

I-44 コンクリート充填鋼製橋脚の強度と変形に関する解析的研究

名古屋大学 正 員○葛 漢彬 名古屋大学 正 員 宇佐美勉

1. まえがき 本論文は、コンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚の耐震極限設計を行う際に必要となる構造物の荷重-変位特性を簡単に解析できる手法および数値解析結果について述べたものである。

2. 解析手法 コンクリート充填鋼構造物の厳密な三次元弾塑性有限要素解析は、コンクリートの弾塑性挙動のモデル化と2種材料間の接触問題が複雑であるため、計算時間などの点からまだ非実用的である。本研究は、コンクリート充填鋼構造物の極限強度と変形を求める簡易解析法を確立することを目的としたものである。解析手法は、短柱のモーメント-軸力-平均曲率関係（軸方向圧縮力が一定のときのモーメント-平均曲率関係で、以下には $M-P-\Phi$ 関係と称する）をあらかじめ求めておき、それらを部材の長さ方向に積分することにより、部材の荷重-変形挙動を解析しようとするものである。

3. モーメント-曲率関係の計算および近似 (1) 鋼断面 まず、汎用有限要素解析プログラム MARC に適用する解析モデルを開発する。次に、開発した解析モデルを用い、モーメント-曲率特性に対する断面の形状（正方形と長方形）および鋼材のひずみ硬化の影響を調べたうえに、幅厚比と軸力を変化させて $M-P-\Phi$ 関係を求める。また、局部座屈の影響を考慮した終局強度の相関式を示すとともに、極限強度に対応する曲率（限界曲率と称する）を求める近似式を幅厚比と軸力の関数として与える。モーメント勾配の影響を考慮するため、解析モデルを修正して行った解析により、終局強度に対して修正係数を導入する。さらに、 $M-P-\Phi$ 関係を精度良く予測できる近似式を提案している。一方、局部座屈が起こらない短柱の解析結果に基づいて板パネルの局部座屈を無視する場合の $M-P-\Phi$ 関係の近似式も示されている。(2) コンクリート充填鋼断面 鋼板の局部座屈を無視した数値解析法より種々の幅厚比、コンクリートの圧縮強度と圧縮軸力について $M-P-\Phi$ 関係を求める。解析には、鋼材のひずみ硬化の影響を考慮している。コンクリートの応力-ひずみ関係においては、ひずみが ϵ_c （圧縮強度に等しいひずみ）までは二次曲線で、その以後はコンクリートの鋼板による拘束を考えるため強度劣化せず直線で表すモデルを用いる。ただし、コンクリートはひずみが 0.6% に達したら破壊になると仮定する。解析から得られた $M-P-\Phi$ 関係に基づいてそれらを予測する近似式の提案を行う。また、コンクリート充填断面の破壊時点での曲率（限界曲率）を確定する近似式を幅厚比、コンクリートの圧縮強度および軸力の関数として与えている。これらの一連の計算結果と近似式は文献 1) で与えられているので、ここには省略する。

4. 解析結果 本解析で用いた方法は、曲げ変形のみを考慮した棒部材に対する有限変位理論に基づく有限要素法である。解析の対象は、Fig.1 に示すような、柱頂部に一定鉛直力および増大水平力を受ける片持柱である。剛性方程式を導くときに、1) 軸力による部材の変形は無視できる、2) 軸力は変形後も大きさが一定で変化しない、3) 部材の初期たわみは考えない、4) 断面の $M-P-\Phi$ 関係は与えられている、を仮定する。

部材の軸方向線に沿って $M-P-\Phi$ 関係を積分するため、中空鋼断面部分とコンクリート充填鋼断面部分に対して部材の分割を行い、数値積分計算法としてガウス・ロバット (Gauss-Lobatto) の数値積分公式を用いている。また、不安定現象を伴う構造物の解析では荷重降下が生ずるため、荷重増分法の代わりに変位増分法を

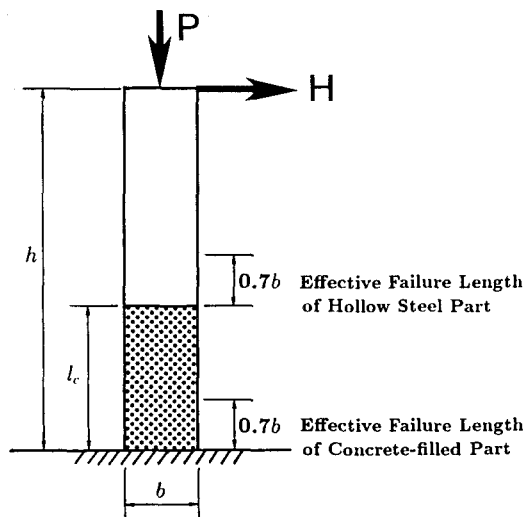


Fig.1 Cantilever Column to be Analyzed

用い、収束計算を行う。

この解析手法をより一般的に適用するときに簡単に解析できるため、局部座屈を無視して求めた $M-P-\Phi$ 関係を用いる。この種の構造物の破壊を定義するため、有効破壊長の概念（Fig.1を参照）を導入し、中空鋼断面部分とコンクリート充填鋼断面部分の有効破壊長の範囲内の平均曲率のどちらかがそれぞれの限界曲率に達したら、構造物は破壊になったと考える。有効座屈長の長さは、実験[文献2)と3)]で観察された現象を参考にしてフランジ幅(b)の0.7倍とする。

開発した解析手法による数値計算結果を文献2)と3)の実験結果との比較をFig.2に示している。数値計算は、破壊条件に満たした時点で終了した。図からわかるように、最大荷重とそれに対応する変位は実験結果と良く一致している。一方、部材が破壊に至った時の中空鋼断面とコンクリート充填鋼断面の損傷度を二つの損傷指標 f_s と f_c を用いてそれぞれ表す。 f_s と f_c は、次式で表される。

$$f_s = \frac{\Phi_{ave,s}}{\Phi_m}, \quad f_c = \frac{\Phi_{ave,c}}{\Phi_f} \quad (1,2)$$

ここで、 $\Phi_{ave,s}$ と $\Phi_{ave,c}$ はそれぞれ中空鋼断面とコンクリート充填鋼断面の平均曲率で、 Φ_m と Φ_f は限界曲率である¹⁾。Fig.2(a)に示されているように、供試体 UU2 の場合、 $f_s=1.0$ と $f_c=0.82$ 。これは、中空鋼断面部分はコンクリート充填部より先に破壊したことを意味している。しかも、この現象は実験結果と同様である。また、損傷指標 f_c の値はコン

クリート充填鋼断面部分の損傷程度を表している。例えば、この供試体において $f_c=0.82$ というのは、コンクリート充填鋼断面部分はまだ破壊には至っていないが、かなりダメージを受けていたことを示している。さらに、パラメトリック解析を行うことにより、耐震極限設計を行う際に必要となる極限強度とそれに対応する変形を与える設計チャートを示すとともに、充填コンクリートの最適長さの提案を行う。その結果として、実際の設計には、ほとんどの場合、鋼製橋脚の柱基部に充填するコンクリートの長さは柱長の0.3倍または0.5倍程度で設計すれば適切であることが明らかにされている。

5. あとがき より詳しい内容については講演当日に述べる。

参考文献 1) 葛漢彬、宇佐美勉：名古屋大学工学部土木工学科研究報告書、No.9401、1994。2) 宇佐美勉ら：構造工学論文集、Vol.39A、1993。3) 葛漢彬ら：構造工学論文集、Vol.40A、1994。

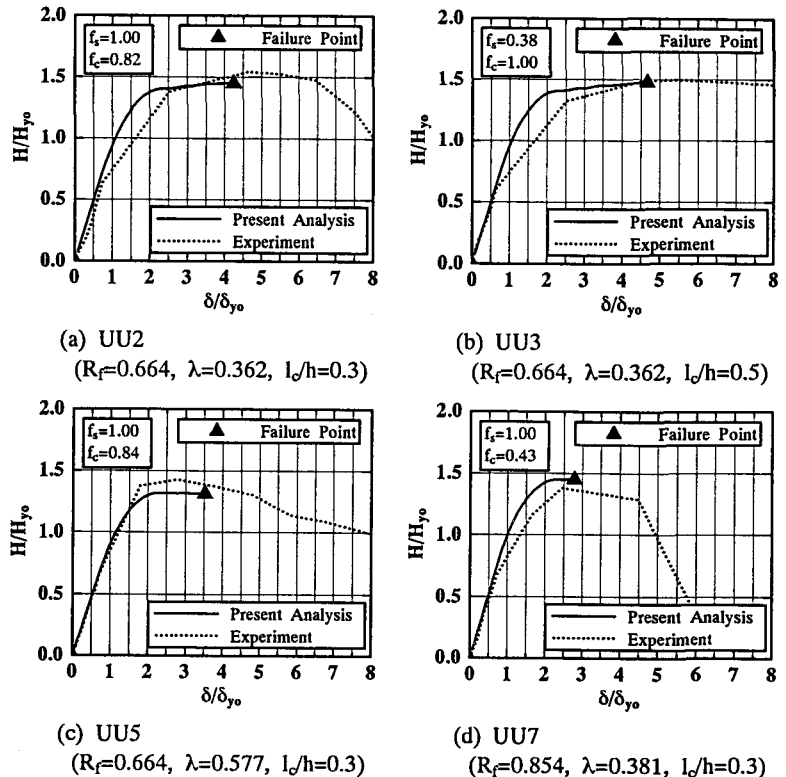


Fig.2 Comparisons of Computed Results and Experimental Data