

論文 高強度グラウトモルタルを用いた枠付き鉄骨ブレース用 間接接合部の終局耐力

小宮敏明^{*1}, 益尾 潔^{*2}

要旨: 枠付き鉄骨ブレースに用いる間接接合部の終局耐力は、耐震改修指針によると、頭付きスタッドの引張強度のみの関数として評価されている。一方、筆者らのこれまでの実験結果によると、グラウトモルタルの圧縮強度の影響を受けると推察される。本研究では、グラウトモルタルの圧縮強度を変えた実験を行い、間接接合部の破壊機構について考察したうえで、高強度グラウトモルタルを用いた間接接合部の終局耐力の評価方法を明らかにした。

キーワード: 鉄骨ブレース, 間接接合部, グラウトモルタル, 圧縮強度, 終局耐力

1. はじめに

枠付き鉄骨ブレースに用いる間接接合部の終局耐力は、耐震改修指針¹⁾によると、頭付きスタッドの引張強度のみの関数として評価されている。一方、筆者らの実験結果²⁾によると、割フープを用いた場合、その拘束効果によって明らかに影響を受ける。このことから、間接接合部の終局耐力は、頭付きスタッドま

わりに充填された横拘束力に加わるグラウトモルタルの圧縮強度の影響を受けると推察される。本研究では、グラウトモルタルの圧縮強度を変えた実験を行い、高強度グラウトモルタルを用いた間接接合部の終局耐力の評価方法を明らかにする。

表-1 実験概要

試験体		実験因子						実験結果										
		スタッド		横拘束筋		モルタル		F _m (MPa)	Q _{max} (kN)	(s τ _{ju}) _{test} (MPa)	δ _{sm} (mm)	破壊状況						
		間隔 (mm)	p _s (%)	種類	間隔 (mm)	p _w (%)	種類											
No. 1	20-S5-Y3	200 ダブル	1.42	スパ イ ラ ル 筋	50	0.64	Y	30	591	3.47	5.2	各試験体とも、スタッド間をまたぐ斜めひび割れとスタッド軸部に沿ってひび割れが発生した。						
No. 2	20-S5-Y6							60	670	3.94	8.0							
No. 3	20-S5-Y9							90	784	4.61	6.1							
No. 4	20-S5-T7	300 ダブル	0.95				D	100	0.71	T	70		718	4.23	5.9			
No. 5	30-S5-Y3										30		395	2.08	3.4			
No. 6	30-S5-Y6															Y	60	473
No. 7	30-S5-Y9	90	518	2.73	4.9													
No. 8	30-S5-T7	300 ダブル	0.95	D	150	0.47	T	70	532	2.80	5.7	30-S5-Y6, Y9, T7では、スパイラル筋が破断した。						
No. 9	20-H10-Y3							200 ダブル	1.42	割 フ ー プ	100		0.71	Y	30	648	3.81	6.8
No. 10	20-H10-Y6														60	738	4.34	8.0
No. 11	20-H10-Y9	90	893	5.25	9.1													
No. 12	20-H10-T7	300 ダブル	0.95	D	150	0.47	Y	70	833	4.90	8.1	各試験体ともに、界面ひび割れとスタッド間をまたぐ斜めひび割れが発生した。						
No. 13	30-H15-Y3							30	520	2.74	6.5							
No. 14	30-H15-Y6												Y	60	545	2.87	7.5	
No. 15	30-H15-Y9	90	639	3.36	7.7													
No. 16	30-H15-T7	300 ダブル	0.95	D	150	0.47	T	70	623	3.28	6.9	各試験体とも、割フープの破断は認められなかった。						

(注) 1) p_s: スタッド比, p_w: 横拘束筋比, F_m: グラウトモルタルの計画圧縮強度
2) Q_{max}: 最大せん断力, (s τ_{ju})_{test}: 最大せん断強度, δ_{sm}: Q_{max}時のずれ変形量

* 1 (財) 日本建築総合試験所 構造部 構造物試験室 研究員 工修 (正会員)

* 2 (財) 日本建築総合試験所 構造部長 工博 (正会員)

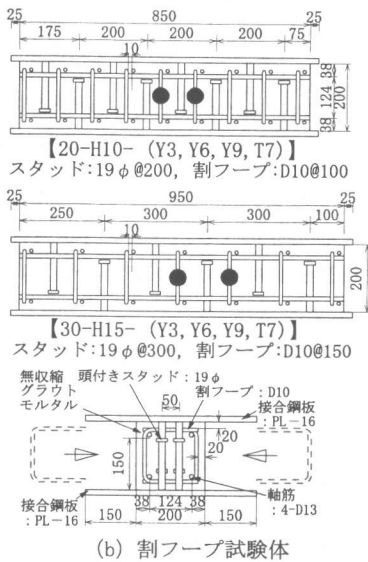
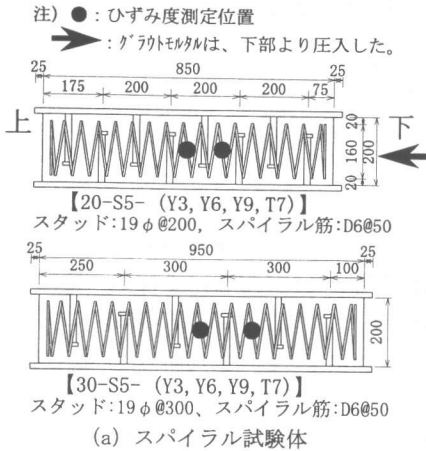


図-1 試験体

2. 実験計画

2.1 実験因子および試験体

実験因子は、表-1に示すように、① グラウトモルタルの圧縮強度、② 横拘束筋の種類（スパイラル筋と割フープ、これらを横拘束筋と呼ぶ）、③ 頭付きスタッドの間隔である。グラウトモルタルは、Yメーカー（酸化カルシウム系）とTメーカー（CSA系）の2種類で、いずれもプレミックスタイプであり、計画圧縮強度 F_m は、30, 60, 70, 90MPaの4水準とした。ただし、 $F_m=30$ MPaのY3は、通常のグラウトモルタルと同様のコンシステンシーを確保するために炭酸カルシウムを混入した。

表-2 供試材料の強度試験結果

(a) グラウトモルタル

モルタル種別	計画強度 (MPa)	間接接合部の実験日材齢			
		ρ (kN/m^3)	σ_m (MPa)	ϵ_{m0} ($\times 10^{-3}$)	E_m (GPa)
Y3	30	20.8	41.4	5.75	19.9
Y6	60	21.1	61.2	5.06	24.0
Y9	90	22.4	101	4.29	32.7
T7	70	23.8	71.3	4.08	30.4

ρ : 単位容積重量、 σ_m : 圧縮強度
 ϵ_{m0} : 圧縮強度時ひずみ度、 E_m : ヤング係数

(b) 鉄筋およびスタッド

使用箇所	種別	材質	σ_{sy} (MPa)	σ_{su} (MPa)	伸び (%)
スタッド	19φ	—	322	463	—
スパイラル筋	D6	—	391	530	30
割フープ	D10	SD295A	357	507	30
軸筋	D13	—	361	506	26

σ_{sy} : 降伏点、 σ_{su} : 引張強度

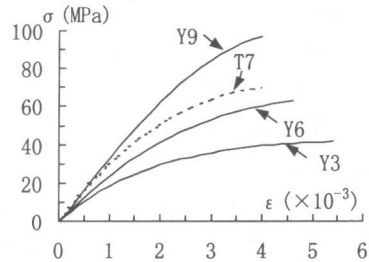


図-2.1 モルタル種別の $\sigma - \epsilon$ 関係

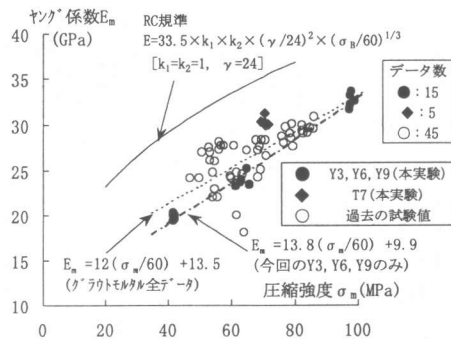


図-2.2 グラウトモルタルの $E_m - \sigma_m$ 関係

試験体の形状寸法および配筋を図-1に示す。各試験体とも、両側の接合鋼板に溶接した頭付きスタッドを重ね継ぎし、横拘束筋を配置したうえで、グラウトモルタルを注入し、間接接合部を構築した。両側ともに、鋼板面とした理由は、前回の実験結果²⁾と比較するためであるが、この場合、加力条件が逆対称となるので、間接接合部の終局耐力の評価が明解になる。

頭付きスタッドの各部寸法は、耐震改修指針¹⁾

による条件を満足する。なお、頭付きスタッドを溶接した鋼板面は黒皮のままとし、グラウトモルタルの養生方法は、注入日より実験日まで、室内空中養生とした。

2.2 供試材料の強度試験

(1) グラウトモルタル

各強度種別とも、グラウトモルタルの圧縮強度試験は、間接接合部の実験日（材齢：21日～24日）にそれぞれ行った。養生方法は現場封かん養生である。

試験結果を表-2(a)、応力 σ とひずみ度 ε の関係を図-2.1に示す。同図の関係は、各強度種別ごとに、供試体各5体の試験結果を平均して求めた。これらによると、各強度種別とも、圧縮強度が大きいくほど、ヤング係数 E_m が大きく、圧縮強度時のひずみ度 ε_{m0} は小さくなる。

そこで、過去の試験結果を含めた同種グラウトモルタルの $E_m - \sigma_m$ 関係を図-2.2に示した。ここに、 σ_m ：グラウトモルタルの圧縮強度。同

図中では、両者の関係の直線回帰式を示すとともに、RC規準³⁾に示された普通コンクリートの関係を比較のために示した。

(2) 頭付きスタッドおよび鉄筋

頭付きスタッドおよび鉄筋の引張試験の結果を表-2(b)に示す。頭付きスタッドの引張試験は、鋼板の両側に頭付きスタッドを接合し、両側スタッドの頭部に引張力を加えて行った。試験結果によると、いずれも母材破断を起こした。

3. 実験方法

実験は、図-3に示すように、両側の接合鋼板を加力用鋼製治具に高力ボルトを用いて取り付け、10MN構造物試験機（使用レンジ：

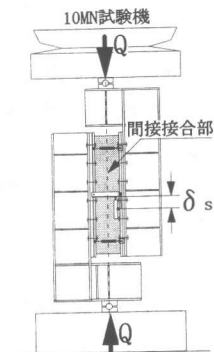


図-3 試験装置

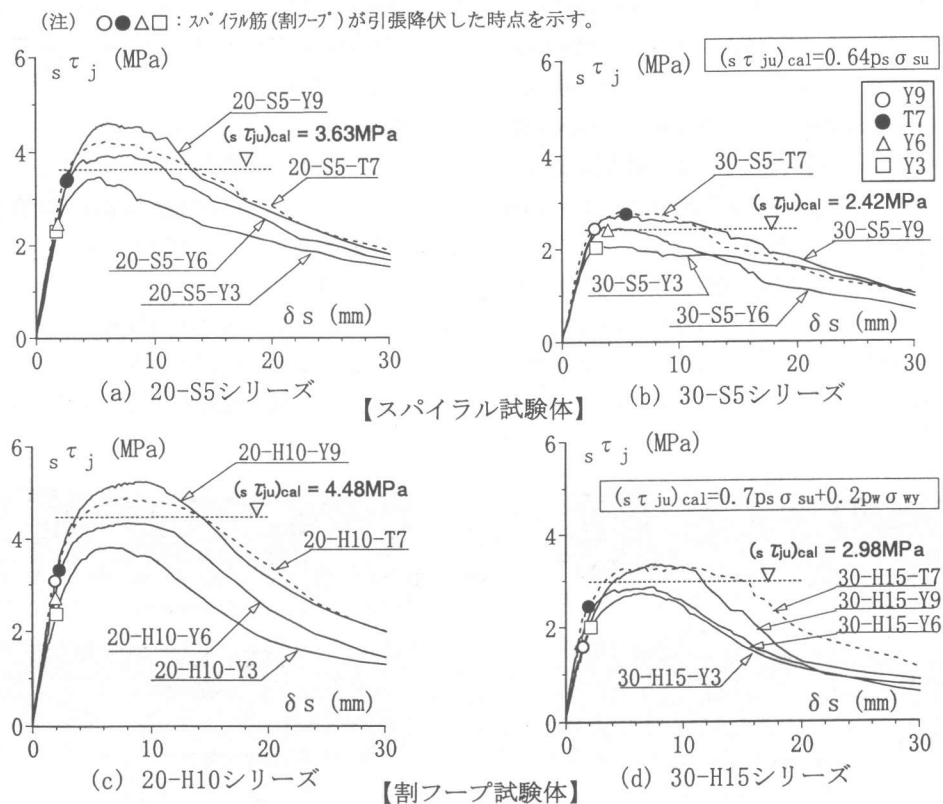


図-4 $s \tau_j - \delta_s$ 関係

1000kN)を用いて試験体中央の間接接合部にせん断力を単調載荷により加力して行った。

4. 実験結果および考察

4.1 最大強度および変形状

間接接合部の平均せん断応力度 $s\tau_j$ とずれ変形量 δ_s との関係を図-4に示す。 $s\tau_j$ は下式より求めた値である。

$$s\tau_j = Q / A_j$$

Q：せん断力、 A_j ：間接接合部の横断面積

同図に示すように、いずれの横拘束筋の場合も、間接接合部の最大強度は、グラウトモルタルの圧縮強度が大きいほど増大し、この傾向は、頭付きスタッドの間隔が小さいほど明瞭に現れた。また、割フープを用いた場合の最大強度は、スパイラル筋を用いた場合に比べて大きい。このように、間接接合部の最大強度は、頭付きスタッド量とグラウトモルタルの圧縮強度ならびに横拘束筋の種別の影響を受ける。

同図中には、横拘束筋の引張降伏時を併示した。これによると、頭付きスタッドの間隔が小さく、グラウトモルタルの圧縮強度が大きいほど、横拘束筋の降伏時の $s\tau_j$ が大きく、横拘束筋の降伏後も $s\tau_j$ が増大した。また、最大強度時の δ_s は、グラウトモルタルの圧縮強度が大きくなるのに従い増大する傾向があった。

一方、間接接合部の初期剛性については、実験因子による有意な差は認められなかった。これは、接合鋼板とグラウトモルタル界面の滑り変形が初期に発生したためと考えられる。

4.2 間接接合部の破壊機構

実験終了後、代表的な試験体のグラウトモルタルの表面をはつり取り、ひび割れの発生状況を調べた。この状況を写真-1に示す。

これによると、グラウトモルタルの主なひび割れは、 $25^\circ \sim 35^\circ$ 程度の範囲内の上下で対向する頭付きスタッドの間をつなぐ線に沿って発生している。すなわち、このひび割れに沿って圧縮ストラットが形成され、上下接合鋼板間においてせん断力が伝達されている。

また、ひび割れと交差する位置に存在する横拘束筋は、ひび割れ幅の拡大を抑制し、圧縮ストラットの耐荷能力を高めている。一方、主なひび割れの開口幅は、割フープの方がスパイラル筋に比べて小さく、高い横拘束力を発揮していると考えられる。

5. 終局耐力の評価

5.1 スパイラル筋を用いた場合

耐震改修指針¹⁾では、スパイラル筋を用いた間接接合部の終局耐力 sQ_{ju} は、下式より算定することとしている。

$$sQ_{ju} = 0.64 \sigma_{su} \Sigma a_s \quad (1)$$

σ_{su} , Σa_s ：頭付きスタッドの

引張強度および全断面積

式(1)を下式のように書き換える。

$$s\tau_{ju} = 0.64 p_s \sigma_{su} \quad (2)$$

$s\tau_{ju} = sQ_{ju} / (W_j l_o)$ ：終局強度

$p_s = \Sigma a_s / (W_j l_o)$ ：スタッド比

W_j , l_o ：間接接合部の幅および長さ

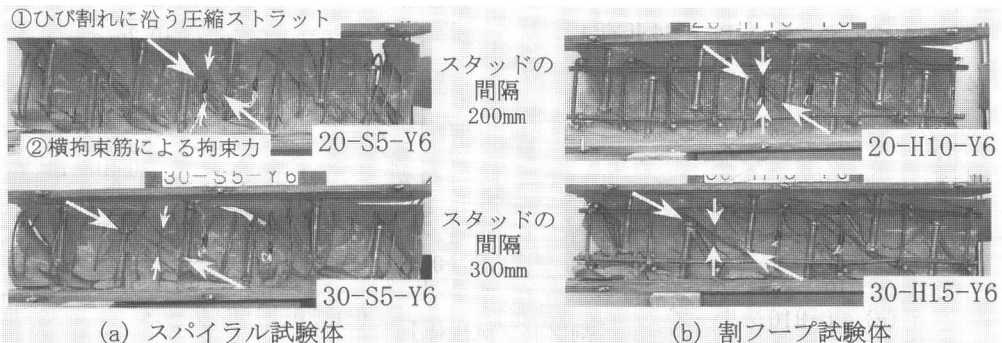


写真-1 グラウトモルタル内部ひび割れの発生状況

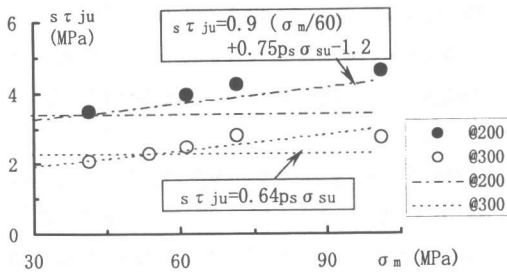


図-5 スパイラル筋を用いた場合の $s\tau_{ju} - \sigma_m$ 関係

式(2)による計算値と最大強度実験値を図-5に示す。同図中には、本実験と頭付きスタッドおよびスパイラル筋量が等しい前回の実験結果²⁾を併示した。実験値 $(s\tau_{ju})_{test}$ は、下式より算定し、計算に用いた σ_{su} は規格最小引張強度400MPaに等しいとした。

$$(s\tau_{ju})_{test} = Q_{max}/(W_j l_0) \quad (3)$$

Q_{max} : 最大せん断力実験値

グラウトモルタルの圧縮強度が高い場合、実験値は、頭付きスタッドの間隔に係わらず、式(2)より求めた計算値よりも大きい。そこで、実験値の直線回帰式に基づき、下式のように、 $s\tau_{ju}$ の算定式を導出した。

$$s\tau_{ju} = 0.9(\sigma_m/60) + 0.75 ps \sigma_{su} - 1.2 \quad (\text{単位: MPa}) \quad (4)$$

σ_m : グラウトモルタルの圧縮強度

$s\tau_{ju}$ の実験値と計算値の関係を図-6に、実験値/計算値の平均値および変動係数を表-3に示す。同図表には、本実験と前回²⁾の実験に供した全試験体の関係を併せて示した。これによると、スパイラル筋を用いた間接接合部の $s\tau_{ju}$ は式(4)より精度良く評価できる。

5.2 割フープを用いた場合

文献2)では、割フープを用いた場合の終局強度 $s\tau_{ju}$ の算定式を下式のように提案した。

$$s\tau_{ju} = 0.7 ps \sigma_{su} + 0.2 pw \sigma_{wy} \quad (5)$$

$pw = aw/(W_j sw)$: 横拘束筋(割フープ)比

aw, sw : 1組の割フープの断面積

および間隔

σ_{wy} : 割フープの降伏強度

表-3 実験値 / 計算値の統計値

	本実験		既往実験 (スパイラル) 文献4)~8)
	スパイラル	割フープ	
試験体数	10	14	26
平均値	1.03	1.02	1.35
変動係数	5.4%	8.2%	29.3%

(注) 計算に用いた、材料強度は下記による。

- 1) スタッドを除き材料試験結果を用いた。
- 2) $\sigma_{su}=400\text{MPa}$ と仮定した。

ただし、文献4)のアンカー筋とスタッドの材料強度は、材料の規格最小値とした。

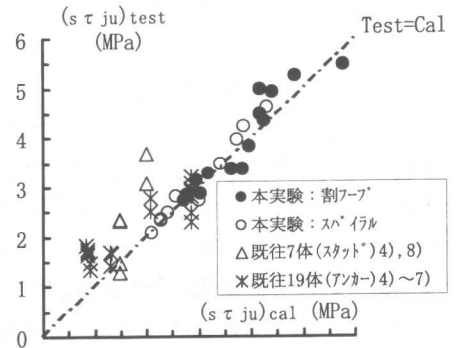
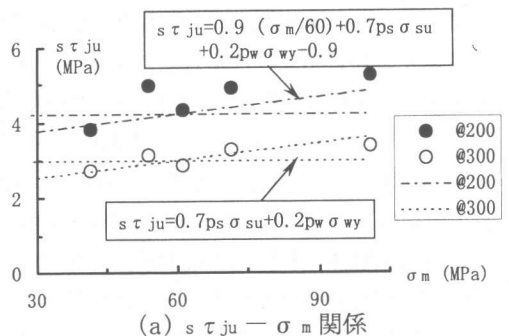
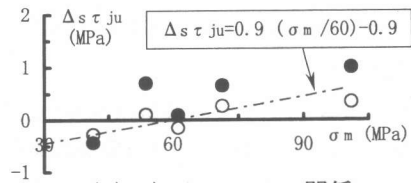


図-6 $s\tau_{ju}$ の実験値と計算値



(a) $s\tau_{ju} - \sigma_m$ 関係



(b) $\Delta s\tau_{ju} - \sigma_m$ 関係

図-7 割フープの場合の $s\tau_{ju}$ の検討結果

式(5)による計算値と実験値を図-7(a)に示す。同図によると、実験値は、計算値に比べて、 $\sigma_m \geq 60\text{MPa}$ のとき大きく、 $\sigma_m < 60\text{MPa}$ のとき

小さくなる傾向がある。これは、式(5)の根拠とした実験²⁾では、グラウトモルタルの圧縮強度 σ_m がほぼ60 MPaであるためと考えられる。

そこで、実験値と計算値との差 $\Delta s\tau_{ju}$ と σ_m の関係を図-7(b)に示す。 $\Delta s\tau_{ju}$ は、頭付きスタッドの間隔が小さいとやや大きくなる傾向があるが、ここでは、その差を無視して求めた直線回帰式に基づき $\Delta s\tau_{ju}$ の算定式を導出し、同図中に併示した。この $\Delta s\tau_{ju}$ を用いて、式(5)を補正すると、 $s\tau_{ju}$ の算定式は、下式のように得られる。

$$s\tau_{ju} = 0.9(\sigma_m/60) + 0.7 p_s \sigma_{su} + 0.2 p_w \sigma_{wy} - 0.9 \quad (\text{単位:MPa}) \quad (6)$$

図-6および表-3によると、割フープを用いた間接接合部の $s\tau_{ju}$ は、スパイラル筋を用いた場合と同様、式(6)より精度良く評価できる。

5.3 既往実験結果との比較検討

ここでは、横拘束筋にスパイラル筋を用いた既往実験値^{4)~8)}と式(4)による計算値を比較検討する。

既往実験の試験体は、いずれもRC部に固着したアンカー筋と鉄骨枠に接合した頭付きスタッドより構成されている。そのため、最大耐力実験値は、アンカー筋接合部または間接接合部の終局耐力によって決まる。そこで、式(4)または耐震改修指針¹⁾に示されたアンカー筋のせん断耐力式より同試験体の終局耐力を求め、いずれか小さい方を終局耐力計算値とした。実験値と計算値の関係は、図-6中において、スタッド破壊型を△(7体)、アンカー筋破壊型を*(19体)としてそれぞれ示した。

これによると、スタッド破壊型の場合、ばらつきはみられるが、式(4)による計算値は実験値に対して安全側に評価されている。また、アンカー筋破壊型の場合、耐震改修指針によるアンカー筋のせん断耐力計算値は、概ね妥当に評価されている。

6. まとめ

1) 間接接合部の最大強度実験値は、スパイラル

筋および割フープの場合ともに、グラウトモルタルの圧縮強度が大きいほど増大する。この傾向は、頭付きスタッドの間隔が小さいほど明瞭である。

2) 間接接合部の終局強度計算値は、スパイラル筋を用いた場合には式(4)、割フープを用いた場合には式(6)より、それぞれ実験値に対して精度良く評価できる。

謝辞

本研究は、(株)小野田、電気化学工業(株)および(株)ケー・エフ・シーの協力のもとに実施した。ここに記して、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 日本建築防災協会:既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説, 平成2年12月
- 2) 小宮敏明, 益尾潔:鉄骨増設ブレース補強用の接着接合部および間接接合部の終局耐力, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, No.3, pp.1657-1662, 2000.6
- 3) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1999
- 4) 山本泰稔, 清田清司, 青山博之:既存鉄筋コンクリート造建物の鉄骨枠つき補強法に関する実験的研究 その3.モルタル接合部の直接せん断実験結果, 日本建築学会大会, pp.2163-2164, 1983.9
- 5) 山本泰稔, 上之園隆志, 秋山友昭, 今井清史:充填モルタル接合部内のスパイラルフープの効果に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.13, No.2, pp.941-944, 1991
- 6) 椎野高行, 小林行雄, 篠原敬治:鉄骨フレーム耐震補強壁の接合部に関する実験的研究(その2 実大試験体を用いた直接せん断試験), 日本建築学会大会, pp.961-962, 1991.9
- 7) 篠原敬治, 小林行雄:耐震補強鉄骨壁接合部の靱性に与えるひび割れ防止筋の効果, 日本建築学会構造系論文集, 第513号, pp.135-142, 1998.11
- 8) 有馬裕樹, 槇谷栄次, 折地正博, 石川通広:既存RC構造物の外付鉄骨ブレース工法による耐震補強に関する実験研究(その4 接合部実験結果), 日本建築学会大会, pp.895-896, 1999.9