

土木學會第1回年次學術講演會講演

(橋梁及一般構造物之部 No. 13)

熔接に依る鉄道橋の補強に就て

(Reinforcement of Railway Bridges by Electric Arc Welding.)

會員 大 津 寛*

要 旨

本文は國有鉄道に於ける鋼鉄道橋、就中鉸桁橋の改良策及從來實施された補強方法を擧げ、現今多數實施されて居る熔接に依る補強に就て、主として其の設計方法を論じ、併せて施工、工費並に效果の概要を記述したものである。

1. 緒 言

國有鉄道各線に存在する鋼鉄道橋の内には既に 40 年を経たものがあり、鋼材の腐蝕と機關車重量の増大の爲、橋桁の強度が不足し、列車速度の昂上、運輸量の増加等諸計畫の遂行上に支障を來すに至つた。

鐵道省に於ては其の對策として之等の橋桁を現行國有鐵道建設規定に準據し、新橋桁と架替へ或は在來橋桁を補強して、毎年度鋼橋桁の改良を行つて居る。殊に鋼鐵道橋の大部分を占める鉸桁橋に對しては既に大正年代から鉸結式、切斷式、フィンク式、並列式等の補強を實施して改良工費の節約を計つて來たが、昭和初期に至り電弧熔接に依る補強が考案され、毎年度多數の鉸桁橋に之を實施して着々實績を擧げて居る。

茲には國有鐵道に於ける鋼鐵道橋、特に鉸桁橋の熔接に依る補強設計に就て主として論じ、併せて施工、工費並に效果の概要を述べる事とする。

2. 鋼鐵道橋の改良と從來實施されたる補強法

國有鐵道に於ける鋼鐵道橋に關し現在最も緊急を要する問題は既設橋桁鋼材の腐蝕に依る部材断面の減少と機關車重量の増加との爲に橋桁強度に不足を生じて居るものを如何に改良するかと云ふことである。斯く強度不足を招來した主なる原因を探究することは甚だ重要な事項であるが茲には其の要點のみを摘記することとする。

(a) **橋桁鋼材の腐蝕** 多數橋桁の中には鋼材が甚しく腐蝕し其の爲に桁の断面が減少して居るものがある。其の發生及進行の原因又は要素として次の諸項が擧げられる。

- (i) 鋼材の製造法並に材質の良否、
- (ii) 橋桁架設箇所的環境及天候並に湿度の影響
- (iii) 橋桁保守方法の良否

(b) **機關車重量と橋桁設計荷重の変遷** 國有鐵道に於ける機關車重量は當初 1 輛 23 t 位のものが現在では 130 t に達し、橋桁設計荷重も最初は 1 呎當 1 t 位のものが漸次機關車重量の増加に応じて増大し、最大クーパー E-45 に及び、現在では建設規定に依る各線の等級に従つて KS-18, 15, 12 の 3 種を標準設計荷重として居る。

(c) **國有鐵道に於ける鋼橋桁改良方法** 鐵道省に於ては既設橋桁の強度を現行國有鐵道建設規定に準據し、甲線及特別線は KS-18、乙線は KS-15、丙線及簡易線は KS-12、なる 3 種の標準設計荷重に對して定められた安

* 鐵道技手 鐵道省大臣官房研究所勤務 (昭和 12 年 4 月 11 日講演)

全率を保有せしめんが爲、毎年度多數の橋桁を架替へ又は補強に依て改良し、國有鉄道線路の強化を計つて居る。

(d) **従來實施された補強法** 強度不足の鋼橋桁、特に全數の約 82% を占めて居る鈹桁橋の架替に要する改良費の一時的節約を計らんとし、従來各種の補強法が提唱せられ之等は各所に多數實施された。之等の補強法と其の實施概數を列擧すれば次の如くである。

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| (i) 鈹結補強法 (原形加工式) 不詳, | (ii) 切斷補強法 44 連 |
| (iii) フィンク式補強法 480 連, | (iv) 並列式補強法 1400 // |

3. 溶接補強の設計

昭和初年に至り電弧溶接工法は橋梁方面にも應用せられんとする機運に際し、鉄道省に於ては溶接機及電極棒に關する研究、並に鋼鐵道橋への應用に關する研究調査を始め、電弧溶接を橋桁の補強に應用することに着眼し、其の第 1 着手として官房研究所第 4 科に於ては當時の科長工学博士田中豐氏指導の下に溝形補強設計をなし、之を奥羽本線檜山川橋梁 (徑間 40 呎上路鈹桁 2 連) に實施して此の補強法の適応性を調査した結果、鋼鐵道橋特に鈹桁橋の補強に對する確信を得たので、爾來溶接補強は従來の補強法に代り年々続々と實施せられ、昭和 11 年度末までの實施總數は約 850 連に達して居る。

(a) **溶接補強の形式** 溶接補強は在來桁々断面、強度、架設箇所 の地形等の條件に依て次の 3 形式に分類される (圖-1 參照)。

(1) **溝形補強**: 平付補強とも稱し在來桁上下突縁の各上下面に溝形断面の補強材を溶着し、在來桁の突縁断面を増して強度を増大せしめる補強法である。此の補強法は桁下頭空に餘裕のない箇所に適用される。但し上突縁補強材を軌道と桁上突縁との間に挿入する際に軌道を昂上する手數を要する。

(2) **T 形補強**: 下吊補強とも稱し在來桁下突縁の下面に T 形断面を転倒した形で補強材とし溶着する方法で、桁高が約 50% 位増すことになるから強度の増大に資する所大であるが在來桁上突縁の腐蝕の甚しいものには不適當である。又在來桁の下方に充分なる頭空の存することを必要とする。

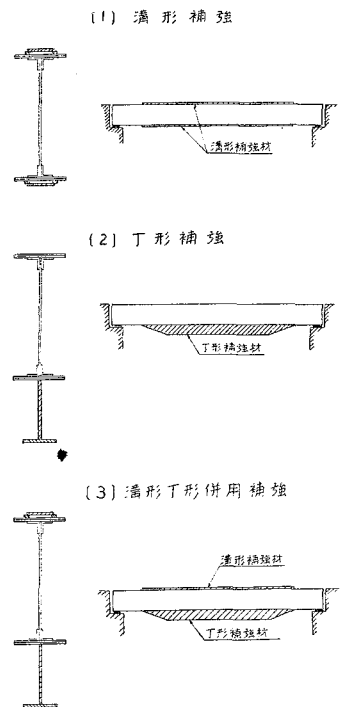
(3) **溝形 T 形併用補強**: 前記 2 形式を併用したもので、在來桁上突縁には溝形断面を、下突縁には T 形断面を溶着する方法である。此の補強法は最も理想的な方法で在來桁の上突縁断面が小さいか、又は腐蝕の甚しい場合には單に T 形断面を附加するより特に有效である。

(b) 設 計

(1) **設計示方書及在來桁の強度**: 設計は現行鋼鐵道橋設計示方書に據り、溶接に關しては官房研究所第 4 科立案になる電弧溶接鋼構造物設計及製作示方書案を基本として居る。

一般に在來桁の強度は桁の中央断面に就て算定するが實際は最大曲げモーメント表圖と桁の抵抗曲げモーメント表圖とを畫き兩者の縦距の最も距つて居る點を以て決定すべきである (圖-2 參照)。故に桁の強度を決定する

圖-1. 溶接補強の形式



點は桁中央、蓋鈹の終端點、即ち桁断面の變化する點、又は桁添接部にある。在來桁の主なる弱點を挙げれば次の如くである。

- (イ) 桁の突縁縁応力及腹鈹の剪応力を超過するもの、
- (ロ) 桁上突縁の腐蝕の甚しきもの、
- (ハ) 各部連結鈹の応力が許容応力を超過するもの、
- (ニ) 横構及對傾構の不完全なるか又は全然設けられて居らないもの、

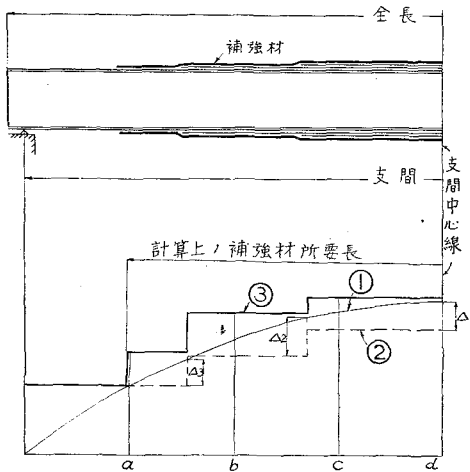
(2) 溝形及 T 形補強の經濟的断面：溝形及 T 形補強の經濟的断面に關しては、熔接補強創始當時の官房研究所技師中原壽一郎氏及現在勤務の技手木村秀敏氏、技手宮崎雪衛氏の共著“電弧熔接構造”に於て既に其の計算法を發表せられて居るから算式其の他は省略し茲には其の概要を述べるに止める。

溝形又は T 形補強の經濟的断面を得るには桁の抗圧並に抗張突縁縁応力を夫々許容応力に等しからしめる條件を、次に抗張突縁縁応力を抗張許容応力に等しからしめる條件を、夫々算式を以て表し、之等 2 條件から補強断面を求めるものである。

(3) 熔接補強桁に於ける曲げ応力の分布：熔接補強は在來桁が死荷重応力を 受けて居る状態で施工しなければならぬから、補強材は死荷重応力は 全然受けないで在來桁と一体となつて活荷重及撃衝の各応力にのみ抵抗する。従つて補強材取付後の桁断面に於ける曲げ応力の分布は次の如くなる(圖-3 参照)。

- (イ) 溝形補強：最大曲げ応力は在來桁の縁維に起るを通例とする。
 - (ロ) T 形補強：最大曲げ応力は在來桁の抗圧縁維及 T 形補強材の抗張縁維に起るを通例とする。但し T 形補強材の高さが在來桁の高さに比して過小なる場合は溝形補強と同様に在來桁の抗張突縁縁維に起る。
- (4) 在來桁突縁と腹鈹との連結鈹の補強：在來桁々端附近の區間に於て、突縁と腹鈹とを連結せる鈹の応力が

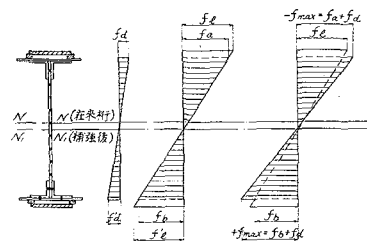
圖-2. 在來桁の強度と強度不足部分



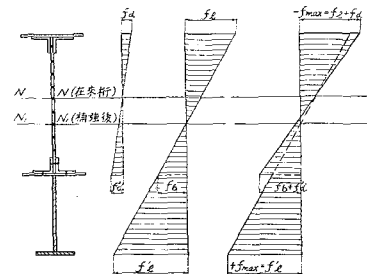
- ①..... 最大曲げモーメント
- ②..... 在來桁の抵抗曲げモーメント
- ③..... 補強桁の
- Δ₁..... 抵抗曲げモーメントの不足量
- Δ₂.....
- Δ₃.....

圖-3. 熔接補強桁に於ける曲げ応力の分布

(1) 溝形補強



(2) T 形補強



f_a, f_a' 死荷重に依る在來桁突縁縁応力
 f_a, f_b 活荷重及撃衝に依る突縁縁応力
 f_b, f_c 活荷重及撃衝に依る補強材縁応力

許容応力を超過せる場合は其の區間の突縁山形の垂直脚の端と腹板とを隅肉溶接に依て適宜補強して鉄に於ける応力の軽減を計つて居る。新に熔着した隅肉は在來桁の鉄と共に活荷重及撃衝に依る応力に抵抗するものと假定して居る(圖-4 参照)。

(5) 補強材の現場溶接々手: 溝形補強の場合、上突縁補強材は圧縮応力のみを受けるから衝合溶接を行ひ之に補強盛を爲し、下突縁補強材は添接鉄を使用して隅肉溶接を行ふか又は挿込接手を採用して居る(圖-5 参照)。

圖-5 は之等の現場溶接々手の數例を示したものである。

(1) は溝形補強材の上突縁衝合接手で、V 接ぎの開先角度は 60° 、端部の削り仕上げの厚さは 1mm 、兩材片の間隙は 2mm を普通として居る。

(2) は溝形補強材の下突縁添接鉄接手で側面隅肉溶接を採用して居る。添接鉄に特に厚い鉄を要して其の材料が容易に得られない場合には図示の如く適宜の厚さの鉄2枚を撰び、之を工場で隅肉溶接に依て豫め一体として置く。

圖-4. 在來桁の突縁と腹板との連結用鉄の補強

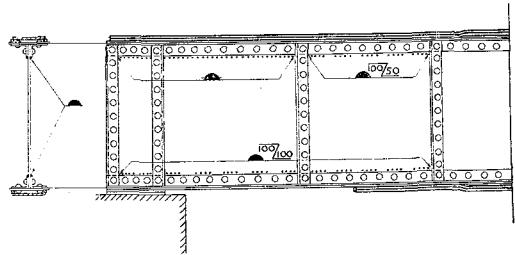
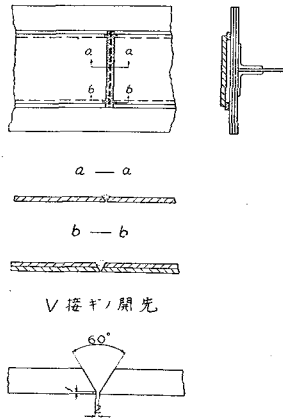
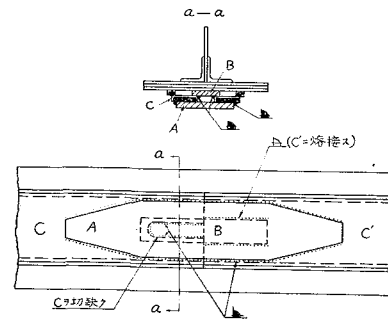


圖-5. 補強材の接手

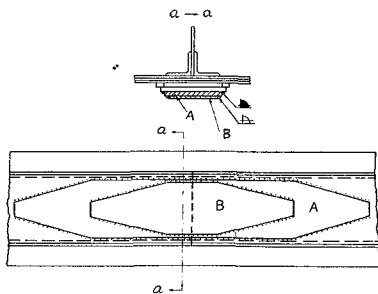
(1) 溝形補強材(上突縁)衝合接手



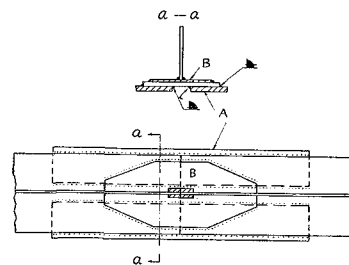
(3) 溝形補強材(下突縁)添接接手



(2) 溝形補強材(下突縁)添接接手



(4) 丁形補強材/添接接手



(3) も添板接手の一方法で、補強板の裏側にも添板板を挿入し、接手の長さを幾分でも短縮せんとする設計である。先づ在來桁蓋板にある鉄頭の間に入るだけの幅と、溝形材の脚の高さと等しい厚さの板 B を一方の補強板 C の裏側に工場隅肉溶接を以て熔着し、板 B は長さの半分だけを補強板 C の端から突出せしめ、他方の補強板 C' には板 B よりも少し狭い幅の切込部を設けてある。現場に於て兩者を合せ、切込部に於て隅肉溶接で連結する。多くの場合に板 B は補強材の全長の約 25% 位は添板出来るから、添板板 A が分擔すべき応力が減少し接手の長さを短縮することが出来る。

(4) は T 形補強材の下突縁接手で、此の場合には溝形補強の接手と異なり添板の構造も自由に出来るのであるから、普通の溶接構造に於ける抗張材の接手を応用したものである。図示の接手は 2 枚の添板板 A を平行に置いて、其の縁を突縁板より僅に外方に突出せしめ、下向溶接を爲し得るやうにしたものである。又板 B は T 形補強材の腹板の添接用に挿入したものである。

(6) 溝形補強断面設計の変遷 (図-6 参照)

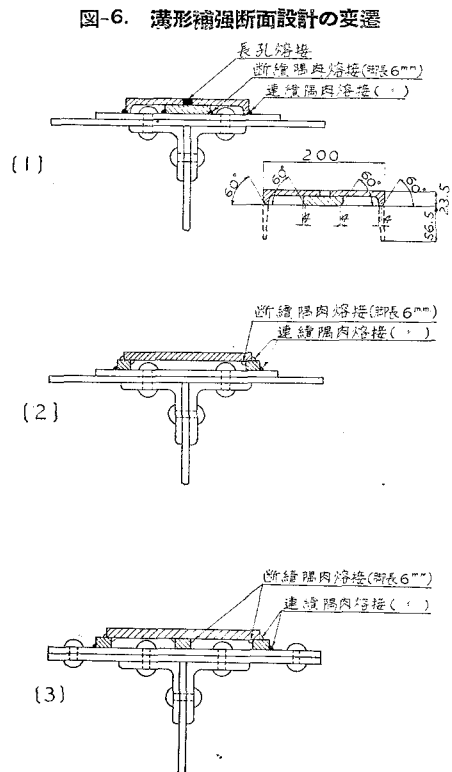
(イ) 溝形鋼と平鋼とを使用せる補強断面： 最初の溝形補強設計である檜山川橋梁の補強断面にては溝形鋼と平鋼を使用した。図-6 中の (1) は之を示すものである。先づ平鋼を在來桁の蓋板に断続隅肉溶接で熔着し、次に溝形鋼の突縁部の先端を切断したものを平鋼の外側に當て、兩脚部は雨水の浸入を防ぐため連続隅肉溶接で在來桁蓋板に熔着した。又平鋼と溝形鋼腹部とは長孔溶接を以て連結した。各部の隅肉溶接は溶接の際の熔込を良好ならしめるため隅肉底部に當る箇所は豫め部材の縁を図示の如く 60° に斜切削成したが、其の後の設計に於ては此の必要がないことが判明したので採用されて居らない。在來桁蓋板の枚數の変る箇所、蓋板の添接箇所に対しては溝形鋼の脚部の切込を加減して居るから補強材の上面には段階を生じない。補強材の長さは上下兩突縁共に在來桁の抵抗曲げモーメントの不足せる部分だけを覆ふて居る。

(ロ) 板と 2 個の平鋼を組合せたる補強断面： 溝形補強断面として溝形鋼を使用する事は次の理由で不都合な點が多い。

1. 溝形鋼は圧延断面の種類が少なく、何れも腹部が比較的薄いから突縁断面として使用する範圍が狭く、在來桁の鉄頭配置寸法は桁の形式断面の大小等に依て相當廣狭の差があるから何れの形式の桁の補強材としても使用出来るやうな断面を得ることは望み難い。

2. 溝形鋼の突縁部の先端を補強材の全長に互つて切り取り之を削り仕上げることは工場に於ける製作上から視ても困難を伴ふ。

斯の如き理由に依て其の後の設計には溝形鋼の代りに板と 2 個の平鋼を組合せて溝形断面を作り、之等の材片は工場に於て隅肉溶接を以て連結することとした。図-6 中の (2) は之を示すものである。此の方法に依れば在來桁蓋板の鉄頭の位置に応じて補強材の幅を自由に撰ぶことが出来るから使用の範圍が著しく擴張せられた。溝形部の内側には断続隅肉溶接を、外側には雨水の浸入を防ぐため連続隅肉溶接を、夫々採用した。



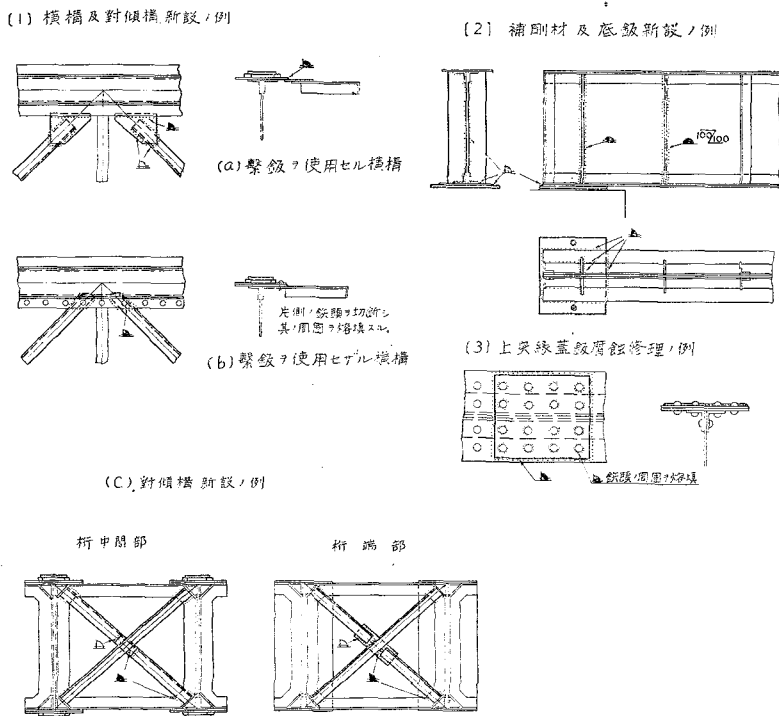
在來桁蓋鈹の枚數の變る箇所、蓋鈹の添接箇所は補強材を之等の點で約 35° の傾斜で曲げて蓋鈹に密着せしめた。又補強材の長さは上突緣蓋鈹の腐蝕の甚しい場合には上突緣補強材のみは桁全長に亘り、下突緣に於ては強度上必要なる長さとした。上突緣蓋鈹に腐蝕の少ない場合には下突緣補強材と同長とした。

(ハ) 鈹と 3 個の平鋼を組合せた断面： 在來桁が上路鈹桁の場合には上突緣補強材は枕木を直接支持して居るから通過車輪の重量を直接受けなければならない。故に溝形断面の 2 脚間の距離が相當廣い場合は補強突緣鈹に對して二次的に惡影響を及ぼすと考へられるので、最近に於ては突緣鈹の中央に更に 1 脚を附加して上記の垂直荷重の影響を輕減せしむる設計とした。此の場合中央の脚と在來桁蓋鈹との熔接は行なつて居らない。補強材の長さは上突緣に於ては在來桁の腐蝕の多少に關せず一般に在來桁全長を覆ふこととした。之は橋桁上の枕木保守の難易及補強後に於ける在來桁上突緣蓋鈹の腐蝕の進行を阻止し、橋桁の耐久力を増す等の點から考へて從來の設計より一層良好であると考へられるので、今後は此の設計が行はれるものと信ずる。圖-6 中の (3) は此の設計を示すものである。

(7) 在來桁各部の補強又は修理： 在來桁各部を調査し、現行設計示方書に規定されて居る條項を缺いて居る箇所は適宜熔接工法に依て新設、補強又は修理を行ふ、其の主なる點を列擧すれば次の如くである (圖-7 参照)。

- (イ) 横構、對傾構の新設又は修理
- (ロ) 桁端及中間補剛材の新設
- (ハ) 桁底鈹の新設又は修理
- (ニ) 蓋鈹、腹鈹、鈹頭等の腐蝕箇所の修理

圖-7. 在來桁各部の補強及修理



4. 熔接補強の施工、工費及效果

(a) 施工

(1) 熔接機： 鐵道省に於ける熔接補強工事は直流電弧熔接に依るを原則として居るから之に使用する熔接機も直流型なることは勿論である。但し工場内の熔接に限り交流熔接を行ふこ

とも認められて居る。現場熔接に際して其の附近に適當なる電源が得られない場合には鐵道省所有の可搬型ガソリン機關付直流電弧熔接機(25 H. P. 5 K. W.) を貸與するを原則として居る。

(2) 熔接手： 熔接の良否は之に従事する熔接手の技倆及性格に關係する處甚大であるから、其の選擇は慎重に行ふ必要がある。殊に現今實施されて居る熔接補強工事の如き野外作業を主とするものにあつては、熔接手の技倆

の優秀なることを要求するは勿論であるが、同時に眞面目な性格の人たることを特に必要とする。

鉄道省に於ては熔接手検定試験委員が毎年度検定試験を行ひ、之に合格したものに對しては 1 ヶ年間に限り鉄道省橋桁改良工事に於ける熔接作業に従事し得ることを工務局長が認定を與へて居る。毎年度検定試験に合格せる熔接手の數及其の所屬會社數を列擧すれば表-1 に示す如くである。

(3) 電極棒： 熔接に使用する電極棒の種類及性能に關しては毎年度熔接手検定の際其の所屬會社毎に各年度中に使用すべき電極棒を以て製作したる熔着鋼に依り、鉄道省に於て強度試験を行つた上、其の採否を決定して居る。認定された電極棒の大部分は國産の塗布棒であつて、之等の熔着鋼の抗張強は大体 38~50 kg/mm²、延伸率は 16~30% である。

(4) 補強部材の製作、現場取付、並に現場熔接作業： 補強部材は製作工場に於て各種の工作及工場熔接部分を完了した後、之を工事現場まで運搬する。補強部材を在來桁に取付けるには、其の現場の地勢にも依るが、溝形補強に於て上突縁補強材は在來桁外方に假設した腕材上に置き、列車の間合を撰んで軌道を扛上して枕木と在來桁との間に挿入する。下突縁補強材は多くの場合吊足場等を使用し在來桁下突縁に取付ける。T 形補強の場合も同様の方法に依て補強材を在來桁下突縁に取付ける。

熔接作業は先づ補強材の假付熔接を行ひ、次に上突縁補強材の衝合熔接々手を完成した後、在來桁と補強材との熔接を行ふ。熔接作業中最も考慮を要することは其の順序であるから、熔接手は現場監督者の指示に従ひ、熔接熱に依る潜在応力並に歪の發生の防止に關し周到なる注意を要する。

(b) 工費 熔接補強工費は諸般の條件に依て一様ではない。其の主なる條件を列擧すれば次の如くである。

- (1) 在來桁の架設箇所の地形
- (2) 在來桁鋼材の腐蝕及強度不足の程度
- (3) 同一箇所にて補強を實施すべき橋桁數の多少
- (4) 現場に於ける電力線引込方法の有無及難易
- (5) 補強材製作工場と現場との距離
- (6) 工事着手の時期並に現場の天候
- (7) 現場通過列車の回數及間隔
- (8) 熔接補強設計に於ける熔接延長の多少

次に熔接補強工費に就ては該工事が現在各所に於て實施中であるから之を具体的に擧げることが出来ないが、過去 6 ヶ年間に鉄道省に於て實施したものより推算して、大体に於て熔接補強工費は新桁と架替への場合の工費の約 25~35% であると謂はれて居る。

(c) 効果 熔接補強の效果に就ては未だ調査中に屬するので之を數字的に發表されては居らないが、昭和 6 年に檜山川橋梁に之を實施して以來、過去 6 ヶ年間に於て熔接に依て補強された鈹桁橋の數は既に 800 連を超過して居る現状から視て、熔接補強創始以來採用せる設計方法を以てすれば必ず所期の目的を達して居るものと思考する。

因に國有鐵道に於て實施せる熔接補強鈹桁の連數は表-2 に示す如くである。

表-1. 鉄道省熔接手
検定試験合格者數
(工務局調)

年 度	熔 接 手
昭和 7 年	39
8	30
9	46
10	88
11	173

表-2. 國有鐵道に於
て實施せる 熔接補強
鈹桁 (工務局調)

年 度	連 數
昭和 6 年	2
7	50
8	118
9	156
10	286
11	240
計	852