

ステンレス鋼管の内面研磨技術

大塚 雅人

日新製鋼株式会社
日新製鋼技報 No.83 別冊
平成14年12月

技術資料

ステンレス鋼管の内面研磨技術

大塚 雅人

Internal Polishing Technology for Stainless Steel Pipe

Masato Otsuka

Synopsis:

A "ball-press belt polishing method" has been devised to decrease the time required for internal polishing of stainless steel sanitary pipes, which are used for food process piping and similar applications. In this method, the inside of the pipe is polished in the longitudinal direction by polishing pressure using the elastic force of balls.

The new method has achieved the following results:

- (1) In the polishing of 4 m-length pipes (SUS304), surface roughness equivalent to that obtained by the present method was achieved.
- (2) This method, offers the possibility of reducing polishing time to about 17 minutes per pipe.
- (3) The corrosion resistance of pipe polished by this method is considered equal to or higher than that obtained by the present method.

1. 緒言

乳製品加工用プラントやビール製造プラントなどに用いられる食品加工用配管は、管内面への食品の付着を抑えることや、管内の洗浄時に食品や洗浄液を管内に残留させない必要があり、内面の平滑性が要求されている¹⁾。

このような食品加工用配管には、JIS G 3447で規定されるステンレス鋼サニタリー管が用いられている。サニタリー管は、オーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304, 304L, 316, 316L) を母材とした継目無管あるいは溶接管で、一般にその内外面を400番研磨仕上げしたものとされている。

市販品は、TIG溶接管を素管とし、①バフ研磨品 (研磨布紙にて管内面を400番仕上げしたもの) と②電解研磨品 (バフ研磨品を電解研磨したもの) の2つに大別される。

一般に内面研磨は、各砥粒粒度ごとに研磨工具を交換する必要があり、管を固定して行うバッチ的な研磨であるため、粗研磨から仕上げ研磨まで複数の研磨スタンド

を用いて、管を回転させながら長手方向に移動させる連続的な研磨である外面研磨に比べ、能率が著しく低下している。例えばサニタリー管のバフ研磨品における4m管1本当りの内面研磨時間は、装飾管用途の外面研磨 (400番仕上げ) に比べて、少なくとも15~20倍程度要しているのが実状である。

そこで、サニタリー管用素管を供給する立場から、需要家の方々に高能率な管内面研磨技術 (アイデア) を提供すべく、新規に「ボール圧下式ベルト研磨法」を考案し、検討を行ったものである^{2,3)}。

本報告では、バフ研磨品をターゲットとし、「ボール圧下式ベルト研磨法」による4m管の試作を行ったので結果を報告する。

2. 管内面研磨方法

2.1 現行法とその技術的課題

サニタリー管用素管には、研磨負荷の少ない内面の溶接ビードが平滑な管が適している。この内面の溶接ビー

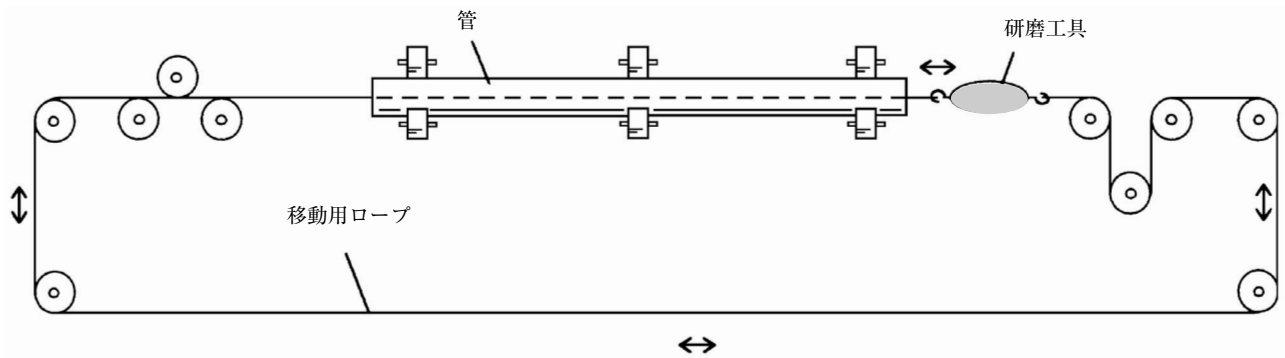


図1 バフ研磨品の管内面研磨装置の模式図
Fig.1 Schematic diagram of pipe internal polishing device for buffed pipes.

ド平滑化方法には、溶接後の内面の溶接ビードを管内側のコロと管外側のバックアップロールで圧延して平滑化するビードローラー方式が主に実施されている⁴⁾。

上述した内面の溶接ビードが平滑な素管を用いた現行のサニタリー管（バフ研磨品）の内面研磨は、図1に示すように研磨布紙を貼り付けた樽型の研磨工具の前後をロープでつなぎ、駆動装置により研磨工具を管内に圧入し、管長手方向に往復させて研磨する方法で行われており、特許公報として開示されている⁵⁾。

このように現行方法はシンプルな方法であるが、素管供給メーカーにおける内面の溶接ビード仕上げの厳しい品質管理が必要であり、研磨能力としては改善の余地があると考えられる。

2.2 ボール圧下式ベルト研磨法

「ボール圧下式ベルト研磨法」は、素管内面の溶接ビード仕上げの品質レベルの多少のばらつきにも対応でき

るよう、高能率研磨に重点を置いたものである。

本法の特徴は、ボールの弾性力により研磨圧力を発生させ、研磨ベルトにて管内面を長手方向に研磨することにある。この方法を効率的に実施するために図2に示すような機構の内面研磨装置を考案した。本装置は、一对のペイオフロールから研磨ベルトを管内に通し、それぞれの研磨ベルトをテンションロールで巻き取りながら、ボールをボール供給装置にて連続的に管内に供給し、ボールの弾性力により研磨ベルトを管内面に押し付け管長手方向の研磨を行うものである。なお、研磨に使用したボールは研磨ベルトとともに管長手方向を移動し、他方の管端から管外に排出される。

以下に本研磨方法の利点を述べる。

- (1) 研磨に作用した研磨ベルトの研磨面は、ボールとともに管内から排出され、順次研磨ベルトの別の研磨面が研磨に作用するため、目づまりが生じにくい。

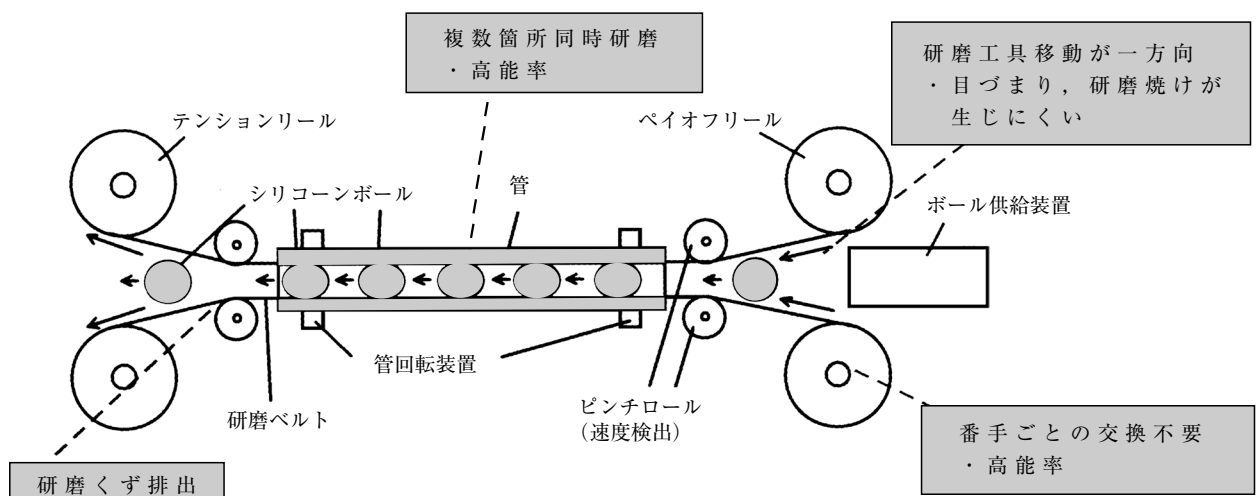


図2 ボール圧下式ベルト研磨法の概略図
Fig.2 Schematic diagram of the ball-press belt polishing method.

- (2) 研磨熱を持った研磨ベルトやボールは、順次管内から排出されるため、研磨焼けが発生しにくい。
- (3) 粗研磨用ベルト後端と仕上げ研磨用ベルト先端をあらかじめ接合しておけば、研磨工具交換無しに連続して研磨できるため、能率が良く、自動化も容易である。
- (4) 研磨工具（ボールおよび研磨ベルト）の移動方向が一方向で無駄が無く、また、常時管内の複数箇所において研磨されるため、研磨能率が向上する。

一方、ボール圧下式ベルト研磨法は管を固定して研磨を行うため、図3(a)に示すように管内面と研磨ベルトが接触しない未研磨領域ができる。図3(b)に未研磨領域の研磨方法の一例を示す。管を90度回転させて未研磨領域を追加研磨すれば、管内面全体の研磨が可能である。

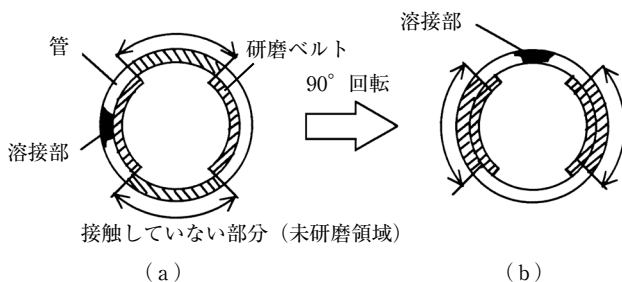


図3 未研磨領域の研磨例（粗研磨）

Fig. 3 The polished example of the un-polished area. (rough polishing)

3. 供試材および実験方法

3.1 供試材

供試材には、最も使用量の多い外径50.8mm、厚さ1.5mm、長さ4mのサニタリー管用素管（SUS304、TIG溶接管）を主に使用した。また、ほかのサイズへの適用検討では、外径38.1mm、厚さ1.2mmと外径76.3mm、厚さ2.0mmのサニタリー管用素管を使用した。表面は、いずれの供試材も固溶化熱処理後に酸洗処理を施した梨地状の肌である。

内面研磨するうえで重要な因子としては、サニタリー管用素管の内表面粗さおよび図4に示すトーライン（ロールクラッシングによる内面ビード平滑化の際、管内面の溶接部と母材部との境界に連続的に発生する溝状のくぼみ）深さなどがある。

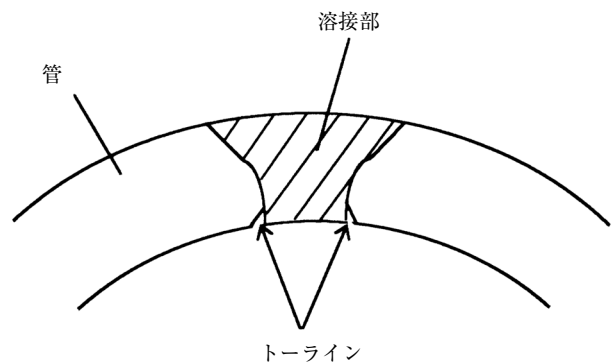


図4 溶接部付近のトーライン

Fig. 4 Toeline around welds.

表1に供試材の内表面粗さを示す。供試材の管長手方向（以下、L方向と記す）および管円周方向（以下、C方向と記す）の内表面粗さは、 $10\mu\text{mRy}$ 以下である。なお、溶接部におけるC方向の表面粗さは、トーライン発生危険部位も含めて測定している。

表1 供試材の内表面粗さ

Table 1 Internal surface roughness of specimens.

鋼種	寸法 (mm)	内表面粗さRy(μm)			
		母材部		溶接部	
		L方向	C方向	L方向	C方向
SUS304	$\phi 38.1 \times t1.2 \times L4.000$	8.6	8.5	9.8	9.6
	$\phi 50.8 \times t1.5 \times L4.000$	7.0	6.9	10.0	9.0
	$\phi 76.3 \times t2.0 \times L4.000$	6.7	6.8	6.5	6.6

3.2 内面研磨実験装置の概要

図5に示す内面研磨実験装置にて、サニタリー管の試作検討を行った。

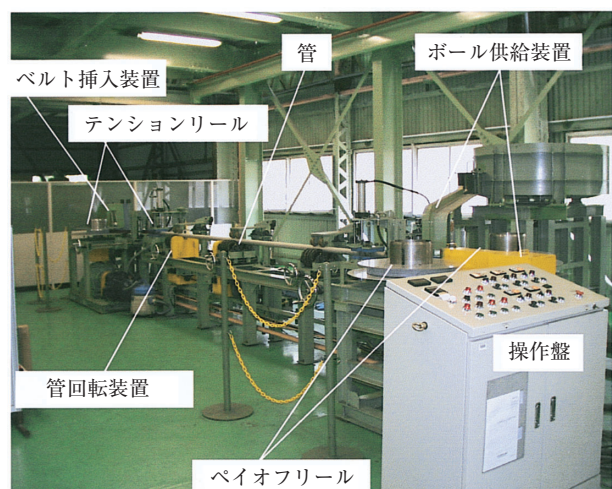


図5 内面研磨実験装置

Fig. 5 Internal polishing test device.

表2に主仕様を示す。本実験装置は、JIS G 3447で規定された全管径（φ25.4～165.2，11サイズ）の4mおよび6m管の内面研磨が可能である。

また、本実験装置は作業性を向上させるため、次のような機構を設けている。

- (1) ペイオフリールに取り付けた研磨ベルト先端を管内に通し、テンションリール側まで搬送できるベルト挿入装置。
- (2) ボールを所定の数・間隔で管内に自動供給可能なボール供給装置。
- (3) 2.2節で述べた管内面の未研磨領域を研磨するため、管を所定の角度回転できる管回転装置。

表2 内面研磨実験装置の主仕様

Table 2 Main specifications of internal polishing test device.

主仕様	
管主仕様	φ25.4～165.2×L4000，6000mm
研磨ベルト主仕様	最大巻き径650mm，幅24～156mm
ボール主仕様	材質シリコン，硬度Hs50，直径24～156mm
ベルト速度	Max.50m/min
管回転数	Max.30rpm
ボール供給装置	1台，ボール供給数Max.1.4個/秒
ベルト挿入装置	1台
設備寸法	全長6100mm（管4000mm時），8100mm（管6000mm時）

さらに、図6に示すようにあらかじめ粗・中間・仕上げ研磨用ベルトを接合してペイオフリールにセットしておけば、研磨工具の交換をしなくても連続して研磨が可能である。

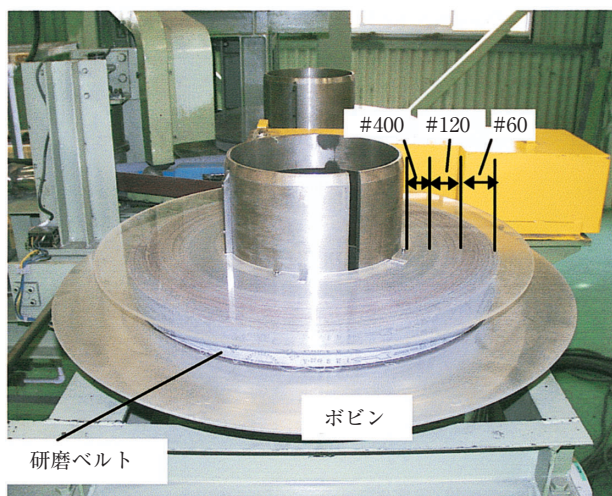


図6 研磨ベルトとボビン（ペイオフリール）
Fig. 6 Polishing belt and bobbin. (pay-off reel)

図7に本実験装置の運転手順を示す。管および研磨ベルトの取付け・取外しなどの段取り替え以外の一連の研磨作業が、ほぼ自動で行える。

3.3 研磨条件

表3に試作条件を示す。研磨ベルトの砥粒の選定において、粗・中間研磨には、比較的安価でA砥粒に比べてFeなど不純物が少なく（Al₂O₃の純度99.9%以上）、研磨中にステンレス鋼の凝着による研磨面のむしれが生じに

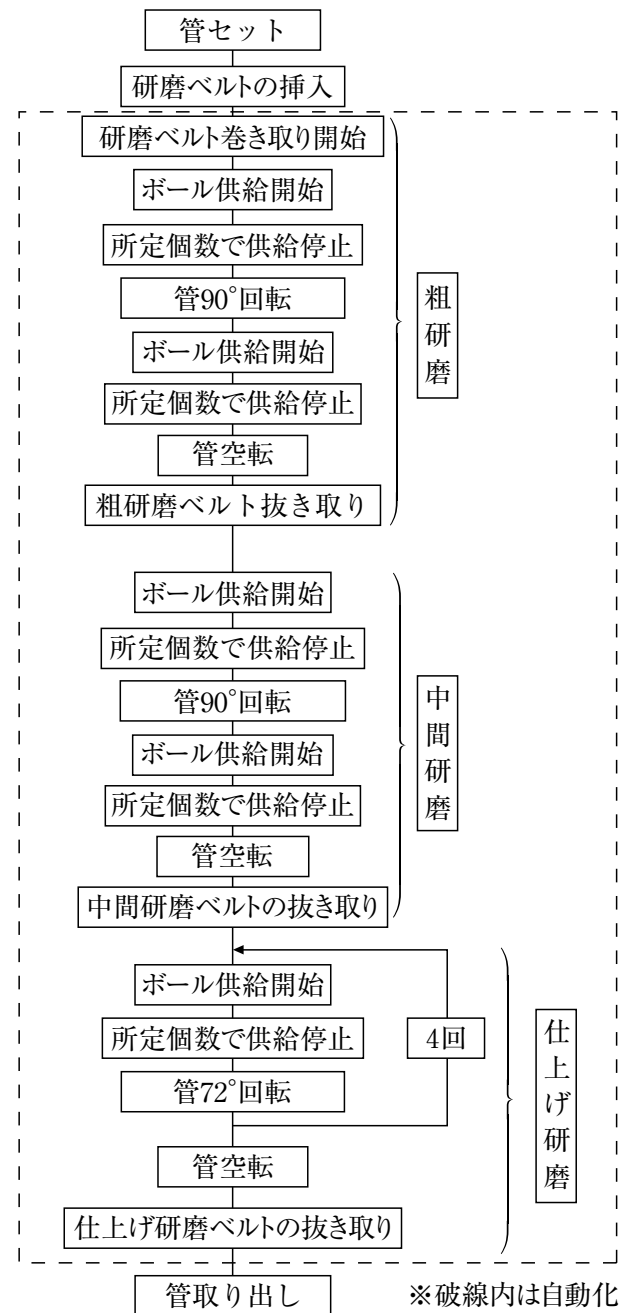


図7 運転手順
Fig. 7 Operation process.

表3 試作条件

Table 3 Test condition.

供試材	$\phi 38.1 \times t1.2 \times L4000(\text{mm})$, $\phi 50.8 \times t1.5 \times L4000(\text{mm})$, $\phi 76.3 \times t2.0 \times L4000(\text{mm})$ SUS304, サニタリー管用素管(TIG溶接+ビードローラー), 内表面粗さ (L, C方向) : $10 \mu\text{mRy}$ 以下
ベルト速度	30, 40, 50m/min
研磨ベルト	砥粒: WA(#60, #80, #120), GC(#400), 接着剤: レジノイドボンド, 基材: 混紡(綿, ポリエステル)三共理化学製 幅: 34mm ($\phi 38.1$), 45mm ($\phi 50.8$), 72.6mm ($\phi 76.3$)
ボール	材質: シリコン, 硬度: スプリング硬さHs50, 直径: 36.1mm ($\phi 38.1$), 48.2mm ($\phi 50.8$), 72.6mm ($\phi 76.3$)
供給ボール数	粗研磨(200個) → 中間研磨(200個) → 仕上げ研磨(100個)
ボール供給間隔	300mm ($\phi 38.1$), 400mm ($\phi 50.8$), 800mm ($\phi 76.3$)

くいWA砥粒 (#60, 80, 120) を用いた。最終仕上げには、研磨ムラを低減させるため、WA砥粒に比べ硬く靱性が低い、つまり破碎により鋭い研削刃を自生しやすいGC砥粒 (#400) を採用した⁶⁾。

合計ボール供給数は、管径が違っていても単位面積あたりに作用する砥粒数はほとんど変わらないとの判断から、管径によらず一定とした。

ボールの供給間隔は、あらかじめ計測した研磨ベルトの引張強さとボール1個当たりの研磨抵抗を考慮し、研磨ベルトが破断しない条件とした。

3.4 内表面の品質評価方法と目標表面粗さ

管内面の長手方向 (L方向), 円周方向 (C方向) の内表面粗さの測定には、表面粗さ測定器 (surfcom, 東京精密(株)) を使用した。表面粗さの測定および表示方法はJIS B 0601に準じて行った。測定箇所は、管一本について母材部と溶接部を500mmピッチで計8ヶ所測定した。研磨後の内表面のトーラインの残存状態は、目視観察にて行った。

なお、市販品のバフ研磨品の内表面粗さは、カタログ値ではL方向 $1.5 \mu\text{mRy}$ の表記が主流であったが、実際の製品を調査した結果、L方向 $1.0 \sim 2.5 \mu\text{mRy}$, C方向 $4.0 \sim 9.0 \mu\text{mRy}$ であった。よって、内表面粗さの目標値は、L方向 $1.5 \mu\text{mRy}$ 以下, C方向 $9 \mu\text{mRy}$ 以下と設定した。

試作研磨品の内表面品質が、サニタリー管として満足できるかを調査するため、耐孔食試験を行った。図8に示す試験片を製作し、市販のバフ研磨品と試作研磨品の孔食電位を表4に示す測定条件に従って比較した。

4. 試作結果および考察

4.1 研磨除去量および表面粗さにおよぼす砥粒粒度の影響

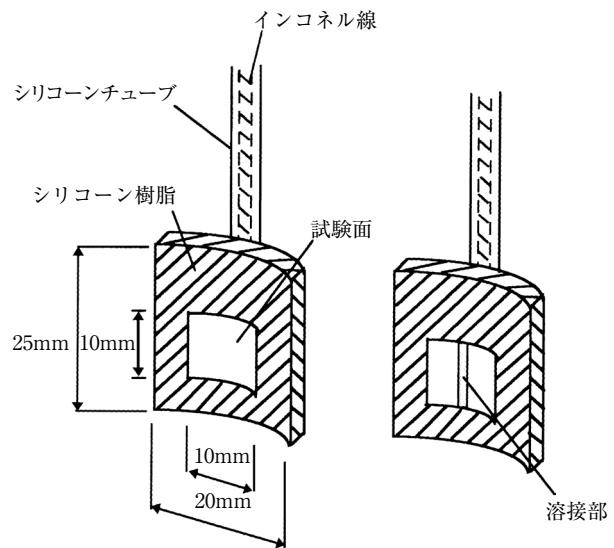


図8 孔食試験片

Fig. 8 Pitting corrosion test piece.

表4 孔食電位の測定条件

Table 4 Measurement condition of pitting corrosion electric potential.

ポテンシオスタット	HA-501G, 北斗電工製
電位掃引装置	B-105, 北斗電工製
試験溶液	上水+200ppm Cl^- (常時, Ar脱気)
液温	80°C
掃引速度	20mV/min (動電位法)
サンプル数	母材部のみ, 溶接部含む: 各3ヶ

内面研磨実験装置において、約 $10 \mu\text{m}$ 深さのトーラインを安定して除去できる研磨条件 (ボールの直径, 硬さ, 供給数および砥粒粒度の組合せなど) を種々検討し、

表5に示す研磨ベルト組合せ条件にて試作を行った。研磨ベルト組合せ条件Ⅰは粗研磨に#60、研磨ベルト組合せ条件Ⅱは粗研磨に#80を使用した。両者とも後工程は#120後、#400を使用した。ベルト速度は30m/minに設定した。供試材にはSUS304のサニタリー管用素管（外径50.8mm、厚さ1.5mm、長さ4m）を使用した。

表6に各研磨ベルト組合せ条件における研磨除去深さを

を示す。研磨前の素材厚さから研磨後の厚さを引いたものを研磨除去深さとした。粗研磨に#60を使用した研磨ベルト組合せ条件Ⅰの方が、粗研磨に#80を使用した研磨ベルト組合せ条件Ⅱより研磨除去深さが深く、母材部において28 μ mであった。なお、溶接部は管内面側にビードが若干盛上がっているため研磨除去深さが母材部より大きく65 μ mであった。

図9に各研磨ベルト組合せ条件における研磨後の表面

表5 研磨ベルト組合せ条件

Table 5 Polishing belt combination condition.

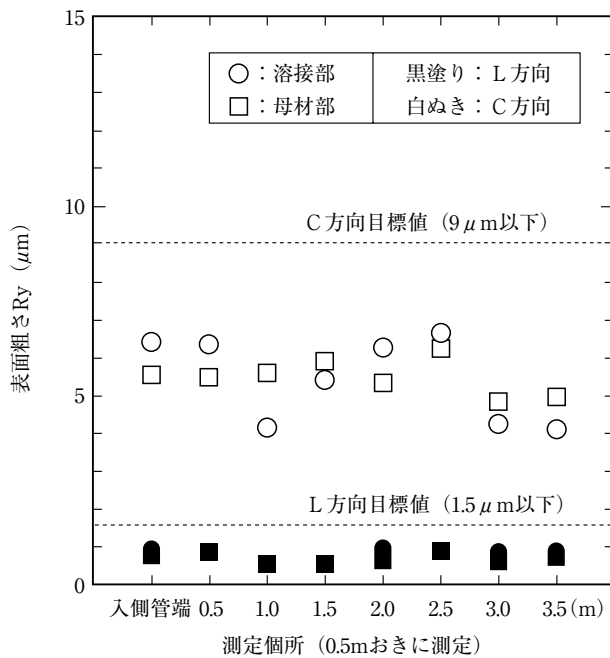
	研磨ベルト組合せ条件		管1本当たりのボール供給数
	条件Ⅰ	条件Ⅱ	
粗研磨	#60	#80	100個×2回（ボール100個供給後、管90°回転）
中間研磨	#120	#120	100個×2回（ボール100個供給後、管90°回転）
仕上げ研磨	#400	#400	20個×5回（ボール20個→管72°回転→ボール20個）、下線部を4回繰り返す

ベルト速度：30m/min

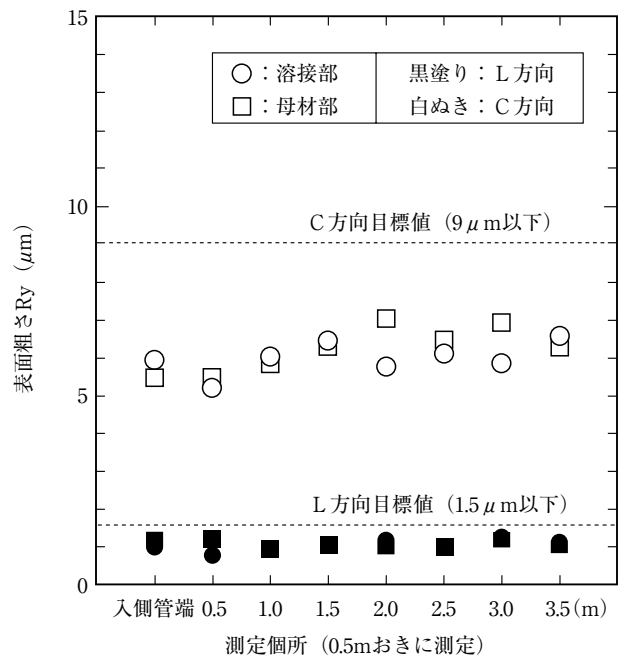
表6 研磨ベルト組合せ条件における研磨除去深さ

Table 6 Polished removal depth in polishing belt combination condition.

研磨ベルト組合せ条件	研磨ベルト砥粒粒度	研磨前の厚さ① (mm)		研磨後の厚さ② (mm)		研磨除去深さ①-② (mm)	
		母材部	溶接部	母材部	溶接部	母材部	溶接部
条件Ⅰ	#60 → #120 → #400	1.448	1.498	1.420	1.433	0.028	0.065
条件Ⅱ	#80 → #120 → #400			1.425	1.459	0.023	0.039



(a) 条件Ⅰ：#60 → #120 → #400



(b) 条件Ⅱ：#80 → #120 → #400

図9 各研磨ベルト組合せ条件における研磨後の表面粗さ

Fig. 9 Surface roughness after polishing in each polishing belt combination condition.

粗さを示す。研磨ベルト組合せ条件Ⅰによる内面研磨後の表面粗さは、L方向 $0.52\sim 0.97\ \mu\text{mRy}$ 、C方向 $4.10\sim 6.68\ \mu\text{mRy}$ であり、粗研磨に#60を使用しても管全長にわたり目標表面粗さを満足した。なお、粗研磨に#80を使用した研磨ベルト組合せ条件Ⅱは、L方向 $0.93\sim 1.24\ \mu\text{mRy}$ 、C方向 $5.22\sim 7.05\ \mu\text{mRy}$ であり、目標表面粗さを満足した。

以上の結果から、製造ロットの違いによる素管のトータル深さのばらつきを考慮し、研磨除去深さの深い研磨ベルト組合せ条件Ⅰを採用した。

4.2 表面粗さに及ぼすベルト速度の影響

さらなる研磨能率の向上を図るため、ベルト速度の高速度を検討した。

図10に各砥粒粒度における表面粗さにおよぼすベルト速度の影響を示す。いずれの砥粒粒度の実験においても、供試材には研磨を施していない酸洗肌のサニタリー管用素管を使用した。

ベルト速度を30、40、50m/minと増加させても各砥粒粒度における表面粗さの変化は少なく、ベルト速度の

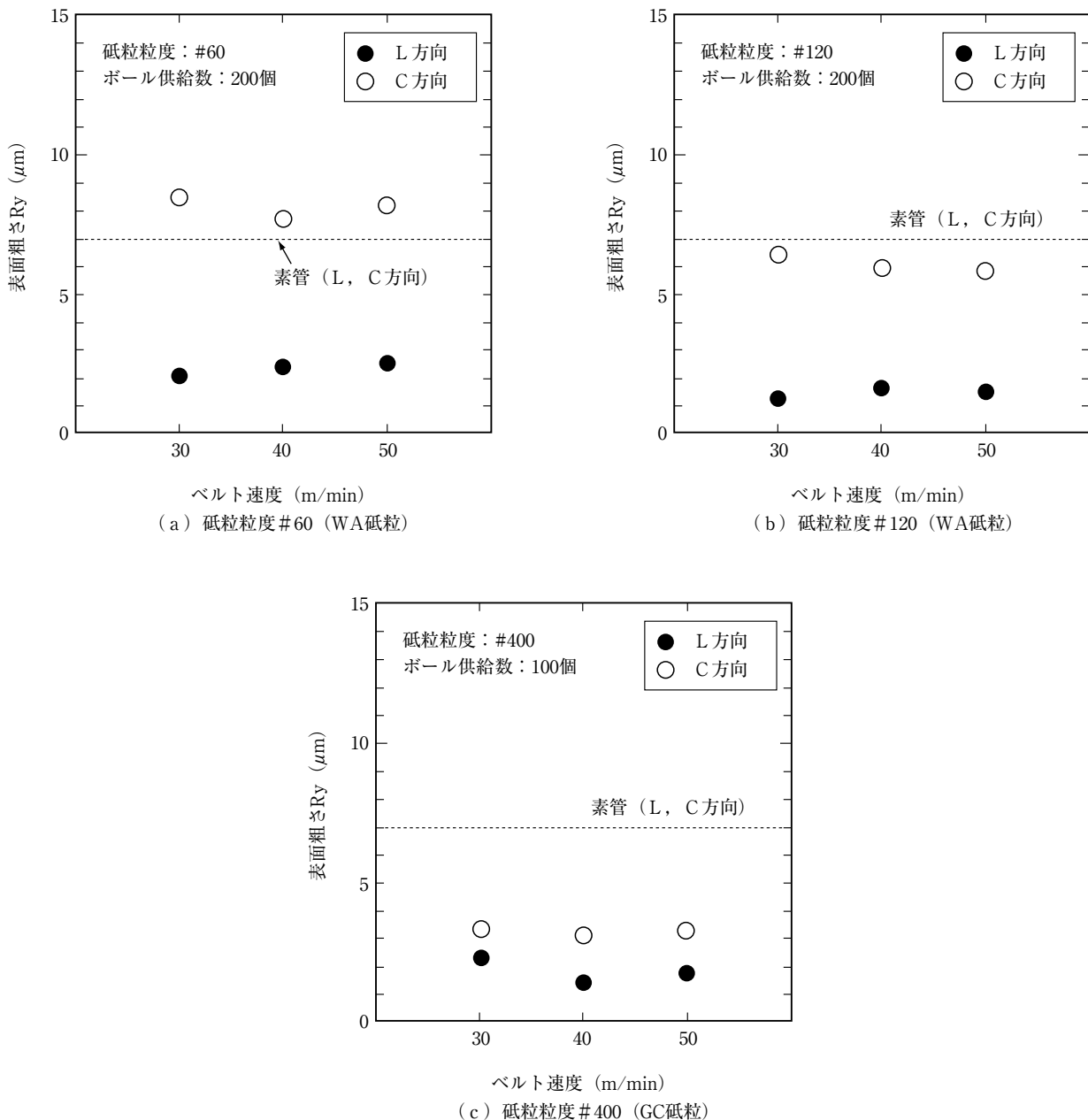


図10 各砥粒粒度における表面粗さにおよぼすベルト速度の影響 (母材部)

Fig10 Effect of belt speed on surface roughness in each abrasive grain size. (base metals)

影響はほとんどなかった。このことから、ベルト速度は、4.1節でのベルト速度30m/minより、さらに速くできる可能性がある。なお、仕上げ研磨用の#400に関しては、研磨後も素管の酸洗肌が完全に除去できていないため、その低粒粒度の持つ極限粗さではない。

4.1節で設定した表5の研磨ベルト組合せ条件Iを用いベルト速度50m/minで研磨を行った後の管全長の内表面粗さを図11に示す。研磨後の表面粗さは、L方向0.50~1.19 μmRy 、C方向3.38~5.76 μmRy であり、ベルト速度を50m/minに設定しても管全長にわたり目標表面粗さを満足した。

4.3 表面粗さにおよぼす管径の影響

管径が異なっても安定した研磨が可能か否かを調査するために、4.2節まで用いた外径50.8mmのサニタリー管用素管以外に、比較的使用量の多い外径38.1mmと外径76.3mmの2種類について試作を行った。

図12に研磨ベルト組合せ条件Iでの各管径における研磨後の管全長の表面粗さを示す。外径38.1mmの内表面粗さは、L方向0.43~0.72 μmRy 、C方向3.21~6.48 μmRy 、外径76.3mmの内表面粗さは、L方向0.58~1.05 μmRy 、C方向2.83~5.70 μmRy であり、2種類とも安定して研磨が行え、目標表面粗さを満足

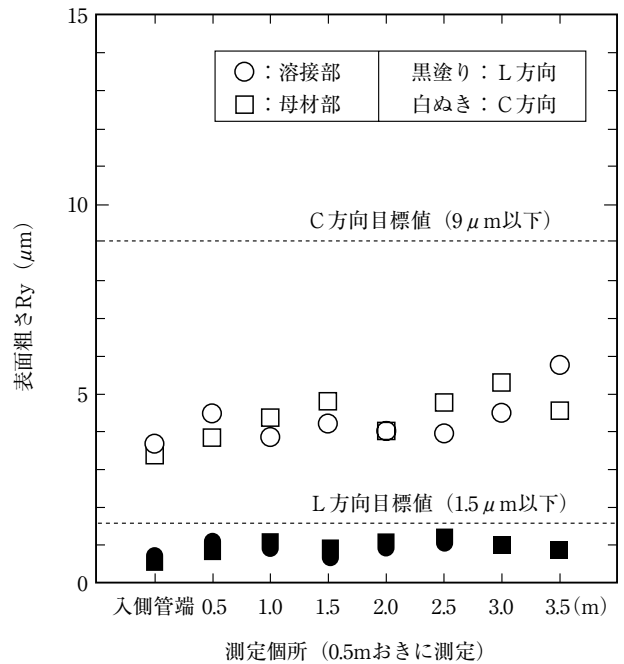
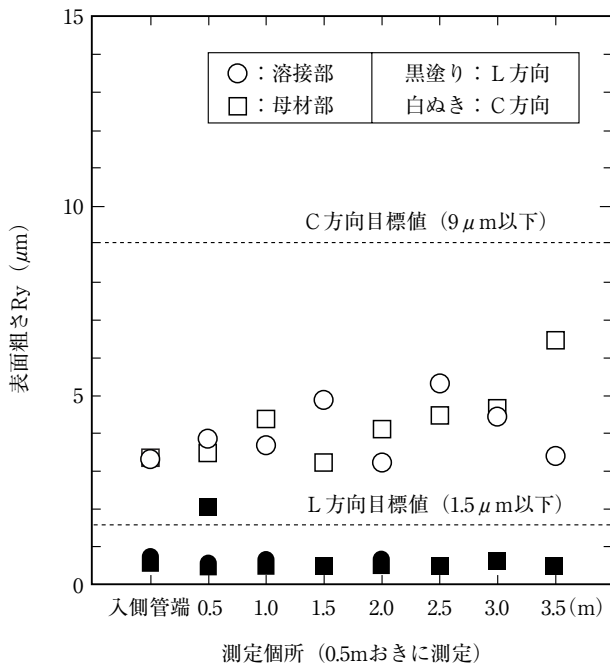
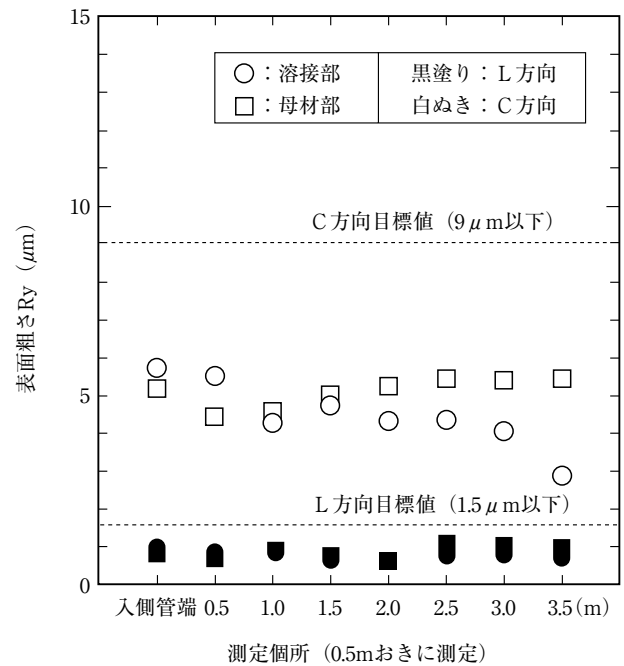


図11 研磨後の表面粗さ(ベルト速度50m/min)
Fig.11 Surface roughness after polishing. (belt speed 50m/min)



(a) 外径φ38.1mm



(b) 外径φ76.3mm

図12 各管径における研磨後の表面粗さ (ベルト速度50m/min)
Fig.12 Surface roughness after polishing in each pipe size. (belt speed 50m/min)

した。

4.4 耐孔食性評価結果

図13に市販バフ研磨品と試作研磨品のアノード分極曲線を示す。母材部における孔食電位は、両者とも0.35V vs. SCE付近と同レベルであるが、(b)の試作研磨品は、(a)の市販の400番仕上げであるバフ研磨品と比べて不動態維持電流が比較的安定している。

この理由は、市販バフ研磨品の内表面は、研磨焼けにより若干、茶色味がかっており、通常よりFeリッチな酸化皮膜が形成されたと思われる。このため、微小

な孔食が生じては再不動態化を繰り返すことにより、不動態維持電流が不安定であったと考えられる。これに対し試作研磨品の内表面は、ステンレス本来の色調であり研磨焼けが発生しなかったことが不動態維持電流の安定に繋がったと推測する。また、試作研磨品の溶接部を含むサンプルを調査した結果、図13(c)に示すように母材部と同程度の耐孔食性があることも判明した。

よって不動態維持電流の安定性から判断すると試作研磨品の耐食性は、市販のバフ研磨品と同等以上と推測される。

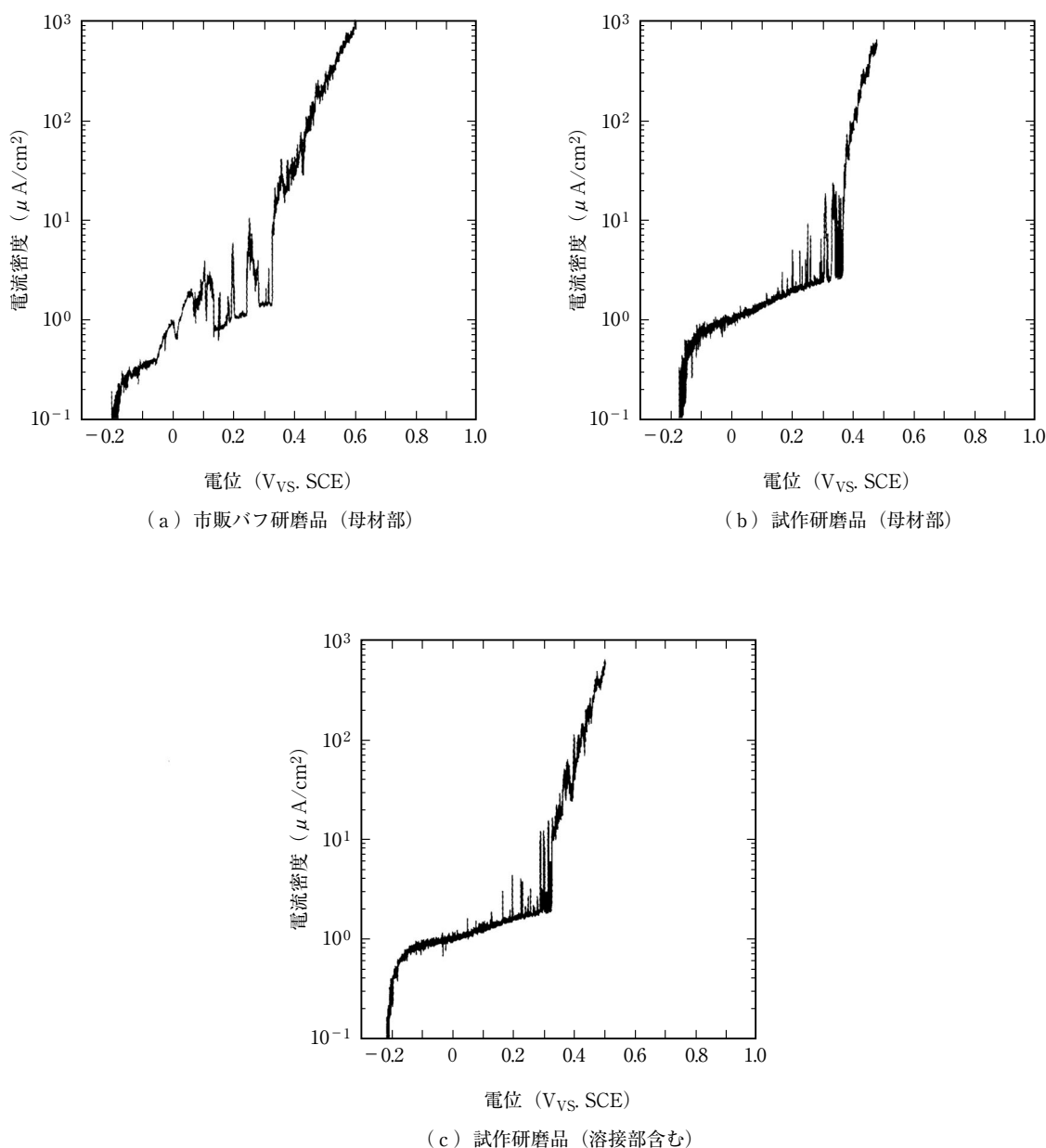


図13 各供試材のアノード分極曲線

Fig.13 Anodic polarization curves in each specimen.

4.5 研磨作業時間

表7に本実験装置における段取り作業改善後の外径50.8mmの4m管1本当たりの作業時間を示す。本実験装置における4m管1本当たりの正味の研磨時間（粗・中間・仕上げ研磨に要した時間）は7分であり、段取り作業を含めた平均実績作業時間は37分程度であった。さらに、研磨ベルト巻き直し作業のオフライン化、機械によるボールの循環化、ベルトセットおよび内面研磨の検査の迅速化により、4m管1本当たりの研磨作業時間を17分程度にできると予想される（粗・中間・仕上げ研磨に要した時間は実績値である7分で計算）。そうなれば、現行法に比べて研磨時間を短縮できることが期待される。

表7 内面研磨実験装置による段取り作業改善後の4m管1本当たりの予想作業時間（分/本）

Table 7 Expectation working times after improvement of 4m-pipe 1 by internal polishing test device. (min/pipe)

	時間（分）
管および研磨ベルトのセット	8
粗研磨	2.5 ¹
中間研磨	2.5 ¹
仕上げ研磨	2 ¹
管端検査・製品取出し	2
総作業時間	17

* 1 ベルト速度50m/minでの実績値

5. 結 言

ボールの弾性力を利用した「ボール圧下式ベルト研磨法」というアイデアが、実製品レベル（長さ4mのサニタリー管）に適用できることが実証された。本アイデアが、需要家の方々の熱意によって生産設備として具現化され、品質・コストの改善の一助となれば幸いである。

なお、得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 研磨除去深さは、母材部で28 μ m、溶接部で65 μ mであり、溶接部付近のトーラインを安定して除去可能と判断される。
- (2) 内面研磨実験装置は、ベルト速度50m/minで4m管（外径38.1mm、外径50.8mm、外径76.3mm）の内面研磨が安定して行え、管全長にわたり内表面粗さ目標値（L方向1.5 μ mRy以下、C方向9.0 μ mRy以下）を満足した。
- (3) 耐孔食試験の結果、試作研磨品の耐食性は、市販のバフ研磨品と同等以上と推測される。また、研磨後

の溶接部の耐孔食性は、母材部と同程度であった。

- (4) 段取り作業などの改善により、4m管1本当たりの研磨作業時間を17分程度に設定可能と予測する。そうなれば、現行法に比べて研磨時間を短縮できることが期待される。

参考文献

- 1) (社) 特殊鋼倶楽部編集委員会, ステンレス鋼ワーキンググループ: ステンレス鋼の利用状況, (1989), 189.
- 2) 公開特許公報: 特開平10-43949.
- 3) 大塚雅人, 田上竜司, 中本一成: 2001年精密工学会春季大会 学術講演論文集, (2000), 274.
- 4) 公開特許公報: 特開昭58-122121.
- 5) 公開特許公報: 特公昭57-61543.
- 6) 福田力也: よくわかる研削作業法, 理工学社, (1991), 14.