

半剛接鋼骨組の柱梁仕口の復元力特性に関する研究
(角形鋼管柱・H形鋼梁仕口の回転剛性の評価式)

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

1. 序

剛接合部は部材間の応力伝達を發揮することがその使命であり、接合部回りに補剛材が付加される^[1]。一方、仕口に回転変形が生じる半剛接合部では部材への応力伝達の役割を果たしながら、接合部の変形によるエネルギー吸収がなされ、接合部の耐震要素としての評価が生まれつつある。接合部の局部破壊防止に関する研究には田淵等の研究がある^[2]。

半剛接鋼骨組の設計を行う上で欠くことのできないものは、柱梁部材のみならず柱梁仕口の復元力特性である。柱梁部材にH形鋼を用いたスチフナー無しの柱梁接合部の復元力特性については文献[3]などに見られる。鋼管ラーメン骨組では柱梁が外ダイアフラム接合された場合、仕口で回転変形(柱梁仕口の局部変形)が生じる^[4]。線材のみを用いた剛接骨組解析ではこの種の骨組の挙動を追跡することができない。半剛接骨組の塑性化の過程を説明するためには接合部の弾塑性挙動を明らかにしておかなければならない。一般に接

合部は部材が集まる所であるから、複雑な詳細ゆえに接合部の挙動を柱梁部材のように解析学的説明を加えることは困難である。本研究では、柱に角形鋼管、梁にH形鋼を用いた外ダイアフラム接合部に限定し、柱梁仕口の局部変形弾性剛性を3次元有限要素解析による数値実験から推定式を導いたのでここに報告する。

2. 柱梁接合部の局部変形

図1は水平力を受けるラーメン骨組から柱梁の反曲点位置で取出した部分骨組である。図1(a)は線材理論で評価されるモデルである。図1(b)は柱梁接合部パネルの広がりと柱梁仕口の回転変形(局部変形)を考慮したモデルである。著者らは柱梁仕口の回転変形を評価するために、外ダイアフラム柱梁仕口から取出した単純化試験体の圧縮および引張実験を行った結果、圧縮および引張力下における局部変形剛性は等しいことを既に得ている^[5]。これは、図1(b)の回転バネが梁重心軸上で回転することを意味し、仕口の回転による梁部材の伸縮に影響を及ぼさないことを示している。従って、局部変形剛性の評価を行うには、一方向の梁

フランジ力に対する柱鋼管壁の面外変形を得ることで十分である。

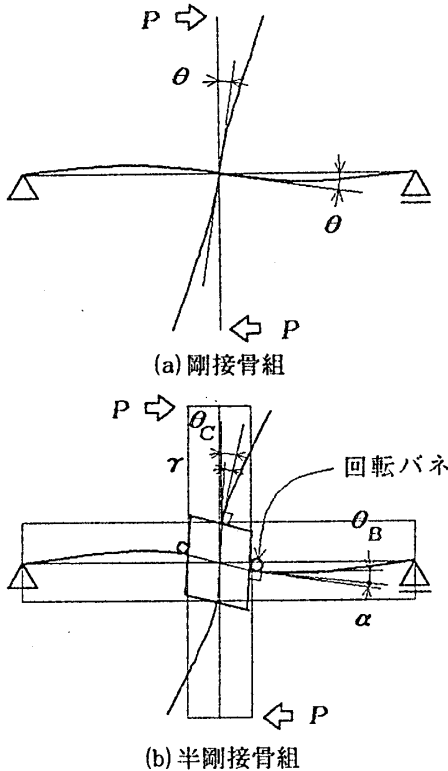


図1 骨組の変形

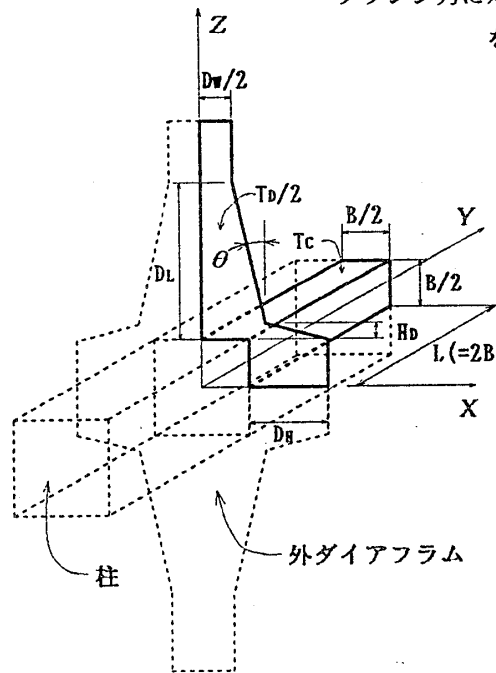


図2 解析モデル

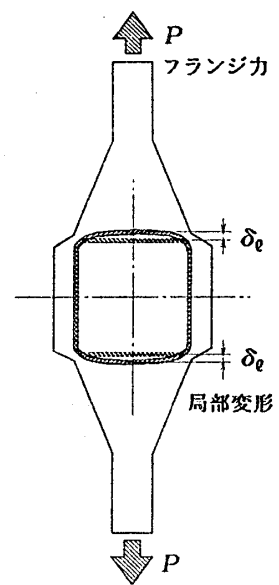


図3 接合部の局部変形

*1 熊本大学大学院生, *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

3. 解析対象

外ダイアフラム型柱梁仕口の局部変形剛性を統計処理により評価するための解析対象は、角形鋼管に1枚の外ダイアフラムが溶接されダイアフラム両端部に一様引張力を作用させた文献[5]にある単純化試験体を取り、図2に示す対称条件から1/8モデルを解析対象とした。なお、柱長は柱外径以上あれば局部変形剛性に影響しないことから^[5]、鋼管径の2倍とした。また、鋼管断面は正方形としアール部は無視する。

剛性評価を支配する変数は材料定数と構成要素の寸法であるが、ここではヤング係数を一定 ($E = 2100 \text{ tonf/cm}^2$) とし、図2中の記号で示す寸法のみを変化させ数値実験のパラメータを決定する。ただし、 D_L は θ の従属変数として扱うこととする。

4. 局部変形剛性 (K_f) と回転剛性 (K_r) の定義

局部変形は図3に示すように外ダイアフラムから鋼管に伝えられる軸力により生じる鋼管壁の面外変形である。本報告ではダイアフラム軸力 (P) を局部変形 (δ_f) で除したものを局部変形剛性 (K_f) と定義する。

$$K_f = P / \delta_f \quad \dots\dots (1)$$

柱梁仕口は梁端曲げモーメントにより回転変形を生じる。ダイアフラム軸力が圧縮あるいは引張であっても、ダイアフラムの不安定現象が生じるまでは変形挙

動は一致することが実験的に確かめられていることから^[5]、図1(b)中の仕口の回転剛性は式(2)で表される。

$$K_r = K_f \cdot d^2 / 2 \quad \dots\dots (2)$$

ただし、 d は梁部材のフランジ板厚中心間距離である。

5. 局部変形剛性に影響する諸寸法

柱梁仕口の局部変形剛性を支配する寸法を決定するために、幾つかのケーススタディを行い、数式モデルを決定する。表1に示す候補変数の中から1つだけ変化させた場合のFEM解析から求めた局部変形剛性 ($FEMK$) と変数の関係を示すと図4のようになる。同

図から局部変形剛性に強い相関をもつものを選び、表2の無次元化パラメータを設定し6. で述べる数式モデルを作成する。図5は無次元化変数同士の関係を示す。各変数間の独立性が同図から分かる。

6. 数式モデルの誘導

前節で行ったケーススタディから、式(3)の数式モデルを作る。表3は式(3)の未定係数を決定するための数値実験入力用データである。計60個の解析結果を用いて重回帰解析を行い、式

(3)の未定係数 $x_1 \sim x_5$ を

求めると式(4)が得られる。

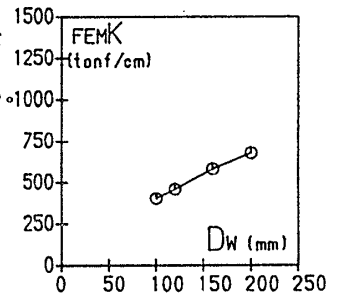


表1 候補変数

	諸数値 (mm)
Tc	2, 6, 8, 12
Tb	5, 9, 12
Hb	0, 5, 10, 20
DH	10, 20, 30, 50
Dw	100, 120, 160, 200
B	100, 150, 200, 300
θ	20°, 30°, 45°

注) — は基準値

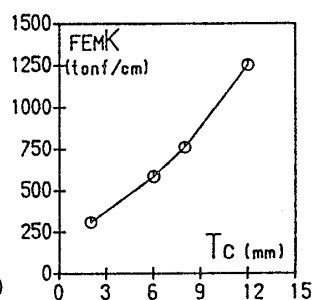
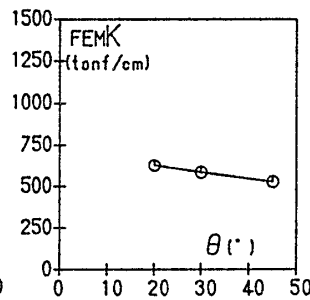
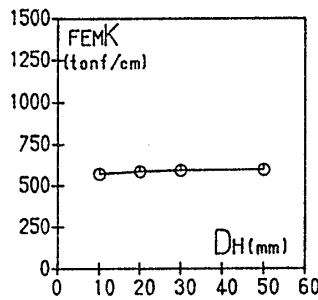


表2 無次元化パラメータ

パラメータ	適用範囲	
	min	max
$\frac{B+Hb}{B}$	1.0	1.133
$\frac{B+Tb}{B}$	1.02	1.08
$\frac{B}{Tc}$	12.5	50
$\frac{Dw}{B}$	0.5	1.0

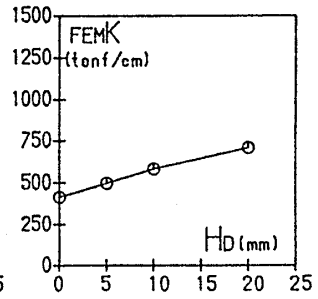
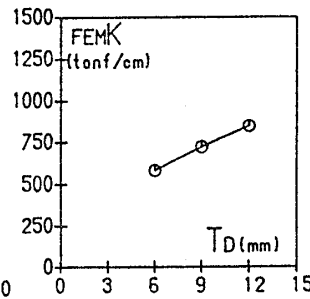
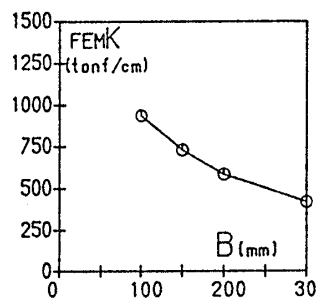


図4 局部変形剛性と接合部寸法の関係

局部変形剛性の推定値とFEM解析結果との関係を示すと図6のようになる。同図中の破線は95%信頼限界である。数値実験値 (FEM解析値) と推定値の比の変動係数は 0.188 である。

7. 単純化試験体の載荷実験結果との比較および局部変形剛性評価式の補正

推定値と実験値との対応を見るために、式(4)から得られる値と文献[5]の実験値 (K_{EXP}) とを比較すると図7のようになる。推定値にある一定の割増しを施せば、実験値の良い近似を与えられると考えられるので、割増し値 (a) を最小二乗近似して求めると、 $a = 1.271$ となる。実験値と修正後の推定値の比の変動係数は 0.090 であり良い近似が得られる。

$$\frac{K_e (B/2)^3}{EI} = x_1 \left(\frac{B+H_D}{B}\right)^{x_2} \left(\frac{B+T_D}{B}\right)^{x_3} \left(\frac{B}{T_c}\right)^{x_4} \left(\frac{D_w}{B}\right)^{x_5} \dots\dots (3)$$

ただし、 E はヤング係数、 $I = T_c^3/12$ 、他の記号は図2を参照。

$$\frac{K_e (B/2)^3}{EI} = 3.896 \left(\frac{B+H_D}{B}\right)^{4.603} \left(\frac{B+T_D}{B}\right)^{1.353} \left(\frac{B}{T_c}\right)^{2.371} \left(\frac{D_w}{B}\right)^{0.303} \dots\dots (4)$$

$$K_r = 2.476 \left(\frac{B+H_D}{B}\right)^{4.603} \left(\frac{B+T_D}{B}\right)^{1.353} \left(\frac{B}{T_c}\right)^{2.371} \left(\frac{D_w}{B}\right)^{0.303} \frac{EI d^2}{(B/2)^3} \dots\dots (5)$$

結局、柱梁仕口の回転剛性 (K_r) を上記の補正を施した表現は式(5)で与えられる。

8. 結論

本研究では半剛接鋼骨組耐震設計に必要とされる柱梁仕口の回転剛性を、外ダイアフラム形式の角形鋼管柱・H形鋼梁接合部を例に取り、60個の数値実験を行った後に重回帰解析を行い、骨組解析に組込み易い形で数式表現することができた。

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。数値実験データ作成および整理に熊本大学工学部4年生福島由光君に協力頂いた。ここに謝意を表します。

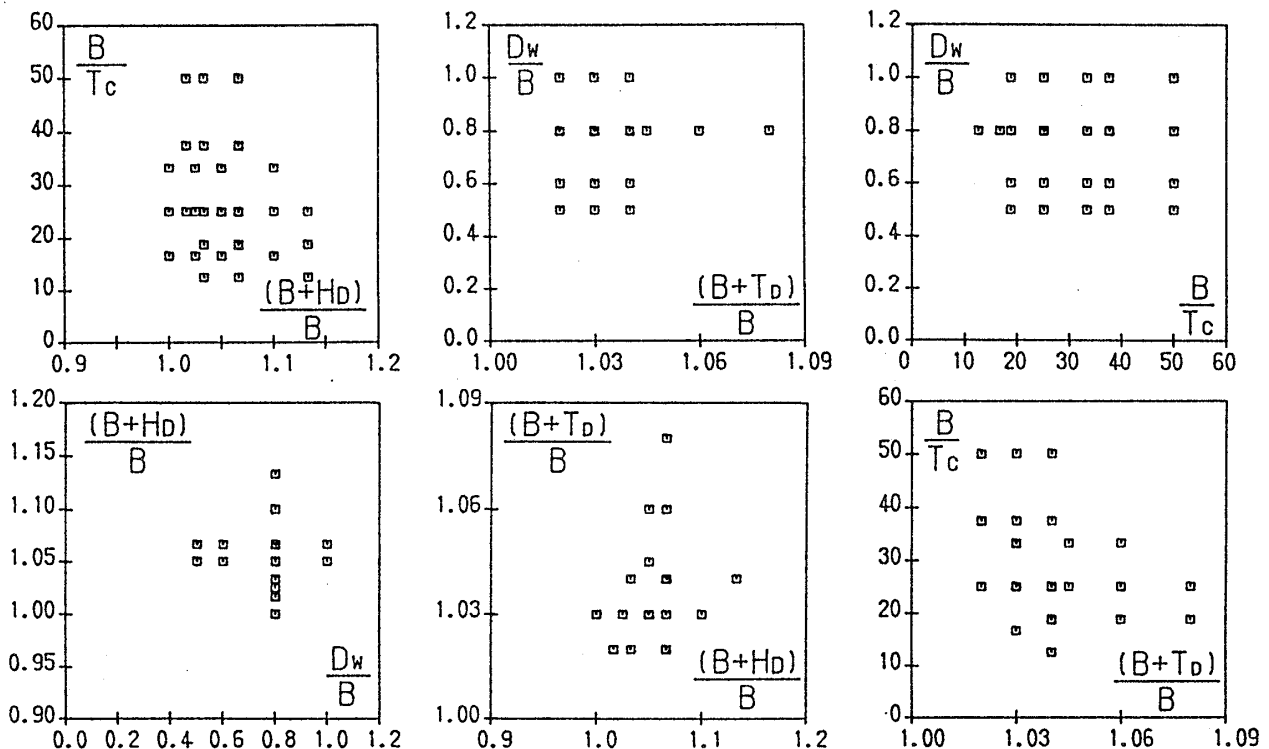


図5 数値実験入力データの散布図

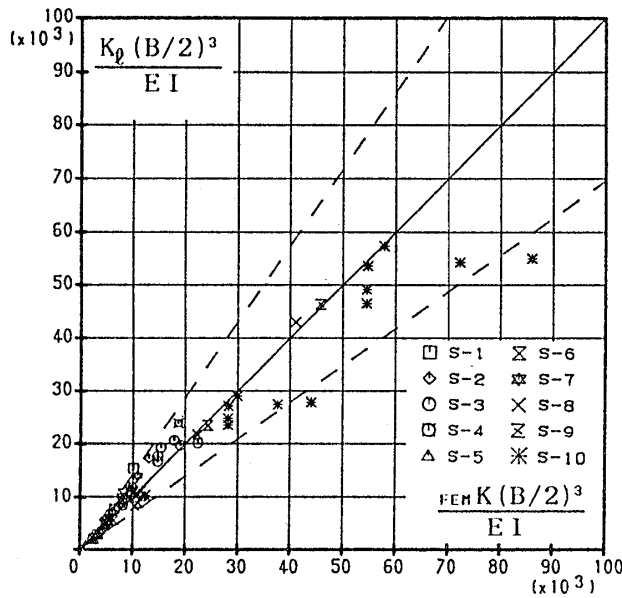


図6 推定値とFEM解析結果の関係

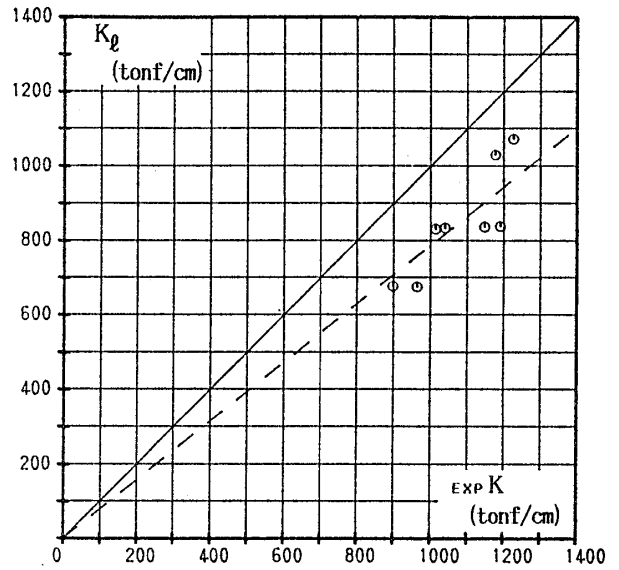


図7 推定値と実験値の関係

表3 数値実験入力データ

名称	B (mm)	Tc (mm)	Hb (mm)	Td (mm)	Dw (mm)	名称	B (mm)	Tc (mm)	Hb (mm)	Td (mm)	Dw (mm)	名称	B (mm)	Tc (mm)	Hb (mm)	Td (mm)	Dw (mm)	
1-1	200	6	0	6	160	5-1	150	6	5	6	120	8-1	300	6	5	6	240	
1-2		8				8		8-2				8						
1-3		12				12		8-3				12						
2-1	200	6	5	6	160	6-1	150	6	10	6	120	9-1	300	6	10	6	240	
2-2		8				8		9-2				8						
2-3		12				12		9-3				12						
3-1	200	6	10	6	160	6-1A	150	6	10	6	75	10-1	300	6	20	6	240	
3-2		8				6		6				90		10-2				8
3-3		12				6		6				150		10-3				12
3-1A	200	6	10	6	200	6-2A	150	6	10	6	75	10-1A	300	6	20	6	150	
3-1B				6		6		6		120		10-1B		6		180		
3-1C				6		6		6		200		10-1C		6		300		
3-1D	200	6	10	9	160	6-2B	150	6	10	6	90	10-1D	300	9	12	9	240	
3-1E				12		6		6		150		10-1E		12		240		
3-2A				6		6		6		100		10-2A		6		150		
3-2B	200	8	10	6	200	7-1	150	6	20	6	120	10-2B	300	6	20	6	180	
3-2C				6		6		6		200		10-2C		6		300		
3-2D				9		6		6		160		10-2D		9		240		
3-2E	200	8	10	12	160	7-2	150	8	20	6	120	10-2E	300	9	20	9	240	
4-1				6		6		6		150		10-2E		12		240		
4-2				8		6		6		120								
4-3	12	20	6	160														

参考文献

[1] 伴潔, 今井克彦: 三角板により補強された角形鋼管柱・H形鋼はり接合部の実験的研究 水平荷重下の弾塑性挙動に関する考察, 日本建築学会論文報告集, 第294号, 昭和55年8月

[2] 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破壊 - 角形鋼管柱溶接接合部の実験的研究 1-, 日本建築学会構造系論文報告集, 第349号, 昭和60年3月, PP. 71-79

[3] J. B. Davison, P. A. Kirby and D. A. Nethercot, ROTATIONAL STIFFNESS CHARACTERISTICS OF STEEL BEAM-

TO-COLUMN CONNECTIONS, J. Construct. Steel Research, Aug. 1987, PP. 17-54

[4] 渡辺純仁, 山成實, 小川厚治, 黒羽啓明, 海原広幸: 水平荷重を受ける角形鋼管柱骨組の接合部の弾塑性挙動に関する実験的研究 (柱梁接合部の局部変形挙動について), 1990. 10, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C構造II, PP. 1619-1620

[5] 海原広幸, 山成實, 小川厚治, 黒羽啓明, 渡辺純仁: 角形鋼管柱梁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), 1990. 10, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C構造II, PP. 1617-1618