

第111研究部会

船体用鋼板の靱性におよぼす冷間加工と溶接の重畠効果およびガス加熱加工条件の影響に関する研究

報 告 書

昭和45年3月

社 団 法 人
日 本 造 船 研 究 協 会

は　し　が　き

本報告書は日本船舶振興会の昭和44年度補助事業「船舶の構造・性能に関する基礎的研究」の一部として日本造船研究協会が第111研究部会においてとりまとめたものである。

本研究の委員は次のとおりである。

第111研究部会委員名簿(敬称略五十音順)

部会長 木原 博(東京大学)

幹事 池田 一夫(船舶技術研究所)

香川 卓一(佐世保重工業)

金沢 武(東京大学)

黒川 常夫(長崎造船大学)

越賀 房夫(日本鋼管)

辻 勇(九州大学)

中井 恒男(日立造船)

深江 達郎(三菱重工業)

委員 荒木 瞳郎(日本鋼管)

宇田川 貞夫(運輸省船舶局)

菅 尚史(佐世保重工業)

小林 三藏(名古屋造船所)

鈴木 健之(三保造船所)

中島 正樹(三菱重工業)

野沢 登(函館ドック)

宮下 敏(石川島造船加工機)

岡本 淳二郎(八幡製鉄)

河合 弘昌(三菱重工業)

栗田 剛利(三菱重工業)

高武 淳夫(石川島播磨重工業)

柄原 二郎(九州大学)

寺井 清(川崎重工業)

藤田 譲(東京大学)

矢島 浩(三菱重工業)

印藤 弘郷(三井造船)

大野 檜(三菱重工業)

桑山 則男(住友金属工業)

修行 稔(長崎造船大学)

寺川 勝之(住友重機械工業)

中村 一郎(日立造船)

深川 宗光(石川島播磨重工業)

森 堅太郎(石原造船所)

目 次

1. まえがき	1
2. 研究計画の概要	2
2. 1 研究目的	2
2. 2 研究項目	2
2. 2. 1 船体用鋼板の靱性におよぼす冷間加工と溶接の重畳効果に関する研究	2
2. 2. 2 船体用 50 キロ級高張力鋼の靱性におよぼすガス加熱加工条件の影響に関する研究	4
2. 3. 試験片製作要領	5
2. 3. 1 船体用鋼板の靱性におよぼす冷間加工と溶接の重畳効果に関する研究	5
2. 3. 2 船体用 50 キロ級高張力鋼の靱性におよぼすガス加熱加工条件の影響に関する研究	6
2. 4 実施計画	8
2. 5 供試材と試験片数量	11
2. 6 供試鋼板の板取り	13
3. 船体用鋼板の靱性におよぼす冷間加工と溶接の重畳効果に関する研究	16
3. 1. 予備試験	16
3. 1. 1 予備試験目的	16
3. 1. 2 ディープノッチ予備試験結果	16
3. 1. 3 二重引張試験結果	20
3. 1. 4 結論	23
3. 2 冷間曲げ加工処理材(B 処理材)の製作	23
4. 船体用 50 キロ級高張力鋼の靱性におよぼすガス加熱加工条件の影響に関する研究	30
4. 1 予備試験目的	30
4. 2 予備試験結果	30
4. 2. 1 線状ガス加熱条件	30
4. 2. 2 最高加熱温度の測定	30
4. 2. 3 溫度分布の測定	34
4. 2. 4 角変形量の測定	35
4. 2. 5 加熱域の材質試験	40
4. 3 結論	42
5. 800トンテストリグ	68
5. 1 テストリグの概要	68
5. 2 主要目	68
5. 3 特徴	68
6. むすび	72

1. まえがき

日本造船研究協会第111研究部会は、日本造船学会鋼船工作法研究委員会第1分科会による各造船所からのアンケート集約結果にもとづき、「船体用鋼板の韌性におよぼす冷間加工と溶接の重畠効果に関する研究」ならびに「船体用50キロ級高張力鋼の韌性におよぼすガス加熱加工条件の影響に関する研究」をテーマとして、昭和44年発足したものである。

これらの研究の目的は、「現場工作基準の確立」、「船主および船級協会監督官との間のトラブル解消のバックデータの把握」および「現場工作上の船級協会規則についての問題点解決」等である。

すなわち、冷間加工してあるラウンドガンウェル部には、クラックアレスターの目的でE級鋼が使用されているが、E級鋼の韌性劣化を招く恐れがあるという見地から、この部分にブロック搭載用吊金具(アイプレート)等を溶接により取付けることが禁止される場合が多く、建造工程を乱す原因になることが多い。したがつて、本研究により、冷間加工と溶接との重畠効果による韌性変化量を定量的に把握しようとするものである。

一方、船殻部材の直取りおよび曲げ加工後の修正に、線状ガス加熱加工が広く利用されているが、船体用50キロ級高張力鋼に対する作業条件については、未だ統一された見解がない。したがつて、本研究により、線状ガス加熱加工をほどこした場合の韌性変化量を定量的に把握しようとするものである。

なお、本研究は委員会において審議決定した研究計画の基本方針にもとづき、実験担当委員を中心とした幹事会をたびたび開催し、詳細な技術的検討その他を行なつて実施したものである。研究の全体計画は、後述のように3ヶ年にわたるものであるが、本報告書は、その第1年度分の経過報告書としてとりまとめたものである。

2. 研究計画の概要

2.1 研究目的

各造船所における短期建造体制の確立にともない、現場工作の合理化が徹底されつつある現状である。

溶接技術の進歩と相まって、船殻における鉄継手は溶接継手に次第に置き換えて来たが、第2次世界大戦時に米国で建造された戦時標準船において頻発した脆性破壊事故の教訓から、脆性破壊防止対策上、数条の鉄継手をクラックアレスターとして残すことが慣例になつてゐた。しかしながら、船殻の急速な巨大化、ブロック建造法の発展、溶接技術の進歩、材料の改良等と相まって、今日では完全溶接構造船が常識となつてゐる。完全溶接構造船に対する現在の船級協会規則は、クラックアレスターとしての鉄継手を溶接継手に置き換える場合、その部分にE級鋼を用いることを規定している。

一方、船殻の巨大化にともない、50キロ級高張力鋼の使用量が急増してきたが、それにともなう現場工作基準が必ずしも確立されていない現状である。

日常各造船所において、船主および船級協会監督官との間のトラブルの原因になる問題点を解明し、実験による裏付資料により船主ならびに各船級協会の正式承認を得ることは、現場工作合理化の徹底上、効果大と評価され得るものである。さらに、船体の完全溶接構造超大形化にともない、船殻の脆性破壊強度に関する検討は、重大災害防止対策上ますます重要な問題となつて來た。したがつて、E級鋼のクラックアレスターとしての効果への期待に関する現場工作上の問題、および50キロ級高張力鋼使用量増加にともなう現場工作上の問題等を早急に解決することは、わが国各造船所にとつて、非常に効果の大きいものである。

この観点から、昭和44年～46年の3か年計画で以下の研究を実施するものである。

1) 船体用鋼板の韌性におよぼす冷間加工と溶接の重畠効果に関する研究

クラックアレスターの働きをさせる目的で使用されているラウンドガングウェル部のE級鋼に、ブロック搭載用吊金具（アイブレート）等を溶接により取付けることは、脆性破壊強度の低下を招く恐れがあるという見地により、船主および船級協会から禁止される場合が多く、ブロック搭載工程にトラブルを起こし、建造工程を乱す原因になることが多い。

したがつて、クラックアレスターとして使用されているE級鋼について、冷間加工と溶接との重畠効果による脆性亀裂の発生、伝播停止性能の変化を明確に把握し、この種のトラブル解決に関するバックデータを得ることを目的とする。

2) 船体用50キロ級高張力鋼の韌性におよぼすガス加熱加工条件の影響に関する研究

船殻部材の歪取りおよび曲げ加工後の修正に、線状ガス加熱加工が広く利用されている。

船体用50キロ級高張力鋼(HT50)は、すでに広く採用されているが、それに対する線状ガス加熱作業条件については未だ統一された見解がない。したがつて、HT50に対する線状ガス加熱施工にあたつては、加熱部の韌性劣化防止の観点から、加熱後の水冷による急速冷却を避けている実状である。しかしながら、加熱後に水冷による急速冷却を実施すれば作業能率が大きく向上するので、HT50に関して加熱後水冷した場合の加熱部の韌性変化量を明確に把握し、この種現場工作の合理化を推進するためのバックデータを得ることを目的とする。

試験内容一覧

2.2 研究項目

2.2.1 船体用鋼板の韌性におよぼす冷間加工と溶接の重畠効果に関する研究

前述のごとく、クラックアレスターとして使用されているE級鋼について、冷間加工と溶接の重畠効果による韌性変化を把握することが目的である。したがつて、一般船体用軟鋼(MS)および船体用50キロ級高張力鋼(HT50)のE級鋼

研究項目 符 号	研 究 題 目	研究小項目 符 号	試 験 内 容
1	船体用鋼板の韌性におよぼす冷間加工と溶接の重畠効果に関する研究	1-1	シャルピー衝撃試験
		1-2	ディープノッチ試験
		1-3	二重引張試験
		1-4	低温引張試験
		1-5	組織・硬度分布調査

(板厚 30mm)を、冷間曲げ加工および冷間引張加工した後、その表裏両面に溶接ビードを置き、歪時効処理後にビードの余盛を切削除去して、その部分の脆性亀裂発生特性および伝播停止特性を把握するもので、下記項目の諸試験を実施する。

1-1. シヤルピー衝撃試験

素材ならびに溶接熱影響部より図2.1に示したV-ノットシヤルピー衝撃試験片を採取し、吸収エネルギー～温度、脆性破面率～温度遷移曲線を求める。

供試試験片総数：960本

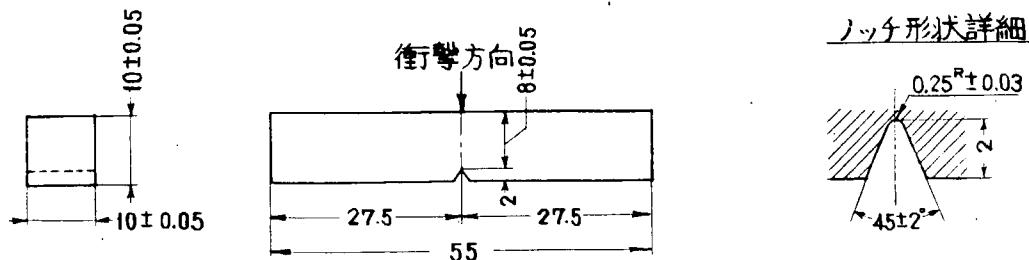


図2.1 V-ノットシヤルピー衝撃試験片

1-2. ディープノット試験(脆性亀裂発生特性)

図2.2に示す幅400mmの標準型試験片を使用する。ノット形状に関しては、後述の昭和44年度実施の予備試験結果にもとづいて決定する。ノット位置は溶接余盛切削除去跡中央部、すなわち溶接熱影響中央部とする(素材の場合は試験片中央)。試験結果より、塑性表面エネルギー～温度、破壊応力～温度ならびに脆性亀裂発生温度～クラック長さ等を求め、これらに及ぼす冷間加工と溶接の重畠効果を把握する。

供試試験片総数：96枚

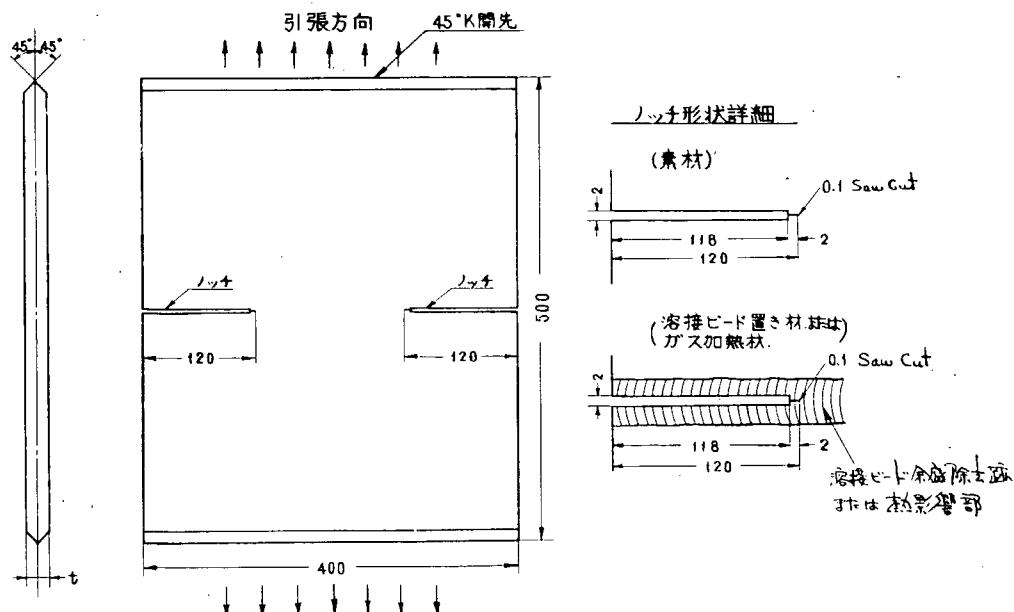


図2.2 標準型ディープノット試験片

1-3. 二重引張試験(脆性亀裂伝播停止特性)

図2.3に示す亀裂伝播部幅500mmの標準型試験片を使用する。脆性亀裂発生伝播部は溶接余盛切削除去跡中央部すなわち溶接熱影響中央部平行方向とする(素材の場合は試験片中央)。試験は温度勾配型とし、試験結果より、修正グロス応力～停止限界温度およびKc値～温度との関係を求め、これらに及ぼす溶接と冷間加工の重畠効果の影響を把握する。

供試試験片総数：64枚

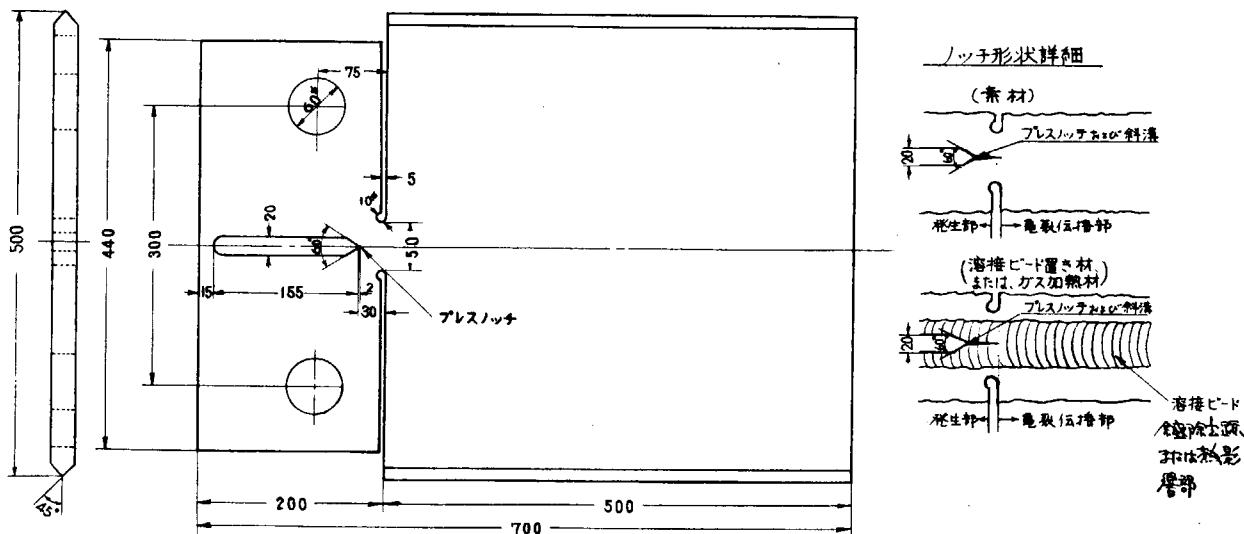


図 2.3 標準型二重引張試験片

1-4. 低温引張試験（ディープノッチ試験結果の解析に使用）

図 2.4 に示す丸棒試験片（ $\phi 6$ ）を供試する。試験片はディープノッチ試験の亀裂発生伝播方向と垂直に採取する。試験結果より降伏点～温度との関係を求めめる。

供試試験片総数：96本

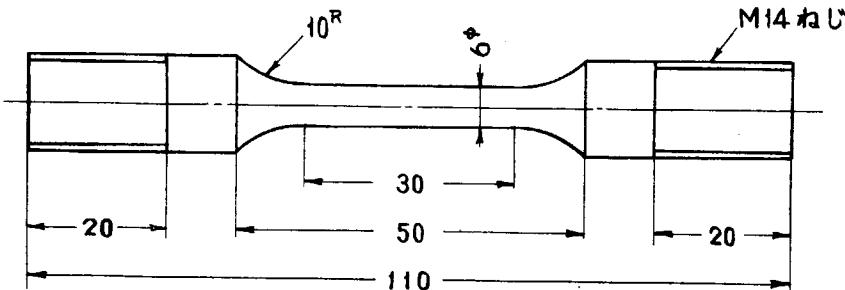


図 2.4 丸棒引張試験片

1-5. 組織・硬度分布調査

各供試材に関して：組織調査および溶接熱影響部の硬度分布を計測する。

供試試験片総数：16個

2.2.2 船体用 50 キロ級高張力鋼の韌性におよぼすガス加熱加工条件の影響に関する研究

前述のごとく、船体用 50 キロ級高張力鋼 (HT50) の線状ガス加熱加工に際して、加熱後水冷による急速冷却を実施すれば、作業能率が大きく向上するので、HT50 に関して加熱後水冷した場合の加熱部の韌性変化を明確に把握し、この種現場工作の合理化を推進するためのバ

ックデータを得ることが目的である。

したがつて、HT50 A・D・E 級鋼に各種条件の線状ガス加熱加工を施し、その部分の脆性亀裂発生特性および伝播停止特性を把握するもので、右記項目の諸試験を実施する。

2-1. 線状ガス加熱加工条件の設定に関する予備試験

供試材に施す線状ガス加熱加工条件、

試験内容一覧

研究項目 符 号	研究題目	研究小項目 符 号	試験内容
2	船体用 50 キロ級高張力鋼の韌性におよぼすガス加熱加工条件の影響に関する研究	2-1	線状ガス加熱加工条件の設定に関する予備試験
		2-2	シャルピー衝撃試験
		2-3	ディープノッチ試験
		2-4	二重引張試験
		2-5	低温引張試験
		2-6	残留応力計測
		2-7	組織・硬度分布調査

すなわち最高加熱温度と冷却速度を選定するための基礎資料を求めるために実施するものである。

2-2. シヤルピー衝撃試験

素材ならびに線状ガス加熱加工部より図2.1に示したと同様のV-ノツチシヤルピー衝撃試験片を採取し、吸収エネルギー～温度、脆性破面率～温度遷移曲線を求める。

供試試験片総数：440本

2-3. デイープノツチ試験（脆性亀裂発生特性）

図2.2に示したと同様の幅40mmの標準型試験片を使用する。ノツチ位置は線状ガス加熱加工中央部とする（素材の場合は試験片中央）。試験結果より、塑性表面エネルギー～温度、破壊応力～温度ならびに脆性亀裂発生温度～クラック長さ等を求め、これらに及ぼす線状ガス加熱加工の影響を把握する。

供試試験片総数：88枚

2-4. 二重引張試験（脆性亀裂伝播停止特性）

図2.3に示したと同様の亀裂伝播部幅50mmの標準型試験片を使用する。脆性亀裂発生伝播部はガス加熱線内とする（素材の場合は試験片中央）。試験は温度勾配型とし試験結果より、修正クロス応力～停止限界温度およびKc値～温度との関係を求め、これらに及ぼす線状ガス加熱加工条件の影響を求める。

供試試験片総数：88枚

2-5. 低温引張試験（デイープノツチ試験結果の解析に使用）

図2.4に示したと同様の丸棒試験片(6mmφ)を供試する。試験片はデイープノツチ試験の亀裂発生伝播方向と垂直に採取する。試験結果より降伏点～温度との関係を求める。

供試試験片総数：24本

2-6. 残留応力計測

デイープノツチ試験結果および二重引張試験結果の解析に、線状ガス加熱加工による残留応力の影響を検討する必要があると考えられる。したがつて、供試試験片の残留応力分布を計測する。線状ガス加熱加工を施したデイープノツチ試験片ならびに二重引張試験片と同一寸法の試験片を供試する。

残留応力計測は、ダナート法と同様に、トレパンソーを用い、供試試験片表面に貼付した歪ゲージの周囲に円周溝を切削することにより応力を解放し、解放前後の歪を計測することによって行なう。

供試試験片総数：12枚

2-7. 組織・硬度分布調査

各供試材に関して、組織調査および線状ガス加熱加工部の硬度分布を計測する。

供試試験片総数：18個

2.3 試験片製作要領

2.3.1 船体用鋼板の韌性におよぼす冷間加工と溶接の重畠効果に関する研究

試験片製作にあたつては、次の考え方にもとづいて実施することにする。

- 1) 船殻構造におけるバット方向の割れは船体を2分するような致命的な損傷につながる可能性があると考えられるので、特に注意を要する問題である。
- 2) ラウンドガングエル部を対象にした本研究においては、圧延直角方向に冷間曲げ加工したE級鋼(一般船体用軟鋼および船体用50キロ級高張力鋼-板厚30mm-)の韌性に、アイプレート等の溶接がどのような影響を及ぼすかを定量的に把握する必要がある。
- 3) 冷間曲げ加工と溶接の重畠効果による韌性への影響は、前述のごとく、デイープノツチ試験ならびに二重引張試験により、脆性亀裂発生特性および伝播停止特性について把握する。

- 4) デイープノッチ試験ならびに二重引張試験は、曲げ加工されたままの状態、すなわち曲つた試験片を使用して実施するには非常に困難であり、試験結果の解析も非常に面倒になる。
 したがつて冷間曲げ加工を与えた状態で平板になるような加工をする必要がある。
- 5) 以上によりラウンドガングエル部を対象にした供試試験片製作は、図 2.5 に示すごとくラウンドガングエル部と同様に冷間曲げ加工（第 1 回目冷間曲げ加工）した後、焼ならし処理して、第 1 回目冷間曲げ加工の影響を取り除いた後、平に冷間曲げ加工（第 2 回目冷間曲げ加工）して、第 1 回目冷間曲げ加工と同量の塑性変形を与え、その表裏両面に溶接ビードを置くこととする。
- 6) 溶接ビードを置いたら、歪時効処理をしてビードの余盛を除去し供試材とする。以下 B 処理材と呼ぶ。（図 2.5 参照）
- 7) 以上の B 処理材においては、試験結果に及ぼす冷間加工量の影響の把握が困難であると予想されるので、実際の船殻では直接結びつかないが、冷間引張加工後表裏両面に溶接ビードを置いた場合についても供試する。溶接ビードを置いた後は上記 B 処理材と同様、歪時効処理してビードの余盛を除去し供試材とする。以下 T 処理材および T' 処理材と呼ぶ。（図 2.5 参照）
- 8) B 処理材、T 処理材および T' 処理材製作において、溶接ビードは図 2.6 に示すごとく、デイープノッチ試験片に対しては手溶接により表裏両面に各々 3 層・1 条を置き、二重引張試験片に対しては、同様手溶接により表裏両面に 30 mm 間隔で各々 3 層・3 条を置くこととする。この場合、二重引張試験片に対して 30 mm 間隔に 3 条置くのは、板厚 30 mm のアイプレートを溶接した場合を想定し、さらに溶接による残留応力のバランスを充分考慮したためである。なお溶接の順序に関しては図 2.6 に示すごとく、表側と裏側のバランスを充分考慮する必要がある。

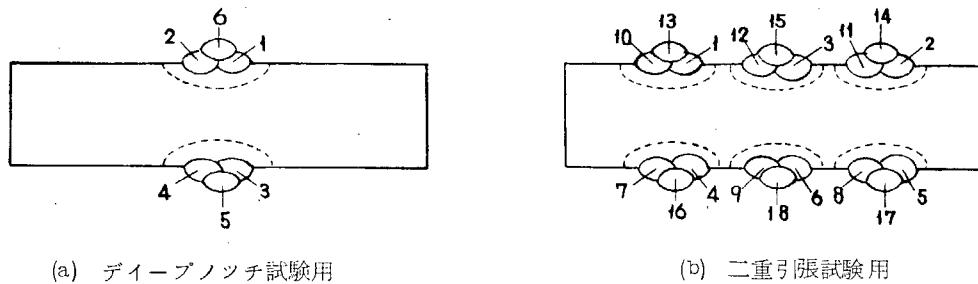


図 2.6 溶接順序

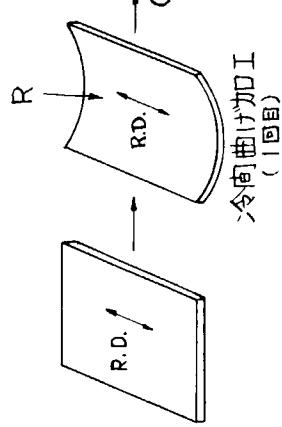
- 9) 上記 B 処理材、T 処理材および T' 処理材を用いて、デイープノッチ試験片ならびに二重引張試験片を製作し供試する。なお、その場合の切欠き位置等の詳細に関しては図 2.5 に示す。

2.3.2 船体用 50 キロ級高張力鋼の韌性におよぼすガス加熱加工条件の影響に関する研究

- 試験片製作にあたつては、次の考えにもとづいて実施することにする。
- HT 50 に対する線状ガス加熱施行にあたつては、加熱部の韌性劣化防止の観点から、加熱後の水冷による急速冷却が禁止される場合が多い。しかし、加熱後水冷による急速冷却が実施出来れば、角変形に対する効率が多少犠牲にされる場合もあるが、短時間の内に角変形量が定常状態になるので、作業能率が大きく向上する。したがつて、水冷による急速冷却を施した場合と、現状の空冷による場合とで、加熱部の韌性にどの程度の差が出るか定量的に把握した上で、水冷の可能性を検討する。
 - 国内各造船所現場で実施されている、線状ガス加熱加工の代表的な条件と最高加熱温度を合わせ、加熱後空冷した場合と水冷による急速冷却した場合とにつき、加熱部の韌性をデイープノッチ試験ならびに二重引張試験により、脆性亀裂発生特性および伝播停止特性として把握する。
 - 供試材としては、船体用 50 キロ級高張力鋼 (HT 50) A 級鋼 (板厚 30 mm)、D 級鋼 (板厚 12.7 mm, 30 mm) および E 級鋼 (板厚 30 mm) を使用する。

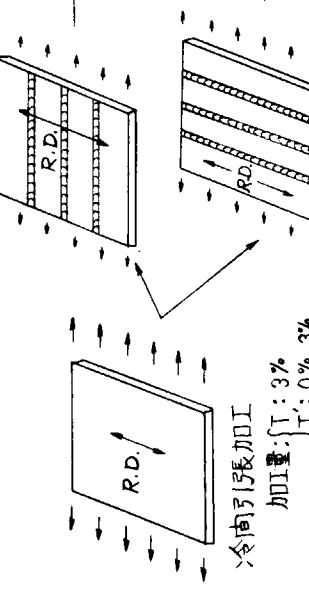
冷間曲げ加工

加工量: 0%, 3%, 5%

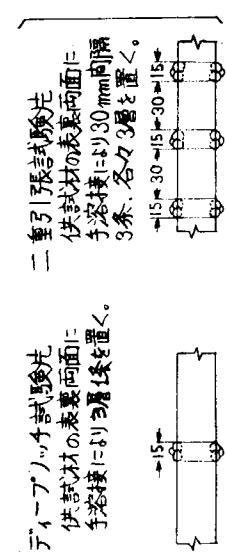
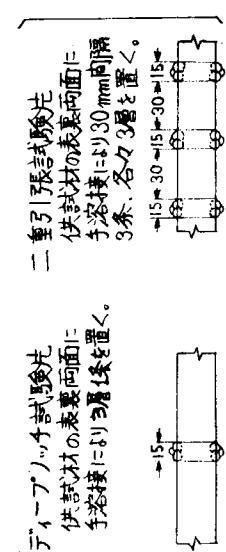
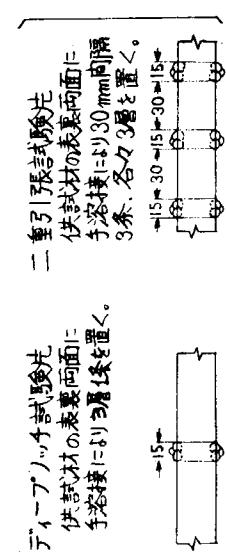
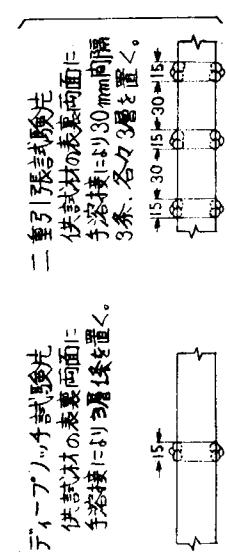
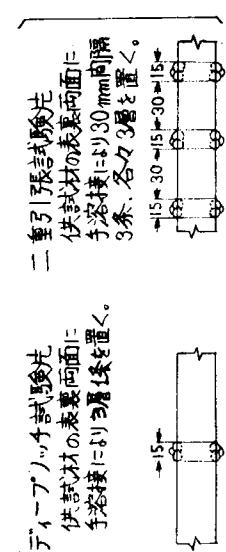
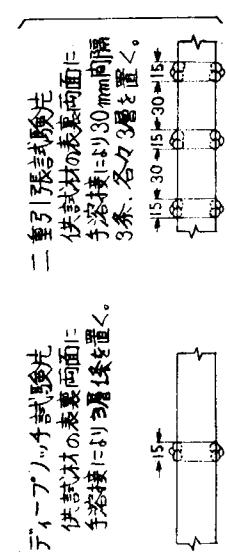
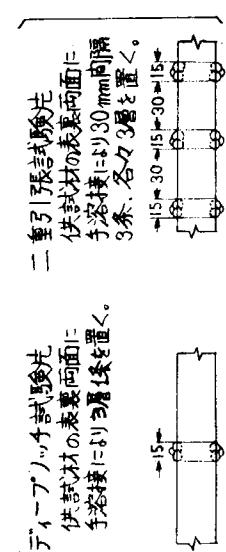
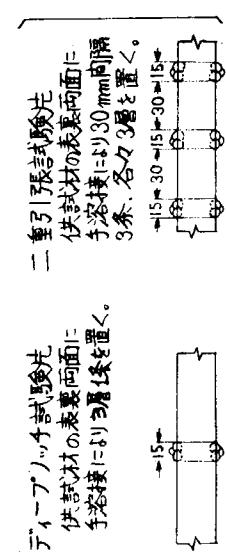
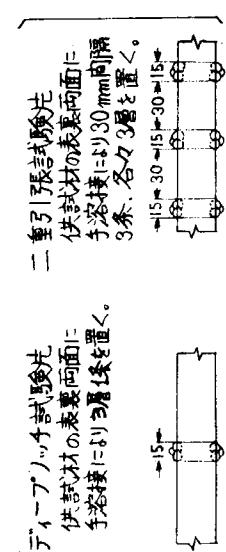
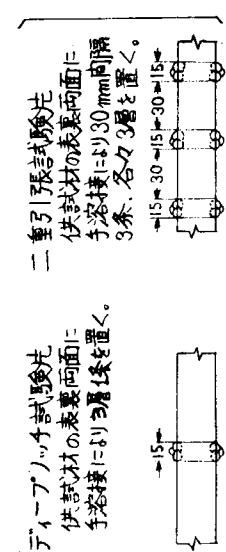
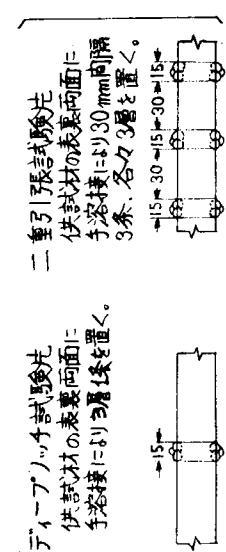
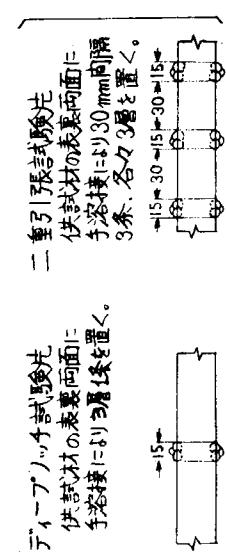
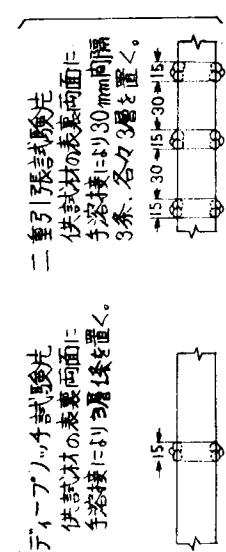
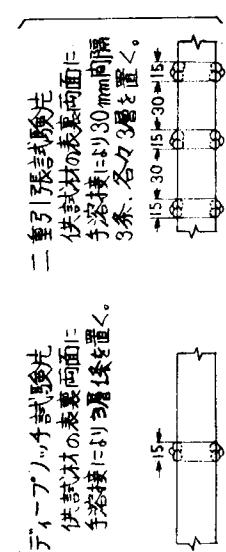
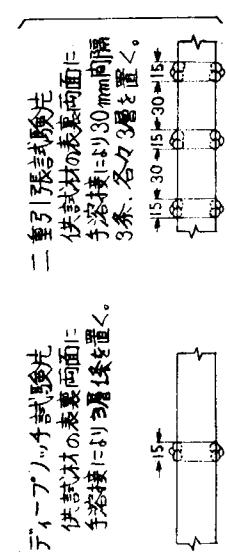
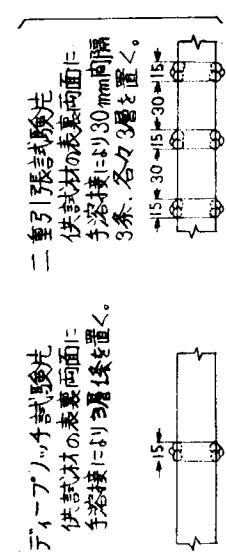
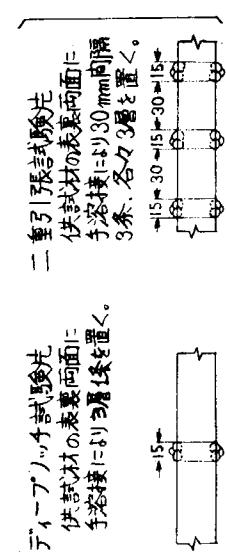
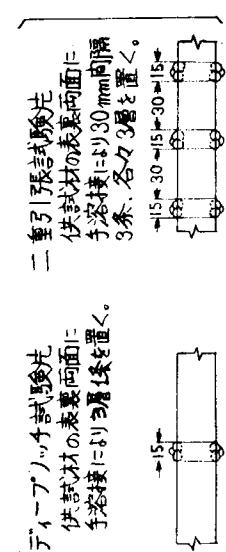
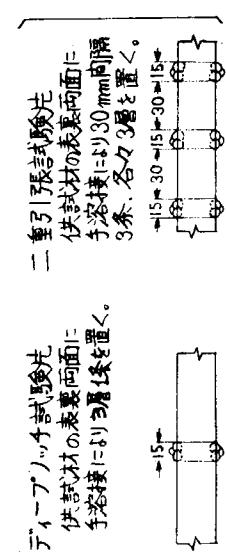
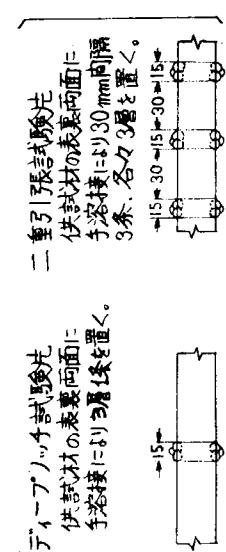
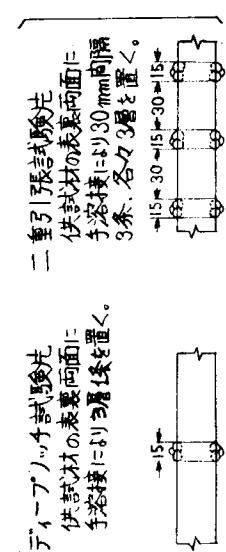
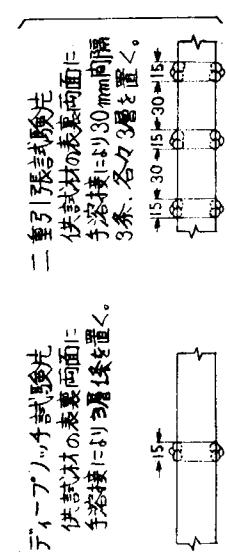
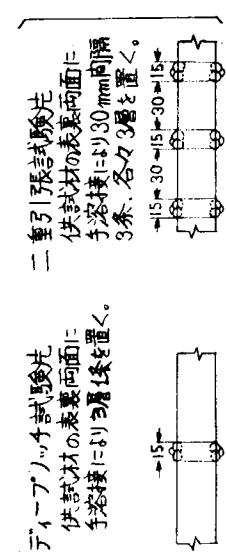
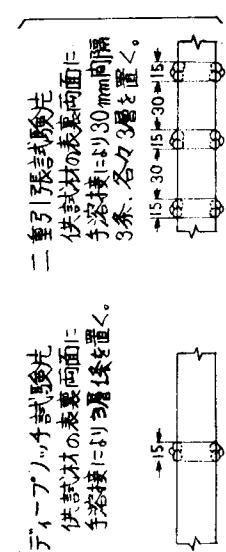
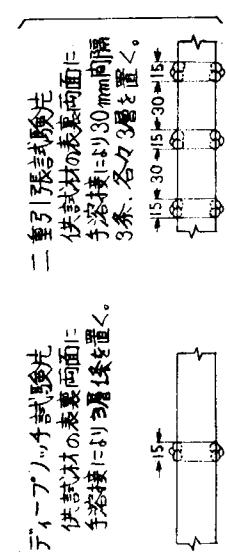
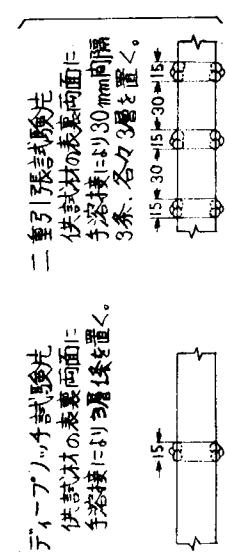
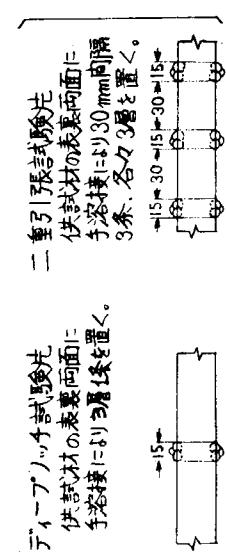
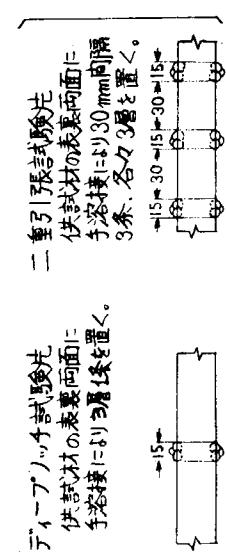
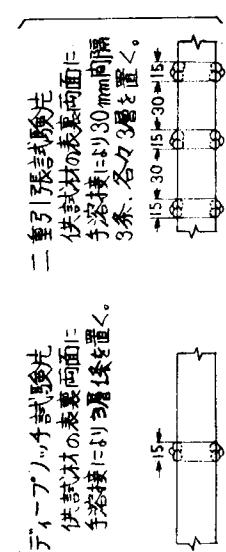
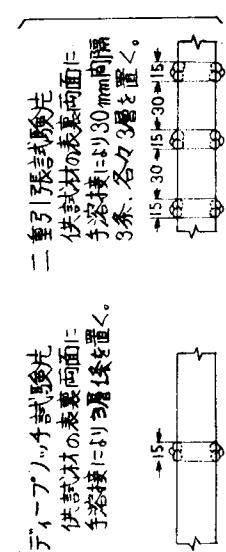
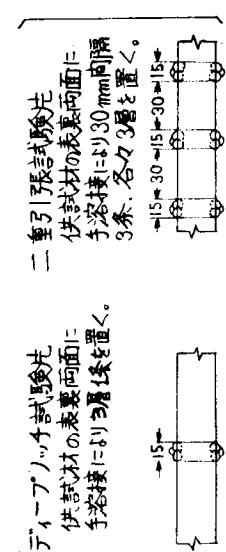
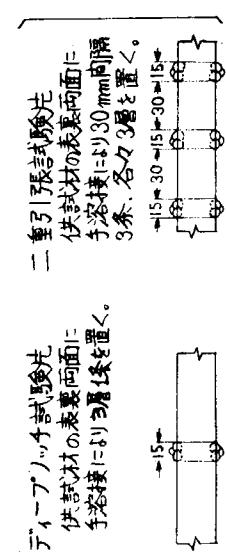
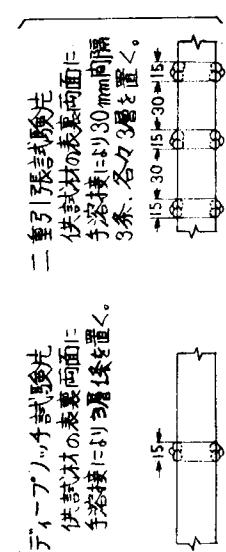
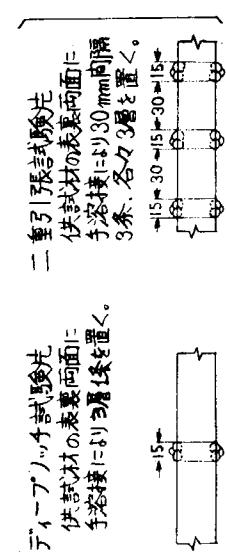
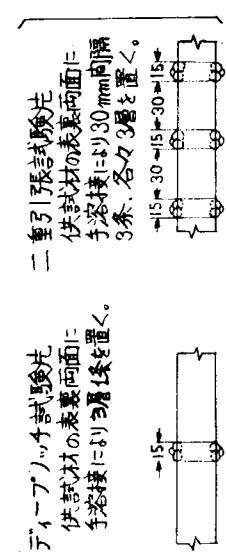
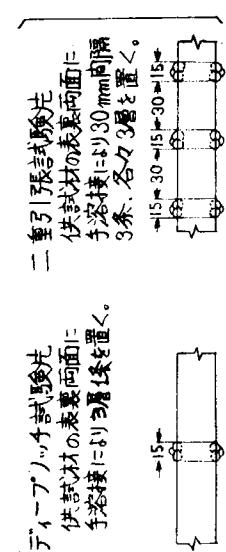
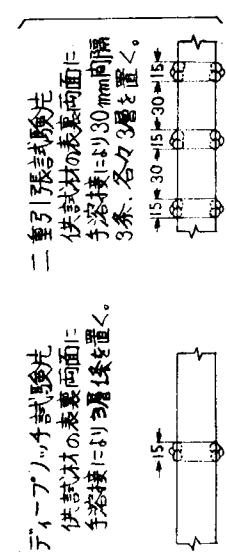
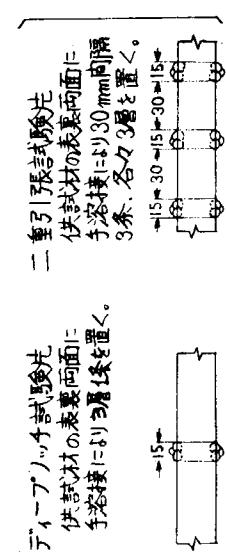
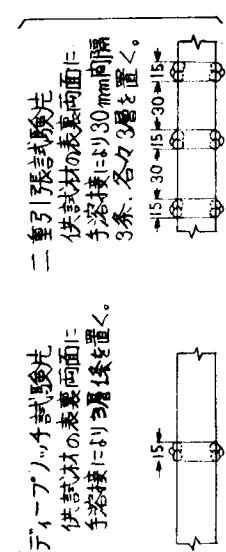
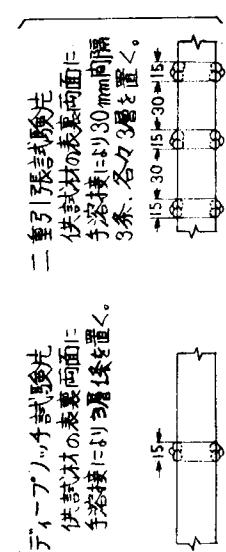
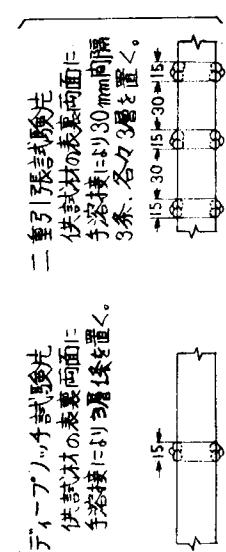
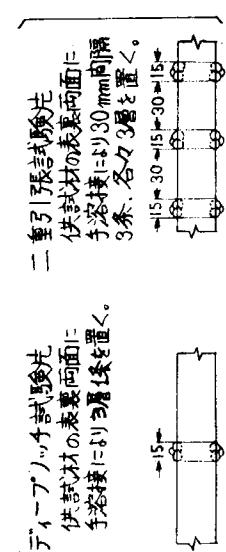
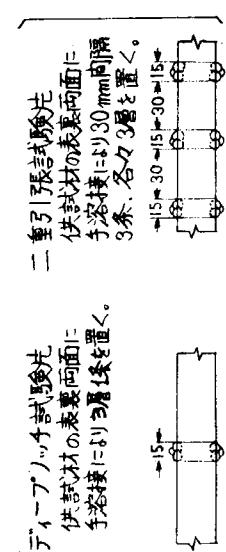
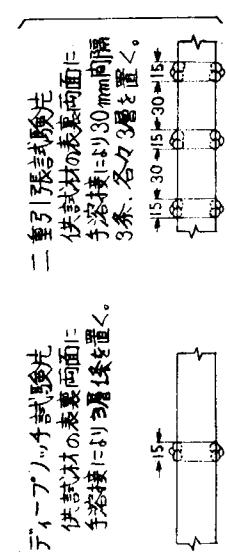
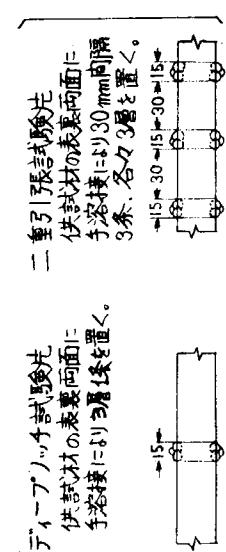
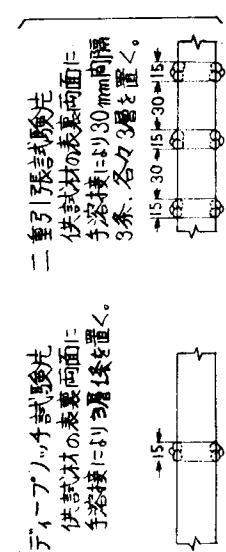
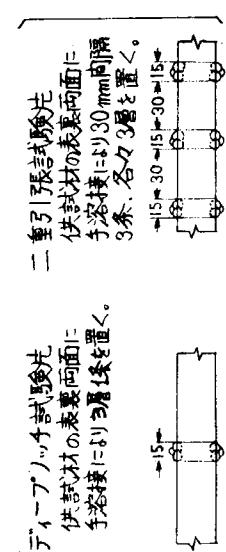
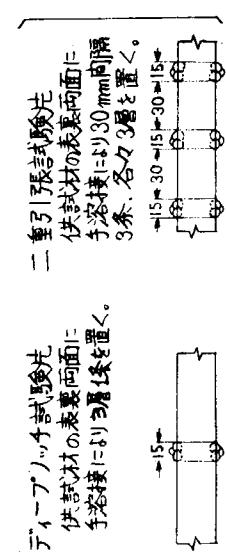
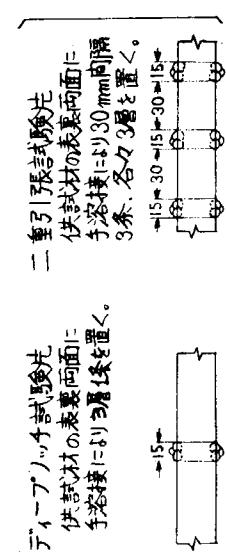
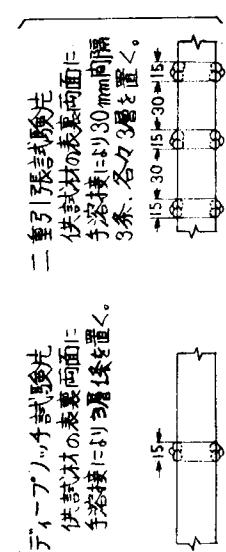
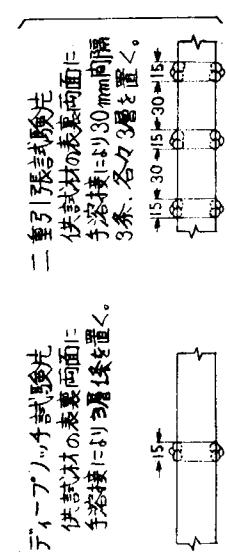
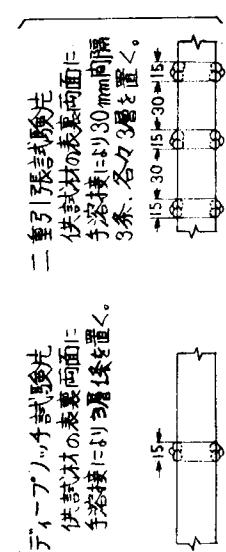
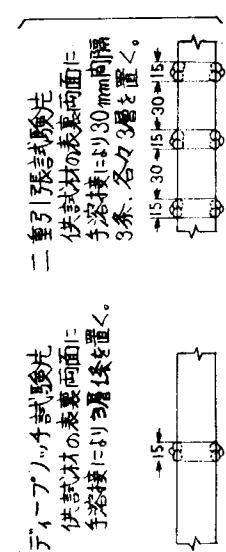
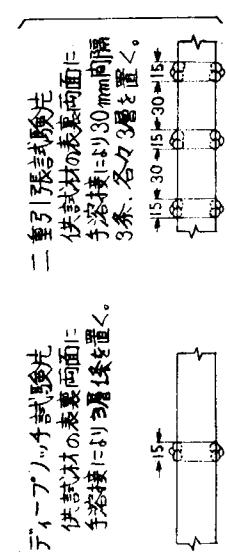
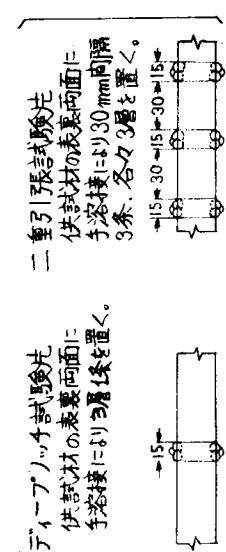
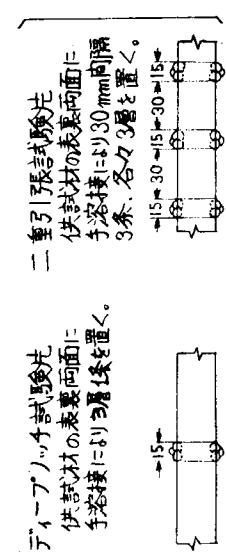
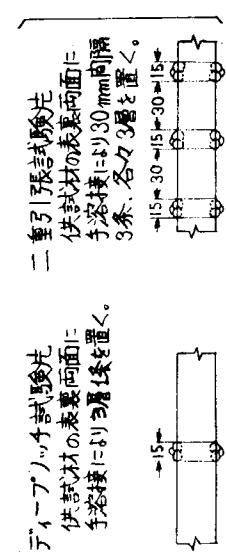
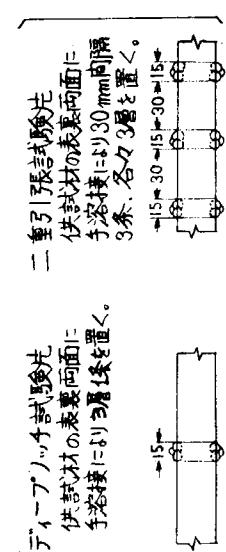
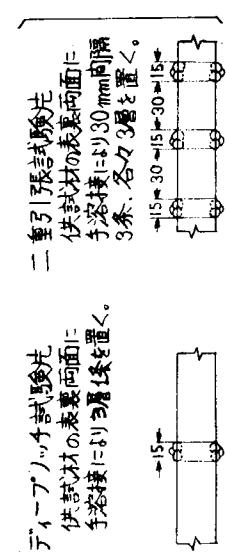
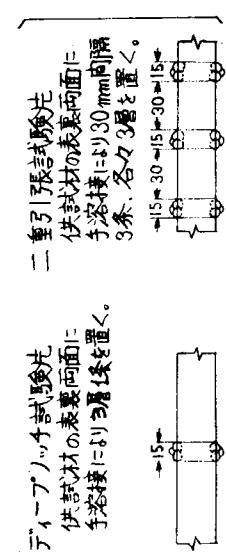
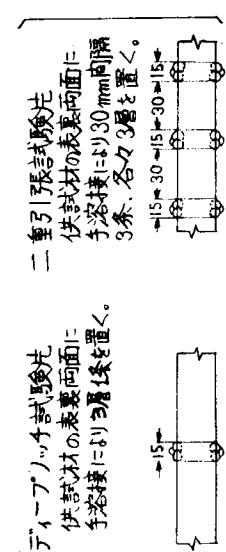
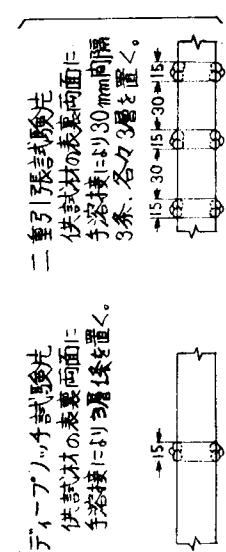
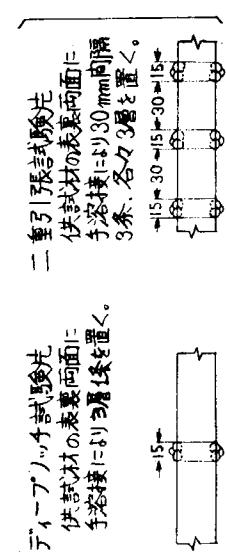
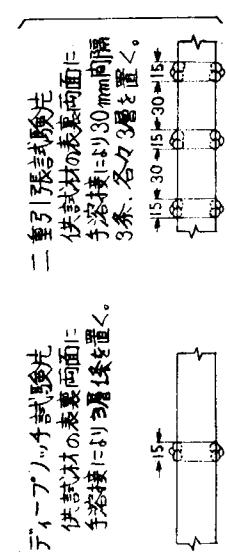
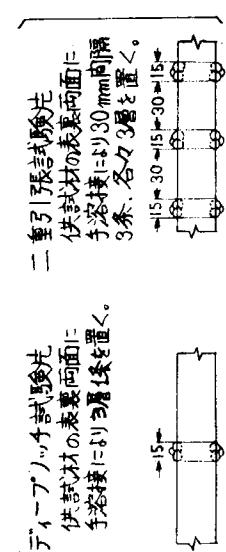
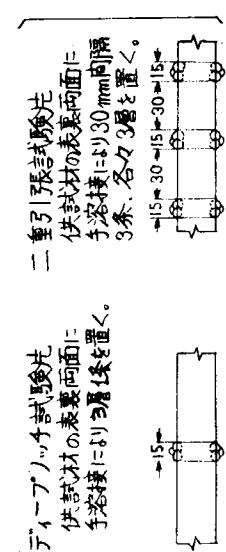
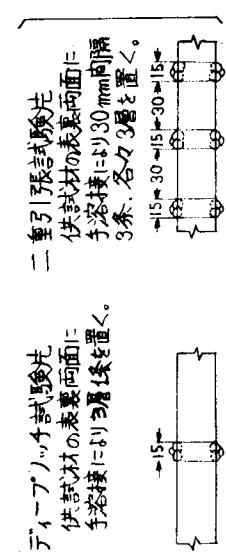
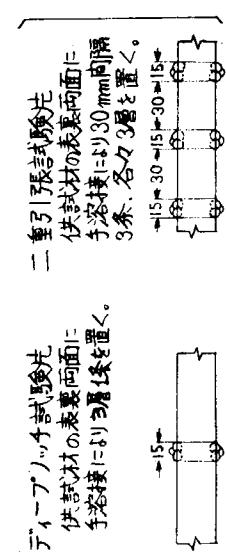
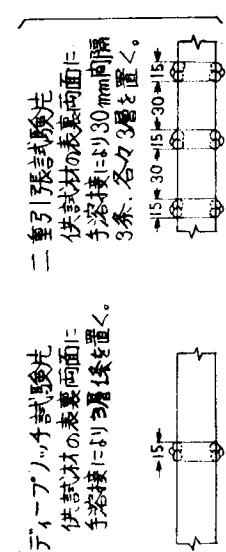
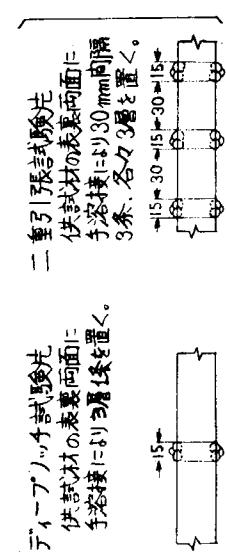
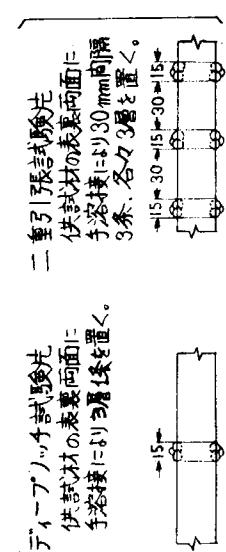
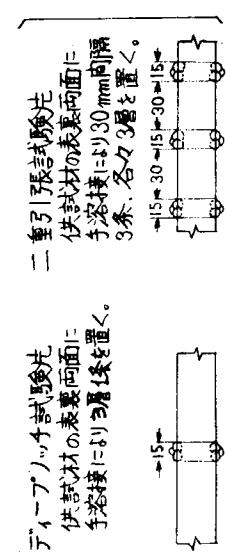
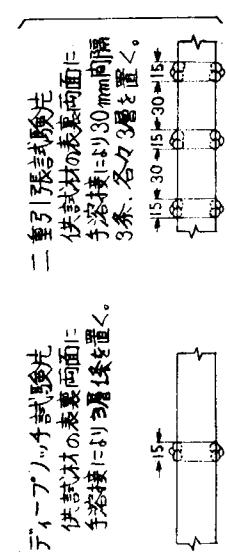
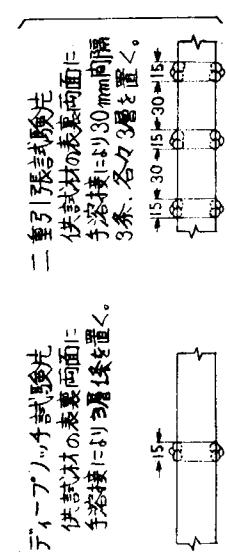
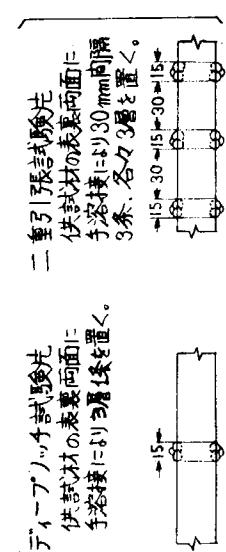
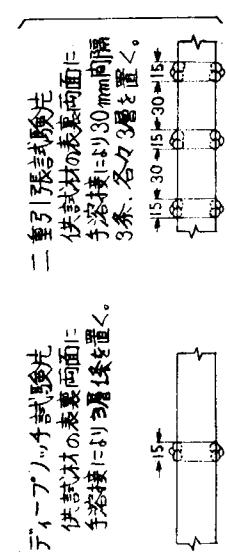
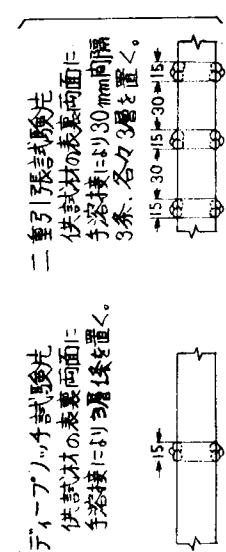
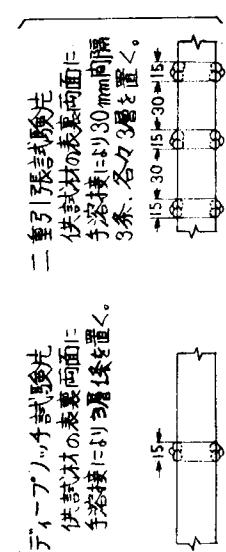
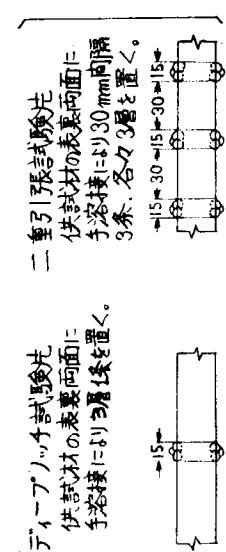
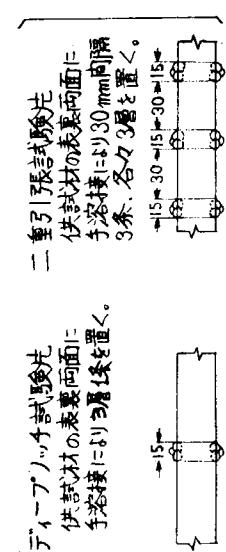
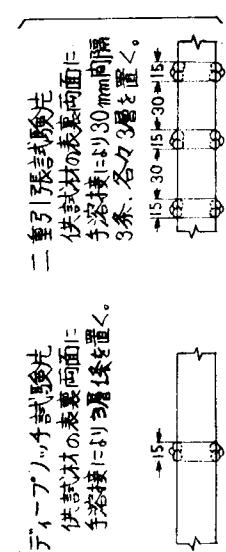
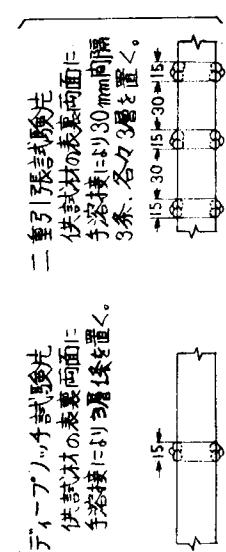
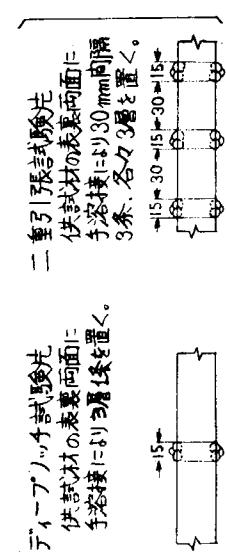
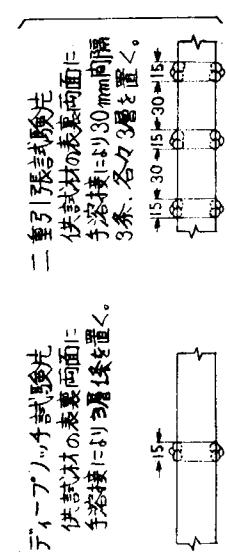
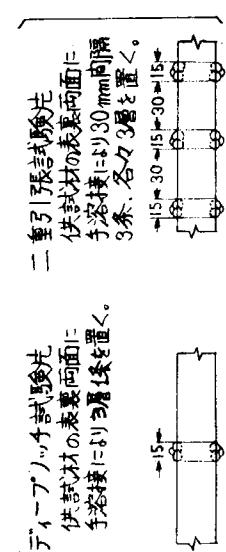
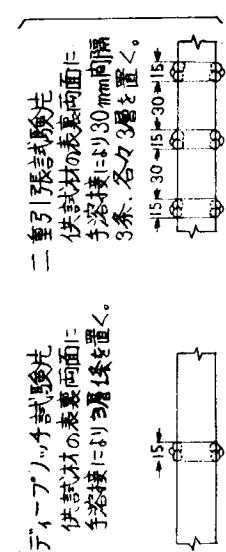
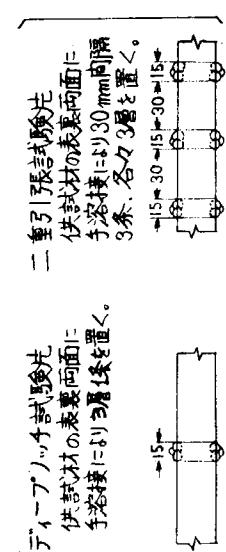
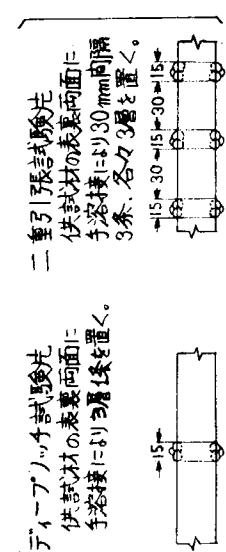
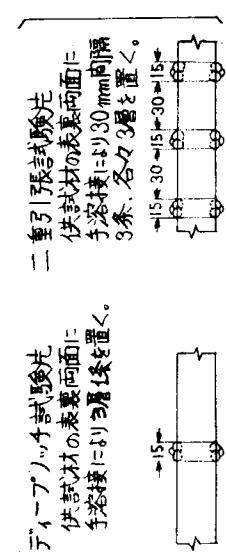
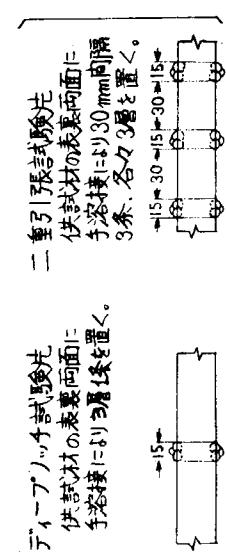
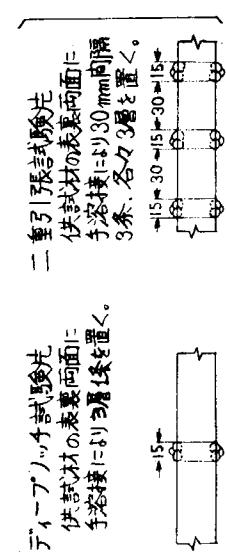
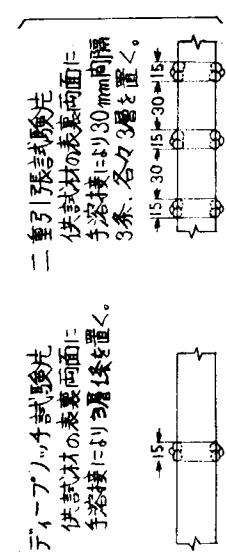
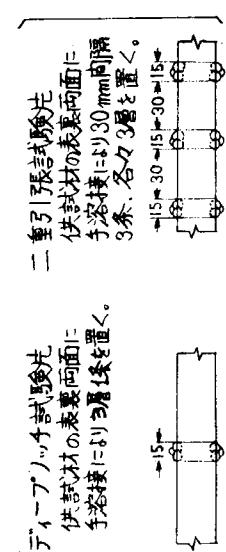
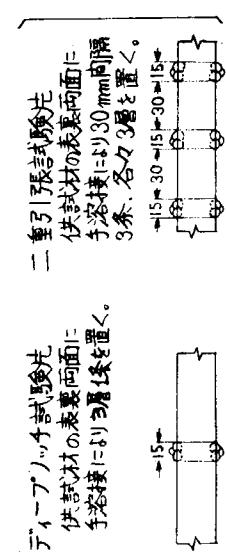
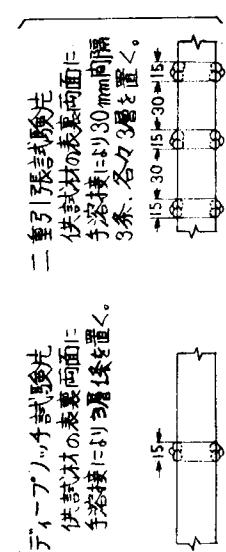
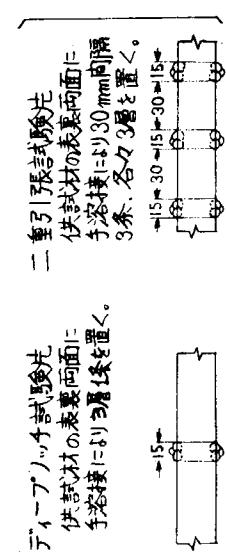
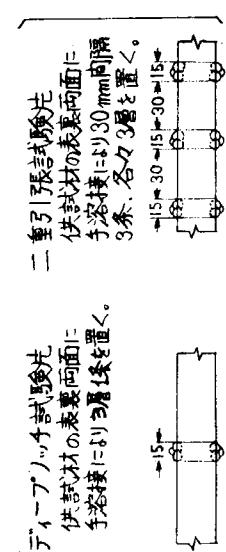
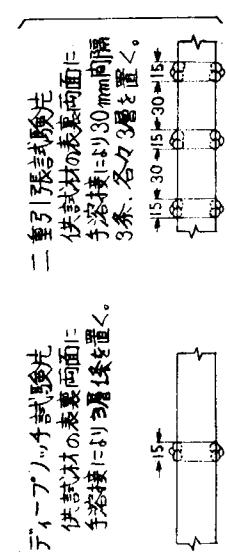
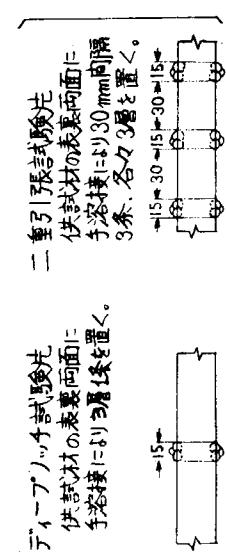
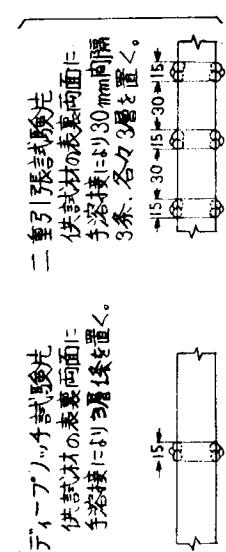
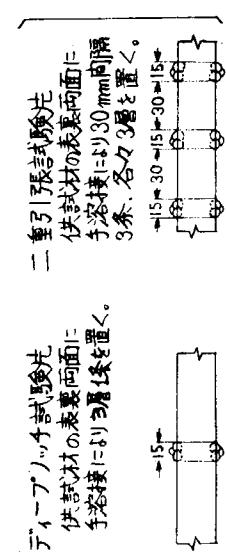
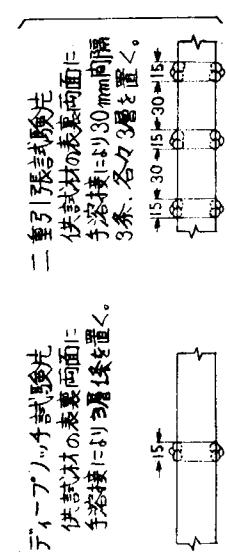
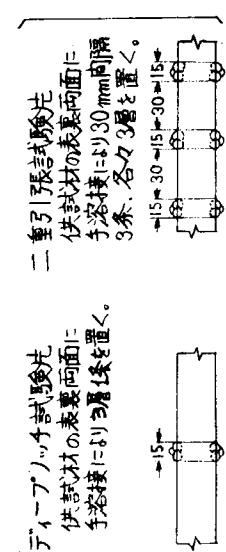
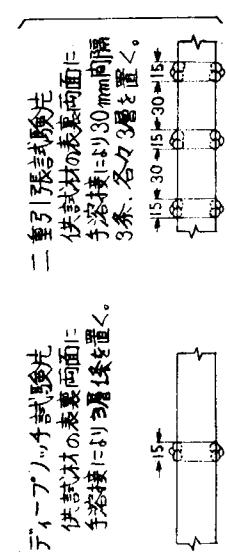
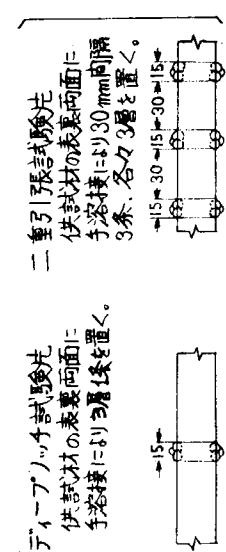
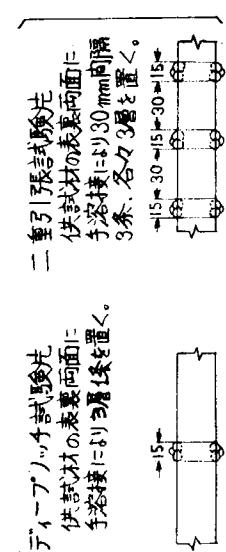
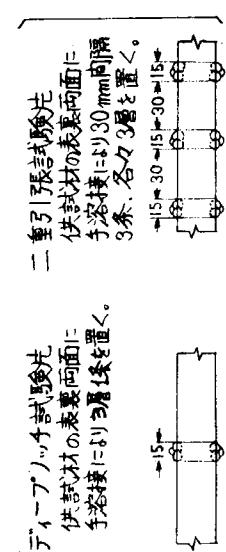
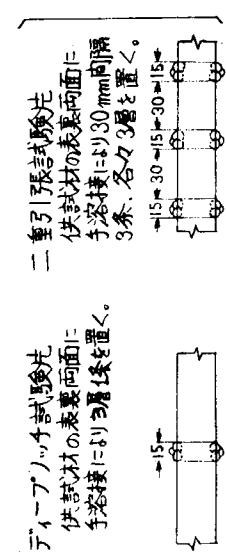
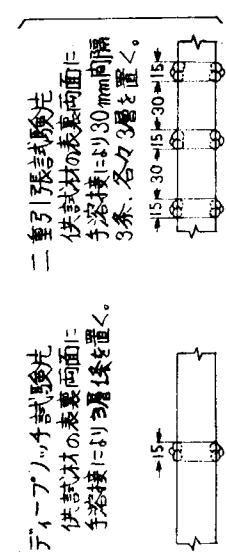
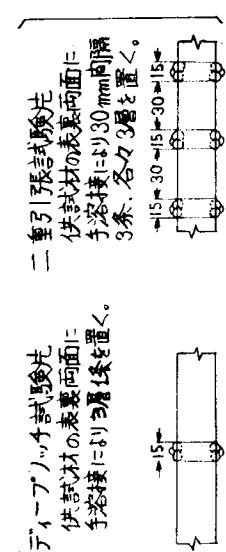
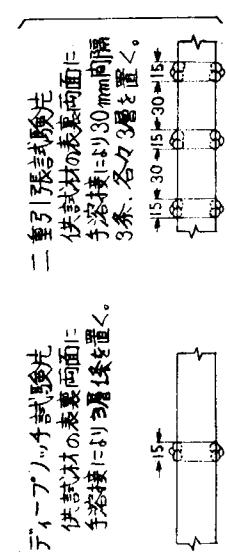
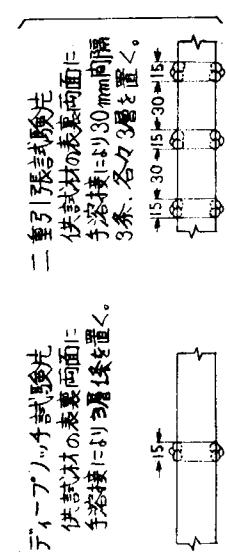
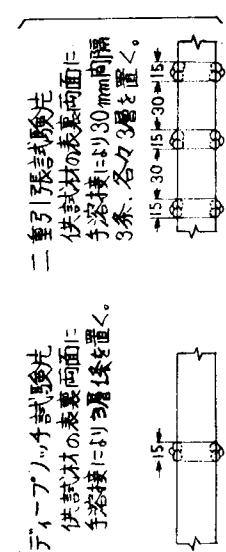
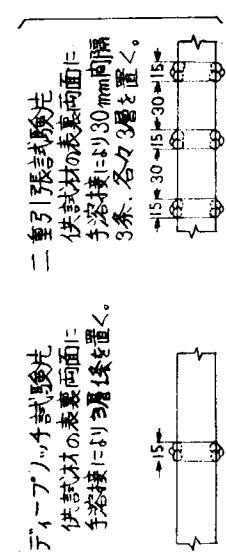
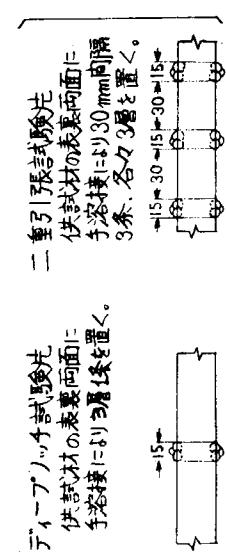
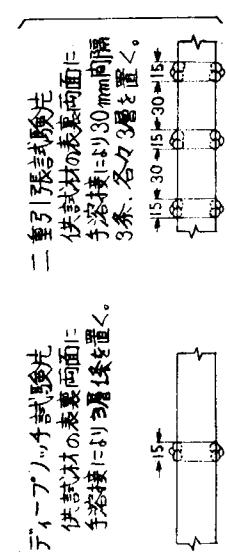
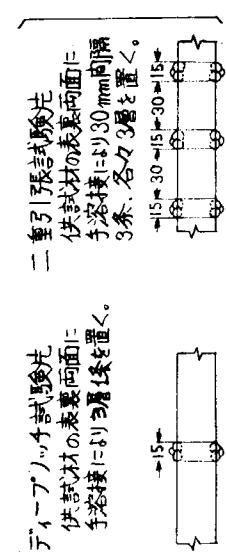
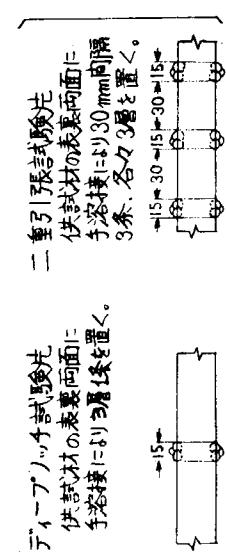
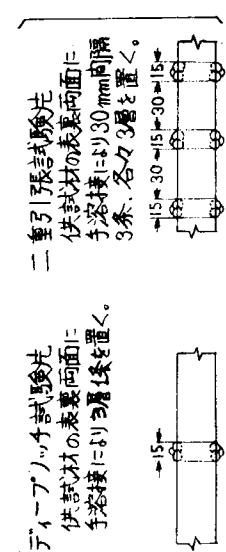
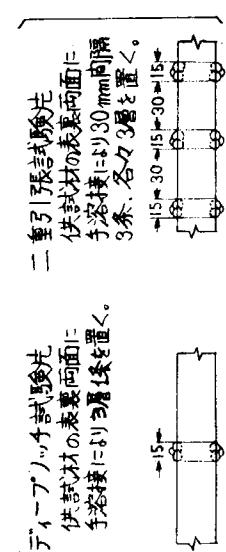
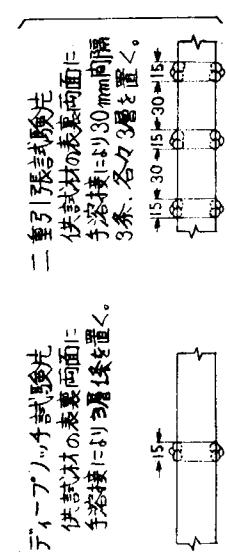
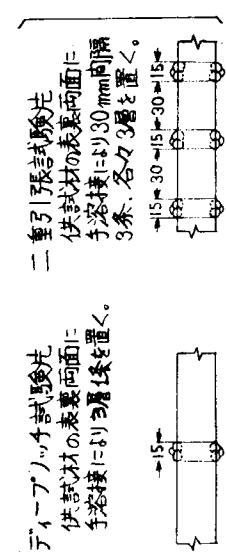
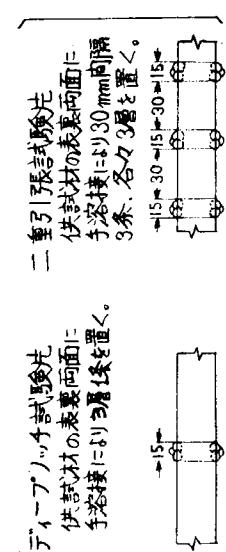
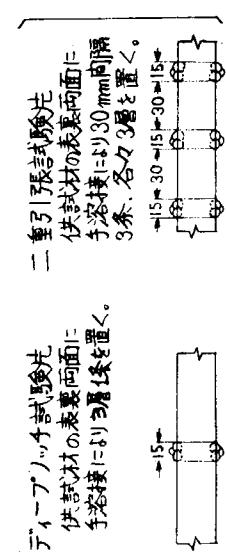
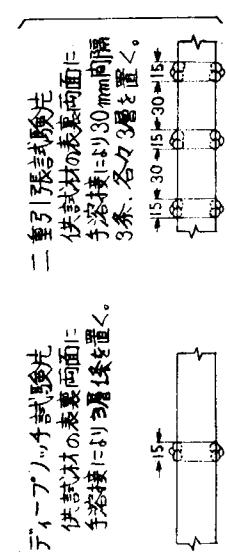
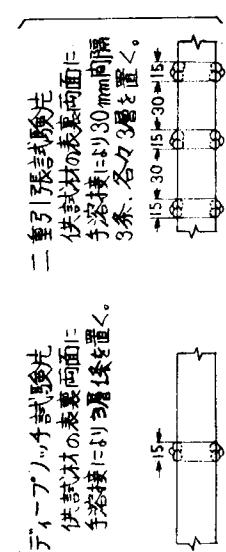
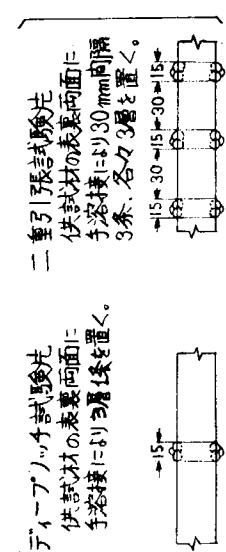
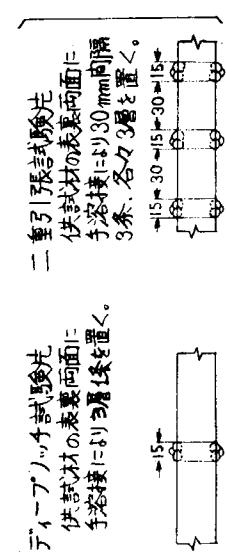
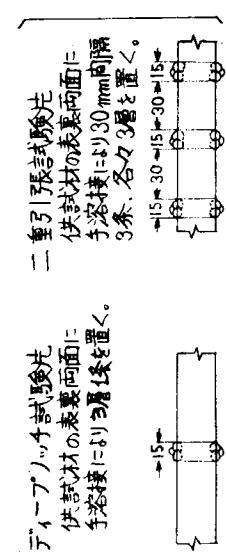
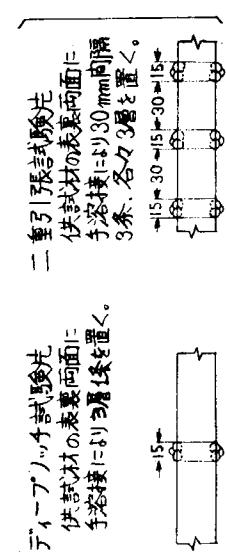
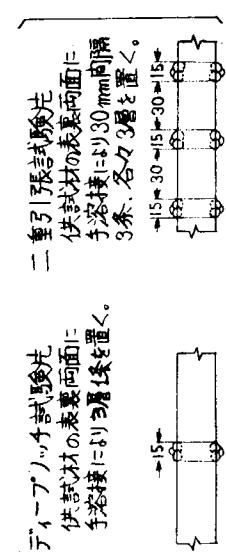
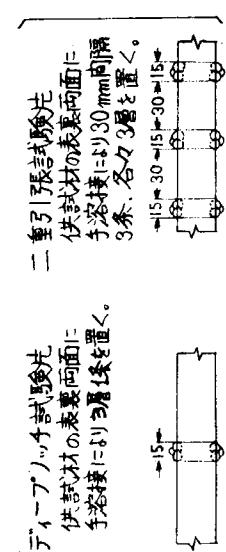
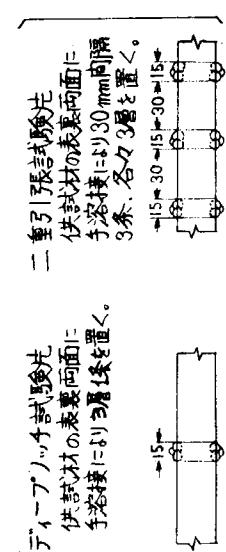
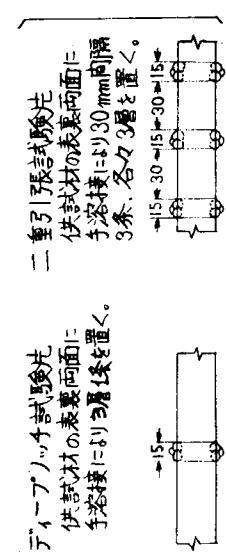
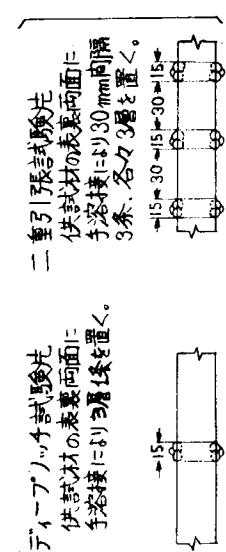
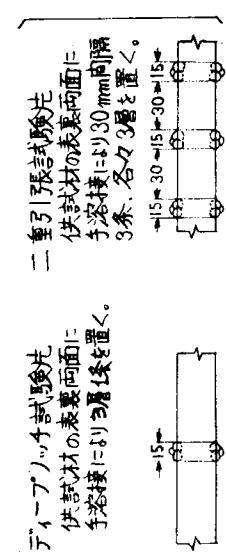


冷間引張加工

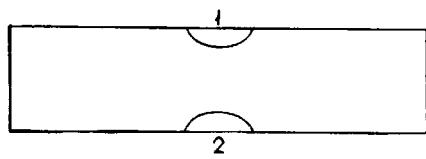
加工量: T: 3%
T: 0%, 3%



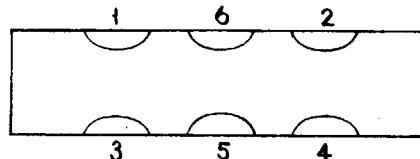
二重引張試験片
供試材の表裏両面に手溶接により3層を置く。



4) ディープノッチ試験ならびに二重引張試験は、線状ガス加熱加工により曲げられたままの状態、すなわち曲つた試験片を使用して実施するのは非常に困難であり、試験結果の解析も非常に面倒になる。したがつて、線状ガス加熱加工は供試材の表裏両面に施すものとする。(図2.7参照)



(a) ディープノッチ試験用

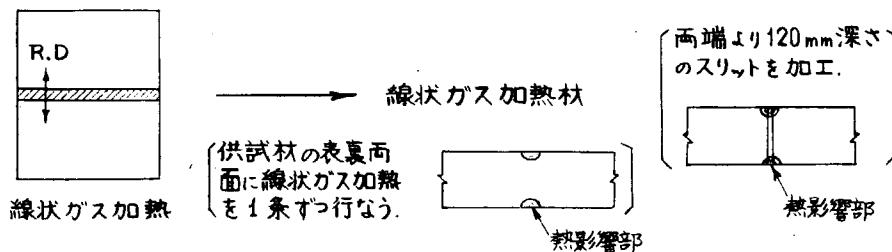


(b) 二重引張試験用

図2.7 線状ガス加熱順序

5) ディープノッチ試験片に対しては、供試材の表裏両面に1条づつ線状ガス加熱し、二重引張試験片に対しては、供試材の表裏両面に30mm間隔で各々3条づつ線状ガス加熱を行なうこととする。(図2.8参照)この場合、二重引張試験片に対して、30mm間隔で3条づつ加熱するのは、残留応力のバランスを考慮したためである。なお、加熱順序に関しては図2.7に示すとく、残留応力のバランスを充分考慮して決定することにする。

ディープノッチ試験



二重引張試験

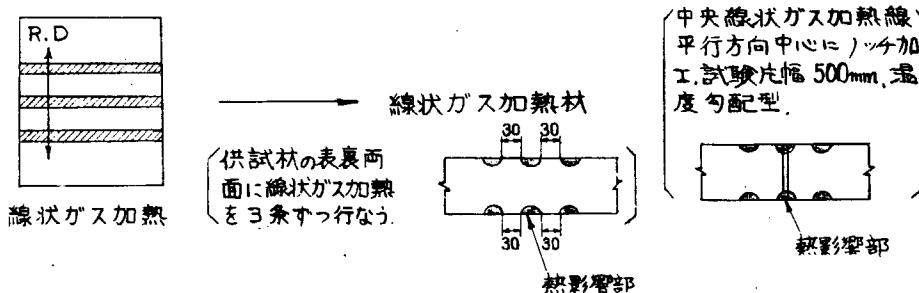


図2.8 “船体用50キロ級高張力鋼の韌性におよぼすガス加熱加工条件の影響に関する研究”
試験片製作要領

6) ディープノッチ試験、二重引張試験とともに切欠き位置は加熱中央部とし、脆性亀裂は加熱線にそつて加熱線内を伝播させるものとする。

2.4 実施計画

本研究は、昭和44年4月～47年3月の3か年計画で実施し、表2.1、表2.2に示すような配分内容で推進する。

表2.1 研究実施計画(その1)

研究項目	年度	昭和44年度		昭和45年度		昭和46年度	
		1-1 予備試験	B処理材製作	1-1 シャルビー衝撲試験(素材・ノルマ材・B処理材)	1-1 シャルビー衝撲試験(T処理材、T'処理材)	1-2 ディープノッチ試験(T処理材、T'処理材)	1-2 ディープノッチ試験(T処理材、T'処理材)
1. 船体用鋼板の韌性におよぼす冷間加工と溶接の重量効果に関する研究	1-2 予備試験	B処理材製作		1-2 二重引張試験 (素材・ノルマ材・B処理材)		1-3 二重引張試験 (素材・ノルマ材・B処理材)	1-3 二重引張試験 (T処理材、T'処理材)
	1-3 予備試験	B処理材製作		1-4 低温引張試験 (素材・ノルマ材・B処理材)		1-4 低温引張試験 (T処理材、T'処理材)	1-4 低温引張試験 (T処理材、T'処理材)
	1-4 B処理材製作			1-5 組織・硬度分布調査(素材・ノルマ材・B処理材)		1-5 組織・硬度分布調査(T処理材、T'処理材)	1-5 組織・硬度分布調査(T処理材、T'処理材)
2. 船体用50キロ級高張力鋼の韌性におよぼすガス加熱条件の影響に関する研究	2-1 線状ガス加熱条件の設定(予備試験)			2-2 シャルビー衝撲試験(素材、a°C加熱水冷材)		2-2 シャルビー衝撲試験(残り全試験材)	2-2 シャルビー衝撲試験(残り全試験材)
				2-3 ディープノッチ試験(素材、a°C加熱水冷材)		2-3 ディープノッチ試験(残り全試験材)	2-3 ディープノッチ試験(残り全試験材)
				2-4 二重引張試験 (素材、a°C加熱水冷材)		2-4 二重引張試験 (素材、a°C加熱水冷材)	2-4 二重引張試験 (素材、a°C加熱水冷材)
				2-5 低温引張試験 (素材、30)		2-5 低温引張試験 (素材、30)	2-5 低温引張試験 (素材、30)
						2-6 残留応力計測 (全試験材)	2-6 残留応力計測 (全試験材)
						2-7 組織・硬度分布調査(a°C加熱水冷材)	2-7 組織・硬度分布調査(残り全試験材)
附 带 設 備	800トンテストリフタ設置						

表 2.2 研究実施計画(その2)

2.5 供試材と試験片数量

前述のごとく、「船体用鋼板の韌性におよぼす冷間加工と溶接の重畠効果に関する研究」に関する供試材は、一般船体用軟鋼E級鋼(板厚30mm)および船体用50キロ級高張力鋼E級鋼(板厚30mm)とする。さらに、「船体用50キロ級高張力鋼の韌性におよぼすガス加熱加工条件の影響に関する研究」に関する供試材は、船体用50キロ級高張力鋼A級鋼(板厚30mm)、D級鋼(板厚12.7mm、30mm)およびE級鋼(板厚30mm)とする。これら供試材のミルシートによる機械的性質ならびに化学成分を表2.3に示す。

上記前者の研究に対する供試試験片内容および数量を表2.4に、後者の研究に対する供試試験片内容および数量を表2.5に示す。

表2.3 供試鋼板の化学成分と機械的性質(ミルシートによる)

鋼種	板厚 (mm)	化学成分(%)					機械的性質		
		C	Si	Mn	P	S	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)
KEN	30								
K5A	30	0.12	0.34	1.24	0.025	0.020	37.8	52.4	25.2
K5D	30	0.15	0.46	1.31	0.014	0.019	36.0	53.0	24.0
K5E	30	0.13	0.35	1.35	0.027	0.017	38.2	55.1	23.7
K5D	12.7	0.15	0.46	1.31	0.014	0.019	39.0	55.0	23.0

表2.4 “船体用鋼板の韌性におよぼす冷間加工と溶接の重畠効果に関する研究”供試試験片総数

研究項目	供試材	素材 (As Received)		ノルマ材	B処理材			T処理材 加工量 3%	T'処理材		合計 個数
		圧延方向	圧延直角方 向		加工量 0%	加工量 3%	加工量 5%		加工量 0%	加工量 3%	
1-1 シヤルピー衝撃試験	40	40	40	ノルマ材	60	60	60	60	60	60	480
	40	40	40		60	60	60	60	60	60	480
1-2 デイーブノツチ試験	4	4	4	ノルマ材	6	6	6	6	6	6	48
	4	4	4		6	6	6	6	6	6	48
1-3 二重引張試験	4	4	4	ノルマ材	5	5	—	5	—	5	32
	4	4	4		5	5	—	5	—	5	32
1-4 低温引張試験	6	6	6	ノルマ材	—	6	6	6	6	6	48
	6	6	6		—	6	6	6	6	6	48
1-5 組織・硬度分布調査	1	1	1	ノルマ材	1	1	1	1	1	1	8
	1	1	1		1	1	1	1	1	1	8

但し、表中上段はMS材、下段はHT50材

表 2.5 “船体用 50 キロ級高張力鋼の韌性におよぼすガス加熱条件の影響に関する研究”供試試験片総数

供試材 研究項目	線状ガス加熱加工材										線状ガス加熱加工材										合計個数	
	素材 (As Received)					素材 (As Rec -eived.)					素材 (As Rec -eived.)					素材 (As Rec -eived.)						
	a °C 加熱 →水冷	b °C 加熱 →水冷	c °C 加熱 →空冷	d °C 加熱 →空冷	e °C 加熱 →空冷	a °C 加熱 →空冷	b °C 加熱 →空冷	c °C 加熱 →水冷	d °C 加熱 →水冷	e °C 加熱 →水冷	a °C 加熱 →水冷	b °C 加熱 →水冷	c °C 加熱 →空冷	d °C 加熱 →空冷	e °C 加熱 →空冷	a °C 加熱 →水冷	b °C 加熱 →水冷	c °C 加熱 →空冷	d °C 加熱 →空冷	e °C 加熱 →空冷		
A 級鋼	A	D	E	A	D	E	A	D	E	A	D	E	A	D	E	A	D	E	A	D	D	
B 級鋼	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	12.7
C 級鋼	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	12.7
2-1 加熱条件の設定																						*
2-2 シヤルピー衝撃試験	20	20	20	20	20	-	20	20	20	-	20	20	20	-	20	20	20	20	20	20	20	44.0
2-3 デイーブノツチ試験	4	4	4	4	4	-	4	4	4	-	4	4	4	-	4	4	4	4	4	4	4	8.8
2-4 二重引張試験	4	4	4	4	4	-	4	4	4	-	4	4	4	-	4	4	4	4	4	4	4	8.8
2-5 低温引張試験	6	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4
2-6 残留応力計測	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2	-	2	-	2	-	1.2
2-7 組織・硬度分布調査	-	-	1	1	1	-	1	1	1	-	1	1	1	-	1	-	1	1	1	1	1	1.8

但し、 $\alpha = 800^{\circ}\text{C}$ 、 $\beta = 700^{\circ}\text{C}$ とする。 $b^{\circ}\text{C}$ 、 $c^{\circ}\text{C}$ および $\beta^{\circ}\text{C}$ 、 $\alpha^{\circ}\text{C}$ 加熱温度は、 $\alpha^{\circ}\text{C}$ 加熱温度により決定する。

* 全試験 44 年に完了。

2.6 供試鋼板の板取りり

各供試材について、表2.4および表2.5に示した各試験片、ならびに予備試験に供試した各試験片の板取りを図2.9～図2.13に示す。

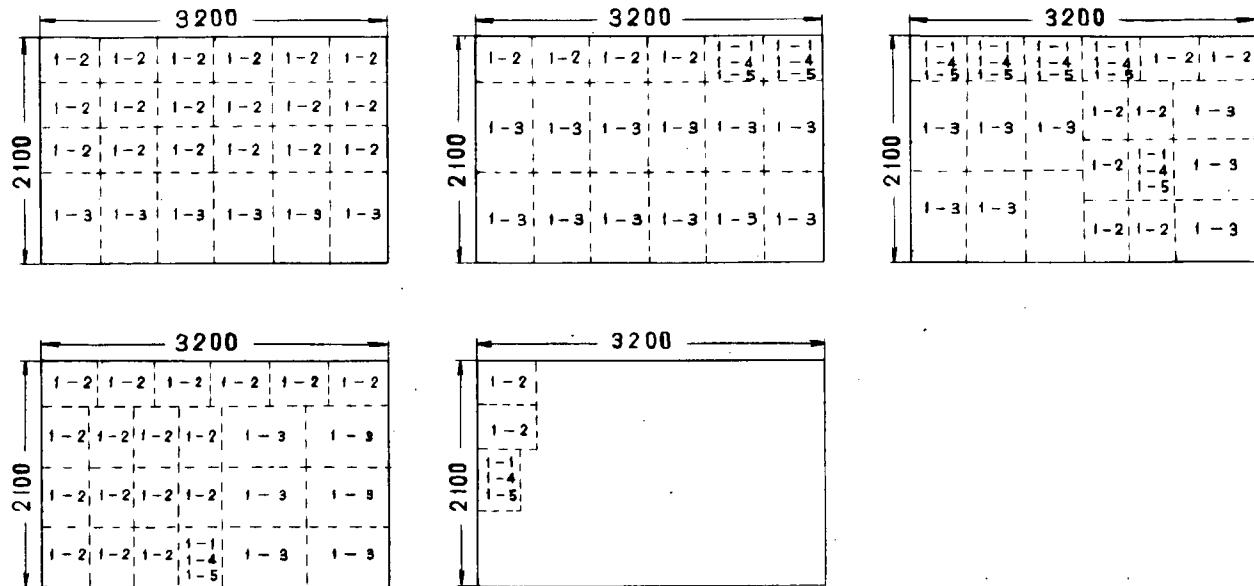


図2.9 供試鋼板KEN(板厚30mm)の板取り要領

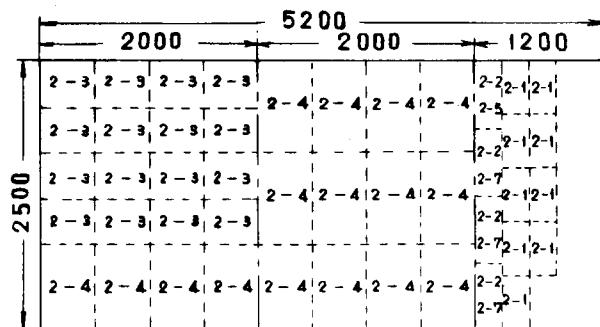


図2.10 供試鋼板K5A(板厚30mm)の板取り要領

			10000		
	3500		3500		3000
2100					
2- 1 2- 1 2- 1 2- 1					2-1 2-1 2-1 1- 3
2- 1 2- 1 2- 1 2- 1			2- 1 2- 1 2- 1 2- 1		- + - + - 1- 3
2- 1 2- 1 2- 1 2- 1			2- 1 2- 1 2- 1 2- 1		2-1 2-1 2-1
2- 1 2- 1 2- 1 2- 1			2- 1 2- 1 2- 1 2- 1		1- 2
2- 1 2- 1 2- 1 2- 1			2- 1 2- 1 2- 1 2- 1		2-1 2-1 2-1
2- 1 2- 1 2- 1 2- 1			2- 1 2- 1 2- 1 2- 1		2-1 2-1 2-1
2150		2150		1700	
2100					
2- 9 2- 3 2- 3 2- 3		2- 3 2- 3 2- 3	2- 3 2- 3	2- 3 2- 3	2- 3
2- 9 2- 3 2- 3 2- 3		2- 3 2- 3 2- 3	2- 3 2- 3	2- 3 2- 3	2- 3
2- 9 2- 3 2- 3 2- 3		2- 3 2- 3 2- 3	2- 4 2- 4 2- 4	2- 4 2- 4	2- 4
2- 9 2- 3 2- 3 2- 3		2- 3 2- 3 2- 3	2- 4 2- 4 2- 4	2- 4 2- 4	2- 4
2- 4 2- 4 2- 4 2- 4		2- 4 2- 4 2- 4	2- 4 2- 4 2- 4	2- 4 2- 4	2- 4
2700		1400		1900	
2100					
2- 4 2- 4 2- 4 2- 4		2- 4 2- 4 2- 4	2- 7 2- 7	2- 6 2- 6	
2- 4 2- 4 2- 4 2- 4		2- 4 2- 4 2- 4	2- 7 2- 7	2- 6	
2- 4 2- 4 2- 4 2- 4		2- 4 2- 4 2- 4	2- 7 2- 7	2- 6	
2- 3 2- 3 2- 3 2- 6		2- 6 2- 6	2- 2 2- 2 2- 2	2- 5 2- 7 2- 7 2- 7	

図 2.1.1 供試鋼板 K-5D (板厚 30mm) の板取り要領

図 2.1.2 供試鋼板 K-5-E (板厚 3.0 mm) の板取り要領

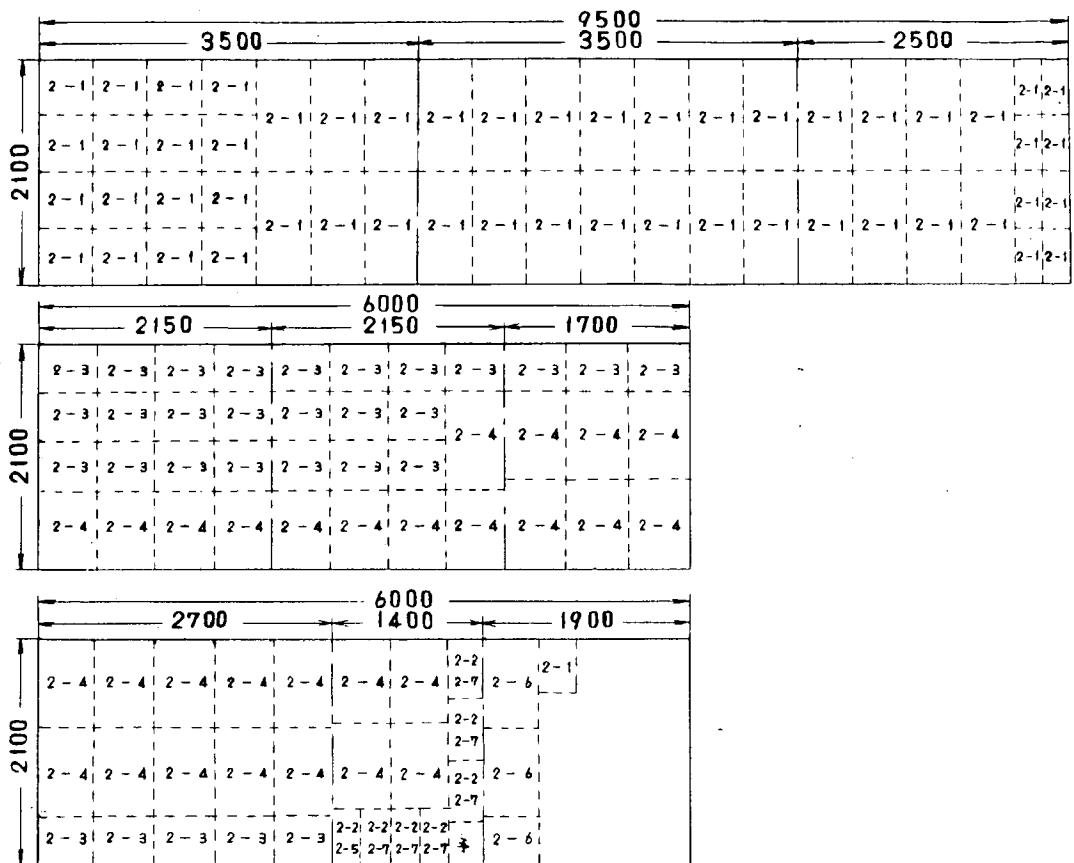


図 2.1.3 供試鋼板 K 5 D (板厚 12.7mm) の板取り要領

3. 船体用鋼板の靱性におよぼす冷間加工と溶接の重畠効果に関する研究

3.1 予備試験

3.1.1 予備試験目的

予備試験では、ディープノツチ試験に対して供試試験片のノツチ形状を決定すること、および二重引張試験に対しては、溶接余盛切削除去跡をなすわち溶接熱影響部内で脆性亀裂を伝播停止させることができか否かを把握し、試験片製作要領ならびに試験実施要領を決定することとした。

1) ディープノツチ試験について

冷間加工と溶接の重畠効果による靱性への影響を把握することが目的になつてゐるが、溶接部としてはアイプレート等の溶接を考慮の対象にしているので、脆性亀裂発生特性に対しては、溶接ビードを切削除去した跡に残つている可能性のある微小亀裂、すなわち表面切欠きからの発生特性を対象に検討可能な試験結果を得ることが出来ればよいわけである。したがつて、どのようなノツチ形状の試験片を供試すればよいかを決定することとした。

2) 二重引張試験について

ラウンドガングウェル部に脆性亀裂が伝播して来た場合、その亀裂がアイプレート等の溶接ビード切削除去跡に伝播して来た場合と、それ以外のところに伝播して来た場合とで、亀裂停止能力にどの程度変化があるかを定量的に把握することを対象にしているので、二重引張試験において亀裂が溶接熱影響部内を伝播して停止しないと、試験の目的を達成出来ないことになる。すなわち、脆性亀裂伝播停止特性に及ぼす冷間加工と溶接の重畠効果の影響を把握することは不可能になる。したがつて、亀裂伝播経路を把握することにより、試験片製作要領ならびに試験実施要領を検討することとした。

3.1.2 ディープノツチ予備試験結果

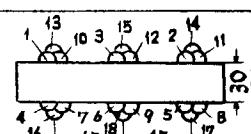
1) 供試材

供試材としては、船体用50キロ級高張力鋼の代表として日本海事協会規格材第1種E級高張力鋼(K5E)を使用した。ミルシートによる供試材の化学成分および機械的性質は表2.3に示したとおりである。

2) 試験片

供試材に表3.1に示す溶接条件で、図示のごとく圧延直角方向表裏両面に各々3層・3条の溶接ビードを置き、前

表3.1 溶接条件

鋼種	溶接棒	溶接電流(A)	溶接速度(mm/min)	層間温度(°C)	ビードの置き方
K5D	LB-52	200~210	150~160	<100	
K5E	5.0*				

述したラウンドガングウェル部にアイプレート等が溶接された状態を再現した。

試験片は図2.2に示したと同様の幅400mmの標準型と寸法にし、図3.1に示す3種類のノツチ形状のものを製作した。S型は表裏両面の中央溶接ビードを板面まで切削除去し、溶接熱影響端部にそつて深さ120mmの標準ノツチ(サイドノツチ)を加工したものである。

SF・S型は、表裏両面の中央溶接ビードを板面から3mmの高さまで切削除去し、第1層目溶接熱影響中央部に試験片全幅表裏両面にわたつて深さ6mmの表面ノツチを加工し、さらに表面ノツチの位置に深さ120mmのサイドノツチを加工したものである。さらにSF型は、SF・S型の場合と同様の表面ノツチを試験片全幅に加工したものである。

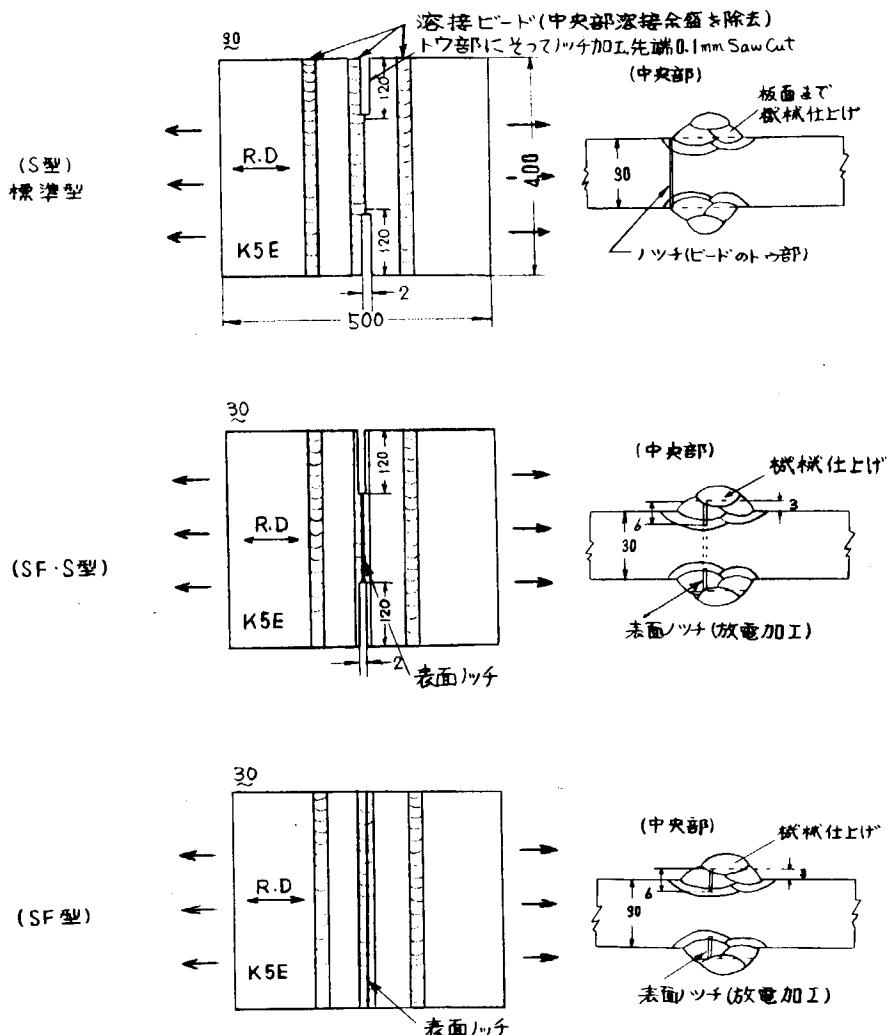


図 3.1 ディープノッチ試験片形状

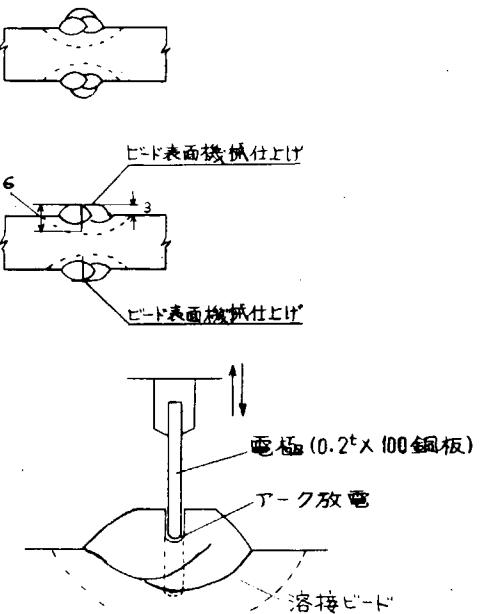
表面ノッチは、八幡製鉄株式会社八幡製鉄所において、図 3.2 に示す要領で放電加工をおこなつたもので、ノッチ先端位置が確実に溶接ビード下部の熱影響部に来ることを目標にした。

放電加工に先だって、溶接ビード下部の韌性を調査するため、D 級鋼ならびに E 級鋼に関して図 3.3 および図 3.4 に示すシャルピー衝撃試験を行なつた。試験結果よりボンドおよび熱影響部の韌性が劣化することが明らかである。

3) 試験結果

試験結果の一覧を表 3.2 に示す。また試験片の破壊状況の写真を写真 3.1～写真 3.6 に示す。これらの試験結果を要約すると、概略以下のようである。

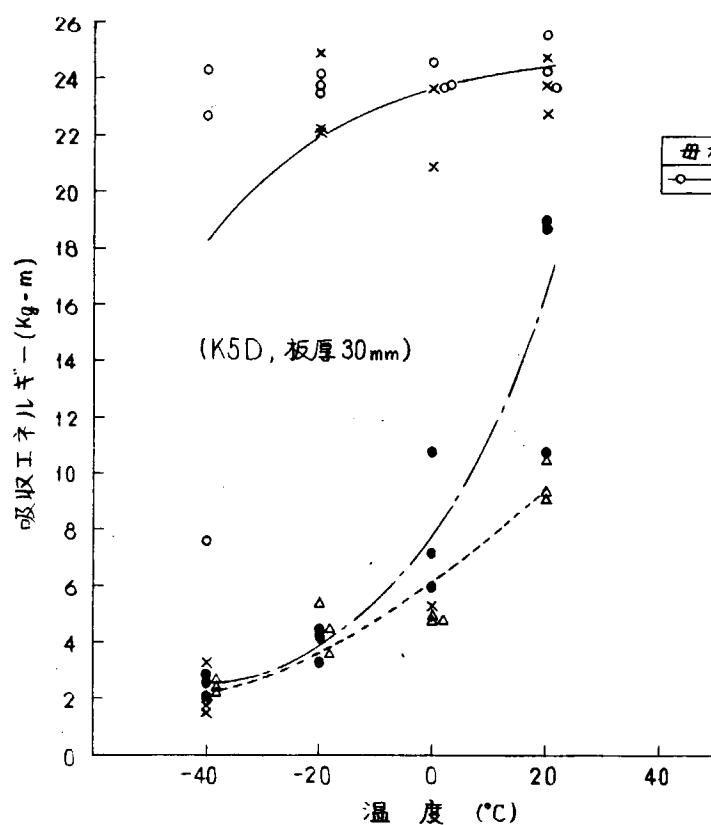
- (1) 工業的に実験可能な温度範囲すなわち -196°C 以上の温度では、K5E (板厚 30mm) の SF 型試験片は、必ずしも低応力脆性破壊するとはかぎらない。
- (2) 供試 3 種類の試験片の破壊応力 (σ_{b} ならびに σ_{u}) を比較すると、同一試験温度においては、



放電加工機仕様

製造元	富士放電株式会社
型 式	RYSEX RE 103型
3 K W	AC 60Hz

図 3.2 予備試験用ディープノッチ試験片の表面ノッチ加工要領



試験片採取要領

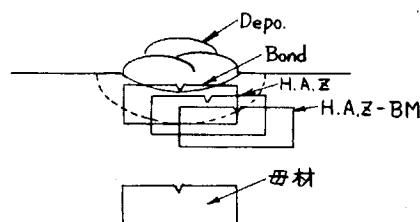
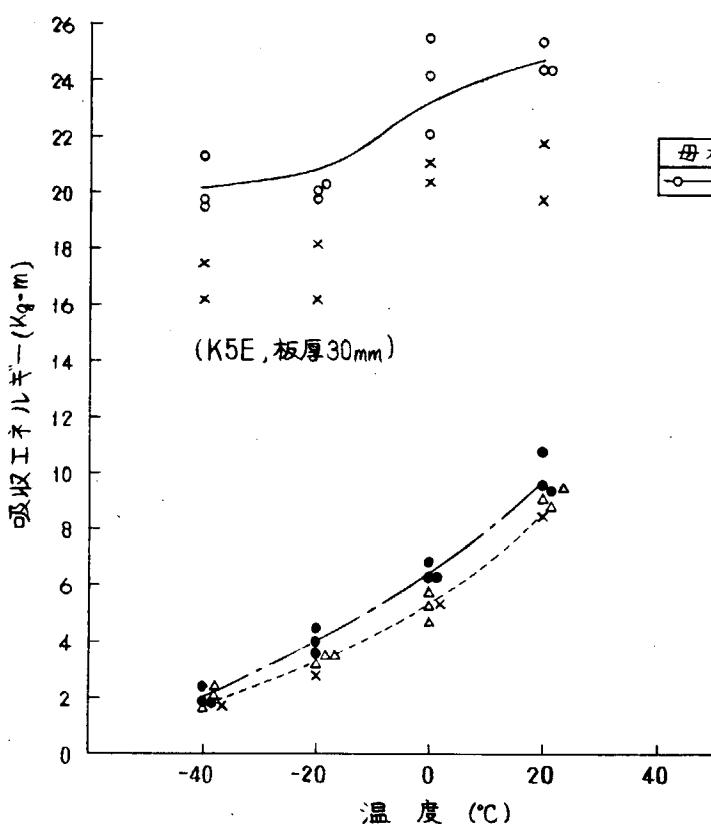


図3.3 V-ノツチシャルピー衝撃試験結果



試験片採取要領

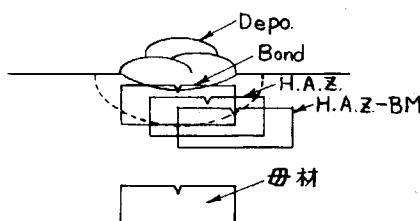


図3.4 V-ノツチシャルピー衝撃試験結果

表 3.2 デイープノッチ試験結果一覧

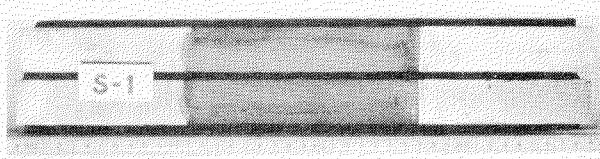
鋼種	試験片 符号	試験片 寸法 (mm) 板厚×幅	温 度 T (°C)	$10^3 T_K$ (°K ⁻¹)	破壊荷重 P (Ton)	σ_g (kg/mm ²) ※1	σ_n (kg/mm ²) ※2
K5E	S-1	30.6×400	-196	12.99	81.2	6.6	16.6
	S-2	30.6×400	-143	7.69	172.6	14.1	35.3
	SFS-1	25.3×400	-196	12.99	52.0	5.1	12.8
	SFS-2	26.0×400	-135	7.25	152.0	14.6	36.5
	SF	30.6×400	-196	12.99	192.7	15.7	15.7 ※3

※1：グロス応力 (Gross Stress)

※2：真破断応力 (Net Stress)

※3：表面ノッチ底面で破断しなかったのでひびきの値と同一になった。
(破断時の表面ノッチ底面応力=18.5 kg/mm²)

a. 破断経路

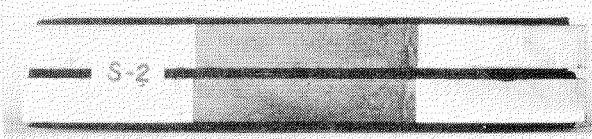


b. 破断面

図 3.1 デイープノッチ試験による破断状況



a. 破断経路



b. 破断面

図 3.2 デイープノッチ試験による破断状況

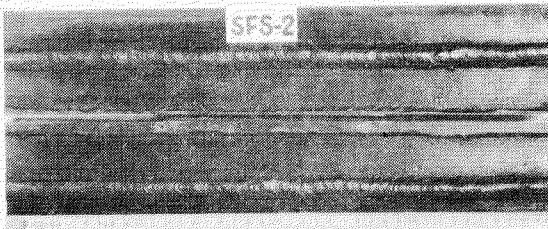


a. 破断経路



b. 破断面

図 3.3 デイープノッチ試験による破断状況

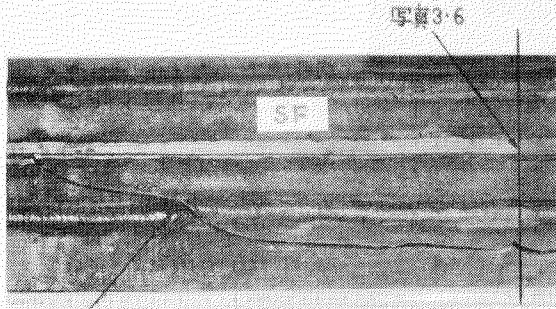


a. 破断状況

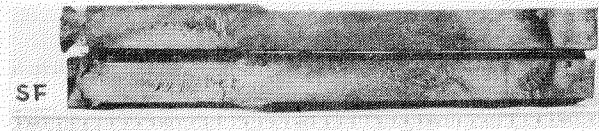


b. 破断面

図3.4 ディープノッチ試験による破断状況



a. 破断経路



b. 破断面

図3.5 ディープノッチ試験による破断状況

S.F・S型が最も低応力破壊を示している。

(3) S.F型においては、表面ノッチ底からは破壊せず余盛を切削除去しない溶接ビードトウ部より発生した亀裂により試験片は破断した。これは、放電加工による表面ノッチ底の半径が約0.3mmもあつたことに原因するかも知れない。

(4) 供試3種類のクラックパスを見れば、溶接残留応力の影響のためS型においてはごくわずか曲っているか、S.F・S型においては、表面ノッチの影響により直進した。

冷間加工と溶接の重畳による韌性変化を把握するためには、低応力脆性破壊に対する遷移温度がなるべく高温側に存在する試験法によることが望ましいので上記の結果から、供試3種類のノッチ形状に対しては、S.F・S型を使用するのが最も望ましいようである。

さらに、アイプレート溶接ビード切削除去跡を考慮すればS.F・S型が望ましいと考えられる。

3.1.3 二重引張予備試験結果

1) 供試材

供試材としては、船体用50キロ級高張力鋼の代表として日本海事協会規格第1種D級高張力鋼(K-5D)を使用した。ミルシートによる供試材の化学成分ならびに機械的性質は表2.3に示した通りである。

2) 試験片

前述の2.3項試験片製作要領で述べた如く、予備試験片でも溶接ビードを手溶接により表裏両面に3.0mm間隔で各々3層・3条置くことにした。この場合、溶接ビードを3.0mm間隔に3条置くのは、板厚3.0mmのアイプレートを溶接した場合を想定し、さらに溶接による残留応力のバランスを充分考慮したためである。溶接条件ならびに溶接順序は、表3.1に示すことく、先に述べたディープノッチ予備試験の場合と同じにした。なお供試試験片は亀裂伝播部幅17.0mmの小形二重引張試験片で、その寸法形状を図3.5に示す。

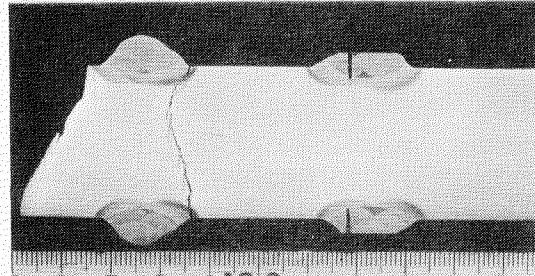


写真3.6 溶接ビード置き断面のマクロ写真(試験片符号S.F.)

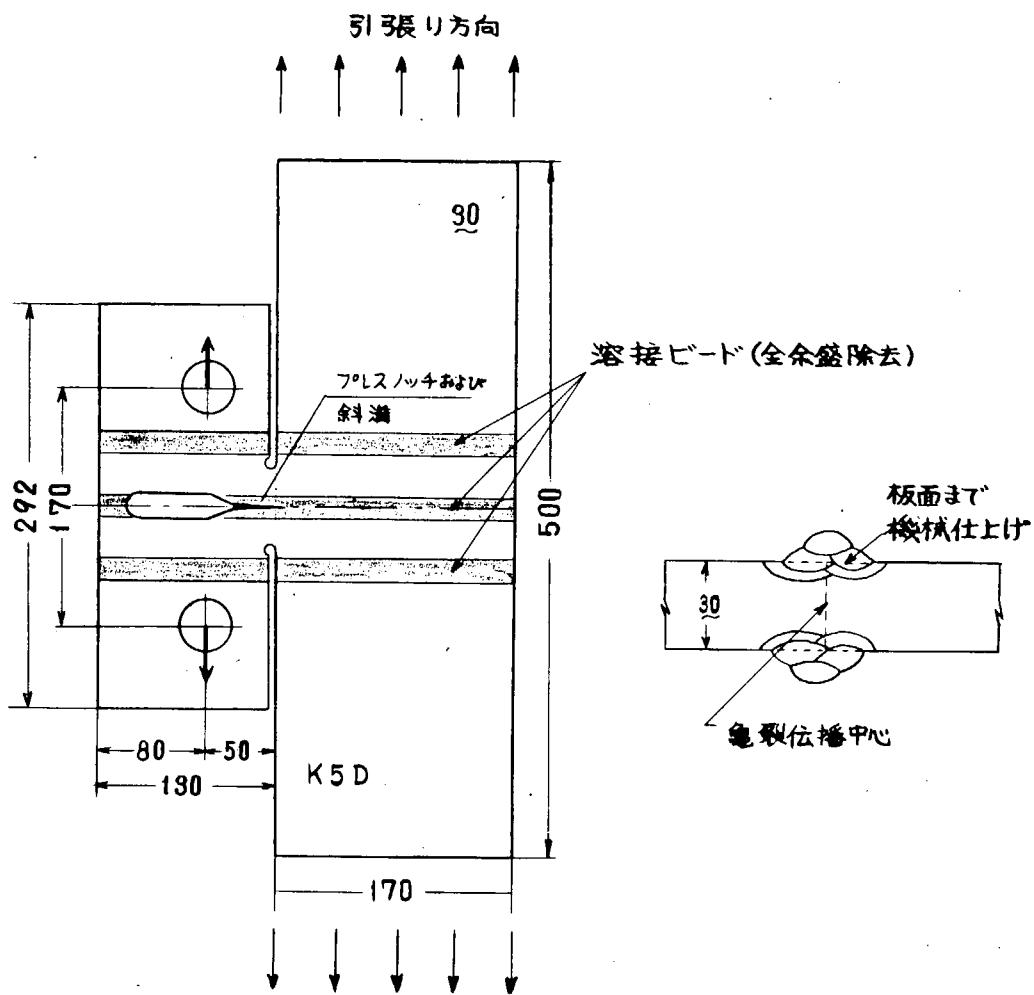


図 3.5 二重引張試験片形状

3) 試験結果

温度勾配型および温度平坦型二重引張試験を実施した。この場合、中央溶接ビード切削除去跡熱影響部にそつて亀裂を伝播停止させるようにするため、発生部のノッチ位置は熱影響中心部とした。試験条件ならびに試験結果を表 3.3 および図 3.6 に示す。また、亀裂伝播状況を写真 3.7 に、破断面を写真 3.8 に示す。

これらの試験結果を要約すると、概略以下のようである。

- (1) 脆性亀裂は、亀裂伝播部応力が $20 \text{ kg}/\text{mm}^2$ 程度でも、溶接ビード切削除去跡熱影響部を直進することが確認された。

表 3.3 二重引張試験結果一覧

鋼種	板厚	亀裂伝播部	試験片 符 号	亀裂伝播部 幅 B (mm)	亀裂強さ C (mm)	亀裂伝播部 平均応力 σ_g (kg/mm ²)	補正応力 $f(r) \cdot \sigma_g$ (kg/mm ²)	停止温度 (最高温度) T (°C)	$10^3/T_K$ (°K ⁻¹)	K_c (kg/mm ²)	C/B
K 5 D	3.0	熱影響部	M6.1 温度平坦型	170	伝播 ↓ 破断	20.0	—	(-40)	(4.29)	—	—
			M6.2 温度勾配型	170	118	25.0	33.1	6	3.59	360	0.69

$$\text{※ } K_c = f(r) \sigma_g \sqrt{C}$$

$$f(r) = \sqrt{\frac{2}{\pi r}} \tan \frac{\pi r}{2}$$

$$r = \frac{C}{B}$$

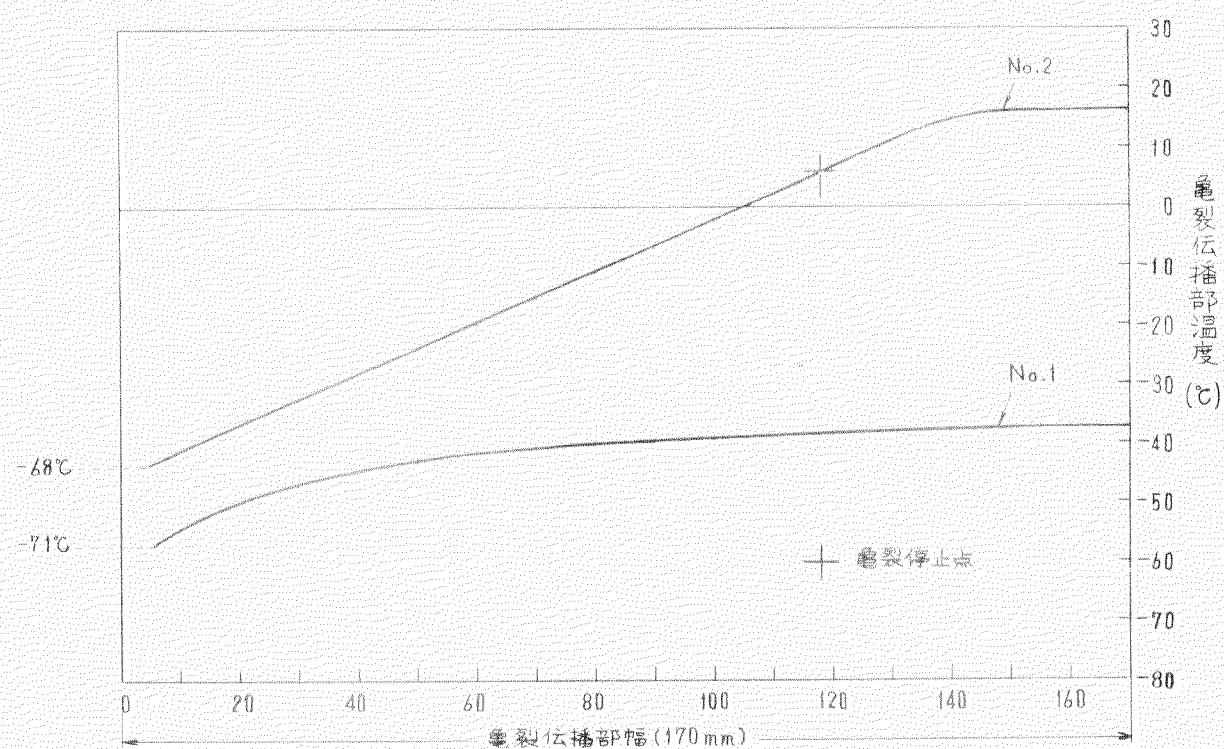


図 3.6 亀裂伝播部温度分布および亀裂停止点

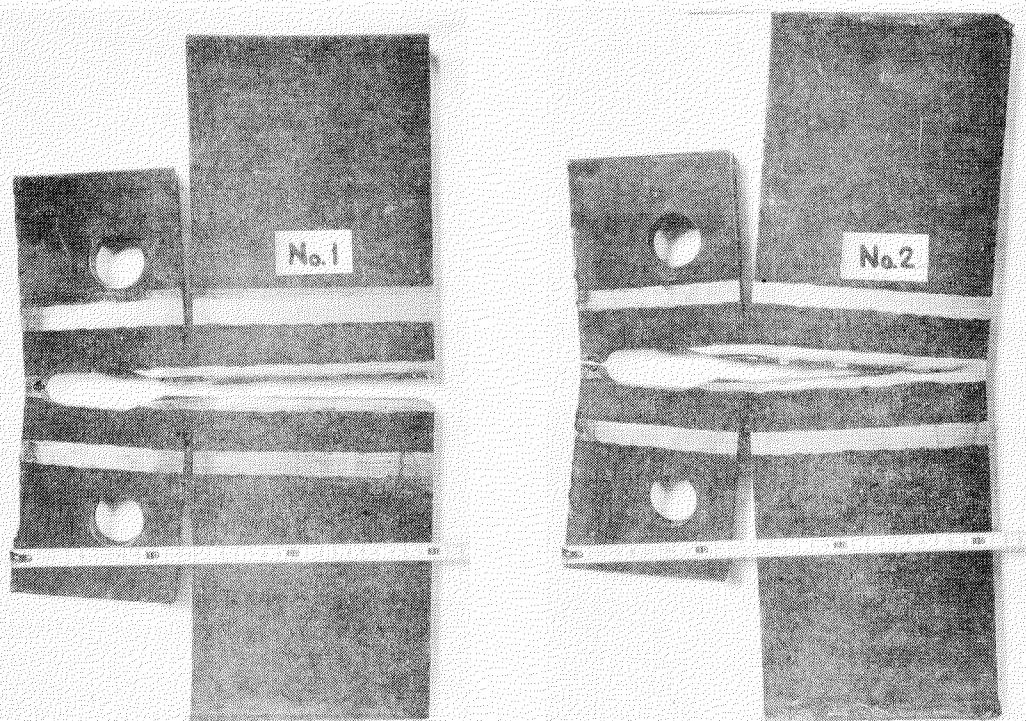


写真 3.7 二重引張試験片の脆性亀裂伝播状況

すなわち、表裏両面に3層・3条の溶接ビードを置いたことにより、中央ビードにおけるビード直角方向の溶接残留応力（引張応力）が増大し、試験中の主応力の方向が試験片軸方向（ビード切削跡直角方向）からあまり傾かなかつたためと考えられる。

(2) 溫度勾配型二重引張試験

結果（試験片符号No.2）によれば、亀裂を熱影響部内で停止させ得ることが確認された。

以上の予備試験結果から、本試験における二重引張試験片製作要領は前記2.3項に準ることとし、試験実施要領は標準温度勾配型二重引張試験とすることに決定した。

3.1.4 結論

以上の試験結果より次のような結論となる。

- 1) ディープノッチ試験片としてはS-F・S型、すなわち表面ノッチと標準ノッチ（サイドノッチ）を加工したものを利用する。さらに溶接余盛は試験片表面まで切削除去し、表面ノッチは深さ約3mmミーリングにより加工する。なお、表面ノッチ底は45°先端半径0.1mmとする。
- 2) 二重引張試験は前記2.3項で述べた製作要領により作製された試験片を用い、試験法は標準温度勾配型とする。

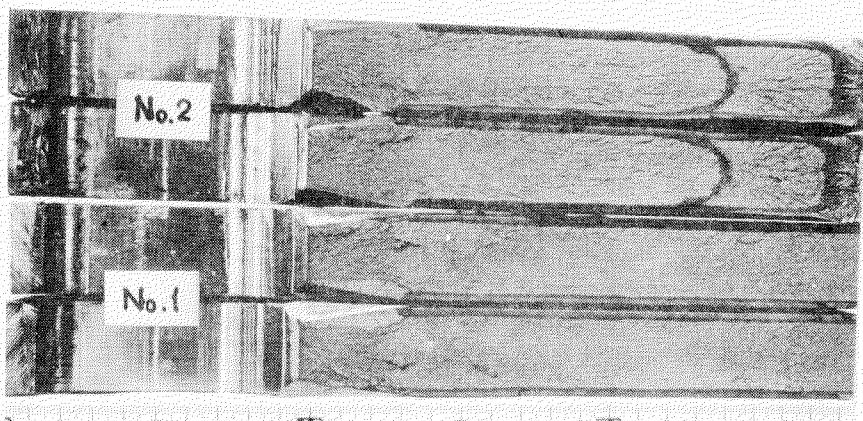


写真3.8 二重引張試験による破断面

3.2 冷間曲げ加工処理材（B処理材）の製作

研究実施計画にしたがい、昭和44年度にB処理材を製作した。

冷間曲げ加工量すなわち塑性変形量としては、各委員からアンケートをとり、その集約結果から0%、3%および5%とすることにした。

なお、冷間曲げ加工をロール曲げにするかプレス曲げにするかは種々議論の余地のあるところであるが、焼ならし処理する炉の大きさ（寸法）から、供試材の寸法が制約され、焼ならし処理後の第2回目冷間曲げ加工（予にする）は、供試材の寸法が小さ過ぎてロール曲げ不可能ということになり、プレス曲げによらざるを得ないことになつた。したがつて、B処理材はすべてプレス曲げにより製作した。

B処理材製作は次のような順序で行なつた。

1) 曲げ加工（第1回目冷間曲げ加工）

冷間曲げ加工は、図3.7に示すように主ラムに取りつけられた適当な曲率半径をもつた上テーブルと、下テーブル上に

名称	300トン片持式油圧プレス
主ラム荷重	300トン
ラム径	620 mm ^φ
ストローク	500 mm
上テーブル	600 mm × 800 mm
下テーブル	1200 mm × 1500 mm

所要圧力 105 kg/cm²

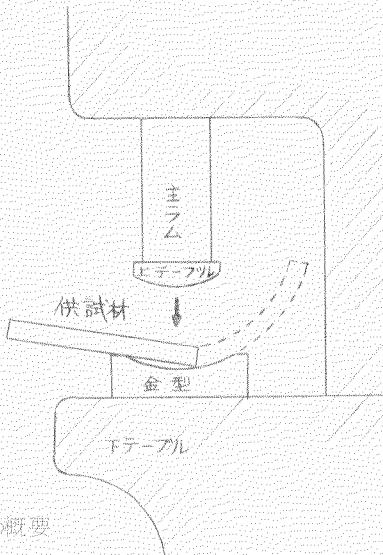


図3.7 曲げ加工（第1回目冷間曲げ加工）要領とプレス装置の概要

置かれた金型とよつて片側から餘々に行なつた。

仕上がりの検査は、それぞれの加工度(3%、5%)に応じた曲率半径をもつ型(板材)を、曲げ加工された供試材の上にて、目測にて行なつた。

2) 焼ならし処理

冷間曲げ加工によつて歪んだ組織を曲げ加工前と近い状態に戻すため焼ならし処理を行なつた。図3.8に熱処理条件を、図3.9に供試材の炉内配置状況と使用炉の概要を示す。

熱処理炉は炉床がレール付きの台車式になつたもので、930°Cで30分間保持した後、ただちに台車ごと炉外へ引きだし自然空冷を行なつた。曲げ加工された供試材を立てた状態で焼ならし処理したのは、高温時の変形を防止するためである。

なお、加工量3%および5%のディープノツチ試験用供試材、ならびに加工量3%の二重引張試験用供試材の代表例に関して実測した、焼ならし処理前後の形状・寸法を表3.4に示す。焼ならし処理によりごくわずか変形するが、実験上は無視出来る値であることが判明した。

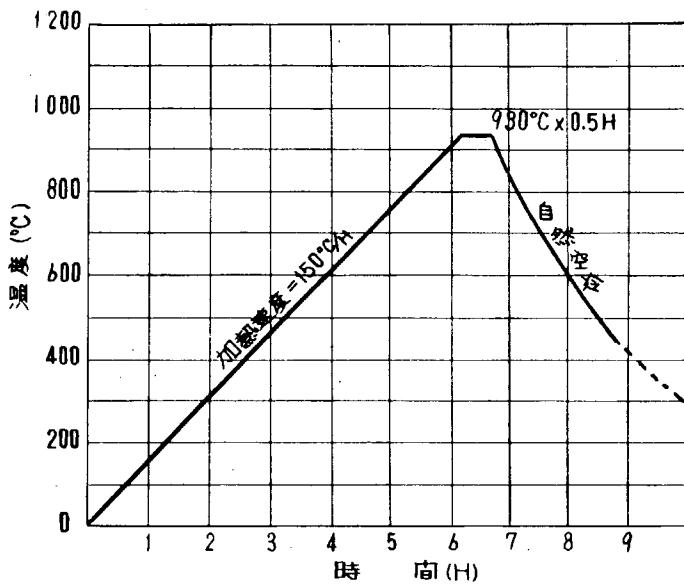


図3.8 焼ならし処理の加熱条件

名称-----台車型電気炉
製造元-----島津製作所
電源-----3相×200V×60Hz×120kW
最高使用温度---1000°C
常用温度----900°C
炉内容積-----縦 1960^{mm} 横 850^{mm} 高さ 520^{mm}

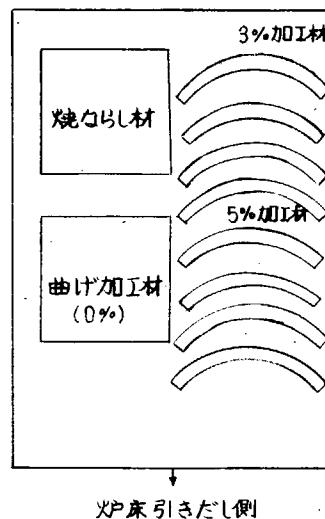


図3.9 供試材の炉内配置状況と使用炉の概要

3) 平面加工(第2回目冷間曲げ加工)

冷間曲げ加工して焼ならし処理をした供試材を、再度冷間曲げ加工することによつて平板状にし、第1回目曲げ加工と同量の加工歪みを与えるようとするもので、その加工要領および装置の概要を図3.10に示す。

平面加工は、まず第1回目冷間曲げ加工の時と同様の治具を使用して供試材の曲率半径を大きくし、次に供試材を反転して(図3.7)同様の操作を行ない最後に平面テーブルを使用して完全なものとした。

表3.4 B処理材焼ならし処理前後の形状変化状況代表例

1) 符号		焼ならし処理前 (mm)						焼ならし処理後 (mm)						曲率半径 変化量 3) \bar{R}'/\bar{R}	加工量 変化量 3) $\delta'/\bar{\delta}$	備考
		c	b	h	r	R	2) δ	c'	b'	h'	r'	R'	2) δ'			
D N 5 (加工量 5%)	1-2	18.85	49.73	6.92	29.13	30.63	1.89.5	49.7.17	6.85	29.2.1	30.7.1					
	5-6	18.00	49.73	6.90	29.06	30.56	4.94	18.83	49.7.17	6.82	29.4.1	30.9.1	4.91	1.006	0.994	
	3-4	18.75	49.73	7.05	28.46	29.96		18.75	49.7.17	7.00	28.6.1	30.1.1				
D N 6 (加工量 3%)	1-2	20.25	49.90	4.40	48.80	50.30		20.25	49.9.17	4.40	48.8.0	50.3.0				
	5-6	20.25	49.90	4.40	48.80	50.30	2.99	20.25	49.9.17	4.38	49.0.0	50.5.0	2.98	1.003	0.997	
	3-4	20.18	49.90	4.42	48.28	49.78		20.20	49.9.17	4.40	48.5.7	50.0.7				
D T 5 (加工量 3%)	1-2	32.35	49.65	12.20	48.99	50.49		32.43	49.5.5	12.18	49.2.5	50.7.6				
	5-6	32.38	49.65	12.35	48.62	50.1.2	2.99	32.40	49.5.5	12.20	49.1.2	50.6.2	2.96	1.007	0.990	
	3-4	32.43	49.65	12.40	48.61	50.1.1		32.43	49.5.5	12.30	48.9.0	50.4.0				

1) DN5: デイープノッチ試験片、加工量 5%
 DN6: デイープノッチ試験片、加工量 3%
 DT5: 二重引張試験片、加工量 3%

2) 加工量
 焼ならし処理前 $\delta = \frac{t}{2R} \times 100$
 焼ならし処理後 $\delta' = \frac{t'}{2R} \times 100$

3) \bar{R} 、 \bar{R}' は R、R'の平均
 $\bar{\delta}$ 、 $\bar{\delta}'$ は δ 、 δ' の平均



名称 500トン移動式油圧プレス
 主ラム荷重 500トン
 主ラム径 680mm²
 ストローク 500mm
 上テーブル 900mm²
 下テーブル 1200mm × 6000mm
 ラム移動距離 最高4000mm
 ラム移動速度 4000mm/min

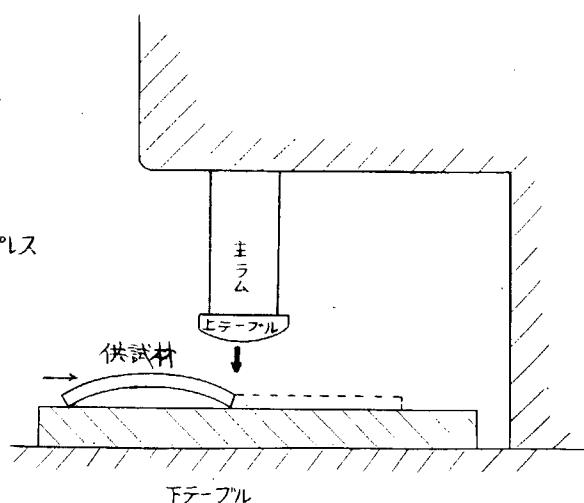


図 3.1.0 平面加工(第2回目冷間曲げ加工)要領とプレス装置の概要

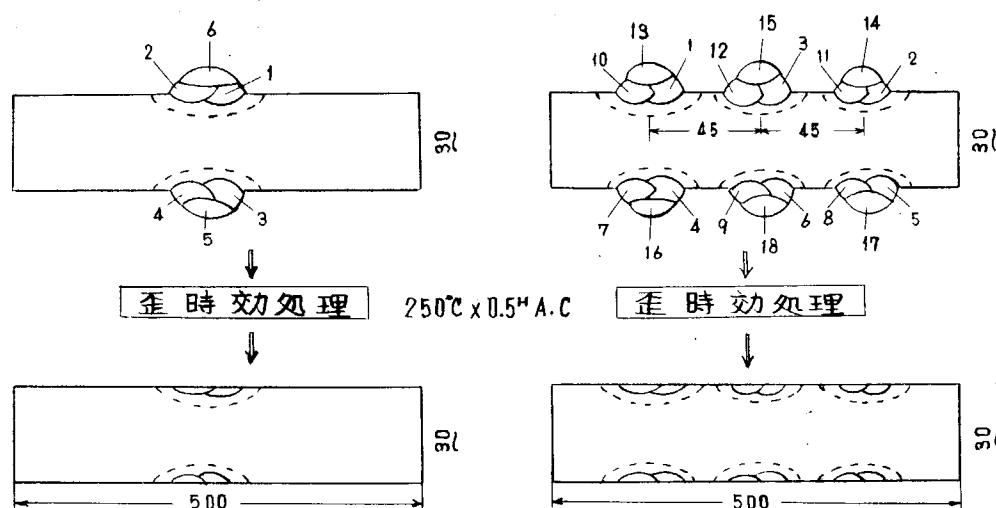
4) 溶接ビード置きと余盛除去

加工歪みを与えた供試材に右記に示すような溶接条件で溶接ビードを置いた。ビード置きの順序は、図 3.1.1 に示す。その後、歪時効処理として、各供試材について 250 °C で 30 分間保持した後空冷し、次いで溶接ビードの余盛を除去し、B 处理材の製作を完了した。

以上述べた B 处理材製作状況を写真 3.9 ~ 写真 3.2.4 に示す。

溶接条件

棒種	棒径 (mm)	溶接電流 (A)	溶接速度 (mm/min)	層間温度 (°C)
JIS D 4316	5.0	200 ~ 210	150 ~ 160	< 100



(a) ディープノッチ試験片

(b) 二重引張試験片

図 3.1.1 B 处理材の溶接順序

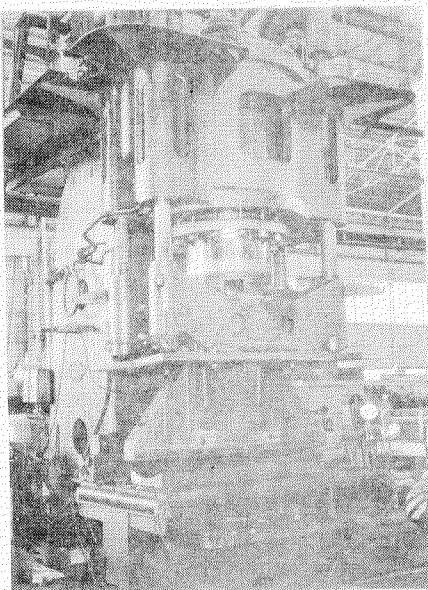


写真 3.9 300トン油圧プレスの全景



写真 3.12 曲げ加工後の外観(二重引張試験用、
加工度3%)

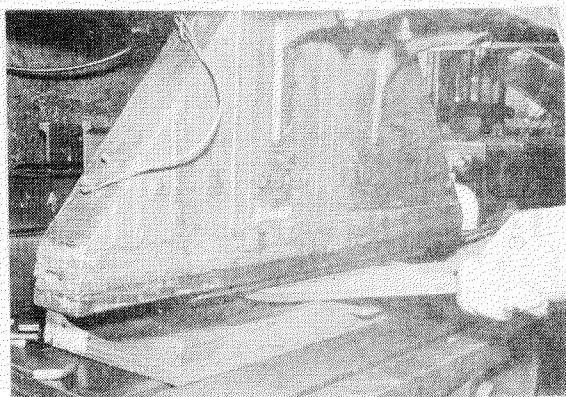


写真 3.10 曲げ加工状況

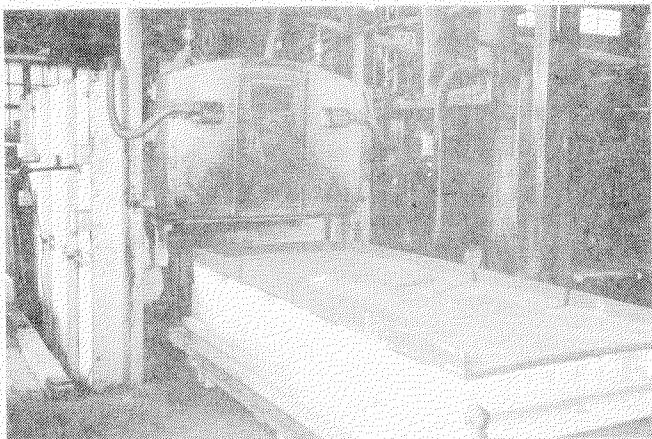


写真 3.13 热処理炉全景

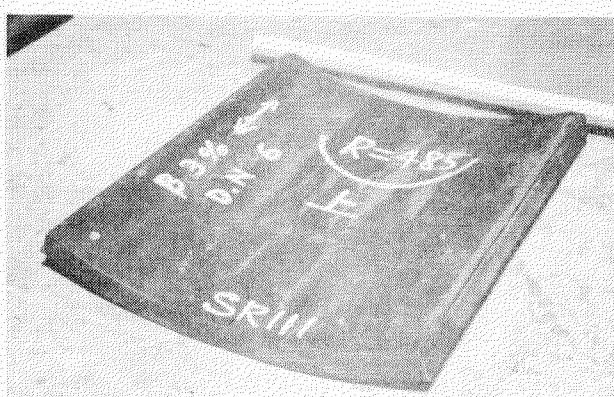


写真 3.11 曲げ加工後の外観(ディープドロー試験用、
加工度3%)

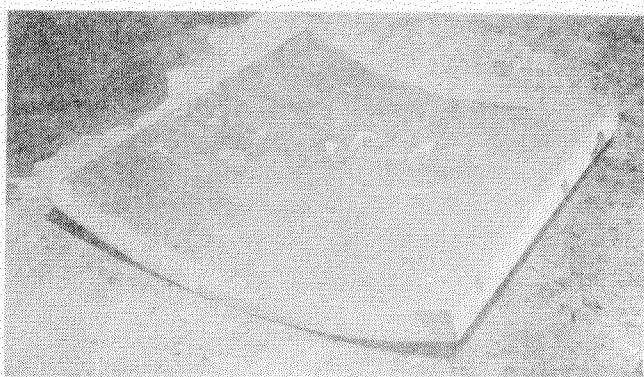


写真 3.14 焼なまし処理後の外観
(ディープドロー試験用)

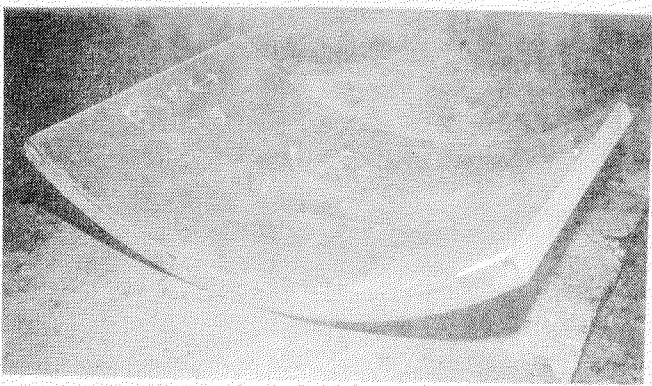


写真3.1.5 烷ならじ処理後の外観
(二重引張試験用)



写真3.1.8 平面加工後の外観(ティープラッチ試験用、
加工度3%)

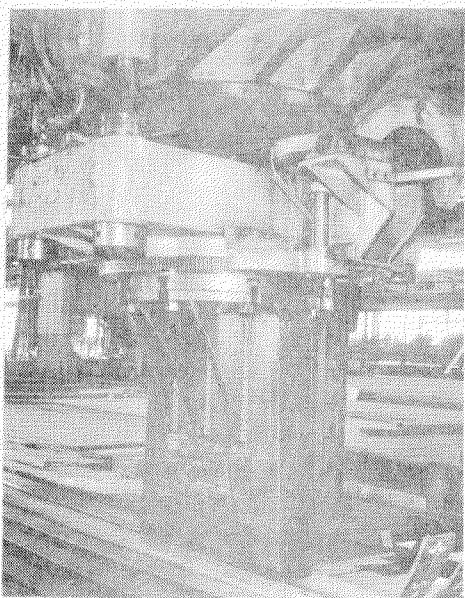


写真3.1.6 500トン油圧プレスの全景



写真3.1.9 平面加工後の外観(二重引張試験用、
加工度3%)

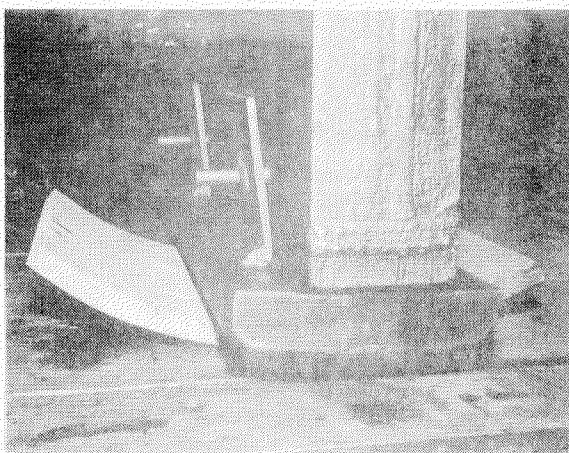


写真3.1.7 平面加工状況



写真3.2.0 粘接状況

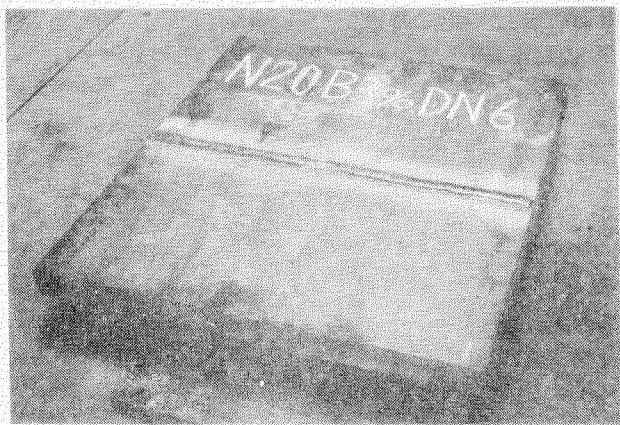


写真 3.2.1 溶接後の外観（テープノッチ試験用）

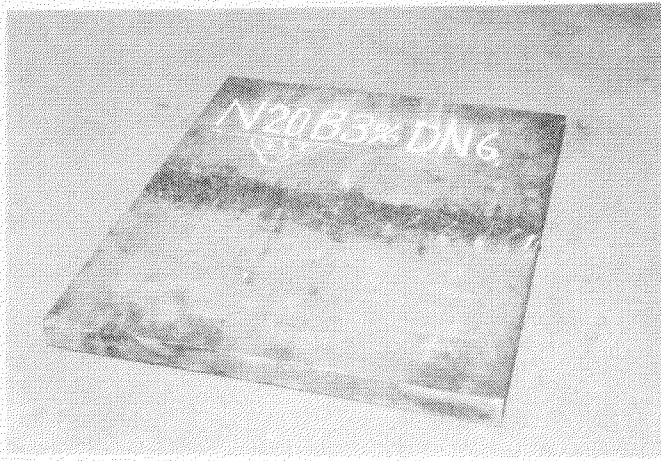


写真 3.2.3 テープノッチ試験用 B処理材



写真 3.2.2 溶接後の外観（二重引張試験用）

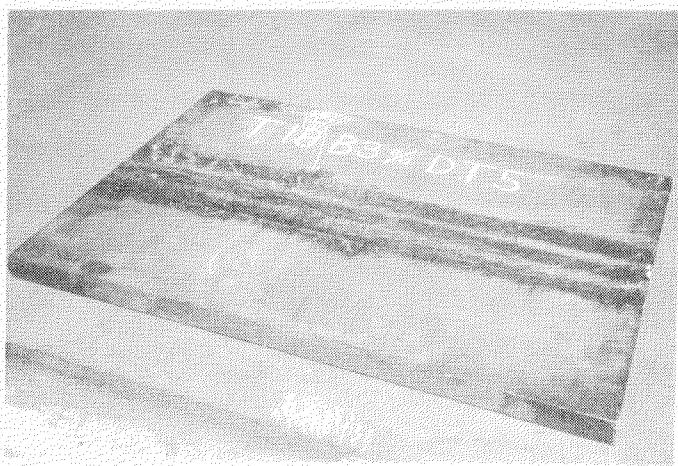


写真 3.2.4 二重引張試験用 B処理材

* いずれも溶接ビードの余盛を機械加工により除去

4. 船体用 50 キロ級高張力鋼の韌性におよぼす 線状ガス加熱加工条件の影響に関する研究

4.1 予備試験目的

この試験は船体用 50 キロ級高張力鋼の韌性におよぼす線状ガス加熱加工条件の影響に関する研究実施に際して、その供試材に施す線状ガス加熱の条件、すなわち、最高加熱温度と冷却速度を選定するための基礎資料を得ることを目的とするものである。

4.2 予備試験結果

4.2.1 線状ガス加熱条件

国内の各造船所において、鋼板の曲げ加工、特に 3 次元的曲面の成形を läblich に取りに線状ガス加熱が用いられて いるが、その条件はそれぞれの造船所でまちまちである。したがつて、各造船所において実際に使用されているガス加熱条件、すなわちガスの種類、ガスの圧力、酸素圧力および火口径などについてアンケートをとりその集約結果にもとづいて、表 4.1 に示す条件を標準条件として選定した。なお、加熱面からの火口高さは加熱焰の温度が最大となる白色錐の先端が、供試鋼板の加熱面上に接する様に調整した。白色錐の長さは、酸素およびガスの流量ならびにこれらの混合比によつて変化するので、加熱面からの火口高さはそれぞれ 14.5 mm (酸素圧力 4 kg/cm²)、20 mm (酸素圧 6 kg/cm²)とした。

火口と水口の間隔は同時水冷の効果をねらうためには、できるだけ接近させた方がよいわけであるが、接近させすぎると加熱焰の流圧によつて水が飛散し、加熱焰にかかる等の現象が生じて、加熱焰を定常状態に維持することが困難であつた。したがつて、加熱焰が定常状態になる範囲内で火口と水口の間隔が最小になる状態 (50 mm) を同時水冷とした。また、加熱は 1 条ストレートで行ない、加熱トーチのウイビングは行なわなかつた。供試材には HT 50 の A 級鋼、D 級鋼および E 級鋼 (いずれも板厚 30 mm) を用いたが、D 級鋼だけは板厚 12.7 mm についても供試した。

4.2.2 最高加熱温度の測定

線状ガス加熱における最高加熱温度を設定する場合には、最高加熱温度と線状ガス加熱条件との関係を求めておく必要がある。

したがつて、表 4.1 の線状ガス加熱条件にもとづいて、その加熱速度と最高加熱温度との関係を求めた。図 4.1 は水冷の場合における状況を示した一例である。

1) 計測方法

図 4.2 に示すように 500 mm × 500 mm の大きさの供試材の中央部に 20 mm 間隔で加熱表面直下 1 mm の深さまで裏面から 1.5 mm の穴を 3 個あけ、同時に 3 点、同一条件で 2 回温度を計測した。

加熱面は表面のスケールの影響を除去するためにエアーグラインダで研磨し一定条件とした。温度計測は 0.3 mm φ × 1,000 mm の C-A 热電対を加熱表面直下 1 mm の位置の穴底にパーカッショソ溶接機で溶着し電磁オシログラフを用いて行なつた。なお、参考のために加熱表面温度を輻射温度計 (キニス B 型) および温度チヨークにて計測した。

表 4.1 線状ガス加熱条件

項目	条件
火口 (口径)	帝酸バリアル G 2 (2.8 mm φ)
酸素圧力	4 kg/cm ² 、6 kg/cm ²
酸素流量	4,000 l/h、4,800 l/h
アセチレン圧力	0.5 kg/cm ² 、
アセチレン流量	2,750 l/h、3,300 l/h
火口高さ	14.5 mm、20.0 mm
火口と水口の間隔	50 mm (同時水冷の場合)
水量	約 2.3 l/mm

2) 計測結果

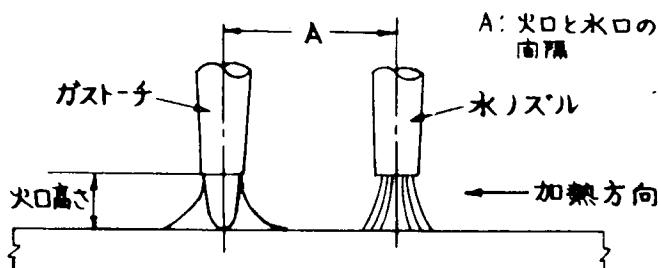
計測結果を図4.3～図4.6に示す。図4.3は酸素圧力 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ の場合で、鋼板の板厚差および冷却方法のちがいによつて、最高加熱温度と加熱速度との関係がどのようになるかを図示したものであり、図4.4は酸素圧 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ の場合の同様な比較である。図中の各プロットは3～6回の実測値の平均値を示したものである。いずれの場合も、板厚の差及び冷却方法の相違によつて、同一加熱速度における最高加熱温度に 50°C ～ 100°C の温度差が認められるが、冷却方法の相違による温度差の方が大きいようである。

これは、水冷の場合には加熱焰の前面にも冷却水がまわり込むので(図4.1参照)、その冷却効果によつて、空冷の場合に生じる予熱効果が減殺されるためであろう。

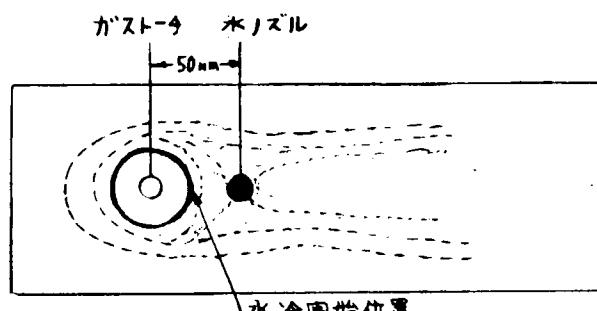
最高加熱温度は板厚 3.0mm の方が $1.2.7\text{mm}$ にくらべてわずかに高くなつてゐる。このことはあたかも“薄板は加熱されやすい”という一般的的事実に相反するようである。しかしながら温度は板の表面下 1mm のところで計測しており、図4.5に示すように加熱・冷却温度の変化をみると、加熱焰が通過した直後に最高温度に到達しているので、いわば瞬間的な現象であるため板厚の影響は余り受けないものと思われる。したがつて、板厚による最高加熱温度の差は、加熱速度のバラツキ、熱電対による温度計測上の誤差などによる実験誤差と考えた方が妥当である。

図4.6は、各種計測方法による温度計測結果の比較である。

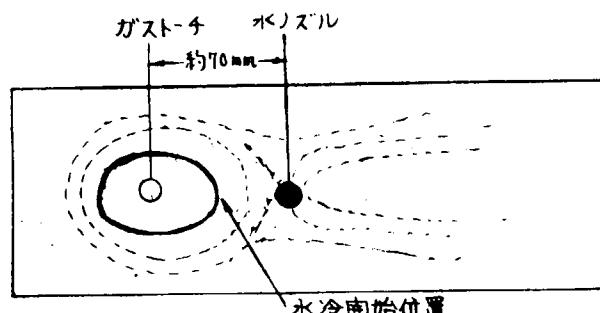
図4.6によれば、輻射温度計で計測した加熱表面の温度と、CA熱電対で計測した加熱表面直下 1mm の深さの温度との間には、ほとんど差が認められないが、後述するCA熱電対により計測した板厚方向の温度分布から加熱表面の温度を推定すれば、加熱表面直下 1mm の深さの温度より約 50°C 程度高くなつてゐることが予想される。したがつて、計測技術の面からは検討の余地が残されるであろうけれども、この程度の温度差は線状ガス加熱による角変形および材質的影響について論ずる場合余り問題にならないと判断される。



(a) ガストーチと水ノズルの配置状況



(b) 同時水冷のときの水のかかる状況



(c) 650°C から水冷したときの水のかかる状況

図4.1 水冷に於ける線状ガス加熱状況
(最高加熱温度 900°C の場合)

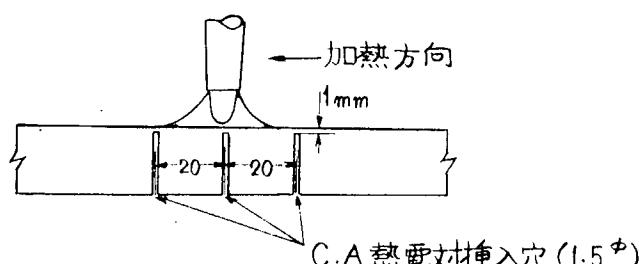


図4.2 最高加熱温度の測定要領

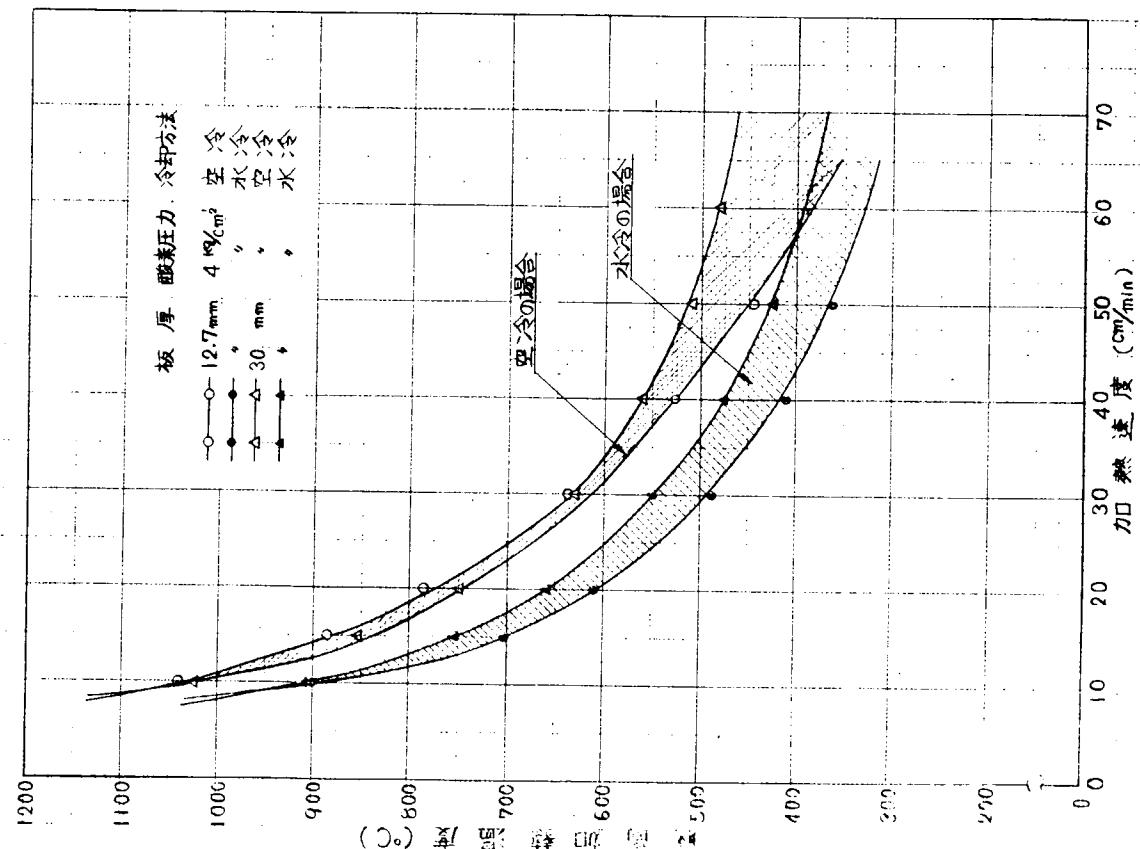
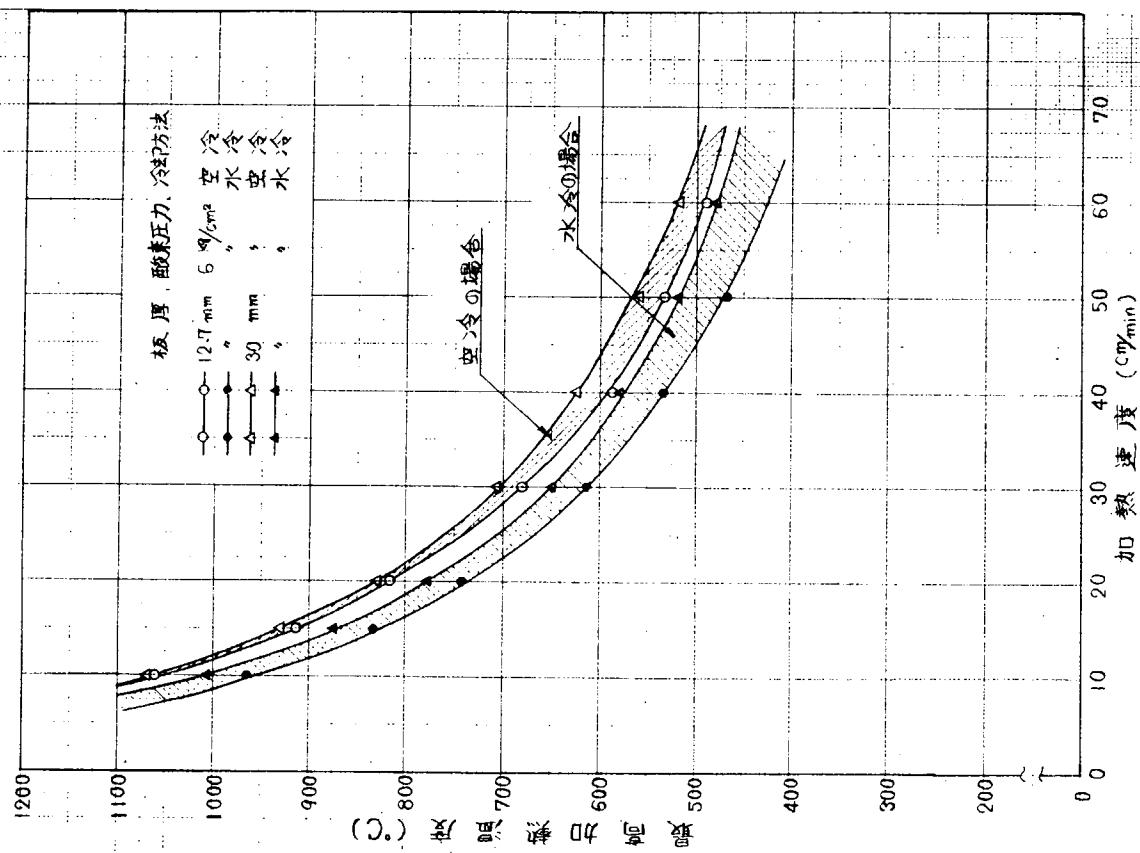


図4.3 線状ガス加熱における加熱速度と最高加熱温度の関係(その1)

図4.4 線状ガス加熱における加熱速度と最高加熱温度の関係(その2)

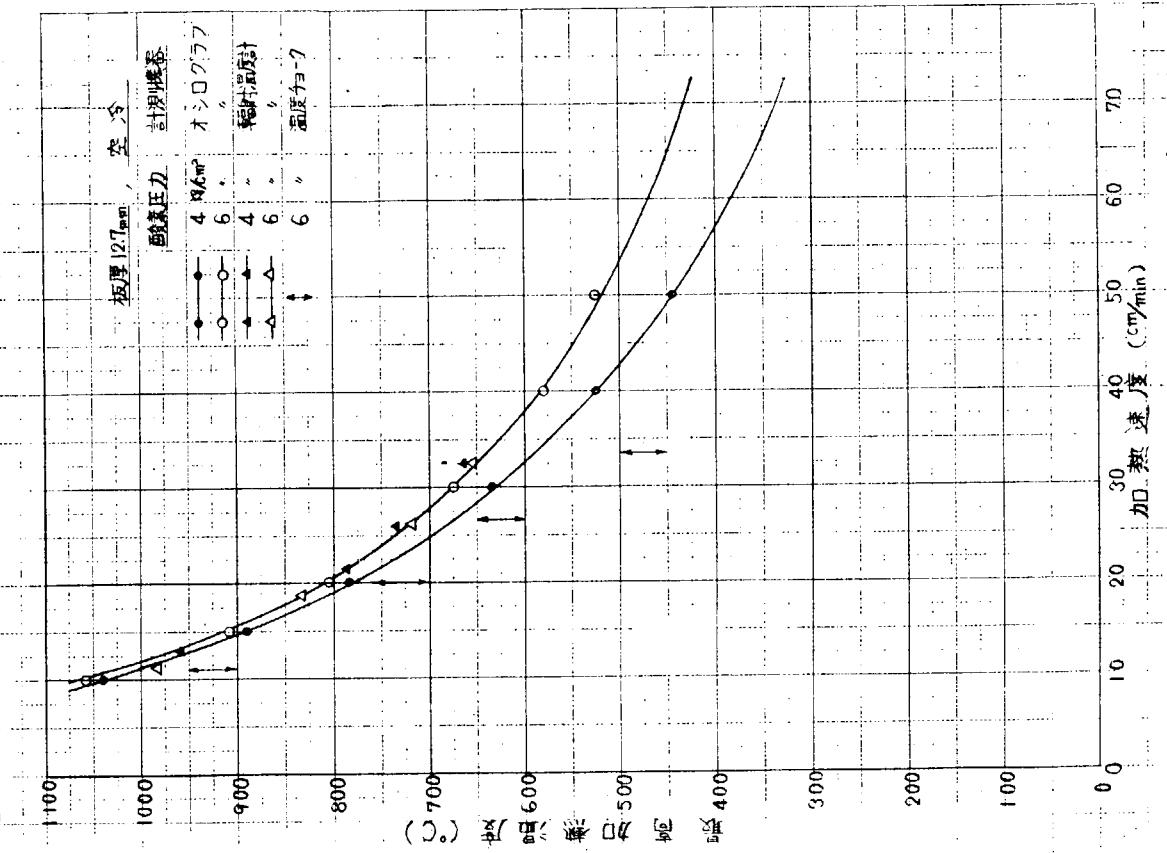


図 4.6 各種計測機器による温度計測結果の比較

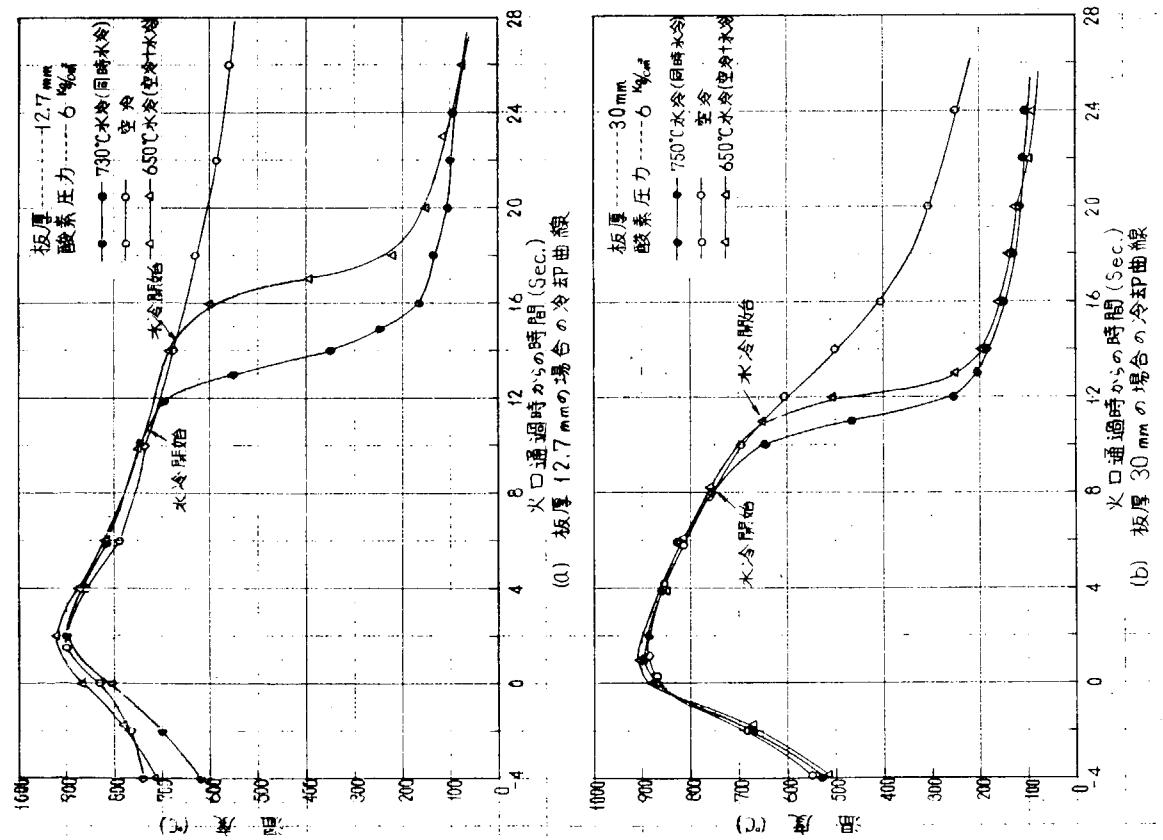


図 4.5 線状ガス加熱における冷却曲線の一例(最高加熱温度 900°C)

実際に生産現場で使用されている温度チョークによる温度表示は、CA熱電対および輻射温度計による計測値に比べ非常に低い値となつてゐる。これは温度チョークによる計測時の時間的な遅れ、および温度チョーク特有の物理的性質に起因するものと考えられる。

すなわち、温度チョークで計測する場合、加熱焰が通加してから計測時までに約1秒程度の遅れがあり、しかも温度チョークが溶融しはじめるまでは、ある程度の時間が必要であることなどから温度チョークで表示される温度は最高加熱温度ではなく、その温度からかなり冷却された時点の温度を示すものと思われる。したがつて、加熱トーチのライピングによつて均熱幅を大きくした場合、および供試材の板厚が薄い場合などのように（板厚が厚い場合と同じ入熱量として考えれば）冷却速度が極めて小さい場合には、温度チョークによる計測もかなり正確な最高加熱温度を示すものと思われる。同時水冷を目的とした場合の水冷開始温度を計測すると、図4.5に示したように水冷開始温度は最高加熱温度より約15.0℃～17.0℃低く、したがつて今回実施した方法では必ずしも同時水冷とはいえない。しかし前述したように、火口と水口の間隔を5.0mmより小さくすることは実験技術上不可能であり、この条件を同時水冷とみなして今回の実験は行なつた。

4.2.3 温度分布の測定

線状ガス加熱が供試材の材質および角変形におよぼす影響を考察する場合には、供試材の温度分布を計測しておくことが極めて重要である。したがつて、線状ガス加熱条件を種々選定して板厚方向の分布および加熱線と直角方向の温度分布を計測し、これらと線状ガス加熱条件との関係を求めた。

1) 計測方法

計測に使用した供試材の大きさは長さ1,000mm、幅50mmで、板厚は12.7mmおよび30mmである。

計測装置としては、主にCA熱電対と電磁オシログラフの組み合せを用いたが、補助計器としてペン書き記録温度計を用いて加熱表面直下の最高加熱温度を計測した。写真4.1は温度分布計測状況を示す。

計測は同一条件につき1回行ない不連続な計測点については再計測を行なつた。加熱線と直角方向の温度分布計測は図4.7-aに示すように鋼板表面下1mmの位置を加熱中心から5mm間隔にて25mmまで行ない、板厚方向の温度分布計測は図4.7-b、cの要領で行なつた。また、熱電対の計測点への溶着は、最高加熱温度の計測の場合と同様にパーカッショナ溶接により行なつた。

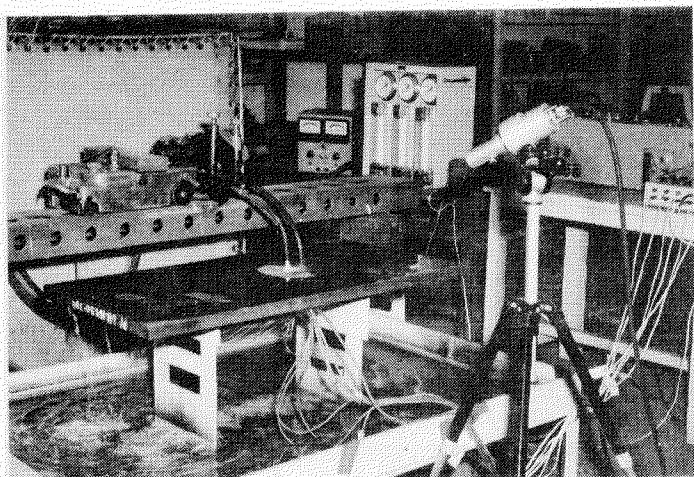


写真4.1 温度分布計測状況

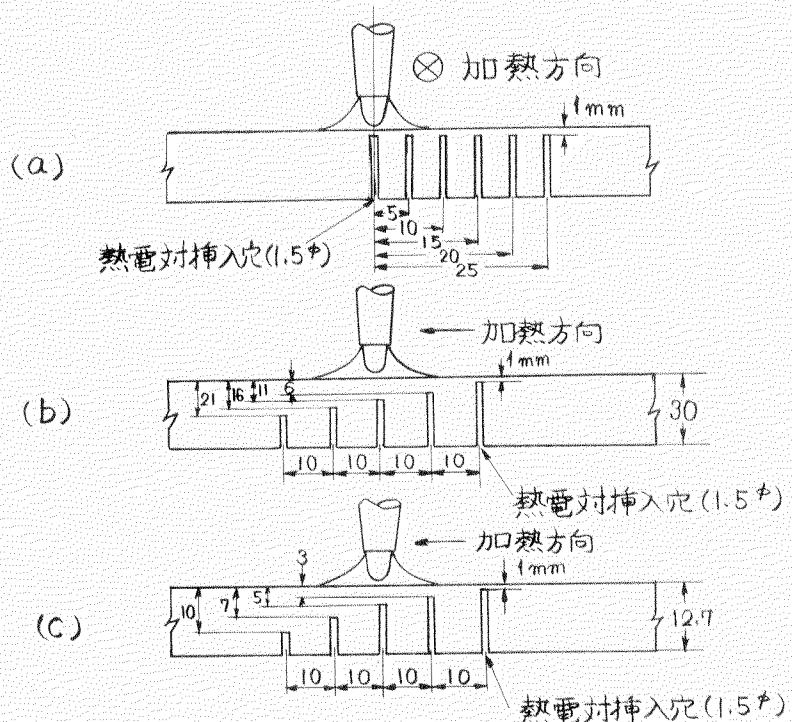


図4.7 温度分布の測定要領

2) 計測結果

各種線状ガス加熱条件における供試材の温度分布計測結果を図4.8～図4.12に示す。いずれの方向の温度分布も冷却開始からの時間の経過について変化し、最終的には等温分布になるわけである。

線状ガス加熱における角変形量の定量的な考察には、これら温度分布の時間に対する変化状況を計測する必要があるが、材質的考察には各計測点の最高到達温度が問題である、したがつて、図4.8～図4.11は各計測点の最高到達温度分布を示したものであり、それらの測定時期すなわち時間軸は同一ではない。

図4.12は板厚12.7mmの供試材に対して線状ガス加熱における加熱焰が各計測点直上を通過してからの経過時間に対する板厚方向の温度分布を、水冷と空冷の場合について計測した結果である。

空冷の場合には時間の経過について供試材の加熱表面の温度は次第に降下し、供試材裏面（この場合は表面下10mm）の温度は逆に上昇し、約25秒でほとんど等温分布となつている。

空冷の場合には、供試材の加熱表面および裏面とも冷却条件は一様なので、加熱後25秒経過した後の温度分布は等温分布のままで一様に冷却され常温に至るものと予想される。しかし、水冷の場合には加熱表面は時間の経過について急冷され、その温度は急激に降下する。裏面の温度はある時間までは時間の経過について上昇するが、その値は小さく、その後は水冷の影響をうけて降下する。さらに冷却が進むと加熱表面が裏面に比べ水冷の影響を大きく受けたため、一時的に加熱表面より裏面の方が高温になる場合がある。

以上の計測結果は加熱および冷却時における単純な熱伝導理論によつて充分推察されることである。

4.2.4 角変形量の測定

生産現場での板曲げ加工および巻取りにおいては、被加工材の線状ガス加熱による材質的劣化が生じない範囲で効率の良い曲げ加工法を選定することが大切である。

一般的には“高温に加熱するとよく曲がる”“水冷すると作業能率が上る”などといわれているが、加熱温度を高くしたり水冷することは材質的な面で制約を受ける。したがつて、効率のよい曲げ加工条件を選定するために角変形量（曲げ加工量）における線状ガス加熱条件、例えば加熱温度、板厚、冷却方法（冷却速度）などの影響について調査した。

1) 実験方法

供試材としては、板厚12.7mmおよび30mmのHT50（D級鋼）を用い、次のような線状ガス加熱条件について、それぞれの最終角変形量を計測した。

酸素圧力 4kg/cm²、6kg/cm²

最高加熱温度 600°C、700°C、800°C、900°C、1000°C

冷却方法 空冷、水冷

計測要領は図4.13に示すように長さ1000mm、幅500mmの供試材の一方を拘束（三点支持）し、幅500mmの中心を長さ1000mmに亘つて線状ガス加熱し、もう一方の端（加熱中心線から200mm）の裏側にダイアルゲージ（1/100目盛）3個を取りつけ、供試材の温度が100°C以下になつた時にダイアルゲージの目盛を読み、この値を最終角変形量とした。計測回数は1条件につき1回を原則としたが、確認の意味で1条件につき2回計測した場合もある。写真4.2に角変形量の計測状況を示す。

なお、参考まで実施したある線状ガス加熱条件（2条件）による角変形量の時間的推移についての計測は、ダイアルゲージを10秒単位で読み取つて行なつた。

2) 実験結果

最終角変形は加熱面に凹をプラス、加熱面に凸をマイナスとする。図4.14および図4.15は、それぞれ酸素圧6kg/cm²および4kg/cm²の場合の最高加熱温度と最終角変形量との関係を、板厚と冷却方法について求めた結果である。いずれも同じような角変形の傾向を示しているが、角変形量としては酸素圧6kg/cm²の方がわずかに大きいようであ

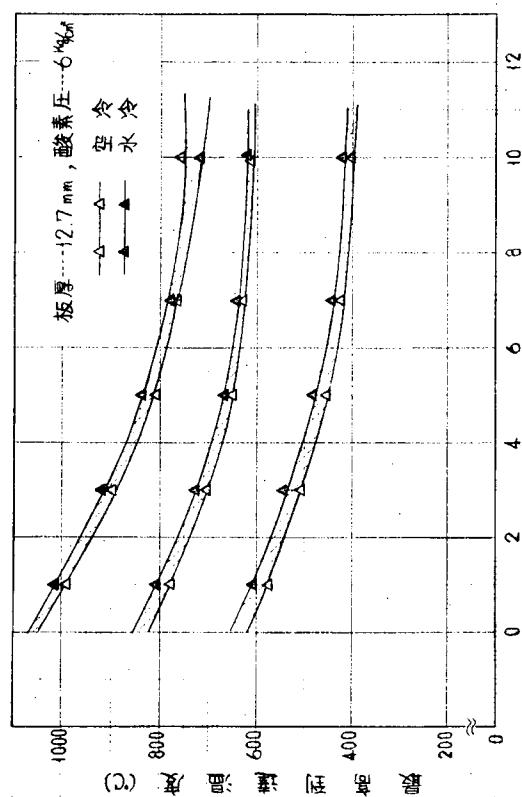
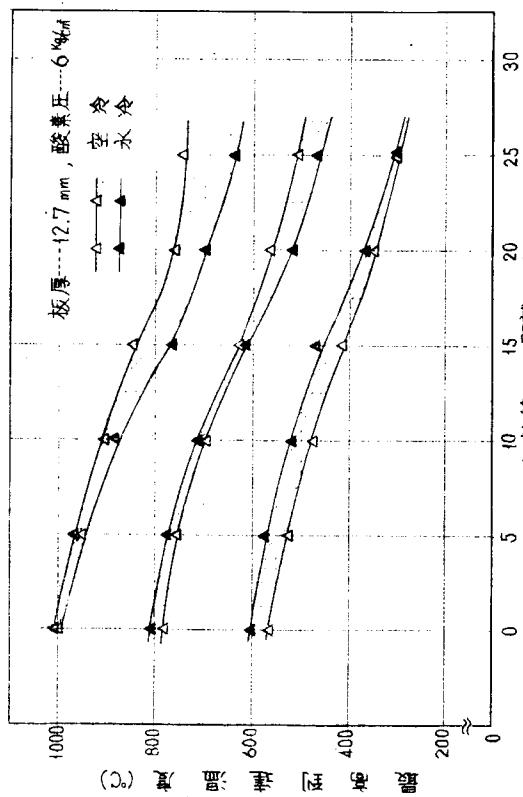


図4.8 線状ガス加熱における最高到達温度分布(その1)

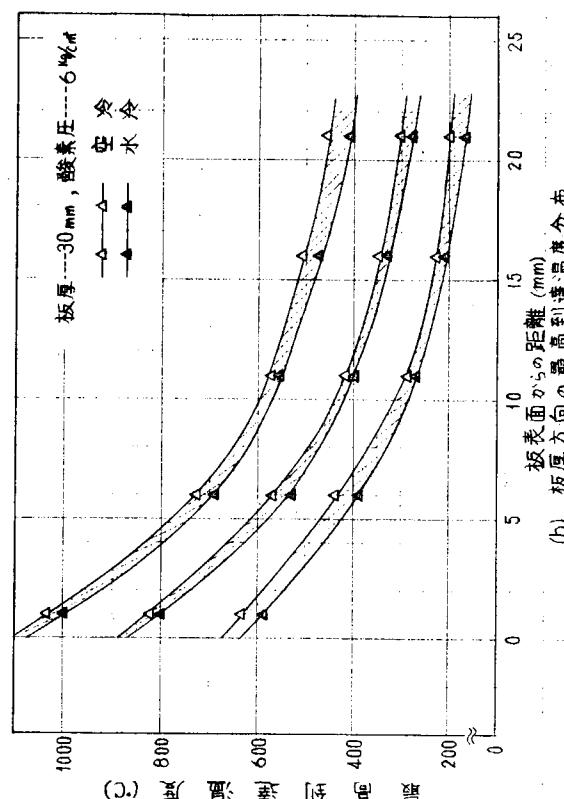
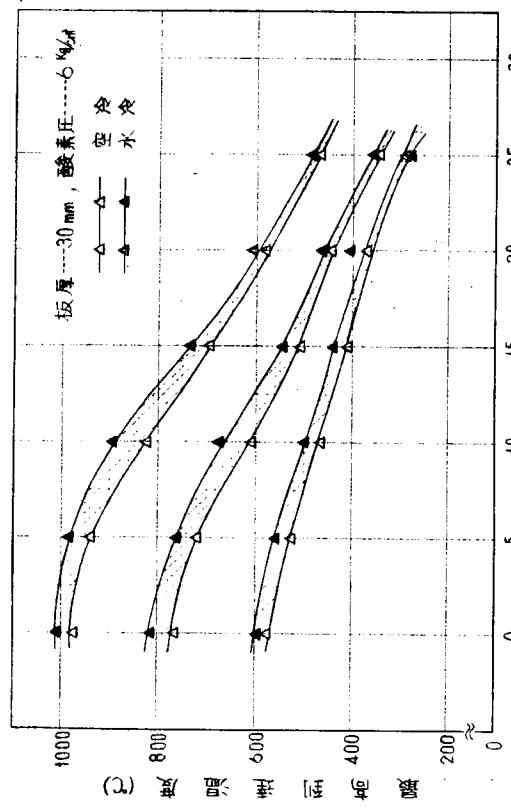


図4.9 線状ガス加熱における最高到達温度分布(その2)

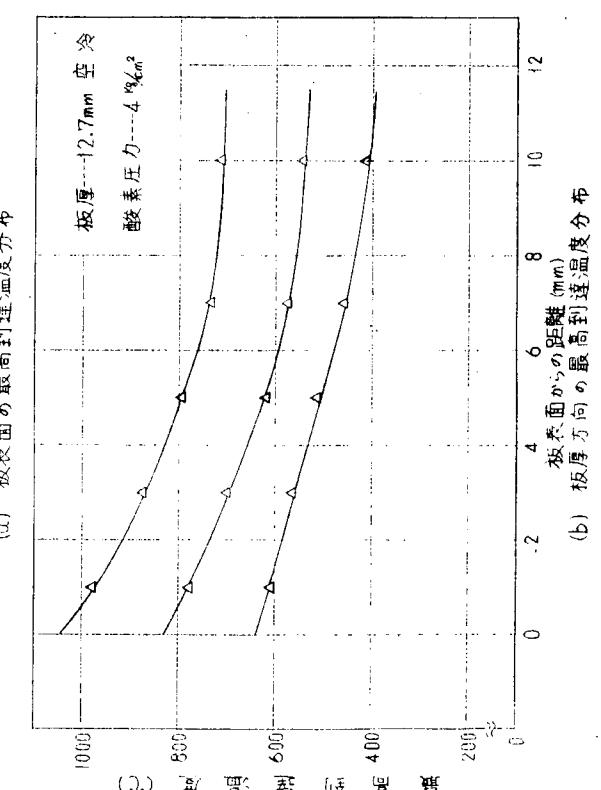
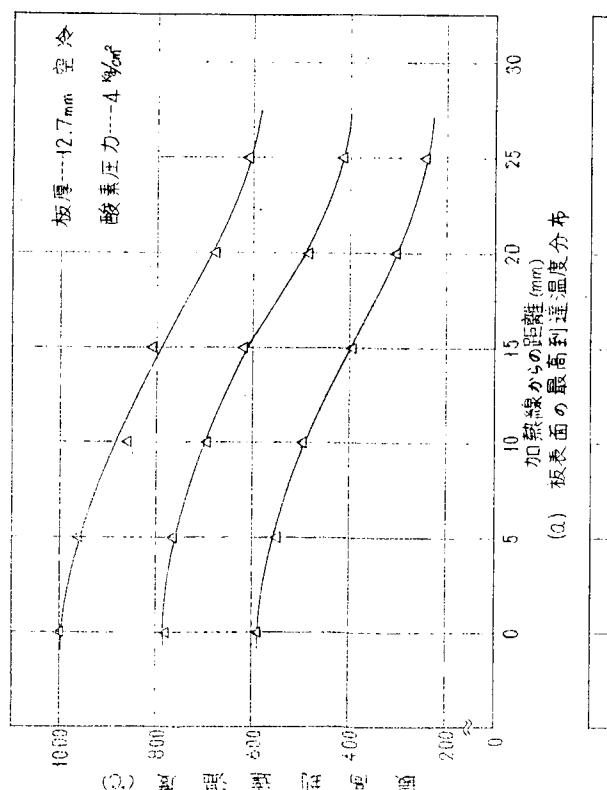


図 4.10 線状ガス加熱における最高到達温度分布（その3）

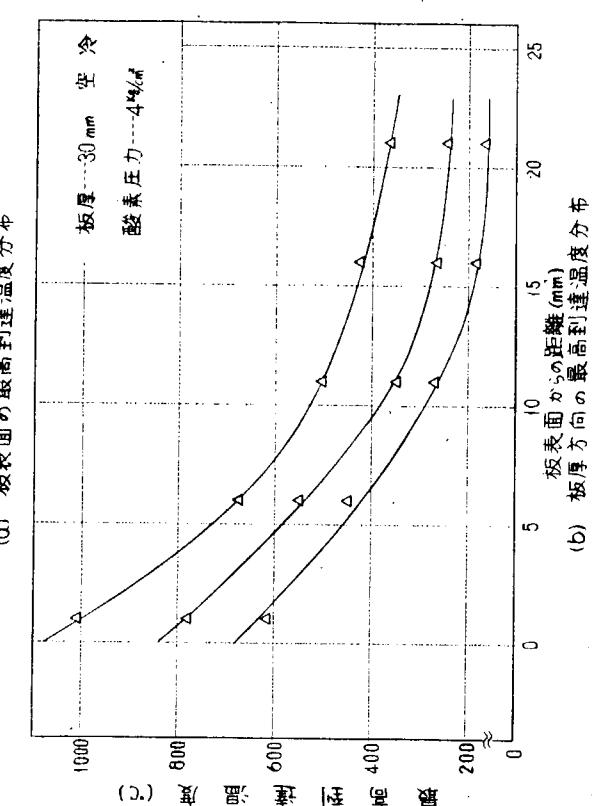
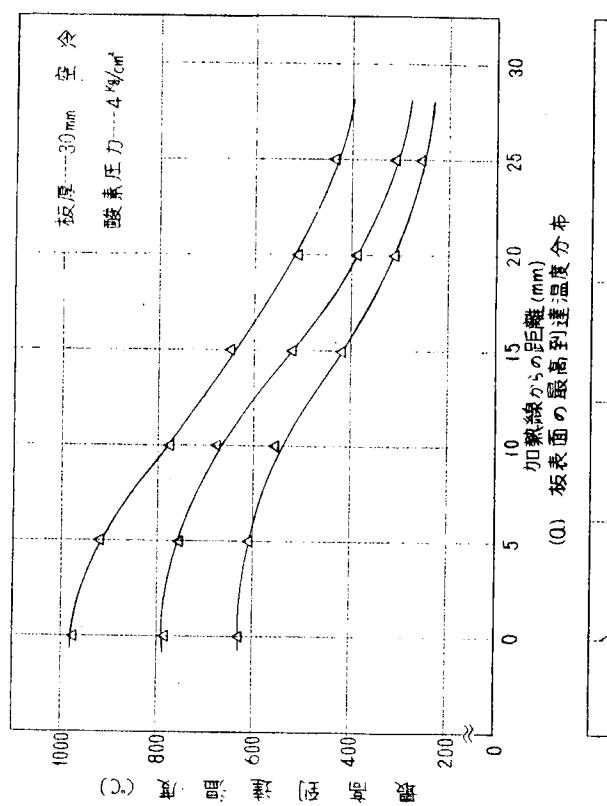


図 4.11 線状ガス加熱における最高到達温度分布（その4）

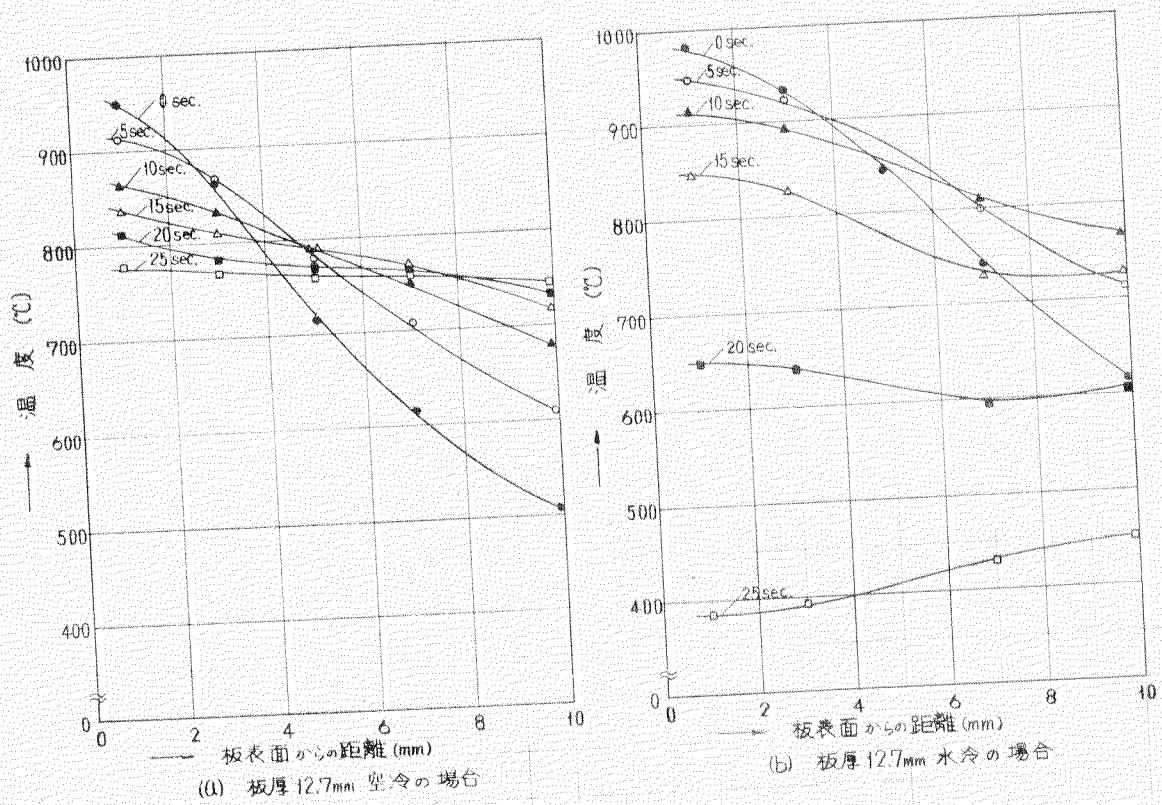


図 4.1.2 線状ガス加熱における経過時間と板厚方向の温度分布の関係

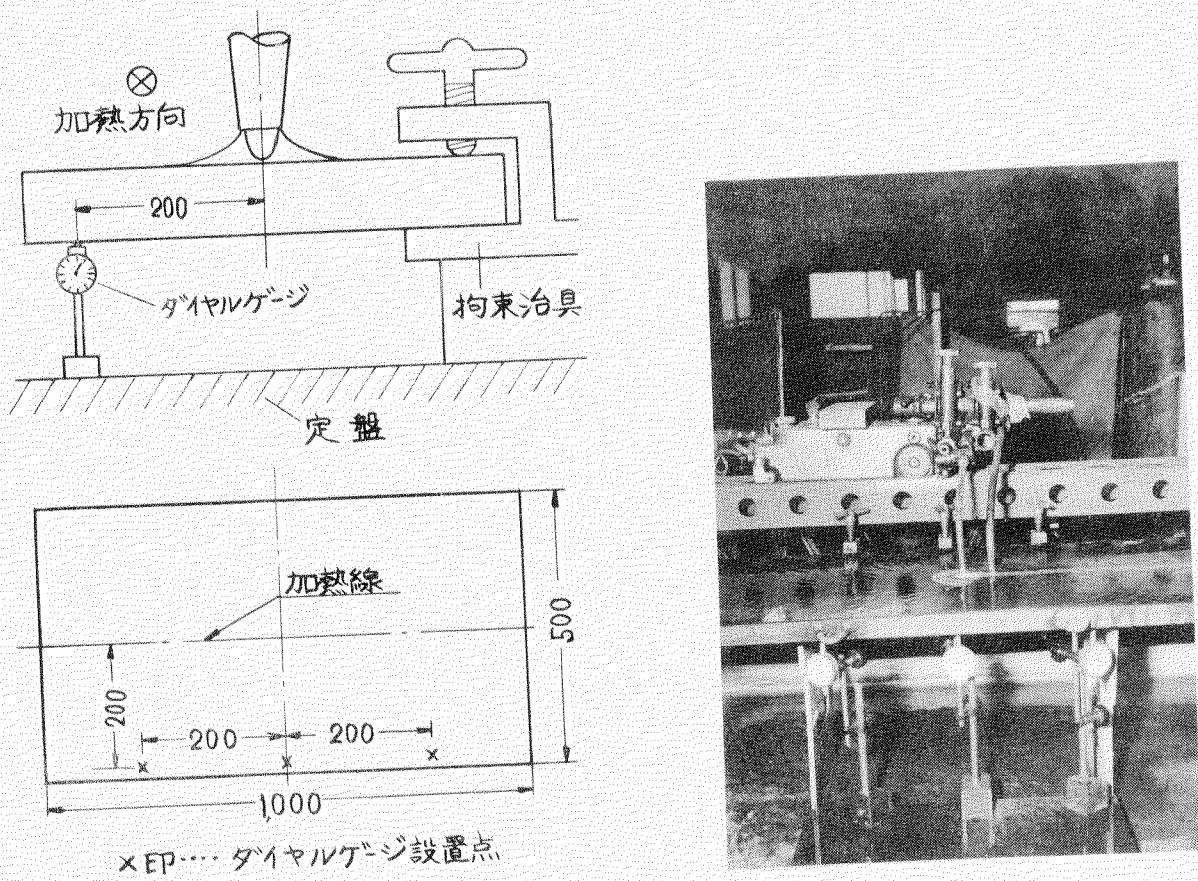


図 4.1.3 角変形量の測定要領

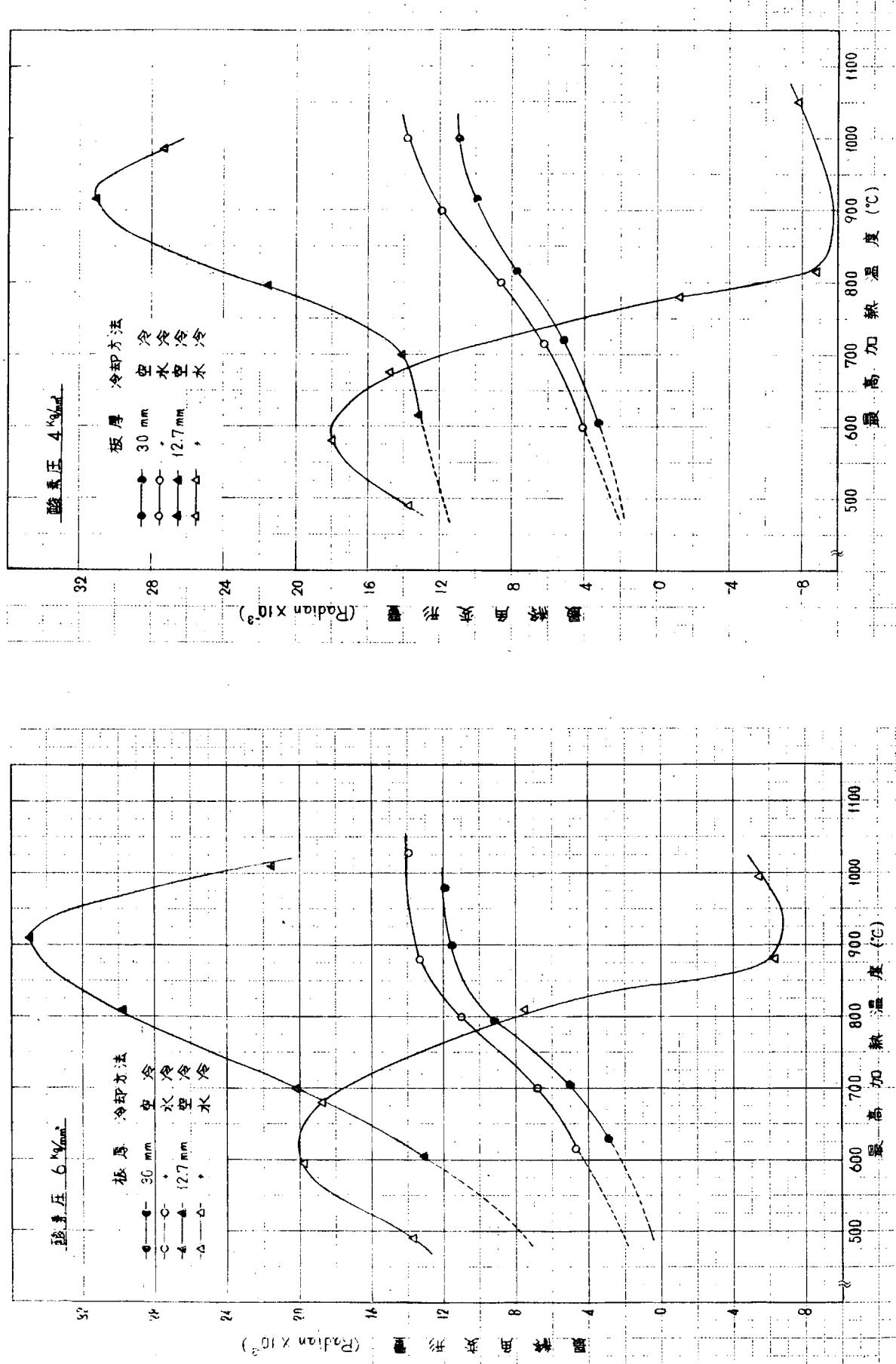


図 4.14 線状ガス加熱における最終角変形量と最高加熱温度の関係(その 1)

図 4.15 液状ガス加熱における最終角変形量と最高加熱温度の関係(その 2)

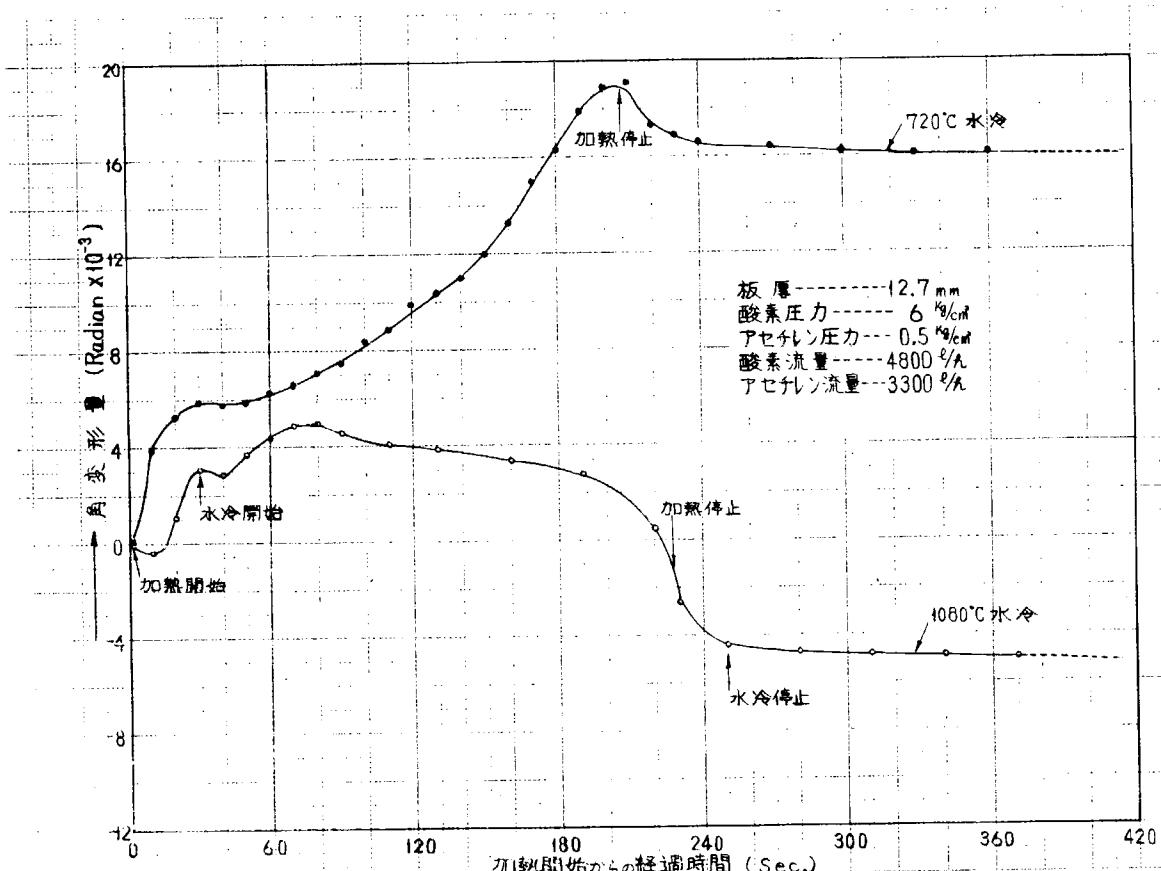


図 4.16 角変形量の時間的変化の一例(板厚 1.27 mm)

る。図 4.16 は角変形量の時間的推移を示す。図 4.14～図 4.16 の結果をまとめると次のような事が明らかである。

図 4.14 および図 4.15 の結果から

- a) 板厚 3.0 mm では角変形量は最高加熱温度が高くなるにつれて増加し、同一最高加熱温度では空冷よりも水冷の方が最終角変形量は大きい。
- b) 板厚 1.27 mm では、いずれの冷却方法においても、ある最高加熱温度で最終角変形量の極大値が認められる。
- c) 板厚 1.27 mm では、冷却方法の相違によつて最終角変形量がある温度を境界として逆転する。すなわち、700 °C 以下の最高加熱温度では最終角変形量は空冷よりも水冷の方が大きいけれども、700 °C 以上の温度ではその逆になる。
- d) 板厚 1.27 mm で水冷の場合には、最高加熱温度が約 780 ～ 800 °C を越えると角変形量はマイナスに増加し、ある温度以上になると一定値に落ちく。

図 4.16 の結果から

- e) 供試材の最終角変形量がマイナスになる場合でも、加熱開始直後から加熱終了直前までは角変形量はプラス側になつている。
- なお、これらの現象に関する理論的考察は今後さらに検討する予定である。

4.2.5 加熱域の材質試験

線状ガス加熱においては、その最高加熱温度の選定が極めて重要である。すなわち一般的には、ある限界温度以下では最高加熱温度が高くなると曲げ加工量も増加し、いわゆる作業能率が促進されるわけであるが、材質的には靭性の劣化をきたし割れ感受性を高める結果となる。特に加熱直後水冷するとその影響は顕著である。したがつて、鋼板の靭性の劣化をきたさない線状ガス加熱条件において、曲げ加工効率の最も良い加熱冷却条件を選定することが必要である。そこで、この材質試験では鋼材の靭性に及ぼす線状ガス加熱条件の影響について、材質的な検討を行ない、その結果にもとづいて昭和 45 年度以後の本試験実施に際しての各種供試材に施す線状ガス加熱条件を選定しようとするもので

ある。

1) 実験方法

- 供試材の線状ガス加熱条件は、最高加熱温度4条件(600°C 、 700°C 、 800°C 、 900°C)、および冷却方法2条件(空冷、水冷)の各組合せとし、他の条件はすべて一定条件とした。(例えは酸素圧力 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ とした。)ただし、水冷について同時水冷の他に最高加熱温度 900°C の場合だけ、 650°C から水冷を開始する実験を追加した。供試材には、HT50のA級鋼、D級鋼およびE級鋼(いずれも板厚 30mm)を用いたがD級鋼だけは板厚 12.7mm についても供試した。材質試験は(1)2mmV-ノツチシャルピー衝撃試験、(2)硬さ試験、(3)顕微鏡組織調査試験の3項目について実施した。試験片の採取要領を図4.17に示す。最高加熱温度は図4.3の結果にもとづいて、加熱速度により設定した。

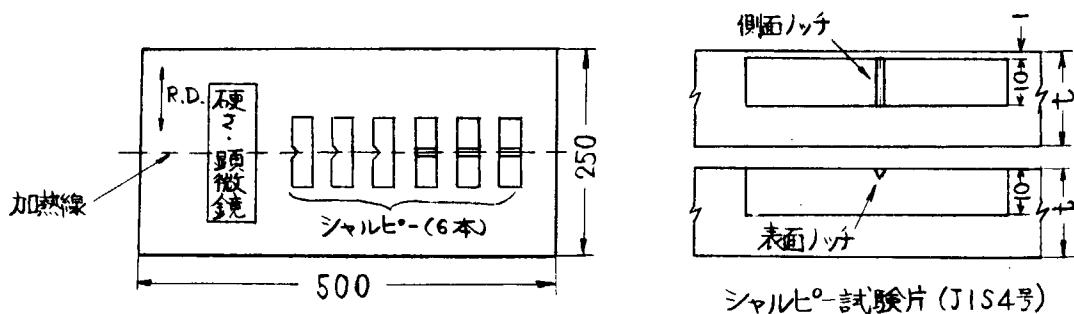


図4.17 加熱部の材質調査要領

2) 実験結果

図4.18は最高加熱温度とV-ノツチシャルピー衝撃値との関係を各鋼種、板厚および冷却方法について求めたものである。ここでは標準型の板厚方向ノツチの場合の衝撃試験結果についてのみ説明する。A級鋼は、冷却方法のいかんを問わず最高加熱温度 800°C まではほとんど衝撃値の変化は認められないが、最高加熱温度が 900°C になると、水冷による急速冷却したものの衝撃値は低くなつた。さらに、板厚 30mm のD級鋼では、水冷の場合に、やはり

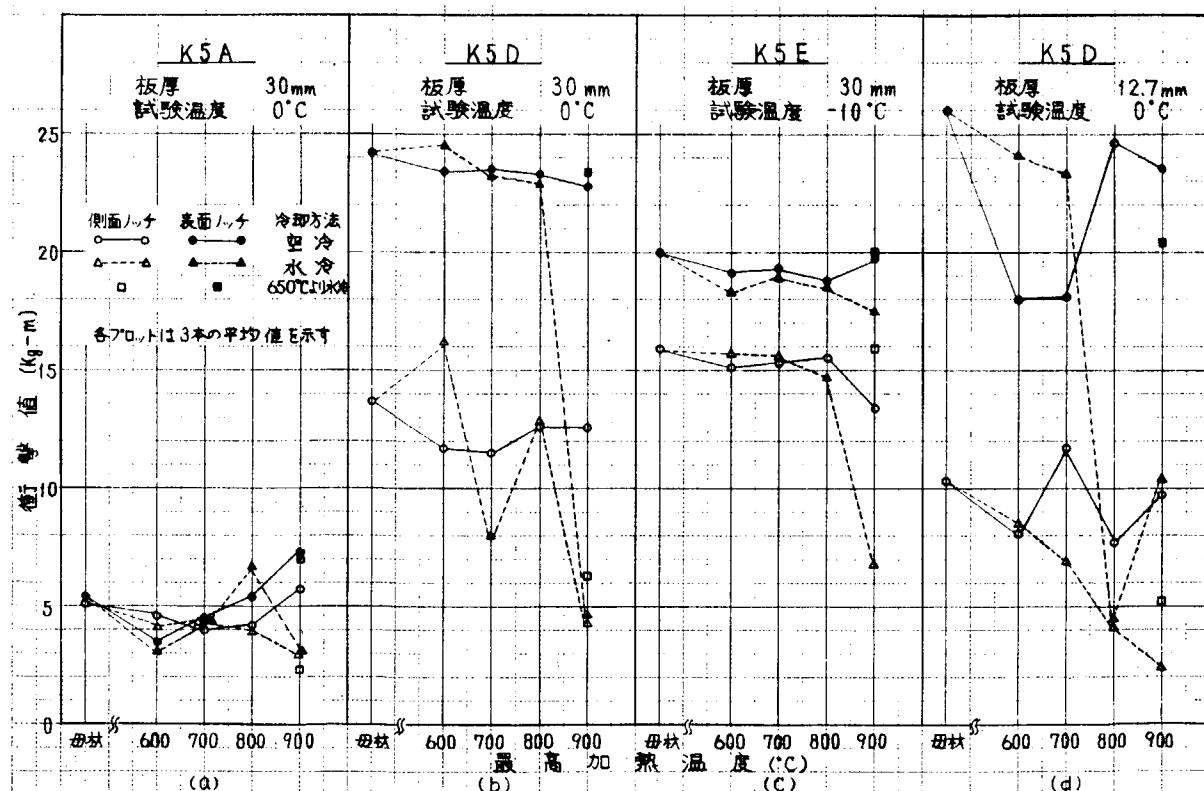


図4.18 最高加熱温度と2mmVノツチシャルピー衝撃値の関係

最高加熱温度 900°C で衝撃値が急激に低下している。E 級鋼も D 級鋼とほとんど同じような傾向を示している。D 級鋼の板厚 1.2.7 mm の場合には、水冷によつて衝撃値の低下する最高加熱温度が低温側へ移行している。すなわち、約 800°C のとき、すでに衝撃値は低下している。したがつて、図 4.18 の結果から全般的な傾向としていえることは、空冷の場合にはいずれの供試材も最高加熱温度に関係なく衝撃値はほぼ一定の値を示すこと、水冷の場合には供試材板厚によつて衝撃値の低下が生じない限界最高加熱温度に相違が認められ、板厚 30 mm の場合には約 800°C、板厚 1.2.7 mm の場合には約 700°C である。すなわち、これ以上の温度に加熱すると衝撃値は急激に低下する。図 4.19～図 4.23 は、最高加熱温度とビッカース硬さの関係を各鋼種、板厚および冷却方法について求めたものであり、写真 4.3～写真 4.6 はそのマクロ組織を示す。また写真 4.7～4.10 は加熱表面直下 0.5 mm の位置における供試材の組織と最高加熱温度との関係を示したものであり、写真 4.11～写真 4.21 は、それぞれの最高加熱温度における供試材板厚方向の組織的変化を示したものである。

3) 実験結果の考察

鋼の A_1 変態温度は 700°C 前後であり、一般的には、この変態温度以上に加熱した後急冷すると、鋼の韌性がそこなわれ衝撃値は低下する。したがつて、線状ガス加熱において、供試鋼板を変態点以上の温度に加熱した直後水冷することは、国内の各造船所においてはほとんど禁止されているのが現状¹⁾である。

空冷の場合には、線状ガス加熱によつて供試鋼板をかりに変態点以上の温度に加熱したとしても、冷却速度が水冷の場合にくらべて極めてゆるやかなので、供試鋼板の機械的性質に及ぼす加熱温度の影響は非常に少ないものと思われる。

今回実施した材質試験の結果では、板厚 30 mm で水冷の場合、最高加熱温度 800°C までは衝撃値の低下は認められないが、板厚 1.2.7 mm の場合にはその温度においてすでに衝撃値の低下が認められる。このことは、写真 4.3～4.6 に示すように、全板厚に対する熱影響部の深さの割合が板厚によつて異なるためと考えられる。

また、図 4.5 に示した計測結果から明らかかなように、最高加熱温度を 900°C にした場合の水冷開始温度は鋼板の変態温度を越えており、したがつて、図 4.18 に示すように板厚 30 mm の場合にも明らかに衝撃値の低下が認められる。しかしながら、最高加熱温度が同じでも変態点以下の 650°C から水冷を開始した場合(図 4.18)には、同時水冷の場合にくらべ衝撲値の低下が少なくなっている。

この結果から、線状ガス加熱においては、最高加熱温度よりもむしろ水冷開始温度の影響が供試材の韌性を大きく左右するものと判断される。したがつて、鋼板の韌性におよぼす線状ガス加熱の影響について論じる場合、今回実施した材質試験の結果から判断すれば、最高加熱温度はもちろんのこと、水冷開始温度および供試鋼板の全板厚に対する熱影響部の深さの割合などについても考慮する必要がある。

4.3 結論

以上の実験結果ならびに考察を総括すると次のように結論づけられる。

- 1) 国内の各造船所において実施されている線状ガス加熱条件についてアンケートをとり、その集約結果にもとづいて選定した標準線状ガス加熱加工条件において、加熱速度と最高加熱温度との関係を求めることができた。したがつて、昭和 45 年度の研究実施に際して、供試材に施す線状ガス加熱条件の設定は加熱速度によつて行なうことが可能である。
- 2) 板厚 1.2.7 mm について、線状ガス加熱後の冷却時における経過時間と板厚方向の温度分布との関係を実測により求めたところ、水冷の場合に限り、一時的に加熱表面の温度より裏面の温度が高くなることが認められた。このような現象が板厚 1.2.7 mm における水冷の場合の最終角変形の状態を複雑にしている一つの因子であると思われる。
- 3) 最高加熱温度と角変形量の関係は、供試材の板厚によつて著しく異なつた傾向を示した。この定量的理論的考察は非常に難解であり、いろいろな考え方があろうかと思われる所以、ここでは現象面だけを説明することにする。すなわち、板厚 30 mm における最終角変形量は、空冷の場合にくらべ水冷の場合がわずかに大きな値を示した。しかし板厚 1.2.7

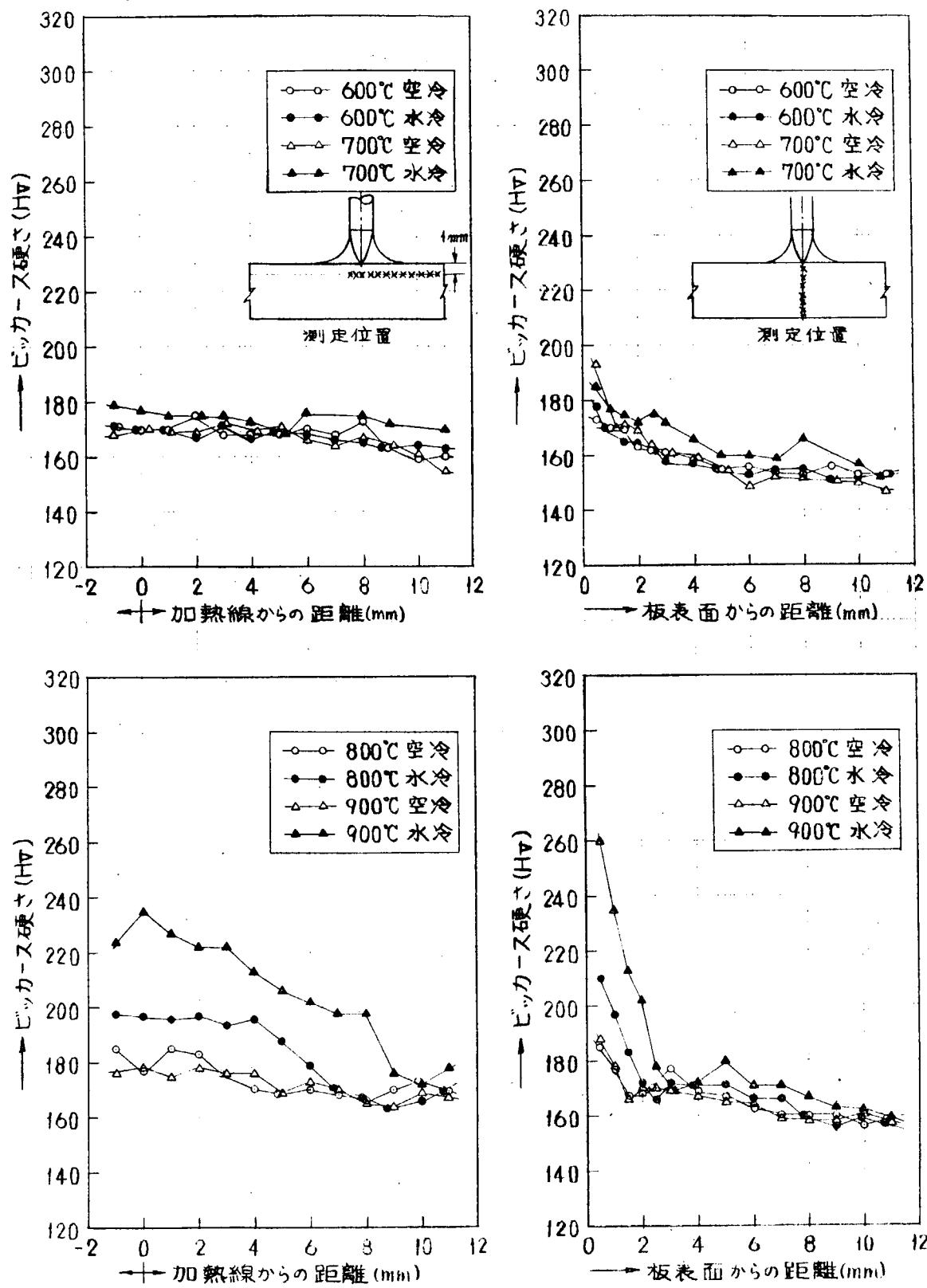


図4.19 最高加熱温度によるビッカース硬さ分布(荷重10kg)
A級鋼 30mm

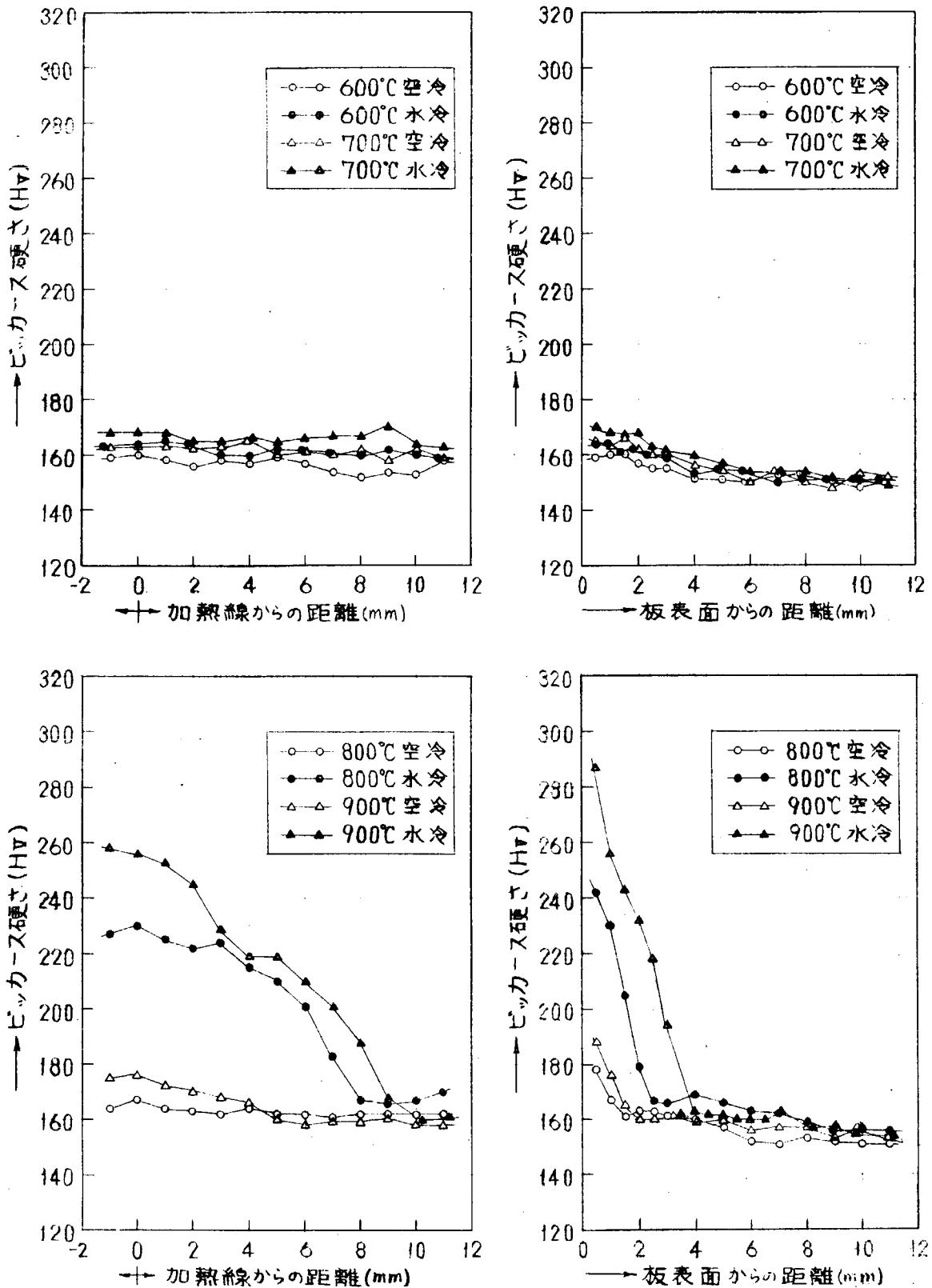


図 4.2.0 最高加熱温度によるビッカース硬さ分布(荷重 1.0 kg)
D級鋼、30mm t

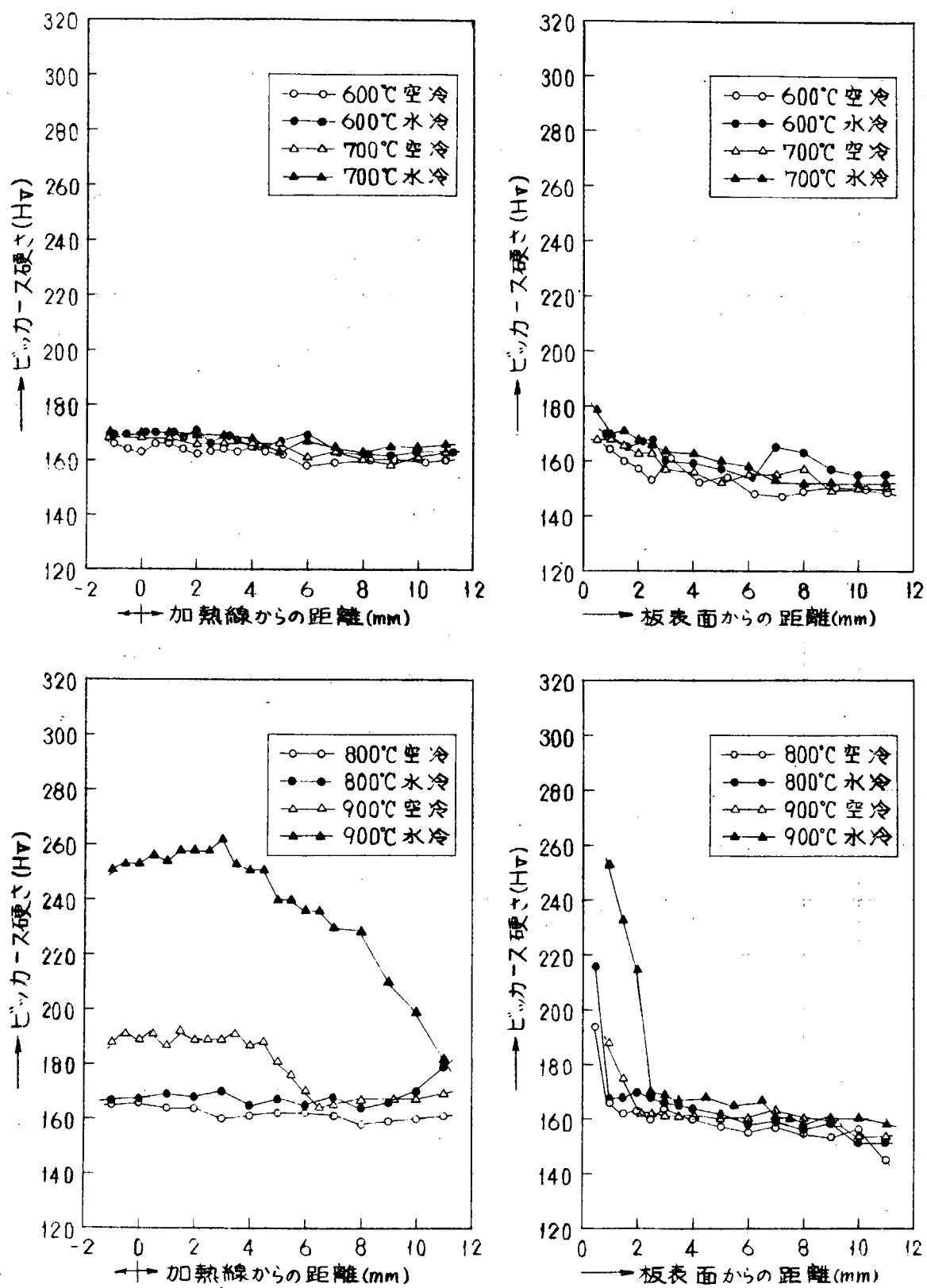


図 4.2.1 最高加熱温度によるビッカース硬さ分布(荷重 1.0 Kg)
E級鋼 30mm t

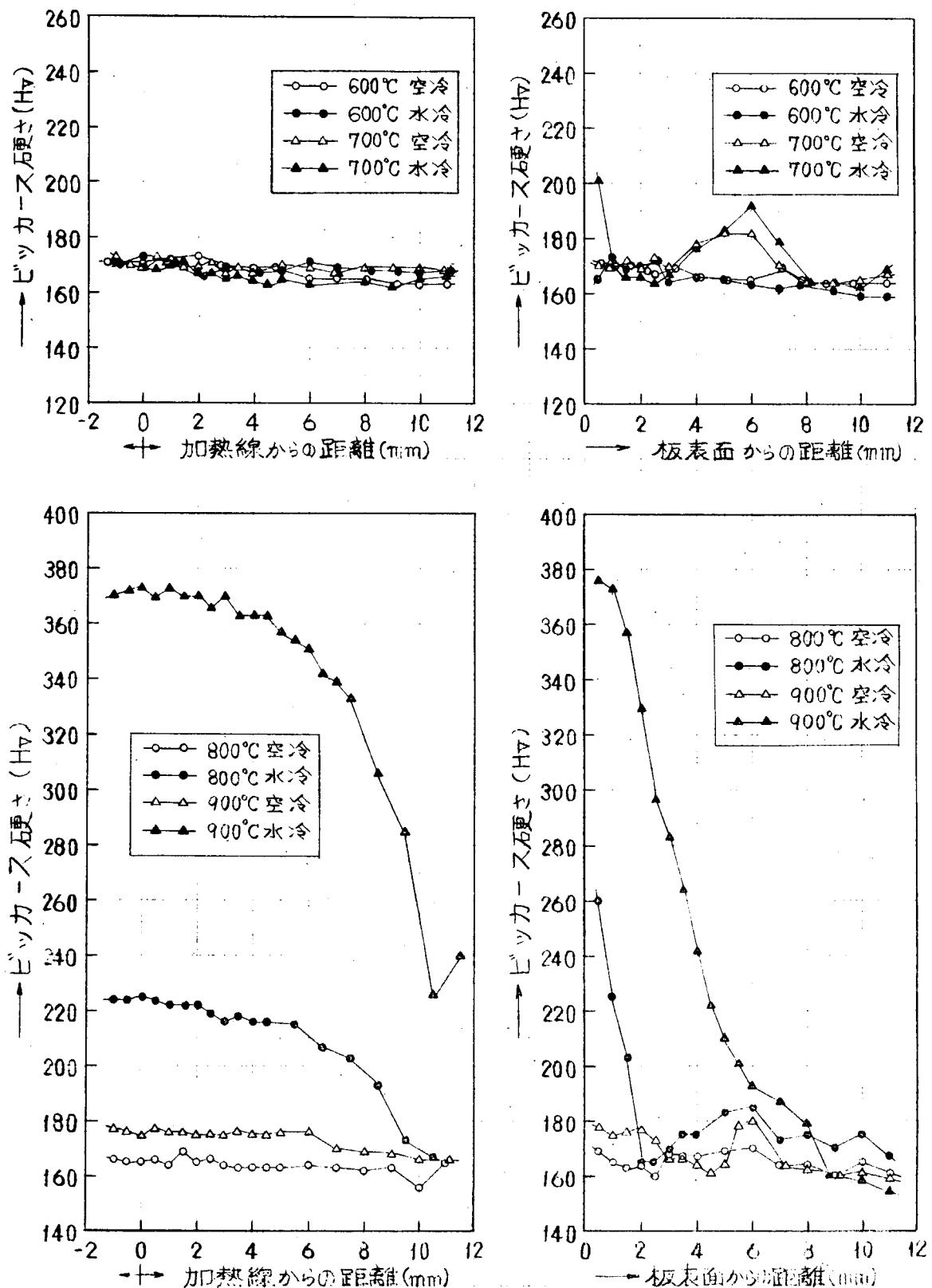


図 4.2.2 最高加熱温度によるビッカース硬さ分布 (荷重 10 kg)
D 級鋼 12.7 mm t

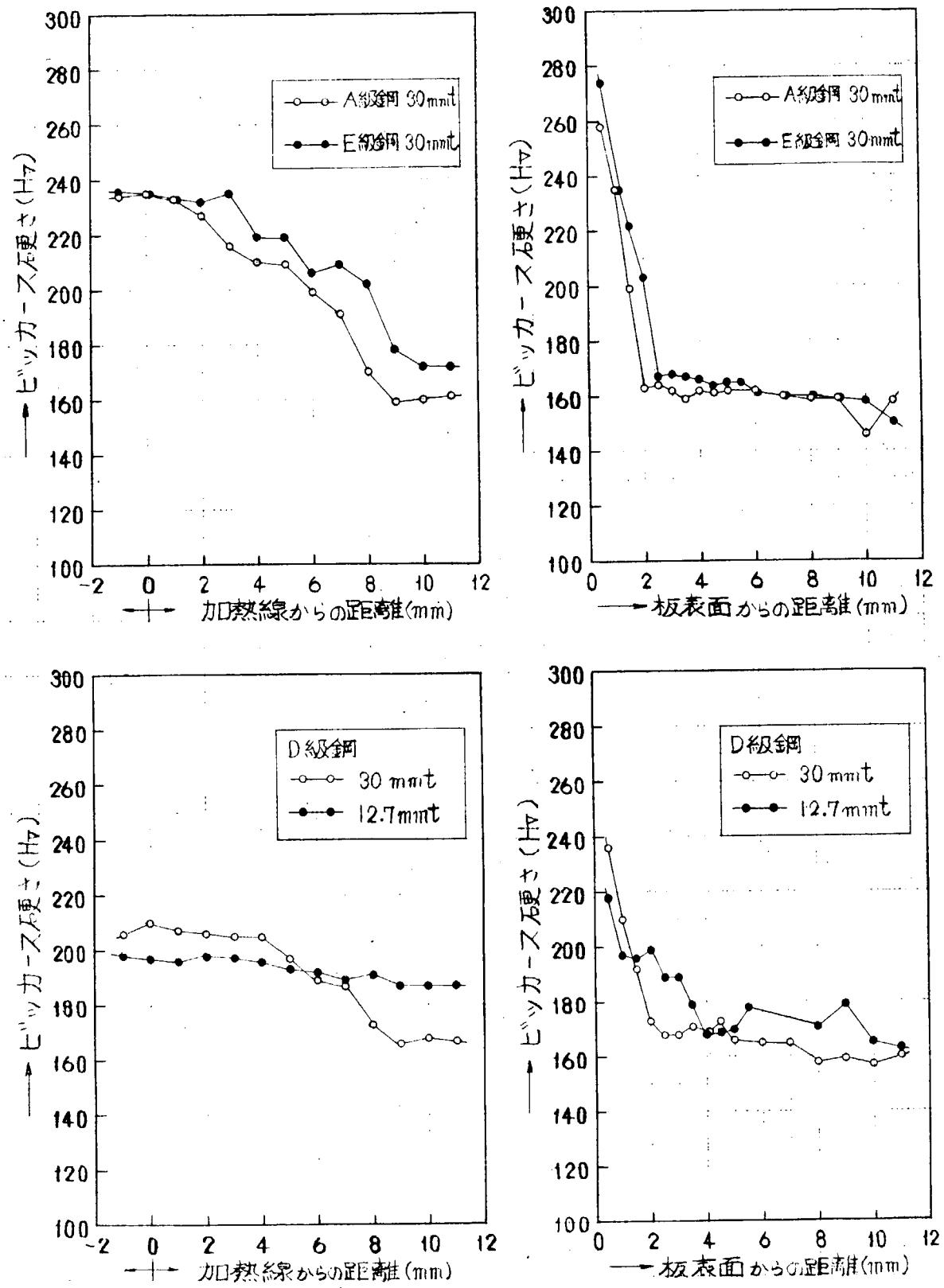
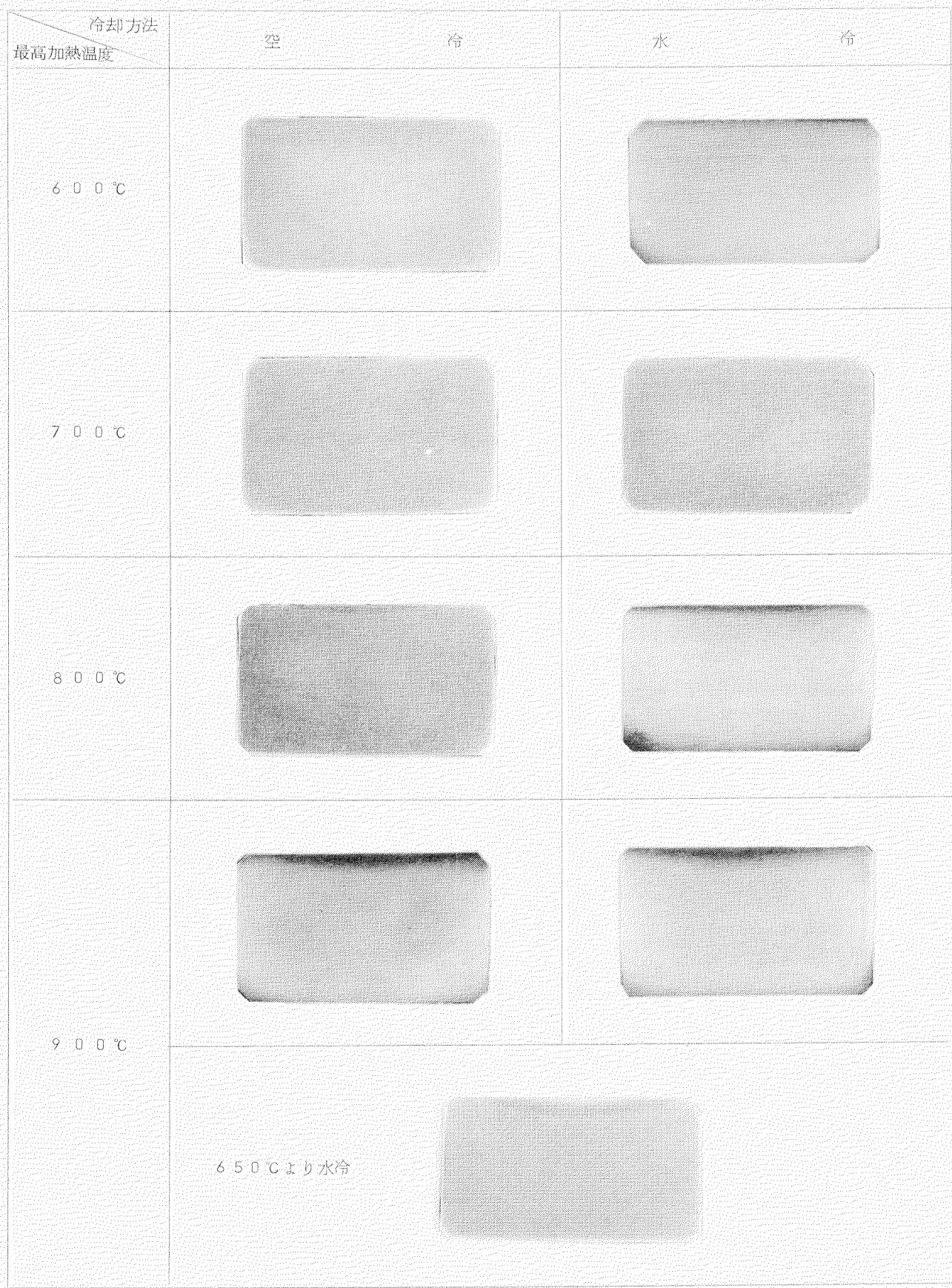
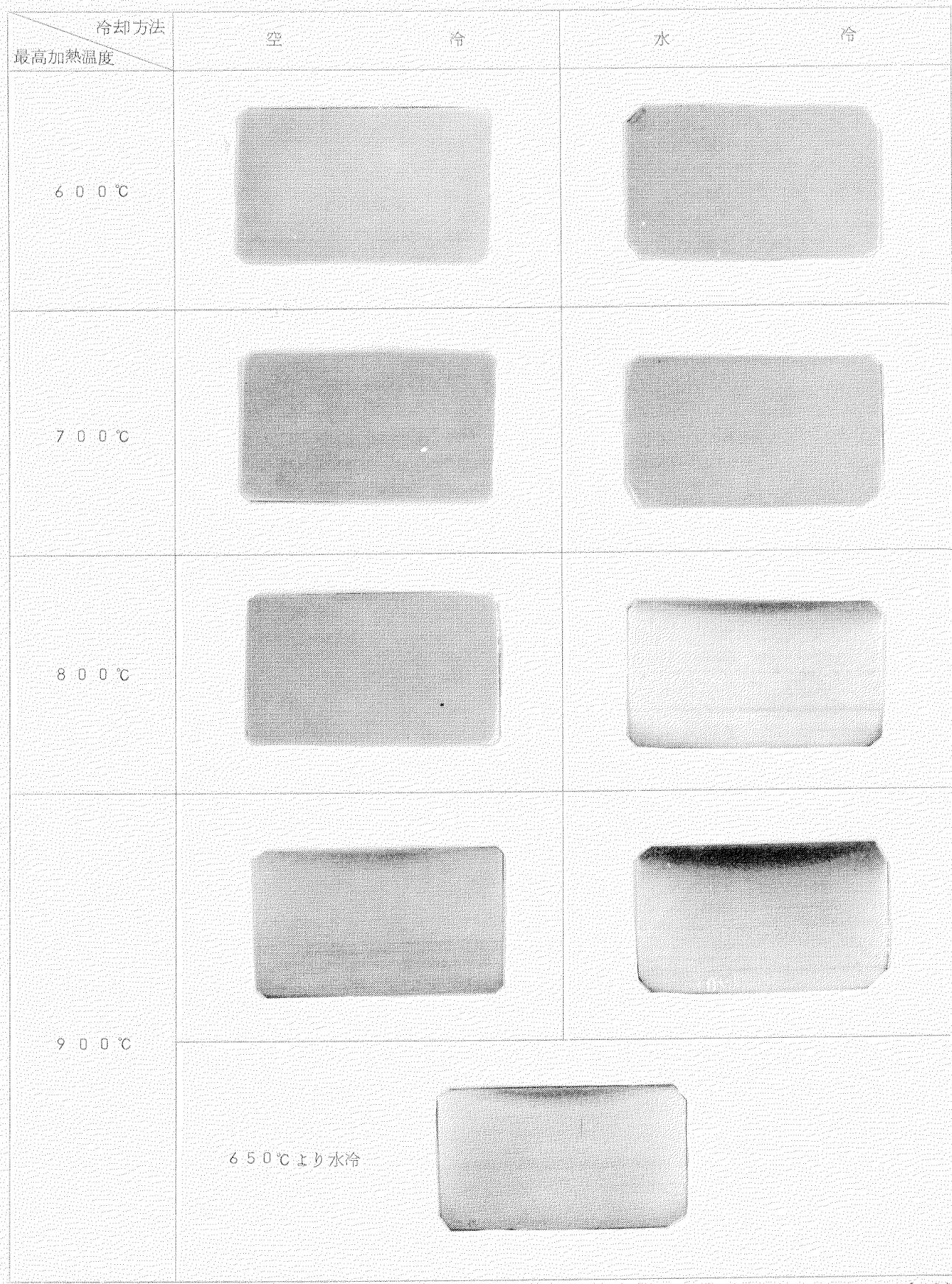


図 4.2.3 900°C 加熱 → 650°C より水冷によるビッカース硬さ分布 (荷重 10kg)



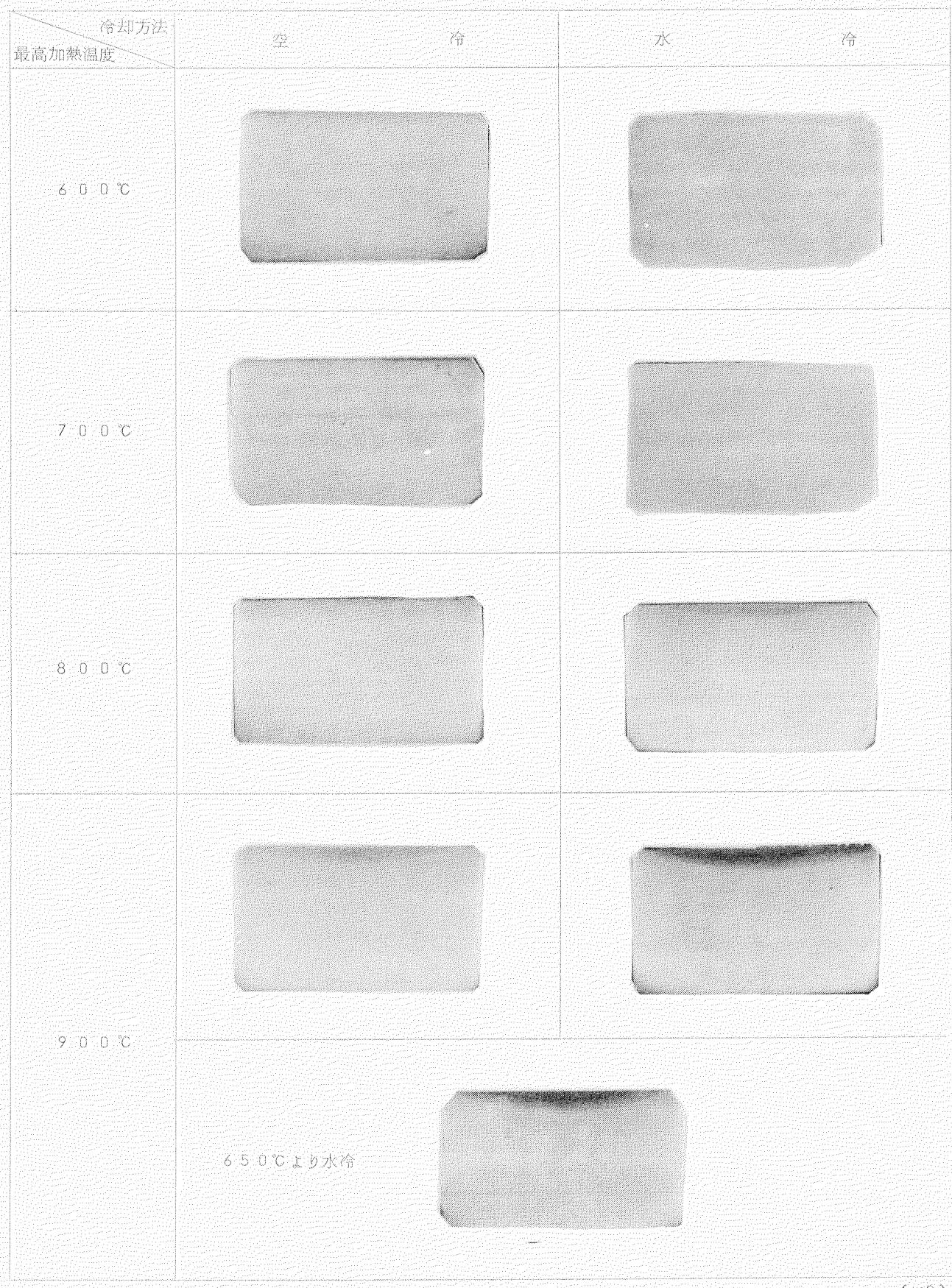
(x2)

写真4.3 A級鋼(板厚3.0mm)のマクロ組織



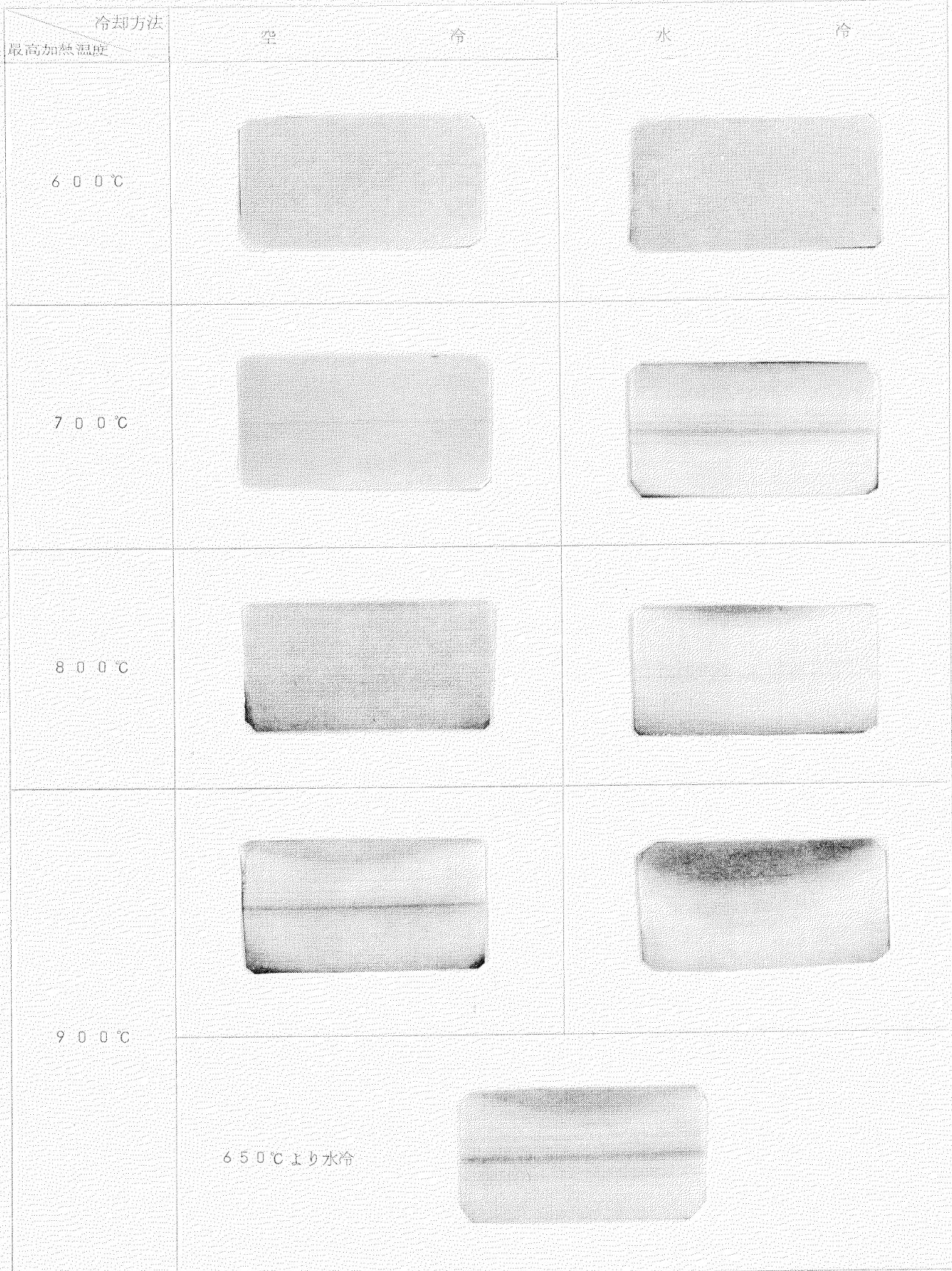
(×2)

写真 4.4 D 級鋼(板厚 3.0 mm)のマクロ組織



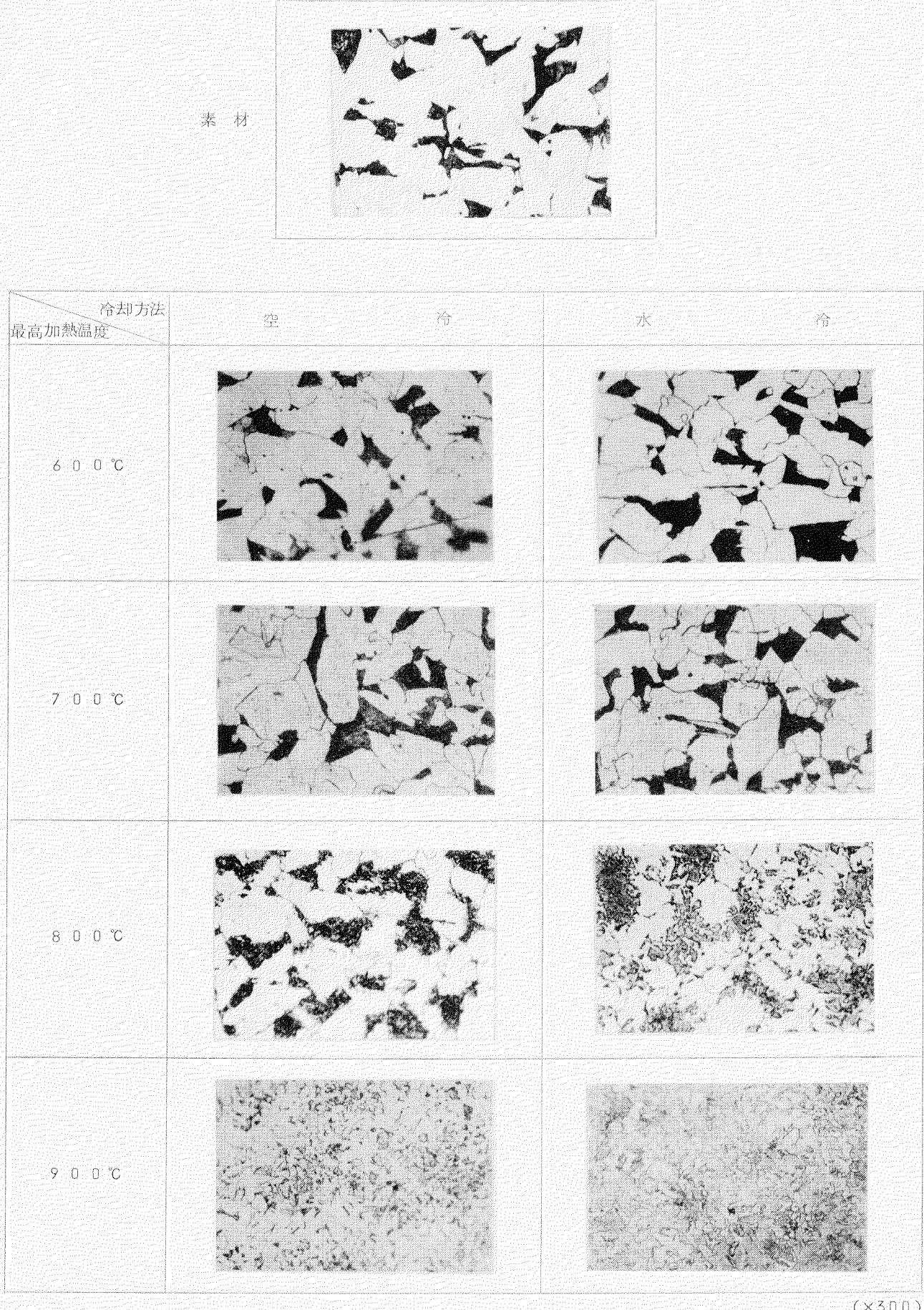
(×2)

写真4.5 E級鋼(板厚3.0mm)のマクロ組織



(×2)

写真4.6 D級銅(板厚12.7mm)のマクロ組織



($\times 300$)

写真 4.7 A 級鋼(板厚 3.0mm)の顕微鏡組織

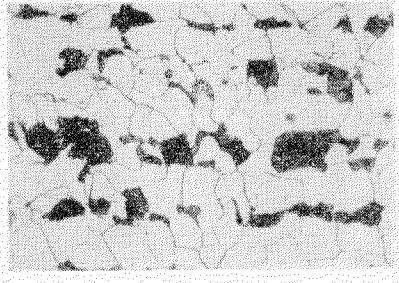
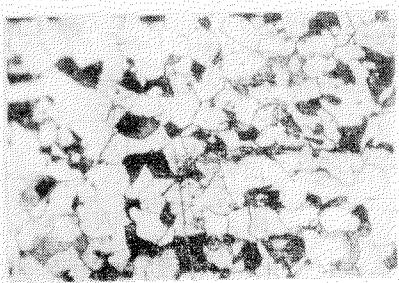
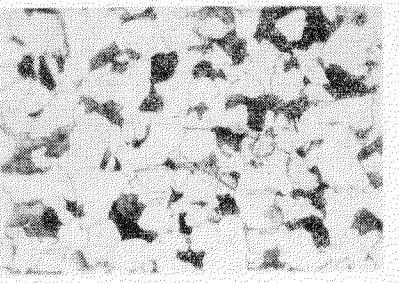
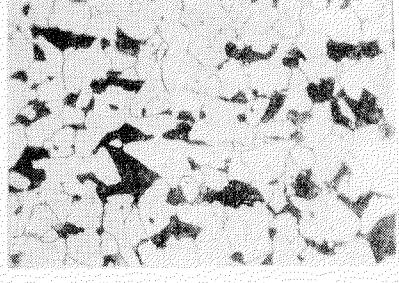
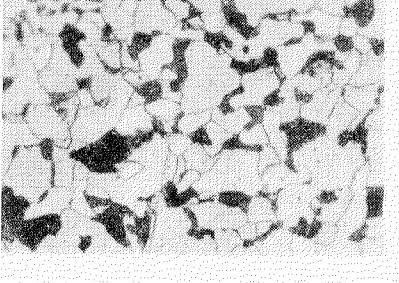
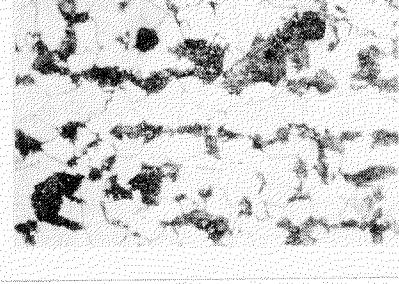
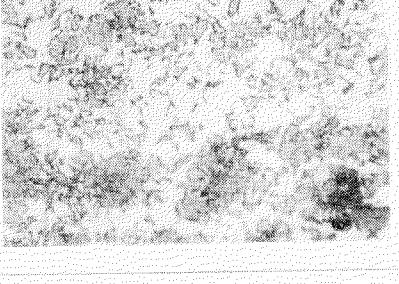
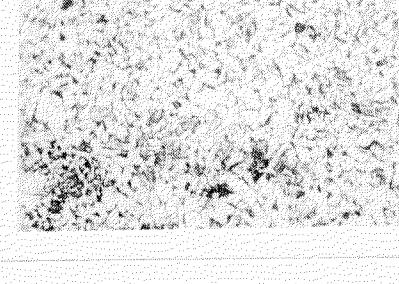
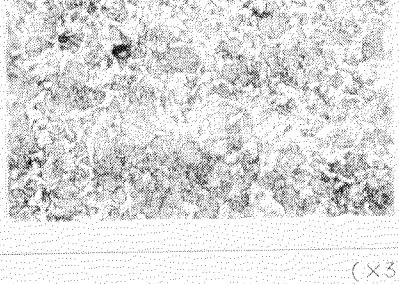
素 材			
最高加熱温度 冷却方法	空 冷	水 冷	
	600°C 		
700°C			
	800°C 		
900°C			
			(×300)

写真 4.8 D 級鋼(板厚 3.0 mm)の顕微鏡組織

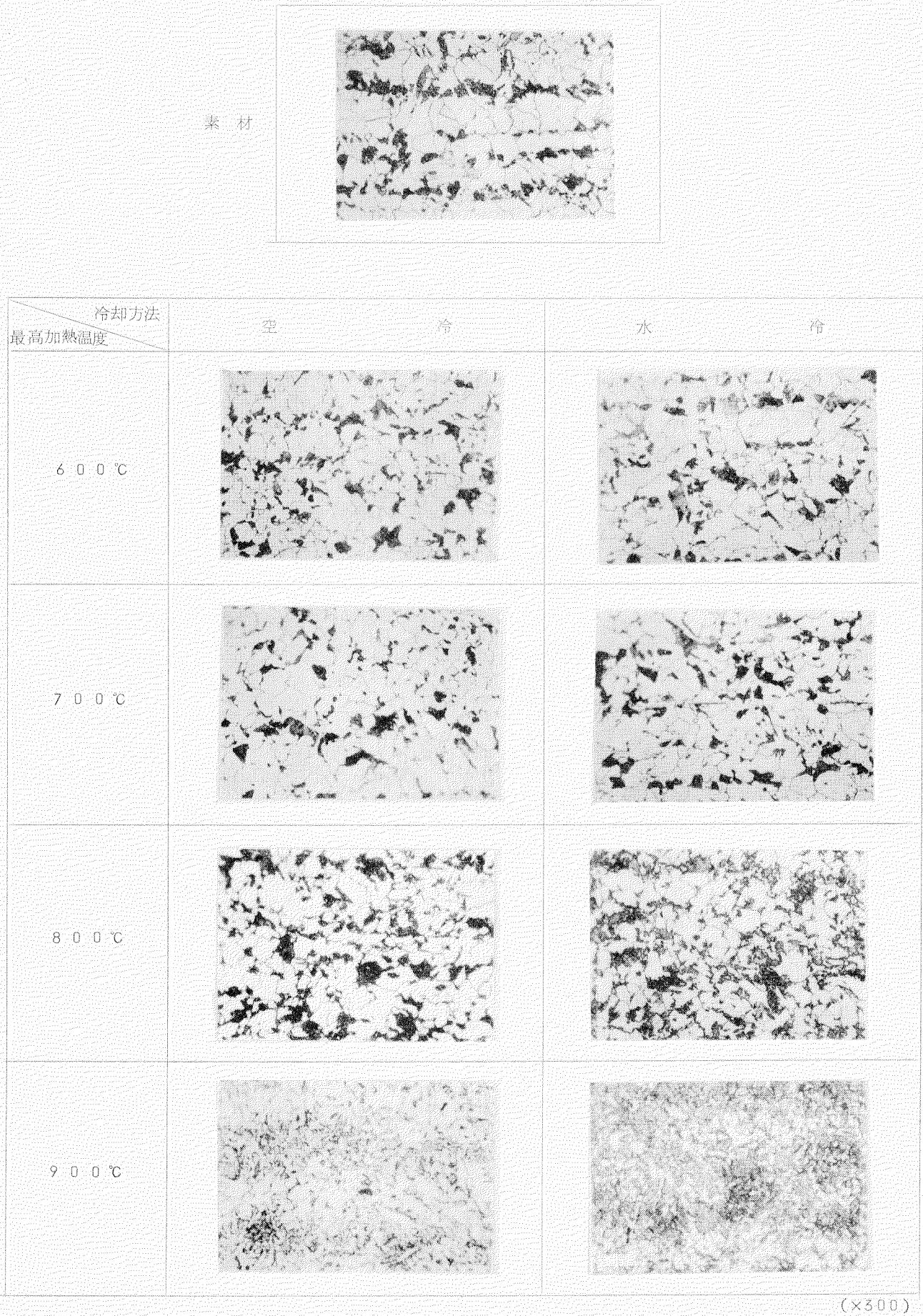
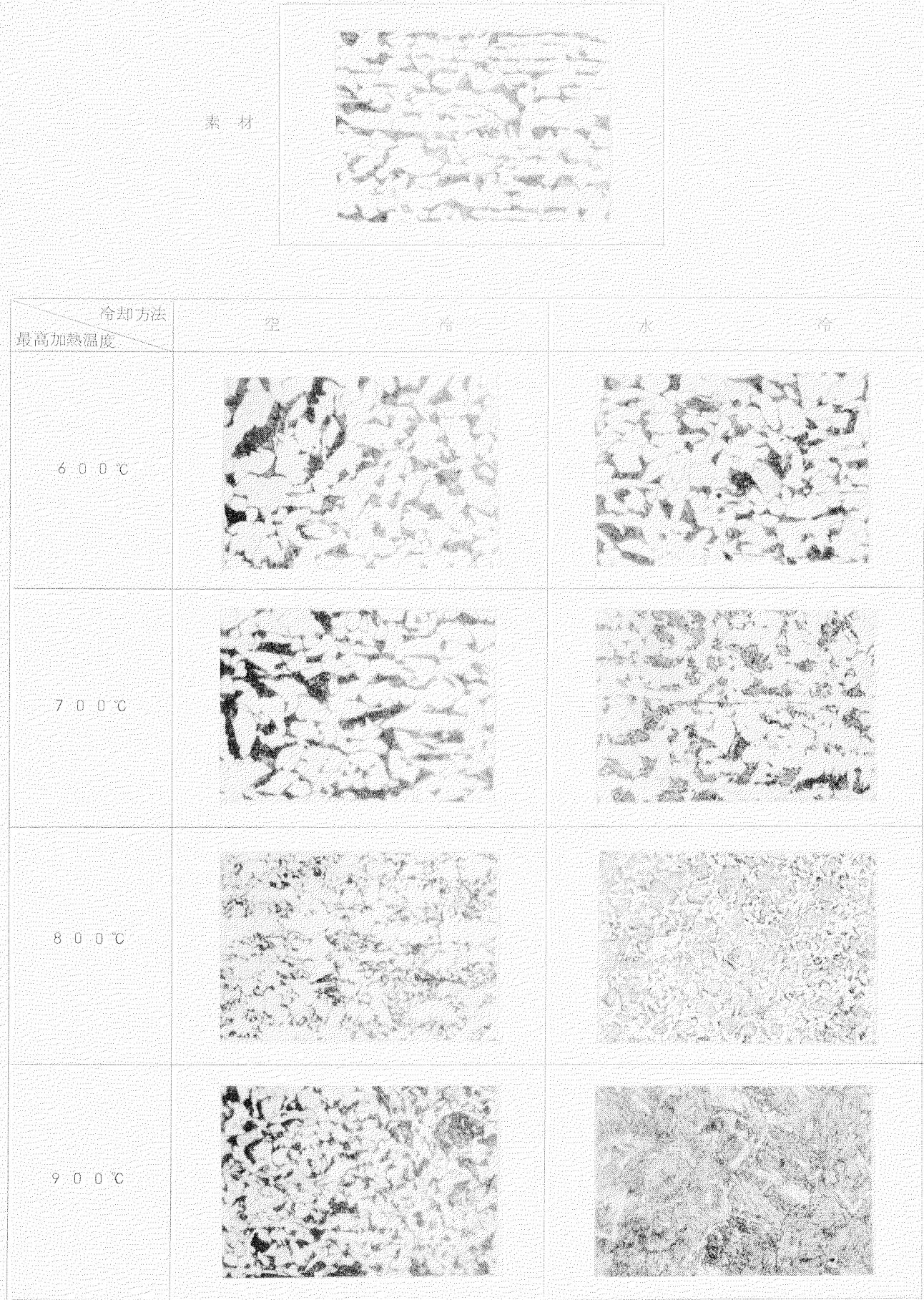
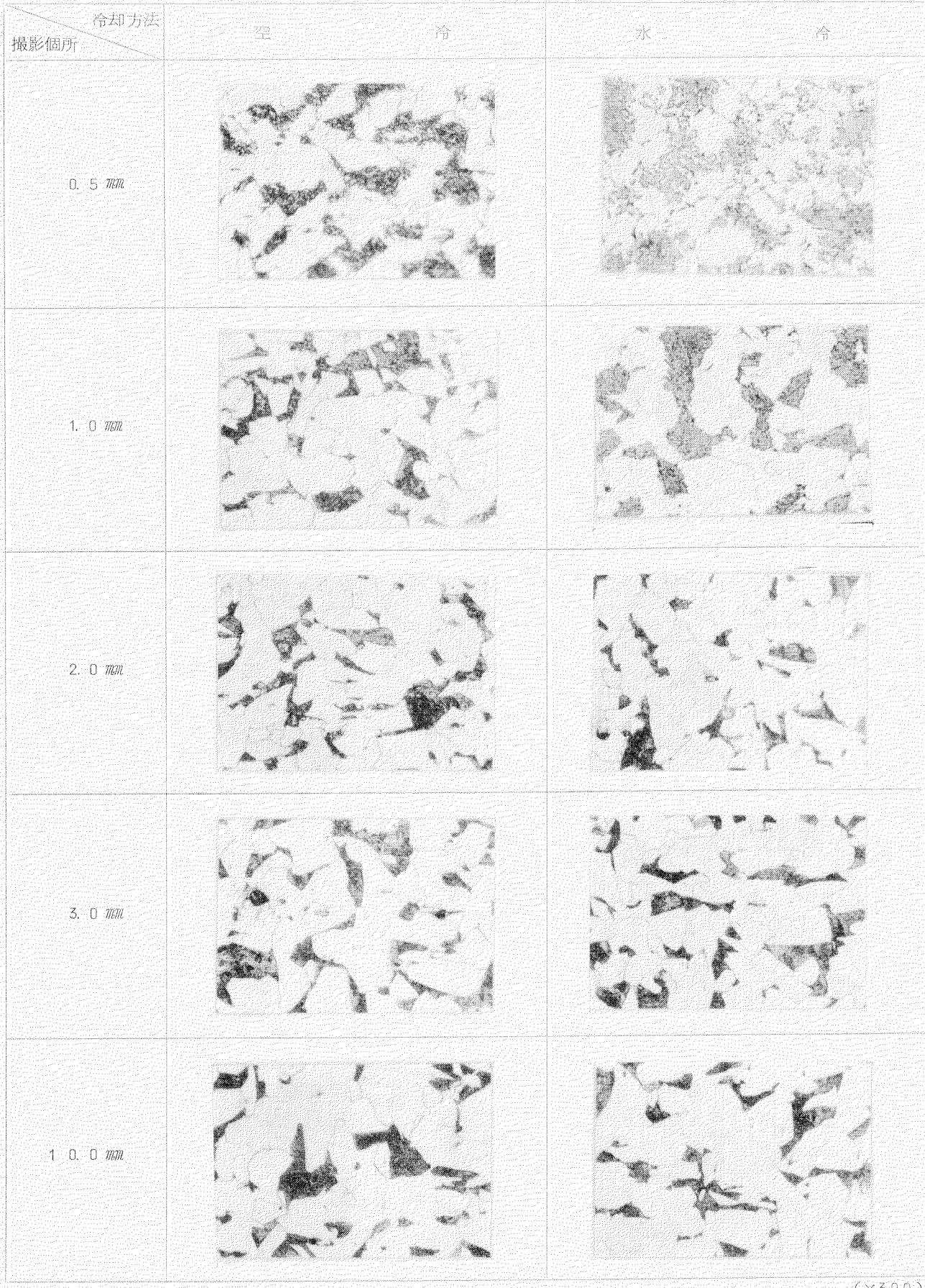


写真4.9 E級銅(板厚3.0mm)の顕微鏡組織



($\times 300$)

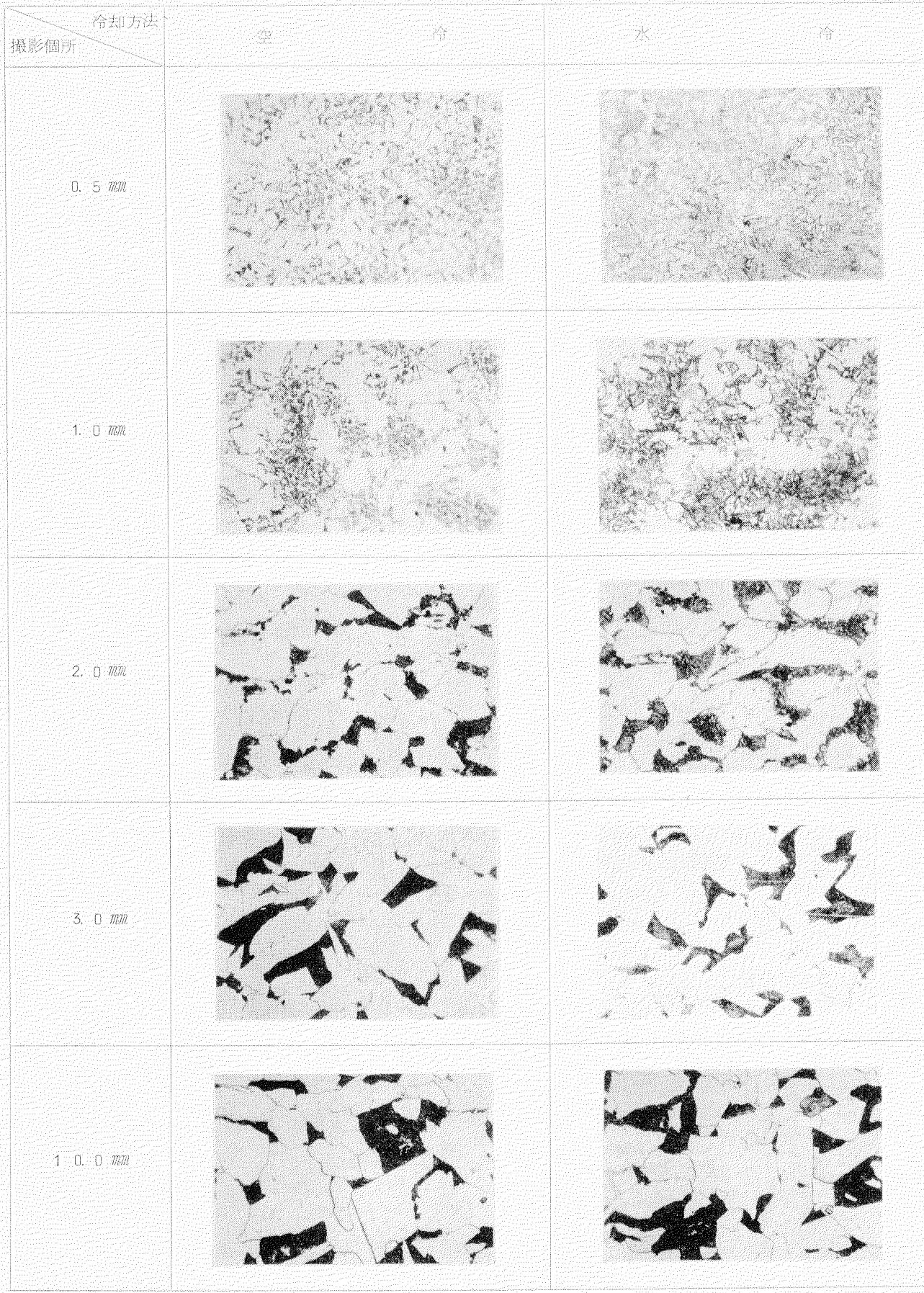
写真 4.1-0 D 級鋼(板厚 1.27mm) の顕微鏡組織



($\times 300$)

最高到達温度 80.0°C

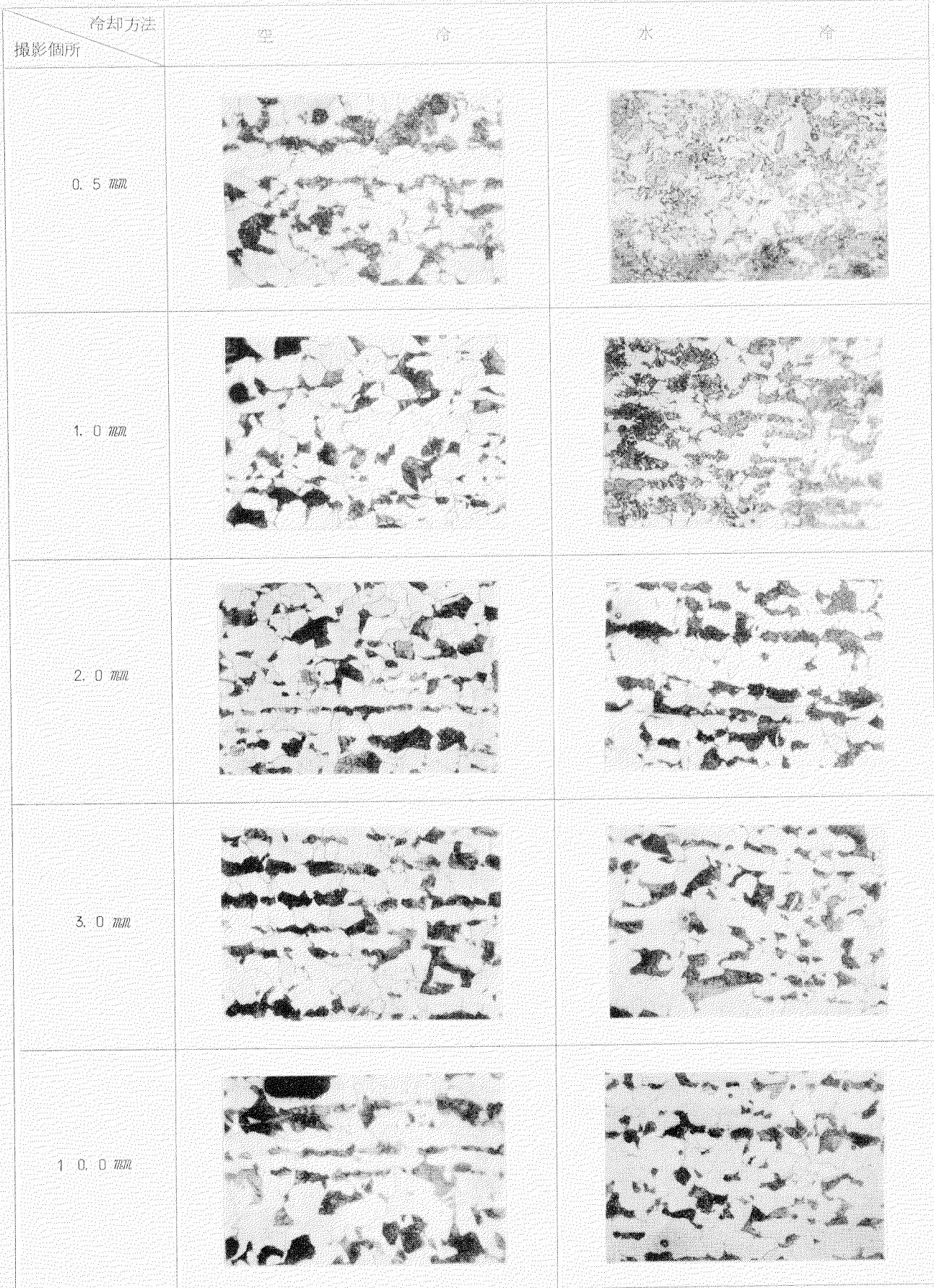
写真 4.1.1 A 級鋼(板厚 3.0 mm)の顕微鏡組織(その 1)



($\times 300$)

最高到達温度 900°C

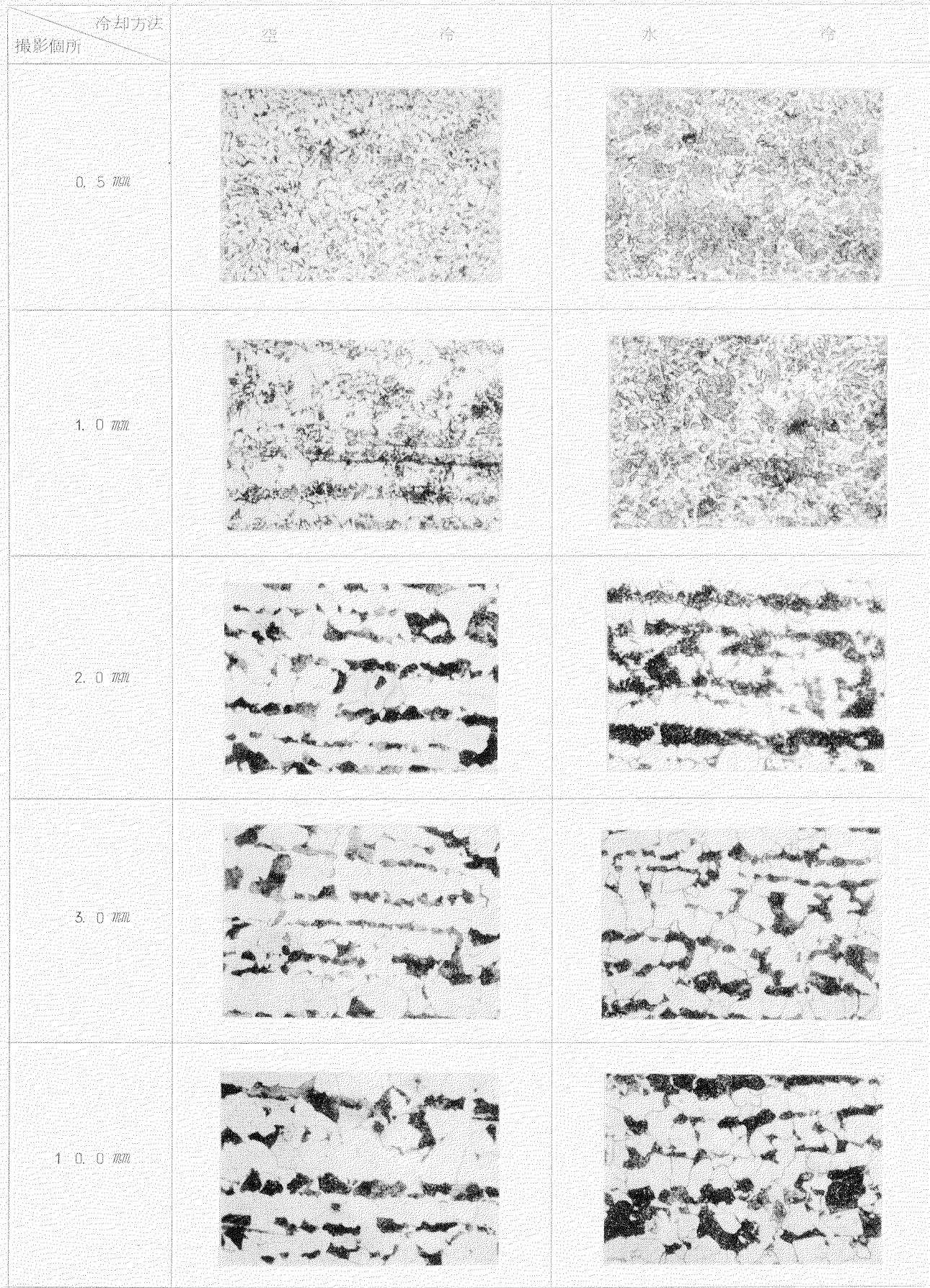
写真 4.1.2 A級鋼(板厚3.0mm)の顕微鏡組織(その2)



(×300)

最高到達温度 800°C

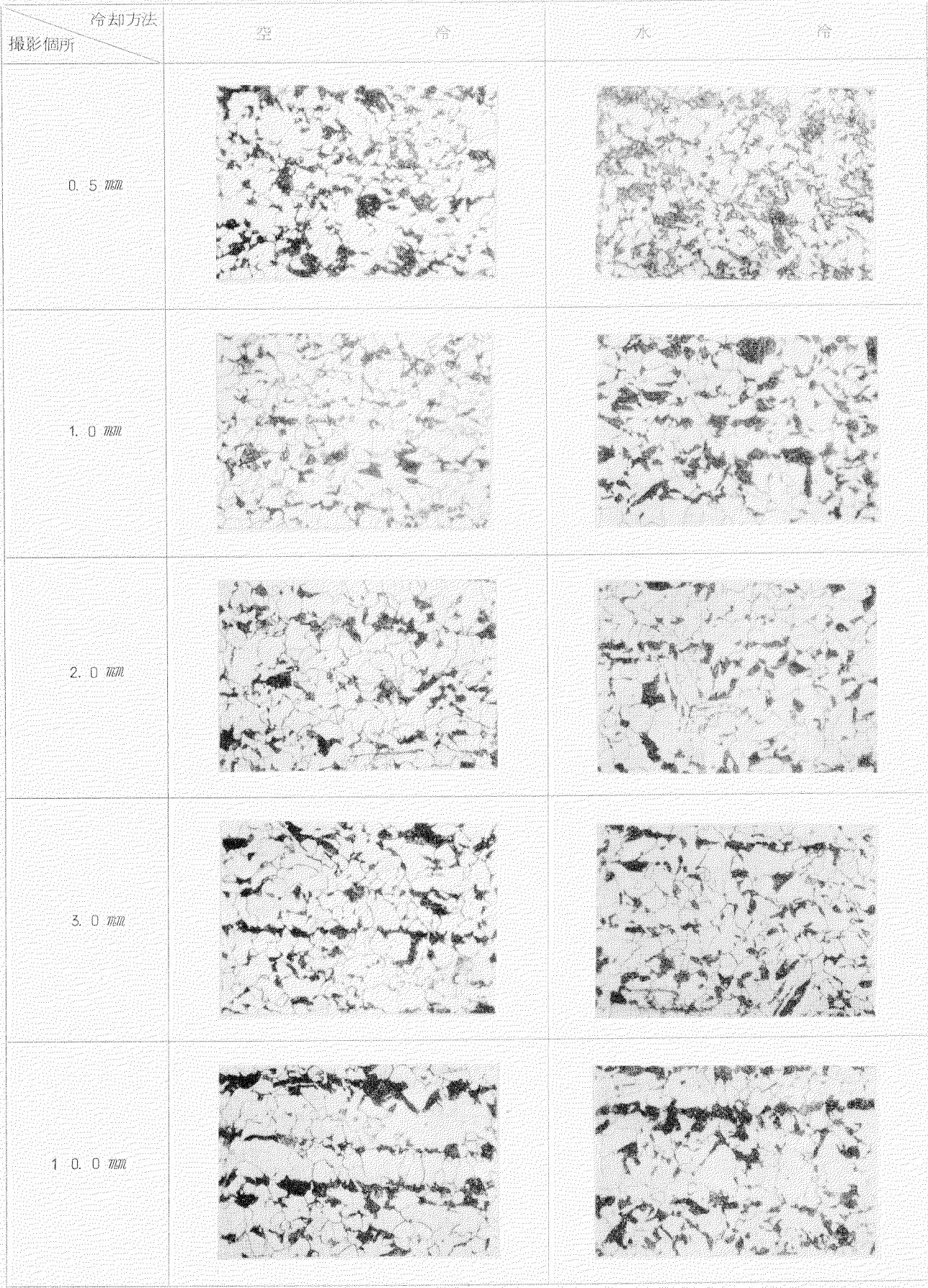
写真4.13 D級銅(板厚3.0mm)の顕微鏡組織(その1)



($\times 300$)

最高到達温度 900°C

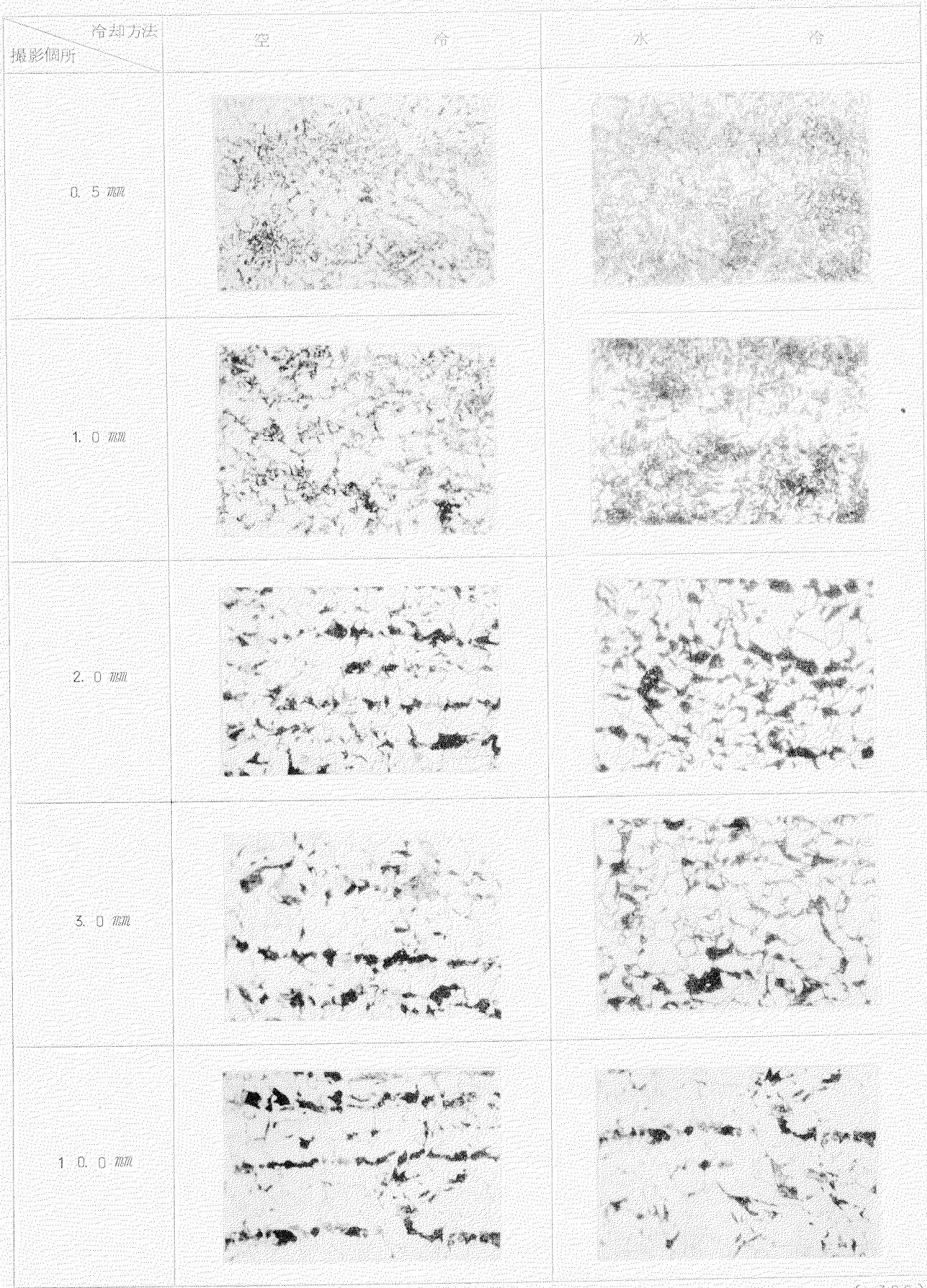
写真 4.1.4 D 級鋼 (板厚 3.0 mm) の顕微鏡組織 (その 2)



(×300)

最高到達温度 800°C

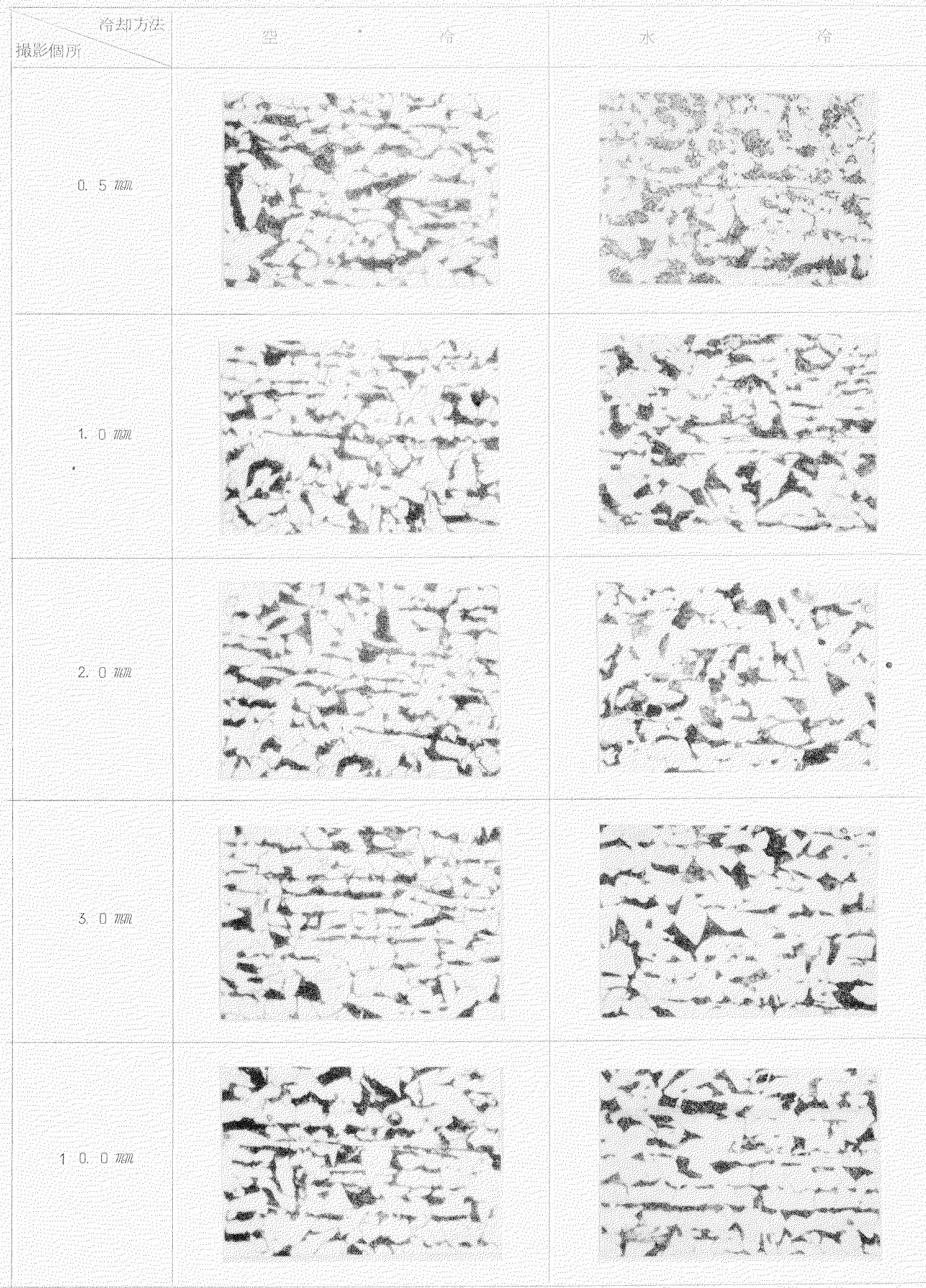
写真4-15 五級鋼(板厚3.0mm)の顕微鏡組織(その1)



($\times 300$)

最高到達温度 900°C

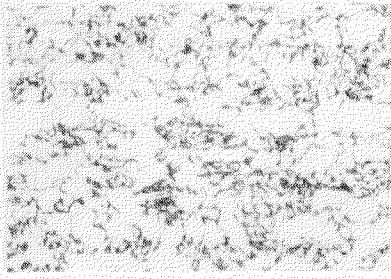
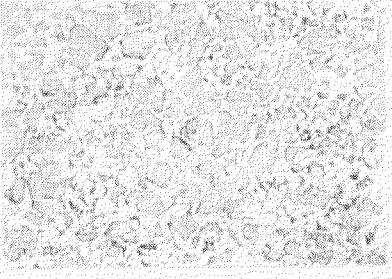
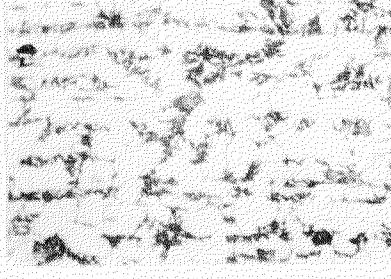
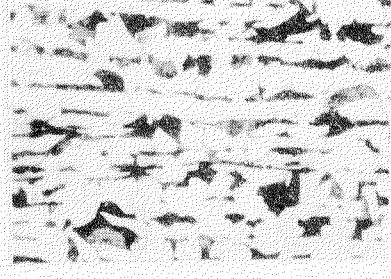
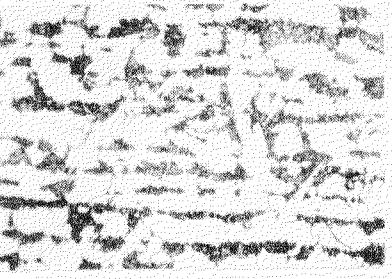
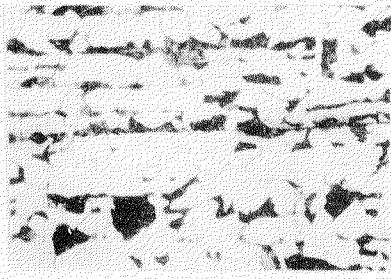
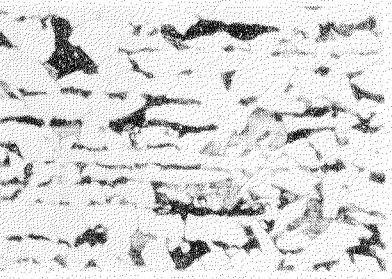
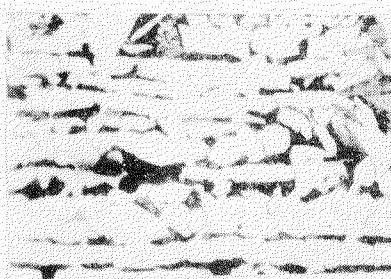
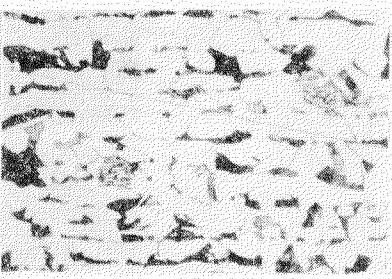
写真4.1.6 鋼級鋼(板厚3.0mm)の顕微鏡組織(その2)



($\times 300$)

最高到達温度 700°C

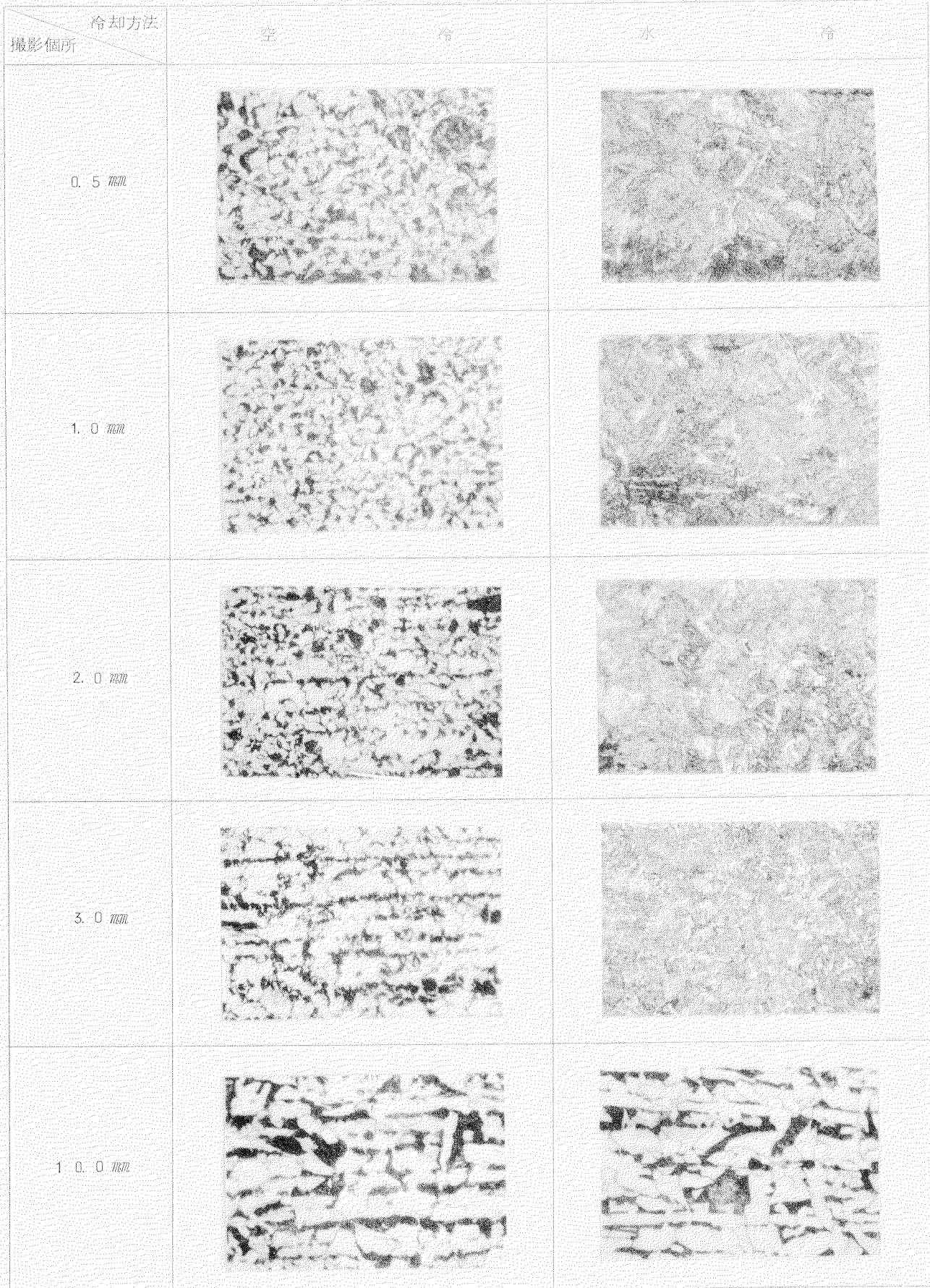
写真4.1.7 D級鋼(板厚 1.2~7mm)の顯微鏡組織(その1)

撮影箇所 冷却方法		
	空冷	水冷
0.5 mm		
1.0 mm		
2.0 mm		
3.0 mm		
10.0 mm		

(×300)

最高到達温度 800°C

写真 4.1.8 D 級鋼(板厚 12.7 mm) の顕微鏡組織(その 2)



($\times 300$)

最高到達温度 900°C

写真 4.1.9 D 級鋼(板厚 1~2.7mm)の顕微鏡組織(その3)

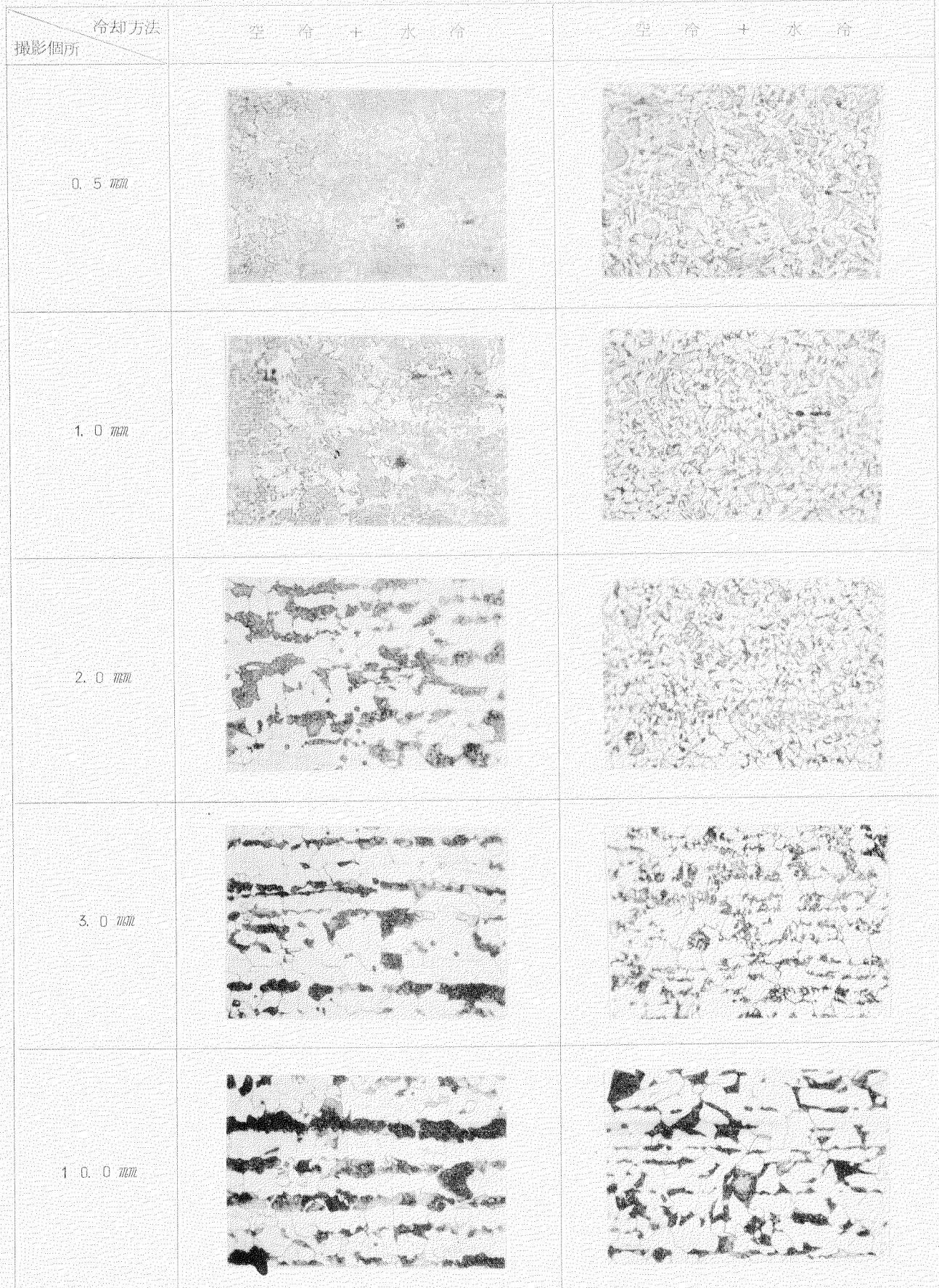
冷却方法 撮影箇所	空冷 + 水冷	空冷 + 水冷
0.5 mm		
1.0 mm		
2.0 mm		
3.0 mm		
10.0 mm		

K-5 A (板厚3.0mm)

K-5 B (板厚3.0mm) (x300)

最高到達温度 900°C

写真 4.2 0 650°C水冷開始の場合の顕微鏡組織(その1)



K 5.D (板厚 3.0mm)

K 5.D (板厚 12.7mm)

(×300)

最高到達温度 90.0°C

写真 4.2.1 65.0°C水冷開始の場合の顕微鏡組織(その2)

mm の場合には、いずれの冷却方法（水冷および空冷）においても最終角変形量に極大値が認められ、その最大角変形量は空冷の場合が水冷の場合よりはるかに大きな値を示している。

また水冷の場合には、最高加熱温度がある温度以上になると最終角変形量がマイナス（加熱面に凸）になる場合がある。したがつて、生産現場で作業効率の良い曲げ加工あるいは歪み取りを行なうためには、供試材の板厚に応じて最高加熱温度および冷却方法を選定することが必要であろう。

4) 材質試験の結果から判断すれば、鋼板の非性におよぼす線状ガス加熱条件の影響については、最高加熱温度よりも水冷開始温度ならびに全板厚に対する脆化域の割合が大きな要因となるものと推定されるので、これらのことと十分考慮して最高加熱温度等の作業条件を選定する必要があるものと思われる。

5) 以上の結論により昭和45年度の研究実施に際して、供試材に施こす線状ガス加熱条件設定のための基礎資料を得ることことができた。

すなわち、昭和45年度は最高加熱温度を板厚30 mm の場合800°C、板厚12.7 mm の場合700°Cを選んで行なうこととする。

参考資料

- 1) 日本钢管㈱：“国内造船各社の線状加熱施行標準および線状ガス加熱に関するアンケート集約結果” 1969年8月

5. 800トンテストリグ

5.1 テストリグの概要

テストリグの構造を図5.1～図5.3に示す。2台の台車の上に装置本体が乗つており、両脇のラム受金を介し油圧シリンダーとラムを備えている。油圧発生装置から送られる圧油は2組のシリンダーに供給され、ラムの縮張力で試験片の圧縮・引張を行なうものである。一般の引張試験においては、ラムと装置本体は分離出来る様にしておくが、圧縮試験の場合は連結ボルトによつてラムと装置本体を結合する。試験片はピンによつてセットされ、その操作はピン抜き装置による。

また、荷重の検出は油圧ポンプから送られる圧油を分歧配管より取り出し、脈動緩和器を通して測定した油圧を、ストレンジゲージ式の変換器で電圧変化に変換して自動平衡式荷重指示計で表示するものである。

5.2 主要目

テストリグの主要目は次のとおりである。

1) テストリグ本体

最大引張荷重	800 Ton
最大圧縮荷重	200 Ton
ピン間距離	3,000 mm
ピン直徑	250 mm

2) 油圧シリンダー

シリンダー内径	330 mm
ストローク	300 mm
最大使用圧力	505 kg/cm ²

3) 油圧緩衝器

能 力	20 Ton
ストローク	150 mm

4) 作動油圧ポンプ

ポンプ型式	三菱FGポンプFG-6-12/12
ポンプ吐出量	44 ℥/min

5) ポンプ駆動電動機

出 力	5.5 kW × 6 P
回 転 数	1,200 rpm
定 格	連 続
電 源	DC 220 V × 6.0 ∞

5.3 特 徴

- 1) 油圧シリンダー装着のまま試験片の取付け、取外しが出来るので能率が良い。
- 2) 試験片装着用のピンジョイント作業がピン引抜き装着により10kg以下での力で楽に出来る。
- 3) 装置の保全として、油圧緩衝器と緩衝ゴムを併用して、試験片破断時の反発力を緩衝出来る。
- 4) 超大形への改造が簡単に出来るよう設計されている。

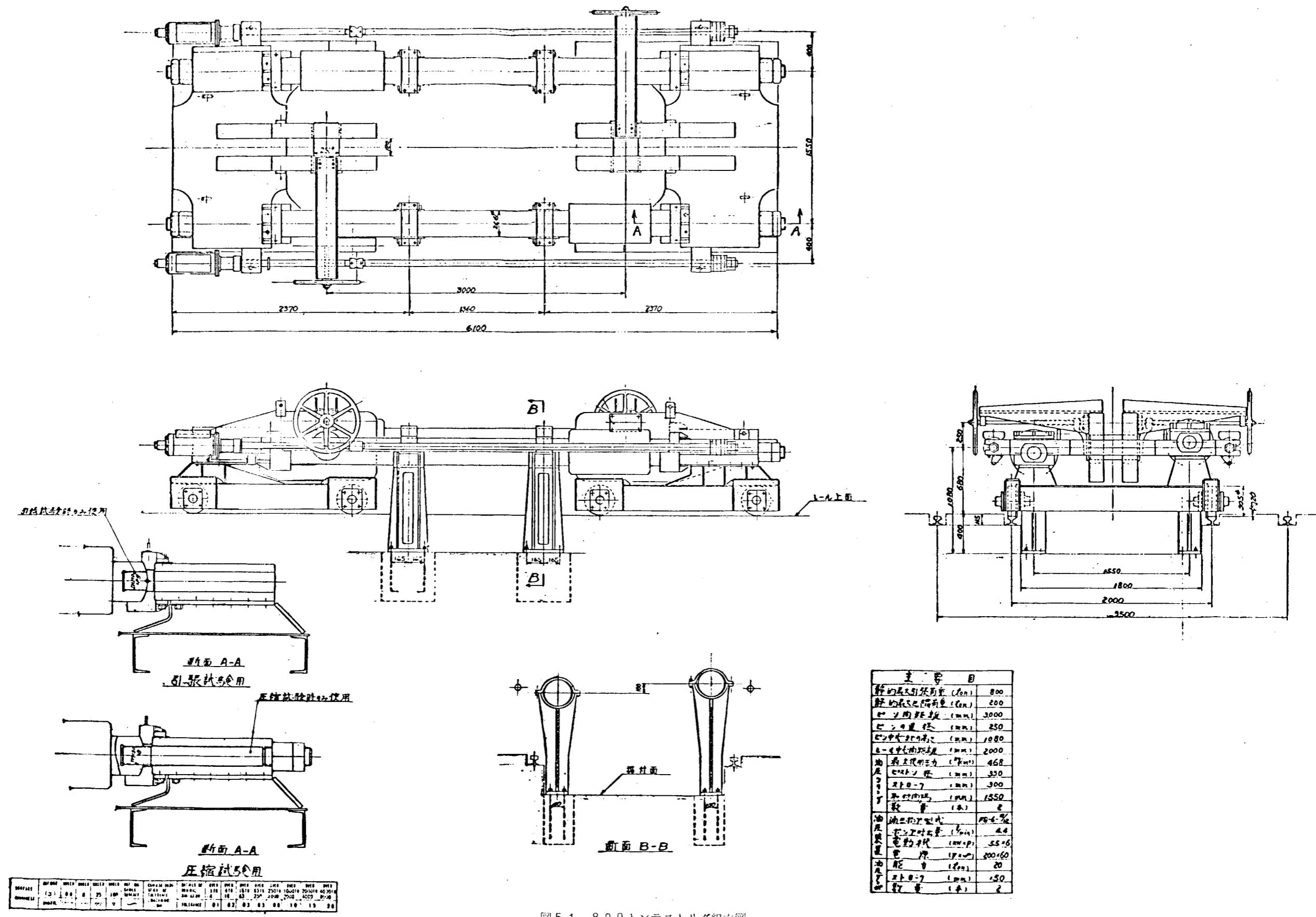


図 5.1 800トンテストリグ組立図

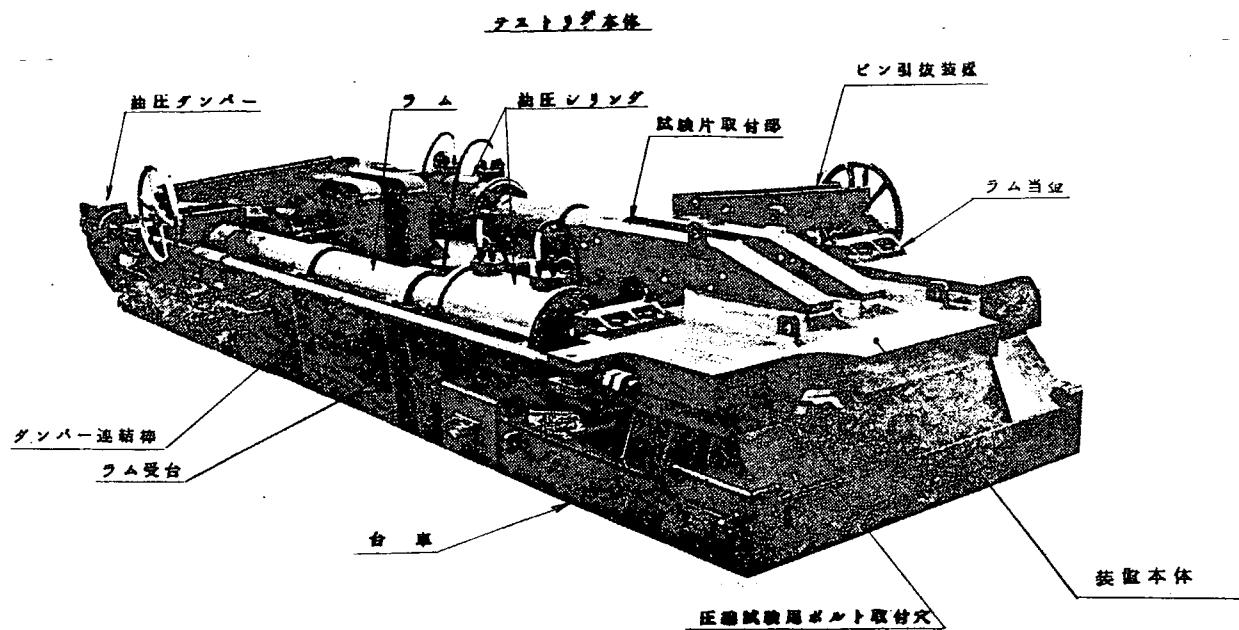


図 5.2 800トンテス

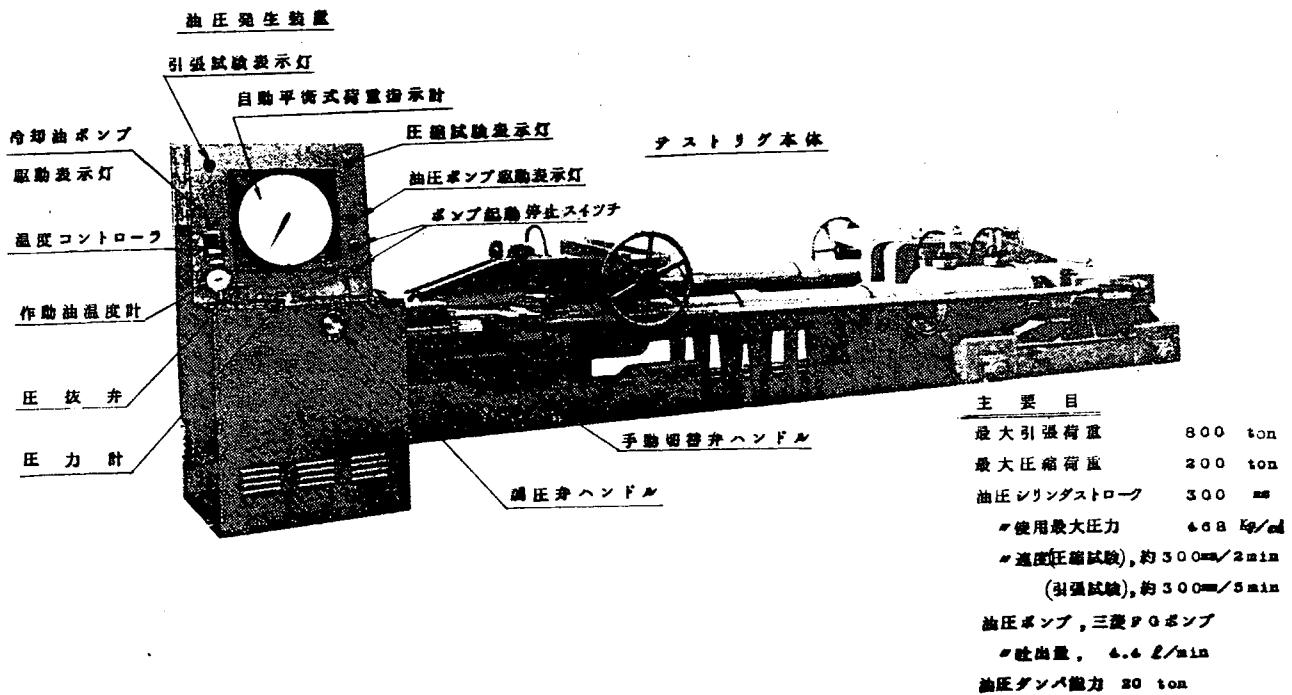


図 5.3 800トンテス

6. む す び

昭和44年度の第1年度は、研究計画の内容から、主としてディープノッチ試験および二重引張試験予備試験、線状ガス加熱加工予備試験、実験設備（800トンテストリグ）の設置ならびに供試鋼板の調達その他の準備段階となつておあり、現在までの試験結果から何らかの確定的結論を引き出すことは時期尚早と考えられる。したがつて本報告書は、研究計画の概要の説明ならびに予備試験結果の報告を内容とするもので、明確な技術的結論については次年度以後に述べることにする。