

I-A 19

鋼製八角形断面柱の強度と変形能に関する解析的研究

日本車輦 正会員 ○山田尚之 名古屋大学 フェロー会員 宇佐美 勉
名古屋大学 正会員 水野 英二

1. はじめに

最近、都市内高速道路等の橋脚に視覚的環境を考慮し、箱形断面のコーナー部に曲面を持たせたものやコーナー部を切り落とした断面、すなわち偏八角形断面が用いられ始めている。箱形断面の代りとして多角形断面を用いた場合、光の影が縦方向に細長く入るため、錯視現象により実際の寸法よりも細長くスマートに見えるという利点がある。また、力学的には断面構成板の幅厚比が箱形断面のものよりも小さくなるため、板の局部座屈強度が上昇し、強度上有利になると思われる。しかしながら、多角形断面鋼柱に関する研究は数少なく、適切な設計法がないのが現状である。

そこで、本研究では鋼製橋脚に用いる鋼柱として多角形のうち最も実用的と思われる正八角形断面を選び、その強度および変形能を調べるためにパラメトリック解析を行った。本研究での対象とした構造物は自由端に軸力 $P = 0.2P_y$ を受け、漸増する横荷重 H を受ける片持ち柱である。断面形状は正八角形断面の無補剛断面および補剛断面とした。補剛断面の補剛材は各パネル2本としている。解析は以下について行った。

解析 1：局部座屈と全体座屈の連成強度および変形能に関する解析

解析 2：コンクリートを充填した強度、変形能および最適充填率に関する解析

解析パラメータを Table 1 に、断面図を Fig. 1 に示す。

2. 解析 1 の概要¹⁾

局部座屈を生じる可能性のある柱基部に板要素を用い、それ以外の柱部、補剛材、ダイアフラムにははり要素を用いた。

残留応力は、溶接部に隣接する要素では引張残留応力 σ_y 、それ以外は圧縮残留応力 $0.3\sigma_y$ とし、初期たわみは板要素部のみ考慮し無補剛断面では最大値を $b/1000$ 、補剛断面では局所的モードおよび全体的モードの和として導入し、全体的モード、局所的モードの最大値を $b/1000$ 、 $b/500$ とした。

本解析では汎用構造プログラム MARC を用い柱頂部に強制変位を与えることによる変位制御で有限変位解析を行った。

3. 解析 2 の概要

片持ち柱にははり要素を用い、初期たわみおよび残留応力については考慮していない。補剛断面については計算を簡略化するために等価な無補剛断面に置き換えて解析を行った。本解析では汎用構造プログラム FEAP を用い柱頂部に強制変位を与えることによる変位制御で有限変位解析を行った。

破壊基準として文献 2)3) で提案された箱形断面柱の基準を用いた。コンクリート充填部分では、コンクリートの最縁端の圧縮ひずみの有効破壊長 l_e の領域での平均値 $\epsilon_{a,c}$ 、中空断面部ではフランジパネルの板厚中心での圧縮ひずみの有効破壊長 l_e の領域での平均値 $\epsilon_{a,s}$ を用い、コンクリート充填部および中空断面部の有効破壊長での損傷度 D_c 、 D_s を次式として表す。

$$D_c = \frac{\epsilon_{a,c}}{\epsilon_{u,c}}, \quad D_s = \frac{\epsilon_{a,s}}{\epsilon_{u,s}} \quad (1)$$

ここで、 $\epsilon_{u,c}$ 、 $\epsilon_{u,s}$ はそれぞれコンクリートおよび鋼材の破壊ひずみであり、コンクリートでは $\epsilon_{u,c} = 1.1\%$ 、鋼材では文献 2) で提案された算定式より求められる。

この損傷度 D_c 、 D_s のどちらかが 1.0 となれば破壊ということになる。ただし、 D_c 、 D_s が 1.0 に達しなくても、最大水平荷重 H_{max} 以後、最大荷重の 95% 値 H_{95} まで低下したものについては、破壊したとすることとする。また、コンクリートの引張強度は無視している。

Table 1 Parameters of Analysis

Cross-Section	Unstiffened	Octagon	Stiffened
Material	SM490, $E = 206000 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_y = 314 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{ck} = 19.6 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon_{u,c} = 0.01$		
R	0.4 0.5 0.6 0.7	0.3 0.4 0.5	
λ	0.25 0.5 0.7	0.25	
γ/γ^*		≥ 1.0	
$\alpha = l_e/b$	2.0	1.0	
l_e/h		0.1 ~ 0.5	
λ_s	—	0.2 0.3	
P/P_y		0.2	

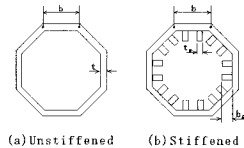


Fig.1 Cross-section

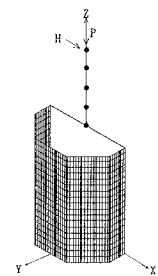
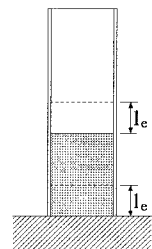


Fig.2 Analytical Model



$l_e = 0.7b$: Effective failure length.
 b : Flange width

Fig.3 Analytical Model

本研究では、コンクリート充填部分および鋼柱部分の損傷度が同時に1.0に達するときすなわち、コンクリートと鋼材の両方の変形能が十分に発揮されたときに最も変形能が高いと考えられるため、この時のコンクリート充填率を最適充填率とするものとした。最適充填率を求めるために、コンクリートの充填率を $l_c/h = 0.1 \sim 0.5$ まで10%きざみで変化させ、破壊モードが鋼板からコンクリートに変化する区間をさらに5%きざみで変化させて解析を行った。ただし、鋼板とコンクリートの損傷度の差が大きいものについてはさらに細かく充填率を変えて解析を行った。

4. 変形量の定義

軸力が作用せず柱頂部の水平荷重のみにより柱基部が降伏を起こす荷重と変位を初期降伏荷重 H_{y0} 、初期降伏変位 δ_{y0} とする。 H_y はフランジパネルの局部座屈を考慮したはり一柱の極限強度照査式から求められる荷重、 H_{max} は水平荷重の最大値、 H_{95} は水平荷重の最大値の95%値であり、 δ_m, δ_{95} はそれぞれ H_{max}, H_{95} に対応する変位である。コンクリートを充填した場合の終局荷重は H_u 、そのときの変位が δ_u である。

5. 解析1の結果

解析1により得られた結果の一例として補剛断面の R の変化による $H_{max}, \delta_m, \delta_{95}$ の関係を Fig. 4 に示す。同図より、 R が小さくなるにつれひずみ硬化の影響により荷重および変形能が上昇していることがわかる。また、 $\bar{\lambda}_s$ を0.3から0.2に小さくなることにより R に関係なく変形能は30%程度上昇することがわかる。

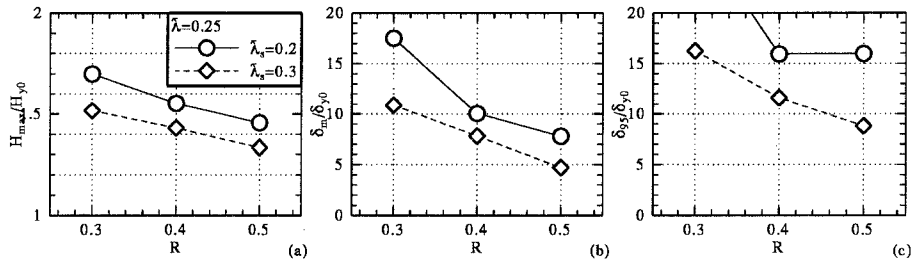


Fig. 4 Effect of R on H_{max}, δ_m and δ_{95}

6. 解析2の結果

解析2により得られた結果の一例として補剛断面における構成板の幅厚比パラメータが $R = 0.3$ 、細長比パラメータが $\bar{\lambda} = 0.25, 0.5, 0.7$ 、補剛材の細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s = 0.2, 0.22, 0.25, 0.3$ についてのコンクリート充填率 l_c/h と終局変位 δ_u の関係を Fig. 5 に示す。同図より $\bar{\lambda}_s = 0.2, 0.22$ では最適充填率付近での l_c/h に対する敏感度が高いことがわかる。

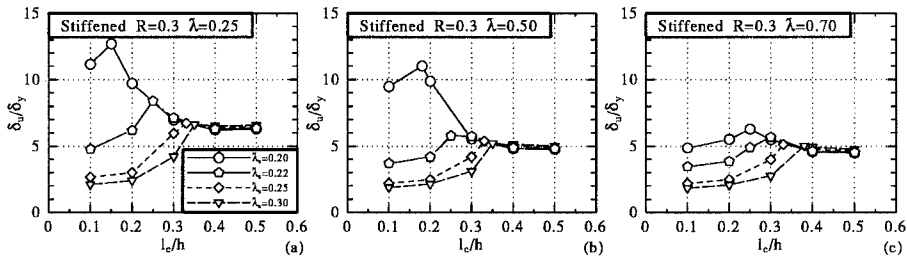


Fig. 5 Ultimate Displacement - amount of filled-in concrete

7. 結論

補剛断面においての変形能は、補剛材の細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s$ の影響を受け $\bar{\lambda}_s$ が小さくなることにより変形能は上昇する。また、箱形断面柱との比較等についての詳細は、当日発表する。

8. 参考文献

- [1] 鈴木森晶, 宇佐美勉: 軸圧縮力と横力を受ける箱形断面片持ち柱の強度と変形能に関する解析的研究, 構造工学論文集, Vol.41A, pp.265-276, 1995年3月。
- [2] 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, pp.69-82, 1995年10月。
- [3] 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回年次学術講演会投稿中。