

京都大学 工学部	正員	小西 一郎
大阪市 土木局	正員	佐伯 章美
日立造船 技 研	正員	近藤 淳
日立造船 技 研	正員	牛尾 正之

1. まえがき 新淀川大橋は3径間連続鋼床板箱ゲタ橋であり、鋼床板の現場継手部はすべて溶接継手が採用され、カタフラックスによる片面自動溶接法で施工された。溶接線の直角方向に大きな拘束を受ける突き合せ溶接継手は溶接による収縮が阻害されて、過大な Locked-in Stress が発生するおそれがある。Locked-in Stress は内的拘束に基づく溶接残留応力と、外的拘束に基づく拘束応力が重畳したものである。われわれは後者の拘束応力の残存状況を明らかにすることとを目的とし、拘束度、継手部の溶接による収縮量および Locked-in Strain を実橋で計測した。

2. 実験対象継手部とその周囲の状況 計測の対象となった継手は図1に示すNo.1'継手とNo.4'継手である。現場継手の施工順序はまず橋軸方向の溶接線を溶接し、ついで橋軸直角方向の溶接線を溶接した後、ウェブおよびボトムプレートを高力ボルトで接合した。橋軸直角方向溶接線では拘束をできる限り緩和するため、鋼床板裏面の縦リブ全部とウェブプレートの一部の接合部でドリフトピン・仮締ボルトを取りはずして溶接した。ドリフトピン・仮締ボルトでウェブが接合されている部分の大きさはNo.1'継手で下部 $\frac{1}{3}$ 、No.4'継手で下部 $\frac{2}{3}$ であった。

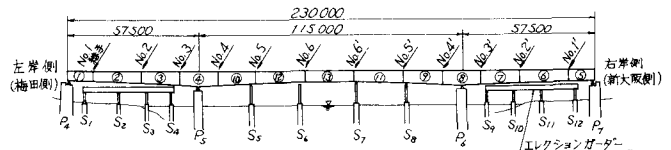


図1

No.1'継手は側径間における最後の溶接

継手であり、No.4'継手は中央径間における最初の橋軸直角方向の溶接継手であった。現場溶接継手の開先は $50^\circ V$ で標準開先ルート間隔は3mmであるが実験対象継手では溶接および計測を夜間に行なったため、No.1'継手で6mm、No.4'継手で12mmに開先ルート間隔が開いていた。

3. 計測項目と計測方法

3.1. 拘束度 拘束の程度をあらわす拘束度は、平板の拘束試験体に関する従来の研究例を参考にして、次のように定義することにした。

「開先縁に外力を加えて、継手の全長にわたり開先間隔を平均1mmだけ変化させる

ことにより、この部分に生じる平均応力を拘束度 (p kg/mm²/mm) とする。」

この定義によれば、拘束度は溶接とは無関係で構造物固有の量であり、継手の両側に溶接線に直角方向の外力を加え、開先間隔の変化量を計測すれば、次式により実験的に測定することができる。

$$p = \frac{P}{Bt} \times \frac{1}{\delta} \quad \text{-----} \quad \text{①}$$

ただし P : 継手に加えた全外力 (kg), B : 継手全長 (mm),

t : 板厚 (mm),

δ : 平均開先間隔変化量 (mm)

本実験では外力はボルトの締めつけ力を利用することとし、継手線上5ヶ所継手の両側で溶接し

に取り付けピースをばさんでボルトを締めることにより、継ぎに引き寄せ力を加えた。引き寄せ力の大きさはボルトの軸方向にはりつた電気抵抗ひずみ計で検出した。また両先間隔の変化量は継ぎ線上18ヶ所でダイヤルゲージを用いて計測しその平均値を求めた。

3.2. 横収縮量 現地溶接による横収縮は、溶接線上18ヶ所において溶接線とまたいで標点距離をとりノギスを用いて計測した。突き合せ溶接の横収縮量は、溶接部付近の母材が溶接による局部的な加熱・冷却の熱サイクルを受けるために生じた圧縮塑性ひずみと、溶着金属そのものの収縮との合成されたものと考えられている。したがって、横収縮量計測の標点距離は母材の塑性変形部分をすべて内部に含むものでなければならないが、塑性変形部のひろがりをおおむね推定することができなかったのので、標点距離 50, 100, 250 mm で計測を行ない、計測結果より真正な標点距離を推定することにした。また拘束溶接による横収縮量と比較するために、同一溶接条件による自由収縮量を模型試験片について計測した。

3.3. Locked-in Strain 溶接による Locked-in Strain は電気抵抗ひずみ計とコンタクトゲージを併用して計測した。溶接線近傍ではひずみが急激に変化することを考慮して、溶接線より 500 mm 以内の測点ではコンタクトゲージの標点距離を 20 mm とし、500 mm 以上離れた測点では標点距離 100 mm を用いた。また溶接線近傍では鋼床板に曲げ変形が生ずることも考えられたので No.1' 継ぎでは鋼床板の表裏でひずみを計測したが計測結果からこれらの差が小さいことがわかったので、No.4' 継ぎでは表ひずみのみを計測した。

4. 計測結果およびその考察

4.1. 拘束度 拘束度の計測において加えた引き寄せ力は、鋼床板の損傷を避けるためボルト1本当り最大約7 tonにとどめた。この最大値に達するまで、引き寄せ力と両先間隔変化量の関係は直線的かつ弾性的であった。表1オ1欄に加えた最大引き寄せ力Pを、オ2欄にこの時の両先間隔平均変化量 δ を示す。このPと δ より①式によって拘束度 ν を求めると表1オ3欄に示す値となる。No.1' 継ぎの拘束度はNo.4' の拘束度と比して非常に小さい。これは、No.1' 継ぎで溶接時にウェブが接合されている部分の大きさが、No.4' 継ぎより小さいこと（前者では下部 $\frac{1}{3}$ 、後者では $\frac{2}{3}$ ）、およびNo.1' 継ぎは橋端に近く、隣接ブロックによる拘束を受けなかったためと考えられる。

表 1

	P (ton)	δ (mm)	ν (%/mm ² /mm)
No.1' 継ぎ	35.538	0.4282	0.469
No.4' 継ぎ	34.904	0.1606	1.228

$B=14.750 \text{ mm}, t=12 \text{ mm}$

4.2. 横収縮量 計測に用いた標点距離 250, 100, 50 mm のうち、250 mm と 100 mm による計測値にはほとんど差が認められなかった。しかし標点距離 50 mm による計測値は前者より小さく、標点が生じた母材の塑性変形部内にあるものと考えられる。したがって、横収縮量として標点距離 100 mm における計測値を採用することとし、全測点についての平均値を求めた。表2オ1欄に現地溶接による横収縮量 S_L を、オ2欄に模型実験により得た自由収縮量 S_{L_f} を示す。No.4' 継ぎにおける収縮量がNo.1' 継ぎにおける収縮量より大きいのは、2.に述べたようにNo.4' 継ぎの両先ルート間隔がNo.1' 継ぎよりはるかに大きく、溶着金属

表 2

	1	2	3	4
	S_L (実測値 mm)	S_{L_f} (実測値 mm)	S_L (推定値 mm)	$\bar{\sigma}_R$ (推定値 %/mm ²)
No.1' 継ぎ	2.46	2.55	2.47	115
No.4' 継ぎ	3.43	4.05	3.67	421

量および溶接入熱量が大きくなっているためである。溶接による自由収縮量 St_f と拘束度 p の関係については、仲、渡辺、木原などの実験研究²⁾によって、下記の実験式が求められている。

$$St/St_f = 1/(1 + 0.086 p^{0.87}) \quad \text{-----} \quad (2)$$

計測された拘束度 p および自由収縮量 St_f から②式によって現地溶接における横収縮量の推定値を計算すると表2オ3欄のようになる。これをオ1欄の実測値と比較するとほぼ一致し、本橋で用いた溶接法においても②式が成立すると言える。したがって、現地溶接における横収縮量 St と自由収縮量 St_f がわかれば、実験を行わずとも、②式より拘束度 p が推定できることになる。

4.3. 拘束応力 拘束応力 σ_R の大きさは、溶接後溶接線を切断したときに開放される応力の平均値に等しい。この開放切断による切断縁の開きすなわちくい違い量の平均値を Δ とすると、拘束応力 σ_R と Δ の間には、拘束度の定義により下記の関係が成立する。

$$\sigma_R = p \times \Delta \quad \text{-----} \quad (3)$$

実構造物では開放切断によるくい違い量 Δ を求めることができないが、横収縮量 St がすべりなどによるブロックの剛体移動を含まないならば、実用上平均くい違い量 Δ を平均横収縮量 St で置き換えることができる。すなわち、拘束応力 σ_R は次式であらわされる。

$$\sigma_R = p \times St \quad \text{-----} \quad (4)$$

計測された拘束度 p と平均横収縮量 St を用いて④式により拘束応力を推定すると、表2オ4欄のようになる。

平板においてはこの拘束応力が母材内部にでも均一に分布するが、本橋のような立体構造では、上記の拘束応力推定値は溶接線位置における推定値であって、溶接線より離れた部分では、ウェブ・ボトムプレートへ応力が分配されて、応力値は小さくなると考えられる。

次に、溶接によるひずみの測定値から計算した鋼床板内の応力分布を図2～図5に示す。図2および図3は鋼床板中央線上の溶接線近傍の応力分布であり、図4および図5は溶接線から10mの範囲の鋼床板の応力分布である。これらの応力は鋼床板内では2軸応力状態にあるものと考えて、次式によって計算した。

$$\sigma_L = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_L + \nu \epsilon_T) \quad \text{-----} \quad (5)$$

$$\sigma_T = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_T + \nu \epsilon_L)$$

ただし L : 橋軸方向 (溶接線直角方向)
T : 橋軸直角方向 (溶接線方向)

を示す。

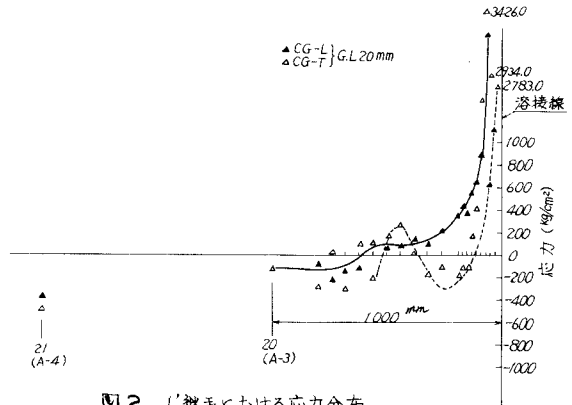


図2 1' 継手における応力分布 (A-Section)

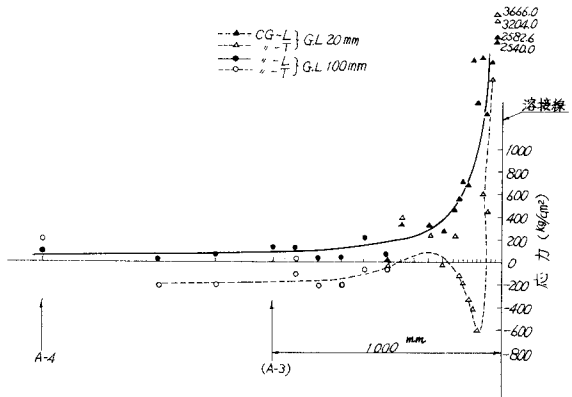


図3 4' 継手における応力分布 (A-Section)

⑤式によって計算した応力は拘束応力と残留応力が重畳した Locked-in Stress である。図からも明らかなように、溶接線から 1m 以上離れると橋軸方向の Locked-in Stress は小さな値となっている。これは、溶接線から離れることによって、橋軸方向の溶接残留応力が減少すること、および拘束応力がウェブ・ボトムプレートに再分配されるためと考えられる。また、溶接線から 100mm 以内の範囲で非常に大きな値となっているのは、この部分のひずみ測定値が塑性ひずみを含んでおり、これをすべて弾性ひずみとして計算したためである。

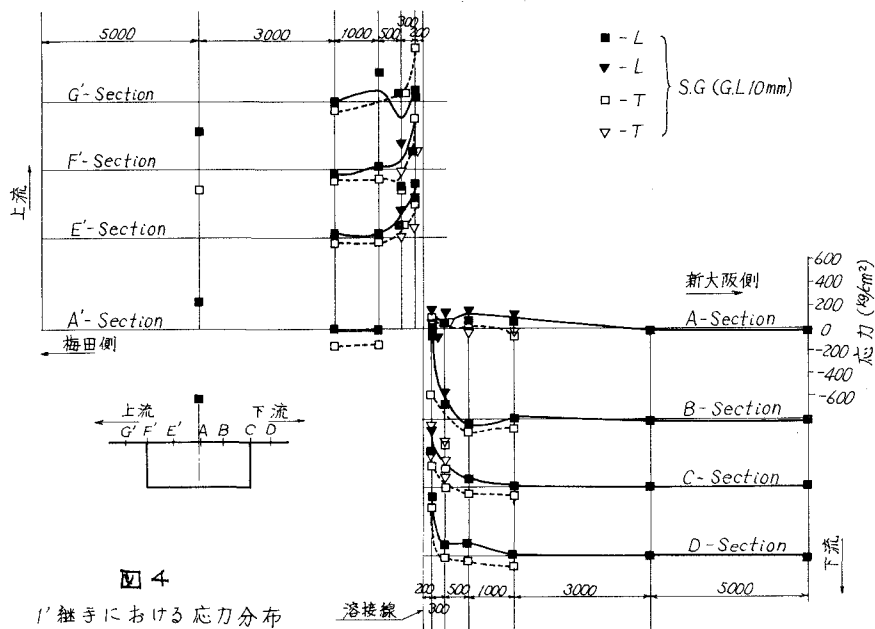


図 4
1' 継ぎにおける応力分布

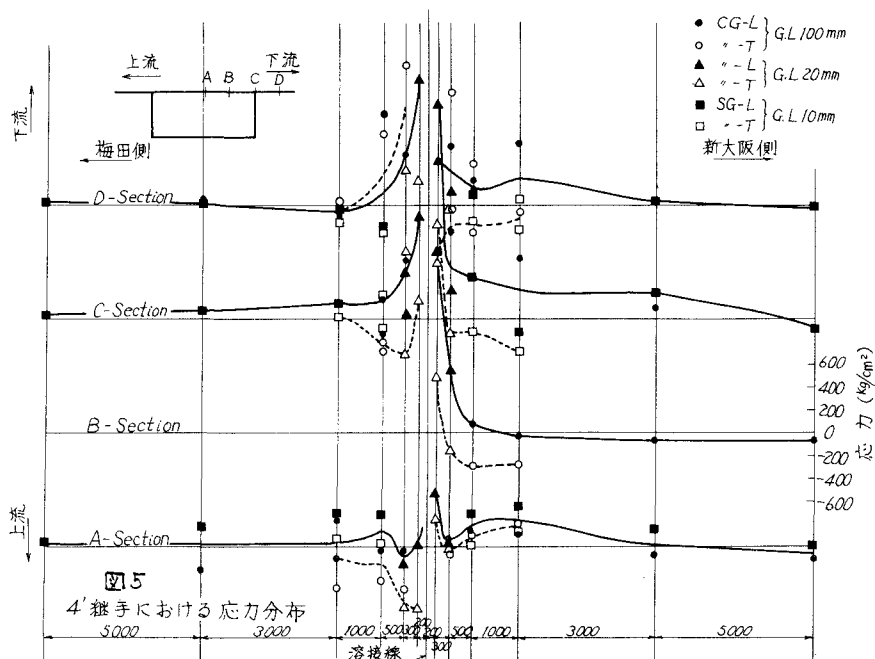


図 5
4' 継ぎにおける応力分布

5. 結言 本橋に用いられた架設法によれば拘束度は小さく、また溶接線から離れた部分の Locked-in Stress も小さな値となることが実験により確かめられた。また、今回明確にできなかった溶接線近傍の応力状態のはっきり、さらにこれらが継ぎの疲れ強さにおよぼす影響などについても研究を進める予定である。

参考文献 (1) 渡辺他：船体ブロック溶接継ぎの拘束度ならびに収縮，造船協会論文集 vol. 104 (昭 33) (昭 34)
(2) Researches on Welding Stress and Shrinkage Distortion, SNAI 60th Anniversary Series vol. 4