

誤穿されたボルト孔を溶接補修した部材の力学的特性

鈴木 博 之*

Mechanical Behavior of Members Repaired Misdrilling Bolt Holes by Welding

Hiroyuki SUZUKI

This paper describes the results of tensile tests and residual stress measurement of specimens redrilled bolt holes after repair of misdrilling holes by welding. And macro-view of the weld zone is shown. The specimens are repaired by welding under two loading conditions. One is under tensile load equivalent to stress of 140MPa on the net section of the specimens. Repair of existing structures is supposed in this condition. Another is no load. Shop fabrication is supposed in this condition.

1. はじめに

鋼橋の製作工程におけるボルトの孔加工法には大別して後孔工法と先孔工法の2種類があり、先孔工法はさらにサブサイズ先孔工法とフルサイズ先孔工法の2種類に分類される¹⁾。工法の如何にかかわらず、仮組み時に「24.5mmの基準孔径に対して、23mmの貫通ゲージが100%貫通すること」という規定を満たさないボルト孔には、リーマによる整孔作業を必要とする²⁾。しかし、整孔すると過大孔になることがあり、これはこれで孔埋め、明け直しという手直しが要求される。

一方、既存鋼橋の補修・補強にもボルト継手を用いられることが多い。溶接継手を用いると、荷重作用下で既存橋梁に熱を加えることになり、さらに、施工環境の悪さゆえ溶接継手が新たな応力集中源になる可能性があるため、既存鋼橋の補修・補強において、溶接は避けられる傾向にある。ところが、補修・補強における孔明け作業においても、十分な作業空間が確保できない、既存部材が変形している、正確なマーキングができない等の理由により正確に孔明けできないことがある。また、同じようなディテールが連続している構造の補修・補強においては孔明けを誤った位置にしてしまうことがないわけではない。このような場合には、既存橋梁に熱を加えることを避ける傾向にあるとはいえ、溶接による孔埋め、明け直しという手直しを必要とする。

ところで、橋梁製作においてボルト孔の手直しはないというたてまえになっているので、リーマ通しによって過大になったボルト孔を溶接により埋め戻し、再孔明けした部材の力学的性能に

*建設工学科 土木工学専攻

について検討する必要はないことになる。それ故、これに関して公表されたデータは未だないようである。また、補修・補強において正確に孔明けされなかったボルト孔の処理方法に関する報告もないようである。

本研究では、新規の構造物の製作を想定し、荷重が作用していない状態でボルト孔を溶接により埋め戻し、再孔明けした部材の静的引張挙動を実験的に検討する。また、既存橋梁の補修・補強を想定し、引張荷重作用下でボルト孔を溶接により埋め戻し、再孔明けした部材の静的引張挙動についても検討する。

2. 実験条件

試験片の分類を図1に示す。比較のため素材(PN)、素材の孔明き材(PA)、素材の孔明き材に付

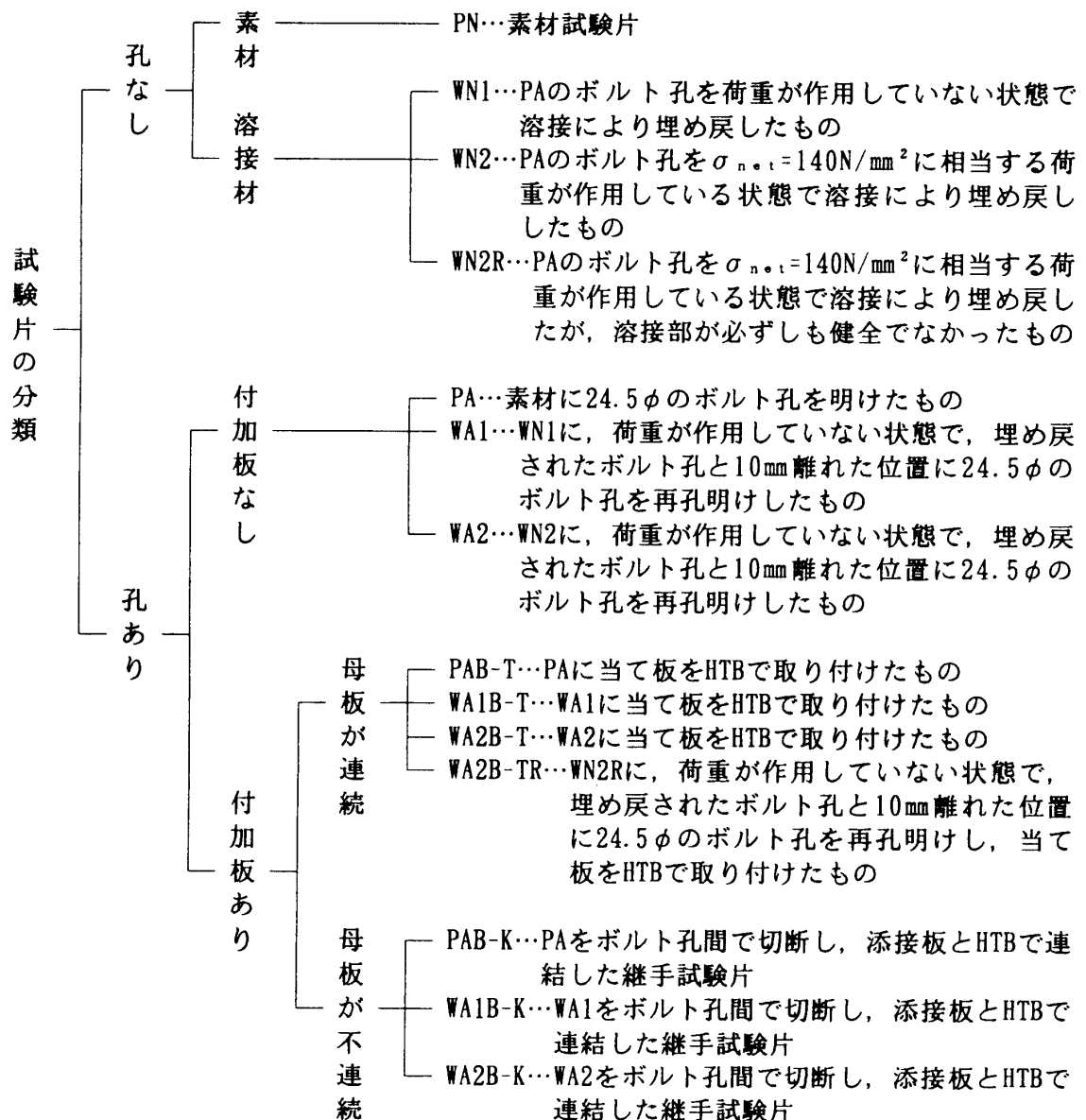


図1 試験片の分類

加板をボルト締めしたもの(PAB-T, PAB-K)についても実験を行った。ここに、カッコ内は試験片記号であり、以下においても同じように示す。ボルトはF10T, M22を使用し、軸力はボルトの軸部に貼付したひずみゲージにより管理した。導入軸力は設計ボルト軸力201Nの10%増しの221Nである。WN1, WN2, WA1, WA2についてはマクロ試験ならびに残留応力の測定(WN1M, WN2M, WA1M, WA2M)も行った。

3. 試験片の作成

試験片形状を図2に示す。試験片に使用した鋼材は板厚12mmのSM490Aであり、機械的性質ならびに化学成分を表1に示す。

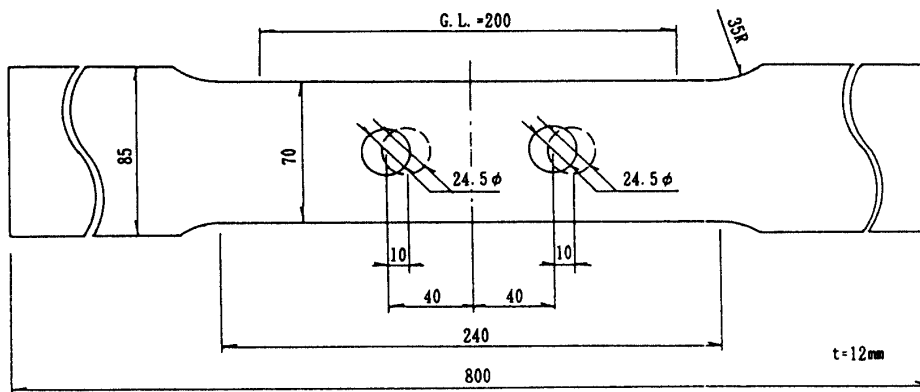


図2 試験片形状

表1 機械的性質および化学成分

機 械 的 性 質			化 学 成 分 (%)				
降 伏 点 N/mm ²	引 張 強 さ N/mm ²	伸 び %	C × 100	Si × 100	Mn × 100	P × 1000	S × 1000
358	507	26	15	38	140	13	3

最初に、所定の形状に切り出した鋼板に荷重が作用していない状態で図2に破線で示すように24.5φのボルト孔を明ける。次に、荷重が作用していない状態あるいは純断面の応力が $\sigma_{n.t.} = 140\text{N/mm}^2$ となる荷重が作用した状態で、ボルト孔を溶接により埋め戻す。WNシリーズはこれで完成となる。

WAシリーズについては、ボルト孔を埋め戻した試験片に荷重が作用していない状態で24.5φのボルト孔を明け直す。このボルト孔は、図2に実線の円で示すように、溶接で埋め戻されたボルト孔と10mmずれた位置に明ける。

このようにボルト孔を再孔明けした試験片に、当て板を高力ボルトで取り付けした試験片も作製した。比較のために、素材に24.5φのボルト孔を明けたPAに当て板を高力ボルトで取り付けした試験片も作製した。母板と当て板の接触面にはブラスト処理を施し、高力ボルトは荷重が作用して

いない状態で締め付けた。

また、ボルト孔が再孔明けされた試験片において、道路橋示方書で規定されているすべり係数が確保されるものかどうかを確認するために、ボルト孔間を切断し、添接板を高力ボルトで取り付けた継手試験片も作製した。比較のために、素材に24.5φのボルト孔を明けたPAについても同様の継手試験片を作製した。母板と添接板の接触面にはブラスト処理を施した。これらの継手試験片の高力ボルトは荷重が作用していない状態で締め付けた。

4. 実験方法

引張試験には容量100 tの万能試験機を使用した。ゲージ長は200mmである。マクロ試験の腐食液にはナイトールを使用した。残留応力の測定は切断法によった。ひずみゲージ貼付位置を図3に示す。

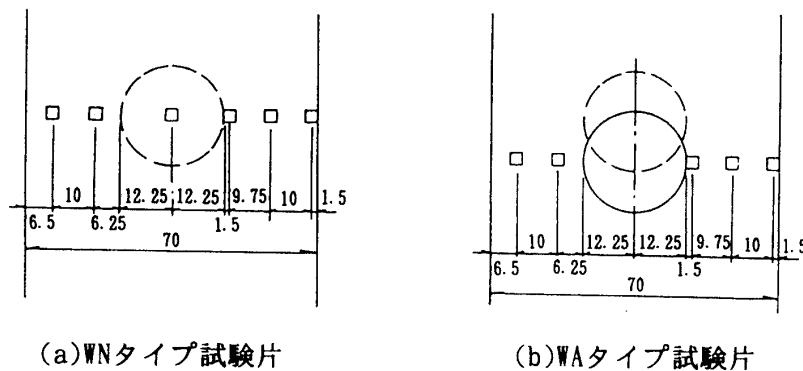


図3 ひずみゲージ貼付位置

5. 実験結果および考察

5.1 引張試験

図4はPN, WN1およびWN2の応力-ひずみ曲線である。WN1, WN2の一樣伸びはPNより2.5~5%程度小さいが、引張強さはPNにほぼ等しくなっている。したがって、純断面の応力が $\sigma_{n.s.}=140\text{N/mm}^2$ 以下である引張荷重作用下でボルト孔を溶接で埋め戻された部材の引張強度は、荷重が作用していない状態でボルト孔を溶接で埋め戻された部材の引張強度と差がなく、溶接部が健全であれば、素材の引張強度とほとんど変わらないといえる。

図5はPA, WA1ならびにWA2の応力-ひずみ曲線である。縦軸は純断面における公称応力である。WA1とWA2はほぼ同じ曲線を示しており、PAと変わらない応力-ひずみ曲線となっている。

図6はPAとWN2Rの応力-ひずみ曲線である。PAの応力は純断面における公称応力である。PAの引張強さ、一樣伸びは、それぞれWN2Rの約1.5, 2倍の値を示しており、溶接部が必ずしも健全でない場合は溶接を行わない場合より強度、変形能ともに低下することがわかる。これは、円孔を溶接埋め戻した時に未溶着部が生じ、この未溶着部の先端半径は元の円孔の半径よりも小さく、したがって、切欠きというよりも亀裂状の欠陥となったために、強度、変形能が低下したもので

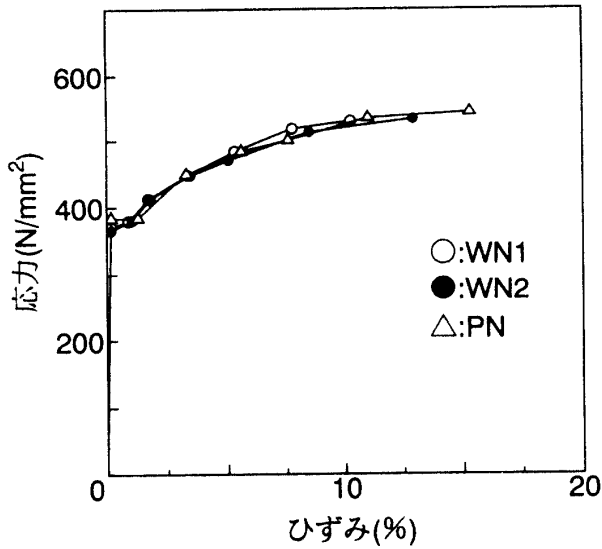


図4 PN, WN1, WN2の応力-ひずみ曲線

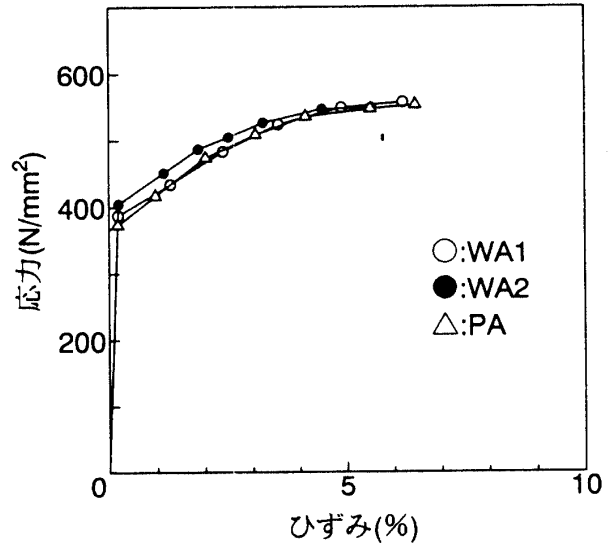


図5 PA, WA1, WA2の応力-ひずみ曲線

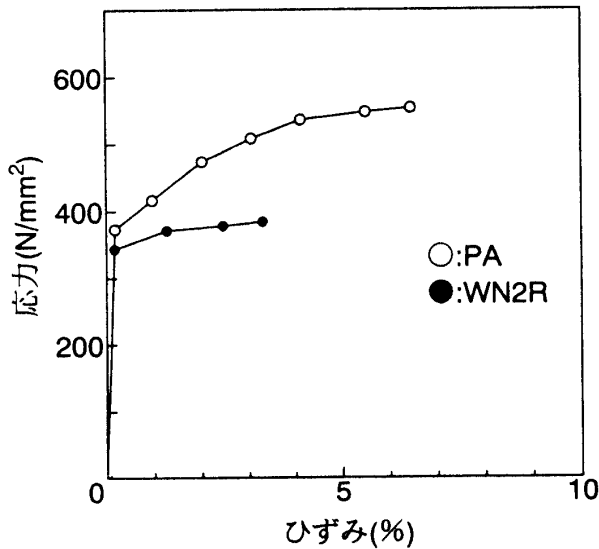


図6 PA, WN2Rの応力-ひずみ曲線

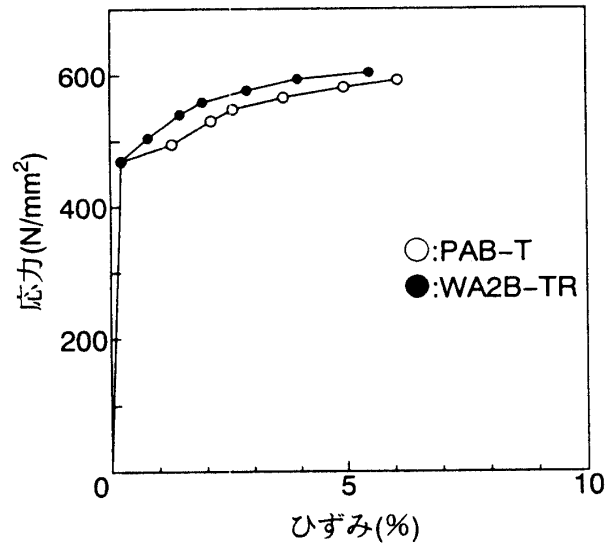


図7 PAB-T, WA2B-TRの応力-ひずみ曲線

ある。以上より、実橋において、もし溶接埋め戻し部の品質が確保されないならば、溶接埋め戻しをしない方がよいことがわかる。

図7はPAB-TとWA2B-TRの応力-ひずみ曲線である。縦軸は純断面における公称応力である。WA2B-TRの方がPAB-Tより引張強さがわずかに大きく、一樣伸びが若干小さいように思われるが、これらは有為な差異とは認められず、ほぼ同一の曲線とみなし得る。したがって、純断面の応力が $\sigma_{n.t} \leq 140 \text{ N/mm}^2$ である引張荷重作用下でボルト孔を溶接により埋め戻したときに、溶接部が必ずしも健全でなかった部材においては、埋め戻されたボルト孔の近傍にボルト孔を再孔明けし、当て板を高力ボルトで取り付けることによって、素材に当て板を高力ボルトで取り付けた部材と同程度の強度が得られることがわかる。これは、部材に当て板を高力ボルトで取り付けると、当初は、摩擦力により当て板に荷重が伝達され、円孔付近の応力が緩和されるため、ならびに孔の

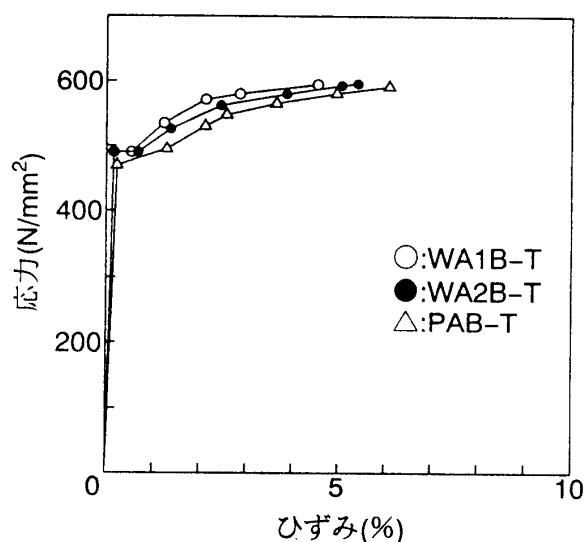


図8 PAB-T, WA1B-T, WA2B-Tの応力-ひずみ曲線

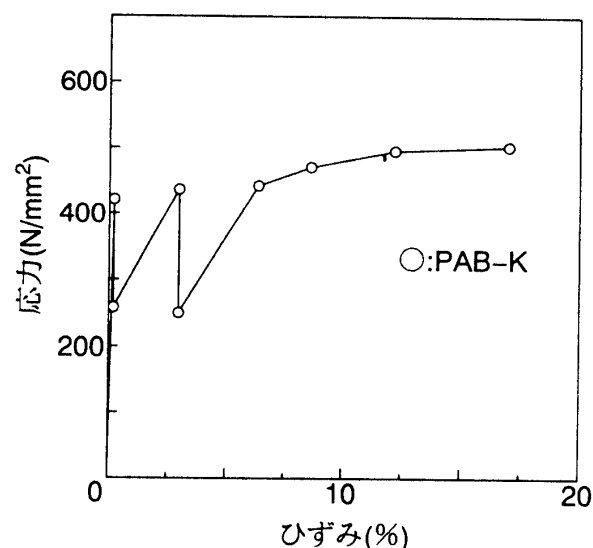


図9 PAB-Kの応力-ひずみ曲線

周辺に板厚方向の圧縮応力が導入され、孔の周辺が三軸応力状態となるためであり、さらに、荷重の増加に伴って、母板の塑性変形が進行し、摩擦力により荷重が伝達されなくなった後は、ボルト軸部のせん断抵抗および材片孔壁とボルト軸部間の支圧抵抗によって外力に抵抗するためである。

図8はPAB-T, WA1B-T, WA2B-Tの応力-ひずみ曲線である。縦軸は純断面における公称応力である。PAB-TとWA1B-Tのひずみに若干の差異があるが、これは有意差とは認められず、ボルト孔を溶接によって埋め戻し、埋め戻されたボルト孔の近傍に新たな部材を高力ボルトで取り付ける場合、純断面の応力が $\sigma_{n.t} \leq 140 \text{ N/mm}^2$ の荷重作用下であれば、作業後の部材の引張強度の点からは、作業中、作用荷重を低減する必要はないと言える。

図9はPAB-Kのすべり試験結果である。縦軸は純断面における公称応力である。すべり係数 μ は次式によって計算される。

$$\mu = \frac{\rho_s}{N \times j} \quad (1)$$

ここに、 ρ_s はすべり荷重、 N はボルト軸力、 j は摩擦面の数

(1)式にPAB-Kの実験結果($\rho_s=236\text{N}$, $N=221\text{N}$, $j=2$)を代入すると、すべり係数

$$\mu = 0.53 \quad (2)$$

が得られ、これは設計上のすべり係数($\mu=0.4$)を満足している。

図10はWA1B-KとWA2B-Kのすべり試験結果である。縦軸は純断面における公称応力である。WA1B-KとWA2B-Kの挙動に有意差は認められない。いずれの試験片もすべりは221Nで生じたので、式(1)を用いてすべり係数を求めると、

$$\mu = 0.45 \quad (3)$$

となり、これは設計上のすべり係数($\mu=0.4$)を満足している。

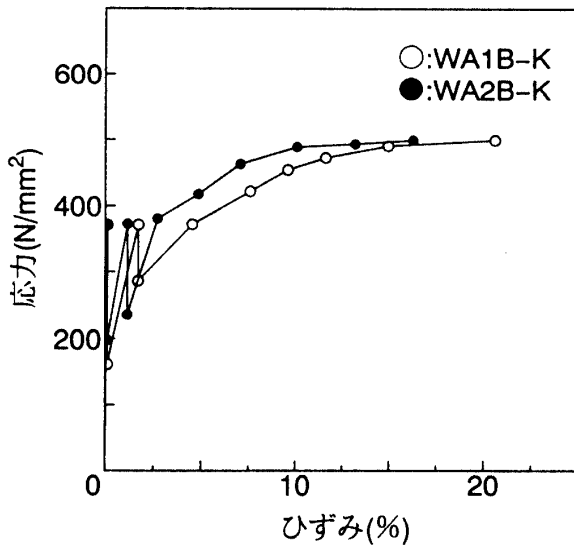


図10 WA1B-K, WA2B-Kの応力-ひずみ曲線



写真1 WN1Mのマクロ写真

5.2 マクロ試験

試験片表面のマクロ試験結果の一例を写真1に示す。WA2Mは健全であったが、WN1M, WN2M, WA1Mでは表面に不具合が観察された。この不具合は軽微であり、引張試験結果に影響を与えるほどではないものと判断されたが、疲労には影響があると考えられるので、今後、疲労に関する検討を行う必要がある。

5.3 残留応力測定

残留応力測定結果を図11に示す。図3に示すように、測定個所は、いずれの試験片においても長手方向中心線の両側で測定したが、図11では、横軸に長手方向中心線からの距離をとり、長手方向中心線の両側のデータをまとめて示してある。

WN1M, WN2MならびにWA1M, WA2Mのどちらにおいても、残留応力はWN2M, WA2MよりWN1M, WA1Mの方が大きかった。WN2M, WA2Mは、荷重を除荷した状態でひずみゲージを貼付し、試験片を切断したために、作用荷重の除去に伴い、板幅にわたって均等に作用荷重に相当する応力分だけ弾性的に低下した状態を測定したことになる。

したがって、除荷前における残留応力分布は図11の測定結果を板幅にわたって除荷した応力に相当する分だけ均等に引張側にシフトしたものとなる。

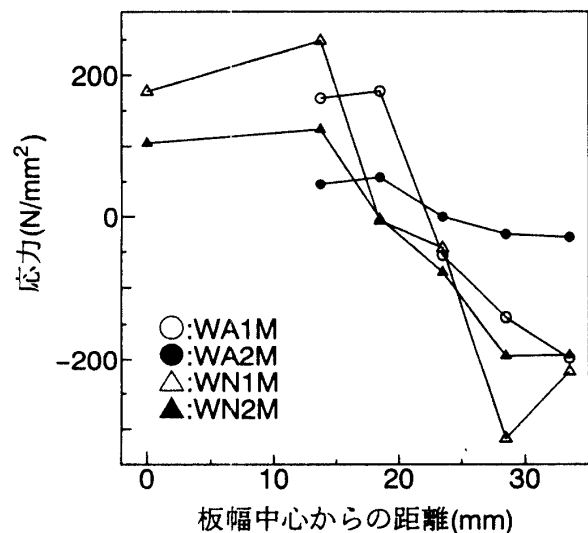


図11 残留応力測定結果

6. まとめ

本研究の結果は以下の通りである.

- (1) 純断面の引張応力が $\sigma_{n.t}=140\text{N/mm}^2$ 以下である荷重作用下でボルト孔を溶接で埋め戻された部材の引張強度は、荷重が作用していない状態で埋め戻された部材の引張強度と違いはなく、さらに、溶接部が健全であれば、素材の引張強度とほとんど変わらなかった.
- (2) 溶接埋め戻し部の品質が確保されない場合には、溶接埋め戻しをしてはならない.
- (3) 純断面の引張応力が $\sigma_{n.t}=140\text{N/mm}^2$ 以下である荷重作用下でボルト孔を溶接で埋め戻したときに、溶接部が必ずしも健全でなかった部材においては、埋め戻されたボルト孔の近傍にボルト孔を再孔明けし、当て板を高力ボルトで取り付けることによって、素材に当て板を高力ボルトで取り付けた部材と同程度の強度が得られた. しかしながら、この結果は、当然、溶接部の不具合の程度に依存する. したがって、実橋においては、十分な施工試験を行い、溶接部の健全性を確保できるように万全を期すべきである.
- (4) ボルト孔を溶接によって埋め戻し、埋め戻されたボルト孔の近傍に新たな部材を高力ボルトで取り付けようとする場合、純断面の引張応力が $\sigma_{n.t}=140\text{N/mm}^2$ 以下であれば、作業後の部材の静的引張強度の点からは、作業にあたって荷重を低減する必要はない.
- (5) 純断面の引張応力が $\sigma_{n.t}=140\text{N/mm}^2$ となる荷重作用下でボルト孔を溶接により埋め戻し、埋め戻されたボルト孔と10mm離れた位置に24.5φのボルト孔を再孔明けした部材から作製した継手試験片のすべり係数は、設計上のすべり係数($\mu=0.4$)を満足していた.

参考文献

- 1) 日本鋼構造協会；鋼構造物における孔加工法の現状と各種関連規定類の見直しについて、昭和62年1月.
- 2) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説，平成6年2月.

(平成6年11月28日受理)