

パイプを使用したトンネル支保工

坂本 貞雄*

1. まえがき

静岡幹線工事局には約 40 km のトンネルがあるが、昭和 34 年 9 月、新丹那トンネル工事着工当初は、トンネル用鋼アーチ支保工材としては、古レールを使用していた。しかし、レールは列車を通すためにつくられたものであり、トンネルの支保工材としては材質が硬すぎて折れやすく、また、断面形としても不適当である。

そこで、昭和 36 年 4 月～6 月にわたり古 50 kg レール、圧延 H 形鋼 150×150 mm、200×200 mm について実物実験により強度を比較し、さらに工費をふくめての検討を行ない（トンネルの鋼アーチ支保工に関する研究；土木学会論文集 88 号、昭和 37 年 12 月参照）、H 形鋼の有利なことがわかったので、国鉄新幹線総延長 67 km におよぶトンネル工事は昭和 35 年末ごろ、全面的に古レールから H 形鋼に切り替えられた。

実験の結果、H 形鋼 150×150 mm は 3.5 m の土荷重により、また H 形鋼 200×200 mm は 5.6 m の土荷重により破壊することがわかったので、巻厚 50 cm 見当のところでは、H 形鋼 150×150 mm（約 30 kg/m）、巻厚 70 cm 見当のところでは、H 形鋼 200×200 mm（約 50 kg/m）を使用することにした。

しかし、その後、鋼アーチ支保工につきさらによく検討しているうちに H 形鋼は、あまりよい形でないように思われてきたので、もっと有利な支保工はないものかと、いろいろ思いなやんでいたが、たまたま、京都大学村山朔郎教授の考案である「モルタルを填充する中空鋼材」を、おききしたので、同教授のご了解を得て、昭和 37 年 4 月パイプ支保工の検討を始めた。

まず川崎重工業 K K の上原哲雄氏に依頼して、パイプが冷間加工で実用的に曲げられるかどうかを検討し、同社加古川工場で研究の結果、実用に供し得ることがわかったので、昭和 37 年 8 月新丹那トンネル現場でパイプ支保工の実物による強度試験を行なった。その結果、強度的に有利なことがわかったが、さらに昭和 37 年 10 月よりパイプ支保工 300 基を、新丹那、および蒲原トン

ル内で使用し、設計、施工上よりの検討を重ねた。

2. 強度試験

昭和 37 年 8 月より 10 月にかけて、東海道新幹線複線トンネル上部半断面掘削用（図-1 参照）としてのパイプ支保工につき実物実験による強度試験を行なった。すな

わち、パイプ支保工内にモルタルを注入しない状態で、H 形鋼 150×150 mm 以上の強度を有し、しかもこのパイプの中にモルタルを注入した場合、24 時間後、H 形鋼 200×200 mm 以上の強度を有する、パイプの径、パイプの厚さ、注入モルタルの配合を実物を破壊することにより実験的に求めた。

図-2 は実験装置を示すもので、鋼アーチ支保工を水平にすえつけ全荷重による破壊試験を行なった。写真-1 は新丹那トンネル現場でのパイプ支保工の破壊試験を示すものである。

試験に用いた荷重には、図-3 および表-1 の F' の値を用いた。この値は地山の単位容積重量を 2.7 t/m³ として、各くさび点に作用する土荷重を、Proctor and White 氏が、Rock Tunneling With Steel Supports で

表-1 1 m 土荷重による荷重表

くさび点	1	2	3	4	5	6	7	計 (両側)
垂直土荷重 W (t)	2.59	3.24	2.92	2.54	2.13	1.56	0.59	31.14
支保工に直角な W の分力の荷重 F (t)	2.58	3.10	2.66	2.40	2.10	1.65	0.69	30.36
受働土圧をふくめた荷重 F' (t)	3.45	4.07	4.10	3.35	2.70	2.50	0.69	41.72

図-1 掘削順序図

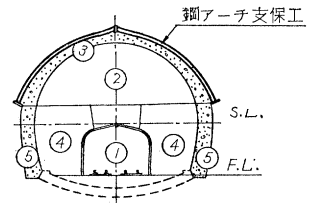
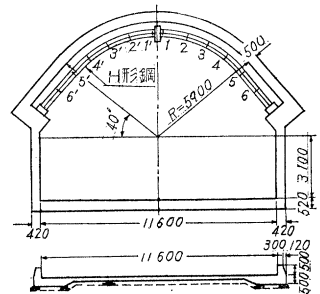


図-2 支保工載荷試験場



* 正員 工博 前国鉄静岡幹線工事局長（国鉄新幹線工事監査役）

写真-1 パイプ支保工の破壊試験

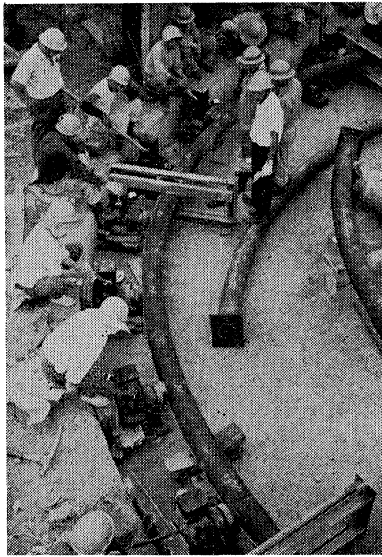
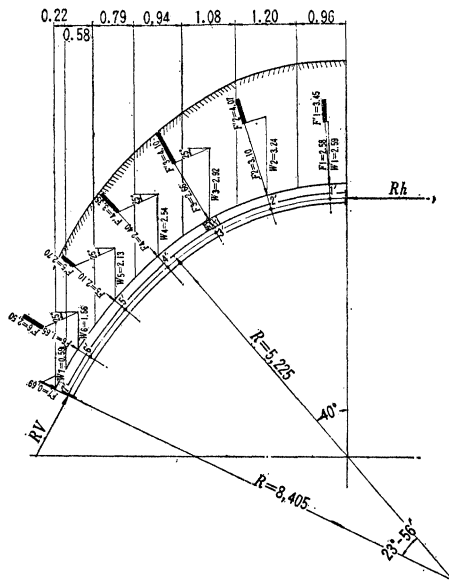


図-3 1m土荷重による荷重図



述べている方法により求めたものである。

支保工の破壊荷重の値を、1mの土荷重とその荷重による受働圧力との和 41.72 t (表-1 参照) で除した値を全荷重による支保工の破壊される土荷重の高さとした。

試験結果は表-2 である。結論的には、径 216 mm、肉厚 5.8 mm で重さ 30 kg/m の丸形鋼管が所期の目的にかなうものであることがわかった。すなわち、径 216 mm、厚さ 5.8 mm の丸形鋼管の中空のままの破壊強度は 170 t で、土荷重の高さに換算して 4.1 m になる。この値は、H形鋼 150×150 mm の破壊強度 145 t (土荷重の高さ 3.5 m) の値より 2 割程度大きい。また、このパイプにモルタルを注入すると、破壊強度 260 t (土荷重の高さ 6.2 m) で、H形鋼 200×200 mm の破壊強度 235 t (土荷重の高さ 5.6 m) より同じく 2 割程度強い、という結果を得た。この結論がでるまでには、同じ径 216 mm の肉厚の薄いパイプや径 165 mm のパイプ、さらに 150 mm の角形鋼管など、多くの試験をくり返したので、それらの試験値も、表-2 に示した。なお、モルタルの配合は 1 m³ あたり、ベロセメント 400 kg、コンシステンシーは、フローコンで 18 秒、24 時間後の強度は、30 kg/cm² であった。

3. 現場試用

実験の結果、パイプ支保工は、鋼材の重さがH形鋼に比し 60% 程度であるが、モルタル注入した場合同じ強度がでることがわかったのであるが、パイプ支保工は現場で支保工を組立てたのちにモルタル注入をしなければならず、また、支保工と支保工とのつながりがやりにくいなど、掘削能率の低下などが考えられたので、昭和 37年 10 月から昭和 38 年 2 月にかけて、新丹那トンネル東口 (KK 間組施工)、蒲原トンネル (東口は鹿島建設 KK、西口は前田建設工業 KK それぞれ施工) の三現場で、おのおの 100 基ずつ合計 300 基を実際にトンネル中で組立て検討した。

写真-2 は、蒲原トンネル東口のパイプ支保工組立状況である。写真-3 は、パイプ支保工に取り付けられたモルタル注入孔、および支保工間のつながりを示したもの

表-2 支保工試験結果

種別	寸法 (mm)	重量 (kg/m)	断面係数		モルタル	破壊荷重 (t)	破壊土荷重の高さ (m)	摘要
			W _X (cm ³)	W _Y (cm ³)				
H形鋼	150×150 200×200	31.5 49.9	219 472	75 160	—	145 235	3.5 5.6	注入モルタル強度 $\sigma_{24 \text{ hr}} = 30 \text{ kg/cm}^2$
丸形鋼管	径 216.3 厚 5.8	30.0	196		中注 空入	170 260	4.1 6.2	
丸形鋼管	径 216.3 厚 3.4	17.7	119		中注 空入	44 120	1.1 2.9	
丸形鋼管	径 165.0 厚 5.0	19.6	98		中注 空入	100 125	2.4 3.0	
角形鋼管	150×150 厚 5.0	22.3	136		中注 空入	60 105	1.4 2.5	

である。また写真-4は、川崎重工業KK加古川工場におけるパイプ支保工曲げ加工装置を示すものである。

試用した当初は、支保工建込後ただちに1組ずつモルタルを注入したので、施工の不馴れもあって、掘削能率が低下したが、掘削の切羽より10~15m離して注入作業をすると掘削能率にほとんど影響がないことがわかった。なおH形鋼の断面係数 $W_X:W_Y$ が3:1である

写真-2 パイプ支保工組立て状況

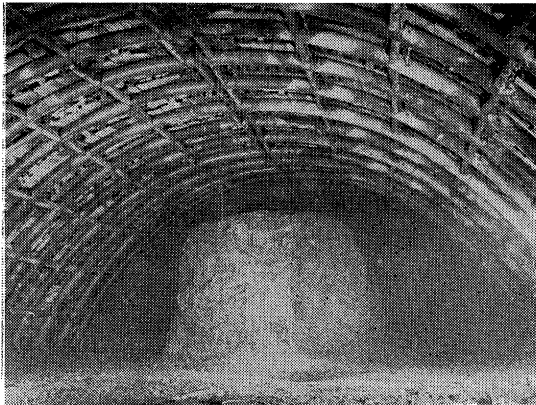


写真-3 パイプ支保工モルタル注入孔

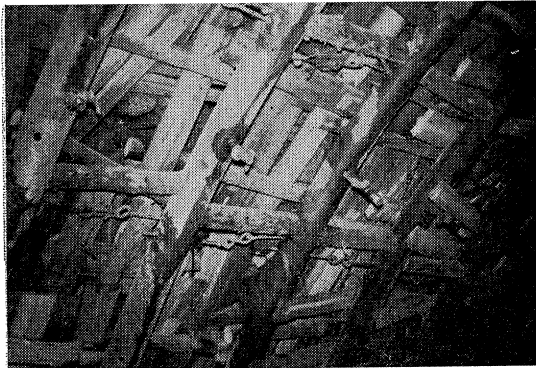
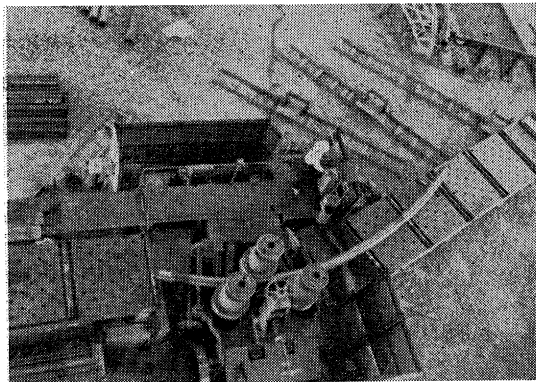


写真-4 パイプ支保工曲げ加工装置



のにパイプ支保工は1:1であるので支保工と支保工とのつなぎの数もH形鋼に比し相当減じ得ると思われる。

4. 支保工単価

パイプとH形鋼の支保工の単価を昭和38年5月現在単価で比較したのが表-3である。パイプ支保工は注入した場合、38300円、H形鋼200×200mmの42600円に比し有利であるが、注入しない場合は、38300-6500=31800円で、H形鋼150×150mmの28000円に比し少し高くなる。

表-3 支保工単価比較表

(昭和38年5月現在)

種別	鋼材	曲げ加工及び切断	その他加工及び副資材	つなぎ材	注入	計	
H形鋼	150×150	22200	1880	2800	1080	—	28000
	200×200	35250	3000	3300	1080	—	42600
パイプ 径 216×厚 5.8	22500	3600	3650	2040	6500	38300	

注：鋼材費 H形鋼 47000円/t
パイプ 50000円/t
曲げ加工費 H形鋼 4000円/t
パイプ 8000円/t
つなぎ材 H形鋼用 90円/本
パイプ用 170円/本
注入 1基あたり注入量 0.68m³
パイプには、曲げ工場より現場までの運賃を要す。

5. 結 語

強度試験の結果、重さ30kg/mのパイプ支保工は重さ50kg/mのH形鋼の支保工と同じ強度にすることができる。すなわち、鋼材重量は60%ですむことがわかった。現場で試用の結果、モルタル注入作業はトンネルの掘削能率を阻害しないで施工できることがわかったが、パイプ支保工のつなぎは、なお検討の要があった。しかし、パイプ支保工は $W_X:W_Y$ が1:1であるので、 $W_X:W_Y$ が3:1であるH形鋼と同じ程度のつなぎは必要でなく、一案としてパイプ支保工の底部と頂部の2カ所ぐらいのつなぎとすることも考えられる。また、支保工単価の曲げ加工費も、パイプ支保工の需要の拡大とともに安くなり得るので表-2より、さらに有利となることと思われる。また、最近の研究結果より、複線トンネルの支保工としてはH形鋼150×150mm程度のもものでは弱いうらみがあり、したがって、H形鋼200×200mm、径216mmパイプ支保工の適用範囲はそうとう広くなると思われる。

以上を勘案すると、パイプ支保工はH形鋼に比し魅力ある支保工と思われる。皆様のご意見をお聞かせください。
(1963. 7. 24・受付)