

第 部門

トンネルに用いる鋼製支保工の応力状態に関する基礎的検討

神戸大学	正会員	芥川真一
神戸大学	学生員	太田道宏
神戸大学	学生員	安原幸二
神戸大学	学生員	○大井健史

1. はじめに

近年，トンネル建設現場においては情報化施工が推し進められており，その際，鋼製支保工などの鋼材にかかる応力レベルを知ることは有益である．現在，トンネル内に建て込まれる支保工の応力測定にはひずみゲージ計測が多く使われているが，その機能を補間、補強しうる応力計測の方法が望まれている．ここでは，まず、磁気異方性を利用して鋼材表面の応力を計測する(磁歪式応力測定法(以下、磁歪法))装置¹⁾を用いてトンネル鋼製支保工の応力測定を行うこととした．そこで、磁歪法を用いて冷間曲げ加工された H 型鋼の応力を計測した結果，150～200MPa の残留応力が存在している可能性が認められた²⁾．次に，この値の妥当性を確認するため，曲げ加工を受ける鋼材の残留応力について数値解析的に検討することとした．

2. 磁歪法の概要¹⁾

磁歪法では，図-1 に示すような磁気異方センサーを，被測定物上にあてて応力を測定する．図-2 に示すような応力状態($\sigma > 0$)の鋼材表面にセンサーが置かれている場合を考える．この場合被測定物の透磁率は引っ張り方向にわずかに大きくなり，磁化しやすくなる．そのため、コア D の両足先の間に磁位差が発生するので，磁束がこのコア D を通り，電磁誘導によりコア D に巻



図-1

いたコイルに電圧が発生することになる．センサーを回転すると発生電圧は角度に対して 180 度を周期とする正弦的な変化をする．実際に応力を測定する場合は，センサーを回転し，電圧が最大になった方向が主応力の方向を示し，その出力電圧から主応力差に相応する応力の値が求まる．この場合，あらかじめその材料で応力と出力の関係性を求めておく必要がある．

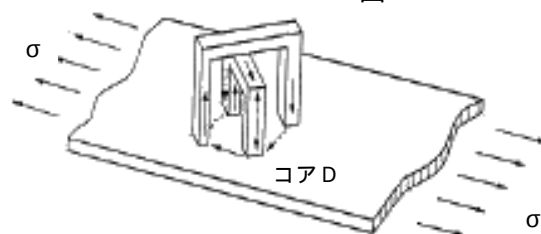


図-2

3. 鋼製支保工の応力計測結果

圧延加工された無荷重状態の真っ直ぐな H 型鋼とそれを曲率半径 6000 mm に冷間曲げ加工した鋼材について磁歪法を用いて計測した．その結果を図-3 に示す．ただし引張りを正とする．フランジ，ウェブに初期残留応力が確認でき，曲げ加工を施すとフランジ面では応力が 200MPa 程度まで大きくなり，ウェブ面ではその分布形状が異なってくる．これは H 型鋼が曲げ加工される際に発生する永久塑性ひずみの影響であると考えられる．

4. 鋼製支保工の塑性加工解析

H 型鋼に曲げ加工を施すことによって発生する残留応力が生じるかを調べるために汎用有限要素解析ソフト ABAQUS/Standard を用いて解析を行った．この際，用いた H 型鋼のモデルは対称性を考慮し図-4 のようなモデルとし，曲率半径 6000 mm となるように端部に強制回転変位を与えた．強制回転変位を与える面には剛体平面を設置する．固定端部を軸方向，ウェブはフランジ幅方向に拘束する．また，圧延加工により生じる初期残留応力は考慮せず，ヤング率は $2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ ，ポアソン比は 0.3 とし，ウェブとフランジでは同一とす

Shinichi AKUTAGAWA, Michihiro OTA, Koji YASUHARA and Kenji OI

る．このときの破壊基準は Von Mises の破壊基準を用いる．指定した曲率を得るために与えた強制回転角とその時に必要とされた載荷力（モーメント）の関係は図-5 となる．降伏応力を超えて曲率を与え，ある点で曲率半径 6000 mm となるように弾性的に除荷が行われる．その結果，図-6 のような残留応力分布を示した．

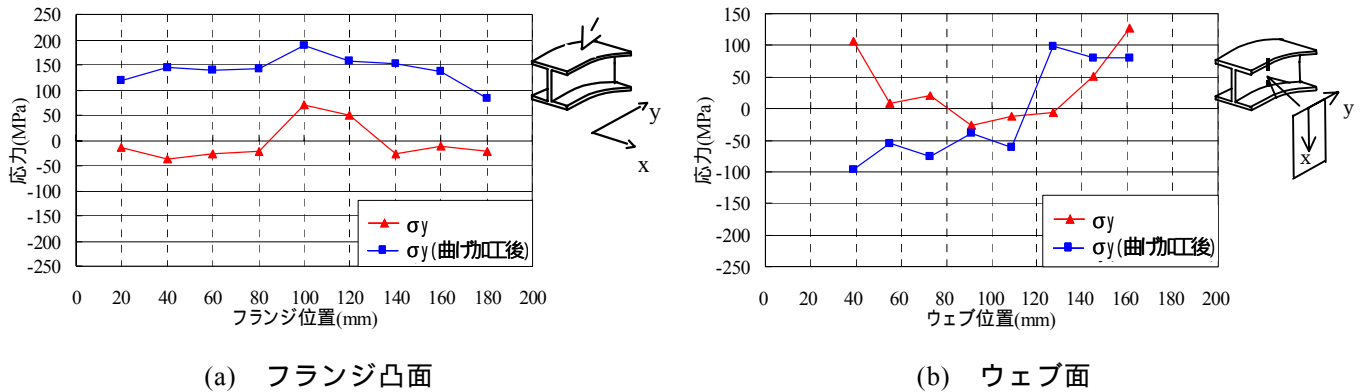


図-3 軸方向応力

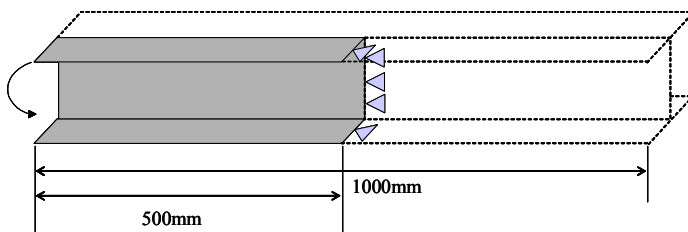


図-4 H 型鋼モデル

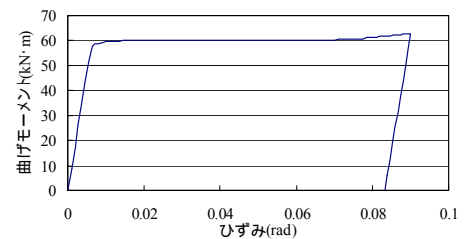
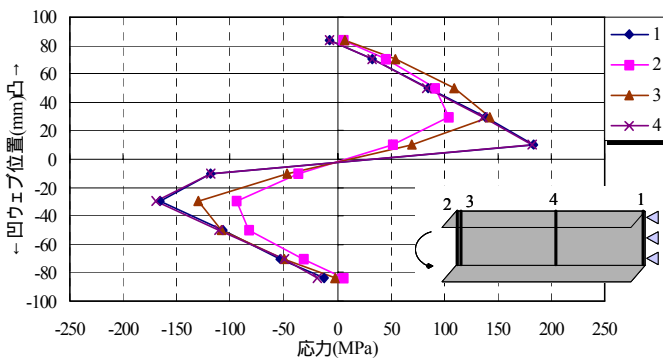
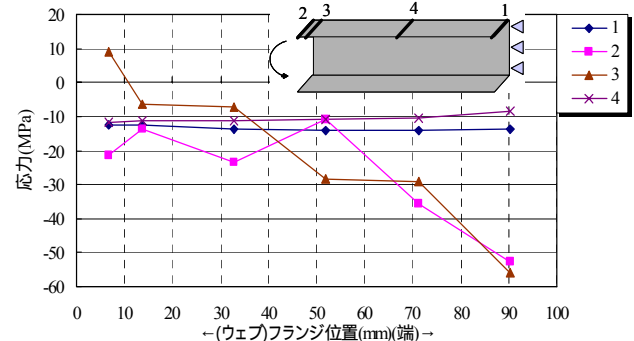


図-5 載荷力ひずみ曲線



(a) ウェブ面



(b) 凸フランジ面

図-6 残留応力分布

5. 考察と今後の課題

解析結果と磁歪法計測によって得られた残留応力分布を比較すると分布形状は類似しているが，その値は異なっている．これは，圧延加工によって生じた初期残留応力を考慮していないこと，H 型鋼の隅角部を無視していること，ウェブとフランジの物性値を同一のものとしていること、など様々な要因が考えられる．今後これらの条件を考慮した解析を行い，磁歪法計測結果との比較・検討を進めて行く予定である．

謝辞： 解析手法の設定について神戸大学工学部建設学科助手難波氏にご協力いただきました．ここに謝意を表します．

参考文献

- 1) 安福精一他：磁気を用いた鋼構造物の応力測定, 橋梁と基礎, pp.33-39, 2001.
- 2) 芥川真一他：磁歪法によるトンネル支保構造物の応力測定の可能性について, 第 12 回トンネル工学研究発表会論文・報告集, 2002