

トラス橋腐蝕部材の取り換えについて

神戸大土木 桜井 季男 ①

神戸市水道局 田中 光雄 ②

I は し が き

神戸市の千叡導水トンネルが武庫川上流を横断するところの専絡大小2鋼管を通すために、図一1に示すようなトラス橋が架っている所がある。これの左側トラス下弦材のところどころの腐蝕が近年特に著しくなり、このまま放置するのは危険に思われるような状態になったので、現状から判断して、部材から腐蝕部分を切り取り、ここに新材材をはめ込んでアーク溶接で取り付ける補修工事を4月3日から3日間にわたって行ったので報告する。

II 腐蝕状況とその原因

本橋は大正4年に架設されたもので、40余年の歳月を経過しているが、山間地に架っているためと、戦争・終戦などが禍して、昭和5・10・24年の3回塗装替えを行ったのみで、維持方法の不完全ということも考えられるが、腐蝕カ所が図一2に示すように、トラス橋の縦横中心軸に関して対称的な4カ所の下弦材に生じ、補強用添接板及び横構連結用ガセットとの連結端部が腐蝕最も著しく、いずれもトラスとしての対称的同質鋼材に限られており、その他の部材及びガセットの鋼材には未だ殆んど大きな腐蝕は認められない。しかもその腐蝕の著しい部材には昭和24年に添接板を当ててリベット打で補強してあるところがある。かような見地から、その鋼材だけが他部材の鋼材と異なった材質のもので、特に腐蝕に対して弱かったものと考えられる。

腐蝕した下弦材は2-Ls 90×90×10よりなり、垂直脚部よりも水平脚の下面部の腐蝕が大きく、最も著しい所では、水平脚部が完

写一1 下弦材山形鋼の水平脚部が完全に腐蝕したところ

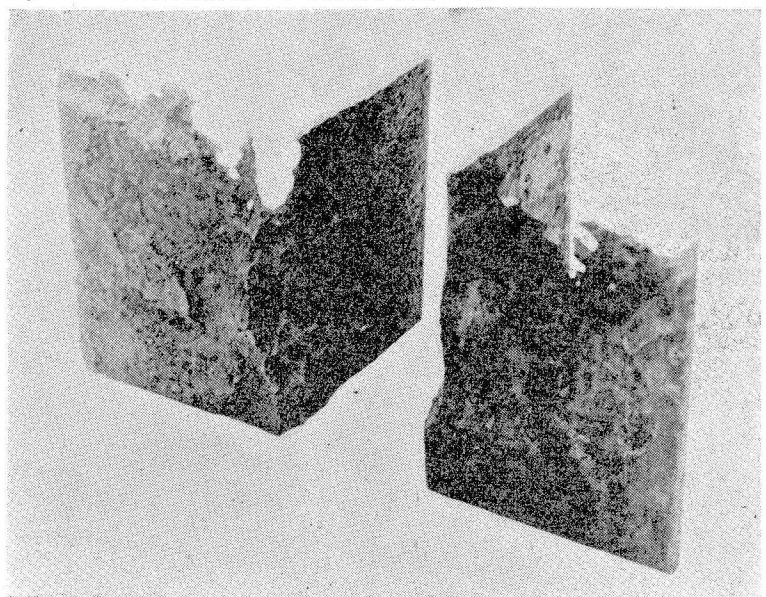


図-1 トラス橋一般図

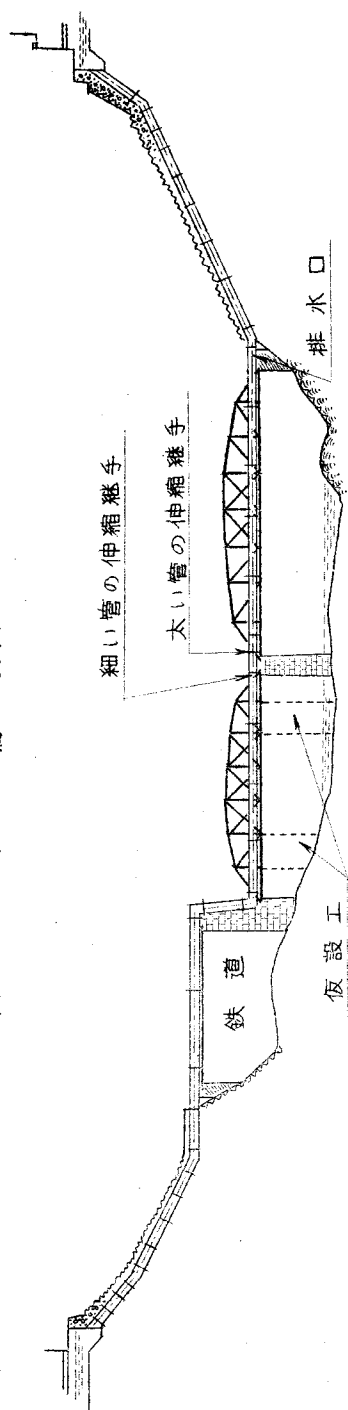
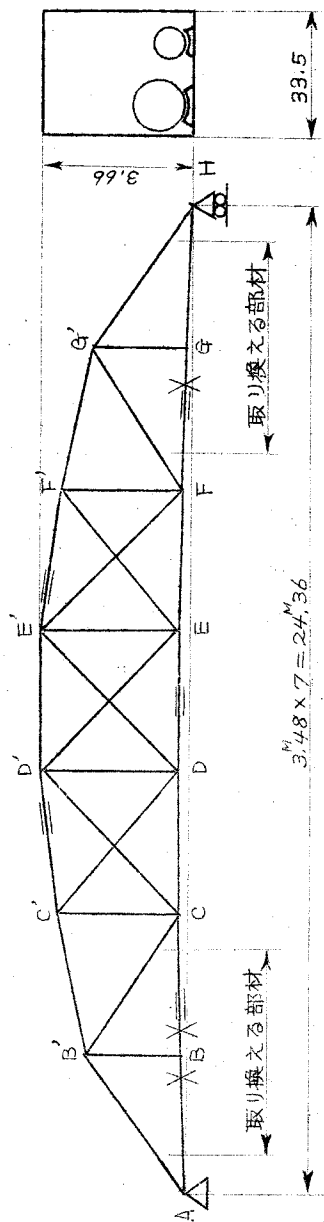


図-2 トラス骨組図



全に腐蝕して下から見上げるとその間から空が見透せる状況であって、(写-1)，垂直脚部の大部分のみが有効断面積となり，腐蝕による引張下弦材の有効断面積の減少率が50%以上に達していることは明らかである。それにもかかわらず，降伏現象が起らないのは，鋼管自体の剛性などの影響によるものと考えられる。

上述の如く，4カ所だけが局部的に著しく腐蝕しているのみであって，その他の部材はなお十分使用に堪えうる状態であり，かつ幸にも支承部が殆んど腐蝕していないので，経済性から，局所的補修工法を採用したのである。

Ⅲ 予 備 試 験

工事に先だって，鋼管内部の水の排除にもとずく橋の格点タワミを測定した。その測定結果から，それぞれの鋼管中央部のタワミ（大管5.6mm，小管4.9mm）を求め，更に鋼管にこれだけのタワミを与える荷重を，一端固定，他端単純支持のハリと考えて計算した。また，実測管径から，止まりきらない漏水や配管勾配などを考慮して，排除した純水量を求め，前記の鋼管自体で受持つ荷重とともに差引いた残りを等分布荷重とみなして，トラス下弦格点のタワミを計算すれば表-1のようになって，実測タワミと大差なく，計算上の仮定が大きく間違っていないと

表 - 1

水荷重によるタワミの比較表

格 点		A	B	C	D	E	F	G	H
上 流 側	測 定 値	0		4.93	5.71	5.85	4.85		0
	計 算 値	0	3.0	4.7	5.6	5.6	4.7	3.0	0
下 流 側	測 定 値	0		3.41	4.29	4.51	3.70		0
	計 算 値	0	2.4	3.7	4.4	4.4	3.7		0

単位はMM.

とを示している。しかし図-1から分るようにトラス上の鋼管は一端に伸縮継手があり，他端は曲上して固定しているから，鋼管荷重の載荷状況が厳密には対称でなく，実測タワミと計算タワミとは多少の差異があるので，これらの点を重合の原理などから，できるだけ補正して，水荷重が鋼管とトラスとで受持たれる割合の平均値を定めることができる。(表-2)，上述の諸関係

表 - 2

管内水荷重が受持たれる平均の比

荷 重 の 種 類	トラス	鋼 管
D = 1137MMの溶接鋼管	0.50	0.50
D=711MMのリベット鋼管	0.78	0.22

を用いて鋼管及びトラスなどから、トラスに作用する格点死荷重を算出することができ、これらを取り除いた場合、すなわち重力の存在しない仮想の場合のトラス格点位置を計算することができる。(表-3)

表 - 3

トラスの仮想位置と水の無い2点支持とのタワミ差

格 点	A	B	C	D	E	F	G	H
上 流 側	0		4.05	4.66	4.85	4.02		0
下 流 側	0		3.55	4.36	4.43	3.68		0

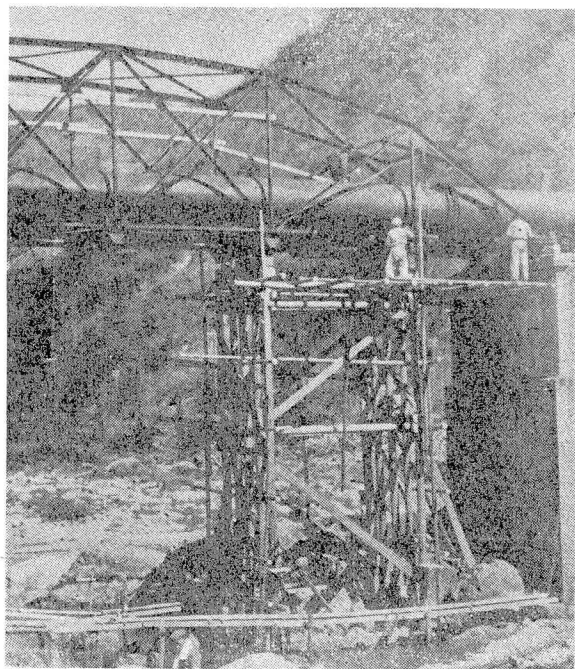
単位はMM.

IV 補 修 工 事

まず鋼管内の水を排除した。そして格点C・Fに取り付けたダイヤルゲージを見ながら、仮設足場上のジャッキを操作して、この2点を前記の仮想位置まで持ち上げた。つぎに、かような4点支持トラスの荷重状態において、端斜材AB'・HG'の応力、及び格点B'・G'の鉛直変位(上流側0.12mm, 下流側0.09mm)を計算して、前記同様の方法で、格点B・Gを持ち上げることににより、格点B'・G'に取り付けたダイヤルゲージの読みを変位だけ元にもどすときは、部材AB'・HG'の応力は零に近くなり、従って部材AC・HFにも応力が殆んど作用していないことになる。この状態において、腐蝕部材をガス切断した。(写真-2)

その跡に、はめ込んだ新部材の両端を溶接でトラス部材に取り付ける際、一端の溶接は無拘束状態において施工されうるが、他端の溶接は外的拘束状態において溶接しなければならないから、その溶接収縮による拘束残留応力の影響はトラス全部材に及ぶにいたる。それで、その影響をな

写-2 腐蝕部材を切り取ったところ



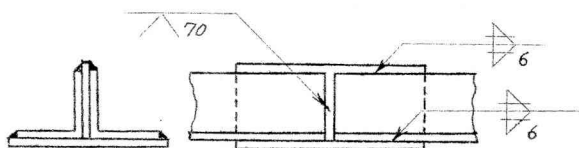
ならない。この変位量は先の持ち上げ量に比べて著大であって、格点B・Gの支えを除去するだけでは、目的が達成されない。更に下向荷重を付加しなければならないので、工事中的諸関係から実際には若干の残留応力の発生を許容して、格点B・Gの支えを除去しただけの状態で、新部材をはめ込み、

その両端を順次に溶接した。溶接完了後に格点B・Gにおける垂直

るべく少なくするように逆歪み法を用いた。

部材の溶接継手は図-3に示すように、2枚の裏当て板を用いて、突合せ溶接とすみ肉溶接とを併用して施工した。この継手の無拘束状態における収縮量は、Malisius及びCampusの突合せ溶接に関する実験式とGuyotのすみ肉溶接に関する実験図とから求めるとその和は1.64 mmとなる。拘束状態においては、その拘束度に応じて、これよりも減少する筈であるから、 $\Delta C.FH$ 格間にそれだけの逆歪みを与えるためには、幾何学的に格点B・Gを1.3 mmだけ持ち下げなければ

図-3 溶接継手図



1-P1 100×250×10

1-P1 210×250×10

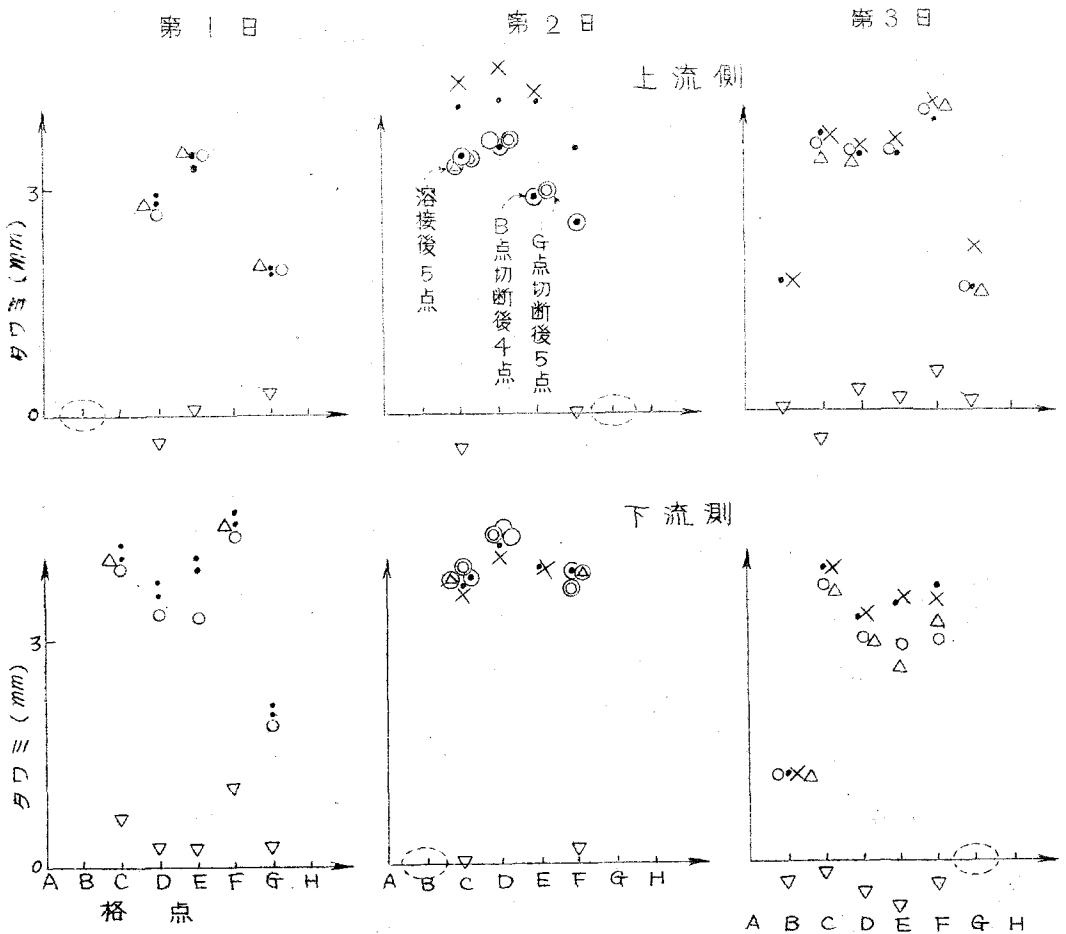
V 測定諸結果とその考察

本工事の諸段階において、クワミ量はダイヤルゲージで、各部材の応力度は Hüggenberger 歪み計で測定した。

イ. クワミ

工事の3日間において、トラスの部材切断前の4点、5点、切断後の4点、溶接完了後の4

図-4 工事の各段階におけるクワミ測定値



点及び2点支持の各段階における格点タワミの測定値を、鋼管内部に水の無い2点支持時のトラスの格点タワミを基準として、比較図示すれば図-4の如くなる。分散しているところもあるが、その間にリベット打作業などの障害の影響があったとも考えられる。溶接完了して、格点C・Fの支えを取りはずして、2点支持とすれば、大体元の基準線までもどり、最大偏差は約0.4 mmであった。

また、図-5において、先と同様に水の無い2点支持のタワミを基準にすると、予備試験が終って通水した時のトラスは・印までタワミ、工事の初めに管内の水を排除したために生じたタワミ量は×印で示され、更に工事が完了して通水した時に生じたタワミ量は○印で示されている。最後のタワミに対する差異の最大値は約8%である。図-5から、本工事中における上述3者間のタワミ量は測定精度から、同じである

と考えられる。すなわち、一定の水荷重に対して、工事前後のタワミ量が等しいということは、溶接残留応力が作用してもトラス中のどこにも降伏現象が起きていないということと、水荷重のトラスと鋼管との分担比が工事前と同様であるということの意味しているから、本工事はタワミ関係から安全であるといえることができる。

ロ. 部材応力度

前述の如く、工事中各段階において、部材応力度を測定したが、図-6には水荷重によって生

図-5 2点支持トラスの水荷重によるタワミ量

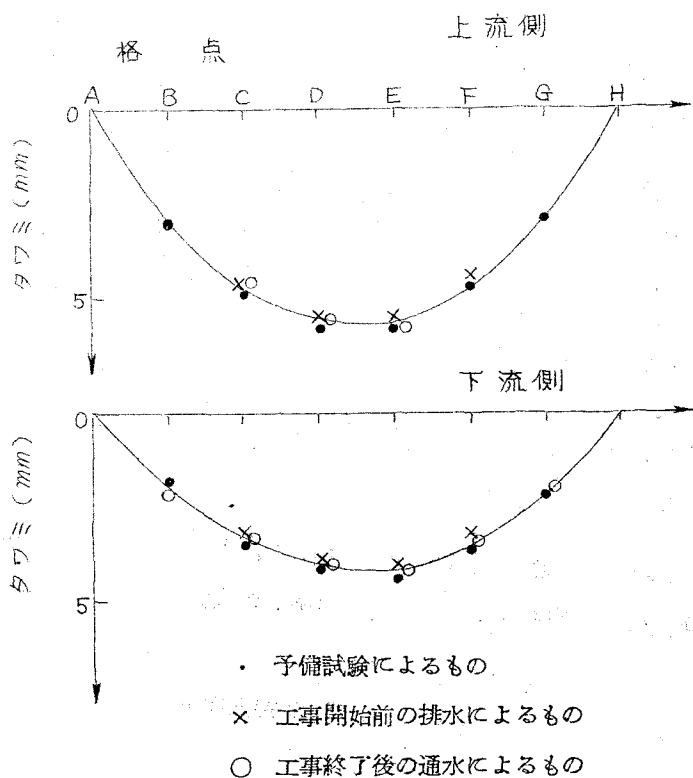
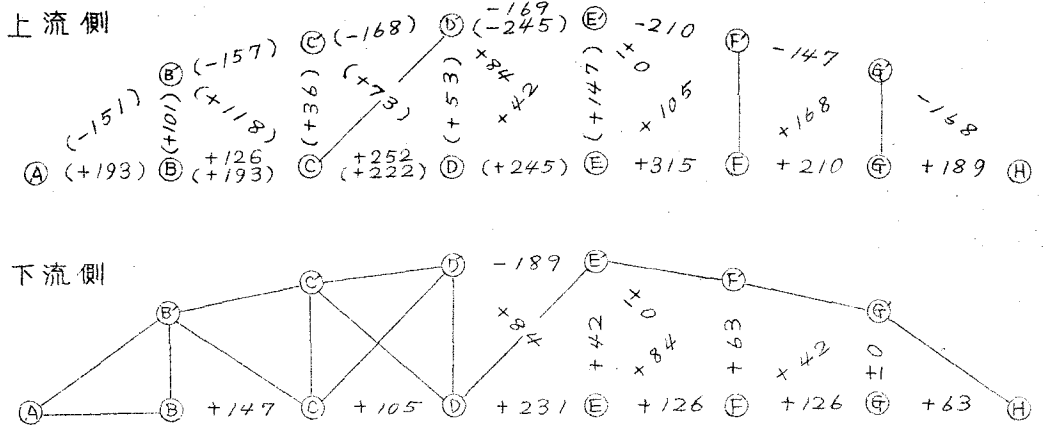


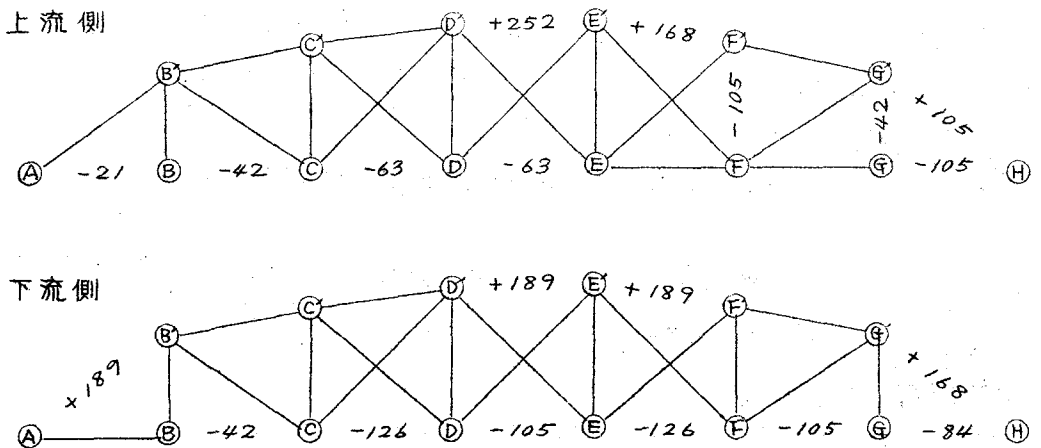
図 - 6 水荷重によるトラス部材応力度



単位は kg/cm^2 , () は計算値

する部材応力度の測定値を計算値とともに示し、図 - 7 には水のない 2 点支持から 4 点支持に持ち上げた時の部材応力度の測定値を示している。また、部材の溶接継手を図 - 3 に前記したよう

図 - 7 格点 C・F の持ち上げによる応力度



単位は kg/cm^2

に施工した時、継手部長10時の収縮量の測定値は表-4に示した如くであって、自由伸縮継手の収縮量計算値1.64mmに比べて、

無拘束状態における収縮測定値は55~101%に分散し、拘束状態においては43~62%に減少している。これは長さ10時の変形を測定したこと、実際の開先底間距離が設計通りでなくなったこと、突合せ溶接とすみ肉溶接との代数和で計算値

表-4 溶接継手収縮の測定値 (MM)

格 間	A B	B C	F G	G H
上 流 側	0.89	0.90	1.66	1.01
下 流 側	1.22	0.70	1.11	0.91

を求めたことなどが、誤差を大きくした原因と考えられる。

トラス部材の溶接継手を順次に施工する時は、継手部収縮の影響が順次にトラス全部材に及ぶに至る。その場合に、継手部収縮量を仮定すれば、4点支持すなわち連続トラスとして、溶接収縮による拘束残留応力は精確に算定することができる。^③ 本文では、その溶接残留応力度の測定値のみを図-8に示している。この測定値から、拘束残留応力度の最大値は、溶接部材において生ずるが、 $126 \sim 210 \text{ kg/cm}^2$ であることを知った。許容応力度の16.2%以下であり、応力に比較的余裕のある部材であるから、実用的には差支えない大きさと考えられる。

ハ. 旧鋼材の溶接性

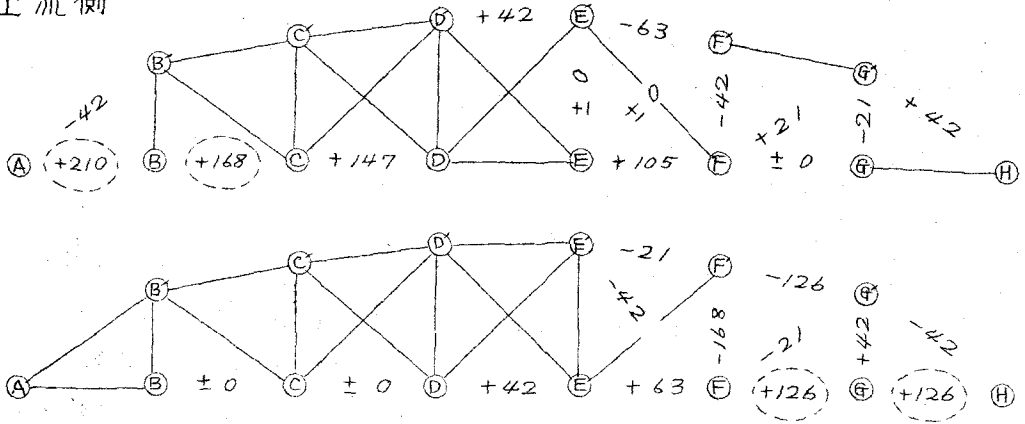
前述の如く、40余年経過した取り換え部材の材質に関する記録がないので、その溶接性について不安であったから、溶接工、溶接条件などについて吟味すると共に、取り換え旧鋼材について現場突合せ溶接を現場工事と同一条件で施工して、突合せ溶接継手の第1号形引張試験片3本と曲げ試験片3本とを製作して試験を行った。その引張試験においては、溶接部で切断しないで母材で切断した。母材の平均引張強さは 41.7 kg/mm^2 、平均降伏点 29.4 kg/mm^2 、平均伸び率17.3%であった。また曲げ試験においては、いずれも異状は認められなかった。従って静的荷重に対する母材の溶接性は十分安心することができるものと考えられる。

VI む す び

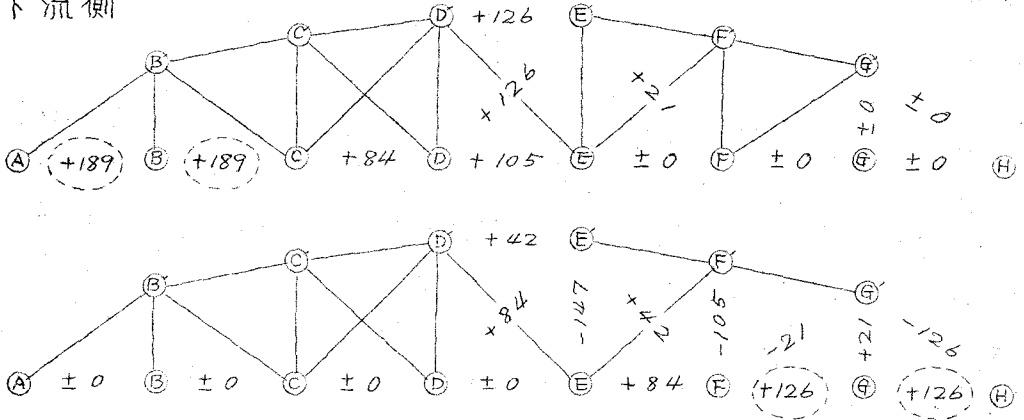
一部材が腐蝕したトラス橋に対する、従来の補強方法は添接板を当ててリベット工法を用いるのが普通であって、補修の目的は十分に達成される。本工事において、腐蝕部材を切り取って新材材をはめ込み取えて溶接工法を用いた所以については、現場は山間地であるが温泉郷への観光客用の通路に沿っているところであるから、外観におもきを置きたかったし、幸い電気利用の便がよかったし、繰返荷重の心配がなく、また溶接によるトラス部材への影響などに多少の関心を

図 - 8 溶接による拘束残留応力度

上流側



下流側



単位は kg/cm^2 , (○) は溶接力所

持っていたので、本工法を採用した。従って変形及び応力度の測定を行ったが、結局溶接工法は補修部の外観がよく、かつ前述の如く変形的並びに応力的に補修の目的が十分に達成されたと共に他に何の支障も与えないことを知った。溶接工事は高田機工KKに依頼した。かような幹線導水管の断水は影響するところが大きいのであるが、予備試験と本工事を通じて4日の断水を実施したが、支障は起らなかった。

脚註 ① 神戸大学教授、工博、工学部土木工学教室、土木学会正会員

② 神戸市水道局、技術吏員、土木学会正会員

③ 桜井季男：溶接トラスの2次応力について、昭和29年10月、土木学会
関西支部学術講演会において講演、昭和30年阪大へ提出学位論文の一章