

I-A 18 コンクリート部分充填鋼製橋脚の変形能に影響する パラメータのセンシティブィティ解析

名古屋大学 正会員 ○葛 漢彬
名古屋大学 学生員 葛西 昭
名古屋大学 フェロー会員 宇佐美勉

1. まえがき

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 [1] では、水平荷重一水平変位関係は弾塑性有限変位によって求めるとしている。破壊条件は、中空断面部については有効破壊長でのフランジの平均ひずみが補剛板の限界ひずみに達した状態、コンクリート充填部については有効破壊長でのコンクリートの平均ひずみが0.6%に達した状態と仮定している。この破壊基準の妥当性を検討するために、既往の実験データとの比較を行った結果では、コンクリートの圧縮限界ひずみを0.6%とした場合、部材の強度と変形能にまだ十分余裕があることから、この値を1.1%とした [2]。

本研究では、文献 2) で定めた破壊基準によって、解析的に終局水平荷重及びそれに対応した変位（終局変位）を求め、部材の変形能に及ぼすコンクリート充填高さ (l_c/h)、補剛材細長比パラメータ ($\bar{\lambda}_s$)、柱の細長比パラメータ ($\bar{\lambda}$)、コンクリートの圧縮強度 (σ_{ck}) の影響、及びこれらのパラメータのセンシティブィティを調べ、実務的な設計に対する留意点について述べる。

2. 解析方法及びパラメータの設定

水平荷重一水平変位関係を求める方法は、文献 1) と 2) で詳細に述べられているので、ここでは、省略する。

本解析に用いた断面は、補剛箱形正方形断面であり、フランジとウェブに各 3 本の補剛材がある。計算に用いた材料常数入力データは、弾性係数 $E=206\text{GPa}$ 、降伏応力 $\sigma_y=314\text{MPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、コンクリート圧縮強度 $\sigma_{ck}=15.7, 19.6, 23.5\text{N/mm}^2$ である。また、板厚 t はプレートと補剛材のいずれも 20mm とした。プレートの幅厚比パラメータ R_f は $0.30, 0.40$ 及び 0.50 の 3 種類で、柱の細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ は $0.30, 0.40, 0.50$ 及び 0.60 の 4 種類である。補剛材細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s$ は中空断面部での鋼材の限界ひずみを表すもので、 $0.20, 0.22, 0.25$ 及び 0.30 を取った。なお、軸力比 P/P_y (P_y は全断面降伏軸力) においては、I 種地盤に対するものを用いるが、これは I 種地盤に対する軸力比が最も大きく、その他の地盤種に対しても、この軸力比を用いることで、安全側となるためである。

3. 解析結果及び考察

Fig. 1 は、 $\bar{\lambda}_s$ の影響の 1 例として、 $R_f=0.40$ 、 $\bar{\lambda}=0.30$ 及び $\sigma_{ck}=19.6\text{N/mm}^2$ に定めた際の、終局変位とコンクリート充填高さの関係を、 $\bar{\lambda}_s$ をパラメータに表したものである。縦軸は、軸力を考慮した降伏水平荷重 H_y に対応する変位 δ_y で無次元化した終局変位であり、横軸は、コンクリートの充填高さ l_c と柱高さ h の比である。この図から分かるように、コンクリートの充填高さの低い領域では、終局変位は $\bar{\lambda}_s$ の値によって大きく異なる。 $\bar{\lambda}_s$ が小さくなるほど、終局変位が大きくなる。これに対して、コンクリートの充填高さの高い領域、率にして 40% 以上において $\bar{\lambda}_s$ の値によらず、終局変位は δ_y の 8 倍程度になるが、これは、充填高さが大きくなるとコンクリート充填部で破壊するので、中空断面部におけるひずみの影響、すなわち、 $\bar{\lambda}_s$ の影響がなくなると考えられるためである。また、コンクリートの充填高さを下降させると、中空断面で破壊することになり、 $\bar{\lambda}_s$ の影響で限界ひずみが増加するために終局変位に差が生じる。一方、コンクリートの最適充填高さ（即ち、中空断面部とコンクリート充填部が同時に破壊する状態において概ね最大変形能を与える充填高さで、例えば、 $\bar{\lambda}_s=0.20$ の場合、最適充填高さ l_c/h は約 0.15 ）は、 $\bar{\lambda}_s$ が小さくなるにつれて、小さくなっている。また、 $\bar{\lambda}_s$ が小さくなるほど、最適充填高さにおける終局変位が大きくなり、特に、 $\bar{\lambda}_s$ が 0.20 に近いと大きな変形能が期待できる。ただし、 $\bar{\lambda}_s$ が 0.25 よりも大きくなると最適充填高さ時の終局変位に大きな差が見られない。

Fig. 2 は、 $R_f=0.40$ 、 $\bar{\lambda}_s=0.20$ 及び $\sigma_{ck}=19.6\text{N/mm}^2$ の場合、 $\bar{\lambda}$ を変えることによって解析を行ったものである。この図では、 $\bar{\lambda}$ について、終局変位とコンクリート充填高さの関係はほぼ同じ傾向が見られる。また、最適となる充填率とその時の終局変位は、 $\bar{\lambda}$ が大きくなるほど小さくなっているが、最適充填高さに関しては、この程度の差はあるものの、ほぼ同一であることが分かる。これは、中空断面部及びコンクリート充填部を同時破壊させるには中空断面部における曲げモーメント及びコンクリート充填部における曲げモーメントが、短柱、長柱の区別なくそれぞれ同じでなければならないので、曲げモーメントの分布から長柱の方がコンクリートを充填する高さは高くなるが、相対的に見る充填率では、ほぼ同一になるためである。

Fig. 3 は, $R_f=0.40$, $\bar{\lambda}=0.30$ 及び $\bar{\lambda}_s=0.20$ の時, σ_{ck} を変えた場合の解析結果を示した. この図から構造物がコンクリートで破壊する際に, l_c/h を一定にすると, σ_{ck} の大きいものほど, 終局変位は大きくなることが分かる. 例えば, $\sigma_{ck}=23.5\text{ N/mm}^2$ において最適と思われる充填率は 0.2 であり, このときの終局変位は δ_y の 14.5 倍程度である. ところが, 同じ 0.2 という充填率で, $\sigma_{ck}=15.7\text{ N/mm}^2$ の時の終局変位を見ると, δ_y の 10 倍程度で, δ_y にして 4.5 倍程度の差が見られる. このことから, コンクリートの強度と終局変位の間の関係も非常に敏感であり, 注意が必要となることが分かる. また, σ_{ck} の大きなものほど, 最適な充填高さは大きくなる傾向が見られる. これは, コンクリートの強度が大きい時, 柱基部での破壊時の曲げモーメントは, 大きくなるので, 中空断面部での曲げモーメントを同一にするには, 強度の大きいものほど充填高さを上げる必要があることから推察できる. 即ち, コンクリートの強度を上げると, 充填高さも上がる.

l_c/h のセンシティブィティについては, Fig. 1 から分かるように, $\bar{\lambda}_s$ の小さいものは, コンクリートの充填高さについて非常に敏感であり, $\bar{\lambda}_s=0.20$ のときには, 最適充填高さの前後 5% 以内において, δ_y の 3 倍程度, 変形能を大きく失う可能性が生じる. $\bar{\lambda}_s$ が 0.25 を越えるものは, 充填高さの変化に対して比較的穏やかであり, 最適な充填高さを多少超えるようなことがあっても変形能を失うことがない. 従って, $\bar{\lambda}_s$ が 0.20 程度の断面設計を行う際には, コンクリートの充填に注意を払う必要がある. 一方, Fig. 2 では, コンクリートの充填高さが最適充填高さを超えると, 終局変位は, $\bar{\lambda}$ の 0.3, 0.4 と 0.5 のいずれも, l_c/h が大きくなるにつれて, 急激に小さくなる. ただし, $\bar{\lambda}$ が 0.3 より大きい場合, コンクリート充填高さに関する敏感度が低く, 終局変位にあまり変化がない. 従って, 最適な充填率付近では, 終局変位はコンクリートの充填高さに非常に敏感であり, $\bar{\lambda}$ に伴って変化する最適充填率がごくわずかであっても, それに伴う終局変位の変化は大きいことに注意すべきである. コンクリート強度の影響を示す Fig. 3 の場合も, 終局変位の敏感度は Fig. 2 のそれと同じ傾向が見られる.

4. あとがき

$\bar{\lambda}_s$ が小さくなるほど変形能は良く, 特に, 0.20 に近いとより大きな変形能が期待できる. $\bar{\lambda}$ は変形能に大きく関係することではなく, $P-\Delta$ 効果により, 最適充填率に若干の差を生む. σ_{ck} が大きくなるほど最適充填率は上昇する. $\bar{\lambda}_s$ が 0.20 付近ではコンクリート充填高さに関する, センシティブィティが高く, コンクリートの充填には注意を要する. σ_{ck} の設定が変形能に対して, 大きな影響を及ぼす. 実際の設計段階においては, 変形能を高めるために細長比パラメータを小さくするかコンクリートの強度を上げることが考えられるが, そのセンシティブィティに注意すべきである.

5. 参考文献: [1] 宇佐美 勉, 鈴木森晶, Iraj, 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, 宇佐美 勉, 葛 漢彬: コンクリート部分充填鋼製橋脚の破壊基準と最適充填高さに関する研究, 第 51 回年次学術講演会講演概要集, 1996 年 9 月.

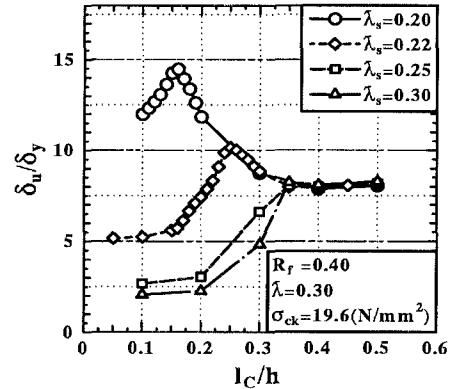


Fig. 1 Effects of $\bar{\lambda}_s$ on δ_u/δ_y

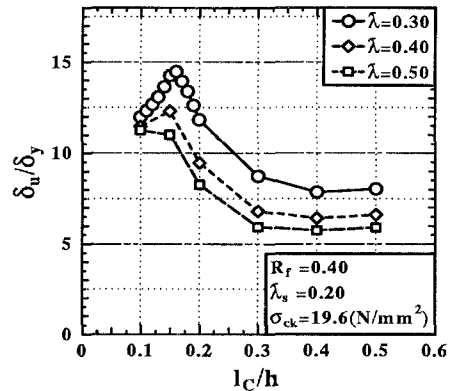


Fig. 2 Effects of $\bar{\lambda}$ on δ_u/δ_y

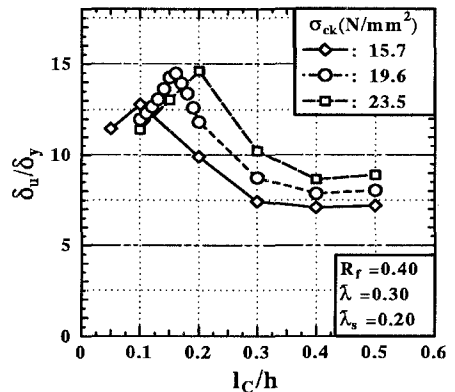


Fig. 3 Effects of σ_{ck} on δ_u/δ_y