

I-796

弾塑性ねじりダンパー特性に関する実験的研究

愛知工業大学 正 員 青木徹彦

愛知工業大学 学生員 小林修一

1. 導入

我が国は世界有数の地震国であるため、数十年に一度は大地震に見回れている。社会基盤をなす土木構造物が地震による被害を受けると社会的・経済的損失は著しく大きくなる。それゆえ、耐震安全性の確保は社会全体に対して重要な問題である。大地震に対して構造物が最低限の機能を維持するためには、剛性を高めるだけでなく、地震の間、外力による入力エネルギーを構造耐力が低下することなく吸収することが望まれる。そこで、本研究では、鋼管に塑性ねじりを生じさせて外力エネルギーを吸収させるダンパーを考案し、これに繰り返し載荷実験を行い、耐震ダンパーとして利用するための基礎的研究を行う。

2. 弾塑性ダンパーの設計

耐震ダンパーの設計では、一般に設計条件として外力荷重と最大変位が与えられる。すなわち、ある設計荷重 P を越えたときダンパーとなる鋼管が塑性変形し、変形の許容範囲内で繰り返し外力によるエネルギーを吸収することが要求される。鋼管にねじり外力を加えたとき、鋼管の各部は一樣なせん断ひずみを生じ、全断面が有効に利用できる。また、大きな塑性変形に対しても圧縮力を受ける平板のような座屈が生じにくく、大変形までも塑性化が可能となる。Fig.1 に示す一端固定の鋼管にねじりモーメント T が生じたときの T とねじり回転角 θ との関係は、

$$\text{弾性域: } T = \frac{\pi G D^4 t}{4h} \theta = \frac{\pi D^4 t}{2} G \gamma \quad (1)$$

$$\text{塑性域: } T' = \frac{\pi D^4 t}{2} \left(G' \frac{D\theta}{2h} + b \right) = \frac{\pi D^4 t}{2} (G' \gamma + b) \quad (2)$$

ここに、 $\theta = 2\pi h/D$ 、 $G = E/2(1+\nu)$ 、 γ : せん断ひずみ、 E : ヤング係数、 ν : ポアソン比

D : 鋼管の直径、 h : 高さ、 t : 板厚、 $G(G')$: 弾性域(塑性域)におけるせん断弾性係数

3. 実験計画及び実験方法

3.1. 実験計画

供試体は、電縫鋼管4体、板曲げ溶接鋼管3体を用意し、繰り返しねじり力を与え、強度及び変形特性の比較を行う。以下では、電縫鋼管の結果のみを示す。鋼管は材質の STK400、 $D=355.6\text{mm}$ 、 $t=7.9\text{mm}$ 、 $h=350.0\text{mm}$ 、 $D/t=45$ とする。供試体は、鋼管のみ(試体記号 ERT-N0)、二重鋼管(ERT-ST)、コンクリート部分充填(ERT-CP)、コンクリート全充填(ERT-CF)の4種類とする。これを Fig.2 に示す。

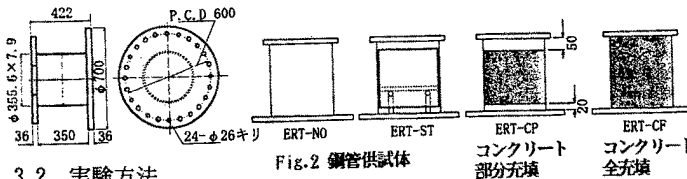


Fig.2 鋼管供試体

3.2 実験方法

(1) 載荷方法 ねじり載荷実験装置を Fig.3 に示す。載荷は繰り返し載荷とし、載荷経路は、① $P = \pm P_r/2$ 、② $P = \pm P_r$ 、③ $\delta = \pm 10(\text{cm})$ 、④ $\delta = \pm 25(\text{cm})$ 、⑤ $\delta = \pm 40(\text{cm})$ で、以降、供試体が破壊するまで⑤を繰り返し行う。ここに、 P_r は予想降伏荷重、 δ はアームの変位とする。

(2) 測定方法 供試体の中央高さで 90° おきに 3 軸ひずみゲージを 4 枚貼り付ける。また、載荷アーム上に Fig.3 で示す位置に 1 軸ひずみゲージを 4

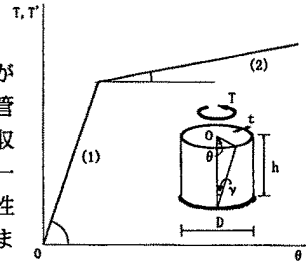


Fig.1 ねじりを受ける鋼管

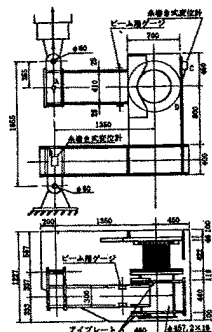


Fig.3 ねじり載荷装置

枚貼り付け載荷荷重の検証を行う。載荷アームとベースフレーム間の変位、ねじり回転角の測定のために AB 及び CD 関に糸巻き式変位計を使用し、合計 18 点を測定する。

4. 実験結果とその考察

(1) 素材引張試験 引張試験結果より、 $\sigma_y = \sigma_{0.2} = 3556 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ 、 $E = 2.11 \times 10^4 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ 、 $\nu = 0.28$ を得た。ミルシート降伏応力は $\sigma_F = 4440 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ であった。この結果より、 $\gamma_y = \tau_y/G = \sigma_y/\sqrt{3}G$ を求め、式(1)に用いて降伏ねじりモーメントを求めたところ、 $T_y = 30.58 \text{ (tf} \cdot \text{m)}$ となった。

(2) ねじり繰返し特性 各供試体の $T-\theta$ 関係を、それぞれ降伏ねじりモーメント T_y と降伏ねじり角 θ_y で無次元化したものを Fig.4 に示す。各供試体の最大ねじりモーメント T_u は、降伏ねじりモーメント T_y の 1.3~2.0 倍の範囲にあり、ERT-NO, ERT-ST, ERT-CF, ERT-CP の順に大きく、それぞれ 40, 55, 57, 60 $(\text{tf} \cdot \text{m})$ であった。最大変位 $\delta = \pm 40 \text{ (cm)}$ における繰返し数も、同じ順序で大きかった。これらの結果より、コンクリートを充填したものの方が、充填しないものより繰返しの影響を受けにくく、破壊に至るまで安定した変形性能を維持できると考えられる。

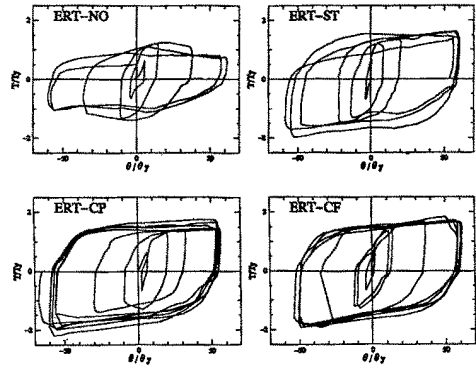


Fig.4 トルクねじり角関係

(3) エネルギー吸収能力 Fig.5 に示すように、累積エネルギー吸収量 W_u と累積ねじり角 θ との関係は全ての供試体において比例関係にあった。単位ねじり角当たりの累積エネルギー吸収量 W_{u0}/W_y と累積ねじり角 θ との関係を Fig.6 に示す。 W_{u0}/W_y は ERT-NO, ERT-ST でそれぞれ 0.9 (rad) 、1.4 (rad) で最大に達し、その後座屈変形を生じ減少したが、ERT-CP, ERT-CF では、2 (rad) 以降もほぼ一定の値を示した。

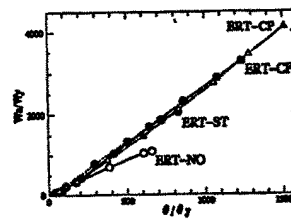


Fig.5 累積吸収エネルギーと累積ねじり角

3. まとめ

(1) 最大ねじりモーメント T_u は、ERT-NO では座屈変形が早期に起こるため他の部材に比べてかなり低い値となり、ERT-CP と ERT-CF では降伏ねじりモーメント T_y の約 2.0 倍もの高い値となった。(2) ERT-CP と ERT-CF は、ERT-NO と ERT-ST より鋼管部の座屈変形が小さく、耐力が持続し安定した繰返し変形特性が得られた。(3) コンクリート部分充填(ERT-CP)の方が全充填(ERT-CF)より累積ねじり角が 1.3 (rad) 大きかった。従って、コンクリートは部分的に充填する方がよいと考えられる。(4) 累積エネルギー吸収量と累積ねじり角との関係では、最も特性の良い ERT-CP で累積エネルギー吸収量は 311 $(\text{tf} \cdot \text{m})$ 、累積ねじり角は 7.4 (rad) (424°) もの大きな値が得られた。(5) 累積ねじり角に対する単位ねじり角当たりのエネルギー吸収量は、ERT-NO と ERT-ST ではエネルギー吸収量の最大時以降、鋼管部の座屈変形によりエネルギー吸収量の低下が見られるが、ERT-CP と ERT-CF では最大時以降も比較的安定していた。

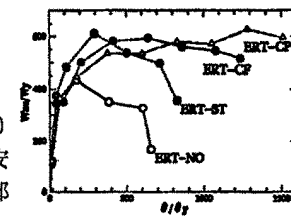


Fig.6 単位ねじり角当たりの累積吸収エネルギーと累積ねじり角

本実験に当たっては、卒業研究生の宮崎和彦、近藤一隆君の協力を得た。

6. 参考文献 川島一彦、バリアブルダンパーによる橋の振動応答制御とその解析、第 22 回土木学会地震工学研究発表会 平成 5 年 7 月