面)でも格子歪の程度は可成り大きく、 $K_{\alpha 1 \alpha 2}$ doublet が分離しない (Photo. 2 及び 3 参照)。

4). 軟鋼熔着金属のり破壊部では延伸率30% (JES 9001号全熔着金属抗張試験片による)程度以下のものでは鍛錬材のやうな明瞭な繊維構造をとらない。延伸率40%にもなれば明瞭な繊維構造をとる (Photo. 6 参照)。

5). 熔着金属中の Fish-eye 即ち銀白色部の生成に就いては水素による脆化説が有力であるが、その破面は脆化部の収縮中に起つたものではなく、外力による破壊の際の脆化破面である。

6). 普通の軟鋼熔着金属を常温で破壊した破面を X 線廻折写真からその破壊部近傍の変形程度を基にして分類すれば Table 3 のやうである。従つて破面検査の結果良悪の順序は、絹絲狀破面を最上とし、これに次いで Fish-eye、石垣狀破面で線狀破面は最悪である。この判定は従來の経験とも概ね一致する。猶 Table 3 中の本質及び生成要因欄には、従來の研究者の研究結果及び格子変形に影響を與へる諸因子を冶金学的常識で列挙したもので、本研究結果からの推定に過ぎない。之等に就いては更に検討を要する

Table 3
軟鋼熔着金属に現れる破面の分類

通称	破面近傍の格子変形の度合	本 質	生成要因 (推定)
線狀破面	極 小	一次晶粒界破面	非金属介在物、瓦斯等が一次晶粒界に集積してその部分で破壊した場合
石垣狀破面	小	劈開破面	酸化物、窒化物、合金元素等が過度に存在し、或は其他の原因で地鉄のり変形が妨げられた場合
フィッシュ・アイ	中	水素脆化破面	水素の存在により脆化した場合
絹絲狀破面	大	り破面	熔着金属が清淨な場合或は其他の原因で、り変形が良く行はれた後破壊した場合

ので今後の問題とし度い。

本研究遂行に當り、関口次次郎先生からは終始変らない懇切なる御指導を頂いた。又鐵道技研中根金作氏、東京化学工業株式会社及び大阪東光社からは試片の提供を忝うした。更に当研究室森本泉君は試片作成に協力された。併せて謹んで感謝する。最後に本研究は著者が文部省科学研究費により遂行してゐる「熔着金属の X 線的研究」の一部であることを謹んで附記する次第である。

レール の 熔 接*

大 谷 碧** 田 梅 静 一**

On Rail Welding

By M. Otani **, S. Taume **

Abstract

The experiments were made upon arc and gas welded rails to obtain the relations between their strengths and welding practices. Various types of joints and electrodes were used for welding, and the fracture strengths were measured by bend tests. As the result, the following conclusions were obtained.

1) The arc and gas welded rail joints showed reliable strengths for practical use under satisfactory welding practices. We could classify the qualities of electrodes used and the degrees of workmanship by the fracture strengths and the appearances of fracture surfaces.

2) The arc welding was preferable to the gas welding as a method of rail connecting.

3) It was very important to select a suitable type of electrode and of superior quality to secure good mechanical strengths especially on arc welding. Austenite-type electrodes were also available as well as mild steel electrodes.

4) It was concluded that the Shintsurumi-type point was the best for both the arc and the gas welding.

6) It was recommended to anneal the joint after welding has been completed.

1 は し が き

終戦後、國鐵の現場保線関係方面から、軌條継目を熔接で接合しようという声が高まってきた。元來軌條継目の電弧及びガス熔接は、戦時中一時下火とはなつたが、その以前既に研究・実用化されて好成绩を挙げて居り、最近の発達した熔接技術を以てすれば十分実用の域に達して居る。しかし今次大戦を境として、熔接上最も重要な役割りを演ずる熔接棒の性能が相当変化したから、今一度軌條熔接に関する総合的な試験を行う必要が認められる。本実験は軌條熔接に適する接手型式・熔接棒の種類等を再検討し、又良好な熔接を施工すれば熔接軌條はどの程度の強度を示すかを確認せんとして行つたものである。

2 熔 接 方 法

昭和23年5月より12月迄の間に、東鐵施設部を通じて新橋管理部・東京急行及び諸請負業者と連絡し、

Fig. 1 (1)

各種型式の接手に対し種々の熔接棒を用い、電弧及びガス熔接軌條合計 112 本を製作しその強度試験を行つて、軌條継目熔接に関する全般的な実験を施行した。

(a) 熔接軌條の種類

50kg 37kg 30kg の各種軌條を熔接した。

(b) 從來我國において実用されている接手型式は大体新鶴見型・平塚型・宇佐美型・成田型の 4 種であるが、之に電弧熔接の場合熔融型¹⁾(熔接可

異型接手

Fig. 1 (2)

能となる迄即ち約 15mm 位の隙間を電弧で熔融して拡げる) を追加した。尙異型軌條についても実験した。各接手の形状は第 1 図に示す如くである。之等の中字佐美型は静的強度大ではあるが、隅肉熔接々合であるため疲労強度の弱いことが予想され、事実諸外國においても使用されて居らぬ様で又我國における実用成績も良好でないが、一應之をも含めて試験した。

(c) 熔 接 順 序

接手の V 型 X 型削稜はガス切断で行い軽くグラインダー仕上げし、特に機械仕上げは行わない。熔接は原則として軌條を敷設したまゝの姿勢で施行し、之を横に倒し或は裏返して裏面熔接を行う様なことはしない。何れも底面・頭部の順序で下側から上側へ積上げて熔接した。

(d) 熔 接 棒

電弧熔接の場合は神戸製鋼所製 B17・T 社製及び T

* 原稿受付 昭和25年2月

** 正員 國鐵鐵道技術研究所熔接研究室

Member, Railway Technical Laboratory

脚註(1) 鐵研2部高橋密雄氏の提唱によるもの。現場敷設のまゝガス切断設備なしで熔接する場合便利な型である。

所製熔接棒（以上軟鋼用）大電製 T.D105（ステンレス用18—8 熔接棒）硬鋼用熔接棒（銘柄不明）等を用い、又ガス熔接の場合はアルトール・アルテム及び鐵研 G 1 号²⁾を使用した。軟鋼用熔接棒で電弧熔接したものゝ一部は頭部最上層約10mmのみを硬度の高い鐵研 E101 号³⁾或は T. D. 105 で熔接した。

電弧熔接は小数の試験片を除きすべて交流熔接機によつた。

(e) 熱 処 理

熔接に際し予熱は一切行わない。軟鋼用熔接棒で熔接したものゝ一部に対し、熔接後高温焼鈍及び低温焼鈍を行つた。高温焼鈍では鍛冶場のコークス炉で接手部を約 850°C に15分間保持し、低温焼鈍では古枕木を燃して約 650°C 迄加熱した。ガス熔接の際は熔接部は徐冷され焼鈍は電弧熔接程必要でなく、又18—8 棒を用いて電弧熔接したものでは高温焼鈍は熔着金属の組織を悪化する虞があり、共に焼鈍を行わなかつた。

(f) 熔接所要時間及び熔接棒使用量

接手1箇所を熔接する所要時間及び熔接棒使用量測定値の1例は第1表の如くである。（第1表は軟鋼熔接棒で電弧熔接する場合熔融型を除き頭部最上層 10mm のみは鐵研 E101 号を用いたもの）

第1表 所要時間及び棒使用量
(50kg 軌條)

接 手 型 式	人 員	所要時間(時一分)				熔接棒使用量(kg)	
		T社軟鋼棒 (鐵研 E101)	T.D105	T社軟鋼棒 (鐵研 E101)	T.D105	T社軟鋼棒 (鐵研 E101)	T.D105
電 弧	平塚型 1	1	3—35	1—55	3.0(0.4)	2.6	
	2	1	3—30		3.3(0.27)		
	宇佐美型 1	1	3—25	1—45	3.3(0.3)	2.4	
	2	1	3—00		2.9(0.3)		
	新鶴見型 1	1	3—15	1—30	2.0(0.27)	1.6	
	2	1	3—40		3.4(0.8)		
成 田 型	1	1	2—25	1—30	1.8(0.3)	1.6	
	2	1	2—35		1.8(0.27)		
融 融 型		1	熔融0-30 熔接1-50			熔融 0.7 熔接 2.0	
ガ ス	新鶴見型 1	2	1—10	1.1(アルトール・アルテム)			
	2	2	1—05	1.07 ()			

脚註(2) 熔接学会誌 第16巻第3号に報告した軌條盛金用
ガス熔接棒

脚註(3) 註(2)に報告した軌條盛金用電弧熔接棒

3 強 度 試 験

第2図に示す要領で1m スパンの2 支点上に熔接部が中央となる如く軌條をおき、熔接線上に荷重をかけて屈曲試験を行い、荷重と中央部の撓み量を測

Fig. 2

定し荷重—撓み曲線、破断荷重、破断時の撓み量を求めた。又破断面を観察し熔接技術の程度、熔接棒の良否、開先形状の適否等を推定した。試験には20 Ot オルゼン試験機を用いた。接手部強度に影響する諸因子としては

- (a) 接 手 型 式
- (b) 熔接技術の良否
- (c) 熔接棒の適否
- (d) 電気・ガス熔接の差
- (e) 熱処理の有無

等が考えられる。

以下試験結果中、上記諸因子の影響がなるべく良く認められる代表的な成績を比較記述する。

強度良好な熔接軌條においては勿論破断荷重が大であるが、破断する迄の撓み量も多いのが通例である。破断時の撓み量としては、破断直前の撓み量をとるか破断直後の撓み量をとるか問題であるが、諸試験成績から判断される如く、後者は正確に記録をとることが難しく相当ばらついた値をとるから、撓み量の比較には前者をとる方がよい。

軌條寸法が大となるにつれて破断荷重は大となるが、反対に破断時の撓み量は小となる。之は材料力学的に考えれば当然なことであるが、試験成績を判定するとき此の点に一應留意しなければならない。

(a) 接手型式の影響

ガス熔接の場合、軌條のような厚物に対しては例えば平塚型の如き要領の接手では、母材（軌條）と熔着鐵の融合が不充分となり易く、不適とされて居り、V 或は X 型開先が適當である。之等の中でも成田型開先頭部における如く X 型を堅向姿勢で熔接することは避けた方がよく、且宇佐美型は底板隅肉熔

接部が疲労に弱いから、結局新鶴見型開先が最も好適な訳で、この点に関しては特に実験を行わず主として新鶴見型接手につき試験した。

電弧溶接の場合も溶接施行の立場のみよりすれば新鶴見型が最も有利であろう。しかし平塚型の要領の接手でも、電弧溶接ならばガス溶接よりも遙かに作業容易であり且ガス切断作業を必要とせず電弧溶接設備のみにて工事を行い得る便利等があり、各接手間の優劣の差は微妙となる。第2表及び第3図は各接手型式の試験軌條中成績良好であつたものについて、試験成績並びに破断面の1例を示したものである。第4図は各試験片の荷重・撓み曲線である。

第2表 試験成績(1)
(50kg 軌條・電弧溶接・TD105)

L … 破断荷重(ton)

d₁ … 破断直前の撓量(cm)

d₂ … 破断直後の撓量(cm)

No	開先形状	L	d ₁	d ₂
1	平塚型	46.950	0.70	0.90
2	宇佐美型	58.320	3.70	3.90
3	新鶴見型	59.000	1.25	2.15
4	成田型	64.200	1.05	1.40
5	熔融型	53.450	0.80	1.10

註 珉鈍は行わない

Fig. 3

第2表・第3図の例等から、電弧溶接の場合接手型式に関しては次の如く判断される。

(1) 開先に角度をとらない型式のものでは、熔融型が成績よく、新鶴見型・成田型に匹敵する。平塚型は熔融型の開先間隙が約 15mm であるのに対し 25mm である点が異つてゐるが、この間隙はやゝ廣

Fig. 4

すぎる様でウェッジ部の堅向進熔接には無理が作う如くであり、間隙を15~20mm とすれば熔融型と同等の強度を発揮するであろう。

(2) 新鶴見型と成田型を比較すると(第2表の例では成田型の方が破断荷重

は大きくなつてゐるが)、元來頭部の溶接が前者では下向型溶接で容易なのに対し後者では堅向溶接なだけ困難で不利な事が破断面の状態からも見受けられるのであつて、頭部X型開先の底に不熔着部が残る勝ちである。

(3) 宇佐美型は予期された如く静的強度は大である。然し既述の如く疲労に対して弱点を有するから採用出来ない。

従つて工場内で溶接する場合、或は現場工事においても、ガス設備があつて削稜可能なときは、一般溶接工事で慣用されている接手の形に準じた型式の新鶴見型開先を用いるのが妥当であろう。又現場敷設のままガス切断の設備なしで電弧溶接する場合は熔融型が好適である。但しかゝる開先形は丁寧に削稜したものに対し、取扱いに熟練しないと往々溶接部に缺陷を残す心配があるから、溶接施行に際しては十分慎重に監督するを要する。敷設前の軌條を溶接するときは、削稜作業を省略し得る平塚型もまた便利であり、開先間隙を 15~20mm とすれば第3表の例に示す如く良好な強度を得る。

熔融型或は平塚型では第5図に示す要領で、頭部及び底部の下面に適當な当金をあて、溶接中熔融鉄の流れ落ちるのを防いだ方が満足な溶接ができて結果良好である。

異型軌條は両形式の接手(第1図(2))共略々同等の強度を示し破断強度の数例は第4表以下に示す如くであるが、疲労に対する点をも考慮すると(1)

の方が良いであろう。

Fig. 5

第3表 試験成績(2)

37kg 軌條・電弧熔接・熔接棒 T.D.105

No.	開先形状	L	d ₁	d ₂
6	平塚型(間隙17mm)	43.250	2.75	3.30

註 破断面は缺陷なし

(b) 熔接技術の良否

屈曲試験では熔接々手中最も缺陷の多い面に沿つて破断するから、その破面を検査することにより接手の健全性を判断し得る。破面に表わる缺陷には2種あつて、その第1は亀裂・線状組織・気泡等主として熔接棒の品質に關聯するものである。之に対し第2の缺陷たる不熔着部は勿論熔接棒の作業性能が悪ければ生じ易いのはあるが、主として熔接工の技術に左右されるものと見てよい。接手の型式如何に拘らず、不熔着部の存在による接手強度低下の様子は略々同様であつて、その1例は第4・5・6表及び第6・7・8図に示す如くである。第9・10・11図は各試験材の荷重・撓み曲線である。

この様に技術拙劣で不熔着部が残るときは強度甚しく低下して危険である。

第4表 試験成績(3)

(熔着完全或は不熔着部殆どなきもの)

E … 電弧熔接 G … ガス熔接

No.	軌條	接手型式	E・G別	焼鈍	熔接棒	L	d ₁	d ₂
3	50kg	新鶴見型	E	行わず	TD 105	59,000	1.25	2.15
6	〃	熔融型	〃	〃	〃	55,000	0.35	1.15
7	〃	〃	〃	〃	神鋼 B-17	58,150	1.60	2.35
8	37kg	平塚型*	〃	〃	TD 105	37,200	1.65	2.12
9	(37+30)kg	異型(1)	〃	〃	〃	32,500	1.80	1.90
10	50kg	新鶴見型	G	〃	鐵研 G1'	54,500	0.70	—
11	〃	〃	〃	〃	〃	52,800	0.65	1.25
12	(37+30)kg	異型(1)	〃	〃	アルトール・アルテム	31,150	1.35	2.00

註* 間隙 17mm

第5表 試験成績(4)

(中程度の不熔着部あるもの)

No.	軌條	接手型式	E・G別	焼鈍	熔接棒	L	d ₁	d ₂
13	50kg	平塚型	E	高温焼鈍	T社軟鋼棒*	44.400	0.95	1.10
14	〃	新鶴見型	〃	〃	〃*	45.470	0.90	1.70
15	〃	成田型	〃	〃	〃*	43.150	0.80	1.40
16	〃	不明	〃	行わず	不明	42.700	0.75	1.20
17	〃	新鶴見型	G	〃	鐵研 G1号	33.800	0.60	0.70
18	〃	〃	〃	〃	アルトール・アルテム	40.040	0.60	1.40
19	(37+30)kg	異型(1)	〃	〃	鐵研 G1号	22.650	0.80	1.10

註* 頭部最上層 10mm のみ鐵研 E101 号

第 6 表 試 験 成 績 (5)

(大なる不熔着部あるもの)

No.	軌 條	接 手 型 式	E・G別	焼 鈍	熔 接 棒	L	d ₁	d ₂
20	50kg	不 明	E	行 わ ず	不 明	43.920	0.65	1.00
21	〃	〃	〃	〃	〃	38.200	0.55	1.10
22	〃	平 塚 型	〃	高 温 焼 鈍	T 社 軟 鋼 棒 [*]	40.725	0.80	1.10
23	〃	熔 融 型	〃	〃	〃	27.500	0.55	1.05
24	〃	新 鶴 見 型	D	行 わ ず	アルトール・アルテム [*]	33.000	0.45	0.90
25	〃	〃	〃	〃	鐵 研 G 1 号	29.000	0.50	1.20
26	〃	〃	〃	〃	アルトール・アルテム [*]	35.000	0.50	0.70
27	(37+30)kg	異 型 (1)	〃	〃	鐵 研 G 1 号	20.200	0.70	0.75

註 * 頭部最上層 10mm のみ鐵研 E101 号

Fig. 6

Fig. 7

Fig. 8

Fig. 9

Fig. 10

Fig. 11

(c) 溶接棒の適否
電弧溶接においては前述の如く溶接棒不適の時は破断面に亀裂・線状組織等の缺陷が生じ強度が低下する。軌條の材質は中硬鋼であるから、通常の軟鋼構造物を溶接する際よりも之等缺陷を生じ易いのであつて、溶接棒の選択には慎重なるを要する。各種溶接棒による接手試験成績の 1 例は第

7 表第 12 図に示す如くである。(之等缺陷ある時の荷重・撓み曲線は不溶着部ある場合と同様)

Fig. 12

第 7 表 試験成績 (6)

No.	溶 接 棒	軌 條	接 手 型 式	E・G 別	焼 鈍	L	d ₁	d ₂
28	T 社 軟 鋼 棒*	50kg	新 鶴 見 型	E	高温焼鈍	46.600	0.85	1.50
5	T.D. 105	〃	熔 融 型	〃	行 わ ず	53.450	0.80	1.10
29	神鋼 B-17	〃	〃	〃	〃	62.450	1.95	2.50
30	Y 所 軟 鋼 棒	〃	〃	〃	〃	53.630	0.80	1.00
31	硬 鋼 用	〃	〃	〃	〃	32.700	0.75	1.10
32	不 明	〃	平 塚 型	〃	〃	22.450	0.40	0.45

註 * 頭部最上層 10mm のみ鐵研 E101 号

と強度は甚しく低下し、特にかかる場合は疲労強度が更に著しく低くなる筈で頗る危険である。軌條溶接に適當と考えられるものは、実験に使用した溶接棒の範囲では 18—8 系のもの、(T. D. 105) 軟鋼棒では神鋼 B-17 であつて共に良好な接手部強度を称す。

T 社製・Y 所製軟鋼棒は軟鋼の溶接に際して良好な性能を発揮することは既に定評があるが、軌條に対してはやゝ品質不十分な様である。銘柄不明の劣等棒若くは、硬鋼用棒で全然使用不可能である。

第 8 表 試験成績 (7)

No.	焼 鈍	軌 條	接 手 型 式	E・G 別	溶 接 棒	L	d ₁	d ₂
13	高温焼鈍	50kg	平 塚 型	E	T 社 軟 鋼 棒*	44.400	0.95	1.10
33	低温焼鈍	37kg	〃 **	〃	〃 *	33.500	1.50	1.85

註 * 頭部最上層 10mm のみ鐵研 E101 号

** 間隙 17mm

No. 33 は破断面に缺陷なし

(e) 電弧溶接とガス溶接の差
試験結果より判断して次のことが言える。

(1) ガス溶接では餘程注意して溶接しても、やゝもすると大きな不溶着部が残る勝ちで危険性が

ある。

- (2) 電弧溶接では溶接棒の吟味が大事で、不適当な溶接棒を使つては亀裂・線状組織等の缺陷が生じ、強度が著しく低下して危険である。
- (3) 溶接棒さえ適当であれば、電弧溶接の方が作業容易・強度良好で有利である。完全な溶接が行われた接手同志を比較しても電弧溶接の方が強度が高い。

従つて軌條継目の溶接は溶接棒の選定に留意した上で、成可く電弧溶接により行うべきである。

4 む す び

溶接軌條の破壊は、疲労の結果生ずるものであるが、本実験は接手の静的強度を調査したものであつて、之のみを以つて充分満足の資料とはなし得ないが、軌條溶接以外の部門で明かにされていることをも参照して、以上の試験成績から一應の結論を導くことは可能であろう。即ち

(a) 溶接施行が良好ならば、電弧及びガス溶接転倒することなく、軌條は良好なる強度を示し、現場に使用して危険はないと判断される。敷設のまゝの姿勢で転倒することなく、溶接した場合、差当つては屈曲試験におき 50kg 軌條に対しては 50ton, 37kg 軌條に対しては 37ton 30kg 軌條に対しては 30ton 以上の破壊強度が常に得られ且つ破断面が良好であれば、溶接技術及び溶接棒共に合格であるとして差支えない。⁴⁾

(b) 電弧溶接はガス溶接に比し施工上及び強度上有利である。

脚註(4) 國鐵東京鐵道局管内ではかかる基準で相当数の継目を溶接して実用したが、現在に至るまで事故は報告されず成績良好である。但し最近では溶接技術が向上し、特に電弧溶接では殆んどすべての試験片が基準強度以上の値を示し出したので、電弧溶接軌條に対しては 1割増しの値を判定値に採用している。他局でも近時軌條継目の溶接が盛であるが、電弧・ガス溶接共 50kg 軌條の場合 60ton 以上の破壊強度を要求している所もある。戦後の溶接技術水準はこの程度高いものであつた。又工場内で適当な設備の下に轉倒しながら電弧溶接するならば強度は更に向上し、50kg 軌條で 65ton 程度の破壊強度を得ることは容易である。

(c) 電弧溶接によるときは溶接棒の選定を慎重に行わないと缺陷が発生して危険である。溶接棒は軟鋼用のものでは神戸製鋼 B-17 級の品質であれば安全である。⁵⁾ ステンレス用 18-8⁶⁾ 溶接棒も成績がよい。(従つて之と同一性能を有する高 Mn-Cr 系のものも好適であらう。)

(d) 接手型式はガス溶接では新鶴見型がよい。電弧溶接では新鶴見型溶融型何れでもよく又間隙を 15~20mm とした平塚型もよい。

之等の中から施工状況・設備の点で有利なものを選ぶべきである。

(e) 焼鈍は著るしくは強度を向上せしめない様ではあるが、之を行えば多少とも強度上有利な筈であるから事情の許す限り之を施行すべきである。焼鈍も 650°C での低温焼鈍より 850°C の高温焼鈍の方がよいであろう。最近國鐵でフラッシュ・バット溶接軌條を採用した際も焼鈍を行うべきか否かが問題となつたが、敷設後発生した少数の折損軌條に対する調査によれば、事故軌條の多くは焼鈍を行はなかつたものであることが報告されている。この様に焼鈍は餘り目立たない程度にはあるが確かに接手の安全性を増加せしめるものである。但しステンレス用 18-8 系棒等では、高温焼鈍は熔着鐵組織を悪くする恐れがあるから行うべきでない。又ガス溶接では焼鈍は不用であろう。

尙本文は予熱処理に関して触れていないが、電弧溶接の場合は予熱もやはり接手の安全性をますための有力な手段であつて、特に寒冷時軌條を溶接する際等必ず考慮する必要のあることは勿論である。

最後に本実験に用いた試験材は東鐵、後崎・小島技官の御配慮により作成されたものであることを附記し、深く感謝の意を表す。

脚註(5) 本試験を行つたのは、日鐵八幡製の心線品質が劣悪でしばしば問題を起して居つた時期であつたので、神鋼以外の一般軟鋼棒は 1 流品でも軌條の溶接は不安であつたが、最近では八幡心線のものなり品質が向上しているので一般品で軌條溶接に適するものが相当多いと思う。

脚註(6) 市場の 18-8 棒中には、熔着鐵中に Si 含有量多く、ために甚しい線状組織を発生し、強度劣等のものが混在しているから注意を要する。