

ピーニングによる鋳鋼品の補修、肉盛溶接部の残留応力緩和

Residual Stress in Reclaimed and Built-up Welding of Steel Casting by Peening

岩崎 勤* 長尾 真人*
Tsutomu Iwasaki Masato Nagao

要 旨

代表的な鋳鋼品(普通, 低 Mn, 13Cr 鋳鋼)において, 異種金属のオーステナイト系ステンレス鋼溶接棒を用いて補修, 肉盛溶接を行なった場合に生ずる, 表面および板厚方向面内残留応力を測定し, さらにピーニングによる残留応力分布の変化を求めて比較検討した結果, 溶接残留応力の緩和法としてピーニングはじゅうぶん有効であることを確かめた。

1. 緒 言

水車用大形鋳鋼品は鋳造技術の進歩によって材質欠陥を減少することができるようになったが, 皆無にすることは不可能で, 部分的に補修溶接がなされる場合がある。この場合に使用する溶接棒に関して, マルテンサイト系ステンレス鋼溶接棒(HD410)はかたさが上昇する欠点があり, オーステナイト系ステンレス鋼溶接棒(HD309Mo)は溶接性が良好なところから多く用いられている。一方, 水車ランナにおいては耐食性を向上させるために, 流水面にHD309Moによる肉盛溶接が行なわれている。

このように, HD309Moを用いた補修, 肉盛溶接部分には, 本質的に熱膨張係数が異なることによる大きな引張残留応力が生ずる。この溶接残留応力の緩和法としてピーニングによる方法が考えられる。しかし, 適性なピーニングならば有効であるが, 過度に行なえば表面の材質脆(ぜい)化とか切欠を生ずることになって, 材料強度上問題となって, ピーニング施工に関する統一的な結論が得られないようである。この原因の一つとして, ピーニング程度の客観的検出法がないことがあげられる。ピーニング程度を左右する因子には種々のものがあり, 実施上にも多くの問題点がある。この検出法として, 修正シャルピー試験片の切欠底にピーニングを施し, 遷移温度の上昇をもってピーニング量と関連づけているものがあるが⁽¹⁾, 現場向きでなく, 時間と費用が多大にかかり, 残留応力の要素を無視した方法で適当ではない。

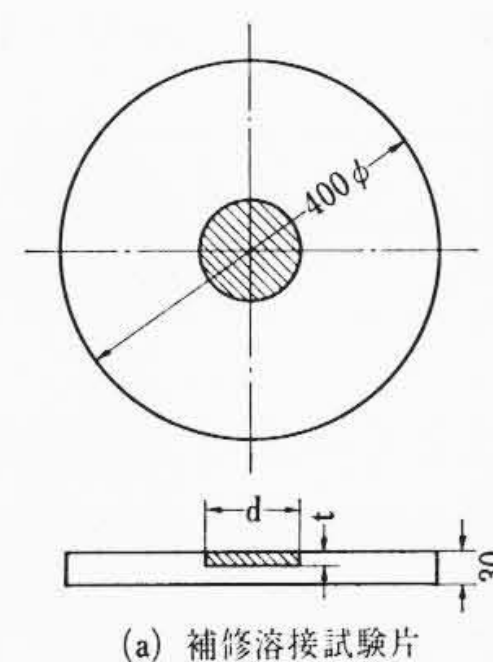
そこで, 本報ではまず, ショットピーニングにおけるアルメンゲージに相当するものとして, 残留応力に対応し, 現場においても簡単に利用しうるピーニング検出器を考案, 試作してピーニング程度をは握した。次いで, 普通鋳鋼(SC46), 低Mn鋳鋼および13Crステンレス鋳鋼のHD309Moによる補修, 肉盛溶接部の残留応力のうち, 表面はグナート式ひずみゲージ, 板厚方向面内にRosenthal-Norton法を用いて測定した。また溶接部分のかたさ分布も求めてピーニング効果を究明するとともに補修溶接部の大きさおよび深さの影響も検討した。

2. 実 験 方 法

2.1 試 験 片

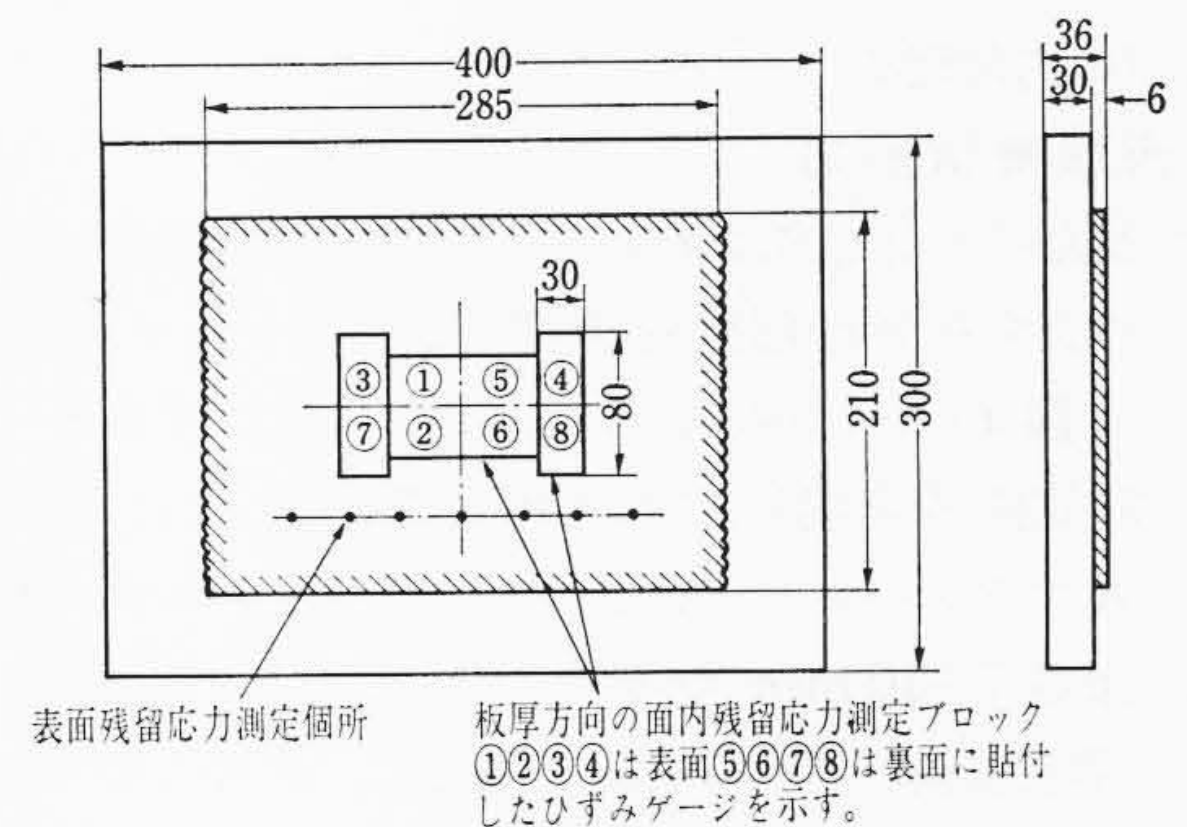
補修溶接用試験片は普通(SC46), 低Mn, 13Cr鋳鋼を母材とし, 図1(a)のNo.5, 6に示す形状にHD309Moを用いて作った。なお補修溶接部の大きさおよび深さの影響を調べる場合は母材として便宜的に構造用鋼(SS41)を用いた。

* 日立製作所日立研究所



(a) 補修溶接試験片

試験片 No.	直 径 d (mm)	深 さ t (mm)	ピー ニング
1	20	6	なし
2	20	6	あり
3	50	6	なし
4	50	6	あり
5	100	6	なし
6	100	6	あり
7	50	3	なし
8	50	3	あり
9	50	10	なし
10	50	10	あり



表面残留応力測定箇所 板厚方向の面内残留応力測定ブロック
①②③④は表面⑤⑥⑦⑧は裏面に貼付したひずみゲージを示す。

(b) 肉盛溶接試験片

図1 試験片寸法

肉盛溶接用試験片はSS41を母材とし, 図1(b)に示すように周囲を拘束してHD309Moを肉盛溶接した。

各母材は機械加工後, 650°C, 2hの焼なましを行なった。表1はそれぞれの機械的性質を, 表2は溶接条件を示したものである。

ピーニングは単位面積当たりの施工時間であらわし, そのピーニング程度は2.2で述べるピーニング検出器で定量的に測定した。

2.2 ピーニング検出器

図2(a)に示す形状のピーニング検出器を工具鋼(SK3)にて作った。同図(b)のようなピーニングハンマを用いて, ピーニングする上面中央部は支柱(40mm×100mm×20mm)を通じて剛性の大きな母材とつながっているため, 強塑性加工であるピーニングを受けても裏面からの反力による無秩序な変形は生じない。一方, 上面中央部はピーニングされることによって表面が延ばされる結果, 両フランジ部が図示のように傾斜する。この場合のフランジ部と母体の間げきを測定し, その変化量をもってピーニングの程度を表示するものである。今回は空気圧約4kg/cm²で同図(b)のかたさ30~40Hsのピーニングハンマを用い, 2個の検出器について垂直および60度傾斜ピーニングを行なって, フランジの変化量とピーニング時間の関係で示されるピーニング量検出曲線を求めると同図(c)の

表1 試験片の機械的性質

材 質	降伏点 σ_y (kg/mm ²)	引張強さ σ_B (kg/mm ²)	伸 び ϵ (%)	かたさ Hv	縦弾性係数 E (kg/mm ²)
HD 309 M ₀	43.0	56.9	23.2	334	16,000
SS 41 鋼	26.0	47.8	33.6	125	20,500
SC 46 鋳鋼	40.2	68.7	53.0	210	23,200
低 Mn 鋳鋼	41.0	51.3	34.0	164	20,900
13Cr 鋳 鋼	61.4	75.7	46.5	241	22,500

表2 試験片の溶接条件

試 験 片	補 修 溶 接	肉 盛 溶 接
母 材	SS41, SC46, 低Mn, 13Cr	SS 41
溶 接 棒	HD 309 M ₀ 4φ	HD309 M ₀ 4φ
電 圧 (V)	25~30	25~30
電 流 (A)	130~140	130~140
溶 接 速 度 (mm/min)	170	160
層 数	$t = \begin{cases} 3 \cdots \cdots 2 \\ 6 \cdots \cdots 3 \\ 10 \cdots \cdots 4 \end{cases}$ 層	24パス×2層
層 間 温 度 (°C)	約 150	約 150
拘 束	—	4 辺拘束

ようになる。2個の検出器による測定値はよく一致し、再現性のあることがわかる。したがって、任意のピーニング条件で行なう場合もこのようなピーニング検出曲線を求めておき、実施に当たってはピーニング時間によってピーニング程度をは握することができる。

2.3 残留応力測定法

2.3.1 表面残留応力

試験片表面の残留応力はトレパン法による機械的なグナート式ひずみ計のひずみ測定部分を抵抗線ひずみゲージに置換えて行なわれた。図3(a)に示すようなグナート式ひずみゲージ(SK-81, 共和電業製)を考案し、これを用いて測定した。この方法は同図(b)に示すトレパンソーを用いて、ひずみゲージの周囲約20mmφに深さ7~10mmのみぞを入れて応力を解放し、 ϵ_0 , ϵ_{45} , ϵ_{90} の解放前後ひずみの変化を測定し、次式により主ひずみ ϵ_1 , ϵ_2 および主ひずみの方向 θ を求め、平面応力として残留応力 σ_1 , σ_2 を算出するものである。 E は縦弾性係数、 ν はポアソン比である。

$$\epsilon_1 = \frac{\epsilon_0 + \epsilon_{90}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\epsilon_0 + \epsilon_{90}}{2} - \epsilon_{45}\right)^2 + \left(\frac{\epsilon_0 - \epsilon_{90}}{2}\right)^2} \quad \cdots \cdots (1)$$

$$\tan 2\theta = \frac{\epsilon_0 + \epsilon_{90} - 2\epsilon_{45}}{\epsilon_0 - \epsilon_{90}} \quad \cdots \cdots (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_1 + \nu\epsilon_2) \\ \sigma_2 &= \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_2 + \nu\epsilon_1) \end{aligned} \right\} \quad \cdots \cdots (3)$$

2.3.2 板厚方向面内残留応力

溶接部の板厚方向面内残留応力は Rosenthal-Norton⁽²⁾により提案された測定法に基づいて行なわれた。すなわち、図4に示すように、試験片の表と裏にひずみゲージをはり付けて、その周囲10×70mmのブロックを切り出す。この切り出しによる応力解放は板厚に沿って直線とみなす⁽³⁾。次いでブロックを板厚中心から切半したのち、逐次切削を繰り返して解放ひずみを測定する。同じような操作を最初のブロックとは垂直方向のブロックについても行なった。測定法の詳細は文献⁽²⁾にゆずりここではその結果だけを示すことにする。図4のようなブロックを切り出したとき解放される表面での応力は次の記号を用いて(4)式のようになる。

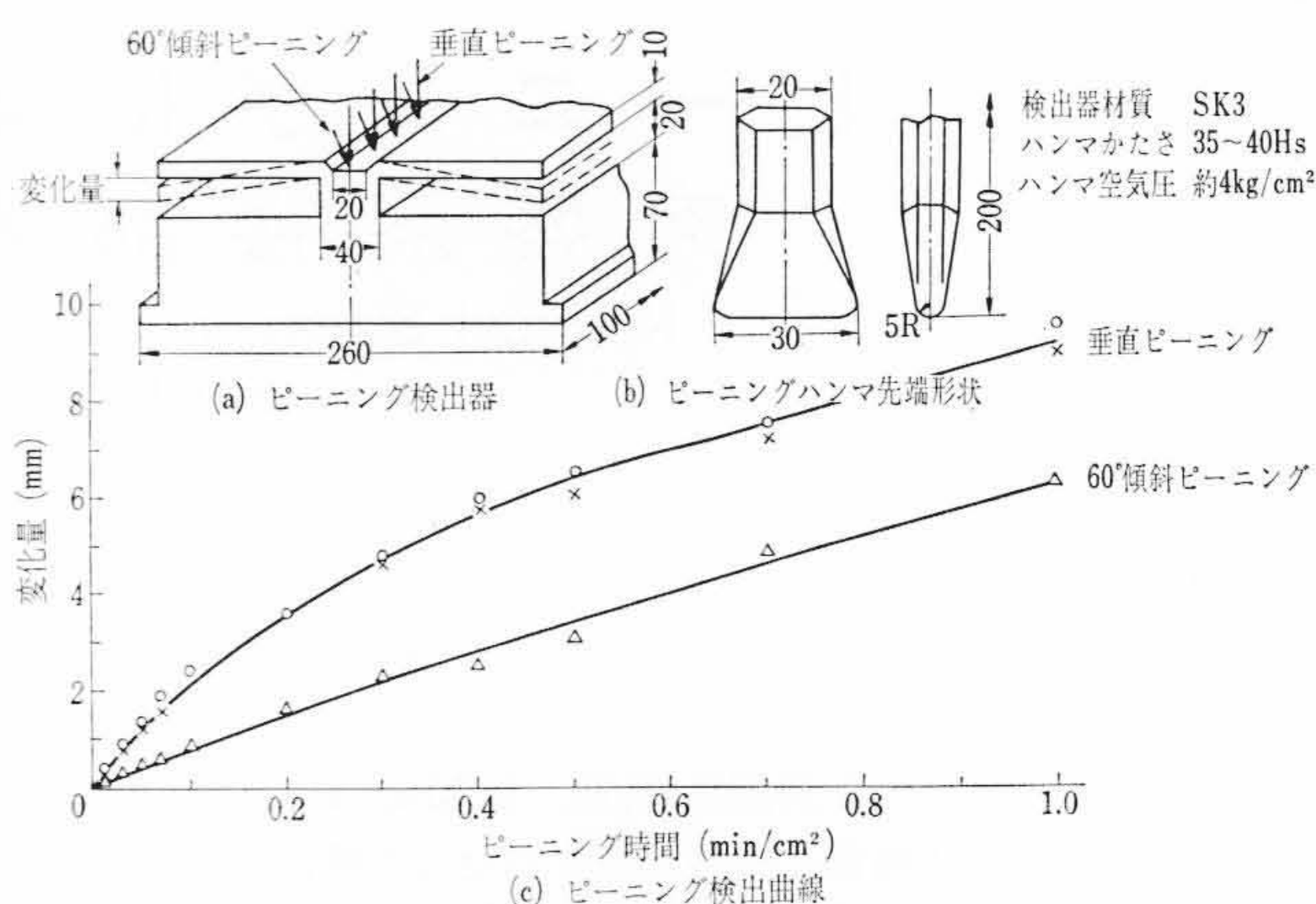


図2 ピーニング施工要領

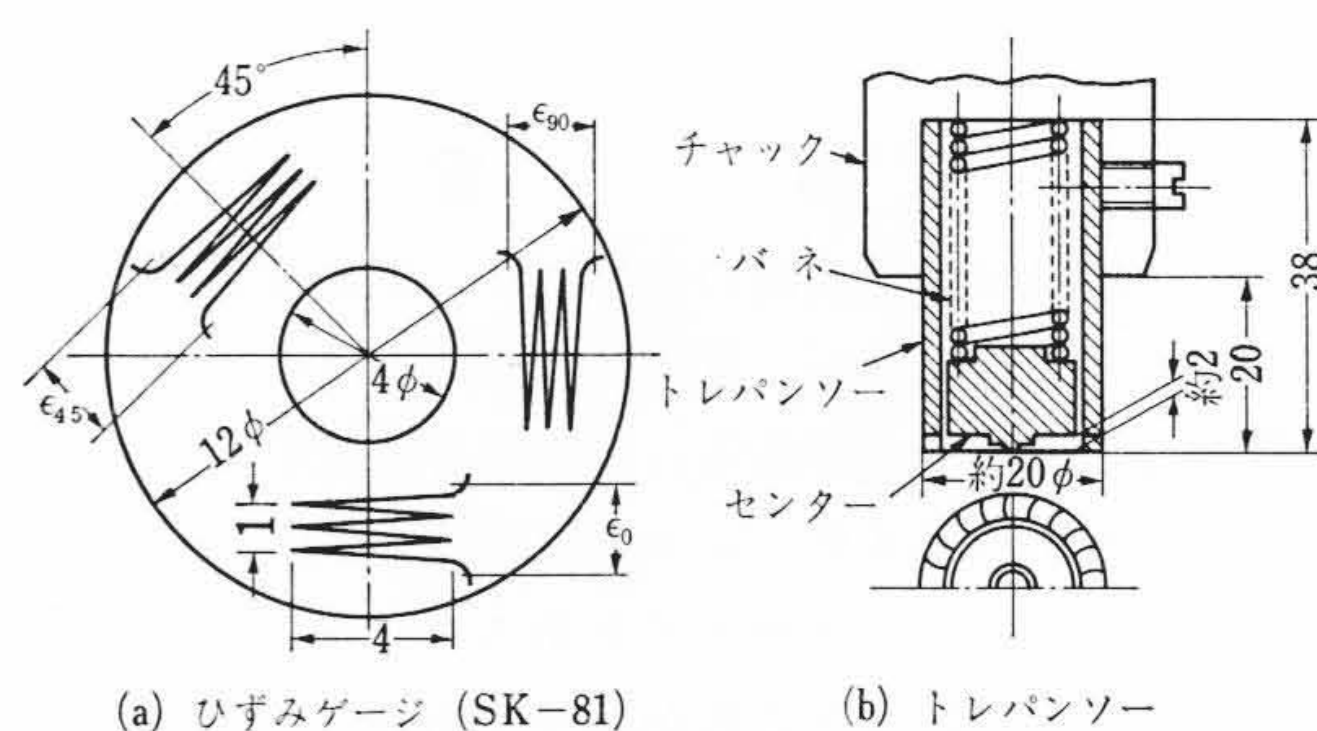


図3 表面残留応力測定用グナート式ひずみゲージ

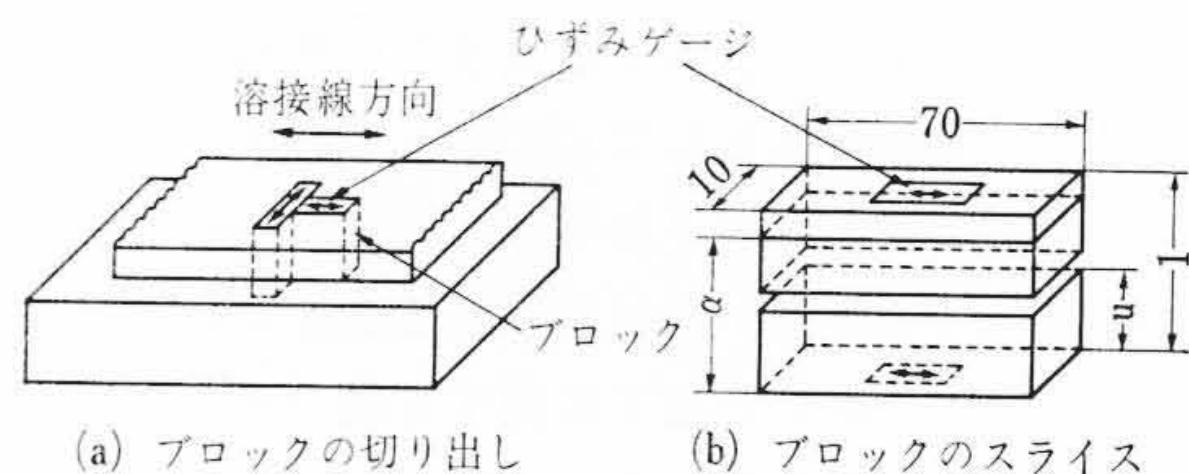


図4 板厚方向面内残留応力測定要領

添字 l, t : ゲージ方向, それに垂直方向を意味する

σ_l' : ブロックを切り出すときに解放される応力

ϵ_l' : ブロックを切り出すときに解放される表面のひずみ

$\epsilon_l'', \epsilon_t''$: 表面の全解放ひずみ

添字 α : 底面よりの距離の全板厚に対する比である面を意味する

添字 u : ブロックを2分した面の底面からの距離の全板厚に対する比が u であること

添字 p : ブロックを2分した場合の上部のブロックを意味する

添字 b : ブロックを2分した場合の下部のブロックを意味する

σ_{ap}'' : ブロックを2分した場合 α 面にて解放される応力

ϵ_p'' : ブロックを2分した際上部表面にて解放されるひずみ(収縮を正とする)

ϵ_b'' : ブロックを2分した際下部底面にて解放されるひずみ(収縮を正とする)

σ_{ap}''' : 2分された上部ブロックをさらに逐次スライスを繰り返して、 α 面までスライスされた場合。

α 面で解放される応力

e_p'' : α 面までスライスをしたときに上部ブロックにて解放されるひずみ

σ_α : α 面にあった残留応力

$$\sigma_\alpha' = \frac{E}{1-\nu^2} (e_t' + \nu e_r') + \frac{\nu E}{1-\nu^2} (e_t'' + \nu e_r'') \dots\dots\dots (4)$$

同様の式がブロック底面においても成立する。ブロックの内部にてブロック切り出しのため解放される応力 σ_α は応力の直線性から(4)式で求まるブロック表面と底面の解放応力より求めることができる。

次にブロックを底面より u なる面にて2分したとき底面より α なる面にて解放される応力 $\sigma_{\alpha p}''^0$ は次のようになる。

$$\sigma_{\alpha p}''^0 = E \left[e_p''^0 \left\{ 1 - \frac{3-u}{1-u} (1-\alpha) \right\} + \frac{(1-\alpha)u^2}{(1-u)^2} e_b''^0 \right] \dots\dots\dots (5)$$

2分されたブロックにつき逐次スライスを繰り返すことにより α 面にて解放される応力 $\sigma_{\alpha p}'''$ は

$$\sigma_{\alpha p}''' = E \left\{ \frac{1-\alpha}{2} \times \frac{de_p''}{d\alpha} - 2(e'' - e_p''^0) + 3(1-\alpha) \int_u^\alpha \frac{e_p'' - e_p''^0}{(1-\alpha)} d\alpha \right\} \dots\dots\dots (6)$$

求める残留応力 σ_α は(4)，(5)，(6)式より

$$\sigma_\alpha = \sigma_\alpha' + \sigma_{\alpha p}''^0 + \sigma_{\alpha p}''' \dots\dots\dots (7)$$

以上は上部ブロックについてのみ記したが，下部ブロックについても同様の式が成立し，全板厚に対する残留応力分布が求められる。

3. 実験結果とその検討

SS 41，SC 46，低 Mn 鋼，13Cr 鋼を母材とした補修および肉盛溶接試験片における溶接のままとピーニング後の表面および板厚方向面内残留応力は図 5～9 に示すように求められた。各図において

(a) は表面残留応力，(b) は板厚方向面内残留応力を示し，破線が溶接のままで実線がピーニングを施工した場合である。

3.1 補修溶接の場合

本実験に用いた各種材質の相違による表面残留応力分布の差異は認められなかった。すなわち溶接のままで溶接部に約 40 kg/mm^2 の引張残留応力が生じ，溶接境界から大略 10 mm 離れた母材表面で半減している。これに目視にて細かい溶接ビートの波打が消える

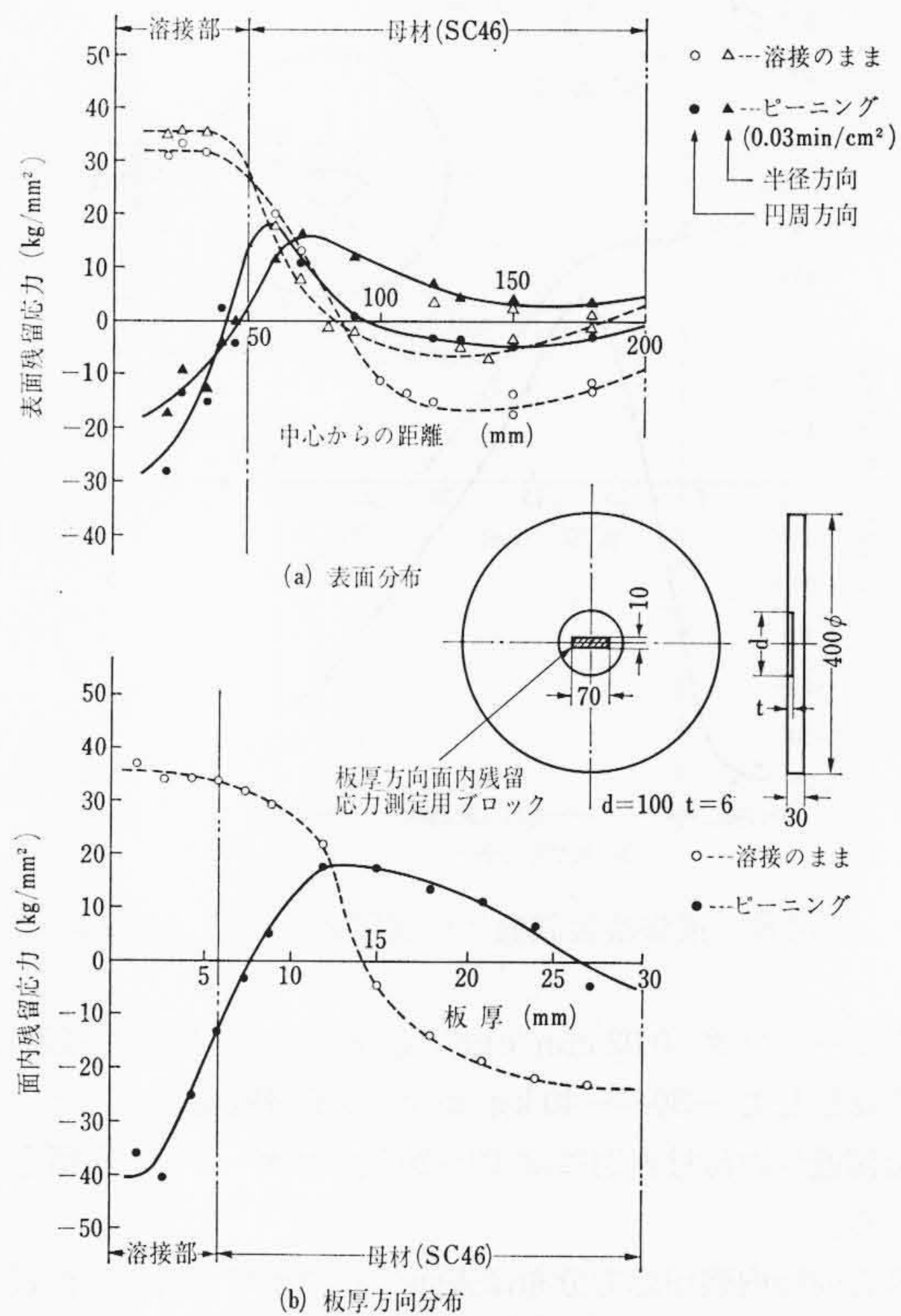


図 6 補修溶接試験片の残留応力分布 (SC46)

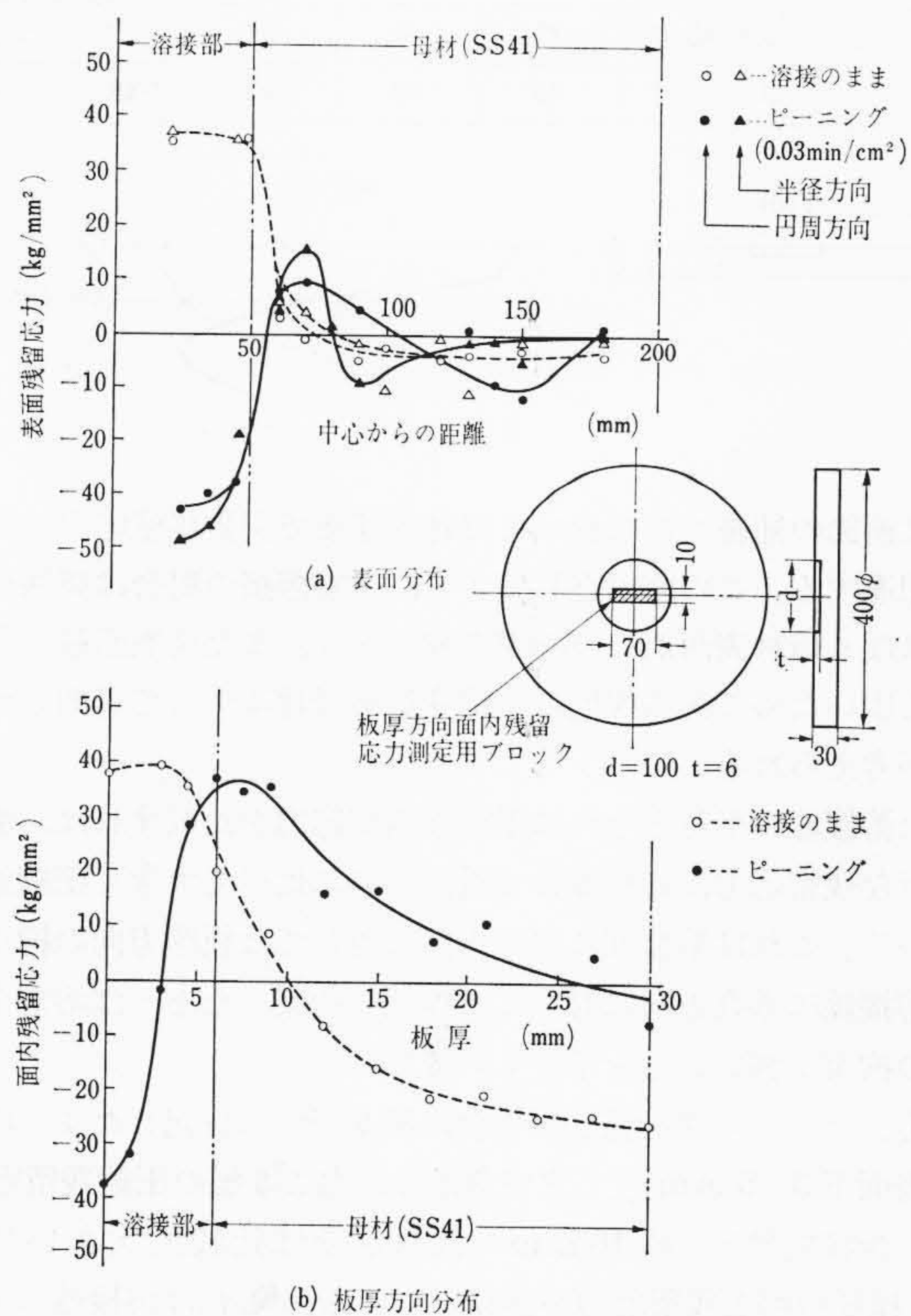


図 5 補修溶接試験片の残留応力分布 (SS41)

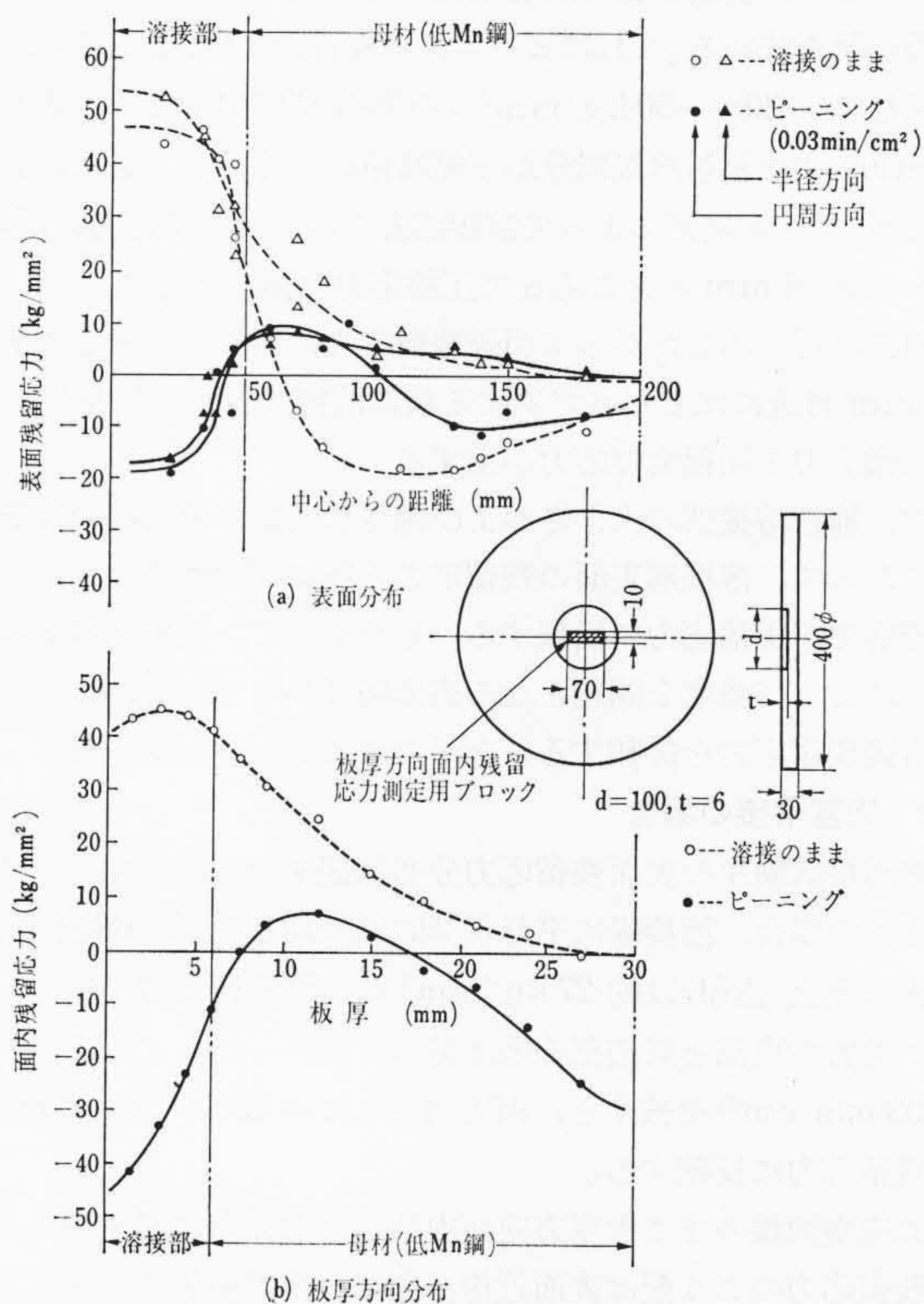


図 7 補修溶接試験片の残留応力分布 (低Mn鋼)

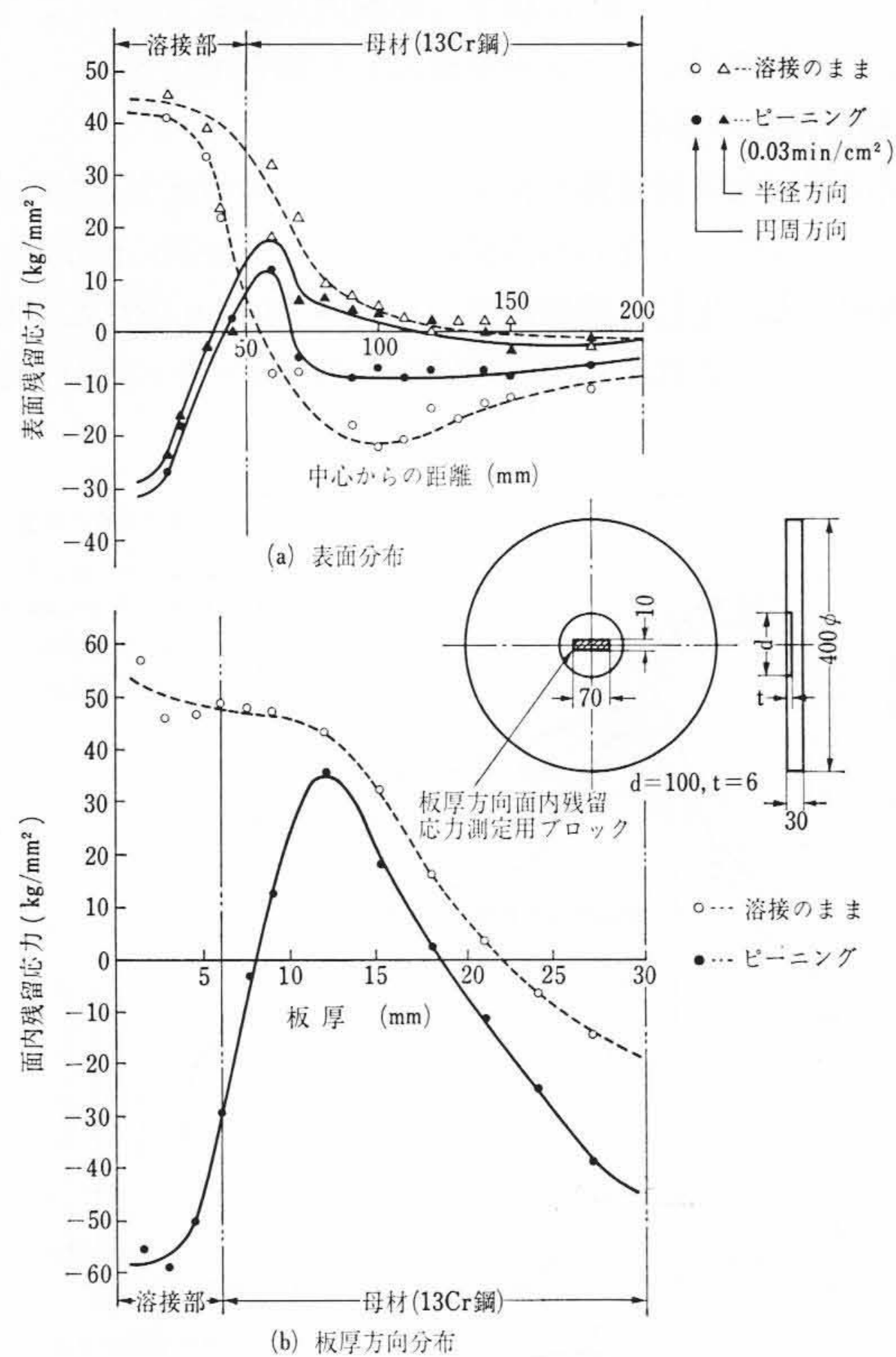


図 8 補修溶接試験片の残留応力分布 (13Cr 鋼)

程度のピーニング (0.03 min/cm²) を施せば、溶接部の残留応力は大きく反転して -30~-40 kg/mm² の圧縮残留応力となる。しかし溶接部近傍の母材表面には 10~20 kg/mm² の引張残留応力が残っている。

板厚方向面内残留応力分布は表面の応力分布と同様に材質による相違は見られず、いずれも同じような傾向を示している。したがって、母材を鋳鋼の代わりに SS 41 を用いても大差ないことがわかる。溶接のままでは表面が約 40 kg/mm² で、境界より母材内部にもその影響が及んでいる。これにピーニングを行なえば、表面の残留応力は反転して -30~-50 kg/mm² の圧縮残留応力となり、表面下約 3~6 mm、すなわち溶接部分が圧縮残留応力となる。さらに詳しく述べれば、ピーニングによって溶接部表面が圧縮残留応力に反転し、表面から 3~6 mm のところまで圧縮応力の領域となり、これから母材内部に行くにしたがって引張残留応力に変わり、そして表面から 10 mm 付近にはピーニングする前に溶接部表面に存在した高い引張残留応力と同程度の応力が生ずる。

なお、補修溶接部の大きさおよび深さを変化させた場合は表 3 のようになって、溶接部表面の残留応力と特に関連性はなく、いずれも引張応力が圧縮応力に反転する。したがって、補修溶接部はピーニングによって強度上問題となる表面層ばかりでなく、かなり内部まで溶接残留応力を緩和することができることがわかった。

3.2 肉盛溶接の場合

肉盛溶接試験片の表面残留応力分布は図 9 (a) に示すように、溶接のままの場合、溶接線に平行 (○印) は平均して約 36 kg/mm²、溶接線に垂直 (△印) は約 27 kg/mm² の引張残留応力が生じ、その分布に肉盛中央部と周辺部の差は見られなかった。これにピーニング (0.03 min/cm²) を施すと、両方向ともに -45~-56 kg/mm² と圧縮残留応力に反転する。

次に肉盛溶接のまま板厚方向面内残留応力分布は図 9 (b) のように、残留応力のこう配は表面近傍が急で、溶接境界ではほとんどゼロに近く、母材の応力値は比較的小さいが圧縮応力に転じている。

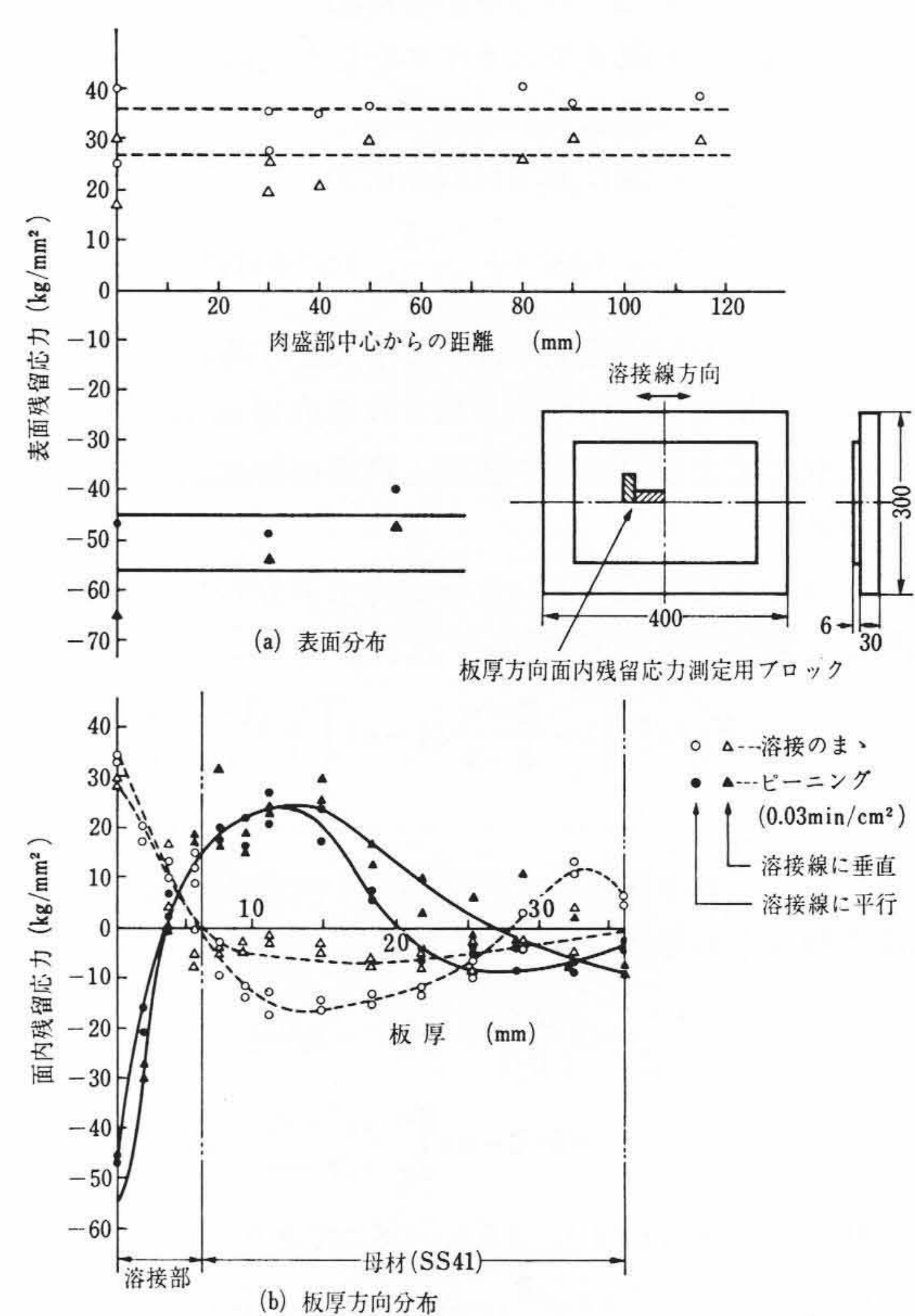
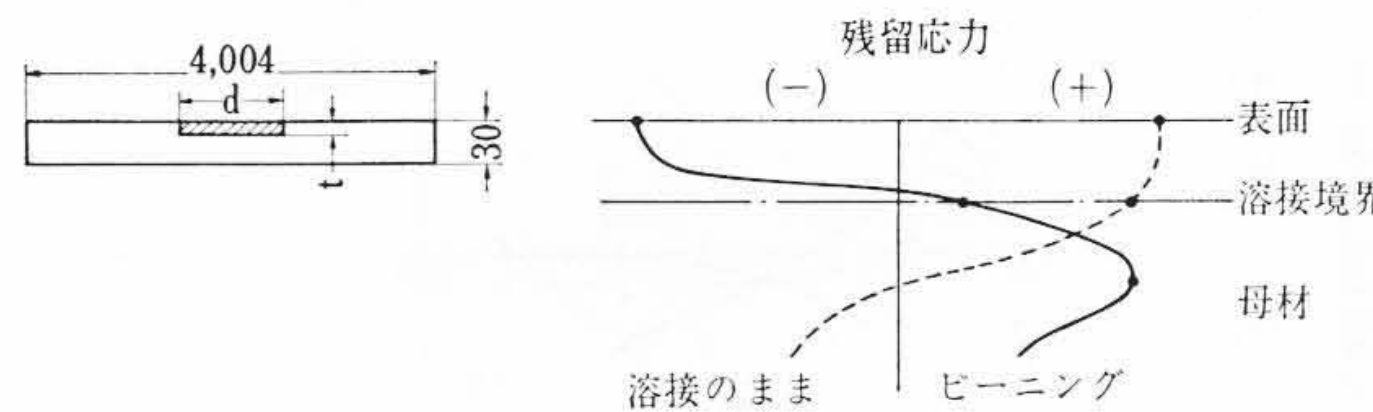


図 9 肉盛溶接試験片の残留応力分布 (SS 41)

表 3 補修溶接試験片主要部の板厚方向面内残留応力 (kg/mm²)

条 件	位置	寸法 $d \times t$				
		20×6	50×6	100×6	50×3	50×10
溶接のまま	溶接部表面	30	55	38	40	42
	溶 接 境 界	28	57	23	52	37
	母 材	25	43	5	20	35
溶 接 後 ピーニング	溶接部表面	-52	-40	-38	-57	-45
	溶 接 境 界	35	40	36	2	50
	母 材	40	52	36	48	50



これは前節の補修溶接において母材内部まで引張残留応力であることと相違する。この原因としてまず、肉盛溶接の場合は周囲からの拘束はなく母材表面からの拘束のみであり、また肉盛面積が板厚に比べて広いためにある程度の溶接変形が母材に生じて弯曲したことなどが考えられる。

また溶接線に平行とそれに垂直な残留応力を比較すれば、溶接線に平行な残留応力は母材部分で垂直方向に比べて大きく圧縮側に転じている。これは溶接部に平行方向に対しては板厚方向の拘束が強く、溶接線に垂直方向に対しては周囲の拘束、たとえば溶着金属相互間の拘束が強いことを示すものであろう。

一方、ピーニングを施した場合は図 9 (b) に併記したようになって、表面下 3~5 mm 近くまで急激な応力こう配の圧縮残留応力が生じ、溶接境界から約 10 mm の母材部分は比較的大きい 25 kg/mm² 程度の引張残留応力が存在している。これは溶接線に平行、垂直といった方向性を持たないものであるため、ピーニングによ

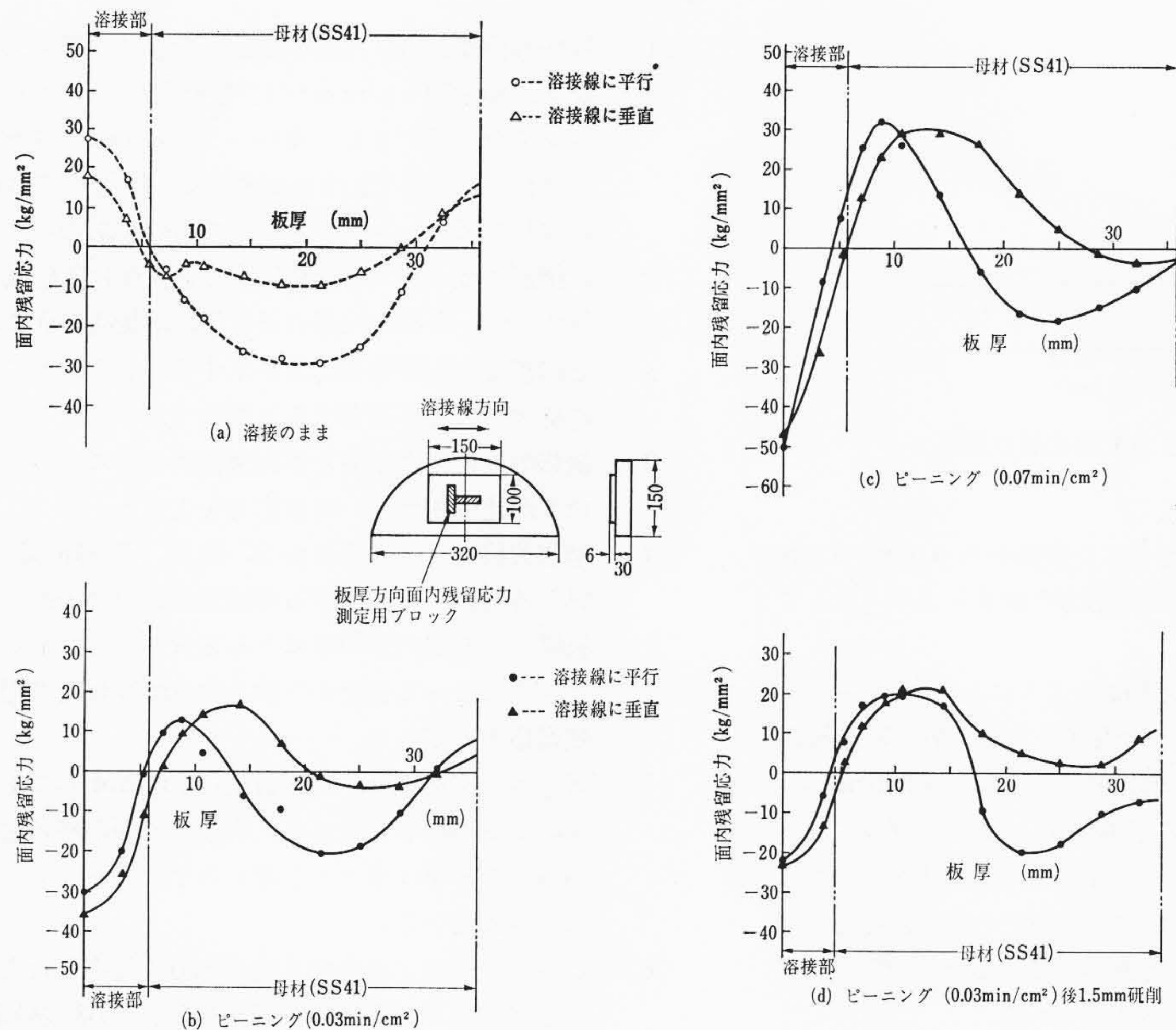


図10 ピーニング程度および研削の残留応力分布に及ぼす影響

て生じた残留応力分布で、補修溶接の場合と同様な傾向を示している。

以上の結果から、肉盛溶接によって生じた溶接部の引張残留応力はピーニングによりじゅうぶんな深さまで緩和されることがわかった。ただし、補修、肉盛溶接の場合とともに、ピーニングによって表面から10 mm程度の母材内部に引張残留応力が生じ、その位置は溶接部大きさや深さあるいは肉盛溶接でもあまり変わらないようで、ピーニングによる塑性変形量によるものと考えられる。したがって、ピーニングによって溶接による表面の引張残留応力が内部へ押し込められたことになり、この部分に補修前あるいは肉盛前に残存欠陥が存在すると強度上危険であるので、溶接前の欠陥除去を完全に行なう必要がある。また過度のピーニングはこれに釣合うべき内部の過大引張残留応力を生じさせるため注意しなければならない。

3.3 ピーニング程度および研削の残留応力に及ぼす影響

補修溶接試験片の残材を利用して肉盛溶接試験片をつくり、ピーニング程度と研削の残留応力に及ぼす影響を調べた結果を図10に示す。同図(a)は溶接のままで母材内部の圧縮残留応力がかなり大きいのは拘束が弱く母材が変形したためと考えられる。溶接後ピーニングを0.03 min/cm²施したものが同図(b)で、またピーニングを0.07 min/cm²と2倍以上多く行なった場合は同図(c)のようになる。(c)の場合は(b)に比べて表面の残留応力が-20 kg/mm²程度増加しているが、圧縮残留応力の範囲はあまり変わらない。かえって母材内部に約30 kg/mm²の引張残留応力が生じている。これらのことからピーニングをあまり多く行なうことは残留応力緩和の面からもあまり効果がないため、注意すべきである。

図10(d)は溶接後、0.03 min/cm²のピーニングを施し、さらに表面を1.5 mm グラインダ研削を行なったものである。同図(b)の残留応力分布と比較すれば、表面の圧縮残留応力が約10 kg/mm²減少しているが、溶接境界まで圧縮残留応力が残っている。すなわちピーニングにより塑性変形した層は残留応力の分布からいえば表面下6 mm程度であり、この塑性変形によって圧縮応力に転じた残

留応力は研削にて表面を除去してもなお存在する。このことからピーニングしてグラインダ研削を施してもピーニング効果はじゅうぶん保たれることがわかる。

3.4 ピーニングによる加工硬化層

ピーニングによる溶接残留応力の緩和効果を検討するため、板厚方向のかたさ分布を測定した結果は図11～13に示すとおりである。まず補修溶接試験片で、溶接部深さを変えた場合のかたさ分布は図11のようになって、深さ3 mmでは加工硬化層が母材にまで及び、

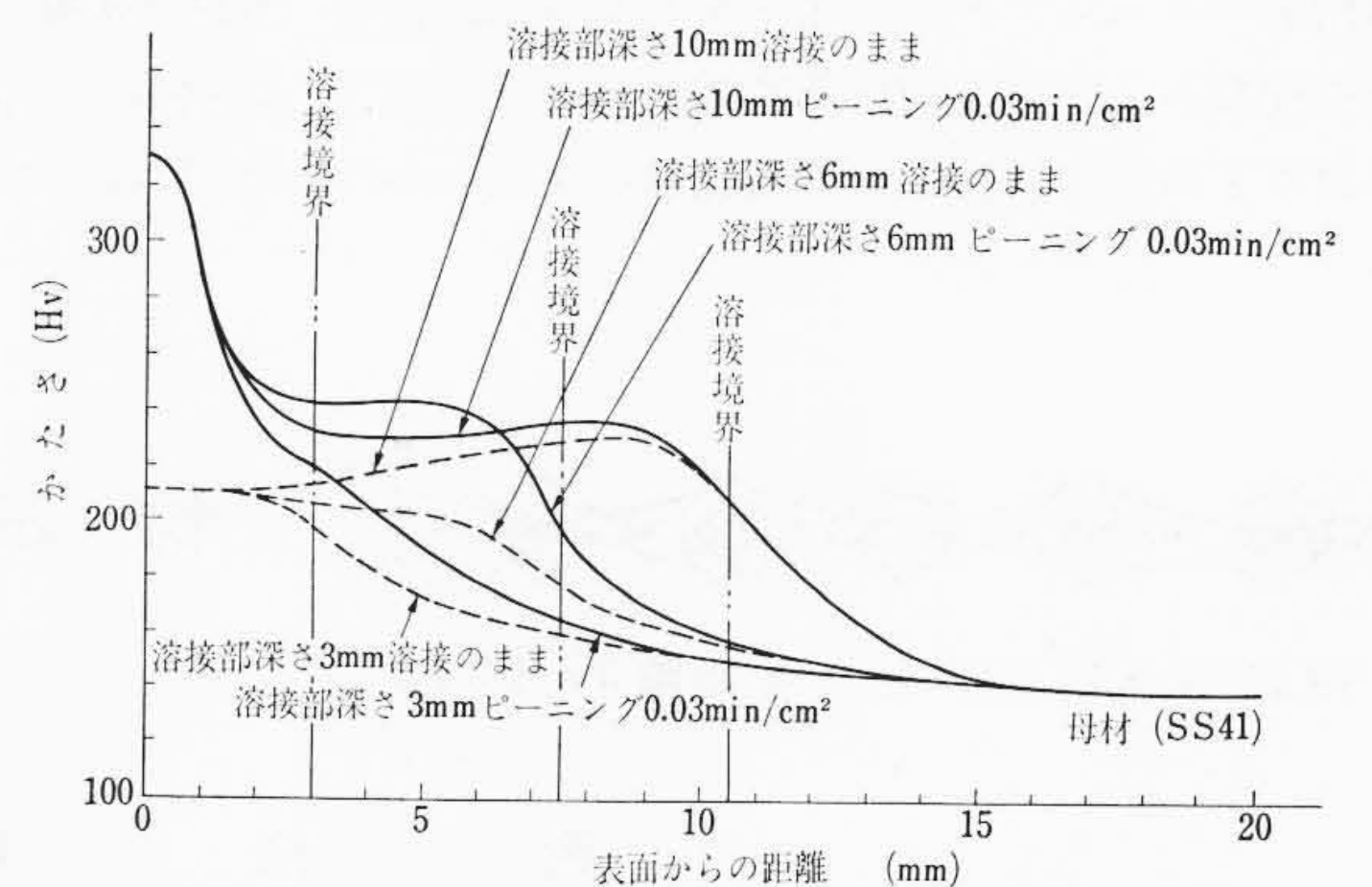


図11 溶接部深さとピーニングによる加工硬化層

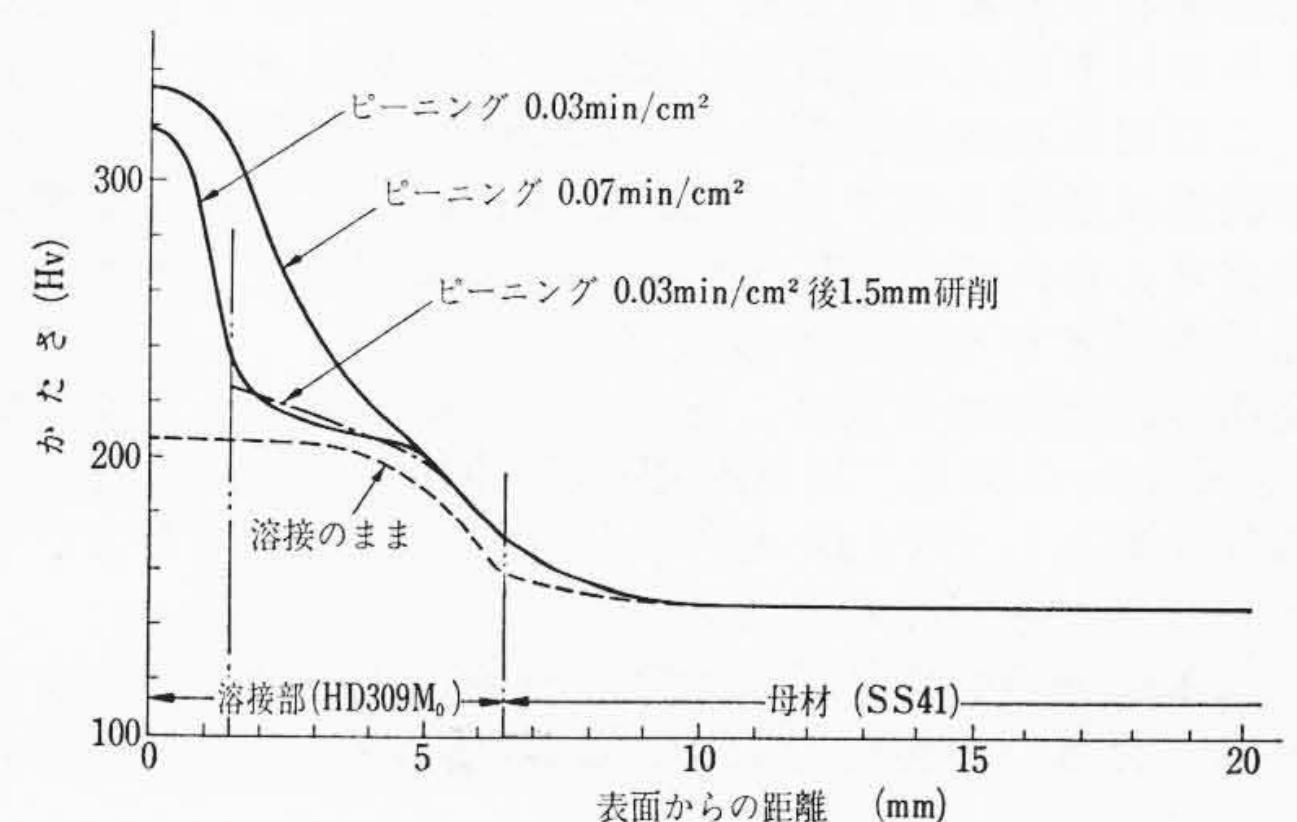


図12 ピーニング程度および研削のかたさ分布に及ぼす影響

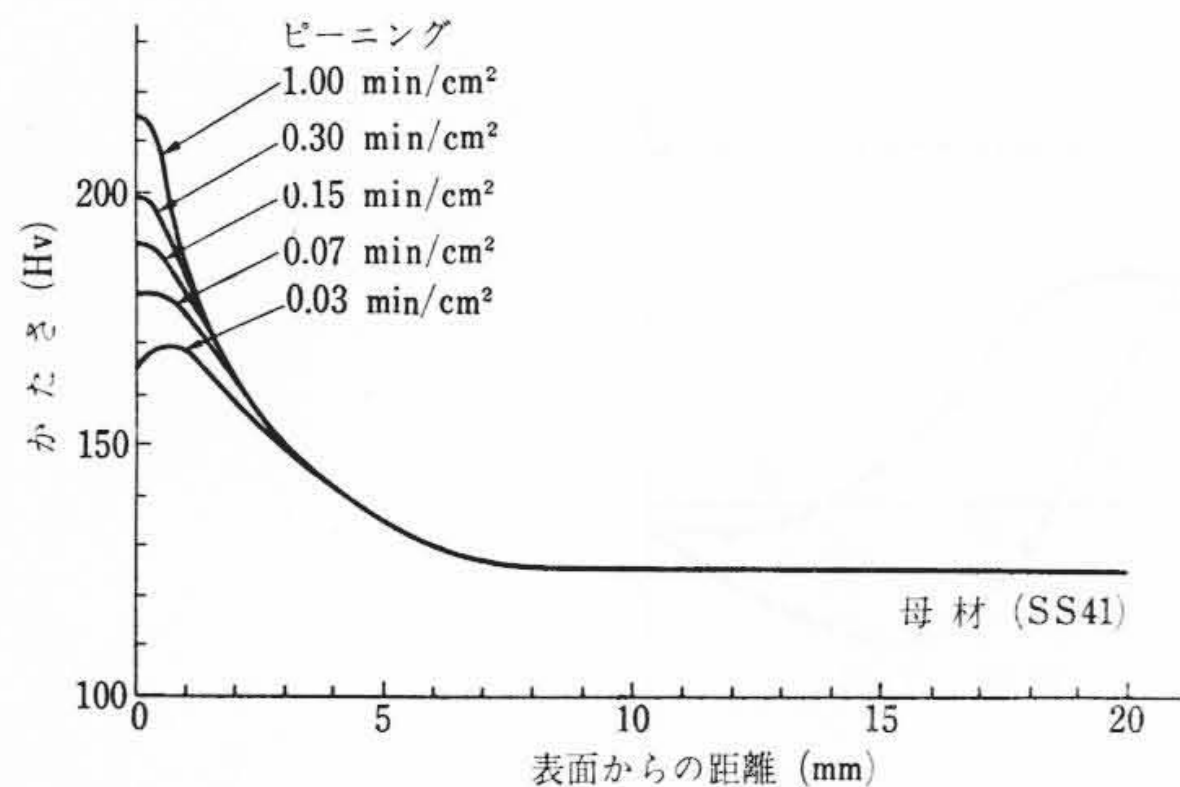


図13 ピーニング程度と加工硬化層の関係

また6mm、10mmと深くなってもやはり表面から6mm～8mmある。これらの結果は板厚方向面内残留応力の結果とよく一致している。

次に、ピーニング程度との関係は図12のようになって、オーバーピーニング(0.07min/cm²)したほうは内部まで高い加工硬化層になるが、溶接のままのかたさ分布との比較では5mm～6mmが加工を受けている。さらにピーニング(0.03min/cm²)後グラインダ研削を1.5mm程度行なった場合にも、加工硬化層が依然として残されている。そしてかたさ250Hvを越える脆化の原因になると思われる強度の硬化層は除かれて残留応力が-25kg/cm²程度存在することは材料強度の点から好ましいことである。

以上は溶接部についてピーニングを行なった場合であるが、ピーニング程度による加工硬化の状況を基本的には握するため、焼なました母材(SS41)について調べた結果は図13のようになる。ピーニング時間が長くなると、表面近傍のかたさは大きくなるが、ピーニングの影響する深さはすべての場合に約6mm程度になっている。したがって、加工硬化層はピーニングの初期にすでに6mm程度に飽和するものであることがわかる。

4. 結 言

鋳鋼品のオーステナイト系ステンレス鋼溶接棒(HD 309 Mo)を用いた補修および肉盛溶接部にピーニングを施工した場合の表面および板厚方向面内残留応力の変化状態を明らかにした結果、次のこ

とがわかった。

- (1) 補修溶接部表面には補修部分の大きさや深さにあまり関係なく、40～50kg/mm²の引張残留応力が生ずるが、ピーニングを施工すると-40～-50kg/mm²の圧縮残留応力に反転し、表面下約6mm程度の深さまでの残留応力緩和に対してピーニングがきわめて有効である。
- (2) 溶接部にピーニングを施工すると表面は圧縮残留応力に反転するが、板厚の内部の母材側に溶接時表面に生じていたと同程度の引張残留応力が生ずる。したがって、この部分に切欠き欠陥が存在すると危険である。
- (3) 補修溶接と肉盛溶接とは拘束程度の差によって補修溶接のほうが比較的大きい残留応力を生ずる。
- (4) 補修溶接を行なう母材がSC46鋼、低Mn鋼、13Cr鋼と異なる場合でも、生ずる溶接残留応力の表面分布あるいは板厚方向の面内分布はほとんど変わらない。それらはピーニングによって表面から深さ約6mm程度の範囲まで圧縮残留応力に転じる。
- (5) ピーニング後グラインダ研削を1.5mmしても、ピーニングのままの場合に比べて、板厚方向面内残留応力分布およびかたさ分布はほとんど変わらず、ピーニングによる効果は残されている。
- (6) ピーニングにより生ずる残留応力に対応した変化量を検出するピーニング検出器を開発した。溶接残留応力緩和法としてのピーニング程度はごく初期に飽和するもので0.03min/cm²程度でじゅうぶんである。

終わりに、本研究を行なうに当たり、終始ご指導を賜った日立製作所日立研究所大内田部長、楠本室長、勝田工場鷺山課長、実験に協力された日立研究所根本貞夫君に深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) Peening Committee of the Welding Research Council: Weld J. (1954-4) 206 S～208 S
- (2) D. Rosenthal and J. T. Norton: Welding J. (1945-3) 295 S～307 S
- (3) S. Timoshenko: "Theory of Elasticity" McGraw-Hill Book Co. (1934) P. 134



特 許 の 紹 介



特許第531366号(特公昭38-13762号)

西山太喜夫・岡田千里
清水貞一・保坂信義

耐 摩 耗 性 鋳 鉄

固形物を含有する液を取り扱うランドポンプのランナなど過酷な条件にさらされる部品の摩耗は、ほぼその硬度に比例すると言われている。このため従来前記部品には高Cr鋳鉄が使用されているが、その成分範囲は多種多様であって、C、Cr量が多いほど耐摩耗性は向上すると考えられるが、C、Cr量の増加に伴って高硬度となり、機械加工が困難となる欠点があった。

この発明の耐摩耗性鋳鉄は、その欠点を除去したもので、Cr15.0～27.0%、C2.0～3.55%、Si0.2～2.0%、Mn0.2～2.0%を基本成分とし、添加元素としてV1.0～6.0%含有し、残部がFeおよび普通の不純物からなることを特長とする。

上記の基本成分範囲の鋳鉄の耐摩耗性を向上させ、しかも加工が比較的容易な合金(焼鈍温度HRC35以下)をうるには、熱処理に

よって容易にその形態を変化する炭化物生成元素を添加し、その添加量に応じて基本成分のCとCrとのバランスをくずさないようにCを補充することが必要である。そのため、種々の研究、実験を行なった結果、Vがその目的に適する添加元素であり、その含有量は1.0～6.0%が最適であることがわかった。

この発明にかかわるものの一例を示すと、成分がC3.22%、Cr15.43%、Si0.5%、Mn0.48%、V3.76%のものでは、焼鈍硬度HRC33.5(950℃×1時間)、焼入硬度HRC68.6(1,000℃×30分急冷)で軟鋼の約17倍の耐摩耗性がある。

この発明の耐摩性鋳鉄は汚水ポンプのケーシング、ランナなどに使用して耐摩耗および寿命に関し好成績をあげている。(野村)