

論 說 報 告

第 26 卷 第 12 號 昭和 15 年 12 月

熔 接 鐵 道 橋 の 安 全 率 に 就 て

(昭和 15 年 4 月 3 日 第 4 回工學會大會講演會に於いて)

會 員 工 學 博 士 田 中 豊*

内容梗概 本文は、主として筆者の経験並に試験結果に基づき鉸結橋を對象として、熔接単純鉸桁鐵道橋の靜力強並に疲勞強に對する安全率の推算を試みたものである。

目次 I. 緒論 II. 熔接接手の強弱 III. 熔接に依る歪 IV. 熔接鐵道橋の安全率 V. 結言

I. 緒 論

本邦鐵道橋に對して、本格的に電弧熔接を應用したのは、昭和 6 年 (1931)、奥羽線檜山川橋梁、徑間 12.2 m の鋼鉸桁 2 連の補強を以て嚆矢とする (鐵道省研究資料 XX 卷第 11 號參照)。爾來、熔接に依る鉸桁補強效果の認識を深め、其の實施を見たるもの約 1300 徑間に達して居る。此の期間、特に昭和 12 年 (1937) 日支事變勃發以來、鋼材節約の要望に對し、相當の成績を挙げ得たることは、吾々の欣幸とする所である。

去り乍ら、今日、過去 8 ケ年間に於ける、補強熔接の成績を顧み、更に、將來新造熔接橋の設計並に架設に就て考慮するとき、尙幾多の研究を要すべき事項の存することを認めざるを得ない。然もこれ等の問題は、係つて、熔接橋の安全率如何に歸着せらるべきものであるから、茲に二、三の所見を述べて置き度いと思ふ。

凡そ、工學上に於ける諸問題の考察上、過去の経験並に事實を無視することは出来ない。熔接橋の強弱を論ずるに當り、既に約 90 年の發達史を有する鉸結橋を對象とし、又熔接部材の強弱に就ては、鉸結材又は有孔材の強弱を對象として考察することは、此の際、極めて適切なる一策と考へる。故に本文に於ては、同等の規格に依る鋼材を以て製作せられたる兩種の橋桁に就き、主として引張應力の觀點より、筆者の行つた試験並に關與せる業績を基として、それ等の安全率の比較推算を試みんとするものである。此の場合、用材は JES-SS 41 程度のものと假定し、橋種は便宜上單純鋼鉸桁に限定する。

II. 熔 接 接 手 の 強 弱

熔接接手の強弱を論ずるに當り、熔接の基本形式として考へられるものは、衝合接手及側面隅肉熔接である。又代表的強弱試験方法としては、靜力引張試験と疲勞試験である。

1. 衝合接手の靜力引張強

筆者の關與せる田端大橋 (昭和 10 年 12 月開通全熔接公道橋、鐵道省研究資料第 XX 卷第 19 號參照) の設計當時施行せられた熔接接手試験の結果、衝合熔接試片 (V, X, 直角, 斜角熔接を含む) 百數十個の中約 3/4 は 40 kg/mm² 以上の引張強を示し、残り 1/4 は約 35~40 kg/mm² の強を示した。此の一例に依つても、大體今日所謂一流の熔接片の引張強は 40 kg/mm² 以上、多少の缺陷あるものにて 35 kg/mm² と假定してよい。但し此の場合、潛應力の影響が大でないことを條件とする。故に衝合熔接接手の靜力引張強は σ_B (靜 I) = 40 kg/mm² σ_B (靜 II) = 35 kg/mm² と假定する。實用上 σ_B (靜 I) を工場熔接 σ_B (靜 II) を現場熔接の試片強と考へる。即ち現場熔接強は工場熔接強の 6/7 とす如き規定は、此の邊の事情よりして適切なるものと解することが出来る。

次に側面隅肉の強弱に就て一言する。側面隅肉熔接は其の適用法に依りて、應力分布の状態が著るしく變化する。筆者の行つた一、二の試験の結果に依つても、此の事實が確められて居る。特に熔接部の兩端に應力の集中が

* 東京帝國大學教授

著るしい。此の計算に資すべき、熔接の滑り率 (Gleitmodul) は筆者の試験の結果では 1 對の隅肉熔接に對して約 60 萬 kg/cm/cm である。又兩端部に於ける切り欠きの影響も顯著である。従つて、主要引張部材の直應力に抵抗すべき主熔接としては、この種の熔接に依らざるを可とする。上記の理由に依り、本文に於ては、隅肉熔接の問題を除外して置く。

2. 熔接試片並に有孔試片の引張疲勞試験

試片の材質は SS 41 程度の軟鋼、其の斷面は、熔接片に在りては $20\text{mm} \times 6\text{mm}$ 、有孔片に在りては $25\text{mm} \times 6\text{mm}$ を標準とし、之に直径 5mm 圓孔を其の中心線上に穿つた。熔接は總て衝合 V 熔接に依り、試片の縱軸に直角、45 度及平行の 3 種とし、餘盛りは總て削り取つた。試験装置は、自製の小型試験機を使用し、試片の純斷面に對する應力度は $5\text{kg/mm}^2 \sim 20\text{kg/mm}^2$ を標準とした。此の試験に於て得られた結果を約言すれば次の如くである。(a). 疲勞破壊は一般に熔接部の氣泡を通して起り、2 段破斷をなす。此の場合疲勞破斷面積と原斷面積との比の増大と共に應力繰返回数は増大し、氣泡斷面積と原斷面積との比の減少と共に應力繰返回数は増大すること、又欠點のないと認められる試片は 400 萬回以上に達しても破斷を起さないこと、隅角部に在る氣泡の影響は其の他の個所にあるものの約 4 倍の影響を與へること、隅角部外の氣泡の斷面積が試片斷面積の約 0.5% 以下であれば 200 萬回以上の繰返應力に耐へ得ることなどが認められた。(b). 衝合接手と有孔片との比較 有孔片の強は比較的小であつた。上記の試験の結果では應力の繰返数は偏心疲勞破斷の場合には約 70 萬、對稱疲勞破斷の場合には約 178 萬位で、潛應力の存在して居らぬ完全衝合熔接接手は有孔片に優るとも劣らぬものと考へられる。(c). 衝合接手と縦熔接片との比較 試片の長軸線上に熔接した試片は應力繰返回數 27 萬~40 萬位で破斷した。成績は甚だ不良である。此の原因としては、氣泡の如き欠點の存在する公算が大であること及潛應力の影響などが考へられる。

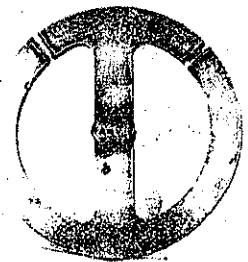
III. 熔接に依る歪

熔接に依る歪の影響は、熔接せられたる構造物の變形並に潛應力の推定上一の重要な問題であることは今更論ずる迄もない。熔接線に直角方向の平均收縮量に就ては、既に色々の文獻がある。然し、それ等の資料は多くの場合、試片の周邊支持條件が力學的に明確に欠いて居る憾みがある。従つて、筆者は圖-1 に示す如き θ 形の試片に依つて試験を試みた。

圖-1.

此の試片は熔接の前後及圓環を切斷した後の直径の變化を測定し、算式に依つて、彈性支持条件下に於ける收縮歪並に潛應力を求むるに便である。又、異りたる種々なる寸法の試片の歪を求むることに依つて、自由端の場合の歪をエキスターポレートして求むることも出来る。即ち此の種の資料に依つて、平均收縮應力を求むることが出来る。之を便宜上一次收縮應力とすれば、收縮に依る二次應力として、熔接線に直角並に平行なる不均等な收縮應力の存在することを考へねばならぬ。之が試験法に就ては將來一層の研究を要すべきである。熔接面の仕上げの形状、反り等に就き相當考慮の餘地がある。熔接形式としては結局 V が X に優ると考へられる理由もある。

要するに收縮に依る二次應力は、熔接の形状、寸法、施工法等に依りて、其の量を異にすべく、従つて單に二、三種の試験結果を以て其の全班を知らんとすることは困難である。然も本問題は、熔接構造物の強弱を支配すべき一の重要な事項である。鉄結構造物に於て、鉄孔並に鉄結影響が異常の二次應力を生ずる爲め、今日吾々の取扱ふ鉄結構造物に於ける部分的合成應力は、之を用材の彈性限或は降伏點下に保つことの困難なると同様に、熔接に依る收縮歪の影響は必然的に熔接の一部に何等かの塑性歪を結果するものと考へねばならぬ。然も熔接に於ては、鉄結と異り、或る種の二次應力は部材の縁邊に於て大なるべき可能性ある一事は、熔接の一大缺點と認めざるを得ない。従つて、熔接構造に在りては、部材の縁邊に於ける收縮二次應力を出來得る限り小ならしむることに留意すべきは勿論、特に、縁邊の氣泡、切り欠きの如き欠點の存在を極力避くることが肝要である。



尙、鉸桁の熔接に於て、困却し能はざる一事項として、突縁と腹枚との熔接を擧げねばならぬ。此の問題は結局 T 形突縁 例へば I 形桁を兩斷せる如き) を使用し、V 熔接によりて腹板を取り付くる方法を可とする。獨逸英國等で使用して居る突縁用特殊鋼板の如きも尙研究の餘地がある。筆者は此の場合に於て、大形の I 形鋼特に幅廣き突縁を有する I 形鋼の製作せられんことを希望する次第である。

IV. 熔接鐵道橋の安全率

上述の如く、熔接に關して尙研究を要すべき事項の渺なからざる現在に於て、本問題に就ての論議は、一見易きに似て、事實容易ならざるべきことは、之を想像するに難くない。或は事、尙早の感なきに非ず。然も、今日の技術的情勢は、筆者をして本問題に關する一應の認識を有すべき必要と責務とを痛感せしめて居る。依つて、緒論に述べたる趣旨に基づき、其推算を試みんとするものである。此の場合橋桁に作用する荷重並に衝擊率等は同等と假定する。許容應力は 主荷重に對して、部材の純斷面引張應力に對して、鉸結橋に於ては $\sigma_a = 12 \text{ kg/mm}^2$ 、熔接橋に於ては、工場熔接 $\sigma_{an} = 8.4 \text{ kg/mm}^2$ 、(現場熔接 7.2 kg/mm^2) と假定し、熔接部の應力に就ては工場熔接の

表-1. 靜力引張強より見たる安全率

種 別	熔 接 橋	鉸 結 橋	備 考
見掛けの安全率	$\frac{\sigma_{DR}}{\sigma_{an}} = \frac{40}{8.4} = 4.76$	$\frac{\sigma_D}{\sigma_a} = \frac{40}{12} = 3.33$	
降伏點に對する見掛けの安全率	$\frac{\sigma_s}{\sigma_{av}} = \frac{20}{8.4} = 2.38$	$\frac{\sigma_s}{\sigma_a} = \frac{24}{12} = 2.00$	
標準安全率 (-0% の公差, 20% の二次應力及熔接に對して潛應力を考慮して求めたるもの)	$\frac{\sigma_{DR}(1-\epsilon)}{\sigma_{an}(1+s+i)}$ $s=20\% \left. \begin{array}{l} i=0 \\ i=50\% \end{array} \right\} \text{の場合 } \frac{40 \times 0.94}{8.4 \times 1.2} = 3.73$ $\frac{40 \times 0.94}{8.4 \times 1.7} = 2.64$ $s=20\% \left. \begin{array}{l} i=50\% \\ i=100\% \end{array} \right\} \text{の場合 } \frac{40 \times 0.94}{8.4 \times 2.2} = 2.04$	$\frac{\sigma_D(1-\epsilon)}{\sigma_a(1+s)}$ $s=20\% \text{ の場合 } \frac{40 \times 0.94}{12 \times 1.2} = 2.61$ <p>又は</p> $\frac{\sigma_D(1-\epsilon)}{\sigma_a(1+s)} \times \frac{0.75 Ag_*}{An}$ <p>に於て $\left \frac{Ag}{An} \right _{\min} = \frac{8}{7}$ と置きたる場合</p> $\frac{40 \times 0.94 \times 0.75 \times 8}{12 \times 1.2 \times 7} = 2.24$	$\epsilon = \text{公差}$ $s = \text{二次應力度の許容應力度に對する割合}$ $i = \text{潛應力度の許容應力度に對する割合}$

* 大形鉸結鉸の有効斷面積は總斷面の 75% 以上ならしむることが困難であると云ふ假定に依るもの (Davis and Woodruff 報告 Proc. of A. S. C. E., May 1939 参照)。

表-2. 引張疲勞強より見たる安全率

種 別	熔 接 橋	鉸 結 橋	備 考
見掛けの安全率	$\frac{\sigma_{DR}}{\sigma_{an}} = \frac{20}{8.4} = 2.38$	$\frac{\sigma_{DR}}{\sigma_a} = \frac{20}{12} = 1.66$	
標準安全率 (靜力強の場合と同一假定に依る)	$\frac{\sigma_{DR}(1-\epsilon)}{\sigma_{an}(1+s+i)}$ $s=20\% \left. \begin{array}{l} i=0 \\ i=50\% \end{array} \right\} \text{の場合 } \frac{20 \times 0.94}{8.4 \times 1.2} = 1.87$ $\frac{20 \times 0.94}{8.4 \times 1.7} = 1.32$ $s=20\% \left. \begin{array}{l} i=50\% \\ i=100\% \end{array} \right\} \text{の場合 } \frac{20 \times 0.94}{8.4 \times 2.2} = 1.03$	$\frac{\sigma'_{DR}}{\sigma_a(1+s)} \left\{ \begin{array}{l} (1-\epsilon) \\ \sigma'_{DR} = 24 \end{array} \right.$ $s=20\% \text{ の場合 } \frac{20 \times 0.94}{12 \times 1.2} = 1.30$ <p>(死荷重應力の比較的小なる場合)</p> $s=20\% \left. \begin{array}{l} i=50\% \\ i=100\% \end{array} \right\} \text{の場合 } \frac{24 \times 0.94}{12 \times 1.2} = 1.57$ <p>(死荷重應力の大なる場合)</p>	ϵ, s, i は靜力強の場合と同一假定に依る

引張應力のみに限定する。尚材料の寸法の公差は一貫して、其の厚に於て $\epsilon=6\%$ (減) とする。尚橋桁用鋼材の引張強を $\sigma_B=40 \text{ kg/mm}^2$, 降伏點を $\sigma_S=24 \text{ kg/mm}^2$, 銲結材の引張疲勞強を $\sigma'_{DR}=20 \text{ kg/mm}^2$, 但し死荷重應力の大なる場合には $\sigma'_{DR}=24 \text{ kg/mm}^2$ とする。次に熔接接手に關しては、前記の事項に依り、其の引張強を $\sigma_{BR}=40 \text{ kg/mm}^2$, 降伏點を $\sigma_{SR}=20 \text{ kg/mm}^2$, 其の引張疲勞強を $\sigma_{DR}=20 \text{ kg/mm}^2$ と假定する。但し、此の場合の疲勞強は應力繰返回數を約 200 萬程度に限定するを適當と認める。然るときは、此れ等の數値に依りて、表-1, 2 の如き安全率が推算せられる。

表-1, 2 の計算値は、種々なる假定下に於ける、推算値に過ぎざれ共、これに依りて少くとも、熔接橋と銲接橋との相對的安全率の一斑を窺ふに足ると考へる。

V. 結 言

本文の假定下に於て、熔接部に大なる缺陷なき熔接橋の引張部材強度より見たる安全率は、銲結橋を對象として次の如く推定することが出来る。(1) 靜力強 に於ては潛應力度が許容應力度の 50% 以下なるときは、銲結橋より大であるが 100% 程度に達する場合には 10%~30% 小となる。(2) 疲勞強 に於ける安全率は、潛應力度が許容應力度の 50% 程度なる場合には實用的に銲結橋と略々同等であるが、100% 程度なる場合には約 30% 小である。これに依りて見るも、潛應力をして出來得る限り小ならしむることは熔接橋の耐久力増大上肝要である。

熔接橋の安全率は固より、其設計並に施工の如何に關係する所極めて大である。従つて本文の所論は單に、之に關する筆者の一考察に過ぎないことを附記し、併せて將來、幾多の資料に依り此の種の調査の達成せられんことを希望して已まざる次第である。

、本文に引用した筆者の試験は主として日本學術振興會の援助に依つたものである。附記して深く感謝の意を表す。