

角形鋼管柱・H形鋼梁をもつ外ダイアフラム型接合部の
有限要素モデリングに関する一考察

X4.FEM Y3.柱梁仕口 Z1.荷重・変形関係

正会員 ○ 山田誠一郎¹, 同 山成 實²,
同 小川厚治³, 同 黒羽啓明⁴,
同 海原広幸⁵

1. 序 本研究では柱と梁が剛接合されない仕口の一例である角形鋼管柱・H形鋼梁をもつ外ダイアフラム型接合部柱梁仕口を対象とし、実験^[1]でしか得られなかったその挙動を有限要素解析プログラムによる数値解析で精度良く追跡し得るための構成要素のモデル化について検討する。

2. 非線形有限要素解析 ここでは汎用有限要素解析プログラム MARC^[2]による外ダイアフラム接合部の挙動を精度良く追跡し得る解析モデル作成について検討する。

2.1 解析モデル 解析プログラムの性能を実見するために一例として文献[1]の載荷実験における単純化試験体 ST1060 を選び有限要素解析を行った。解析に用いる要素は、鋼管に四辺形厚肉線形シェル要素、ダイアフラムに四辺形平面応力要素である。シェル要素断面のレイヤー数は7層とする。

2.2 解析条件 解析モデルを図1のように4つの領域に要素分割する。これらの領域はそれぞれの素材試験^[1]から得られた応力度-ひずみ度関係および材料特性値が用いられる。応力度-ひずみ度関係は図2のような多直線近似して用いる。図中の折点の値は表1に示すとおりである。ポアソン比(ν)は一律 0.3 とする。

2.3 溶接ビードを考慮しない解析結果 ST1060 試験体について、仮に溶接ビードを無視した解析結果を実験結果と比較すると図3のようになる。両者の振舞いは弾性域ではほぼ一致するが、降伏が始まる(荷重-変形関係で剛性低下が急になる)時点は、解析結果の方が早期に始まり荷重も 20% ほど低い。

2.4 溶接ビードの余盛りの考慮 溶接ビード余盛りがモデル降伏後の挙動に影響すると考えられるので、適当な溶接

ビード部の置換を試みる。要素はダイアフラムと同じ平面応力要素、断面形は矩形である。以下に2種類の置換法を述べる。図4は鋼管壁とダイアフラムの溶接部分(a)または(b)を矩形断面(c)に置換する模式図であり、寸法値は試験体の実測値を平均して丸めた値である。

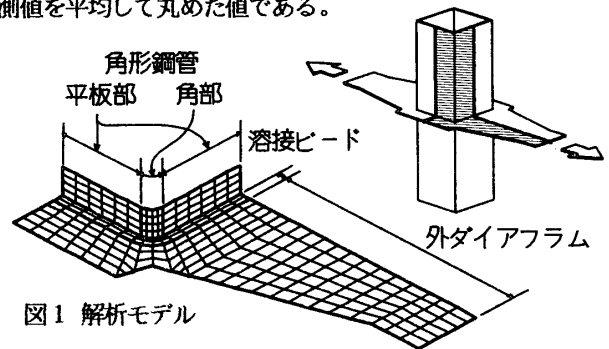


図1 解析モデル

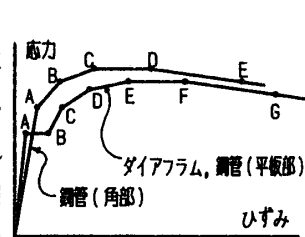


図2 多直線化応力度-ひずみ度関係

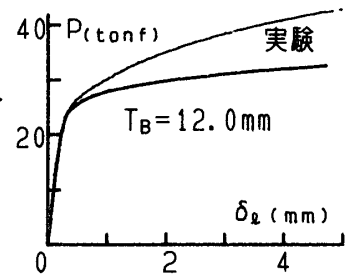


図3 溶接ビード余盛りを無視した場合

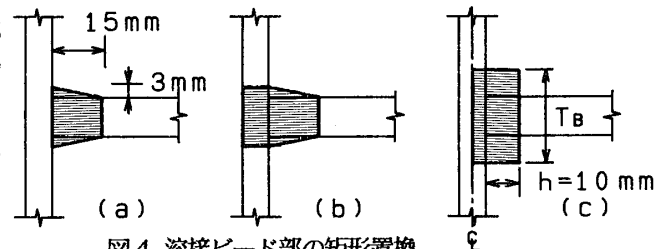


図4 溶接ビード部の矩形置換

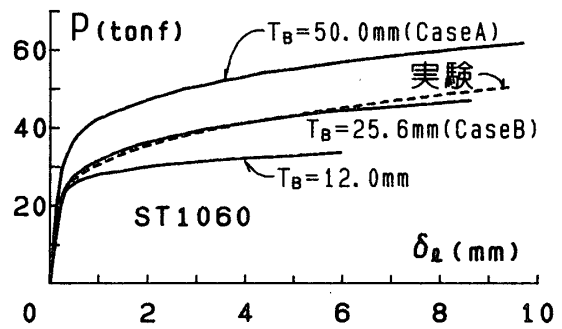


図5 溶接ビードの影響

表1 素材試験結果から求めた多直線

| 部材 | 採取位置 | 板厚 (mm) | 応力度 塑性歪度 | A | B | C | D | E | F | G |
|--------|------|---------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 角形鋼管 | 平板部 | 6.0 | σ (tf/cm ²) | 3.44 | 3.81 | 4.06 | 4.21 | 4.26 | 4.26 | 4.25 |
| | | | ϵ_p (%) | 0 | 1.34 | 3.03 | 7.20 | 12.7 | 20.2 | 30.0 |
| | 角部 | 6.0 | σ (tf/cm ²) | 3.66 | 4.17 | 4.75 | 4.75 | 4.65 | — | — |
| | | | ϵ_p (%) | 0 | 0.05 | 0.10 | 5.00 | 30.0 | — | — |
| ダイアフラム | 平板部 | 8.0 | σ (tf/cm ²) | 3.49 | 4.48 | 4.65 | 4.74 | 4.76 | 4.76 | 4.76 |
| | | | ϵ_p (%) | 0 | 1.33 | 3.03 | 7.18 | 10.5 | 17.2 | 30.0 |
| | 角部 | 8.0 | σ (tf/cm ²) | 3.80 | 5.46 | 5.57 | 5.57 | 5.47 | — | — |
| | | | ϵ_p (%) | 0 | 0.56 | 1.19 | 5.00 | 30.0 | — | — |
| ダイアフラム | 12.0 | 12.0 | σ (tf/cm ²) | 2.71 | 2.74 | 3.15 | 3.75 | 4.22 | 4.22 | 4.21 |
| | | | ϵ_p (%) | 0 | 1.85 | 3.03 | 6.16 | 12.2 | 20.0 | 30.0 |

Case A 等価断面2次モーメント置換 (図4 (a)→(c))

鋼管壁を含まない溶接ビードが鋼管幅方向に曲げ材として働くと見なして、重心軸回りの断面2次モーメントに等しくなる $h=10\text{mm}$ の矩形断面置換

Case B 等断面積置換 (図4 (b)→(c))

鋼管壁も含めた溶接ビードの断面積に等しい矩形断面置換

3. 解析結果および考察

3.1 荷重-変形関係 図5は、溶接ビードを等価矩形断面に置換した Case A, Case B および前述の溶接ビード余盛りを無視した場合の解析結果を実験結果と比較したものである。同図から溶接ビードを等価面積置換した場合が実験結果を良く追跡していることが分かる。

図6は4つの試験体について溶接ビードを Case B による置換から得た解析結果を示す。いずれも概ね良い結果が得られている。同図(a)中の①~③は ST1060 の局部変形がそれぞれ $0.1, 0.5, 3.0 (=T_c/2)\text{mm}$ 生じた箇所を表す。

3.2 ダイアフラム伸び変形 本研究では局部変形を鋼管壁とダイアフラムの中心交点のダイアフラム力方向の変位として扱っている。この量は仕口の局部変形を代表させるとすれば、仕口の全体的な変形を過大に評価すると考えられる。ならば、ダイアフラム中心線上の加力方向の伸びを調べればその疑問の答が得られると考えられる。ダイアフラム中心線上の節点の加力方向の変位を図6 (a)中の①~③に対応して ST1060 についてプロットすると図7のようになる。局部変形測定箇所と鋼管から離れている箇所の変位は同図から③の段階を除いてほぼ一定値であることから、ダイアフラムの伸びは降伏が起るまで無視できる程小さく、測定箇所を仕口の局部変形として代表させることができる。

3.3 ダイアフラムひずみ分布 図8は鋼管から 50mm および 100mm 隔てた2つのダイアフラム断面内の加力方向軸ひずみ分布を3つの段階について解析結果と実験結果を比較したものであり、解析値は実験値より過小評価となる傾向にあるが、良く追跡できていることが分かる。ひずみ集中度率(η)を式(1)で定義する。

$$\eta = \varepsilon_{\max} / \varepsilon_{\text{mean}}, \quad \varepsilon_{\text{mean}} = \left(\int_0^W \varepsilon \cdot dx \right) / W \quad \dots (1)$$

ただし、 ε_{\max} はダイアフラム断面内最大ひずみ、 W はダイアフラム断面幅である。鋼管から 50mm 隔てたところでは降伏段階に入るまでは $\eta \approx 2.5$ であり、この値は局部変形によるものである。一方、降伏後は図8に見られるようにダイアフラムの外縁部から降伏域が広がり、 $\eta \approx 4.0$ までひずみ

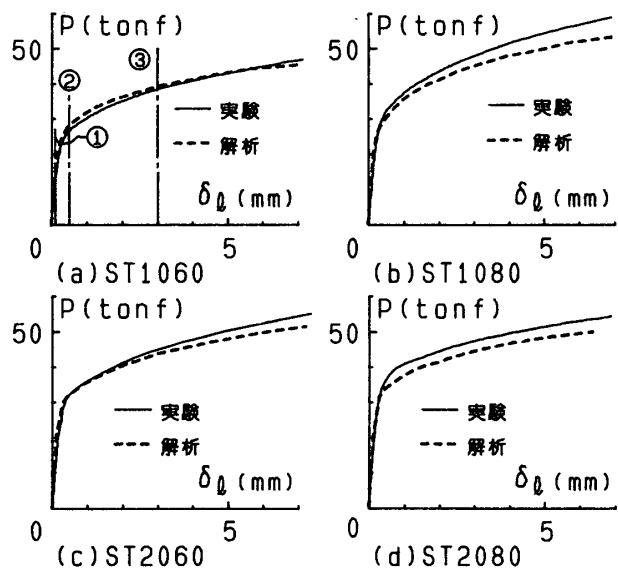


図6 実験及び解析結果の比較

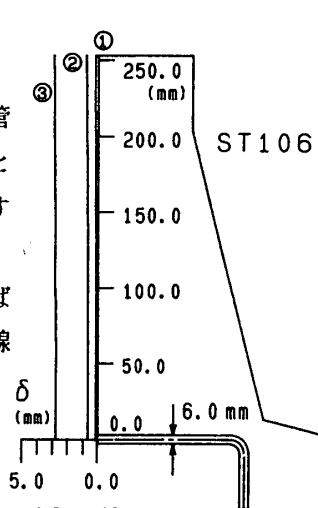


図7 ダイアフラム中心線上の伸び

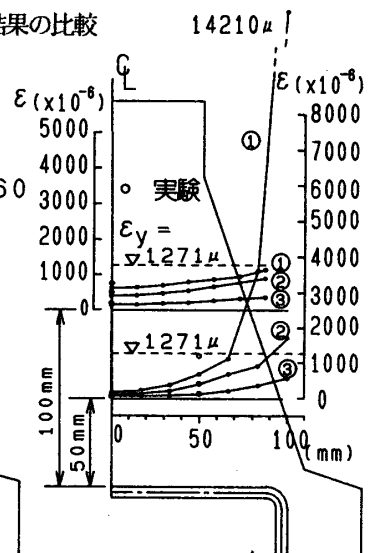


図8 ダイアフラム内伸びひずみ度分布

集中度率が上昇する。

4. 結論 実験結果を汎用有限要素解析プログラムによって忠実に追跡し得る解析モデル作成法の検討を行った結論を述べる。(1) 角形鋼管外ダイアフラム接合部の場合鋼管とダイアフラムの溶接ビード余盛りが接合部の降伏耐力に影響する。(2) 溶接ビード余盛り断面をその等面積の矩形断面に置換することで、有限要素解析は実挙動を精度良く追跡できる。

参考文献 [1] 海原広幸, 山成實, 小川厚治, 黒羽啓明, 渡辺純仁: 角形鋼管柱接合部の局部変形挙動に関する実験(単純化試験体の圧縮および引張実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), 構造C-II, 1990年10月, pp.1617-1618 [2] S. S. Rao: The Finite Element Method in Engineering 2nd Ed., Pergamon Press, 1989 [3] 田淵基嗣, 金谷弘, 上場輝康: 角形鋼管柱・H形はり接合部の局部耐力推定式-角形鋼管柱溶接接合部の実験的研究 2-, 日本建築学会論文報告集, 第352号, 昭和60年6月, pp.79-89

1 (株)大建設, 2 熊本大学助手・工修, 3 同助教授・工博, 4 同教授・工博, 5 同大学院生