

報告番号	乙 第 7184 号
------	------------

## 主論文の要旨

論文題目 座屈拘束波形鋼板制震ダンパー  
に関する研究開発(Research for  
developing buckling-restrained rippled  
plate (BRRP) dampers)

氏 名 山崎 伸介

## 論文内容の要旨

本論文では、レベル 2 地震動を超える想定外地震に対しても、余剰耐震性を有する鋼材ダンパーを開発することを目的とし、座屈拘束ブレース (BRB) の芯材を平板から波形とする新しい制震ダンパー (**B**uckling **R**estrained **R**ipple **P**late, BRRP) を考案し検討を行った。

既往のダンパー、例えば、BRB、せん断パネルダンパー (SPD) などにおいては局部ひずみの集中や、ひずみ硬化の影響により、想定外の長時間継続地震動に対する低サイクル疲労性能や、ダンパー降伏耐力の上昇によって適切なエネルギー吸収ができないことによる地震時の制震性などに対して懸念される点がある。

BRRP は、振動エネルギーを吸収する芯材を、従来の BRB における平板から波形とした構造で座屈しないように拘束材で拘束した構造である。芯材を波形とすることにより、大きな伸縮と、局部ひずみの集中の抑制によるくり返し変形性能の向上を狙ったものであり、最適波形形状とすることにより、局部ひずみを平均ひずみより小さくし、低サイクル疲労性能を素材レベルと同等レベルまで高めることを可能とするものである。また、BRRP は、桁端部の橋脚あるいは橋台上に設置し、地震時において橋桁振動を抑制するとともに、想定以上の地震動に対しては、拘束材がストッパーとして機能する余剰耐震性を有する制震ダンパーである。

この BRRP の芯材を長尺化し、ブレース材として応用したものが RP-BRB (**R**ipple **P**late **B**uckling **R**estrained **B**race) である。RP-BRB は通常の BRB と同様に、橋梁の横構・対傾構として利用することを想定している。RP-BRB は、BRRP との適用箇所の違いから、

芯材は長尺化し、波形の個数も増えるため、長さ方向に軸力を与えた際、一様な変形が保証されないという問題がある。これに対し、ガイド突起およびガイドレール、間隔保持材を設置することによって、芯材の変形を一様化し、荷重-変位履歴の平滑化と性能の向上を図った。

以下、各章毎に本論文内容の概要について述べる。

第 1 章では本研究の背景について、近年頻発する設計想定範囲を超えた地震の発生と橋梁被害状況から、既往の鋼材ダンパー、特に BRB の特徴と課題を述べ、レベル 2 地震を超える想定外地震に対しても、余剰耐震性を有する鋼材ダンパーの開発の必要性について述べた。

第 2 章では BRRP の構造的な特徴、適用方法について紹介し、予備実験により基本特性を把握し、拘束材と波形芯材との隙間の設定の重要性について述べた。また、圧縮変形時の荷重-変位関係について波形形状をパラメータとした解析を実施し、波形形状によっては圧縮時に、一旦減少に転じた荷重が急激に増加する現象、すなわち、「载荷変動」が起こるものが存在し、载荷変動が起こらないような形状パラメータについて定性的に明らかとした。

第 3 章においては円弧状波形芯材の径厚比や円弧の開角などをパラメータとした各種波形諸元の BRRP について漸増载荷実験、繰り返し载荷実験を実施し、载荷履歴特性や低サイクル疲労特性、波形変形状況、発生ひずみなどを明らかとした。また、第 2 章で設定した形状パラメータを持つ波形芯材は、そうでない波形芯材と比較して、繰り返し载荷に対する载荷履歴の安定性と変形性能に優れることを明らかとした。また、そのような波形芯材においては、発生局部ひずみが平均ひずみよりも小さく、高い低サイクル疲労性能を有することを明らかとした。

さらに、BRB の漸増载荷時におけるひずみ硬化による降伏耐力の上昇は初期降伏耐力の 1.5 倍程度になるのに対して、BRRP では初期降伏耐力に対する上昇はほとんど見られなかった。これは、BRB が全断面の大ひずみ領域まで塑性化されるのに対して、BRRP は、曲げ変形が卓越し、全断面が一様に塑性化されないところが大きいことが理由である。実際、BRRP の降伏耐力は平板部の全断面を有効とした場合の降伏耐力の 0.1~0.3 倍程度であった。

第 4 章においては第 3 章の構造実験を模擬した複合非線形解析を実施し、実験結果に対する構造解析結果との照合から解析の妥当性について検証した。また、設定隙間量不足や拘束材との摩擦力が大きい場合に圧縮载荷時における移動側端部の詰まり現象を誘発する可能性について明らかとした。

第 5 章においては、第 3 章で行った実験結果の中で、安定した载荷履歴が得られた BRRP 波形諸元について、その動的载荷実験を実施し、静的载荷の結果と比較してほとんど相違がないこと、速度依存性のないことを明らかとした。

第 6 章においては単径間桁橋端部に BRRP を設置した制震構造のハイブリット応答実験を

実施し、レベル2地震動によるダンパー応答について確認した。時刻歴応答解析により求めた応答値とも比較検証し、BRRPの変形性能、低サイクル疲労性能に問題ないことを明らかとした。

第7章においてはBRRPをブレース材に適用する場合について検討した。長尺化等における圧縮時の载荷変動に対する課題に対して、間隔保持材、ガイド突起およびガイドレール方式を新たに考案し、その効果が高いことを実験および解析検討より明らかとした。

第8章においては、これまでの実験結果を振り返り、設計の便に供するBRRP芯材の最適波形形状について検討し、かつ、その低サイクル疲労強度について検証した。低サイクル疲労性能を向上させることを目的としたBRRP芯材の最適波形形状については、弾性理論による理論式の構築から支配パラメータを特定し、複合非線形解析によるパラメトリック解析から最適パラメータを導出した。また、適用解析検討における設計手法の提案と解析モデルを構築し、最後に最適波形形状を有するBRRPの低サイクル疲労性能について、これまでの実験結果と新たに行った実験結果から、その効果が高いことを確認した。

第9章においては、BRRPの橋梁への適用検討について時刻歴応答解析等を実施し、ダンパーとして要求される最大応答変位 $\Delta_{max}$ と累積塑性変形 $CID_{demand}$ について安全性が確保できることを照査した。

第10章においては、第1章から第9章までを総括し、それらの概要と得られた知見についてまとめた。