

大阪市立大学工学部 学生員 西村 俊行
 大阪市立大学工学部 正員 中井 博
 大阪市立大学工学部 正員 北田 俊行
 川崎重工業技術研究所 正員 大南 亮一

1. まえがき 薄肉断面の鋼構造物材は、溶接による局所的な加熱・冷却に起因する初期たわみや残留応力を必ず有しており、これらの初期不整が部材の終局強度に影響を及ぼすことはよく知られている。本研究では曲線桁の残留応力に着目し、実橋大模型桁で実測した残留応力の測定結果を整理し、設計溶接サイズとビード断面積との関係、ビード断面積と入熱量との関係、および残留圧縮力とビード断面積との関係を調べた。さらに、これらの関係から、曲線桁のフランジと腹板の残留応力分布を推定したところ、実測結果とよく一致することが確かめられたので、以下にこれらの結果について報告する。

表-1 測定桁の諸元

2. 測定桁 本研究で用いた残留応力の実測データは以下の3種類の測定桁から得られたものである。各測定桁の諸元を表-1に示す。

(1) 残留応力測定桁(測定桁1) ; 桁の製作過程に応じた残留応力分布の変化を明らかにするため、腹板に上下フランジを順次溶接し、それぞれの段階で残留応力を調べる測定桁である。(2) 実橋大模型桁A(測定桁2) ; 曲線桁に関する実績調査結果をもとに、実際の橋梁に多く使用される腹板の幅厚比=180、および腹板と

寸法諸元			寸法		
			測定桁1	測定桁2	測定桁3
腹板	垂直補剛材間隔	aw(mm)	750	810	1150
	腹板高さ	hw(mm)	1000	1620	2300
	腹板厚	tw(mm)	8	9	9
	縦横比	aw/hw	0.75	0.50	0.50
	幅厚比	hw/tw	125	180	256
フランジ	フランジ幅	bf(mm)	250	330	410
	フランジ厚	tf(mm)	10	14	16
	幅厚比	bf/tf	25	24	26
水剛平材補	補剛材幅	bs(mm)	—	82	92
	補剛材厚	ts(mm)	—	9	9
	幅厚比	bs/ts	—	9	10

フランジの断面積比=3.2を有し、それぞれ3種類の曲率($R=30m, 100m, \infty$)を持つ模型桁である。(3) 実橋大模型桁B(測定桁3) ; 腹板の寸法を道路橋示方書の最大幅厚比(=256)に対応させ製作し、その曲率半径を $R=30m, 100m$ の2種類とした模型桁である。

3. 残留応力の推定に必要な定数 残留応力の大きさは、おもに入熱量、ビード断面積、部材寸法などによって決定される。とくに、入熱量による影響は大きく、入熱量から残留応力の大きさを推定することができるが、設計段階で入熱量を直接推定することはできない。そこで、ビード断面積と入熱量との関係を調べ、ビード断面積から残留応力を推定してみた。

(1) 設計溶接サイズ S とビード断面積 A_w との関係 : 設計溶接サイズ S の2乗 S^2 とビード断面積 A_w とは、ほぼ正比例し、いま比例定数を P とすると、 $A_w = PS^2$ という関係が成り立つことが知られている¹⁾。本模型桁の実測データから、この比例定数は、すみ肉溶接の場合、 $P=0.57 \sim 0.79$ の範囲内にあることがわかった。さらに、一層盛り比べて二層盛りの方が P の値がやや小さくなっている。以下、残留応力の推定には、実験結果の平均値 $P=0.70$ を用いることにした。(2) ビード断面積 A_w と入熱量 Q との関係 ; ビード断面積 A_w と入熱量 Q の間にも正比例関係が成り立ち、比例定数を K とすると、 $A_w = KQ$ という関係が成立することが明らかにされている¹⁾。本研究では $K=11.2 \sim 19.1 \times 10^{-3} \text{ (mm}^2/\text{J)}$ という結果を得た。そして、手溶接よりも自動溶接の方が、また一層盛りよりも二層盛りの方が K 値は小さくなる傾向がみられた。 $Dwight$ ¹⁾は、一般構造用鋼を各種溶接法で製作した場合を包含して、 $K=16 \times 10^{-3} \text{ (mm}^2/\text{J)}$ を提案しており、本研究でも $Dwight$ の提案値を採用した。(3) 残留圧縮力 F_{rc} とビード断面積 A_w との関係 : 溶接による残留圧縮力 F_{rc} はビード断面積 A_w に正比例し、 $F_{rc} = CA_w$ という関係式が成立するといわれている¹⁾。しかし、多層盛り溶接の場合、残留応力に対

する二層目の影響が一層目に比べて小さくなっているの、上記のような正比例関係は必ずしも妥当なものとはいえない。そこで、多層盛り溶接の場合のビード断面積を一層盛り溶接に相当するビード断面積に換算するための簡便法を考える。いま、溶接によって生じる残留引張力の領域幅 b_t はビード断面積 A_w に比例すると仮定する。¹⁾ また、多層盛り溶接による引張領域幅を b_t 、多層盛りの各溶接を単独で行ったときに生じる引張領域幅を b_{ti} とすると、 $b_t = (\sum b_{ti})^{\frac{1}{2}}$ の関係が成立するという研究成果を用いることにする。²⁾ すると、こ

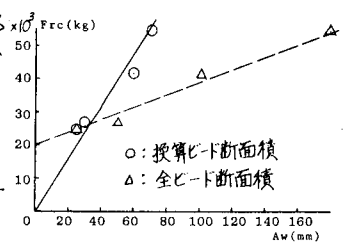


図-1. F_{rc} と A_w との関係

の両者の関係から、多層盛りの各ビード断面積を A_{wi} とすると、換算ビード断面積 A_w は $A_w = (\sum A_{wi})^{\frac{1}{2}}$ と表わされる。図-1には、測定桁の各製作段階における残留応力の測定結果から得られた F_{rc} と A_w との関係を示した。この場合、ビード断面積に上式による換算ビード断面積を用いたものとそうでないものとを比較すると、いずれの場合にも正比例関係が得られたが、換算ビード断面積を用いた方がその直線が原点を通り、正比例関係が保持されていることがわかる。したがって、残留圧縮力 F_{rc} と換算ビード断面積 A_w とが正比例し、 $F_{rc} = CA_w$ なる関係式が得られる。本実験結果では、手溶接の場合 $C = 699 \sim 960$ (kg/mm^2)、自動溶接の場合 $C = 994 \sim 1335$ (kg/mm^2) となった。これらの結果から、残留応力の推定には手溶接では $C = 770$ (kg/mm^2)、自動溶接では $C = 1070$ (kg/mm^2) 程度にとるのが適当であると考えられる。

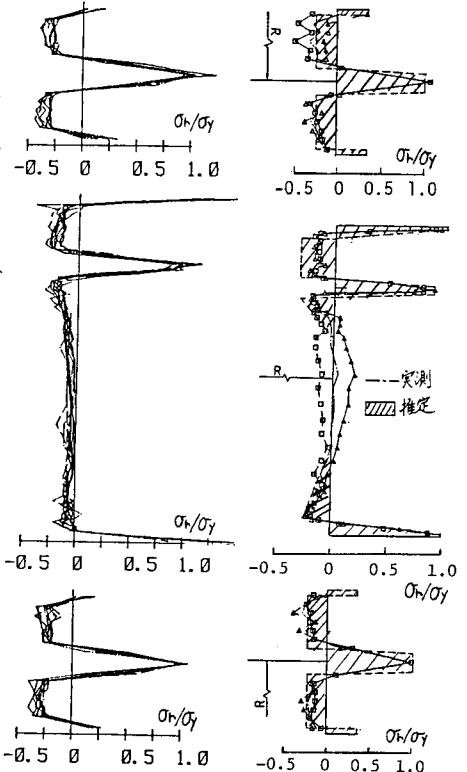


図-2. 測定桁2の残留応力の実測分布

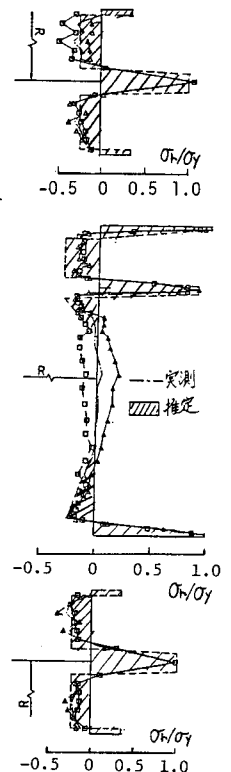


図-3. 測定桁3の残留応力の実測分布と推定分布

4. 残留応力分布の実測結果とその推定：図-2は測定桁2の残留応力の実測分布を、すべての桁についてプロットしたものである。この結果から、曲線桁の残留応力は、腹板では、曲率が大きくなるほど、板の両面における残留応力差は大きくなる。しかし、板厚の中心における残留応力の大きさは、曲率にかかわらずほぼ一定であることがわかった。また、フランジについては、曲率中心に対して内外ともあまり残留応力に差異が認められなかった。そこで、直線プレートガーダーとして残留応力分布を推定した。その残留応力の推定法として、細長い矩形板に突き合わせ溶接などを行った単純なモデルについて残留応力を測定し、その大きさや分布形状を推定する研究がいくつかなされてきた。これらの推定法には、Dwightの方法¹⁾、佐藤の方法³⁾、西田の方法⁴⁾などがあるが、これらの方式を比較的寸法が大きく、本実験桁のように複雑な形状をもつ場合の残留応力の推定に用いたとき、どこまでそれらが適用可能であるかを調べてみる。図-3はその一例として測定桁3の残留応力の実測分布と推定分布を示したものである。この場合、フランジの残留応力の推定にはDwightの方法を、また腹板の残留応力の推定には佐藤の方法を用いている。この図より、実測値と推定値とは、比較的よく一致することが確かめられた。したがって、曲線および直線プレートガーダーの残留応力の推定には、前述の各種の比例定数を用いれば、いままでの実験式や経験式をほぼそのまま適用できると考えられる。

〈参考文献〉 1) Dwight: The Structural Engineer, Vol. 47, 1969-2

2) ECCS: Introductory Report 1976-1977

3) 佐藤: 溶接学会誌 45巻 第2号

4) 西田: 土木学会論文報告集 第340号 1983-12