

低降伏点鋼を用いた円形鋼管せん断ダンパーの漸増正負交番载荷実験

愛知工業大学 学生会員 ○飯田智仁, 正会員 鈴木森晶
JFE シビル(株) 正会員 塩田啓介, 正会員 櫻井有哉

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震以来, 我が国では, 主要な橋梁には, 免震ゴム支承が設けられることが主流となり, 耐震性能の向上に寄与した. また, 近年では, 地震エネルギーを効率的に吸収する制震ダンパーが橋梁分野でも使用されるようになり, より経済的で, 恒久的な免震・制震デバイスが求められている¹⁾.

これまでに, 低降伏点円形鋼管(LY225S, $\sigma_y = 225\text{N/mm}^2$ 級)を用いたせん断型履歴ダンパー(以下, 鋼管せん断ダンパー)を対象として, せん断加力実験, 単調载荷実験, 漸増繰り返し载荷実験などが行われ, その弾性剛性, 全塑性せん断耐力, 変形能等の力学的性状が明らかにされてきた^{2), 3)}.

鋼管せん断ダンパーを橋梁に適用した場合には, 円筒形断面であるため, 橋軸および橋軸直角方向の荷重に対して単一のダンパーで制震効果が見込める. しかし, 適用にあたって, 橋梁の上部工と橋脚天端間に設置する場合, 鋼管せん断ダンパーの上部が自由端になることがある. このとき鋼管せん断ダンパーには, せん断力とともに曲げモーメントが作用するが, 上部が自由端のダンパーは, 上下部ともに固定されているダンパーに比べて曲げモーメント成分が大きくなる. そのため, 従来の実験と異なり, 上部を自由端, 下部を固定端とした場合の性能を検証する必要がある. また, 橋軸方向と橋軸直角方向の荷重成分の割合が変化する場合にも, 安定した性能を有することが要求され, これらについて検証する必要がある.

そこで本研究では, 上端の境界条件が異なる2種類の鋼管せん断ダンパーを用いて漸増正負交番载荷実験を行い, 境界条件の違いによる変形能, エネルギー吸収能等の違いを明らかにし, 基本性能を把握することを目的とする.

2. 実験概要

2.1 供試体

供試体は, 図-1に示すように, 上下固定端(以下, 頭部固定有り)のものを1体, 上部自由端, 下部固定端(以下, 頭部固定無し)のものを1体使用する.

供試体に使用した低降伏点円形鋼管の断面形状は, 外径を $D = 175\text{ mm}$, 板厚を $t = 8.8\text{ mm}$, 径厚比を $D/t = 19.9$, 鋼管高さを $h = 175\text{ mm}$ とする.

2.2 载荷方法

本研究で使用する実験装置の全体概要を図-2に示す. 水平荷重 P は, 装置中央部の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. 供試体頭部の水平変位 δ を鋼管高さ h で除した $\gamma = \delta/h$ をせん断変形角とする(図-3).

载荷形態は, 漸増繰り返し载荷とし, せん断変形角を $\gamma = 3, 5, 7, 10, 12\%$ の振幅で各2サイクル行い, その後頭部固定有りの供試体は $\gamma = 15\%$ で終局まで载荷を行い, 頭部固定無しの供試体は $\gamma = 12\%$ で終局まで载荷を行った. 表-1に各供試体のせん断変形角 γ における载荷回数を示す.

表-1 载荷回数

せん断変形角 γ (%)	3	5	7	10	12	15
頭部固定有り载荷回数	2	2	2	2	2	2
頭部固定無し载荷回数	2	2	2	2	3	—

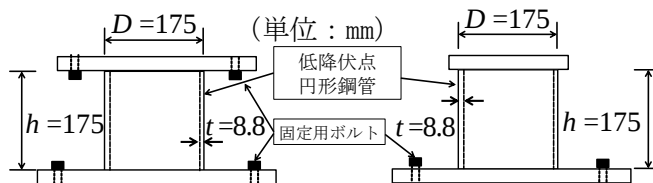


図-1 頭部固定有り(左)・頭部固定無し(右)

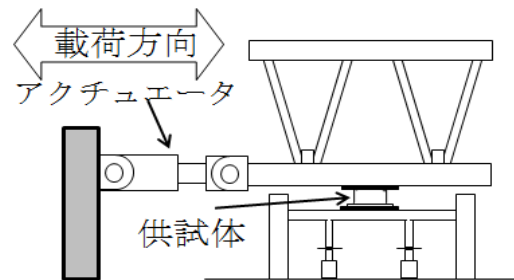


図-2 実験装置概要図

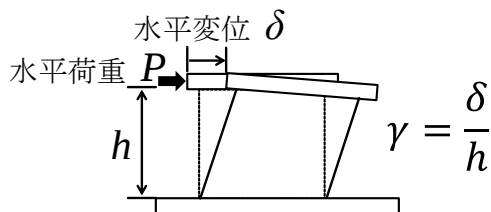


図-3 変形状態の模式図

キーワード 低降伏点鋼, 円形鋼管, ダンパー, 载荷実験

連絡先: 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247 TEL: 0565-48-8121, FAX: 0565-48-0030

3. 実験結果

実験により得られた各供試体の履歴曲線を図 - 4 および 5 に示す。また、実験終了後の供試体状況を写真 - 1 および 2 に示す。

(1) 頭部固定有りの場合

最大荷重は $P_{max} = 783\text{kN}$ 、最小荷重は $P_{min} = -838\text{kN}$ 、終局せん断変形角は $\gamma_u = 15\%$ であった。図 - 4 から分かる通り、紡錘型の安定した履歴曲線を描いている。せん断変形角が $\gamma = 10\%$ のサイクルから、供試体中央部に座屈が顕著に表れるようになり、载荷方向には外側に膨らむ座屈、また载荷直角方向には内側への座屈が表れた。また、 $\gamma = 12\%$ まで安定した履歴曲線を示したが、 $\gamma = 15\%$ の 1 サイクル目から、上昇傾向であった荷重が減少へと転じ、2 サイクル目開始直後、緩やかに荷重が低下し鋼管が破断した。

(2) 頭部固定無しの場合

最大荷重は $P_{max} = 660\text{kN}$ 、最小荷重は $P_{min} = -783\text{kN}$ 、終局せん断変形角は $\gamma_u = 12\%$ であった。頭部固定有りの場合と同様に、紡錘型の安定した履歴曲線を描いている。 $\gamma = 10\%$ 付近でわずかな荷重の低下がみられたが、大きく減少することはなかった。鋼管の変形は、 $\gamma = 10\%$ 付近から顕著に表れ、写真 - 2 に示すように、鋼管右側下部に座屈（膨らみ）が徐々に発生した。同時に左側下部に座屈（へこみ）が発生した。サイクルを重ねるごとに、座屈の影響で徐々に鋼管高さ h が短くなった。最終段階では上端のプレートが加力点から外れ、载荷不能となり、

実験を終了した。本供試体では、鋼管は破断しなかった。

4. まとめ

境界条件の異なる 2 種類の鋼管せん断ダンパーについて基本性能を確認した。

- 1) 頭部固定有りと頭部固定無しともに紡錘型の履歴曲線を描き、安定したエネルギー吸収能を示した。
- 2) 変形能に関しては、頭部固定有りと頭部固定無しともに、終局せん断変形角が $\gamma_u = 12\%$ 以上の性能を示した。
- 3) 座屈は、境界条件が両端固定（頭部固定有り）では、供試体中央部に、上端自由下端固定（頭部固定無し）では、下部に発生した。
- 4) 円形鋼管ダンパーは、頭部が自由端の場合も上下両端固定場合と同様に、高い変形能、エネルギー吸収能を発揮する。

参考文献

- 1) 宇佐美勉編著, (社)日本鋼構造協会: 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 技報堂出版, pp.227-254, 2006.9.
- 2) 石川祐理, 桑原進, 金真佑, 森岡宙光, 宮川和明, 喜多村亘, 木下智裕, 安井信行: 低降伏円形鋼管を用いたせん断型履歴ダンパーの力学性状(せん断加力実験と FEM 解析の概要)日本建築学会講演梗概集, pp.1121-1122, 2014.9.
- 3) 石川祐理, 桑原進, 金真佑, 森岡宙光, 宮川和明, 喜多村亘, 木下智裕, 安井信行: 低降伏円形鋼管を用いたせん断型履歴ダンパーの力学性状(実験結果), 日本建築学会講演梗概集, pp.1123-1124, 2014.9.

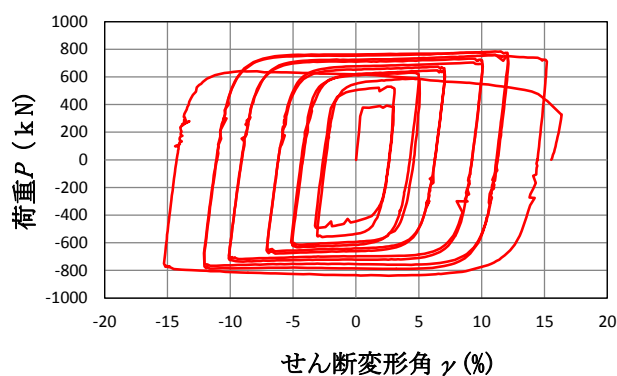


図 - 4 頭部固定有り 履歴曲線



写真 - 1 頭部固定有り 試験後変形状況

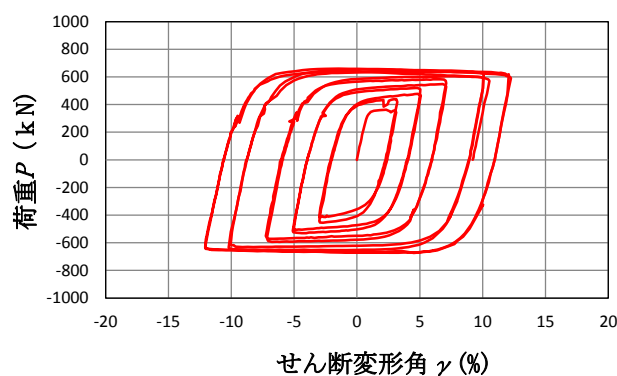


図 - 5 頭部固定無し 履歴曲線



写真 - 2 頭部固定無し 試験後変形状況