高軸力下におけるコンクリート充填鋼製橋脚の最大耐力推定式の提案

信州大学	学生会員	○戸田	雅己
信州大学	学生会員	善財	聖也
信州大学	正会員	近広	雄希

1. はじめに

コンクリート充填鋼製橋脚は、橋脚内部にコンクリートを充填させることによって鋼部材の座屈変形が 抑制されるため、優れた耐力と変形能を有する.橋脚の断面形状に関わらず多くの研究が行われており、 近年では円形断面橋脚を対象とした最大耐力の推定方法が提案されている¹⁾⁻²⁾.しかし、これまでの推定 式は、中空鋼管とコンクリート充填鋼管の終局曲げモーメントが一致する際に等価板厚などのパラメータ を導入する必要があり、最大耐力を簡易的には求め難い.そこで本研究では、径厚比と細長比、軸力比の 3 つのパラメータに着目したコンクリート充填円形断面橋脚の単調載荷を解析的に行い、その結果をもと に極力簡易にコンクリート充填橋脚の最大耐力を推定できるか試みた.

2. 解析概要

解析対象とするコンクリート充填円形断面橋脚の概要とその諸元を図-1 と表-1 に示す.モデルのコンク リート充填高さL_cは橋脚高さLの 20%,40%,60%の3パターンを想定し,道路橋示方書・同解説³⁾を参考 に,径厚比パラメータRは0.06から0.12間,細長比パラメータλは0.2から0.4間で設定をした.また橋 脚柱頂部には,充填コンクリートを除いた鋼管断面の全断面降伏軸力N_yに対して0%から50%の軸力Nが 加わるように,軸力Nを与えた.全ての解析モデルにおいて,橋脚内部の充填コンクリート直上にはダイ アフラムを設置しており,その板厚は9mmとした.鋼管の材料特性としてSS400材を想定し,ヤング係 数,ポアソン比,降伏応力はそれぞれ206.0GPa,0.30,308.0MPaとした.橋脚内部の充填コンクリートの 一軸圧縮強度,ヤング係数,ポアソン比はそれぞれ22.0MPa,20.0GPa,0.20とした.

解析には汎用構造解析ソフトウェア MSC. Marc2016 を用いた. 鋼管とダイアフラムにはシェル要素,橋 脚高さの 80%より上部はビーム要素,充填コンクリートはソリッド要素をそれぞれ用いた.境界条件とし て,鋼管柱の基部は変位と回転角を固定し,鋼管柱頂部に軸力Nと水平方向の強制変位δを与えた.

3. 解析結果および考察

解析結果の1例として, $R = 0.09, \lambda = 0.30$ の橋脚に対する無次元化した耐力比 P/P_y と軸力比 N/N_y の関係を図-2に示す。解析結果は図中の〇印と●印でそれぞれ示され、〇印は充填コンクリート直上部での座 屈パターン (図-3(a)を参照)、●印は橋脚基部で座屈したパターン (図-3(b)を参照)を表している.

 $L_c/L = 0.60$ の場合では、全て鋼管基部で座屈が生じたものの、軸力 $N/N_y = 0$ から 0.5 にかけて最大耐力



図-1 解析モデルの概要図

表-1 解析モデルの諸元

外径 D [mm]	900	
板厚 t _s [mm]	9.3, 12, 18	
高さ <i>L</i> [mm]	2600, 3850, 5100	
径厚比パラメータ R	0.06, 0.09, 0.12	
細長比パラメータ λ	0.20, 0.30, 0.40	
軸力比 N/Ny	0~0.5	
コンクリート充填率L _c /L	0.20, 0.40, 0.60	







(a) $L_c/L = 0.20$ (b) $L_c/L = 0.60$ 図-3 $N/N_y = 0.5$ における座屈発生位置

は大きく低下しなかった. 一方, $L_c/L = 0.20$ の場合では,全て充填コンクリート直上部で座屈が生じ, $L_c/L = 0.60$ の場合と比べると,軸力の増加に伴う最大耐力の低下率が大きくなった. また $L_c/L = 0.40$ の場合では, $N/N_y = 0.2$ を境に,座屈発生位置が変化し,耐力低下の傾向性が大きく変わった.

次に全ての解析結果をもとに,統計分析フリーソフトウェア R3.6.2 を用いた最小2 乗法による非線形回 帰分析を行った.非線形回帰分析によって得られた各種パラメータに対応する推定式は以下となる.

$$\frac{P}{P_{y}} = \left(7.1 \times \frac{L_{c}}{L}^{0.68} \times R^{1.04} \times \lambda^{-0.07}\right) - \left(4.45 \times \frac{L_{c}}{L}^{-0.65} \times R^{0.72} \times \lambda^{0.3} \times \frac{N}{N_{y}}^{1.43}\right) + 1.01$$
(1)

ここで、 P_y は各モデルで解析によって得られた無軸圧縮力下における無充填橋脚の最大耐力を示す.この 式によって得られた推定値を図-2 中の破線に示す.解析値と推定値を比較すると、 $L_c/L = 0.20$ の場合で は、解析値の傾向をよく捉えることができた. $L_c/L = 0.40$ の場合は $N/N_y = 0$ から 0.3 にかけて、 $L_c/L =$ 0.60の場合は $N/N_y = 0.3$ から 0.5 にかけて解析値と 11%程度の誤差が生じたが概ね安全側に評価される 結果となった.誤差の原因として、モデル全体で2種類の座屈形態が混在しており、例えば $L_c/L = 0.40$ に おける $N/N_y = 0.2$ 前後では最大耐力の傾向が大きく変わっており、その結果、推定値にばらつきが生じた と考えられる.今後は、解析パラメータを増やすとともに橋脚の座屈形状に応じた推定式の提案などを試 み、精度向上や推定式の適用範囲を探る必要がある.

4. 結論

本研究で明らかになったことを以下に述べる.

- コンクリート充填円形断面橋脚の単調載荷下での有限要素解析から、最大耐力と軸力の関係性を明 らかとし、座屈形態によって最大耐力が大きく変わることが分かった。
- パラメトリック解析をもとに、コンクリート充填円形断面橋脚の最大耐力の推定式を提案し、座屈 形態の違いに関わらず、概ね少ない誤差で安全側に評価できた。
- 5. 参考文献
 - 井浦雅司,折野明宏,石澤俊希:コンクリートを部分充填した円形鋼製橋脚の弾塑性挙動に関する 研究,土木学会論文集,No.696/I-58,pp.285-298,2002.1.
 - 2) 杉本博之, 佐々木利健, 渡辺忠朋: 道路橋橋脚の骨格曲線について, 北海学園大学工学部研究報告, 31, pp.13-32, 2004.2.
 - 3) 日本道路協会:道路橋示方書·同解説 V 耐震設計編, 2017.