

コンクリートを部分的に充填した鋼製薄肉 及び厚肉断面橋脚の統一的耐震照査法*

積水ハウス 正 員 浅田秀史

名古屋大学 正 員 葛 漢彬† フェロー 宇佐美勉 正会員 葛西 昭

1. 緒言

コンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚に対し、地震時保有水平耐力の照査を行う際、終局点の強度と変形能を求める必要がある。過去に提案した照査法^{1),2)}では、橋脚の荷重-変位特性を Pushover 解析により求め、そして終局点を限界ひずみにより定義した破壊基準を基に定めている。破壊基準では、コンクリート充填部において鋼断面の限界ひずみの大きさに関わらず、充填されているコンクリートが限界ひずみに達した時点で破壊とみなし、鋼断面に関しては損傷度は定義されていない。しかし、コンクリート充填部の鋼断面の限界ひずみが、充填コンクリートのそれに比べ非常に大きい厚肉断面の場合、充填コンクリートが限界ひずみに達しても鋼断面は限界ひずみに達していないため、コンクリート断面のみで破壊とみなすことは、実際よりも終局変位を低く評価することがある。本研究は、コンクリート部分充填鋼製橋脚に対し、厚肉、薄肉断面を問わず地震時保有水平耐力の照査を行うための、統一的な破壊基準の構築を目指して行ったものである。

2. 解析方法

本研究では汎用プログラム ABAQUS を用いて弾塑性有限変位解析を行った。解析を行うにあたり ABAQUS に用意されている、せん断変形の影響を考慮した Timoshenko のはり理論に基づく平面はり要素 B21 を用いた。また、 $P-\Delta$ 効果の影響を考慮するが、局部座屈の影響については無視した。解析モデルは、図-1に示す。鋼材は、文献1)で示されているひずみ硬化を考慮した応力-ひずみ関係を用いた。また、コンクリートの応力-ひずみ関係は、従来は限界ひずみに達した後も強度を保持するとしてきたが、本研究では図-2に示すような、限界ひずみ到達後は強度が低下するモデルを用いた。また、コンクリート充填部においては、鋼とコンクリートは完全付着とし、平面保持を仮定する。

3. 破壊基準と損傷度

解析から得られた $H-\delta$ 関係より、終局点の水平荷重 H_u と水平変位 δ_u を算定するために破壊基準が必要となる。本研究では、コンクリート充填部および中空鋼断面部のそれぞれについて式(1)に示される損傷度 D_{bc} 、 D_{bs} および D_s を用いて照査する。これは従来用いられてきた損傷度 D_c および D_s にコンクリート充填部の鋼断面の損傷度を加えたものであり、コンクリート充填部において鋼よりコンクリートの変形能が大きい薄肉断面に対しては損傷度 D_{bc} を用い、コンクリートより鋼の変形能が大きい厚肉断面に対しては損傷度 D_{bs} を用いる。そして、いずれかが 1.0 に達したときに構造物は終局状態に達したとみなす。

$$D_{bc} = \varepsilon_{a,bc} / \varepsilon_{u,c}, \quad D_{bs} = \varepsilon_{a,bs} / \varepsilon_{u,bs}, \quad D_s = \varepsilon_{a,s} / \varepsilon_{u,s} \quad (1)$$

ここに、 $\varepsilon_{a,bc}$ =コンクリート最縁端に生ずる圧縮ひずみの、コンクリート充填部の有効破壊長領域での平均、 $\varepsilon_{a,bs}$ =充填部の鋼断面フランジに生ずる圧縮ひずみの、充填部の鋼断面の有効破壊長領域での平均、 $\varepsilon_{a,s}$ =中空鋼断面フランジに生ずる圧縮ひずみの、中空鋼断面部の有効破壊長領域での平均である。有効破壊長は、これまでと同様に、フランジ幅の 0.7 倍ないしはダイアフラム間隔の小さい方をとる。また、 $\varepsilon_{u,c}$ =コンクリートの圧縮破壊ひずみ ($=1.1\%$)、 $\varepsilon_{u,bs}$ =充填部の鋼断面フランジの破壊ひずみ、 $\varepsilon_{u,s}$ =中空鋼断面フランジの限界ひずみである。 $\varepsilon_{u,bs}$ は、単一圧縮板の弾塑性有限変位解析から得られた定義式¹⁾を適用する。一方、 $\varepsilon_{u,s}$ は、従来の提案法では単一圧縮板の破壊ひずみが用いられているが、本研究では圧縮と曲げを受ける短柱の弾塑性有限変位解析から得られた提案式³⁾を採用する。その定義式を以下に示す。

$$\varepsilon_{u,s} / \varepsilon_y = \frac{0.8(1 - P/P_y)^{0.94}}{(R \cdot \bar{\lambda}_s^{0.18} - 0.168)^{1.25}} + 2.78(1 - P/P_y)^{0.68} \leq 20.0 \quad (2)$$

また、コンクリート充填部の損傷度として鋼とコンクリートどちらの損傷度を用いるかについては以下に示す。文献1)にある鋼材の限界ひずみを求める式において、 $\varepsilon_{u,bs}$ にコンクリートの破壊ひずみ 0.011 を代入することにより $\bar{\lambda}_s$ を求める。この $\bar{\lambda}_s$ を限界値 $(\bar{\lambda}_s)_{cr}$ とし、コンクリート充填部の補剛材細長比パラメータ $\bar{\lambda}_{bs}$ と比較し、 $\bar{\lambda}_{bs} \geq (\bar{\lambda}_s)_{cr}$ のとき (比較的薄肉な断面) D_{bc} を適用し、 $\bar{\lambda}_{bs} < (\bar{\lambda}_s)_{cr}$ のとき (比較的厚肉な断面) D_{bs} を適用する。

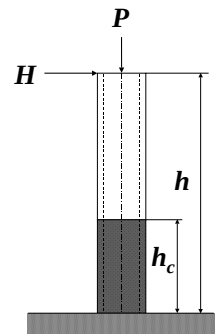


図-1 解析モデル

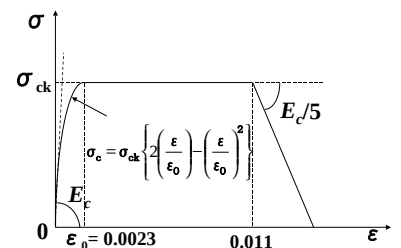


図-2 コンクリートの応力-ひずみ関係

* Key Words : steel bridge pier partially filled with concrete, seismic design, strength and deformation

† 〒 464-8603 名古屋市千種区不老町 TEL 052-789-4485

4. 解析結果

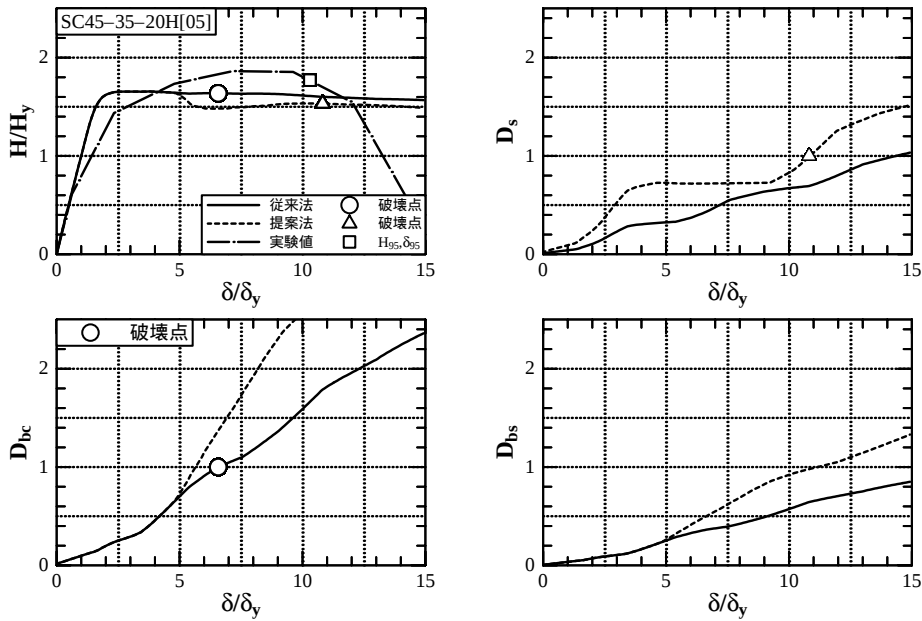


図-3 本提案法と従来照査法による解析結果と実験結果との比較 (SC45-35-20H[05])

で破壊点が現れ、大きさは $6.56 \delta_y$ である。これに対し本提案法では中空鋼断面部と充填部の鋼断面部はほぼ同時に破壊状態に達し、中空鋼断面部の方が僅か早くなっており、そのときの変位は $10.8 \delta_y$ で、従来の照査法に比べ実験値により近い値が得られた。これは、厚肉断面であるため、従来の照査法ではコンクリート充填部において充填コンクリートで破壊照査していたのに対し、本提案法では変形性能の優れた鋼断面 ($\bar{\lambda}_s=0.174$) で破壊照査しているため破壊位置が変わり、破壊点での変位が大きくなったのである。

また、図-4にある薄肉断面と見なされた SC45-35-20H ($\bar{\lambda}_{bs}=0.240$, $(\bar{\lambda}_s)_{cr}=0.233$) の結果を見ると、従来の照査法では中空鋼断面部で破壊に達し、変形能は $4.0 \delta_y$ 程度である。これに対し、本提案法で破壊照査した場合、破壊はコンクリートで発生し、大きさは約 $7.0 \delta_y$ となった。従来の照査法に比べ本提案法では破壊点が大きな値となり、実験値と比較しても本提案手法では、より近い値が得られた。これは、中空断面部の破壊ひずみを定める式が板ではなく短柱によるもので破壊ひずみが大きくなったためである。

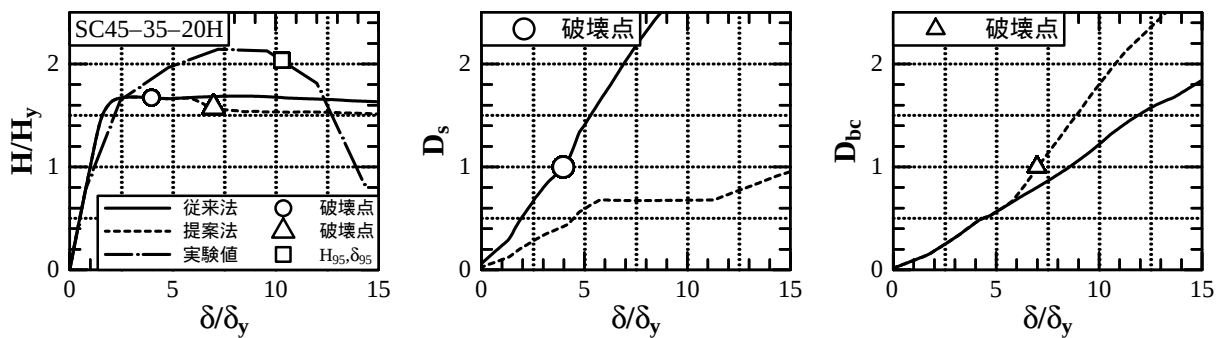


図-4 本提案法と従来照査法による解析結果と実験結果との比較 (45-35-20H)

5. 結言

1. コンクリート充填部に鋼断面の損傷度を定義することにより、厚肉断面では従来法に比べ本提案法のほうが実験値により近い値が得られた。
2. 中空断面部の限界ひずみの式に箱型断面より得られた式を用いることにより、薄肉断面において限界ひずみが従来法より大きくなり、破壊点も大きくなり、より実験値に近い値が得られた。

参考文献

- 1) 宇佐美勉, 鈴木森晶, H. P. Mamaghani, 葛漢彬: コンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力照査法の提案, 土木学会論文集, No.525/I-33, pp.69-82, 1995年10月。
- 2) 葛西昭, 葛漢彬, 宇佐美勉: コンクリート部分充填鋼製橋脚の最適充填率と塑性率, 橋梁と基礎, Vol.31, No.9, pp.23-29, 1997年9月。
- 3) 鄭沂, 葛漢彬, 宇佐美勉: 鋼構造物の強度と変形能の統一の評価法, 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, pp.25-32, 2000年1月。
- 4) 森下邦宏: 兵庫県南部地震観測地震波を用いたハイブリッド地震応答実験, 名古屋大学大学院修士論文, 1996年。

本解析手法の妥当性を検証するため、文献4)で述べられた2つの片持柱実験供試体 SC45-35-20H[05], SC45-35-20H について、解析結果と実験結果との比較を行う。図-3, 図-4に、従来の照査法と本提案法による $H-\delta$ 関係, $D_{bc}-\delta$ 関係, $D_{bs}-\delta$ 関係, $D_s-\delta$ 関係を示す。また, $H-\delta$ 関係の図には静的繰返し載荷実験結果の包絡線も示してある。実験結果に関しては、鋼製橋脚の粘りを考慮し終局状態を最大荷重の95%まで低下した点と考え、図には最大荷重の95%の値 H_{95} とそれに対応する変位 δ_{95} の値を示す。

図-3に示す厚肉断面と見なされた SC45-35-20H[05] ($\bar{\lambda}_{bs}=0.174$, $(\bar{\lambda}_s)_{cr}=0.236$) の結果を見ると、従来の照査法ではコンクリート