

2 軸水平力を受ける外ダイアフラム接合部をもつ円形鋼管柱・H形鋼梁 立体部分骨組の有限要素解析による弾塑性性状に関する考察

正会員 山成實^{*1}

2. 構造 -10. 鉄骨構造

鋼骨組，柱梁接合部，弾塑性，有限要素解析

1. はじめに

本研究は、図1に示す水平外力を任意方向から受ける円形鋼管柱・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計算機内の実験を行った。接合部の性状が水平力の方向性に大きく依存するならば、これまで行われてきた平面骨組を用いた研究は、構造物全体としての実体を説明する部分的考察からの基礎的知見は得られるものの、包括的知見を得たことにはならない。また、これらの研究から導き出された設計法は危険性を包含する可能性があるという危惧から本研究は行われた。

2. 平面骨組加力実験結果の有限要素解析による追跡

これまでの多く研究は平面骨組を対象としてきた。接合部の力学的性状と骨組全体のそれとの関係は今後も続けられる研究課題の一つとして挙げられる。実験的研究の限界は実験設備、労力や時間の制約から網羅的な研究は不可能に近い。

この研究では、計算機内の実験がその欠点を補完する意味で進められている。著者は2層2スパンの鋼管柱・H形鋼梁骨組の水平加力実験を行い、平面骨組における接

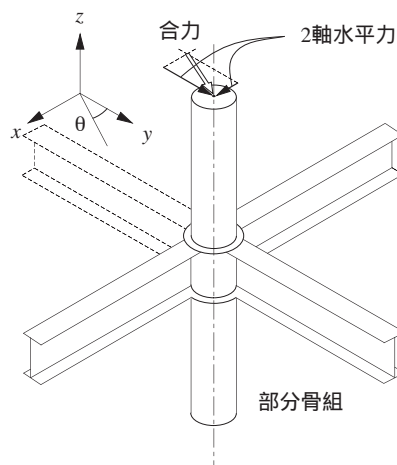


図1 2軸水平力を受ける骨組

動に及ぶ影響を調べた^[1]。

文献[2]は柔接合部をもつ立体部分骨組の補剛法について有限要素解析により検討を加えたものであるが、同一骨組に対する外力の与え方の変化に関しては研究されていない。

2.1 実験概要

図2は階高1500mm、スパン長2000mmの2層2スパン

骨組の各階に等荷重を与えた実験概要である。実験骨組は柱に165.2 x 7、梁にH-198x99x4.5x7を用いた外

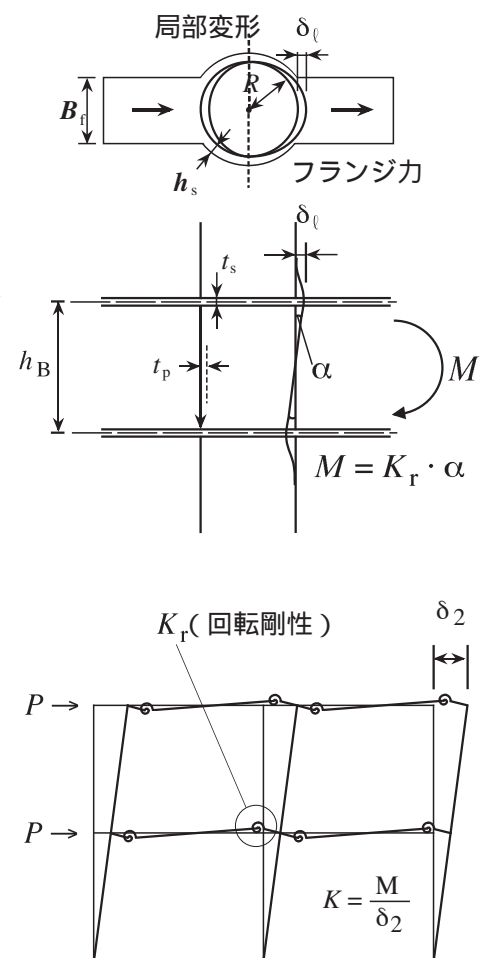


図2 骨組と柱梁仕口の変形

Nonlinear behavior of subassembly with external diaphragm connection using CHS steel column and wide flange steel beam under biaxial horizontal force

YAMANARI Minoru

表1 骨組の水平変位と柱梁仕口の接合条件

	実験	Wire Frame		上場式	上場式 (修正値)	2層2スパン 骨組	平面十字形 骨組
		ピン接合	剛接合				
δ_2 (mm)	2.65	17.2	2.18	3.10	8.66	2.57	2.37
$K_r (\times 10^7)$ (kN mm / rad)	1.48	1.0	∞	0.65	0.050	1.83	4.10
K (kN / mm)	3.70	0.569	4.49	3.17	1.13	3.81	4.13

ダイアフラム接合部骨組である。この接合部をもつ骨組は、柱梁仕口で局部変形で知られる回転変形が顕著に生じる。

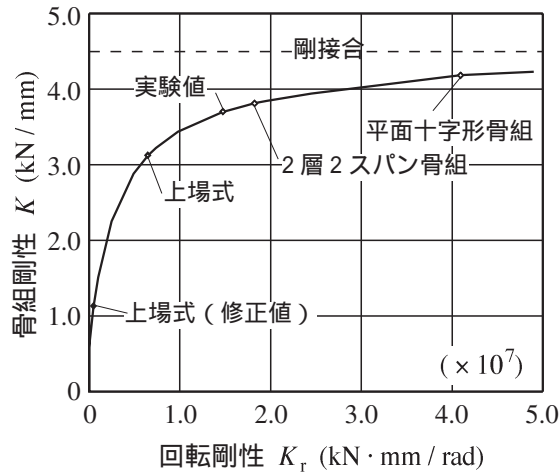


図4 柱梁仕口の剛性と骨組の水平剛性

2.2 有限要素解析

実験骨組の弾塑性挙動を有限要素解析プログラムを用いて追跡するに当り、採取された素材試験結果を解析プログラムに適用させるために多直線に置換して用いた。図3は鋼管、梁フランジおよびダイアフラムの情報である。同図は真応力度-真塑性歪度関係である。解析の不安定を避けるために最終分枝線は水平線としている。

2.3 柱梁仕口の初期局部変形剛性の検討

図2に示した柱梁仕口の回転バネの初期剛性 (K_r)が零から無限大に変化するとき、骨組の初期水平剛性 (K)は図4の曲線で描かれる。曲線上にプロットしたマークは、実験結果のみならず上場による2つの推定式(1)および式(2)^[3]から求めた仕口回転剛性に対応したものの、全体モデルとして有限要素解析から求めた骨組水平剛性に対応したものの、および文献[4]で行った解析結果から得た仕口回転剛性に対応したものである。実験結果は有限要素解析による全体モデルの結果によく対応している。また、上場による仕口の回転剛性は過小評価であることが分る。

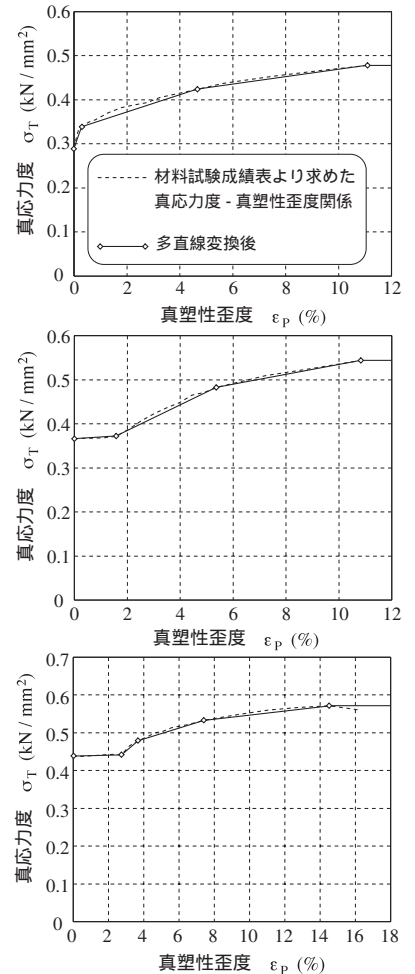


図3 素材試験結果と解析のための多直線置換結果

$$\frac{K_l R^3}{EI} = \left(11.8 \frac{B_f}{D} - 1.94 \right) \left(\frac{t_p}{R} \right)^{2.36} \cdot \left(\frac{t_s}{R} \right)^{0.495} \left(\frac{R + 0.5 h_s}{R} \right)^{8.29} + 1.5 \times 10^3 \quad (1)$$

$$\frac{K'_l R^3}{EI} = 1.02 \left(11.8 \frac{B_f}{D} - 1.94 \right) \left(\frac{t_p}{R} \right)^{2.36} \cdot \left(\frac{t_s}{R} \right)^{0.495} \left(\frac{R + 0.5 h_s}{R} \right)^{8.29} + 115 \quad (2)$$

記号は図2参照。

3. 直交部分骨組の有限要素解析

より正確な骨組の解析手法獲得によって主題の問題に適用してみた。解析に用いたプログラムは Marc v.7.3 である。

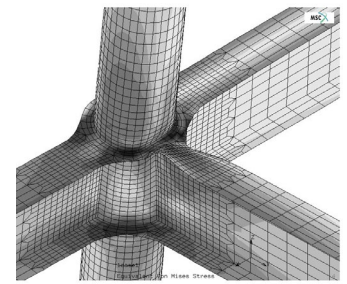
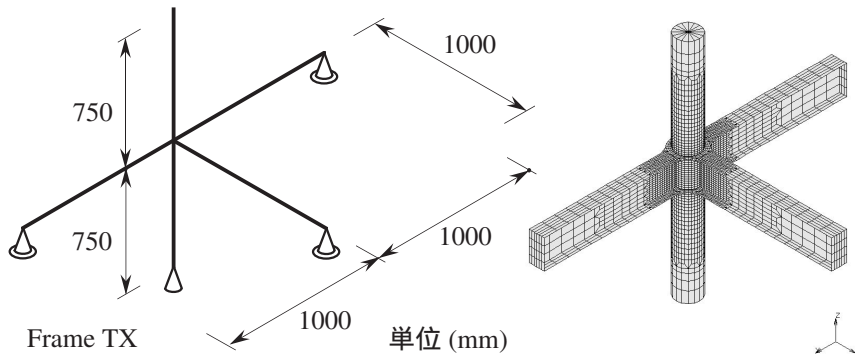


図7 変形図(局部座屈)

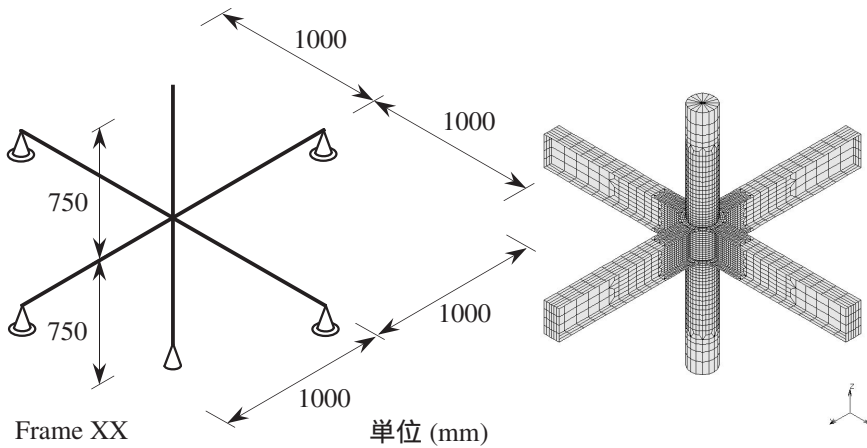


図5 有限要素解析モデル

要素のレイヤー数は11である。

3.2 解析結果

側柱部分骨組 (Frame TX) の解析結果を図6に示す。水平外力作用方向角 (θ) が増加するにつれて荷重-変形関係は上昇しており、ここで扱う骨組では冒頭で

3.1 解析モデル

図5に骨組から取出した側柱および中柱の部分骨組について有限要素モデルを作成し、柱頂部に定間隔で方向を変化させた強制変位を与える非線形解析を行った。側柱部分をFrame TX、中柱部分をFrame XXとする。解析モデルの規模は、前者が総要素数4628、総節点数4650、後者が総要素数5424、総節点数5458である。要素はすべて1次の四辺形シェル要素であり、シェル

述べた問題は無い。

図7は図6中の印は $\theta = 15 \text{ deg}$ 時の荷重-変形関係において耐力が低下した後の様子を示す接合部近傍の変形図である。 θ が小さい間は梁フランジや外ダイアフラムの局部座屈発生による耐力低下が確かめられている。

図8に中柱部分骨組 (Frame XX) について同様の解析を行った結果を示す。文献 [4] での述べているように構造物としての異方性が無いため、

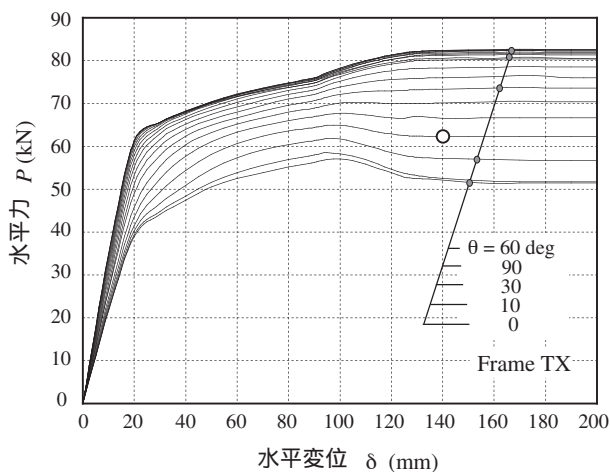


図6 解析結果 (Frame TX)

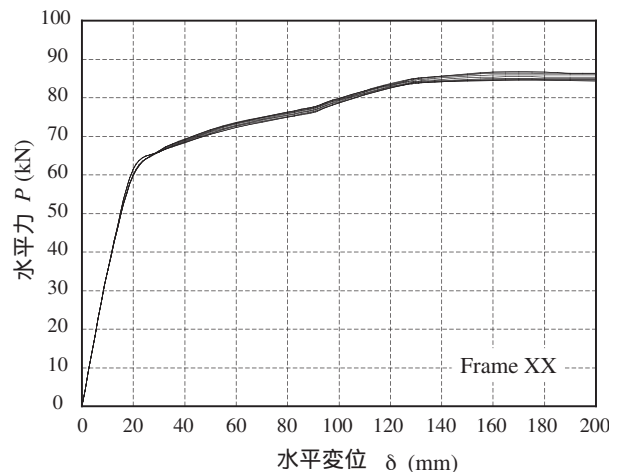


図8 解析結果 (Frame XX)

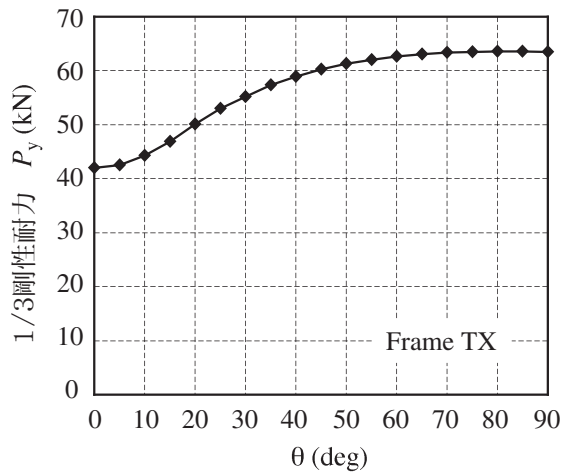


図9 降伏耐力の変化 (Frame TX)

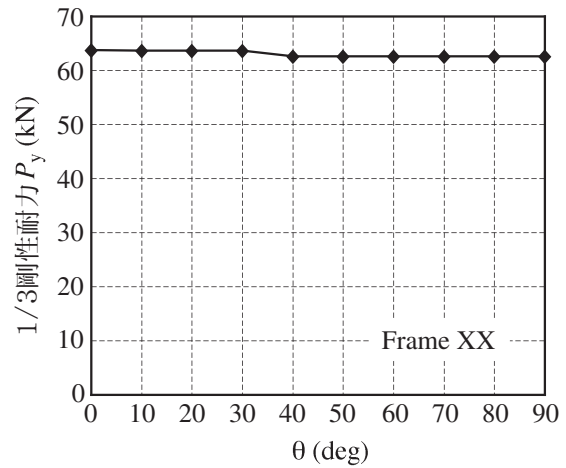


図10 降伏耐力の変化 (Frame XX)

広い弾塑性域にわたって荷重-変形関係は同じように描かれている。

Frame TX、Frame XX共に降伏後の階段状の剛性上昇は素材の加工効果が直接反映されている。

4. 考察

骨組の一般化降伏耐力の一つである1/3剛性耐力^[5]をそれぞれの骨組について求めた結果を図9および図10に示す。Frame TXについては構造の非対称性から降伏耐力は外力作用方向角の増加に伴って単調増加している。 $\theta = 90 \text{ deg}$ に達すると降伏耐力は $\theta = 0 \text{ deg}$ に比べて概ね40%上昇する。これはT形骨組に対する十字形骨組の降伏耐力であり、接合部の方向性は関係ないことが分る。

一方、Frame TXでは、骨組が対称性を持っているため、降伏耐力はほぼ一定を保つ。

5. おわりに

円形鋼管柱・H形鋼梁をもつ外ダイアフラム接合部部分骨組に関して言えば、作用水平外力の方向が骨組の弾塑性性状を表す代表の一つである初期剛性および降伏耐力に大きく影響を与えることなく、平面骨組の研究で十分であることが分かった。扱った接合部の詳細が対称性をもつため、水平外力の方向性の影響が出なかったことは結論からも納得できるが、異方性をもつ詳細、例えば部材の偏心、部材断面の取合いな

どの変化があれば、本研究が扱った範囲外の事象が生ずることも容易に想像できる。

今後の研究課題として接合部詳細、部材断面の形状の種類について同様の更なる研究が期待される。

謝辞 本研究を行うにあたり本学卒業研究生の中村崇啓君より惜しめない協力を得た。ここに謝意を表します。

参考文献

- [1] Minoru Yamanari, Hiroshi Kanatani, Mototsugu Tabuchi, Teruyasu Kamba, Participation of Beam-to-column Connection Deformation in Hysteretic Behavior of Steel Frames, Proc. of 9WCEE, Vol.4, pp.175-180, 1988.8
- [2] L. C. Ting et al., Box-Column to I-Beam Connections with External Stiffeners, J. of Construct. Steel Research, 18, pp. 209-226, 1991
- [3] 上場輝康, 鋼管柱・H形はり接合部の実験的研究, 学位論文, 1988.11
- [4] 山成實, 外ダイアフラム接合された円形鋼管柱・H形鋼梁立体部分骨組の有限要素解析による初期剛性に関する考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1構造III, pp. 907-908, 2003.9
- [5] 山成實, 小川厚治, 黒羽啓明, 海原広幸, 外ダイアフラム接合部の有限要素解析による剛性評価式(半剛接鋼管柱梁仕口の復元力特性に関する研究), 構造工学論文集, Vol. 38B, pp. 475-484, 1992.3