

論文

[2081] 鋼管で拘束された柱と、その隙間に充填した膨張モルタルの押抜きせん断耐力

鎌田 則夫*1・渡辺 康夫*2・今井 政人*3

1. はじめに

既設構造物の直下を掘削して新しい構造物を施工する場合、新たに基礎を施工する必要が生じる。この既設構造物を支える工法（アンダーピニングという）の一つとして、ケミカルプレストレス締結方式がある。この工法は、柱を鋼管で覆い、柱と鋼管の隙間に膨張モルタルを充填し、その膨張圧による摩擦力で上部構造を支えるものである。

しかし、この工法は施工実績も少なく、また膨張モルタルの配合例も一種類のデータしか見当たらず、各々の膨張圧及びせん断耐力の挙動も定かではない。

そこで、膨張材の使用量・鋼管厚さと鋼管半径の比（拘束比）・モルタル配合条件を変え、それぞれの膨張圧の測定、及び押抜きせん断耐力の確認をおこなった。

2. 試験の概要

2. 1 試験方法

図-1 に示すような供試体に膨張モルタルを充填し、材齢 28 日のせん断耐力を測定した。膨張圧は、供試体の鋼管に歪みゲージを張り付け測定した。せん断耐力は、鋼管と膨張モルタル部を支点として、200t 構造物試験機を用いた押抜きせん断方式とした。

併せて、鋼管厚さと径の比（拘束比： t/r ）による膨張圧の比較及び、膨張圧とせん断強度の比較も行った。

また、JIS A 6202 による膨張量（長さ変化率）も測定している。

各供試体の試験条件は表-1 に示す通りである。A シリーズ（TA-1~TA-8）は鋼管径を同一とし、TA-1~TA-5 を表面無処理、TA-6~TA-8 を表面 5mm 程度の目荒らしを施したものである。B シリーズ（TB-1~TB-3）は、鋼管径を変え、表面無処理としたものである。

また、C シリーズ（TC-1~TC-2）は、膨張材料の種別を変えたものである。

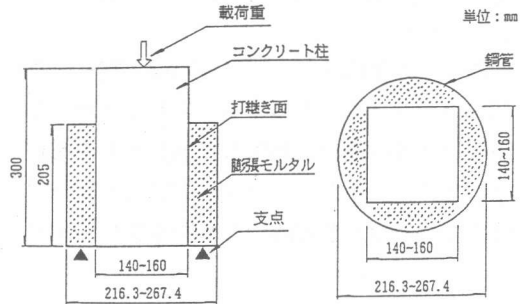


図-1 供試体断面図

表-1 供試体の試験条件

供試体 NO.	外管径 D(mm)	柱寸法 B (mm)	外管厚 t(mm)	モルタル厚 Mt(mm)	拘束比 t/r (%)	表面処理
TA-1~TA-5	216.3	140x140	4.5	34	4.16	無し
TA-6~TA-8	"	"	"	"	"	5mm ヤリ
TB-1~TB-3	267.4	160x160	6.0	48	4.49	無し
TC-1~TC-2	216.3	140x140	4.5	34	4.16	無し

* 1 (株) J R 東日本 東京工事事務所 工事管理室 主席 (正会員)
 * 2 (株) J R 東日本 東京工事事務所 工事管理室 工修 (正会員)
 * 3 (株) J R 東日本 東京工事事務所 工事管理室 工修 (正会員)

2. 2 配合条件

柱および充填モルタルの配合は、表-2・表-3の通りである。

一般にケミカルプレストレスを与える膨張材の配合量は、通常用いられる収縮補償の目的(30Kgf/m³)に比べ約1.5~2.0倍程度の使用をしている。ここでは、TA-1を最少量(53Kgf/m³)として、他を70Kgf/m³及び90Kgf/m³をベースとして配合した。

TA-4・TA-8・TB-3については、現在までの施工実績にある配合例をもとに、無収縮材と膨張材(20Kgf/m³)の併用としている。

また、配合強度による差を比較するため、AシリーズのうちTA-1~TA-2をセメント・砂比を1:1の配合モルタルとし、無収縮材の使用している配合を除いて他は1:2の配合モルタルとした。

使用した膨張材は、TA-1~TA-8・TB-1~TB-3がカルシウム・サルフォ・アルミネート系膨張材で無収縮材も同様な主成分のものを使用している。また、CシリーズTC-1~TC-2は酸化カルシウムを主成分とした膨張材を使用した。

表-2 柱コンクリート配合表

Gmax mm	SL cm	Air %	W/C %	s/a %	単位量 kg/ m ³				
					W	C	S	G	混和剤
20	8	4.0	61.3	44.3	154	251	837	1081	0.628

3. 試験結果

3. 1 フレッシュモルタルの性状と圧縮強度

フレッシュモルタルの性状及び圧縮強度は、表-4の通りである。

フロー値はテーブルフロー(JIS A 5201)により行い、無収縮材を使用したTA-4・TA-8・TB-3については、J₁₄ロートによるフロー値を測定した。

また、柱コンクリートの圧縮強度は、表-5に示す通りである。

表-3 充填モルタルの配合表

NO.	水結合材 比%	単位重量 kg/ m ³			混和材・剤 kg/ m ³		
		セメント	水	砂	膨張材	無収縮材	流動化剤
TA-1	34	905	327	958	53	—	2.6
TA-2	40	837	363	907	70	—	2.6
TA-3	45	580	293	1300	70	—	2.6
TA-4	35	—	332	—	20	1860	—
TA-5	45	560	293	1300	90	—	2.6
TA-6	45	580	293	1300	70	—	3.9
TA-7	45	560	293	1300	90	—	3.9
TA-8	35	—	332	—	20	1860	—
TB-1	45	580	293	1300	70	—	3.9
TB-2	45	560	293	1300	90	—	3.9
TB-3	35	—	332	—	20	1860	—
TC-1	45	580	293	1300	70	—	3.9
TC-2	45	560	293	1300	90	—	3.9

表-4 フレッシュモルタルの性状及び圧縮強度試験結果

NO.	フロー値		温度 ℃	空気量 %	圧縮強度 (kgf/cm ²)		
	テーブル 700 mm	Jロート 700 S			3 day	7 day	28 day
TA-1	221	—	21	2.3	534	649	778
TA-2	243	—	20	0.9	343	507	693
TA-3	254	—	20	1.3	264	451	621
TA-4	—	6.1	21	2.9	502	582	717
TA-5	245	—	20	1.4	185	393	538
TA-6	235	—	19	2.1	337	462	627
TA-7	239	—	19	1.9	227	394	549
TA-8	—	6.1	21	2.9	502	582	717
TB-1	235	—	19	2.1	337	462	627
TB-2	239	—	19	1.9	227	394	549
TB-3	—	6.1	21	2.9	502	582	717
TC-1	238	—	19	1.5	294	440	585
TC-1	239	—	19	1.5	209	351	537

表-5 柱コンクリートの圧縮強度

圧縮強度 (kgf/cm ²)		
3 day	7 day	28 day
180	273	341

3. 2 膨張量

膨張モルタルのJIS A 6202による膨張量（長さ変化率）は、図-2・図-3に示すとおりである。図から膨張率は膨張材の使用量、90、70、54Kgf/cm²の順に小さくなり、TA-1（1:1 配合モルタル）よりTA-2（1:2 配合モルタル）が膨張率は大きくなっている。

また、一般的なモルタル（1:2 配合 W/C=60%）での長さ変化率も併せて記入したが、一番収縮率は大きい値を示している。

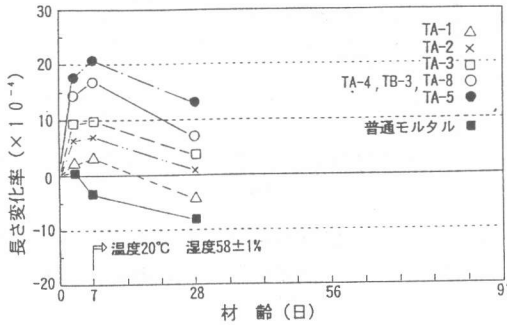


図-2 膨張量（長さ変化率）その1

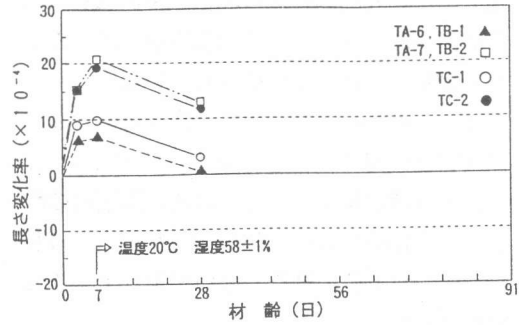


図-3 膨張量（長さ変化率）その2

3. 3 拘束比と膨張圧

鋼管厚さ（t）と鋼管半径（r）の比を拘束比 = t/r とした場合、この拘束比と膨張圧の関係を示したものが図-4である。

ここで、膨張圧： σ_M の計算は縦方向ひずみも考慮した厚肉円筒式²⁾もあるが、今回は薄肉円筒式²⁾として次式により計算した。

$$\sigma_M = \varepsilon_s \times E_s \times t / r$$

ここに、

- ε_s : 鋼管の円周方向ひずみ
- E_s : 鋼管の弾性係数 (Kg/cm²)
- t/r : 拘束比
- t : 鋼管の厚さ (mm)
- r : 鋼管の半径 (mm)

また、膨張圧はモルタル厚さの最大部と最小部の平均値をとった。

図-4の中でTA-5・TB-2とTA-3・TB-1およびTA-4・TB-3は、それぞれ同一配合で拘束比を変えた場合の膨張圧を示している。

既往の試験¹⁾⁵⁾によると図-5のように膨張圧は拘束比の一次式で表され、ほぼ拘束比

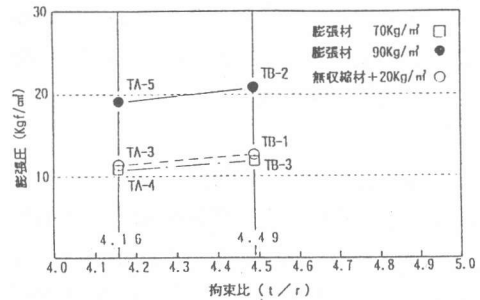


図-4 拘束比と膨張圧の関係

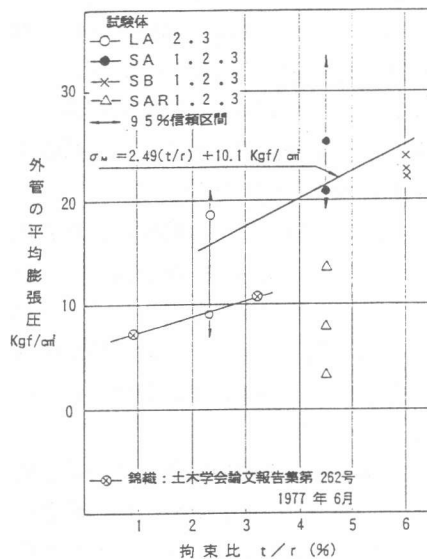


図-5 拘束比と膨張圧¹⁾⁵⁾

に比例するとされている。

3. 4 せん断耐力試験結果

図-6・図-7は、表面無処理の場合の荷重-変位図である。また、図-8は、表面5mm程度の目荒らしを施した場合の荷重-変位図である。表面無処理の場合、降伏強度まではほぼ直線的に変形し、その後変形の進行とともに荷重はほぼ一定に推移している。

また、鋼管径(拘束比)を変えたBシリーズ(TB-1~TB-3)でもAシリーズ(TA-1~TA-8)と同様な傾向を示している。膨張材の配合量が比較的少ない(53~70kg/m³)TA-1及びTC-1では変位の進行に伴い荷重が上がる傾向もみられた。

表面処理を施した供試体は、降伏と思われる位置から変形とともに荷重も上がっている。

また、表面処理を施した供試体の殆どは荷重の進行に伴い柱破壊となった。

3. 5 膨張圧とせん断強度

膨張圧とせん断強度の関係を図-9に示す。図からTA-1とTA-2(セメント・砂比が1:1モルタル)では、膨張材の量に比例して膨張圧、せん断強度とも大きくなっている。

また、TA-3とTA-5は表面無処理であり、TA-6とTA-7は表面処理(5mmはつり)がされているため、それぞれ同一配合の膨張材量であり、同程度の膨張圧が得られてもせん断強度は約20kgf/cm²程度上回る結果となった。

TA-2とTA-3の供試体は、膨張材の添加量は同一(70kgf/m³)であるが、配合はTA-2が1:1モルタル(セメント・砂比)、TA-3は1:2モルタル(同)であり、その影響が膨張圧に差が見られるものの、ほぼ同程度のせん断強度が得られている。

TA-4、TA-8、TB-3の無収縮材と膨張材を併用したものについては、いずれも他の配合に比べ、膨張圧が比較的小さくともせん断強度は大きくなる傾向が見られた。

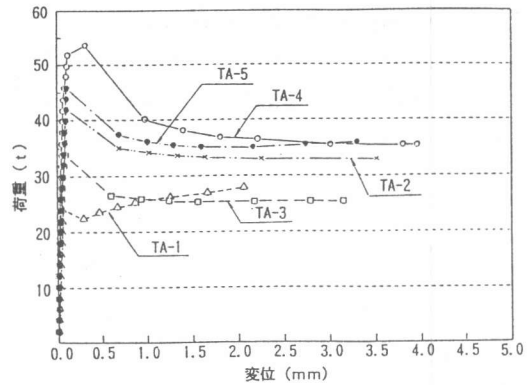


図-6 せん断耐力試験における荷重と変位
(表面処理なし、材齢28日)

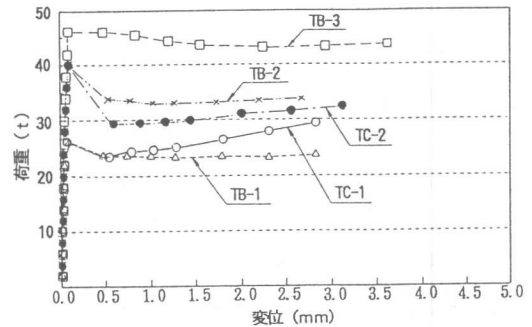


図-7 せん断耐力試験における荷重と変位
(表面処理なし、材齢28日)

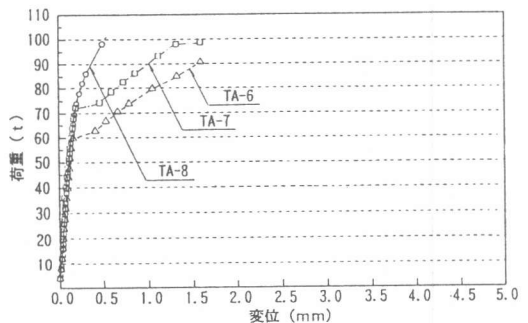


図-8 せん断耐力試験における荷重と変位
(表面処理あり、材齢28日)

次に、鋼管径を変えた供試体であるBシリーズTB-1、TB-2では、膨張材の使用量がそれぞれ同一であるTA-3、TA-5に比べ膨張圧は若干大きくなるが、せん断強度は下がる傾向が見られた。

4. せん断耐力の評価

4.1 表面無処理の場合

表面無処理の場合のせん断強度は、膨張圧による摩擦力（拘束力）のみを評価すると仮定し、その膨張圧による拘束率をCとして簡潔に一次式で表すと、

$$S_{us} = C \cdot \sigma_M + \alpha \quad \text{-----(1)}$$

ここに、

S_{us} : せん断強度 (Kgf/cm²)

C : 拘束率

σ_M : 膨張圧 ($\sigma_M > 0$) (Kgf/cm²)

α : 実験定数

(1)式から最小2乗法で求めたC、 α の値は、それぞれ、C=0.60、 $\alpha=26.5$ となり、図-10に示す通りとなる。

また、降伏以降の荷重がほぼ一定で変形が進行する部分を動摩擦力によるものと仮定し、その値（平均値）をプロットしたものが図-11である。

図から最小2乗法により算出した勾配を動摩擦係数： μ として算出した結果では、

$$\begin{aligned} S_{us} &= \mu \cdot \sigma_M + \beta \\ &= 0.32 \sigma_M + 23.7 \quad (\text{Kgf/cm}^2) \end{aligned}$$

となり、今回の試験では降伏時以降でもせん断強度20Kgf/cm²以上を確保できることが認められる。

4.2 表面処理の場合

表面処理を施した場合のせん断強度は、柱コンクリートの強度に影響されるものとして

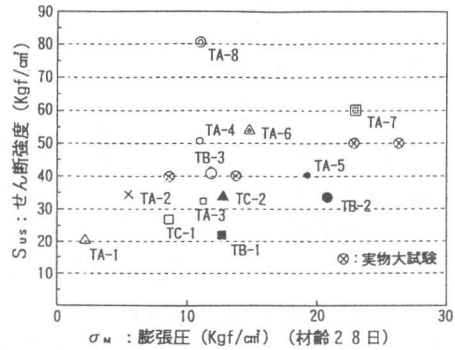


図-9 膨張圧とせん断強度
(降伏時、材齢28日)

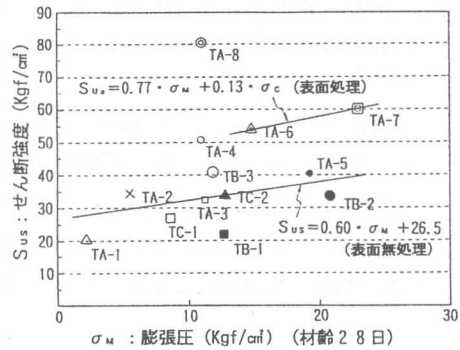


図-10 膨張圧とせん断強度
(降伏時、材齢28日)

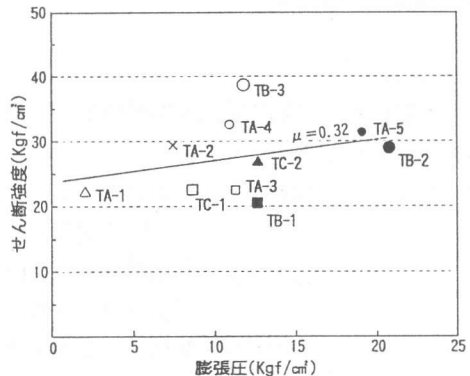


図-11 膨張圧とせん断強度
(降伏以降、表面無処理)

一次式で表すと、

$$S_{ua} = C \cdot \sigma_M + \lambda \cdot \sigma_c \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

S_{ua} : 打ち継ぎ面のせん断強度 (Kgf/cm²)

C : 拘束率

σ_M : 膨張圧 ($\sigma_M > 0$) (Kgf/cm²)

σ_c : 柱コンクリートの圧縮強度 (341Kgf/cm²)

λ : 打ち継ぎ面の実験定数

表-7 実物大試験結果

NO.	打継面 せん断 長さ (mm)	外直径 r (mm)	外壁厚 t (mm)	拘束比 t/r (%)	柱コン クリ ートの圧 縮強度 kgf/cm ²	膨張圧 kgf/cm ²	せん断 強度 kgf/cm ²
1	225	812.8	9.5	2.34	387	13.8	40
2			16.0	4.50		26.3	50
3		711.2	22.0	6.19		22.8	50
4			16.0	4.50		8.6	40

(2)式から最小2乗法で求めたC、 λ の値はそれぞれ、C=0.77、 $\lambda=0.13$ となり、図-10に示す通りとなる。(但し、TA-8の値は突出しているため除外した。)

過去の実物大試験結果⁵⁾によれば、せん断強度は、表-7および図-9に示す通りである。この試験体は配合がTA-4、TA-8、TB-3と同様であり、柱表面を5mm程度目荒らしを施している。

その結果からでは拘束比及び膨張圧の大きいNO.2、NO.3が比較的大きなせん断強度を示している。また、NO.4は柱を円柱供試体としており、拘束比がNO.2と同程度でも膨張圧、せん断強度とも小さな傾向を示している。

今回の模型試験結果と比較した場合、明確な相関関係は判明できなかったが、同一配合・拘束比・表面処理条件でのせん断強度は実物試験が低めの値となっている。

また、今回表面処理を施した供試体の数も少なく、目荒らしの効果を十分把握するに至らなかった。しかし、現場の施工条件からすれば目荒らしの量が少ないほど省力化が図れることとなり無処理に近い状態での設計法の確立が望まれる。

5. まとめ

- 1) 押抜きせん断耐力は、膨張材使用量が多くまた接合面の処理をすることにより大きくなる。
- 2) 表面無処理とした場合、変形の進行とともに耐荷荷重はほぼ一定となる。
- 3) 表面処理をした場合の押し抜きせん断耐力は、膨張材を高配合(90kg/m³)とした場合や、無収縮材との併用をした場合は、柱コンクリートの強度に影響をうける。

6. おわりに

この実験に際し電気化学工業㈱特殊混和剤事業部の方々に御協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 錦織達郎：膨張コンクリートの内張鉄管への利用に関する基礎的研究、

土木学会論文報告集 第262号 1977, 6月

2) 土木学会：膨張性セメント混和材を用いたコンクリートに関するシンポジウム、

コンクリートライブラリー 第39号 1974, 10月

3) 土木学会：膨張コンクリート設計施工指針、

コンクリートライブラリー 第45号 1979, 10月

4) 後藤裕司・長瀧重義：コンクリート接合部のせん断耐力に関する基礎研究

土木学会論文報告集 第254号 1976, 10月

5) JR東日本：アンダー・ピニング設計・施工の手引き 昭和62年 2月