

モルタルを中詰めした鋼管の圧縮試験及び 中詰め鋼管支保工の施工について

正 員 重 松 治*
正 員 ○永 井 宏 生**

1. ま え が き

現在日本鉄道建設公団、札幌支社で施工中の紅葉山線新登川トンネルの蛇紋岩地帯は設計断面を半径 3.16 m の真円とし、支保工は 150 H 50~70 cm ピッチとしコンクリート吹付工を併用した二重巻工法で施工しているが、地圧が強大で支保工や吹付コンクリートは内巻の領分を侵して変形するに至った。もっと強い支保工（軸圧約 250 t に耐える）の必要を痛感し検討の結果モルタルを中詰した鋼管支保工を用いることによって解決した。

以下は鋼管支保工を採用するに当たって行なった諸試験の報告である。

2. 試験計画

(1) 圧縮強度試験

○鋼管の種類 2 種

- (i) $\phi 6$ in (S.T.K. 41 外径 165.2 mm 肉厚 4.5 mm)
- (ii) $\phi 8$ in (S.T.K. 41 外径 216.3 mm 肉厚 8.2 mm)

○試験項目

- (i) 鋼管の圧縮強度
- (ii) モルタルの圧縮強度材齢 3 日, 7 日, 28 日
- (iii) モルタル中詰め鋼管の圧縮強度材齢 3 日, 7 日, 28 日

(2) 注入モルタル試験

3. $\phi 6$ in 鋼管圧縮強度試験

(1) 中詰めモルタルの配合と圧縮強度

表-1 配合 (1 m² 当り) 単位 kg

C	W	S	w/c	s/c	ポゾリス No. 10	膨脹剤 A 1	フロー 値
835	400	835	48	1	8.3	0.083	20±1

セメント：普通ポルトランドセメント

砂：FM 1.9

表-2 中詰めモルタル圧縮強度 ($\phi 10 \times 20$)

単位 kg/cm²

	σ_1 日	σ_3 日	σ_7 日	σ_{28} 日
無 拘 束	121.9	225.9	255.2	360.9
拘 束	164.3	310.4	346.9	445.6

鋼管供試体の形状とゲージ取付配置は図-1, 2 の通りである。

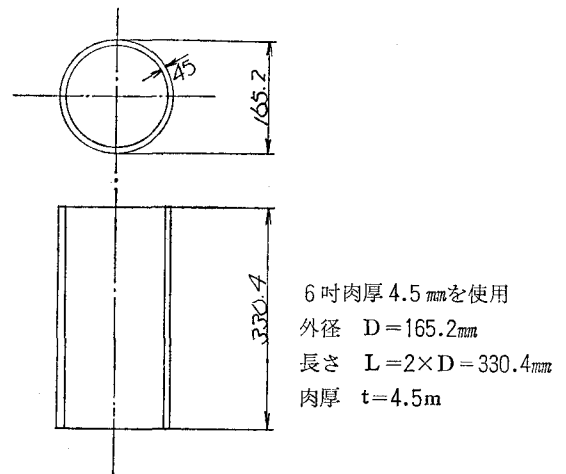


図-1 供試体の形状

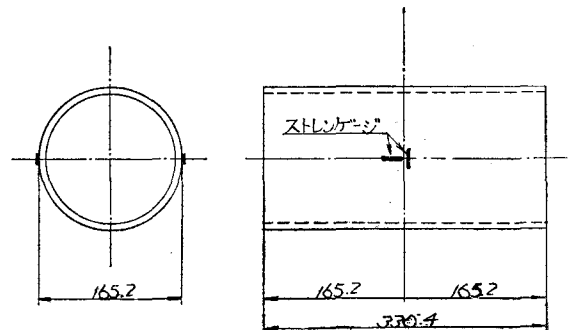


図-2 ストレンゲージ取付配置図

* 日本鉄道公団建設札幌支社 工事部長

** 日本鉄道建設公団札幌支社 占冠鉄道建設所

(2) 破壊試験結果

表-3, 4は荷重とひずみを表にしたものである。

表-3 鋼管のみ

荷 重 ton	軸方向ひずみ $\epsilon \times 10^{-6}$			接線方向ひずみ $\epsilon \times 10^{-6}$		
	1	2	平均	3	4	平均
5	130	110	120	0	40	20
10	220	260	240	0	100	50
15	300	360	330	20	140	80
20	370	440	405	30	180	105
25	460	520	490	50	220	135
30	530	590	560	80	260	170
35	610	670	640	100	290	200
40	680	740	710	140	330	235
45	760	820	790	170	360	265
50	840	910	875	210	390	300
55	950	1020	985	260	410	335
58	1090	1160	1125	300	430	365
60	1180	1230	1205	396	450	420
62	1400	1400	1400	410	460	435
64	1830	1750	1790	530	570	550
66	2800	3260	3030	700	480	770
68	—	6000	6000	690	1810	1750
70	—	—	—	3060	3160	3110
72	—	—	—	3880	4440	4155

表-4 モルタル中詰鋼管 $\epsilon \times 10^{-6}$

荷 重 ton	σ_3 日		σ_7 日		σ_{28} 日	
	軸方向	接方 線向	軸方向	接方 線向	軸方向	接方 線向
5	60	20	65	20	55	15
10	120	40	125	30	110	30
15	175	60	180	50	170	47
20	240	80	240	80	230	65
25	300	100	310	105	275	77
30	350	110	370	130	335	95
35	410	130	430	140	380	105
40	470	150	490	155	440	112
45	530	170	550	180	495	130
50	595	195	610	200	545	145
55	640	225	660	225	595	165
60	690	245	710	245	655	185
65	760	260	760	270	715	205
70	805	280	810	290	795	225
75	870	300	865	310	850	242
80	945	320	930	330	925	265
85	1045	370	990	345	1020	285
90	1125	410	1050	355	1120	310
95	1345	525	1110	375	1255	330
100	1870	625	1170	395	1440	377

荷 重 ton	σ_3 日		σ_7 日		σ_{28} 日	
	軸方向	接方 線向	軸方向	接方 線向	軸方向	接方 線向
105	2730	815	1240	425	1575	430
110	4200	1465	1300	515	1752	520
115			1435	620	1960	750
120			2250	1500	2280	840
125			5000	2100	2910	1080
130			6500	3300	3680	1540

表-3, 4からグラフにした

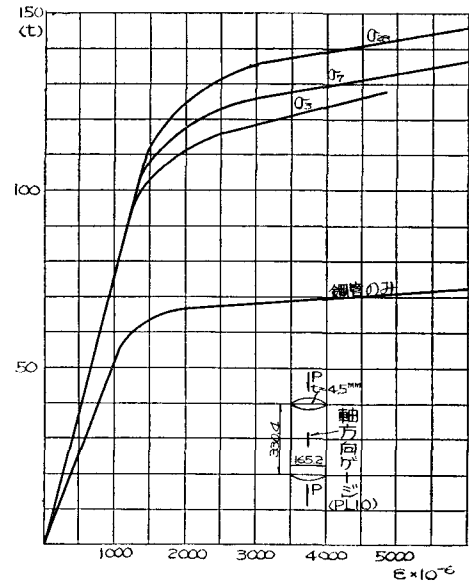


図-3 $\phi 6$ in 軸方向荷重ひずみ関係

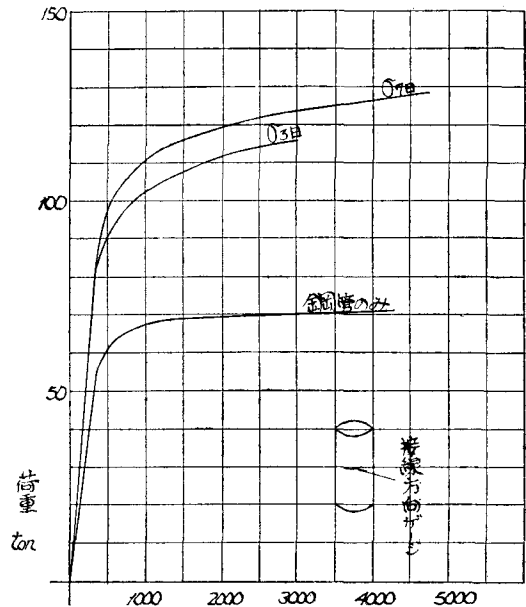


図-4 $\phi 6$ in 線接方向荷重ひずみ関係

降伏荷重及び合成材料としてのヤング係数は次表の如くである。

表-5

	降伏荷重 (t)	換算断面 面積 (cm ²)	ヤング 係 数 (kg/cm ²)	ポアソン 比	n*
鋼管のみ	55	22.72	2.17	0.29	
σ3 日	90	41.87	2.17	0.31	10
σ7 日	100	36.39	2.17	0.27	14
σ28 日	110	44.00	2.17	0.28	9

* n の値は表 6~8 の中の計算値より決定した。

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

表-6 σ₃ 日

(1) 荷重 t	(2) ε×10 ⁻⁶	鋼 管		モ ル タ ル	
		E _s ×10 ⁶	P _s (t)	E _c ×10 ⁵ *	P _c (t)
5	60	2.17	2.958	1.78	2.042
10	120	2.17	5.916	1.78	4.084
15	170	2.17	8.381	2.03	6.619
20	225	2.17	11.093	2.07	8.907
25	275	2.17	13.558	2.17	11.442
30	330	2.17	16.269	2.17	13.731
35	380	2.17	18.734	2.23	16.266
40	440	2.17	21.692	2.17	19.308

表-7 σ₇ 日

(1) 荷重 (t)	(2) ε×10 ⁻⁶	鋼 管		モ ル タ ル	
		E _s ×10 ⁶	P _s (t)	E _c ×10 ⁵ *	P _c (t)
5	65	2.17	3.205	1.44	1.795
10	125	2.17	6.163	1.60	3.838
15	190	2.17	9.367	1.55	5.633
20	225	2.17	11.083	2.07	8.907
25	320	2.17	15.776	1.50	9.264
30	380	2.17	18.734	1.55	11.264
35	445	2.17	21.939	1.53	13.061
40	510	2.17	25.143	1.52	14.857

表-8 σ₂₈ 日

(1) 荷 重	(2) ε×10 ⁻⁶	鋼 管		モ ル タ ル	
		E _s ×10 ⁶	P _s (t)	E _c ×10 ⁵ *	P _c (t)
5	60	2.17	2.958	1.78	2.042
10	110	2.17	5.423	2.36	4.577
15	165	2.17	8.135	2.17	6.865
20	215	2.17	10.600	2.28	9.400
25	265	2.17	13.065	2.35	11.935
30	320	2.17	15.776	2.32	14.224
35	370	2.17	18.241	2.36	16.751
40	415	2.17	20.460	2.57	19.540

$$\text{換算断面積 } A = A_s + \frac{1}{n} A_c$$

$$A_s = 22.72 \text{ cm}^2 \text{ (鋼管断面積)}$$

$$A_c = 191.53 \text{ cm}^2 \text{ (モルタル断面積)}$$

関 係 式

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

σ: 応力度

P: 荷 重

$$\varepsilon = \frac{\delta}{l} \quad (2)$$

A: 断面積

ε: 単位ひずみ

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

δ: ひずみ量

l: 供試体長

E: ヤング係数

$$\text{HooK の法則 } \delta = \frac{Pl}{AE}$$

鋼管とモルタルが受け持っている荷重。及びモルタルのヤング率の算定。

$$P = P_s + P_c$$

$$P_c = \varepsilon_c E_c A_c$$

$$P_s = \varepsilon_s E_s A_s$$

P: 荷重

P_s: 鋼管が受け持つ荷重

P_c: モルタルが受け持つ荷重

E_s: 鋼管のヤング率

E_c: モルタルのヤング率*

$$A_s = 22.72 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 191.53 \text{ cm}^2$$

注 * モルタルのヤング率は逆算したセカントモデュラスである。

4. φ 8 in 鋼管の圧縮強度試験

モルタルの配合及び強度は次の如くである。

配 合

表-9 (1 m³ 当り) (単位 kg)

C	W	S	W/C	S/C	ボゾリス No. 10
872	392	872	45%	1	10%

セメント: 普通ポルトランドセメント 砂: 標準砂
モルタル強度

表-10

材 齢	強 度 kg/cm ²
σ ₁ 日	168.3
σ ₃ 日	366.9
σ ₇ 日	456.9

表-11 (単位 ton)

	① 降伏荷重	② 鋼管降伏荷 重	② モルタル 破壊荷重	③ ①-②	③/② ×100 %
鋼管のみ	140	140	—	—	—
σ_1	180		52.8	40	76
σ_3	250		115.1	110	96
σ_7	280		143.3	140	98

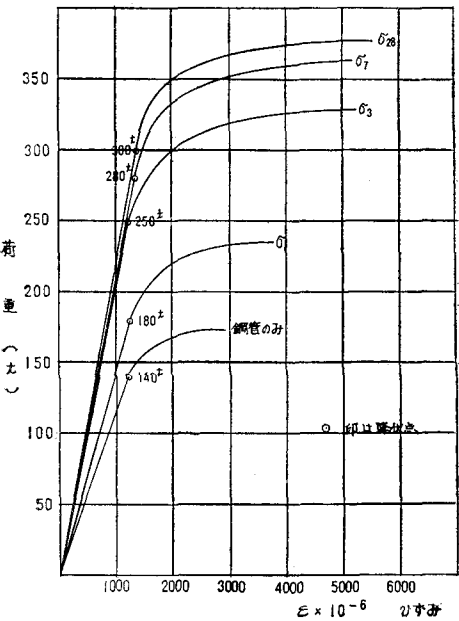


図-5 軸方向荷重ひずみ曲線

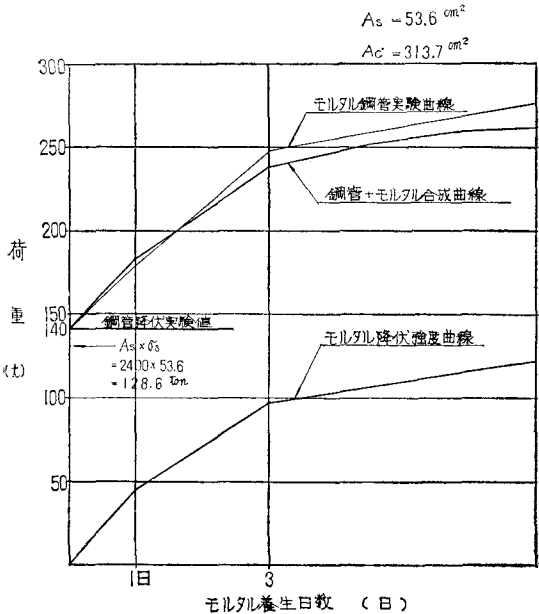


図-6 実験降伏値と合成降伏値

モルタル中詰合成材が降伏点に達した時、ひずみ度の小さい鋼管は降伏しているが、中詰モルタルは未だ余力を残しており、モルタルが、負担している荷重は表の如く、その破かい荷重の76~98%である。

図-6はモルタルの降伏荷重を破かい荷重の85%として算出し、これに鋼管の降伏荷重を単純にプラスしたものと合成材料としての鋼管の実験降伏荷重と対比して表にしたものである。

以上よりモルタルを中詰した合成材料としての鋼管の降伏荷重は、モルタルの降伏荷重と鋼管の降伏荷重を単純にプラスしたものと考えて良い。

5. 中詰モルタルについて

モルタルは次の条件を満足しなければならない。

- (1) 管内に完全にでん充され、空隙を残さないこと。
部分的にでも、小空隙があれば、そのカ所で支保工は座屈する。このためにはモルタルは、無収縮ノーブリージングでなければならない。
- (2) 早強性であること。
トンネル地圧の発生は急速であり支保工の軸力は掘さく後下半建込までに(およそ5日目)、下半建込後は250t程度に達するからこの地圧の発生に対応した早強性が必要である。このためにはモルタルの強度は σ_3 日=150 kg/cm², σ_7 日=250 kg/cm², σ_{28} 日300 kg/cm²以上であること。
- (3) 施工全時間を通して、施工しやすい流動性(フロー値20秒)を確保すること。

注入モルタルの配合設計

モルタルの配合は、ブリージング率、膨張率、流動性及び早強性について、各種の実験をして表-12に示す配合を決定した。

表-12 配合 (1m³当り) 単位 kg

C	W	S	W/C	S/C	ボゾリス No. 10	アルミ 粉	フロー 末値
835	400	835	48%	1	8.3	0.083	20±2 sec

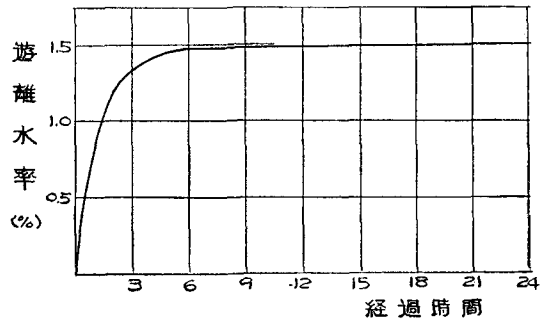


図-7

注入モルタルの性状

遊離水率

ブリージング率は出来るだけ小さいことが、望ましいがここでは、流動性に制限があるのでやむを得ない。その特性は図-7に示すグラフの通りである。

(測定方法)

1,000 cc のメスシリンダーに 800 cc 程度のモルタルを満し、静置しておき、30 分おきに遊離水が、最大になるまで読んだ。

$$\text{遊離水率} = \frac{V}{V_w} \times 100 (\%)$$

V : 試料の量

V_w : 遊離水量

注 一般にはブリージング率を表わすのであるが、ここで遊離水率と表現したのは、モルタルの体積の減少をわかりやすくするために、膨張率との比較に関連をもたせた。

膨張率

鋼管内にモルタルを充分に充させるためには遊離水を完全に排水させなければならないので、アルミ粉を混入してモルタルを膨張させ遊離水率に対して膨張率を 3~4 倍多くしてその効果を期待した。

膨張率の特性は図-8に示す通りである。

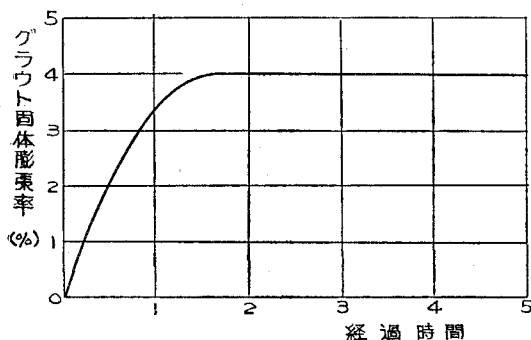


図-8

(測定方法)

φ 5 cm / 40 cm のポリエチレン袋に約 20 cm のモルタルを入れ水 400 cc 入れたメスシリンダーに静かにそう入する。

メスシリンダー中の水面とモルタル面とが一致するまで袋を下げこのときの水面の読みから 400 cc を引いてモルタル体積 V_{cc} を求めた、時間において、モルタルの体積 V'_{cc} を求めた。

$$\text{膨張率} = \frac{V' - V}{V} \times 100 (\%)$$

モルタルの膨張はアルミ粉の混入量によって膨張率が顕著に変わり、あまり多くすると強度や流動性に大きな悪影響を及ぼす。

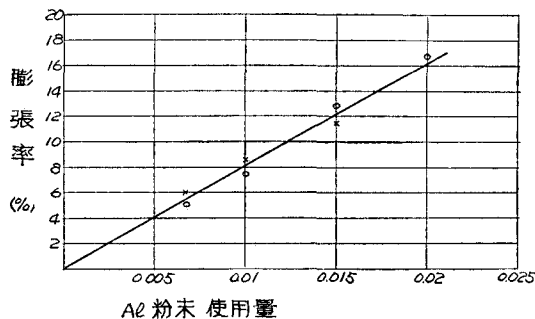


図-9

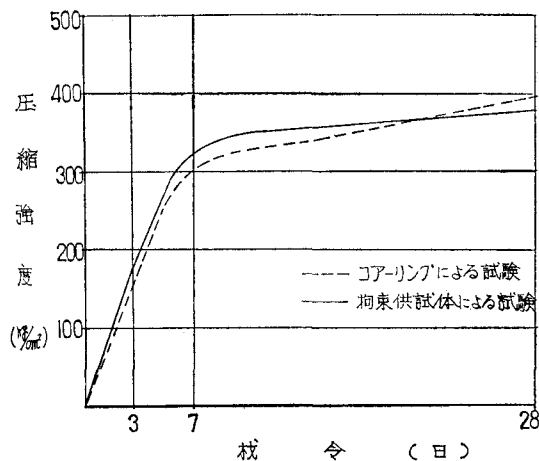


図-10

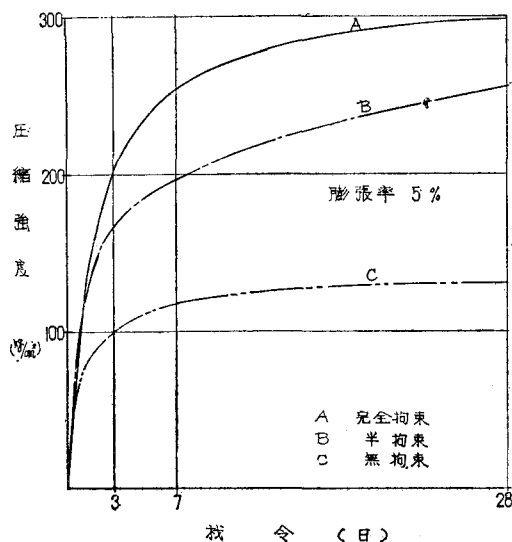


図-11 Al 粉末を用いた注入モルタルの拘束状態による強度の変化

中詰モルタルの強度

膨張モルタルの強度はその型わくの状態によって、非常に異なり供試体の拘束性と支保工の拘束性を充分検討しなければならない。

ここで、現場の支保工と同じ条件で供試体を作りその強度を測定した。

まず、供試体はプレパクトコンクリート用の完全拘束性のものと、 $\phi 8$ in の鋼管支保工で作った供試体に現場と同じように注入し、中味をコアリングしてそれぞれの強度を測定した。

値は図-10のグラフに示す通りであるがプレパクトコンクリート用の供試体でとった値とコアリングによる値とではわずかに5~10%の差が見られるが、この種の実験においては、ほぼ同じと見ても良いと思う、したがって、鋼管支保工内のモルタルの強度は、ほぼ拘束状態にあると考えられる。拘束状態変化による強度の特性は図-11に示す。

現場施工モルタルの強度

表-13 $\phi 5 \times 10$ (拘束) 注入圧 5 kg/cm²

σ_3	186 kg/cm
σ_7	327
σ_{28}	378

6. 鋼管支保工の設計と施工

鋼管支保工には図-12に示すような水抜き孔と裏込注入孔を設けた。

