

角形鋼管柱・H形鋼梁をもつ外ダイアフラム型接合部の非線形有限要素解析

準会員 ○ 山田誠一郎¹，正会員 山成 實²，同 小川厚治³，
正会員 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. 単純化試験体の局部変形挙動 文献[1]に単純化試
験体の載荷実験について詳しく述べられているが、こ
こでは第3章以降で述べる有限要素解析の実行検証のため
の対比データとなる情報を記述しておく。

2.1 引張実験概要 図1に示すような角形鋼管に外ダ
イアフラム接合されたH形鋼梁の1つの梁フランジ部分
を取出した試験体を製作し、ダイアフラムの両端部を引
張る実験から柱梁仕口の局部変形挙動を調べる実験を行
った。仕口の局部変形は外力によって生じる鋼管壁の面
外変形であり、この変形は梁端部の回転変形を生み出す。

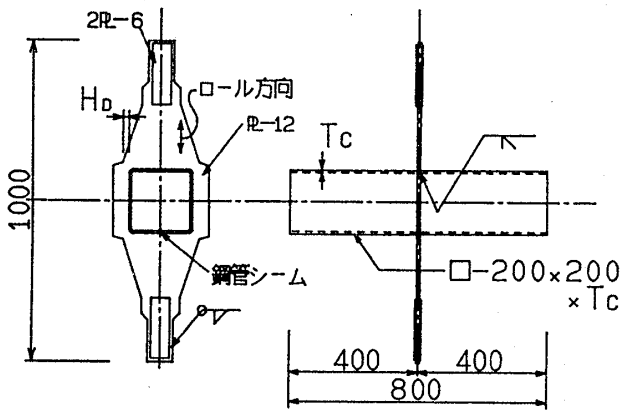


図1 単純化試験体

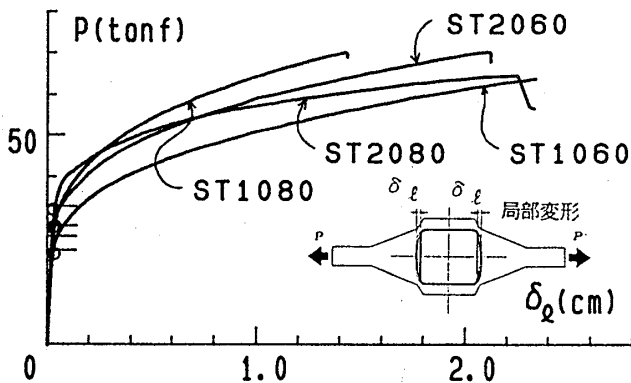


図2 実験結果

引張試験体は表1に示す4体であり、その中でST2080
は他の試験体と同様に製作した後にダイアフラム両面か
ら 22mm の所で鋼管を鋸切断してある。ST2080 を特にダ
イアフラム試験体と呼ぶことにする。

2.2 素材試験結果 表2は鋼管およびダイアフラムの
引張試験による機械的性質であり、有限要素解析に用い
る情報である。鋼管平板部の試験結果は溶接シームを除
いた3本の結果の平均値である。

2.3 実験結果 図2は4体の引張実験結果である。図
中の(—)および(O)は、それぞれ局部降伏耐力^[1]および
接線剛性が初期剛性の1/3に達した時の耐力($1/3P$ ，3
分の1剛性耐力)である。推定値は $1/3P$ を良く推定し
ている。仕口の局部変形を図2中に示す δ_l で定義
し、実験では試験体に直接取付けた変位計により局部変
形を測定した。

3. 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。

3.1 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 ST1060 を選び通常行われる要素分割
で解析してみる。すなわち、鋼管とダイアフラム会合部
の溶接ビードは無視し母材のみを考慮する要素分割を行
う。解析に用いる要素は、鋼管に四辺形厚肉線形シェル
要素(要素タイプ 75)を、ダイアフラムに四辺形平面応力
要素(同 3)である。シェル要素断面のレイヤー数は7層と
する。

3.2 解析条件 解析モデルを図3
のように応力集中しそうな箇所は密
に、そうでないところは粗に要素分
割し、4つの領域に分ける。これら

表1 試験体

試験体名	H _b	T _c
	mm	mm
ST1060	10	6
ST1080	10	8
ST2060	20	6
ST2080	20	8

表2 素材の機械的性質

公称寸法	採取位置	引張試験			
		σ_y	σ_u	E	e
		tonf/cm ²			%
□-200x200x6	平板部	3.413	4.327	2122	29.8
	角部	5.155	5.518	2211	—
□-200x200x8	平板部	4.098	4.787	2164	26.7
	角部	5.163	5.565	2183	—
プレート12mm		2.706	4.231	2129	29.8

1)熊本大学4年生, 2)同大学助手・工修, 3)同大学助教授・工博, 4)同大学教授・工博, 5)同大学大学院生

の領域はそれぞれの素材試験から得られた応力度-ひずみ度関係および表2の材料特性値が用いられる。応力度-ひずみ度関係は図4のような多直線近似して用いる。図中の折点の値は表3に示すとおりである。ポアソン比(ν)は一律0.3とする。

3.3 溶接ビードを考慮しない解析結果

ST1060 試験体の実験結果と上記の解析結果を比較すると図5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、解析結果が実験結果より早期に始まり実験結果より荷重は20%ほど低い。

3.3 溶接ビードの余盛りの考慮 溶接ビード余盛りの存在が解析値の降伏荷重に影響すると考えられるので、解析モデルにこれを組込むことにする。有限要素はダイアフラムと同じく平面応力要素とし、断面形は矩形である。以下に2種類の置換法を述べる。図6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る。同図中の寸法値は試験体の実測値を平均して丸めた値である。

Case A 等価断面2次モーメント置換(図6(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 $h=10\text{mm}$ の矩形断面への置換

Case B 等断面積置換(図6(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への置換

4. 解析結果および考察

4.1 荷重-変形関係 図7は溶接ビードの等価矩形断面に置換した結果 Case A, Case B および前述の溶接ビード余盛りを無視した結果, 3つの場合を ST1060 について解析した結果とその実験結果を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8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。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 $0.1, 0.5, 3.0 (=T_c/2)$ mm 生じた箇所を表す。

4.2 応力分布 解析モデル内の降伏状況を調べるために von Mises 応力分布と変形状態を写真1に示す。(a)~(c)は図8(a)中の①~③の変形状態に対応した応力分布である。どの段階でも鋼管角部近傍の溶接ビード領域で応力が最も高く従って溶接ビードの寸法がモデル降伏耐

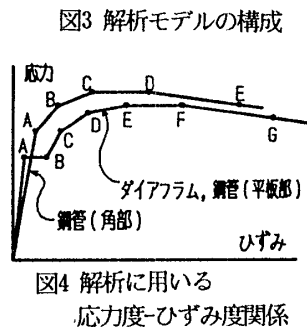
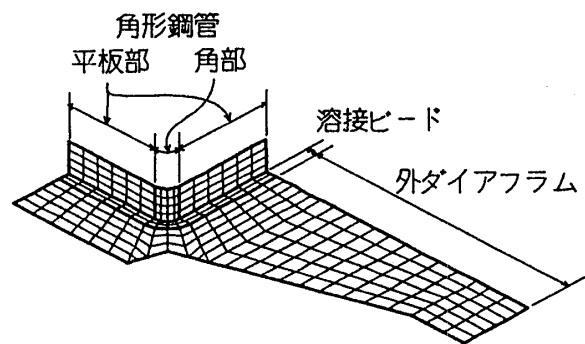


図4 解析に用いる 応力度-ひずみ度関係

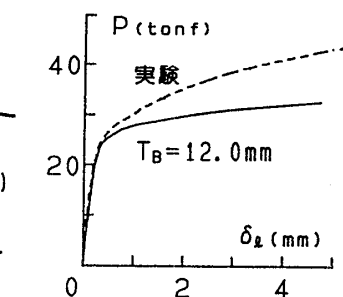


図5 溶接ビードを考慮しない場合

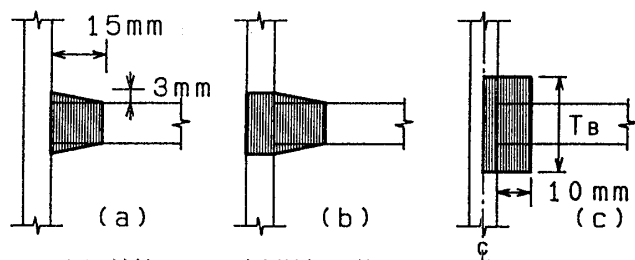


図6 溶接ビードの矩形断面置換

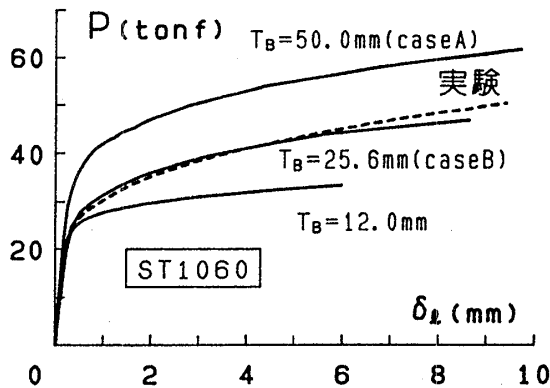


図7 溶接ビードの影響

表3 解析入力データ

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)	3.434	3.805	4.054	4.202	4.256	4.256	4.250
	ϵ_p (%)		0	1.3391	3.0259	7.1873	12.7238	20.2234	30.0000	
鋼管	角部	8.0	σ (tf/cm ²)	3.658	4.139	4.347	4.345	4.650	4.761	4.755
	ϵ_p (%)		0	1.3280	3.0254	7.1788	10.5046	17.2098	30.0000	
ダイアフラム	角部	12.0	σ (tf/cm ²)	2.798	5.462	5.571	5.571	5.470	4.216	4.210
			ϵ_p (%)	0	2.741	3.151	3.747	4.216	20.0000	30.0000

力に強く影響していることが分かる。なお、写真(a)は図8(a)の③に対応する解析モデルの変形状態である。

4.3 ダイアフラムの伸び変形 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

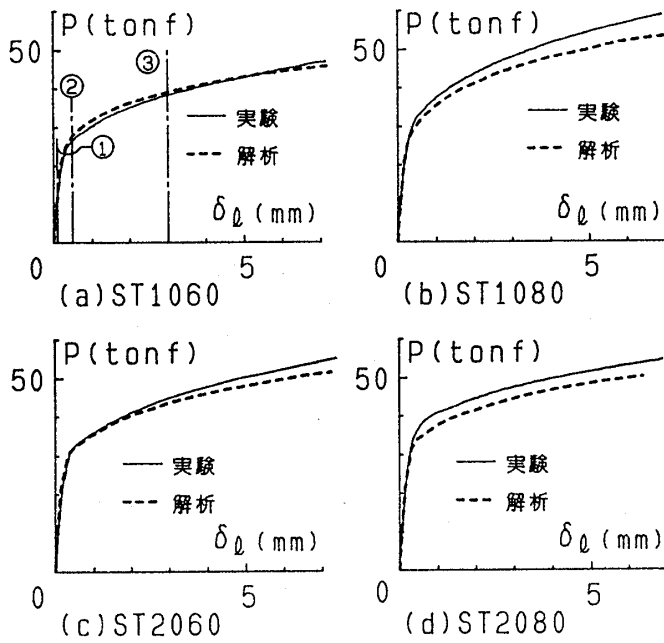


図8 実験結果と有限要素解析結果の比較

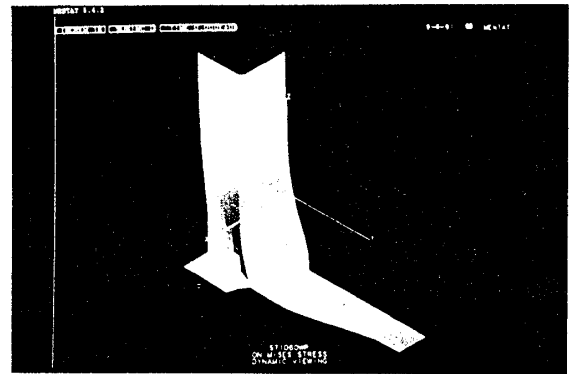
の変位として扱っている。この量は仕口の局部変形を代表させるとすれば、仕口の全体的な変形を過大に評価すると考えられる。そうであるとすれば、ダイアフラム中心線上の加力方向の伸びを調べればその疑問の答が得られると考えられる。ダイアフラム中心線上の節点の加力方向の変位を4つの解析モデルについてプロットすると図9のようになる。節点変位分布は図8(a)中の①~③に対応して3本ずつ描かれている。

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こるまで無視できる程小さいことが分かり、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。

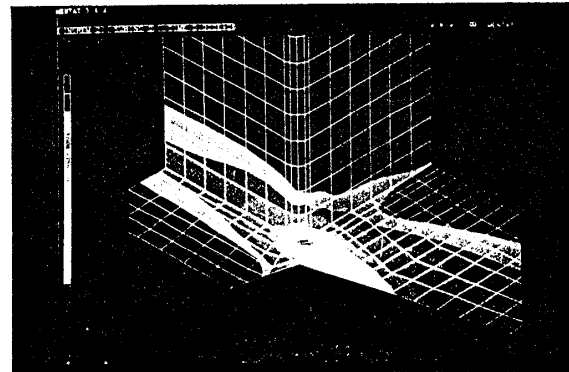
4.4 ダイアフラムひずみ分布 図10は鋼管から50mm隔てたダイアフラム断面内の加力方向軸ひずみ分布を3つの段階について解析結果と実験結果を比較したものであり、解析値は実験値より過小評価となる傾向にあるが、良く追跡できていることが分かる。ひずみ集中度(eta)を式(1)で定義する。

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

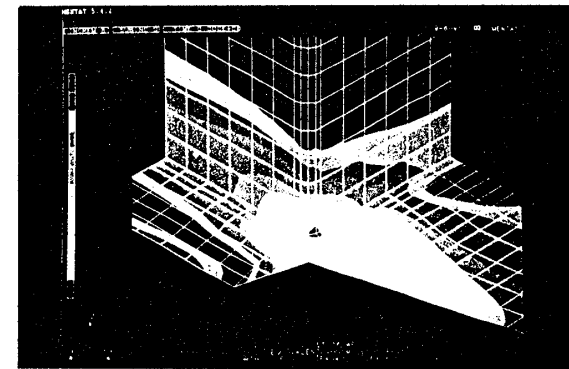
ただし、 ϵ_{max} はダイアフラム断面内最大ひずみ、 W はダイアフラム断面幅である。どのモデルにおいても降伏段階に入るまでは $\eta \approx 2.5$ であり、この値は局部変形によるものである。一方、降伏後は図10に見られるようにダイアフラムの外縁部から降伏域が広がり、 $\eta \approx 4.0$



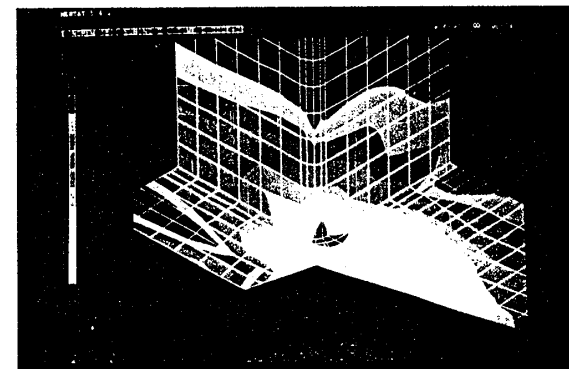
(a) 変形状態



(b) $\delta_l = 0.1\text{mm}$ (弾性状態)



(c) $\delta_l = 0.3\text{mm}$ (初期降伏)



(d) $\delta_l = 3.0\text{mm} (= Tc/2)$ (降伏後)

写真1 解析結果

までひずみ集中度が上昇する。

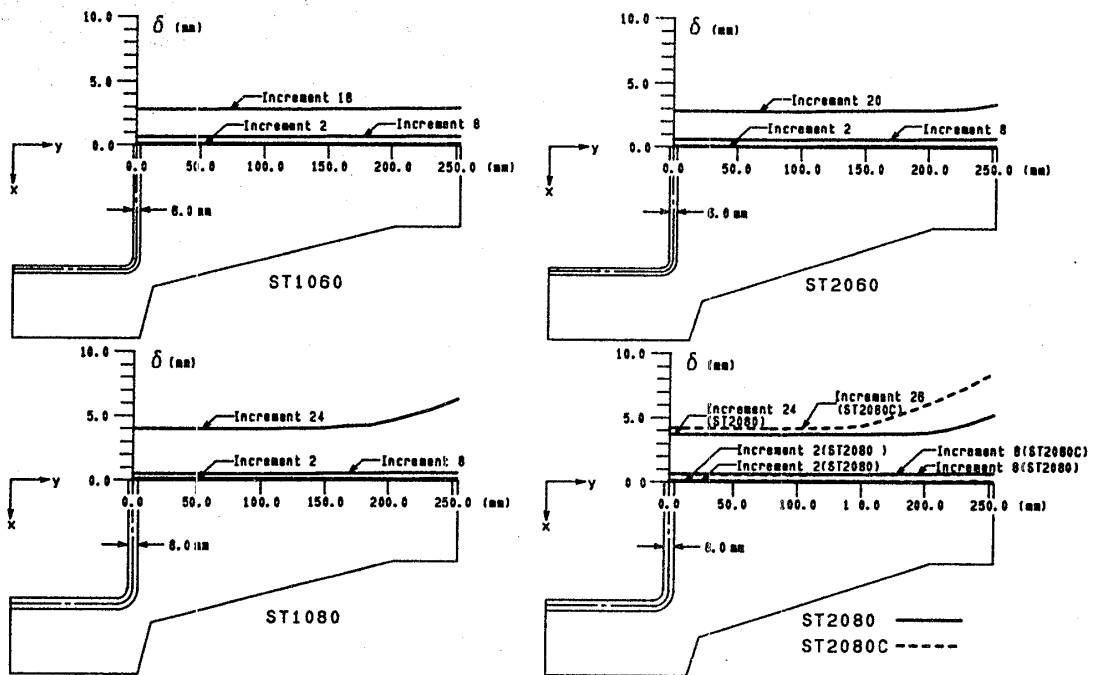


図9 ダイアフラム伸び分布

5. 結論

注意深く行った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。以下に結論を述べる。

- (1) 角形鋼管外ダイアフラム接合部の場合では、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れば、有限要素解析は実挙動を精度良く追跡できる。
- (3) ダイアフラム内伸びひずみ分布について有限要素解析結果と実験結果とを比較することで、解析プログラムの性能の優秀さが確認された。今後の数値解析による実験の有用性が期待される。

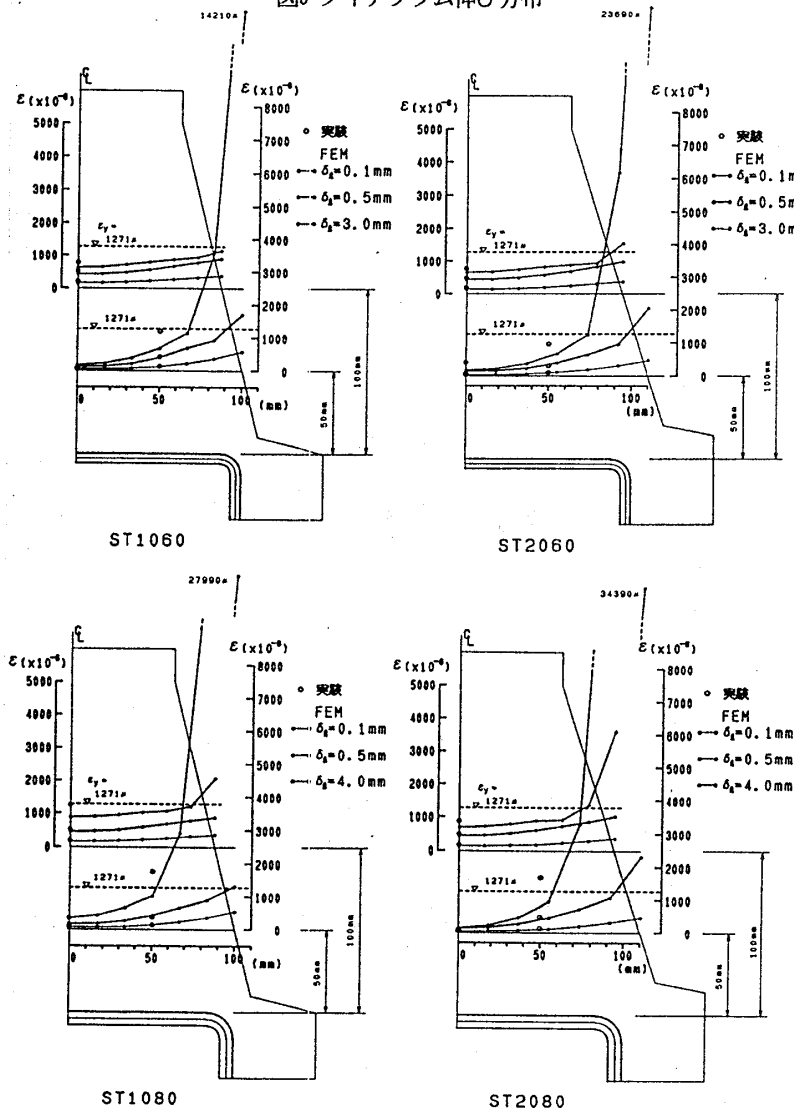


図10 ダイアフラムひずみ分布

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