

[104] 既存鉄筋コンクリート建築物の鉄骨補強法における モルタル接合部の実験

正会員 ○山本泰稔(芝浦工業大学工学部)

正会員 清田清司(芝浦工業大学工学部)

正会員 青山博之(東京大学工学部)

1. はじめに

枠付補強耐震壁は、モルタル接合部が破壊して終局耐力に達する補強設計をしたのではじん性のある鉄骨耐震壁とはなりにくい。だからといってモルタル中に頭付樹脂アンカーや頭付スタッドを過剰に配置したのでは不経済となり、施工もむずかしくなる。そこで適正なモルタル接合部の設計を可能とするために、接合部の一部を取り出して引抜試験及び直接せん断試験を実施することとした(図1)。

直接せん断試験については、既に57年度、模型試験体及び実大試験体^{1),2)}を合計19体製作して加力実験を行ってきたが、その時点でのパラメータは、鉄骨枠の形状、アンカー方法の種類及びピッチ、モルタルのせい、ひびわれ防止筋の種類、側圧の有無であった。接合部の耐力は、i)頭付スタッド脚部と母材との溶着部分の破断、ii)モルタルと鉄骨枠の相対的すべり量の増大によるスタッドのせん断降伏、

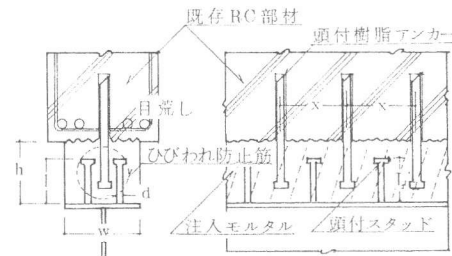


図1 モルタル接合部の一例

iii)モルタル部分の破壊、iv)既存RC部分のひびわれ発生に伴う樹脂アンカーの引抜抵抗力の低下とみられる破壊、など複雑な原因で決まるから、既往の資料で設計耐力を求めることは困難であることがわかった。そこで、今回は接合部の設計資料を得るために、次の検討項目に限定して、引抜試験及び直接せん断試験を実施した。

i)両アンカーの埋め込み長 l ：直径の約4倍及び6倍の2種類とする。ii)アンカーのピッチ x ：12cm, 18cm, 24cmの3種類とする。iii)アンカーの配列：樹脂アンカーはシングル配列とし、模型ではD10、実大ではD19の各1種類とする。スタッドは模型で9 ϕ シングル配列の1種類、実大で16 ϕ はダブル配列、19 ϕ はシングル配列の各1種類とする。iv)モルタル接触面に加わる側圧 σ_H ：+10kg/cm²(H)、及び-5kg/cm²(G)の各1種類とする。v)収縮ひびわれ防止筋の有無：4 ϕ スパイラル筋の使用を原則とする。

以下では、今回の試験結果と前回の直接せん断試験結果とを合わせ検討しながら、ここで採用したモルタル接合部の設計資料を提供する。

2. 試験体の種類

試験体は表1に示す引抜試験体11体と直接せん断試験体14体の合計25体である。試験体記号のうち、第1グループは鉄骨枠の形状が実大で溝形鋼(CP)、模型でT形鋼(TM)であることを示す。第2グループは第1項の数値がアンカーのピッチを、第2項がSでシングル配列を、又Dでダブル配列を示す。No.10及び31におけるDOの試験体はひびわれ防止筋が配筋されていないことを示している。第3グループのTOは引抜試験体を、O、T、Cは各々、純せん断、せん断+側圧(-)、せん断+側圧(+)の試験体であることを示す。最

表1 試験体の種類

No.		記号		h (cm)	頭付スタッド					
					d (mm)	l (cm)	l/d	L (cm)	ρ_j	
1	引抜試験体	CP-180S-TO-4	実	12.0	19	9.0	4.74	6.0	6.79	
2		CP-120D-TO-4		"	16	8.0	5.00	4.0	1.68	
3		CP-180D-TO-4		"	"	"	"	"	1.12	
4		CP-240D-TO-4		"	"	"	"	"	0.84	
5		CP-120S-TO-6		16.0	19	13.0	6.84	10.0	1.18	
6		CP-180S-TO-6	大	"	"	"	"	"	0.79	
7		CP-120D-TO-6		"	16	11.0	6.88	6.0	1.68	
8		CP-180D-TO-6		"	"	"	"	"	1.12	
9		CP-240D-TO-6		"	"	"	"	"	0.84	
10		CP-180DO-TO-6		"	"	"	"	"	1.12	
11		TM-90S-TO-6	模型	7.0	9	6.0	6.67	5.0	0.89	
20	直接せん断試験体	CP-180S-O-4	実	12.0	19	9.0	4.74	6.0	0.79	
21		CP-120D-O-4		"	16	8.0	5.00	4.0	1.68	
22		CP-180D-O-4		"	"	"	"	"	1.12	
23		CP-240D-O-4		"	"	"	"	"	0.84	
24		CP-120S-O-6		16.0	19	13.0	6.84	10.0	1.18	
25		CP-180S-O-6	大	"	"	"	"	"	0.79	
26		CP-120D-O-6		"	16	11.0	6.88	6.0	1.68	
27		CP-180D-O-6		"	"	"	"	"	1.12	
28		CP-240D-O-6		"	"	"	"	"	0.84	
29		CP-180D-T-6		"	"	"	"	"	1.12	
30		CP-180D-C-6	模型	"	"	"	"	"	"	
31		CP-180DO-O-6		"	"	"	"	"	"	
32		TM-90S-O-6		7.0	9	6.0	6.67	5.0	0.89	
33		TM-60S-O-6		"	"	"	"	"	1.33	

注) モルタル巾 w は実大が20cm、模型が8cmである。又、

スパイラルは実大が4 ϕ @40、模型が4 ϕ @30である。

後の数値はスタッドの埋込長 l のその直径 d に対する倍率の概数である。なお、表中の P_j はスタッドの補強筋比で、一組のスタッド断面積 $w \cdot x$ を表わす。試験体の一例として、図 2 に No. 27 CP-180 D-O-6 を掲げておく。

3 材料の性質

3.1 コンクリート及びモルタル：表 2 に空中養生したシリンダーの試験時における機械的性質を示す。樹脂アンカーを埋め込む既存 RC 部材のコンクリートは 25 体を 2 回に分けて打設したが、平均のスランプ値は 13.8 cm であった。引抜試験時の材令は 44~59 日、せん断試験時の材令は 37~48 日であった。一方、接合部のモルタルは 1 回で打設した。プロートによる流下時間は平均 20 秒であった。引抜試験時の材令は 30~36 日、せん断試験時のそれは 21~29 日であった。

3.2 剛材：前報と同じ材質の鉄筋と鋼板とが使用してある。

4 加力装置及び測定方法

図 3 は直接せん断試験に使用した装置図である。既存 RC 部材とモルタルとの接触面に平行な正負繰返し荷重を加えた。加力フレームが常に水平を保つようアクチュエータを使って制御した。なお、引抜試験は鉄骨棒に引張治具を取りつけ、アクチュエータで荷重を加えた。

測定は既存 RC 部材と鉄骨棒との相対的な水平及び鉛直方向変位をモルタル両端部で測定した。又、樹脂アンカー及びスタッドに WSG をはりつけてモルタル中に埋め込み、ひずみ度を測定した。

5 試験結果

5.1 引抜試験結果：一方向繰返し荷重を加えた。第 1 サイクルは試験体に初びびわれが発生するまでとし、第 2 サイクルで破壊させることを予定したが、ほとんどの試験体は第 1 サイクルでスタッドに沿った縦ひびわれがモルタル面に発生し最大荷重に達した。

鉄骨棒と RC 部材とを分離する斜め及び横ひびわれはその後で発生した（図 4 参照）。

表 3 は引抜試験結果の概要を示したものである。ここに、 δ_1 は最大荷重時のモルタル部分鉛直肌別れ量である。

5.2 せん断試験結果：第 1 サイクルの水平荷重は既存 RC 部材と鉄骨棒との相対すべり量 δ が部材角で $R = 1/200$ まで、第 2 サイクルは $R = 1/100$ までとし、第 3 サイクルの正荷重で破壊させた（図 5 参照）。

全ての試験体でモルタルにはびびわれが生じたが、ひびわれを境にして一方のモルタルのみがすべって、他方は不動となる場合（図 6 a）と、鉄骨棒とスタッドと

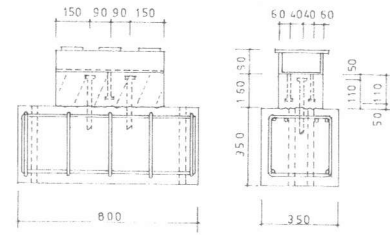


図 2 試験体図（例 CP-180 D O, T, C-6）

表 2 コンクリート及びモルタルの試験結果

No.	コンクリート			モルタル		
	σ_{max} kg/cm ²	σ_{sp} kg/cm ²	E_c kg/cm ²	σ_{max} kg/cm ²	σ_{sp} kg/cm ²	E_m kg/cm ²
No. 1-6	242	23.2	2.90×10^5	39.8	33.7	2.32×10^5
No. 20-26						
No. 7-11	258	26.2	2.75			
No. 27-33						

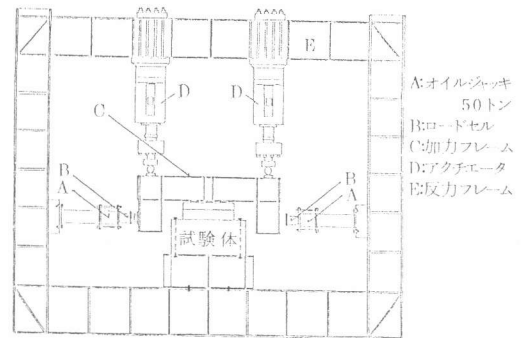


図 3 加力装置（直接せん断試験の場合）

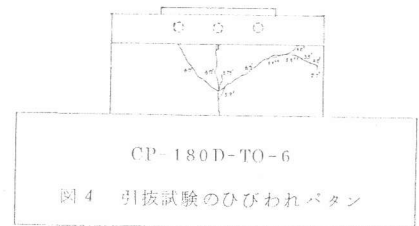


図 4 引抜試験のひびわれパターン

表 3 引抜試験結果の概要

No.	鉄骨棒 肌別れ (t)	RC 部 肌別れ (t)	縦ひび われ (t)	横・斜 めひび われ (t)	P_{max} (t)	q_1 (t)	δ_1 (mm)
1	4.75 ¹	—	4.75 ¹	3.10 ²	4.75 ¹	4.75	0.617
2	5.50 ¹	—	5.50 ¹	5.50 ¹	5.50 ¹	2.75	0.028
3	2.30 ²	—	3.50 ¹	3.00 ²	3.50 ¹	1.75	0.051
4	3.25 ¹	—	3.25 ¹	3.25 ¹	3.25 ¹	1.63	0.052
5	8.00 ¹	—	10.00 ¹	6.30 ²	10.00 ¹	10.00	3.554
6	8.75 ¹	8.00 ²	8.75 ¹	—	8.75 ¹	8.75	1.781
7	—	6.50 ¹	7.50 ¹	7.50 ¹	7.50 ¹	3.75	3.110
8	6.00 ¹	—	6.00 ¹	6.00 ¹	6.00 ¹	3.00	0.314
9	4.00 ¹	—	5.00 ¹	3.10 ²	5.00 ¹	2.50	0.288
10	6.75 ¹	—	6.75 ¹	6.75 ¹	6.75 ¹	3.38	0.998
11	0.80 ²	—	1.30 ¹	1.80 ²	2.00 ²	2.00	0.826

注) 右肩の添字はサイクル数を示す。

の間のすべりが大きくなってモルタルに局部的な破壊が生ずる場合（同図b）とに大別できる。ここでは前者の破壊モードはモルタル破壊、後者のそれはスタッド破壊と定義した。モルタル破壊の場合は最大荷重に達した後のすべりの増大に伴い荷重は減少し続けるのに対し、スタッド破壊の場合は図5のごとくすべり量がふえても荷重の低下が小さいのが特徴である。もっとも今回はスタッドが1段しか配列してないので、モルタル破壊をおこし易い条件にあったといえる。

表4に最大せん断耐力(Q_{max})時の諸性質をまとめて示す。当初側圧 σ_N は $+10\text{ kg/cm}^2$ 及び -5 kg/cm^2 を予定したが、実際は表中の値であった。

6 結果の検討

6.1 引抜試験：図7は最大引抜応力度 $\sigma_t (=q_t/A_t)$ とスタッドのピッチとの関係を示したものである。同じ径のスタッド同志を比べた場合、ピッチが粗くなる程、引抜抵抗力が小さくなるのが特徴である。これは他の一般アンカーボルトのもつ性状とは異なるもので、スタッドに隣接する樹脂アンカーまでの距離が短くなる程モルタルに働く引抜抵抗力が増大するためであると考えられる（図8参照）。なお、スタッドは19φをシングル配列した方が16φをダブル配列するより1本当りの引抜抵抗力は増すが、 $1/d \geq 6.0$ となってもスタッドの全強を伝えることはできなかった。

6.2 せん断試験：以下には57年と58年の両年度に亘って行った試験結果を用いて検討を行う。

a)せん断耐力とピッチとの関係：図9はスタッド1本当りの最大せん断応力度(q_s/A_t)とピッチとの関係を示す。ピッチが粗くなるに従って耐力が上昇する全般的傾向は感じられるものの、ピッチが180のとき、耐力が低くなる試験体が2体あった。スタッドはシングル配列の方がダブル配列したものより効きがよさそうである。これは実大試験体のシングル配列の場合、スタッドとモルタル表面までの距離が100あるのに対し、ダブル配列の場合、60となってモルタル被覆が少なくなるからであると考えられる。従って、ここではスタッドのピッチがせん断耐力に及ぼす影響はないものとみなし、係数 α を1.0にとった。

b)せん断耐力とスタッド脚長との関係：図10に q_s/A_t と脚長比($1/d$)との関係を示す。脚長比が3.68と短い試験体の耐力は低い。4.74以上になると脚長比の影響はほとんどあらわれなくなる。

c)スタッドの引抜耐力とせん断耐力との関係：図11は同種・同ピ

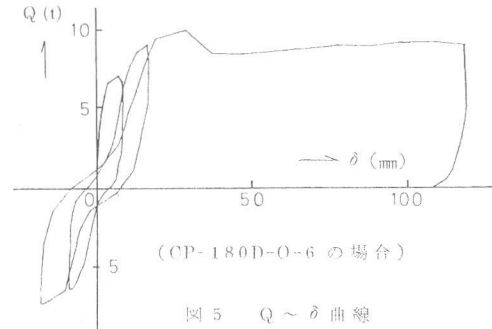


図5 Q-δ曲線

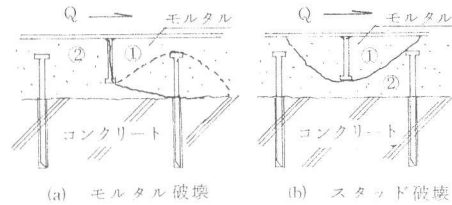


図6 典型的なモルタルひびわれ図

表4 直接せん断試験結果

No.	Q_{max} (t)	n	q_s (t)	q_s/A_t (t/cm^2)	δ_{max} (mm)	R_{max} ($\times 10^{-2} \text{ t}$)	σ_N (kg/cm^2)	Failure Mode
20	8.66	1	8.66	3.05	2.76	2.30	0	Stud
21	10.86	2	5.43	2.70	2.99	2.49	0	Mortar
22	11.04	2	5.52	2.75	4.08	3.40	0	Stud
23	13.72	2	6.86	3.41	1.89	4.08	0	Stud
24	8.91	1	8.91	3.14	(3.01)	(1.88)	0	Stud
25	6.97	1	6.97	2.45	8.80	5.50	0	Stud
26	11.97	2	5.98	2.98	2.95	1.84	0	Mortar
27	10.00	2	5.00	2.49	2.90	1.81	0	Stud
28	12.76	2	6.38	2.49	4.73	2.96	0	Stud
29	6.16	2	3.23	1.61	5.74	3.59	-1.28	Mortar
30	20.08	2	10.04	5.00	4.10	2.56	+74.2	Mortar
31	11.41	2	5.70	2.84	2.01	1.26	0	Mortar
32	1.96	1	1.96	3.06	2.30	3.29	0	Stud
33	1.90	1	1.90	2.97	6.04	8.63	0	Stud

注) Q_{max} ：最大試験機荷重、 $q_s = Q_{max}/n$ 、 n ：スタッド本数
 A_t ：スタッド断面積、 δ_{max} ： Q_{max} 時相対すべり量、 $R_{max} = \delta_{max}/h$ 、 σ_N ： Q_{max} 時測定側圧

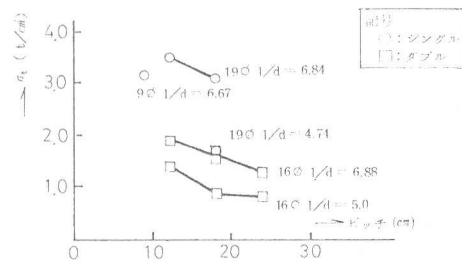


図7 引抜応力度とピッチ関係図

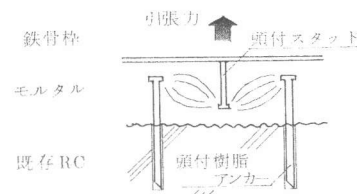


図8 モルタル中での引抜力の伝達

ッチの試験体における q_s/q_t とピッチとの関係を比較したものである。ピッチが粗くなる程 q_s/q_t の値は大きくなる傾向がみられる。特に l/d の値が小さいもの程、又、シングル配列よりはダブル配列の方がこの傾向はつよい。 $l/d \geq 5.0$ の脚長比をもつ試験体では、ピッチが密になると q_s/q_t の値が一定値に収束してくる。シングル配列とダブル配列とでは収束値が異なるが、スタッドに対するモルタルの被覆が大きく影響するものと思われる。

d)せん断耐力と側圧との関係：側圧のない試験体の q_s を標準にとり、これと側圧の加わった試験体の q_s との比を側圧に関する影響係数 ϕ_2 と定義し、各試験ごとにプロットしたのが図12である。白丸印³⁾は東大で行った樹脂アンカー継手部の試験結果である。本試験結果と比較したとき、側圧が圧縮力なら両者は良く似た傾向を示すが、引張力に転じたとき、本試験体の ϕ_2 は実線で示した楕円曲線より低い値を示す。

e)せん断耐力とスタッドの径との関係：図13はせん断応力度 q_s/A_t とスタッドの直径との関係を $l/d \geq 4.0$ の試験体に対してプロットしたものである。シングル配列に限るならば、径の細い9φの方が19φより最大せん断応力度は大きい。16φはダブル配列のため、前述の理由によりせん断耐力はやゝ低くなった。

7. 結 論

本モルタル接合部の耐力は、モルタル強度、スタッド及び樹脂アンカーの形状・配列状態などに影響されるから、許容設計せん断耐力は、現状では、実験結果を利用して決定せざるをえない。57年及び58年の両年度の実施した試験を総合して判断したとき、スタッド1本当りの短期許容せん断耐力 q_n としては16φダブル配列に対し5.31ton、シングル配列に対し8.04tonという終局時平均せん断耐力を採用するのが鉄骨枠付補強に対して妥当と考えられる。なお、モルタル接合部に引張の側圧が加わるとせん断耐力は低下するから、特別な配慮が必要となる。

謝辞 本研究は文部省試験研究費(課題番号58850125)を充当して行った、樹脂アンカー工事は佛日本デコラックスに、又、モルタル注入工事は佛大成建設技術研究所にお願いした。

紙上を借いて謝意を表します。

参考文献 1)山本・清田“既存鉄筋コンクリート造建築物の補強法に関する実験的研究 2.鉄骨系枠付補強法”第29回構造工学シンポジウム、1983年2月

2)山本・清田・青山“既存鉄筋コンクリート造建築物の鉄骨枠付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”日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和58年9月

3)塩原・中村 東京大学工学部建築学科青山研究室耐震研究会資料 1983年11月

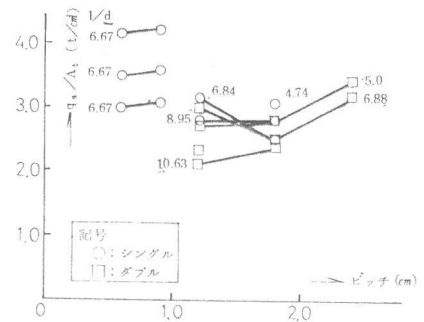


図9 q_s/A_t vs. ピッチ関係図

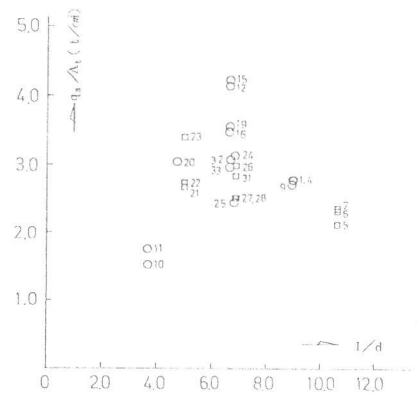


図10 q_s/A_t vs. 脚長比関係図

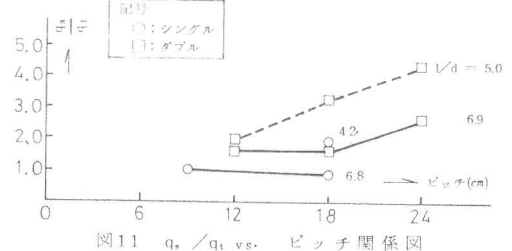


図11 q_s/q_t vs. ピッチ関係図

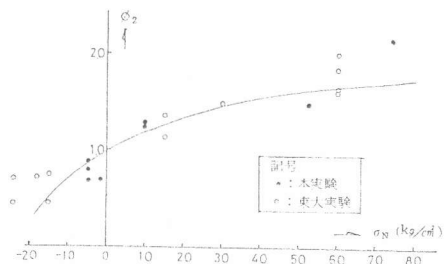


図12 側圧に関する影響係数 ϕ_2

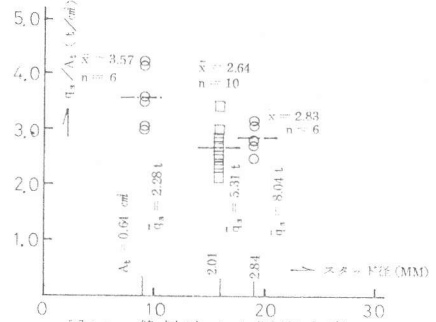


図13 終局時せん断応力度