

論 說 報 告

第23卷第11號 昭和12年11月

仙山隧道内軌條熔接並にコンクリート道床工事に就て

會員 佐 藤 忠 三 郎*

會員 加 納 儉 二**

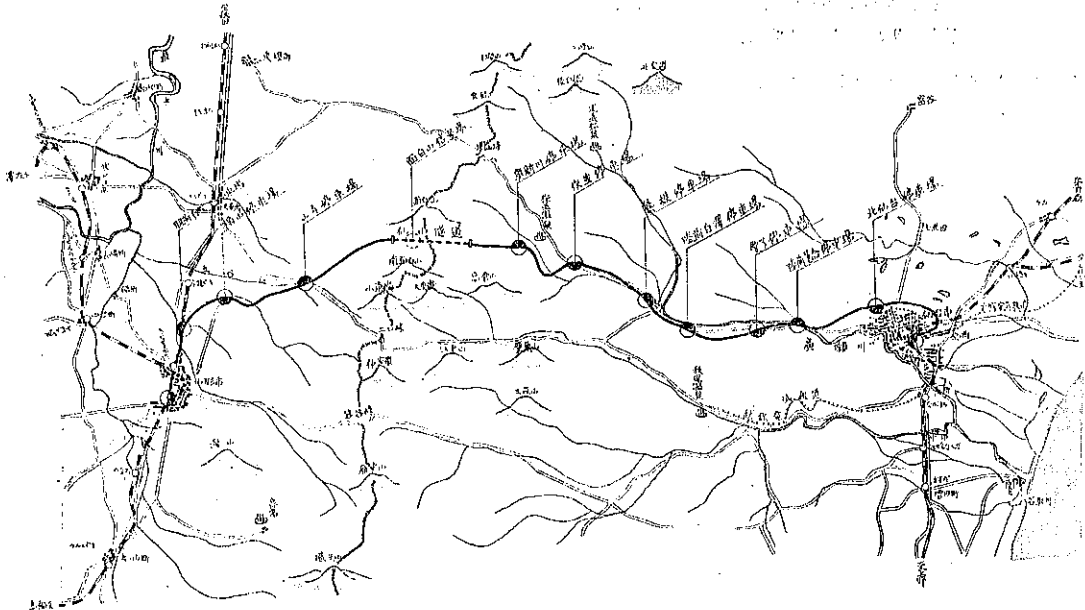
On the Rail Welding and the Construction of Concrete
Track Bed in Senzan TunnelBy Tyūzaburō Satō, C. E., Member,
Kenzi Kanō, C. E., Member.

要 旨 本文は仙山線仙山隧道内に採用せる熔接軌條の各種試験の結果並にコンクリート道床工事の設計及施工に就て述べたものである。

1. 概 説

本隧道の總延長は 5361 m にして、國有鐵道仙山線中の最高地點にあり。本隧道を差し挟んで作並、山寺間延長約 20 km は電化するのである (圖-1 参照)。

圖-1. 仙 山 線 附 近 圖



* 鐵道技師 工學士 鐵道省熊本建設事務所長

** 鐵道技師 工學士 鐵道省下關改良事務所勤務

仙山線の線路種別は丙線で軌條は 30 kg 軌條を使用して居るが坑内は 37 kg (長さ 25 m) 軌條を使用した。電化に伴ふレールボンディングの省略並に坑内の温度変化の僅少を考慮して軌條の熔接を行つた。本隧道は貫通後日向淺く坑内温度変化の満足すべき記録はないが清水隧道 (延長 9702 m) 笹子隧道 (延長 4656 m) 泉越隧道 (延長 2456 m) の記録は次の様で、これによれば軌條敷設時の気温と夏季最高気温との差は 23°C 以内である。25 m 標準軌條に對する接目遊間とバックリングの關係は 35°C にて盲となり、盲となつて後 23°C の温度変化は軌條軸圧に依存せしめ軌條最高温度 58°C にてバックリングが起ると豫想される。之より想像するに本隧道に於ては直線にして、コンクリート道床並に螺釘を使用せるを以てバックリングに對しては坑口より 200 m 以上奥では連続熔接するも充分安全と認められる。

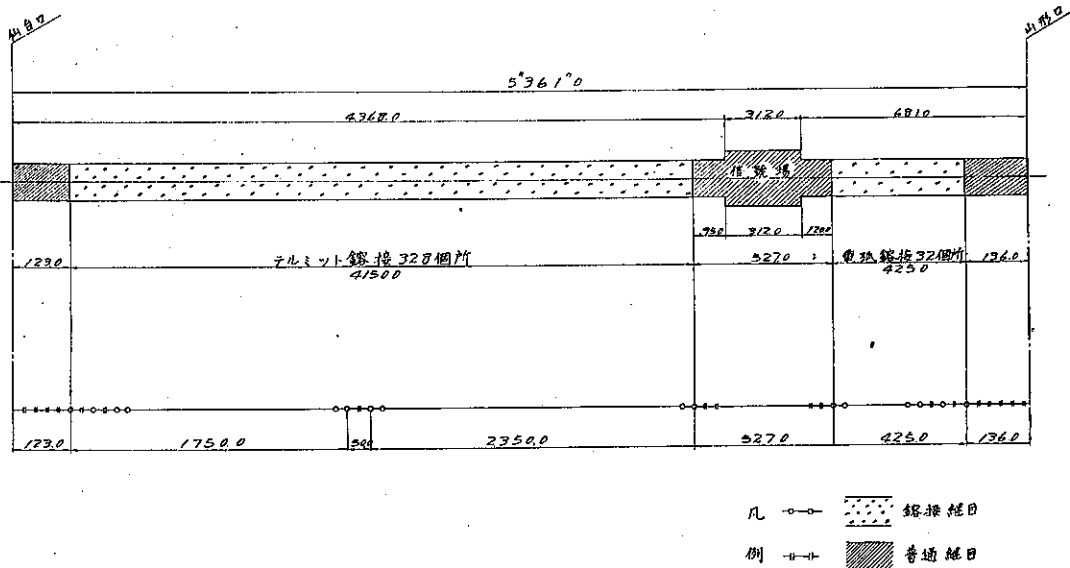
表-1. 隧道内気温変化

隧道名	位置 A, B, C	坑口			坑口より 100 m			坑口より 200 m			坑口より 300 m			坑口より 500 m		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
		清水隧道	土合口	35.5	10.0	32.2	31.0	14.0	26.3	27.0	13.0	22.7	24.5	11.0	20.8	20.0
土樽口	31.0		6.0	29.0	27.0	6.0	25.0	23.0	5.5	21.2	22.0	4.0	20.7	20.0	3.0	19.0
笹子隧道	笹子口	31.0	14.0	26.3	26.5	11.0	22.8	22.0	9.0	19.0	20.0	7.5	17.5	17.0	5.5	15.3
	初鹿野口	30.5	13.0	26.2	28.0	11.5	24.2	26.0	9.0	23.0	24.5	7.5	22.0	22.0	5.5	20.2
泉越隧道	湯河原口	27.0	8.0	24.4	23.5	7.0	21.2	20.2	6.0	18.2	20.0	7.0	17.7	18.5	4.5	17.0
	熱海口	28.5	9.5	25.3	23.5	6.0	21.5	21.8	4.5	20.3	19.8	4.0	18.5	16.5	2.5	15.7

- A. 1ヶ年間に於ける気温変化
- B. 最低気温時に於ける1日の気温変化
- C. 軌條敷設時に於ける気温と夏季最高気温との差 (軌條敷設時の気温は B に示す気温変化の 1/3 丈最低気温より高きものと假定す)。

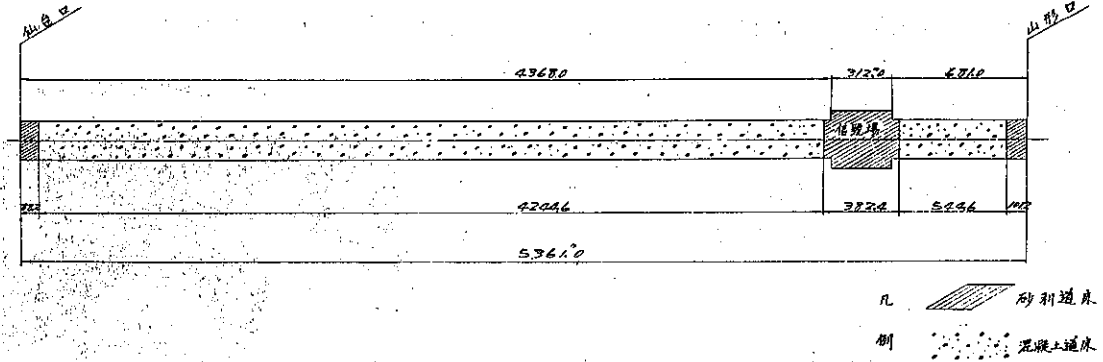
熔接は大部分テルミット熔接とし、一部電弧熔接を行つた。

図-2. 熔接延長



道床は兩坑口より各々約 100 m 間並に信號場區間 (延長 382.4 m) を砂利道床とし、その他は凡てコンクリート道床とした (圖-3 参照)。

圖-3. コンクリート道床延長



2. 軌條熔接

テルミット熔接は請負とし、電弧熔接は鉄道省直轄 (大臣官房研究所委託施工) にて施工した。本工事はコンクリート道床工事と併行して行はねばならぬので軌條支承コンクリート上に敷設せる軌條を底設導坑貫通點 (仙臺口より 2432 m, 山形口より 2929 m) を境として各々坑口に向つて順次施工した。

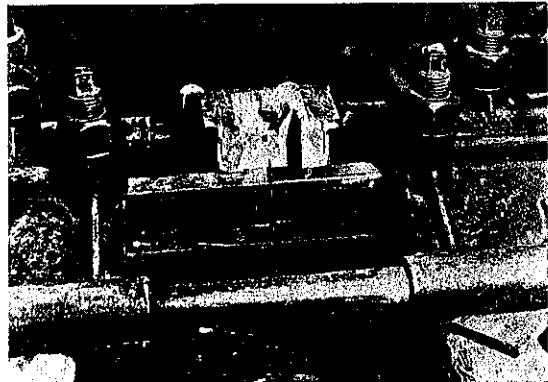
(a) テルミット熔接 熔接する軌條端面は軌條頭部でその断面が完全に平行する迄鐵をかける。次に挟金 (厚さ 3 mm でシムと

表-2. シムの分析試験

稱する) を嵌込み頭部を押し少しの間隙もない様にす。シムの化学分析の結果は表-2の様である。

成分	含有量 %
總炭素	0.09
珪素	0.01
マンガン	0.43
磷	0.054
硫黄	0.012

圖-4. シム挿入



軌條の腹部と底部とは挟金の厚さ丈の間隙がある (圖-4 参照)。此の際軌條の高低及通りは共に充分整正せねばならぬ。

圖-5. 坩 埚

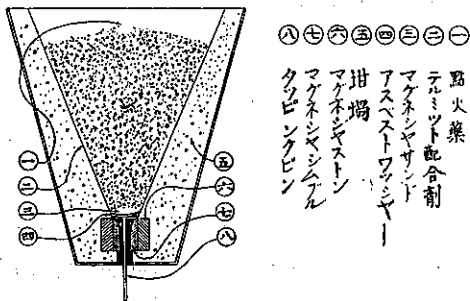
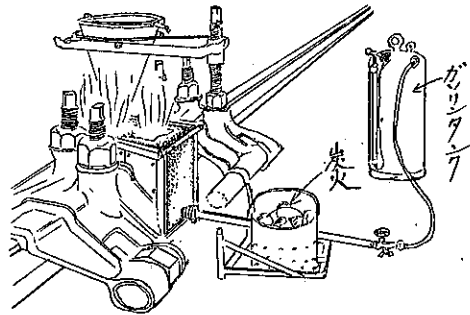


圖-6. 豫 熱



熔接部は鑄物砂で造つた鑄型で覆ふ。鑄型は充分乾燥してゐない場合は豫期せざる失敗を招く。鑄型の上にはテルミット配合劑の化學反應を起さず鉄製坩堝を据付ける(圖-5'参照)。

急激なる加熱及冷却は軌條を硬化し脆弱ならしめるので熔接個所に豫熱を與へる。豫熱は特殊の揮發油バーナー(圖-6 参照)に依りその時間は約 20 分にして温度は 600°C 内外に熱する。豫熱が終れば坩堝内のテルミット配合劑の一點に高熱を加へて化學反應を起さすのである(圖-7 参照)。

テルミット配合劑はアルミニウムと酸化第二鉄との粉末混合物にて一點に高熱を加へるとアルミニウムが酸素と化合し激しい反應を起し液体状態に熔けて非常な熱を發生する。その熱は 3400°C 内外と謂はれて居る。鉄と酸化アルミニウムとは急速に互に分離して重い鉄は底部に沈下し軽い酸化アルミニウムはスラッグの形で表面に浮ぶ。點火後 20 秒前後で坩堝底部のピンを押上げ鑄型中に流し込む。此の點火より流し込み迄の時間測定には最も熟練を要するのである。當所で使用せるテルミット配合劑の分析結果は表-3 の様である。

鑄型に流し込んだ後 3~4 分の後クランプを約 9mm 締め付ける(圖-8 参照)。

軌條頭部はシムを媒介として此の圧力に依つて衝合熔接され腹部と底部はシムの厚さ迄の間隙がテルミット熔鋼に依り鑄造熔接されるのである(圖-9 参照)。

表-3. テルミット配合劑分析試験

成分	含有量 %
酸化第二鉄	61.36
アルミニウム	38.39

圖-7. テルミット配合劑の一點に熱を加へる(點火劑に炭火にて點火する)



圖-8. クランプ締め付け

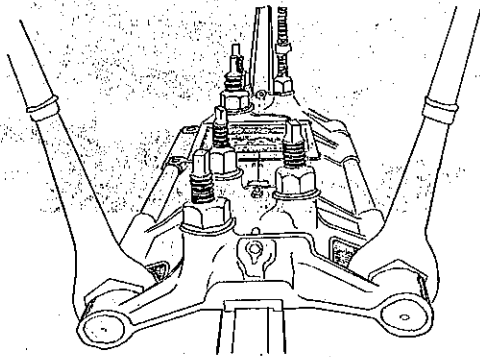
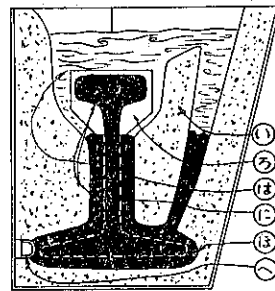


圖-9. テルミット熔鋼鑄型に落着の状態



- ① プレヒーゼンゲートクランプ
- ② 軌條頭部之底部鋼製卷
- ③ 残滓
- ④ シム
- ⑤ 砂型
- ⑥

クランプはその軸にて 9mm 引き締めるのであるが軌條 1 本當りでは約 6mm の縮少となる。クランプは締め付け後約 1 時間の後取外し、鑄型は急冷却をさける爲約 5 時間の後撤去した。撤去後熔接部の残滓はハンマーにて叩き落し、軌條頭部上シムの露出せる部分並にクランプ締め付けに依る膨脹は鑄で磨き仕上げた(圖-10 参照)。

熔接の強度に就て熔接部を中心とし支點間距離を 1m として靜的曲げ試験(中心荷重)の結果は表-4 の様である。

表-4. 静的曲げ試験成績

符 號	破壊荷重	撓み量	記 事
No. 1	47.52t	14.2mm	
No. 2	49.17	18.6	
No. 3	51.28	19.0	クランプ 9mm 締め付け
No. 4	44.00	12.9	クランプ 8mm 締め付け
接目なし(母体)	右記の撓度に至るも破壊せず	111.0	

表-5. 熔着金屬分析試験

成 分	符 號	No. 3	No. 4
炭	素	0.23	0.27
珪	素	0.26	0.73
マンガン		0.57	0.70
磷		0.024	0.025
硫	黄	0.014	0.016

折損状態は図-11 の様である。

熔着金屬の分析試験の結果は表-5 の様である。

施工當時の坑内温度は 19°C 内外にて湿度は 95% 位であつた。熟練工 2 人、並人夫 4 人にて 1 日平均 6 (仙臺方)~7 (山形方) 箇所

熔接し、仕上げは熟練工 2 人、並人夫 1 人にて 1 日平均 15 箇所施工した。その内譯は表-6 の様である。

図-11. 熔接軌條の曲げ試験に於ける折損状態

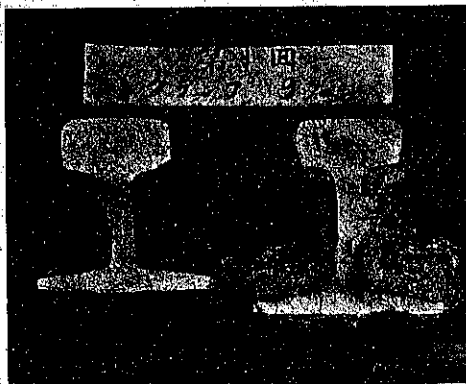


図-10. 仕上げ前の状態



図-12. 軌條頭部損傷の著しきもの



熔接の主たる失敗はクランプの軌條頭部取付け不完全の爲クランプを引き締めても兩軌條が充分圧せられず、鍛合が不完全となる事及熔鋼を鑄型に注入する場合軌條頭部にこぼれ頭部を損傷する事である (図-12 参照)。

その數合計 10 ヲ所にて全熔接箇所 (928 箇所) の 3% 強となる。内 6 箇所の損傷箇所は外側に於てその程度も微々たるものであつたから電弧熔接で填充し、残りの 4 箇所 (内 1 箇所はクランプ不十分) は軌條を新しい物と取替へ再熔接した。

表-6. 工費 (歩掛り) 1 箇所當り

人 工	材 料
熟練工 0.5 人	テルミット、ポーション 8.0 kg.
並人夫 0.9 人	シム 1 枚
	鑄物砂、揮發油、木炭其の他 若干

(b) 電弧熔接 熔接すべき端面を圖-13 の如く正しく水平に對向させ (圖-14 参照) 其の間隙全部を軌條と同

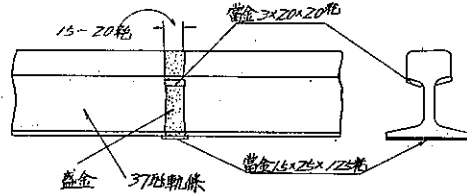
一断面となる如く熔填するのである。兩軌條の間隔は熔接作業をなし得る最小限度の15~20mmとし、頭部兩下縁及底部下方に軟鋼板小片を當金として挿入する。之は補強の意味は全く含んで居ない。先づ底部當金を兩軌條

圖-13. 底部、腹部の熔填終る



に跨る様熔接し、底部、腹部の順序に熔填を進め、終つて頭部下縁に當金を付け頭部に移るのである。作業前熔接部をトーチランプを以て約100°C程度に豫熱を行ひ、軌條

圖-14.



熔融部の著しき硬化、盛金の急激なる冷却の爲生ずる龜裂の發生を防ぎ、尙熔接個所の濕氣を取除くのである。

熔接機は200V、3相交流15馬力電動機直結直流熔接機を使用し、電極棒はSKアーク(研究所製)とフリートウエルトNo.5(米國リジカーン會社製)の径4mm及5mmのものを使用した(圖-15参照)。

圖-15. 熔填途中

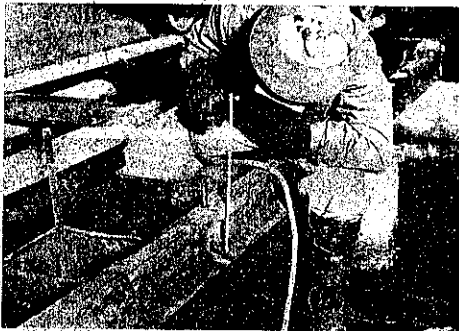


圖-16. 焼戻し



仕上げには電動グラインダーに依りその所要時間は20~30分である。次に熔接部残留内力を取り除く爲に700°C程度に加熱するのであるが、実際には軌條自体が端部に於て変形したものが多く眞直に熔接出來ず、又例へ変形して居なくとも出來上りが稍々彎曲する場合が生ずるので温度は少しく高く800°~900°Cに加熱し適當な方法で矯正した。此の加熱は特殊な炉を接目部に裝置し石油バーナーを以て可及的狹範圍に行ふのである(圖-16参照)。

之に要する時間は1時間30分で充分である。テルミット熔接の供試体と同一方法で試験した結果は表-7の様である。

表-7. 靜的曲げ試験成績

符 號	破 壞 荷 重	撓 み 量	1 m 間に於ける頭部中心の最初の曲り量	
			縦	横
No. 1	38.57 t	19.5 mm	2.5 mm	2.0 mm
No. 2	36.54	16.1	3.5 mm	1.0 mm
接目なし	65.68	87.0		

現場に於ける試験片製作は長軌條の場合と異り熔接に依り自由変形しその変形も亦極めて微妙で往々楔のみでは防ぎ切れず多少残つたが熱處理の際之を矯正する方法がなく其の儘とした。

1 個所の溶接に要する時間は技工が坑内作業に不慣れの爲幾分能率は低下したと思はれるが、技工 2 人で 1 時 50 分~3 時 20 分にて 1 日平均 2~3 個所施工した。

3. コンクリート道床

(a) 設計 設計は當省建設局の「隧道内コンクリート道床設計施工標準注意書」に準據した。その主なる事は次の様である。軌條は 37 kg, 長さ 25 m, 枕木は凡て短枕木として軌條 1 本當り 38 挺とし、その配置は(圖-20 参照) 溶接が最初の試みである爲普通継目の場合と同様にした。枕木は檜材にして豫め螺釘孔(径 16 mm)を穿孔し、然る後クレオソートを注入した。螺釘保持力の試験成績は表-8の様である。

タイプレートは當省標準型によつた。コンクリートの厚さは枕木下に 200 mm に設計したが、掘鑿後の状態を考慮して 300 mm に変更した(圖-17, 18 参照)。

表-8. 螺釘保持力

種 類	強 度
穿孔の深さ 11 cm. { 木 表	2.565 kg.
{ 木 裏	2.778 "
穿孔の深さ 9 cm. { 木 表	2.073 "
{ 木 裏	2.130 "

本表の値は枕木 20 挺の平均値である。

木表：白味多き面より穿孔したるもの
木裏：赤味多き面より穿孔したるもの

圖-17. コンクリート道床断面(仙臺方)

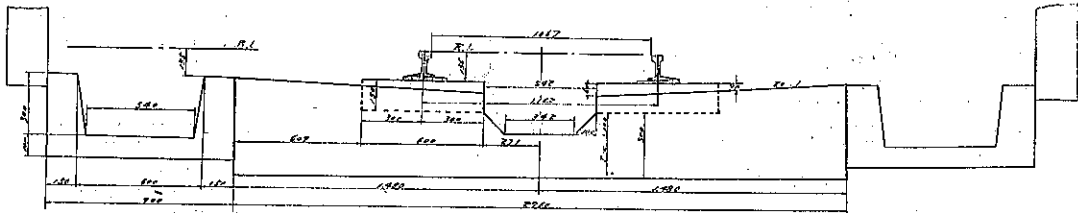


圖-18. コンクリート道床断面(山形方)

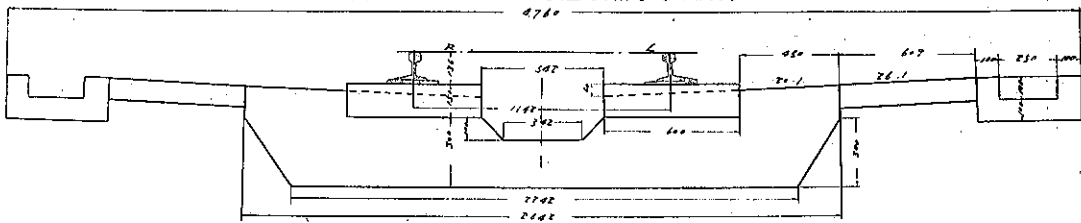
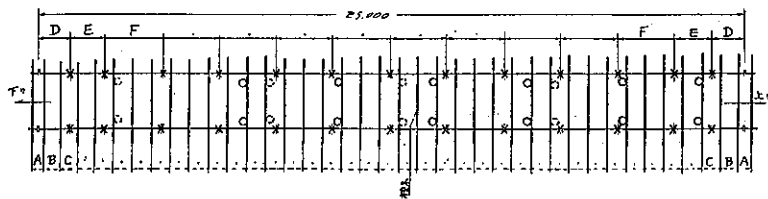


圖-19. アンチクリーパー配置圖



掘進は下り方向に外山式アンチクリーパーを軌條 1 本當り 6 個を取付け、上り方向にも將來 4 個挿入し得る様コンクリートに豫め切り抜きを作る事とした(圖-19 参照)。

(b) 施工 仙山隧道直轄工事は東西兩坑口に略同一の設備をして兩坑口より着手した關係上コンクリート道床工事

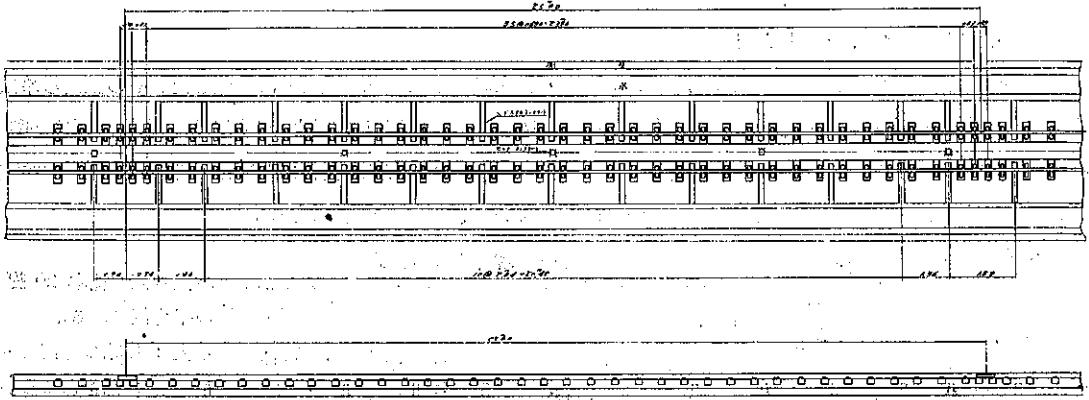
25,000米(37 ^{kg})					
枕木配置間隔	軌條及水コンクリート間隔				
A	B	C	D	E	F
387	410	680	240	1360	2040

凡例

- X-----軌條及水コンクリート
- アンチクリーパー (下り方向)
- アンチクリーパー (上り方向)
- (上り方向アンチクリーパーは既設)
- (如左の如く)

も底設導坑貫通點を境として各々兩口の従業員が施工する事とした。

図-20. 枕木及軌條支承コンクリート配置図

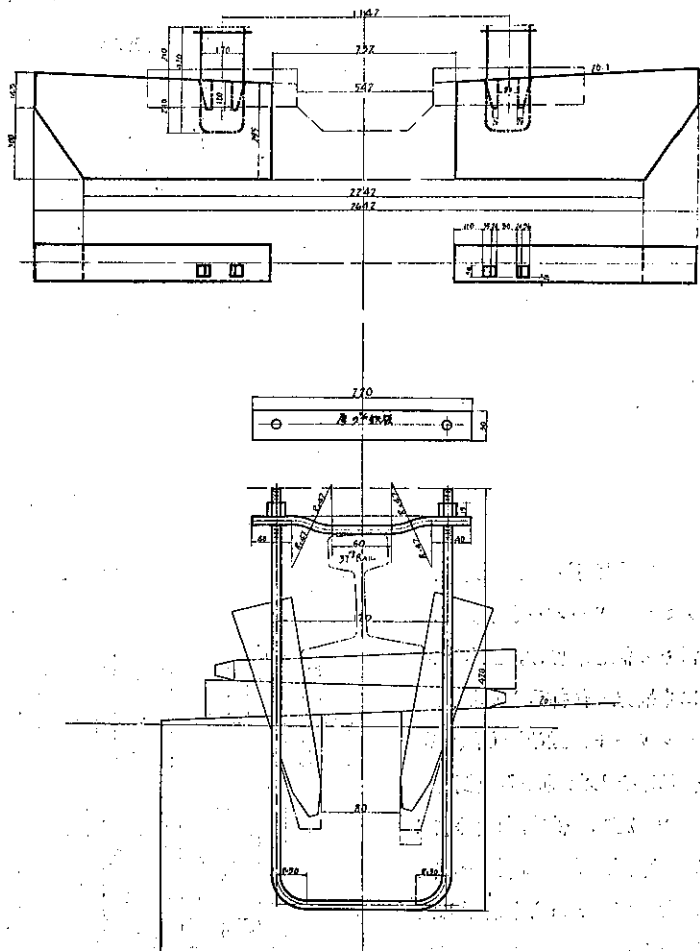


(1) 掘鑿及盤浚ひ：本隧道の地質は概括的に稍々硬岩の部類に屬するので、底設導坑の掘鑿盤はコンクリート道床のコンクリート下端より30cmの高さとし底設導坑掘鑿の際爆破に依るコンクリート基礎の損傷を防止する事とした爲此の残つた岩石は取除かねばならなかつた。之等残留岩石は底設導坑掘鑿の際の爆破の影響を受けて破砕されて居るが流水の爲又は踏み付けられて、相當堅くなつて居つた爲大部分コンクリートブレイカー（ジャックハンマー代用）で起さねばならなかつた。本作業は隧道の掘鑿、覆工の未完成の時より始めたので線路中心を境として片側宛掘鑿した。

坑内湧水は豫め造つた側溝に導いたが仙臺方では本作業當時尙坑口に合計4.5個の湧水があつて、その全部を側溝に導き得ず幾分側溝の下をもぐり出るもの又は側溝内方の湧水もあり坑口に近づくに従つて集水量も相當多くなり、掘鑿に困難を感じた。

山形方では湧水は殆どなく仙臺方の

図-21. 軌條敷設



様な困難はなかつた。水のない處では盤掃除は圧力水で行ひ流水區間は竹箒で清淨した。

(2) 軌條支承コンクリート並に中心コンクリート：軌條支承コンクリートの間隔は枕木の配置並にコンクリート打込迄の軌條の歪等を考慮して図-20の如き標準とし、各軌條の長さは幾分長短があるから（最大-20mm）正確なる測定を行ひ、各々の長さに応じて決定する。

軌條の高低並に左右の正整は楔に依つて行ひ、埋込ボルトにて締め付ける（図-21、22参照）。

中心コンクリートは軌條1本當り4個とし軌條支承コンクリートに最も接近し而も仕事に支障を來さざる程度に各中心が一致せざる様な位置に設置する（図-23参照）。

中心コンクリートは施工中の測定の基準となるべきものであるから正確に施工すべきである。

(3) 軌條敷設：軌條の長さは25mであるから特殊の工

図-22.

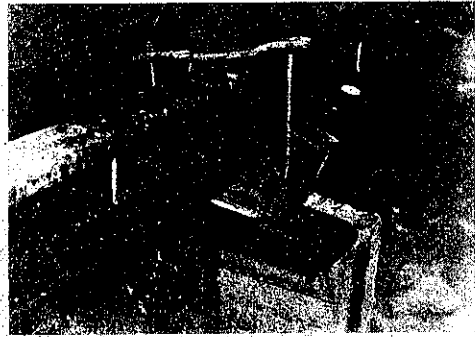


図-23. 中心コンクリート

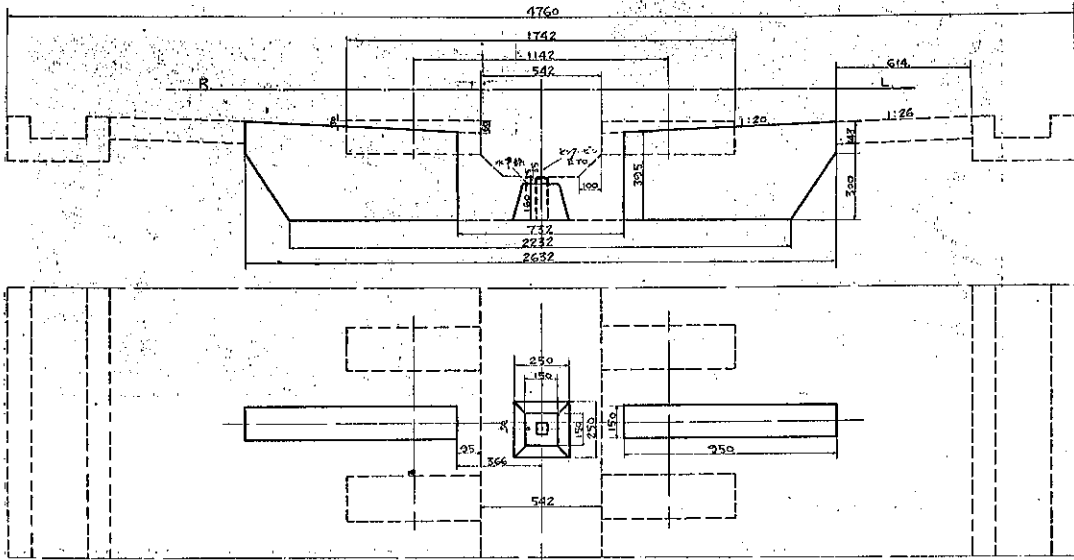


図-24. 軌條敷設

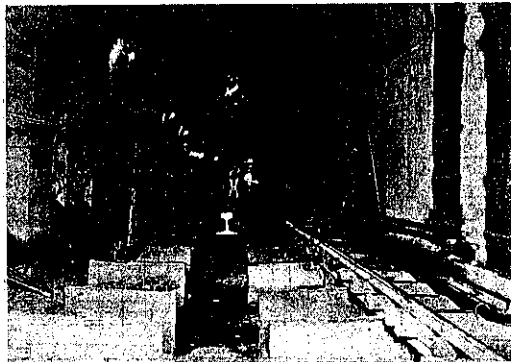
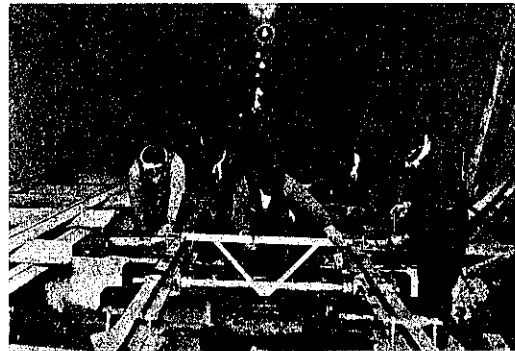


図-25. 軌條整正



夫(図-24 参照)で取卸し、左右同長のものを順次敷設し、熔接を終つて、枕木を取付け、中心コンクリート上のピンを基準として通りや高低を修正しつゝ軌條支承コンクリート上に前述の方法で固定する(図-25 参照)。

左右兩軌條間には特殊ゲージタイ(軌條は内側に 1/20 の勾配あり)を軌條 1 本當り 6 個豫め挿入して修正の簡易並に施工中の狂ひを防止する事が出来た(図-26 参照)。

(4) コンクリート打込み: 坑外のコンクリート混合場で練つたコンクリートは坑内に運搬しバイブレーターにて入念に填充し(図-27 参照)表面は鍍仕上げを

図-26. コンクリート打込直前



図-27. バイブレーター使用

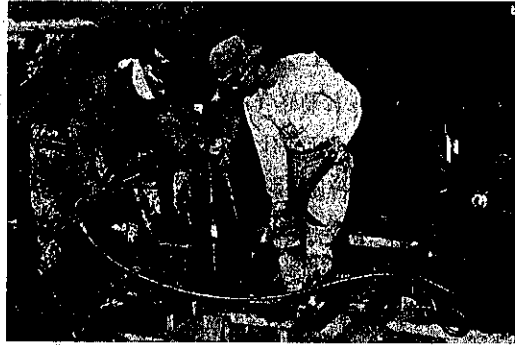


図-28. 仕上げ



する(図-28 参照)。

進行程度は 1 日當り最大 100m, 平均約 80m であつた。

(5) 工費: 根柢開始より完成迄兩口共各々 5 個月を要して居るが(表-9 参照)、之は隧道工事と併行して施工した爲、本工事に全能力を發揮出来ず長引いたのであつて隧道工事と分離して施工すれば 8 個月にて完成し得たであらう。

之に要したる費用は表-10 の様である。

表-10 中直接費は直接本工事に要した費用を示し、間接費は各工場、詰所其の他の經常費等で本工事に直接賦課出来難く、按分割當せねばならぬ費用である。

仙臺方は隧道工事終了後本工事を施工したが、山形方は本工事を隧道工事と併行して施工したので、仙臺方は間接費を全部本工事で負擔し、山形方は隧道工事

表-9. コンクリート道床工事工程(仙臺方)

工程別	11月	12月	1月	2月	3月	4月
根柢(幅40尺)						
軌條支承(幅27尺)						
軌條敷設						
鍍接						
コンクリート打込						
跡片付						

(山形方)

工程別	11月	12月	1月	2月	3月	4月
根柢(幅40尺)						
軌條支承(幅27尺)						
軌條敷設						
鍍接						
コンクリート打込						
跡片付						

と本工事とで分擔した關係上仙臺方が山形方より割高となつて居る。

表-10. コンクリート道床工費 (熔接も含む)

名 稱	仙 臺 方		山 形 方		記 事
	金 額 (円)	1 m 當り (円)	金 額 (円)	1 m 當り (円)	
直 接 費					延長 { 仙臺方 2 k 343.8 m 山形方 2 k 544.4 m
勞 力 費	19 580.938	8.355	13 200.401	5.188	
物 品 費	48 320.859	20.616	51 209.414	20.126	
請 負 費	2 574.000	1.098	3 133.940	1.232	
小 計	70 475.797	30.069	67 543.755	26.546	軌道用品一切を含む テルミット及電弧熔接
間 接 費					
勞 力 費	27 108.989	11.566	12 776.893	5.021	仙臺方は隧道工事終了後本工事施工 山形方は本工事を隧道工事と併行施工
物 品 費	27 802.029	11.862	17 138.712	6.736	
電 力 費	5 047.848	2.154	1 227.515	0.483	
小 計	59 958.866	25.582	31 143.120	12.240	
合 計	130 434.663	55.651	98 686.875	38.786	セメント, 砂, 砂利を含む
總 計	$\frac{229 121.538}{4 888.2} = 46.872$				