

水平 2 方向荷重を受ける正方形断面鋼製橋脚の耐震性能の評価法

愛知工業大学 正会員 ○青木徹彦

J R 東海コンサルタンツ 正会員 大西哲広

愛知工業大学 正会員 鈴木森晶

1. はじめに

兵庫県南部地震以来、鋼製橋脚の耐震性能に関しては 1 方向繰り返し載荷による実験的、解析的研究が数多く行われてきたが、実地震入力に近い水平 2 方向載荷実験^{1),2)}は少ない。本研究では水平 2 方向載荷を受ける正方形断面鋼製橋脚の耐震性能を実験的に明らかにする。はじめに断面主軸方向直線入力、つぎに 2 方向地震力を円、方形、八角形等の単純形にモデル化した地震入力パターンに対する地震時挙動を調べ、従来の X,Y 2 方向の 2 本の荷重—変位履歴曲線に対して、新しく累積変位増分とその方向の荷重成分を用いた 1 本の履歴曲線を提案し、評価を行う。

2. 実験計画および方法

(1) 実験供試体

実験に用いる供試体は、材質 SM490(公称降伏応力 325MPa)、板幅 450mm、板厚 6mm の正方形補剛箱型断面とし、断面を構成する各面は 2 本の縦方向補剛材(6mm×55mm)と高さ方向に 450mm 間隔のダイアフラム(t=6mm)で補剛されている。供試体断面、側面図を図-1 に示す。なお、幅厚比パラメータ R_R 、 R_F は式(1)によって与えられ、 $R_R=0.522$ 、 $R_F=0.339$ である。また橋脚基部から載荷点までの高さ $h=2420\text{mm}$ 、細長比パラメータは $\bar{\lambda}=0.350$ である。

$$R_{R,F} = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k_{R,F}}} \quad (1)$$

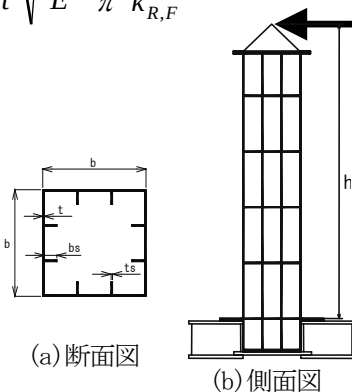


図-1 実験供試体

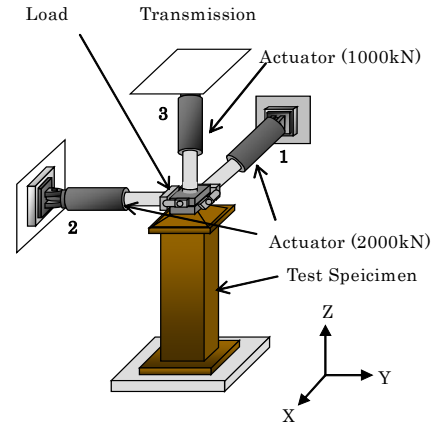


図-2 載荷装置立体図

ここに b :

板幅, t : 板厚, $k_{R,F}$: 座屈係数

(2) 載荷装置

本研究で使用する載荷装置は図-2 に示すように水平 2 方向 (X, Y 軸) および鉛直 1 方向 (Z 軸) 荷重を載荷する装置である。装置の中心に鋼製円筒芯を配置し、上部に鉛直軸回り、中間部に水平 2 軸回りの計 3 軸に回転することのできる部品を設け、アクチュエータの先端に結合した。水平変位の計測は、X,Y 方向の水平アクチュエータの先端部分とそれから約 3m 離れた外部固定点の間に両端ピンの滑らかに伸縮する計測棒を設け、これに変位計を取付けて計測した。なお橋脚基部の浮き上がりによる剛体変位の除去を行った。

(3) 載荷方法

上部工重量に相当する鉛直荷重 P は供試体の全断面降伏軸力 $P_y=4321\text{kN}$ の 20%である 864kN を載荷した。ただし P_y の計算には供試体設計時の断面寸法と公称降伏応力(325MPa)を用いた。材料試験実測値(降伏応力 $\sigma_y=410\text{Mpa}$)による各供試体の降伏変位 δ_0 および降伏水平荷重 H_0 はそれぞれ 145mm, および 245kN であった。

載荷パターンは図-2 (a)～(d) の囲み内の右下に示すように、直線載荷、円形らせん載荷、方形載荷、および円形載荷に外接する八角形の各載荷パターンである。直線載荷以外でははじめに右回りに X 軸、-Y 軸、-X 軸、Y 軸を降伏変位 δ_0 だけ横切るように変位を与え、つぎに

2 δ_0 だけ同様に変位を与え、サイクルごとに変位を δ_0 ずつ漸増させた。

3. 実験結果とその評価法

(1) 荷重—変位履歴曲線

荷重実験により得られた水平荷重 H —水平変位 δ 履歴曲線を図-3(a)~(d)に示す。縦軸は水平荷重 H を降伏水平荷重 H_0 で、横軸は水平変位 δ を降伏水平変位 δ_0 でそれぞれ無次元化している。図中、 X 方向を実線で、 Y 方向を破線示す。同図(a)に示す直線載荷では、3~4 サイクルで最大荷重に達している。2 方向載荷の履歴曲線を見ると全体的に直線載荷より小さい。

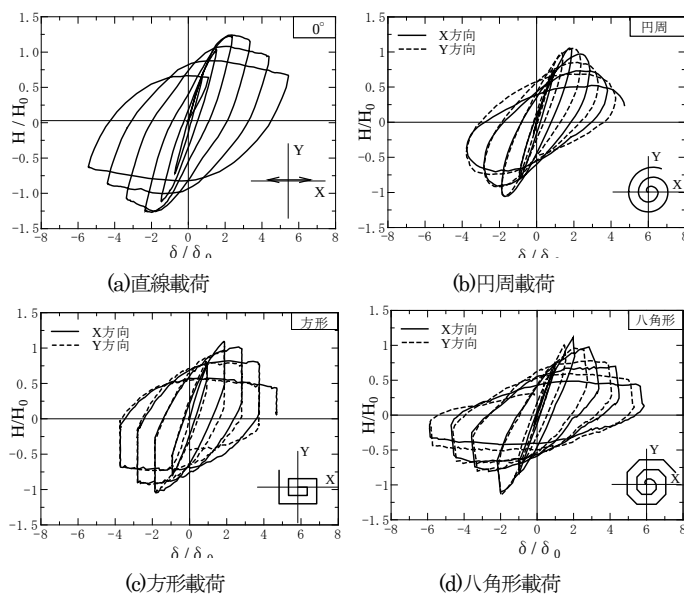


図-3 X,Y 方向載荷履歴曲線

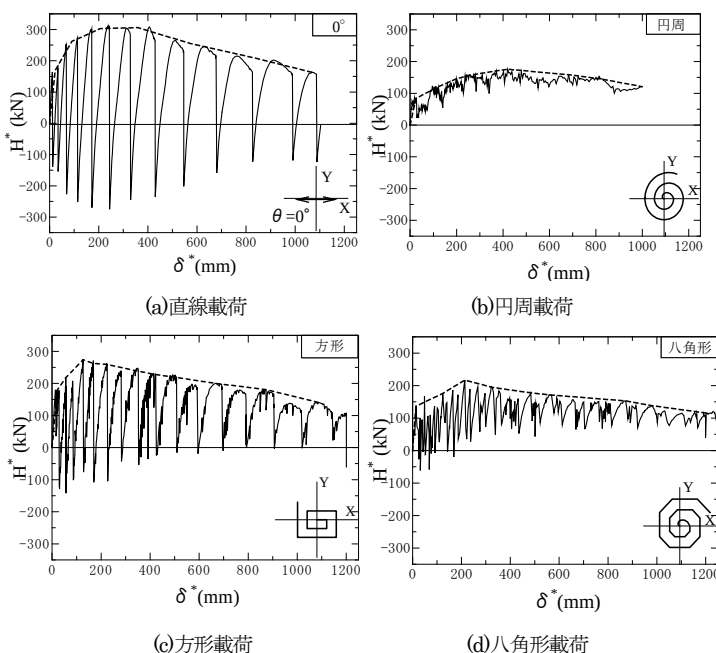


図-4 X,Y 方向載荷—累積変位履歴曲線

(2) 荷重—累積変位曲線

図-3 では、 X, Y 方向に個別に曲線が描かれているため、2 方向載荷の挙動が把握しにくい。そこで載荷時間によってその方向が変化する変位増分に注目し、荷重成分との関係を調べる。実験で計測された X, Y 方向変位増分 $\Delta \delta_x, \Delta \delta_y$ から式(1)により変位増分 $\Delta \delta^*$ が、また式(2)から累積変位 δ^* が求められる。変位増分方向の外力成分 H^* は式(3)により求められ、この方向を基準に外力によってなされる仕事を考える。式(4)の H^* と $\Delta \delta^*$ との積は変位増分の間になされた外力仕事増分である。外力のうち変位増分に直角方向の成分は仕事に寄与しないから橋脚にとって意味のない量となる。ここでは H^* を有効荷重と呼ぶことにする。

$$\Delta \delta^* = \sqrt{\Delta \delta_x^2 + \Delta \delta_y^2} \quad (1), \quad \delta^* = \sum \Delta \delta^* \quad (2)$$

$$H^* = H_x \frac{\Delta \delta_x}{\Delta \delta^*} + H_y \frac{\Delta \delta_y}{\Delta \delta^*} \quad (3), \quad \Delta W = H^* \Delta \delta^* \quad (4)$$

各載荷パターンごとの H^* と δ^* と関係を図示すると図-4 のように 1 本の曲線で表せる。しかし横軸の δ^* には弾性除荷部分の変位が累積されていくため、塑性変位増分 $\Delta \delta^*p$ のみを累積値として描くと図-5 の例のようになる。包絡線は従来と同様、繰り返しごとの曲線の上部を結んで描くことができる。図-6 は 4 種の載荷パターンを比較したもので、特に円形載荷の荷重低下が著しい。

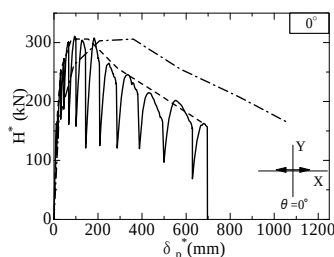


図-5 有効荷重—累積塑性履歴曲線

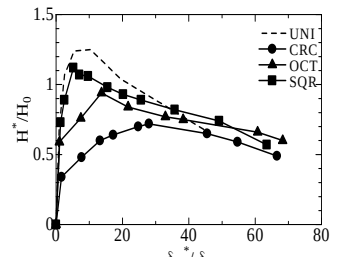


図-6 包絡線

4. まとめ

従来の X, Y 軸方向の 2 本の荷重—変位履歴曲線を、変位増分に注目して 1 本にまとめ、載荷パターン間および過去に多量に行われた 1 方向載荷実験とも整合性の取れる有効荷重—累積変位履歴曲線を提案した。

参考文献

- 1) 杉浦邦征, W. オヤワ他: 繰り返し水平 2 方向力を受ける角形鋼管柱の弾塑性挙動, 第 3 回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集, 土木学会, pp. 97-103, 1999. 11
- 2) 早川涼二, 川島一彦他: 水平 2 方向地震力を受ける単柱式 RC 橋脚の耐震性, 土木学会論文集, pp. 79-98, No. 759/I-67, 2004. 4.