

論文 スリーブ型定着金物を用いた異型鉄筋の引抜性状

加藤 友康*1 越路 正人*2

要旨： 筆者等は、ネジ鉄筋用の鋳物製ネジ型定着金物を考案し、一連の構造実験を行い高層RC建物等に使用している。引続き、一般建屋で使用している異型鉄筋の端部に用いる鋳物製スリーブ型定着金物を考案した。定着金物の充填材としてエポキシ樹脂を用いた。ここでは、この実用化のため異型鉄筋D32(SD490)を用いた本定着金物の引抜実験を行い、その引抜定着性状を把握した。その結果、スリーブ型はネジ型定着金物と比べて同等の性能を示し、実用可能である見通しを得た。

キーワード： 鉄筋コンクリート造、スリーブ型定着金物、機械式定着、エポキシ樹脂

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート造（以後RC造）建物における梁主筋の機械式定着法の使用が、急速に行われている^{1) 2) 3)}。

筆者等は、RC造の鉄筋機械式定着法において、図-1 a) に示すネジ鉄筋用の鋳物製定着金物（以後T金物）を開発し、SD490以下の鉄筋について実用化した⁴⁾。引続き、中低層やPCA工法の構造物で良く使用する異型鉄筋の機械式定着法に対するスリーブ型の定着金物（以後S金物）を考案し、その開発に着手した。本報告は、図-1 b) に示すS金物を用いて、引抜実験を行いT金物の性状と比較検討したものである。

本研究の目的は、スリーブ端部にプレートが付いた定着金物（以後SE金物）と中部にプレートが付いた定着金物（以後SC金物）を対象に、鋼管拘束したコンクリートから定着金物と鉄筋の引抜実験を行い、その定着性能を把握し、T金物の引抜性状と比べ、同等の性能を有することを確認することである。

2. 定着金物形状と施工法

図-1 に示すS金物は、中央位置にエポキシ樹脂充填のための穴を有する。プレート定着板の直径Rは、T金物と同じ形状寸法として、鉄筋最小配筋間隔に近い鉄筋径の2.5倍である。また

全長L1は、鉄筋（SD490）の引張耐力を保証するものとした。エポキシ樹脂の付着耐力は、三軸応力状態では素材の引張耐力に達することを想定し、 $L = 4.5d$ と $4.0d$ （ d ：鉄筋の公称径）の2種類と決め、本引抜実験によりL1を決定する。

施工は、異型鉄筋を定着金物に挿入し、金物を水平状態でエポキシ樹脂を充填して、その硬化によって定着金物と鉄筋を固結する。樹脂の充填確認は、それが金物両側から噴出することを目視確認する方法とした。エポキシ樹脂は、2液型（主剤：ビスフェノール系他、硬化剤：脂肪族ポリアミン他）とした。

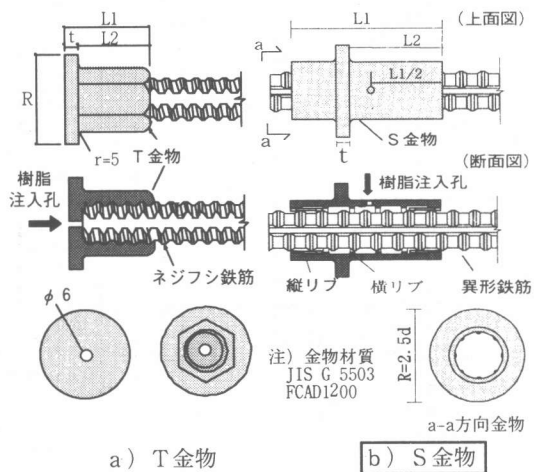


図-1 ネジとスリーブ型定着金物

* 1 鹿島技術研究所建築技術研究部構造・耐震グループ・工修（正会員）
 * 2 東京鉄鋼株式会社ネジ加工品事業本部製品開発課

3. スリーブ型定着金物の引抜実験

3.1 実験目的

本実験の具体的目的は、以下のとおりである。

- 異型鉄筋D32(SD490)の引張耐力を保証するS金物の全長L1を決定する。
- SE金物とSC金物を用いた場合のコンクリートの破壊性状と引抜性状を調べ、T金物のそれらの性状と比較検討する。
- 鉄筋のフシピッチが、引抜性状に与える影響を定量的に把握する。

3.2 実験計画

実験は、(その1)と(その2)からなる。(その1)は、SE金物を用いてそのスリーブ全長L1は4.5dとし、プレートはスリーブ端部にある。(その2)は、SC金物を用いその全長L1は4.0dとし、プレートはスリーブ中央近傍にある。試験体の形状を図-2に、T金物とSE金物、SC金物の試験体比較の一覧を表-1に示した。

試験体は(その1)と(その2)共にA~Dシ

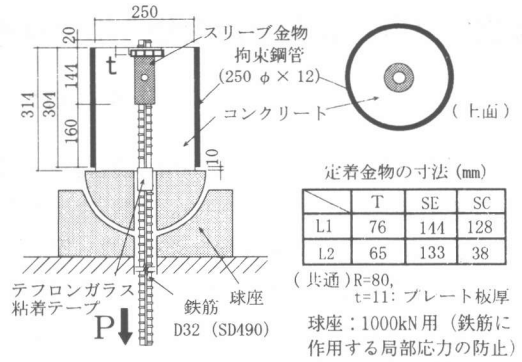


図-2 試験体形状と加力方法

リーズの4種類である(以後「シリーズ」は省略)。A~Cは、拘束鋼管を有し、定着金物と鉄筋を埋め込んだものである。Bは、Aの鉄筋の付着を無くし、S金物が鉄筋の引張耐力を保有することを確認する。Cは、鉄筋の付着耐力を検討するもので、鉄筋付着長さは5d(160mm)とした。Dは、拘束鋼管が無いもので、コンクリートの破壊状況を把握する。用いた鋼管は文献4)と同様とし、その直径はRの約3倍とした。実際の柱梁接

表-1 試験体の一覧

その1		その2		鋼管の有無	付着の有無	鉄筋の種類	Fc (MPa)	金物の種類	T 金物		(その1) SE 金物	(その2) SC 金物																																								
No.	記号	No.	記号						Aシリーズ		Bシリーズ		Cシリーズ		Dシリーズ																																					
1	AXN60T			有	有	N	60	T	Aシリーズ		A	A																																								
2	AXM60S	1	AXM						無	無	M	30	S	Bシリーズ		B	B																																			
3	AXM30S													有	有	L	60	S	Cシリーズ		C																															
4	AXL60S	2	AXL																無	有	N	60	T	Dシリーズ		D	D																									
5	AXL30S																							有	有	M	30	S	Aシリーズ		A	A																				
6	BYN60T																												無	無	M	30	S	Bシリーズ		B	B															
7	BYM60S	3	BYM																															有	有	L	60	S	Cシリーズ		C											
8	BYM30S																																						無	有	N	60	T	Dシリーズ		D	D					
9	BYL60S	4	BYL																																									有	有	M	30	S	Aシリーズ		A	A
10	BYL30S																																																無	有	L	60
11	CXN60-			有	有	N	60	T																																												
12	CXN30-								無	有	M	30	S																																							
13	CXM60-													有	有	L	60	S																																		
14	CXM30-																		無	有	M	30	S																													
15	CXL60-																							有	有	N	60	T																								
16	CXL30-																												無	有	L	60	S																			
17	DXN60T																																	有	有	M	30	S														
18	DXM60S	5	DXM																																				無	有	L	60	S									
19	DXL60S	6	DXL																																									有	有	N	60	T				
20	DXM30S																																																無	有	M	30
21	DXL60S			有	有	L	60	S																																												
22	DXN60-								無	有	N	60	T																																							
23	DXM60-													有	有	M	30	S																																		
24	DXL60-																		無	有	L	60	S																													

注1) 記号例 AXN60T

- 拘束状態 A: 鋼管拘束、鉄筋付着有、B: 鋼管拘束、鉄筋付着無、C: 鋼管拘束、鉄筋のみ、D: 鋼管拘束無
- 鉄筋の付着の有無 X: 有 Y: 無
- 鉄筋のフシピッチ(種類) N: 13.0mm, M: 18.8mm, L: 16.0mm、
- コンクリート強度: (Mpa)
- 金物の種類 T: ネジ鉄筋用定着金物、スリーブ型定着金物 SE: 端部プレート付, SC: 中央プレート付

合部の状態は、拘束鋼管のあるAと拘束鋼管の無いDの中間にあると想定する。またBとCを加えた状態が、Aの状態であると考え。

使用した鉄筋はD32 (SD490) とし、そのフシピッチが3種類 (N, L, M) としたもので、それぞれ13.0, 16.0, 18.8mmである。各鉄筋の機械的性質を表-2に示した。コンクリートの設計強度は、 $f_c=30\text{MPa}$ と 60MPa の2種類とした。また使用したコンクリートの性状を表-3に、エポキシの硬化後の材料特性を表-4に示した。

加力は、図-2に示すようにコンクリートから定着金物と鉄筋を引き抜く方法で行った。計測は、鉄筋の拔出変形量を鉄筋頂部で高感度変位計を用いて測定した。

3.3 実験結果

実験結果一覧(その1, 2)を表-5に示した。

a. 試験体の破壊性状 A, Bシリーズは全て鉄筋の破断 (RT), Cは全て拘束鋼管コンクリートから鉄筋の拔出す破壊 (CB), Dは全てコンクリートの割裂破壊 (CK) であった。A, B, Cのコンクリートの割裂ひび割れは、その幅が0.5~0.8mm程度を有するものと無いものが見られた。DのCK破壊の例を写真-1に、定着金物の違いによる割裂コンクリート内部の楔形状の様子と金物の状況を写真-2に示した。これによると、楔形状の大きさは、SE金物が一番大きく次いでT, SC金物となっている。これは、スリーブ金物の全長L1とプレート位置を示すL2の長さとはほぼ比例している。

b. 引張荷重Pと鉄筋拔出量 δ 関係 P- δ 関係を図-3に示す。これらの図はコンクリート強度を71MPaとし、T金物(太点線)とそれぞれSEとSC金物(実線)とに分け比較して示した。

Aの最大耐力P maxは、鉄筋の引張強度で決まる。図中の矢印は鉄筋の引張強度に達したときに変位計を取り外したもので、その後の変位の進行状況を示している。SE金物のP- δ 関係はT金物のそれに比べて、P maxは高くその時点での拔出量は小さい。一方、SC金物はTに比べP- δ 関係が同等以上の剛性と耐力を示した。

表-2 鉄筋の材料特性

鉄筋	降伏点 (N/mm^2)	引張強さ (N/mm^2)	伸び (%)
N	504	655	24.7
L	525	712	26.9
M	513	709	18.5

表-3 コンクリートの材料特性

試験体	圧縮強度 σ_B (Mpa)	割裂強度 σ_t (Mpa)	ヤング率 $E_{1/3}$ (N/mm^2)
その1 Fc60	70.8	3.31	35.7×10^3
その1 Fc30	34.9	2.69	26.1×10^3
その2 Fc60	70.5	3.51	36.0×10^3

表-4 エポキシ樹脂の材料特性(硬化後)

項目	試験方法	実験結果 (N/mm^2)	品質規格 (N/mm^2)
引張強度	JIS-K7113	48	13以上
圧縮降伏強度	JIS-K7208	97	70以上
圧縮弾性係数	JIS-K7208	4203	1000以上

Bは、全て鉄筋の破断破壊であり、D32 (SD490) の金物の必要な全長L1は、4.0dで良い事が分かった。また金物のコンクリートからの拔出性状は、金物の種類によらずTと同等と見られる。

Cは、鉄筋のみを拘束鋼管に埋め込んだもので、鉄筋の付着性能を検討するものである。M, L鉄筋はN鉄筋に比べて、耐力は鉄筋のフシピッチの長い程高い。すなわちM (18.8mm), L (16.0) N (13.0) の順番である。それらの最大付着応力はそれぞれ31.3, 29.7, 21.9MPaである。

Dは、拘束鋼管の無い場合で、コンクリートの割裂耐力を検討した。SE金物は、鉄筋の降伏耐力に達したTに比べ低い耐力であった。一方SC金物は高い剛性で変形が進み、鉄筋の降伏耐力に達した。ここで、AのSEとT金物の性状とDの性状とは反対である。SE金物は金物全長が長くまたプレート位置も加力側後方にあるのでコンクリートの楔形状の破壊(写真-2)が大きい。このためSE金物は定着剛性が高く、Aでは他の試験体より小さい拔出変形量で最大耐力に達し、Dでは鉄筋に作用する荷重が定着部に集中しコンクリートの割裂応力度が高くなり、低い荷重で割裂破壊したものと思われる。

表-5 実験結果一覧 (その1)

記号	σ_b (MPa)	1/2P _y (kN)	δ_1 (mm)	ϵ_1 ($\times 10^{-6}$)	P _y (kN)	δ_2 (mm)	ϵ_2 ($\times 10^{-6}$)	P _{max} (kN)	δ_3 (mm)	ϵ_3 ($\times 10^{-6}$)	P _{max} /P _y	破壊 形式	ひび割れ の有無	
1	AXN60T	70.8	200.2	0.026	1260	401.2	0.100	2581	518.5	1.232	***	1.29	RT	有
2	AXM60S	70.8	203.8	0.028	1274	412.3	0.078	2939	567.8	0.208	***	1.38	RT	有
3	AXM30S	34.9	203.8	0.023	1240	408.1	0.116	2818	568.1	1.240	***	1.39	RT	有
4	AXL60S	70.8	208.8	0.013	1270	417.8	0.070	2722	568.0	1.156	***	1.36	RT	有
5	AXL30S	34.9	208.8	0.049	1266	417.6	0.200	2759	563.2	2.322	***	1.35	RT	有
6	BYN60T	70.8	200.2	0.116	1264	401.4	0.354	2571	519.7	1.994	***	1.29	RT	無
7	BYM60S	70.8	203.8	0.055	1262	411.1	0.240	2834	568.4	1.448	***	1.38	RT	無
8	BYM30S	34.9	203.8	0.087	1241	407.9	0.452	2897	565.1	2.782	***	1.39	RT	無
9	BYL60S	70.8	208.8	0.093	1269	418.0	0.410	2749	563.8	2.540	***	1.35	RT	無
10	BYL30S	34.9	208.8	0.111	1238	412.0	0.554	2877	563.3	2.932	***	1.37	RT	無
11	CXN60-	70.8	200.2	0.094	1265	***	***	***	350.7	1.694	2251	0.88	CB	有
12	CXN30-	34.9	***	***	***	***	***	***	158.8	1.228	945	0.40	CB	有
13	CXM60-	70.8	203.8	0.120	1265	410.0	0.490	2901	500.0	1.018	33412	1.23	CB	有
14	CXM30-	34.9	203.8	0.211	1265	***	***	***	238.7	0.960	1492	0.59	CB	有
15	CXL60-	70.8	208.8	0.108	1277	416.2	0.502	2741	474.4	1.404	24674	1.14	CB	有
16	CXL30-	34.9	208.8	0.276	1277	***	***	***	234.4	0.798	1435	0.56	CB	有
17	DXN60T	70.8	200.2	0.004	1265	402.1	0.512	2671	460.6	0.796	35891	1.15	CK	有
18	DXM60S	70.8	203.8	0.023	1265	***	***	***	252.4	1.430	1578	0.62	CK	有
19	DXL60S	70.8	208.8	0.026	1277	***	***	***	365.7	0.820	2315	0.88	CK	有
20	DXM30S	34.9	203.8	0.015	1265	***	***	***	365.9	0.528	2316	0.90	CK	有
21	DXL30S	34.9	208.8	0.038	1277	***	***	***	296.6	0.550	1859	0.71	CK	有
22	DXN60-	70.8	***	***	***	***	***	***	156.7	0.086	982	0.39	CK	有
23	DXM60-	70.8	***	***	***	***	***	***	160.4	0.060	988	0.39	CK	有
24	DXL60-	70.8	***	***	***	***	***	***	141.0	0.044	862	0.34	CK	有

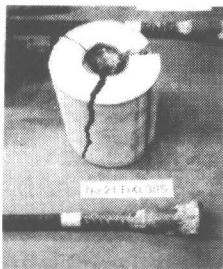
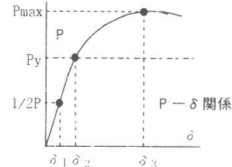
実験結果一覧 (その2)

記号	σ_b (MPa)	1/2P _y (kN)	δ_1 (mm)	ϵ_1 ($\times 10^{-6}$)	P _y (kN)	δ_2 (mm)	ϵ_2 ($\times 10^{-6}$)	P _{max} (kN)	δ_3 (mm)	ϵ_3 ($\times 10^{-6}$)	P _{max} /P _y	破壊 形式	ひび割れ の有無	
1	AXM	70.5	203.8	0.060	1285	412.2	0.118	2913	566.5	0.704	***	1.37	RT	無
2	AXL	70.5	168.7	0.079	1071	337.3	0.124	2450	512.6	1.568	***	1.52	RT	無
3	BYM	70.5	203.8	0.036	1298	411.5	0.196	2869	566.7	3.098	***	1.38	RT	無
4	BYL	70.5	168.0	0.083	1119	336.0	0.232	2667	511.6	2.280	***	1.52	RT	無
5	DXM	70.5	203.8	0.002	1265	411.6	0.342	2901	428.2	0.702	12156	1.04	CK	無
6	DXL	70.5	168.3	0.002	1095	336.6	0.014	2559	370.8	0.378	12250	0.93	CK	無

備考

注 1) 記号
 σ_b : コンクリート圧縮強度
 1/2P_y, δ_1 , ϵ_1 : 1/2 \times 主筋降伏時の耐力、変形および歪
 P_y, δ_2 , ϵ_2 : 主筋降伏時の耐力、変形および歪
 P_{max}, δ_3 , ϵ_3 : 最大耐力時の耐力、変形および歪
 ***: データ無し

注 2) 破壊形式
 RT: 鉄筋の破断(最大耐力確認後破断)
 CB: コンクリートから鉄筋の抜け出す破壊
 CK: コンクリートの割裂破壊



分割写真

注) 写真-2
 黒線は、コンクリートの楔状の破壊線をマジックにより示した。

写真-1 Dシリーズの破壊状況例

3.4 考察

a. エポキシ樹脂の付着機構 試験体破壊性状の実験結果は、鉄筋破断とコンクリートの割裂破壊で、エポキシ樹脂の破壊による鉄筋の抜き破壊が無かった。そこで、樹脂の付着耐力とその破壊状況を確認するため、金物全長を3.5dと短くした考察試験体1体を用いて金物からの鉄筋引抜実験を行った。そのP- δ 関係を図-3 Bシリーズ

T金物
(その1)
DXN60T
L2=65mm

SE金物
(その1)
DXL60S
L2=133mm

SC金物
(その2)
DXM
L2=38mm

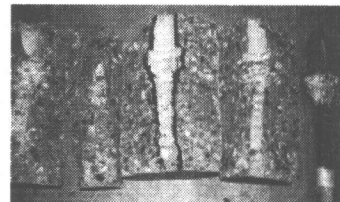
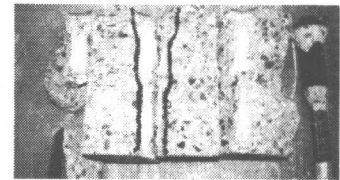
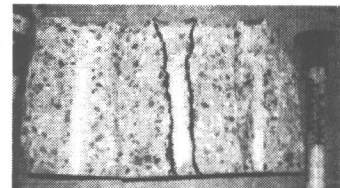
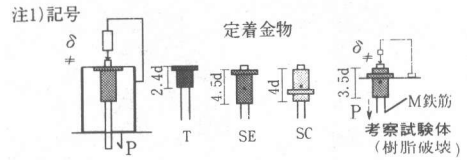
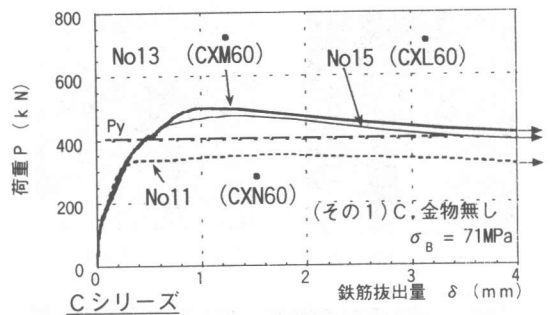
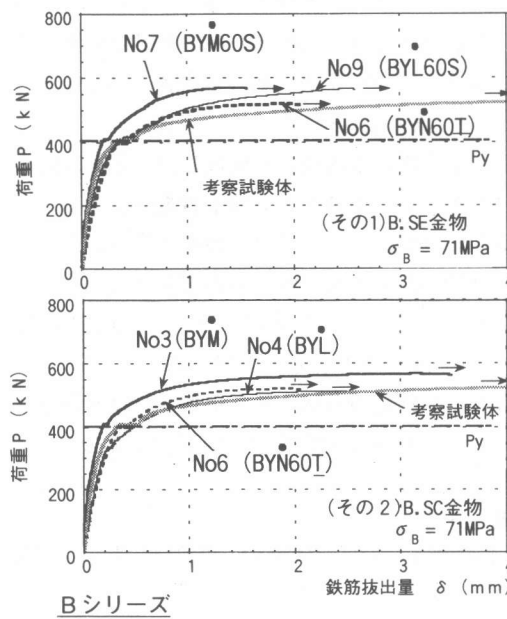
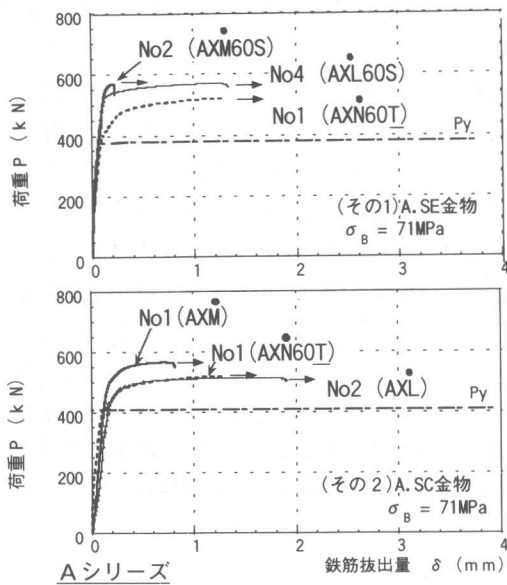


写真-2 コンクリート内部の破壊状況



- 注1)記号
 2) 図中の矢印(→)は、鉄筋の引張耐力に達した時に、変位計を取りはずしたもので、変形は持続していることを示す。
 3) M.L.Nは鉄筋フシピッチが各18.8, 16.0, 13.0mmであり●印を鉄筋記号上部に示す。

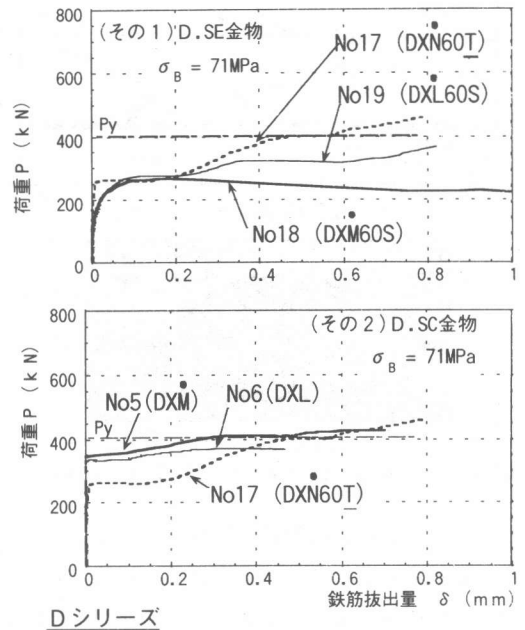
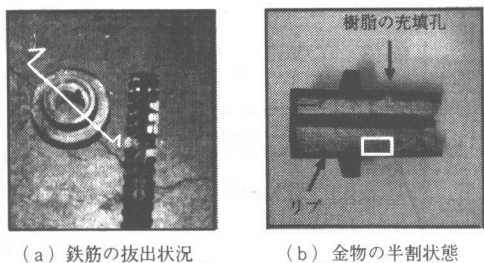


図-3 P-δ関係

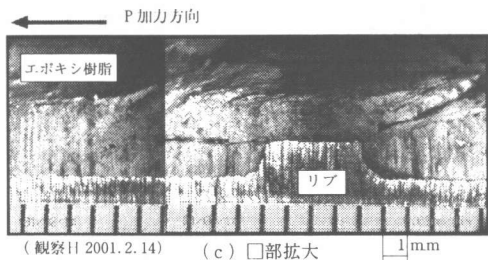
に灰色の線で併記した。これによると、鉄筋は降伏耐力及び引張耐力に達してから、拔出し破壊した。鉄筋の拔出した状況を写真3(a)に示す。エポキシ樹脂は異型鉄筋のフシの間で引張りせん断破壊していた。実験終了後の金物を半割にして写真1(b)に示す。青色のエポキシ樹脂が白色に変色し縞状に破断し、鉄筋の立てリブにあたる部分は黒色に変色していた。また金物と樹

脂の接触境界面での破壊が僅かに観察されたので、金物内側とエポキシ樹脂の境界を顕微鏡を用い調べた。拡大率25倍の状況を写真-3(c)にそのスケッチを図5に示す。エポキシは鉄筋と金物の間で引張りせん断破壊を生じている。また金物界面では、金属表面の凹凸がありその中に樹脂が良くに混入している部分と樹脂が破断している部分が見られた。この凹凸は、金物スリー



(a) 鉄筋の拔出状況

(b) 金物の半割状態



(観察日 2001.2.14)

(c) □部拡大

1mm

写真-3 S金物(考察用)樹脂の破壊状況

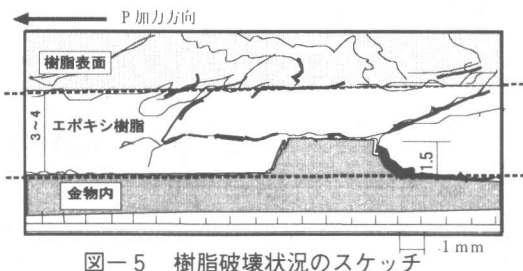


図-5 樹脂破壊状況のスケッチ

1mm

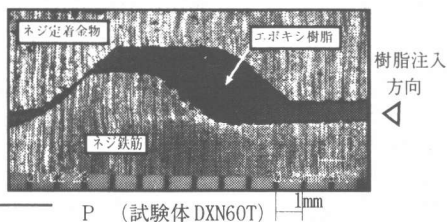


写真-4 ネジ金物のネジ部の状況(加力後)

ブのリブと同様に樹脂に対しコッターとしての高い抵抗力を有するものと考ええる。一方、ネジ定着金物の加力後のネジ部の状況を写真-4に示す。鉄筋は降伏耐力に達しているが、金物の損傷は見られない。樹脂は金属表面の凹凸とは肌分かれていた。これは樹脂と金属との界面の状態が樹脂の注入方向の違いにより生じたものと考ええる。すなわち、スリーブ型の方は、金物と鉄筋の金属表面に直接注入されるため、樹脂は金属表面の凹凸に良く侵入する。

b. エポキシ樹脂の付着耐力 樹脂の引張耐力は表-4に示す48MPaであるのに対し、L1が

4.0dのBYM試験体の金物定着部樹脂の付着耐力 τ_{bu} は44.2MPa以上であった。また、考察試験体の τ_{bu} は、48.1N/mm²で、樹脂の引張耐力に相当する。付着耐力は、引張耐力と直接比較することはできないが、樹脂は内部縞付スリーブと異型鉄筋の間隙内で三軸応力状態となり樹脂の引張耐力程度の耐力を示すと考える。

c. S金物の提案 引抜実験の結果、T金物と同等と見なせるS金物は、その全長L1が4.0dとし、プレート位置は柱梁接合部のせん断設計の際の接合部体積を大きくするように、また直行筋の配筋を考慮して、SEとSC金物のその中間にあると考える(図-1参照)。

4. まとめ

以上、まとめると以下の通りである。

- 1) 異型鉄筋D32(SD490)の引張耐力を保証するスリーブ型定着金物の定着長さは、4.0d(d:鉄筋公称径)で良いと考える。
- 2) T金物の定着性状と比較し、SC金物は同等に近い。SE金物は高い定着性能を有する。
- 3) 鉄筋のフシピッチは、拘束鋼管コンクリート中の鉄筋の付着性状に影響を与える。すなわち、フシピッチが13.0~18.0mmの間で長いほど付着耐力は上昇する。
- 4) ネジ鉄筋用の鋳物製T金物と同等と見なせるスリーブ型定着金物の形状を示した。

謝辞

本実験研究にあたり(鹿島技研)服部顧問、里山主任研究員の協力を頂いた。ここに感謝致します。

参考文献

- 1) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(許容応力度設計法) pp.20~23,1999年
- 2) 東京鐵鋼:プレートナット工法設計施工指針,日本建築センター一般評価BCJ-C2280,1999.9.8
- 3) 村上雅英,藤達也,窪田敏行:引き抜き試験によるはり主筋の機械式定着耐力の評価,コンクリート工学論文集,第8巻第2号,pp1~10,1997.7及び第9巻第1号,pp.1~9,1998.1
- 4) 加藤友康:鋳物製定着金物を用いた高層RC柱・梁接合部の機械式定着法に関する実験研究,日本建築学会技術報告集第11号,pp65~70,2000.12