

建設から 115 年が経過する鋼トラス橋組立材の残留応力分布

明石工業高等専門学校 学生会員 ○中來田 幸

明石工業高等専門学校 正会員 三好 崇夫

熊本高等専門学校 正会員 岩坪 要

九州工業大学 正会員 高井 俊和

中電技術コンサルタント 正会員 佐竹 亮一

舞鶴工業高等専門学校 正会員 玉田 和也

1. はじめに

鋼橋の腐食は、昭和 30 年代までに採用された組立材にも散見されている。しかし、その耐荷力解析 ¹⁾に必要な溝形鋼の残留応力の計測事例は少ない。また、近年、鋼構造物の応力計測法として、計測された電圧に基づいて応力を把握する、磁歪法 ²⁾が注目されているが、その経年鋼材への活用に向けては計測データの蓄積が課題とされている。本研究では、建設から 115 年が経過する森村橋（1906 年竣工）から撤去された溝形鋼の機械的特性値を明らかにし、磁歪法による応力計測に必要な校正曲線の取得を目的とする。また、従来の切断法と磁歪法を用いて溝形鋼の残留応力を計測し、その分布特性や磁歪法の適用性について明らかにすることも目的とする。

2. 実験方法

本研究では、**図-1**に示す撤去材のうち、**写真-1**に示す箇所の左右溝形鋼について、部材軸方向の残留応力を計測した。まず、**写真-2**のように貼付したテンプレートをガイドとして、磁歪式計測装置のプローブを押し当てて電圧を計測した。次に、ひずみゲージを貼付してひずみの初期値を計測後、**写真-1**に示す位置で切りし、ひずみを計測するとともに、左右溝形鋼の腹板からそれぞれ 3 体ずつ引張試験片を採取した。その後、ひずみゲージまわりを放電ワイヤカットし、ひずみを計測した。あわせて 20N/mm² 刻みのステップで 0~200N/mm² までの応力制御による引張試験を実施し、磁歪式計測装置を用いて試験片の標点部で 4 回電圧を計測した。その後、通常の引張試験によって試験片を破断した。なお、切断法では、計測後から前のひずみを差し引いて解放ひずみを算定し、それらに弾性係数を乗じて残留応力を評価した。

3. 引張試験結果

左溝形鋼から採取した L2 試験片について、応力と電圧の関係を**図-2**に示す。同図中の○印は計測結果、実線は校正曲線を表す。これより、概ね応力の増大につれて電圧も増大する傾向にあるが、ばらつきがみられる。この要因は現状では不明である。さしあたり、回帰分析によって電圧の 5 次関数で表される校正曲線（R² 値 = 0.9355）を導き、データ整理に用いた。**表-1**は、引張試験から得られた各試験片の機械的特性値を SS400 に関する JIS 規格値と比較して示している。これより、溝形鋼の引張強度は 400N/mm² に満たず、SS400 の引張強度を下回ることがわかる。データ整理には同試験から得られた左右溝形鋼の弾性係数と下降伏点の平均値を用いた。

4. 切断法による残留応力計測結果

写真-2のように x-y-z 座標系を定義した場合の y-z 断面内における残留応力計測位置を**図-3**に示す。切断法では、x 軸方向に 40mm 隔てた 2 つの y-z 断面内の異なる位置で残留

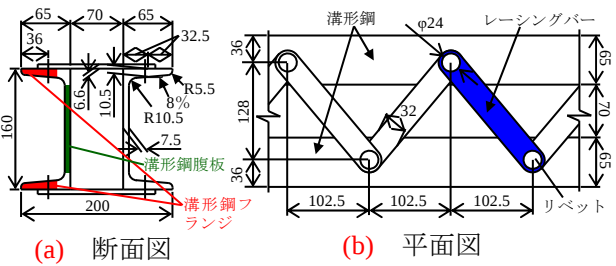


図-1 撤去材の概略図

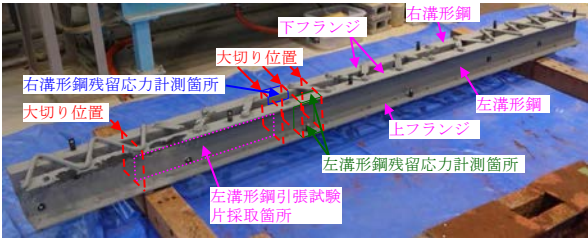


写真-1 残留応力計測箇所と大切り位置

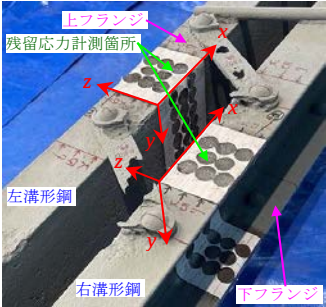


写真-2 座標軸の定義

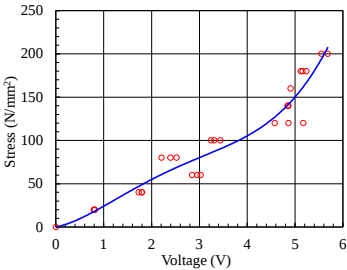


図-2 応力と電圧の関係

表-1 引張試験結果

溝形鋼	試験片番号	弾性係数 E (kN/mm ²)	下降伏点 σ _{sl} (N/mm ²)	引張強度 σ _{ts} (N/mm ²)	破断伸び ε _f (%)
左	L1	207	296	389	16
	L2	207	282	375	28
	L3	210	278	386	31
	平均値	208	285	383	25
右	R1	206	287	382	33
	R2	207	275	381	33
	R3	208	272	381	33
	平均値	207	278	381	33
SS400規格値		—	245 ≤	400 ≤	17 ≤

キーワード：経年鋼材，組立材，溝形鋼，残留応力，磁歪法

連絡先（〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡 679-3, TEL：078-946-6173, FAX：078-946-6184）

応力を計測したが、 x 軸方向の残留応力の変化は小さいものとみなして、両断面の計測結果を統合して表示した。また、同図中には、上下フランジと腹板の表 (Exterior), 裏 (Interior) 面の定義を示した。

図-4, 5 は、それぞれ左右溝形鋼上下フランジと腹板の残留応力分布を示している。

同図の残留応力 σ_r は降伏点 σ_Y で、計測位置の y, z 座標は図-3 に示す全高 H , 全幅 B で無次元化した。また、凡例の「LC」は大切り後、「WC」はワイヤカット後の計測値、「Average」は表裏の平均値を意味する。

図-4, 5 より、左溝形鋼の上フランジ突出縁、下フランジ中央部、左右溝形鋼の上 (a) 左溝形鋼 (b) 右溝形鋼下フランジ近傍では残留応力の板曲げ成分が卓越している。これは、同成分が卓越し図-3 残留応力計測位置ない溶接部材とは対照的である。リベット中心は上下フランジの $z/B = \pm 0.45$ に位置するが、リベット施工が残留応力分布に及ぼす明確な影響は認められない。大切りからワイヤカットまでの残留応力の変化は、特に右溝形鋼の上下縁で大きく、板面内の曲げひずみの解放によるものと考えられる。

5. 残留応力分布モデル、磁歪法による計測結果との比較

一例として、左溝形鋼の磁歪法による残留応力の計測結果について、切断法による計測結果、残留応力分布モデルとともに図-6 に示す。同モデルは、SM400 溶接製作部材の残留応力分布モデルとして多用されるものである。なお、腹板表面、腹板裏面のフィレット部、腐食により著しい凹凸形状を呈していた腹板裏面の下フランジ側については、磁歪法による計測が困難であったため、省略している。

図-6 より、磁歪法と切断法による残留応力計測結果は大きく乖離しており、絶対値で比較すると、磁歪法による計測値の方が切断法による計測値に比べて小さい傾向にある。よって、現段階では、この種の溝形鋼の残留応力計測に磁歪法を適用するのは困難といえる。この要因として、信頼しうる較正曲線が得られていないことや、溝形鋼の製造、組立材の製作過程で受けた塑性履歴が考えられる。また、残留応力分布モデルと比較すると、溝形鋼の残留応力分布は溶接部材のように、腹板とフランジの接合部で引張、板幅方向中央部では圧縮といった規則性は見られず、残留応力の絶対値も小さいことがわかる。

6. まとめ

本研究から、溝形鋼の残留応力分布は溶接部材のような規則性は有さないものの、残留応力そのものは小さいこと、現時点では磁歪法の適用が困難であることが明らかとなった。

【謝辞】本研究の遂行に当たって、森村橋撤去材は静岡県駿東郡小山町からご提供を頂いた。また、科研費基盤研究(C) 腐食した組立部材の圧縮耐力特性に関する研究 (研究課題番号 19K04587, 研究代表者 三好崇夫), 公益財団法人 木下記念事業団 学術研究活動助成 (腐食した形鋼からなる柱部材の残留応力分布の把握と圧縮強度の評価, 研究代表者 三好崇夫) の助成を受けた。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】 1) 岩坪ら: 溝形鋼を用いた組立圧縮材の耐力挙動について, 鋼構造年次論文報告集, Vol.28, pp.102-108, 2020. 2) 例えば, 安福ら: 磁歪法による鋼橋の動的応力測定ならびに実橋鋼材感度校正方法に関する検討 - 溶接鋼構造物の全応力測定への磁歪法の適用性に関する実験的検討 (第2報), 溶接学会論文集, 第22巻, 第3号, pp.411-416, 2004.

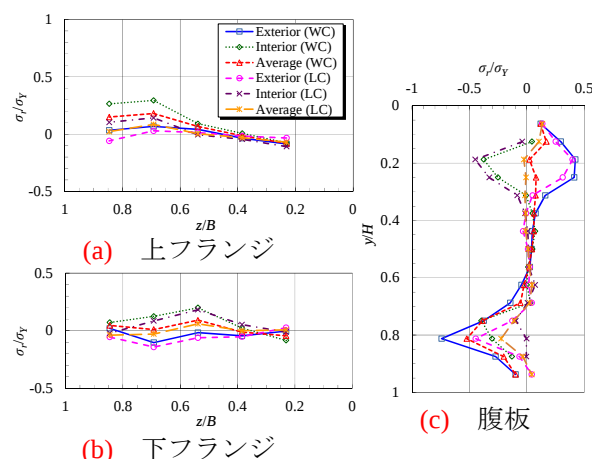
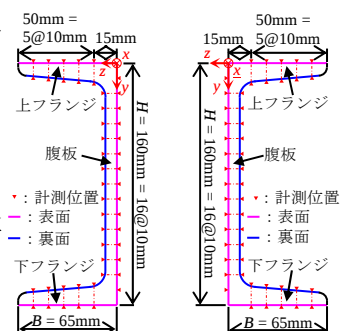


図-4 左溝形鋼の残留応力分布

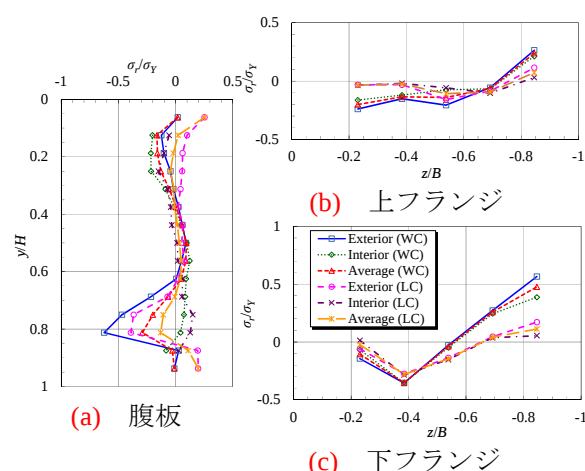


図-5 右溝形鋼の残留応力分布

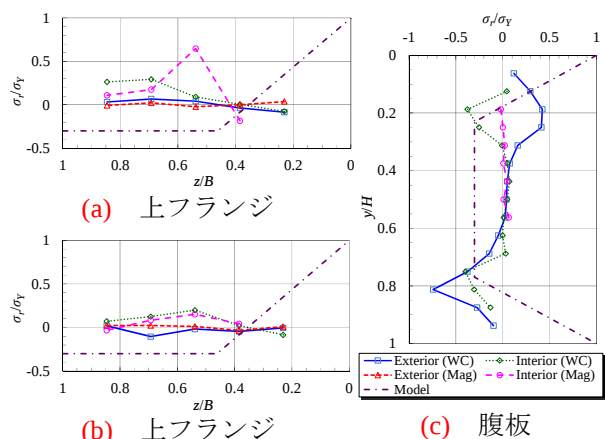


図-6 残留応力分布の比較