

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)

準会員 ○ 海原広幸*1, 正会員 山成 實*2, 同 小川厚治*3,
正会員 黒羽啓明*4, 同 渡辺純仁*5

1. 序

柱梁接合部の変形挙動についての研究はこれまで数多くなされてきたが、その大部分は平面架構の構面内挙動についてであり、現実的な外力条件である構面外(斜め方向から)外力を受ける接合部挙動に関してはあまり取扱われていない^[1]。図1に示す作用力の方向(θ)に対して部材断面の基準軸が一致しない場合($\theta \neq 0$)の変形挙動は、それらが一致する場合($\theta = 0$)のものに比べて安全側であるか否かの確認は得られていない。冷間成形角形鋼管では角部が大きい塑性加工を受けた断面である^[2]。部材が同じ断面であっても外力条件で断面の性能が異なることが予想される。本研究では柱梁接合部の柱部材に冷間成形角形鋼管を選び、作用力方向を変化させた曲げ・せん断力静的一方向載荷実験を行い、角形鋼管の耐力および変形性能について論ずる。さらに、複合非線形有限要素法解析プログラムによる解析結果と実験結果を照らし合わせ接合部パネルの非線形挙動について検討する。

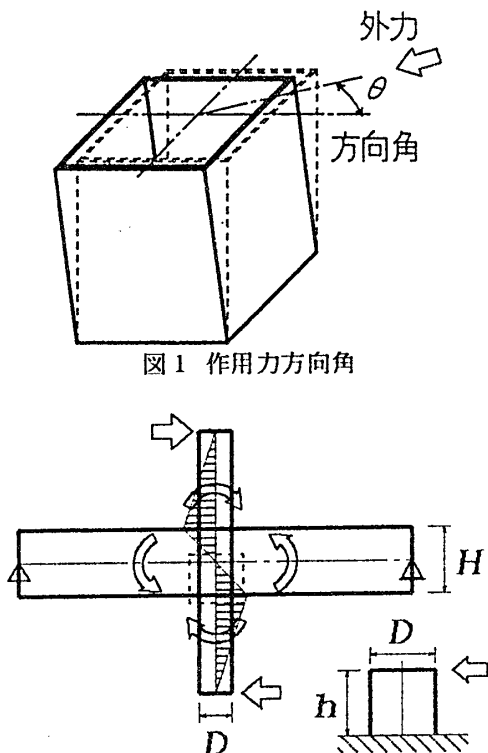


図1 作用力方向角

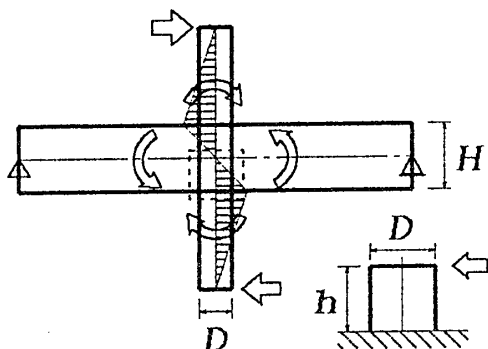


図2 水平力下の柱梁接合部

2. 角形鋼管の曲げ・せん断実験

2.1 試験体 試験体は、図2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3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。荷重点を明確にするため、鋼板の加力点および反力点はナイフェッジ加工してある。また、試験体の対称性の確保、ねじれなどの2次応力を排除するため、極力精密に機械加工・仕上げた。

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坦部とコーナー部の引張試験^[2]によった。鋼管の機械的性質を表2に示す。用いた鋼管はSTKR41である。

2.2 実験 実験装置は図4に示すとおりである。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。実験は試験体製作時の溶接残留応力を除去するためみずみゲージの読み値の最大値が約2000 μ に達した時、一旦1.0tonfまで除荷し再び載荷して試験

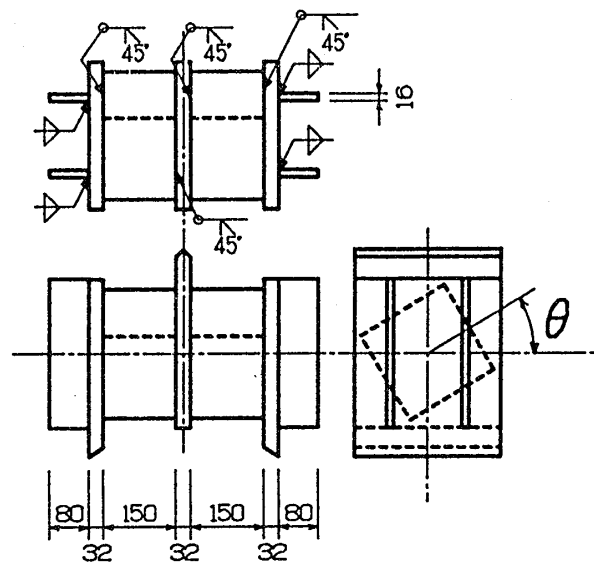


図3 曲げ・せん断試験体

*1 熊本大学学部生, *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

体の破壊に至るまであるいは変形測定可能限界まで変形を進めて実験を終了させた。

3. 実験結果

6体の試験体の荷重(Q)-変形(γ)関係を図5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)は図6に示す

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($1/3Q$)と General Yield 耐力(gyQ)を得た。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。

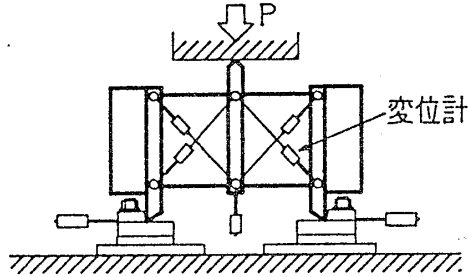


図4 実験概要

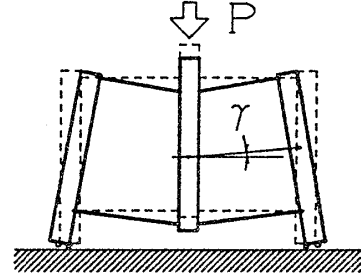


図6 パネルの変形

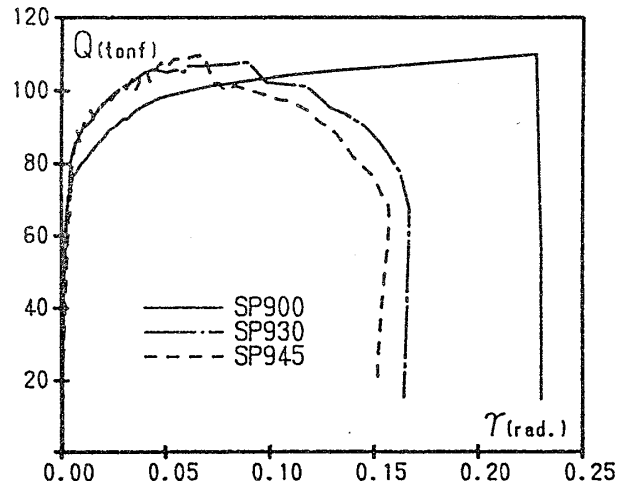
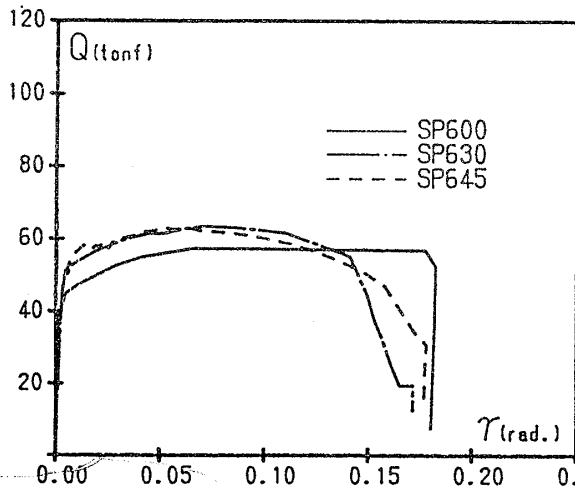


図5 パネルのせん断力(Q)-変形(γ)関係

表1 試験体寸法

試験体	t mm	θ 度	予想降伏モード
SP600	6	0	せん断
SP630		30	曲げせん断
SP645		45	曲げ
SP900	9	0	せん断
SP930		30	曲げせん断
SP945		45	曲げ

表2 素材の機械的性質

断面寸法	採取位置	引張試験			圧縮試験		
		$t\sigma_y$	σ_B	e	$c\sigma_y$	σ_{max}	E
		tonf/cm ²		%	tonf/cm ²		
□-200x200x6	シーム部	5.279	5.522	—	3.600	3.644	2188
	平行部	3.621	4.303	38.7			
	シーム除く						
	コーナー部						
□-200x200x9	シーム部	5.094	5.347	—	3.946	4.660	2142
	平行部	4.089	4.920	32.7			
	シーム除く						
	コーナー部						

t:鋼管厚, θ :作用力方向角

$t\sigma_y, c\sigma_y$:降伏応力度, σ_B :引張強さ, σ_{max} :圧縮最大応力度, e:伸び, E:ヤング係数

表3 実験結果

試験体	初期降伏耐力 (tonf) $1/3Q_y$	塑性耐力 (tonf) pQ	降伏耐力 (tonf)		最大耐力 (tonf) Q_{max}	$1/3Q$ pQ	gyQ pQ	Q_{max} pQ	崩壊モード
			$1/3Q$	gyQ					
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	42.29	59.26	47.60	50.41	63.50	0.803	0.851	1.072	角部亀裂
SP645	40.85	63.17	51.40	52.00	65.50	0.814	0.823	1.037	角部亀裂
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	66.35	96.03	79.36	83.39	110.50	0.826	0.868	1.150	角部亀裂
SP945	64.09	100.77	83.49	86.61	111.00	0.829	0.860	1.102	角部亀裂

4. 実験結果の考察

4.1 降伏臨界曲線と塑性耐力 田口等^[3]は、円形鋼管柱をもつ柱梁接合部について鋼管の長さ径比

(h/D)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7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傾向とは異なる。そこで、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(ρQ)と作用力方向(θ)の関係を図8に示す。実験結果と計算値との良い対応が見られる。

4.2 変形性能 図9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。

4.3 エネルギー吸収能力 パネルが最大耐力(Q_{max})に達した後0.95 Q_{max} 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10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。

5. 複合非線形有限要素法解析

5.1 解析法 パネルの変形・応力解析は汎用非線形有限要素法解析プログラムによった。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次の補間関数が用いられている。解析モデルを図11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。

5.2 解析仮定 用いた応力度-ひずみ度関係はヤング係数を2100 tonf/cm²、降伏応力度を4.2 tonf/cm²、ひずみ硬化係数が2%のbi-linear型とした。また、断面内の残留応力は無視した。

5.3 解析結果と実験結果との比較 図12に6個の試験体に関する解析結果を示す。全ての解析モデルは降伏後急激に剛性が低下し、その後ほぼ一定の勾配で耐力上昇し、過大な変形になると θ の変化に関わらず耐力は収斂する。この結果は実験結果(表3)の最大耐力が θ に依存しないことと一致する。

図13は解析結果を素材試験から得られた降伏応力度を用いた解析となるように修正したものと実験結果

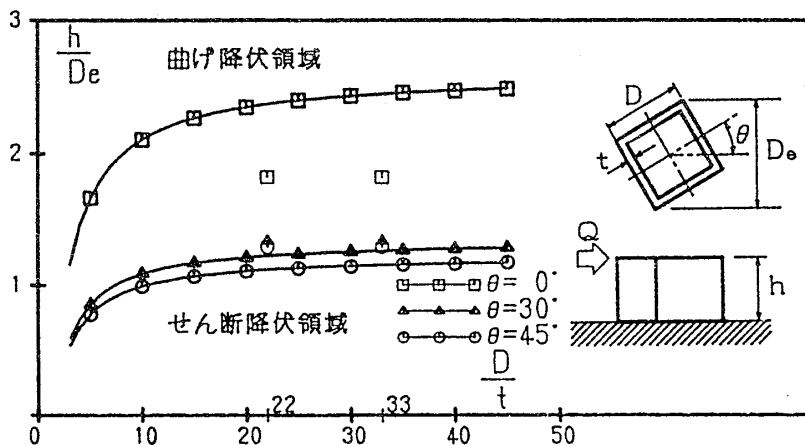


図7 角形鋼管断面の降伏臨界曲線

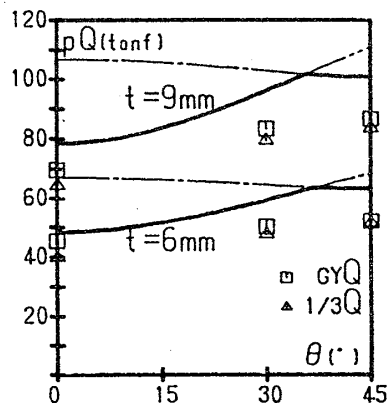


図8 塑性耐力の変化

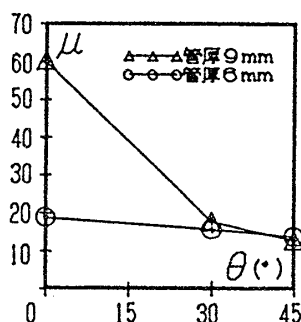


図9 パネルの変形性能

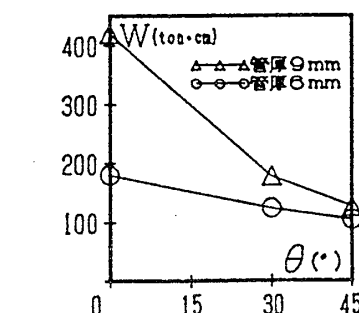


図10 パネルのエネルギー吸収能力

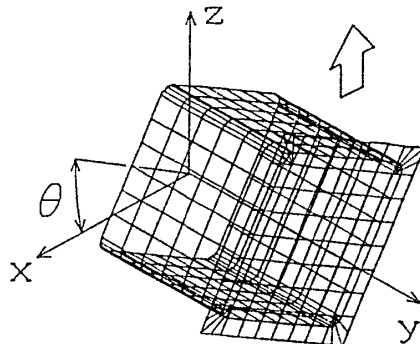


図11 解析モデル

を図示したものである。両者を比較すると、解析結果は実験結果を降伏変形の約5倍まで良く追跡できていることが分かる。ひずみ硬化係数一定の仮定から、それ以降は実験値から離れていく。管厚6mm, $\theta = 0$ 度の解析では、最終的にはウェブのせん断座屈が生じ、実験と一致する崩壊モードが得られた。より現実的な構成則を用いれば解析で実験結果をより良く追跡できると考えられる。

6. 結論

角形鋼管断面に斜め方向曲げ・せん断力を作用させた静的加力実験を行った結果、以下のことが結論される。

- (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亀裂が生じ、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) 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応力解析を行った結果、比較的大きい

塑性域まで追跡できることが分かった。より精度良く追跡するには応力度-ひずみ度関係を現実的にすることと、残留応力を考慮すれば良いと考えられる。

謝辞 本研究の一部は(社)日本建築学会九州支部および(財)鹿島学術振興財団から研究助成を受けた。実験に際しては、九州産業大学増田貫志博士をはじめとする研究スタッフの方々のご好意で同大学の万能試験機を使用させて頂いた。ここに謝意を表します。

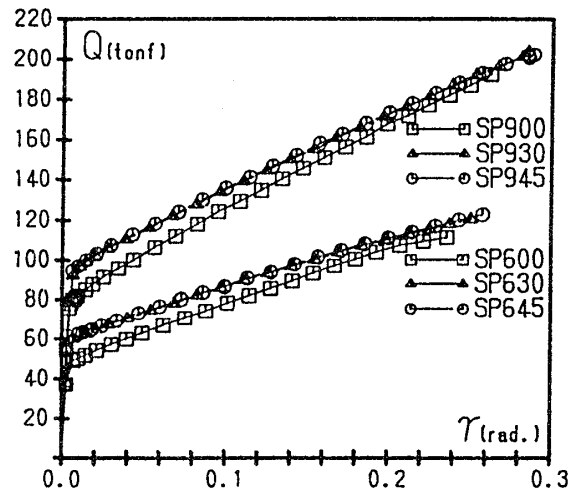


図12 解析結果

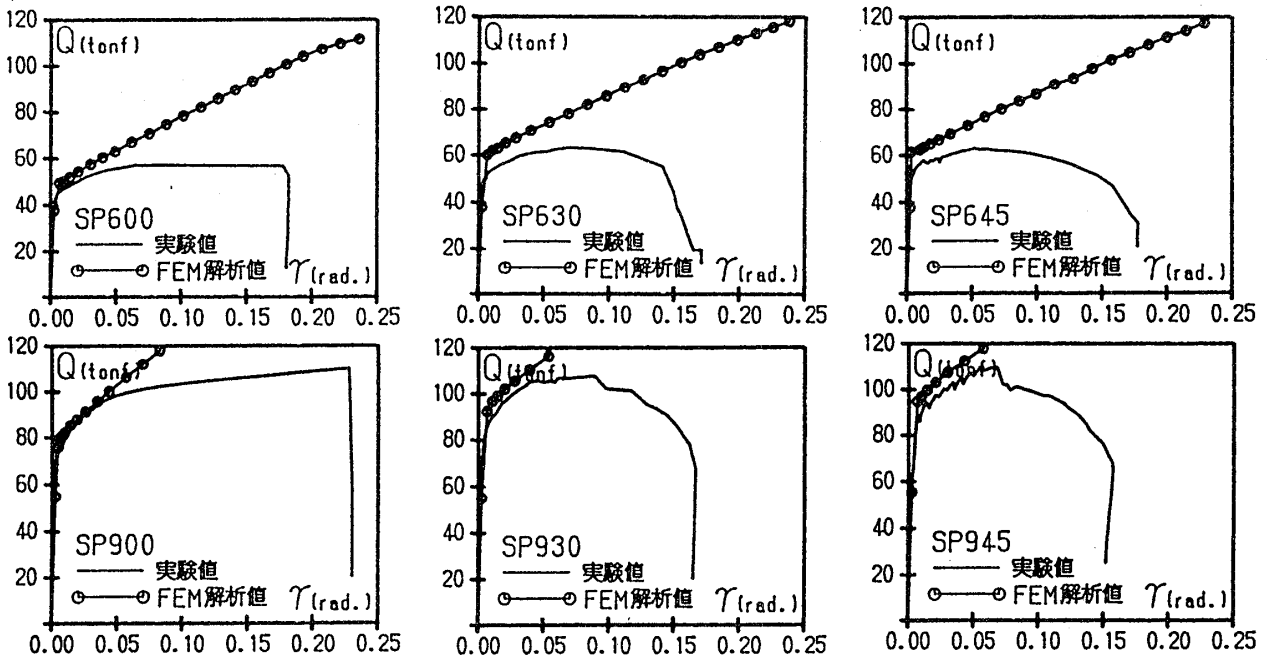


図13 解析結果と実験結果との比較

参考文献

[1] 上場輝康, 金谷弘, 田淵基嗣: 鋼管柱・H形はり接合部の局部耐力 鉛直荷重実験および水平荷重実験, 日本建築学会構造系論文報告集, 第360号, 昭和61年2月, PP.147-156
 [2] B. Kato, H. Aoki and H. Nishihara, RESIDUAL STRESS IN SQUARE STEEL TUBES INTRODUCED BY COLD-FORMING AND THE INFLUENCE ON MECHANICAL PROPER-

TIES, Safety Criteria in Design of Tubular Structures, Feb. 1987, PP. 179-188
 [3] 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