

ブロック型ゴム被覆チェーンを用いた 耐震連結装置の性能確認試験

神戸第一建設部 設計課

神戸第一建設部 有野工事事務所

阪神高速道路管理技術センター 企画部

西 岡 敬 治

乙 黒 幸 年

関 惟 忠

要 約

兵庫県南部地震により阪神高速道路も3号神戸線を中心に甚大な被害を被った。このような状況の中で、耐震連結装置も強度不足などから破断あるいは破損し、本来の機能を発揮できなかったものもあった。これは従来の耐震連結装置では地震力による衝撃および各個撃破の影響を受けやすいことも一因であった。そこで、本論文では緩衝性が大きく、任意方向への変位に追従でき、かつ既設鋼桁の狭い桁遊間部に取り付けやすい鋼製チェーンをゴムで被覆したU型の耐震連結装置を開発し、その引張・衝撃試験などを実施し、性能を確認したので報告するものである。

キーワード：耐震連結装置、ゴム被覆チェーン、被災事例、静的試験、動的試験、衝撃試験、試験施工

まえがき

平成7年1月17日未明に発生した兵庫県南部地震により既設橋梁の耐震連結装置の多くが損傷を受けた。また、桁が杓座から逸脱した際に耐震連結装置で支えることができず、落橋に至った橋梁も見られた。これは、地震力そのものが想定していたものより遥かに大きかったことが主たる原因であるが、それ以外にも従来用いられていた鋼板製のめがね式やリンク式の耐震連結装置では緩衝性を有していないといったことが被害を大きくしたと考えられる。このような被災状況を踏まえ、復旧仕様などでは耐震連結装置に緩衝性を与えるとともに、許容応力度以下で死荷重反力相当の力に抵抗できる構造とすることが示された¹⁾。

本稿は、この思想に従うとともに、さらに既設構造物を対象として、端横桁などへの影響、橋軸直角方向への変形性を考慮した新しい耐震連結装

置を開発したので、その性能確認試験結果を中心に報告するものである。

1. 耐震連結装置の被災状況

図-1に阪神高速道路神戸西宮線の耐震連結装置の被災状況を示す。

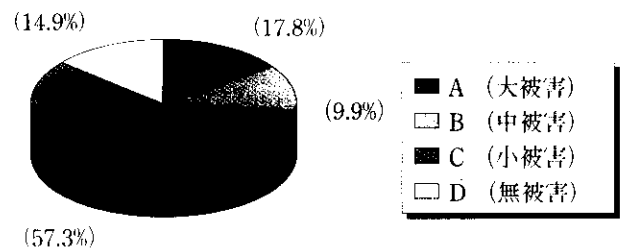


図-1 耐震連結装置の被災状況

これから判かるように、全体の約85%が被害を受け、そのうちの約20%は、写真-1, 2, 3に示すように、連結板の破断、取付け部の破断、ピンの破断といったAランク（大被害）のものであった。この理由としては、地震力が想定以上に大きかったこと以外に、

- ①変形性能が乏しいため地震時に衝撃力を受けやすい。
 - ②地震力が特定の耐震連結装置に集中し、各個撃破の状態になりやすい。
 - ③橋軸直角方向の桁変位に追従しにくい。
- といった、耐震連結装置固有の問題もあった。

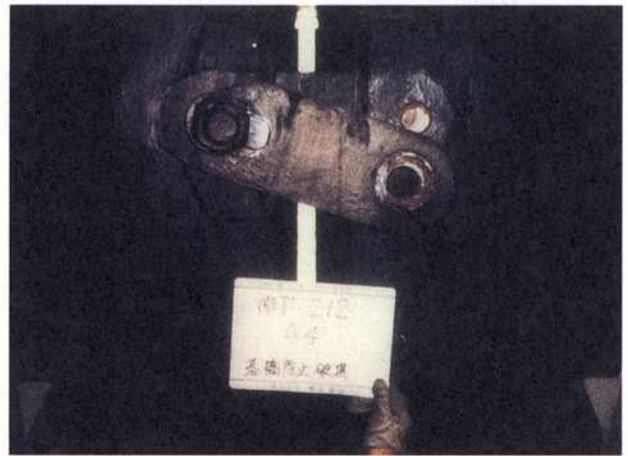


写真-3 ピンの破断

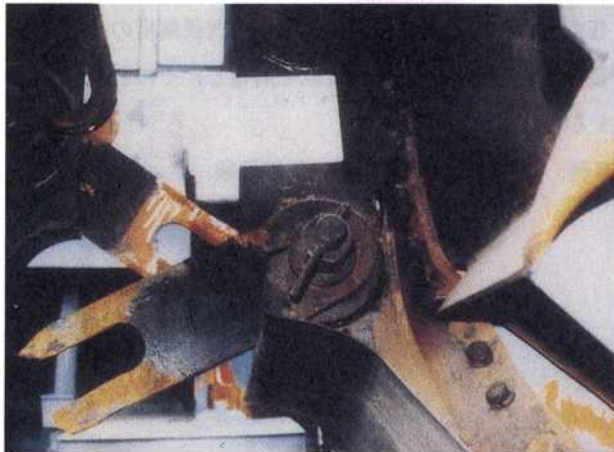


写真-1 連結板の破断

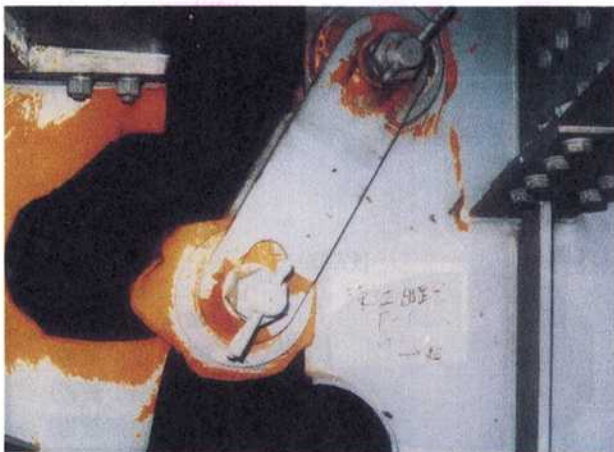


写真-2 取付け部の破断

2. ゴム被覆チェーン式耐震連結装置

2-1 棒状タイプ

従来の耐震連結装置は、図-2の①に示すように、変形がある程度生じた後（自由変形量）、急激に荷重が増大するが、今後期待される耐震連結装置は②のように伸び（変形）とともに荷重（抵抗力）が漸次増大することで衝撃力を大きく緩衝できる性能を有する必要がある。

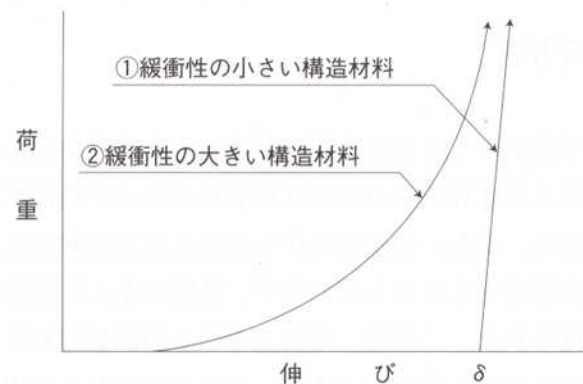


図-2 荷重-伸び変形特性

この特性を満足する構造材料として図-3に示すような海洋浮遊構造物の係留アンカーがある。これは、一列に並んだ鋼製のチェーンをゴムで被覆し、加硫成形したもので棒状となっている。したがって、チェーンが引張力を受けると、チェーン間に挟まれたゴムは圧縮力を受け側面にはらみ出そうとするが、チェーン全体がゴムで厚く被覆されているため抑制されることでゴムの密閉効果が発揮されて、大きい緩衝性を得ることができる。

このタイプのものを3号神戸線復旧工事の中で摩耶付近のPC桁の耐震連結装置として利用している³⁾。

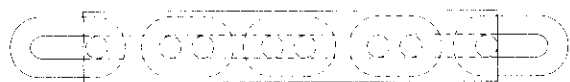


図-3 棒状ゴム被覆チェーン

2-2 ブロック型タイプ

一方、棒状タイプは長尺ものとなるため、鋼桁の場合には、桁遊間部に納まらず、端横桁に貫通用の切欠きを設ける必要があるなど他部材への影響が大きい。また、橋軸直角方向に変位すれば端横桁と干渉する。さらに、取付け部の補強規模が大がかりになるなど、特に既設構造物の耐震連結装置としては施工性に劣る。そこで、これらの問題点を解消するために、棒状のゴム被覆チェーンを図-4に示すようにU字型形状に折り曲げたタイプ（ブロック型タイプ）を開発した。

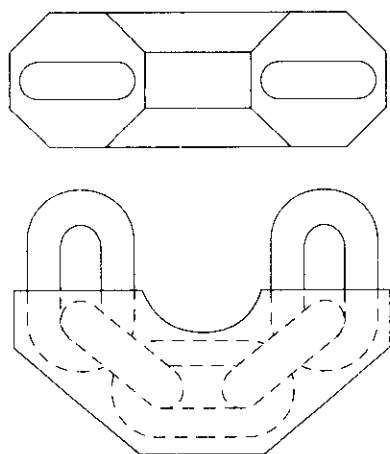


図-4 ブロック型ゴム被覆チェーン

ブロック型タイプは図-5に示した模式図のように引張力を受けると、徐々に棒状に変形していくため、棒状タイプに比べて全体の伸び変形が大きい。また、ブロック型が棒状に変形する過程で曲げられるため、徐々に引張抵抗が発生する。さ

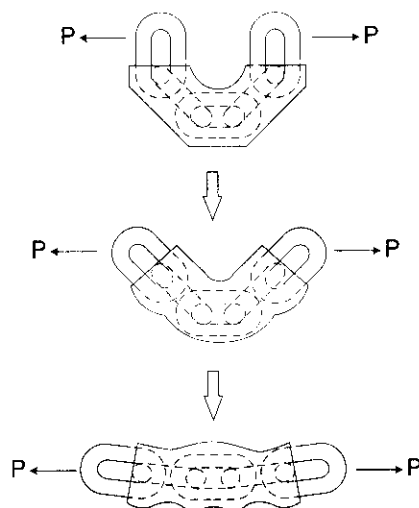


図-5 ブロックタイプの変形

らに棒状に近づくにつれてチェーン交差部のゴムの圧縮バネが抵抗し始めるため、引張抵抗が大きく増大し、図-2に示した緩衝性のある荷重-変形特性を示すことになる。したがって、地震時においては、ブロック型タイプには変形に応じた上部工慣性力が作用しているため、支承が破損すれば、支承に作用していた上部工慣性力がブロック型タイプに移行しやすく、衝撃の発生は小さくなる。

一方、温度変化による桁の伸縮量はブロック型の可能変形量に比べて相当小さく、ゴムが有する応力緩和特性によりブロック型に大きな抵抗力が発生することはない。

3. 性能確認試験

開発に当たってはブロック型タイプの特性を把握するため、図-4および写真-4に示すチェーン数が5個（5リンク）の実物大の供試体を製作し、性能確認試験を実施した。

試験項目、载荷条件などを表-1に示す。試験場所は衝撃試験については運輸省船舶技術研究所、その他については（株）コベルコ科研で実施した。

また、この供試体（チェーン）は、設計荷重50tf用の耐震連結装置として製作されたものであ

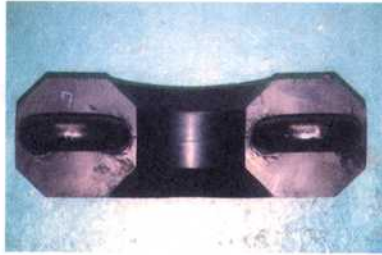
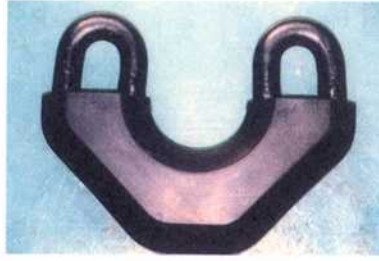


写真-4 試験供試体

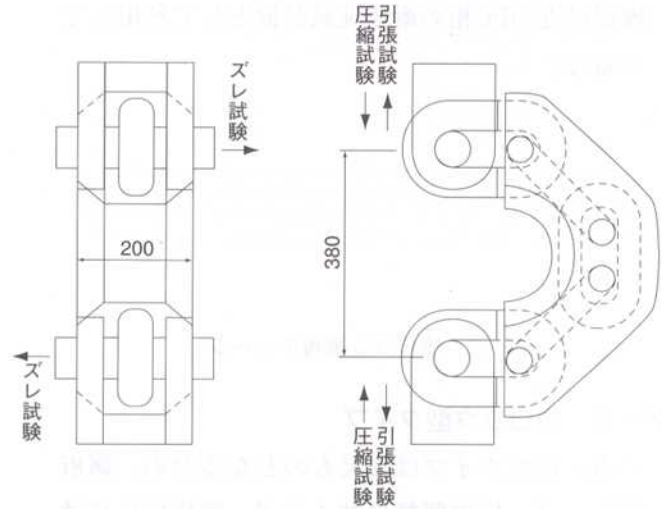


図-6 各種試験の荷重方向

表-1 試験仕様の一覧

対象部位	試験項目	供試体数	試験機	荷重条件	試験速度	試験回数	結果例
ゴムチェーン	引張試験	3	3000t大型構造物試験場	最大負荷 50tf	1mm/s	3回/1供試体	図-9, 10
	引張耐力試験	1		最大負荷 137tf			図-11
	圧縮試験	3	100tf万能型試験機	150mm	1mm/s	3回/1供試体	図-12
	面内ズレ試験	3	500t静的油圧ジャッキ	最大負荷 50tf	1mm/s	3回/1供試体	図-13
	面外ズレ試験	3	500t静的油圧ジャッキ	最大負荷 50tf	1mm/s	3回/1供試体	図-14
本体	繰返し試験	3	65t電気油圧サーボ型披露試験機	最大負荷 40tf 最大振幅 200mm	0.15Hz(60mm/s) 0.39Hz(120mm/s)	5回/1供試体	図-15
	衝撃試験	3	高速引張試験装置	最大負荷 40tf	1000mm/s	1回/1供試体	図-16, 17写真-2, 3
取付治具	面外荷重試験	1	500t静的油圧ジャッキ	最大負荷 50tf	1mm/s	1回/1供試体	図-18

り、切断試験荷重および耐力試験荷重はそれぞれ131tf, 91.4tfである。

今回実施した各試験の荷重荷重方向を図-6に示す。

以下に各試験結果について述べる。

3-1 静的引張試験

静的引張試験による荷重-伸び変形特性を図-7に示す。

図-7では1回目荷重の30tfおよび40tf付加荷重時に荷重-伸び変形曲線に不連続が生じている。これは、ブロック型の内曲面のゴムに破断が生じたことにより応力の一部が解放されたため、変形が増大したものであるが(試験時にガクンという音が発生)、変形性能には大きな影響を及ぼしておらず、当然耐力荷重に問題はない。2回目荷重以降の荷重-伸び変形曲線は1回目に比べ急な立

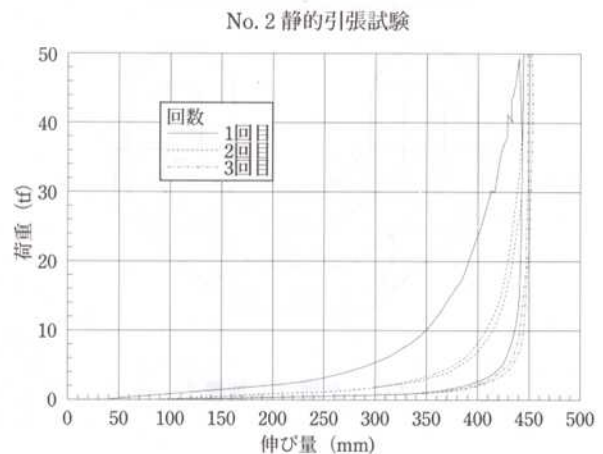


図-7 静的引張試験結果

ち上がりとなっている。これは1回目荷重によりゴム内部のひずみが大きい箇所でも局部的に破断し

たため、2回目载荷以降ではゴムによる拘束効果が小さくなったこと、1回目载荷の試験でゴム分子の弱い不安定な1次結合が切断されたためと思われる。実橋においては、今回の直下型地震で見られるように1回目载荷で得られる荷重-伸び変形特性のような大きな緩衝機能が重要であることから、実橋に適用する耐震連結装置は未負荷のものを使用することが望ましい。

図-8では静的载荷試験による変動幅を示す。これより、1回目载荷の変動幅に比べて、2回目

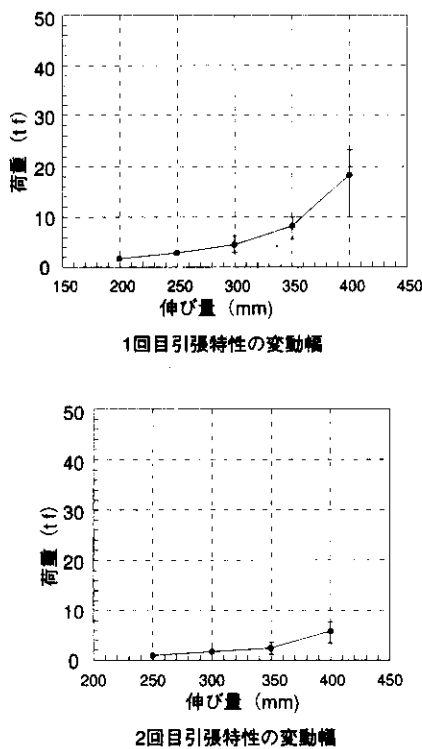


図-8 静的引張試験による変動幅

载荷の変動幅が小さくなっているが、これは前述の理由によると考えられる。

図-9には静的引張耐力試験結果を示す。結果的には137tfまで载荷したが、破断には至らなかった。この荷重-伸び変形特性からゴムによる緩衝性は50tf程度の荷重まで発揮され、それ以上の荷重に対しては、個々のチェーンが変形することによるチェーン固有の緩衝性が現れている。また、試験後ブロック型の外面検査を実施したが、表面にゴムの亀裂は見られなかった。

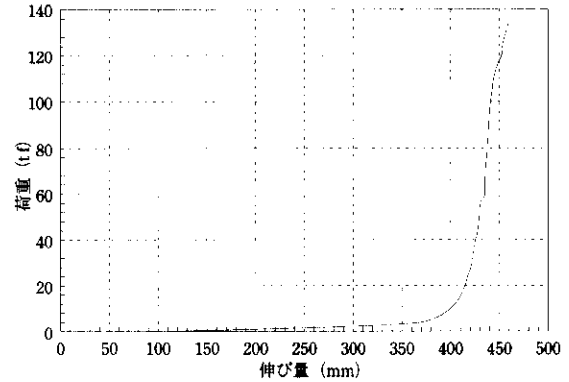


図-9 静的引張耐力試験結果

3-2 静的圧縮試験

静的圧縮試験による荷重-縮み変形特性を図-10に示す。圧縮試験変位量は、耐震連結装置の供試体形状を考慮し150mmとした。この程度の縮み変形量ではゴムに発生するひずみ量も小さいため、ゴムの損傷や残留ひずみなどは見られなかった。

また、静的引張試験と同様に2回目载荷以降の荷重-縮み変形特性は、1回目载荷の時のそれと比べ立ち上がりが急になっているが縮み変形量および圧縮力が小さいため、その影響はない。

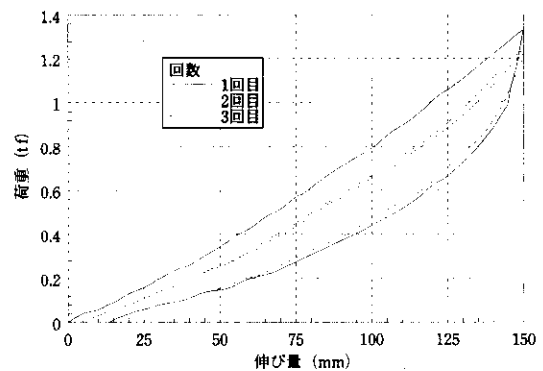


図-10 静的圧縮試験結果

3-3 面内ズレ試験

面内ズレ試験による荷重-伸び変形特性を図-11に示す。静的引張試験と同様に、2回目载荷以降の荷重-伸び変形特性は、1回目载荷のそれより急な立ち上がりとなっている。面内ズレの最終形態は、静的引張試験と同様な形態となることも

あり、試験結果もほぼ同じである。ただし、自由変形量（抵抗力がほとんどない状態での伸び変形量）は引張試験に比べ300mm程度長くなっている。

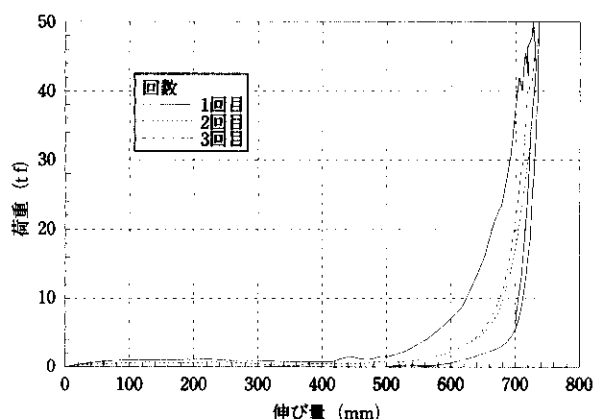


図-11 静的面内ズレ試験結果

3-4 面外ズレ試験

面外ズレ試験の荷重-伸び変形特性を図-12に示す。静的引張試験と同様に、2回目载荷以降の荷重-伸び変形特性は1回目に比べ急な立ち上がりとなっている。また、チェーン取付け構造に起因して端末リンクが面外に大きく曲げられたため、残留曲げ変形が生じ端末リンク付け根のゴムが破断した。荷重-伸び変形曲線の1回目载荷時の15tf、40tfおよび2回目载荷時の35tf程度での変状はこの影響によるものと考えられる。しかし、伸び変形性能全体に対しては大きな変化は及ぼしていない。

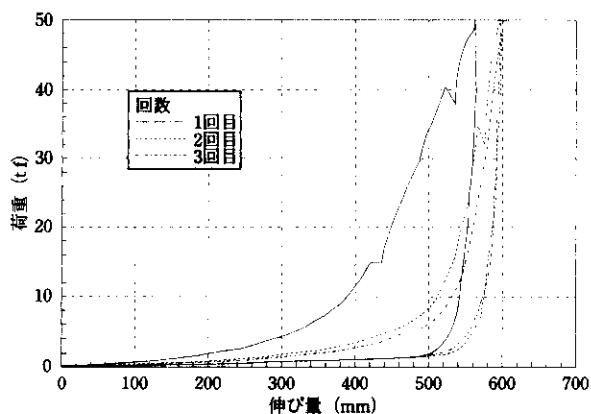


図-12 静的面外ズレ試験

3-5 動的引張試験

動的引張試験は、試験機的能力からあらかじめ350mmの変形を与えた状態で、30tf程度の荷重を载荷した。この試験による荷重-伸び変形特性を図-13に示す。

これから、荷重-伸び変形特性は荷重载荷点を中心にループを描き、静的引張試験と同様な挙動であった。

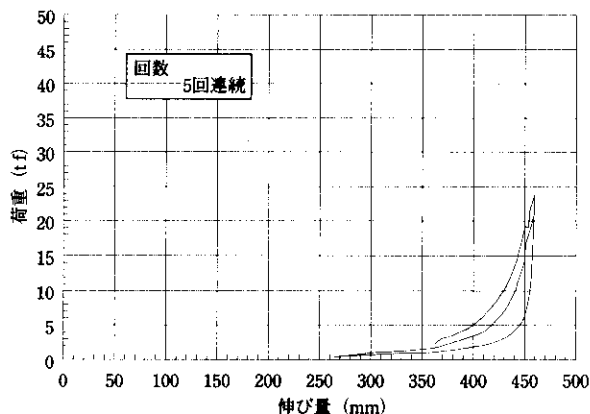


図-13 動的引張試験

3-6 衝撃引張試験

衝撃引張試験の荷重-伸び変形特性を図-14に示す。静的引張試験と同様な結果が得られ、静的試験と衝撃試験で有意な差は見られなかった。

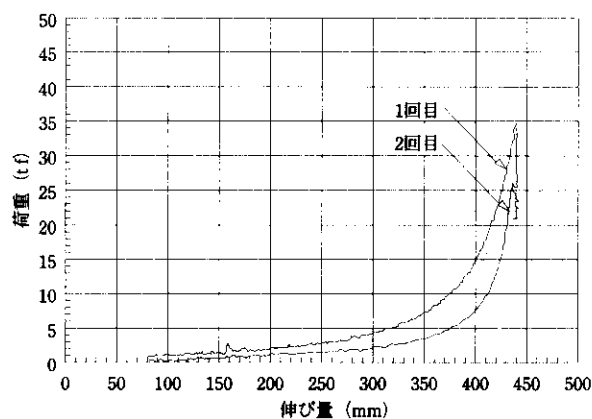


図-14 衝撃試験結果

また、動的引張試験結果とともに、平均値をプロットした荷重-速度依存性を図-15に示す。これより、荷重の速度依存性は変位量に関わらず小

さいことが分かる。

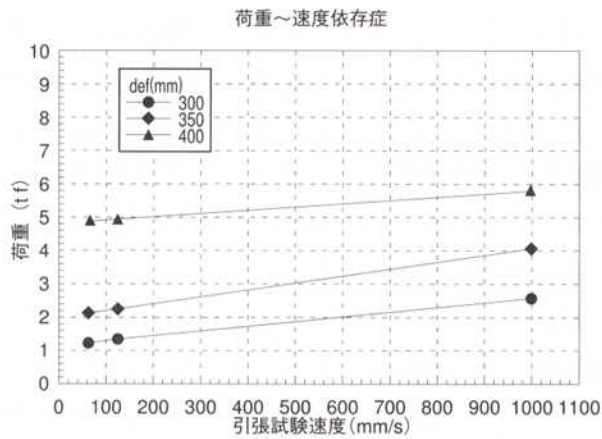


図-15 速度依存性

試験後のゴム損傷は、端部付近でチェーンとゴムとの縁切れがある程度であり、ひずみが大きくなる内曲面には破損は見られなかった。

衝撃試験前後の供試体状況を写真-5, 6に示す。

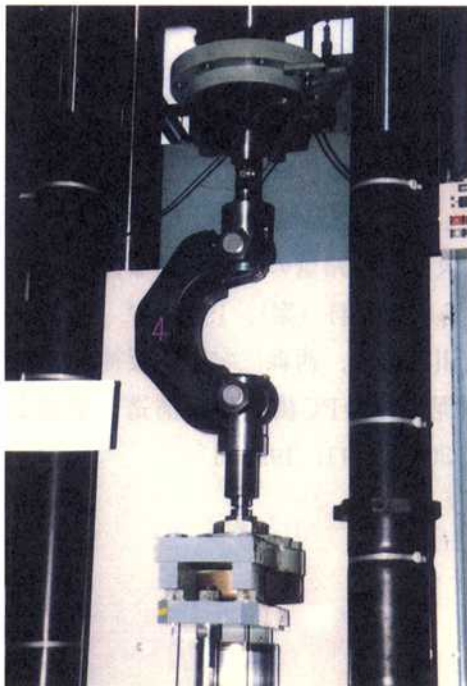


写真-5 衝撃試験供試体 (試験前)



写真-6 衝撃試験供試体 (試験後)

3-7 取付け治具の面外載荷試験

耐震連結装置が桁を吊り下げた状態では、取付け治具に面外方向の変位が発生するため、取付け治具にひずみゲージを取り付けて、面外載荷試験を実施した。その結果、取付けリブの基部の縁端で、降伏を超える過大な局部ひずみが発生していた。また、FEM解析により確認を行ったが、試験結果と同様に降伏を超える過大なひずみが発生した。このように、取付けリブ全体にわたって、発生応力度を許容応力度以下にすることは無理であるが、取り付けリブをベースプレートに完全溶け込み溶接で接合させ、取付け治具全体で抵抗させることで耐荷できるものとする。

4. 有効性の評価

静的引張試験により得られたブロック型の荷重-伸び変形特性を多項式で近似し、振動方程式により時刻歴応答解析を実施した。対象橋梁は後述する試験施工した連結化した橋梁である。荷重条件はゴム支承が400%のせん断ひずみに達した

時点で支承が破断し、その力が耐震連結装置に移行するものとした。この条件により、耐震連結装置が256mm変形した状態で20tfの荷重が作用することとなる。また、これと同様の計算をチェーン単体についても行った。その結果、図-16に示すように最大応答荷重は、チェーン単体の時の約1/3となり、ゴム被覆による緩衝性の効果は十分得られていることが分かる。

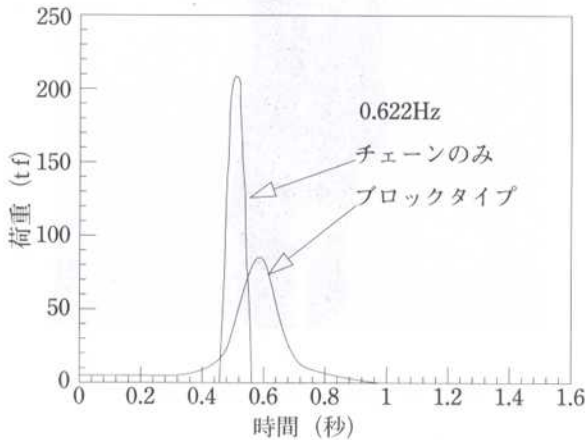


図-16 時刻歴応答荷重

5. 試験施工

本耐震連結装置を用いて、阪神高速道路堺線で試験施工を行った。

この試験施工から、桁遊間の狭隘部に取り付ける場合には、U型の構造幅をやや狭くしておく方が施工しやすいことが分かった。

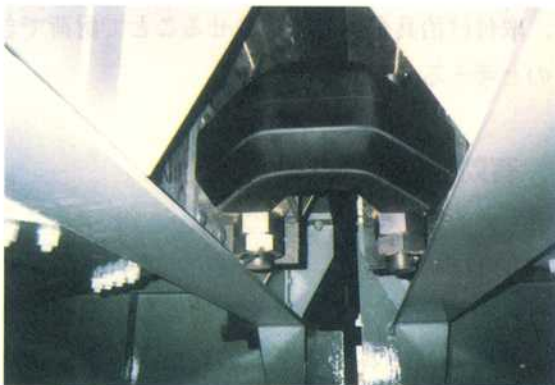


写真-7 ブロック型ゴム被覆チェーンの取付け状況

あとがき

以上のように、ブロック型ゴム被覆チェーン式の耐震連結装置は十分な緩衝性と任意方向への変形性能を有するとともにコンパクトであるため、特に既設橋梁の耐震連結装置として有効である。今後、さらに取付け部の改良を加え、耐震補強の一助となれば幸いである。

最後に、ブロック型ゴム被覆チェーン式耐震連結装置の共同開発者である(株)総合技術コンサルタントの宇野課長、(株)ブリジストンの潤田課長補佐に深く感謝の意を表するとともに、開発に当たり、ご指導いただいた建設省土木研究所橋梁研究室の西川室長、神田主任研究員ならびに各種試験を実施していただいた(株)コベルコ科研、運輸省船舶技術研究所の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 建設省：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様，1995.2.
- 2) (社)日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)，1995.6.
- 3) 吉川，金治，西森，宇野：阪神高速道路神戸線味泥地区のPC橋の復旧構造，橋梁と基礎，VOL.30，NO.11，1996.11.