

値に因つて河川の水理学を河川の実験水理学迄研究を  
 押進めたい。そして純正科学で解決し得ない河川の問  
 題を近似的に解決したいのが著者の願ひである。

本稿を纏めるに方り、中部地方建設局で洪水観測資

料を与えられ、又等量三角法の案出には元内務技監辰  
 馬鎌藏先生の指導と助言を得、尙旧友松井愁太郎君の  
 援助を得た。茲に謹んで感謝の意を表する次第であ  
 る。

## 溶接継手の龜裂の定量化について

正員 奥 村 敏 恵\*  
 准員 佐 藤 光 春\*\*

### QUANTITATIVE MEASUREMENT OF THE CRACKING TENDENCY IN WELDED JOINT

(JSCE Nov. 1950)

Toshie Okumura C.E. Member

Mitsuharu Sato C.E. Assoc. Member

**Synopsis:** In order to build up the more reliable welded structure, we must try to prevent cracks due to welding heat. Condition for the cracking tendency in welded structure is thought that.

$$\alpha \cdot \beta \cdot Q \geq S$$

$\alpha$ : Constant due to joint shape and other boundary conditions — the constraint factor of welded joint

$\beta$ : Constant due to qualities of material, heat transformation, joint shape and density of welded metal.

$Q$ : Heat quantity, which is given to plates of structure by welded metal of unit weight.

$S$ : Yield strength (or ultimate tensile strength) of welded metal.

Authors measured values of  $Q/S$  for eight kinds of electric arc welding rods, and found that Japanese rods are suitable for the alternate current, and we can represent the criterion of the cracking tendency by measuring  $Q/S$ .

### I. 総 説

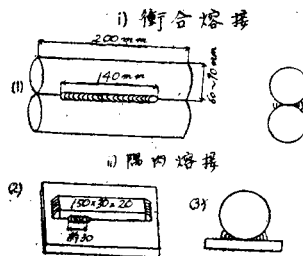
米国に於て、溶接は多くの鋼構造に應用され、完全な効果をあげている様であるが、日本ではまだ十分な実用を見るに到つていない。此は溶接に対する信頼度が低い事に依るものである。溶接の信頼度を支配する要素は、材料・設計・施工であるが、これ等の最も適切な条件に対する概念が、十分につくられていない様に感じられる。

ベルギーのフィデンディールを初とし、従来の溶接構造の事故に関する調査報告に依ると、すべてが青熱龜裂を核として、それより発達した破壊が原因となつている。又、理論的計算に依ると薄板の溶接に依る熱応力は（主応力に關しても、最大剪断応力に關しても）、溶接終了後 30~40 秒位でその最大値に達し、その時の板の温度は、条件に依り 200°C~350°C 附近にある事が言える。これが龜裂の主因である。従つて例えば溶接継手の第1層等に生ずる収縮龜裂を避ける様

な工作を施してやれば、完全に信頼出来る溶接構造が可能となり、又逆に、此に依り溶接の可能な線が引かれ得るのである。

従来溶接龜裂に關しては、諸外国で多くの研究が行われているが、我が国に於ても東大仲教授の系統的な研究がある。又現場に於ては図-1 に示す様な簡易な

図-1



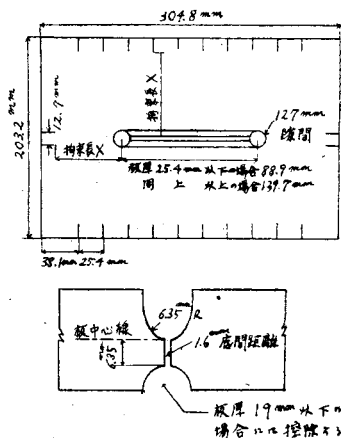
目安の試験方法がある。此は、溶着された金属が熔融及び冷却中どの程度の周辺拘束に耐え得るかを比較する試験であるが、試験施工中の個

々の誤差が非常に多く入り、且つ拘束に対する解析が不確実の為、實際の状態に対する照合が困難である。図-2 に示すのも同様に拘束試験体を應用するものであるが、多くの原因が互に相關して入り、その分析が困

\* 東京大学第一工学部助教

\*\* 同上 大学院学生

図-2



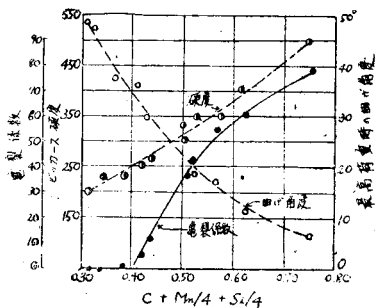
難である。

これ等の点を考え、出来るだけ各要素を別々にとり出し、測定と理論的解析を用いて、両者の間隙を満たそうとするのが、この研究の主要な方針である。

II. 龜裂に関する條件

1. 材料について 溶接鋼鉄道及び鋼道路橋に関する最新のアメリカの示方書に依ると「厚サ1吋(25.4mm)をこえる各部分より試験片をきりとり、若しこの試験片の炭素含有量%と〔Mn含有量%〕×1/6の和が、0.4%を超える場合には、溶接中その隣接部を常に130°F(約55°C)以上に保つべき事」を規定し

図-3 曲げ角度材質による影響 (Otto Graf: V.D.I. 1950, 5, 11)

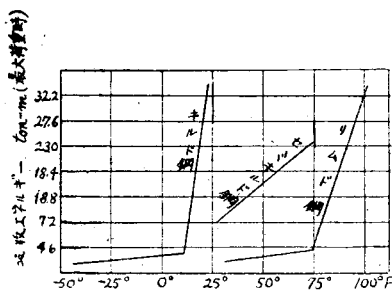


ている。

一方図-3に示す如く、Otto Graf 氏の研究に依ると、材質に依る溶接龜裂の感度は、材の炭素・マンガン・珪素の含有量に支配される事が考えられる。従つて、鋼材の溶接適性を考えないで、溶接計画を行う事は危険である。

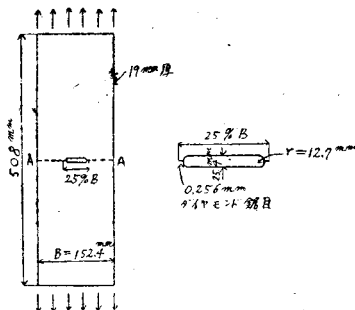
図-4は各種鋼材の温度と吸収エネルギーの関係を示したものである。此はアメリカに於て、図-5に示す様な大型の切欠試験片を用いて、得られたものである。日本の鋼材にこのまゝ適用する事は妥当である

図-4 吸収エネルギー・温度曲線図 Absorbed Energy-Temperature Curve



とは、考えられないが、普通よく使用されているリムド鋼が38°C以上で十分な吸収エネルギーを持つ事より、常にこの程度の温度を保つて溶接する事により、図-3に見られる龜裂感度を下げるに役立つものと考えられる。唯此の場合注意せねばならないのは、時効硬化を生じ易い材料に対する処理である。溶接龜裂に

図-5



直接関係はないが、残留応力の影響が著しく現われるのはこの様な材料の場合である。此については、新しく実験結果と共に論じたいと思つている。

2. 設計について 溶接継手の集中を避ける事、リベットと溶接の混用を避ける事、裏ハツリを行う事、又は一方溶接には裏当金を用いる事等、従来示方書に於て溶接に課せられた多くの規定は、溶接龜裂の防止に主眼点を置いている様である。しかし、これ等に対する定量的な拠点がなかつた。

さて、溶接に依つて生ずる継手個所の最大収縮変形を  $\Delta$ mm、その継手に1mmの変形を与えるに要する力を  $a$ kg とすると、 $a\Delta$  が溶接に依つて継手に生ずる最大の力と考える事が出来る。

溶接部の強度(又は降伏強度)を  $S$ kg/mm<sup>2</sup>、断面積を  $A$ mm<sup>2</sup> とすると、

$$a\Delta \geq S \cdot A \dots\dots\dots(1)$$

が溶接龜裂の生ずる条件となる。

一方  $\Delta$  の値は、溶接中材に与えられる熱量及び熱

伝導状態、継手溝の寸度等に依り定められる値であるが熱伝導に依る理論的計算より推定すると、

$$\Delta = \beta \cdot A \cdot Q \dots\dots\dots(2)$$

で与えられる。

但し  $\beta$ : 熱伝導, 材質, 継手形状, 熔着金属の比重等に関する値

$Q$ : 1g の熔着金属が材に与える熱量 (cal/g)

故に龜裂の条件は、

$$\alpha \cdot \beta \cdot Q \geq S \dots\dots\dots(3)$$

に依つて与えられる。

この中、 $\alpha$  の値は熔接自身には無関係であつて、構造物の全体の形状と継手を設ける個所が定まれば与えられる値であつて、境界条件に依り継手が拘束される力を表わすものである。

従つてこの値は、応用力学又は弾性学を用いて十分に計算し得る値である。熔接継手の配置に対しては、この値を出来るだけ小さい様に選ぶ事が必要であり、この値に依り、熔接設計の限界を示す事が出来る。又施工の順序も、当然この立場より考慮すれば、合理的に処理し得るが、この点に関する詳細な研究は、改めて取扱う事にする。

3. 施工について 熔接施工にあつては、十分な段取と準備、クレーン・治具等の設備、細心の注意、入念な施工、が必要な事は論ずる迄もない。又、従来の示方書で色々禁止されている事項を守らねばならない。しかし、ここではこうした点は考慮の外におき電弧熔接を対象にし、熔接棒の選択とそれに対する考察を中心として、論をすゝめる事にしたい。

(3) 式より

$$Q/S \geq 1/\alpha \cdot \beta$$

即ち構造物の材料、熔接継手の形状、配置、構造設計が定まると、 $\alpha \cdot \beta$  は一定の値となる故、 $Q/S$  をある一定の値より小にする事が望まれる。しかるに  $Q, S$  の値は同一熔接棒に依つて与えられる値である故、熔接棒の龜裂感度は  $Q/S$  で与えられる。

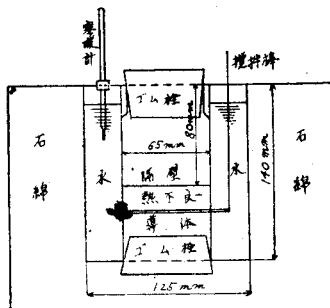
従来我が国に於ては、熔接は海軍に依り育てられた結果、交流熔接機が多用され、ヨーロッパ系に見られるスラグ式の被覆熔接棒が専ら製作されて来た。しかも、実験室に於ての見掛けの強度が重要視される結果、次第に厚被覆になつた。此は母材に与える  $Q$  の値の増大を来たしたばかりでなく、作業の困難を与えた。特に、上向、たて向等に著しい影響を与えた様である。

III. 國産及びアメリカ製熔接棒の  $Q/S$  の測定

図-6 に示される様な、普通の水熱量計を使用した。熱量計に入れた水の質量は 100 g にとつた。熱量

計の攪拌器の水当量は、損失熱量を考慮した入念な予備実験の結果、88.57g なる値を得た。厚サ 6mm、直

図-6 水熱量計  
Water-Calorimeter

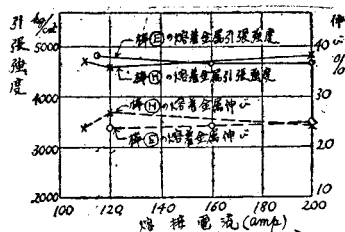


径 50mm の軟鋼円板試片上に 15 秒間熔接を行つた後特殊の落下装置を利用して中央の筒の中に投下させ、直ちにゴム栓をしめ定常状態に到る迄十分に攪拌し、その温度を測定した。此の温度より、熔接に依つて試片に与えた熱量を計算した。定常状態に到るには、約 18 分要し、此の間の熱損失は約 5% であつた。

実験に使用した熔接棒は、アメリカ製 1 種、(セルローズ系) -A, アメリカ製心線に日本の工場で被覆剤を塗布したもの 1 種 (記号 G) 及び國産 6 種 (スラグ系) で、計 8 種類を選んだ。尚、15 秒間に使用した熔接棒の重量及び長さ、試片に熔着した金属の重量 (この場合スラグを被つたまゝのものとしてそれを除去したもの 2 つ) を測つた。又、熔接に出来るだけその棒の適性電流で行い、交流・直流正極 (棒-) ・直流逆極 (棒+) の 3 つの場合について値をとつた。

一方熔着金属試験片は、A・W・S 及び A・S・T・M の 1948 年改訂の軟鋼電弧熔接棒の基準に従つて製作した。即ち各熔接層毎に、5 分間沸騰湯の中に入れる操作を施したから、この結果は図-7 に示す様に、その

図-7 全熔接金属強度-熔接電流曲線 (A・B の規格による)  
Strength of all Deposit Metal-Current Curve (A.B. rule)



使用電流に殆んど無関係に一定な強度特性を与える様であり、この試験に依り熔接作業に殆んど無関係に熔

接棒の示し得る強度特性が得られる事を知り、比較して使用しても十分信頼あるものと考えられた。

2つの実験結果より得られた主要なる値を表-1に示す。図-8はQ/Sの値を熔着金属の終局強度を基

図-8 龜裂感度

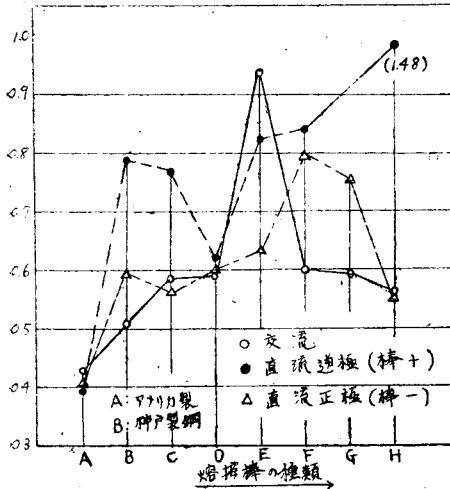


表-1 特性値

	A	B	C	D	E	F	G	H
熔着強度 kg/mm <sup>2</sup>	481	461	445	486S	472	495	506	463
上降伏強度 kg/mm <sup>2</sup>	404	375	374	402	405	449	422	377
下降伏強度 kg/mm <sup>2</sup>	370	377	364	372	385	372	414	372
伸率 %	275	260	213	288	202	232	275	264
断面収縮率 %	37.6	47.0	39.7	35.6	34.3	32.8	50.1	31.4
融着電流 Amp	125	145	150	150	150	130	140	150
融着電圧 Volt	25	29	28	28	30	30	35	30
1秒間の 融着量 g/sec	534	655	602	629	700	668	657	655
1秒間の 熱量 Cal/sec	1874	3500	3430	2800	3360	4130	4720	6791

～: 交流 -: 直流逆極 -セ: 直流正極

表-2 引張強度 (Aに対する比)

	A	B	C	D	E	F	G	H
交流	1	1.18	1.377	1.377	2.19	1.4	1.4	1.32
直流逆	1	2.00	1.95	1.57	2.1	2.12	57*	37
直流正	1	1.46	1.40	1.45	1.54	1.94	1.84	1.35

\* 印は 熔着部

準として表わしたものである。降伏強度を基準にしても同様の傾向を示す。又表-2は棒A即ちアメリカ製

のものに対する比を示した。

IV. 従来の簡易龜裂試験との比較

図-1に示した様な拘束試験体を用いて、交流及び直流逆極に対する龜裂の程度を判定したものが、表-3に示す値である。数字は龜裂長を示すものであるが、Q/Sの値と非常によく似た傾向を示す事が見られる。

表-3 簡易龜裂試験結果  
Results Obtained by some Cracking Tests

測定事項	種別	A	B	C	D	E	F	G	H	備考
交流 龜裂長(mm)	交流	305	61	41	61	72	32	75	52	棒Aは溶接部77.7%の 引裂の材料 + 交流(鋼線径75mm) (0.2mm) + 交流(鋼線径75mm) (0.2mm) + 交流(鋼線径75mm) (0.2mm)
	直流 (逆極)	27	64	41	54	80	34	105	67	
直流 龜裂長(mm)	交流	0	20	22	27	53	41	16	30	溝内溶接部21.7%は互 引裂の材料 + 棒Aの20%の鋼線径上 + 棒Aの20%の鋼線径上 + 棒Aの20%の鋼線径上 (例: 30mm鋼線径は1.5 + 鋼線径75mmは1.5 + 鋼線径75mmは1.5)
	直流 (正極)	0	21	33	16	32	43	21	17	

V. 作業特性との関連

溶接に於ける重要な要素は「作業し易い」性質を持つ事である。作業が困難であると、溶接工が被覆剤をはがして用いる事も屢々見られ、当然悪結果を来す事である。

作業性に及ぼす要素は色々考えられるが、この実験で得られた「1秒間に与える熱量」・「1秒間の実熔着量÷熔着量」・「スパッター」・「電流の不安定度」等も重要な意義を持つ。表-4にこれ等の量を示す。

表-4 作業特性

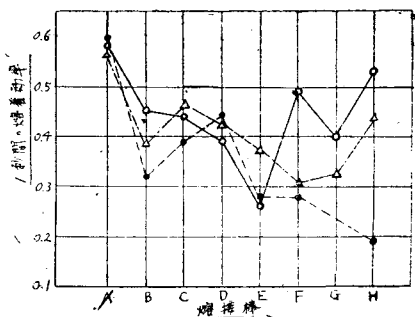
測定事項	種別	A	B	C	D	E	F	G	H
被覆剤偏心率		174	112	114	121	123	126	120	
電流の不安定度(直流) 最大電圧/電圧 最小電圧/電圧 (自動調整装置あり)		117	107	107	120	118	125	117	
溶接棒が 1秒間の熔 着量 g/sec	交流	0.45	0.62	0.53	0.56	0.60	0.47	0.55	0.47
	直流 (逆極)	0.38	0.62	0.54	0.52	0.61	0.61	0.61	0.52
溶着部1mm <sup>2</sup> の 中溶解した 材料の溶着量 g/sec	交流	0.26	0.28	0.23	0.22	0.16	0.23	0.27	0.25
	直流 (逆極)	0.23	0.20	0.21	0.23	0.17	0.17	*	0.10
スパッター g/sec	交流	0.12	0.15	0.13	0.16	0.23	0.16	0.17	0.14
	直流 (逆極)	0.08	0.23	0.16	0.14	0.26	0.21	0.37	0.23

\* 印は表-2

図-9に示す如く、国産棒は1秒間の実熔着量と熔着量が低い様であり、溶接棒の溶け方が比較的早い為熔着量に比し運棒が早くなり勝ちになる恐れがある。レールのウェブのたて向溶接に於てこの点に特に注意し、ウィビングビードが完全に重なり合う様に溶接する技術を修得させた結果、同じ溶接工の施工で全溶接時間が殆ど変らないのに拘らず、注意しない以前の試験片の値の比較に於て吸収エネルギーで3倍以上を

得る事に成功した。破断面、最大荷重時の撓みに於て

図-9 熔着効率=1秒間の熔着量/1秒間の熔融量



国鉄の規格に合格する値が得られた。

IV. 結 び

図-8に見られる様に、2の例外はあるにしても国産棒は交流が良い結果を示している。これは我が国の歴史的実実を示すものとして面白い事実である。特に、日本に於ける優秀製品と称せられる神戸製鋼 B-17-B-1 が、交流に於てアメリカ製品に比較的四敵している事は、その延性と合せて考える時、注目し値する。

直流熔接が交流熔接に比較して、熔接作業の点で有利である事、アメリカ製の棒で直流の龜裂感度の値が僅かにすぐれている事、又此はガス被覆棒で可能となる事とを考へ合せる時、我が国に於ても、かゝる棒の製作が盛んになる事が望まれる訳であり、現場よりの要求が、此の氣運を高めるに役立つものである事を強

調したい。

尙この研究は文部省科学研究費に依る研究の一部であり、東大第一工学部仲教授の御教示に依るものである事を記し感謝したい。

参考文献

- 1) 昭和 24 年土木学会年次大会・奥村敏恵 「熔接直後の収縮応力に及ぼす表面輻射及冷却速度の影響」尙その基礎式は熔接学会誌第 17 卷第 3 号「薄鋼板の熔接に依る熱応力」
- 2) 仲威雄「熔接の収縮と龜裂」(小峰工業出版所)
- 3) R.D. Stout, S.S. Tör, L.T. McGeady & G.E. Doan: Quantitative Measurement of the Cracking Tendency in Welds—Welding Journal Sept. 1945. 尙、此は筆者がサイエンスダイジェスト、土木建築 C.A.Vol. II. No.2. に紹介した。
- 4) American welding Society: Standard Specification for welded Highway and Railway Bridges 1948.
- 5) Otto Graf: Eignung der Stähle für geschweißte Tragwerke V. D. I März 1050 (Bd 92. Nr.8)
- 6) M. Farman: New Factors to be considered in the Design and Welding of Ships. Welding Journal Sept. 1948.
- 7) Harry. W. Pierce, Vice President of American Welding Society の熔接学会での座談会と講演会—1947 年秋
- 8) A. W. S & A.S.T.M: Tentative Specifications for mild steel arc-welding electrodes. 1948. 東大仲教授が水道協会雑誌, 184 号 (昭. 25—2) にその解説を行つている。

レールのねじれの理論について

正員 八十島 義之助\*

ON THE THEORY OF RAIL TWISTS

(JSCE Nov. 1950)

Yoshinosuke Yasoshima, C.E. Member

**Synopsis:** The author computed balance equations of rail twists, considering shearing effects in rail heads and bases. And he showed a numerical example. In order to compare the torque resistance, he proposed "Twist Indexes of Rails." At the last paragraph, he mentioned the mechanism of the twist propagation in rail joints.

要旨 敷設レールのねじれの式を剪断効果を考慮に入れた上で誘導し、それにもとずいて数値計算例を示した。次に、ねじれの大小を種々のレール断面ごとに比較する為にねじれ指数なるものを提案した。これは

こがえりなどに対する抵抗性を示すものと考えられる。最後に、レール継目部に於けるねじれ伝達の機構に言及した。

前 言

レールのねじれに関し外国に於ては S. Timoshenko

\* 東京大学第一工学部 助教授