

住友金属 正会員 山川 純雄
住友金属 正会員 ○ 三好 博嗣
住友金属 正会員 中山美津夫

1. ま え が き

鋼管支保工は、①建込後モルタルの充填により耐力を増大することができる。②モルタルの充填だけではまだ耐力が不足する場合、スパイラル鉄筋その他の内挿材により、更に耐力向上を計り得る。③H形支保工に較べモルタル吹付作業が容易などの長所があり、膨張性地山など大土圧を受けるトンネル支保工として注目されている。

しかし、鋼管支保工の施工例は少なく、その強度、剛性の評価についても不明な点が少なくない。そこで本報告は、①実際の使用状態に近い条件下での耐荷安全性、②モルタル充填の確実性などの問題を解決するために行なった円形鋼管支保工の実大実験結果を報告するものである。

2. 実 験 概 要

2.1 供試体と実験方法：鋼管支保工の形状寸法を図1、主要寸法および断面諸量を表1に示す。モルタルの示方配合は表2に示す。なお供試体は土圧100t/m²を対象にしたものであり、内挿材は全く使用していない。

載荷方法はP₁、P₂、P₃、P₄の計4種の荷重を供試体の周囲16等分点から点対称に作用させた（図1参照）。

荷重条件としては一様土圧と偏土圧を考え、表3に示す土圧パターンについて実験を行なった。

測定項目は支保工各部のひずみ・変位、継手開口量、継手板のひずみおよび載荷荷重などである。

3. 計 算 方 法

平面剛節ラーメンの解析プログラムを用いた。実際の継手剛性が不明なため、継手部材は曲げ剛性EIをもつ微少部材とし、その他は鋼管とモルタルの合成断面剛性E_Ieをもつものと考え、E_I/E_Ie比を変数にとり、継手の応力および変形に及ぼす影響を調べた（図3、図4参照；計算には表1の値を使用）。表1 主要寸法ならびに断面諸元

4. 結 果 と 考 察

4.1 モルタル充填の効果：図2は一様土圧条件①での載荷荷重（ジャッキ1基当たり）と鋼管表面の管軸方向圧縮ひずみの関係を示したもので、載荷荷重が40tの場合、モルタルを充填することで約25%ほど鋼管のひずみが減少する。

4.2 応力状態：図3に代表的土圧パターン②に対する荷重P（1基当たり）と応力σ_M、σ_Nの関係を示す。

この図から、σ_Mは一様土圧時には非常に

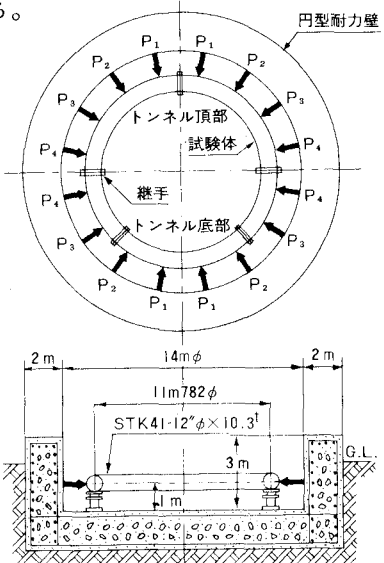


図1 載荷状態略図

区分	名 称	単位	寸法或は量	備 考
寸 法	リング直径	mm	11782	
	〃 外径	〃	12100.5	
	〃 内径	〃	11463.5	
	鋼管寸法	〃	318.5φ×10.3t	STK41 12"φ
断 面 性 能	継手板寸法	〃	22t×350×450	SS41
	ボルト	〃	F10T.M22×75	4本/箇所
	断面積：A	cm ²	99.73	
	断面二次モーメント：I	cm ⁴	11900	
断 面 性 能	断面係数：Z	cm ³	744	
	鋼管等価断面積：A _e	cm ²	152.41	(1)モルタルは全断面有効とする
	鋼管等価断面二次モーメント：I _e	cm ⁴	14822	(2)n=Es/Ec=3.23
	モルタル等価断面係数：Z _e	cm ³	931	
使用モルタル圧縮強度		kg/cm ²	σ ₂₈ ≧490	内空断面積697cm ²
注入量（1リング）		m ³	2.6	
鋼 材 重 量		kg	約 3200	

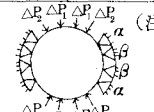
小さいが、偏土圧成分 ΔP が作用する($P > 30 \text{ t}$)と急激に増大する。しかし、 σ_N はその直線性が若干乱れる程度で変化量としては小さい。また実験値と計算値とを較べると、巨視的にはほぼ合っていると言える。しかし、 ΔP とそれによる応力の増分 $\Delta \sigma_M$ との関係をみると(図は省略)、実験値は非線形挙動を呈しており、実験値と計算値との対応が悪い。

表2 モルタルの示方配合

S	W	C	S	W	A	NL-1400	フローの範囲
g	g	g	g	g	g	g	(sec)
1.0	37	933	933	345	1023	34.99	2.2±2

表3 土圧条件

パターン	土圧区分	偏土圧成分比 $\frac{\Delta P}{P}$				パターン	土圧区分	偏土圧成分比 $\frac{\Delta P}{P}$			
		ΔP_1	ΔP_2	ΔP_3	ΔP_4			ΔP_1	ΔP_2	ΔP_3	ΔP_4
①	一様土圧	0	0	0	0	⑦	偏土圧	1	1	1/2	0
②	偏土圧	1	0	0	0	⑧	"	1	2/3	1/3	0
③	"	1	1	0	0	⑨	"	1	3/4	1/4	0
④	"	1	1	1	0	⑩	"	0	-1	-1	0
⑤	"	1	1/2	0	0	⑪	側方変位拘束	1	1	α	β
⑥	"	1	1/2	1/2	0						



(注) 偏土圧条件での一様土圧成分 P は30トンとした。

目下、継手部の実大部分模型実験を行っており、この非線形挙動要因について検討を行なう予定である。

4.3 変形状態：(1)低土圧時の変形特性 一様土圧条件($P = 0 \sim 30 \text{ t}$)までの経過では、各土圧パターンを通して水平方向変位 δX 、鉛直方向変位 δY がかなり不安定にバラついている。しかし、この不安定変形挙動の主たる要因は、 δX および δY が支保工中心方向の変形によるものであるという事実を考えれば、リング軸圧縮力によって継手板が馴む(密着する)までの溶接ひずみ並びに加工精度等によるものと考えられる。

この支保工中心への初期不安定変形特性は、膨張性地山での可縮挙動を生じ、初期の強大な軸圧縮応力の発生を避ける方向に働くため、かかる地山ではむしろ有用だといえよう。

(2)偏土圧時の変形特性 各土圧パターンにおける変形量 δX および δY を表4に示す。土圧成分は $P = (P_0) = 30 \text{ t}$ 、偏土圧成分 $\Delta P/P_0 = 0.1$ の時の値である。パターン⑪は、変形および応力度とも小さく、実際の地山での拘束条件に近いものと考えられる。

(3)実験値と計算値との比較 図4は、パターン②、パターン③における鉛直変位 δY を継手剛性 I と支保工部材の剛性比、 I/I_e 域は I/I_s をパラメータとして計算した結果を示したものである。

図中の水平な破線およびハッチ部は実験値であり、モルタルの空と充との中間にある。ここで、初期中心方向変位量を考えると(ハッチ部下限値)、モルタルを考慮した場合のたわみに近くなる。

弾性域内の実験ではあったが、中詰モルタルが有効に働いていたことがわかる。

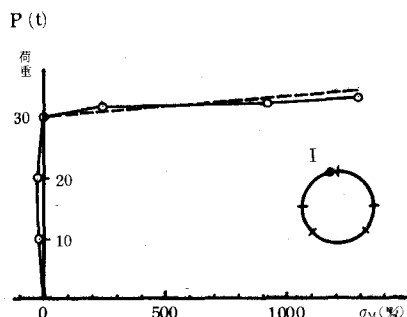


図2 $P - \epsilon$ 線図

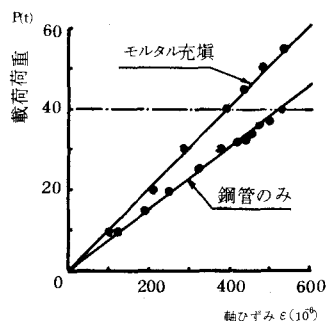


図3 $P - \sigma_N, \sigma_M$ 図 (パターン②)

4.4 継手の挙動：図5に支保工水平位置での継手2の継手回転角 θ_2 と応力比 $\sigma_{M_2}/\sigma_{N_2}$ の関係(継手に最も近い測定断面での値)を、作用曲げモーメント M と θ_2 に、 $M = K_2 \theta_2$ (K_2 は継手の回転ばね定数)の関係が成立するものとして、 K_2 と $\sigma_{M_2}/\sigma_{N_2}$ の関係を示す。

これより、 $\sigma_{M_2}/\sigma_{N_2}$ の増大は K を柔ならしめる傾向にあり、支保工の弱点である継手部を考えると好ましくない。

なお、別報にて継手部の実大部分模型実験の結果については別に報告されている。

図6は、パターン①での継手1, 2, 3および3'の回転角 θ と荷重Pとの関係を示したもので、一樣土圧条件にもかかわらず、

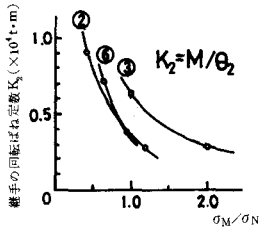


図5 $K_2 - \sigma_M / \sigma_N$ 曲線

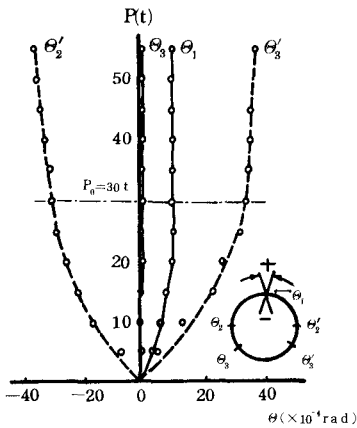


図6 $P - \theta$ 図 (パターン①)

$P < 30$ t で回転角が増大する。これは前述の初期不安定変形挙動と関係するものと考えられる。

5. む す び

ここでは、荷重制御条件に対するモルタルの充填効果、応力・変形状態および継手部の挙動を実験的に明らかにした。

今後は支保工の側方変位制御方式の実験を予定している。

参考文献

- 1) 足立、ほか；合成フープ鋼管柱の強度、鉄道技術研究所報告、№789、1971年2月
- 2) 足立；膨張性をもった地盤中のトンネル施工について、土木学会誌59巻4号PP37～46
- 3) 持田；青函トンネルで開発した新技術、75トンネル技術講演会テキスト、日本トンネル協会（土木工学社）、昭和50年3月、PP139～155。
- 4) Maney, G. A., High Strength Reinforced Concrete Column Developed, A. S. C. E. 1944
- 5) H. C. マーチン；マトリックス法による構造力学の解法（吉識監訳）その他

表4 支保工の水平鉛直変位量および σ_{Mmax} とその断面

パターン	土圧区分	δM 単位 mm	δY 単位 mm	σ_{Mmax} 単位 MPa	σ_{Mmax} の 断面位置	備 考
①	一樣土圧	-17.1	-1.0	6.0	K	$P_0 = 30$ トンの値
②	偏土圧	54.3	-82.6	133.0	I	+: 直径増大 -: 直径減少
③	"	101.0	-93.5	130.0	I	
④	"	29.4	-21.2	57.0	N	
⑤	"	68.6	-67.1	110.0	I	
⑥	"	33.6	-32.8	55.0	N	
⑦	"	30.4	-25.7	65.0	N	
⑧	"	76.6	-70.6	115.0	N	
⑨	"	37.7	-32.8	67.5	N	
⑩	"	-8.0	1.6	54.0	III	
⑪	側方拘束	5.8	-27.8	(40.0)	N	$\Delta P_1 = \Delta P_2 = 20$ トン $P_3 = 10$ トン

土圧区分が偏土圧のものについては、 $P_0 = 30$ トン、 $\Delta P / P_0 = 0.1$ の場合の値
 $P_0 = 30$ トン時 $\sigma_N \approx 700$ MPa

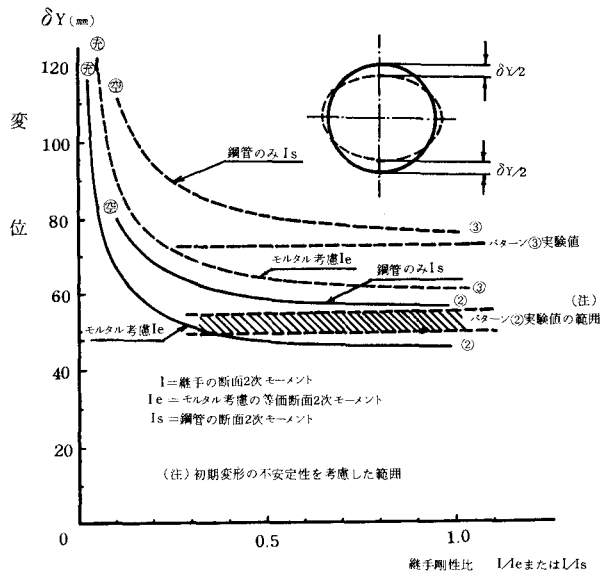


図4 $\delta Y - I / I_e$ 曲線図 ($\Delta P / P_0 = 0.08$)