

極低降伏点鋼サイスミックダンパーの動的載荷試験

トピー工業(株)鉄構事業部 正 ○ 村松 正義
 東京都立大学大学院工学研究科 学 阿部 義
 東京都立大学大学院工学研究科 正 長嶋 文雄
 三井造船(株)鉄構設計事業部 正 酒井 正和

1. はじめに

極低降伏点鋼は早期のエネルギー吸収性能が期待できるという利点があり、また加工（溶接、切断、曲げ加工）も一般鋼と同様に行うことができ、さらに材料費も一般鋼と殆ど変わらないことなどの特徴があるため、履歴型のサイスミックダンパーの材料として用いられる場合がある。本研究は、この極低降伏点鋼を用いたより合理的なサイスミックダンパーの設計を目的として、3種類の基本的な変形（曲げ・せん断・捩り）に基づく減衰装置を作製し、その基本性能を、動的載荷実験を通して明らかにする試みを行ったものである。

2. 動的載荷試験の概要

(1) 載荷装置と実験方法 曲げ・せん断・捩りの載荷試験が可能な載荷装置を作製した(図-1, 写真-1)。

供試体の下端を固定し、上端部に、2本のレールを抱いて滑るそり状のスライダを介してアクチュエーターで動的に載荷する。このとき、横変位が大きくなるにつれて必然的に供試体に引張力が発生する。レールとスライダの間には硬質ゴムがコーティングされており、圧縮変形により多少この引張力の発生を遅らすようになっているが、

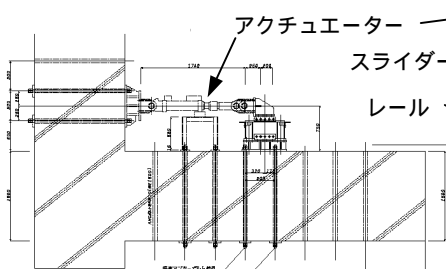
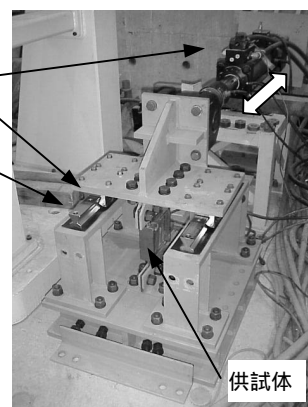


図-1 試験装置設置図

写真-1 動的載荷試験装置



今回の試験は、この引張力が顕著に現われる前までの範囲に限定した。加振周波数 0.01~1.0 Hz の正弦波状の強制変位を加えたが、加振パターンとして、a) ステップ漸増型、b) 連続漸増型、c) 一定振幅型の3種類を用いた。荷重はアクチュエーターのロードセル、また変位はレーザー変位形を用いて直接測定した。

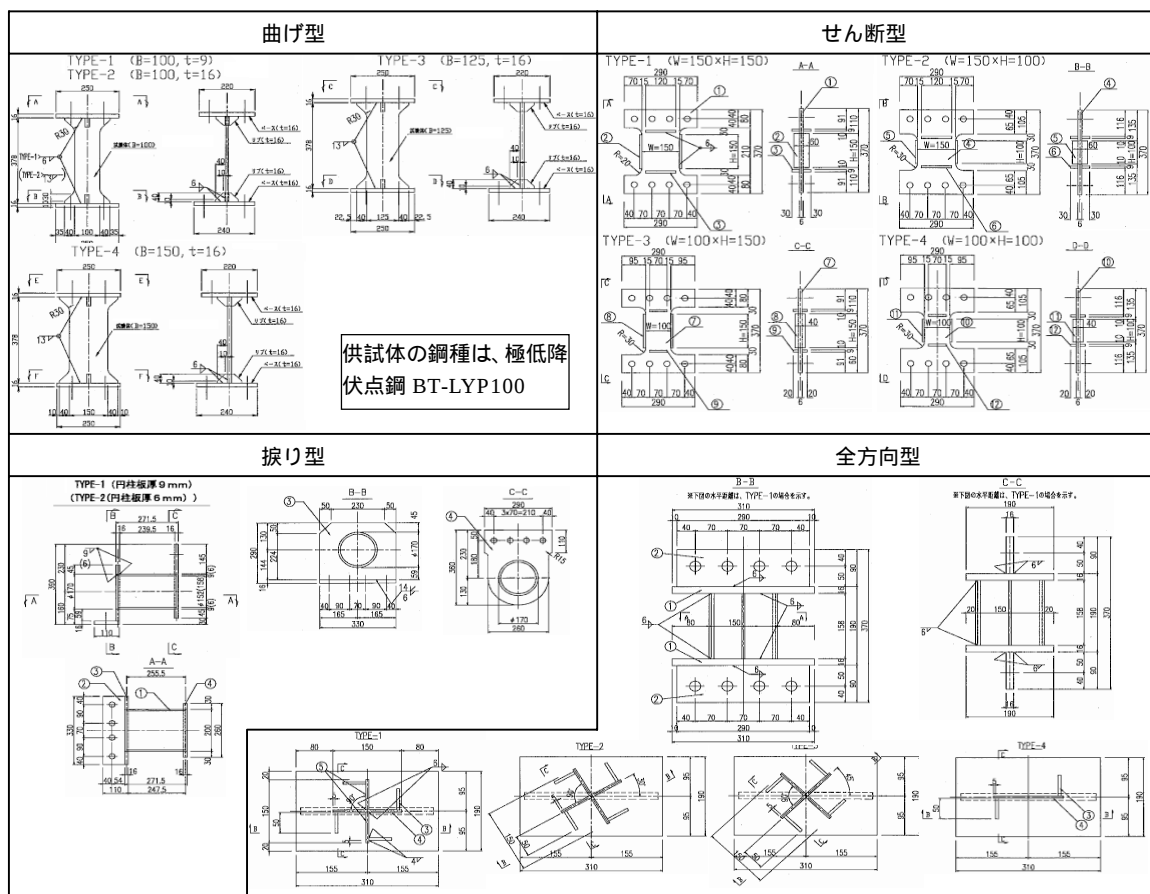


図-2 供試体形状と寸法図

キーワード: サイスミックダンパー、極低降伏点鋼、動的繰返し載荷試験、損傷制御設計

連絡先: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1 東京都立大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL:0426-77-1111 内(4531) FAX:0426-77-2772

(2) 供試体の特徴 供試体は基本的な3タイプ、すなわち、曲げ型(Type B)・せん断型(Type S)・捩り型(Type T)の他に、せん断型を直交させて組み合わせた全方向型(Type A)を加え、計4種類作製した。各供試体の形状と寸法を図-2に示す。全方向型は載荷方向角を0°、30°、45°の3方向に変化させた。各供試体に対して2体同じものを作製した。曲げ型は最も単純な構造として選択したものである。せん断型供試体の補剛リブは、なるべく純粋なせん断特性を得る目的で隅角部を不連続にした。また幅厚比は比較的小さく、面外座屈は先行しない供試体となっている。過去に行った円筒の塑性捩り解析で良好な結果が得られたことから、捩り型を加えた。本実験では供試体上部の孔にピンを通し、これに強制変位を加える方法を採用した。全方向型は、溶接作業が煩雑になることから、補剛リブを片側のみ付ける事にしたものである。

3. 動的載荷試験結果と考察

最も大きく塑性域に入っている曲げ型においても、交番載荷数10回程度の試験を4回連続しても殆ど同様の履歴曲線が得られた。また、いずれの型の減衰装置においても繰り返し載荷に対する安定性が優れていることが分かった。図-3は最初に軸力の影響を調べるために行った特別な試験結果であり、曲げ型供試体の連続漸増入力における履歴曲線である。降伏以後、流れ場を経て復元力は一時低下するが、暫くすると再び上昇に転じる。これは加力装置の鉛直方向変位を拘束したまま横変位させることに伴う軸力の発生が原因で生じる現象である。鉛直軸方向拘束によるもう一つの問題である歪み硬化現象については、幾つかの実験で報告されているが、今回の実験では、スライド面の硬質ゴムの影響によるものか、図-3のような強い軸力が作用する場合を除いて、顕著な歪み硬化現象は見られなかった。ここで用いたせん断型は隅角部に弱点があり、面外曲げ変形が生じる場合もあった。疲労亀裂は、やはり隅角部から発生し、せん断面に沿って進展した。幅厚比を小さくすると履歴曲線の顕著なスナップスルーが見られなくなるが、体積当りのエネルギー吸収効率は低下する。図-4はタイプ別に1サイクル当りの履歴曲線の面積(吸収エネルギー)を計算し、そのときの最大変位を横軸にとって表わしたものである。全方向せん断型は全て、せん断型と殆ど同じ曲線上にあることから、任意の地震波の入射角に対しても十分その機能を発揮することが分った。また、図-5は同グラフを供試体の体積で除し、基準化して表わしたものである。せん断型のエネルギー吸収効率が良いことが分かる。今回の試験結果より、3種類の履歴型ダンパーの総合的な評価をすると、表-1のようにまとめられる。

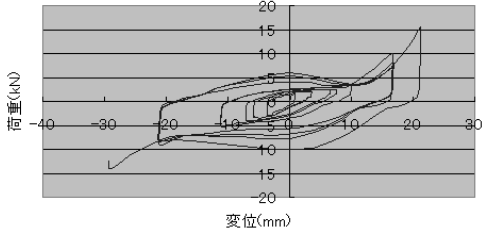


図-3 曲げ型の履歴曲線（軸力の影響）

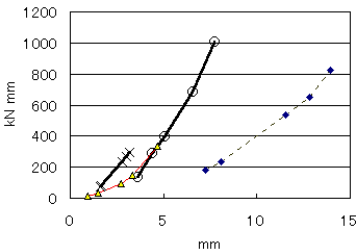


図-4 変位 - 吸収エネルギー関係

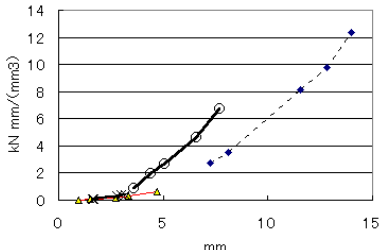


図-5 変位 - 吸収エネルギー関係
(体積による基準化をしたもの)

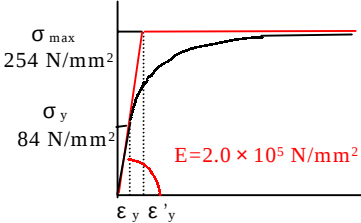


図-6 極低降伏点鋼の応力 - 歪み関係のモデル化

4. 設計手法に関する考察

今回用いた極低降伏点鋼の静的降伏応力度と強度はそれぞれ84 N/mm²、254 N/mm²である。しかし、この静的降伏応力度に基づいてサイスミックダンパーを設計すると、復元力値を過小評価することになる。むしろ、図-6に示すように、極低降伏点鋼の応力 - 歪み関係を簡略してバイリニアで表わす方が実際の復元

表-1 各履歴型ダンパーの総合評価

	捩り型	曲げ型	せん断型
製作性			○
施工性			○
経済性	○	○	○
エネルギー吸収効率	○		
総合評価	▲	○	
特徴	小変位で吸収大トルクの与え方が難しい 曲げ加工の手間が掛かる	構造が単純 大 変 位 に も 追 随 可	リブの溶接がやや煩雑 全方向型も可 効率が良い

力に合致することが分かった。この理由として歪み速度の影響が考えられ、歪み速度の上昇と伴に急激に降伏応力度が上昇し、バイリニア型の応力 - 歪み曲線に近づくためであると思われる。初期剛性の算定式を得たが、これと図-6のバイリニア曲線より求めた復元力から降伏時の変形が求められ、次に塑性変形量が求められることになる。

5. まとめ 履歴型サイスミックダンパーのプロトタイプの基本的な特性、エネルギー吸収性能、製作性、施工性などについて実験的に明らかにした。また、合理的な設計手法についていくつか検討を行った。