Ⅳ—11　トンネル鋼アーチ支保工の実験的研究

国鉄静岡幹線工事局　坂本貞雄

Ⅰ緒論

トンネル工事において土圧に応じた覆工巻厚の設計は，現在の技術段階においては，非常に困難なので，掘さく中の支保工にかゝる荷重の程度から土荷重を推定し覆工の巻厚を決めていることが多い。

しかも支保工の強度も解明しえず，たゞ実例，経験に頼っている現状にかんがみ支保工の強度を把握することが，支保工の設計，施工上非常に大切なことであり，また覆工巻厚の決定に必要な土荷重の推定の重要な足がゝりになりうるものである。

一方支保工を構造上から分類すると支柱式支保工とアーチ支保工になるが，鋼アーチ支保工はその作業の安全度が高く，覆工にきれつ変状が起る率が少く，トンネル工事に用いられる機械がますます大型化する現状ではなお一層有利となるので，今後鋼アーチ支保工の使用が飛躍的に増大するものと思われる。

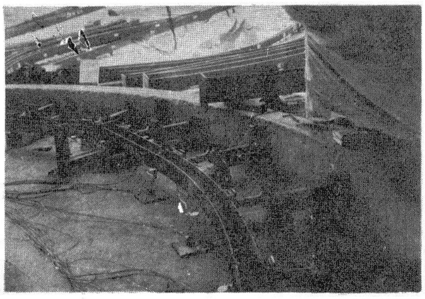
こゝで国鉄単線一号型全断面鋼アーチ支保工および国鉄新幹線複線上部半断面鋼アーチ支保工を各種鋼材について，単位荷重による応力影響線を実物実験により作成し，その強度を求め，更に経済比較を行った。

Ⅱ強度試験

1.概要

実験を容易にするため支保工を水平に組立て，油圧ジャッキを用いて最大50tの載荷ができるように深さ50cmの鉄筋コンクリート壁で囲まれたトンネル断面にあわせた構造物を設けた。(写真—1参照)

写真—1　載荷試験場



支保工のくさび位置にはくさびを十分にきかせた状態を想定し，普通の力でハンマーを10回程度うちしめたものにみあうものとして無載荷状態で300kgの反力のあるくさびを用いた。

支保工の各くさび点のうち1ケ所づつに単位荷重をかけ，支保工の各くさび位置に生ずる内側外側の応力を測定し，応力影響線を作成し，これに1mの土荷重が偏荷重および全荷重として作用した場合の荷重の値を乗じ支保工の応力を求め，各くさび位置における応力の最大値で支保工部材の許容応力を除し，これを支保工の許容される土荷重高さとした。

更に影響線よりもとめた強度と比較するため，全くさび点より受働圧力を含めた荷重比率で一斉載荷し，土荷重が全荷重として作用したときの支保工破壊試験を行った。

こゝにおける土荷重の考え方は“Rock Tunneling With Steel

Supports" (Proctor & White著) に述べてある方法によった。

許容応力は一時的構造物である支保工の使用目的を考慮して，弾性限度以下であり，しかも破壊に対する安全率が2.0以上となるように，永久構造物に対する許容応力の40%増とした。

特に支保工材としての古レールの鋼材規格は高張力鋼鉄道橋設計示方書案解説の才3条のRS36の規格とみなされるが，伸びの少いことを考慮し，RS32に対する才6条の軸方向圧縮応力をとった。

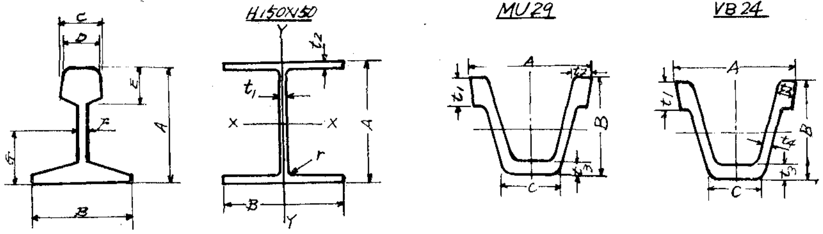
2.単線1号型全断面鋼アーチ支保工

1).実験材料

表―1　実験に使用した鋼材の断面諸係数

種類		重量 kg/m	断面形 mm	断面係数 Wx	断面係数 Wy	Wx:Wy	断面積 cm²	引張強さ kg/mm²	降伏点 kg/mm²	伸び %	製造会社名	製造年月	加工法
坑枠鋼	VB24	24.2	123×99	65.2	69.3	0.94:1	30.8	51以上	33以上	18以上	日本鋼管KK	1959	アーチ部冷間曲げ加工
	MU29	29.0	133×120	97.4	95.8	1:1	37.0	50 〃	33 〃	22 〃	八幡製鉄KK	―〃―	―〃―
レール	新30kg	30.1	108×108	108	28	3.8:1	38.3	70 〃		9 〃	富士製鉄KK	1958	アーチ部熱間曲げ加工
	新37kg	37.2	122×122	149	37	4.0:1	47.3	70 〃		9 〃	―〃― 八幡製鉄KK	1958 1959 1958	―〃―
溶接H型鋼	H150×150	30.5	150×150	202.2	67.6	3.0:1	38.9	41~50	23 〃	21 〃	函館ドックKK	1959	アーチ部のウェブは熱間フランヂは冷間曲げ加工して溶接アセチレンガスバーナで線状加熱曲り直した。

図―1　実験に使用した鋼材断面

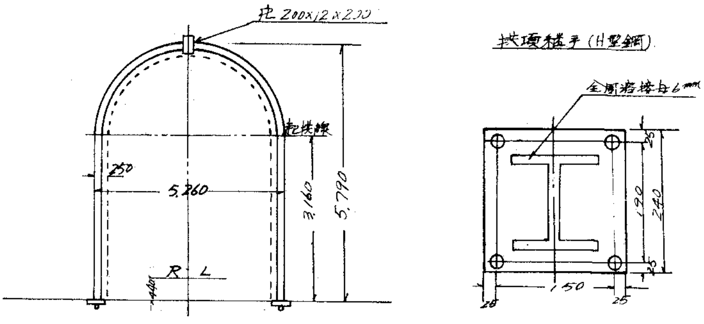


C
D
E
A
F
G
B
H150X150
Y
t2
t1
X
X
A
r
B
Y
MU29
A
t2
t1
B
t3
C
VB24
A
t4
t1
B
t4
t3
C

種別	寸法 mm						
	A	B	C	D	E	F	G
50kgレール	144.46	127.0	67.86	63.5	46.04	14.29	63.1
37kgレール	122.24	122.24		62.71	36.71	13.49	53.78

種類	寸法 mm							
	A	B	C	r	t1	t2	t3	t4
H150×150	150.0	150.0		10.0	7.0	10.0		
MU 29	133.0	120.0	50.7		34.6	19.5	15.7	
VB 24	123.0	99.0	56.0		34.0	18.0	13.0	9.0

図-2　支保工図


拱頂継手(H型鋼)

板 200×12×2.00
起拱線
250
5.260
3.160
5.790
R L
400
全周溶接 6mm
25
190
240
25
150
25
25

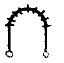
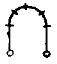
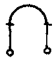
2)影響線より求めた許容土荷重の高さと破壊試験による破壊土荷重高さ

表－2　許容ならびに破壊土荷重の高さ　　　(註) H5とH3のくさび点の数が異る.

種別	許容土荷重の高さ		破壊土荷重の高さ				安全率	
	偏荷重	全荷重	偏荷重		全荷重		偏荷重	全荷重
	H_2	H_3	H_4	破壊方向	H_5	破壊方向	H_4/H_2	H_5/H_3
VB 24	1.8	2.1	3.7	面内	2.5	面内	2.1	1.2
MU 29	2.5	3.4	5.8	〃	3.4	〃	2.3	1.0
R 30	3.6	3.9	7.6	〃	2.1	面外	2.1	0.5
R 37	5.3	4.6	9.7	〃	3.0	〃	1.8	0.7
溶接 H150×150	4.1	4.3	—	—	4.2	面内	—	1.0

3)くさびのしめ方, および使用位置が鋼アーチ支保工の強度におよぼす影響

表－3　クサビのしめ方, 使用位置と支保工の強度

クサビの位置 クサビのしめ方		F	A	B
				
F	無荷重状態で300kgの支力のあるクサビをもつ支保工	100	80	60
F_0	無荷重状態で支力もゆるみもないクサビをもつ支保工	90	70	50
F_{20}	無荷重状態で隙間のあるクサビをもつ支保工	60	50	40

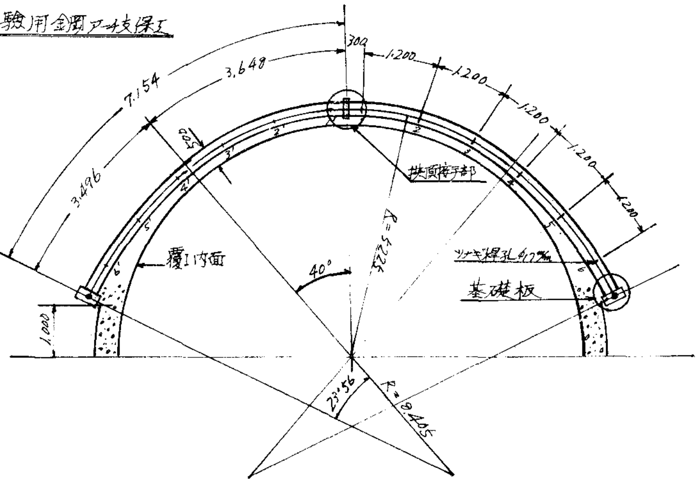
4)鋼アーチ支保工の工費の比較

表－4.　鋼アーチ支保工の工費の比較

種　別	許容される土荷重の高さ h(m)	破壊される土荷重の高さ H(m)	支保工強度比 (%)	支保工単価 (円)	H150×150との工費の比較 (%)
VB 24	1.8	1.8×2.0=3.6	45	21,600	165
MU 29	2.5	2.5×2.0=5.0	60	25,300	145
古R 37	3.6	3.6×2.0=7.2			
古R 50	4.6	4.6×2.0=9.2			
H150×150	4.1	4.1×2.0=8.2	100	29,000	100

3.新幹線上部半断面鋼アーチ支保工

図-3 実験用鋼アーチ支保工


300
1,200
1,200
1,200
1,200
1,200
1,200
7,154
3,648
3,496
205
2
3'
4'
5'
6'
2
3
4
5
6
拱頂接手部
R=5225
覆工内面
40°
ツナギ桿孔 φ17mm
基礎板
1,000
23°56'
R=9405

1).実験栈料

表－5 実験に使用した鋼栈の断面諸係数

種別	重量 kg/m	断面形 mm	断面係数 cm³ WX	WY	WX×WY	断面積 cm²	引張強さ kg/mm²	降伏点 kg/mm²	伸び %	製造会社名	製造年月	加工法
H150×150	31.4	150×150	218	75.1	2.9:1	39.96	41～50	23以上	23以上	八幡製鉄KK	1961	冷間加工
H200×200	49.7	200×200	470	160	2.9:1	63·32	41～50	23以上	23以上	−〃−	1961	−〃−
古R50	47.3	138×127	202	57.3	3.5:1	60·40	65	36	9			−〃−

2)影響線より求めた許容土荷重の高さと破壊試験による破壊土荷重の高さ

表－6 許容ならびに破壊土荷重の高さ

種別	許容土荷重の高さ		破壊土荷重の高さ	安全率
	偏荷重	全荷重	全荷重	全荷重
	H2	H3	H5	H5/H3
H150×150	1.5	1.7	3.5	2.0
H200×200	2.7	2.8	5.1	2.0
古R 50	2.5	1.9	3.9	2.0

3)鋼アーチ支保工の工費の比較

表－7 鋼アーチ支保工の工費の比較

種別	許容される土荷重の高さ h(m)	破壊される土荷重の高さ H(m)	断面係数 (cm³) WX	WY	支保工の強度比 (%)	支保工単価 (円)	H150×150との工費の比較 (%)
H150×150	1.5	1.5×2.0=3.0	218	75.1	100	28,700	100
H200×200	2.7	2.7×2.0=5.4	470	160.0	180	43,700	85
古R 50	1.9÷1.35=1.4	1.4×2.0=2.8	149	37.0	95	27,100	100

Ⅲ結語

本実験により経験，実例に基づいて設計していた支保工強度の解明をしたばかりでなく，トンネルの土荷重の適確な推定の足がかりを得たものと思われる。

破壊試験の状態からみれば，座屈破壊は非常に急激であって支保工の使用目的にそわず，鋼アーチ支保工は座屈破壊をさけるよう設計すべきで，実験結果から座屈破壊が起った場合を除いて考えることとした。したがって面外座屈の場合を除くと，許容土荷重高さと破壊土荷重高さとの比がほゞ2.0となるので，各種鋼栈について採用した永久構造物に対する許容応力の40％増の許容応力ならびに安全率はほゞ妥当ではないかと思われる。

鋼栈の断面としてはX軸，Y軸の断面係数の比の大きいレールのみが荷重による破壊の際面外座屈を起している事実と，冷間加工中の折損が極めて多いという施工上の観点よりみて，伸びの少い古レールを漫然と使用するよりは，断面形としては断面係数比が比較的小さく，栈質的には伸びの大きい支保工用鋼栈を使用すべきである。

以上の実験研究の結果，国鉄新幹線の総延長66^{Km}に及ぶトンネルにも着工当初は古レール50^{Kg}を使用していたが現在は全面的にH形鋼を採用している。