既往の実験報告に基づく鋼構造梁端接合部の力学性能に関する研究

A STUDY ON CHARACTERISTICS OF STEEL BEAM-TO-COLUMN CONNECTIONS BASED ON REPORTED TEST RESULTS

山崎真司*, 見波 進**, 張 宏***, 香林 洋****

*Shinji YAMAZAKI, Susumu MINAMI, Hong ZHANG
and Hiroshi KORIN*

Primary factors, which have an influence upon the maximum strength of beam-to-column connections, were investigated based on the test results reported in papers. The relationship between the test conditions and the maximum strength for 263 specimens was studied. It was found that the maximum strength of connections for fast loading and/or in low temperature can be estimated using the same method as that for static loading in room temperature in consideration of a variation in yield point and tensile strength caused by strain rate and/or temperature. The conditions in which the maximum stress of beam flange is nearly equal to or exceeds the tensile strength of coupon tests were investigated.

Keywords : *Beam-to-column connection, Maximum bending strength, Ultimate strength ratio*
柱梁接合部, 最大曲げ耐力, 最大強度上昇率

1. 序

1994年のノースリッジ地震, 1995年の兵庫県南部地震において, 鋼構造骨組柱梁接合部における破断現象が数多く発生した。本研究は既往の研究^{1)~31)}に報告されている実験結果に基づき鋼構造耐震骨組梁端接合部の力学性能に関して, 耐震設計に資する情報を提供することを目的とする。

梁材の塑性エネルギー吸収は, 主に材端から塑性化の程度に応じて順次中央に向かって拡大する梁部材の塑性化領域によって行われる。塑性化領域の拡大は材端モーメントの上昇を伴う。従って, 梁端接合部には部材の塑性化領域の拡大を可能にする耐力が必要である。

終局限界状態に対する梁端接合部の設計は, 基本的には当該部材に要求される変形能力(エネルギー吸収能力)に基づき接合部の必要耐力が設定され, 接合部の保有する耐力がこの必要耐力以上であることを確認することにより行われると考えられる。現在の耐震規定では梁端の塑性化領域長について標準的な値が想定され, これに基づき材端接合部の必要耐力の標準値がいわゆる保有耐力接合条件として示されている。接合部の形状等を限定すれば接合部の設計を変形能力を直接の指標として行うことも考えられるが, 多様な柱梁断面の組合せに対する適用性を考慮すれば, 接合部設計で用いる直接の指標は耐力であると考えられる。

梁端接合部の力学性能に関しては既に多くの実験的研究が行われ

ている。これらの研究において, 接合部の力学性能は殆どの場合変形能力(エネルギー吸収能力)で評価されている。筆者等は次の理由で耐力指標による評価も必要であると考え, 部材のエネルギー吸収能力, 言い換えれば接合部耐力の部材全塑性モーメントからの上昇には, 鋼材の降伏比, フランジ最大強度上昇率(最大曲げ耐力に達したときのフランジ平均軸方向応力度とフランジ材の引張強さの比), ウェブ部分の継手効率等が関係する。変形能力指標を用いることにより, 接合部の総合的な評価を行うことは可能であるが, これら個々の要因に対する分析を行うことは一般に困難である。既往の文献において, フランジが脆性破断した実験結果が数多く報告されているが, 多くの文献ではフランジ最大強度上昇率についての検討結果が示されていない。たとえば, 最大強度上昇率が1以上であれば, 脆性破断であっても溶接部を含むフランジ端部の基本性能は確保されていると判断される。このとき十分な変形能力が得られていないのであれば, その主な原因はフランジ端部強度以外にある。この様に, 力学性能に係わる個々の要因について検討を行うことは接合部の力学的性能を明確にする上で重要であると考え, また, 接合部の設計を耐力指標で行うことを前提とすれば, 実験結果を耐力に関する指標で整理する必要があると考える。

本研究は既往の多数の実験結果を, 耐力に関する共通の指標で整理し, 終局限界状態に対する接合部設計に有用な資料を提供しようとするものである。

* 東京都立大学大学院工学研究科建築学専攻 教授・工博

** 東京都立大学大学院工学研究科建築学専攻
助手・博士(工学)

*** バコーポレーション 修士(工学)
(元東京都立大学 大学院生)

**** 東京都立大学大学院工学研究科建築学専攻 修士課程

Prof., Dept. of Architecture, Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.

Research Assoc., Dept. of Architecture, Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.
Tomoe Corporation, M. Eng.

Graduate Student, Dept. of Architecture, Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan Univ.

2. 梁端接合部の力学性能

2.1 性能指標

地震時に経験する様な繰返し履歴を受ける梁の弾塑性挙動は一方方向載荷時の挙動と対応づけられることが知られている。すなわち、繰返し載荷時の荷重変形関係から求めたスケルトン曲線は一方方向載荷時の荷重変形関係と対応する。

梁の限界耐力は座屈(局部座屈, 横座屈)あるいは接合部の破断によって決る。本研究では限界耐力が梁端接合部の破断で決る場合を検討対象とする。

破断で限界づけられる梁端接合部の最大モーメント $M_{\max}$, あるいはその無次元表示であり次式で定義される最大耐力係数 α は、後に述べる特殊な場合を除いて繰返し載荷時と一方方向載荷時で概ね等しい値となる。

$$\alpha = \frac{M_{\max}}{M_p} \quad (1)$$

ここで、 $M_{\max}$: 梁端接合部の最大曲げ耐力

M_p : 梁母材の全塑性モーメント

梁材の塑性エネルギー吸収は、そのほとんどが梁端近傍の塑性化した梁母材でなされる。梁端接合部に要求される性能は、塑性領域を確保するために必要な耐力であると捉え、本研究では(1)式の α を梁端接合部の力学的性能を表す指標とする。

既往の実験における載荷は、振動台実験の場合を除いて予め決められた載荷プログラムによって行われている。載荷プログラムは一方方向載荷、漸増振幅繰返し載荷、一定振幅繰返し載荷に大別される。

繰返し載荷プログラムの例を図1に示す。漸増振幅繰返し載荷では、一定振幅で1~3回程度の繰返しを行い順次振幅を増加させている。このような繰返し載荷時の α は一方方向載荷時の α と概ね対応する。

一方、一定振幅繰返し載荷実験では、変位振幅を一定(変位振幅の大きさは $\pm 3\delta_p \sim \pm 5\delta_p$ 程度、 δ_p : 降伏変位)に保って数10回の繰返しを行い破断に至らしめている。(数10回の一定振幅で破断しない場合は更に振幅を増加させて繰返し載荷を行い破断に至らしめている。) このような繰返し載荷時の α は多くの場合、一方方向載荷時の α より低い値である。地震応答では最大振幅付近での繰返し数は数回程度であり、一定振幅繰返し載荷実験の様な状況で限界状態に至ることは無いと考えられる(2.2参照)。従って、一定振幅繰返し載荷実験から得られる α は耐震設計で用いるには適当で無いと判断する。

また、フランジが早期に(平均応力度が鋼材の引張強さに対してかなり低い値で)脆性破断する場合にも、一方方向載荷時の α と繰返し載荷時の α は対応しない場合があると考えられる。梁の塑性エネルギー吸収を期待した耐震設計を行う場合、フランジは早期に脆性破断しないことが接合部設計の前提であると考えられる。本研究では、フランジが早期に脆性破断することを避ける条件については考察するが、このような破断が生じるときの α の評価法については検討の対象外とする。

図1 載荷プログラムの例

以上より、本研究では既往の実験報告の中で、一方方向載荷、漸増繰返し載荷および振動台実験を行った試験体を対象として、梁端接合部の最大曲げ耐力について検討する。

2.2 最大耐力係数とエネルギー吸収能力

材端最大モーメントとエネルギー吸収量とは密接な関係がある。

一方方向載荷の場合、最大耐力係数と塑性変形倍率の関係は文献32)に基づき、理論的に求めることが出来る³³⁾。繰返し載荷の場合、最大耐力係数と累積塑性変形倍率の関係は載荷履歴の影響を受ける。地震応答時の最大耐力係数と累積塑性変形倍率の関係は、梁中間荷重の影響も考慮して概略推定することが出来る³³⁾。

2.3 検討方法

梁端接合部の最大曲げ耐力 $M_{\max}$ を次式で表す。

$$M_{\max} = Z_{pf} \cdot \sigma_{f\max} + M_w \quad (2)$$

ここで、 $\sigma_{f\max}$: 接合部が最大曲げ耐力に達したときのフランジの平均軸方向応力度

Z_{pf} : フランジ断面による塑性断面係数

M_w : 最大曲げ耐力時にウェブで伝達されるモーメント

$\sigma_{f\max}$ は、応力集中^{注1)}、端部の歪拘束等の影響で材の引張強さ以上となる場合、あるいは歪集中部からの亀裂発生・成長により引張強さ以下になる場合があると考えられる。

$\sigma_{f\max}$ についての検討は、次式で定義される最大強度上昇率 β を用いて行う。

$$\beta = \frac{\sigma_{f\max}}{\sigma_{uf}} \quad (3)$$

ここで、 σ_{uf} : フランジ材の引張強さ

ところで、実験より得られる値は $M_{\max}$ であり、 $\sigma_{f\max}$ は実験結果より直接求めることが出来ない。本研究では、 M_w を文献34)に基づき推定し、推定した M_w と実験結果による $M_{\max}$ を(2)式に代入して $\sigma_{f\max}$ を求めることとする。本研究における M_w の算定法を付録1に示す。最大耐力係数 α は、 β を用いて次式で表される。

$$\alpha = \frac{\beta \sigma_{uf} Z_{pf} + M_w}{M_p} \quad (4)$$

2.4 歪速度・温度の影響

梁端接合部の性能に及ぼす歪速度・温度の影響を調べることを目的として、高速載荷実験または低温下での実験あるいはそれらを同時に考慮した実験が行われている。これらの実験において素材の降伏点、引張強さは、歪速度・温度により変化するので α , β の算定の際には、歪速度・温度の影響を考慮した降伏点、引張強さを用いなければならない。

一部の文献を除いて使用鋼材の機械的性質に及ぼす歪速度・温度の影響についての資料は報告されていない。本研究では、文献35)に基づき、下式により降伏点 σ_y 、引張強さ σ_u を推定した。

$$\left. \begin{aligned} 40\text{キロ鋼の場合: } \sigma_y / \sigma_{y0} &= 0.66 \exp(3570/R) \\ &\sigma_u / \sigma_{u0} = 0.83 \exp(1561/R) \\ 50\text{キロ鋼の場合: } \sigma_y / \sigma_{y0} &= 0.72 \exp(2425/R) \\ &\sigma_u / \sigma_{u0} = 0.79 \exp(1573/R) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここで、 σ_y , σ_u : 歪速度・温度を考慮した降伏点、引張強さ

σ_{y0} , σ_{u0} : JIS引張試験により得られる降伏点、引張強さ

$R = T \ln(A/\dot{\epsilon})$: 歪速度・温度パラメータ³⁶⁾ (6)

T : 温度(K), $A = 10^8 (1/s)$, $\dot{\epsilon}$: 歪速度 (1/s)

3. 試験体一覧

本研究では、文献1)～31)に報告されている試験体のうち、以下のi)～vi)に該当するものを除いた試験体を検討対象とした。

i) 一定振幅で多数回繰返し載荷を行っているもの (2.1参照)

ii) パネルゾーンの降伏が先行するもの

試験体の一部にパネルゾーンの降伏が先行するものがある。パネルゾーンの降伏が梁端接合部の限界耐力に及ぼす影響についての検討は今後の課題とし、本研究ではパネルゾーンの降伏が先行する場合を対象外とする。(付録2)

iii) 梁材の降伏点、引張強さが不明なもの

iv) 梁端仕口形状が特殊なもの(仕口部で梁フランジ幅を広げているもの、ウェブが接合されていないもの等)

v) フランジ突合せ溶接部に意図的に溶接欠陥を挿入したもの

vi) 実験結果の耐力に疑問のあるもの

同一形状、同一鋼材を用いたシリーズの実験結果で、座屈あるいは破断による低下が生じていないと考えられる載荷ステップの範囲において、一部の試験体の荷重が明らかに低い場合が見られた¹⁹⁾。これら耐力に疑問のある試験体は対象外とした。

検討対象とした試験体は計263体である。試験体の一覧を表1に示す。表1の(a)～(m)の内容は以下である。

(a) 本論文で用いる試験体番号

(b) 文献番号

(c) 文献で用いられている試験体名

(d) 試験体形式 (図2参照)

X: X型又は十字型, T: T型, S: 単純梁型, C: 片持梁型

(e) 柱断面形状

H: H形断面, B: 箱形断面, P: 円形中空断面, 無印: 柱無し

(f) ウェブ接合方法

W: 溶接接合, B: 高力ボルト接合

(g) スカラップ

S: 従来型, R: 改良型, N: ノンスカラップ

(h) 載荷

M: 一方向載荷, C: 漸増振幅繰返し載荷

D: 振動台実験

(i) 載荷速度

無印: 静的載荷, ○: 高速載荷

(j) 試験温度

無印: 室温, △: 0℃, ○: 0℃未満

(k) 破断状況

無印: 載荷中に梁フランジ又はダイアフラムに破断が生じている。(以下では破断と呼ぶ)

○: 上記以外^{注2)}。(以下では未破断と呼ぶ)

(l) (1)式による α の値

(m) (3)式による β の値

図2 試験体形式

表1 試験体一覧

(a) 試験体 番号	(b) 文 献	(c) 原 試 験 体 名	(d) 試 験 体 形 式	(e) 柱 断 面 形	(f) ウ ェ ブ 接 合	(g) ス カ ラ ッ プ	(h) 載 荷	(i) 高 速	(j) 低 温	(k) 破 断 状 況	(l) M _{max} Mp	(m) $\frac{\sigma}{\sigma_{fmax}}$ $\frac{\sigma}{\sigma_{uf}}$
1	2)	TC-NS1M	S	H	W	N	M			○	1.646	1.084
2	4)	BF-S-4L	S	B	W	S	C				0.954	0.657
3	4)	BF-S-4M	S	B	W	S	C			○	1.415	1.073
4	4)	B-S-4L	S	B	W	S	C				1.282	0.930
5	4)	B-S-4M	S	B	W	S	C				1.276	0.954
6	4)	NB-R-4L	S	B	W	R	C			○	1.287	0.934
7	4)	NB-R-4M	S	B	W	R	C				1.270	0.949
8	4)	NB-R-4H	S	B	W	R	M			○	1.247	0.961
9	4)	BF-S-5L	S	B	W	S	C				1.226	0.969
10	4)	BF-S-5H	S	B	W	S	C				1.185	1.024
11	4)	B-S-5L	S	B	W	S	C				1.204	0.949
12	4)	B-S-5H	S	B	W	S	C				1.167	1.005
13	4)	NB-S-5L	S	B	W	S	C				1.292	1.031
14	4)	NB-R-5L	S	B	W	R	C				1.342	1.076
15	4)	NB-R-5M	S	B	W	R	C				1.230	1.043
16	4)	NB-R-5H	S	B	W	R	C				1.225	1.064
17	4)	B-S-6L	S	B	W	S	C				1.181	1.021
18	4)	B-S-6H	S	B	W	S	C				1.192	1.095
19	4)	NB-S-6M	S	B	W	S	C				1.133	0.993
20	4)	NB-R-6L	S	B	W	R	C			○	1.208	1.049
21	4)	NB-R-6H	S	B	W	R	C			○	1.221	1.126
22	5)	B-1	S	B	W	N	C				1.398	1.024
23	5)	H-1	S	H	W	N	C				1.324	0.838
24	5)	B-O	S	B	W	N	C			○	1.347	0.980
25	5)	H-O	S	H	W	N	C			○	1.320	0.834
26	10)	A	S	B	B	S	C				1.243	0.987
27	10)	B	S	B	B	S	C				1.220	0.973
28	10)	C	S	B	B	S	C				1.250	1.000
29	10)	D	S	B	B	S	C				1.247	0.998
30	10)	E	S	B	B	S	C				1.291	1.036
31	10)	D2	S	B	B	S	C				1.291	1.036
32	10)	D3	S	B	B	S	C				1.282	1.069
33	10)	D4	S	B	B	S	C				1.224	1.084
34	13)	E2E-FS12	X	H	W	S	C			○	1.362	0.978
35	13)	E4E-FS12-1	X	H	W	S	C				1.217	0.852
36	14)	S800-R1	C		W	S	M			○	1.364	0.954
37	14)	S800-R2	C		W	S	C				1.306	0.893
38	14)	S800-R3	C		W	S	C				1.364	0.954
39	14)	S800-S1	C		W	S	M			○	1.355	0.959
40	14)	S800-S2	C		W	S	C				1.360	0.964
41	14)	S800-S3	C		W	S	C				1.413	1.020
42	14)	S400-F-R1	C		W	S	M			○	1.341	0.957
43	14)	S400-F-R2	C		W	S	C			○	1.341	0.957
44	14)	S400-F-R3	C		W	S	C			○	1.341	0.957
45	14)	S400-F-R1	C		W	S	M			○	1.340	0.935
46	14)	S400-F-R2	C		W	S	C			○	1.606	1.139
47	14)	S400-F-R3	C		W	S	C			○	1.568	1.110
48	15)	H-1-1	T	H	B	S	C				1.409	1.378
49	15)	H-1-2	T	H	B	S	C				1.470	1.314
50	15)	H-1-3	T	H	B	S	C				1.516	1.293
51	15)	H-2-1	T	H	B	S	C				1.184	1.415
52	15)	H-2-2	T	H	B	S	C				1.285	1.292
53	15)	H-2-3	T	H	B	S	C				1.403	1.229
54	15)	H-3-1	T	H	B	S	C				1.126	1.384
55	15)	H-3-2	T	H	B	S	C				1.226	1.326
56	15)	B12-1-1	T	B	B	S	C				1.256	1.260
57	15)	B12-1-2	T	B	B	S	C				1.293	1.172
58	15)	B19-1-1	T	B	B	S	C				1.298	1.305
59	15)	B19-1-2	T	B	B	S	C				1.354	1.237
60	15)	B19-1-S1	T	B	B	S	C				1.378	1.361
61	15)	B19-1-S2	T	B	B	S	C				1.233	1.314
62	16)	I9-8	T	B	B	S	C				1.128	0.957
63	16)	I9-5	T	B	B	S	C				1.160	0.955
64	18)	FW-1	C		W	S	C			○	1.410	0.920
65	18)	FW-2	C		W	S	C			○	1.199	0.791
66	18)	DW-1	C		W	S	C			○	1.423	0.929
67	18)	DW-2	C		W	S	C			○	1.286	0.854
68	18)	FW01	C		W	R	C				1.285	1.157
69	18)	FW02	C		W	R	C			○	1.281	1.149
70	18)	DW01	C		W	R	C				1.464	1.299
71	18)	DW02	C		W	R	C			○	1.340	1.173
72	18)	Y1-1	S	H	W	S	C				1.285	1.054
73	18)	Y1-2	S	H	W	S	C				1.296	1.065
74	18)	Y1-3	S	H	W	N	C				1.346	1.027
75	18)	Y1-4	S	H	W	N	C				1.312	0.994
76	18)	Y1-5	S	H	B	S	C				1.277	1.178
77	18)	Y1-6	S	H	B	S	C				1.248	1.141
78	19)	SE523F-Kb1	T	B	W	S	C				1.333	1.091
79	19)	SE526F-Kb1	T	B	W	S	C				1.333	1.091
80	19)	SE523F-Kb2	T	B	W	S	C				1.313	1.073
81	19)	SE526F-Kb2	T	B	W	S	C				1.293	1.055
82	19)	SE5A3F-Kb1	T	B	W	R	C			○	1.323	1.082
83	19)	SE5A6F-Kb1	T	B	W	R	C			○	1.323	1.082
84	19)	SE5A3F-Kb2	T	B	W	R	C				1.363	1.118
85	19)	SE5A3F-Kb3	T	B	W	R	C			○	1.353	1.109
86	19)	SE5A3F-Kb4	T	B	W	R	C				1.343	1.100
87	19)	SE5A6F-Kb2	T	B	W	R	C			○	1.412	1.163
88	19)	SE5A6F-Kb3	T	B	W	R	C			○	1.392	1.145
89	19)	SE5B3F-Kb1	T	B	W	R	C			○	1.392	1.132
90	19)	SE5B6F-Kb1	T	B	W	R	C			○	1.343	1.088
91	19)	SE5B3F-Kb2	T	B	W	R	C				1.363	1.105
92	19)	SE5B6F-Kb2	T	B	W	R	C				1.382	1.124
93	19)	SE523-Ch1	T	B	W	S	C			○	1.251	1.034
94	19)	SE526-Ch1	T	B	W	S	C			○	1.316	1.094
95	19)	SE526F-Ch2	T	B	W	S	C			○	1.316	1.094
96	19)	SE5A3-Ch1	T	B	W	R	C			○	1.447	1.214
97	19)	SE5A6-Ch1	T	B	W	R	C			○	1.307	1.086
98	19)	SE5B3-Ch1	T	B	W	R	C			○	1.269	1.040
99	19)	SE5B6-Ch1	T	B	W	R	C			○	1.372	1.134
100	19)	SB623-Kn1	T	B	W	S	C				1.223	1.045
101	19)	SB623-Kn2	T	B	W	S	C				1.155	0.980
102	19)	SB627-Kn1	T	B	W	S	C				1.213	1.036
103	19)	SB627-Kn2	T	B	W	S	C				1.145	0.971
104	19)	SB623-Kn3	T	B	W	S	C				1.243	1.063

表1 試験体一覧 (続き)

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)
105	19)	SB6Z3-Kn4	T	B	W	S	C				1.233	1.054
106	19)	SB6Z7-Kn3	T	B	W	S	C				1.301	1.120
107	19)	SB6Z7-Kn4	T	B	W	S	C				1.350	1.166
108	19)	SB6Z3F-Kn5	T	B	W	S	C				1.311	1.129
109	19)	SB6Z7F-Kn5	T	B	W	S	C				1.350	1.166
110	19)	SB6A3-Kn1	T	B	W	R	C				1.243	1.063
111	19)	SB6A7-Kn1	T	B	W	R	C				1.311	1.129
112	19)	SB6A3-Kn2	T	B	W	R	C				1.262	1.082
113	19)	SB6A7-Kn2	T	B	W	R	C				1.321	1.138
114	19)	SB6A3F-Kn4	T	B	W	R	C				1.213	1.036
115	19)	SB6A3F-Kn4	T	B	W	R	C				1.321	1.138
116	19)	SB6A7F-Kn4	T	B	W	R	C				1.321	1.138
117	19)	SB6A7F-Kn4	T	B	W	R	C				1.360	1.175
118	19)	SB6B3-Kn1	T	B	W	R	C			○	1.184	0.997
119	19)	SB6B7-Kn1	T	B	W	R	C				1.155	0.969
120	19)	SB6B3-Kn2	T	B	W	R	C				1.321	1.127
121	19)	SB6B7-Kn2	T	B	W	R	C				1.301	1.109
122	19)	SB6B3F-Kn3	T	B	W	R	C				1.253	1.062
123	19)	SB6B3F-Kn4	T	B	W	R	C				1.301	1.108
124	19)	SB6B7F-Kn3	T	B	W	R	C				1.292	1.099
125	19)	SB6B7F-Kn4	T	B	W	R	C				1.321	1.127
126	19)	SB6Z3-Ky1	T	B	W	S	C				1.194	1.017
127	19)	SB6Z7-Ky1	T	B	W	S	C				1.253	1.073
128	19)	SB6Z3-Ky2D	T	B	W	S	C		○		1.267	1.086
129	19)	SB6Z7-Ky2D	T	B	W	S	C		○		1.274	1.091
130	19)	SB6Z3F-Ky3D	T	B	W	S	C		○		1.342	1.157
131	19)	SB6Z7F-Ky3D	T	B	W	S	C		○		1.351	1.166
132	19)	SB6A3F-Ky1	T	B	W	R	C				1.331	1.147
133	19)	SB6A7F-Ky1	T	B	W	R	C				1.341	1.157
134	19)	SB6A3F-Ky2D	T	B	W	R	C		○		1.296	1.113
135	19)	SB6A7F-Ky2D	T	B	W	R	C		○		1.375	1.188
136	19)	SB6B3F-Ky1	T	B	W	R	C				1.321	1.127
137	19)	SB6B7F-Ky1	T	B	W	R	C			○	1.350	1.155
138	19)	SB6B3F-Ky2D	T	B	W	R	C		○		1.380	1.182
139	19)	SB6B7F-Ky2D	T	B	W	R	C		○		1.380	1.183
140	19)	SE6Z2-0s1	T	B	W	S	C				1.208	1.030
141	19)	SE6A2-0s1	T	B	W	R	C			○	1.344	1.168
142	19)	SE6B2-0s1	T	B	W	R	C			○	1.315	1.120
143	19)	FB6Z3-0s1	T	B	B	S	C				1.278	1.060
144	19)	FB6Z7-0s1	T	B	B	S	C				1.288	1.070
145	19)	FB6Z3F-0s2	T	B	B	S	C				1.227	1.014
146	19)	FB6Z7F-0s2	T	B	B	S	C				1.338	1.116
147	19)	FB6B3-0s1	T	B	B	R	C			○	1.248	1.061
148	19)	FB6B7-0s1	T	B	B	R	C				1.278	1.089
149	19)	FB6B3F-0s2	T	B	B	R	C				1.348	1.154
150	19)	FB6B7F-0s2	T	B	B	R	C				1.308	1.117
151	19)	FB6Z3F-0k1	T	B	B	S	C				1.358	1.135
152	19)	FB6Z3F-0k2	T	B	B	S	C				1.248	1.033
153	19)	FB6Z7F-0k1	T	B	B	S	C				1.308	1.088
154	19)	FB6Z7F-0k2	T	B	B	S	C				1.107	0.902
155	19)	FB6B3F-0k1	T	B	B	R	C				1.268	1.079
156	19)	FB6B3F-0k2	T	B	B	R	C				1.207	1.024
157	19)	FB6B7F-0k1	T	B	B	R	C				1.207	1.024
158	19)	FB6B7F-0k2	T	B	B	R	C			○	1.248	1.061
159	20)	SGBB	T	B	W	S	C				1.246	1.039
160	20)	NJBB	T	B	W	N	C				1.387	1.145
161	20)	NCBB	T	B	W	N	C				1.413	1.169
162	20)	NSBB	T	B	W	N	C				1.449	1.202
163	20)	SGPB	T	B	W	S	C				1.332	1.121
164	20)	NJPB	T	B	W	N	C				1.352	1.141
165	20)	SGBRM	T	B	W	S	C				1.148	0.932
166	20)	NCBRM	T	B	W	N	C			○	1.200	0.957
167	20)	NJPRM	T	B	W	N	C				1.293	1.065
168	20)	NJPRD	T	B	W	N	C				1.287	1.060
169	20)	SGBRS	T	B	W	S	C			○	1.280	1.036
170	20)	SGPRS	T	B	W	S	C				1.271	1.029
171	20)	NJPRS	T	B	W	N	C			○	1.315	1.068
172	21)	SMS0	T	H	W	S	M			△	1.545	1.309
173	21)	SMS2	T	H	W	S	M			○	1.453	1.221
174	21)	SMS4	T	H	W	S	M			○	1.206	1.022
175	21)	SMQ0A	T	H	W	S	M			○	1.396	1.218
176	21)	SMQ0B	T	H	W	S	M			○	1.452	1.270
177	21)	SMQ2	T	H	W	S	M			○	1.254	1.109
178	21)	SMD0	T	H	W	S	M			○	1.351	1.188
179	21)	SMD2	T	H	W	S	M			○	1.164	1.040
180	21)	SMD4	T	H	W	S	M			○	1.125	1.025
181	21)	SCS0	T	H	W	S	C			△	1.322	1.110
182	21)	SCS2	T	H	W	S	C			○	1.461	1.227
183	21)	SCD0	T	H	W	S	C			○	1.367	1.203
184	21)	NMS0	T	H	W	N	M			△	1.797	1.365
185	21)	NMS4	T	H	W	N	M			○	1.665	1.245
186	21)	NMS6	T	H	W	N	M			○	1.515	1.122
187	21)	NMQ0	T	H	W	N	M			○	1.689	1.309
188	21)	NMQ2	T	H	W	N	M			○	1.588	1.247
189	21)	NMQ4	T	H	W	N	M			○	1.458	1.174
190	21)	NMQ6	T	H	W	N	M			○	1.470	1.239
191	21)	NMD2	T	H	W	N	M			○	1.561	1.291
192	21)	NMD4	T	H	W	N	M			○	1.546	1.270
193	21)	NMD6	T	H	W	N	M			○	1.224	0.989
194	21)	NCS0	T	H	W	N	C			△	1.765	1.337
195	21)	NCD0	T	H	W	N	C			○	1.689	1.341
196	21)	NCD2	T	H	W	N	C			○	1.585	1.324
197	22)	KNS-1	T	B	W	N	C			○	1.298	1.108
198	22)	KNS-2	T	B	W	N	C			△	1.322	1.133
199	22)	KND-1	T	B	W	N	C			○	1.294	1.105
200	22)	KND-2	T	B	W	N	C			△	1.273	1.084
201	22)	KND-3	T	B	W	N	C			△	1.286	1.096
202	22)	KSS-1	T	B	W	R	C			△	1.303	1.183
203	22)	KSS-2	T	B	W	R	C			△	1.203	1.083
204	22)	KSD-2	T	B	W	S	C			△	1.176	1.056
205	23)	No.1	S	B	W	N	C				1.319	0.971
206	23)	No.2	S	B	W	R	C				1.231	0.944
207	24)	C28-CS	T	B	B	R	C				1.114	1.139
208	24)	C28-CB	T	B	B	R	C				1.130	1.113
209	24)	C16-CS	T	B	B	R	C			○	1.356	1.147
210	24)	C16-CB	T	B	B	R	C			○	1.365	1.084
211	25)	WB	T	B	B	S	C				1.247	1.020
212	25)	WB-LS	T	B	B	R	C				1.149	0.930
213	25)	WB-SC	T	B	B	S	C				1.149	0.930

表1 試験体一覧 (続き)

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)
214	25)	WW-LS	T	B	W	R	C			○	1.286	1.049
215	26)	BH1	T	B	W	S	C				1.484	1.111
216	26)	BH2	T	B	W	R	C				1.435	1.072
217	26)	BH3	T	B	W	N	C				1.457	1.047
218	26)	BH4	T	B	W	N	C				1.436	1.030
219	26)	BH5	T	B	W	N	C				1.537	1.111
220	26)	BH6	T	B	W	N	C				1.632	1.188
221	26)	BH7	T	B	W	S	C				1.318	0.977
222	26)	BH8	T	B	W	N	C				1.509	1.089
223	26)	BH9	T	B	W	N	C				1.399	1.001
224	26)	BH10	T	B	W	N	C				1.591	1.155
225	26)	BH11	T	B	W	N	C				1.672	1.220
226	26)	BH12	T	B	W	N	C				1.621	1.179
227	26)	BH13	T	B	W	N	C				1.670	1.218
228	26)	BH14	T	B	W	N	C				1.687	1.232
229	27)	A25-1	T	B	W	R	C				1.331	1.183
230	27)	A25-2	T	B	W	R	C				1.309	1.159
231	27)	B25-1	T	B	W	R	C				1.318	1.169
232	27)	B25-2	T	B	W	R	C				1.287	1.136
233	27)	C25	T	B	W	S	C				1.216	1.061
234	27)	D25-1	T	B	W	S	C				1.302	1.153
235	27)	D25-2	T	B	W	N	C				1.432	1.239
236	27)	A12-1	T	B	W	R	C				1.102	1.030
237	28)	A1S	T	B	W	N	C				1.470	1.074
238	28)	B1S	T	B	W	N	C				1.566	1.153
239	28)	B2L	T	B	W	N	C				1.528	1.122
240	29)	No.1	T	B	W	N	C				1.506	1.190
241	29)	No.2	T	B	B	S	C				1.233	0.985
242	29)	No.3	T	B	B	S	C				1.243	0.994
243	30)	No.1-1	T	B	W	S	C			△	1.099	0.788
244	30)	No.1-2	T	B	W	S	C			△	1.182	0.856
245	30)	No.2-1	T	B	W	S	C		○	△	0.808	0.552
246	30)	No.2-2	T	B	W	S	C		○	△	0.621	0.401
247	30)	No.3-1	T	B	W	R	C			△	1.275	0.931
248	30)	No.3-2	T	B	W	R	C			△	1.141	0.822
249	30)	No.6-1	T	B	W	N	C			△	1.475	1.093
250	30)	No.6-2	T	B	W	N	C			△	1.236	0.899
251	30)	No.7-1	T	B	B	R	C			△	1.350	1.006
252	30)	No.7-2	T	B	B	R	C			△	1.361	1.015
253	30)	No.8-1	T	B	B	R	C		○	△	1.454	1.084
254	30)	No.8-2	T	B	B	R	C		○	△	1.409	1.048
255	30)	No.10-1	T	B	B	R	C			△	1.485	1.055
256	30)	No.10-2	T	B	B	R	C			△	1.568	1.123
257	31)	No.1	T	B	W	S	D		○	○	1.462	1.100
258	31)	No.2	T	B	W	S	D		○	○	1.503	1.116
259	31)	No.3	T	B	W	R	D		○	○	1.518	1.128
260	31)	No.4	T	B	W	R	D		○	○	1.573	1.173
261	31)	No.5	T	B	W	N	D		○	○	1.508	1.099
262	31)	No.6	T	B	W	S	D		○	○	1.548	1.137
263	31)	No.7	T	B	W	S	D		○	○	1.541	1.094

図5 高速・低温の α 図6 高速・低温の β

なお、未破断の試験体についても α 、 β を算出し、以下の検討図にプロットしているが、これらは参考値である。これらの値に対して試験体が破断していないことを示している。

表1の全試験体について、 α 、 β の値を実験で報告されている以下の破断形式に区別して図3、4に示す。

横軸は表1の試験体番号である。

図7 Rと α の関係

破断形式 延性破断：破断面の殆どが延性破面

脆性破断：破断面の殆どが脆性破面

延性→脆性破断：延性破面から脆性破面に移行

延性破断した試験体の β は、全て1付近あるいは1以上である。脆性破断した試験体の一部は β が1に比べてかなり低い。これらの試験体の塑性エネルギー吸収量はほとんど0かあるいは少ない。脆性破断した試験体で、 β が1付近あるいは1以上のものも多くある。これらの β は、延性破断した試験体の β とはほぼ同程度の範囲に分布している。延性→脆性破断試験体の β は、ほぼ0.9～1.2程度の範囲に分布している。

脆性破断した試験体のうち β が延性破断した場合と同程度であるものが高比率で存在している。これらの試験体については脆性破断は生じているが、溶接部を含むフランジ端部の基本的性能は確保されていると考えられる。

4. 耐力に影響を及ぼすと考えられる諸要因に関する分析

4.1 歪速度・温度

表1の試験体における高速・低温試験の速度範囲は、加力点の変位速度で2～100cm/s、梁端フランジの歪硬化域の歪速度で0.0065～0.7 1/sである。また、低温時の実験における試験体温度の範囲は0℃～-60℃である。

高速・低温試験および0℃未満の低温試験を行っている計52体の試験体については、2.4で述べた方法で歪速度・温度の影響を考慮した降伏点、引張強さを求め、これを用いて表1の α 、 β を算出している。

図5、図6において、上記の考慮をせず引張試験の結果より得られた σ_y 、 σ_u を用いて α 、 β の値を評価した場合を○印で、歪速度・温度の影響を考慮した σ_y 、 σ_u を用いて評価した場合を●印でプロットしている。考慮の有無による α 、 β の違いはかなり大きいことが分かる。高速・低温試験の結果より α 、 β を評価する場合は、歪速度・温度の影響を考慮した降伏点、引張強さをを用いる必要がある。

図7は、文献21)の試験体を対象として静的・室温時に対する

図8 全試験体の最大耐力係数 α 図9 全試験体の最大強度上昇率 β

実験結果と、載荷速度・温度以外は同一条件で速度あるいは温度のみを変えた実験結果に対する α の値を、(6)式による歪速度・温度パラメーターRを変数とし、プロットしたものである。 α の算定において、歪速度・温度の影響を考慮した降伏点、引張強さをを用いている。鋼材の性質として低温、高速になる程(Rが小さくなる程)降伏点、引張強さ共に上昇する傾向があり、また、降伏点の上昇率が引張強さの上昇率より大きい。従って、歪速度・温度以外が同一条件の試験体については、Rが小さい程降伏比が大きくなり、 α が小さくなる傾向を示すことが予想される。図7のプロットを見ると、Rと α の間には全体的に上述の傾向が窺える。Rが最も小さい○印(ノンスラップ)のプロットは α の低下がやや大きい。 β 値でみると、他の○印プロットに対する試験体の場合は1.12以上であるのに対し、Rが最も小さい試験体の場合は0.99である。この試験体については、歪速度・温度が β に若干影響を与えていることが予想されるが、 β の値はほぼ1であり、その影響は顕著ではない。

図8、図9は、全試験体について、高速・低温あるいは低温試験を行っている試験体を区別して、 α 、 β の値をプロットしたものである。○、●は破断した試験体、□、■は未破断の試験体の結果を示す。●、■は高速・低温あるいは0℃未満の低温試験を行っている試験体である。

歪速度・温度が梁端接合部の曲げ耐力に影響を及ぼす要因として、高速・低温時の破壊靱性の変化が考えられる。図9を見ると、高速・低温条件下で破断した試験体の β は、2体を除いて1以上であり、静的・常温・静荷の場合の値と同程度の範囲に分布している。 β が1に比べてかなり低い2体の試験体は、シャルピー吸収エネルギーの値が比較的小さく、かつ、裏当金組立溶接を連続隅肉溶接としているものである(4.4参照)。本研究で検討対象としている既往の実験結果の範囲では、上記の場合を除けば、歪速度・温度による破壊靱性の変化が β に及ぼす影響は顕著でないことが分かる。

図10 フランジ材のYRと α の関係 図11 フランジ材のYRと β の関係 図12 γ と α の関係 図13 γ と β の関係

4.2 降伏比

フランジ材の降伏比YRと α 、 β との関係を図10、図11に示す。

梁端接合部の継手効率(4.3参照)が1でかつ β も1であれば、 α はYRの逆数になる。継手効率は0.55~1の範囲にあり、また、 β のばらつきも大きいことから、図10で、YRと α の相関は見られない。また図11より、YRが小さい領域での β のばらつきが大きいものの、全体として β に対するYRの影響は特に見られない。

4.3 梁端接合部の継手効率

梁端接合部の曲げ耐力に関する継手効率 γ を次式で定義する。

$$\gamma = \frac{M_{uj}}{M_u}$$

$$M_u = Z_{pf} \cdot \sigma_{uf} + Z_{pw} \cdot \sigma_{uw}$$

$$M_{uj} = Z_{pf} \cdot \sigma_{uf} + M_w$$

ここで、 Z_{pw} : 梁ウェブ部分の塑性断面係数

σ_{uw} : 梁ウェブ材の引張強さ

γ と α 、 β との関係を図12、図13に示す。

図12より、早期に脆性破断した試験体(図中に点線で囲む)と未破断の試験体を除くと、 γ と α とは予想される様に正の相関を有しており、 γ を大きくすることがエネルギー吸収能力を高める上で効果がある。

図13より、 γ が小さい方が β が大きくなる傾向が見られる。 γ が小さい程フランジ材端における応力集中度が高いことがその要因であると考えられる^{注1)}。

図13の×印は、文献15)に報告されている材端でウェブを全く接続していない片持梁試験体の実験結果より得られた β の値を参考としてプロットしたものである。この β 値は実験結果の最大耐力から直接求められたものである。×印の β 値は、×印近傍の他の実験結果の β 値と同程度の値であることが分かる。

実験は広範囲の γ について行われているが通常の構造物における γ は0.75程度以上である。 γ が0.75以上の試験体を対象とすると、 β

図14 γE_0 と β の関係 E_0 (J) 図15 スカラップ別の γE_0 と β の関係

値が0.96と1.22の間に試験体の80%が分布している。

4.4 シャルピー吸収エネルギー、スカラップ

梁フランジ材のVノッチシャルピー吸収エネルギー(0℃)

γE_0 と β の関係を図14に示す。裏当金組立溶接が連続隅肉溶接(以下では連続隅肉と記す)の場合変形能力が低下する(すなわち、最大耐力が低下する)場合があるので、該当するプロットに一印を付けた。

試験体の γE_0 は21.6J~243Jの範囲にある。 γE_0 が90J以上のプロットについてみると、連続隅肉の場合も含めて、 β は1付近あるいは1以上(概ね1以上)で、 β に対する γE_0 の影響は小さいと考えられる。一方 γE_0 が60J以下のプロットについてみると、 β が1付近に達しないものがある。

図15は、図14のプロットをスカラップの型で分けて表示したものである。

従来型スカラップの場合は、 γE_0 が50J以下で連続隅肉の場合に、 β のかなり低い試験体がある。連続隅肉でない破断試験体の β は0.9以上である。

改良型スカラップで β の最も小さい試験体は、やや大きな溶接欠陥(深さ6mmで幅70mmの未溶着部および深さ7mmで長さ35mmのスラグ巻込部)を有しその箇所から脆性破断したもので、この試験体の β が低い要因は溶接欠陥にあると考えられる。この試験体を除くと、 β は0.9以上である。

ノンスカラップの場合も、破断試験体の β は全て0.9以上となっている。

以上より、前記の溶接欠陥を有する試験体を除く破断試験体について、ノンスカラップ工法、改良型スカラップ工法および連続隅肉としない従来型スカラップ工法の場合は β 値は0.9以上であること、従来型スカラップ工法で連続隅肉の場合は γE_0 がおおよそ100J以上で

あれば β は 0.9 以上であることが分かる。現実の接合部では連続隅肉以外にも局所的な歪集中や切欠きの発生が予想されるので、それらに起因する耐力低下を出来るだけ避けるためには、 $\sqrt{E_0}$ は 100 J 程度以上であることが望ましいと言える。

4.5 β が概ね 1 以上となる条件

梁の塑性エネルギー吸収を期待する場合はフランジが早期に脆性

破断しないことが接合部設計の前提であると考えられるので (2.1), β が概ね 1 以上となる条件について考える。

従来型スカラップの場合で $\sqrt{E_0}$ が 50 J 以下のとき、連続隅肉をした試験体の中に β がかなり低い値で破断しているものがある。 β を概ね 1 以上とするためには、連続隅肉としないことを条件とすることは妥当であろう。

連続隅肉試験体および前述の溶接欠陥を有する試験体を除くと、破断試験体の β は全て 0.9 以上である。

以上より、明らかな溶接欠陥を有する場合を除いた試験体については、連続隅肉を避ければ $\sqrt{E_0}$ にかかわらず β は概ね 1 以上であるといえるが、 $\sqrt{E_0}$ が小さい実験シリーズが限られていることから、 $\sqrt{E_0}$ についての条件は図 14 からは導き出せないと考えべきであろう。 β が概ね 1 以上となるためには、 $\sqrt{E_0}$ についても何らかの条件が必要であると考えられるが、この条件を明らかにするためには実験データの更なる蓄積が必要である。

5. 最大耐力係数

裏当金組立溶接を連続隅肉溶接としているものおよび明らかな溶接欠陥を有する試験体を除いた破断試験体の β を図 16 に示す。 β の変動幅はやや大きいといえるが、ほとんどが 1 以上である。連続隅肉を行わない場合を対象とすれば、 β を 1 として (4) 式により最大耐力係数 α を評価する方法が考えられる。

実験値の $\alpha_c(\alpha)$ と $\beta=1$ とした計算値の $\alpha_c(\alpha)$ の関係を図 17 に示す。図 17 よりこの方法は多くの場合 α を安全側に評価することが分かる。評価式の精度は必ずしも高いものではないが、 M_w の評価精度、 β のばらつきを考えると、現状では設計式として明解であると考えられる。

6. 結論

既往の論文に報告されている実験結果に基づき、梁端接合部の力学性能を耐力指標を用いて検討した。最大耐力と全塑性モーメントの比を最大耐力係数 α 、最大耐力に達したときのフランジ平均軸方向応力度とフランジ材の引張強さの比を最大強度上昇率 β とし、 α 、 β を指標として実験結果に対する分析を行った。高速・低温載荷試験の α 、 β は、歪速度・温度による降伏点、引張強さの変化を考慮して算定した。本論文で得られた結論は以下の様にまとめられる。

1) 延性破断した試験体の β は概ね 1 以上である。脆性破断した試験体については、一部の試験体で β が 1 に比べかなり低いものもある

図16 連続隅肉を除く破断試験体の最大強度上昇率 β

図17 実験値と計算値の α

が、 β が延性破断した試験体と同程度であるものも多数ある。

2) フランジ材端の早期脆性破断を避け β が概ね 1 以上となるための条件のひとつは、裏当金組立溶接を連続隅肉溶接としないことである。シャルピー吸収エネルギーについての条件も必要であると考えられるが、現状ではシャルピー吸収エネルギーの低い場合の実験資料が不足しており十分な検討が出来ない。シャルピー吸収エネルギーについての条件を明らかにすることは今後の課題である。

3) 本論文で検討対象とした実験の範囲では、歪速度・温度が β に及ぼす影響は顕著ではない。

4) 鋼材のシャルピー吸収エネルギーが既往の実験に用いられた試験体鋼材と同程度であることを前提とすると、裏当金組立溶接を連続隅肉溶接としなければ、 α は次式において β を 1 とおき概ね安全側に評価することが出来る。

$$\alpha = (\beta \sigma_{uf} Z_{pf} + M_w) / M_p$$

ここで、 M_w は付録 1 の方法で算出する。

謝辞 本研究にあたり、多くの貴重な実験結果を使用させていただきました。文献の原著者の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 藤本盛久, 橋本篤秀, 中込忠男, 金鍾洛, 松村弘道: 柱はり溶接接合部の破壊特性の検討, 日本建築学会構造系論文報告集, 第349号, pp.81~90, 1985.3
- 2) 中込忠男, 矢部喜堂, 坂本真一: 梁スカラップの有無がH形断面柱に溶接接合されるH形鋼梁端部の力学的性状に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文報告集, 第432号, pp.51~59, 1992.2
- 3) 藤田哲也, 中込忠男, 水崎祐一: 角形鋼管柱を用いた柱梁溶接接合部の力学的性能に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1537~1538, 1992.8
- 4) 山本昇, 石井匠, 森田耕次: はり端溶接接合部の力学的挙動におよぼすスカラップの影響, 構造工学論文集, Vol.39B, pp.493~506, 1993.3
- 5) 真喜志卓, 山本昇, 筒井茂行, 藤沢一善, 上森博, 石井匠, 森田耕次: ノンスカラップ梁端溶接接合部の変形能力に関する実験 その1~その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1257~1260, 1993.9
- 6) 田淵基嗣, 金谷弘, 田中丈之, 園田隆一: 角形鋼管柱・梁仕口溶接部における改良型スカラップ工法の提案, 鋼構造年次論文報告集, 第1巻, pp.65~72, 1993.7
- 7) 中込忠男, 藤田哲也, 田中一男, 鳴沢明雄: 現場溶接型柱梁溶接接合部の力学的性能, 鋼構造年次論文報告集, 第1巻, pp.101~108, 1993.7
- 8) 坂本真一, 矢部喜堂, 真瀬伸治: 現場溶接接合形式の柱梁接合部におけるH形鋼梁端部の力学的性能, 日本建築学会構造系論文報告集, 第456号, pp.69~79, 1994.2
- 9) 日比野展, 吉野治行, 新藤忠徳: 柱・梁溶接接合部に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C1, pp.1461~1462, 1994.9
- 10) 松尾世志浩, 寺岡勝, 森田耕次, 佐々木聡, 藤原敏夫: 混用接合形式の角形鋼管柱・H形鋼梁接合部における力学的挙動に与える接合部詳細の影響 その1~その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C1, pp.1473~1476, 1994.9
- 11) 坂本真一, 矢部喜堂: 現場溶接接合形式の柱梁接合部における梁端部の曲げ耐力, 鋼構造年次論文報告集, 第2巻, pp.337~344, 1994.11
- 12) 田淵基嗣, 田中丈之, 濱名正洋: 改良型スカラップ工法による通しタイプアラム形式角形鋼管柱・梁仕口に関する研究, 鋼構造年次論文報告集,

第2巻, pp.345~352, 1994.11

- 13) 藤本盛久, 青木博文, 中込忠男, 西澤淳: 電炉広幅平鋼及び電炉厚鋼板 (SM490A) を用いた柱・梁接合部の実験, 鋼構造論文集, 第1巻4号, pp.127~157, 1994.12
- 14) 立山英二, 湯田誠, 田中利幸: スカラップを有する実大鉄骨梁の単調および繰返し加力下における力学的特性と破壊性状に関する研究, 鋼構造論文集, 第3巻10号, pp.49~60, 1996.6
- 15) 田中淳夫, 増田浩志, 高木大, 久田哲彰: 鋼構造梁端混用接合部の力学的性状に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第484号, pp.121~130, 1996.6
- 16) 山下英明, 甲津功夫, 佐野直樹: 鋼構造混用接合を用いた柱梁接合部の力学特性, 鋼構造年次論文報告集, 第4巻, pp.81~88, 1996.11
- 17) 寺田岳彦, 矢部喜堂, 真瀬伸治, 坂本真一, 宇野寿郎: 動的荷重下における鉄骨柱梁接合部の力学的挙動に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第492号, pp.121~129, 1997.2
- 18) 社団法人日本溶接協会: 建築鉄骨の地震被害と鋼材セミナー テキスト, 第5巻, pp.125~158, 1997.6
- 19) 日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会: 通しダイアフラム形式で角形鋼管に接合されるH形鋼梁の塑性変形能力に関する実大実験 報告書, 1997.7
- 20) 中込忠男, 藤田哲也, 南圭祐, 李建, 村井正敏: 柱梁溶接接合部におけるノンスカラップ工法梁端ディテールに関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第498号, pp.145~151, 1997.8
- 21) 中込忠男, 山田文富, 中野秀二, 岡希光, 的場耕, 村井正敏: 高速載荷による柱梁溶接接合部の力学的性能に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第499号, pp.115~122, 1997.9
- 22) 會田和広, 中込忠男, 山田文富, 村井正敏, 中野秀二, 的場耕: 60キロ級高性能鋼を用いた柱梁溶接接合部の力学的性能に関する実験的研究 その1~その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C1, pp.391~394, 1997.9
- 23) 土井義則, 田中清, 藤原敏夫, 佐々木聡, 米山真一郎, 寺岡勝, 森田耕次: 冷間成形角形鋼管柱-H形鋼梁接合部の耐震性能に及ぼす接合部詳細の影響に関する実験的研究 その1~その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C1, pp.419~422, 1997.9
- 24) 増田浩志, 田中淳夫, 錢鋼: 鋼構造梁端混用接合部の力学性能に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第509号, pp.151~158, 1998.7
- 25) 宇佐美徹, 金子洋文: スカラップとウェブ接合形式が梁の塑性変形能力に及ぼす影響について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C1, pp.353~354, 1998.9
- 26) 的場耕, 中込忠男, 山田文富, 村井正敏, 會田和広: ノンスカラップ工法を用いた柱梁溶接接合部の変形能力に関する実験的研究 その1~その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C1, pp.355~358, 1998.9
- 27) 阿部洋, 田中輝明, 巖文成, 江野口正光, 金子洋文, 梅国章: 柱梁接合部の変形性能に及ぼす梁及び仕口製作方法の影響 その1~その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C1, pp.365~368, 1998.9
- 28) 白井嘉行, 中込忠男, 村上武夫, 青木博文, 的場耕, 會田和広, 高橋英二: 通しダイアフラム形状が柱梁溶接接合部の変形能力に及ぼす影響に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C1, pp.377~378, 1998.9
- 29) 安田聡, 泉満, 成原弘之: 箱形断面柱内ダイアフラム形式柱梁接合部の実大実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C1, pp.395~396, 1998.9
- 30) 森田耕次ほか14名: 低靱性鋼による柱梁接合部の破断性状 その1~その6, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C1, pp.407~418, 1998.9
- 31) 秋山宏, 山田哲, 松本由香, 松岡三郎, 小倉桂治, 北村春幸: 実大振動台実験による柱梁接合部の破壊性状に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第512号, pp.165~172, 1998.10
- 32) Ben Kato: Deformation Capacity of Steel Structures, Journal of Constructural Steel Research, Vol.17 Nos 1-2, pp.33-94, 1990
- 33) 藤村啓介, 山崎真司: 鋼構造梁部材のエネルギー吸収量と梁端接合部の必要耐力, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C1, pp.195~196, 1999.9
- 34) 日本建築学会: 鋼構造限界状態設計指針・同解説, pp.44~49, 1998
- 35) 石川信行, 小林泰男, 東田幸四郎, 前中浩, 豊田政男: 構造用鋼の変形・破壊特性に及ぼす歪速度の影響, 鋼構造年次論文報告集, 第4巻, pp.113~120, 1996.11
- 36) P.E.Bennet, G.M.Sinclair: Parameter Representation of Low-Temperature Yield Behavior of Body-Centered Cubic Transition Metals, Transactions of the ASME, pp.518~524, 1966.6

注 1)

有孔引張材が最大耐力に達したときの最小断面位置の平均軸方向応力度は引張強さ以上となるが, これは材軸方向の断面積変化に伴う応力集中のためであると考えられる。梁端接合部においても, ウェブ接合にHTBが用いられている場合あるいは柱材が角型鋼管の場合等で, ウェブ接合部で伝達されるモーメントが梁母材ウェブで伝達されるモーメントより小さい場合には, 有孔引張材接合部の場合と同様, 応力集中により, 材端フランジ断面軸方向平均応力度の最大値は応力集中が無い場合より上昇することが予想される。ここで対象としている応力集中は, 切欠先端部に生じる様な局所的な応力集

中とは異なり, 部材断面あるいは接合法に係わる巨視的な意味での応力集中である。

注 2)

梁フランジ又はダイアフラムに破断が生じていない試験体で, 局部座屈による耐力低下, 柱部材破断あるいは実験の都合により破断に至らずに実験を終了している試験体。

注 3)

柱材の降伏点の変化が β に及ぼす影響は小さい。ここで検討している試験体について, 降伏点を1.1F~1.5Fの範囲で変えたことによる β の変化は0.3%以下である。

付録 1

M_w はウェブの接合法および柱断面形状に応じて, 以下の方法により算定する。(文献34)と同一の記号については, 説明を省略する。)

1) ウェブ接合が溶接接合の場合

a) 柱がH形断面材または円形鋼管材のとき

$$M_w = \{t_w(H - 2t_f - 2S_r)^2 \sigma_{uw}\} / 4$$

σ_{uw} : ウェブ材の引張強さ

b) 柱が箱形断面材のとき

$$M_w = t_w(X - S_r)(H - 2t_f - X - S_r) \sigma_{yw}$$

(付1)

Xは文献34)の(3.71)式により算定する。

2) ウェブ接合が高力ボルト接合の場合

a) 柱がH形断面材または円形鋼管材のとき

$$M_w = \min\{B M_{wul}, B M_{wu2}, B M_{wu3}, B M_{wu4}\}$$

(付2)

$B M_{wul} \sim B M_{wu2}$ は文献34)の(3.74)~(3.77)式により算定する。

b) 柱が箱形断面材のとき

(付1)式, (付2)式により M_w を算定し, 小さい方を M_w とする。

ただし, (付1)式において t_w はガセットプレート板厚とする。

付録 2

パネル耐力比(R_p)が1未満の試験体をパネルゾーンの降伏が先行する試験体とする。 R_p は, パネルゾーンが降伏するときの梁端モーメントと梁の全塑性モーメントの比で, 図付2(a), (b)に示す十字型, T型試験体について, それぞれ次式で算定する。

$$R_p = \frac{M_1}{M_p}$$

$$M_1 = \frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{V_p}{a} \cdot \frac{1-\lambda}{1-\lambda-\mu} \sqrt{1-n^2}$$

ここで,

M_p : 梁全塑性モーメント, σ_{yp} : パネル部鋼材の降伏点

$V_p = D_B D_C t_p$ H形断面柱のとき

$$= \frac{16}{9} D_B D_C t_p \quad \text{箱形断面柱のとき}$$

$a=1$ T型試験体のとき, $a=2$ 十字型試験体のとき

$$\lambda = \frac{D_C}{\ell_b}, \quad \mu = \frac{D_B}{\ell_c}, \quad n = \frac{\sigma_c}{\sigma_{yp}}$$

t_p : パネル部板厚, σ_c : パネル部軸方向平均応力度

X型試験体の場合は十字型試験体の場合と同様な式で計算する。

ただし $n=0$ とする。

図付1 試験体各部長さ

(1999年4月28日原稿受理, 2000年10月30日採用決定)