

56 in 熱間連続圧延機における

作業ロールおよび補強ロール間の接触圧力分布

Distribution of Contact Pressure between Work Roll and Back-up Roll in 56" Hot Strip Mill

Distribution of inter-roll pressure throughout the length of contact between work roll and back-up roll in a 56" hot strip mill was investigated by means of a newly developed technique. The measurement of contact pressure distribution was conducted statically by embedding sensors, which are sandwiched between strain gages, in a beam between top rolls. As a result of this study, the effects of initial crown, heat crown, wear pattern of the rolls and strip width on the distribution of contact pressure between work roll and back-up roll were clarified.

坂上武夫* Takeo Sakagami

中川師夫** Mitsuo Nakagawa

1 緒 言

四重圧延機において作業ロールと補強ロールの軸方向に均一な接触圧力分布を与えることはきわめてむずかしいことであり、一般には稼動中に不均一な接触圧力が作用していると考えられる。不均一接触圧力はロールのイニシャルクラウン、ヒートクラウン、たわみ変形および摩耗などの重畳効果として生ずるものである。しかしながら、これらの因子がどのように接触圧力分布に影響するかを関係づける研究はきわめて不十分である。

作業ロールと補強ロール間の接触圧力はロールの疲れ破壊を支配する大きな因子であり、稼動中の接触圧力分布を求めることはロールの保守管理の面で大いに重要な問題である。特に熱間圧延においてはロールの摩耗がはげしく摩耗形状によって接触圧力分布は大きく異なるので十分な注意を必要とする。

熱間圧延におけるロールの摩耗については鉄鋼技術者連盟(AISE)とロール製造者協会(RMI)のロール研究委員会の支援のもとにシラキュース大学(USA)を中心として実際の作

業条件について調査した一連のデータがG.Sachsら⁽¹⁾やJ.V.Latorreら⁽²⁾によって発表されている。これらのデータは実際の圧延作業にかなりの指針を与えるものであったが、接触圧力分布については検討されていない。

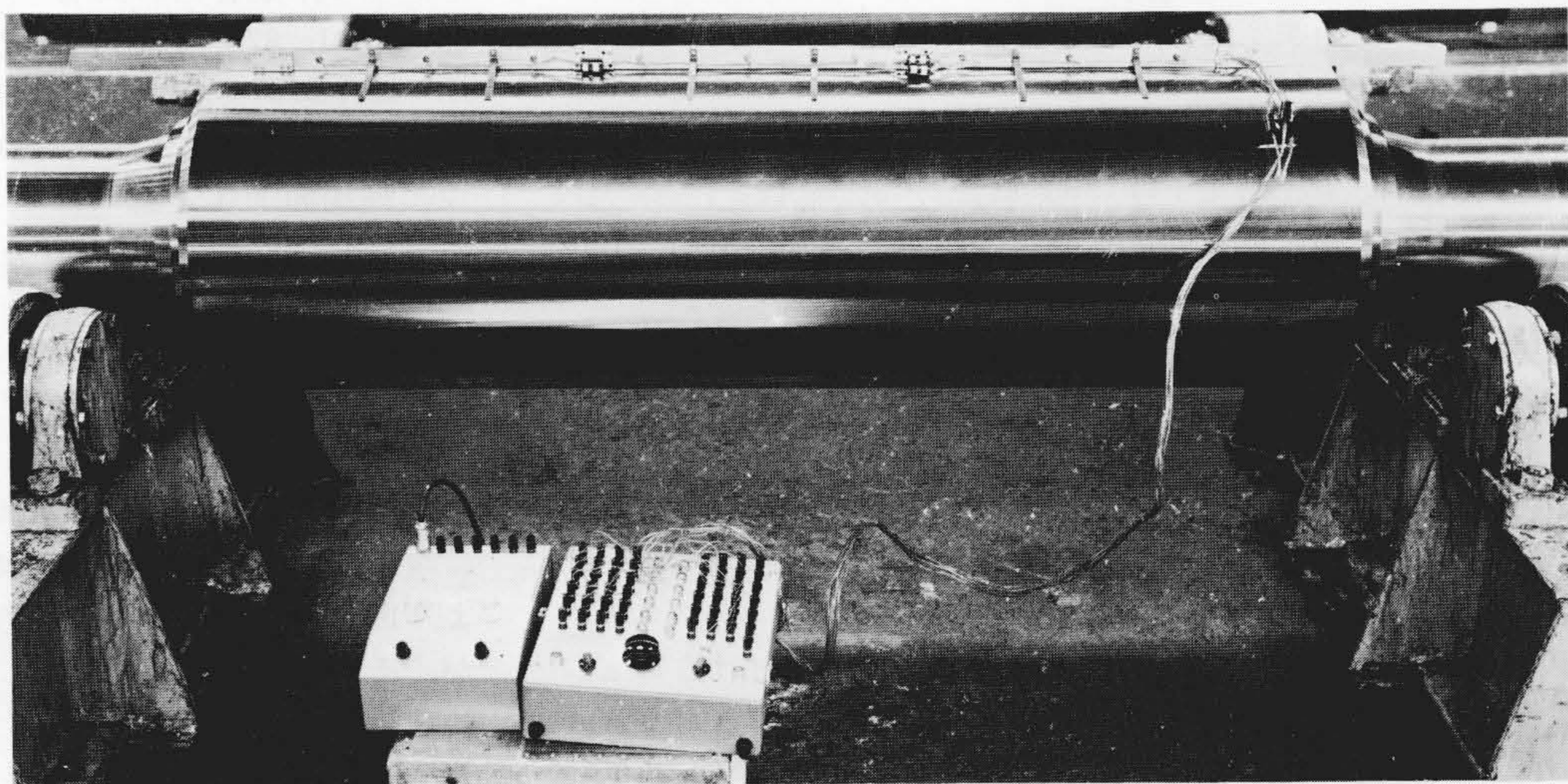
摩耗を考慮した場合の作業ロールと補強ロール間の接触圧力分布の算出についてはJ.D.Keller⁽³⁾、K.N.Tong⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾、M.D.Stone⁽⁷⁾および中川⁽⁸⁾により試みられ、ロールの寿命を推定する上で大きな指針を得た。特に中川は蓄積疲労被害を考慮して補強ロールの適正研摩量の算出法について考察している。しかし、これらの理論的解析には種々の仮定が含まれており、その精度には疑問があるが、現在までのところ実際の圧延機で作業ロールと補強ロール間の接触圧力分布を測定したという報告はなされていないようであり、この方面での研究がま

筆者らは作業ロールおよび補強ロール間の接触圧力分布を測定するための測定装置を開発し、56in連続熱間圧延機に組込んで種々の条件下で作業ロールと補強ロール間の接触圧力

図1 接触圧力分布測定装置

測定ビーム中にセンサが埋め込まれており、接触圧力は指示計によりひずみとして測定される。

Fig. 1 Apparatus for Measurement of Contact Pressure



* 川崎製鉄株式会社千葉製鉄所熱間圧延部

** 日立製作所勝田工場

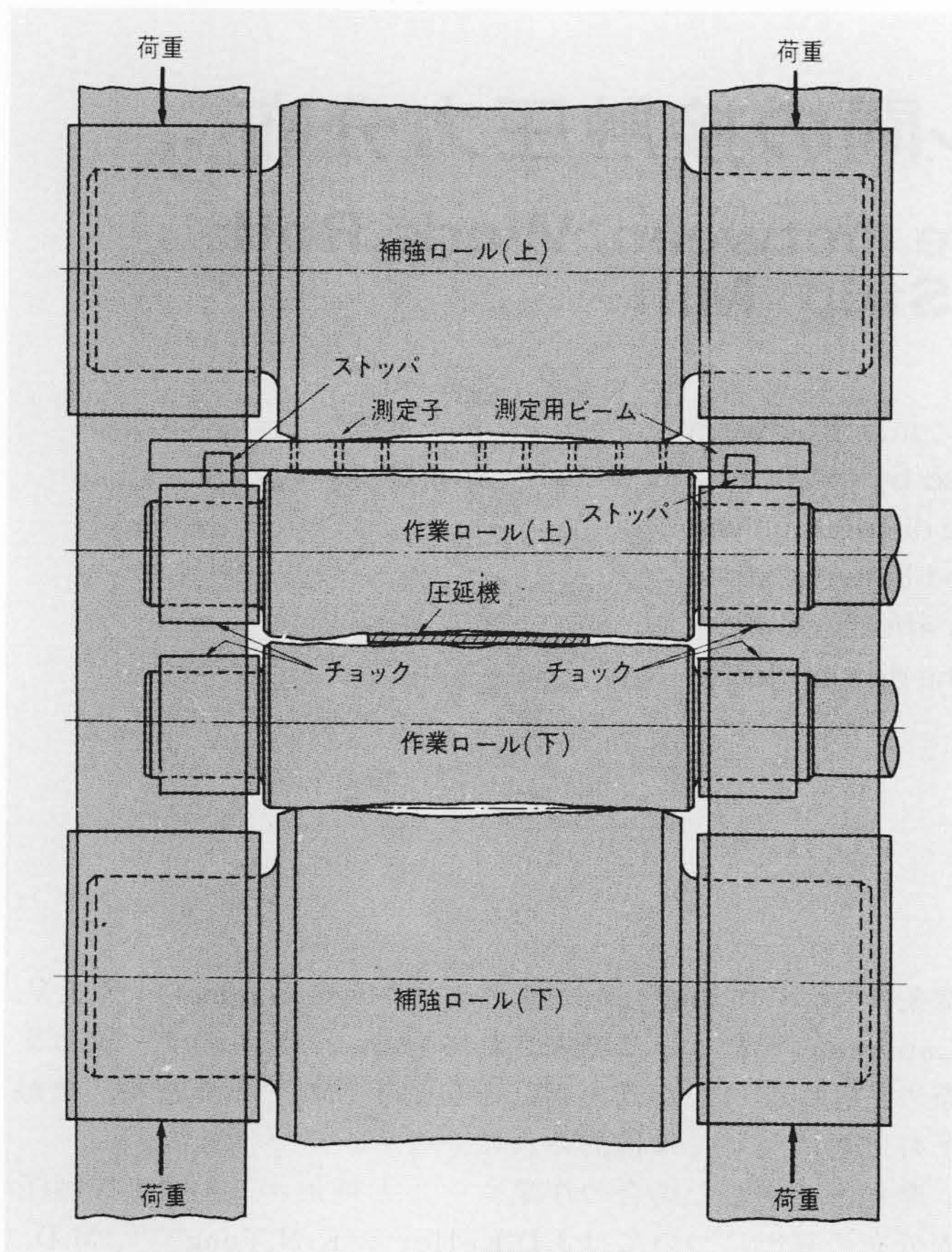


図2 測定用ビームおよびロールの配置図 測定用ビームは作業ロールと補強ロールの軸心を結ぶ線上に正しくセットされる。

Fig. 2 Schematic Diagram of Rolls and Beam with Sensors for Measuring Contact Pressure between Work Roll and Back-up Roll

分布の変化を測定したので、測定装置の概要ならびに測定法について述べ、さらに実圧延機から得られた接触圧力分布に及ぼすイニシャル クラウン、ヒート クラウン、摩耗形状および圧延材の板幅などの影響について述べる。

2 調査方法

2.1 接触圧力分布測定装置

接触圧力分布測定に用いた装置は測定用ビーム、多点切換スイッチ、およびひずみ指示計よりなっている。測定用ビームの寸法は30mm(高さ)×25mm(幅)×2,040mm(長さ)で5分割可能である。ひずみ測定子は15mm(直径)×30mm(長さ)の鋼製円柱で側面中央部荷重方向に単軸ひずみゲージを接着し、160mm間隔でビームの中央に精度良く埋め込まれている。

図1は、ロールの上におかれた測定装置の外観を示すものである。

2.2 接触圧力分布測定方法

測定に際し作業ロールのオフセット量をあらかじめ考慮して、作業ロールと補強ロールの軸心を結ぶ線上に測定子の中心が正しくセットされるように作業ロール(上)のチョックにストッパを取り付け、測定用ビームをストッパに押付けることにより常に定位置にセットされるようにしてある。このような方法で測定用ビームを所定の位置にセットしたのち、目的に応じて作業ロール間に軟鋼板を挿入した。測定は上ロールについてのみ行なった。図2は測定用ビームおよびロールの配置を示すものである。

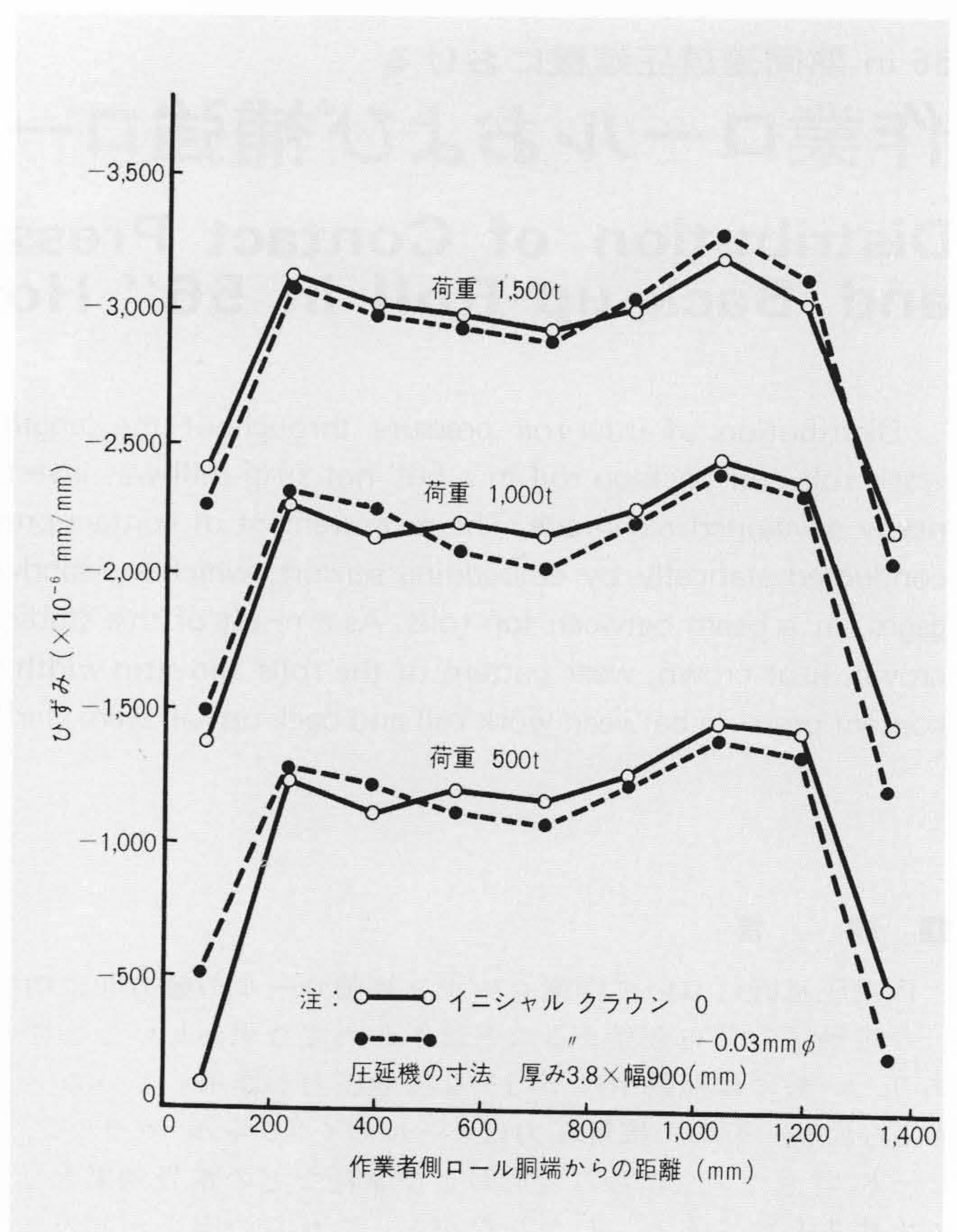


図3 接触圧力分布に及ぼすイニシャル クラウンの影響 イニシャル クラウン 0 mmおよび-0.03mm φの場合は、凹状の接触圧力分布を示しその差は少ない。

Fig. 3 Effect of Initial Crown on Distribution of Contact Pressure

同図に示した状態で測定子、多点切換スイッチおよびひずみ指示計を接続し準備を完了する。

測定は第4スタンドについて行なった。第4スタンドにおける圧延荷重は特殊な場合を除きほとんどが1,500t以下であるので500, 1,000, 1,500tの3段階の荷重をかけ静止状態で各点のひずみ、すなわち接触圧力を測定した。測定位置は作業ロールの作業側側の胴端を基準として胴端から70, 230, 390, 550, 710, 870, 1,030, 1,190および1,350mmである。測定に用いた作業ロールの寸法は 607^{+6}_{-6} mm(直径)×1,422mm(胴長)、補強ロールは $1,212^{+35}_{-35}$ mm(直径)×1,372mm(胴長)で補強ロールの胴端面より50mmにはチャンファーがつけられており、イニシャル クラウンはいずれも0である。

3 測定結果および考察

3.1 接触圧力分布に及ぼすイニシャルクラウンの影響

作業ロールのイニシャル クラウンを0 および-0.03mm φとした場合の接触圧力分布を板幅900mmの材料をかませた場合について測定した。図3は測定結果を示すものである。同図より凹クラウンが付いた場合の接触圧力は中央部で低くなるが、その差はひずみで 120×10^{-6} mm/mm以下と少ない。Hertzの理論⁹⁾に基づき弾性変形による接触圧力の変化を計算すると-0.03mm φのクラウンを付けた場合に約30kg/mm低下する。これを本実験で得られるひずみに換算すると 110×10^{-6} mm/mmとなりほぼ実測値に近い値となる。凸クラウンの場合については測定を行っていないが、イニシャル クラウンは直接に

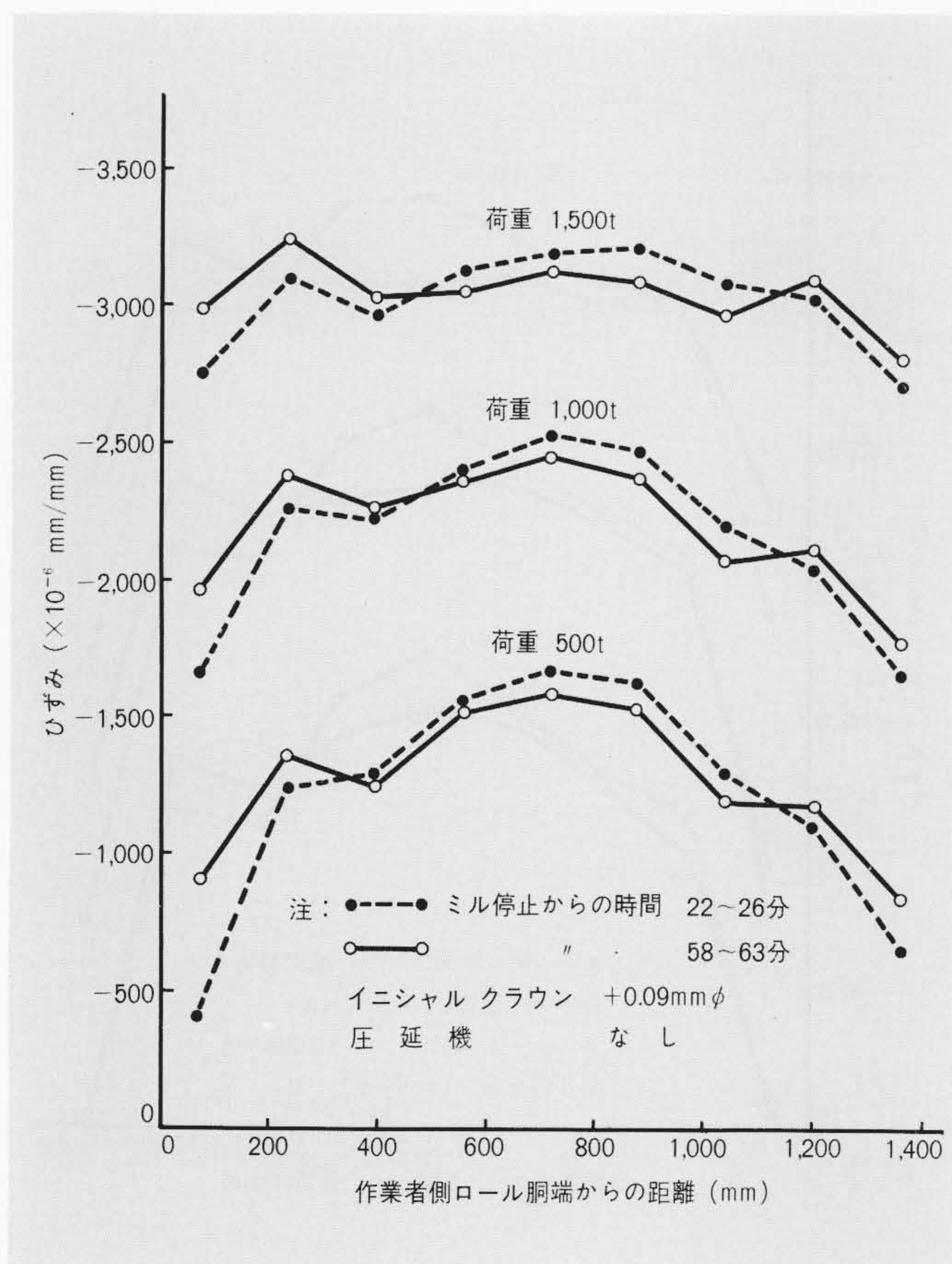


図4 接触圧力分布に及ぼすヒート ク라운の影響 ヒート ク라운により接触圧力分布は凸状を示す。

Fig. 4 Effect of Heat Crown on Distribution of Contact Pressure

作業ロールと補強ロール間の接触圧力分布に影響すると考えられる。

3.2 接触圧力分布に及ぼすヒート ク라운の影響

作業ロールのヒート ク라운はロールの冷却条件、圧延材の温度、圧延ピッチなど種々の条件によって変化し、ロール間の接触圧力分布にも影響するものと考えられる。ヒート ク라운の影響を知るためにミル停止後22分および58分の2回についてイニシャル ク라운+0.09mm φで圧延終了後のロールを用いて測定した。図4は測定結果を示すものである。同図より接触圧力はミル停止後、時間の経過とともに中央部で低下し、胴端部で上昇する傾向を示している。これは本測定に関連して行なわれた温度および直径の時間的変化からロール中央部の温度低下が約6℃、直径の変化が約-0.04mm φとなり、ヒート ク라운は凸ク라운を付けたと同じ効果を示すことがわかる。

3.3 接触圧力分布に及ぼす摩耗の影響

ロールの摩耗は圧延材の形状およびロールの寿命に直接影響するので非常に重要な問題である。すなわち、摩耗により接触圧力分布が不均一となり、局部的に接触圧力の高い部分では疲れ被害が進みスポーリングの主因となる。圧延後の摩耗形状と接触圧力分布を知るためにイニシャル ク라운の異なる2セットのロールについて測定を行なった。

図5は作業ロールのイニシャル ク라운0で約750t圧延し、圧延終了後11~21分間に測定した接触圧力分布を示すものである。これより板道部での接触圧力は低く、板道外で

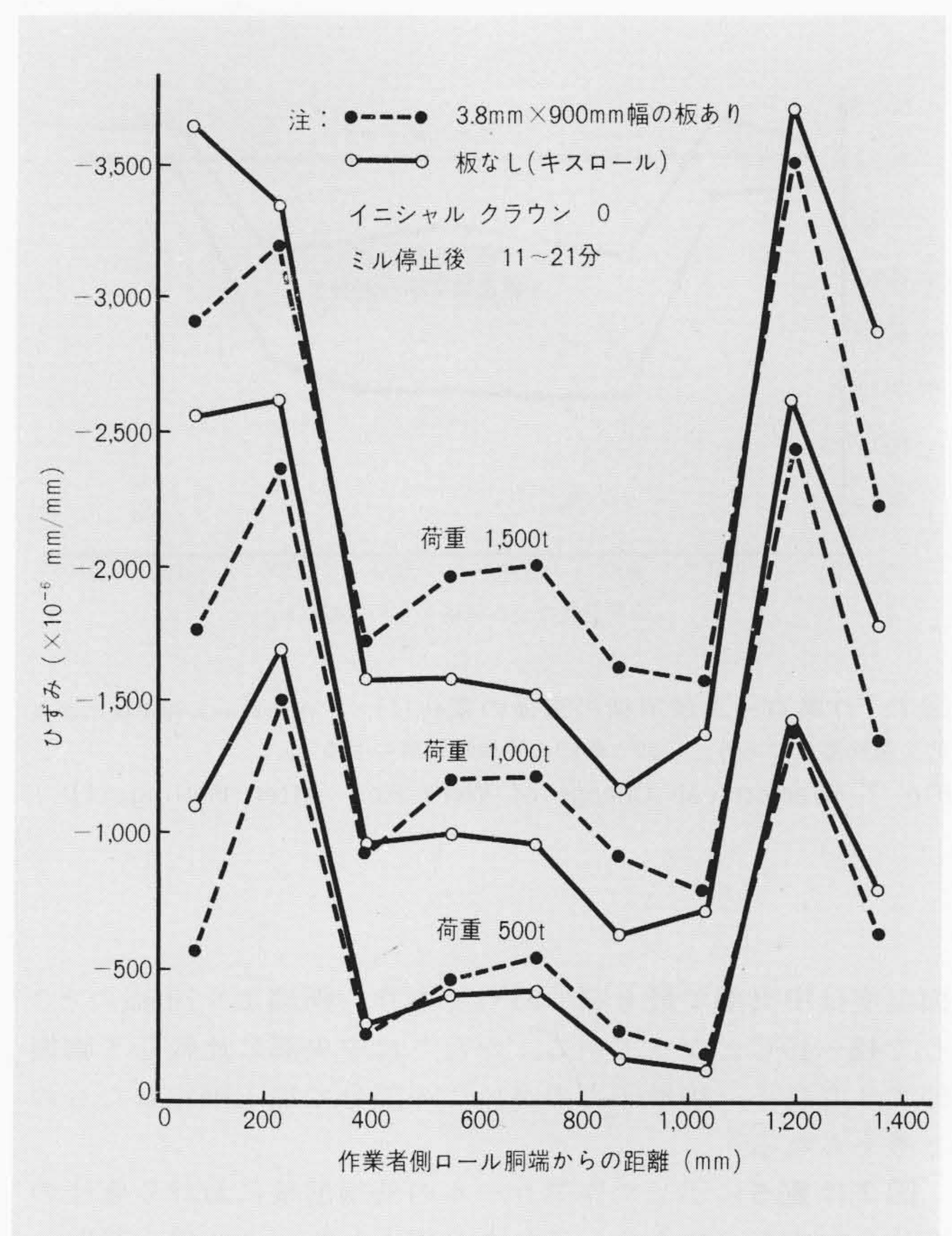


図5 接触圧力分布に及ぼす摩耗の影響(I) ロール中央部が凹状に摩耗した場合の典型的な接触圧力分布を示す。

Fig. 5 Effect of Wear Pattern on Distribution of Contact Pressure (I)

極端に高くなっていることがわかる。しかし、チャンファ部での接触圧力は低く、チャンファの効果が顕著に現われている。

図6は図5に示した作業ロール組下し後(ミル停止後22~23分)の温度分布およびかたさ分布を示したものであり、表

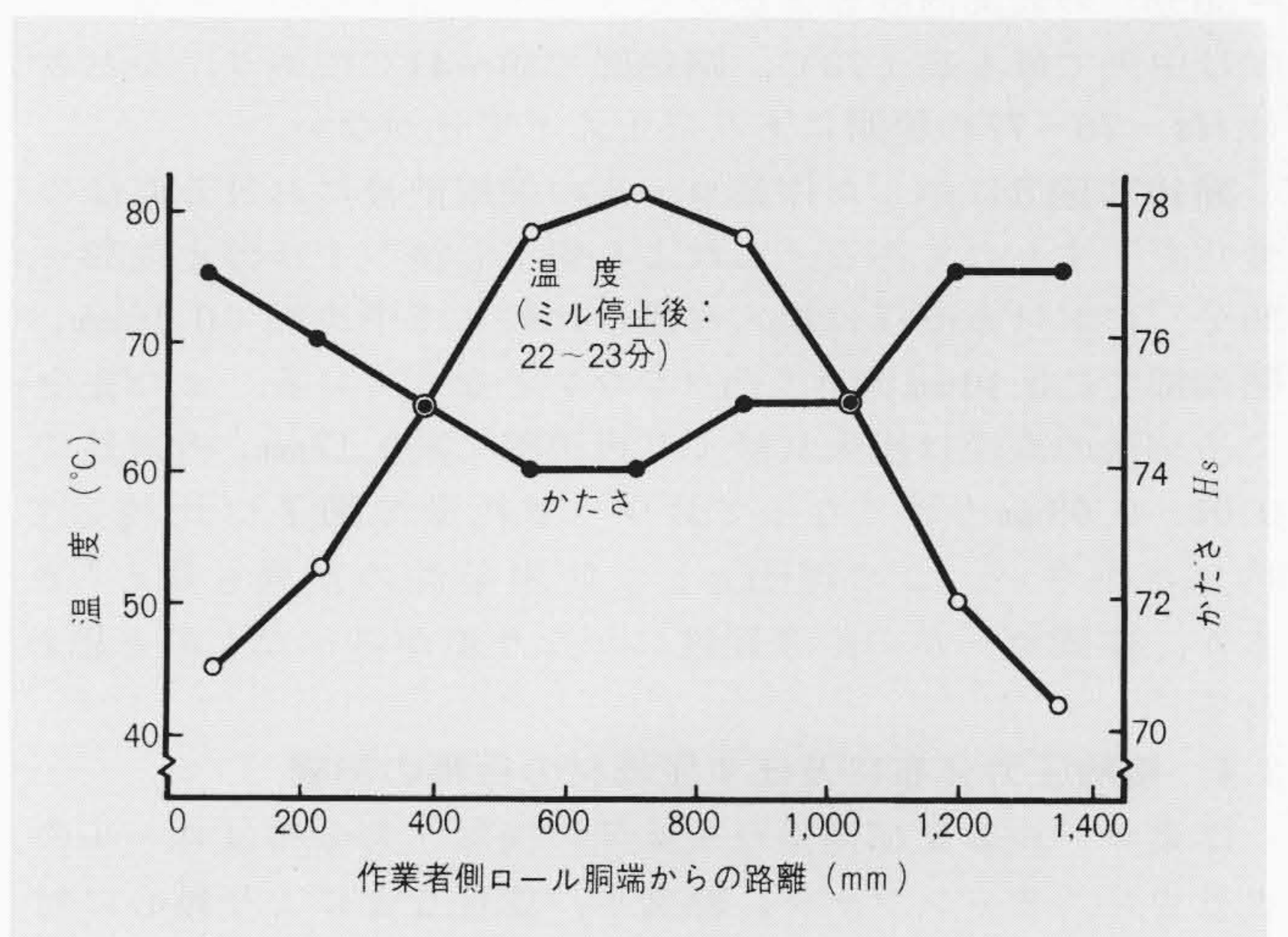


図6 作業ロール使用後の表面温度およびかたさの分布(I) 作業ロール使用後の温度分布は放物線状を呈し、かたさは胴端部で上昇している。

Fig. 6 Work Roll Surface Temperature and Hardness Distribution (I)

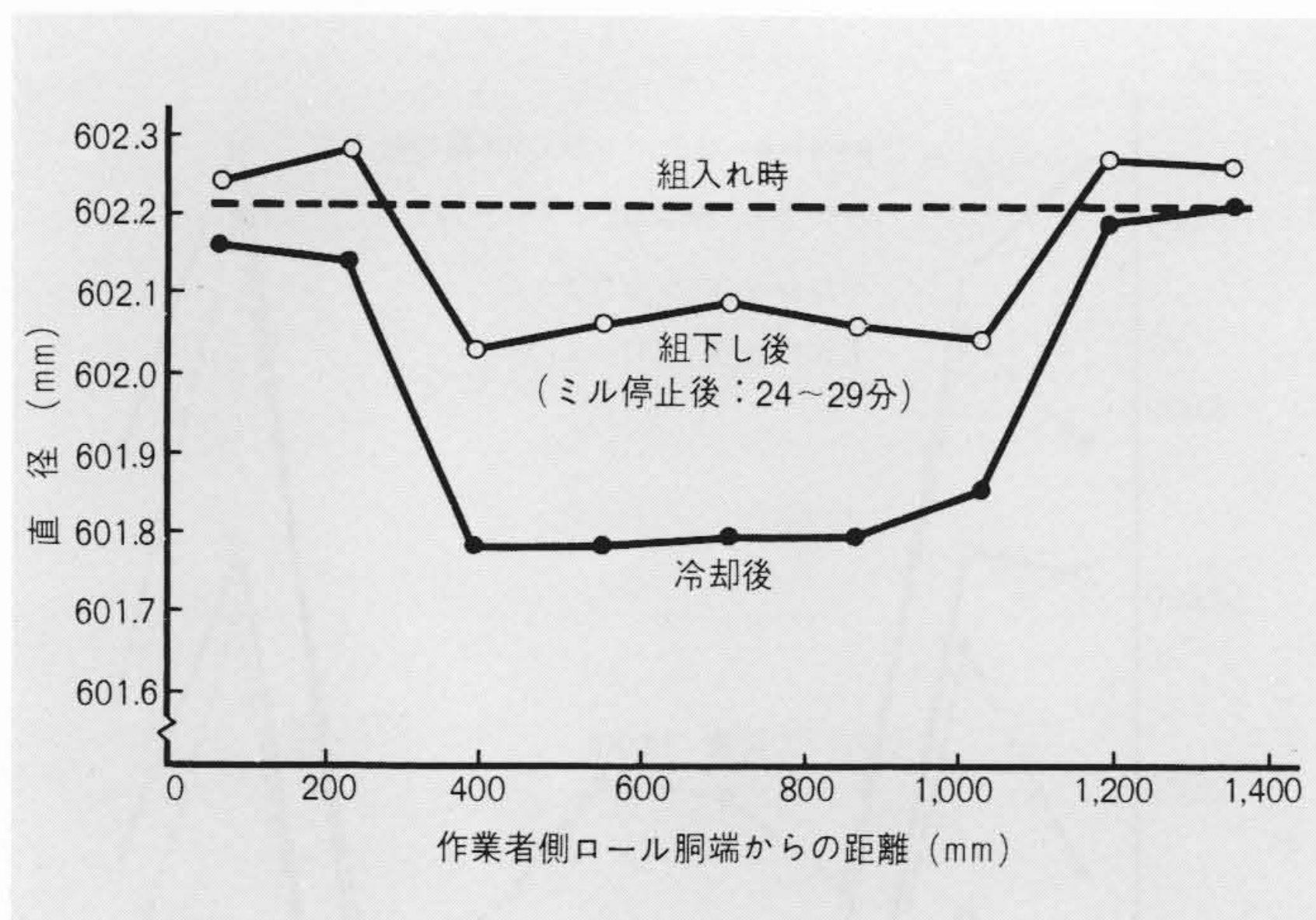


図7 作業ロール使用後の直径の変化(I) 作業ロール使用後の典型的な摩耗形状であり、○印と●印の差は熱膨張による。

Fig. 7 Diametrical Change of Work Roll After Rolling (I)

面温度は中央部で最も高く 81°C であり、胴端より 70mm のところでは $42\sim 45^{\circ}\text{C}$ となっている。かたさは中央部に比較して胴端部で3度高く、接触圧力の高いこの部分で加工硬化したものと考えられる。

図7は図5に示した作業ロールの使用前後における直径の変化を示すものである。これより組下し後（ミル停止後24～29分）の直径は板道部では組入れ時より約 0.15mm 小さく、板道外では約 0.05mm 大きくなっている。したがって、板道部では板道外に比較して約 0.20mm 小さいことになり、接触圧力分布に現われた傾向とよく一致している。また、完全に冷却された後の直径は組入れ径より板道部で約 0.42mm 小さく、板道外でも作業側では約 0.05mm 小さい。

図8は作業ロールのイニシャル クラウンを $+0.09\text{mm}\phi$ とし、約 750t 圧延し、圧延後18～28分の間に測定した接触圧力分布を示すものである。これより図5と異なり板道部での接触圧力が高く、チャンファ部を除いては偏荷重は図5に比較して小さい。

図9は図8に示した作業ロールの組下し後（ミル停止後29～30分）の表面温度およびかたさ分布を示すものである。温度は中央で最も高く 73°C 、胴端部で $39\sim 41^{\circ}\text{C}$ であり、かたさは $H_s=76\sim 77$ の範囲にありほとんど変化がない。

図10は図8に示した作業ロールの使用前後における直径の変化を示すものである。これより組下し後（ミル停止後33～39分）における直径は組入れ径に比較して中央部で 0.16mm 、胴端部で約 0.10mm 大きく凸クラウンとなっている。また完全に冷却後の直径は組入れ径より板道部で約 0.17mm 、板道外で $0.01\sim 0.03\text{mm}$ 小さくなっており、摩耗量は図7に比較して約 $\frac{1}{25}$ と小さい。この理由として使用条件の差異も考えられるが、作業ロールの耐摩耗性にかなり差があったものと思われる。

3.4 接触圧力分布に及ぼす圧延材の板幅の影響

作業ロールおよび補強ロール間の接触圧力分布はロールのクラウン、チャンファ、熱変形、摩耗などにより軸心に対して不平衡が生じた場合に不均一分布を生ずるが、軸心に対して不平衡を生じない場合でもロールが有限体であり、しかも圧延材の幅がロールの胴長よりも短いためロール胴長に対して一様とはならない。

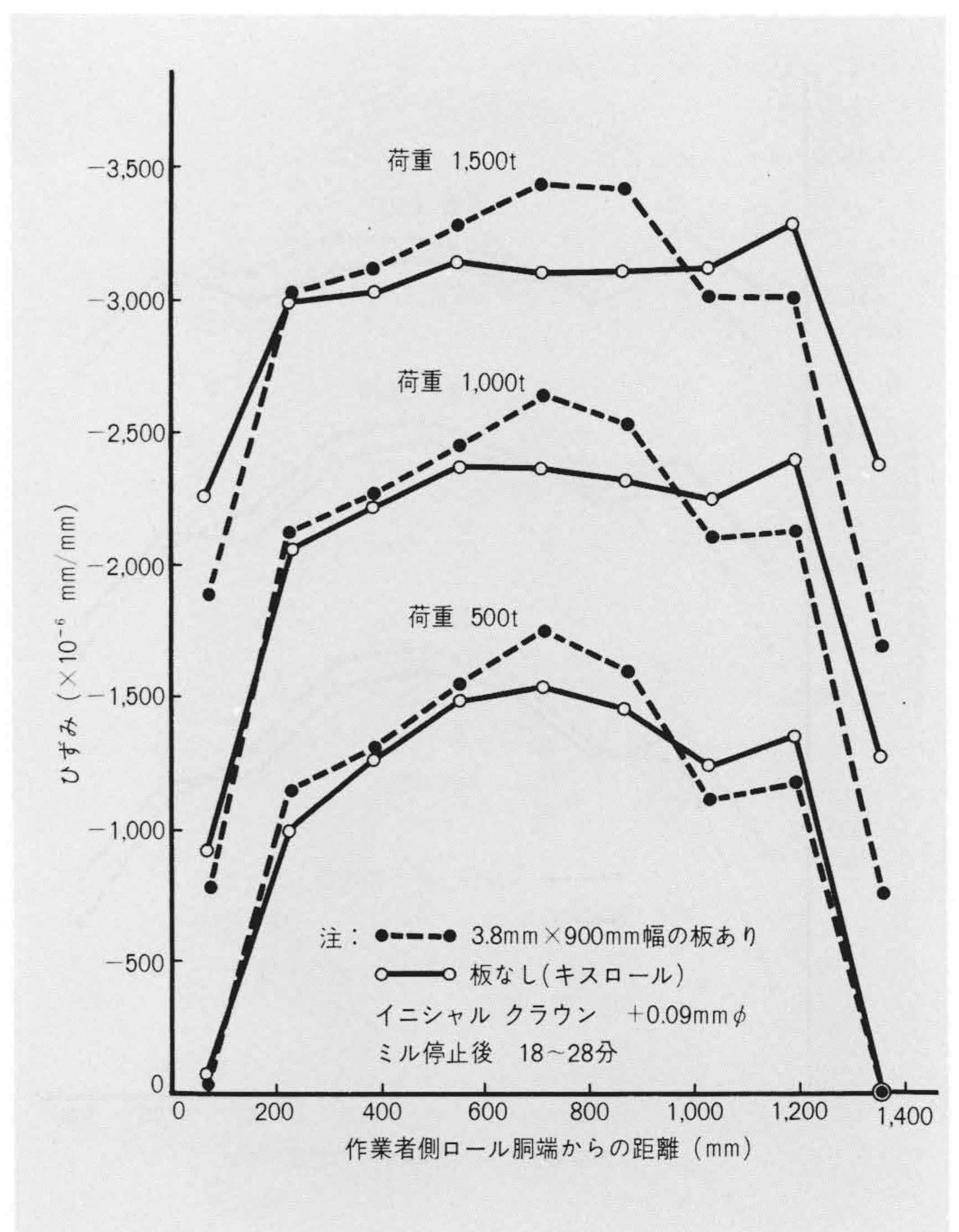


図8 接触圧力分布に及ぼす摩耗の影響(2) イニシャル クラウンが凸で作業ロールの摩耗が少ない場合は、使用後の接触圧力分布も凸状を示す。

Fig. 8 Effect of Wear Pattern on Distribution of Contact Pressure (2)

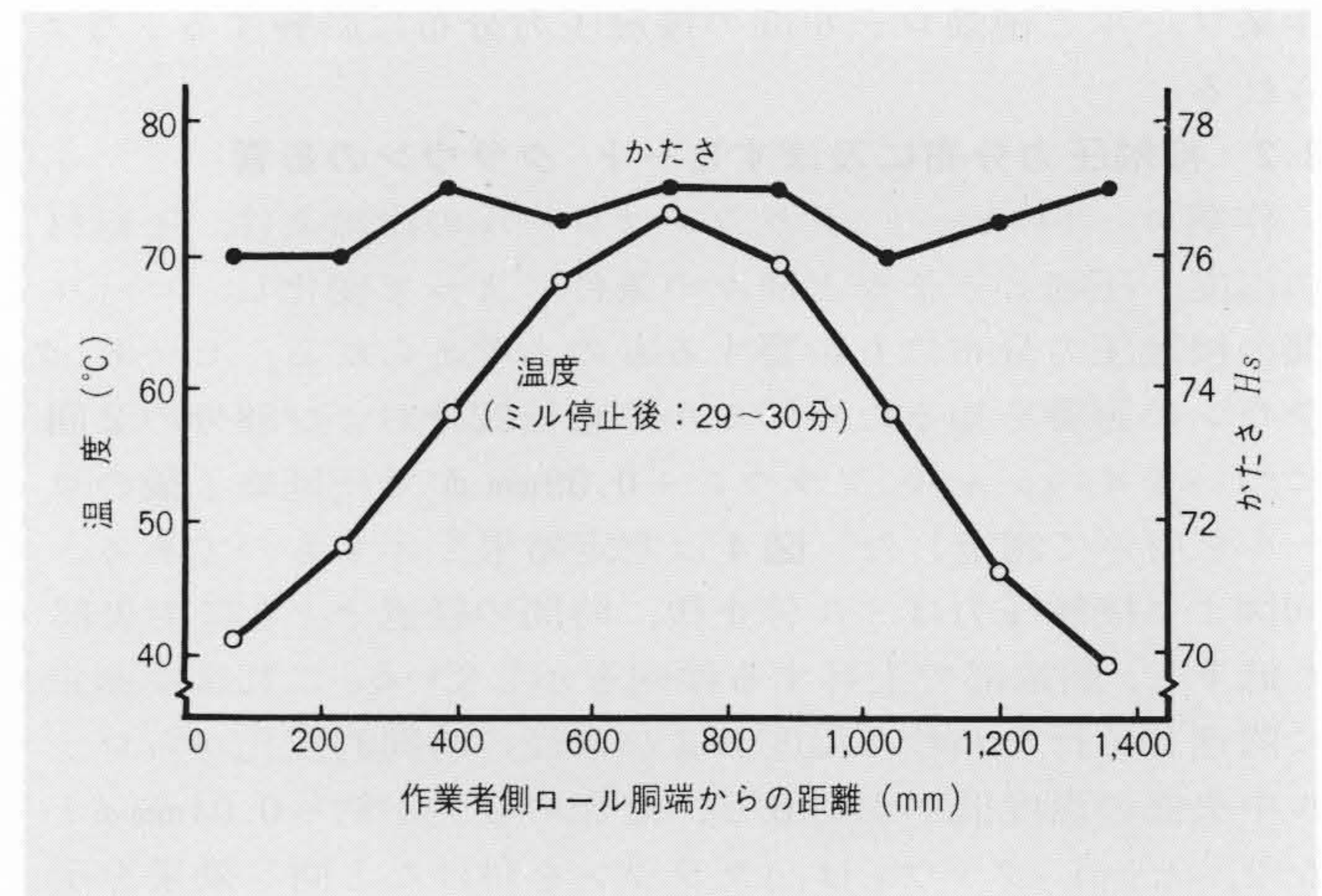


図9 作業ロール使用後の表面温度およびかたさの分布(2) 作業ロール使用後の温度分布は放物線状を呈し、かたさ分布はほぼ一定な例を示す。

Fig. 9 Work Roll Surface Temperature and Hardness Distribution (2)

図11は接触圧力分布に及ぼす板幅の影響を知るために板幅を $600, 900, 1,200\text{mm}$ およびキスロール状態での測定結果を示すものである。作業ロールとしてはイニシャル クラウン $+0.09\text{mm}\phi$ 付け約 570t 圧延したものをを用いた。これより接触圧力はキスロールで荷重 $1,500\text{t}$ の場合を除きロール中央で最大

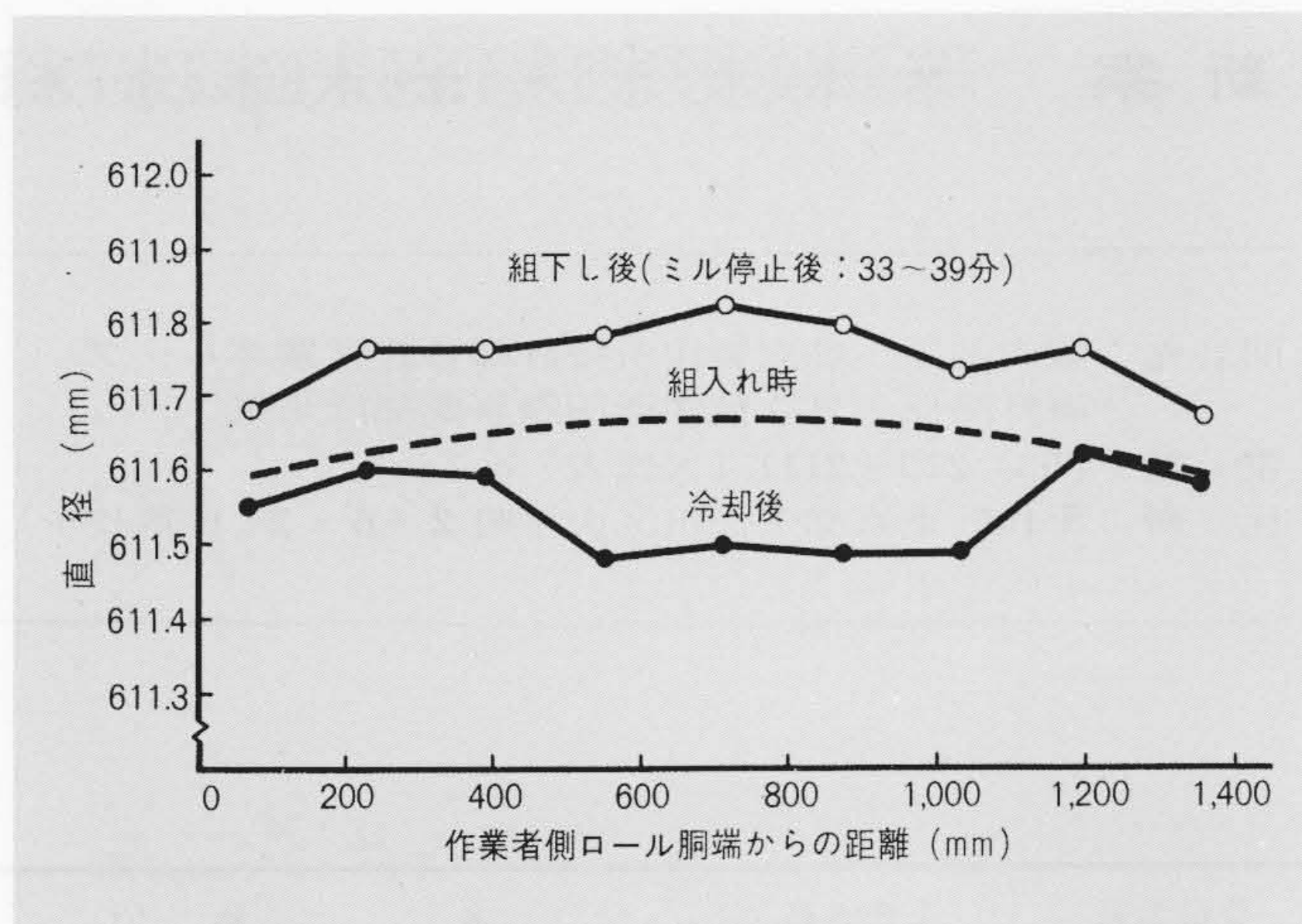


図10 作業ロール使用後の直径の変化(2) 作業ロールの摩耗が少ない場合、組下し後のロール直径は組入れ時よりも大きくなっている。

Fig. 10 Diametrical Change of Work Roll After Rolling (2)

になっており、胴端より230mmのところで極大値をとるほかはほぼイニシャルクラウンと傾向的に一致した分布を示している。圧延材の板幅の影響をみると中央部での接触圧力はキスロールのとき最も低く、板幅が狭くなるにしたがって高くなる。ロール胴端部では中央部と全く逆になりキスロールのとき最大で板幅が600mmのとき最小となっている。これは圧延材の板幅が狭くなるにしたがって作業ロールの曲げ変形が大きくなりロール中央部で多くの荷重をささえ、胴端部で荷重が軽減されるためである。この問題に関してはV. P. Polukhin⁽¹⁰⁾の研究がありここで実験的に得られた結果と同一傾向の理論解を与えている。

4 結 言

新しく開発した圧延機用ロール間の接触圧力分布測定装置の概要および測定法について述べた。本手法を56 in 熱間連続圧延機における作業ロールと補強ロール間の接触圧力分布測定に適用した。その結果を要約すると下記のとおりである。

- (1) ロールのイニシャルクラウンが0の場合ロール間の接触圧力分布はチャンファークラウンを除いて胴端部で最大、中央部で極小値を示す。マイナスクラウンの場合も同一傾向を示す。
- (2) 圧延時の接触圧力分布はロールのイニシャルクラウン、ヒートクラウンおよび摩耗形状により大きく異なる。特に摩耗は接触圧力分布を支配する大きな因子である。
- (3) 圧延材の板幅が狭くなるほどロール中央部の接触圧力は大きく不均一分布となる。
- (4) ヒートクラウンはロール中央部の接触圧力を大きくする。

以上、実圧延機におけるロール間の接触圧力分布の測定を可能にした。今後は種々の条件下で作業ロールと補強ロール間の接触圧力分布のみならず作業ロールと圧延材間の接触圧力分布の測定にも本手法を適用し、圧延材の形状制御、ロールのクラウンの設計および強さ、寿命の解析などに役立てる所存である。

最後に本研究の実施に当たり多大のご援助をいただいた川崎製鉄株式会社千葉製鉄所の黒津熱間圧延部長ならびに実験に際して終始ご協力を賜った同所熱間圧延部の関係各位に深い謝意を表わす次第である。

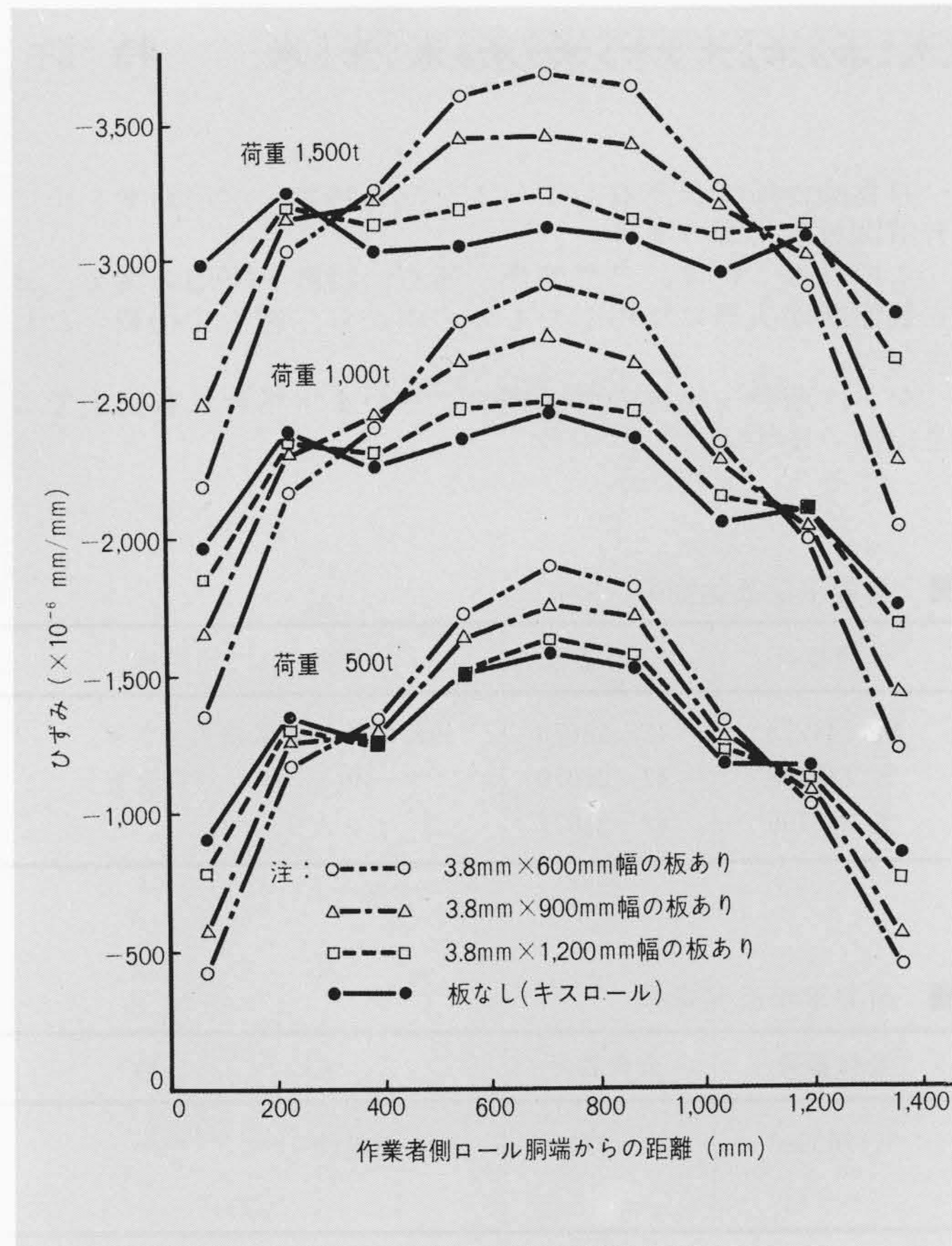


図11 接触圧力分布に及ぼす圧延材の板幅の影響 圧延材の板幅が狭くなると、ロール中央部の接触圧力が増大し、端部で減少する。

Fig. 11 Effect of Strip Width on Distribution of Contact Pressure

参考文献

- (1) G. Sachs, J.V. Latorre and M.K. Chakko, "Roll Wear in Finishing Trains of Hot Strip Mills", Iron and Steel Engr. 12, 71 (1961)
- (2) J.V. Latorre and M.K. Chakko, "Investigation of Spalling of Work and Backup Rolls in Hot and Cold Strip Mills", Iron and Steel Engr. 12, 149 (1962)
- (3) J.D. Keller, "Effect of Roll Wear on Spalling", Iron and Steel Engr. 12, 171 (1960)
- (4) K.N. Tong, M. Sadre and M.K. Chakko, "Influence of Wear on Pressure and Stress Distribution in Rolls of 4-High Mills", Iron and Steel Engr. 4, 124 (1963)
- (5) K.N. Tong, M.K. Chakko and J.V. Latorre, "Contact Pressure Distribution and Comparative Tests for Evaluation of Resistance to Spalling of Roll Materials", Iron and Steel Engr. 7, 113 (1963)
- (6) K.N. Tong and M.K. Chakko, "Prediction of Roll Spalling in 4-High Mills Based on Fatigue Strength of Roll Materials and Wear Pattern of Rolls", Iron and Steel Engr. 7, 143 (1964)
- (7) M.D. Stone, "Benefit, Improvement and Ideas from Roll Research Program - A Mechanical Approach -" Iron and Steel Engr Year Book 155 (1966)
- (8) 中川, 「4重圧延機用補強ロールの適正研摩量の決定に関する一考察」日立評論 50, 6, 72 (昭43-6)
- (9) R.J. Roark, "Formulas for Stress and Strain", (McGraw-Hill) 288 (1954)
- (10) V.P. Polukhin, "Combined Effect of Work Roll Diameter and Width of Strip Being Rolled on Distribution of the Rolls in Four-high Rolling Mills", Stal in English 2,120 (1964)