

2方向から水平力を受ける立体部分骨組の弾塑性に関する研究
(その3 柱に圧縮軸力が作用する場合の考察)

正会員 ○ 隋 偉寧*1
同 山成 實*2

鋼管 接合部 有限要素解析

1. はじめに

本報告では、図1に示すような一定軸圧縮力と任意方向水平外力を同時に受ける円形鋼管柱およびH形鋼梁をもつ外ダイアフラム接合部部分骨組の弾塑性性状を調べるために、有限要素法に基づく汎用構造解析プログラムを用いて数値実験を行った。

2. 解析骨組

実際の骨組では柱軸力と水平力を両方が作用する。本報告では、図1で示す側柱部分骨組について解析して検討を加える。文献[1]で述べたように、円形鋼管柱の断面の性質から、作用水平外力の方向が骨組の弾塑性性状の影響を与えることない。ここでは、水平外力の作用方向を梁材軸方向に固定し、柱軸力が作用する部分骨組の力学的性状を調べる。

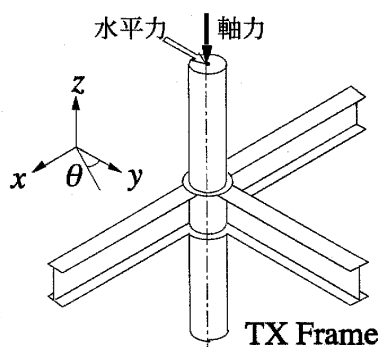


図1 軸力と水平力を受ける骨組

3. 立体部分骨組の有限要素解析

図2に示すように、文献1で作成した側柱の部分の有限要素モデルを利用し、モデルの柱頭部に一定の圧縮軸力(N)とy軸方向の水平外力を作用させた。実際の解析では、耐力低下後も骨組挙動追跡が可能となる強制変異問題を用いた。柱軸力比($n = N/N_c$; N_c は柱の降伏軸力)の変化に伴って、骨組の弾塑性性状がどのように変化するかを調べた。側柱部分骨組をTX Frameとする、解析モデルの規模は、総要素数4628、総節点数4650。要素はすべて1次の四辺形シェル要素であり、シェル要素のレイヤー数は11であ

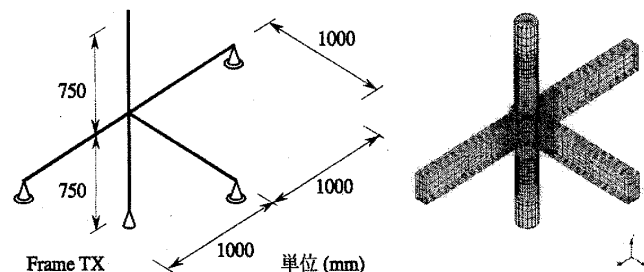


図2 有限要素解析モデル

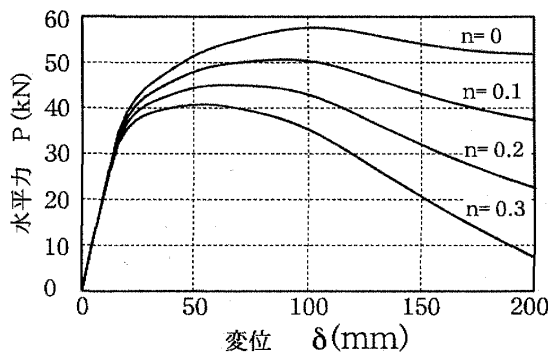


図3 軸力による荷重-変形関係

る。要素の降伏条件は、von Mises の降伏条件をした。

4. 解析結果の考察

柱軸力比 $n = 0, 0.1, 0.2, 0.3$ の4ケースについて、側柱部分骨組 (TX Frame)の解析結果を図3に示す。同図から n が増加するにつれて荷重-変形関係は低下しているの窺われる。一方、初期剛性の変化は見られない。

表1は、図3の荷重-変形関係から求めた降伏耐力(ここでは荷重-変形関係における接線剛性が初期剛性の3分1に達した時の耐力とする)と最大耐力を柱軸力の変化による変化をまとめたものである。文献[2]でも同様の結果を導いているが、そこでは柱の水平変位を伴わない問題であり、接合部仕口の降伏後に顕著となる剛性低下も骨組自体の剛性低下に影響を及ぼすことを示した。

軸力を受ける骨組では、骨組全体としての $P-\delta$ 効果によって耐力低下が起ることが知られている。図4では、全体的な $P-\delta$ 効果によって低減される耐力を P_A として求めた曲線を実線で示す。なお、 P_A は次式で表すことができる。

$$P_A = \frac{N}{2h} \delta \tag{1}$$

ただし、 $2h$ はモデルの柱全長。

一方、柱梁仕口部では外ダイアフラム接合部特有の局部変形が生じることが知られている。柱軸力が大きい場合や梁端モーメントが大きく局部変形量(δ_L)が無視できない場合は、それは柱軸力によって付加的に増大する。このことについてみれば、図5で示されるように、鋼管壁の面外変形が鋼管軸力によって誘発される局所的な $P-\delta$ 効果が現れると考えられる。この耐力低減を P_L とすると、これは同図で示される有限要素解析結果 ($n = 0.2$) と実線との差であるといえる。

表1 TX Frameの解析結果

| 軸力比 (n) | 降伏耐力 (P _y) | $\frac{P_y}{P_y(n=0)}$ | 最大耐力 (P _{max}) | $\frac{P_{max}}{P_{max}(n=0)}$ |
|---------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 0 | 38.87 | 1.00 | 50.9 | 1.00 |
| 0.1 | 37.34 | 0.96 | 47.6 | 0.94 |
| 0.2 | 35.95 | 0.92 | 44.2 | 0.87 |
| 0.3 | 34.38 | 0.88 | 40.7 | 0.80 |

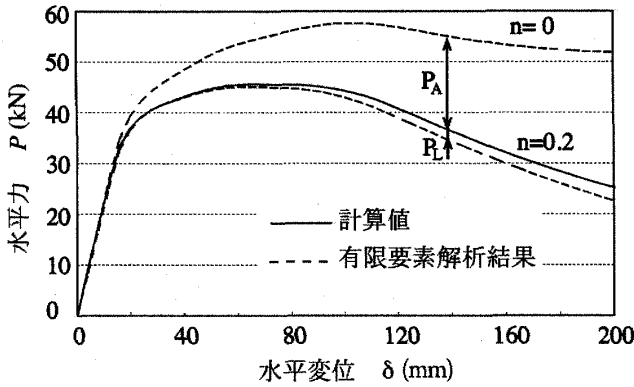


図4 2つのP-δ効果

5. 骨組挙動の追跡

有限要素解析結果の追跡を試みる。そのためには骨組構成部材の剛性と降伏耐力を評価する式が準備されれば、簡単な計算でこれを実現できる。以下で示す式を用いて骨組の荷重-変形関係を計算し有限要素解析結果と比較検討する。

柱軸力を作用しないときの各部材の全塑性曲げ耐力を求める。仕口部の塑性曲げ耐力は上場^[3]による式(2)から求めることができる。

$$\frac{P_{cmax}}{\sigma_y R^2} = \left(3.81 \frac{B_f}{D} + 1.72 \right) \left(\frac{t_p}{R} \right)^{0.782} \left(\frac{t_s}{R} \right)^{0.564} \left(\frac{t_p + h_s}{R} \right)^{0.386} \quad (2)$$

軸力を受ける円形鋼管柱の塑性曲げ耐力は以下の式で与えられる。

$$\frac{M_{pn}}{M_p} = \cos \left(\frac{\pi}{2} n \right) \quad (3)$$

ただし、 $M_p = D^2 t \sigma_y$, $n = N/N_y$.

H形鋼梁の塑性曲げ耐力は次式で与えられる。

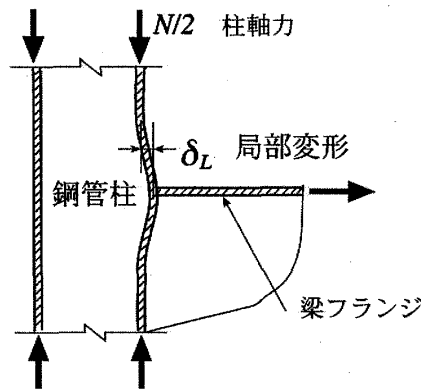


図5 仕口部におけるP-δ効果

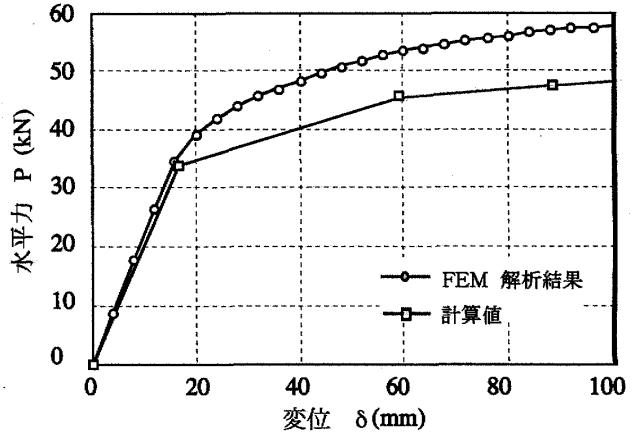


図6 荷重-変形関係

$$M_{pB} = \left(1 + \frac{r_w}{4} \right) A_f d_f \sigma_y \quad (4)$$

ただし、 r_w はウェブと片側フランジの断面積比である。軸力を受ける接合部パネルの塑性耐力式は式(4)で与えられる。

$$M_{yP} = \frac{V_e}{\kappa} \sqrt{1-n^2} \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

ただし、 V_e および κ は、それぞれパネルの体積およびパネル断面のせん断に関する形状係数。

対象としている骨組は、これら耐力評価式から求めた水平力の値から接合部仕口部が最も弱く設計されている。図6で示すように、柱軸力が無い骨組の降伏後の挙動の追跡はやや低めの結果を得た。

6. おわりに

柱軸力を考慮した外ダイアフラム形式の接合部をもつ円形鋼管柱・H形鋼部分骨組について有限要素解析プログラムによる数値実験から以下のことが得られた。

- 1) 柱軸力が骨組挙動に及ぼす影響は大きく、全体的なP-δ効果と仕口部の柱鋼管壁で生じる局所的なP-δ効果が認められた。
- 2) 骨組の挙動を追跡するには、骨組構成要素の剛性および耐力の評価式を準備することで、比較的容易に実現できる。

参考文献

[1] 山成實, 随偉寧, 2方向から水平力を受ける立体部分骨組の弾塑性性状に関する研究 (その1 円形鋼管柱・H形鋼梁を用いた外ダイアフラム接合部の場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造III, pp.675-676, 2004年9月
 [2] 海原広幸, 山成實, 小川厚治, 黒羽啓明, 柱軸力を考慮した角形鋼管柱・H形鋼梁仕口の復元力特性, 日本建築学会九州支部研究報告, 第33号, pp.301-304, 1992年3月
 [3] 上場輝康, 金谷弘, 藤原勝義, 田淵基嗣, 鋼管柱H形梁接合部の耐力推定式 -鋼管柱溶接接合部の研究-, 日本建築学会論文報告集, 第325号, 1983年3月

*1 熊本大学自然科学研究科大学院生

*1 Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.

*2 熊本大学工学部環境システム工学科助教授・工博

*2 Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Kumamoto Univ., Dr. of Eng.