

8. 橋梁制震・免震

とりまとめ：成行義文（徳島大学）

論文題目：“せん断パネルダンパーによる鋼アーチ橋の耐震性向上及びせん断パネルダンパーの要求性能に関する研究”

著者：陳溪，葛漢彬

掲載：Vol. 57A, pp. 514-527, 2011年3月

◆討議 [横川英彰 (オイレス工業)]

地盤種により，SPDの配置を変えられていると思いますが，どのような理由で，このような配置になったのか，教えてください。

◆回答：SPDの設計（板厚と補剛材本数）と配置については，1次設計時の荷重（レベル1 地震動，風荷重など）に対して，弾性応答にとどまるようにする必要があります。本研究では，まずSPDの高さ（横構の層間高さの約1/10）と幅（正方形と仮定しているので高さと同じ）を決定しました。次に，せん断に対する幅厚比パラメータが0.25以下（高機能SPDの適用範囲）になるように板厚と補剛材本数を算出しました。そしてレベル1 地震動を入力した地震応答解析を行い，SPD のひずみ応答がせん断降伏ひずみの0.9-1.0 倍程度に収まっていることを確認し，満たさない場合はSPDの数，板厚と補剛材の本数を調整しています。したがって，Ⅰ種地盤の場合は1個のSPDを配置し，Ⅱ種地盤の場合は2個または3個のSPDを配置する結果となっています。

◆討議 [北原武嗣 (関東学院大学)]

海溝型巨大地震のように長い継続時間の地震波が入力された場合，累積塑性ひずみが大きくなるようなことは考えなくてもよろしいでしょうか？

◆回答：累積塑性ひずみは，地震動の継続時間による影響があるものの，それほど大きくないと考えます。これについては，現在検討中であり，機会があれば報告したいと思います。

◆討議 [党紀 (京都大学)]

橋アーチ部のダンパーに対して，橋軸方向の地震入力によるダンパー部の軸力変動を考慮する必要はありますか？

◆回答：本研究では橋軸方向の地震入力による検討は行っていないですが，SPDのモデリングにおいて軸力の影響を考慮できるようになっています。

論文題目：“長大橋用せん断パネルダンパーの弾塑性特性に関する実験的研究”

著者：杉岡弘一，濱田信彦，小林寛，西岡勉，杉山尚希

掲載：Vol. 57A, pp. 528-541, 2011年3月

◆討議 [宇佐美勉 (名城大学)]

研究目的として，特定の橋梁（即ち，応答値がある程度知られている橋梁）を対象としたDamperの開発を目的としているのか，一般的な橋梁に設置する高機能なDamper開発を目的としているのかどちらでしょうか？後者の場合，阪高の橋梁の応答値のほとんどが，目標性能内に納まると考えてよいのでしょうか？

◆回答：本研究では，レベル2 地震時に橋梁に作用する地震水平力が大きい長大橋を対象としており，特定の橋梁への適用を目的とした研究ではございません。既設長大橋の耐震補強設計において，大きな地震水平力に対してせん断パネルダンパーの基数を少なくできるように，断面（抵抗力）が大きいせん断パネルダンパーの特性を確認し，設計用のガイドラインを作成しました。

なお，本ダンパーを阪神高速道路のほとんどの長大橋に採用できるかというご質問に対しては，個別に確認が必要であり，他の対策構造が有利な場合もあると考えております。

◆討議 [豊岡亮洋 (鉄道総合技術研究所)]

ダンパーの履歴やエネルギー吸収に載荷履歴の依存性はありますか？実際の地震時には単純な正弦波繰返しではなく，大きな波→小さな波，あるいはその逆といった色々なパターンが考えられると思われませんか？

◆回答：今回の実験における荷重載荷方法については，本論文2.3節に示すとおり，大きな波→小さな波や実際の地震波のようなくり返し載荷は実施しておりませんが，せん断パネルダンパーのエネルギー吸収に対する載荷履歴の依存性は小さいと考えております。また，実際の地震と実験における載荷方法が異なっても，累積塑性ひずみを評価することで性能の限界値を把握することができると考えております。

なお，本論文表-1にある供試体A-2とA-4，あるいは供試体E-1とE-2を比較すると，載荷方法は異なるがほぼ同じ断面寸法であることから同程度の累積塑性ひずみ（本論文表-2）となり，エネルギー吸収に対する載荷履歴の依存性は小さい結果となりました。

◆討議 [葛漢彬 (名城大学)]

軸力はどの程度でしょうか？また実際の構造物にSPDを導入した場合，どの程度になるのでしょうか？

◆回答：ガセット部せん断パネルの実験では，圧縮応力の影響を調査するため，実橋の塔支承部で死・活荷重反力により発生する応力度（降伏点の8~10%）に相当する荷重を0, 240, 340kNの範囲で変化させております。

◆討議 [葛漢彬 (名城大学)]

フランジの厚さはパネルの厚さの何倍とされているのでしょうか？かなり厚く (例えば $t_f/t_w=3\sim 5$ 倍) しないと、フランジに座屈が発生し、SPDの吸収エネルギーは小さくなります¹⁾。

1) Chen, Z. Y., Ge, H. B. and Usami, T. (2006) : 構造工学論文集, 2006年3月。

◆回答 : 本研究では, 長大橋において, 大きな地震水平力に対してせん断パネルダンパーの基数を少なくできるよう, 断面が大きいせん断パネルダンパーを対象にしております。したがって, パネルの板厚が厚い構造となるため, パネルを補剛するフランジは, ご指摘いただきました厚さを確保するのは困難と思われま

す。しかし, パネルの幅厚比 R_f を0.2以下に, フランジの板厚を自由突出幅の1/10程度以上に, それぞれ設定することで, パネルとフランジの板厚比が同程度であっても, パネルの座屈やフランジの変形は生じず, 安定した履歴が得られることを確認しております。

論文題目 : “鉄道電車線柱用制震ダンパーの開発と振動台実験による検証”

著者 : 豊岡亮洋, 坂井公俊, 室野剛隆, 江尻譲嗣, 田中剛, 横川英彰

掲載 : Vol. 57A, pp. 542-550, 2011年3月

◆討議 [宇佐美勉 (名城大学)]

最終的には2方向 (立体的) に補強することになると思いますが, その検討はされていますか？

◆回答 : 今回の実験は, 開発したダンパーの制震効果を確認することを主な目的として実施しているため, 本論文での制震効果は1方向に対するものとなっております。一方で, 電柱の実被害事例をみると線路直角方向に対して倒壊しているものが多いため, 論文にも記載しております通り, 今回のダンパーは現時点では線路直角方向に対して設置することを考えております。2方向地震動を受けた際の挙動についてはファイバーモデル等を用いて今後検討したいと考えております。

◆討議 [宇佐美勉 (名城大学)]

倒壊には基部の発生ひずみに関与しますが, 補強することによりどの程度ひずみが低減したのでしょうか？

◆回答 : 今回の実験では, 電柱の応答による建築限界の支障, 架線の切断等の影響を考慮するため, 主に変位応答の低減に着目して検討を行いました。基部のひずみも測定していたのですが, 測定の問題等により対策の有無によるひずみデータの有意な比較は難しかったため, 今回の論文には記載しておりません。ご指摘の点は, ファイバーモデル等を用いた解析や静的載荷試験等により今後検討したいと考えております。

◆討議 [党紀 (京都大学)]

図中では, ダンパーを路線側に配置して, ダンパーの履歴特性は図から見ると引張りの制震力が生じるようにしています。この場合, 強震時には柱の応答は路線側に残留しやすいのではないのでしょうか？

◆回答 : 本ダンパーは1方向にのみ荷重を生じる構造となっており, そのまま用いるとご指摘のような現象が懸念されます。そこで, ターンバックルを用いて初期変位を作用させることにより, 正負両方向に対してダンパー荷重を作用させることができるよう工夫しております。また, ダンパー自体にも剛性要素 (復元力特性) が備わっております。これらの対策を行うことにより, 振動台実験においても加振後に1方向に顕著な残留が生じる現象は見られませんでした。

論文題目 : “高機能座屈拘束ブレースを接合するガセットの設計と終局挙動”

著者 : 渡辺孝一, 吉川瑛人, 山口亮太, 児玉佳大
掲載 : Vol. 57A, pp. 551-564, 2011年3月

◆討議 [横川英彰 (オイレス工業)]

ガセットの設計はダンパーの性能を引き出すのに重要な部分であると認識しております。非常に重要な研究であると思います。施工上でも重要な場所であり, 問題点など抽出されて研究をされておられるのか, 教えてください。

◆回答 : ガセットの設計や施工に対する問題点については, 本論文冒頭「1. はじめに」にて論じております。本論文では座屈拘束ブレース (以下, “BRB” と略して記す。) の施工に関して, 施工上回避することが困難なブレースの据え付け誤差の影響や, ガセットの製作精度 (主構造への取り付け精度) が, 繰り返し軸力を受けるBRBの挙動に与える影響を検討しております。また, 本文「2. BRB を取り付けるガセットの補強方法」で述べているように, BRBを支持するガセットは, 適切な剛性と強度を確保することの重要性は言うまでもありませんが, そのためにリブ補強などを過度に施すことは, 部材重量の増加に伴う橋梁全体の自重の増加など, 耐震補強において不利な状況を引き起こす懸念もあります。これらの問題点を適切に解消することで, BRBに地震時のエネルギーを適切に吸収させることが可能になると考えております。

◆討議 [党紀 (京都大学)]

ガセット部の照査式について, 主にブレースの軸力による曲げ耐力の照査ですが, 軸力そのものによる荷重の配慮が必要でしょうか？

◆回答 : ガセットの照査に関して, 本文では「5.2ガセット降伏曲げ耐力の評価」にて詳述しております。ガセットに作用する力は, 座屈拘束ブレース (以下 “BRB” と略して記す。) へ伝達する軸力が支配的です。しかし

ながら、BRB端部の回転変形性能（本文中「2.3 BRB の設計諸元と拘束部材端部の変形性能」にて詳述しています。）や、本文冒頭で示しているように、ガセットの製作誤差や設置誤差による不可避の軸心のずれ（偏心）によって、ガセットには、軸力以外に付加曲げモーメントが作用します。このような背景から、本論文では、補強リブのサイズを意図的に実験用に小さめ（限界サイズ）にしたガセット、あるいは、面外の付加曲げモーメントが過剰に作用する状態を模擬したガセットを比較対象として、曲げ降伏耐力に対する照査式 (5) を示しております。論文中の図-2に示したフィンプレートが、主構造に達して直接溶接されている形状のガセットでは、フィンプレートが早期に塑性化すると、面外曲げ耐力が急激に低下するため、ご質問で指摘されている通り、付加曲げモーメントと軸力の双方を考慮した照査が必要となります。このタイプのガセットは、本論文の検討には含まれておりません。論文末尾の参考文献 7) をご参照ください。

◆討議 [豊岡亮洋 (鉄道総合技術研究所)]

載荷時のジャッキの水平度をどのように確保しているのでしょうか？施工精度の影響を実験しているのであればジャッキ自体が高い精度で水平載荷できなければならないと思われま

◆回答：実験供試体の設置方法ならびに、軸力を載荷するための油圧ジャッキの作動については、本論文「3.1実験装置」にて詳述しております。実験フレーム内に、平行して設置されている2本の油圧ジャッキは、図-13に示すように、フレーム中央に設置されているリニアスライドガイド（ただし、図-13には図示していますが、個々の部品名称は示しておりません）によって、水平を維持しながら供試体に軸力を載荷することが可能です。リニアスライドガイドは、機械部品のため高い水平精度で据え付けられており、このガイドに沿って実験供試体に水平に軸力を作用させて

います。また、ジャッキシリンダの両端は、クレビスジョイントによって、回転に対して自由な支持状態であるため、シリンダの伸縮等によるジャッキ軸の偏心は無視することができます。従って、ご質問にある、ジャッキ自体の据え付け精度は、問題にならないと判断しております。

論文題目：“溶接部の仕上げによる鋼製BRBの低サイクル疲労性能向上効果”

著者：舟山淳起，王春林，宇佐美勉

掲載：Vol. 57A, pp. 565-578, 2011年3月

◆討議 [党紀 (京都大学)]

ダンパーの累積塑性ひずみ CID_{lim} は、一定振幅の実験の加振振幅によって変化しています。地震波を受ける場合に対して、どういうふうに評価すべきでしょうか？

◆回答：CIDにより低サイクル疲労を照査する方法（以下、CID法と呼ぶ）は、塑性ひずみの単純和によって低サイクル疲労を簡便（安全側）に評価する方法です。この方法では、低サイクル疲労寿命に及ぼす塑性ひずみの大きさの影響は、大きな塑性ひずみの方が小さい塑性ひずみに比べてより大きい（塑性ひずみの単純な和ではなく、累乗の和となる）という実験的事実を無視しています。表-4の実験結果がそのことを表しています。それを改善したものが累積疲労損傷度D(以下、D法と呼ぶ)による低サイクル疲労照査法です。D法では、塑性ひずみの代わりに全ひずみ振幅を用い、この量の累乗の和によって表されるD値を元に低サイクル疲労照査を行うこととなります(式8)。この方法によれば、ランダムな地震動による損傷もある程度正確に評価できます。表-4のD値が、ストッパーのない供試体2体を除き、1.0に近い値になっていることがそのことを示しています。