

# 水平繰り返し載荷を受ける鋼製橋脚の耐震性能実験と面外たわみの計測

熊本大学 学生員 ○久保智央, ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 正会員 垣内辰雄  
熊本大学 正会員 葛西昭, 熊本大学 学生員 吉本宏和

## 1. 緒言

近年, 土木鋼構造物の耐震設計は飛躍的に向上している. 終局限界状態を想定し, 必ずしも全ての地震に対して, 弾性範囲内でとどまるようにはしていないのが特徴である. 従って, 兵庫県南部地震などを代表とした入力レベルの大きな地震動, すなわち, レベル 2 地震動を受ける際には, 損傷を軽微にとどめるなどの指標ができてくる. 損傷の程度に関係なく, その後の余震や連動地震に対して, 構造物の供用が可能であるかどうか, 緊急利用が可能であるかどうかを瞬時に見極めることは地震後の減災の観点から非常に重要である. ましてや, 軽微な損傷の場合は, その後の供用が暫定的かどうかを判断するためにも重要である. つまり, 被災した構造物の早期復旧を円滑に行うためには, 被害を受けた橋脚の損傷度, 復旧にかかる期間を把握し, 復旧の優先度を決めなければならない, 損傷の程度や路線の重要度に応じて, 復旧の順位付けが重要である.

しかし, 現在は, 鋼製橋脚の損傷度, 復旧に関する指標が明確ではない. また, 地震時の安全性の確認のため, 対象となる鋼構造物においては, 現在保有している耐震性能の把握が必要であるが, 地震後では計測が困難な状態にある. 鋼製橋脚の特徴として, 地震時は断面変化部や基部に面外たわみが生じ易く, この面外たわみは現場での計測が比較的容易な項目である. このことから, 地震後に生じる面外たわみと橋脚の塑性化を把握する指標との間の相関を示し, 同橋脚の耐震性能を判断できることが望ましい. そこで, 本研究では, 未だ明らかになっていない面外たわみと橋脚の耐力および変形能との相対関係<sup>1)</sup>に着目し, 面外たわみ量から耐震性能を見抜くための基礎的な検討の一環として, 実験的研究を行った.

## 2. 実験概要

実験装置の概要を, 写真-1 に示す. 水平方向の繰り返し荷重は, 載荷フレームに固定した鷲宮製作所製のサーボ試験機とアクチュエータ (最大荷重 500kN, ストローク ±100mm) によって載荷した.

## 3. 実験供試体

繰り返し載荷実験用に, 無補剛供試体を 2 体製作した. 断面形は, 正方形無補剛箱形断面を用いている. 供試体の概念図を図-1 に示す. 製作には, 板厚 6.0mm の SS400 材を用いた. また, 図-1 に示すように, 供試体両端部には端部の治具に取り付けるため, 厚さ 25mm の鋼板が溶接されている. 水平荷重作用位置と供試体天端は, 250mm の治具で固定されている. 供試体最下部には, 局部座屈の発生を防止し, かつ剛域を確保するための補剛材が, フランジとウェブの両面に取り付けられている. 供試体の柱としての部材長  $h$  は, 補剛された基部の鉄板上面から, 供試体天端の 25mm の鋼板下面までとなる. すなわち水平荷重作用位置は, 供試体の部材長に, 治具の高さ 250mm と鋼板の 25mm を加えた寸法となる.

無補剛鋼製柱の耐震性能を支配するパラメータは,  $R_f$  = フランジの幅厚比パラメータ,  $\bar{\lambda}$  = 細長比パラメータ,  $b$  = フランジ板幅,  $t$  = フランジ板厚,  $\sigma_y$  = 鋼材の降伏応力,  $E$  = 鋼材の弾性係数,  $\nu$  = 鋼材のポアソン比,  $k$  = 板の座屈係数,  $K$  = 有効座屈長係数,  $h$  = 部材長,  $r$  = 断面 2 次半径である. なお, 軸力比 ( $P/P_y$ ) は 0.2 とした.

表-1 に実験供試体の一覧および実測寸法を示し, 表-2

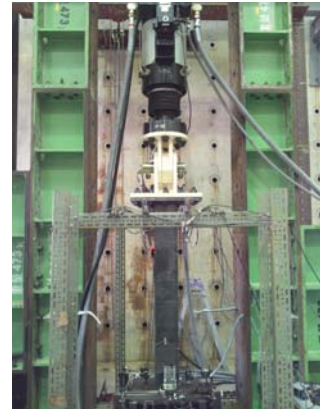


写真-1 実験装置 (北側)

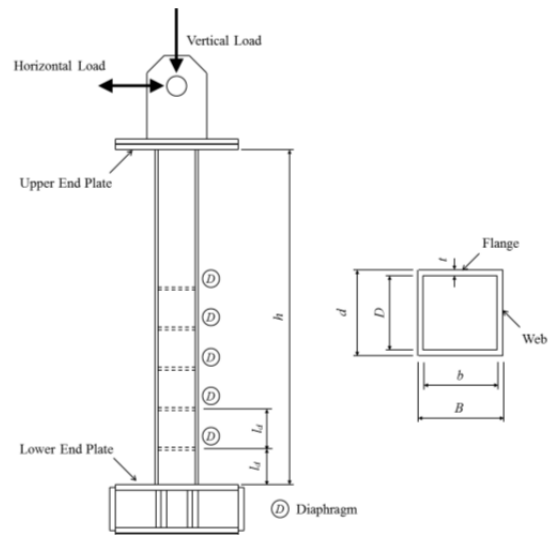


図-1 供試体概念図

表-1 Measured Dimension of Test Specimens

No	Specimen	$h$ (mm)	$l_d$ (mm)	$B$ (mm)	$D$ (mm)	$t$ (mm)	$R_f$
Specimen Group A ( $\bar{\lambda}=0.46$ )							
1	U49-46-1	1375	170	170	158	6.0	0.49
Specimen Group B ( $\bar{\lambda}=0.32$ )							
2	U67-32-1	1375	230	230	218	6.0	0.67

表-2 Tensile Test Results

$\sigma_y$ (MPa)	$E$ (GPa)	$\epsilon_y$ (%)	$E_{st}$ (GPa)	$\epsilon_{st}$ (%)	$\sigma_u$ (MPa)	$\nu$
316.3	213.2	1.48	4.72	9.89	436.6	0.2804

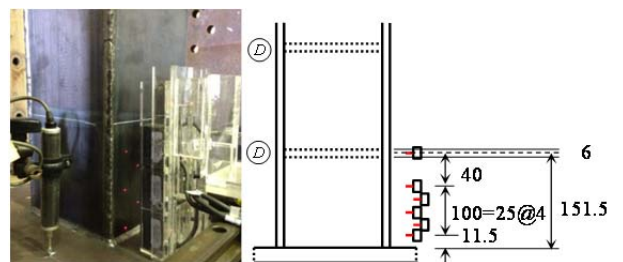


図-2 面外たわみ量の計測

に製作した鋼板から切り出した JIS5 号試験片による引張試験結果を示す。表-1 に示した供試体名の U は無補剛を意味し、次に続く 2 桁の数値は順に幅厚比パラメータ、細長比パラメータの値をそれぞれ 100 倍した値を示す。

#### 4. 面外たわみ量の計測

本実験では、面外たわみ量を精度よく計測するために、レーザー変位計 (keyence 社 IL-065 : 精度 0.002mm) を使用した。図-2 に示す通り、6 基のレーザー変位計を組合せ水平移動させることで、精度と効率よく連続的に面外たわみ量を計測するシステムを構築した。面外たわみ量はレーザー変位計 5 基で計測し、残りの 1 基はダイアフラムの位置の変位を計測することとした。

#### 5. 荷重方法

実験は、供試体上部の治具の荷重点の水平変位制御で行い、変動変位の繰返し荷重を 2 体の供試体について行った。荷重方法は、図-3 の通りとし、はり要素を用いた Pushover 解析により降伏ひずみ  $\epsilon_y$  となる降伏変位  $\delta_y$  を基準として、各サイクルに 1 回ずつ繰返し荷重 (1-Cycle 実験) を行った。ここで図-4 は、履歴ループを示す。

#### 6. 計測結果

供試体 U49-46-1 基部において、供試体天端の変位が、 $-1\delta_y$ 、 $-2\delta_y$ 、 $-3\delta_y$  の面外たわみ (北側) の最大量  $w_{max}$  と変形状況を図-5 に示す。ここで北側へ押した状態を-方向とし、南側へ引っ張った状態を+方向とした。図-5 の+印はレーザー変位計で計測した値であり、メッシュはレーザー変位計の値を sin 曲線(式(1))で近似した状況である。

$$f(x,y)=a\{\sin(\pi x/B)\}\{\sin(\pi y/d)\}+b \quad (1)$$

ここで a,b は、非線形最小 2 乗法によって求める。式(1)は面の中央で面外たわみが最大となることを想定した式であり、図-5 より相関性が低い状況が分かる。これは、本試験における面外たわみがパネルの中央ではなく、やや中央から下方に最大たわみ点が存在しているからである。この部分については、さらに検討を進め、より効果的な予測式の下、たわみを的確に捉えたい。

#### 7. 結言

本研究では、被災した後の鋼構造物の耐震性能を評価するため、面外たわみに着目し、耐震性能実験と面外たわみの計測を行った。その結果は、以下の通りである。

- (1)面外たわみ量を計測するため、6 基のレーザー変位計を組合せ移動させるシステムを構築した結果、計測精度と効率を向上することが出来た。
- (2)今後、本計測システムを用いた結果を用いて、最大面外たわみ量  $w_{max}$  を sin 曲線に基づき近似し、シェル要素を用いた供試体の耐震性能と面外たわみの解析に使用することとした。なお、実験的・数値解析的検討の詳細については、当日発表することとする。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：座屈設計ガイドライン，pp.183-183，2005。

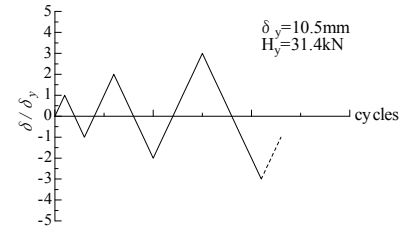


図-3 荷重方法

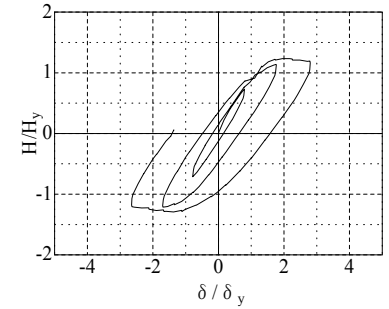
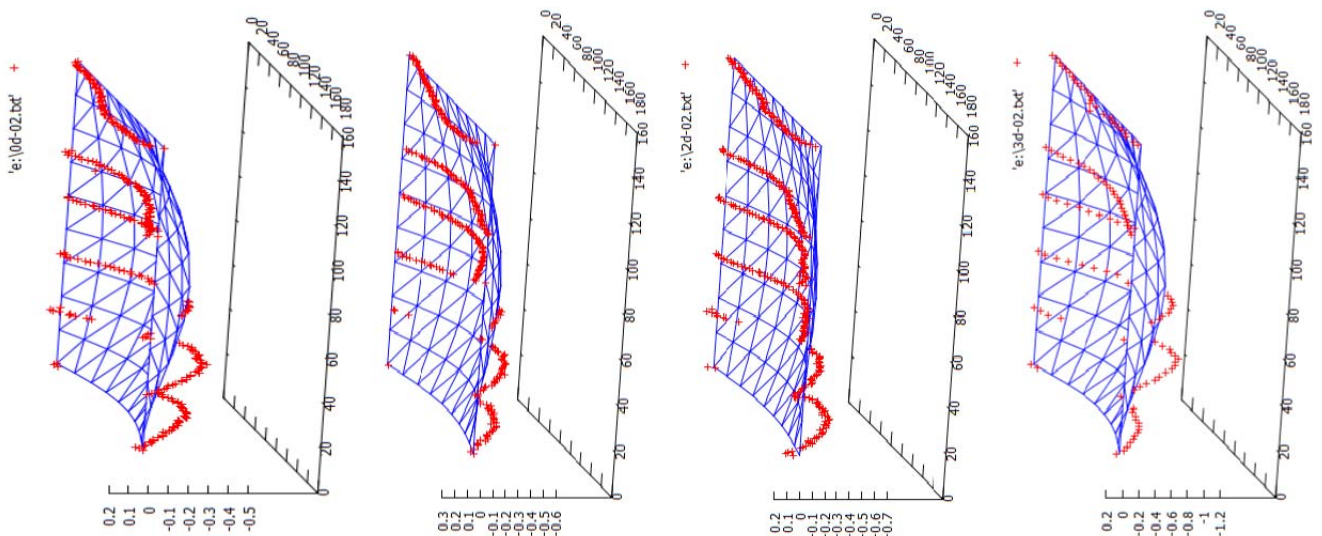


図-4 履歴ループ



(a)  $0\delta_y$   $w_{max} = -0.46\text{mm}$

(b)  $-1\delta_y$   $w_{max} = -0.54\text{mm}$

(c)  $-2\delta_y$   $w_{max} = -0.61\text{mm}$

(d)  $-3\delta_y$   $w_{max} = -1.18\text{mm}$

図-5 面外たわみ (北側)