

## 十字型補剛壁を有する鋼製円形橋脚の繰り返し挙動実験

熊本大学 ○学生員 平八重 真嗣 熊本大学 学生員 松村 新也  
熊本大学 正員 山尾 敏孝・宮崎 靖男 九州東海大学 所 達弘

**1. まえがき:** 鋼製橋脚の変形性能を高める補剛形式として鋼製橋脚の基部から所定の高さまで十字型に組んだ鋼製板(十字型補剛壁)を提案し、矩形断面に導入することで、強度や変形性能を向上させることを報告してきた<sup>1)</sup>。更に、円形断面にも適応して同様な実験及び解析により検討を行ったところ、十字型補剛壁を導入することで強度や変形性能の向上が見られたものの、実験と解析がうまく対応しなかった<sup>2)</sup>。その原因としては、実験供試体の十字型補剛壁下端部が十分に固定されていなかったこと、母材と十字型補剛壁の溶接が不十分であったこと、FEM 解析の要素分割方法の問題などがあった。そこで本研究では、上記の問題点に留意しながら、再度繰り返し載荷の実験及び FEM 解析を行い、径厚比パラメータ及び十字型補剛壁高さを変化させた場合の強度や変形性能を調べたものである。

**2. 実験の概要:** 実験供試体は、昨年度を参考に実橋脚の 1/10 を目安に設計した。図-1 に十字型補剛壁を有する供試体の概略図を示す。断面形状は、図-2 に示す無補剛断面(PNS 型)と十字型補剛断面(PCS 型)の 2 断面とした。鋼種、板厚は SS400 材の 3.2mm とし、式(1)で定義する径厚比パラメータ  $R_t$  は  $R_t=0.11, 0.15$  になるように半径  $R=153\text{mm}, 220\text{mm}$  とした。また、式(2)に定義する細長比パラメータ  $\bar{\lambda}$  の影響を調べる為に供試体高さを  $940\text{mm}$  から  $1440\text{mm}$  に変更し、 $\bar{\lambda}=0.3, 0.2$  となるように設計した。十字型補剛壁の高さ  $h_0$  は、 $L$  の 24%、27%、35% とした。また、ダイアフラムを 1 体につき 4 枚設置し、PCS 型については最下段ダイアフラムを十字型補剛壁最上部に設置した。なお、十字型補剛壁下端部をより固定条件に近づけて実験を行うために、十字型補剛壁下端に 30mm の角材を設置し、それをベースプレートに溶接した。表-1 に供試体の諸元を示すが供試体名の数字 48, 69 は、それぞれの径厚比( $=R/t$ )を、続く 2, 3 はそれぞれの  $\bar{\lambda} \times 10$  を示し、最後の 24, 27 及び 35 は  $h_0/L$  を示す。

表-1 実験供試体諸元

供試体名	$R(\text{mm})$	$h_0/L$	$R_t$	$\bar{\lambda}$	$\sigma_y(\text{MPa})$	$E(\text{GPa})$
PNS483	152.5			0.10	0.30	241.1
PCS483-24	152.5	24%		0.15	0.30	200.9
PNS692	219.0					
PCS692-27	219.0	27%	0.15	0.21	268.0	209.7
PCS692-35	219.5	35%				

載荷方法は図-3 に示すようにフレームから吊るしたサーボ試験機により、上部構造重量を想定した一定鉛直軸力を与え、反力壁に設置したサーボ試験機により、地震力を想定した水平変位を変位制御で与えた。この時、鉛直軸力  $P$  は全断面降伏軸力  $P_y$  の 15% を作用させた。水平変位  $\delta$  は、図-4 に示すような正負交番漸増繰り返し載荷とした。降伏水平荷重  $H_y$  及び降伏水平変位  $\delta_y$  は式(3)、(4)で定義した。

$$R_t = \frac{R}{t} \frac{\sigma_y}{E} \sqrt{3(1-\nu^2)} \quad (1) \quad \bar{\lambda} = \frac{2L}{\pi r} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad (2)$$

$$H_y = \left( \sigma_y - \frac{P}{A_1} \right) I_1 RL \quad (3) \quad \delta_y = \frac{H_y}{3EI_2} \left\{ L^3 + (L-h_0)^3 \left( \frac{I_2}{I_1} - 1 \right) \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \text{断面積}, r = \text{断面2次半径}, I_1 = \text{断面2次モーメント (無補剛断面)} \\ I_2 &= \text{断面2次モーメント (十字型補剛断面)} \end{aligned} \right\}$$

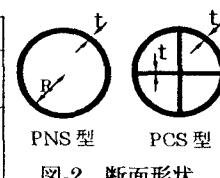


図-2 断面形状

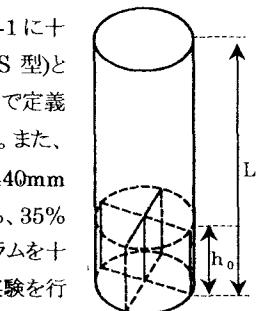


図-1 実験供試体

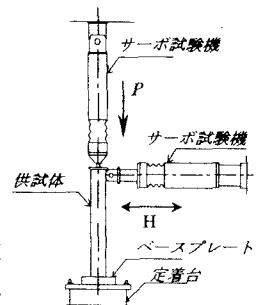


図-3 実験装置

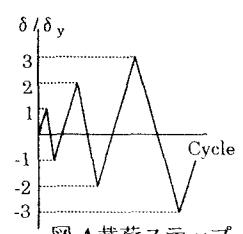
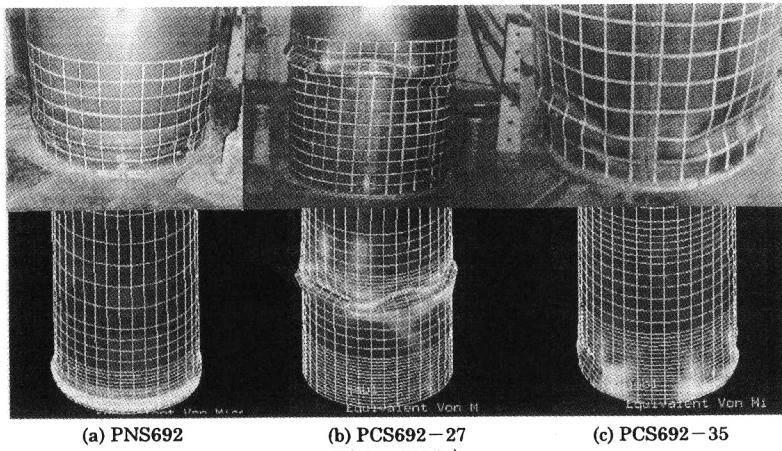


図-4 載荷ステップ



(a) PNS692

(b) PCS692-27  
(ダイアフラム無)

(c) PCS692-35

PCS692-35

図-4 最終変形状況

図-5 十字型補剛壁の挙動

3. 実験結果及び考察：図-4は、 $R_t=0.15$ 供試体の実験後の変形状況を示す写真(上段)とFEM解析の結果(下段)である。無補剛断面であるPNS692は実験、解析共に基部で提灯座屈が生じ、PCS692-27は十字型補剛壁の導入高さが足りなかったため、補剛壁上部で局部座屈が生じた。実験では座屈モードがPNS692のような提灯座屈にならずダイヤモンド型の座屈モードになったのに対して、解析では提灯座屈となった。このモードの違いは、十字型補剛壁最上部に設置したダイアフラムと母材の溶接が不十分であったことが実験後に判明したので、ダイアフラム無しの解析を行ったところ図-4(b)に示すように実験とほぼ同じ座屈モードとなった。PCS692-35については、十字型補剛壁の高さも十分であったため基部で局部座屈が生じた。図-5は、実験後の供試体PCS692-35を切断した時の写真(上段)と解析の結果(下段)である。この結果より十字型補剛壁は母材とほぼ同じ高さで変形していることから、十字型補剛壁が母材の変形に対して抵抗していたため生じたと考えられる。図-6はPCS692-35の実験とFEM解析の水平荷重-水平変位履歴曲線を示したものである。図より、両者がよく対応しており、十字型補剛壁がうまく機能していることが分かる。他の実験結果とFEM解析の結果の比較も合わせてみると、FEM解析を用いてのパラメトリック解析が精度よく実施できると思われる。図-7は、 $R_t=0.15$ 供試体の水平荷重-水平変位履歴曲線から得られた包絡線を示したものである。これより、十字型補剛壁は最適な高さを用いることで強度と変形性能を向上させることができた。なお、十字型補剛壁の最適高さの求め方は現在検討中である。図-8は、昨年度の実験で十字型補剛壁下端部が自由端と考えられたので、今年度の実験供試体PCS692-35を用いて、自由端と固定端の相違をFEM解析で比較した結果である。これより、十字型補剛壁下端を自由端とすると強度は抑えられるものの、変形性能が発揮されないため、十字型補剛壁下端部を固定条件にし、用いることが有効であることがわかる。

以上の結果より、円形断面においては、十字型補剛壁の下端部を固定条件とし、最適な高さまで設置することで強度や変形性能を向上させることが可能となる。また、十字型補剛壁最上部分のダイアフラムの有無の影響については今後更に検討する予定である。

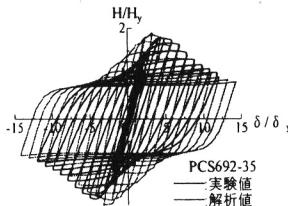


図-6 実験と解析の比較

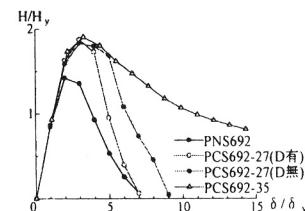


図-7 包絡線

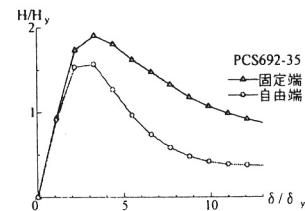


図-8 十字型補剛壁下端部の拘束の影響

参考文献 1)松村新也:「十字型補剛壁を有する鋼製橋脚の耐震性能に関する研究」 構造工学論文集 Vol.47A 2001年3月  
2)伊東宗昭:「円形鋼製橋脚の強度と変形性能の向上に関する研究」 熊本大学修士論文 2000年