

亜鉛メッキ鋼管—モルタルの付着強度について

三谷 勲・馬籠 祥一*

(受理 昭和61年5月31日)

EXPERIMENTS ON THE BOND STRENGTH BETWEEN MORTAR AND ZINKED STEEL PIPE

Isao MITANI and Shoichi MAGOME*

A wire netting fence supported with zinked steel pipe trusses was blown down by a typhoon (1985, 13). The cause of the failure was thought to be that bond between the mortar used for the bases of the fence and the steel pipes was not sufficient to resist the pull-out forces of the wind.

In order to examine the bond strength between mortar and steel pipes, pull-out and push-down tests were conducted. The embedded lengths of the pipe in the mortar are 800mm for the pull-out test and from 50 to 150mm for the push-down test. The strength of mortar varied in each test.

The pull-out test results was compared with those of the push-down test and it was found that the bond strength for the deeply embedded pipes in the pull-out test is about fifty percent of that for the pipes embedded from 50 to 150mm in the push-down test. And a comparison with the push-down test and previous test results shows that the bond strength between the zinked steel pipe and mortar is very similar to that between steel plate and concrete.

1. はじめに

柱脚を完全埋込形式（充填モルタルと鋼管の間の応力伝達をすべて付着に依存する形式）とした鋼管フェンスが台風（1985年13号）によって倒壊した。倒壊フェンスは図—1に示す構造で、亜鉛メッキ鋼管を用いたトラスを支柱としている。倒壊フェンスの柱脚部は図—2に示すように、台風時の引抜力により抜け出しており、倒壊の主因は完全埋込形式の柱脚部が風圧によって生じた引抜力に耐えることができなかったためであると推定された。

倒壊主因の構造的検討に際し、亜鉛メッキ鋼管—モルタル間の付着強度に関する資料を必要としたが、この方面に関する既往の研究が見当らなかったため、亜鉛メッキ鋼管—モルタルの付着強度に関する資料を得ることを目的として、現場引抜試験、実大模型引抜試

験、および押抜試験を行った。本報はその結果の報告である。

2. 実 験

2・1 現場引抜試験

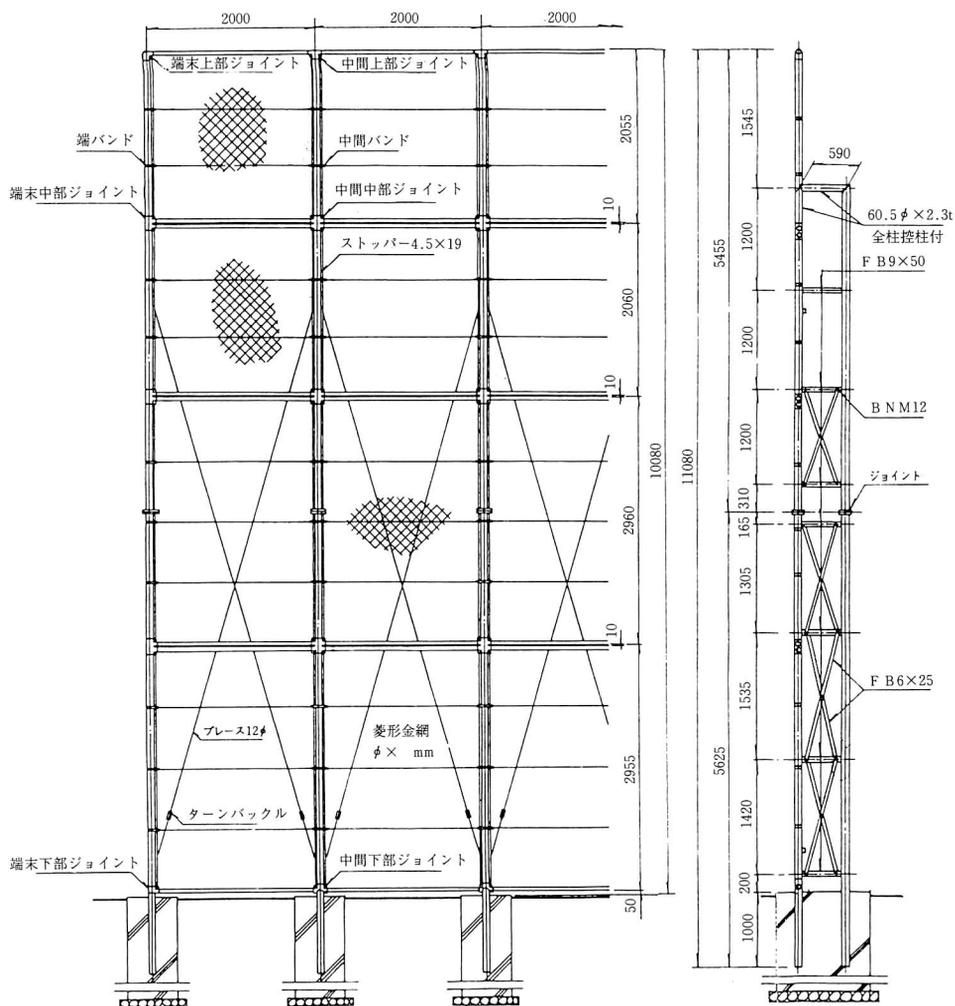
倒壊フェンスの大多数に柱脚部の抜出しが認められたが、フェンス両端部には抜出しが認められないものもあった。抜出しが認められなかった支柱を利用して倒壊フェンスの引抜耐力を調べた。

a. 試験体および実験方法

支柱に使用された鋼管は外径 60.5 mm、厚さ 2.3 mm の亜鉛メッキ鋼管である。柱脚部の埋込長さは 1000 mm で、基礎フーチングに設けられた直径約 200 mm の穴に鋼管を挿入した後、モルタルが充填されている。

台風時に引張力を受けた側の鋼管を地上約 500 mm の位置で切断し、引抜力載荷装置を取り付けた後、実験を行った。加力装置は次節に述べる実大模型引抜試

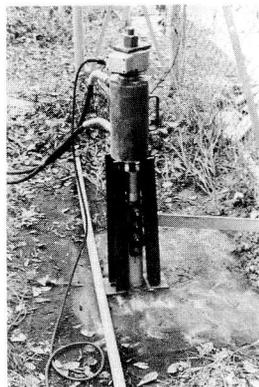
* 旭化成工業株式会社



図一 亜鉛メッキ鋼管を支柱に用いたフェンスの構造図



図二 柱脚部の抜出しの様子



図三 現場引抜試験風景

験の場合と同じ（図—5 参照）で、実験風景を図—3 に示す。引抜力はセンターホールジャッキで与え、荷重は容量 50 トンのロードセルを用いて測定し、拔出量は鋼管露出部の最下部（コンクリート表面近く）に目印を付け、最小目盛 0.5 mm の鋼尺を用いて測定した。

b. 実験結果

平均付着応力度 (τ)—変位 (拔出し量 δ) 関係を図—4 に示す。なお τ = 引抜荷重/付着表面積である。図中に記した P_{max} は各試験体の最大引抜耐力である。

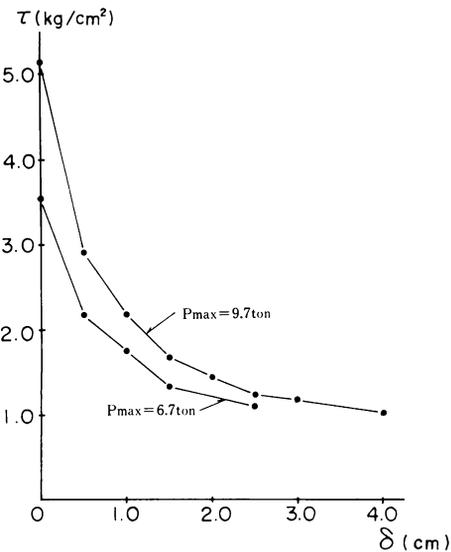
鋼板とコンクリートの短期許容付着応力度は、コンクリート強度が 200 kg/cm²（建築構造物に使用される通常のコンクリートあるいはモルタルではこの程度の強度は充分期待できる）の時、6 kg/cm²である¹⁾。本試験体（2 体）の最大耐力時の平均付着応力度は 5.1 kg/cm²と 3.5 kg/cm²であり、6 kg/cm²よりかなり低い値である。この一因は付着長さが長いため、一様な付着応力分布が期待できないことにある。

2. 2 実大模型引抜試験

付着長が長い場合の付着強度を調べる目的で実大に近い模型を製作し引抜試験を行った。

a. 試験体および実験方法

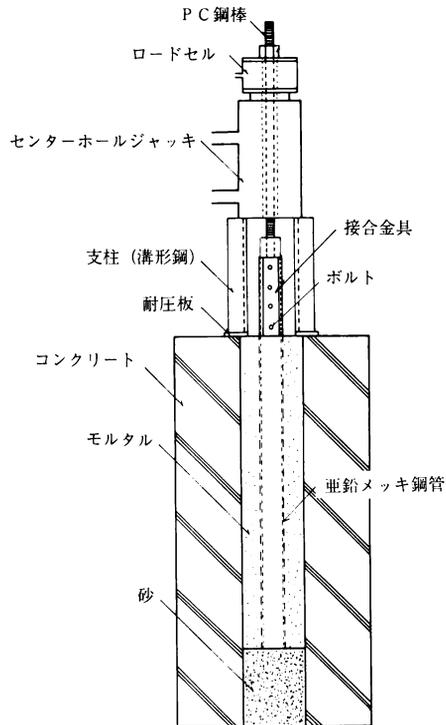
試験体に使用した鋼管は倒壊フェンスと同質のもので、60.5 ϕ × 2.3 および 50.8 ϕ × 1.6 の 2 種類である。



図—4 現場引抜試験結果

加力装置を図—5 に、加力風景を図—6 に示す。基礎フーチングに相当するコンクリートブロック（約 1 m³）には鋼管挿入用の穴（直径 150 mm、深さ 1000 mm）が 12 個設けられている。この穴に鋼管を挿入した後、モルタルが充填される。充填モルタルの設計四週強度は 3 種類とし、早強ポルトランドセメントを用いている。実験は 4 つのシリーズからなっており、そのうち 3 つはモルタル充填後 12 日目、1 つは 68 日目に载荷を行った。各試験体の実験条件等を表—1 に示す。同表中モルタル強度は 100 ϕ × 200 のシリンダーによる圧縮および割裂試験より求め、鋼管の降伏応力度等は圧縮試験より求めたものである。

引抜力は PC 鋼棒を介してセンターホールジャッキにより加え、容量が 50 トンのロードセルによって測定した。変位 (拔出し量) は鋼管露出部の最下部に目印を付け、物指により測定した。また試験体材長方向の応力変化を調べる目的で、60—A シリーズの試験体にはワイヤーストレインゲージ (WSG) を貼付している。図—7 に 60—A シリーズ試験体の様子を示す。同図は実験終了後、コンクリートおよびモルタルを除



図—5 引抜試験加力装置

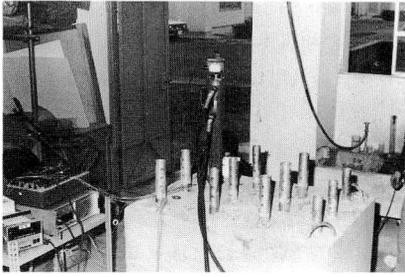


図-6 実大模型引抜試験風景

去したもので、黒い部分は貼付ゲージの防水保護膜である。

b. 実験結果

平均付着応力度 (τ)—変位 (δ) との関係を図-8(a)~(d)に示す。同図(a)および(b)は鋼管径 60.5 mm の場合で、モルタル強度 F_c はそれぞれ 270, 229 kg/cm^2 である。同図(c)および(d)は鋼管径 50.8 mm の場合で、それぞれ $F_c=248$ および 331 kg/cm^2 である。使用鋼管の降伏耐力は 60—A および 60—B シリーズの場合 15.3 トン、50—C および 50—D の場合 8.1 トンである。従って、60—A—1 および 50—D—2 の試験体の最大荷重は鋼管母材の降伏耐力に近く、60—B—1, 50—C シリーズ, 50—D—1, および 50—D—3 の場合は最大荷重が降伏耐力を上回っている。いずれの試験体の場合もモルタル強度は 200 kg/cm^2 を上回っているが、平均付着応力度の最大値 (τ_{\max}) は

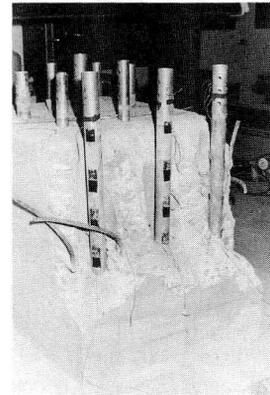


図-7 ひずみゲージを貼付した試験体の内部の様子

4.6~11.0 kg/cm^2 の範囲にあり、モルタル強度を 200 kg/cm^2 としたときの鋼板—モルタル間の短期許容付着応力度 6 kg/cm^2 が必ずしも達成されていない。但し、60—A シリーズの試験体では WSG の防水保護膜が施されているので、付着面積が約 10% 減少するが τ_{\max} の計算において付着表面積は (周長) × (埋込み深さ) としている。

60—A シリーズ試験体の上部 2ヶ所 (コンクリート上端面より 25 mm および 175 mm, 図-9 中挿図参照) に貼付した WSG によるひずみ測定結果より、この 2 点間における付着応力度を求めた。その結果を図-9 に示す。同図の τ —P 曲線の勾配が急変する点 (図中

表-1 実大模型引抜試験・実験条件等

試験体名	モ ル タ ル			鋼 管			ℓ (mm)
	F_c (kg/cm^2)	F_t (kg/cm^2)	材 令 (日)	D (mm)	t (mm)	σ_y (t/cm^2)	
1 60—A—2 3	270	24	12	60.6	2.2	3.71	800
1 60—B—2 3							
1 50—C—2 3	248	22	12	50.9	1.5	3.43	
1 50—D—2 3							

F_c =圧縮強度, F_t =引張強度, D=鋼管外径, t=鋼管厚さ, σ_y =降伏応力度, ℓ =埋込み深さ

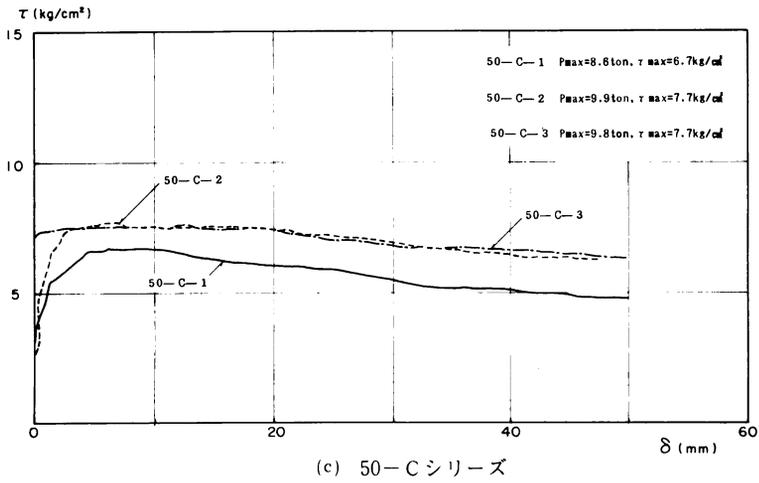
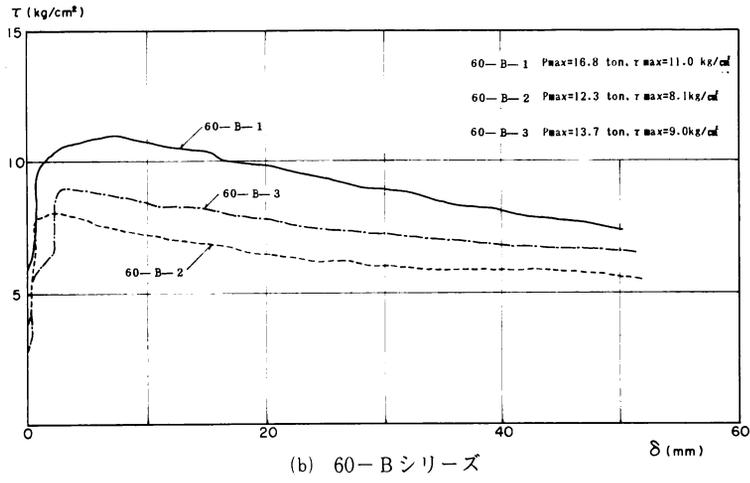
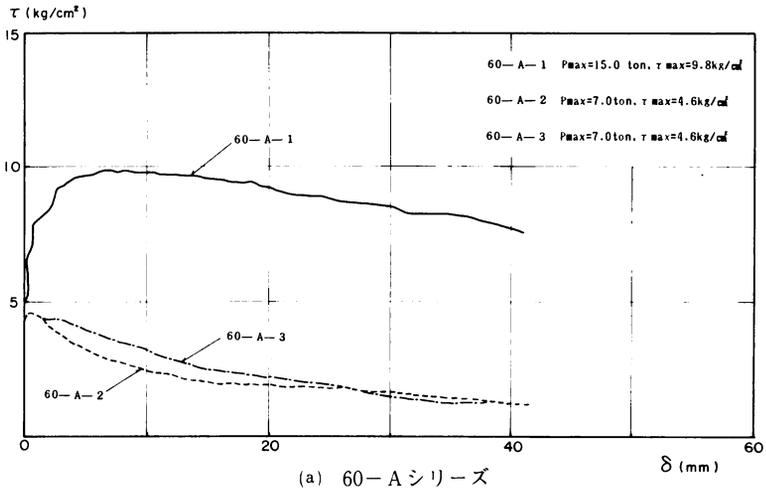


図-8 実大模型引抜試験：平均附着応力度—変位曲線

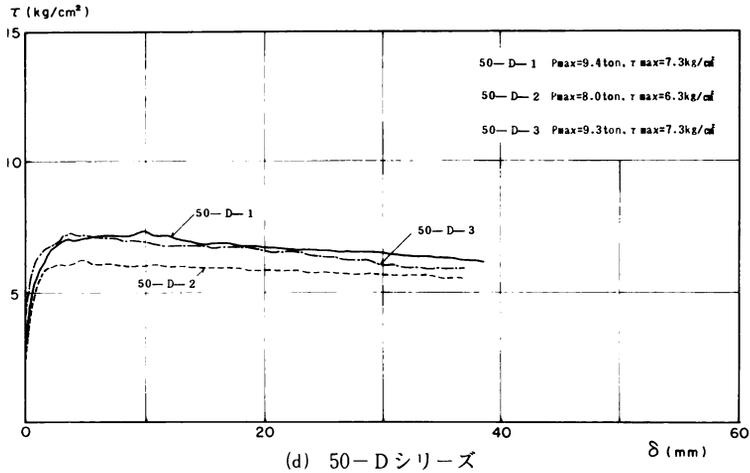


図-8 実大模型引抜試験：平均付着応力度—変位曲線（つづき）

▽印)は試験体上部において付着が破壊した時期に対応する。付着が破壊した後も τ の値が零になっていない。これは鋼管—モルタル間の摩擦抵抗により鋼管の応力がモルタル部へ伝わることに起因する。60—Aシリーズ1, 2, 3各試験体の最大荷重時の平均付着応力度 τ_{max} はそれぞれ9.8, 4.6, 4.6 kg/cm² (図-8(a)参照)であるから、局部的に付着が破壊するときの

付着強度はこれらの約2倍であることがわかる。

2.3 押抜試験

付着長さが長い場合、最大引抜荷重時の平均付着応力度は局部的に付着の破壊が生ずる時の付着強度をかなり下回ることが前節の実験で明らかになった。鋼板とコンクリートの付着強度に関する実験において、引抜試験結果と押抜試験結果との間に差異が認められない²⁾ので、本節では加力装置が簡単な押抜試験により、付着長さが短い場合についての付着強度を調べる。

a. 試験体および実験方法

試験体の1例を図-10に示す。使用鋼管はすべて48.8 ϕ ×2.3の亜鉛メッキ鋼管である。実験変数は付着長さ l (=50~150 mm), モルタル強度(水セメント比で45~75%)および載荷位置の3つである。各試験体の実験条件等を表-2に示す。試験体名□—□—□のうち□はモルタルの水セメント比(%), □は付着長さ(mm), □は載荷板の半径の別(S…内径60 mm, L…内径100 mm, 図-11参照)を表している。

加力装置の概要を図-12に示す。押抜力を万能試験機で加え、試験体下端部とモルタル上端面間の相対変位をダイヤルゲージを用いて測定している。

b. 実験結果

平均付着応力度(τ)—変位(δ)曲線の数例を図-13に示す。変位 δ にはモルタルおよび鋼管の圧縮変形も含まれているので、付着の破壊は τ — δ 曲線の最大点であるとしてよい。引抜試験体の場合に比べ、最大耐力以後の耐力低下が急激である。これは付着長

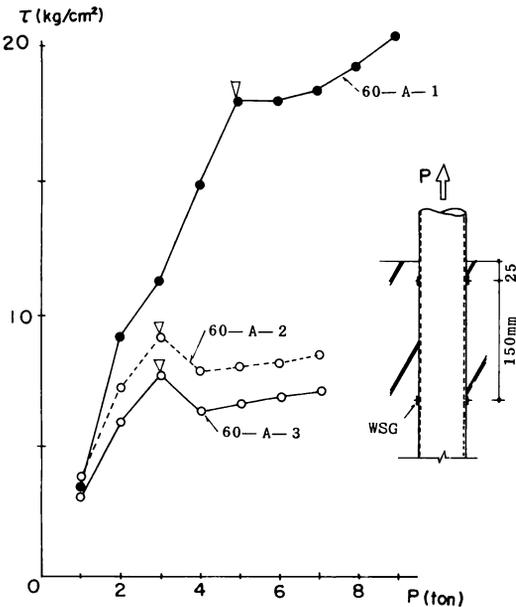


図-9 ひずみゲージより求めた τ — P 関係
(但し、 τ は挿図中150 mm間における付着応力度)

が短い場合には付着応力が材長にわたってほぼ一様に分布し、付着の破壊が付着表面の全体において同時に生ずることに起因する。

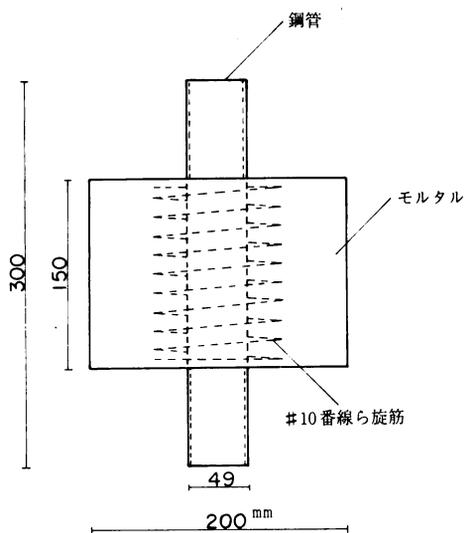


図-10 押抜試験体の例

3. 実験結果の検討

3.1 τ_{max} - F_c 関係に及ぼす諸要因の影響

本実験結果の一覧を表-3に示し、 τ_{max} - F_c 関係を図-14に示す。同図中、破線は文献1)に示される鋼板の短期許容付着応力度である。一点鎖線は押抜試験の結果の上・下限の目安を与えるものとして選んだものである。

同図より下記1~4の事柄が認められる。

1. 付着長が50~150 mmの範囲においては、付着長は付着強度 (=最大荷重/付着表面積) に影響を与えない。
2. 鋼管の降伏荷重に近い引抜力を付着抵抗のみによってコンクリートへ伝達できる程度に付着長が長い場合の付着強度は、付着長が短い場合の50%以下であり、鋼板の短期許容付着応力度に対する余裕はほとんどない。
3. 亜鉛メッキ鋼管—モルタルの付着強度 τ_{max} は $0.04 F_c + 5 \leq \tau_{max} \leq 0.06 F_c + 8$ の範囲にある。
4. 載荷板の半径 (Sタイプ…60 mm, Lタイプ100 mm) が付着強度に及ぼす影響は小さい。

表-2 押抜試験・実験条件等

試験体名	埋込長 l (mm)	モルタル			鋼管		試験体数	実験最大荷重 (ton)
		F_c (kg/cm ²)	F_t (kg/cm ²)	材令 (H)	D (mm)	t (mm)		
45-050-L	50	384	25	14	48.9	2.3	2	{ 0.82 1.60
45-100-L	100							
60-075-S	75	226	17	17	48.9	2.3	1	2.60
-L	75							
60-150-S	150	1	6.16					
-L	150			1	2.10			
70-075-S	75	1	2.03					
-L	75			1	1.65			
70-150-S	150	1	3.55					
-L	150			1	4.63			
75-050-L	50	172	15			11	48.9	2.3
75-100-L	100			2	2.58			
		2	2.76					

F_c =圧縮強度, F_t =引張強度, D=外径, t=厚さ

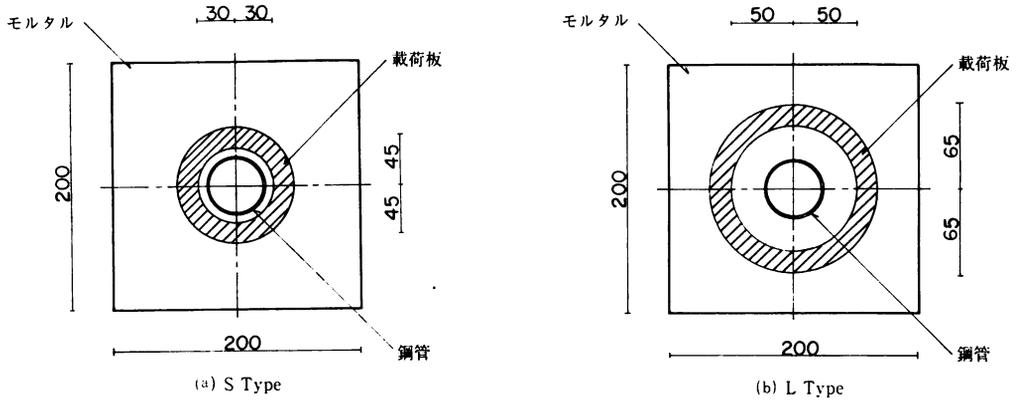


図-11 押抜荷重の載荷位置

表-3 実験結果の一覧

試験体名	F_c (kg/cm^2)	F_t (kg/cm^2)	τ_{\max} (kg/cm^2)	$\frac{\tau_{\max}}{F_c}$	$\frac{\tau_{\max}}{F_t}$	備考
60-A	270	24	6.3	0.023	0.26	引 抜 試 験
60-B	229	20	9.4	0.041	0.47	
50-C	248	22	7.4	0.027	0.33	
50-D	331	28	7.0	0.024	0.25	
平均値				0.029	0.33	
45-050-L	384	25	10.7	0.028	0.43	押 抜 試 験
			20.8	0.054	0.83	
45-100-L	384	25	30.4	0.079	1.22	
			21.3	0.055	0.85	
60-075-S	260	20	22.6	0.087	1.13	
60-075-L			17.7	0.068	0.89	
60-150-S	260	20	26.8	0.103	1.34	
60-150-L			9.1	0.035	0.46	
70-075-S	226	17	17.7	0.078	1.04	
70-075-L			14.4	0.064	0.85	
70-150-S	226	17	15.4	0.068	0.91	
70-150-L			20.1	0.089	1.18	
75-050-L	175	15	13.4	0.077	0.89	
			18.4	0.105	1.23	
75-100-L	175	15	16.8	0.096	1.12	
			17.9	0.102	1.19	
平均値				0.074	0.97	

F_c 、 F_t = それぞれモルタルの圧縮強度および引張強度

τ_{\max} = 最大耐力 / 付着表面積

引張試験結果は各シリーズ3体の平均値である。

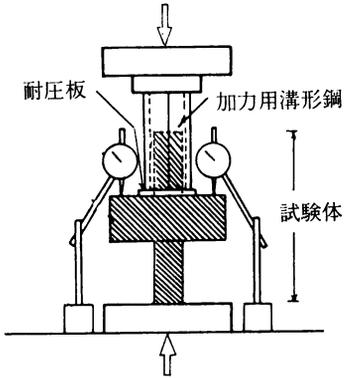


図-12 押抜試験実験装置 (斜線部が試験体)

3. 2 付着長さが長い場合の付着強度と局所付着強度との比較

60-A シリーズにおいてはひずみゲージによるひずみ測定結果に基づいて、局所付着応力度の変化を調べた (図-9 参照)。表-4 に平均付着強度と局所付着強度との比較を示す。同表より付着長さが長い場合、平均付着強度は局所的に付着が破壊する時の付着強度の 50~60% であることがわかる。従って、支柱の全引抜力を付着抵抗に期待するような設計では許容付着応力度の低減が必要である。

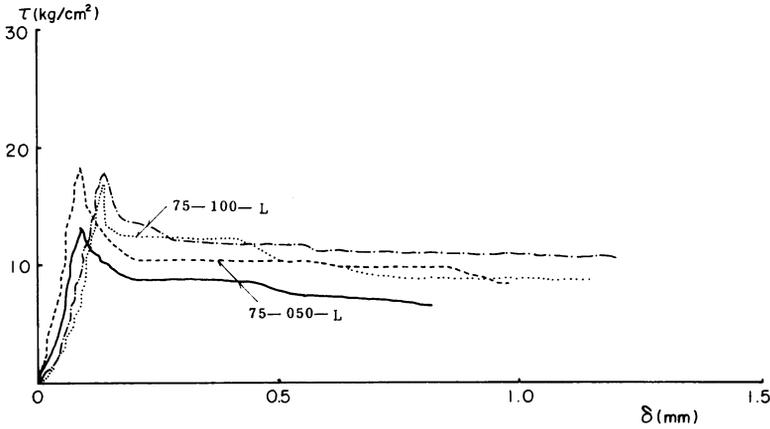


図-13 押抜試験：平均付着応力度—変位曲線の例

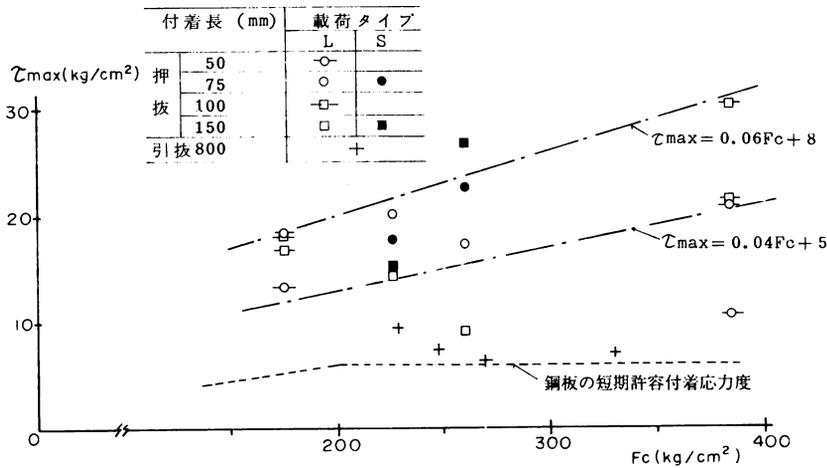


図-14 $\tau_{max} - F_c$ 関係

表-4 平均付着強度と局所付着強度との比較
(引抜試験 60-Aシリーズ)

試験体名	60-A-1	60-A-2	60-A-3
平均付着強度 τ_{max} (kg/cm ²)	9.8	4.6	4.6
局所付着強度*1 τ_e (kg/cm ²)	18.0	9.2	7.8
τ_{max}/τ_e	0.54	0.50	0.59

*1 防水保護膜による付着面積の減少を無視している。

3.3 鋼板、丸鋼に関する実験結果との比較

鋼板および丸鋼に関する実験結果^{2,3)}を表-5に示す。また本実験結果のうち、付着長さが短い引抜試験結果との比較を図-15に示す。同図の縦軸は付着強度 τ_{max} とコンクリートあるいはモルタルの引張強度 F_t との比である。同図より下記の事柄が認められる。

1. 鋼板・亜鉛メッキ鋼管とも、 F_c の変化にかかわらず、 τ_{max}/F_t の値は約1.0であり、資料分布の下限は $\tau_{max}/F_t=0.8$ である。

2. 亜鉛メッキ鋼管の付着強度は丸鋼の約2/3である。

4. 結 び

亜鉛メッキ鋼管—モルタルの付着強度を知る目的で引抜試験および押抜試験を行ない、付着強度とモルタル強度との関係、付着長さが長い場合の平均付着強度と局所付着強度との関係を調べた。更に鋼板および丸鋼に関する付着強度との比較を行ない、次の結論を得た。

1. 亜鉛メッキ鋼管—モルタル付着強度は鋼板—コンクリートの付着強度と同程度である。
2. 亜鉛メッキ鋼管—モルタルの付着強度はモルタルの引張強度にほぼ等しい。
3. 付着長さが長い場合、許容付着応力度を約50%低減する必要がある。

表-5 鋼板および丸鋼に関する既往の実験結果

文献)	試験体名	F_c (kg/cm ²)	F_t (kg/cm ²)	l (mm)	τ_{max} (kg/cm ²)	$\frac{\tau_{max}}{F_c}$	$\frac{\tau_{max}}{F_t}$	備考
文献2)	100	141	13	200	14.1	0.100	1.08	引 抜 試 験
	101	167	14	200	17.3	0.104	1.24	
	102	219	19	200	17.5	0.080	0.92	
	150	232	21	50	19.6	0.084	0.93	
	151	232	21	100	20.8	0.090	0.99	
	152	232	21	150	20.5	0.088	0.98	
	153	232	21	200	20.3	0.088	0.97	
	154	232	21	300	17.8	0.077	0.85	
	170	205	19	200	15.3	0.074	0.81	
	110	141	13	200	16.1	0.114	1.24	押 抜 試 験
	111	167	14	200	17.0	0.102	1.21	
	112	219	19	200	17.2	0.078	0.91	
	平均値					0.090	1.04	
文献3)	P 1	283	30	50	43.8	0.155	1.46	引 抜 試 験
	P 2	283	30	75	43.2	0.153	1.44	
	P 3	283	30	100	49.9	0.176	1.66	
	P 4	283	30	150	52.8	0.187	1.76	
		平均値					0.168	1.58

F_c 、 F_t = それぞれコンクリートの圧縮強度および引張強度

l = 埋込み深さ(付着長さ)

τ_{max} = 最大耐力/付着表面積

文献2)は $\phi = 6 \times 50$ 、文献3)は $\phi 16$ に関するものである。

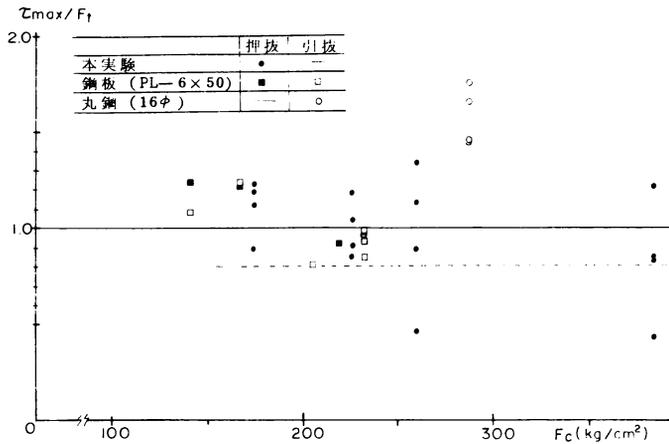


図-15 鋼板、丸鋼に関する実験結果との比較

謝 辞

実験に際し、久徳琢磨助手、清野章弘、山田昭浩（大学院2年）各氏の御協力を得ました。また東洋エクステリア(株)から御協力・御援助を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

1) 日本建築学会：鋼管コンクリート構造計算規準・

同解説，1980年，pp. 10.

- 2) 坪井善勝，若林実，末永保美：鉄骨鉄筋コンクリートに関する実験的研究 No.12 鉄骨の付着に関する実験(1)，日本建築学会関東支部第18号研究発表会1955年9月，pp. 79～82.
- 3) 六車熙，森田司郎，富田幸次郎：鋼とコンクリートの付着に関する基礎的研究（1. 付着応力分布について），日本建築学会論文報告集，第131号，1967年1月，pp. 1～8.