

I-B347 低降伏点鋼曲げダンパーの開発

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 盛本 靖人
 パシフィックコンサルタンツ(株) F会員 林 亜紀夫
 新日本製鉄株式会社橋梁構造部 正会員 聖生 守雄

1. まえがき

橋梁や建築物の構造部材や構造支持部に、高減衰材料やダンパーなどを適用することで地震時の振動エネルギーを吸収し、構造物の変位や断面力を制御することができる。当ダンパーとしては高機能鋼の一種として開発された低降伏点鋼は降伏強度が低く、比較的小さなひずみに対しても塑性変形してエネルギーを吸収し、かつ伸び性能が優れており、加工や維持管理も一般の鋼材と同様に扱うことができることから、橋梁の弾塑性履歴型エネルギー吸収部材として利用できる。当開発ではこの低降伏点鋼材を用いたダンパーの原理、構造の提案、その性能を検証するための模型実験を実施し、実験結果（ヒステリシス）を観察することにより、任意形状のダンパーの履歴形状を算出できる推定式を導いた。

2. ダンパーの構造原理

斜張橋の主塔基部や鋼製橋脚の基部のように、曲げモーメントが発生する箇所に図-1に示すダンパーを設置する。このダンパーは軸力、せん断力を中心に設置した回転フリーのピン支承で受け持ち、曲げモーメントを低降伏点鋼材で受け持つ。地震時には、低降伏点鋼材がイールドし $M-\theta$ （モーメント-回転角）のヒステリシスが生じる。

3. 模型実験装置

模型実験の要件としては低降伏点鋼材に曲げモーメントは発生するが、軸力せん断が発生しない載荷試験とする必要がある。図-2のような箱断面の単純梁の中央に低降伏点鋼材を設け、その両脇から2点載荷とする。また載荷方式は変位制御方式とし、振幅（片側）は10mmから50mmへと10mm毎に漸増させた。

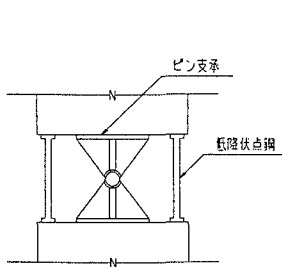


図-1 ダンパー構造

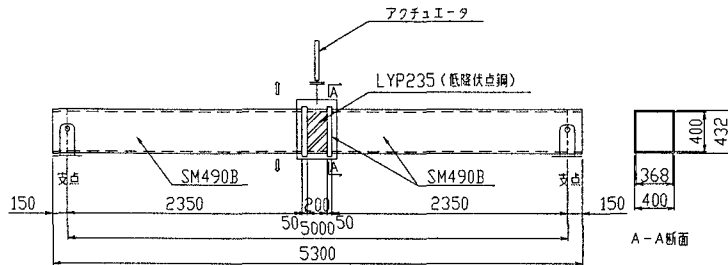


図-2 供試体形状・寸法

4. ヒステリシス形状とその形成メカニズム

本実験で得られたヒステリシスを図-3、4に示す。

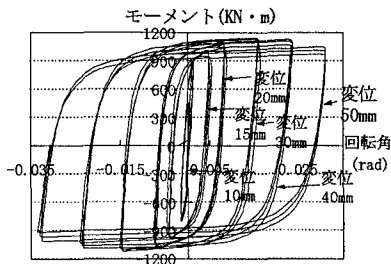


図-3 ヒステリシス

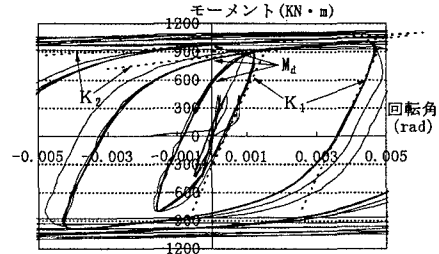


図-4 ヒステリシス（図-3の拡大）

ヒステリシスがどのようなルールで形成されているかを図-5に示す。たとえば点Aまで載荷された場合、除荷されて、弾性時と同等の勾配 K_1 でモーメントが減少してゆく。次に点Aに1サイクルを経て戻ってくる際には点Aにおける骨格曲線 $M(\theta)$ の接線勾配 K_2 で元のA点に戻ってくる。

キーワード ヒステリシス推定式、低降伏点鋼材

〒221 横浜市神奈川区栄町一番地一 TEL 045-451-2051 FAX 045-450-2156

以上からヒステリシス(バイリニアモデル)の K_2 を任意形ダンパーの形状関数で表わすには塑性範囲内の曲線の方程式を平面保持の法則から理論的に算出し、その式を微分することにより求めることができる。

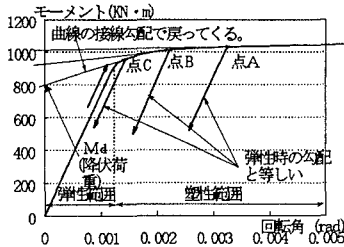


図-5 ヒステリシスのメカニズム

5. ヒステリシス推定式

右の推定式により任意形のダンパーの履歴形状を規定できる。この式を用いて実験のダンパーの等価剛性、等価減衰定数との比較を行う。図-7、8に示すように、推定式は実験値と良い一致を示す。推定式が等価減衰定数において若干大きな値を示すのはヒステリシスをバイリニアモデルで推定したため K_1 、 K_2 間の擦り付け曲線を表現できず面積がやや過大に算出されたためと考えられる。

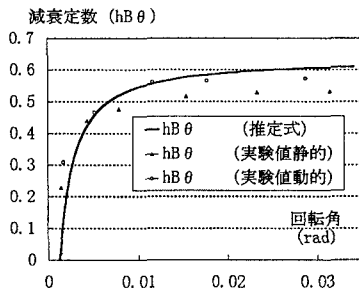


図-8 等価減衰定数の比較

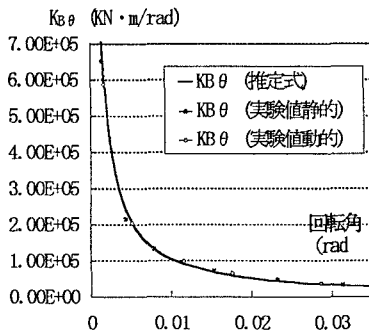


図-9 等価剛性の比較

非線形モデル

バイリニアモデルを用いる場合の低降伏点鋼材の骨格曲線、一次剛性、二次剛性、降伏荷重は式(1)~式(3)により算出する。

$$\begin{cases} M = \frac{M_Y}{\mu_\theta} & (0 < \theta_{B.e} \leq \theta_Y) \\ M = M_P - \frac{(\mu_\theta^2 + \frac{2\alpha\beta^3}{\mu_\theta} - 3\alpha\beta^2)M_Y}{2(1-\alpha\beta^3)} & (\theta_Y \leq \theta_{B.e} \leq \frac{\theta_Y}{\beta}) \\ M = M_P - \frac{(1-\alpha)\mu_\theta^2 M_Y}{2(1-\alpha\beta^3)} & (\frac{\theta_Y}{\beta} \leq \theta_{B.e}) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} K_1 = \frac{M_Y}{\theta_Y} & (0 < \theta_{B.e} \leq \theta_Y) \\ K_2 = \frac{(\mu_\theta^3 - \alpha\beta^3)M_Y}{\theta_Y(1-\alpha\beta^3)} & (\theta_Y \leq \theta_{B.e} \leq \frac{\theta_Y}{\beta}) \\ K_2 = \frac{\mu_\theta^2(1-\alpha)M_Y}{\theta_{B.e}(1-\alpha\beta^3)} & (\frac{\theta_Y}{\beta} \leq \theta_{B.e}) \end{cases} \quad (2)$$

$$M_d = -K_2 \theta_{B.e} + M \quad (3)$$

ここに

α, β : 図-6に示す免震装置の寸法から算出する係数で式(4)により算出する。

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{b_w}{b} \\ \beta &= \frac{d_f}{d} \end{aligned} \quad (4)$$

μ_θ : 免震装置の逆塑性率で式(5)により算出する。

$$\mu_\theta = \frac{\theta_Y}{\theta_{B.e}} \quad (5)$$

$\theta_{B.e}$: 図-7に示す免震装置に生じる有効設計変位(rad)。

θ_Y : 免震装置の降伏変位

d, x : 図-6に示す免震装置の寸法(m)。

M_Y : 免震装置の降伏モーメント。

σ_Y : 低降伏点鋼材の降伏応力で267N/mm²

M_P : 免震装置の完全塑性モーメント

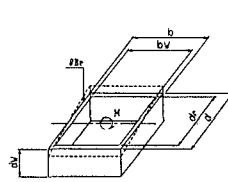


図-6 免震装置形状

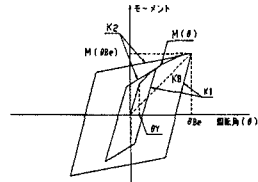


図-7 免震装置の履歴特性