

高力ボルト溶接併用継手における高力ボルトに対する溶接の影響

Effect of Welding on a Joint in which High-Strength Bolts Are Used in Combination with Welding

鳴 沢 明 雄* 中 野 秀 二** 大 月 真 一***
Akio NARUSAWA Shuji NAKANO Shinichi OHTSUKI

Summary

Tests on full-scale specimens revealed that in joints in which highstrength bolts are used in combination with welding, a technique which has become common recently for the field joining of columns and beams, welding heat causes a loss of axial tension in the bolts. Accordingly, tests will be conducted on more specimens to understand the influence of this phenomenon on whole structures and to establish countermeasures.

1. はじめに

純鉄骨構造の柱-梁の現場継手は、従来高力ボルト摩擦接合であったが溶接技術の向上、溶接材料、機器の進歩によりここ十数年来フランジを溶接、ウェブを高力ボルト摩擦接合の併用継手が主流となってきた。

この現場継手は、施工に当たりウェブ面の高力ボルト本締め後、下フランジ・上フランジの順に溶接を行っている。これは拘束状態で溶接することとなりウェブ面の高力ボルト軸力に影響を与えるものと思われる。又溶接のために明けるスカラップも、下フランジ側はかなりの断面欠損になっており、このスカラップの影響も考えて実際の継手の試験体を用いて、その挙動を確認したものである

2. 試験体

試験体の柱は梁接合部分を□-400*400*19*19 (SM490) とし、両端をBH-400*400*25*35 (SM490)、梁はBH-500*250*9*19 (SM490) 及びRH-500*250*9*19 (SM490) を用いた。試験体の種類を表-1に、試験体の形状と寸法を図-1に、梁継手部の詳細を図-2にしめす。

表-1 試験体の種類と名称

試験体	梁	スカラップ
No. 1	BH-500×250×9×19 (SM490A)	有
No. 2		無
No. 3	RH-500×250×9×19 (SM490A)	有
No. 4		無

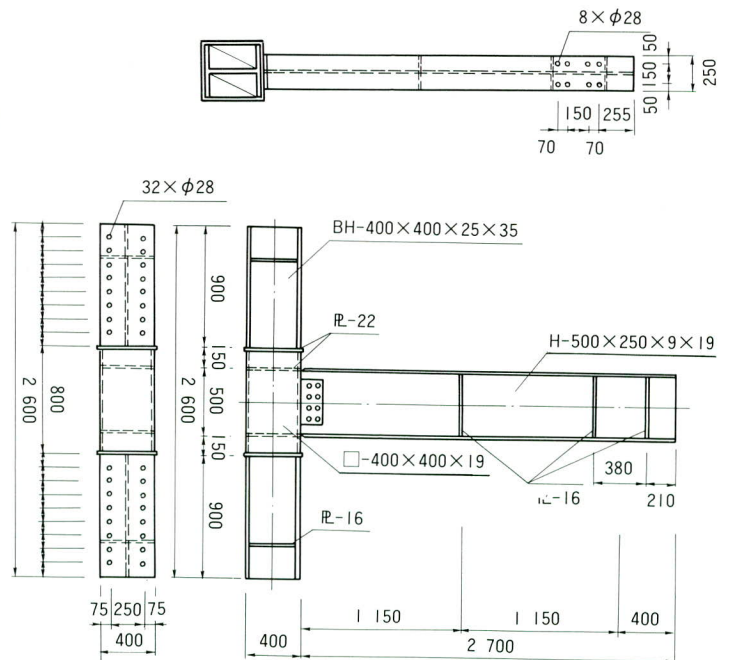


図-1 試験体の形状・寸法

* 松本工場製造部生産技術課課長
 ** 松本工場製造部生産技術課課長代理

*** 松本工場製造部生産技術課副主任

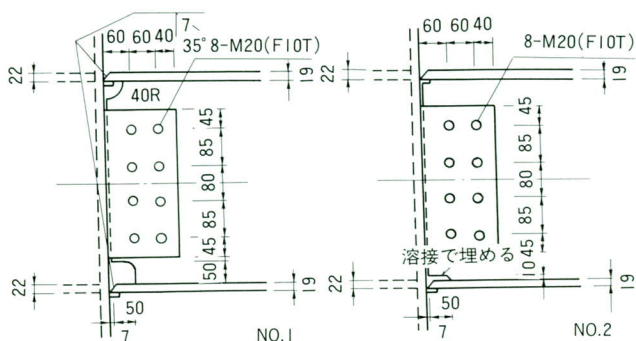


図-2 梁継手部の詳細

3. 実験方法

柱と梁を写真-1の様固定してから梁ウェーブ面の高力ボルトをトルクコントロール法により締め付ける。

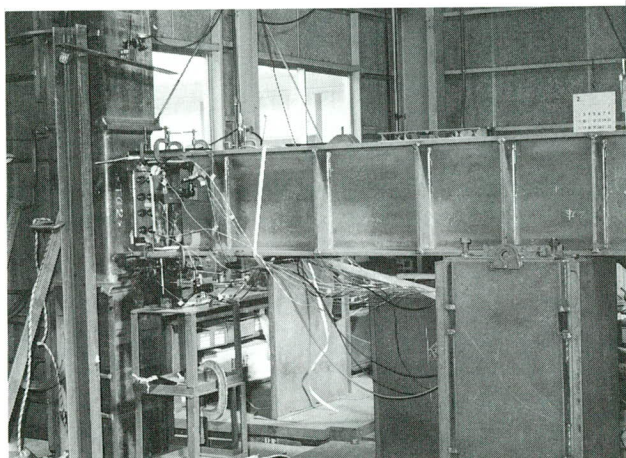


写真-1 試験体固定状況

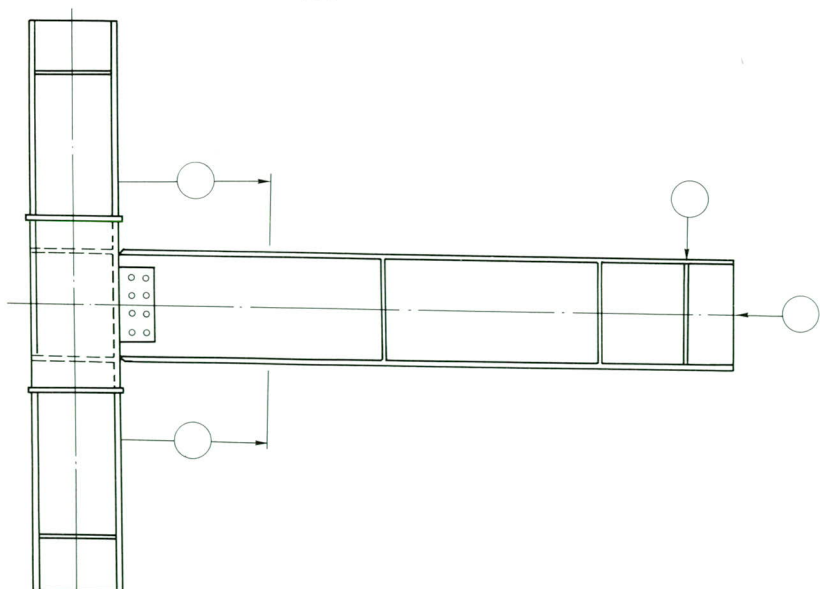


図-3 変位計セット位置

最初にトルクレンチでトルク $1500\text{kg}\cdot\text{cm}$ で内側のボルトの上より下、外側のボルトの上より下の順で一次締めを行った。次に標準ボルト張力 18.2t に相当する $4840\text{kg}\cdot\text{cm}$ のトルクで二次締めを一次締めと同じ方法により行った。締め付け完了後炭酸ガス半自動溶接により梁下フランジ、上フランジの順に溶接をして完了とした。

4. 測定方法

変形、歪、温度について測定を行った。変形については、梁の縮み、角変形を測定し図-3に変形測定計のセット位置を示す。歪は継手部近傍の梁フランジ、ウェブ、ガセットと高力ボルトの軸力を測定するため、一方向ゲージ17枚、二方向ゲージ2枚、三方向ゲージ3枚、ボルト軸力ゲージ8枚計30枚を用いた。温度は梁上、下フランジの溶接線に近い位置とボルト4本を測定した。図-4に歪ゲージ貼付位置と熱伝対セット位置を示す。その状況を写真-2に示す。

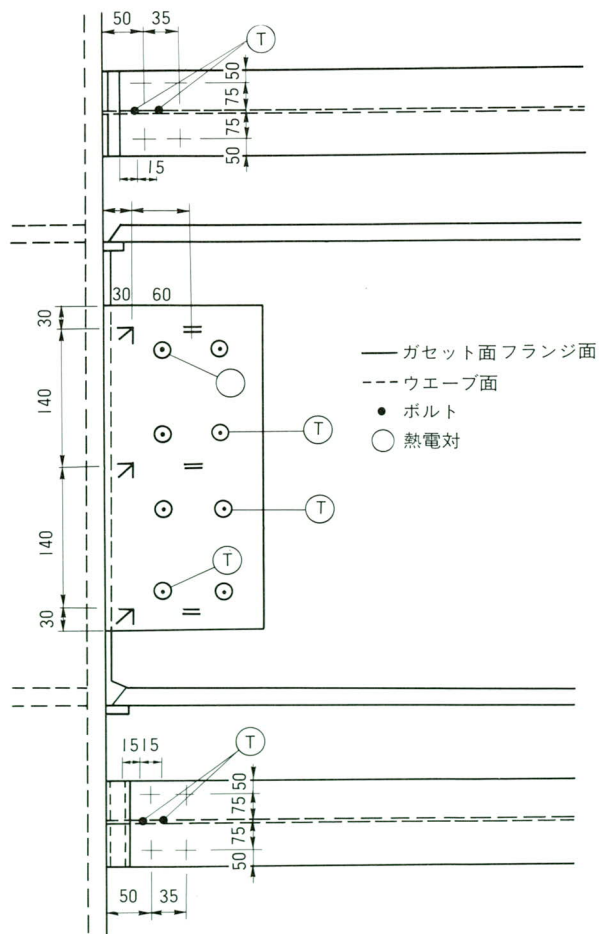


図-4 歪ゲージ貼付位置と熱電対セット位置

表-2 軸力測定結果

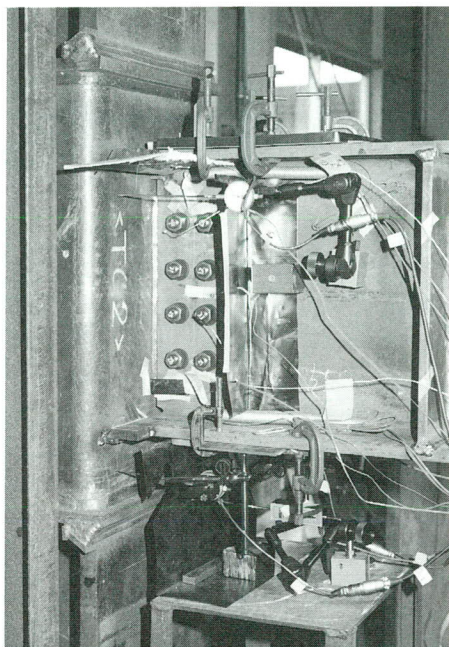


写真-2 測定状況

5. 実験結果

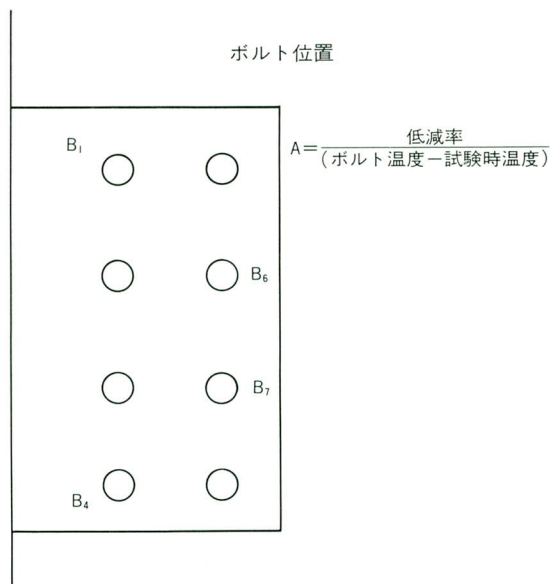
梁ウェブの高力ボルト本締め後フランジを溶接することにより、高力ボルト摩擦接合の耐力すなわち高力ボルトの軸力に及ぼす影響は、実験結果より時間が経過するにつれて低下しているのがわかる。表-2に60分までの軸力測定結果をしめす。これによると軸力は全体的に溶接開始直後より上昇し、ボルトの温度が上昇するにつれて下がりボルトの温度が最高になった時点から軸力低下の傾向は小さくなる。その状態を図-5に示す。これは溶接熱によりウェブが膨張しその反力としてボルト軸力が上昇しているもの推察される。ウェブに伝わった熱は座金を通じてボルト軸部にも伝わりボルトが線膨張する。それまでウェブの膨張で張りつめていた軸力がボルトの膨張につれて低下する。その量はボルト伝わった温度によって高い時は軸力低下が大きく、低い時は小さい。言いかえればボルトに伝わった最高温度で軸力低減が決まってしまうと言える。図-6にNo.3、No.4の試験体のボルトの最高温度と熱の影響が安定した60分後の低減率をしめす。

No.1 スカラップ有													
ボルト	導入軸力	軸力変化 μ						低減率 %					
		下フランジ 溶接終了後	上フランジ 溶接終了後	30分後	60分後	600分後	下フランジ 溶接終了後	上フランジ 溶接終了後	30分後	60分後	600分後		
B1	2870	2873	2737	2442	2298	2207	100.1	95.4	85.1	80.1	76.9		
B2	2829	2827	2718	2498	2470	2416	99.9	96.2	88.3	87.3	85.4		
B3	2873	2877	2604	2525	2490	2428	100.1	90.6	87.9	86.7	84.5		
B4	2844	2833	2517	2466	2420	2147	99.6	88.5	86.7	85.1	75.5		
B5	2900	2897	2874	2460	2328	2267	99.9	99.1	84.8	80.3	78.2		
B6	2870	2890	2947	2857	2640	2311	100.7	102.7	99.5	91.9	80.5		
B7	2884	2918	2841	2711	2574	2307	101.2	98.5	94.0	89.2	80.		
B8	3046	3040	2511	2488	2466	2087	99.8	82.4	81.7	80.9	75.1		

No.2 スカラップ無													
ボルト	導入軸力	軸力変化 μ						低減率 %					
		下フランジ 溶接終了後	上フランジ 溶接終了後	30分後	60分後	600分後	下フランジ 溶接終了後	上フランジ 溶接終了後	30分後	60分後	600分後		
B1	2875	2906	2865	2453	2248	2171	101.1	99.6	85.3	78.2	75.5		
B2	3010	3140	3177	3115	2640	2506	104.3	105.5	103.5	87.7	83.3		
B3	2752	2914	2694	2588	2344	2257	105.9	97.9	94.0	85.2	82.0		
B4	2877	2793	2509	2402	2198	2127	97.1	87.2	83.6	76.4	73.9		
B5	2814	2826	2788	2577	2293	2085	100.4	99.1	91.6	81.3	74.1		
B6	2825	2861	2841	2739	2469	2353	101.2	105.6	96.9	87.4	83.2		
B7	2870	2983	2852	2698	2499	2351	103.9	98.4	94.0	87.0	81.9		
B8	2777	2695	2462	2443	2118	2036	97.0	88.7	87.9	76.3	73.3		

No.3 スカラップ有													
ボルト	導入軸力	軸力変化 μ						低減率 %					
		下フランジ 溶接終了後	上フランジ 溶接終了後	30分後	60分後	600分後	下フランジ 溶接終了後	上フランジ 溶接終了後	30分後	60分後	600分後		
B1	2790	2823	2823	2310	2266	2201	101.2	101.2	82.8	81.2	78.9		
B2	2610	2742	2864	2867	2519	2120	105.1	109.7	109.8	96.5	81.2		
B3	2698	2847	2841	2625	2396	2180	105.5	105.3	97.3	87.1	80.8		
B4	2752	2663	2445	2228	2220	2097	95.7	88.8	80.4	80.4	76.1		
B5	2823	2885	2818	2773	2415	2193	102.2	98.8	98.2	85.5	77.7		
B6	2657	2677	2667	2663	2314	2151	100.8	100.4	100.2	90.8	81.6		
B7	2672	2692	2620	2600	2426	2181	100.7	98.1	97.3	88.8	81.0		
B8	2667	2645	2323	2184	2172	2044	99.6	87.1	81.9	81.4	76.6		

No.4 スカラップ無													
ボルト	導入軸力	軸力変化 μ						低減率 %					
		下フランジ 溶接終了後	上フランジ 溶接終了後	30分後	60分後	600分後	下フランジ 溶接終了後	上フランジ 溶接終了後	30分後	60分後	600分後		
B1	2763	2803	2633	2614	2420	2094	101.4	95.3	94.6	87.6	75.8		
B2	2787	2914	2982	2879	2519	2346	104.5	106.9	103.3	90.4	84.2		
B3	2741	2858	2715	2678	2461	2305	104.2	99.1	97.7	89.8	84.1		
B4	2790	2707	2445	2486	2324	2053	97.0	87.6	89.1	83.3	73.6		
B5	2833	2871	2846	2701	2327	2116	101.3	100.4	95.3	82.1	74.7		
B6	2807	2883	2856	2779	2521	2324	102.7	101.7	99.0	89.8	83.4		
B7	2655	2740	2519	2383	2304	2131	103.2	94.9	89.8	86.8	80.3		
B8	2714	2605	2455	2433	2208	1955	95.9	90.5	89.6	81.3	72.0		



NO.3、NO.4のボルトの温度と60分後の低減率

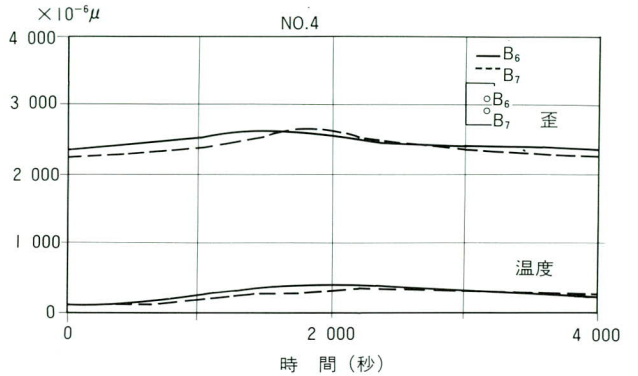
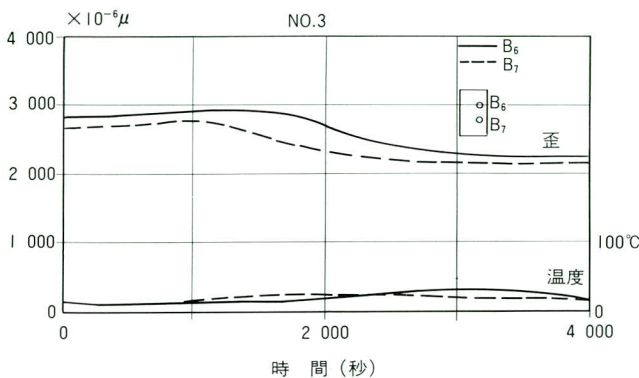
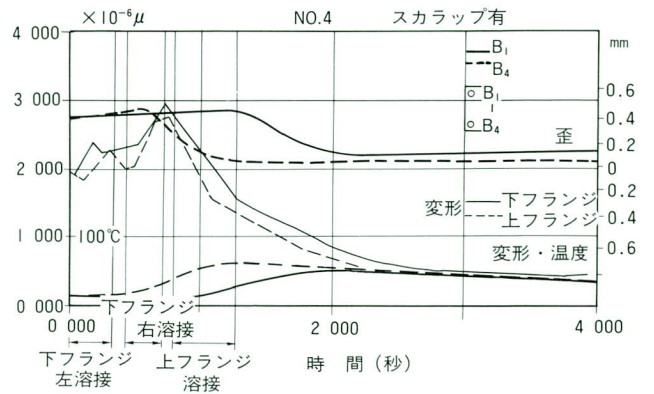
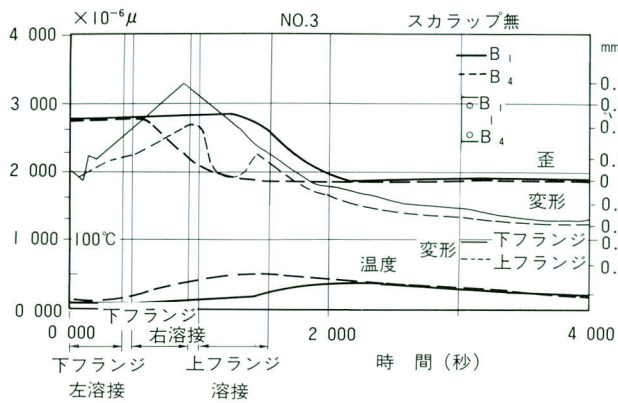


図-5 No. 3、No. 4 試験体のB1、B4、B6、B7の温度、軸力と梁の変位置

今回全てのボルトについて温度測定しなかったのが詳細は不明であるがボルトの温度と軸力低下の関係については何らかの相関があると思えるので引き続き実験をすることにする。梁の変位は図-5に示して有るがこの時の梁のウェブの歪とガセットの歪を図-7、図-8に示す。これによるとウェブの歪は溶接が開始されると溶接に近い方が急激に引っ張り力が働き溶接が終了すると圧縮力が働きはじめる。又ガセットはウェブの歪を拘束するためウェブと逆の状態を示している。歪の変化が少なくなり始めた60分後のウェブとガセットの歪を比べてみるとほぼ同じくらいで相対しているが差は継手に残留応力として残っているものと思われる。

スカルップによる影響としてはボルトに伝わる熱はス

No. 3 (スカルップアリ)			No. 4 (スカルップナシ)		
	ボルトオンド	テイゲンリツ		ボルトオンド	テイゲンリツ
B1	67.7	81.2%	B1	75.5	87.6%
B6	36.0	90.8	B6	40.2	89.8
B7	37.1	88.8	B7	45.5	86.8
B4	71.3	80.4	B4	79.8	83.3

図-6 No. 3、No. 4 試験体のボルト温度と60分後の低減率

カルップ無しの方が高くそれに伴い軸力の低下も大きくなっている。又ウェブとガセットの歪はスカルップ有りの方が大きい値を示している。溶接による収縮量はスカルップ有りの方が0.8mm、スカルップ無し0.4mmとなっている。

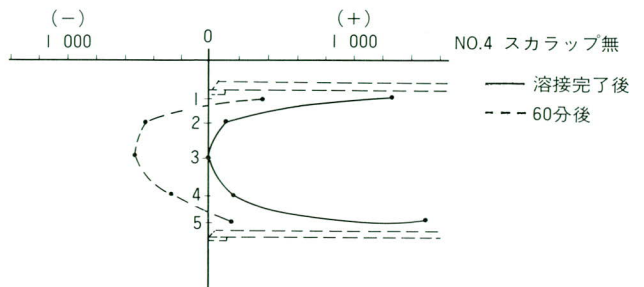
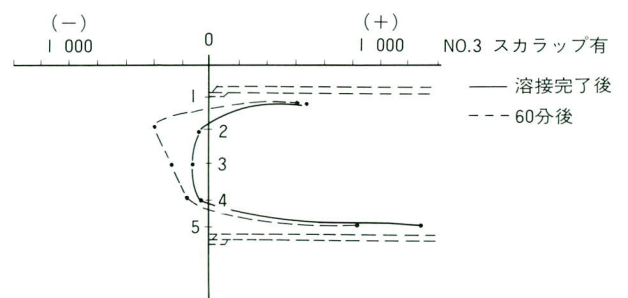


図-7 ウェブの歪

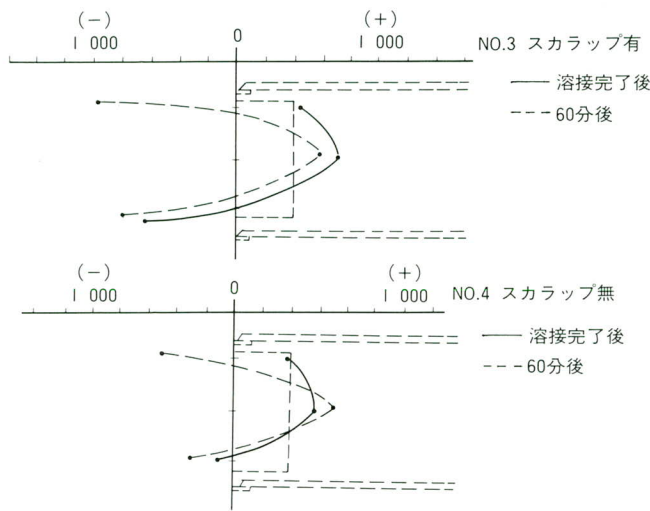


図-8 ガセットの歪

6. 考察

柱-梁の現場溶接を想定して実大試験体により高力ボルト摩擦接合部に対しフランジ溶接の及び、スカラップの有無による影響についてボルト軸力、温度、接合部の歪、及び収縮を測定した。これらより得られた結果をまとめてみると次ぎのようになる。

1) 溶接熱により高力ボルトに伝わった温度が高いほどボルト軸力は大きく低下している。これは溶接熱がウェブに伝わりボルトに伝わる時、溶接圧がそれぞれの膨張過程で一致していないために起こったものと思われる。この現象を解明するためにロードセルに高力ボルトを $2800 \times 10^{-6} \mu$ で締め付けて、恒温槽で常温から 100°C までのボルトの軸力変化を連続3回繰り返し測定した。その記録を図-9に示す。

これによると最初の1回目は、実験と同じ温度が上がると軸力が下がる現象を示した。温度が下がっても軸力は回復せず2回目以降は温度が上がると軸力も上がる膨張現象を示した。ロードセルも同じ現象を示した。これ

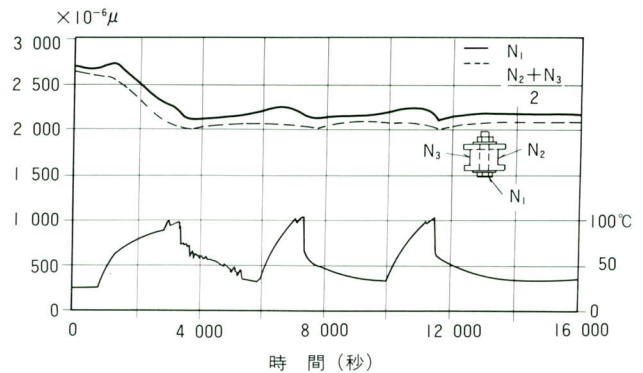


図-9 恒温槽での軸力変化

では解明に結びつかないので今後この現象をもとに追加実験をすることにして結論は次回にする。

2) スカラップの有無、無しが及ぼす影響は、スカラップ無しの時有り比べて溶接による収縮は小さく又ウェブとガセットとの残留応力も小さい。反面熱伝導が良いため高力ボルトの温度が高く軸力低下が大きくなっている。

3) 今回行った実験で全試験体の軸力は60分経過後で標準ボルト張力の平均で21%低下している。特に溶接に近いフランジ側のボルトは低下が大きい。

7. 結び

柱-梁の現場溶接継手に用いられる溶接、摩擦接合の併用継手で溶接すると高力ボルトの軸力が低下することが判った。しかし試験体数が4体と少ないうえ、温度測定点数が足りなかった等の問題もあり軸力低下の原因を究明出来ていない。今回行って不足しているデータ、解明されていない事を基に次回再度この実験を続けたい。尚この実験体は信州大学、中込研究室に於いて「鋼構造柱梁溶接接合部の繰り返し曲げ実験」の内の現場溶接接合部梁端の力学的性状について実験されることになっている。