

5. 結 言

以上述べたボイラーに使用される溶接は主として手溶接に依るものを概略説明したのであるが、最近溶接の自動溶接化が行はれていて、米国等では Drum に対しては殆んど自動溶接が用いられているが、我国に於ては未だ実施されていない。

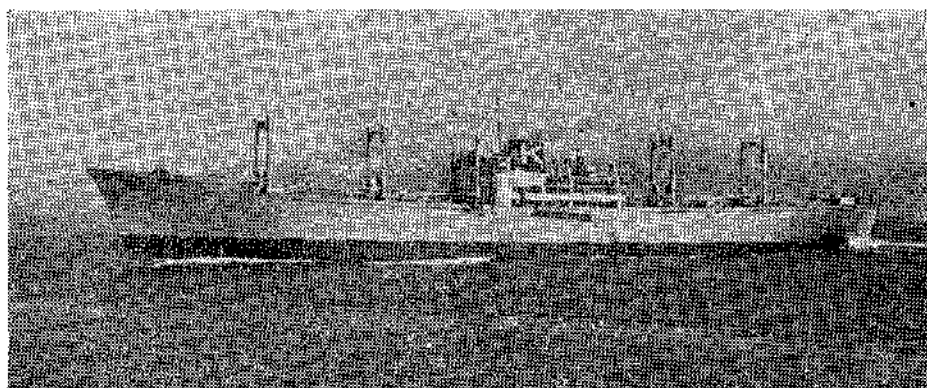
今後この方面の研究を速かに完成して一日も早く自動溶接を実施し、工期の短縮に努力しボイラー製作の

Speed 化を計らねばならない。

特に板厚が厚くなり 100 耗を越すのも間近い事であると思はれる。我国に於ても既に材料方面に於いては Cr 2.25% Mo 1% の Cr-Mo 鋼の試作も完成していると聞かし、最近計画されている Boiler plant の温度 510°C、圧力 90kg/cm² が完成される頃には更らに溶接技術も斯くの如き意味に於て一段と進歩されねばならないと確信する次第である。

造船における溶接の應用

川崎重工業 K.K. 造船工作部 第 2 船殻課 長 吉 田 俊 夫
(井川助教授紹介)



第 1 図

神 川 丸 (川 崎 汽 船)

昭和26年10月31日 川崎重工業 K.K. にて竣工

総噸数 6,965T 載貨重量 10,853K.T 速 力 最大 19.5kn

溶接使用率： 85%

1. 緒 言

溶接は約20年前船体の余り応力の掛らぬ部分に使用されて来た。其後10年間に急速に進歩して、1940年初より全溶接船が大量に建造されて来た。

溶接を船の建造に応用するに当つて第一に船体への適用であり、第二には機製品への適用である。兩者共に溶接の重要性は極めて大であるが、量的には何と云つても船体への溶接が絶体的に大なる割合を占めているので、以下主として船体に対する溶接を述べて見よう。

戦前我国は造船国として、自他共に其の技術の優秀性を世界に誇つていた。然るに戦時中約10年間の「ブランク」の時代を経て戦後世界の造船界の様相が吾々の眼前に開かれた時、吾々は彼等の造船技術の進歩に先ず驚き

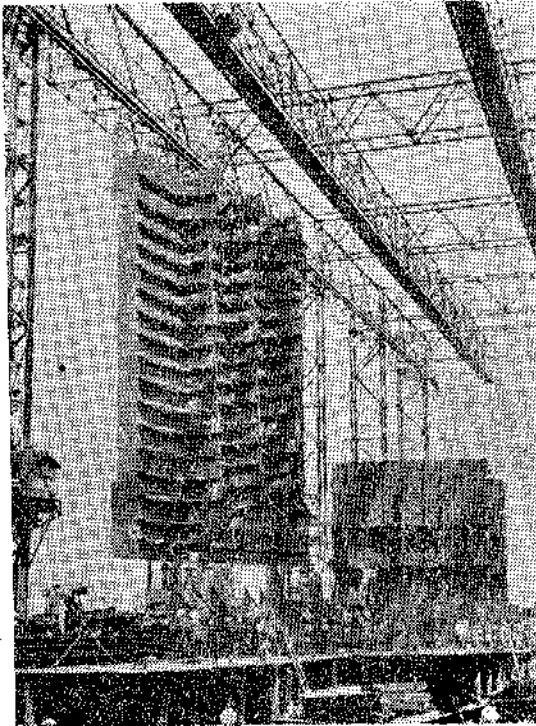
の目を見張つたのである。之を出来上つた船について云えば

1. 驚くべき溶接技術の発達
2. 劃期的な船体構造の採用
3. 廣範圍に渉る輕合金の採用

であり、建造過程を主とする造船所の工作技術の点より云えば、

1. 溶接をあらゆる部材結合に利用
2. 瓦斯切断を加工技術に全面的に導入
3. 強力なる運搬設備の設置
4. 1, 2, 3 項の採用により従来最も困難とされていた、造船工作の科学的管理を実現して質的に量的に又其の經濟性に於て従來の方式を全く一変した

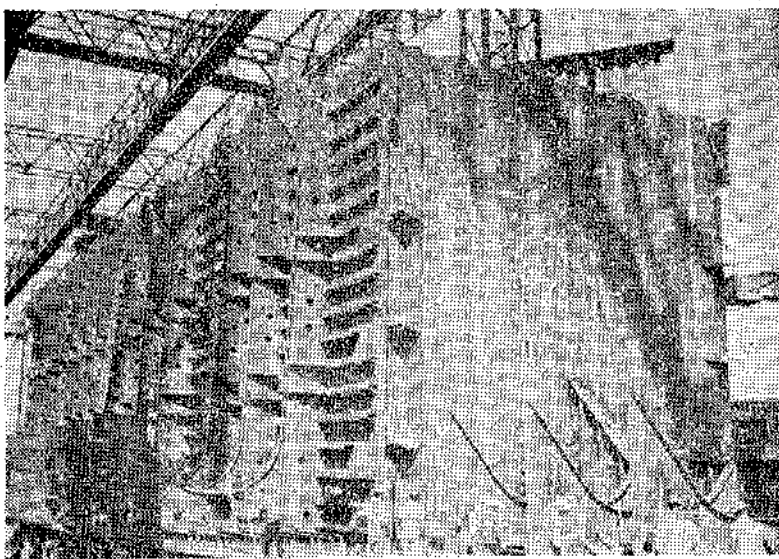
等である。



第 2 図

川崎重工業K.K.にて建造中の溶接率 93%の
28,000T. DW「タンカ」35T 縦隔壁溶接「ブ
ロック」を搭載中

我が国に於ける今日の造船法は二三年前に比べて既に隔世の感がある。戦後世界の標準に迫りたく必死の努力の結果色々の面で驚くべき進歩飛躍を遂げた。其の進歩



第 3 図

川崎重工業K.K.にて建造中の 28,000T DW「タンカー」
「タンク」構造は完全な溶接構造となつている。又「タンク・クリ
ーニング」の爲に極めて「クリーヤ」な構造となつている。

飛躍した種々の原因の中最も大きな役割を演じているのが、溶接であると云つても過言でなからう。

2. 溶接の経済性

船の経済性に関しては、船主の側より又造船所の側より見る二つの見方がある。溶接は両者に対して極めて大なる利点を興えている。先ず船主の側より云えば溶接は船を非常に軽くし信頼性ある tightness 又特に油槽船に対する tank cleaning の容易さと云う利点を興えている。

即ち船が軽くなる事は載貨重量、速力を基準にして考えれば船型を小さくし機関容量を小にして船価を削減すると同時に燃料の節約により運航費を低下する。又船価及び運航費を基準に考えれば、船型を大にし載貨量を大にする事が出来る。tightness の確実なる事は載貨を保護すると共に船の安全を増大し、tank cleaning は船の操作を容易にする、等 initial cost 及び運航上操作上極めて大なる利点を船主に興えている。又造船所側より云えば、溶接による鋼材の節減及び、構造、工作法の簡易化による工数の節減である。

我が国に於ては船価の約70%が材料費で其の約30%即ち約船価の約20%が船体用鋼材で占めている。此の割合は

第 1 表

| 溶接使用率 (All rivet) | % | 20% | 80% | 100% (All weld) |
|-------------------|---|------|-------|-----------------|
| 鋼材節約率 | % | 2.8% | 11.7% | 18.6% |

(川崎重工造船設計 龜谷氏計算に依る)

船一隻全体の総工費に相当するものである。溶接の船体への使用率に依つて鋼材節減が如何になされるかを一例として、18,000 DWT tanker について述べれば第1表の如くなる。

今仮りに 18,000 T tanker について溶接使用率 0%即ち all rivet の場合の船殻重量を 5,700 T とすれば 100% weld の場合約 1,000 T の重量節約となる。

第二の船体構造及び工作法を簡易にした点は、造船法を近代化した所謂合理化への道を開いた基をなしたものである。

従来造船は科学的管理の最も困難なものの一つであつたが、今日工程的に材料的に品質的に極めて科学的に管理せられ所謂 Production Control の軌道に乗つて進みつつある現状である。

斯様に熔接の船体への応用が船主にも造船所にも経済性に於て極めて有利である事が熔接の重要性を益々大ならしめている。

3. 熔 接 棒

熔接法を手熔接 (Manual Weld) と自動熔接 (Automatic Weld) に大別する事が出来る。

熔接船が多数建造されるにつれて船級協会に於ても、熔接に対する技術的規程を作製する必要に迫られ、「ロイド」船級協会は1949年 Tanker Rule を制定し1951年には各構造詳細に涉り熔接方法の規定を行つている。又日本海事協会は1950年 AB Rule にならい全面的に熔接規定の変更を行つている。

又手熔接棒及び自動熔接用芯線並びに flux に関しては各船級協会共個々の銘柄に対する承認形式をとり熔接工の技術に対しては「ロイド」は工場承認、ABは各個人の技術検定の形式をとつて、熔接の確実性を保証している。各国に於て主として使用される手熔接棒の形式を大別すれば、第2表の如くである。

最近の傾向としては Deep Penetration Method によ

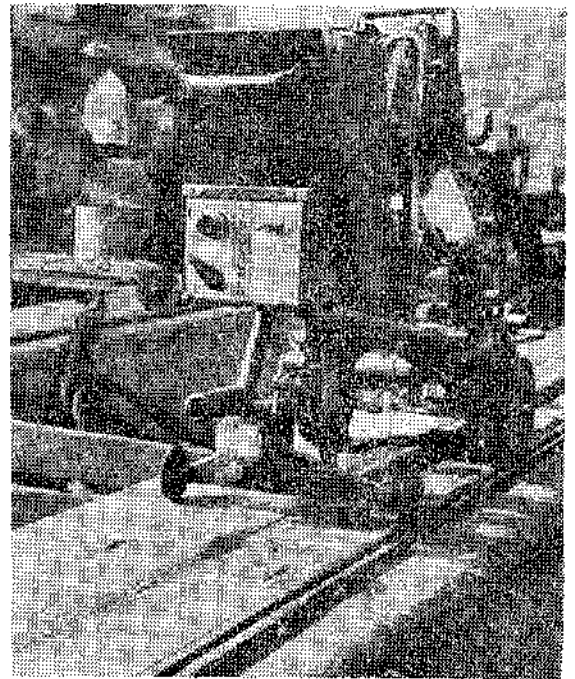
第 2 表

| | 熔接棒 Type | 使用率 | 記 |
|-----|-----------|-------|---|
| 米 國 | E 6010 | 約 60% | High cellulose type High iron oxide type |
| | E 6020 其他 | " 40% | |
| 欧 州 | E 6010 | 約 20% | |
| | E 6020 其他 | " 80% | |
| 日 本 | JIS D4311 | 約 5% | High cellulose type Ilmenite type |
| | JIS D4300 | " 95% | |

る熔接の能率化が叫ばれている。之は E6020 Type の棒に依り大径棒、大電流を採用して熔接能率の向上を計るものである。

第 3 表

| 条 件 | 1/4" Plate の Fillet Weld Electrode E6020 1/4" φ Rod | |
|----------|--|-------------------------|
| | Ordinary method | Deep penetration method |
| Speed | 5in/min | 12in/min |
| Cost | 100% | 42% |
| Strength | 100% | 125% |



第 4 図

油槽船波型横隔壁を熔接中の Lincoln Weld LAF-2 型自動熔接機

旧来の方法と一例を挙げ比較すれば第3表の通り

4. 自動熔接

自動熔接法の種類を

Submerged Arc Welding

Visible Arc Welding

の二つに大別する事が出来る。

米國に於ては Submerged Method 英國及び歐洲に於ては主として Visible

Method が廣く用いられている。

1927年米國 Sun Ship Building Co. にて油槽船の建造に用いられたのが自動熔接の船体への適用の最初である。

其後米國に於ては戦時中標準船である T-2 Tanker, Liberty Type 及び Victory Type の船の建造に全面的に実用され急速の進歩を遂げた。

我が國に於ては第二次大戦初期の頃より三菱長崎造船所に於て佐々木新太郎氏等に依り研究せられてきたが、船体への実用には至らず終戦後主として米國より機械を購入し1950年末頃より実用化されるに至つた。主要なる自動熔接機と其の製造所を挙げれば第4表の通りである。

第 4 表

| | 機 械 名 | 製 造 所 | 國 名 |
|---------------------------------------|-----------|----------------------------|-----|
| サブ マ ー ゼ ド ア ー ク | ユニオンメルト | リンデエアープロダクト社 | 米 |
| | リンコルンウエルド | リンコルンエレクトリック社 | 米 |
| | ウエルドマチック | ウエスチングハウス社 | 米 |
| | トランシフロー | エール リキッド社 | 佛 |
| | エリラ | リンデアイス マシーネン社 | 独 |
| ビ ヂ ウ エ ル デ イ ク | フューズ アーク | フューズ アーク社 | 英 |
| | ラコー | レエイド アベリー社 | 米 |
| | ユニ | ブラウンボベリー社 | 瑞 西 |
| | アセアスベツト | アクティボラグット アセアスベツ ツマスキー社 | 瑞 典 |

自動溶接の利点は、大なる溶接速度と溶接棒並に flux が手溶接に比して僅少である点より、極めて経済的である事である。之を一例を以つて示せば第5表の通りである。

第 5 表

| | 板 厚 | 手 溶 接 (衡合せ) | 自動溶接 (Lincoln type) (衡合せ) |
|--------------------------|--------|-------------|------------------------------|
| MAX speed (M/H) | 10 M/M | 2.7 | 24 |
| | 20 M/M | 0.8 | 14 |
| | 25 M/M | 0.6 | 10 |
| Practical speed (M/H) | 10 M/M | 1.4 | 7.2 |
| | 20 M/M | 0.57 | 4.2 |
| | 25 M/M | 0.42 | 3.0 |
| Cost (%) | 10 M/M | 100% | 48% |
| | 20 M/M | 244 | 100 |
| | 25 M/M | 355 | 172 |

- 註 1. Speed M/H は1時間当り表裏の完成溶接長を示す
 2. Cost=芯線+flux+電力費+工費
 3. 自動溶接に対する practical speed は arc time 約 30%
 4. 本表は川崎重工業KKに於ける最近1年間の資料による。

第5表に見る如く自動溶接は手溶接に比し経済性に於て優れたものであるが、其の溶接に当つて蒸気、銹、開先状況に対して鋭敏で且つ平担なる下向溶接に限られているので船体の何れの場所にも使用する事は許されない。米國に於ても自動溶接長の全溶接長に対する割合はせいぜい20%と云われている。

我が國に於ては1950年米國より機械を購入と同時に其

の実用化への研究に邁進して来たのであるが、此所に極めて重大な困難が現れた。之は我が國の鋼材が sulphur banded steel であつた為に熔着金属中に sulphur crack が多量に現れた事である。

自動溶接法の研究は sulphur banded steel に適する溶接法の研究となり、更に進んで鋼材の改良(之は後述 notch toughnessの問題より更にきつく要求された)に迄

立至つた。

前者の sulphur banded steel に適する熔接法に関しては1951年日本の鋼材を米国 Linde 社の Niagara Falls 研究所に送附して研究を依頼した。其後同研究所より日本の sulphur banded steel に最も適當なる方法として Unionmelt Grade 50 FluxとOxweld No. 43 Rod 或は No. 36 Rod の combination を挙げ AB Surveyor 立会の下に熔接試験を行つた結果は極めて良好な成績であり之を以て日本の sulphur banded steel に対して自動熔接を適用する事に何等支障は無い旨の報告に接した。

然しこの Unionmelt Grade No. 50 Flux は作業性に於て極めてデリケートな性質をもち尙 sulphur crack に対して 100%の安全性を有しない事が解つたので今尙日本に於ては自動熔接の船体への適用は一般的に云つて 1"以下の板厚にして船体中央部 1/2 length の strength part 以外の部分に対してのみ許されている現状である。

然しこの sulphur crack は硫黄含有量0.035%以下、Mn/C が 2.5 以上の鋼材に対しては殆ど起らない事が

証明されている(川崎重工業実験資料による)ので最近鋼材の改善の現情に鑑み此の問題は近く解決の運びに至る事である。

5. 熔接検査法

熔接は外觀検査のみでは其の内部の状態を知る事は不可能である。熔接部内部の探索によつて初めて検査が可能である。今日造船所に於て主として用いられている検査法を挙げれば下記の通りである。

破壊試験法—Trepaning Test

a. Weld Prober (The Fibre-Metal Products Co.)
によるもの

b. Trepaning Drill (川崎式によるもの)
非破壊試験

a. Portable X-ray 試験

b. γ-ray 試験

c. Super Sonic Test



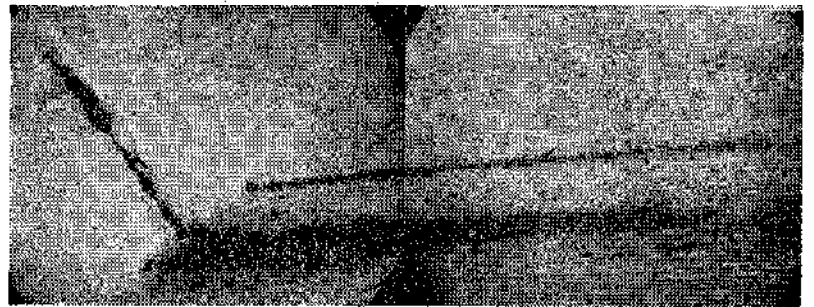
「サルファープリント」



肉眼腐蝕写真

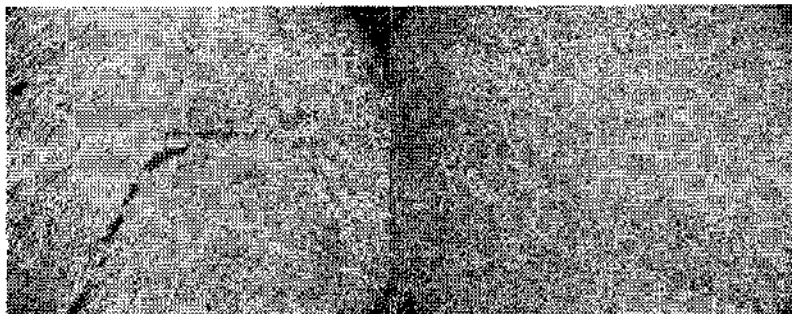
第 5 図

手熔接接手に現れた「サルファークラック」



上図 顕微鏡写真(×40)

鋼板の「サルファーブンド」より熔着金属中に「サルファークラック」が発展している。



上図 顕微鏡写真(×40)

鋼板の「サルファーブンド」より熔着金属の明瞭な「デンドライド」組織中に「サルファークラック」が発展している。



「サルファープリント」



肉眼腐蝕写真

第 6 図

自動熔接接手に現れた「サルファークラック」

上記何れを見ても全熔接長に涉つて実施する事は困難で所謂 Pick Up Test である為に熔接施工に当つては良質の鋼材と熔接棒を使用し堅実な工作法の確立と信頼性

のある熔接工によつて細心の注意を以て熔接の実施に当る事が第一である。

6. 熔接船損傷の問題

第 6 表

| | |
|-----------------|-------|
| 建造総数 | 4694隻 |
| 損傷船数 | 970隻 |
| 損傷総数 | 1442件 |
| 破断総数 | 4720件 |
| 沈没船総数 | 8隻 |
| 真二つに折れたが救助されたもの | 4隻 |

第二次大戦中米国は第6表に示す様に約数4694隻の戦時急造船を建造した。之は殆ど 100%に近い或は 100%

の熔接船であつたが、其中 970隻が損傷を起し、12隻は真二つに折れ8隻は沈没した。其の代表的な破損例として T-2 Tanker の S, S, Schenectady 号の事件を挙げると之は1943年1月15日何等の訪来なく1哩先に関える大音響と共に真二つに船体が割れた。

其後頻発する事故に驚いた米国では朝野を挙げて其の原因探究に従事し特に大統領の命令で海軍長官を頭として、あらゆる関係大学研究所造船所を動員して、船体構造委員会を組織し調査研究を進めた。

之は二つの部門に分れており一つは船体構造に関するものであり、他の一つは船体用鋼材に関するものである。前者に関しては第7表に見る如く熔接工作法の研究と

第 7 表

| | |
|------|---|
| 1944 | A. B. S. "Supervision of Welding in Ship Building" |
| 1944 | U. S. A Navy "Typical Welding Sequence for DE and Similar Vessels" |
| 1945 | 英 Admiralty 委員会 Application of Electric Arc Welding to Ship Construction" |
| 1946 | 米國船体構造委員会 "The Design and Methods of Construction of Welded Steel Merchant Vessels" |

なつて、関係機関より多数研究並に工作法に対する指示として発表され1946年に中間的に米國構造委員会より報告書が提出されている。其の後船体の各部を実物大の試験片として作り各種の実験が行はれている。

第7表の各資料は熔接船の設計並に工作に当る技術者にとつて座右の銘として参考にしてきた貴重なる資料である。

後者の鋼材に関するものでは主として鋼材の notch toughness が取り上げられ、之に関しては最近の最も新しい造船学上の問題として多数の研究資料が提出されている。

notch toughness を悪化する原因としては

- ①低温 ②切欠 ③残留応力 ④熔接 ⑤高速度荷

重 ⑥大なる板厚板厚 ⑦Prestrain ⑧交番荷重 ⑨鋼材中に含まれる Mn/C の小なる事等が挙げられている。

各船級協会に於ても notch toughness に対する見解として船体用鋼材の改善要求を発表した。ロイド船級協会は 1949Circular 及び 1951年Lloyd Rule の Clause p403 に詳しく述べ、

- 1/2" 以下の鋼板に対しては S 及 P 0.06%以下
- 1/2"~1" の鋼板に対しては { S 及 P 0.06%以下
Mn/C >2.5

1" 以上の鋼板に対しては 特別の承認を要する要求をなしている。

又 A. B. S. では 第8表の要求をなしている。

第 8 表

| | P | S | C | Mn | Si |
|------------------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| Class A (1/2"以下) | 0.04%以下 | 0.05%以下 | — | — | — |
| Class B (1/2~1") | 0.04 " | 0.05 " | 0.23%以下 | 0.6~0.9% | — |
| Class C (1"以上) | 0.04 " | 0.05 " | 0.25 " | 0.6~0.9" | 0.15~0.3% |

従来の船の鉸鎖結合を其の儘熔接に代へる事は極めて危険である事が上記の研究の結論として判明した。即ち

熔接は鉸鎖船に起らなかつた諸種の問題を投げ與えた。将来共熔接造船上の最大の研究課題として残つて行く

である。

7. 結 言

従来造船所と云えば "百雷の如き鉸鉄の響" と形容されていたが、最早や鉸鉄の時代は過ぎ去つた。

然し rivet ship より一躍して all weld ship に発

展した時 Welding は痛烈に出身を押しかれた。即ち 6 項に述べた諸種の問題のために後退を余儀なくされたのである。現在世界の共通な造船の傾向は最小限の鉸鉄を熔接構造に combine して熔接に依る欠陥を補つている。100% welded ship より稍々後退して 90~95% welded と云うのが今日の現状である。

熔 接 橋 と 鉸 接 橋 の 比 較

日本橋梁 K K 研究所長代理 久 末 達 雄
(渡 辺 教 授 紹 介)

最近の熔接技術の進歩はあらゆる工業に影響を及ぼしての製造形態を変化せしめておる。此の力は橋梁製作にも大きな迫力を以つてせまつて来ている。従来橋梁工業は新しい研究を取入れることの遅い業種で、従来慣習をそのまま踏襲して来たものである。然るに此の目醒しい熔接技術の進歩は橋梁製作に一大転換をもたらそうとしている。

我國の熔接橋の現状は未だ微々たるものであるが次第にその数を増して来ており、担当者にも熔接に対する関心が高まつて来ている事は明らかである。戦前に架設された熔接橋は 8 橋あり戦後では製作中のものを併せて 12 橋、合計 20 橋の熔接橋が日本に有る。現在新設の橋にしても鉸接橋が大きな割合を占めている。而し前にも述べた様に熔接橋の方向に向いつゝあることは確かである。

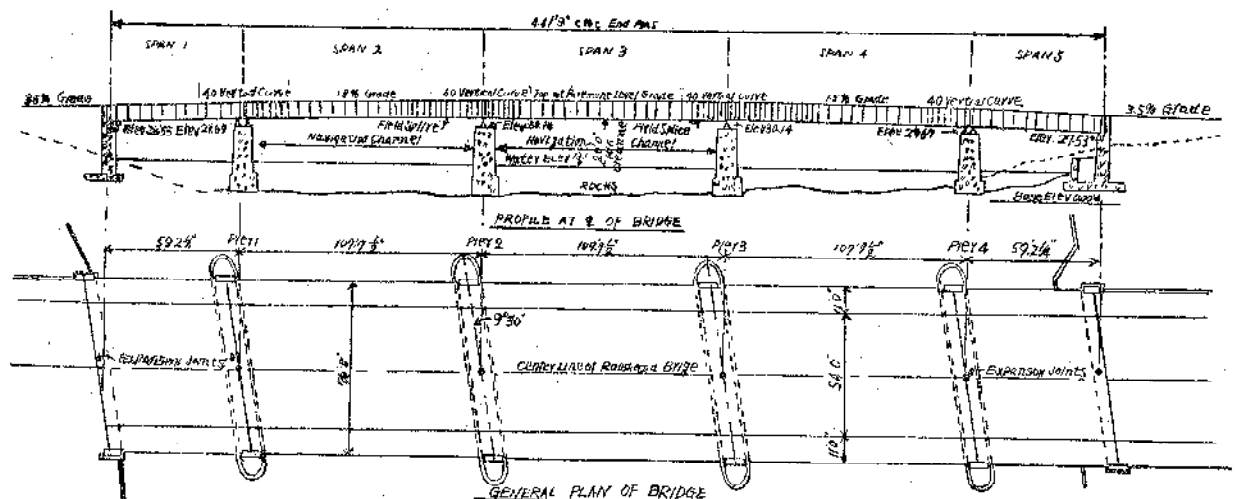
熔接が鉸接より優れていると云うても總ての型式の橋には適用出来ないで、今の現状では鉸接橋に於てその優秀性が発揮出来るので他の型式ではその構造其物を変

えて熔接に適する形態にもつて来ねばならぬと考へる。鉸接橋に就いて熔接の勝る点を実例によつて述べてみよう。

巾 76' 長さ 444' の鉸構造上路鉸桁道路橋を熔接構造に設計し直したもので Fig 1 (略) にその橋を示す。Fig 2 は上部構造として必要条件を示す。

此等の条件をそなへ且つ周囲の美観を害しない構造にするため新設の橋は車道 54'-0" 歩道 11'-0" 5 径間上路鉸桁として設計した。中央の 3 径間は桁高を低くするために連続桁とした。橋脚の中心線で 9°-30' の斜角をもつ。約 5'-1 1/2" 間隔に床桁を置き、13'-11" ごとに 5 ケの縦桁を配置し歩道は bracket を用いる。4 個の橋脚を設け 5 span とし、両岸は約 60'-0" 他の 3 span は 107'-7 1/2" とした。両端の短い span に架る桁は単桁として設計した。

かくして先ず最初に鉸構造で設計した。この設計に要した図面は見積図面だけで 24" x 36" 角で 16 枚、製作図



第 2 図