一部が断面欠損をしたものと仮定をし, 一次剛性を現状維持とし二次剛性は下がっていくものとした.

表-6 一次・二次剛性

試験体	K_1 (kN/mm)	K_2 (kN/mm)
新規製作沓	163	16.6
10 年供用沓	252	25.2



(a) 一次剛性



(b) 二次剛性

図-14 経年による一次, 二次剛性予測図

表-7 劣化予想パラメータ

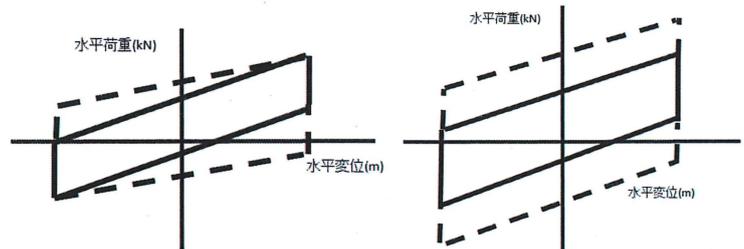
	K_1 (kN/mm)	K_2 (kN/mm)
等倍硬化	336	33.6
硬化上昇	420	42.0
現状維持	252	16.8

5.3 組み込む制振デバイス

免震ゴムのモデルは 2.3 で述べたようなバイリニア型とし, 橋脚と主桁の隙間が狭く新たに制振デバイスを組み込むことは非常に難しいため, 設置箇所に制限が無く自由な設計が可能なオイルダンパーを新たな制振デバイスとして組み込む, オイルダンパーのモデルは 2.2 で述べたようなバイリニア型を用いる.

図-15 に本解析において免震ゴムとオイルダンパーを組み合わせた際に予測されるモデルを 2 つ仮定し, モデル化する. 図-15 では実線が免震ゴムの履歴を示しており, 破線はオイルダンパーを組み込んだ後の履歴を示している. 図-15(a)では免震ゴムとオイルダンパーの両方で, 地震時に荷重を受け持つが, オイルダンパーが最大荷重に達する時にオイルダンパーの水平変位の速度が遅くなることにより, 最大水平変位に達した際に免震ゴムが荷重をすべて受け持つと考えモデル化した. 次に図-15(b)の B 案ではオイルダンパー分の荷重が免震ゴムに全て均等に載ると仮定してモデル化した.

表-8 に本解析において重要となるせん断ひずみ 250% 時における各パラメータを示す.



(a) モデル化 A 案

(b) モデル化 B 案

図-15 免震ゴムとオイルダンパー組み合わせモデル

表-8 せん断ひずみ 250%モデルパラメータ

No.	試験体	降伏荷重 (kN)	一次剛性 (kN/mm)	二次剛性 (kN/mm)	250%時の荷重 (kN)
基-D	新規製作沓	600	163	16.6	2891
基-0	10年供用沓	600	252	25.2	4078
基-①	等倍硬化	600	336	33.6	5237
基-②	硬化上昇	600	420	42.0	6396
基-③	現状維持	600	252	16.8	2918
A-0	10年供用沓	900	252	23.0	4078
A-①	等倍硬化	900	336	31.4	5237
A-②	硬化上昇	900	420	39.8	6396
A-③	現状維持	900	252	14.6	2198
B-0	10年供用沓	1200	252	25.2	4378
B-①	等倍硬化	1200	336	33.6	5537
B-②	硬化上昇	1200	420	42.0	6696
B-③	現状維持	1200	252	16.8	3218

5.4 実験で使用した免震ゴムの解析

今回の解析結果を表-9 および図-16 に示す. 図-16(a)より新規製作沓(基-D)と 10 年供用沓(基-0)を比べると, 免震ゴムが時間経過により硬化することで, 最大荷重が上昇し, 変位は小さくなる結果が得られた.

次に免震ゴムの硬化によって橋脚に対しどのような影響が生じているのかを図-16(b)に示す. 図-16(b)より, 基-D では, 履歴曲線中央部の腹の部分の履歴が基-0 と比べてスリムになっているのに対して, 基-0 では履歴曲線中央部の腹の部分が大きくなっている.

表-9 より, 橋脚天端の最大変位は, 基-D で 0.079m に対して, 基-0 で 0.099m となり, およそ 20%増加した. また, エネルギー吸収量に着目すると基-D では橋脚のエネルギー吸収量が 572kN・m に対して基-0 では 744kN・m と約 15%増えており, 免震ゴムの硬化が橋脚に負担を与えていると言える.

5.5 さらに 10 年が経過した場合の解析結果

図-17 にさらに 10 年が経過した際の解析結果の一例を示す. 図-17(a)より等倍硬化時(基-①)と硬化上昇(基-②)した場合の履歴曲線を比べると, 免震ゴムの硬化がさらに進んでいるため, 基-①および基-②のどちらも免震ゴムの荷重は上昇し, 水平変位は小さくなる結果となった.

次に図-17(b)の橋脚天端の履歴曲線を比べると, どちらも履歴曲線中央部の腹の部分が大きくなっている. また図-16(b)と比較すると, 表-9 に示すように, 橋脚天端の最大変位で基-①および基-②は最大変位が 0.111m および 0.131m であり, 基-0 の 0.099m と比べるとそれぞれ 10% および 30%増えており, 明らかに変位が大きくなっている. よって, 橋脚天端の履歴が描く面積も大きくなっている.

また, 表-9 の免震ゴムと橋脚のエネルギー吸収量を基-0 と比べると, どちらの硬化モデルにおいても免震ゴムのエネルギー吸収量が 948kN・m からそれぞれ 10%および 20%減り, 逆に橋脚のエネルギー吸収量が 744kN・m から 20%以上増加しており, より橋脚に対して負担がかかっている. 以上より免震ゴムの硬化による橋脚の影響が顕著に表れている.

5.6 免震ゴムにオイルダンパーを設置した解析結果

図-18 に免震ゴムにオイルダンパーを設置した場合の解析結果を示す. 図-18(a)に免震ゴムの履歴曲線を示す. 図-18(a)および図-17(a)の最大荷重と最大変位を比べると, 図-18(a)ではオイルダンパーを組み込んだ分, 一次剛性に相当する履歴の荷重は増加する形となったが, 免震ゴムの最大荷重と最大変位に大きな差は見られない.

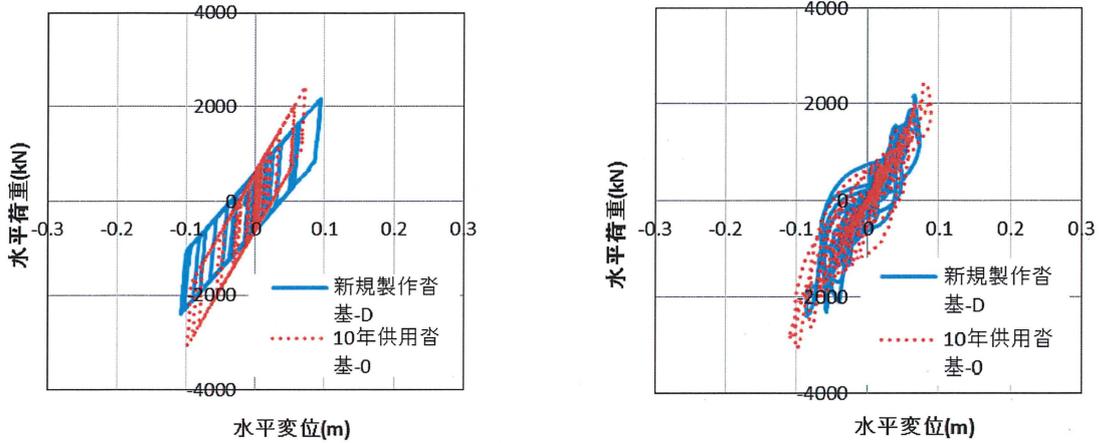
図-18(b)に橋脚天端の履歴曲線を示す. 図-18(b)と図-17(b)の最大変位と最大荷重を比べると, オイルダンパーを組み込んだ分の橋脚天端の最大変位と最大荷重に大きな変化は見られない.

しかし, 表-9 より, 免震ゴムと橋脚のエネルギー吸収量を見ると, 基-①では免震ゴムは 861kN・m で, 橋脚は 918kN・m に対して, オイルダンパーを設置した A-①では, 免震ゴムは 999kN・m で橋脚は 760kN・m となり, B-①についても免震ゴムは 1036kN・m で橋脚は 696kN・m となった. オイルダンパーの設置により, A-①および B-①では免震ゴムは, それぞれ約 10%および約 20%のエネルギー吸収量が増加し, 逆に橋脚のエネルギー吸収量は約 20%および約 30%低下する結果となった. 以上より, オイルダンパーを追加することにより橋脚のエネルギー吸収量を大幅に減らすことができ, 別の制振デバイスを組み込むことは, 免震ゴムの機能回復と橋脚の負担軽減に繋がる可能性がある.

表-9 応答解析結果

No.	試験体	上部工		免震ゴム		橋脚天端		免震ゴム エネルギー吸収量(kN・m)	橋脚
		最大変位(m)	最大荷重(kN)	最大変位(m)	最大荷重(kN)	最大変位(m)	最大荷重(kN)		
基-D	新規製作沓	0.177	2285	0.102	2285	0.079	2285	1049	572
基-0	10年供用沓	0.175	2744	0.085	2744	0.099	2744	948	744
基-①	等倍硬化	0.180	3021	0.072	3021	0.111	3021	861	918
基-②	硬化上昇	0.195	3326	0.065	3326	0.131	3326	763	959
基-③	現状維持	0.156	2055	0.087	2055	0.076	2055	978	638
A-0	10年供用沓	0.156	2055	0.087	2055	0.076	2055	1112	633
A-①	等倍硬化	0.176	3044	0.068	3044	0.110	3044	999	760
A-②	硬化上昇	0.191	3461	0.064	3461	0.130	3461	889	845
A-③	現状維持	0.139	2018	0.077	2018	0.082	2018	1147	536
B-0	10年供用沓	0.169	3037	0.073	3037	0.103	3037	1170	600
B-①	等倍硬化	0.190	3488	0.068	3488	0.124	3488	1036	696
B-②	硬化上昇	0.199	3695	0.059	3695	0.140	3695	878	629
B-③	現状維持	0.152	2460	0.075	2460	0.099	2460	1193	506

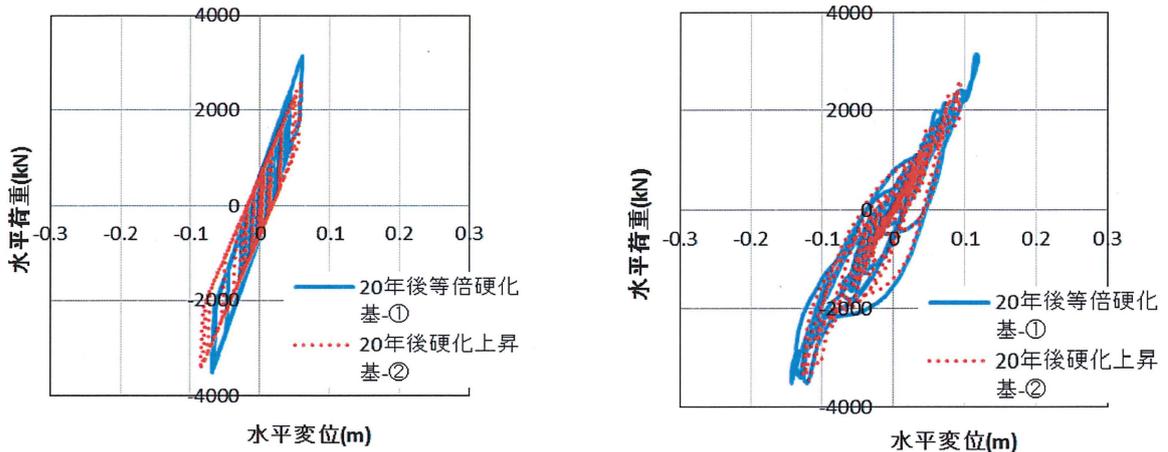
異なる特性を持つ制振デバイスを有する橋脚の耐震性能に関する研究



(a) 免震ゴムの履歴曲線

(b) 橋脚天端の履歴曲線

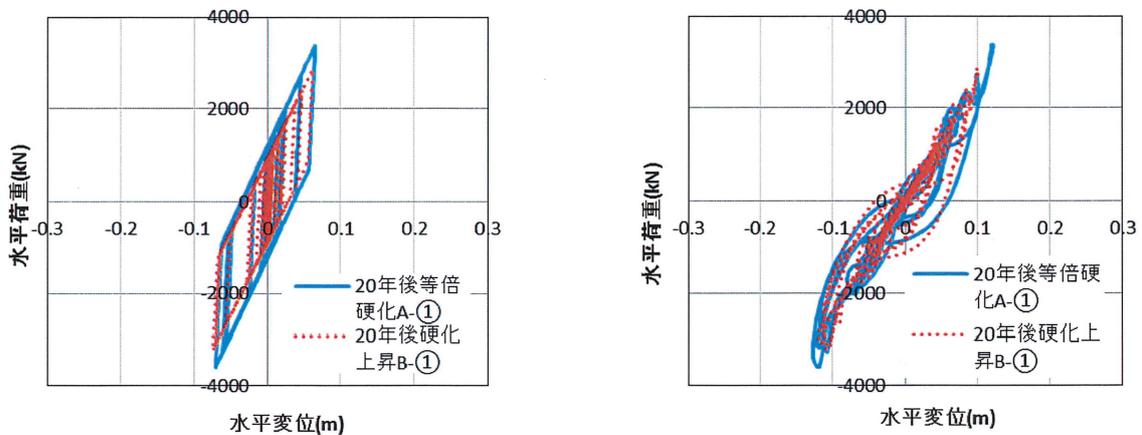
図-16 試験体の解析結果



(a) 免震ゴムの履歴曲線

(b) 橋脚天端の履歴曲線

図-17 さらに10年後免震ゴムの解析結果



(a) 免震ゴムの履歴曲線

(b) 橋脚天端の履歴曲線

図-18 免震ゴムにオイルダンパーを設置した解析結果

6. 結論

本研究で得られた実験結果と解析結果を以下に示す.

- 1) 実験 I の結果より算出した 10 年供用沓の等価剛性および等価減衰定数は新規製作沓と比べて等価剛性は上がり, 等価減衰定数は下がる結果となった.
- 2) 実験 I の結果より 10 年供用沓をこれからも使う場合, 今後さらに劣化が進行する可能性があるため注意をしなければならない.
- 3) 劣化が進行したモデルは免震ゴムのエネルギー吸収量が減り, その分橋脚のエネルギー吸収量が増えた.
- 4) 劣化が進行したものに対して別の制振デバイスを組み込むことにより橋脚への負担が低減されていることから, 補強が必要な免震ゴムに対して別の制振デバイスを組み込むことは, 免震ゴムの機能回復と橋脚の負担軽減に繋がる可能性がある.
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会“全国を概観した地震動予測地図”.2010年版 2010年 5月
- 3) 橋の免震構造に関する技術資料の出版“わが国の免震橋事例集”と“道路橋の免震・耐震設計法マニュアル” 土木技術資料 54-12(2012)
- 4) 柳勝幸, 高山峯夫, 安井健治, 開発美雪, 森田慶子, 山上聡:天然ゴム系積層ゴムの経年変化に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)2010年9月
- 5) 北原武嗣, ゴム支承の経年劣化を考慮した免震 RC 橋梁の耐震性能に関する検討(耐震性能評価), コンクリート工学年次論文集 30(3), 1057-106, 2008-07-30
- 6) 山下友樹, 森田慎也, 張超峰, 青木徹彦:高性能極軟鋼せん断型ダンパーの静的および動的低サイクル疲労実験, 土木学会第 66 回年次学術講演会, I-359, pp748-746, 2011.92
- 7) 三田村浩, 佐藤京, 石川博之, 寒冷地における橋梁用ゴム支承の性評価実験, 寒地土木研究所月報(670), 2-7, 2009-03 土木研究所寒地土木研究所
- 8) 日本免震構造協会:免震積層ゴム入門, 平成 9 年 9 月 1 日 第 1 版第一刷発行
- 9) 橋の動的耐震設計方マニュアルー動的解析および耐震設計の基礎と応用 - 財団法人 土木研究センター, 平成 18 年 5 月

(受理 平成27年3月19日)

参考文献

- 1) 川島一彦:兵庫県南部地震と今後の耐震設計, 特集 最新の耐震設計と施工例, 土木技術, 52 巻 2 号, 1997 年 2 月