

(討6)

棒鋼の矯正太りについて

大同製鋼研究所本部

青藤 誠

1. 緒言 棒鋼の矯正に伴う寸法変化は、被矯正材の材質や矯正度によつては直径の $0.5 \sim 1\%$ におよぶことがあり、寸法公差指定が厳しい場合にはほしほし問題となる。この寸法変化については、繰返曲げに軸応力が重畳して生ずる場合と、残留応力などの材料特性に起因する場合とが報告されている。多数のロール間を通過しながら矯正される線材などは前者が主となり、棒鋼矯正に使用される回転矯正材のように対向した一寸の凹凸ロールによる矯正では後者が主因と考えられる。実際の矯正作業では、繰返曲げの他にロールによる表面アラサの目つぶし効果や押し込み作用があるため、矯正時の寸法変化を定量的に把握することが困難であり、従来は経験によつていた。ここでは問題を回転矯正材による棒鋼の矯正に絞って、寸法変化を実験式的に求める方法を検討したので結果を述べる。

2. 基礎実験

回転矯正材による寸法変化は、繰返曲げによる太りとロール面圧による押し込み細りの2つの組合せによつて決まると考え、まずこれらの効果を分離するため以下の実験を行った。

2.1 繰返曲げ太り 引抜き加工された棒鋼が繰返曲げを受けて寸法変化を引起すことは既にO. Pawlski²⁾が残留応力との関係で定性的な説明を行つていたが、実際の工程では、鋼種、熱処理、引抜き率、直径、矯正強さなどの因子が重なるためこれを分離する必要がある。そこで図1に示す4点支持式回転曲げ試験機を作り、繰返曲げモーメントを加え直径変化を測定した。図2は、15%引抜きを行ったS48C、SK3およびSUS304の直径変化を示す。引抜き材は鋼種によつて差はあるがすべて太りが生じており、また曲げモーメントの大きいものほど太り率が大きい。これにたいし引抜きを加えていはいりS48C球状化焼鈍材(SA)は、ほとんど太らないうち若干細る傾向にある。軸力のつかない純曲げ繰返しの際の矯正では、引張り・圧縮の応力-歪線図が異なるため中心軸の移動が生じて太りと考えられる。実際にも図3に示すように、太りの生じないS48C(SA)では引張り・圧縮の応力-歪線図が対称であり、これにたいし引抜き材は非対称となっている。また繰返曲げ試験中の材料表面の歪ヒステリシスも図4にみられるように、引抜き材(D)は圧縮側へ移動してあり軸方向に縮んでいる。この軸縮み量(図4のヒステリシスループの中心移動量)と繰返曲げ太り率の間には図5に示すような比較的良好な相関が認められる。以上のような現象確認をふまへ、次のような太り率測定を行った。

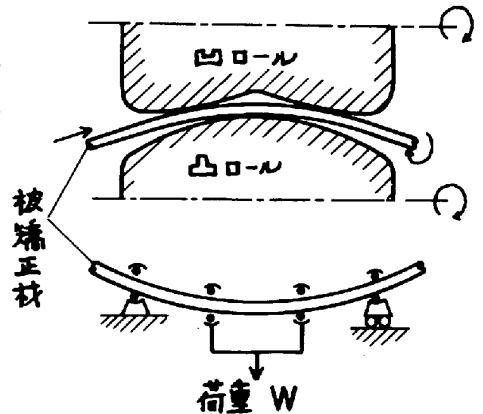


図1 回転矯正材と繰返曲げ試験機の模式図

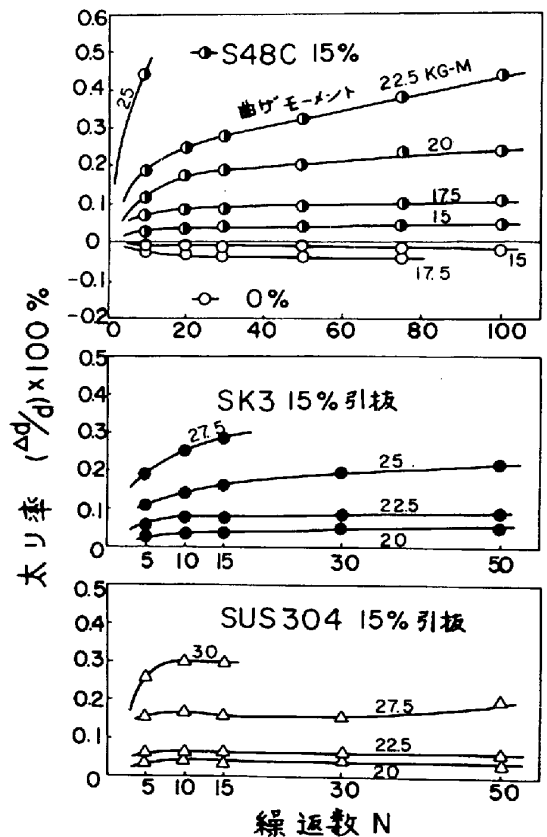


図2. 繰返曲げによる直径変化 ($d=15\%$)

(1) 鋼種、引抜き率、繰返曲げ応力と太り率

SCM21 (焼なまし(A)、焼ならし(W)), SCM4 (A, W), 焼入れ焼もどし(HT), S45C (A, W, HT), SK3 (A, W), SUS403 (A, HT), SUS304 (固溶化焼なまし(WT)) の6鋼種について、カッコ内の熱処理と組合せて合計13本の棒鋼を準備し、それぞれ0~25%の引抜きを加えたのち繰返曲げ太り率を測定した。なお太り率としては繰返曲げ回数N=30での値を採用した。結果の一部を図6に示す。測定結果を整理綜合すると次のようなことが云える。

- ① 熱処理のまゝ(A, W, HT, WTなど)で引抜きを加えない材料は繰返曲げを繰り返しても太らない。
- ② 引抜き材は繰返曲げによつて太りが生じる。特に5%程度の軽減面率で太り量が大きい。
- ③ 引抜き材の太り率は応荷応力の大きいものほど大きく、かつ $(\sigma/\sigma_0) \times 100\% = C \cdot D^n$ の関係がある。
- ④ 材料定数C, nは、被矯正材のカタサ(ブリネル硬度の圧痕径D)を用いて、 $C = 10^{0.35(3-D)}$, $n = 4(D-3.25)$ で近似できる(図7)。しかしCの変動が大きいので後述する太り率の推定には個々の材料で求めたC値を用いざるを得ない。

(2) 太り率の寸法効果

矯正太りの寸法効果についてはD.Pawalskiも直径に無関係であろうと推論してゐるので、これを確認するため回転ダイス式繰返矯正機を用いて直径にたいする太り率の変化を調べてみた。供試材はS45C, SK3, SC173, SUP9, SUS430, の繰返材で、直径は3~19φである。測定結果を図8に示す。矯正度を

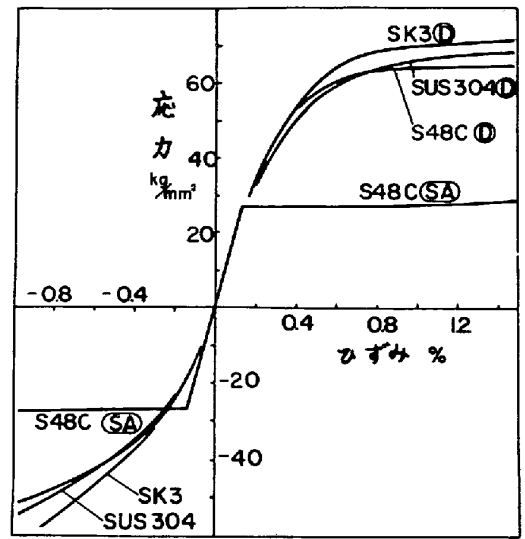


図3. 引抜きと圧縮の応力-歪線図
(○: 15%引抜き (SA)球状化焼鈍)

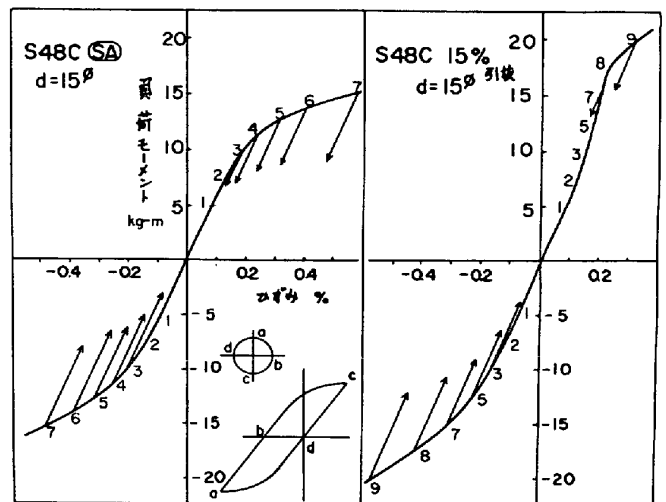


図4 繰返曲げモーメントによる材料表面の歪ヒステリシス

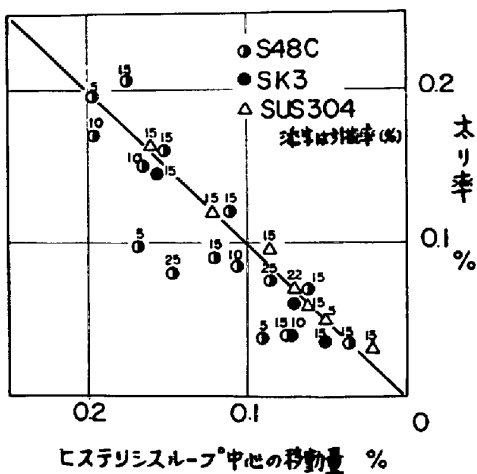


図5 材料表面の残留軸圧縮ひずみと太り率の関係

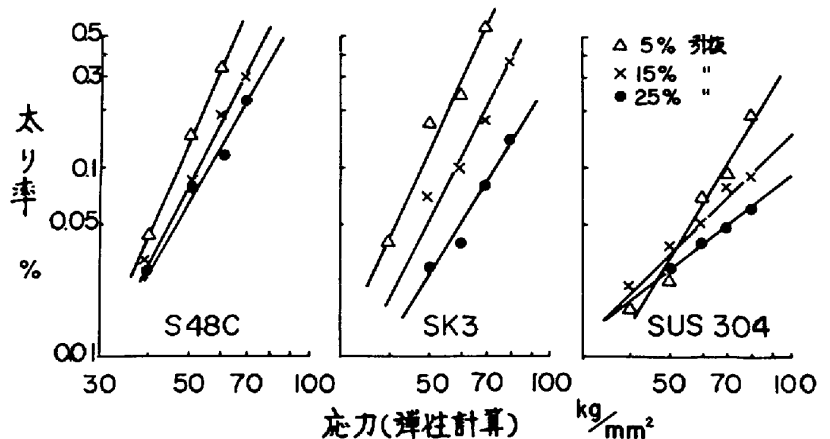


図6 繰返曲げ応力と太り率
(S48C, SK3 は (SA)後, SUS304 は (WT)後引抜き)

特に規定してはいないため問題はあるが、各鋼種ともほぼ直径に比例した太り量を示している。したがって太り率については寸法効果を考慮しなくてもよく、一定直径での太り率を規定してせよは他の寸法への適用が可能と考えられる。

2.2 面圧細り 20中以下の棒鋼を矯正する回転矯正機では、繰返曲げに要する圧下力が小さいためロールから受ける面圧は低いが、川副式、KieserlingあるいはBronxなどの大型矯正機ではロール圧下力も10~数10tonに及び、面圧による押し込み量が無視できない大きさとなる。そこでこの押し込み量の目安をうるため、試みとしてブリネル硬さ試験における圧痕深さと面圧の関係を利用してみた。10^{mm}中の鋼球を圧子とするブリネル硬度計を使い、BHD 2.89~5.56のカタサの材料に500~3,000kgの荷重をかけ、生じた圧痕深さを測定した。荷重Wと圧痕深さhの関係は、図9に示すように両対数教線図上で直線になり、 $h = (1.03D - 2.60) \times 10^{-4} W^{0.973}$ でよく近似される。10^{mm}中の圧子を用いた場合弾性的に計算されるHertzの面圧Pは、 $P = 1.01 W^{1/3}$ で表されるので、圧痕深さは形式上 $h = (1.45D - 3.67) \times 10^{-10} P^{2.92}$ となる。ロールから受ける面圧Pによって棒鋼が半径方向に丸み押し込まれると仮定すれば、直径では2hの細りを生ずることになり、Hertz面圧と細り量とは図10のような関係をもつことになる。

3. 実際の矯正機における寸法変化との対応

20中以下の小径用の本村式2ロール矯正機および30~80φの大径用のKieserling式2ロール矯正機について、実際の寸法変化と推定寸法との対応を調べた。

3.1 本村式2ロール矯正機(棒鋼20^{mm}中以下用)

寸法変化を推定する場合、一番問題になるのは矯正機おひはち被矯正機に加えられる曲げ応力または曲げ曲率の定量的把握である。本村式2ロール矯正機では、凸ロールをネジにより手動で送込み、材料の曲げ反力によって矯正度の強弱を決めているため矯正度の設定が極めて経験的にふるざるを得ない。ここでは便法として被矯正機に貼付けた歪ゲージによって矯正強さと歪量の関係を求め、これをもとに被矯正機に加わる曲げ応力および押し荷重を決定した。これらの値をもとに、基礎実験で求めた鋼種・引抜き率・押し荷重に対応した太り率。さらにカタサに対応した細り量を計算し、両者を加えて寸法変化の推定値とした。図11に、0~25%の引抜きを加えた6鋼種の棒鋼の実測太りと推定値との対応を示す。図に示すように、引抜きを加えていないもの(図中○印)は細り量の推定が小さ目とみられ推定精度は良くないが、5~25%引抜き材では実測値と推定値が良く一致しており十分な精度をもっている。引抜きを加えていない材料の直径の推定値に比べてより細り傾向にあるが、これは

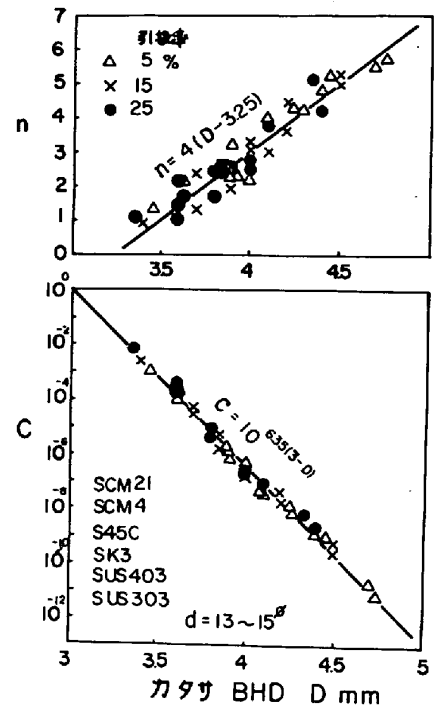


図7. カタサと太りの材料定数C,n

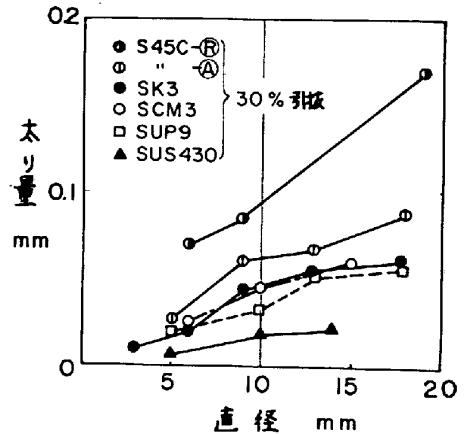


図8. 被矯正機の直径と太り量

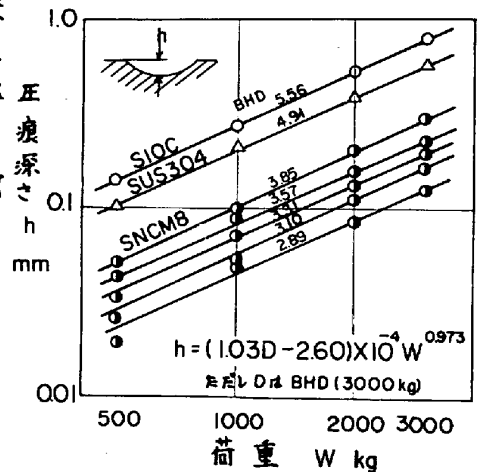


図9. 荷重と圧痕深さ(圧子径10中)

熱処理のまゝの材料が引抜材に比べて表面アラシが荒く、これがロールによって目つぶしされたためと考えられる。

3.2 Kieserling式2ロール矯正機(棒径30~80φ用)

太径棒鋼の矯正機の例としてKieserling社製の2ロール矯正機(WRP-T-80)を取上げた。供試材としては、熱処理後ピーリングを施したSCM22, S15C, S33C, S45C, SUS303, SUS304, SUS316の7鋼種を選び、直径30~45φのものを準備した。ピーリング材ではロール面圧による押込みのみが問題とほむが、面圧計算のもとになるロール圧下力はロール反力を支えている4本の支柱に貼付けた歪ゲージにより求めた。求められた圧下力は30~70Tonと大きく、被矯正材に加わる目安としてのHertz面圧は最高 800 kg/mm^2 にも達する。得られたロール圧下力をもとにそれぞれHertz面圧を算出し図10から細り量を推定し実測細り量との対比を行った。結果を図12に示す。図からSUS300系ステンレスは推定値と実測値の対比が比較的良好だが、低合金鋼では推定値に比べ実際の細り量は少ない。この喰違いの原因は被矯正材のカタサとして材料心部のカタサを使ったためと考えられる。すなわちピーリング材では表面の厚さ $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ にわたってバイト切削による加工硬化が加わるため硬度が上昇しており、これが結果的に細り量を小さくしたものと思われる。グリネル圧痕径を基準にした場合、ピーリングによる表面硬度の上昇は母材が軟かいものほど大きい傾向にあるので、特に軟かいS15C、SCM22の推定値に大きな喰違いを生じたものとみられる。したがってピーリングによる硬度上昇などの定量的把握も必要とされる。

4. 結論

棒鋼の矯正に伴う寸法変化について、回転矯正機の場合を取上げ、寸法変化の定量的推定を試みた。その結果、寸法変化は繰返曲げによる太り量とロール面圧による細り量とを組合せることである程度の推定が可能なが判った。

文献

- 1). 荒木、鈴木ほか、才19回(1968), 才20回(1969), 才21回(1970) 塑性加工適合講演会前刷
- 2). 荒木、鈴木、塑性と加工, Vol.13, No.132(1972) P3
- 3). 曾田、塑性と加工, Vol.5, No.41(1964) P345
- 4). O. Pawelski, Stahl u. Eisen 82-13(1962) P826
- 5). 大石、青藤、藤倉、伊田、種村、才25回(1968)鉄鋼協会講演会前刷
- 6). 青藤ほか、電気製鋼, 39-5(1968) P279
- 7). 西岡、安国、西岡, 日本金属学会誌, Vol.33 No.4, P515

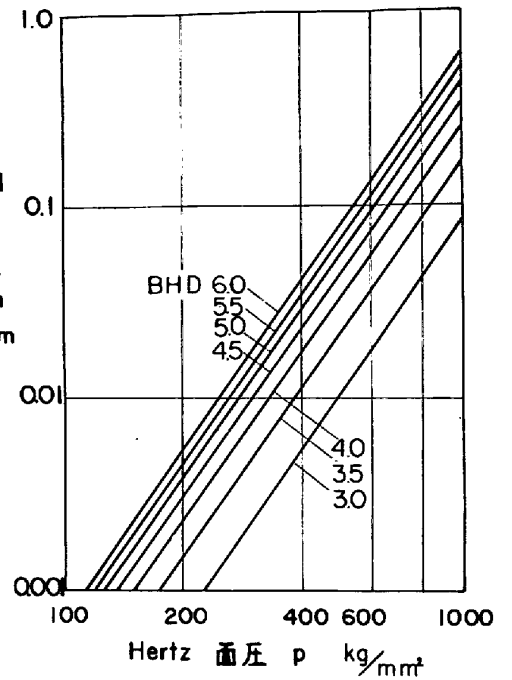


図10. 面圧と細り率

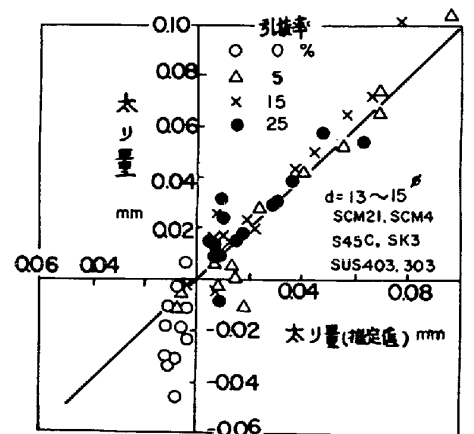


図11. 木村式2ロール矯正機における寸法変化の推定結果

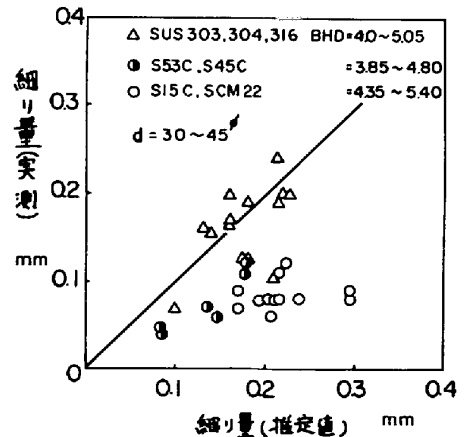


図12. Kieserling式矯正機における寸法変化の推定結果