

トルク・バランス型鉛ダンパーの減衰特性に関する一考察

東京鐵骨橋梁 正会員○平山繁幸 フェロー 入部孝夫
 首都大学東京 正会員 長嶋文雄 永山雄 金澤製作所 金澤光雄

1. はじめに：道路橋示方書¹⁾では、橋の重要度に応じてレベル2地震時の耐震性能を規定している。地震後の救援活動、復旧活動等のための輸送路となる重要な橋（B種の橋）に対しては、レベル2地震発生時においても、損傷が限定的であり、橋としての機能が速やかに復旧できることとしている。これらの橋梁に対する大規模地震対策として、制震ダンパーを設置する事例が増えている。筆者らは、図-1に示す、鉛を用いた履歴型のトルク・バランス型ダンパーを開発し、既報²⁾において静的載荷試験により所定の性能を有していることを報告した。本研究では、静的載荷試験および数値シミュレーションの結果を用いてトルク・バランス型鉛ダンパーの減衰特性について検討するとともに、ダンパーの容量の評価方法についても検討した。

2. 静的載荷試験による減衰特性の算出：既報の静的載荷試験で得られた荷重-変位曲線（図-2）から減衰定数を算出した。減衰定数は荷重-変位曲線の面積から、 $h=1/\pi \times (\text{損失エネルギー} \Delta W / \text{弾性エネルギー} W)$ の式で求めることができる。漸増載荷試験より得られた減衰定数と変位の関係を図-3に示す。図中の横線は、減衰定数の最大値 $h=1/\pi=0.318$ （損失エネルギー ΔW =弾性エネルギー W ）の線である。90度回転タイプでは振幅が20~25mmで減衰定数が一定となっているのに対し、180度回転タイプは振幅が約15mmで一定となっており、180度回転タイプの方が高い減衰能力を有していることが分かる。しかしながら、いずれにおいても、一定となったときの減衰定数は0.318付近であることから、減衰装置としての機能を十分に発揮できることが確認できた。

本ダンパーの容量は、鉛の降伏点（4.5MPa）に鉛とロッドの接触面積と摩擦係数を乗じることで求めることができると考え、(1)式で評価した。接触面積は、ロッド

の全周（幅50mm×4面=200mm）にロッドの有効長さ（90度回転タイプ：520mm、180度回転タイプ：720mm）を乗じて求める。有効長さとは、後述の図-6(a)に示すコンターを基に、中立位置におけるロッドのねじり部の端から反対側の蓋までの距離と定義した。鉛と鋼材の摩擦係数は一般に0.52としているが、ダンパーではシリンダー容器内の密閉された空間で使用するため、若干大きめの値（0.6）を設定した。

$$L_{\max} = \sigma_y \times A_s \times \mu \quad (1)$$

ここで、 $L_{\max}$ ：ダンパーの容量、 σ_y ：鉛の降伏点（=4.5MPa）、 A_s ：接触面積、 μ ：鉄と鉛の間の静摩擦係数である。計算結果

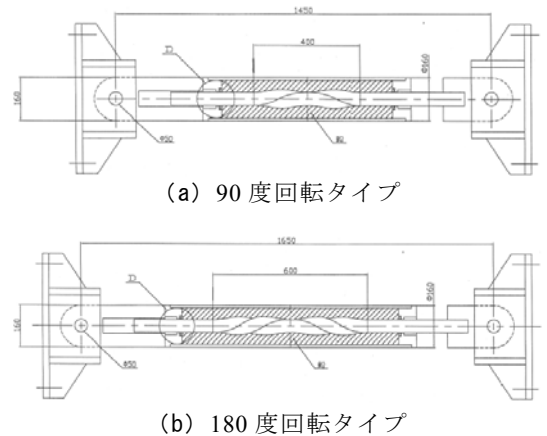


図-1 ダンパーの概形

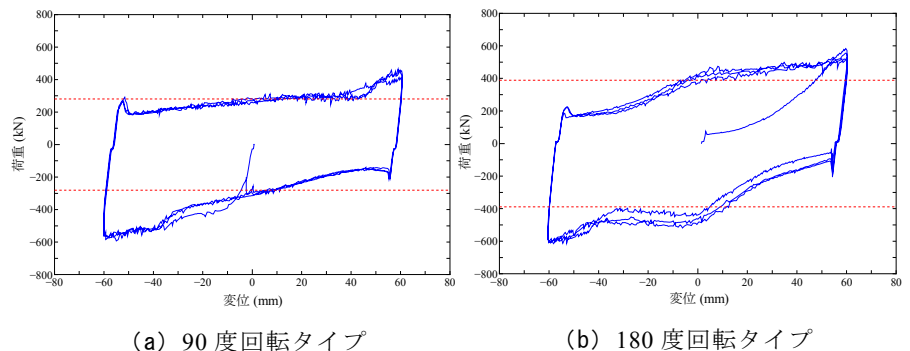


図-2 荷重-変位曲線

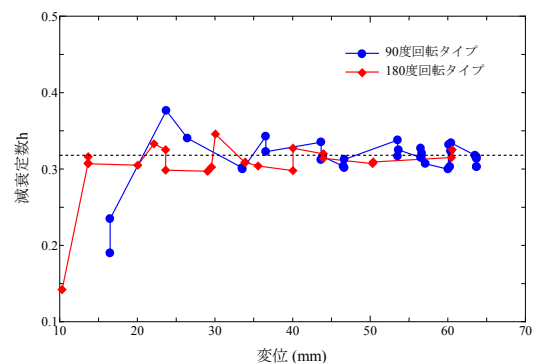


図-3 減衰定数と変位の関係

キーワード：制震ダンパー、鉛、数値シミュレーション、減衰定数

連絡先：(株)東京鐵骨橋梁 技術研究所 〒302-0038 茨城県取手市下高井 1020 TEL：0297-78-1113 FAX：0297-78-5313

を図-2中に赤の点線で示す。90度回転タイプで $L_{\max}=280.8\text{kN}$ 、180度回転タイプで $L_{\max}=388.8\text{kN}$ であり、実験で得られた最大荷重に近い値となった。

3. 数値シミュレーションによる静的載荷試験の再現：汎用構造解析ソフト LS-DYNA を用いた数値シミュレーションにより、性能確認試験の再現解析を行った。解析モデルを図-4に示す。解析モデルは、ねじりを加えたロッド、鉛、シリンダー、蓋の4つの部品で構成されている。ロッドのねじりを加える部分は、一度に所定の角度を回転させると、要素境界で不整合が生じる。この問題を解決するために、ねじり部の1/4を取り出し、一端を固定した状態で半分の角度（90度回転タイプ：45度、180度回転タイプ：90度）だけねじった後、要素をコピーする方法を採用した。鉛は、シリンダーとロッドの間を要素で隙間なく埋める必要があるため、モデル作成後、回転変位を与えた。鉛とロッドの接触面は、静摩擦係数 0.6、動摩擦係数 0.1 を設定した。解析は、一端を固定した状態で、もう一端に変位制御で $\pm 60\text{mm}$ の変位を与えて実施した。

静的載荷試験で得られた荷重—変位曲線と、解析で得られた曲線を

を比較することにより、解析方法の妥当性を検証した。その結果を図-5に示す。解析では実験で得られた履歴をよく再現しており、解析方法の妥当性が確認できた。図-6は鉛のミーゼス応力のコンターである。赤色の部分は、鉛の降伏点（ $=4.5\text{MPa}$ ）以上の応力が発生している箇所を表している。ねじり部と一般部の片側は、載荷開始直後で既に、ロッドと鉛の接触により高い応力が発生している。ロッドの変位が大きくなるにしたがって鉛の応力も大きくなり、最大変位（ 60mm ）時には、鉛全体にわたり高い応力が発生した。解析結果から求めた減衰定数と変位の関係を図-7に示す。減衰定数は変位が 20mm を超えると一定となっており、平均で 0.309 であった。図中には図-3の結果も併せて示すが、解析結果は実験結果の傾向とよく一致している。

4. まとめ：静的載荷試験および数値シミュレーションの結果から減衰定数を求め、減衰効率の良いダンパーであることを示した。さらに、(1)式によりダンパーの容量を算出し、静的載荷試験で得られた値とほぼ同等であることを示した。今後は、実用化に向けて、ダンパーの効果的な設置位置および設置方法等について検討を進めていく予定である。

参考文献：1) 日本道路協会：道路橋示方書，2002.2) 入部ほか：トルク・バランス型ダンパーの性能確認試験，第66回年次学術講演会概要集，I-358，2011。

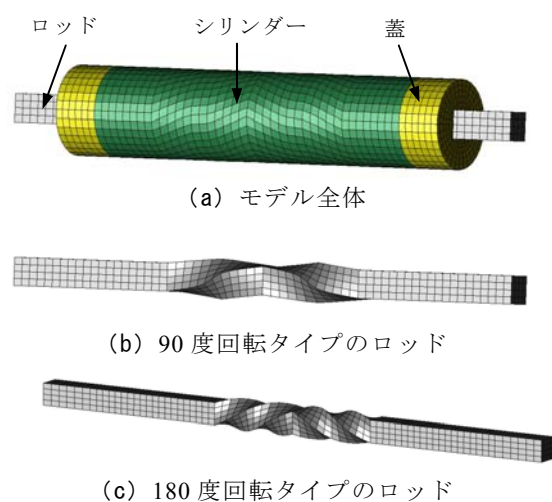


図-4 解析モデル

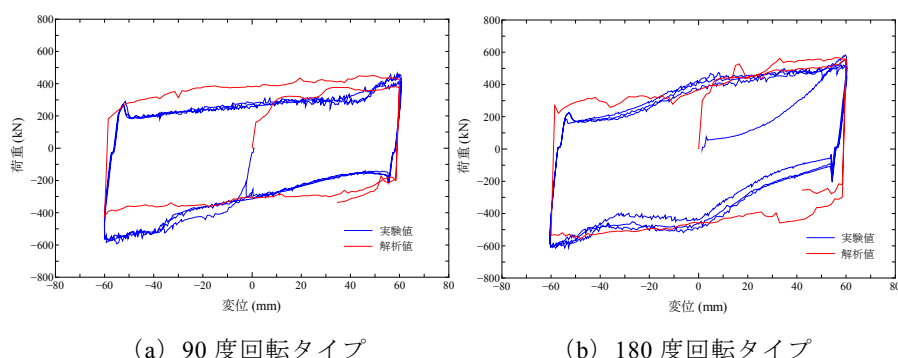


図-5 解析方法妥当性の検証

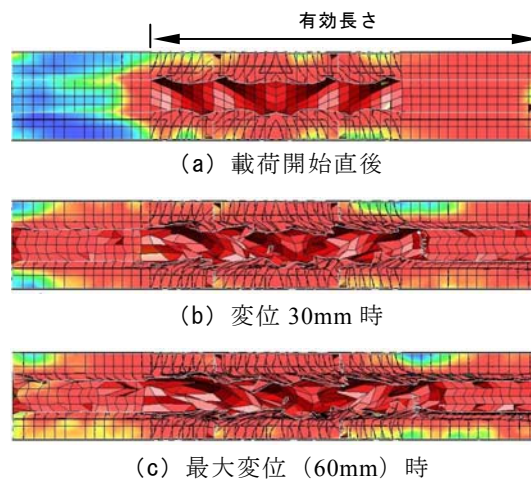


図-6 鉛のミーゼス応力コンター

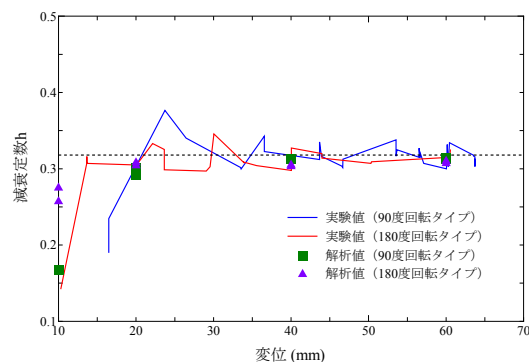


図-7 減衰定数の実験値と解析値の比較