

鋼床版の現場溶接工法に関する実験的研究

中 村 正 平*
池 田 尚 治**
明 石 重 雄***

1. ま え が き

鋼床版を現場溶接することによって、鋸頭とスプラインプレートによる鋼床版面の不陸をなくすることができるので、舗装の維持が容易となり、走行性が良くなるし、また、前記の継手用鋼材が節約となり、舗装全厚も小さくできるので、死荷重もかなり軽減できる。そのため、外国においては、最近の鋼床版はほとんど現場溶接を用いており、わが国でも最近、各地で鋼床版の現場溶接接合が採用される気運にある。

首都高速道路公団の多摩川橋は、3径間連続の鋼床版橋であり、図-1 および 2 に示すように、中央支間長はこの種橋梁としてわが国第2の長さである。また、鋼床版縦リブにはY断面を使用し、さらに現場溶接を大幅に

図-1 多摩川橋側面図および平面図(骨組図)

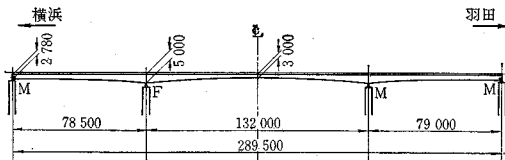
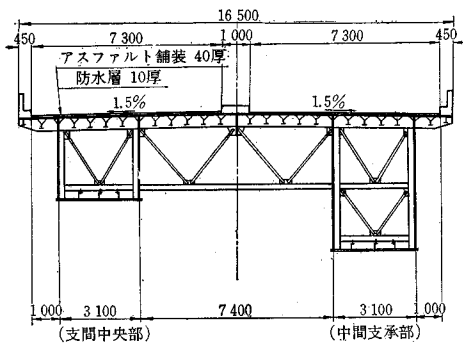


図-2 標準断面図



* 正会員 首都高速道路公団工務部第二設計課長
** 正会員 首都高速道路公団大師工事事務所主査
*** 正会員 (株)横河橋梁製作所研究室長

採用している点で、わが国としては画期的な橋梁であるといえよう。鋼床版は主げた付きの約 5 m と中央部約 7 m との 3 部分に分割され、橋軸方向の単位長は 10 m 内外である。

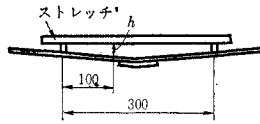
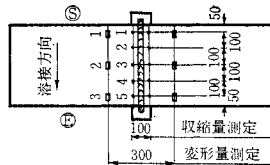
これらの現場接合としては、
鋼床版(箱げた上フランジを含む)…突合せ溶接
箱げたウェブおよびフランジ……高力ボルト摩擦接合
縦リブ中空部(斜板)……………突合せ溶接
縦リブ垂直リブおよび下フランジ
……………高力ボルト摩擦接合
横 リ ブ……………高力ボルト摩擦接合
という案が計画された。

鋼床版の現場突合せ溶接に関しては、すでに田養橋(昭和 29 年、大阪市、横河橋梁)、新十三大橋(昭和 41 年、大阪市、高田機工、三菱重工、駒井鉄工)があるが、その設計、施工に対してはまだ十分な解明がなされたとはいえず、また今回の多摩川橋の場合には、中央径間をカンチレバー方式で架設するという特殊事情もある。

表-1

継手	(A)	(B)	(C)
取組			
取組	ルートフェイスの密着が確保されれば少ない	[A]と同程度	最も大きい
組立	縦継手における中央板の落とし込み困難(裏当金は現場取付)表から開先内への仮付けができない。仮付けした場合完全に除去する必要あり	[A]と同様(裏当金は現場取付)簡単な仮付けを裏から行なえる。その後裏板の溶接を行えばよい	容易(裏当金は工場取付)表から仮付け溶接できる
精度	溶接結果におよぼす開先精度(ルートフェイスの間隙、ルートフェイスの深さ)の影響が大きい	[A]と同じ。ただしグループの深さについては[A]ほどきびしくない	精度に対して比較的鈍感
さび	厳格な防錆が必要	ガウジングされるので[A]ほど厳しくなくてよい	[A]と同じ

表-2 デッキプレートの突合せ溶接



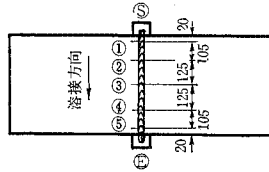
タイプ[A],[B]

T.P No.	開先形状	溶接条件			収縮量 (mm)		変形量 h/100	断面のマクロ写真
		電流 Amp.	電圧 Volt	速度 cm/min	平均			
A1-1		850	25	20.	1.27		1.33	
A3		800	31	20	1.39		1.33	
A7		780	30	18	1.33		1.57	
B1		950	33	30	1.15		2.27	
B3		950	34	30	1.05		1.55	
B5	裏当のみ研磨 	960	35	30	1.16		2.83	

タイプ[C]

T.P No.	開先形状	溶接条件			収縮量 (mm)			変形量 h/100	断面のマクロ写真
		電流 Amp.	電圧 Volt	速度 cm/min	手溶接①	自動溶接②	①+②		
					平均	平均	平均		
C1	手溶接 	手溶接 (190) 850	33	20	0.98	1.04	2.03	4.82	
C6		手溶接 (190) 750	31	15	0.71	1.71	2.42	4.45	
C8	カットワイヤー 	900	35	25			1.49	3.48	
C10	手溶接 	手溶接 (190) 900	34	25	0.88	1.29	2.17	5.05	
C14		手溶接 (190) 850	34	20	0.87	1.37	2.24	4.05	

表-3 同一継手内で開先形状を変化させた場合



T.P No.	開先形状	各断面の開先形状	溶接条件			各断面のマクロ写真
			電流 Amp.	電圧 Volt	速度 cm/min	
A12		①	850	31	20	
		②				
		③				
		④				
		⑤				
C7		①	830	32	25 5 18	
		②				
		③				
		④				
		⑤				

さらに、縦リブは従来すべて単一プレート形式であったが、本橋では組立部材であり、かつ現場接合にも溶接と摩擦接合が混用されている。

このような状況に鑑み、継手部の詳細設計および工場ならびに現場施工に最適な工法を見出し、かつ溶接と高力ボルト摩擦接合の混用継手、および組立Y型リブの耐荷挙動についても十分な認識を得るため、実験的研究を行なったものである。

実験の内容は

- (1) デッキプレートの現場突合せ溶接方法に関する事項
- (2) Y型縦リブの施工、継手工法、および耐力に関する事項

(3) 溶接と摩擦接合の併用継手に関する事項

の三つに大別され、その内容が膨大であるので、ここでは、そのうち、応用度の高いと思われる(1)について報告する。

2. デッキプレートの現場突合せ溶接に関する実験

(1) 開先形状と溶接条件に関する実験

a) 開先形状の選定

デッキプレートの現場継手施工方法として、手溶接による方法と自動溶接による方法とがあるが、能率および収縮変形の点から見て自動溶接の方がはるかに優れており、諸外国の例を見てもほとんど自動溶接が採用されているので、ここでは自動溶接のみを対象とする。その場合、つぎの3方法が考えられ(表-1)、それぞれについて従来の経験から想定される利害得失は表-1のとおりである。

b) 実験方法

実橋に用いるのと同種の SM 41 材を用いた厚さ 12 mm、幅 500 mm の供試材を定盤上に置き、100×100 mm エシドタブを両端に仮付けして溶接を実施した。実験は [A]、[B] および [C] の3種の基本形に対して、予想される施工誤差の範囲で開先形状で変化させ、主として、溶け込みと余盛り高に対する適正溶接条件を見出し、あわせて、収縮および角変形の測定を行なうこととした。この溶接において最も留意しなければならない

点は、溶接割れと溶け込み不足であるから、全試験片に対してX線検査を実施し、また適宜に断面についてマクロエッチ試験を行なった。

溶接に先立ち、板面に、収縮量測定のための測定を間隔 100 mm で幅方向に 5 ヶ所、角変形測定用の測点を間隔 300 mm で 3 ヶ所設け、収縮量はノギスで、角変形は定盤とノギスを用いて測定した。[B] 型試験片のアーケア ガウジングは交流溶接機で施工した。

[A] 試験片については、ルート間隔を 0~6 mm、開先段違い(板面の高さの差)を 6~4 mm、ルート面の高さを 2~6 mm (基準高さ 4 mm) などに変化させ、また裏当金の面を研磨したりして、14 種類 (A1~A14) の開先形状の異なる溶接を行なった。[B] 試験について

は、ルート間隔を 0~4 mm, 母材および裏当金表面の研磨, など 5 種類 (B1~B5) の溶接を行なった。[C] 試験片については、ルート間隔を 0~6 mm に変化させ、また、カットワイヤーを使用したりして、14 種類 (C1~C14) の試験片を作成した。さらに、これらの各種試験片の中、A8, A9, A10, A11, A12, C7 の各試験片では、1 つの溶接線上で開先形状を連続的に変化させている。すなわち、[A] 系列ではルート面の高さを溶接始点から終点までの間で 0~8 mm, 開先段差を 0~4 mm, ルート間隔を 0~6 mm などに変化させ、[C] 系列では開先段差を 0~4 mm, ルート間隔 0~4 mm に連続的に変化させた。

c) 実験結果と考察

実験結果の一部を表-2 および表-3 に示す。この実験と X 線検査の結果を検討すると

① 試験溶接の範囲内で、溶け込み不足および溶接割れの現象は 1 件も見られず、また、ルート間隔が広い場合、ルート面の高さが小の場合にも裏当金の溶け込み落ちは発生してない。

② 3 種の施工誤差(ルート間隔, ルート面高, 段差)のうち、もっとも悪影響をおよぼすのは段差であって、これが 4 mm になると溶融鋼が流れ出し、ビード表面が凹型になる可能性がある。

③ 収縮量は [A], [B] の場合は 1.1~1.3 mm でほとんど有意差はなく、手溶接を含む [C] の場合は 2 倍の約 2 mm となった。角変形は [A] 型が最も少なく、[B] は [A] よりやや大、[C] 型は最大であって、[A] 型の約 2.5 倍であった。

以上を総合すると表-4 のようになり、拘束が大で、収縮、変形が重大な影響をおよぼす直角方向の継手には [A] または [B] 型を、拘束および変形の影響が少ない橋軸方向の継手には現場施工の容易な [C] 型を採用することが適当であると判断された。[C] 型に対してカットワイヤーを使用した場合の能率向上は約 25% であるが、溶接の品質にはほとんど影響がないので、溶材の費用を含めた経済性を検討して、これを使用することにした。

(2) 溶接部の鋼材表面状況と溶接内部欠陥

鋼げたは工場(大阪)で製造して現場へ輸送(海上)し、現場溶接するまでに最少 3 ヶ月程度屋外にあるため、当然溶接すべき鋼材表面に赤さびが発生する。この状態で現場溶接を行なえば、程度の差こそあれ、すべての溶接部にパイプ状欠陥が発生すること(X線写真-1)が、

写真-1 パイプ状欠陥の発生断面

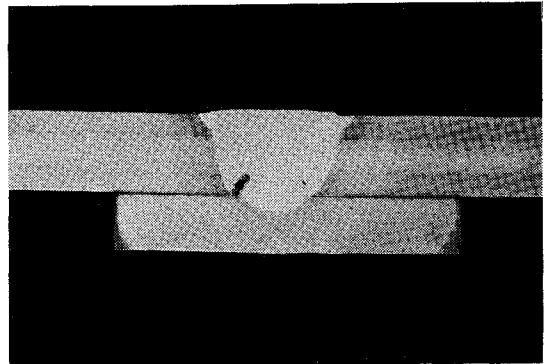
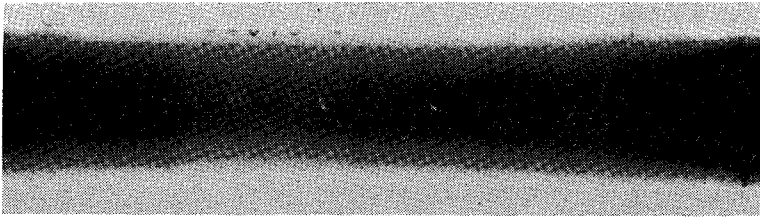


表-4 デッキプレートの突合せ溶接に対する総合判定

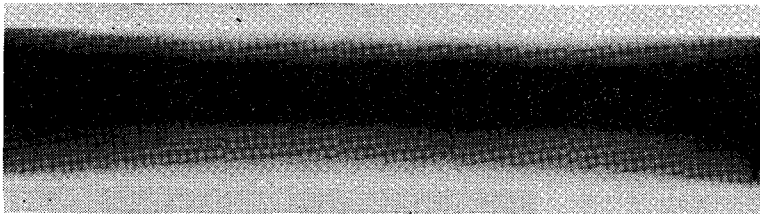
型式	[A]	[B]	[C]	
			[C ₁]	[C ₂]
標準開先形状				
最適溶接条件	サブマージアーク (Y-C 4.8φ) (YF-15 20×200) 850A 31V 20cm/min	サブマージアーク (同左) 950A 34V 30cm/min	手溶接 (LB-52) 1層盛 4φ 190A サブマージアーク 4.8φ (同左) 850A 34V 20cm/min	手溶接 (LB-52) 1層盛 4φ 190A サブマージアーク 4.8φ (同左) 920A 34V 25cm/min
開先の許容誤差	ルート間隔 +4 mm ルートフェイス高 ±2.5 mm 段差 2 mm	ルート間隔 +4 mm	ルート間隔 ±2 mm ルートフェイス高 +1 mm 段差 2 mm	ルート間隔 ±2 mm ルートフェイス高 +1 mm 段差 2 mm
収縮量	平均 1.32mm (n=14)	平均 1.10mm (n=5)	平均 2.01mm (n=6)	平均 2.08mm (n=5)
角変形量	平均 1.87/100	平均 2.46/100	平均 4.22/100	平均 4.61/100

先の実験で明らかになった。このパイプ状欠陥は、溶接ボンドが裏当金の合せ面と交差する線から溶着鋼のデンドライト組織にそって発生するものであって、写真-1 の断面写真に示すようなものである。この現象は板の不浄な合せ面が原因であって、本体および裏当金の合せ面をグラインダーで研磨して清浄にした試験片では皆無であ

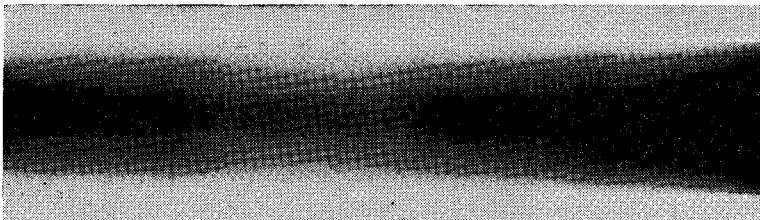
X線写真-1 ミルスケールと多少の赤さびのある場合



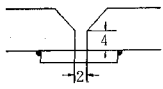
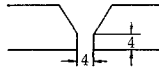
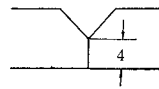
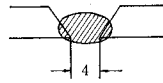
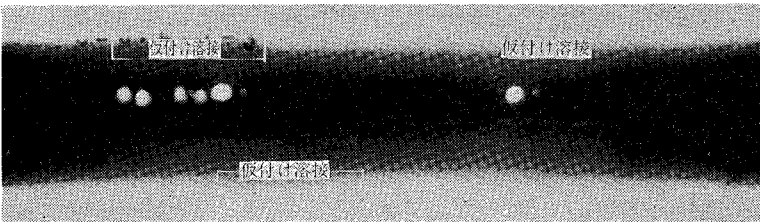
X線写真-2 本体および裏当金の合せ面をサンダーで研磨した場合



X線写真-3 サンダーで研磨後デオキシアルミナイトを塗装した場合

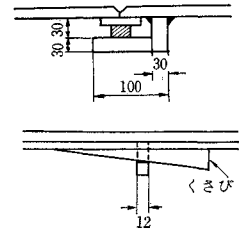


X線写真-4 上向き仮付けH溶接による影響



けて溶接を行なうと、この仮付け溶接の近傍に大きなブローホールの発生することが判明した(X線写真-4)。これは、上向き仮付け溶接による発生フェームが母材と裏当金の合せ面に侵入して付着するためと推定されたので、裏当金の現場取付けを図-4のような治具を用いてでくさび取付け、母材と密着させればよいことを確かめた。

図-4



(3) 架設工法を考慮したデッキプレートの溶接方法

a) 目的

以上の実験と考察によって定めた最適条件の下で現場溶接をする場合に、実際にはこれまでに考慮に入れなかった架設工法も大きな影響をおよぼすものであって、拘束溶接としての検討が必要である。特に、本橋では中央径間は片持架設法を行なう予定であるので、架設中の溶接にどう対処すべきかを究明するために、この実験を行なった。

b) 実験方法

図-5に示すような実橋の約

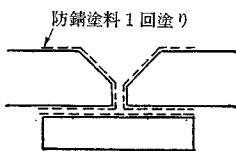
1/3の断面を有する箱げたを製作し、上フランジに12mm厚、1000mm幅の試験板を高力ボルトで摩擦接合し、ユニオンメルトで片面突合せ溶接した。

図にはカンチレバーの自重が作用すると想定した溶接状況を示してあるが、まず

① 支保工上で箱げたの下フランジ、ウェブを摩擦接合した後、鋼床版を溶接する(ほとんど完全拘束)ことを想定して、尖端をジャッキで仮受けし、下フランジおよびウェブのスプライスを完全に高力ボルトで締付けた場合。つぎに

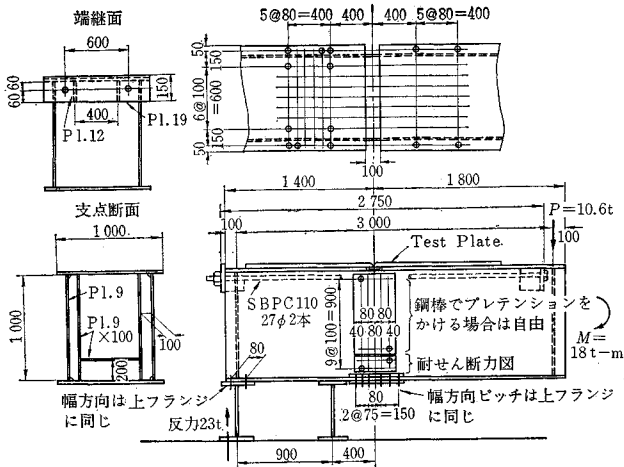
ること(X線写真-2)も確かめられた。そこで、現場において溶接前にグラインダーかけをする繁雑さを除くため、合衆国のスペシャルケミカル社が開発した開先用防錆塗料「デオキシアルミナイト」を工場で開先面を研磨した後、1回はけ塗りすることにし(図-3)、実験によって効果を確認した(X線写真-3)。

図-3



また、裏当金を現場で取付ける際に、上向手溶接で仮付

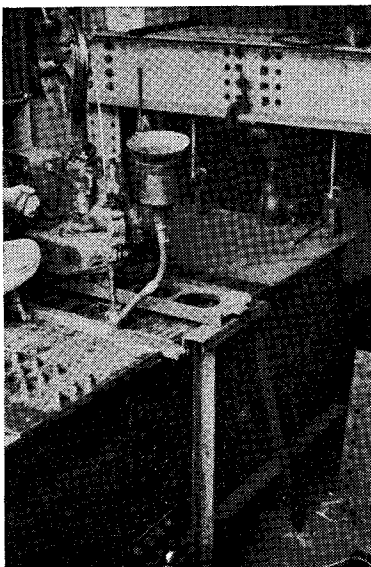
図-5



② 支保工上で下フランジのみ添接し、ウェブを自由に溶接する（鋼げた自重による拘束力が作用）ことを想定して、先端をジャッキで仮受けし、下フランジおよびウェブの下部のみ高力ボルトで締付けた場合を実験し、最後に③カンチレバーの自重が最初から作用している場合について検討した。

図-5 は、カンチレバーの上部鋼床版をできるだけ拘束のない状態で溶接するために考案した一方法であり、せん断力を二つに分離したウェブスプライスの下部小片で負担し、曲げモーメントを下フランジ添接と上フランジにそって緊張したPC鋼棒で負担させるようにし、溶接時にはウェブ上部添接を自由しておく。単に最初の曲げモーメントを負担するだけであれば、上部はフラン

写真-2 カンチレバー状態でのユニオンメルト溶接
(先端にジャッキで載荷、キャンパ-変化するダイヤルゲージで測定)



ジジョイントの形式にして引張ボルト接合すればよいが、溶接の収縮によってボルトがゆるむと、凝固中の溶接金属に引張力の全部が作用することになるので、カンチレバー自重に対応する緊張材の引張伸びが溶接の予態収縮量以上となるようなPC鋼棒を用い、溶接終了後も自重モーメントの相当量を鋼棒で負担できるようにした。なお、この模型げたでは実橋に相当する自重モーメントが得られないため、カンチレバー先端にフレームからジャッキを介して相当荷重(10t)を加え、溶接中およびその後の数時間この荷重が変化しないようにジャッキを調節した。実験状況を写真-2に示す。

溶接に際して測定ないし検査した事項は、つぎのとおりである。

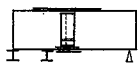
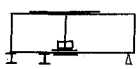
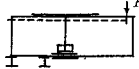
- 1) 溶接条件
 - 2) 端合せ溶接全長にわたるX線透過検査
 - 3) テストプレートの収縮量(箱げたに取り付けたまま)
 - 4) 箱げた上フランジ収縮量
 - 5) 箱げたの折曲り(キャンパー変化)量
 - 6) 箱げたウェブ最上部のボルト孔のずれ
 - 6) カンチレバーの場合の先端荷重と鋼棒張力
 - 8) 溶接部の残留応力(テストピースを箱げたから解放した場合のひずみ変化)
- e) 実験結果および考察

実験した三つの場合に関する結果の総括を表-5に示す。これらの実験では、1本の箱げたで何回も実験をくり返す必要上、被溶接材を直接上フランジとせず、テストプレートを箱げたの上フランジに高力ボルトで摩擦接合したので、収縮力によるずれもコンタクトゲージによって測定したが、その量はウェブを完全添接した1)の場合、平均0.001mm程度、ウェブを自由にした2)、3)ではさらに小さく、他の収縮量などの測定量とくらべ僅少であったのでこれを無視することにした。

まず、表-5の1)の場合についてみると、溶接によるテストプレートの収縮量はルート間隔が広くなるにつれて多小大となるが、その関係は鋼棒の解放前より解放後の値に顕著である。鋼棒解放後の値は結局、残留応力に関係するものである。

つぎに表中のテストプレートの収縮量を箱げた上フランジの収縮量を見ると、ともにゲージ長100mmでありながら、前者の方が0.6~0.8mm大となっている。摩擦接合がずれを生ぜず、しかもこのように突合せ溶接部が収縮する現象は、後に実施した溶接とボルトの併用継手の実験にもはっきりと現われており、固定点間でゲージ長の外側部分が降伏し、塑性伸びを生じたとき

表-5 試験結果の総括

	開先タイプ	ルートギャップ	X線検査(割れ・溶込み)	テストプレートの収縮量 (mm)		箱けた上フランジの収縮量 (mm)	キャンバーの変化	ウェブ添接上部ボルト穴のずれ (mm)
				解放前	解放後			
(1) ウェブを完全添接した場合 	[A]	0	異常なし	0.91	0.065	0.217 (0.91-0.217) (=0.69)	0.49 / 1000	0.104/2 =0.052
		2 4			平均残留応力度 $\sigma_r=1365\text{kg/cm}^2$			
(2) ウェブを自由にした場合 	[A]	0	異常なし	1.04	0.075	0.312 (1.09-0.31) =0.78	0.57 / 1000	0.140/2 =0.070
		2 4 6			平均残留応力度 $\sigma_r=1575\text{kg/cm}^2$			
(3) ウェブを耐せん断添接し、鋼棒でカンチレバー重量を負担せしめた場合 	[A]	0	異常なし	0.88	0.035	0.960 (1.04-0.96) =0.08	0.69 / 1000	0.90/2 =0.45
		2 4			平均残留応力度 $\sigma_r=504\text{kg/cm}^2$			

えざるを得ない。

また、[A]型と手溶接を併用する[C]型の収縮量を比較すると、無拘束の溶接試験におけるような大きい差が認められず、結局両者間に生ずべき差は残留応力なし材料の降伏に変換されたものと考えられる。

しかしながら、このような大きな拘束にもかかわらずX線検査結果によれば、すべての突合せ溶接中に全く割れの発生が見られず、このことは本実験における大きな収穫であったといえる。

したがって、2)のようにウェブを自由にして拘束を緩めた場合、現場施工において溶接割れの危険は全くなると考えてよい。ウェブを自由にした2)および3)の場合には、テストプレートと上フランジの収縮はほぼ等しく、大体1.0mm弱である。

3)の場合における鋼棒張力の変化は尖端荷重10tの場合、12.7t→8.3tとなり、収縮が予想より少なかったため相当量のプレストレスが残存し、溶接部の収縮に対して全く無拘束の状態が保たれたと解釈できる。

これらのデータより、ルート間隔の差はほとんど有意要因となっていないことが認められる。

以上のことから結論としてつぎのとおりいえよう。

(1) 溶接部近傍が摩擦接合で拘束されていても、この程度の薄板構造では、かなり長い距離にわたって、降伏、弾、塑性変形が生ずるので、溶接部が局部的かつ剛に拘束された場合と異なって、溶接割れに対する危険はほとんど問題とならない。

(2) しかし、表-5の1), 2), 3)の三つの場合を比較すれば明らかに残留応力の差が認められ、ウェブを拘束するか否かにより、デッキプレートの残留応力は大幅に変化する。

(3) したがって、カンチレバー架設による突合せ溶接における引張部材の添架は非常に有意義である。

(4) ウェブを自由にして溶接した場合、ウェブ上端におけるボルト孔のずれは0.5mm以内であり、ボルト挿入に支障をきたさない。

(5) 溶接によるキャンバーの変化は、ウェブを自由にした場合、けた高1mに対してm当り0.6mmと考えればよい。

3. あとがき

ここに報告した鋼床版デッキプレートの現場溶接に関する事項のほか、まえがきに述べたほかの二つの項目についても実験を行っており、それぞれ実際の施工のために必要なデータを得ることができた。それらについては整理中であり、つぎの機会に報告することにした。

参考文献

- 1) Hans Grassl : Entwurf Von Leichtfahrbahnen, IABSE Abhandlungen, 1965.
- 2) 加藤隆夫 : 鋼床版の現場溶接について、橋梁と基礎、昭和42年5月号

(1967. 11. 17・受付)

図 書 案 内

コンクリート標準示方書
 コンクリート標準示方書解説
 人工軽量骨材コンクリート設計施工指針(案)
 プレパックドコンクリート施工指針(案)
 夏期講習会資料

B6判 438 ページ 定価: 1000円
 A5判 356 ページ 定価: 1300円
 B6判 53 ページ 定価: 300円
 B6判 38 ページ 定価: 220円
 B5判 120 ページ 定価: 900円