

I - 9 end-plate 系接合を有する鋼骨組の剛結度に関する数値解析的検討

室蘭工業大学 正員 岸 徳 光
 室蘭工業大学 正員 松 岡 健 一
 室蘭工業大学 正員 小 室 雅 人
 室蘭工業大学 学生員 稲 堀 功

1. はじめに

現在、鋼骨組構造物の設計において、梁と柱の接合部はラーメン構造のような剛結接合あるいはトラス構造のようなピン接合に仮定して構造解析が行われている。しかしながら、実際の接合部は、完全な剛結接合とピン接合の中間的かつ非線形な剛性特性を有することが過去の実験、研究等により明らかになっている。半剛結的挙動を示す接合部の形式としては angle 系、plate 系がある。一般的に、single/double web-angle 接合、header plate 接合は比較的剛性が小さく、end-plate 系接合は剛性が大きく剛結接合に近い接合形式と言われ、top- and seat-angle 系の接合は上記の中間的性状を示す接合形式であると言われている。

著者等は過去に半剛結接合の中でも剛結接合に近い剛性特性を有する end-plate 系接合を用いた鋼骨組に対して、使用荷重載荷時の骨組の横移動量、係数倍荷重載荷時の梁材の材端モーメントに着目し、end-plate 系接合の剛結度に関する検討を行った¹⁾

本研究では、end-plate 系接合を有する半剛結鋼骨組の係数倍荷重載荷時における柱の有効座屈長係数（以後、K 値と呼ぶ）に着目して、剛結接合の場合の K 値と比較することによって、その剛結度に関する数値解析的検討を行った。数値解析にはデータベースに収録されている extended end-plate 接合（112 個）、flush end-plate 接合（32 個）の計 144 個の実験データを用い、実験値の代用として修正 exponential モデルを採用して接合部の非線形な剛性特性を評価することとした。なお、半剛結鋼骨組柱の K 値算定のための座屈方程式の定式化に関しては、AISC-LRFD の設計基準²⁾でも用いられている alignment chart 法³⁾の誘導過程に従っている。その詳細については文献 4)、5) に述べられていることより、本論文では省略することとする。

2. end-plate 系接合

本研究で取り扱った接合形式は、extended end-plate 接合、flush end-plate 接合の二種類である。これらの接合形式の概形図を図-1(a) ~ (c) に示す。図-1(a)に引張側のみ、図-1(b)に引張側、圧縮側の両方向に end-plate を拡張した extended end-plate 接合を示している。また、図-1(c)には flush end-plate 接合の例を示している。表-1 に本

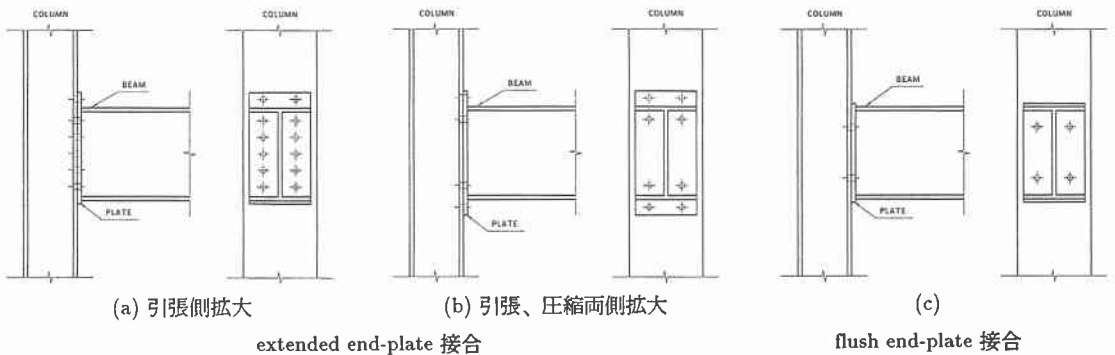


図-1 各接合形式の概形図

Discussion on Connection Rigidity of End-Plate Connections in Flexibly Jointed Frames
 by Norimitsu KISHI, Ken-ichi MATSUOKA, Masato KOMURO and Isao INAGAKI

表-1 実験データに関する著者名とデータ数一覧

接合タイプ	著者名	データ数	
extended end-plate 接合	L.G.Johnson et al. (1960)	1	112
	A.N.Sherbourne (1961)	5	
	J.R.Bailey (1970)	26	
	J.O.Surtees et al. (1970)	6	
	J.A.Packer et al. (1977)	3	
	S.A.Ioannides (1978)	6	
	R.J.Dews (1979)	3	
	P.Grundy et al. (1980)	2	
	N.D.Johnstone et al. (1981)	8	
	Y.Y.Leong (1984)	16	
	D.B.Moore & P.A. Sims (1986)	2	
	J.B.Davison (1987)	1	
R.Zandonnini & P.Zanon (1988)	9		
A.Mazroi (1990)	24		
flush end-plate 接合	J.R.Ostrander (1970)	24	32
	J.B.Davison et al (1987)	3	
	J.Phillips & J.Packer	5	

解析で使用した実験データに関する著者名とデータ数の一覧を示す。

3. 数値解析のための仮定

本研究では、終局限界状態を仮定し、係数倍荷重載荷時における柱の K 値に着目して、剛結接合とした場合の K 値と比較することによって end-plate 系接合を有する鋼骨組の剛結度に関する検討を行うこととした。図-2 に本数値解析に用いた一層一径間、二層一径間、二層二径間の半剛結鋼骨組を示す。図中に各骨組の柱番号、形状寸法および各部材の使用形鋼の呼称を示している。いずれの場合も奥行き中心間隔は 300 in と仮定している。本研究では AISC-LRFD の設計基準に従うこととしているため、使用単位は米国の慣用単位に、形鋼の呼称についても同設計基準に従っている。なお、1 in = 2.54 cm であり、W a × b において、a は H 形鋼の高さ (in)、b は 1 ft (= 12 in) 当たりの重さ (lb) を意味している (1 lb = 0.454 kgf)。

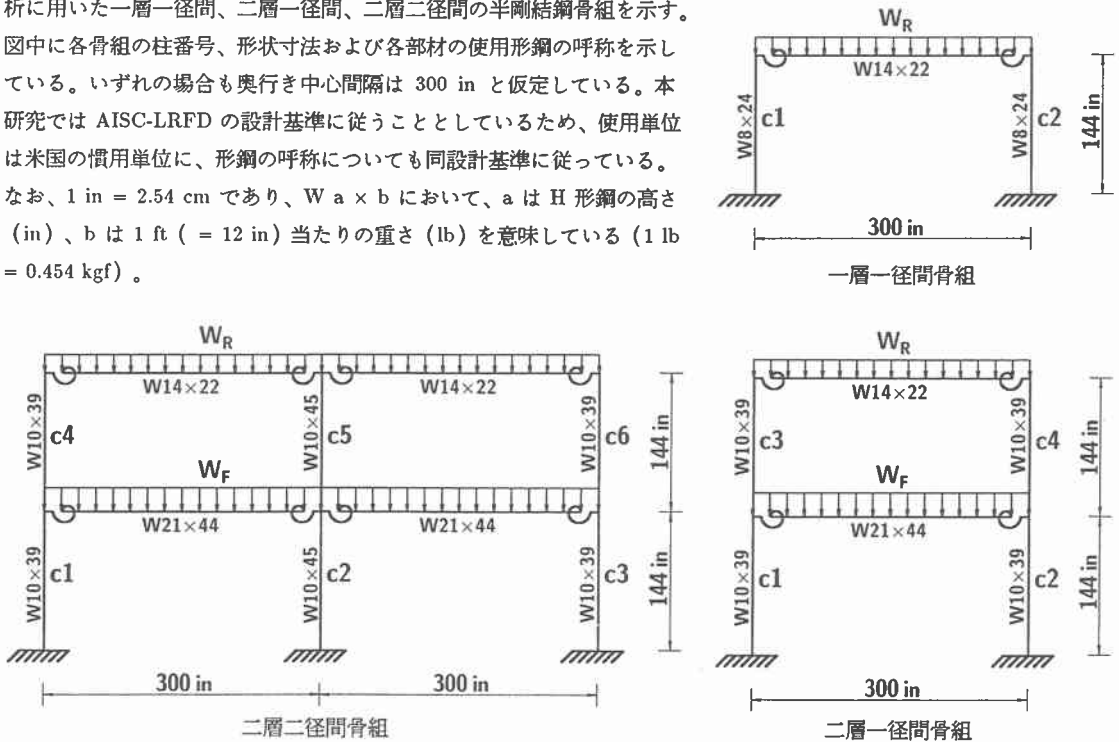


図-2 解析に用いた骨組形式の一覧

表-2 各荷重強度一覧

	死荷重 (D)	活荷重 (L)
床版部	68 psf	40 psf
屋根部	20 psf	20 psf

(1 psf = 4.89 kgf/m²)

接合部接線剛性算定のための載荷荷重は、本研究が分岐問題であることより、死荷重 (D)、活荷重 (L) からなる鉛直等分布荷重のみとしている。表-2 に各荷重強度の一覧を示す。組み合わせ荷重については、終局限界状態を仮定していることより、 $1.2D + 1.6L + 0.5L_r$ の係数倍荷重を用い、床版部、屋根部に作用する等分布荷重はそれぞれ $W_F = 0.3033 \text{ kip/in}$ 、 $W_R = 0.0708 \text{ kip/in}$ としている。なお、 $1 \text{ kip} = 0.454 \text{ tf}$ 、 $1 \text{ kip/in} = 17.874 \text{ tf/m}$ である。

半剛結接合部の非線形な剛性特性を評価するために、実験値の代用として、修正 exponential モデルを採用することとした。図-3 に本解析で使用した extended end-plate 接合の実験結果 (図中の○印) の一例と、このモデルによって表される非線形な接合部の $M - \theta_r$ 曲線 (図中の実線) を示している。

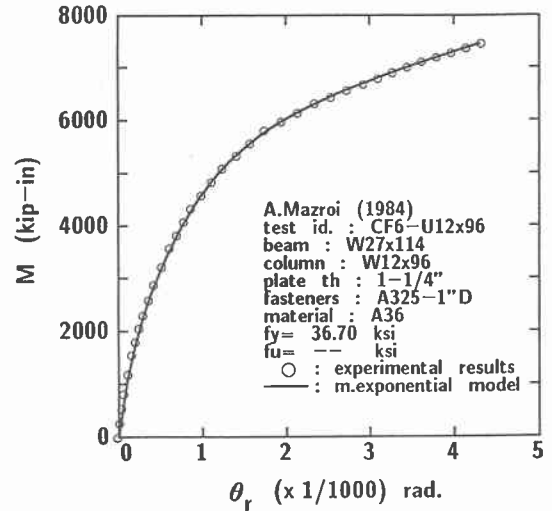


図-3 extended end-plate 接合の一例 (data no.75)

4. 数値解析結果

数値解析は、表-1 に示されている全ての実験データ (144 個) を対象として行った。実験結果 (修正 exponential モデルで代用) を直接適用した場合の K 値は、剛結接合を仮定して算定された K 値に対する比 (k^*) を取って整理している。各実験データの剛結度に関する検討は、縦軸に k^* 、横軸に接合部初期剛性 (R_{ki}) の常用対数 $\log_{10} R_{ki}$ を取って行っている。なお、本研究では、設定した三種類の骨組に対して、横移動骨組、横拘束骨組とした場合のそれぞれについて数値解析を行っていることより、以下分けて検討を行うこととする。

4.1 横移動骨組の場合

はじめに、各骨組の k^* の分布に関して検討を行う。図-4 に一層一径間骨組の c1 柱、図-5 (a)、(b) に二層一径間骨組の c1、c3 柱、図-6 (a)、(b) に二層二径間骨組の c2、c5 柱の k^* の分布図を示している。図中、 K_{rigid} は剛結接合を仮定する場合の K 値を表している。図より、全骨組とも初期剛性が 10^6 (kip-in/rad) 以上の値から k^* が 1.0 近傍に分布していることがわかる。特に、一層一径間骨組の k^* は他の骨組に比べ、1.0 近傍への分布の度合いが良いようである。これは、屋根部の載荷荷重が床版部のそれに比較して小さいため、半剛結接合部の接線剛性が大きく評価され、剛結接合に近い挙動を示すためと考えられる。二層一径間、二層二径間骨組の k^* の分布を見ると、両骨組とも二層目の方が一層目よりもばらつきが大きく、特に初期剛性の値が小さい場合ほど k^* が大きな値を示していることがわかる。

次に、+5% のばらつきを考慮し、初期剛性の値が 10^6 (kip-in/rad) 以上の場合について、接合部の剛結度に関する検討を行った。表-3 に解析結果の一覧を示している。表より、一層一径間骨組については、初期剛性の値が 10^6 (kip-in/rad) 以上の実験デー

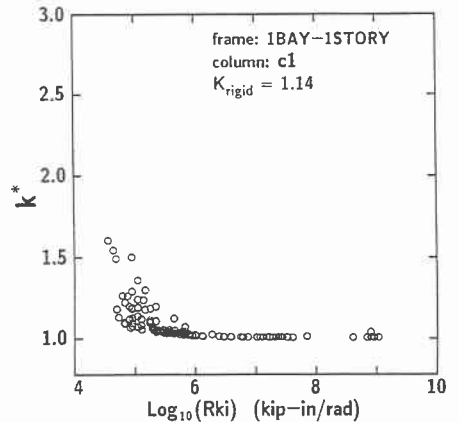
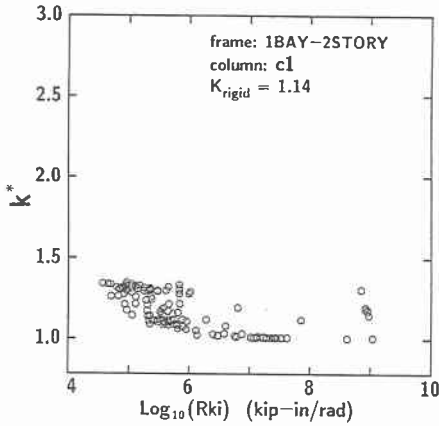
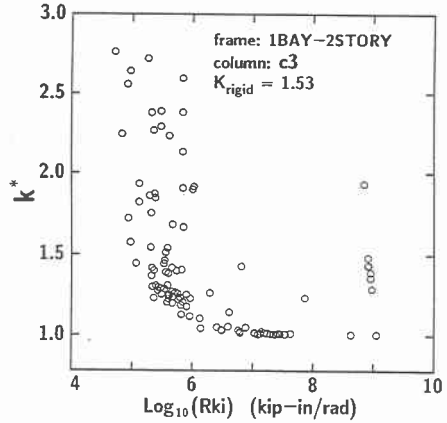


図-4 一層一径間骨組の k^* の分布図

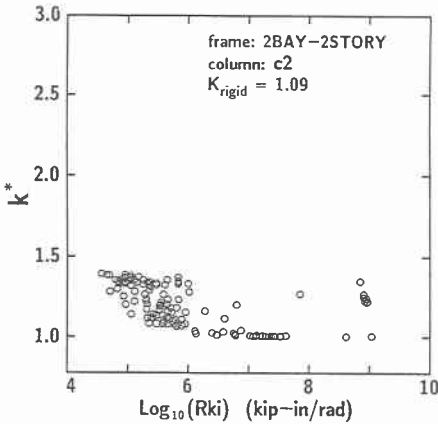


(a) c1 柱 (一層目)

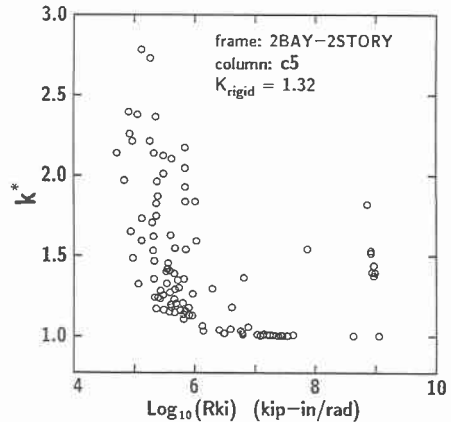


(b) c3 柱 (二層目)

図-5 二層一径間骨組の k^* の分布図



(a) c2 柱 (一層目)



(b) c5 柱 (二層目)

図-6 二層二径間骨組の k^* の分布図

タに対して、全て剛結接合と見なせることがわかる。また、二層一径間、二層二径間骨組については、それぞれ 68 %、61 % 以上のデータが剛結接合と仮定できることがわかる。さらに、一層目の柱の方が剛結接合と見なせる割合が多いこともわかる。

4.2 横拘束骨組の場合

図-7 に一層一径間骨組の c1 柱、図-8 (a)、(b) に二層一径間骨組の c1、c3 柱、図-9 (a)、(b) に二層二径間骨組の c2、c5 柱の k^* の分布図を示している。

表-3 横移動骨組の k^* についての解析結果一覧

骨組	柱番号	$R_{ki} \geq 10^6$ (kip-in/rad)	$k^* \leq 1.05$	剛結度の割合 (%)
一層一径間	c1	44	44	100
二層一径間	c1	44	31	70.5
	c3	44	30	68.2
二層二径間	c1	44	31	70.5
	c2	44	31	70.5
	c4	44	27	61.4
	c5	44	29	65.9

各骨組の k^* の分布については、横移動骨組の場合と同様、初期剛性が 10^6 (kip-in/rad) 以上の値から 1.0 近傍に分布していることがわかる。更に、一層一径間骨組の k^* の分布が他の骨組と比較して良いことも横移動骨組の場合と同様である。二層一径間、二層二径間骨組の k^* の分布については、横移動骨組の場合とは異なり、一層目の柱の K 値が二層目のそれよりも若干ばらつきが大きいようである。横拘束骨組に関しても初期剛性の値が 10^6 (kip-in/rad) の場合について、剛結度に関する検討を行った。表-4 に解析結果の一覧を示している。表より、一層一径間骨組については、全ての実験データに対して剛結接合と見なすことができ、二層一径間、二層二径間骨組については、それぞれ 77%、70% 以上のデータが剛結接合と仮定できることがわかる。

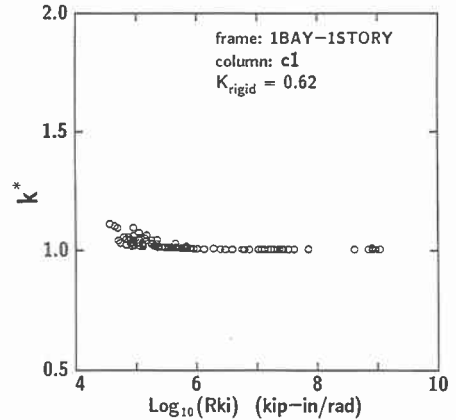
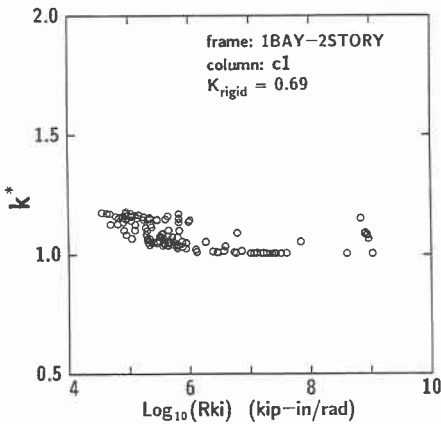
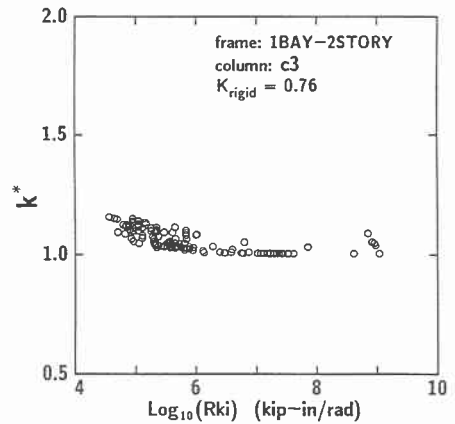


図-7 一層一径間骨組の k^* の分布図

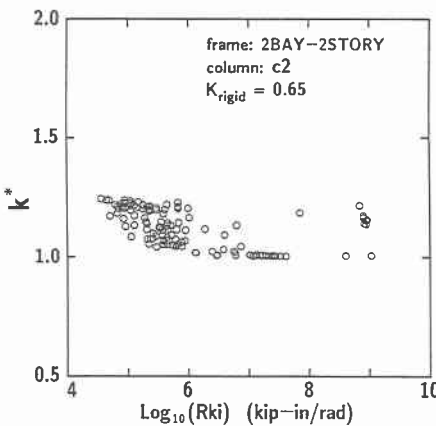


(a) c1 柱 (一層目)

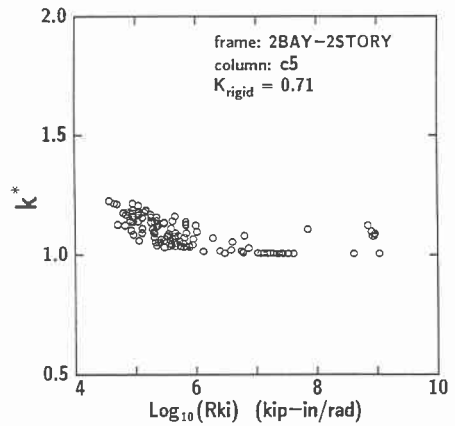


(b) c3 柱 (二層目)

図-8 二層一径間骨組の k^* の分布図



(a) c2 柱 (一層目)



(b) c5 柱 (二層目)

図-9 二層二径間骨組の k^* の分布図

表-4 横拘束骨組の k^* についての解析結果一覧

骨組	柱番号	$R_{ki} \geq 10^6$ (kip-in/rad)	$k^* \leq 1.05$	剛結度の割合 (%)
一層一径間	c1	44	44	100
二層一径間	c1	44	34	77.3
	c3	44	41	93.2
二層二径間	c1	44	35	79.5
	c2	44	31	70.5
	c4	44	40	90.9
	c5	44	31	70.5

5. まとめ

end-plate 系接合を有する鋼骨組の剛結度に関する検討を行うために、接合部剛性に関するデータベースを用い、係数倍荷重載荷時における柱の有効座屈長係数 (K 値) に着目して数値解析を行った。本数値解析では、end-plate 系接合を適用して求められた K 値を剛結接合を仮定する場合の K 値と比較する形で評価検討を行っている。本解析結果より、 10^6 (kip-in/rad) 以上の初期剛性を有する実験データは、一層一径間骨組では、横移動、横拘束骨組の場合とも 100 %、二層一径間骨組では、それぞれ 68 %、77 %、二層二径間骨組では、61 %、70 % 以上の割合で剛結接合と見なせることが数値的に明らかになった。これらの結果は係数倍荷重載荷時の材端モーメントや使用荷重載荷時の横移動量を用いた検討結果と類似なものとなっている。

参考文献

- 1) Hasan, R., Kishi, N., and Matsuoka, K.G. : Updated Data Base: Study on End-Plate Connection's Rigidity, Proceeding of ASCE-EMD Speciality Conference, University of Colorado at Boulder, USA, Vol.2, pp.1350-1353, May, 1995.
- 2) American Institute of Steel Construction, Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Buildings 2nd Edition, Chicago, IL., 1993.
- 3) Chen, W.F. and Lui, E.M. : Stability design of steel frames, CRC Press, Inc., 1991.
- 4) 岸 徳光, 後藤芳顕, W.F. Chen, 小室雅人: 半剛結横拘束骨組柱の有効座屈長係数算定法, 鋼構造年次論文報告集, 日本鋼構造協会, Vol.3, pp.53-60, 1995.
- 5) 岸 徳光, 後藤芳顕, 小室雅人: 半剛結横移動骨組柱の有効座屈長係数の算出方法について, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.41A, pp.153-162, 1995.