

任意方向からの曲げ・せん断力を受ける角形鋼管の弾塑性挙動に関する考察
(実験および解析結果との比較)

X5. 模型実験

Y3. 柱・はり接合
Y6. ラーメン

Z1. 荷重・変形関係
Z2. 降伏荷重

正会員 ○ 海原広幸¹, 同 山成 實²
同 小川厚治³, 同 黒羽啓明⁴

1. 序 現実の柱梁接合には直交梁からの曲げ・せん断力が伝えられ、それらの合力は接合部パネル断面の基準軸と平行に作用しない。これまでのほとんどの研究では構面内についての実験および解析がなされてきたが、斜め方向から接合部パネルに曲げ・せん断力が作用する場合の耐力と変形挙動については不明である。本研究では接合部パネル断面に角形鋼管を想定した斜め方向から作用する曲げ・せん断実験とその解析結果を報告する。

閉鎖断面部材にせん断力が作用すると、板厚が十分薄い断面であれば板厚方向には一定で板要素の長さ方向に沿って変化するせん断流れ理論が一般的に用いられる。田口等は厚肉の円形中空断面について flexure problem を適用し逆対称曲げを受ける柱梁接合部の応力と変形解析を行い、これらの結果を用いせん断流れ理論と初等力学から得られる結果との比較した結果、せん断変形については精密解と初等理論とはほとんど一致し^[1]、接合部の曲げ変形が接合部の変形に大きく占めることを理論的に導いた^[2]。このことは角形中空断面についても同様のことが帰結される。

2. 角形鋼管の曲げ・せん断実験^[3] 試験体は、図1に示す水平荷重下の柱梁接合部パネルから取出した1/2モデルを想定した図2のような2本の鋼管が3枚の厚肉鋼板に挟まれた3点曲げ試験体である。実験パラメータは作用力の方向と鋼管厚であり、表1に示す計6体の試験体を製作した。作用力の方向を鋼管断面を加力構面に対して 0, 30, 45度と回転させた。鋼管の素材試験は短柱圧縮試験および鋼管の平板部の引張試験によった。鋼管の機械的性質を表2に示す。用いた鋼管は STKR400 である。

実験装置を図3に示す。試験体の両端の支持部にはすべり支承(静摩擦係数 0.03)を設け、ピン・ローラの支持条件とした。荷重は中央パネルに静的に加え、装置に設置した変位計と試験体に貼付したロゼット・ゲージの

データを計測・収録した。

3. 実験結果 6体の試験体の荷重(Q)-変形(γ)関係を図4に示す。縦軸(Q)は試験機荷重を支点の水平移動量に応じて算出した鋼管のせん断力であり、横軸(γ)は鋼管の変形角である。荷重-変形関係より降伏耐力として剛性が初期剛性の1/3に達した時の耐力($_{1/3}Q$)と General Yield 耐力($_{GY}Q$)を求め、表3に各試験体の降伏耐力、最大耐力および崩壊形式についてまとめる。

3.1 降伏臨界曲線と塑性耐力 田口等^[2]は、円形鋼管

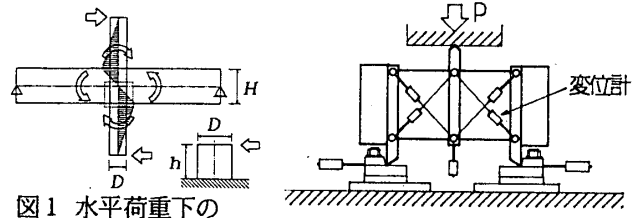


図1 水平荷重下の

図3 実験概要

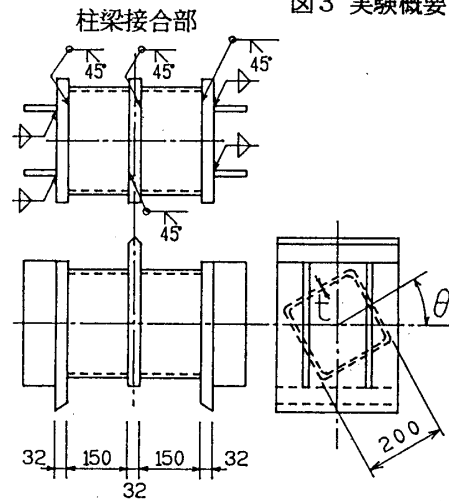


図2 曲げ・せん断試験体

表2 角形鋼管の機械的性質

断面寸法	引張試験				圧縮試験		
	$t\sigma_y$	σ_b	E	e	$c\sigma_y$	σ_{max}	E
	t/cm ²		%		t/cm ²		
□-200x200x6	3.621	4.303	2173	38.7	3.600	3.644	2188
□-200x200x9	4.089	4.920	2163	32.7	3.946	4.660	2142

表1 試験体

表3 実験結果

試験体	t mm	θ 度	予想降伏 モード	試験体 名称	初期降伏耐力 (tonf) T_{hQ_v}	全塑性耐力 (tonf) P_Q	降伏耐力 (tonf)		最大耐力 (tonf) Q_{max}	$_{1/3}Q$	$_{GY}Q$	Q_{max}	崩壊モード
							$_{1/3}Q$	$_{GY}Q$					
SP600	6	0	せん断	SP600	43.01	48.39	39.78	45.48	59.75	0.822	0.940	1.236	ウェブのせん断座屈
SP630	6	30	曲げせん断	SP630	42.29	59.26	47.60	50.41	63.50	0.803	0.851	1.072	角部亀裂
SP645	6	45	曲げ	SP645	40.85	63.17	51.40	52.00	65.50	0.814	0.823	1.037	角部亀裂
SP900	9	0	せん断	SP900	69.62	78.40	64.41	69.93	110.00	0.822	0.892	1.403	フランジ亀裂破断
SP930	9	30	曲げせん断	SP930	66.35	96.03	79.36	83.39	110.50	0.826	0.868	1.150	角部亀裂
SP945	9	45	曲げ	SP945	64.09	100.77	83.49	86.61	111.00	0.829	0.860	1.102	角部亀裂

A study on inelastic behavior of RHS under bending and shear forces in arbitrary direction
- Comparison between test results and calculated results -

21497
Kaibara Hiroyuki et al.

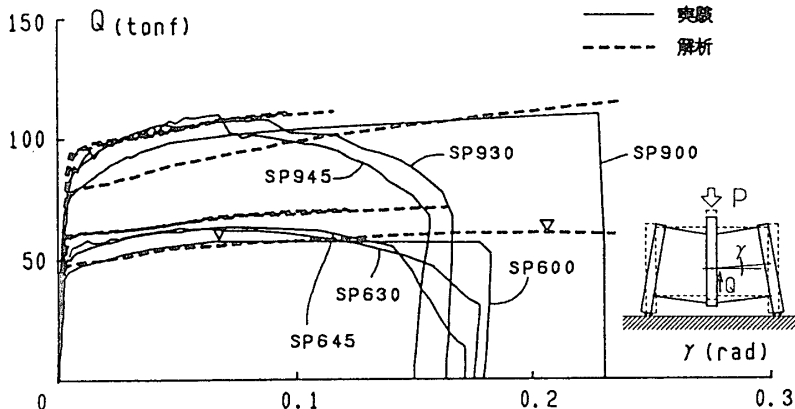


図4 パネルのせん断力-変形関係

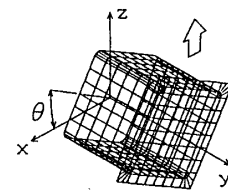


図9 解析モデル

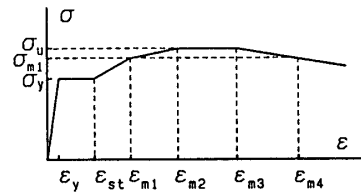


図10 応力度-ひずみ度関係

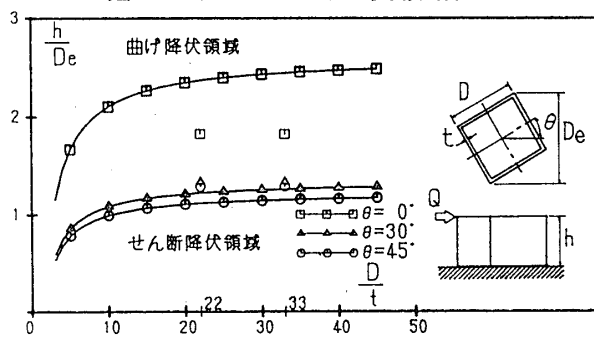


図5 パネルの降伏臨界曲線

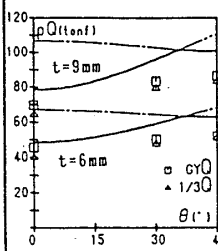


図6 塑性耐力

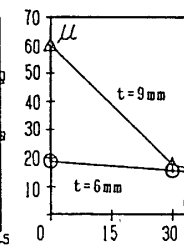


図7 変形能

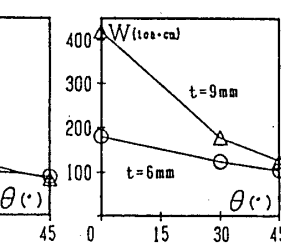


図8 吸収能力

柱をもつ柱梁接合部について鋼管の長さ径比 (h/D_e)

と径厚比 (D/t) を変化させ、断面の曲げ降伏およびせん断降伏の境界を表す降伏臨界曲線を示し、パネルの降伏モードを予想した。同様な手続きで角形鋼管について図示すると図5が得られる。この臨界曲線は断面の初期降伏であり、実験結果に見られるような巨視的に断面の降伏現象が現れる降伏モードとは異なるように思われる。曲げおよびせん断力について全断面が塑性化したときの塑性耐力 (pQ) と作用力方向 (θ) の関係を図6に示す。実験結果と計算値との良い対応が見られる。

3.2 変形性能 図7はパネルのせん断耐力-変形関係から求めた最大耐力時パネルの変形性能である。縦軸は変形をパネルが塑性耐力に達した時の弾性変形で除した値 (μ) である。作用力方向角が増すにつれてパネルの角部の亀裂発生が早期に起こることにより変形能力が減少することが分かる。

3.3 エネルギー吸収能力 パネルが最大耐力 (Q_{max}) に達した後にその95%まで耐力低下するまでの吸収したエネルギー (W) を計算すると図8のようになる。作用力方向角が増加するに伴いエネルギー吸収能力は減少し、厚肉鋼管の方が減少の度合いが大きいことが分かる。

4. 汎用有限要素法解析プログラムによる解析

4.1 解析法 パネルから変形・応力解析は汎用非線形有限要素法解析プログラムによる。解析に用いた要素は四

辺形厚肉線形シェル要素であり、座標および変位、回転角には双1次の補間関数を用いられている。解析モデルを図9に示す。パネルの端部を塞いだプレートに強制変位を与えて解いた。

4.2 解析仮定 用いた応力度-ひずみ度関係は角形鋼管平板部の引張素材試験結果を図10のような多直線に置換したものである。断面内の残留応力は無視した。

4.3 解析結果と実験結果との比較 図4に6個の試験体に関する解析結果を破線で示す。全ての解析結果は降伏後急激に剛性が低下する。SP600の解析では、発生時は遅れるもののウェブのせん断座屈 (▽印) が追跡できた。

5. 結論 (1) 作用力方向が鋼管の対角方向になるほど降伏耐力は上昇するが、最大耐力はほとんど変化しない。(2) 作用力角0度でない場合は鋼管角部から早期にき裂発生し、変形能力は低下する。(3) パネルのエネルギー吸収能力は作用力方向角が増すにつれて減少する。鋼管が厚肉になるほどその傾向が強い。(4) 角形鋼管断面の平板部の応力度-ひずみ度関係を用いた汎用複合有限要素法解析プログラムにより全ての試験体について解析を行った結果、実験結果を良好に追跡できることが分かった。

参考文献 [1] 田口武一, 笹川明, 鋼管柱・はり接合部の強度・剛性に関する研究 (その1) -厚肉鋼管柱を用いた場合の接合部の応力および変形-, 日本建築学会論文報告集, 第196号, 昭和47年6月, PP.55-60. [2] 田口武一, 笹川明, 鋼管柱・はり接合部の強度・剛性に関する研究 (その2) -鋼管径厚比の変化による接合部の応力・変形の相違および接合部の降伏について-, 日本建築学会論文報告集, 第197号, 昭和47年7月, PP.27-34. [3] 海原広幸, 山成實, 小川厚治, 黒羽啓明, 渡辺純仁, 斜め方向から曲げ・せん断力を受ける柱梁接合部パネルの耐力と変形性能に関する研究 (正方形角形鋼管柱の場合), 日本建築学会九州支部研究報告, 第32号, 1991年3月, PP.217-220

1 熊本大学大学院生, 2 同助手, 3 同助教授・工博, 4 同教授・工博