

鋼製橋脚モデルの静的くり返し耐荷力 に関する数値解析

東北大学工学部 ○学生員 加藤 健旨
東北大学工学部 正 員 中沢 正利
東北大学工学部 正 員 岩熊 哲夫

1. まえがき

阪神・淡路大震災による被害を受けた鋼製橋脚の補強案および新規耐震設計断面案の検討が、おもに実験的研究を中心として精力的に進められている¹⁾。また数年前から、鋼製橋脚の耐震性能を検討するだけでなく、延性や変形能を考慮した耐震設計法の確立をも目指した研究が進められている。このような状況下では、本実験を行なう前に数値解析による事前検討として、各種断面性能の比較や変形能の評価などが必要不可欠であり、今日多数存在する構造解析ソフトの解析機能と現時点での解析能力を調査することには重要な意味がある。本稿では、非線形構造解析ソフトの一つである Marc²⁾を用いて鋼製橋脚モデルの局部座屈と塑性化進展に着目し、静的くり返し载荷を与えた数値例を報告する。

2. 解析対象および解析条件

建設省土木研究所で実際に縮小モデル実験を行なった結果との比較により解析精度の照査を行なう。対象とする鋼製橋脚モデル（片持ち柱）の断面および構造諸元を図-1に示す。外力は、上部構造の重量を想定した一定鉛直荷重 $P=102\text{tf}$ （断面降伏軸力 P_Y との軸力比:1/15）の下で地震力を想定した繰返し水平降伏変位 δ_Y の約2倍をくり返し与えた。

$$H_Y = \frac{M_Y}{\ell} = \frac{(\sigma_Y - P/A)W}{\ell}, \quad \delta_Y = \frac{H_Y \ell^3}{3EI} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 H_Y は基部の緑応力度が降伏に達する時の水平力、 ℓ は柱長、 W は断面係数である。

3. メッシュ分割および解析条件

WSに導入されている Marc(Ver.K6) で計算を実行した。橋脚モデル全体を忠実に再現した shell 要素によるフルメッシュ（要素数 1944、節点数 1920）を図-2に示す。また上記の载荷条件では橋脚基部パネルのみが降伏することより、要素数の低減を期待した shell+beam の結合モデル（要素数 843、節点数 891）を同様に図-2に示す。shell は Marc の四辺形厚肉線形要素 75 番、beam は 3 次元薄肉開断面要素 79 番を採用した。幾何学的非線形性は Update Lagrangian 手法により考慮している。弾塑性判定は von Mises の降伏条件により、塑性域は関連流れ則に従うものとし、移動硬化則を採用した。材料は完全弾塑性型および代表的な引張試験の $\sigma \sim \epsilon$ 関係をそのまま直接与える（図-1参照）ものの2通りとした。

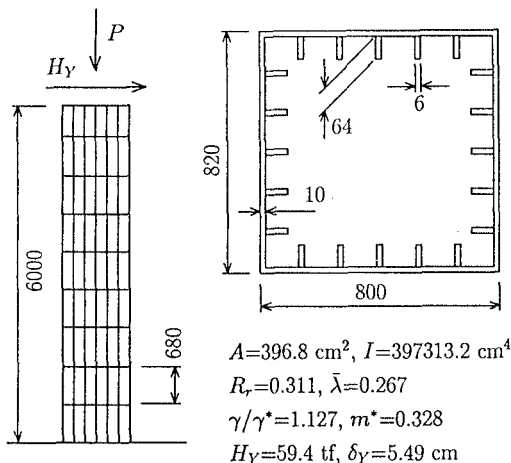


図-1 鋼製橋脚モデルと载荷パターン

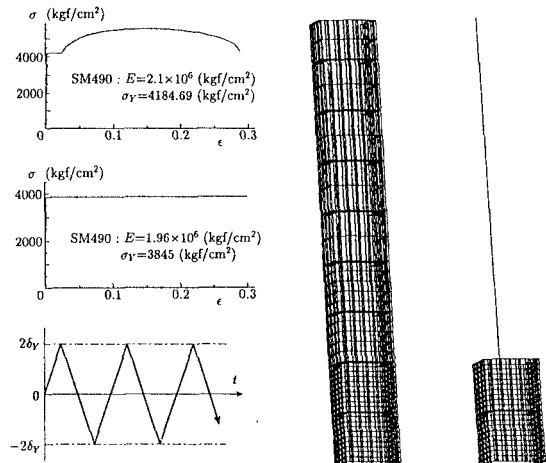


図-2 メッシュ分割（左：フル shell、右：shell+beam）

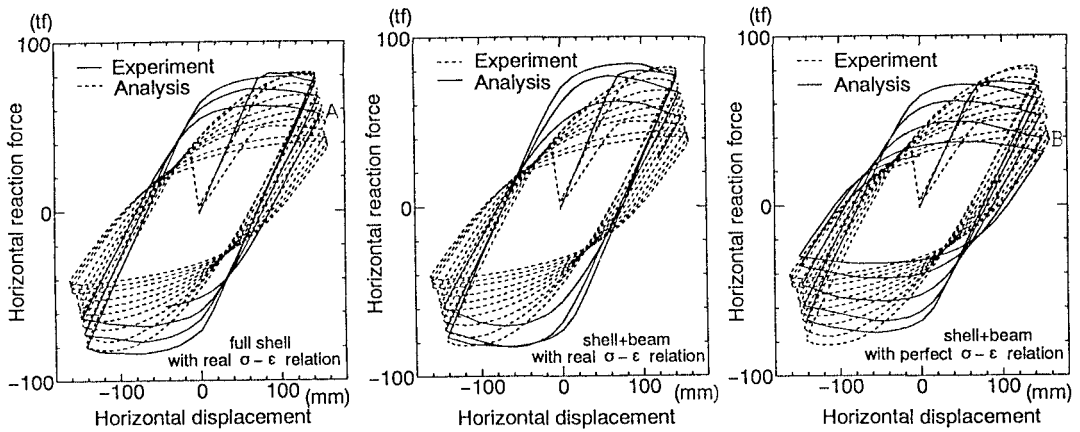


図-3 鋼製橋脚モデルに作用する水平力と水平変位のヒステリシス曲線

4. ヒステリシス曲線の比較

水平荷重 H_F と水平変位 δ_F のヒステリシス曲線について実験結果と数値解析を比較したものを図-3に示す。shell+beam による簡易解析とフルメッシュを比較し、細部では異なるものの大略等しい結果を得た。鋼製橋脚は降伏水平変位の約2倍のくり返し強制変位を受けると、いずれのケースにおいても水平耐力は順次低下してゆく。これは、断面が塑性化して大きな断面変形を生じるため、くり返し耐力は断面降伏後におけるその断面の変形抵抗能力によって決まることになる。また、完全弾塑性型構成則と σ - ϵ 関係直接入力による挙動の違いは、降伏域でのひずみがひずみ硬化域に達するか否かにより、全般的に実験結果の最大耐力をよく表わしている。

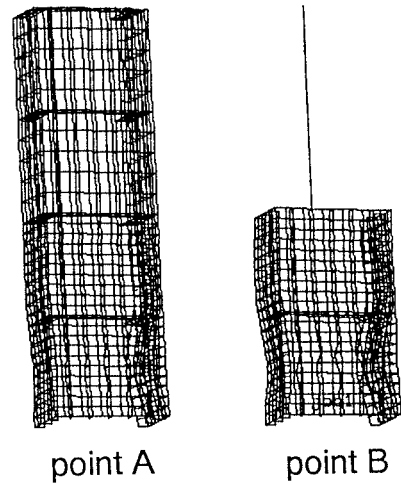


図-4 橋脚基部パネルでの局所変形の状況

5. 橋脚基部パネルでの局所変形の進展

くり返し载荷によって得られたヒステリシス曲線の中の代表点 (point A,B) での変形状態を図-4に示す。局所変形はいずれも橋脚の最下部のパネルで大きく発達し、この補剛板パネルでの耐力およびダクティリティが橋脚の耐力性能を支配している。一般にこの補剛板パネルの幅厚比、細長比、補剛材剛比、軸力比などが橋脚の耐震性能に大きく影響していることが実験的にも明らかにされている。基部パネルの片側フランジ (補剛板) は水平動による曲げと圧縮力を受けて断面内側にたわみ、塑性化が発生する。この塑性変形が残留した状態で逆の水平方向に傾くと、もう一方のフランジも同様に断面内側にたわみ、降伏領域が広がる。この時、ウェブの補剛板は隅角部でのねじり変形を受けてフランジと反対に断面外側へとはみ出す変形を示す。交互に水平動をくり返す間に、両フランジで断面内側への塑性変形が蓄積され、また圧縮力を常時受けて次第にクラッシュしてゆくことにより、耐力力が減少してゆく。

参考文献

- 1) 鈴木・宇佐美：たとえば、構造工学論文集, Vol.41A, pp.265-276, 1995.3., 土木学会論文集, No.519/I-32, pp.115-125, 1995.7.
- 2) 日本マーク (株) : MARC Manual, Vol.A ~ E, Ver.K6.