

呉工業試験場報告

No. 20

October 1977

目 次

一編文一

1. 溶液乾固・ブリケット法によるけい光X線分析法 （その2 鋼鉄の分析）	応和 尚・萩本範雄	1
2. ハンドレイアップFRPの構造材としての特性について	好島芳邦・高崎宗利	5
3. FRPへの超音波探傷器およびGRIND SONICの 応用について	好島芳邦・高崎宗利・畠 稔宣	9
4. 鋼車材料による騒音振動の影響について	蒙広二郎・南良良治	13
5. 火花試験による鋼種の判定について	苅山信行・芳野光利・鶴下隆司	20
6. ステンレス鋼の穴あけ加工における加工硬化層について	山崎隆志	24
7. 軸流送風機におけるケーシングの発生騒音への影響	中塙武之	28
8. 鋼削用簡易自動プログラミングの開発	古池啓介・南良良治・山崎隆志・平田敏明	38
9. 中炭素鋼溶接部の諸性質に及ぼす溶接条件の影響	鈴木一雄	
10. 中炭素鋼溶接における低温割れ防止について	野地英治・鈴木一雄・野地英治・片山義孝	42
11. 中炭素鋼溶接組手の静的強度に及ぼす溶接条件の影響	鈴木一雄	47
12. 丸鋼の超音波探傷試験における探傷感度について	鈴木一雄・野地英治・片山義孝	53
13. 残留オーステナイトと熱処理特性	野地英治・鈴木一雄・横山宏樹	58
14. 金型鋳造による機械部品への適用に関する一考察	鈴木一雄・土取 功・畠 稔宣・鈴田政信	63
15. セメント鋳型回収砂の再生度について	萩本幸則・原 信彦・世良時夫・応和 尚	69
16. セメント鋳型の常温性質に及ぼす回収砂の影響	萩本幸則・原 信彦・世良時夫・小林賢治・原 信彦	73
17. セメント鋳型の高温性質に及ぼす回収砂の影響	森田健次	
18. フラン鋳型の性質について	伊良時夫・小林賢治・渡部英雄・原 信彦	76
19. X線応力測定の機械部品への適用例	森田健次	
抄 約	小林賢治・中村和浩・渡部英雄・酒井隆司	84
	鈴田政信・西川浩成・石田 第	90

広島県立呉工業試験場

抄 錄

興工業試験場報告 (No.20)

金属分析法に関する研究(第4報) 溶接純度・プリケット法によるけい光X線分析法(その2 鋼鉄の分析)

応和尚、成木範雄
一定平面の得られない鋼鉄試料をけい光X線分析する方法について検討した。種々の試料処理法によりプリケットを作成し、ディスク試料と共に、ケイ素、マンガン、リン、イオウ、ニッケル、クロム、鋼のけい光X線分析を行つた。化学分析値との相関係数は、イオウは0.95、その他元素は0.9以上で、ディスク試料と同等の精度で分析できる。又試料1gで上記元素の分析ができる、長時間保存ができるプリケットが得られた。

興工業試験場報告 (No.20) p. 1 ~ 4

ハンドレイアップFRPの構造材としての特性について

好織芳郎、高崎宗利
鋼材、鋳鉄、プラスチック等の物理性を比較した場合、ハイドレイアップFRPは優れた大きさ。そのため構造材の特性としては多くの長所を持ながら根本的な問題を有している。多くの実験から変動を求めたところ構成により大きくなっている。ガラス基材のバラツキへの寄与が大きい。これから設計、工場管理、品質管理の重要性が他の材料より厳しく要求されている。又、ローピングクロスとガラスマットの相対比と万能性について検討した結果、ローピングクロスの比率を高めたもののが必ずしも強度が高いとは言い切れないことを認めた。

興工業試験場報告 (No.20) p. 5 ~ 8

FRPへの超音波探傷器およびGrindo Sonicの応用について

好織芳郎、高崎宗利、但 勝宣
超音波探傷器および回転式試験機を変え組み合いで試験をおこない騒音、振動の影響を受けてFC材の精度劣化を調査した結果、騒音、振動は樹脂材料の腐食振動数の大きいおよび回転式試験機の剛性の違いが影響している。
粒粒試験では一たん騒音、振動ははじめ遅延で小さくなるがその後だんだん大きくなる傾向にある。
FRPへの応用に一応のめどを得たので、更に用途の拡大を図りたい。

鉱車材料による騒音振動の影響について

美江二郎、南良治
鉱車材料および回転式試験機を変え組み合いで試験をおこない騒音、振動の影響を受けて、FC材の精度劣化を調査した結果、騒音、振動は樹脂材料の腐食振動数の大きいおよび回転式試験機の剛性の違いが影響している。
粒粒試験では一たん騒音、振動ははじめ遅延で小さくなるがその後だんだん大きくなる傾向にある。

興工業試験場報告 (No.20) p. 9 ~ 12

興工業試験場報告 (No.20) p. 13 ~ 19

呉工業試験場報告（No.20）

抄 錄

火花試験による鋼種の判定について

丸山信行、芳野光利、鷹下隆司

官能検査の手法を応用して火花試験を行った結果次のことがわかった。

1. 比較判別結果、炭素量の判別は約0.6%までは容易であるが、それ以上の炭素量になると非常に困難である。

2. S 20 C (0.2%C) と S Cr 22 (0.2%C, 1.14%Cr) の比較判別は困難である。

呉工業試験場報告（No.20）p. 20～23

鋼材の被削性に関する研究 ステンレス鋼の穴あけ加工における加工硬化層について

山崎路志

オーステナイト系ステンレス鋼のドリルによる穴あけ加工で工具摩耗に影響を与える加工硬化について実験した結果、切削速度が上昇するにしたがって加工硬化は低下する。逆にこれは高さりほどドリル部は加工硬化は低下するが、切刃、肩部はむしろ高くなる。シンニシング効果は大きい。ドリルねじ角についてほねじれの大きいほど加工硬化は低下する。切削長さについてチゼル部は寿命近くになるにしたがつて加工硬化は増大するがドリル切刃、マージン部がしづかたりしていけば切刃、肩部は大きな差はないなどの結論を得た。

呉工業試験場報告（No.20）p. 24～27

輸送風機におけるケーシングの発生騒音への影響

中塩武之

輸送風機の騒音は、ほく全周波数域の成分が含まれるが、特に回元翼の枚数と回転数を乗じた周波数域の成分が支配的となり、その性状は純音なものである。純音としての動翼がダクト内でのケーシングの中に入れば、純音性状と相まって、特定の回転数でダクト個別の共振振動数と共振するはずである。そのため、回元翼の上昇に伴って発生騒音は断続し上昇すると考えられる。しかし、一般的には回元翼と共に騒音は指數乗則に従って上昇すると云われており、ダクトの影響を無視している。本実験は実機のケーシングの音響特性を求め、運転における各回元翼の騒音を計測し比較検討したものである。その結果、運動する傾向は認められ、さらにそれはダクトの共振と関係があると思われる点があった。

呉工業試験場報告（No.20）p. 28～37

N C 加工技術に関する研究（第2報） 旋削用簡易自動プログラミングの開発

吉池裕介、南良良治、山崎路志、平田敏明、鶴一雄
中小企業で容易に使用できるミニコンピュータ（FACOM U-200）を用いた簡易な旋削用の自動プログラミングシステムを作成した。このシステムは現場作業者にしなじみ易いものとするため、対話形式に準じた形とし、データは加工すべき形、直角長さ等を入力するようとした。そのため全体構成としては各種形状を処理するサブルーチン、各サブルーチンを処理するメインルーチン、各サブルーチンから成る。これら用いる演算ルーチンから成る。使用コア数は約5500語程度であるが、この程度のシステムでも一般の旋削加工の部分がカバーできる。

呉工業試験場報告（No.20）p. 38～41

員工業試験場報告 (No. 20)

抄録

炭酸ガスアーカー溶接法の中炭素鋼への適用に関する研究(第1報)

中炭素鋼溶接部の耐性質に及ぼす溶接条件の影響

野地英治、飼田政信、畠 勝宣、片山義孝

中炭素鋼材料の溶接に炭酸ガスアーカー溶接法の適用をはかるため、水素の割れに及ぼす影響、割れの種類、溶接諸条件の割れ、ビード形状に及ぼす影響を求めた。

その結果、割れは溶接熱影響部の低塑性割れが主で、発生現象は非常に単純である。

また、その防止に關して水素の影響、後熱、溶接電流、予熱の効果等基本的事項を判明し、本溶接法が適用できる見通しがついた。

炭酸ガスアーカー溶接法の中炭素鋼への適用に関する研究(第2報)

中炭素鋼溶接維手の静的強度に及ぼす溶接条件の影響

飼田政信、畠 勝宣、野地英治、片山義孝

炭酸ガスアーカー溶接法を中炭素鋼に適用するため溶接維手の静的強度におよぼす溶接条件の影響について実験した結果、引張強さには溶接ワイヤが、曲げ試験における表面伸びには溶接ワイヤと後熱の選定が重要であることがわかった。引張試験において溶着金属の引張強さが母材のそれより底くとも断手として引張強さは母材の極に近づいた。曲げ試験で溶着金属と熱影響部の表面伸びに分離して分散分析を行った結果、溶着金属の表面伸びには溶接ワイヤの強度が大きく影響し、熱影響部の表面伸びには後熱が有効で 650°C の後熱で十分な延性がある。

炭酸ガスアーカー溶接法の中炭素鋼への適用に関する研究(第3報)

中炭素鋼溶接維手の衝撃強度に及ぼす溶接条件の影響

飼田政信、畠 勝宣、野地英治、片山義孝

炭酸ガスアーカー溶接法を中炭素鋼に適用するため溶接維手の衝撃強度に及ぼす溶接条件の影響について実験した結果、衝撃強さが溶接条件によっては約 2 倍の差異が得られた。

(1) 表面アラサが $5 \mu \sim 15 \mu$ 程度の仕上げ精度の良い材料でも、衝撃強度が悪くなる。

(2) 溶接条件が小さくなるほど衝撃強度は悪くなるが、 $\phi 40$ 程度でも、採用は可能である。

(3) 周波数は 5 MHz が最も良く、 10 MHz では悪くなる。

(4) 採用アラサの影響は、周波数との交互作用があり、 3 MHz と 5 MHz では、 ϕ 20 が最も、 10 MHz では $\phi 40$ が良い。

員工業試験場報告 (No. 20) p. 58 ~ 62

炭酸ガスアーカー溶接法の中炭素鋼への適用に関する研究(第2報)

中炭素鋼溶接ににおける低温割れ防止について

畠 勝宣、野地英治、飼田政信、片山義孝

炭酸ガスアーカー溶接法を中炭素鋼に適用するため低温割れ防止に關する溶接条件の影響について実験した結果、被溶接物の収縮量が削除止子熱加熱度や溶接条件に大きく影響した。溶接部の低温割れを防止するには、溶接入熱を高くして、予熱温度を適切に選定することが必要である。まだ溶接部に働く拘束力が高い場合には、特に予熱温度が重要であることがわかった。

員工業試験場報告 (No. 20) p. 47 ~ 52

丸鋼の超音波探傷試験における探傷感度について

野地英治、畠 勝宣、片山義孝

小管も鋼の径と表面アラサの探傷感度に及ぼす影響と探傷条件を見出すため、周波数、探触子径、接触距離の検討を行なった。その結果主に次のような結論が得られた。

(1) 表面アラサが $5 \mu \sim 15 \mu$ 程度の仕上げ精度の良い材料でも、探傷感度が悪くなる。

(2) 試験片が小さくなるほど探傷感度は悪くなるが、 $\phi 40$ 程度でも、探傷は可能である。

(3) 周波数は 5 MHz が最も良く、 10 MHz では悪くなる。

(4) 探触子径の影響は、周波数との交互作用があり、 3 MHz と 5 MHz では、 ϕ 20 が最も、 10 MHz では $\phi 40$ が良い。

員工業試験場報告 (No. 20) p. 58 ~ 62

県工業試験場報告 (No.20)

抄 錄

残留オーステナイトと熱処理特性

鈴木 寛、土取 効、畠 繁直、前田政信

ゲージ鋼のSKS3とSKS31について残留オーステナイトと熱処理特性について実験を行なった結果はつきのとおりである。

SKS3とSKS31の素材焼成物の大さきがM₀点、未溶解化物量、熱入れかたさに与える影響は大きい。残留オーステナイト量はオーステナイト化温度と冷却速度に大きく影響されるがM₀点エンジンチル温度は小さい。冷却速度が遅いほど残留オーステナイト量は多いが、残留オーステナイトの安定化に影響せず、その後のサブゼロ効果も大きい。筋もどしは残留オーステナイトは大きくなる。

県工業試験場報告 (No.20) p. 63~68

金型焼造による機械部品への運用に関する研究(第3報)

金型焼造に関する一考察

橋本幸則、原 信彦、世良時夫、応和 謙
金型焼造で汎用の樹脂樹脂について実験をこなした。溶融成分は共晶、垂直成分は共晶、横断成分は共晶、さらに練込温度を1350, 1300, 1250°Cと変えて樹脂の性質を調査をさせ、さらに練込温度を1350, 1300, 1250°Cと変えて樹脂成分を変化させ、さらに練込温度を1350, 1300, 1250°Cと変えて樹脂成分を変化させ、さらに練込温度では1350°Cで、押上、落込み等込んだ結果、製品のできあがえは、共晶成分の割合では1350°Cで、落込み等込んだものが良好な結果を示した。また、垂直成分の割合については1350°Cで、落込み方式によるものが製品のできあがえはよくなかった。
冷却速度は1300°Cで、落込み方式によるものが製品のできあがえはよくなかった。
冷却速度は1300°Cで、落込み方式によるものが製品のできあがえはよくなかった。
冷却速度は1300°Cで、落込み方式によるものが製品のできあがえはよくなかった。
冷却速度は1300°Cで、落込み方式によるものが製品のできあがえはよくなかった。
冷却速度は1300°Cで、落込み方式によるものが製品のできあがえはよくなかった。

県工業試験場報告 (No.20) p. 69~72

自硬性鋳型に関する研究(第9報) セメント鋳型の常温性質に及ぼす回収砂の影響

世良時夫、小林賀治、新井英樹、原 信彦、前田耕次
実験室において作製した回収砂及び再生砂と工場回収砂の放置時間、表面安定度(SST)、通気度から常温性質を検討した結果は次のとおりである。
回収砂、熟式再生砂に付着したセメント分は圧延強さに寄与しているが水分添加量を増す必要がある。熟式再生砂は最も新砂に近い性質を示した。工場回収砂による再生処理条件の違いは放置強度に大差がなかった。
回収砂、熟式再生砂のSSTは新砂配合と同程度か又はすぐれている。通気度は新砂配合砂に比べて異なる傾向にあること等を得た。

またこれららの試験結果により再生砂を比較すると、熟式再生砂が熟式再生砂よりすぐれている。

県工業試験場報告 (No.20) p. 73~75

県工業試験場報告 (No.20) p. 76~80

興工業試験場報告 (No.20)

抄

録

自硬性鉄型に關する研究(第10報)

セメント鉄型の高温性質に及ぼす回収砂の影響

原 信達、世真夫、小林賀治、柳原英輔、森田健次
超速硬セメント鉄型回収砂の残留セメント分の測定法及び常温性質については、前報(第8、第9報)において報告したが、今回は高溫性質について検討するとともに回収試験をおこない、つきのとおりの結果を得た。

1) 热間強度は、常温強度の高い配合砂が全般に高い値を示したが、700°C以上では强度の低下は著しかった。

2) 炙熱強度は、残留セメント分の多い100°Cで焼成した回収砂及び再生砂は强度が小さく(1%前後)そく他のものは新砂に近い値(1.5~2%)を示した。

3) 焼成試験の結果は、高品位の砂も中品位の砂も大差なく、回収砂の強度は多かったが再生處理をおこなうことにより、強度は減少した。

興工業試験場報告 (No.20) p. 81~83

自硬性鉄型に關する研究(第11報) フラン鉄型の性質について

小林賀治、中村和清、深部英輔、酒井隆司
常温自硬性鉄型用粘結剤として、水ガラス系が近年から多量に使用され、現在に至っている。しかし、陥砂による廻取砂が増加され急速にフラン粘結剤を主成分にした造型法が各工場で行なわれ始めた。90%以上の回収効率で、省資源、対公害等の効力が行なわれているが、各工場とも回収砂の管理に悩まされている。本研究では鉄型の性質を調べるために、回収砂の性質を判断するうえで、酸消費量、pH值、LOIの測定が重要な項目であり特にLOIと砂の選択性は強度発現に大きな影響を与えるとともに現場造型を左右することが判った。

興工業試験場報告 (No.20) p. 84~89

X線応力測定の機械部品への適用例

瀬田政信、西川亮成、石田 順
X線応力測定の機械部品への適用例として、鍛造部品の応力除去などにX線の確認と、ポンプ用シャフト直の原因調査をおこなった。
応力除去など効果については、軸道のままのものと応力除去能などをしてしたものが形狀と残留応力の経時変化を調べた結果、応力除去能なしの効果が認められた。
ポンプ用シャフト直については、残留応力を測定することにより、その原因が、鍛造か固溶化熱処理にあることがわかった。

興工業試験場報告 (No.20) p. 90~94

金属分析法に関する研究（第4報）

溶液乾固・ブリケット法によるけい光X線分析法 (その2、鉄鋼の分析)

応和尚、藏本範雄

1. 緒言

鉄鋼の分析試験は通常は化学分析法により行われる。しかし最近は分析機器の発達により、種々の方法で迅速分析が行われるようになってきた。けい光X線分析もその一つである。しかし通常はブロック試料より一定形状に切り出し、測定面をベルトサンダー等で研磨して、各元素のX線強度を標準試料と共に測定して分析を行う。

今回の実験では、一定平面の得られない試料をけい光X線分析する方法について検討した。前報¹⁾でブリケットの基本的な作成法について報告したが、本実験では鉄鋼の切削試料について分析試験を試みた。種々の試料処理法によりブリケットを作成し、ディスク試料と共にX線強度を測定し、化学分析値との相関を求めた。相関係数はディスク試料と同等で、最低でも0.95以上、危険率1%で有意な方法が得られたので報告する。

2. 実験方法

2.1 試料および試薬

鉄鋼試料は検量線用として、高周波誘導溶解炉で調整したもの6試料と、スクラップの中よりランダムに14試料、合計20試料を採取し、ディスク試料と切削試料を調整して化学分析したものを使用した。なおディスク試料はすべてベルトサンダー#80で研磨した。また試薬はすべて市販の特級品を使用した。

2.2 装置および測定条件

使用したけい光X線分析装置および測定条件は表1のとおりである。粉碎は吉田製作所のシェーキングミルで行い、アルミリングは5×40φを使用した。

2.3 ブリケット作成法

2.3.1 A法 試料1gを200mℓビーカーに精粹し、塩酸カリウム1gを添加する。硝酸30mℓを加え、時計皿で蓋をして、水で冷却しながら塩酸20mℓを徐々に加えて分解する。完全に溶解後、砂浴上に移して乾固する。放冷後、塩酸5mℓを加えて乾固物を溶解し、注意しながら燃付かない様に砂浴上でかるく乾固する。炭酸バリウム5gを添加してガラス棒でかきまぜ、純水3mℓでねり合せ、時計皿にとり出す。以下A法と同様にしてブリケットを作成する。

表1 装置および測定条件

けい光X線分析装置	理学電機社製 KG-X型
X線管球	フィリップス社製 W, Cr
電圧, 電流	50KV, mA
分光結晶	LiF : Mn, Ni, Cr, Cu
分析線	EDDT : Si
検出器	Ge : P, S
波高分析	各元素共Kα線(n=1)
計数時間	SC, FPC
計測器の倍率	ベースライン : 80
試料マスクの直径	チャンネル : 240
	40秒
	X1, (ディスク試料のMnはX8)
	ブリケット試料 : 38φ
	ディスク試料 : 25φ

かかるく乾固する。炭酸バリウム5gを添加してガラス棒でかきまぜる。続いて過酸化水素水(3%)3mℓでねり合せ、時計皿に取り出して電気定温乾燥器に入れ、110℃で2時間以上乾燥・酸化する。放冷後、ステアリン酸0.8gを添加してシェーキングミルで微粉砕し、アルミリングを用いて全圧20tで加工成型してブリケットを作成する。

2.3.2 B法 A法と同様に溶解し、ガラス棒でかきまぜながら水浴上で乾固する。以下A法と同様に操作してブリケットを作成する。

2.3.3 C法 試料1gを200mℓビーカーに精粹し、塩酸カリウム1gを添加する。硝酸30mℓを加え、時計皿で蓋をして、水で冷却しながら塩酸20mℓを徐々に加えて分解する。完全に溶解後、砂浴上に移して乾固する。放冷後、塩酸5mℓを加えて乾固物を溶解し、注意しながら燃付かない様に砂浴上でかるく乾固する。炭酸バリウム5gを添加してガラス棒でかきまぜ、純水3mℓでねり合せ、時計皿にとり出す。以下A法と同様にしてブリケットを作成する。

3. 結果と考察

鉄鉱の切削試料 20 種を A 法, B 法, C 法によりブリケットを作成し、ディスク試料と共に各元素の X 線強度を測定した。そして化学分析値との相関係数を求めた結果を表 2 に示し、0.1% (ケイ素、マンガンは 1%) 当りの X 線強度として表 3 にまとめた。

表 2 化学分析値との相関係数

試料 元素名	ディスク	ブリケット A	ブリケット B	ブリケット C
ケイ素	0.997	0.930	0.991	0.959
マンガン	0.999	0.982	0.998	0.994
リン	0.979	0.986	0.999	0.994
イオウ	0.953	—	—	0.950
ニッケル	0.994	0.985	0.998	0.989
クロム	0.999	0.998	0.999	0.998
銅	0.999	0.994	0.992	0.998

表 3 各元素 0.1% 当りの X 線強度 (C.P.S)

試料 元素名	ディスク	ブリケット A	ブリケット B	ブリケット C
ケイ素	4.05	1.15	9.0	4.1
マンガン	12.145	9.46	8.88	7.91
リン	5.77	1.35	1.32	1.14
イオウ	6.03	—	—	1.98
ニッケル	1.385	7.29	6.57	6.85
クロム	1.528	1.89	1.98	1.80
銅	11.40	5.74	5.48	5.70

但しケイ素、マンガンは 1%

A 法は砂浴上で乾固するため短時間で乾固できる。しかしケイ素の脱水が一定とならないため、ケイ素がバラツキものと思われる。イオウは硫化水素となって逃出し、定量することができない。他の元素はディスク試料と大差なく分析することができる。

B 法はケイ素のバラツキを小さくするため水浴上で乾固した。ケイ素の化学分析値との相関係数は 0.991 となり、大きく精度が向上した。そしてイオウを除く他の元素についても、ディスク試料と同等の相関係数が得られた。リンはディスク試料よりも精度よく分析できる。

C 法はイオウを分析する目的で行った実験である。イオウについてはディスク試料と同等の相関係数が得られ一応目的が達成された。しかしケイ素を中心に全体的に相関係数が下がり、乾固に最も長時間を要する。

以上の結果、イオウを除く元素は B 法が適当で、イオウは C 法以外は分析できない。次に最適ブリケット作成法の B 法 (イオウは C 法) における分析結果を図 1 ~ 図 7 に示す。

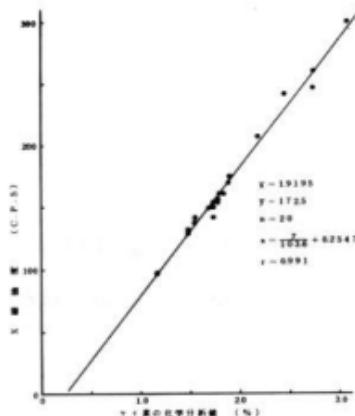


図 1 ブリケット B によるケイ素の定量

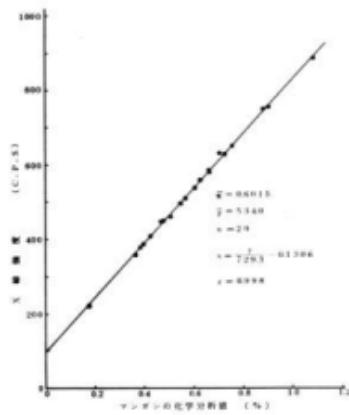


図 2 ブリケット B によるマンガンの定量

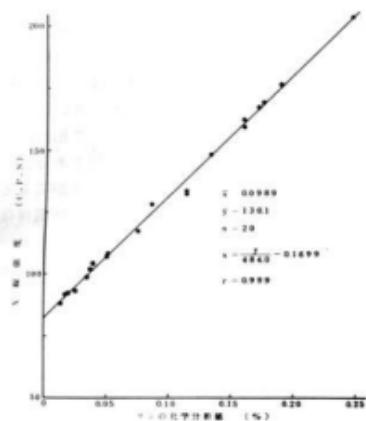


図3 プリケットBによるリンの定量

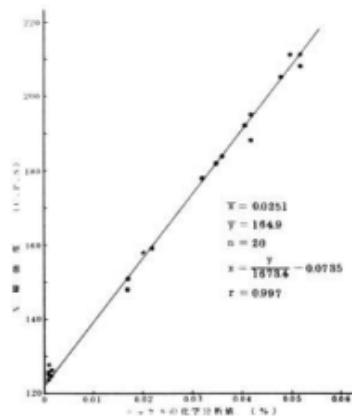


図5 プリケットBによるニッケルの定量

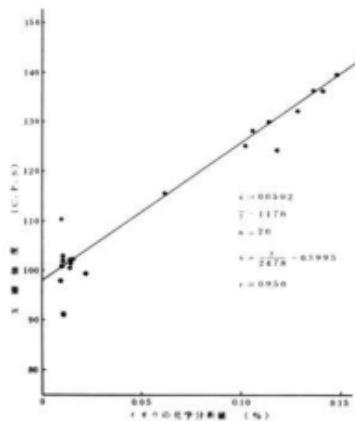


図4 プリケットCによるイオウの定量

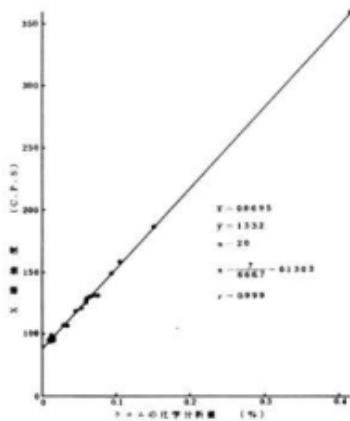


図6 プリケットBによるクロムの定量

4. 結 言

鉄鉱石の切削試料をけい光X線分析する方法について研究し、次のような結果が得られた。

(1) ケイ素、マンガン、リン、ニッケル、クロム、銅はB法によるブリケットで化学分析値との相関係数が0.99以上で分析できる。イオウはC法で分析できるが他の元素に比べてバラツキが大きい。

(2) X線強度はディスク試料に比べて相当に下がる。しかし通常の分析においては充分である。

(3) 標準添加法による分析を行うことができる。

(4) ブリケットはデシケーター内で長期間保存でき、後日の参考試料とすることができます。

(5) 試料1gではほとんどの元素を分析することができる。

おわりに本研究に対して御協力をいただいた当場の関守雄研究員、好満芳邦研究員に謝意を表します。

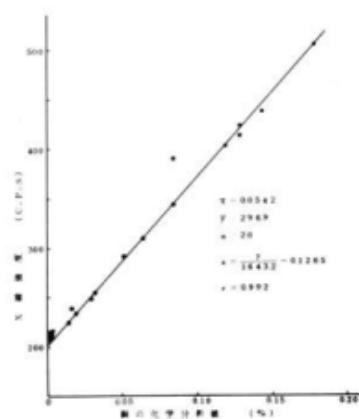


図7 ブリケットBによる銅の定量

この実験は各方法共、1試料につき1個のブリケットを作成し、各元素共K_α線($n=1$)のX線強度を3回測定し、中央値を採用した。1試料につき数回のブリケットを作成すれば、もっと精度は向上するものと思う。

文 献

- 1) 応和、藏本：本報告19(1977) 64
- 2) JIS G1255-1977
- 3) JIS G1256-1973
- 4) 日本学術振興会製鋼第19委員会編：
鉄鋼化学分析全書4 日刊工業(1963),
233

アラスチック成形と手押成形法(9報)

ハンドレイアップFRPの構造材としての特性について

好満芳邦, 高崎宗利

1. 緒言

FRPの構造的特性については現在多くの資料があり、あらためて述べる必要もない。それ故に構造材、半構造材としての用途が拡大し成形法も多方面に発展している。¹⁾しかし、その主流はハンドレイアップ(手押法)であるために、筆者らが従来指導・相談等を引き受けた限りにおいて、自社製品の品質評価、管理に対する取組みの不足が痛感され、FRPは強化プラスチックであるから当然強いといった観念に支配されがちで、例えば、非強化プラスチックの場合よりも工程管理がざんになりがちである。強度特性が売りものであるFRPでありながら、そこに注意が払われないという妙な現象が発生している。これは県下業界の企業体質にも原因があるが、一部の企業の不注意がFRP材料の真の価値をそこなわせ他へ悪影響を及ぼすことは将来の県内FRP業界にとって不幸なことであり、売価ダウン、用途閉塞等の一因になりかねない。又、同業界は射出成形業界等のプラスチック業界と同等あるいはそれ以上に材料費ウエイトの高いことが経営面のプレッシャーであり、材料についての検討も急務であろう。このような背景に立ち、多くの実験データからハンドレイアップFRP材料のもつ特殊性を拾い出し、他材料とどのように異なるかを周知させる目的に沿って報告をまとめたので参考に供したい。今回は主として初期強度について述べる。

2. 試料と実験方法

2.1 試料

実験に供した試料は各種プラスチックと筆者らがハンドレイアップ法により成形したFRP板で内訳については下記に示すとおりである。

ガラス繊維: ガラスロンクロスRH600F(旭ファイバーグラス)
マイクロガラスチョップドストラン

ドマットEMG450(日本硝子繊維)
不飽和ポリエステル樹脂: ポリセッタPS595P

3(日立化成)

配合: レジン 100部 喰媒(MEKPO) 1部

促進剤(ナフテン酸コバルト) 0.5部

構成: (M:マット, R:ローピングクロス)

R, R+R, R+R+R, R+R+R+R, M, M+M, M+M+M, M+M+M+M+M, M+R, R+M+R, M+R+R, M+M+R, M+R+M+R, R+M+R+M+R, M+R+R+R+R, R+M+M+R, R+M+M+M+R, 樹脂注型板, 10%三酸化アンチモン添加樹脂注型品

尚、ガラス含有率の微妙なバラツキをなくすため、積層時一定したロールかけの出来る状態にしたところ50%含有率を示したので統一して成形した。(結局50±2%)

その他のプラスチックス: フェノール樹脂(PF-LCM), 硬質塩化ビニル樹脂, 高密度ポリエチレン, 低密度ポリエチレンを比較のために使用した。

2.2 実験方法

2.2.1 ハンドレイアップFRPの材料としての特性の検討

JIS法(JIS K 6911他)に準拠して引張および曲げ試験を行い材料特性について検討した。FRPは複合材であり補強基材としてのガラス繊維においては方向性があるため繊維方向と中立(45°)方向について試験を行った。尚、材料特性として強度特性と変動の両者にスポットをあてて追及した。

2.2.2 ローピングクロス積層比率(構成)の強度に及ぼす影響と派生する問題の検討

一般にローピングクロスはマットの約2倍の強度を具現し、積層厚さの関係は逆になるが、クロスは方向性を有するため強度面で一般論をうのみに出来ない。

定量的に判断するための実験として各種ローピングクロス積層比率の試験板を作成し繊維方向および

45°方向における引張試験を行い相関を検討した。

3. 実験結果と考察

3.1 ハンドレイアップFRPの特性

構造用材料としての鋼材、鉄の実測値（当場金属部）の一例と代表的プラスチックの試験結果を表1にFRPとの比較という形で載せた。FRPの欄は20種類の構成品の種類ごとにまとめたものからそれぞれ最低値および最高値を拾って示したものであるが、これから変動が広く分布するFRPの特徴

が明確に認められる。変動の要因は一般的にガラスマットのバラッキから来ると言われている²⁾が、本実験においてはガラスマット、ローピングクロスとも変動係数的には差異を認めなかった。ただし、ローピングクロスを含有するFRPの45°方向の変動は小さいことを認めた。いずれにせよ、ハンドレイアップ成形法によりFRP製品を製造する際の基本的課題は如何に変動要因を抑えて適確にコントロールしてゆくかといった管理技術に左右される。

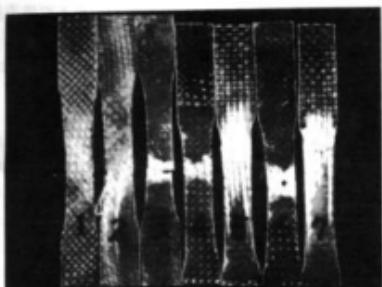
表1 各種材料とFRPとの物性比較

強度・弾性率ともに kgf/mm² (KN/mm²)

材料 特性	鋼 引張 強さ E _T 引張 弹性 率 s c	鋼 (スチール) n 22.0 ~ 24.5 σ _T 23.5 s e	鋼 (PF-LCM) n {0.22} ~ {0.24} {0.46} {0.46} 5.7 0.6 1.4	PVC (硬質) n {0.045} ~ {0.046} {0.046} 5.7 0.6 0.6	HDPE LDPE n {0.056} ~ {0.057}	不飽和ポリエチレン (単体) n 1.3 ~ 1.4 {0.013} {0.014}	同 左 (SbO ₃ 10% 添加) n 1.9 ~ 2.7 {0.019} {0.026}	FRP (ハンドレイ アップ) n 6.5 ~ 30.5 {0.064} {0.30}
	n	8	17	5	5	—	3	3~6
引張 強さ	E _T	22.0 ~ 24.5 σ _T	43.0 ~ 52.0 {0.42} {0.24}	4.6 ~ 4.7 {0.045} {0.046}	5.7 ~ 5.8 {0.056} {0.057}	1.3 ~ 1.4 {0.013} {0.014}	1.9 ~ 2.7 {0.019} {0.026}	6.5 ~ 30.5 {0.064} {0.30}
引張 弾性 率	E _T	23.5 s c	47.5 2.7 5.7	4.7 0.6 1.4	5.8 0.6 0.6	1.4 {0.014}	4.5 {0.045}	2.3 {0.022}
引張 弾性 率	E _T	n	5	5	5	5	4	3
引張 弾性 率	E _T	E _T	750 ~ 800 {7.35} {7.84}	290 ~ 310 {2.84} {3.04}	110 ~ 150 {1.08} {1.47}	470 ~ 510 {1.08} {5.00}	410 ~ 430 {4.61} {4.21}	1150 ~ 1820 {11.3} {17.8}
引張 弾性 率	E _T	E _T	780 25.6 3.3	300 8.81 2.9	130 15.9 12	490 16.0 3.3	420 10.0 2.4	—
曲げ 強さ	E _B	n	4	4	4	16	6	6~15
曲げ 強さ	E _B	E _B	16.7 ~ 17.2 {0.16} {0.17}	9.3 ~ 9.5 {0.091} {0.093}	3.1 ~ 3.3 {0.030} {0.032}	43 ~ 11.4 {0.042} {0.11}	31 ~ 6.7 {0.030} {0.069}	14.0 ~ 48.0 {0.14} {0.47}
曲げ 強さ	E _B	E _B	16.9 0.22 1.3	9.4 0.082 0.090	3.2 0.096 3.0	7.0 1.8 2.5	4.9 1.2 2.5	— — 22~22
曲げ 弾性 率	E _B	n	5	5	4	5	6	—
曲げ 弾性 率	E _B	E _B	770 ~ 800 {7.55} {7.84}	310 ~ 320 {3.04} {3.14}	240 ~ 260 {2.35} {2.55}	32 ~ 42 {0.31} {0.41}	320 ~ 610 {3.14} {5.98}	720 ~ 1800 {7.06} {17.6}
曲げ 弾性 率	E _B	E _B	7.90 15.2 1.9	310 4.4 1.4	250 9.2 3.7	36 4.2 1.2	420 7.1 1.7	390 7.5 1.9
			s : 標準偏差	C : 変動係数				

3.2 ローピングクロス積層比率と強度の相関

写真1からローピングクロスの方向性が明瞭に認められる。繊維方向に切り出した試験片の破断状態はほぼ全体に応力が分散した状態を示しているが、45°方向のそれはガラスマットと同様に局部的である。



1,2 : R+R+R, 3 : M-M-M, 4,5 : R+M+M+R
6,7 : R+M+M+M+M+R
(R : ローピングクロス, M : ガラスマット)

写真1 FRPの構成および繊維方向による破断状況

る。ローピングクロスの比率と強度との相関は表2および図1に示すように繊維方向については正の相関を、逆に45°方向については負の相関を示し、長短裏腹一体となって具現している様子が興味深い。45°方向においてマットだけの値を採用していないが、これは0.3未満の比率部分の挙動について不明であること、実用的に余り意味を持たないためである。これらのことから理論的に導かれる補強効果³⁾と実際の成形品の総合評価との間にはかなりの差が生じると考えられる。又、表2の旅りの部分に弾性率と強さとの相関および回帰を示したが、これは理論強さはヤング率の10分の1であるという定説⁴⁾を引用し、現実的には理論強さはごく限られたものに適用されるだけに過ぎないが、説の根拠となる弾性率と強さの間に正の相関があることを認めた。統計的に資料を整理してゆくことにより、例え弾性率だけ知ればその強さを推定することもかなりの水準で可能となるだろう。

表2 ローピングクロス積層比率と強さおよび弾性率との相関
(数値は平均値を示す。)

機械的性能 (x_4)	引張強度 (kgf/mm ² [KN/mm ²])		引張弾性率 kgf/mm ² [KN/mm ²]
	繊維方向	立(45°) 方 向	
R/R+M = 0	9.2 {0.090}		1200 {11.8}
0.3	20.0 {0.20}	13.4 {0.13}	1240 {12.2}
0.4	20.0 {0.20}	12.9 {0.13}	1380 {13.5}
0.5	23.3 {0.23}	13.4 {0.13}	1500 {14.7}
0.7	26.7 {0.26}	10.8 {0.10}	1630 {16.0}
1	30.5 {0.30}	6.2 {0.061}	1690 {16.6}
*の変動 S(xx)	0.5883	0.3080	0.5883
yの変動 S(yy)	266.99	37.6320	203400
xyの変動 S(xy)	12.152	-32.460	3290
相関係数 r	0.9696	-0.9534	0.9511
引張強さと引張弾性率の相関と回帰	相関係数 (x)(y)	回帰係数	回帰直線
性率との相関と回帰	0.9076	25.05	y=25.05x + 898.5

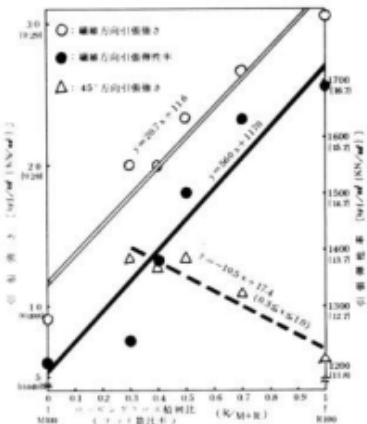


図1 ローピングクロス積層比(x_i)と強度(y_{ij})との回帰直線

4. 結論

ハンドレイアップ法によるFRPの積層成形についてその材料としての特性の一部に触れたが、強度の変動が場合により非常に大きくなることを認めた。そのことが多くの優れた特徴を有するFRP⁵⁾を構

造材料として生かす場合に問題となる。又強いと言われるローピングクロスも方向性が強いために設計時に留意が必要である。JIS法による試験の結果がそのまま製品にあてはまるかどうかは疑問であるが、他の材料との比較において不利であることはまぬがれない。しかしながら、本来のFRPの良さを市場に伸ばしてゆくためにはそうしたハンディキャップを克服する冷静な技術力の向上を業界に要望したい。本実験により、FRPを構成する補強基材の物性に及ぼす影響が、定量化し得ることにより、FRP材料の設計、企画等の指導に有益と考えられる。

文 献

- 1) 強化プラスチック技術協会編：強化プラスチックハンドブック（改訂版） 123-223
- 2) 日東紡績株式会社：NITTOBO GLASS FIBER NOTE 105 FRP漁船への条件
- 3) 大阪市立工業研究所プラスチック読本編集委員会：プラスチック読本 277-279
- 4) 金丸義：材料物性工学 工業材料の科学 190-193
- 5) 強化プラスチック技術協会編：強化プラスチックハンドブック 1-11

F
半か
中心に
は従来
が所で
波探
つたた
品質で
かけね
342
Son
ベル
同じ
の結

2.
2.
往

1)
2)
3)
4)

5.

6.

7.

8.

F
1

プラスチック成形とその応用(第1回報告)

FRPへの超音波探傷器および GRINDO SONICの応用について

好満芳邦, 高崎宗利
畠 德宣

1. 緒 言

FRPの非破壊検査については昭和40年代の前半から東京大学工学部船舶工学科 竹鼻三雄教授を中心開発が急ピッチに行われてきた。^{1),2)} 原理的には従来の鉄鋼用のものと同一であることから、当場が所有している三菱電機製 FD180 形高性能超音波探傷器によりどの程度のこととを識別出来るかといった点を中心に、現在FRP業界で立ち遅れている品質管理にどのように応用出来るかという主題をかけ検討した。又、清水が「セラミックス」11(4) 342-347 (1976) で紹介している³⁾ Grindo Sonic (J.W. LEMMENS-ELEKTRONIKA社-ベルギー) をFRPの弾性率を計測する形で応用し、同じく品質管理への応用について検討した。それらの結果、貴重な知見を得たので報告する。

2. 試料と実験方法

2.1 試 料

2.1.1 超音波探傷用試料

注型品

- 1) 不飽和ポリエスチル樹脂
 - 2) 不飽和ポリエスチル樹脂 + CaCO₃ (10%)
 - 3) 不飽和ポリエスチル樹脂 + SbO₃ (10%)
 - 4) 不飽和ポリエスチル樹脂中にガラスマット一層
 - 5) 不飽和ポリエスチル樹脂中にローピングクロス一層
 - 6) 不飽和ポリエスチル樹脂中にガラスマット二層
 - 7) 不飽和ポリエスチル樹脂中にローピングクロス二層
 - 8) 不飽和ポリエスチル樹脂中にガラスマット一層 + ローピングクロス一層
- FRP (ガラス含有率 30%)
- 1) ガラスマット 16 層積層品

2) MRM RM RMRM RMRM RMRM RMRM RMRM RMRM 25 層積層品

(M: ガラスマット R: ローピングクロス)

2.1.2 Grindo Sonic 用試料

これには多種類の試料を予備実験に供したが、本報告ではFRP製小型船舶検査用試験板から各種寸法の試験片を作成したものを取り上げた。

(形状: 直方体)

2.2 実験方法

2.2.1 超音波探傷

予備実験の結果次の条件を決定した。

- 1) 探触子: 分割型 1 (2.5) Z 20 ND-G
- 2) 周波数: 1, 2 ならびに 5 MHz
- 3) 接触媒質: グリセリン (20%水溶液)
- 4) リジェクション: OFF, PE: 1
- 5) 音速: ガラス中実測値 5.625 km/S
試料中実測値 2.656 km/S

2.2.2 Grindo Sonic (G.S. と略称)

計測原理は簡単で試料にセンサーをあてハンマーでたたけば固有振動における周期の2倍の時間をマイクロセカンドディジタル表示する。^{3),4)}

ビトリファイド砥石については詳細な資料からプログラムが組まれているが、FRP等のプラスチック系材料では固有振動数を計測してもそのまま砥石のプログラムにあてはめることは出来ない。文献^{5),6)}から整理検討した結果次に示す導入式により一般式を求め小型電算器(ポケットタイプ) HP-65にプログラミングして弾性率を計算した。

棒の横振動において、自由両端の場合、G.S.に適用されている単純振動様式(上音1)で考えると、固有振動数: f₁, 棒の長さ: l, 密度: ρ, ヤング率: E, 回転半径: K (方形断面の場合, K = h/√12 h : 振動する方向の棒の厚さ)とおくと、

$$f_1 = \frac{1.133\pi}{l^2} \sqrt{\frac{E K^2}{\rho}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、一端から測った節までの距離と棒の長さ

の比 0.2242 よりも 0.7758 の位置に鋭角の弾性体を支持体として置く場合、両端自由の状態とみなせることから、弾性率を求める式に変形すると、周期 $(T) = R(G.S. \text{ の読み}) / 2$ より

$$E = 3.8095 \cdot \rho \cdot h^2 \cdot R^2 [KN/m^2] > \dots [2]$$

$$= 383.461 \rho \cdot h^2 \cdot R^2 [kgf/cm^2]$$

(2)式によれば F.R.P. に限らず均一な材料であれば E を求めることが出来て大変便利であると予想出来る。

尚、支持体としてはゴムブロックを用いる場合が最も影響が小さいことも確認した。実験では(2)式から幅は関係がないことになるが、その点を確認することと、計測値の再現性および真値へのアプローチについて検討した。従って別個に引張弾性率、曲げ弾性率の計測をして比較検討した。又、欠陥品および形状不良品についてどの程度の検出分離が可能かについても試みてみた。

3. 実験結果と考察

3.1 超音波探傷器の応用について

ブラウン管波形の例を写真 1, 2 に示す。写真 1 は不飽和ポリエチレン樹脂中にローピングクロスを一層埋め込んだもので入射エコー、ガラス反射エコー（欠陥エコー）、底面エコーの立ち上がり部分が比較的明瞭に識別出来る。又、ボイド等についても同様に可能だった。写真 2 はローピングクロス、マットの交互積層品に人工的に欠陥を付加したものである。波形から欠陥エコーを識別出来るけれども、試料表面から欠陥までの距離が近い場合、表面エコー幅と欠陥エコーの立ち上がりが重なるため、分割型探触子を用いても欠陥までの距離の判別は困難である。周波数的には 1 MHz が良好で 2 MHz 以上では減衰が大きいため適用困難であった。

以上の諸現象から、F.R.P.への応用について、厚さと欠陥の計測は一応可能であるが精度的に問題があり、探傷条件の選定においては、探触子の種類と周波数の選定、分割型の場合には密度等を考慮した焦点距離等の検討が必要である。今後の課題は欠陥の種類の識別と欠陥の定量化であり、継続して検討したい。

3.2 Grindo Sonic の応用について

表 1 に小型船舶検査用試験板についての計測結果を示すが、幅変動、厚さ変動に対しバラツキが小さく計測上の影響を無視出来る。両者の計測値間の差

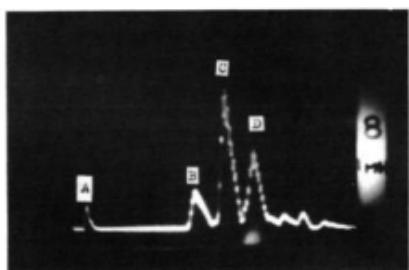
し G.S.
も曲げ
曲げ
大支点

小型
船舶
(F.R.P.)
検査合規
試験板

欠陥
およ
び不
良品

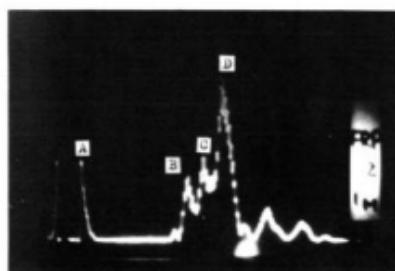
* 1
* 2
* 3

超
の
超
音
置
コ
と
あ



A : 送信エコー, B : 入射エコー, C : 欠陥エコー
D : 底面エコー (ローピングクロス)

写真 1 クロス埋込み不飽和ポリエチレン樹脂板の超音波探傷波形



↓ 探傷位置
↑ ↓ 7.7 ↓
21 ← 4φ ←
単位: mm

A : 送信エコー
B : 入射エコー
C : 欠陥エコー
D : 底面エコー

写真 2 クロス・マット交互積層 F.R.P. 板に人工欠陥を付与した超音波探傷波形

は縦曲げ、横曲げの差に匹敵するものでガラス繊維の層方向の差異によるものである。これは均質材料の予備試験の結果、どの面を上にしても変化のないことを確認していることからも要付けられる。実際に計測した曲げ弾性率と G.S. による値が食い違いを見せているが、別途に求めた引張弾性率は 95% 信頼限界による区間推定値 $1334 \pm 23 \text{ kgf/cm}^2$ を示

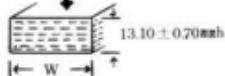
しG.S.による値はこの範囲に入ることから少くとも曲げ弾性率よりは真的ヤング率に近いと言える。曲げ弾性率は試験の条件に大きく影響を受けるため大支点間による試験が望ましい。この点については

次の機会に詳細な資料を示して述べることとしたい。欠陥品、形状(厚さ、幅)不良品を分離検出することも同時に可能であることから製品への応用にめどを得た。

表1 Grindo Sonic および JIS K 6911による弾性率計測結果

	W(幅)変動の影響(厚さ 13.10 ± 0.70 mm) *1			h(厚さ)変動の影響(幅 13.10 ± 0.70 mm) **2		
	W mm	E(G.S.) kgf/mm² [KN/mm²]	E(曲げ試験) kgf/mm² [KN/mm²]	h mm	E(G.S.) kgf/mm² [KN/mm²]	E(曲げ試験) kgf/mm² [KN/mm²]
小型船舶(FRP) 検査合規試験板	6.35	1314 {12.88}	1077 {10.55}	6.35	1401 {13.73}	1143 {11.20}
	8.40	1269 {12.44}	1069 {10.48}	8.40	1424 {13.96}	1227 {12.02}
	9.85	1211 {11.87}	982 {9.62}	9.85	1161 {11.38}	931 {9.12}
	13.15	1288 {12.62}	1019 {9.99}	13.15	1455 {14.26}	1163 {11.40}
	20.85	1246 {12.21}	1003 {9.83}	20.85	1351 {13.24}	1079 {10.57}
	20.40	1255 {12.30}	1073 {10.52}	20.40	1365 {13.38}	1228 {12.03}
	21.30	1279 {12.53}	1051 {10.30}	21.30	1387 {13.59}	1204 {11.80}
	22.20	1298 {12.72}	1025 {10.04}	22.20	1401 {13.73}	1188 {11.64}
	21.55	1260 {12.35}	1114 {10.92}	21.55	1367 {13.40}	1261 {12.36}
	24.55	1330 {13.03}	1104 {10.82}	24.55	1388 {13.60}	1135 {11.12}
	34.35	1312 {12.86}	1051 {10.30}	34.35	1332 {13.05}	
	38.30	1303 {12.77}	963 {9.44}	38.30	1322 {12.96}	
	129.3	1268 {12.43}				
$\bar{x} \pm s$		1280 ± 20	1044 ± 30	1363 ± 47		1156 ± 68
s		3.271	4.693	7.378		9.533
C %		2.6	4.5	5.4		8.2
欠陥あるいは形状		E ₁ G.S.	E ₂ G.S.	E ₃ G.S.	\bar{E}	s
20W × 13h × 260ℓ (bar)		1128	1110	1077	1105	25.87
曲げ破断片(欠陥)		{11.05}	{10.88}	{10.55}	{10.83}	2.3
引張用ダンベル型 片(形状不規)		1049	1027	1023	1033	14.00
異形断面(bar) (形状不良)		{10.28}	{10.06}	{10.02}	{10.12}	1.4

*1



*3 95%信頼限界による区間推定値

*2



↓: 打点あるいは荷重負荷面を示す

4. 結 言

超音波探傷器およびGrindo SonicをFRP等のプラスチックに応用することは十分可能である。超音波探傷のFRPへの応用については、欠陥の位置にもよるが、一般に板厚が薄いためそれぞれのエコー幅が重なり、立ち上がり部分の検出が困難なことと、ブラウン管上の目盛レンジが最大5mm/div.である点で薄もの主体(せいぜい30mmまで)のブ

ラスチックスへ応用する際精度が問題となる。又探触子も検討を要するかも知れない。

Grindo Sonicについては所定の目的を達して、精度高い弾性率が計測出来たので、予備的には多く行なってきた他材料についての検討を更にすすめてゆき、製品に対し、工程管理、品質管理等への応用を図るべく今後努力を傾注してゆきたい。

最後に、本実験の進行に際し、技術的援助と貴重な助言を戴いた当場金属部 野地英治、蒲田政信両

研究員ならびに同じく化学部 清水加津子研究員に
深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 竹鼻三雄：強化プラスチック（FRP）の超音波による非破壊検査 非破壊検査 21(3) 141-149 (1972)
 2) 竹鼻三雄, 鈴木敏夫, 加曾利末喜：FRP の超音波による厚さ測定 工業材料 25(3) 81-88 (1977)
 3) 清水加津子：音響試験による砥石結合度の測定
 ing Grinding Wheels, University of Louvain Heverlee (岡田次郎訳) 機械と工具 12(8) 63-76 (1968)
 6) 西巻正郎 (訳)：音響工学上巻 69-79
 7) 松山 宏：超音波探傷試験法 三菱電機技報 47(7) 791-796 (1973)

最近
て行く
振動な
されて
部の歯車
では、
しか
になっ
いる。
歯車
低減¹⁾
するた
必要か
負荷
歯車の
とも一
そこ

モジ
2

歯車に関する研究（第6報）

歯車材料による騒音振動の影響について

兼 広 二 郎, 南 良 良 治

1. 緒 言

最近の工作機械や産業機械は高能率化、高速化していく傾向が高まっている。またその反面、騒音、振動などの公害問題や作業環境なども極めて重要視されてきている。なかでも騒音、振動源である駆動部の歯車系列は前記の原因となっている。

歯車系列のうち騒音、振動の外部的な要因については、外乱を除けばある程度解決できる。

しかし、内部的要因については、歯がばねの状態になって振動を起こし、これが騒音の原因となっている。

歯車の加工精度を高めればある程度は騒音などを低減¹⁾することができるが、それ以上の効果を期待するためには歯形修正²⁾、その他の対策³⁾をこうする必要がある。

負荷トルクの少ない所に利用される歯車の場合、歯車の材料を変えて、騒音、振動の低減を行なうことも一方法であると思われる。

そこで本実験では、試験歯車材料として普通鉄鉄、

球状黒鉛鉄、機械構造用炭素鋼、ナイロンを選択し、回転数、トルクなど噛み合い条件を変動させて回転試験をおこない、歯車材料の特性による騒音、振動の減衰効果について調査し、合せて、機械剛性の違いによる騒音、振動の影響について歯車騒音試験機と当場の試作回転試験機の比較検討をおこなった。その結果について報告する。

2. 実験機器及び実験方法

2.1 実験機器

精密騒音計	N A 51型	リオン製
短オクターブ分析器	S A 57型	リオン製
振動計	V M 02型	リオン製
広帯域振動計	V M型	リオン製
リアルタイム周波数分析器 440A型	タケダ理研製	
歯車騒音試験機	K M S 50C型	三菱重工業製
試作回転試験機		写真1に示す
歯車試験機（歯形、歯スジ）5LD型	浜井産業製	
歯車試験機（ピッチ、歯ミズ）	カールツアイス・	
		イエナ社製

表 1 試験歯車（焼入）の諸元

モジュール	圧力角	歯数	ネジ角	歯幅	歯車形	ピッチ円直径	材質	かたさ(HRC)	熱処理
2.0	20°	40枚	0°	2.0	標準	80	S 45 C	60	高周波焼入

表 2 試験歯車（材料別）の諸元

材質	F C 2 0	F C D 4 5	S 4 5 C	6 6 N y l o n
熟處理	なし	なし	なし	なし
加工法	ホブ切り	ホブ切り	ホブ切り	ホブ切り
歯車歯形	標準	標準	標準	標準
モジュール(mm)	2.0	2.0	2.0	2.0
圧力角(°)	20	20	20	20
ネジ角(°)	0	0	0	0
歯幅(mm)	1.0	1.0	1.0	1.0
かたさ(HRc)	1.61	1.48	1.87	—
歯数(枚)	35 40 45	35 40 45	35 40 45	35 40 45
ピッチ円直径(mm)	70 80 90	70 80 90	70 80 90	70 80 90

表 3 試験歯車(焼入)の精度

記号	歯形誤差曲線 (総倍率 500 倍)	歯スジ方向誤差曲線 (総倍率 500 倍)	ピッチ誤差 (μm)			歯ミズの 振れ (μm)		
			隣接	単一	累積			
G 1	歯先 	歯元 	上 	下 	2	2	7	2
G 2	歯先 	歯元 	上 	下 	2	2	7	3
H 1	歯先 	歯元 	上 	下 	10	17	27	20
H 2	歯先 	歯元 	上 	下 	14	25	57	30

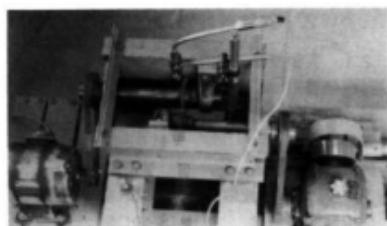


写真 1 試作回転試験機

2.2 実験方法

試験歯車の諸元を表1、表2に示す。試験歯車の精度は表3に示すものと、材料別の歯車精度としては、ホブ切りのままでFC, FCD, S45C, Nylonとも、歯形誤差JIS4級、歯スジ方向誤差JIS4級、ピッチ誤差及び歯ミズの振れはJIS3級のものを使用した。

歯車騒音試験機で上記試験歯車を噛み合せて、歯車の騒音、振動試験をつぎの条件でおこなった。

回転数 $1000\text{rpm}[16.65^{\text{-1}}]$ $2000\text{rpm}[33.2^{\text{-1}}]$

制動トルク $0\text{kgf}\cdot\text{cm}$ [$0\text{N}\cdot\text{cm}$]

$14\text{kgf}\cdot\text{cm}$ [$137\text{N}\cdot\text{cm}$]

$28\text{kgf}\cdot\text{cm}$ [$274\text{N}\cdot\text{cm}$]

噛み合ひは無潤滑でパックラッシュ量を 0.2mm に設定して回転試験をおこなった。

騒音の測定は歯車噛み合ひ中心から 200mm 上の高さの所で測定し、振動については、噛み合ひ中心下

のベッド上に振動計用ピックアップをセットして測定をおこなった。つぎに試作回転試験機で騒音、振動試験を上記同一条件で噛み合せて測定をおこなった。

負荷の方法は歯車騒音試験機では油圧ブレーキにより制動をかけるのに対し、試作回転試験では $V60$ 減速機と制動ブレーキを併用して負荷をかける方法を採用した。

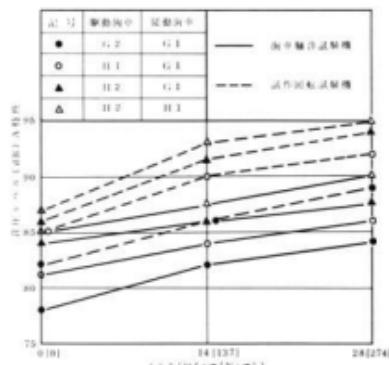


図 1 歯車精度によるトルクと騒音の関係
回転数 $1000\text{rpm}[16.65^{\text{-1}}]$

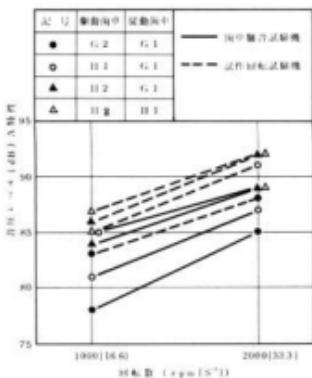


図2 歯車精度による回転数と騒音の関係
(無負荷)

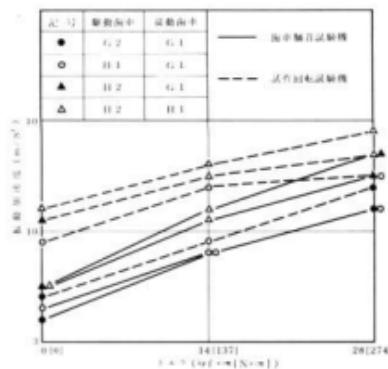


図3 歯車精度によるトルクと振動の関係
回転数 1000 rpm [16.6 S⁻¹]

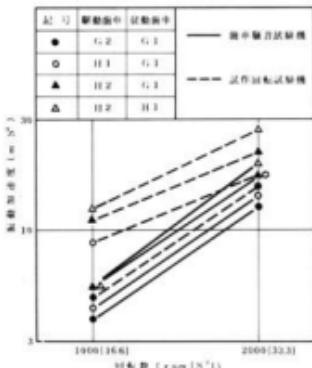


図4 歯車精度による回転数と振動の関係
(無負荷)

3. 実験結果及び考察

3.1 歯車精度と騒音、振動について

熱処理した研削歯車とホブ切り歯車を使用して、歯車試験装置や噛み合い条件を変えて回転試験をおこなった。

加工精度の高い研削歯車(J I S 0 級)と、あま

り加工精度のよくないホブ切り歯車(J I S 5 級)の各組合せによる噛み合い条件で、構造の異った歯車騒音試験機(三菱重工製)と当場試作回転試験機を使用して、図1、図3では歯車精度とトルク変動の影響を、図2、図4に歯車精度と回転数の影響について示す。

図1、図2より騒音の音圧レベルは、本実験条件下では歯車精度が良好なほど騒音が低減する。制動トルクの変動の影響については、試験機の違いにより剛性の低い試作回転試験機で、加工精度の悪い歯車の噛み合せのものほど騒音が高くなっている。回転数の影響としては、回転数の増大とともに騒音も大きくなる。しかし、上記制動トルクに比較して試験機の違いによる音圧レベル差が若干縮少傾向が見受けられる。

振動については歯車騒音試験機の場合、歯車噛み合い中心下にピックアップを取り付けて測定をおこない、試作回転試験機については、写真1に示す位置に取り付けて測定をおこなった。

図3、図4より各噛み合い条件下の振動加速度と各因子間の影響は、音圧レベルの傾向と類似している。しかし、回転数の低い場合や制動トルクの小さい場合には試験機による差が認められる。

以上の結果より、歯車の加工精度については個別誤差が大きいほど騒音、振動は増大する。制動トルクの影響は回転数の影響より大である。

試験機により騒音、振動にかなりの差がみられるのは、歯車騒音試験機ではすべり軸受を使用し、騒音対策をしているのに対し、当場試作回転試験機では、並級コロガリ軸受を使い騒音対策をしていない点の軸受支持剛性と対策の違い、試験機本体の構造

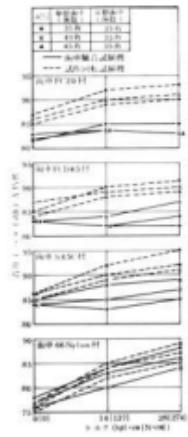


図5 歯車材料によるトルクを変えた騒音特性
回転数 1000rpm[16.6S]

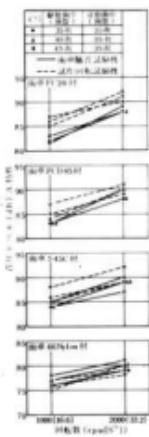


図6 歯車材料による回転数を変えた騒音特性
(無負荷)

で歯車騒音試験機は、ベッドが鉄物で一体構造であるのに対し、当場試作回転試験機は写真1に示すように、H型鋼を三段ボルト組立て構造にしており、構成要素の共振なども加わり試験機の剛性の違いが影響しているものと考えられる。

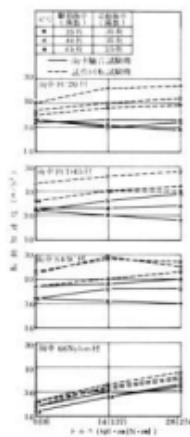


図7 歯車材料によるトルクを変えた振動特性
回転数 1000rpm[16.6S]



図8 歯車材料による回転数を変えた振動特性
(無負荷)

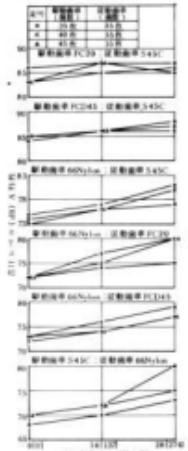


図9 異種材料による噛み合
い歯車のトルクと騒音特
性(歯車騒音試験機)
回転数 1000rpm[16.6S]

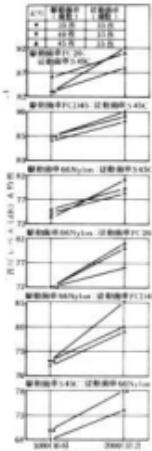


図10 異種材料による噛み合
い歯車の回転数と騒音特
性(歯車騒音試験機)
(無負荷)

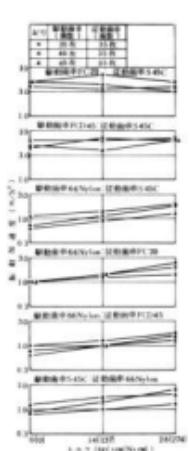


図11 異種材料による噛み合
い歯車のトルクと振動特
性(歯車騒音試験機)
回転数 1000rpm[16.6S]

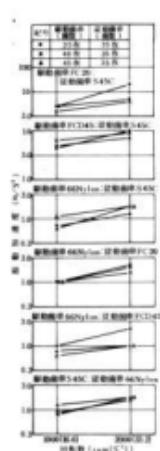


図12 異種材料による噛み合
い歯車の回転数と振動特
性(歯車騒音試験機)
(無負荷)

3.2 ホブ
材料とな
なった
軸数と
係、回
歯車
特性値
ルで約
13%
ど騒音
弾性保
しかし
材料と
Nylon
音が発
高負荷
つき
つた。
図9、
の関係
この
Nylon
も大き
しても
動数の
歯車が
み合
回転数
Nylon
は端不
いる。
入れか
た。そ
車で、
のたと
3.3
図
枚の
す。
図10
は左
向こ
だけ

3.2 齒車材料の違いによる騒音、振動について
チップ切りにより加工精度 (J I S 4 級) 齒車で、
材料と試験機の剛性の違いを変えて回転試験をおこなった結果、材料別によるトルクと騒音の関係、回転数と騒音の関係を図 5、図 6、トルクと振動の関係、回転数と振動の関係を図 7、図 8 に示す。

歯車材料の影響としては材質により騒音、振動の特性値が異なる。S 45C と 66Nylon では音圧レベルで約 10 dB の差を生じた。この違いとしては、図 13 に示す歯車材料別の固有振動数の大きいものはど騒音、振動が大きくなっている。これは材料の継続性係数の違いが影響しているものと考えられる。しかし、制動トルクが増加すると 66Nylon は他の材料と比較して増加の傾向が大きい。これは 66-Nylon は負荷により歯面がたわみ、歯を叩き衝撃音が発生して大きくなる。したがって 66Nylon は高負荷の使用条件には適さない。

つぎに一対の歯車の材料を変え回転試験をおこなった。トルクと騒音の関係、回転数と騒音の関係を図 9、図 10、トルクと振動の関係、回転数と振動の関係を図 11、図 12 に示す。

この結果から見ると一対の組合せの歯車に 66 Nylon が含まれていない場合の方が騒音、振動とも大きく現われている。またトルク、回転数を増加しても傾向は同じである。これは歯車材料の固有振動数の影響と思われる。駆動歯車 66Nylon で従動歯車が FC 20, FCD 45, S 45C の歯車材料との噛み合いの場合、騒音、振動についてあまり差がない。回転数、トルクを増加しても傾向は変わらない。66 Nylon の影響で全体的に騒音、振動は低い。これは噛み合いの時の摩擦係数が小さいことが影響している。また駆動歯車 S 45C と従動歯車 66Nylon を入れかえて噛み合せた時騒音、振動が最も小さかった。これは駆動歯車が歯面のたわみの少ない鋼製歯車で、従動歯車は摩擦係数の小さいナイロン製歯車のため噛み合いがスムーズであった結果と思われる。

3.3 歯車材料別の周波数分析について

図 14 は駆動歯車歯数 35 枚と従動歯車歯数 35 枚の噛み合い試験をおこなった周波数分析結果を示す。

図を見ると歯車材料 S 45C, FC 20, FCD 45 では殆どオクターブ分析器の記録結果であるためか、傾向としてはほとんど変化がなく音圧レベルが少し違うだけである。この時の噛み合いの周波数は 583 Hz と

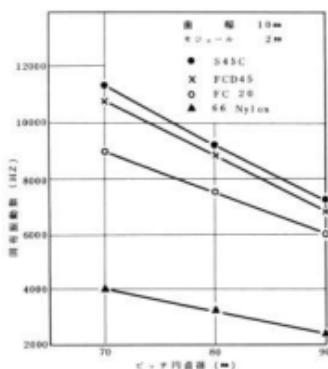


図 13 歯車材料の固有振動数(歯車単体)

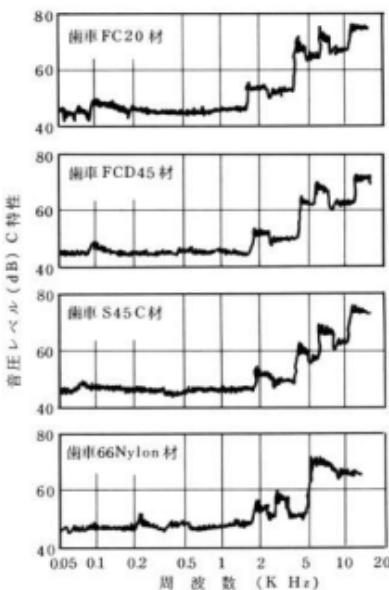


図 14 歯車材料の周波数分析
(三菱歯車騒音試験機)
駆動歯車 35 枚 : 従動歯車 35 枚 無負荷,
回転数 1000 rpm [16.6 S⁻¹]

回転数が低いのでこの影響が現われていない。このことから歯車材料の基本固有振動数と高調波の関係が考えられる。

つぎに軸 ($\phi 35 \times 400 \text{ mm}$) 付き歯車の歯車部の固有振動数を、リアルタイム周波数分析器で周波数分析をおこなった結果を示す。ただし歯車は歯数 35 枚、歯幅 10mm、モジュール 2.0mm である。

歯車 FC20 材 2000Hz, 4400Hz, 6450Hz,
13300Hz

歯車 FCD45 材 2000Hz, 4300Hz, 6350Hz,
12000Hz

歯車 S 45C 材 2000Hz, 4650Hz, 6700Hz,
11550Hz

歯車 66Nylon 材 2000Hz, 3050Hz, 5300Hz,
6500Hz

以上のことから歯オクターブ周波数分析結果のピーク値と固有振動数の基本波と高調波がよく一致していることがわかる。

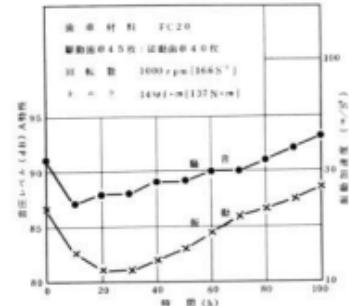


図 15 精度劣化にともなう騒音、振動の影響について（試作回転試験機）

5.4 FC 材歯車の精度劣化について

FC20 材のキブ切り (JIS 4 級) 歯車により回転精度劣化試験をおこなった結果、運転試験時間にともなう精度劣化と騒音、振動の関係を図 15 に示し、個別誤差と精度劣化の関係について図 16 に示す。

歯車の歯形誤差、歯スジ方向誤差、隣接ピッチ誤差は噛み合い運転の初期では、なじみ運転の状態で誤差は小さくなり精度が向上する。これはキブ切りの歯車は歯形がかなり悪く、この歯形の凸面を噛み合いで除いて歯形誤差が小さくなり、ピッチ誤差に影響を与える。また歯スジ方向誤差も同様であ

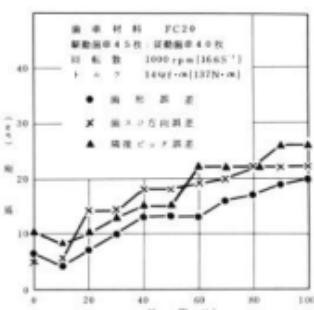


図 16 精度劣化にともなう歯車の個別誤差（試作回転試験機）

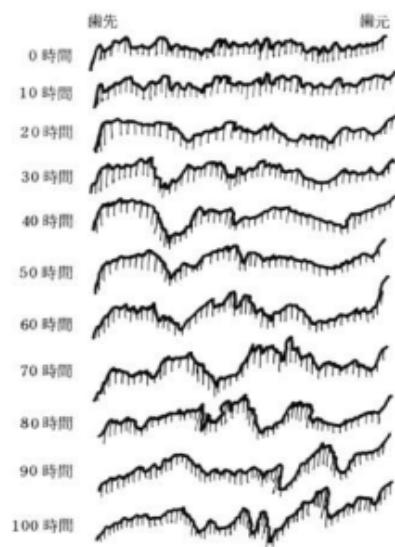


図 17 歯形誤差曲線の変化

歯車材料 FC20
駆動歯車 45 枚：従動歯車 40 枚
(試作回転試験機)
回転数 1000 rpm [16.65 S⁻¹]
トルク 1.4 kgf · cm [137 N · cm]
(総倍率：500 倍)

る。
その音、
音、振
加する。
図 1
判る。
これ
以上
(1)
影響を
(2)
数の低
その
(3)

る。

その後は徐々に劣化の道をたどる。そのために騒音、振動も図15に示すように精度劣化とともに増加する。

図17に示すのは歯形誤差曲線で摩耗状態がよく判る。

これは一对の歯車の転がり摩耗によるものである。

4. 結 言

以上のことからつぎの結果を得た。

(1) 歯車の回転試験機の剛性の差は騒音、振動に影響を与える。

(2) 歯車材料を変えた場合、歯車素材の固有振動数の低いものは騒音、振動も少ない。

その順はNylon, FC, FCD, S45Cである。

(3) 歯車材料別の噛み合い試験で15オクターブ分

析結果は軸付き歯車材料別の固有振動数の基本波と高調波によく一致した。

(4) FC材歯車の性能試験では一たん歯形誤差、歯スジ方向誤差が小さくなり騒音、振動も低くなるが、その後個別誤差が大きくなり騒音、振動に影響を与える。

本実験は限られた範囲の条件での実験であり、騒音、振動防止対策のため、なお一層の研究が必要である。

文 献

- 1) 仙波：歯車第5巻（1966年）日刊工業新聞社
- 2) 小泉：歯車の騒音と対策（1974年10月）
応用機械工学 大河出版
- 3) 寺内：歯車装置の騒音対策（1971年4月）
応用機械工学 大河出版

火花試験による鋼種の判定について

 菊山信行, 芳野光利
 鴨下隆司*

1. 緒 言

鋼の化学成分の分析は、分光分析器、カウントメータ、マイクロアナライザなどの機器によって精度よく行われているが、これらは高価であり、取り扱いは複雑で熟練を要する。一方簡便で、短時間にしかも部品を壊すことなく鋼種の判別が行える火花試験法がある。

火花試験法はグラインダーに鋼を押しあて、その際発生する火花の状態を見て鋼種を判別する方法である。この方法は購入した材料が指定した鋼種であるか否かを検査する受入検査に、また鋼種不明の材料を推定するなど材料の管理面で利用され、JISにも鋼の火花試験方法として規定されている。

0.3%という報告^{[1][2]}はあるが、詳細な実験条件などは不明である。

この火花試験法は、人間の感覚（視覚、聴覚など）を計器の代りとして鋼種を判別する官能検査である。

今回官能検査の手法を用いて、炭素量の判別精度、炭素鋼と合金鋼の判別範囲を検討した。

2. 実験方法

2.1 実験に使用したグラインダー及びといし
 ½HP [753.49 J·S], 8インチベンチグラインダー (3400 rpm [56.67 S⁻¹]) にビトリファイド系かっ色溶融アルミナ質、粒度 36、結合度 P のといし (205×19×16) を取りつけて使用した。

2.2 試験片

火花試験片は表 1 に示す 6 種類の火花試験標準片

表 1 火花試験片の化学成分 (%)

	C	Si	Mn	P	S
S20C	0.20	0.29	0.50	0.009	0.008
S40C	0.40	0.26	0.70	0.017	0.021
SK7	0.69	0.25	0.41	0.012	0.003
SK5	0.85	0.29	0.40	0.019	0.015
SK3	1.03	0.27	0.43	0.017	0.016
SK2	1.22	0.31	0.40	0.013	0.018

* 工業技術院 計量研究所

（山本科学工具研究社製）を 2 組用いた。形状は 13φ × 120 の棒状で期待効果を避けるため盲試料とした。

2.3 実験方法

6 種類の試験片の比較判断の方法は、1 : 2 点比較法³⁾と一対比較法⁴⁾を応用して行った。その方法は試験片を 3 個ずつ組にして検査員に提示し、3 個の試験片のうちの 1 個が、残りの 2 個の試験片のどちらに似ているかを判定させる方法である。例えば、表 2 の①は A, A, B 3 個の試験片のうち、A に似ているのは残りの A, B のうちどれか、という質問に A と答えた正解例である。

表 2 判断のデータシート

Rj \ Rj	A	B	C	D	E	F
A	①	1	1	1	1	
B	0	1	1	1	1	
C	0	0	1	1	1	
D	0	0	0	0	0	
E	0	0	0	1		
F	0	0	0	1	1	
和	0	1	2	5	4	3
順位	1	2	3	6	5	4

以下同ように、表 2 の Rj の試験片 2 個と、Rj の試験片 1 個の計 3 個を 1 組として斜線の右上の組合せ 15 回をランダムに行った。実験回数は 3 ~ 4 日の間隔をおいて 4 回の反復を行った。検査員は火花試験の経験のある人（経験者）14 人、経験のない人（未経験者）13 人である。実験は直射日光のあたらない場所で行い、グラインダーに試験片をあてる条件は各検査員にまかせた。

3. 実験結果と考察

3.1 判断の一意性

検査員の判別能力の程度を調べるために、一巡三角形の数を用いて表わす一意性の係数がある。

図 1
 C
 (a)
 Rj
 A
 B
 1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100
 101
 102
 103
 104
 105
 106
 107
 108
 109
 110
 111
 112
 113
 114
 115
 116
 117
 118
 119
 120
 121
 122
 123
 124
 125
 126
 127
 128
 129
 130
 131
 132
 133
 134
 135
 136
 137
 138
 139
 140
 141
 142
 143
 144
 145
 146
 147
 148
 149
 150
 151
 152
 153
 154
 155
 156
 157
 158
 159
 160
 161
 162
 163
 164
 165
 166
 167
 168
 169
 170
 171
 172
 173
 174
 175
 176
 177
 178
 179
 180
 181
 182
 183
 184
 185
 186
 187
 188
 189
 190
 191
 192
 193
 194
 195
 196
 197
 198
 199
 200
 201
 202
 203
 204
 205
 206
 207
 208
 209
 210
 211
 212
 213
 214
 215
 216
 217
 218
 219
 220
 221
 222
 223
 224
 225
 226
 227
 228
 229
 230
 231
 232
 233
 234
 235
 236
 237
 238
 239
 240
 241
 242
 243
 244
 245
 246
 247
 248
 249
 250
 251
 252
 253
 254
 255
 256
 257
 258
 259
 260
 261
 262
 263
 264
 265
 266
 267
 268
 269
 270
 271
 272
 273
 274
 275
 276
 277
 278
 279
 280
 281
 282
 283
 284
 285
 286
 287
 288
 289
 290
 291
 292
 293
 294
 295
 296
 297
 298
 299
 300
 301
 302
 303
 304
 305
 306
 307
 308
 309
 310
 311
 312
 313
 314
 315
 316
 317
 318
 319
 320
 321
 322
 323
 324
 325
 326
 327
 328
 329
 330
 331
 332
 333
 334
 335
 336
 337
 338
 339
 340
 341
 342
 343
 344
 345
 346
 347
 348
 349
 350
 351
 352
 353
 354
 355
 356
 357
 358
 359
 360
 361
 362
 363
 364
 365
 366
 367
 368
 369
 370
 371
 372
 373
 374
 375
 376
 377
 378
 379
 380
 381
 382
 383
 384
 385
 386
 387
 388
 389
 390
 391
 392
 393
 394
 395
 396
 397
 398
 399
 400
 401
 402
 403
 404
 405
 406
 407
 408
 409
 410
 411
 412
 413
 414
 415
 416
 417
 418
 419
 420
 421
 422
 423
 424
 425
 426
 427
 428
 429
 430
 431
 432
 433
 434
 435
 436
 437
 438
 439
 440
 441
 442
 443
 444
 445
 446
 447
 448
 449
 450
 451
 452
 453
 454
 455
 456
 457
 458
 459
 460
 461
 462
 463
 464
 465
 466
 467
 468
 469
 470
 471
 472
 473
 474
 475
 476
 477
 478
 479
 480
 481
 482
 483
 484
 485
 486
 487
 488
 489
 490
 491
 492
 493
 494
 495
 496
 497
 498
 499
 500
 501
 502
 503
 504
 505
 506
 507
 508
 509
 510
 511
 512
 513
 514
 515
 516
 517
 518
 519
 520
 521
 522
 523
 524
 525
 526
 527
 528
 529
 530
 531
 532
 533
 534
 535
 536
 537
 538
 539
 540
 541
 542
 543
 544
 545
 546
 547
 548
 549
 550
 551
 552
 553
 554
 555
 556
 557
 558
 559
 560
 561
 562
 563
 564
 565
 566
 567
 568
 569
 570
 571
 572
 573
 574
 575
 576
 577
 578
 579
 580
 581
 582
 583
 584
 585
 586
 587
 588
 589
 590
 591
 592
 593
 594
 595
 596
 597
 598
 599
 600
 601
 602
 603
 604
 605
 606
 607
 608
 609
 610
 611
 612
 613
 614
 615
 616
 617
 618
 619
 620
 621
 622
 623
 624
 625
 626
 627
 628
 629
 630
 631
 632
 633
 634
 635
 636
 637
 638
 639
 640
 641
 642
 643
 644
 645
 646
 647
 648
 649
 650
 651
 652
 653
 654
 655
 656
 657
 658
 659
 660
 661
 662
 663
 664
 665
 666
 667
 668
 669
 670
 671
 672
 673
 674
 675
 676
 677
 678
 679
 680
 681
 682
 683
 684
 685
 686
 687
 688
 689
 690
 691
 692
 693
 694
 695
 696
 697
 698
 699
 700
 701
 702
 703
 704
 705
 706
 707
 708
 709
 710
 711
 712
 713
 714
 715
 716
 717
 718
 719
 720
 721
 722
 723
 724
 725
 726
 727
 728
 729
 730
 731
 732
 733
 734
 735
 736
 737
 738
 739
 740
 741
 742
 743
 744
 745
 746
 747
 748
 749
 750
 751
 752
 753
 754
 755
 756
 757
 758
 759
 760
 761
 762
 763
 764
 765
 766
 767
 768
 769
 770
 771
 772
 773
 774
 775
 776
 777
 778
 779
 780
 781
 782
 783
 784
 785
 786
 787
 788
 789
 790
 791
 792
 793
 794
 795
 796
 797
 798
 799
 800
 801
 802
 803
 804
 805
 806
 807
 808
 809
 810
 811
 812
 813
 814
 815
 816
 817
 818
 819
 820
 821
 822
 823
 824
 825
 826
 827
 828
 829
 830
 831
 832
 833
 834
 835
 836
 837
 838
 839
 840
 841
 842
 843
 844
 845
 846
 847
 848
 849
 850
 851
 852
 853
 854
 855
 856
 857
 858
 859
 860
 861
 862
 863
 864
 865
 866
 867
 868
 869
 870
 871
 872
 873
 874
 875
 876
 877
 878
 879
 880
 881
 882
 883
 884
 885
 886
 887
 888
 889
 890
 891
 892
 893
 894
 895
 896
 897
 898
 899
 900
 901
 902
 903
 904
 905
 906
 907
 908
 909
 910
 911
 912
 913
 914
 915
 916
 917
 918
 919
 920
 921
 922
 923
 924
 925
 926
 927
 928
 929
 930
 931
 932
 933
 934
 935
 936
 937
 938
 939
 940
 941
 942
 943
 944
 945
 946
 947
 948
 949
 950
 951
 952
 953
 954
 955
 956
 957
 958
 959
 960
 961
 962
 963
 964
 965
 966
 967
 968
 969
 970
 971
 972
 973
 974
 975
 976
 977
 978
 979
 980
 981
 982
 983
 984
 985
 986
 987
 988
 989
 990
 991
 992
 993
 994
 995
 996
 997
 998
 999
 1000

図1は判断の例を示したものである。炭素量の順

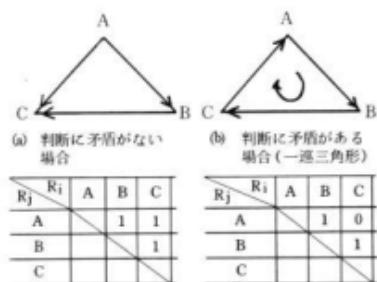


図1 判断の結果例

にならんだ三つの試験片 A, B, C の組合せを行った場合、A, B, C に十分な炭素量の差があれば図 1(a)のように矛盾のない判断ができる。しかし炭素量の差が小さく、判断が不正確になると図 1(b)のように A, B, C の判断に誤りを生じ、一過三角形ができる。この一過三角形の数が少ないほど判別能力があるといえる。

表3 検査員の判断の一意性

		一過三角形(d)					
		0	1	2	3	4	5
		1.000	0.875	0.75	0.625	0.500	0.375
経験者(14人)		8人	4人	2人			
未経験者(13人)		4人	3人	2人	2人	1人	1人

表3は経験者14人、未経験者13人の一過三角形の数と一意性の係数を表わす。一過三角形が0の場合一意性の係数は1になり、一過三角形が8個になると一意性の係数は0になる。一意性の係数 ζ が0.875以上(一過三角形が1以下)で有意(5%の危険率)となり、判別能力ありと判定する。経験者は約3/4以上が、未経験者は約半数が判別能力を持っていることがわかる。

3.2 判断の一意性

検査員全員の判断が、どの程度の一致があるかを求めたものが表4と図2である。

表4 検査員の判断の一意性のカイ二乗検定

反復	経験者(14人)		未経験者(13人)	
	χ^2_0	$\chi^2_{(P=0.05)}$	χ^2_0	$\chi^2_{(P=0.05)}$
1	155.8	> 36.2	85.2	> 37.6
2	166.1	> 36.2	104.1	> 37.6
3	154.5	> 36.2	123.7	> 37.6
4	162.8	> 36.2	132.4	> 37.6

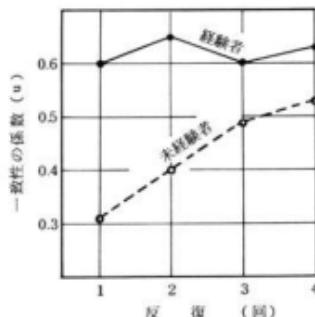


図2 反復と一致性的係数の関係

表4は判別結果のカイ二乗検定である。同表より危険率1%で有意となり、検査員間には一致性がある。

反復と一致性的関係を求めたものが図2である。一致性的係数 ζ は、完全一致で1になる。経験者は反復による差は小さいが、未経験者は回数を増すごとに一致性はよくなっている。

3.3 判断の順位

表2は1反復1人の検査員の結果を示す。斜線右上の判断について、正解の場合を1、誤りの場合を0で表わしている。斜線左下は右上に対応して1と0を逆に表わしている。順位を求めるには列和を求め、列和の小さい順に順位をつける。

図3はこのようにして4反復の順位の平均を求め、6個の試験片に炭素量の順位をつけたものである。経験者、未経験者とも炭素量が約0.6%以上になると曲線の傾斜はゆるやかになっている。このことは炭素量が少ないところは判別しやすいが、約0.6%以上になると火花状態が複雑になり、判別がむずかしくなることを示している。

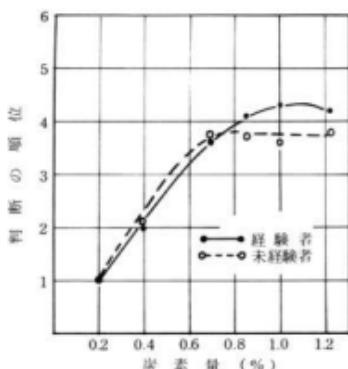


図3 炭素量と順位の関係

3.4 判別精度

炭素量の違う二つの火花刺激を提示した場合、感覚でその変化をかろうじて認めることのできる差異を弁別閾といふ。弁別閾を求めるには、すべての組合せの結果から正しい判断の割合を求め、確率紙上にプロットして心理曲線を作成する。この心理曲線と、正しい判断の割合の75%が交差する距離を割れば、それが求める閾値である。

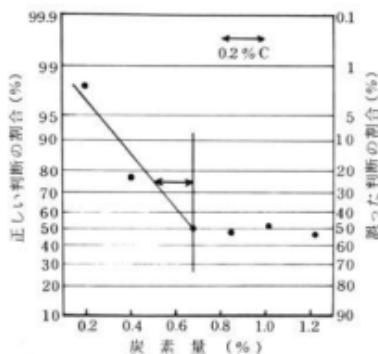


図4 炭素量の弁別閾

図4は炭素量0.69%の弁別閾を求めたものである

る。同図の炭素量0.69%以上の弁別閾がないのは、正しい判断の割合が50%前後と低いためである。

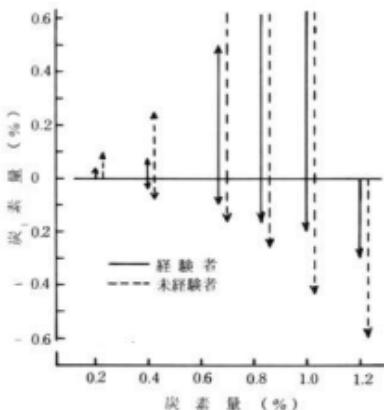


図5 炭素量の判定精度

図5は各炭素量について弁別閾を求めたものである。炭素量0.2%の(+)側に精度範囲がないのは、0.2%以下との試験を行っていないためである。同様に炭素量1.2%の(+)側はそれ以上の試験を行っていないためである。経験者、未経験者とも低炭素量範囲で精度はよいが、高炭素量範囲になると悪くなる。このことは炭素量が約0.6%までは、火花特性の火花破裂の大きさなどが炭素量に比例して増えるので、判別が容易であると思われる。しかしそれ以上になると、炭素量のわずかの違いによって火花状態は複雑に変化するため、火花特長を見定めることが困難となり、精度が悪くなるものと思われる。

4. 炭素鋼と合金鋼の比較

炭素量が同じの場合、合金元素の影響が判別できるだろうかという目的で行った。

試験片を表5に示す。炭素鋼は2種使用した。実験方法は1:2点比較法を採用した。この方法は表5のS20CとSNCM25の組では、S20C、2個とSNCM25、1個の計3個を提示し、S20Cと同じものは残り2個のうちどれかという方法である。他の組もすべて炭素鋼2個と合金鋼1個の組合せである。他の実験条件は前節の実験と同じである。

A
B
C
D
E
F

検査
実験回
検査
50%
を50%
の座標
k+1
の数で
あると
上か
る。

(表5)
精度
上か
る。

図6
菊池花
の実験
あった

表 5 火花試験片の化学成分 (%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W
A (S10C SUS403)	0.11 0.11	0.29 0.25	0.43 0.60	0.014 0.023	0.014 0.019	1.295	—	—	—
B (S20C SNCM25)	0.20 0.18	0.29 0.27	0.50 0.53	0.009 0.014	0.008 0.017	0.93	4.02	0.26	—
C (S20C SCr22)	0.20 0.20	0.29 0.27	0.50 0.60	0.015 0.015	0.008 0.018	—	—	—	—
D (S30C SNC2)	0.31 0.30	0.27 0.29	0.68 0.54	0.015 0.010	0.018 0.007	0.85	2.71	—	—
E (S40C SCM4)	0.40 0.41	0.26 0.31	0.70 0.76	0.017 0.015	0.021 0.009	1.04	—	0.23	—
F (S53C SKS4)	0.53 0.52	0.31 0.23	0.69 0.47	0.020 0.011	0.007 0.008	0.74	—	—	0.89

検査員は経験者 13 人、未経験者 11 人である。実験回数はそれぞれ 50 回、44 回である。

検査員の判別能力を検定するには、推計紙に確率 50% の接分線を引き、さらに危険率 5% の限界線を 50% の接分線と平行に引く。そして実測三角形の座標を $(n - k, k)$ ($n - k + 1, k$) ($n - k, k + 1$) で求める。n は実験回数、k は正しい判断の数である。実測三角形が 5% の限界線より上側にあるときは判別能力ありと判定し、三角形が限界線上か、その下側にある場合は判別能力なしと判定する。

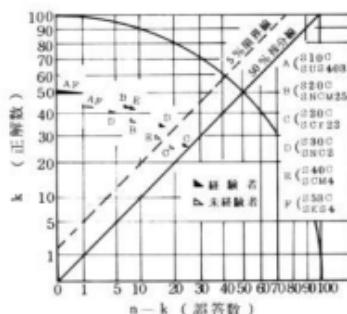


図 6 合金鋼の判別能力の検定

図 6 に結果を示す。Cr 量を 1% 以上含有すると、薬状花が現われ判別可能といわれているが³⁾。今回の実験では、経験者、未経験者とも判別は不可能であった。

5. 結 言

火花試験は簡便な鋼種判別法である。今回官能検査の手法を応用して、炭素鋼および合金鋼の火花試験を行った結果、次のことが明らかになった。

1. 経験者の約 4/5 以上と未経験者の約 3/4 以上には、信頼度 95% で判別能力がある。

2. 経験者の全員と未経験者の全員には、それぞれ一致性はあるが、未経験者は反復回数を増すと一致性は経験者に近づく。

3. 正しい判断の割合が 75% 以上の確率で得られる場合を判別精度とすると、火花試験の精度は低炭素量範囲 (0.2 ~ 0.4%) で経験者は約 0.04 ~ 0.08% C、未経験者は 0.1 ~ 0.25% C であった。

4. SCr22 (0.2% C, 1.14% Cr) と S20C (0.2% C) の判別は経験者、未経験者とも困難である。

終りに本研究に対して有益な助言をいただいた計量研究所・矢野宏課長、および測定に協力をいただいた日本ホイスト㈱、神鋼恒鉄工場、ならびに当場の職員の方々に深く感謝します。

文 獻

- 1) 5) 大和久：金属簡易鑑別法、小峰工業出版社 (1963) 17, 35.
- 2) 今野：正しい検査、日科技連 119.
- 3) 4) 増山、三浦：工業における官能検査ハンドブック、日科技連 (1968) 205, 287.

難削材の被削性に関する研究

ステンレス鋼の穴あけ加工における加工硬化層について

山崎 隆志

1. 緒 言

オーステナイト系ステンレス鋼のドリル加工において比較的軟質材料にもかくわらず加工しにくいといわれるのは、熱伝導率が悪く、加工硬化性が大きく、切削処理が困難など多くの点があげられる。

ステンレス鋼のドリル加工における最適条件を求めて実験^{1) 2)}を重ねてきているが、今回はドリルの摩耗に大きな影響を与えるステンレス鋼の加工硬化性を取り上げ実験を行なった。

2. 実験方法

試料はφ30のSUS304、JIS規格相当材に当場において溶体化処理をし炭化物の固溶等を行なつた。

試料の顕微鏡組織を写真1に示す。

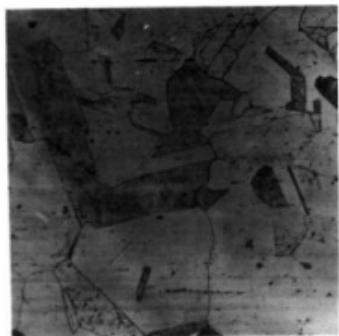


写真1 試料の組織

試料は長さ20mmに切断し両面にセーバ仕上げを行なった。

実験に用いたドリルは前報¹⁾で切削抵抗、寿命に良い結果を示した先端角135°、外周逃げ角12°、ドリル径φ10、心厚は一定のものを用いた。

実験は切削条件(切削速度、送り)の変化、シンニングの有無、切削油の有無、切削長さの変化に対する加工硬化層の影響について深さ10mmのめくら穴加工を行なった。

加工硬化層の測定は切削した穴の中央部を切断しやすり、エメリーペーパーで仕上げマイクロピッカース(荷重500gf)により求めた。

実験はすべて3回繰返しで行い、その測定結果を算術平均により求めた。

3. 実験結果と考察

3.1 切削条件

切削速度は主軸回転数180 rpm [3S⁻¹]、325 rpm [5.5S⁻¹]、545 rpm [9.08S⁻¹] の3段階で送りは0.1mm/revで切削を行なった。

図1にその加工硬化層の測定結果を示す。

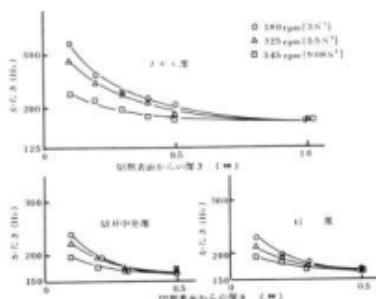


図1 切削速度による加工硬化

チゼル部、切刃部、肩部とも加工硬化は切削速度の低下にしたがって増大傾向を示した。これは加工硬化がスラストの影響を強く受けるためと思われる。また加工硬化深さも前回筆者らが行った旋削における加工硬化深さよりもかなり深くチゼル部で0.5mm程度、切刃、肩部で0.3mm程度であった。

次に
rev. /
軸数 32
の測定

かたさ
高送り
切り
より硬
チゼル
部の切
むしれ
てスラ
である
が多く

5.2
前述
く加工
るため
グ効果
リルを
チゼル
に示す
たさも
を示し

る。
ステ
とくら
常は切
したの

次に送りの影響については 0.05 mm/rev , 0.1 mm/rev , 0.2 mm/rev , 0.3 mm/rev の 4 段階で主軸回転数 325 rpm [5.5 S^{-1}] で切削を行なった。かたさの測定結果を図 2 に示す。切刃表面に近いほど硬化

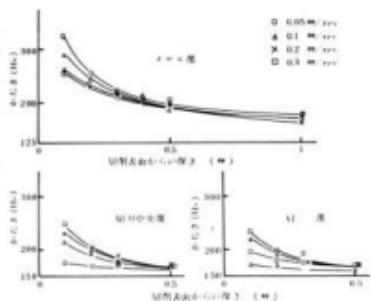


図 2 送りによる加工硬化

かたさは高くチゼル部は低送りが、切刃肩部は逆に高送りが大きく影響する結果を示した。

切刃、肩部は高送りになるほどスラストの増加により硬化かたさも高くなるが、チゼル部はドリルのチゼルエッヂは負のくいになっており、また中心部の切削速度はゼロでありその部分の切削はこすり、むしれ、押出し等で行なわれており切刃部にくらべてスラストも非常に大きくなっている。また低送りであると切削中チゼルエッヂによりこすられる回数が多くなりこのような結果になったものと思われる。

5.2 シンニンギ

前述したようにチゼル部は非常にスラストも大きく加工硬化かたさも高い。この高いスラストを下げるためシンニンギングが行なわれている。このシンニンギ効果を見るためクロスシンニンギされた市販のドリルを用い主軸回転数 180 rpm で加工を行ない、チゼル部の加工硬化層を測定した。その結果を図 3 に示す。これを見るとシンニンギしたドリルではかたさも低下し、加工層も薄くなるなど良好なる結果を示した。

5.3 切削条件

ステンレス鋼のドリル加工は普通鋼のドリル加工とくらべてかなり切削温度が上昇する。このため通常は切削油を使用して加工を行なうがこの効果を示したのが図 4 である。しかしこの結果を見るとあま

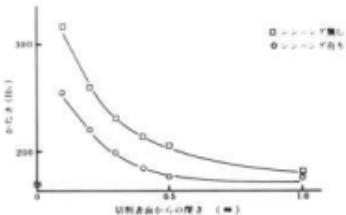


図 3 シンニンギ効果

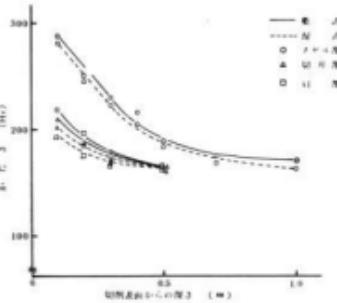


図 4 切削油の効果

り差は認められなかった。今回の実験は再研削を行なった直後のドリルを使用しているのと、穴の深さが 10 mm と浅いためこのような結果になったものと思われる。

普通切削油を使用した場合と、していない場合には工具寿命、切削熱に影響がある。もっと工具摩耗の進んだ場合や深穴加工の場合には当然加工層もかなり差が出るものと思われる。

5.4 切削長さ

切削長さによる硬化層の変化を図 5 に示す。また写真 2 に切削長さ 10 mm 、切削長さ 1080 mm のときのチゼル部の加工硬化層の組織を示す。チゼル部は切削長さが長くなるにしたがって加工硬化かたさも高くなる傾向を示した。

しかし切刃、肩部ではあまり差は認められなかった。普通ドリル加工においてはドリルはチゼルがつぶれてもマージン部の摩耗が小さければ切削可能な場合が多い。今回の実験では 1080 mm の切削長さではドリルの切刃、肩部の摩耗はそれほど大きくなく

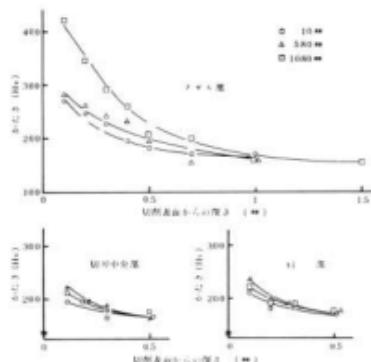


図5 切削長さによる加工硬化

このような結果になった。

3.5 ねじれ角

ドリルのねじれ角は前報¹⁾で報告したようにスラストトルクに影響を及ぼす。このねじれ角の差が加工硬化層に及ぼす影響について実験を行った。その結果を図6に示す。

ねじれ角が大きくなるにしたがって加工硬化かたさは減少する傾向を示した。前報の結果から切刃、肩部は当然減少すると思われる所以チゼル部のみ測定した。ドリルのねじれ角が大きくなればチゼルエッヂ角が大きくなりチゼルエッヂの長さも長くなる。その結果チゼルエッヂの単位面積当たりのスラストの減少、あるいは切刃のすくい角の増大によるスラストの減少²⁾などによるものと思われる。

特に弱ねじれに関しては被削材内部よりも切削表面は3倍に近い値を示した。今回は荷重の関係で切

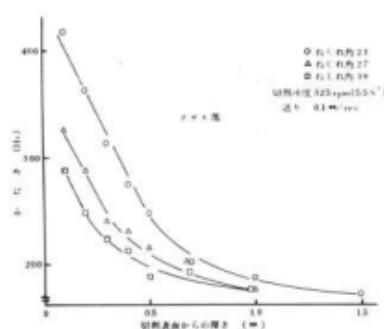
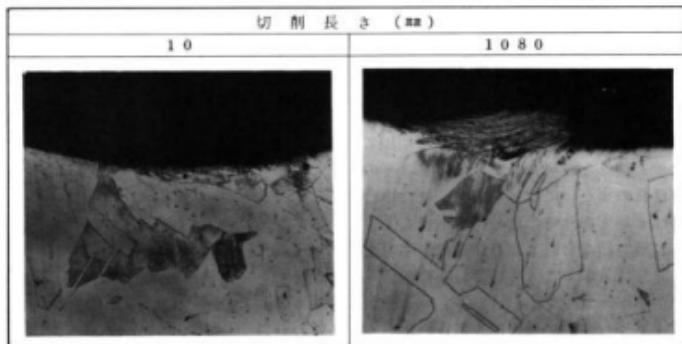


図6 ねじれ角の影響

削表面より0.1 mmから測定を行なったが実際の切削表面はもっと顕著に表われると思われる。

3.6 その他

図7は主軸回転数325 rpm [5.5 S⁻¹]、送り0.1 mm/revで切削を行ない、その途中において停止し、図に示すような形状に切り崩して樹脂で切屑をかためて切削と母材部のかたさを測定した結果を示したものである。

母材にくらべて切削は非常に硬化している。この切削が加工途中で噛込みなどにより切刃に損傷を与える。このためステンレス鋼のドリル加工においては切削の排出には特に注意する必要がある。

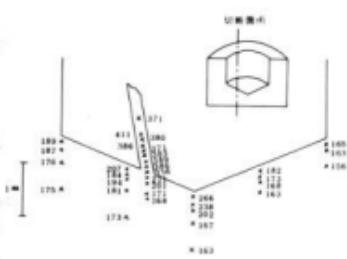


図 7 母材、切削の硬度分布

4. 結 言

ステンレス鋼のドリル加工で加工硬化層について実験した結果次の事が言える。

(1) 切削速度についてはチゼル部は高切削速度ほど加工硬化かたさは低くなる傾向であり、送りにつ

いては高送りのはうが低くなる傾向を示した。しかし切刃、肩部については大きな差はなく、送りについては高送りの方がやゝ高い傾向を示した。

(2) シンニングは非常に有効であることが認められた。

(3) 切削長さによる加工硬化層の影響はチゼル部は切削が長くなるにしたがって高硬化するが、切刃、肩部については、ドリルの切刃、マージン部がしっかりしていれば大きな差はない。

(4) ドリルのねじれ角については加工硬化の点からも強ねじれが有効であり、前回の実験での結果が証明された。

文 献

- 1) 山崎他：興工試報告 No.17 (1974) 98
- 2) 南良他：興工試報告 No.18 (1975) 1
- 3) 長谷川編：ステンレス鋼便覧，日刊工業新聞社 (1974) 85
- 4) 倉田：ステンレス鋼の切削加工 日刊工業新聞社 56～65

軸流送風機におけるケーシングの 発生騒音への影響

中 塩 武 之

1. 緒 言

軸流送風機は構造が簡単で効率も高いことから数多く使用されているが、反面騒音レベルが高いのが欠点である。騒音低減の方法として吸、吐出口へ消音器を取り付ける場合があるが、多くが圧力損失を考慮して単純な吸収型が多い。消音器の特性からして高周波域には有効な方法であるが、低周波域には効果が不十分になりがちである。

送風機の騒音は必ず全周波域におよんでおり、中でも動翼の回転に伴う風切音（翼数×回転数で定まる。以下動翼回転音と称す）が支配的で、基本周波数は一般の送風機では数百 Hz 程度の低周波である。当然、吸収型消音器の効果には限界があり、より騒音低減をはかるにはこの種の音を下げることが必須である。翼形状など種々研究され効果も現れてきているが、回転翼による送風方式をとるかぎり皆無にはならないであろう。

動翼回転音は必ず純音の性状を示すもので、そのため翼形状ばかりではなく送風機のケーシング形状（以下ダクトと称す）にも左右されると思われる。すなわち、軸流送風機のごとくダクト内に騒音源である動翼が設けられた場合、純音の性状と相俟って、特定の回転数で鋭い気柱共振を起すと考えられる。その結果発生騒音は回転数の上昇と共に脈動を伴って上昇していくはずである。

しかしながら一般的には、送風機騒音は回転数の上昇と共に指數乗則に従って上昇していくとされており、ダクトの影響を無視した考え方方がまかり通っている。

梶、岡崎¹⁾氏はこれらの点に着目し、理論的に究明し実験において同様な結果を得ている。しかしこの実験は実際の軸流送風機ではなく、単純化した想定モデルで実施されたもので、理論考察についてはダクト端面の音響放射インピーダンスを限定し、さらに音場としての主流の影響および伝播過程における

位相差による干渉を無視している。本実験はこれらの現況を踏まえ、実際の軸流送風機で同様な脈動が生じるのか否か、生じるのであれば実機のダクトの気柱共振特性との対応を追求することを目的に実施したものである。

2. 実験方法

写真 1 は実験に用いた軸流送風機で、図 1 にその寸法仕様および平常運転時の性能を示す。図 2 はこの送風機の騒音分析結果である。この送風機は JIS に基づく性能テストのためダクトが取付けられており全長約 5 m と長くなっている。

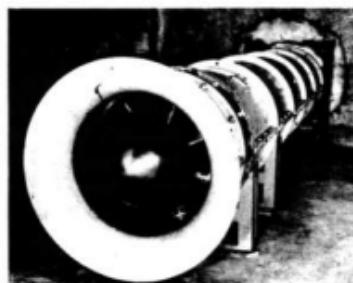


写真 1 実験に用いた軸流送風機

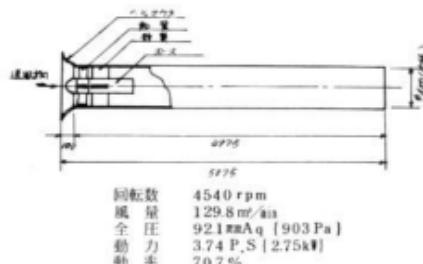


図 1 軸流送風機の寸法仕様および性能

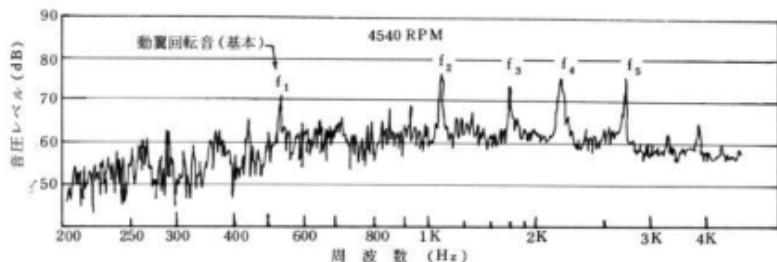


図2 軸流送風機の騒音分析例

実験では送風機本体の気柱共振特性および端面放射特性を求めるため、動翼にかえて模擬騒音源としてその部分にスピーカーを取付けた。発振器から各周波数音を発生させ、電力増幅器を経てスピーカーにより放射、両端にてレベルを計測する方法をとった。そのプロック、ダイヤグラムを図3に示す。測定周波域は100Hz～4 kHzとし、送風機の回転可変範囲2000～4600 rpmにおける動翼回転音の周波数が網羅されるよう配慮した。発振器はオーディオ発振器およびヘテロダイン発振器を用いたが、後者は主に高域特性の検討を目的とした。実機運転による実験は前述の回転範囲において、50回転ごとに騒音を計測し整理した。測定はオーバーオールレベルと共に1%定比幅バンドのスペクトル分析を試み、回転数で定まる動翼回転音の基本および高次の周波数のピークレベルを読み取った。これらの実験は屋外で行ったので、暗騒音および地面反射の影響を極力防ぐよう配慮した。たとえば送風機の吸、吐出口および測定用のマイクロホンの下には50 mm厚のグフスウール吸音板を敷き、実験音源はたえず暗騒音よ

り10 dB以上あることを条件とした。スピーカーを模擬騒音源として実験した実験は、あらかじめ再生周波数特性を求め、それと対比させながらデータを検討した。図4にその結果を示しているが、周波数に対して、あまり大きなレベルの上下ではなく、特性の大要を乱すものではない。これら実際の送風機の騒音データと、模擬騒音により求めた送風機の音響特性とを対比させ検討を試みた。

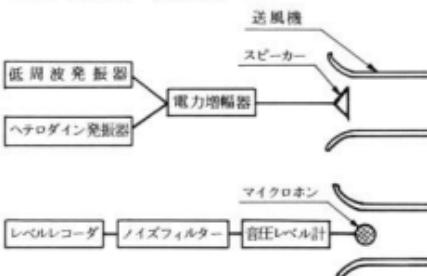


図3 測定機器、プロック、ダイアグラム

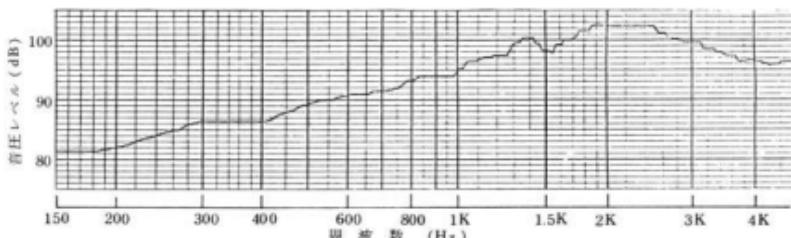


図4 スピーカーの再生周波数特性

3. 実験結果および考察

図5～8にスピーカーの模擬音源で求めたダクトの音響特性の例を示す。提示したものはヘテロダイン発振器による連続可変音によるものであるが、特に2000～4600 rpmの動翼回転音の基本周波数に

匹敵する233Hz～537Hzにおいては、オーディオ発振器により50回転ごと、すなわち可変周波数幅6Hzごとのポイントデータも合せ求めた。これにより騒音との周波数的関連をより詳細に検討しようとしたが大差ない傾向であった。

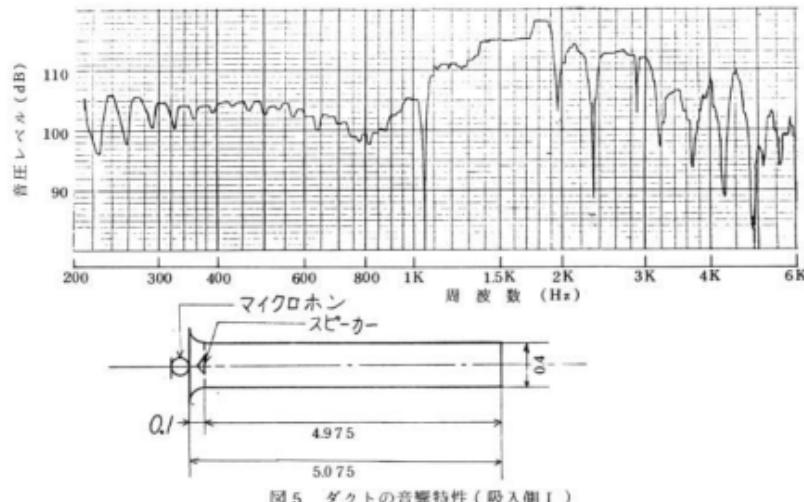


図5 ダクトの音響特性（吸入側I）

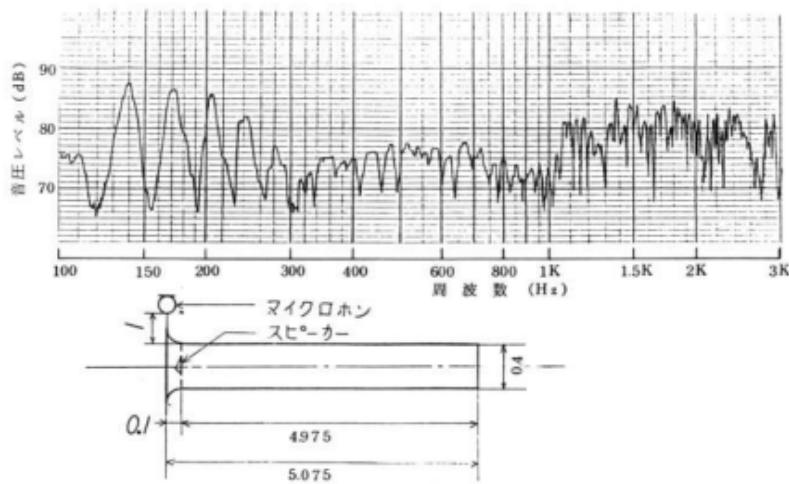


図6 ダクトの音響特性（吸入側II）

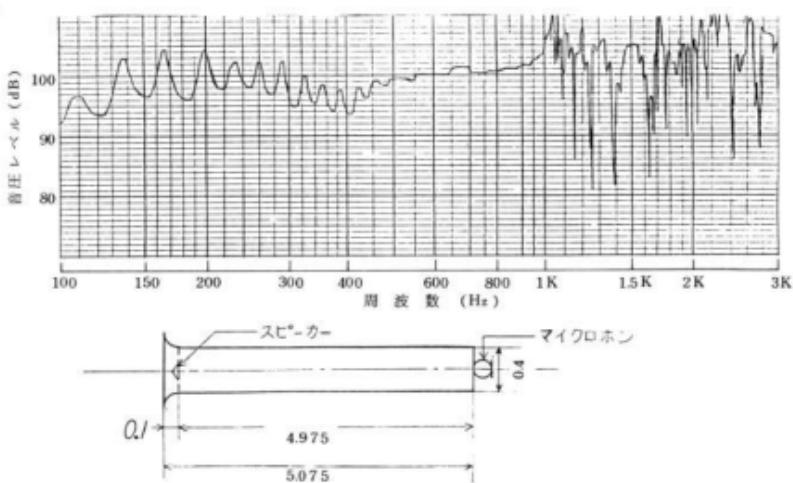


図7 ダクトの音響特性(吐出側I)

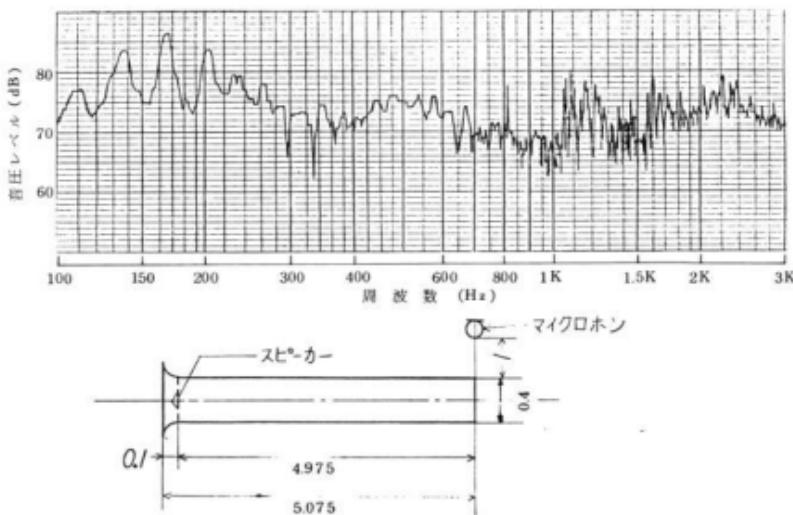


図8 ダクトの音響特性(吐出側II)

まず 1 KHz 以下の範囲を対象にして検討してみると、ダクトの両端ともスピーカーの再生周波数特性と対比すればその影響は明らかである。500 Hz 程度からピークが不明瞭になるのは、ダクト径に対し音源波長が短くなっていくとの、音源指向性が観くなることの相乗効果により、音場としてのダクトの影響が弱まるためと思われる。音源の指向性が観くなれば、定在波理論において平面進行波としての前提条件を満さなくなり単純な共振理論は成立たなくなる。

この実験結果と対比するため、管の気柱共振の理論式を用いダクトの共振周波数を求めるところのようになる。

送風機を両端開放ダクトとして考えた場合、共振ピーク間の周波数差を Δf 、基本共振周波数を f_1 とすると、高次の共振ピークは次の関係になる。

$$f_1, f_2 = 2f_1, f_3 = 3f_1, f_4 = 4f_1, \dots \\ \Delta f = f_1$$

同様に閉管として考えた場合奇数倍となり

$$f_1, f_2 = 3f_1, f_3 = 5f_1, f_4 = 7f_1, \dots \\ \Delta f = 2f_1$$

また基本周波数は

$$\text{開管の場合 } f_1 = c/2\ell$$

$$\text{閉管の場合 } f_1 = c/4\ell$$

c : 音速, ℓ : 管長で管端補正を考えると

$$\text{開管の場合: } \ell + (1.2r) \quad r : \text{管の半径}$$

$$\text{閉管の場合: } \ell + (0.6r)$$

この理論に従って算出すると基本および高次の共振周波数は次のようになる。

(開管)

f_1 (基本)

高調周波数 ($f_2 \sim f_{34}$)

32.4	649, 973, 130, 162, 195, 227, 260, 292, 324, 357, 390, 425, 454 Hz
------	--

(閉管)

16.6	49.8, 83, 116, 149, 183, 216, 249, 282, 315, 349, 382, 415, 488 Hz
------	---

なお音場に気流があると音速が変り、音響系の共振周波数も順じて変化する。かりに音の進行方向へ流速 (v) が生じた場合、その時の音速 (C_v) は次式で示される。

$$C_v = c + (1+M^2) M : マッハ数 \% c \text{ で示される。}$$

実験に用いた軸流の送風機では、常用回転で $M =$

0.05 程度で影響が小さいため気流の影響は無視する。

この結果、開管および閉管とも $\Delta f = 32.4 \text{ Hz}$ となり実験値に近いものである。図 5~8 の場合ピークの並びから開管の共振特性が現れているようである。この例の他にマイクロホン位置を変えて同様な実験を繰り返したが、マイクロホンがダクト開口部から離れるほど共振ピークが乱れる傾向があり、ピークの周波数を読み取れないこともあった。なお全体的にみてこの傾向は吸入側のほうが著しいようであった。しかし Δf の周波数幅による周期性はいずれも認めることができた。

単純共振においてはピークの形状は、左右対象の山形波形を示し、一定の周波数幅で高次のピークを伴うと思われる。この傾向を乱す原因の一つに、音響系の中に音場を乱すような障害物がある場合がある。このような音響系においては単純には考えられず、多くの音響系の複合したものと考えるべきであろう。すなわち多くの特性のベクトル和的なものが全体の共振特性になると考えられる。それぞれ周期性の異なるものが数多く重複すれば、その相互の作用力の関係によって、ピーク形状は種々変化すると思われる。全体としては周期性が乏しくなるうえに、周波数の幅が変わることも考えられる。しかし音響系が支配的に作用した場合はその限りではない。ピーク形状が乱れながらも、全体的にみると何らかの周期性が認められるはずである。

本実験においてもピーク形状が乱れながらも、 Δf の周期はいずれの場合でも認められた。これらの結果から数百 Hz の範囲では、ほぼ全長で定まる共振特性が支配的なようである。ダクト内にはモーターおよび静翼が設けられているが、それらの影響は小さいと考えられる。しかし実際の運転状態においては空気流が伴うため、乱流による新しい騒音源が加わる可能性がある。吸、吐出口ともダクト端面において測定した共振ピータはほぼ完全に近いものであるが、開放端から離れるほど乱れる傾向がある。これは端面の放射インピーダンスおよび放射指向性の影響が現れだすためと思われる。これらは周波数の関数で変化するが、端面でのピーク形状が比較的完全なことから、前述したダクト内の音響障害物の影響よりこれらの点が支配的に働くようである。

こうでは 1 KHz 以下の周波数域を対象として検討したが、基本となる動翼回転音は最高回転数で

537 Hz とこの範囲に含まれる。そこでこれらのデータと対比するため、送風機の運転状態における各

回転数のオーバーオールレベルおよび動翼回転音を計測した。図 9~16 はその結果である。ダクト端

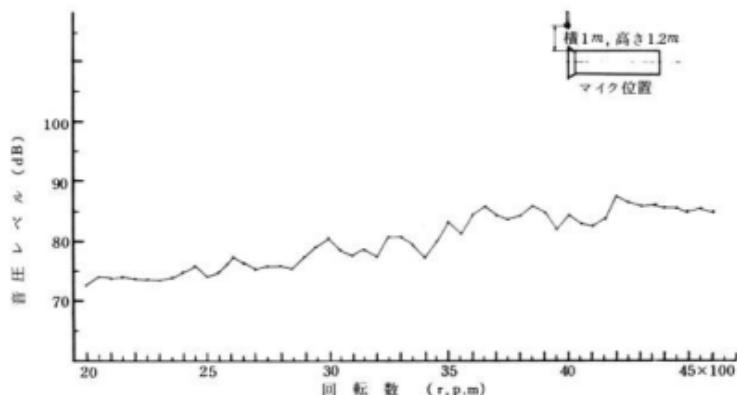


図 9 各回転数におけるオーバーオールレベル(マイク吸込側横 1 m 位置)

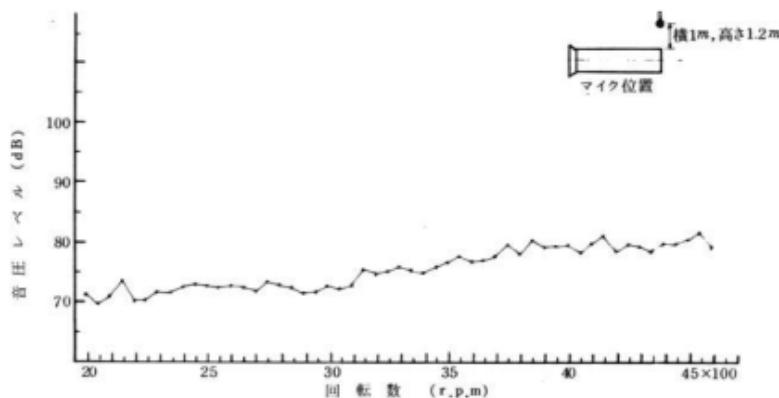


図 10 各回転数におけるオーバーオールレベル(マイク吐出口横 1 m 位置)

面の近辺は音の放射指向性、干渉などの影響で、音場としては非常に不安定な状態であり、それらに支配されないよう多数点で計測した。その中で代表的なものをこゝに示した。運転状態のため風の影響を考えねばならないが、特に吐出口ではマイクロホンは送風方向を避けた点に限られてしまう。そのため

必然的に測定点はダクト端面より離れた位置になってしまい、外乱の影響が入り易く騒音特性の詳細な傾向を追求する上では不利になってしまふ。

動翼回転音は 1~3 次高調波まで示しているが、いずれも横軸は回転数と共に、その回転数に匹敵するそれぞれの動翼回転音の周波数を示している。な

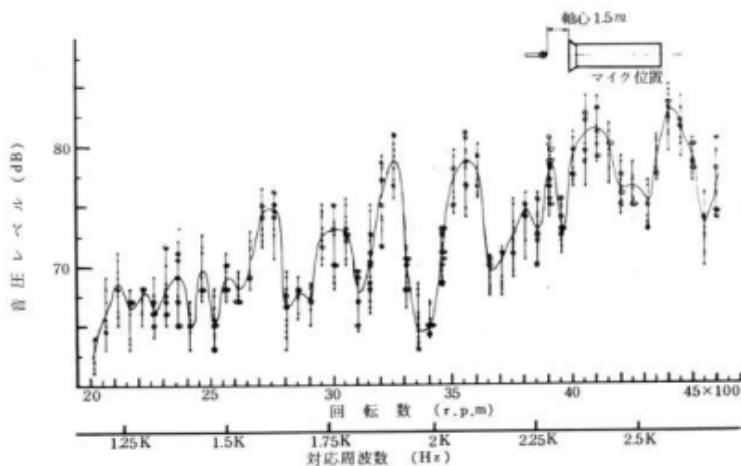


図 11 回転数に対する動翼回転音の音圧レベル(吸入口, 基本)

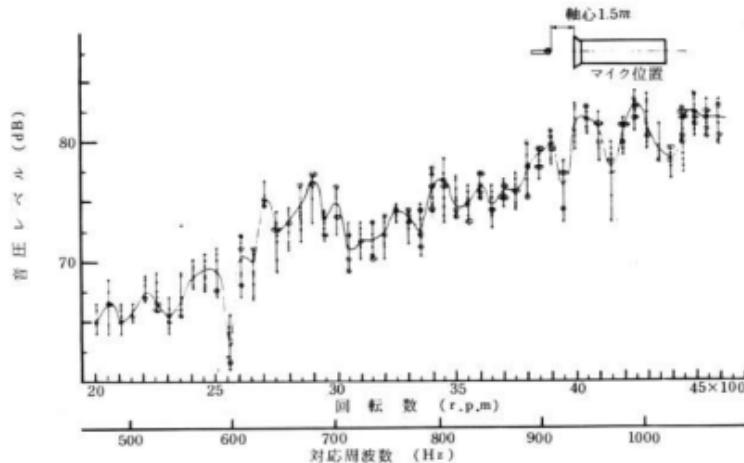


図 12 回転数に対する動翼回転音の音圧レベル(吸入口, 2次)

お時間的なレベル変動が大きいので、各回転数とも実験を繰り返し、ほどこの程度であろうと思われる点を定め推定曲線をひいた。

オーバオールレベル動翼回転音ともレベルの脈動が認められるが、動翼回転音のほうが著しい。動翼

回転音は実験に用いた模擬騒音源と同様な純音的なもので、先に求めたダクトの共振特性に従った脈動をすると考えられる。吸、吐出口で計った動翼回転音の変化と、同様な場所でのダクトの音響特性を比較すると、吐出側では不明瞭ながら傾向が似ている

が、

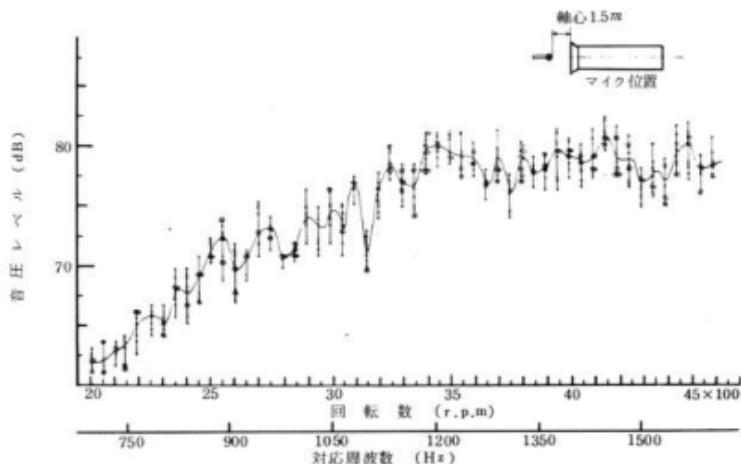


図 13 回転数に対する動翼回転音の音圧レベル(吸入口, 3次)

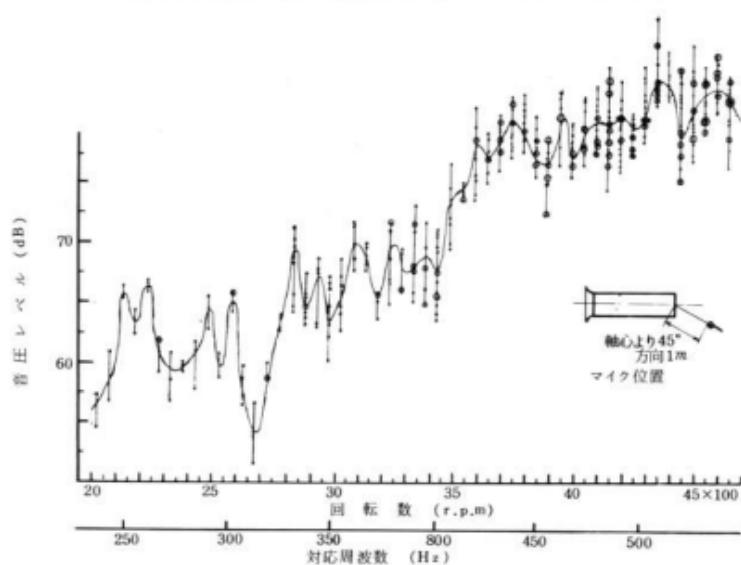
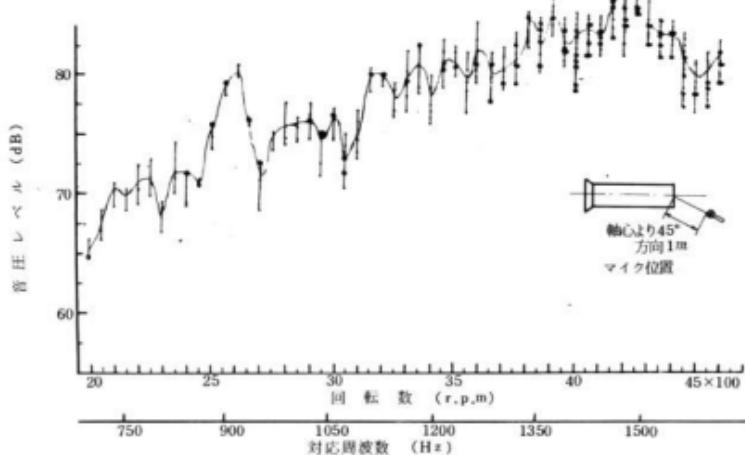
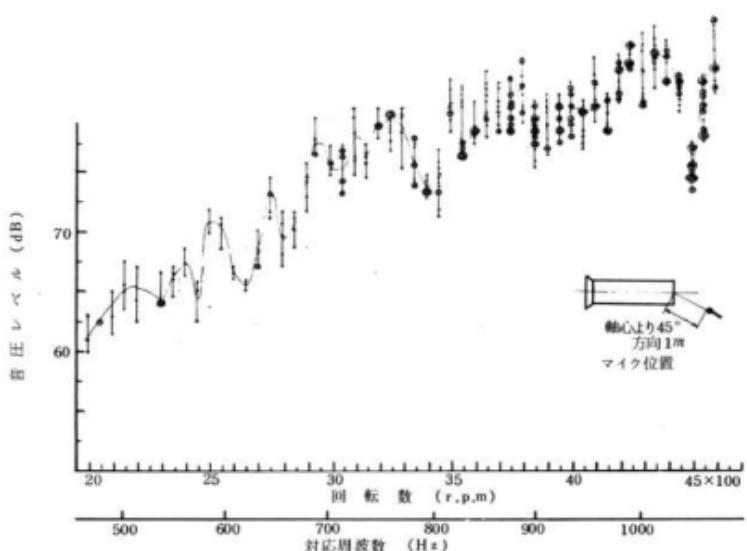


図 14 回転数に対する動翼回転音の音圧レベル(吐出口, 基本)

が、吸入側は明らかでない。この原因は吸入側はダクトを通過しない直接音が加わると、モーターを

含めたボスによる乱流音が影響するためと思われる。模擬騒音による実験で、吸入側でピーク波形が乱れ



たのもやはり直接音の影響ではないかと思われる。

高次の動翼回転音はピークが鈍くなり、データーの変動幅にマスキングされて傾向がみいだしにくい。2次以上になればこの種の帶域幅の狭い周期性を追求するのは困難であろう。音源からみても基本に比べて高次になるほどエネルギー的に低くなってくると、さらにダクトの共振特性からみても 500 Hz 程度から共振ピークが鈍るため、相互の相乗効果が判断を難しくするものと思われる。

オーバーオールレベルの脈動は、これら高調波も含めた動翼回転音に影響されるが、他の白色雑音に類した周波数成分が含まれるため、当然変動幅は小さくなると考えられる。本実験結果においては動翼回転音およびダクト共振特性との相関は認め難い。しかし多くの実験の繰返しにおいて脈動現象は認められるようであった。なお脈動の原因が音場の条件に左右されるのではないかとの疑問から、これら屋外実験の他に送風機を残響室内に入れ同様な実験を試みたがいずれも結果は同じであった。

次にダクトの音響特性の 1 KHz 以上を対象として検討する。高域においても大きな脈動が認められ、動翼回転音の高調波を考えれば充分に影響されると思われる。図 2 は本実験に用いた送風機のほゞ最高効率点に近い分析結果であるが、動翼回転音の第 5 次高調波まで明らかであり、この傾向は実験過程におけるいずれの回転数でも同様であった。分析結果から第 5 次高調波は 2.7 KHz にも達しており、当然ダクトの高域特性の影響がでると考えられる。ちなみに第 2 次高調波でも 4000 rpm 以上で 1 KHz を越えるこの影響範囲となる。KHz オーダーに及ぶ動翼回転音の高調波成分において、大きな周期の変動はこれらの特性が影響しているのではないかと思われる。

高域特性で特長的な傾向は、ダクトの吸入口側面での脈動が他点に比較して大きかった。数百から KHz オーダーの複数の周期が干渉しているようである。ちなみに 500 ~ 1 KHz 程度として逆算すると、ダクト長さ 17 ~ 34 cm となりベルマウス端面から音源間の長さに近いものである。吸入口で著しいことから、この部分の影響ではないかと思われる。

特に高域の複雑な特性は、多くの要因の重複した結果によるものであろう。たとえばダクト共振で代表される音響系の問題、さらに開放端の放射インピーダンスおよび指向性、伝搬過程の干渉などの問題

が重複する。個々の要因について関連を追求することは容易でないが、大まかに見れば大きな脈動は音響系、その上に乗った小さな脈動は放射インピーダンスを含めた伝搬系の影響と考えられる。

低、高域に分けて考えてみたが、ここで図 11 ~ 16 に示される動翼回転音を周波数軸を基準に合せると、一連の傾向は不明瞭ながらダクト特性に近いものである。オーバーオールレベルとの相関は明らかでないが変動は認められるようである。オーバーオールの場合動翼回転音の純音成分に加え、乱流音など白色雑音的なものが含まれるため、ダクトの音響特性が現れ難いと思われる。動翼回転音とダクトの関係のみ考えれば、回転数に伴う騒音脈動は、低回転域ではダクトの全長が支配的で、高回転になればダクトの一部の特性が支配するものと思われる。

4. 結 言

軸流送風機の騒音は回転数の上昇に伴って脈動しながら上昇していくようである。こゝで示したデータの他に、条件の異なる多くの実験において同様な傾向が認められた。その主因を動翼回転音とダクトの共振に求めたが、不充分ながら関連が認められた。これまでの実験では現象の確認の範囲で終ったが、これらの点がより明らかになれば、わずかな回転数の制御のみで数 dB の騒音低減ができる可能性が生れてくる。さらに送風機の性能評価からみた騒音測定も、これらの点を考慮した方法が確立されなければならない。

この報告は工業技術院機械技術研究所において、研修生として 3 ヶ月間研究を手伝わせて頂いた間のものをまとめたものである。実験途中のため随所に矛盾したこと、先走りした点があると思う。これらの点を反省し機会あればさらに実験を進めてみたいものである。おわりに研修期間中終始親切に御指導頂いた原田騒音振動課長並びに菊島技官に感謝致します。

文 献

- 1) 梶、岡崎：日本機械学会論文集 38, № 315 (1972) 2854.
- 2) H.F. OLSON : 音響工学 (1959).

N C 加工技術に関する研究（第2報）

旋削用簡易自動プログラミングの開発

吉池啓侑、南良良治
山崎隆志、平田敏明

1. 緒 言

最近のN C 工作機械の普及率はめざましいものがあり中小企業に導入される例も数多くなっているが、その稼動率は十分とは思えないものが多い。

その原因の多くは中小企業の宿命ともいえる多品種、小量生産という形態から生ずるプログラミングのわざわしさにあると思われる。

このような事態に対処する手段の一つとして自動プログラミングシステムが考えられ、すでに数多くのシステムが実用に供されておりその効果についての報告もされているがこれらの多くは中小企業の作業現場向きとは考えにくいものである。

この実状と最近のミニコンピュータ導入例の増大とを考え合せて、現場作業者にもなじみ易い小容量の電算機を使用した簡易な自動プログラミングシステムの可能性について検討した。

なお対象機種は普及台数の最も多いN C 旋盤に限定している。

2. 使用した機械

使用したミニコンピュータ、周辺機器は次のようなものである。なおプログラムはアッセンブラー言語を使って書かれている。

ミニコンピュータ	FACOM U-200(12KW)
テープ読み装置	7060A
タイプライタ装置	807A
	以上富士通機
N C 装置	FANAC 240A
	富士通ファック

3. 結果と考察

中小企業に導入されているN C 工作機械のトップを占めるのはN C 旋盤であるがその作業現場を見るにオペレーターがプログラマーを兼ねているケースが大部分である。

このような実状と現在実用されている各自動プログラムがなじみ合わない理由として

(1) 比較的大きな処理システムを必要とするものが多くしかも高価であり、専門プログラマーを要する場合が多い。

(2) 従って中小企業に導入される機会は少ないし、市中の電算センター等に完備されている例も少ない。

(3) 点、線といった定義を要するランゲージフォーマットが作業者にとってはなじみにくい。等が考えられる。

これらのことから開発される簡易プログラムの持つべき仕様、形態として

(1) I/O 機能の十分でないミニコンで使用可能であること。

(2) 使用し易いものとするため対話形式に準じた形とする。

(3) 作業者がなじみ易いものとするため入力データは加工すべき形、直径、長さ、半径等の形をとる。

(4) 図1に示すように加工すべき形状をそれぞれの図形ブロックに分割し、ブロックごとに処理することとする。これはコア容量の制限上からも有利である。

(5) 機能の追加が容易であること。

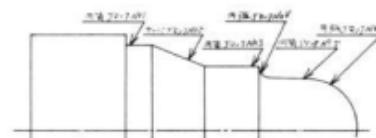


図1 図形の分割

などの機能を持たせることとした。

これらのことから全体の構成としてはデータ受け付、各サブルーチン及び I/O を管理するメインルーチ

ン、各
ンが使
だ。

これ
図を図

入

リス

出

出

孔装
のコ
に作
まわ
なれ
トブ
ること
るた

ン、各形状を処理するサブルーチン、各サブルーチンが使用する複数の演算ルーチンに分割して作成した。

これらプログラムの構造を図2に全体の処理流れ図を図3に示す。

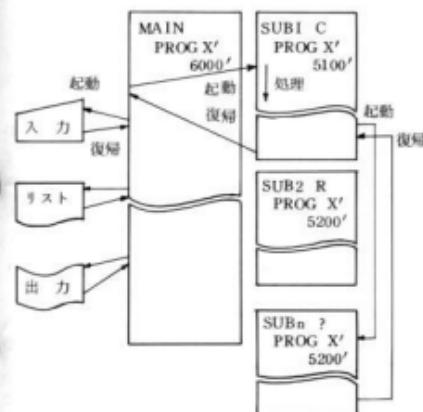


図2 プログラムの構造

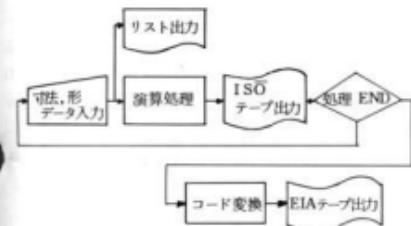


図3 システムフローチャート

図中にあるコード変換はアウトプット用高速さん孔装置(ISOコード)とNC装置(EIAコード)のコードが異なるため必要となるものでこれはすでに作成、使用していたコード変換プログラムをそのまま流用している。

なおロケーションリストのような中間データアウトプットは取っていない。これは記憶装置を節約することと前述したように图形ブロックごとに処理するためあまり大きな意味を持たないためである。

図4にプログラムのフローチャートを示す。

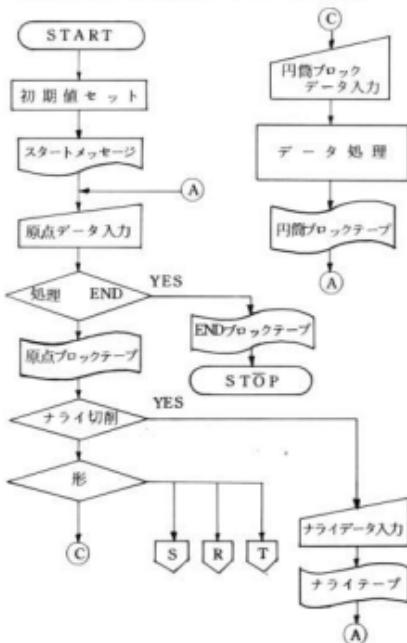


図4 ゼネラルフローチャート

図中の原点データとは工具の出発原点、座標、切込量、送り量、回転数、工具N番等を含む一連のデータでありこれらはすべてリスト上に示された(要求された)順に入力すればよい。

次に処理終了の判定がくるのは原点データのすべてをX'0000'としたとき以後のループを抜ける形をとったためである。

徹い判定は荒削りと仕上削りの識別を行なうブロックであり、荒削りの場合であれば切削すべき形状判定を行なった後にその图形に特有なデータを原点データの場合と同様な形で入力すればその图形を受け持つサブルーチンにデータが引きつがれ処理結果がNCテープの形で出力され再び原点データ入力点④に帰ることになる。

なお仕上切削の場合であればナライバイトを使用することのほかにデータ入力の形が若干異なるだけではほぼ同様な処理を行なった後で④に帰ることは荒

削りの場合と同じである。

すべての図形ブロックの処理が終了した時点で原

点復帰、主軸停止等を含むテープを出力した後、全処理を終えることになる。

```

AUTOC START
#SPX(S15300000 *SPZ(S110000 *T1U(1)1 #S(2)52 *UD(S30UT200 *UL(S109100 *T(3)300 #F(4)0200
KATACHI *C
OK EINTO
#FL(S153064000 *FL(S109000
#SPZ(S15300000 *SPZ(S110000 *TNU(1)1 #S(2)52 *GD(S306600 *UL(S108100 *T(3)300 #F(4)0200
KATACHI *C
OK EINTO
#FD(S15305000 *FL(S107300
#SPX(S15300000 *SPZ(S110000 *TNU(1)1 #S(2)52 *GD(S105760 *GL(S103000 *T(3)100 #F(4)0200
KATACHI *C
OK EINTO
#FD(S15305000 *TLE(S15308100 *NUGE(1)1.190
#SPX(S15300000 *SPZ(S110000 *TNU(1)1 #S(2)52 *GD(S1050900 *GL(S104000 *T(3)100 #F(4)0200
KATACHI *C
OK EINTO
#FD(S15304200 *FL(S103400 *I(6)000400 #K(6)000000 *S(5)00400 *GG(1)20000 *FENKOG(4)02000
#SPX(S15300000 *SPZ(S110000 *TNU(1)1 #S(2)52 *GD(S104200 *GL(S102300 *T(3)100 #F(4)0200
KATACHI *C
OK EINTO
#FD(S15300000 *FL(S106000 *I(6)000000 #K(6)-02100 #S(5)300000 *GD(1130000 *FENKOG(4)02000
#SPX(S15300000 *SPZ(S110000 *TNU(1)2 #S(2)54 *GD(S100000 *GL(S100000 *T(3)000 #F(4)0100 *L
NL X 000000200100 *L
NL X 04000203700 *L
NL X 0400020410001000400K000000 *L
NL X 0400020410001000400K000000 *L
NL X 05000208100 *L
NL X 06000208100 *L
NL X 64000209100 *L
NL X 07300209100 *F
#SPX(S15300000 *SPZ(S110000 *TNU(1)3 #S(2)52 *GD(S104000 *GL(S101000 *T(3)200 #F(4)0200
KATACHI *C
OK EINTO
#FL(S101500 *TLP(S104100
#SPX(S1000000 *SPZ(S110000 *TNU(1)0 *S(2)300 *GD(S100000 *GL(S100000 *T(3)000 #F(4)00000* PANCH OUT END
*0001

```

図5 出力されたリスト

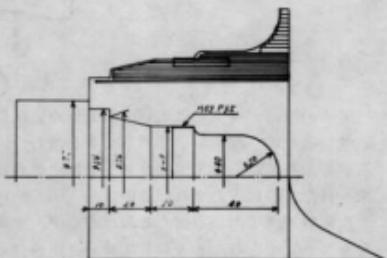


図6 工具 軌跡

図5に出力されたリストの一例を、図6にその結果得られた工具軌跡を示す。

なお写真1は切削された加工物の外観を示したものである。

4. 結 言

ミニコンピュータを使用する簡易なNC自動プログラムシステムの可能性について検討した結果、次

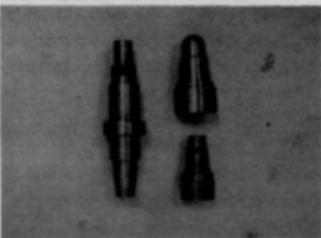


写真1 加工物の形状

のような結論を得た。

(1) 一般的に旋削加工によって得られる形状はいくつかの図形パターンに分類し得るものであり

(2) 従ってこれら分解された図形をそれぞれのサブプログラムによって処理し、これらを結合することによって加工形状の全処理が可能となる。

(3) ミニコンピュータを使用したNC自動プログラムシステムは実用可能であり、各企業の体質に合ったシステムにすればNC工作機械の稼動率向上に役立つものと思われる。

に後、全

(d) 今回開発したシステムでは、加工すべき形状と素材の形の組合せによっては加工時間の一部にロスが発生する可能性がある。

なお使用されたコアの量はおよそ 5500 語であり

残っているコアを利用して現時点では処理されないミゾ入、中ぐり等の図形処理や禁止事項の解消等、順次機能の強化拡張を図ってゆく計画である。

炭酸ガスアーク溶接法の中炭素鋼への適用に関する研究（第1報）

中炭素鋼溶接部の諸性質に及ぼす溶接条件の影響*

野地英治, 蒲田政信
烟徳宣, 片山義孝

1. 緒言

中炭素鋼材料は、低炭素鋼材にくらべ強度、耐摩耗性に優れており、比較的安価であるため、県下の中小企業においても、土木建設機械、船用部品、農機具、工作機械等の部品に用いられる。その溶接加工もなされている。しかし、この材料の溶接は、従来から主に低水素系被覆アーク溶接棒による交流アーク溶接法が行なわれているが、軟鋼等と比較すると、溶接性がわるく、当場に対しても溶接割れ等の原因と防止対策に関する相談が数多い。従って、これら溶接割れ等溶接性の問題を解決するとともに、さらに省力化、合理化の図りやすい溶接方法を追求していくことは県下の中小企業にとって重要な課題である。そこで、自動化、省力化が期待出来る炭酸ガスアーク溶接法に着目し、本溶接法を用いて、溶接性の問題を追求し、中炭素鋼材料の溶接に適かかどうかを検討することとした。

本報告は、その第1報であり、水素の割れに及ぼす影響と被覆アーク溶接法との比較、割れの種類とその発生箇所、溶接諸条件の硬さ、ビード形状に及ぼす影響度等基本的問題を検討した。なお、これらの実験を行なうにあたっては、統計的手法¹⁾を用いて、特にデータの普遍性、信頼性には注意をはらつた。その結果、中炭素鋼材料の溶接に炭酸ガスアーク溶接法を適用できる見通しがついたので、以下報告する。

2. 炭酸ガスアーク溶接法による平板ビード置き試験

2.1 目的

炭酸ガスアーク溶接法による各種溶接条件が、中炭素鋼溶接部の硬さ、ビード形状に及ぼす影響度を求め、割れとの関連を解析する。

2.2 実験方法

本実験で取り上げた溶接条件および水準を表1に示す。これら因子、水準を実験計画法に基づきL₁₆

表1 平板ビード置き試験の溶接条件
(変動因子)

因 子	水 準
溶接電流 (A)	150 200
溶接速度 (mm/s)	300 400
予熱温度 (°C)	室温 100
後熱温度 (°C)	なし 400
試験片寸法 (mm)	75 × 200 150 × 200
材 質	S45C S55C
前 处 理	as roll 調質
シールドガス	CO ₂ CO ₂ + O ₂

(2¹⁵) の直交表にわりつけ、溶接熱影響部の硬さ、溶接金属の硬さ、溶込み深さ、余盛高さ、ビード幅を測定した。溶接順序はデータのかたよりを少なくするため、ランダムとし、溶接方法は溶接トーチを行走キャリッジに取りつけ、下向き全自動で行なった。

また、本実験に使用した材料の化学成分を表2に示す。その他の主な固定因子は次のとおりである。

表2 試験材材料の化学成分

化 反 分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
材料									
S55C	0.52	0.27	0.68	0.022	0.013	0.008	0.025	0.004	0.018
S45C	0.44	0.24	0.69	0.020	0.015	0.102	0.150	0.019	0.133

溶接ワイヤ : DS 60 - φ 1.2

突出し長さ : 15 mm

トーチ保持角度 : 90 度

* 「中炭素鋼溶接手の強度評価に関する研究」と題し、昭和50年度 技術開発研究費補助事業成果普及講習会にて発表

ガス圧・流量 ; $\left\{ \begin{array}{l} \text{CO}_2 \text{のみ : } 1.8 \text{kgf/cm}^2 \cdot [0.18 \text{MPa}] \\ 20 \text{ l/min} \\ \text{CO}_2 + \text{O}_2 : 1.5 \text{kgf/cm}^2 \cdot [0.15 \text{MPa}] \\ \text{CO}_2 18 \text{ l/min}, \text{O}_2 2 \text{ l/min} \end{array} \right.$

2.3 実験結果および考察

熱影響部硬さの分散分析結果を表3に示す。この結果熱影響部の硬さに対しても、後熱処理、溶接電流

表3 热影响部かたさの分散分析表

要因	D.F	SS	MS	F ₀	寄与率(%)
電流(A)	1	28224	28224	17.37**	19.0
予熱(C)	1	12882	12882	7.93*	8.1
A × C	1	1190	1190	—	—
後熱(D)	1	51076	51076	31.44**	35.4
A × D	1	6241	6241	3.84	—
C × D	1	5112	5112	3.15	—
試験寸法(E)	1	930	930	—	—
材質(F)	1	8464	8464	5.21	4.9
熱処理(G)	1	900	900	—	—
シールドガス(H)	1	5700	5700	3.51	—
B × D	1	2	2	—	—
B × C	1	2500	2500	—	—
A × B	1	3660	3660	2.25	—
速度(B)	1	8742	8742	5.38	5.1
e	1	4225	4225	—	—
e'	6	9747	1624.5	—	—
		139848			

流の影響が著しく大であり、100°C程度の予熱を行なっても、その効果が認められる。また影響の度合い以後寄与率(%)とは、それぞれ35.4%, 19%, 8.1%である。一方本実験で取りあげた他の因子の影響は比較的小さいことがわかった。この結果を言いかえると、熱影響部の硬さをやわらかくするためには、後熱処理を行なうこと、溶接電流を上げること、予熱を行なうことが非常に効果があり、溶接速度を遅くすること、材料の前処理、シールドガスの種類の影響等の効果はほとんど認められないということである。また、S45C・S55Cの材料の差は、もちろん多少S55C材の方が硬くなるが、その値はあまり変わらない。有意差の認められた因子の硬さへの影響を図1に示し、同様に溶接金属の硬さ、ビード形状に及ぼす影響を図2から図5に示す。

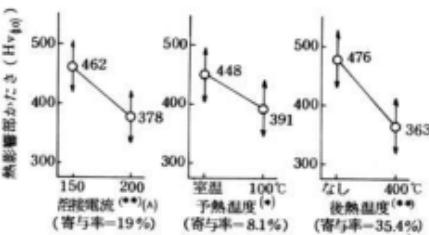


図1 热影响部かたさに及ぼす溶接条件の影響

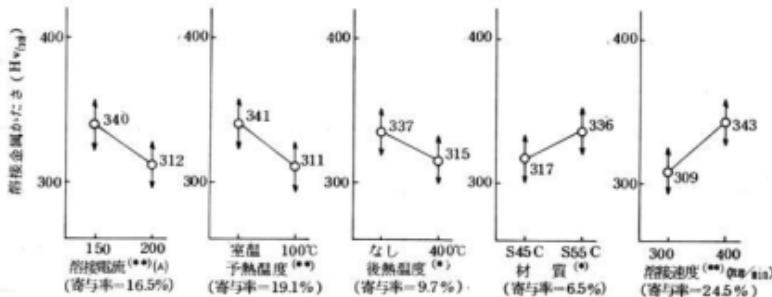


図2 溶接金属のかたさに及ぼす溶接条件の影響

溶接金属の硬さに対しては、溶接速度($\rho=24.5\%$)、予熱($\rho=19.1\%$)、溶接電流($\rho=16.5\%$)の影響が顕著であり、後熱($\rho=9.7\%$)、材質($\rho=6.5\%$)の影響も認められる。また、両方の硬さを比較すると、

同一条件では溶接金属より熱影響部の硬さが相当大であり、マルテンサイト組織が出やすくなる。溶接条件の影響の度合いは明らかに異なることに着目する必要があると思われる。硬さおよび組織は割れ

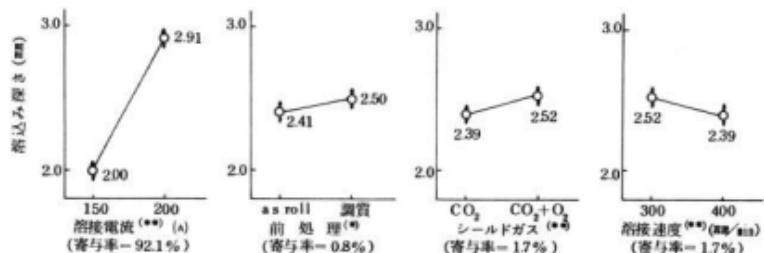


図3 溶け込み深さに及ぼす溶接条件の影響

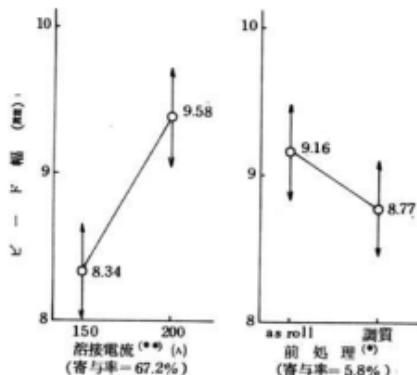


図4 ビード幅に及ぼす溶接条件の影響

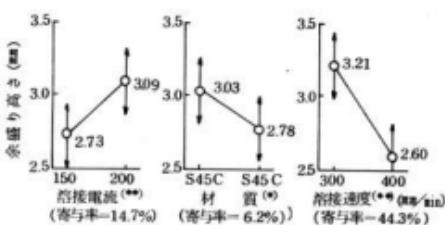


図5 余盛り高さに及ぼす溶接条件の影響

との相関が非常に高いと考えられ、中炭素鋼溶接継手は熱影響部が最も割れやすく、溶接直後に後熱処理を行なうことが割れ防止に大きな効果があり、溶接電流をあげること、予熱を行なうことも有効であると考えられる。一方溶接金属が割れる場合は、そ

の防止対策も多少異なると考えられる。

つぎにビート形状に及ぼす溶接条件は、余盛り高さに関しては、溶接速度の影響が最も大きく、溶接電流、また材質の影響も多少認められた。溶込み深さは、シールドガスに酸素をませた方が、また、溶接速度は遅い方が多少深くなるが、圧倒的に溶接電流の影響が大きく($\rho = 92.1\%$)、他の因子の影響はほとんどない。ビート幅も溶接電流の影響が最も大きく、調質材は溶込みが多少深くなり、ビート幅は減少する。

3. 割れの種類と後熱の影響

3.1 目的

前項の実験により、割れは溶接金属よりも熱影響部が割れやすいこと、またその防止対策の予測を行なったが、その確認と割れ発生時期・状態の把握、割れ試験方法の指針を求める。

3.2 実験方法

表4に示す溶接条件を $L_{16}(2^5)$ の直交表にわりつ

表4 割れ試験の溶接条件

因 子	水	準
電 流 (A)	125	175
予熱温度 (°C)	室温	100
後熱温度 (°C)	室温	400
材 質	S45C	S55C
溶 接 法	手溶接 (LB-52)	$\text{CO}_2 - \text{O}_2$

け、くり返し数を2回とした。割れ試験片は、JIS Z 3158(斜めY形溶接われ試験方法)に定める試験片の開先形状をY形に加工したものを用いた。溶接方法および主な固定因子は前項と同様である。なお溶接速度は300 mm/minとした。割れの判定は断面

測定法により、約 80 mm の溶接長から、それぞれ等間隔に 5 断面をぬきとり、エッティング後検鏡により行なった。

3.3 実験結果および考察

本実験に用いた Y 開先は、一般に溶接金属の割れ試験用の開先形状であるにもかかわらず、発生した割れは、クレーター割れを除いてすべて熱影響部の割れであった。また割れ発生時期は、溶接部が 100 °C 以下の温度で、かつほとんど 2~4 時間に内に発生した。つまり割れの種類は熱影響部の低温割れである。この割れ発生温度は被覆アーク溶接棒で溶接された報告とは異なっている。²⁾³⁾

また、割れの発生は非常に単純であり、全く割れないか、あるいはほぼ完全に割れてしまうかのどちらかで、表面に開口しないような割れはなかった。このことは中炭素鋼材料は、例えば高張力鋼等と比較すると、割れの進行を阻止する能力に乏しく、現場では発見が比較的容易であると考えられる。したがって、実験的には割れを計量値として扱うことにはほとんど意味がなく、割れたか、割れないかを特性値とする方がより良いと考えられる。表 5 に割れを計数分類値として扱い分散分析した結果を示すが、特に後熱処理の影響は顕著に認められ、400°C の後熱を行なった試験片はすべて割れが発生しなかった。後熱温度と硬さとの詳細例を図 6 に示す。

表 5 割れ試験の分散分析表

要 因	D.F.	SS	MS	F _{0.05}
電 流 (A)	2	5.33	2.66	21.80**
予熱温度 (B)	2	5.33	2.66	21.80**
A × B	2	0		
後熱温度 (C)	2	21.32	10.66	87.38**
A × C	2	5.33	2.66	21.80**
B × C	2	5.33	2.66	21.80**
D × E	2	0		
材 質 (D)	2	5.33	2.66	21.80**
A × D	2	0		
B × D	2	0		
C × E	2	5.33	2.66	21.80**
C × D	2	5.33	2.66	21.80**
B × E	2	0		
A × E	2	0		
溶接法 (E)	2	5.33	2.66	21.80**
e ₁	3.2	5.37		
e' ₁	4.4	5.37	0.122	

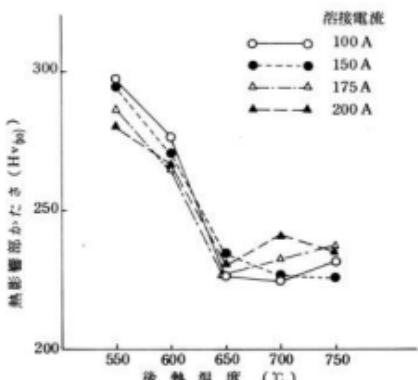


図 6 後熱温度の違いによる溶接熱影響部のかたさ

4. 水素の割れに及ぼす影響

4.1 目的

熱影響部の低温割れは拘束応力、マルテンサイト組織、水素の存在が重なりあって発生する。炭酸ガスアーカー溶接法で实体ワイヤを用いると、水素はほとんど含有していないため、被覆アーク溶接法と比較すると、その点で耐割れ性も優れていると予測される。そこで水素量の差による割れ発生を検討し、両溶接法の比較を行なう。

4.2 実験方法

材料は先に示した市販の S55C を使用し、前項の実験に用いた Y 開先溶接用試験片を作成した。溶接方法は、溶接電流 120A、溶接速度約 300 mm/min で、次に示すように水素量の異なる 3 種類の溶接棒（およびワイヤ）と予熱温度を変えて試験ビードを置いた。割れの測定は前項同様に、顕微鏡により観察した。なお、水素量は JIS Z 3113（溶着金属の水素測定方法）により求めた。

4.3 実験結果および考察

実験結果を熱影響部の硬さと割れ率の関係で整理し図 7 に示す。これによると水素量の差によって割れが発生する硬さは異なっており、このスリット型割れ試験において、実体ワイヤを用いる炭酸ガスアーカー溶接法では、ピッカース硬さが 500 強以上にな

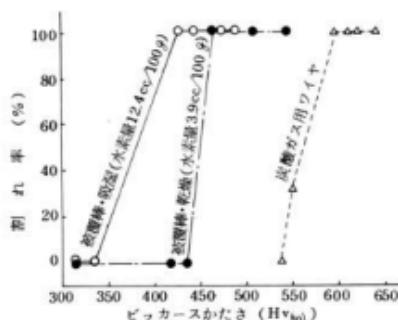


図7 水素量の差による熱影響部の割れ率

らないと割れが発生しないのに対して、吸湿した被覆棒では、硬さが300以上になると割れが発生する。ただ実体ワイヤを用いる炭酸ガスアーケル溶接法は、スラブがほとんどないため、溶接部の冷却時間が多少速くなるので、その点を考慮して入熱を決定すれば、中炭素鋼材料の溶接に十分適用できると考えられる。

5. 結 言

中炭素鋼材料の溶接に、自動化、省力化の期待できる炭酸ガスアーケル溶接法に着目し、その適用をはかるため、水素の割れに及ぼす影響、割れの種類、溶接諸条件の硬さ、ビード形状に及ぼす影響度等基本的問題を検討した。その主な結果をまとめると次

のとおりである。

(1) 中炭素鋼溶接部の硬さは、同一溶接条件では溶接熱影響部が最も硬くなり、後熱処理、溶接電流、予熱の寄与率が高い。

(2) 炭酸ガスアーケル溶接法による中炭素鋼溶接部の割れは、溶接熱影響部の低温割れが主であり、その発生現象は単純である。

(3) 後熱は割れ防止に大きな効果があり、Y形溶接われ試験片で、400°Cの後熱処理を行なうと低温割れはすべて防止できた。

(4) 水素の熱影響部低温割れに及ぼす影響は顕著であり、水素量の少ない炭酸ガスアーケル溶接法は、その点で耐割れ性に優れている。

(5) 溶接諸条件とビード形状との関係が明らかとなり、その影響度も求められた。

謝辞：本研究を進めるにあたり、工業技術院計量研究所、矢野宏課長、樋田並照主任研究官はじめ第一部計測機構課の皆様、ならびに共同研究参加機関担当者の皆様から、有益な御意見、御指導を賜わり心から感謝いたします。

文 献

- 1) 例 小西：「実験計画法」日刊工業
- 2) 川原、他：溶接学会全国大会講演概要（昭和49年度秋期）22～23
- 3) 西尾、他：同上 59～60

炭酸ガスアーク溶接法の中炭素鋼への適用に関する研究（第2報）

中炭素鋼溶接における低温割れ防止について*

畠 徳宣, 野地英治
蒲田政信, 片山義孝

1. 緒 言

中炭素鋼材料は、機械的性質がすぐれており、よく利用されている。しかし前報によると炭素当量が高く、溶接条件の選定によって溶接部の組織が種々変化し、熱影響部のかたさは、最高でピッカースかたさ600にも達している。また、割れは溶接熱影響部の低温割れが主であり、水素の熱影響部低温割れに及ぼす影響が顕著であった。このように中炭素鋼は、割れを発生しやすい材料で、いたん割れが発生すると阻止されることが少なく、ほとんどの試験片で、溶接線全長にわたって割れている。しかし一方400°Cの後熱処理により、Y形溶接割れ試験片で低温割れはすべて防止できることも確かめられているが、現場で高温の後熱処理をすることは、困難をともなうことが多い。そこで、溶接金属の水素量が、きわめて少ない炭酸ガスアーク溶接法を用いて、中炭素鋼の熱影響部の低温割れ防止に着目し、溶接条件と材質の組合せ別に、割れの有無と予熱温度、および拘束応力と割れ防止予熱温度に関する実験を行ない、割れ防止に対する指針が得られた。また比較的単純な割れ現象を統計的に処理する手法も得られたので報告する。

2. 実験方法

2.1 実験装置および割れ試験片

本実験に使用した溶接機は、500A直流炭酸ガスアーク半自動溶接機であり、溶接トーチは自動走行装置に固定し、溶接は自動で行なった。溶接にあたっての固定条件として、溶接用ワイヤーはφ1.2の実体ワイヤーでDS60を使用して、突出し長さは15mm、炭酸ガス流量は20L/min、溶接姿勢は下向である。次に割れ試験片は、中炭素鋼(S45C, S55C)で板厚10mmを使用し、化学成分、機械的性質につ

いては前報と同じものである。割れ試験片の形状については、JIS Z 3158に定める斜めY形溶接われ試験片と、その開先をY形にしたものとを使用した。また、JIS Z 3155に定めるC形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験ではその開先を斜めY形とした。なお開先是圧延方向と直角にとり機械加工をした。

2.2 アップダウソ法の適用について¹⁾

Y形および斜めY形溶接割れ試験片に、それぞれS45CとS55Cを用い、溶接電流は120A、溶接速度は300mm/minとし、予熱温度を変え実験を行なった。最初の実験は、各組合せごとに予想される割れ防止予熱温度で行ない、予熱の階差は技術的に制御可能な10°Cとした。最初の実験を行なったのち24時間放置して磁粉探傷法で割れの有無を確認し、割れがあれば1階差予熱温度を上げ、割れがなければ1階差予熱温度を下げて次の実験を行ない、以後これを繰り返した。なお、予熱は試験片中央部の裏面に、開先をはさんで両側25mmの位置に、熱電対を取り付け、表面全体をバーナーで加熱し試験片全体の温度が均一になるように注意して行なった。

2.3 くいちがい量の測定について

Y形および斜めY形溶接割れ試験片を用い、溶接線をはさんで表裏にφ1.6の鋼球を標点距離20mmに打ち込み、溶接終了後室温まで冷却したときの標点間隔と、その溶接部をガス切断して拘束を解放した後の標点間隔を室温で、各10点測定してその差の平均値(くいちがい量)を求めた。なお測定点は、溶接長約80mmで溶接始端より10mmの位置から15mmの等間隔とした。信号因子は、溶接電流、アーク電圧、溶接速度を変え、溶接入熱として次のように整理した。

$$\text{溶接入熱 } J = \frac{60E \cdot I}{V} \quad (\text{Joule/cm})$$

V: 溶接速度 (cm/min)

* 「中炭素鋼溶接機手の強度評価に関する研究」と題し、昭和50年度 技術開発研究費補助事業成果普及講習会にて発表

E : アーク電圧 (V)

I : 溶接電流 (A)

また、割れ因子に開先形状、入熱を信号因子、溶接実験のくり返しを誤差因子として、各開先形状ごとのS/N比を求めた。²⁾

2.4 割れ防止予熱温度を求める実験

斜めY形溶接割れ試験片に、S45CとS55Cを用い、溶接電流は120Aと140Aで、溶接速度は300mm/minと400mm/minで計8枚の溶接をランダムに行ない、割れ防止予熱温度を前項の方法により求めた。次にC形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験片では、拘束条件を変えS45CとS55Cを用い、溶接電流は120Aと140Aで、溶接速度は300mm/min一定として行ない、割れ防止予熱温度を同様に求めた。拘束はC形ジグのボルト(左右7本づつ)をトルクレンチで均等に締付け歯形受台90mmでは、ボルト締付力を1200kgf-cm(11.7KN-cm)とし歯形受台120mmでは、ボルト締付力を2400kgf-cm(23.52KN-cm)とした。

2.5 拘束応力の測定

斜めY形溶接割れ試験片については、2.3項の実験によるくいちがい量から次式によって拘束応力を求めた。

$$\sigma_w = \frac{p \cdot h \cdot \Delta \ell}{h_w}$$

σ_w : 溶接部の平均拘束応力 (kgf/mm² [N/mm²])

p : 拘束係数 (kgf/mm² mm [N/mm² mm])

h : 母材の板厚 (mm)

h_w : 溶接部ののど厚 (mm)

$\Delta \ell$: ルート間隔の弾性的変化量 (mm)

拘束係数については、文献³⁾により求められた値113kgf/mm²mm[1.11KN/mm²mm]を使用した。また、溶接部ののど厚は溶接部を5断面に切断して測定し、5断面の平均値とした。ルート間隔の弾性的変化量はくいちがい量のことであり板厚は10mmである。次にC形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験片の拘束応力は、試験片の両端面に溶接部をはさんで、標点距離100mmでφ1.6の鋼球を打ち込み溶接後の標点間隔と拘束をはずした後の標点間隔を測定して、その差をひずみ量とした。次にその試験片を万能試験機で引張り、ひずみ量と荷重の関係より溶接部にかかっている荷重を求めた。荷重をのど厚の面積で割れば、拘束応力が求められる。断面測定法によるのど

厚に溶接長をかけば、のど厚面積が求められる。なお溶接条件については、2.4項と同様であり、C形ジグ拘束突合せ溶接試験片は、2.4項の実験で割れの発生しなかった試験片を用いて拘束応力を求めた。

3. 実験結果および考察

3.1 アップダウン法の適用について

図1にそれぞれの組合せ条件別に、予熱温度と割れの有無の関係を求めた結果を示す。図中の白丸は

予熱 温度(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	○	●	計	
170										○	○	○							3			
160										●	●	●							3	3		
150										○									2	3		
140										○	●	●							1	2		
130										●									1			
120																						

T = 154°C σ = 16.5°C 計 9 9

(1) 開先形状Y形(材質 S45C)の割れ結果

予熱 温度(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	○	●	計			
210																					
200										○	○	○						3			
190										●	●	●	○	○	○			3	3		
180										●	●	●	●	●	●	●	●	1	4		
170																●		1			
160																					

T = 188°C σ = 8.4°C 計 7 8

(2) 開先形状斜めY形(材質 S45C)の割れ結果

予熱 温度(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	○	●	計
210																					
200										○	○	○							3		
190										●	●	●	●	○	○	○			3	3	
180										●	●	●	●	●	●	●	●	●	1	4	
170																●		1			
160																					

T = 147°C σ = 6.9°C 計 9 9

(3) 開先形状Y形(材質 S55C)の割れ結果

予熱 温度(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	○	●	計
210																					
200										○	○	○	○	○	○	○	○		1		
190										●	●	●	●	●	●	●	●		3	3	
180																			1	3	
170																		●	1		
160																					

T = 190°C σ = 12.6°C 計 9 8

(4) 開先形状斜めY形(材質 S55C)の割れ結果

割れの無いものを黒丸は割れの有るものを示している。また、この結果をもとに各組合せごとの割れ防止予熱温度の平均値 \bar{T} と標準偏差 σ を合せて示す。割れ防止予熱温度の平均値は、この温度で試験をする場合 50% の試験片が割れないことを示すものであり、標準偏差は 95% 信頼限界の範囲である。この結果、斜め Y 形溶接割れ試験片は Y 形溶接割れ試験片よりも、割れ防止予熱温度が 30°C ~ 40°C ほど高く割れ試験として厳しい開先形状であることがわかった。本実験での中炭素鋼の割れは、全部が熱影響部の低温割れであり、割れのあるものについては溶接線全長にわたり割れていた。このことは割れ長さとか割れ率を特性値にしてデーターを整理することが困難であり技術的にも意味がなく、割れの有無を特性値として実験を行なうのがよりよいと思われたので、アップダウソ法を適用した。この結果、中炭素鋼溶接部の割れ試験における測定困難な連続变量である割れ防止予熱温度を求めることが可能となった。

3.2 くいちがい量の測定について

図 2 に Y 形溶接割れ試験片と斜め Y 形溶接割れ試験片のくいちがい量を、入熱で整理した結果を示す。また、この結果をもとに SNR の計算を行なったところ、Y 形開先については -58.24 dB、斜め Y 形開先については -47.85 dB となり、斜め Y 形開先の方が Y 形開先より 3 倍程度感度がよいことがわかった。表 1 に斜め Y 形溶接割れ試験片のくいちがい量を分散分析した結果を示す。くいちがい量におよぼす溶接電流、溶接速度の影響が有意となり、それぞれ寄与率は 20% と 71% であった。3.1 の結果と本結果

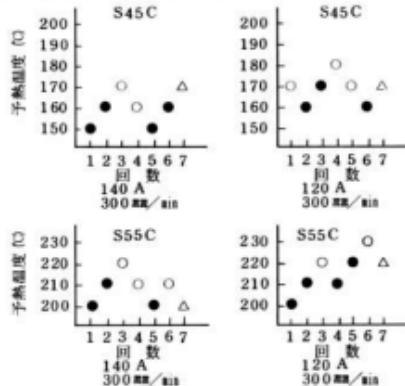


図 3 斜め Y 形溶接割れ試験片による割れ試験結果

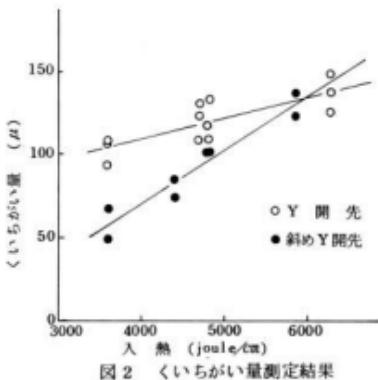


図 2 くいちがい量測定結果

表 1 斜め Y 形溶接割れ試験片のくいちがい量の分散分析表

要 因	ss	df	ms	F ₀	p (%)
電 流 (A)	1275	1	1275	19.3**	21
速 度 (B)	4278	1	4278	64.2**	72
材 質 (C)	55	1	—	—	—
A × B	36	1	—	—	—
A × C	28	1	—	—	—
B × C	51	1	—	—	—
e	163	1	—	—	—
e'	333	5	66.6	—	—
T	5886	—	—	—	—

を総合して以後の実験には、斜め Y 形開先の試験片を用いた。

3.3 割れ防止予熱温度

図 3 に斜め Y 形溶接わられ試験片の予熱温度と割れ

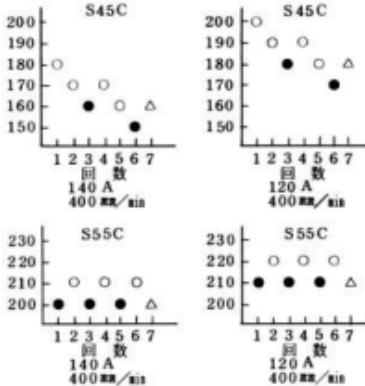


表2 斜めY形溶接割れ試験片による割れ
防止予熱温度の平均値(単位°C)

電流(A) 速度(cm/min)	120		140	
	300	400	300	400
S 45 C	168	182	162	162
S 55 C	218	215	208	205

の有無の関係を求めた結果を示す。また表2に割れ防止予熱温度の平均値を、表3にその結果にもとづいて分散分析を行なったものを示す。なお図中の△印は次に実験を行なう場合の水準を示すものである。分散分析の結果、材質の影響が高度に有意となり寄与率は90%であった。

図4はC形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験片についてのものであり、表4および表5は、それぞれ割れ防止予熱温度の平均値とその分散分析を行なったも

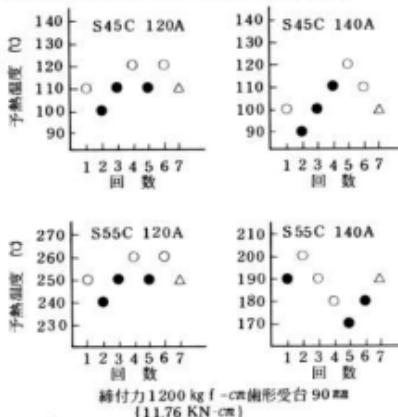


図4 C形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験片による割れ試験結果

表4 C形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験片による
割れ防止予熱温度の平均値(単位°C)

拘束方法 電流A	90~1200		120~2400	
	120	140	120	140
S 45 C	111	104	269	239
S 55 C	251	186	313	267

表3 斜めY形溶接割れ試験片による割れ
防止予熱温度の分散分析表

要因	ss	df	ms	F _{0.05}	ρ (%)
電流(A)	264	1	264	18.2*	6
速度(B)	8	1	—	—	—
材質(C)	3698	1	3698	2550**	91
A × B	25	1	—	—	—
A × C	5	1	—	—	—
B × C	50	1	50	3.4	1
e	20	1	—	—	—
e'	58	4	14.5	—	—
T	4070	—	—	—	—

のである。分散分析の結果、拘束方法と材質の影響が、高度に有意となり、寄与率はそれぞれ57%と26%であった。

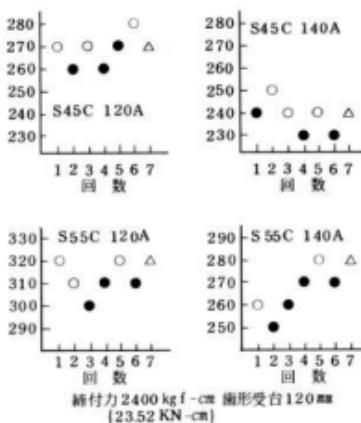


表5 C形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験片による
割れ防止予熱温度の分散分析表

要因	ss	df	ms	F _{0.05}	ρ (%)
拘束方法(A)	23980	1	23980	80.74**	57
電流(B)	2664	1	2664	8.96	6
材質(C)	10952	1	10952	36.87**	26
A × B	1	1	—	—	—
A × C	2378	1	2378	9.21	5
B × C	648	1	—	—	—
e	242	1	—	—	—
e'	891	3	297	—	—
T	41225	—	—	—	—

3.4 拘束応力の測定

表6に斜めY形溶接割れ試験片の拘束応力測定結果を、表7に分散分析を行なった結果を示す。また

表6 斜めY形溶接割れ試験片の拘束応力
(単位 kgf/mm² [N/mm²])

材質	電流(A)		速度 mm/min		120	140
	300	400	300	400		
S 45 C	29.75 (29.2)	17.40 (17.1)	28.91 (28.3)	23.26 (22.8)		
S 55 C	27.55 (27.0)	25.76 (25.2)	32.93 (32.3)	21.12 (20.7)		

表7 斜めY形溶接割れ試験片の拘束応力の分散分析表

要因	ss	df	ms	F ₀	ρ (%)
電流(A)	3	1	—		
速度(B)	136	1	136		
材質(C)	10	1	—	14.3 **	66
A × B	2	1	—		
A × C	4	1	—		
B × C	4	1	—		
e	34	1			
e'	57	6	9.5		
T	193				

表8 斜めY形溶接割れ試験片のど厚の分散分析表

要因	ss	df	ms	F ₀	ρ (%)
電流(A)	14964	1	14964	85.0 **	52
速度(B)	12640	1	12640	71.8 **	43
材質(C)	50	1	—		
A × B	145	1	—		
A × C	128	1	—		
B × C	338	1	—		
e	392	1			
e'	1053	6	176		
T	28657				

表8に、のど厚について分散分析を行なったものも含めて示す。のど厚の分散分析の結果、溶接電流および溶接速度が高度に有意となり寄与率は、それぞれ52%と43%であった。拘束応力の分散分析では、溶接速度の影響が高度に有意となり寄与率は65%で、他の要因の効果は認められなかった。このこと

は拘束応力が、くいちがい量とのど厚の関係から求められる結果、溶接速度がどちらも高度に有意であり、寄与率が高いことが影響しているものと思われる。表9にC形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験片の拘束応力測定結果を、表10にその分散分析結果を示す。分散分析の結果、拘束方法が高度に有意となり

表9 C形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験片の拘束応力(単位 kgf/mm² [N/mm²])

材質	拘束方法		電流(A)		90~1200	120~2400
			120	140	120	140
S 45 C			14.2 (139)	14.6 (143)	35.1 (344)	37.9 (371)
			15.0 (147)	13.7 (134)	33.2 (325)	28.1 (275)
			17.3 (169)	13.6 (133)	37.5 (367)	29.8 (292)
S 55 C			14.0 (139)	16.5 (162)	31.6 (310)	37.5 (367)

表10 C形ジグ拘束突合せ溶接われ試験片の拘束応力の分散分析表

要因	ss	df	ms	F ₀	ρ (%)
拘束方法(A)	1436	1	1436	10257 **	92
電流(B)	3	1	—		
材質(C)	2	1	—		
A × B	0	1	—		
A × C	0	1	—		
B × C	0	1	—		
A × B × C	0	1	—		
e	107	1			
e'	112	8	14.0		
T	1548				

寄与率は92%であった。このことは試験片に対する拘束の幅および締付力のちがいからもあきらかである。

次に図5は拘束応力と割れ防止予熱温度の関係を、示したものである。なお拘束応力は、斜めY形溶接割れ試験片については溶接速度300mm/minで実験した4枚の平均値を使用し、C形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験片では、拘束方法別に8枚の平均値を使用した。この結果、溶接電流を上げると割れ防止予熱温度を下げる事が可能となり、特にS55Cが著しい。また、拘束応力が高くなると、予熱温

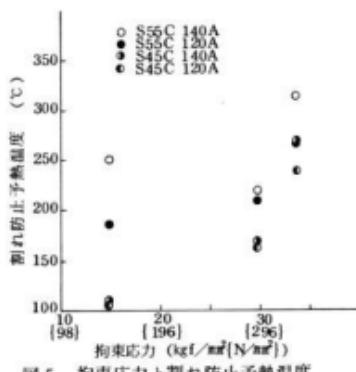


図5 拘束応力と割れ防止予熱温度

度を相当上げないと割れは、防止できず、S45CでもS55Cと同程度の予熱をする必要がある。一方拘束応力が低くなると、予熱温度を下げることができ拘束応力 14.9 kgf/mm^2 [146 N/mm^2] では、S45Cで 100°C 程度の予熱で割れは防止できる。しかしS55Cでは、低い拘束応力でも、 200°C 程度以上の予熱をしないと割れは防止できない。このように中炭素鋼溶接部の低温割れ防止方法は、拘束応力、入熱、材質、予熱さらに後熱等の総合的関係から決まるものであるため、本実験ではまだ十分といえず、さらに入熱、拘束応力（特に低い拘束応力）範囲を拡大して行なう必要もある。その一例として、さらに入

熱を増加し、ほとんど拘束応力がかからない場合は、炭酸ガスアーチ溶接法では予熱なしでS55C材を割れることなしに溶接できることも確認している。特に実際の製品においては、低い拘束応力のもとで高入熱の溶接も比較的多いと思われ、その点では、本実験の結果は安全側にあると判断できる。

4. 結 言

中炭素鋼材料の溶接に、炭酸ガスアーチ溶接法を適用して、低温割れ防止に関する溶接条件の影響を検討した結果をまとめると次のようになる。

(1) 中炭素鋼の溶接にあたっては、炭素量（又は炭素当量）に十分注意する必要がある。

(2) 溶接電流、溶接速度、溶接電圧を考慮して、溶接入熱を高くすると、低温割れ発生の危険は少なくなる。

(3) 溶接部に高い拘束応力がかかっている場合は、特に予熱を十分することが必要である。

謝辞：本研究を進めるにあたり、工業技術院計量研究所、矢野宏課長、樋田並照主任研究官より、有益な御意見、御指導を賜わり心から感謝いたします。

文 献

- 横堀；材料強度学 272
- 日本規格協会；S/N比マニュアル
- 佐藤；溶接学会誌, 40 (1971), 1158.

炭酸ガスアーク溶接法の中炭素鋼への適用に関する研究（第3報）

中炭素鋼溶接継手の静的強度に及ぼす
溶接条件の影響*

蒲田政信, 畑徳宣
野地英治, 片山義孝

1. 緒 言

溶接金属の水素量がきわめて少ない炭酸ガスアーク溶接は中炭素鋼の溶接に有効で、適当な予熱によりかなり拘束の高い溶接継手でも溶接が可能である。中炭素鋼は炭素当量も高く、種々の溶接条件で継手の組織が微妙に変化し機械的性質に影響をあたえるものと思われるが、溶接条件に注目した資料はみられない。そこで、炭酸ガスアーク溶接を中炭素鋼へ適用するための基礎資料として溶接継手の静的強度におよぼす溶接条件の要因効果について実験したので報告する。

2. 試料と実験方法

実験に用いた試料は厚さ 10 mm の S55C の鋼板で機械加工により長さ 200 mm、幅 150 mm とし、開先形状を I 形、V 形（開先角度 60°）に仕上げた。この鋼板の化学成分、機械的性質は前報と同じものである。

溶接は 500 A 炭酸ガスアーク溶接機を用い、トーチを自動溶接装置に取付けて行った。溶接電流、溶接速度、突出し長さ、ガス流量は表 1 に示すとおりで、V 形開先の最終層の溶接は開先内を完全に溶接するため自動ウイーピングを行った。溶接用鋼板の厚さが 10 mm であるので I 形開先の場合は表 1 の 1 層づつで、V 形開先の場合は表 1 の 2 層、裏側 1 層で溶接することができた。予熱はガスバーナにより試験板全面に行い、所定の予熱温度に達してから溶接を行い、先の予熱温度まで空冷後次層の溶接ビードを置いた。

溶接継手の静的強度に影響する因子としてルート間隔、開先形状、後熱、溶接ワイヤ、予熱をとりあげ、表 2 の水準で L 8 の直交表にわりつけ、L 8 の

実験を 2 回行い、直和法により解析を行った。ここで、溶接ワイヤの MG50 は 50 キロ級高張力鋼用炭酸ガスアーク溶接ワイヤで、DS60 は少量のモリブデンを含有した 60 ~ 80 キロ級高張力鋼用炭酸ガスアーク溶接ワイヤである。

表 1 溶接条件

要因	条件
材質	S55C
電流	I 開先：320 A（両面） 190 A（表 1 層目） V 開先：210 A（表 2 層目） 210 A（裏溶接）
速度	I 開先：800 mm/min V 開先：400 mm/min
突出し長さ	15 mm
ガス流量	20 l/min

表 2 実験の因子と水準

因子	第一回目の実験		第二回目の実験	
A ルート間隔	0	1 mm	0	1 mm
B 開先形状	I	V	I	
C 後熱	なし	650°C 30 分	650°C 30 分	800°C 30 分
D ワイヤの種類	MG50	DS60	MG50	DS60
E 予熱	150°C		150°C	250°C
交互作用				

溶接終了後、磁粉探傷により割れの無いことを確認してから表 2 の水準で後熱（各温度とも 30 分保持後空冷）を行い、引張試験片、曲げ試験片、ミクロ

* 「中炭素鋼溶接継手の強度評価に関する研究」と題し、昭和 50 年度「技術開発研究費補助事業成果告白講習会」にて発表

組織試験片を切出し、引張試験は JIS Z 3121、曲げ試験は JIS Z 3124(内側半径 20mm)により行った。

曲げ試験は溶接金属部、熱影響部、母材のそれぞれの表面伸びを測定するため、試験前にマクロ腐食後標点分割器により 5mm づつ分割して行った。表面伸びの測定はブリッキル用荒取締鏡により行った。

3. 実験結果と考察

3.1 ミクロ組織とかたさ

溶接部のミクロ組織は、溶接金属中のボンド近傍に一部マルテンサイトがみられることがあり、次層の溶接による溶接金属中の熱影響部にもマルテンサイトがみられることがあった。熱影響部は場所、溶接条件によって熱サイクルが異なるため複雑なものになっていて、写真 1(a)はボンド近傍の溶接のままのミクロ組織の代表例で初析のフェライトがわずかにみられるマルテンサイト、中間段階組織、パーライトの混合組織であった。後熱によりこれらマルテンサイト、中間段階組織の分解とともにかたさの低下がみとめられ、800°C の後熱で完全なフェライト、パーライト組織になることが確認された。

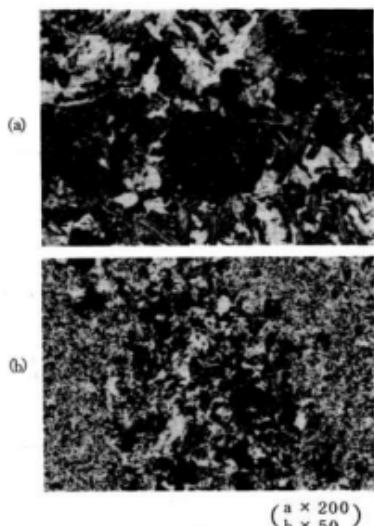


写真 1 溶接部ミクロ組織

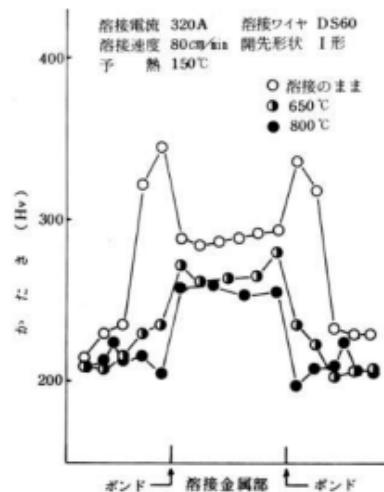


図 1 溶接部のかたさにおよぼす後熱の効果

図 1 は試料表面下 1mm のところのかたさ分布の例で、先に述べたように後熱により熱影響部のかたさは母材のそれに近づく。図 1 の溶接金属のかたさがあまり低下しないのは溶接ワイヤ DS60 にはモリブデンが少量含まれているためと思われる。

後熱による組織変化で注目されることは、800°C 後熱により熱影響部の細粒域より外側(球状パーライト域と思われる)附近で粗大化した塊状のパーライトがみられたことである。この例を写真 1(b)に示す。この塊状のパーライトより溶接金属側は結晶粒の細かいフェライト、パーライト組織であった。このような現象はフラッシュバット溶接でも筆者らは経験しており、その生因、強度におよぼす影響について今後検討する必要がある。

3.2 引張試験

表 3、図 2 は引張試験の分散分析結果で、溶接ワイヤに有意差が認められた。試験片の破断位置に注目すると、MG50 で溶接した試験片は 8 枚中 1 枚をのぞき溶接金属もしくは熱影響部を一部含む溶接金属部で破断し、DS60 で溶接した試験片は 8 枚中 1 枚をのぞき母材部もしくは熱影響部で破断した。このことは DS60 は溶接金属の引張強さが母材のそれよりも高いことによるものである。また、MG50 は

溶接金属で破断しても MG 50 の溶着金属の引張強さにくらべて高い。これは母材の炭素の溶接金属への移行と、母材（熱影響部を含む）の引張強さが溶接金属の引張強さより高く、溶接金属部の寸法が相対的に小さいので引張変形過程で溶接金属部にあたる塑性拘束が大きく溶接金属の変形がさまたげられて母材の引張強さに近づいたものと思われる。

後熱は 650°C と 800°C では大差がなく溶接のままでのものが引張強さは高い。

ルート間隔、開先形状、予熱は本実験範囲内では有意差は認められず、寄与率も小さい。

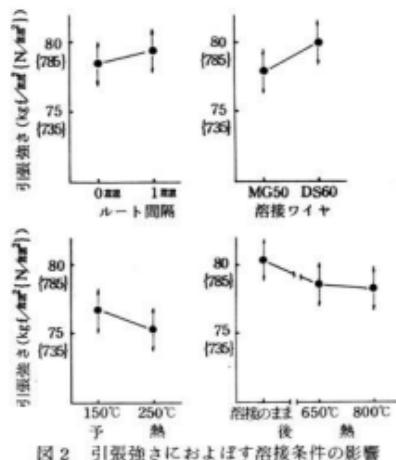


図 2 引張強さにおよぼす溶接条件の影響

表 3 引張強さの分散分析表

要因	ss	df	ms	F ₀	p (%)
R	142.80	1	142.80	6642	69.4
ルート間隔 (A)	3.06	1	3.06	1.42	0.5
開先形状 (B)	0.10	1	0.10		
後熱 (R ₁ C ₁₂)	5.95	1	5.95	2.77	1.9
" (R ₂ C ₁₂)	0.15	1	0.15		
ワイヤ (R ₁ D)	4.96	1	4.96	2.31	1.4
" (R ₂ D)	14.31	1	14.31	6.66*	6.0
予熱 (E)	3.78	1	3.78	1.76	0.8
R ₁ (A×B)	0.21	1	0.21		
R ₁ (A×C ₁₂)	2.53	1	2.53	1.18	0.2
R ₂ (A×C ₁₂)	0.06	1	0.06		
R ₁ (B×C)	2.53	1	2.53	1.18	0.2
R ₂ (A×D)	3.25	1	3.25	1.51	0.5
R ₂ (A×D)	8.61	1	8.61	4.00	3.2
e	10.24	1			
e'	10.76	5	2.15		
T	202.54	15			

3.3 曲げ試験

曲げ試験の意義は、"母材および溶接部を含む溶接継手に一様な伸びを与えるためには型曲げがもっともよく、ローラ曲げ、自由曲げの順に劣り、母材の引張強さが高くなると同一の内側半径では溶接部の伸びが大きくなることが知られていて母材の強さに応じて内側半径の板厚の比を変える必要がある"としている。

溶接継手に一様な伸びを与えるためには型曲げがもっともよく、ローラ曲げ、自由曲げの順に劣り、母材の引張強さが高くなると同一の内側半径では溶接部の伸びが大きくなることが知られていて母材の強さに応じて内側半径の板厚の比を変える必要がある。

本実験では、試験の簡便さからローラ曲げ試験を採用し、内側半径と板厚の比 (r/t) を 2.0 (母材の引張強さが約 80 kgf/mm² [785 N/mm²] であるのでこの値は厳しい要求値である) として行った。

溶接継手は組織的に不連続で曲げ試験で溶接条件の要因効果をさぐるには溶接金属部と熱影響部を分離して考察していく必要がある。

図 3 は実験方法で述べたように組織ごとの表面伸びの測定結果で、グラフの右上の数値は表面に割れを生じた時の曲げ角度で、180° はむろん割れを生じなかつるものである。又、グラフ中の * は割れを生じた場所での表面伸びである。表 4、表 5 は溶接金属部と熱影響部の表面伸びの分散分析表である。この分散分析表と図 3 を総合して曲げ試験の考察を行う。

表 4 溶接金属部伸びの分散分析表

要因	ss	df	ms	F ₀	p (%)
ルート間隔 (A)	2.25	1			
ルート間隔 (A)	6.25	1	6.25	2.40	
開先形状 (B)	40.5	1	40.5	15.58*	5.1
後熱 (R ₁ C ₁₂)	60.5	1	60.5	23.27**	7.8
" (R ₂ C ₁₂)	18.0	1	18.0	6.92*	2.1
ワイヤ (R ₁ D)	220.5	1	220.5	84.81**	29.5
" (R ₂ D)	200.0	1	200.0	76.92**	26.8
予熱 (E)	2.0	1			
R ₁ (A×B)	40.5	1	40.5	15.58*	5.1
R ₁ (A×C ₁₂)	112.5	1	112.5	43.27**	14.9
R ₂ (A×C ₁₂)	18.0	1	18.0	6.92*	2.1
R ₁ (B×C)	4.5	1			
R ₂ (A×D)	8.0	1	8.0	3.08	0.7
R ₂ (C×D)	2.0	1			
e	2.25	1			
e'	13.0	5	2.6		
T	737.75	15			

表 5 熱影響部伸びの分散分析表

要因	ss	df	ms	F ₀	p (%)
R	1.0	1			
ルート間隔 (A)	6.25	1	6.25	14.88**	2.3
開先形状 (B)	3.12	1	3.12	7.43*	1.1
後熱 (R ₁ C ₁₂)	36.12	1	36.12	86.00**	14.1
" (R ₂ C ₂₃)	136.12	1	136.12	324.10**	53.5
ワイヤ (R ₁ D)	6.12	1	6.12	14.57**	2.2
" (R ₂ D)	0.12	1			
予熱 (E)	1.12	1			
R ₁ (A×B)	21.12	1	21.12	50.29**	8.2
R ₁ (A×C ₁₂)	15.12	1	15.12	36.00**	5.8
R ₂ (A×C ₂₃)	6.12	1	6.12	14.57**	2.2
R ₁ (B×C)	21.12	1	21.12	50.29**	8.2
R ₂ (A×D)	0.12	1			
R ₂ (C×D)	0.12	1			
e	0.0	1			
e'	2.48	6	0.42		
T	253.69	15			

溶接金属部では開先形状、後熱、溶接ワイヤに有意差が認められ、特に溶接ワイヤは寄与率も高い。これは溶接レベルの差が大きく効いてきたことによると思われ、母材との強度差の大きいMG 50の溶接金属部の伸びが大きいことがわかった。

熱影響部の分散分析結果からルート間隔、開先形状、後熱、溶接ワイヤに有意差が認められた。ルート間隔に有意差が認められたのは熱影響部の表面伸びの測定の際に溶接金属部が含まれる度合が大きくなるため(熱影響部の表面伸び測定のための標点間には溶接金属部と母材部も含まれている)と思われる。

後熱は寄与率も高く熱影響部の表面伸びに与える効果が大きい。これは溶接時に生じたマルテンサイト、中間段階組織が後熱により分解し、軟化したことによるものである。

曲げ試験で180°まで曲がらなかった要因について

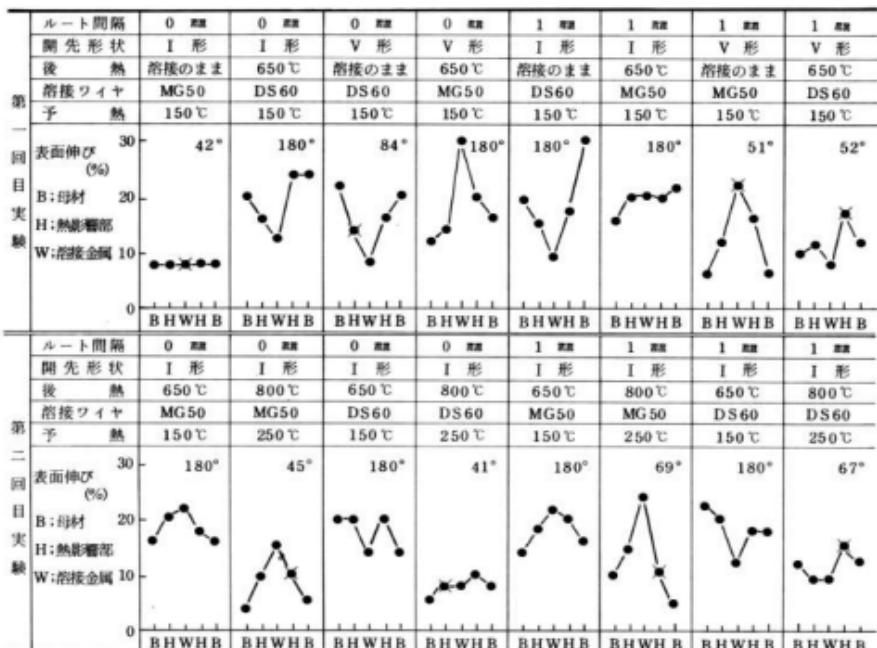


図3 曲げ試験における各部の表面伸び

て内側半径が小さすぎるくらいもあって分散分析を行っていないが、溶接のままで割れを生じた場所は MG 50 で溶接した試験片は溶接金属部で、 DS 60 では熱影響部であった。650°C 後熱したものは 1 例をのぞいて 180° まで曲げることができた。800°C 後熱のものはすべての試験片で折れてしまったが破面の溶接金属部に微細な欠陥と、そのまわりに鋸歯状の斑点がみられ、これが折れた原因ではないかと思われる。この微細な欠陥と斑点の生因については現在のところ不明で検討中である。

又、650°C の後熱で折れた試験片についても同様な斑点がみられた。

180° まで曲がった試験片の母材、熱影響部、溶接金属部をあわせた表面伸び（標点距離 25mm）は平均 18.6% で、簡単な仮定のもとでの計算値^④の 20% より少し低い値であった。

4. 結 言

S 55C (板厚 10mm) の炭酸ガスアーク溶接を行い、継手の静的強度におよぼす溶接条件の影響を検討した結果、溶接ワイヤと後熱の選定が重要であることがわかった。

S 55C 程度の中炭素鋼で母材と同程度の引張強さを要求されるときは DS 60 で溶接すればよい。溶接金属の引張強さが母材のそれより低くても母材のそれより低くとも母材の塑性拘束により、引張強さの上昇が認められた。後熱によって引張強さは低下するが、曲げ試験の結果からみて熱影響部に延性をもたせるために後熱は必要で、650°C の後熱で十分と思われる。

800°C の後熱で熱影響部に塊状パーライトがみられたことと、曲げ試験の破面に白い斑点がみられたことについては今後検討する必要がある。

終りにのぞみ、計量研究所矢野課長、樋田主任研究官はじめ共同研究参加機関の皆さまから有益な御意見を賜わり心から感謝します。

文 献

- 1) 佐藤、豊田：溶接学会誌、40 (1971), 885.
- 2) 日本溶接協会溶接棒部会：溶接技術、12(1964), 70.
- 3) 鈴木他：溶接部の試験と検査、日刊工業新聞社、(1964), 129.
- 4) 大田他：溶接学会誌、54 (1965), 911.

丸鋼の超音波探傷試験における探傷感度について

野地英治, 畑徳宣
横山宏樹

1. 緒 言

近年工業用に用いられる金属材料や製品に対する品質保証の要求が高まり、それに伴って製品の各加工段階での適確な検査方法および検査技術が必要とされるようになつた。超音波探傷試験も、溶接部、鍛造品、厚鋼板、薄板、管、丸鋼などに広く導入されるようになり、その探傷結果の定量化が、技術上非常に重要な課題となつてゐる。超音波探傷試験結果の定量化に関しては、数多くの要因が関与し、基礎的、応用的研究もなされている。しかし、実用製品に多く使用されている比較的径の小さい丸鋼の探傷方法に関する文献は少ない。そこで今回、SUS 304、および SCM 4 の小径丸鋼（直径 40mm ~ 80mm）を試料として、その径と表面アラサの探傷感度に及ぼす影響と、周波数、探触子の直径、接触媒質の検討を行なつた。その結果、超音波探傷試験が比較的難かしいとされている小径丸鋼の適正な探傷条件を見出すことができ、実製品の探傷に参考資料が得られたので、以上報告する。

2. 試料および実験方法

本実験に使用した試料の材質、直径、および実測

表 1 試料の材質、直径と実測表面アラサ

SUS 304						
直 径 (mm)	43	51	56	69		
実測表面	試料 No. 1	15	15	15	14	
アラサ(μ)	試料 No. 2	5	6	5	5	
SCM 4						
直 径 (mm)	41	49	56	65	79	
実測表面	試料 No. 1	50	43	45	45	36
アラサ(μ)	試料 No. 2	43	43	56	43	40

表面アラサを表 1 に示す。SUS 304 は市販の引抜き鋼で、SCM 4 は調質したものである。またその

表面仕上げ方法は、NC 自動旋盤による荒けずり程度であるが、超音波探傷試験を施す場合の仕上としては、概して良好と言える。試料の内部欠陥は、あらかじめ探傷感度をあげて、超音波探傷により無欠陥であることを確認した。表面アラサは、小坂研究所製表面検査機（SE-3型）により 1 / 1000mm の精度で測定した。使用した超音波探傷器は三菱電機製 FD-180 形であり、探傷条件は表 2 に示す。

表 2 探 傷 条 件

因 子	水 準
周波数(MHz)	3, 5, 10
探触子径(mm)	10, 20
接触媒質	マシン油、グリセリン(50%, 75%, 100%)

実験は表 2 に示すすべての探傷条件の組み合せごとに、表 1 の全試料面を、円周方向からくり返し 2 回測定した。特性値は第 1 回底面エコー高さのデシベル値とし、これにより検討を加えた。なお、探傷感度は STB.V 15-1.4-50%とした。また実験方法、およびデータの解析は統計的手法を用いて行ない、そのパラッキ、かたよりを少なくするよう注意を払った。

3. 実験結果および考察

3.1 表面アラサおよび試料径の影響

各探傷条件ごとに同一材質間の差と試料径の影響を分散分析した結果、SUS 304 は、総体的に材質間の差も試料径の影響も認められるが、SCM 4 では材質間の差ではなく、試料径の影響は認められた。両材料とも同一ロットから作成しており、組織、結晶粒の大きさも同一であると考えられる。したがつて、材料間の差は、表面アラサの差と解することができる。影響が認められた SUS 304 の表面アラサの探傷感度に及ぼす影響を、探触子の直径別に図 1、図 2 に示す。この結果、仕上げ程度の比較的良

底面エコーカーの大きさのデシベル値 (db)

底面エコーカー高さのデシベル値 (db)

好な
感度
質の
た。
μと
とな
く、
た平
の崩
いた
周辺
計
良く

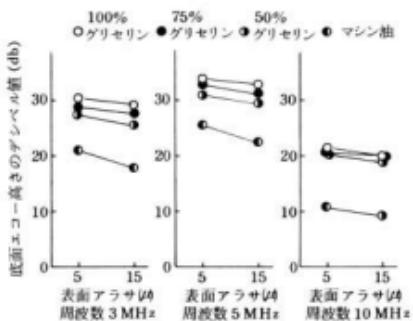


図1 表面アラサの探傷感度に及ぼす影響
(探触子径 10 mm)

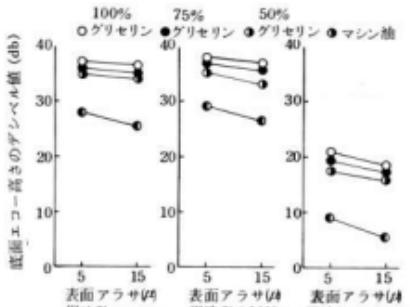


図2 表面アラサの探傷感度に及ぼす影響
(探触子径 20 mm)

好な範囲 ($5 \mu \sim 15 \mu$) でも、表面アラサは探傷感度に影響を及ぼし、その影響の度合いは、接触媒質の種類の違いによって異なっていることが判明した。すなわち、接触媒質にマシン油を用いると、 5μ と 15μ のアラサの差が、探傷感度約 2.7 dB の差となり、グリセリン水溶液では、その濃度に関係なく、約 1.3 dB とその影響の度合いは小さくなる。また平板での実測例で、高い周波数ほど表面仕上程度の影響をうけるという報告¹⁾もあるが、本実験に用いた表面アラサの範囲では、その影響の度合いは、周波数、探触子の径には関係なく、一定であった。

試料径の影響は、径が大きくなるほど探傷感度は良くなる。その具体的な例として、周波数 3 MHz 、探

触子径 10 mm の場合を図3、図4に示す。他の探傷

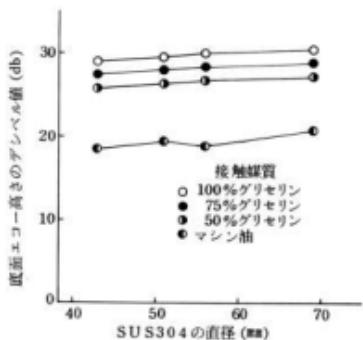


図3 SUS 304 試料径の探傷感度に及ぼす影響 (探触子 3 Q 10 N)

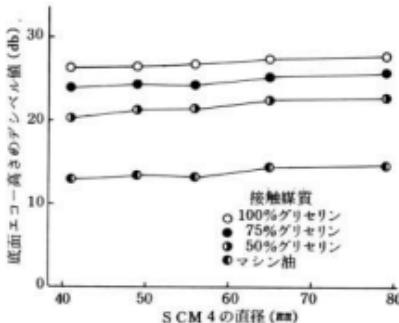


図4 SCM 4 試料径の探傷感度に及ぼす影響 (探触子 3 Q 10 N)

条件でも、ほぼ同様のグラフとなる。また、径の影響の度合いは、周波数、探触子の径に差がなく、平均すると、SUS 304 はマシン油で 3.1 dB ($1.2 \text{ dB} / 10 \text{ mm}$)、グリセリン水溶液で 2.7 dB ($0.7 \text{ dB} / 10 \text{ mm}$)程度である。小径丸鋼は一般に超音波探傷が難かしいと言われており、NDI-204 (欠陥と探傷回形) 小委員会の研究報告²⁾でも、その対象は直徑 80 mm 以上の丸鋼で研究が行なわれている。しかし、疑似エコーが確認できることや探触子の中央部分が集中的に摩耗しやすいうことなどに注意を払えば、本実験

の結果、平面の探触子で探傷が可能であるという見通しがついた。

3.2 周波数、探触子径、接触媒質の影響

各試料ごとに測定した平均値を表す、表4に、この値に基く要因効果を分散分析した結果を表5、表6に示す。

表3 SUS 304 の第一回底面エコー高さの全平均値 (db)

	周波数 (MHz)	3		5		10	
		探触子径 mm	10	20	10	20	10
マシン油	試料No.1	17.9	25.5	22.5	26.5	9.3	5.5
	〃 No.2	21.0	27.8	25.4	29.3	10.8	9.3
50%グリセリン水溶液	〃 No.1	25.8	34.3	29.5	33.3	18.8	16.0
	〃 No.2	27.3	34.8	31.1	35.3	20.3	17.5
75%グリセリン水溶液	〃 No.1	27.8	35.3	31.4	35.8	19.8	17.5
	〃 No.2	28.8	36.0	33	37.0	20.5	19.5
100%グリセリン	〃 No.1	29.3	36.5	32.8	37.0	19.8	18.5
	〃 No.2	30.3	37.0	33.8	38.0	21.5	21

表4 SCM 4 の第一回底面エコー高さの全平均値 (db)

	周波数 (MHz)	3		5		10	
		探触子径 mm	10	20	10	20	10
マシン油	試料No.1	13.7	20.4	19.5	23.6	7.2	4.3
	〃 No.2	13.9	21.1	19.8	24.1	8.4	4.9
50%グリセリン水溶液	〃 No.1	21.9	29.4	29.0	33.9	20.6	16.0
	〃 No.2	21.4	29.9	28.9	33.5	20.8	16.0
75%グリセリン水溶液	〃 No.1	24.8	32.5	30.8	35.1	22.2	18.0
	〃 No.2	24.6	32.6	31.3	35.6	22.2	18.5
100%グリセリン	〃 No.1	27.0	34.4	31.8	36.1	23.0	19.5
	〃 No.2	27.0	34.0	32.1	36.4	22.6	19.9

この結果、SUS 304、SCM 4 とも、周波数、探触子径、接触媒質の主効果と、周波数×探触子径の交互作用の影響が顕著に認められた。SUS 304 は他の交互作用も有意であるが、その寄与率は非常に小さいので無視してさしつかえないと考える¹⁾。両材料の探傷条件の比較をすると、SCM 4 が、接

表5 SUS 304 の探傷感度の分散分析表

要 因	変 動	自由度	不偏分散	F o	寄与率%
周波数 (A)	2206.23	2	1103.11	810.26**	65.6
探触子径(B)	119.39	1	119.39	87.69**	3.5
接触媒質(C)	795.69	3	265.23	194.82**	23.6
A × B	181.01	2	90.50	66.48**	5.3
A × C	10.50	6	1.75	1.29	
B × C	0.60	3	0.20	—	
A × B × C	2.44	6	0.41	—	
誤差(e)	41.89	24	1.75		
〃 (e)	44.93	33	1.36		
合計(T)	3357.75	47			

表6 SCM 4 の探傷感度の分散分析表

要 因	変 動	自由度	不偏分散	F o	寄与率%
周波数 (A)	1530	2	765	10079**	46.6
探触子径(B)	89	1	89	1172.6 **	2.7
接触媒質(C)	1365	3	455	5994.7 **	41.6
A × B	269	2	134.5	1772.1 **	8.1
A × C	20	6	3.33	43.9 **	0.5
B × C	0.05	3	—	—	
A × B × C	3	6	0.5	6.6 **	
誤差(e)	2	24	—	—	
〃 (e)	2.05	27	0.0759		
合計(T)	3278.5	47			

触媒質の寄与率が高い。この理由は SCM 4 の表面アラサが大きいことに原因していると考えられ、特にマシン油を用いる場合は注意を要する。この分散分析で有意差の認められた要因の点推定を行った結果を、図5、図6に示す。図の各点は SUS 304 の場合は64個所の平均値、SCM 4 は80個所の平均値であり、その精度は非常に良く、95%の信頼限界は全く無視しうる範囲におさまる。この結果、小径丸鋼の探傷条件として、周波数は5 MHz が最も感度が良く、つづいて 3 MHz が良く、10 MHz では相当探傷感度は悪くなる。一般に探傷感度は、

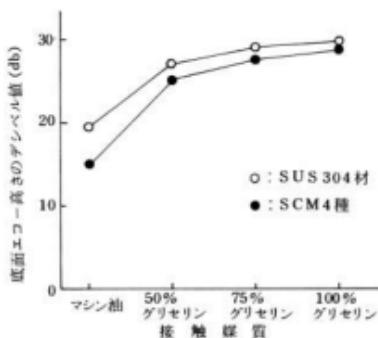


図 5 探傷感度に及ぼす接触媒質の影響

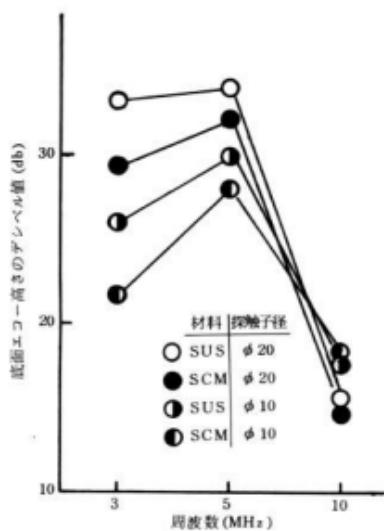


図 6 探傷感度に及ぼす周波数と探触子の直径の影響

周波数が高いほど良くなるが、高すぎると、表面状態、組織、結晶粒の大きさに原因する減衰も大きくなり、逆に感度は低下する。したがって鉄物とか、結晶粒の大きいオーステナイト系鋼等特殊な材料を除いては、本実験結果に基づき、周波数は 5 MHz

を使用するのが良いと考える。その一例として、試料径 60 ~ 120 mm, 表面アラサ 40 μ ~ 70 μ 程度の S35C 材でも同様な結果が得られた。

接触媒質の影響は、すべての条件でマシン油が最も悪く、グリセリン水溶液の濃度が増すほど感度は良くなつた。この原因は接触媒質の固有音響インピーダンスが異なるためで、その値の大きい媒質を使用した方が良い。特に表面アラサの大きい SCM 4 では、50 % グリセリン水溶液と比較しても、マシン油の感度は 10 db も下がるので、出来る限りマシン油は使用しない方が良い。またグリセリン水溶液を用いる場合は、探傷面が 25 S 以上の仕上げであれば仕上精度の影響は少ないといわれているが、やはりグリセリン濃度の影響が認められることを考慮して、濃度の高いものを使用したほうがよいと思われる。

探触子径の影響は、周波数が 3 MHz と 5 MHz では、φ 20 の方が感度が良く、周波数 10 MHz では、逆に φ 10 の方が良いという結果が得られた。現場では小径材料の探傷には、どちらかというと直徑の小さい探触子を使いがちであるが、本実験の結果を参考に、探触子を選定するときは十分注意することが必要と思われる。以上の結果、小径丸鋼の最適探傷条件は、周波数 5 MHz, 探触子径 20 mm, 接触媒質 100 % グリセリンで好結果が得られた。

4. 結 言

超音波探傷試験が比較的難かしい小径丸鋼 (SUS 304, SCM 4, 直径 40 mm ~ 80 mm, 表面アラサ 5 μ ~ 50 μ) の探傷感度に及ぼす、表面アラサおよび試料寸法の影響と、周波数、探触子径、接触媒質の検討を行なった結果、次のような結論が得られた。

(1) 表面アラサが 5 μ ~ 15 μ 程度の仕上げ精度が比較的良好な試料でも、アラサの探傷感度に及ぼす影響が認められ、接触媒質がマシン油の場合は、特に影響の度合いが大きい。

(2) 試料寸法が小さくなるほど探傷感度は悪くなるが φ 40 程度でも、平面の水晶探触子で探傷は可能である。

(3) 周波数は、5 MHz が最も探傷感度が良く、次に 3 MHz が良く、10 MHz では感度は相当低下する。

(4) 探触子径の影響は、周波数との交互作用が認められ、3 MHz と 5 MHz では、φ 20 の方が感度

が良く、10 MHzでは、 $\phi 10$ の方が良い。

(5) 接触媒質は、マシン油が最も感度が悪く、グリセリンの濃度が増すほど感度が高くなる。

(6) 小径丸鋼の最適探傷条件は、周波数が5MHz、探触子径が20mm、接触媒質が100%グリセリンの組み合せである。

謝辞：本研究を行なうにあたって、試料を提供し

ていただいた、㈱横田製作所、大比良健部長に心より感謝の意を表します。

文 献

- 1) 日本学術振興会：超音波探傷法〔改訂新版〕
366
- 2) N D I : 超音波探傷图形と欠陥・丸鋼について
- 3) 田口：実験計画法〔上〕

残留オーステナイトと熱処理特性*

鈴木 寛, 土取 功
烟 徳 宜, 蒲田 政信

1. 緒 言

残留オーステナイトの分解による寸法変化¹⁾が製品の品質に大きく影響することはよく知られているため、軸受鋼、ゲージ鋼などはサブゼロ処理により残留オーステナイト量を低減させて製品の高品質化を図っている。また、残留オーステナイト量と残留オーステナイトの安定化^{2)~7)}は合金元素、加熱温度、冷却過程に大きく左右されると同時にサブゼロ処理、常温時効、焼もどし温度にも影響される。

このため本研究はゲージ鋼の熱処理特性と残留オーステナイトについて検討し、適切な熱処理方法を求める目的とした。

2. 試料と実験方法

本実験の試料は市販の SKS 3 と SKS 31 の ø 8 mm 棒材で化学成分を表 1 に示す。

表 1 試料の化学成分

	C	Si	Mn	P	S	Cr	W
SKS3	0.98	0.28	1.06	0.010	0.007	0.54	0.25
SKS31	1.08	0.32	0.94	0.022	0.007	0.89	0.78

T-T-T 曲線と Ms 点の決定は ø 3 × 10 mm, 焼もどし過程の寸法変化には ø 8 × 73 mm, 残留応力には ø 8 × 70 mm, 残留オーステナイト量には ø 8 × 15 mm を半割にしたものをそれぞれ使用した。

T-T-T 曲線と Ms 点の決定は富士電波工機の自動変形記録装置、未溶解炭化物量は LUZE × 450 粒子アナライザ、残留応力と残留オーステナイト量は理学電機の残留応力測定装置によりそれぞれ求めた。

T-T-T 曲線は 850°Cまで誘導加熱し、5 分間保持後ヘリウムガスにより設定温度まで急速して求めた。Ms 点の決定はオーステナイト化温度に 5 分間保持後、窒素ガスにより室温まで冷却し、X-Y レコーダーに記録された変形点を Ms 点とした。焼

もどし過程の寸法変化は各焼もどし温度で 4.5 分間保持後、電気マイクロにより変位量を測定した。残留応力は試料表面を過塩素酸無水酢酸の電解液で 0.1 mm 電解研磨後、特性 X 線 CrK α 、照射面積 4 × 10 mm²、管電圧 30 kV、回折面 (211) α などの条件により試料中央部の表面を測定した。残留オーステナイト量の測定は、試料を中心部で半割にして焼入れを行ない、過塩素酸無水酢酸で 0.1 mm 電解研磨し、平担な面を測定したが、熱処理前と熱処理後に半割した場合の残留オーステナイト量が等しいことを予備実験で確認している。使用した X 線装置はディフラクトメータ法と違い吸収因子を考慮する必要のあるカメラ法の応用で、特性 X 線、管電圧、管電流は残留応力測定と同条件である。また残留オーステナイト量は次式^{8)~11)}より求めた。

$$\frac{1 - V_c}{1 + R_T / R_a \cdot I_\alpha / I_T} \times 100 (\%)$$

ここで R_a と R_T は回折面によって定まる定数で (211) α , (220) γ に対しては $R_T / R_a = 0.30$ である。 I_α と I_T はマルテンサイトおよび残留オーステナイトのそれぞれの回折面に対する積分強度、 V_c は未溶解炭化物質量で図 4 にこの値を示す。

予熱は電気炉、Ms クエンチと焼もどしには硝酸系塩浴炉をそれぞれ使用した。図 1 におもに用いた熱サイクル図を示す。

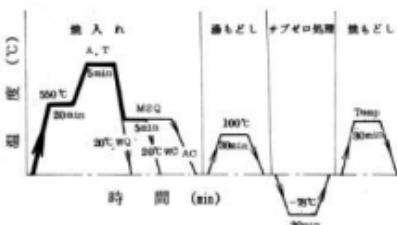


図 1 热サイクル図

* 日本鉄鋼協会第 94 回講演大会で発表

3. 実験結果と考察

図2にT-T-T-T曲線を示す。SKS3, SKS31ともCr, Wの影響¹²⁾により過冷オーステナイトの不安定化区域は550°C, 400°Cの2段階に現われ、変態開始時間は20秒前後である。また過冷オーステナイトは300°C以下で大きく安定化する傾向にある。

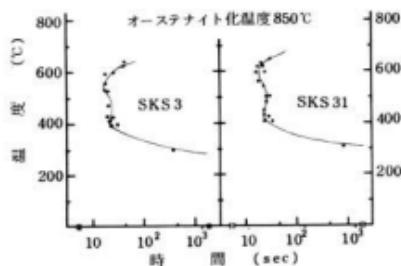


図2 T-T-T-T曲線(変態開始曲線)

図3はMs点におよぼすオーステナイト化温度の影響を示す。炭化物形成元素の多い高炭素合金鋼はオーステナイト化温度によりMs点が影響され¹³⁾、図3のSKS3, SKS31の場合もオーステナイト化温度が高くなるにしたがってMs点は低下している。

SKS3はオーステナイト化温度880°CからのMs点

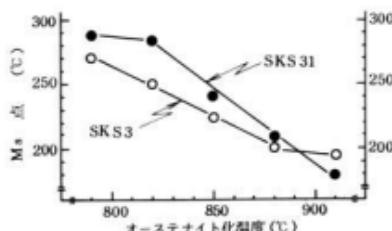


図3 Msにおよぼすオーステナイト化温度の影響

は低下が小さく、SKS31は逆にオーステナイト化温度820°CまでMs点の低下が小さくなっている。

SKS3の場合はオーステナイト化温度880°Cで炭化物が大部分固溶したことと示し、SKS31の場合はオーステナイト化温度820°Cでは安定な炭化物であるW-Cなど、オーステナイトへの固溶量が少ないことが原因の1つだと考えられる。

写真1は素材の炭化物の形態と大きさを示す。焼割れ、焼ひずみなどの発生原因の1つだと言われている炭化物の偏析がSKS3, SKS31とも試料中心部に存在している。またマトリックスの炭化物の大きさはSKS3, SKS31では大きく相違し、SKS3はSKS31に比較して0.3μ程度の炭化物が多く分散している。

図4はオーステナイト化温度と未溶解炭化物量の

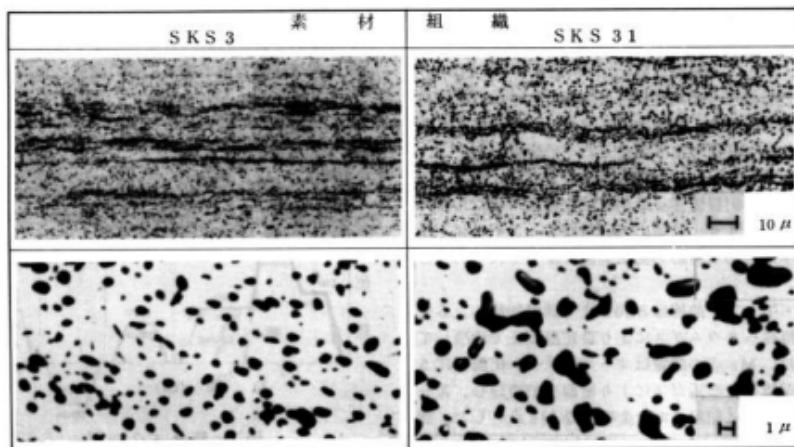


写真1 素材の炭化物偏析とマトリックスの炭化物形状と大きさ

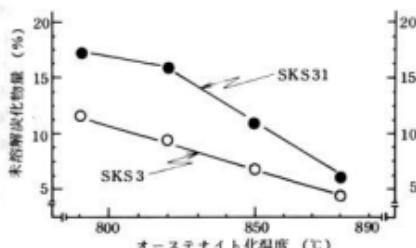


図4 オーステナイト化温度と未溶解炭化物量の関係

関係を示す。オーステナイト化温度が高くなるにしたがって合金元素の固溶量が多くなるため、未溶解炭化物量は減少している。図に示すとおりSKS3とSKS31とのオーステナイト化温度による未溶解炭化物量の差は合金元素量の相違のはかに写真1に見られるように炭化物の大きさ¹⁰⁾が大きな原因と考えられる。このことから高炭素合金鋼は炭化物の形状と大きさから焼入れにおけるオーステナイト化温度と保持時間を考慮することも大切である。

図5は焼入れとサブゼロ処理後焼もどした場合のSKS31の寸法変化量を示す。焼もどしにおける寸法変化はマルテンサイトと残留オーステナイトの分解に大きく影響され¹¹⁾、この図においても100°Cから150°Cでマルテンサイトからε炭化物の析出による収縮、180°Cから残留オーステナイトの分解による膨張が現われている。しかしサブゼロ処理した場合は残留オーステナイトが少ないため、残留オーステナイトの分解による試料の膨張がなく、また焼もどし温度が高くなるにしたがって焼入れ後焼もどした場合との寸法変化量の差が大きくなっている。

図6は焼入れかたさにおよぼすオーステナイト化温度の影響について示す。オーステナイト化温度が高くなるにしたがって焼入れかたさが高くなるが、SKS3は830°C、SKS31は860°Cからかたさが低下している。焼入れかたさの低い理由は、オーステナイト化温度が低い場合はマルテンサイト中の合金元素固溶量が少なく、オーステナイト化温度が高い場合は残留オーステナイト量が多く存在したためと考えられる。またSKS3とSKS31の焼入れ最高かたさがそれぞれ830°Cと860°Cで大きく違っている理由としては合金元素のはかに素材の炭化物の大きさの影響が大きいと考えられる。

図7はSKS3の焼もどしかたさにおよぼす焼もどし温度の影響を示す。サブゼロ処理と焼もどしによりかたさがHRC 1~2程度高くなるが、これ以上の焼もどし温度では炭化物の析出とマルテンサイトの分解¹²⁾により焼もどし温度に比例して焼もどしかたさは低下し、焼もどし温度300°Cから焼入れとサブゼロ処理とのかたさが等しくなっている。

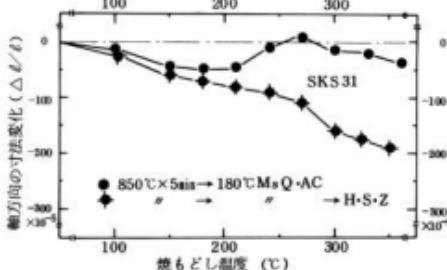


図5 焼入れ後直ちに焼もどした場合と焼入れ後サブゼロ処理して焼もどした場合の焼もどし温度と軸方向の寸法変化の関係

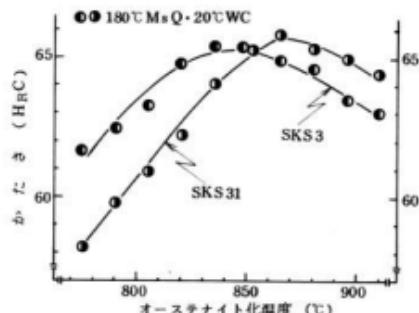


図6 焼入れかたさにおよぼすオーステナイト化温度の影響

図8はSKS3の残留応力におよぼす焼入れ方法、サブゼロ処理およびサブゼロ後の焼もどし温度の影響を示す。図でわかるとおり焼入れ方法の相違による残留応力はオーステナイト化温度からの冷却速度が異なるほど引張から圧縮になっている。このことは冷却速度が遅くなれば中心部のマルテンサイト変態が表面より遅れるため表面に引張の残留応力が生じると考えられる。一般に、サブゼロ処理す

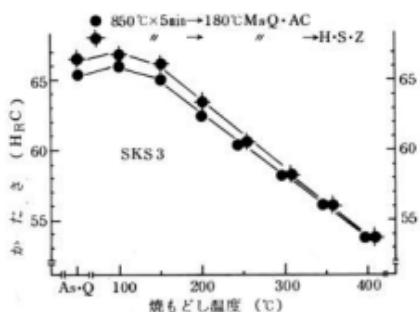


図 7 焼もどしかたきにおよぼす焼もどし温度の影響

れば残留オーステナイトが変態して残留応力が大きく変化すると考えられるが、今までの研究でも⁶⁾⁻¹⁰⁾この図からもサブゼロ処理による残留応力は大きくなっていることを示し、また焼もどし温度が高くなるにしたがって残留応力は小さくなり、焼もどし200°C附近から残留応力は引張から圧縮になっている。

図9は残留オーステナイト量におよぼすオーステナイト化温度の影響を示す。SKS3, SKS31いずれもオーステナイト化温度が高くなれば残留オーステナイト量は増加し、また、SKS3がSKS31に比較して残留オーステナイト量がわずかに多くなっているのは図3のMs点などが影響したと考えられる。

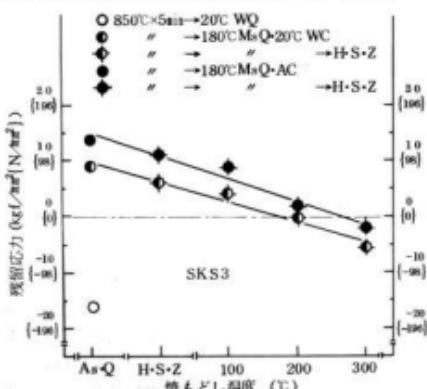


図8 残留応力におよぼす焼入れ方法・サブゼロ処理およびサブゼロ処理後の焼もどし温度の影響

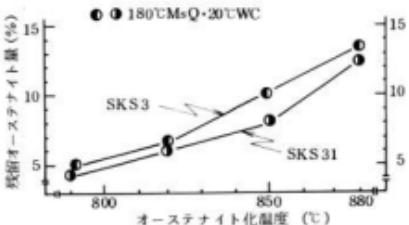


図9 残留オーステナイト量におよぼすオーステナイト化温度の影響

図10はオーステナイト化温度、サブゼロ処理と残留オーステナイト量との関係を示す。SKS3, SKS31ともオーステナイト化温度が高いほど過冷オーステナイトはより安定化して残留オーステナイト量が多くなっているが、サブゼロ効果は逆に残留オーステナイト量が多いほど効果があり、SKS3の場合はオーステナイト化温度790°Cでは残留オーステナイト量が6%から3%，880°Cでは17%から6%に大きく低下している。

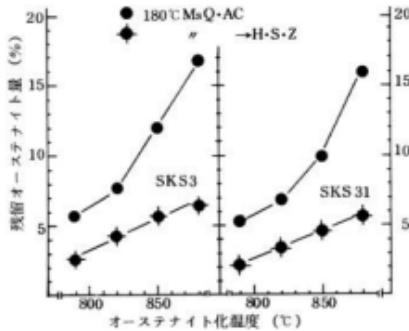


図10 残留オーステナイト量におよぼすオーステナイト化温度とサブゼロ効果について

図11にSKS3, SKS31の残留オーステナイト量におよぼす焼入れ方法と常温時効後のサブゼロ効果を示す。オーステナイト化温度からの冷却が早い水焼入れ、Msクエンチ後水冷およびMsクエンチ後空冷の順に残留オーステナイト量は多くなっている。しかし水焼入れした場合、1時間の時効ではすでに

残留オーステナイトの安定化が大きくマルテンサイトへの変態が少なくなっているため、焼入れ後サブゼロ処理を早く行なわないといサブゼロ効果が小さい。Ms クエンチ後空冷してサブゼロ処理した場合、4 時間の時効でも残留オーステナイト量は時効がない場合と同程度に低下している。このことはオーステナイト化温度から常温までの冷却速度が早い焼入れ方法ほど残留オーステナイト量は少ないが Ms クエンチからの冷却速度が遅いほど常温時効の影響を受けにくいくことを示している。

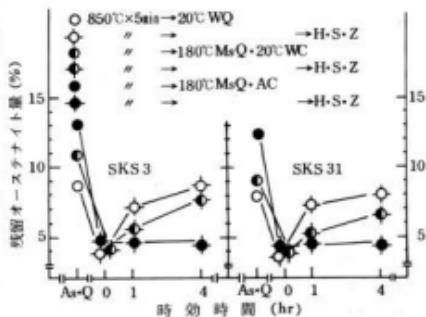


図 11 残留オーステナイト量におよぼす焼入れ方法と常温時効後のサブゼロ処理の影響

図 12 は SKS 3 の残留オーステナイト量におよぼす Ms クエンチ温度の影響を示す。Ms 点以上と以下に等温保持することにより過冷オーステナイトは安定化すると言われているが¹⁰ Ms クエンチ温度が 200°C から 50°C の範囲で保持時間 5 分では Ms クエンチ後の残留オーステナイト量はいずれも 13% 程度、5 時間常温時効・サブゼロ処理後は同様に 5% 程度で、Ms クエンチ温度の違いが残留オーステナイト量に与える影響が小さいことがわかる。また、Ms クエンチの保持時間を 30 分とした場合も残留オーステナイト量は保持時間 5 分と変わりなかった。

図 13 は SKS 3 の残留オーステナイトの安定化におよぼす湯もどしの影響を示す。図 11 と同じくオーステナイト化温度から水焼入れ、Ms クエンチ後水冷した場合は残留オーステナイトが安定化して湯もどし後のサブゼロ効果が小さいが、Ms クエンチ後空冷すればサブゼロ効果は大きく、焼もどし後 10 時間時効してサブゼロ処理しても残留オーステナ

ト量が少なくなっていることから、湯もどしが直接残留オーステナイトの安定化に影響をおよぼすことは少ないと考えられる。

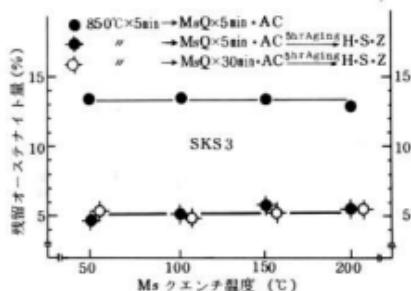


図 12 残留オーステナイト量におよぼす Ms クエンチ温度と保持時間および常温時効後のサブゼロ効果について

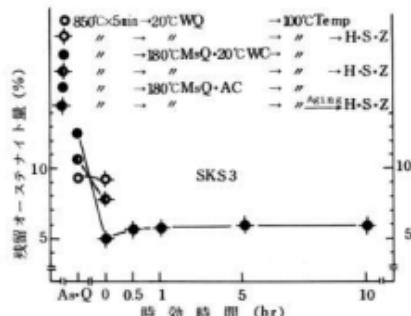


図 13 残留オーステナイトの安定化におよぼす湯もどしの影響

図 14 は SKS 3 の残留オーステナイトの分解におよぼす焼もどし温度の影響を示す。一般的に焼もどし温度が 200°C 附近から残留オーステナイトはペイナイトに分解するが¹⁰、この図の場合も焼もどし温度 180°C 以上から急激に残留オーステナイト量が低減している。また焼もどし温度が高くなるにしたがって焼入れのままとサブゼロ処理したものとの残留オーステナイト量は接近してくるが、工具鋼の焼もどし温度として多く利用している 100°C から 200°C の範囲では残留オーステナイトの分解が少ないため、残留オーステナイトの低減方法は焼入れ後サブゼロ

処理が最も簡単と考えられる。

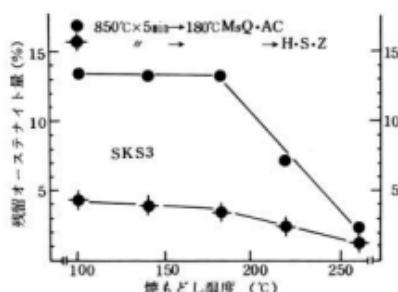


図14 残留オーステナイト量におよぼす焼もどし温度の影響

4. 結 言

残留オーステナイトと熱処理特性の実験からつきのような結果を得た。

(1) SKS3, SKS31などの高炭素合金鋼は合金元素のはかに炭化物の形状と大きさがMs点、未溶解炭化物量および焼入れかたさなどにおよぼす影響が大きい。

(2) 残留オーステナイト量はオーステナイト化温度と冷却方法に大きく影響されるが、Msクエンチ温度の影響は小さい。

(3) 水焼入れ、Msクエンチ後水冷、Msクエンチ後空冷の順に残留オーステナイト量が多いが、残

留オーステナイトの安定化は逆に冷却速度が遅いほど小さく、常温時効後のサブゼロ効果もMsクエンチ後空冷が最も大きくなっている。

(4) 烧もどしは残留オーステナイトの安定化には影響を与える。また焼もどし温度180°Cから残留オーステナイトは大きく分解する。

文 献

- 藤原：精密機械 40(1974) 324
- 今井、泉山：金属学会誌 21(1957) 437
- 大和久、飯島：金属学会誌 21(1957) 531
- 今井、泉山：金属学会誌 22(1958) 7
- 今井、泉山：金属学会誌 23(1959) 156
- 泉山：金属学会誌 24(1960) 58
- 泉山：金属学会誌 24(1960) 175
- 円山：分析機器 4(1966) 41
- 円山：分析機器 5(1967) 18
- 蜂須、飯塚：不二越技 21 No 2 29
- 円山：残留オーステナイト研究部会報告 日本熱処理協会 (1977) 3
- 大和久：S曲線 日刊工業 (1953) 14
- 今井、泉山：金属学会誌 19(1955) 358
- 岡本、富田ほか：鉄と鋼 63(1977) 98
- 弘津：熱処理 14(1974) 324
- 今井、森：金属学会誌 25(1961) 618
- 今井、市毛：金属学会誌 28(1964) 264
- 西村、新山：残留オーステナイト研究部会報告 日本熱処理協会 (1977) 39

金型铸造に関する研究（第3報）

金型铸造による機械部品への適用に関する一考察

橋本幸則、原信彦
世良時夫、応和尚

1. 緒 言

金型铸造法の長所は、铸造業界で順次認められるようになった。筆者らも前報¹⁾において、金型铸造鉄の諸性質が、一般の铸造法によって得られた材質よりもすぐれていることを確認している。

金型铸造で、日用品鉄物はともかく、機械部品への応用については、一部で実施されているが、金型の製作法、金型の材質ならびに金型の寿命、铸造方案、金型への塗型および塗型材料、材質に関するなど多くの問題が山積みされている関係上、今後の研究にまつところが多い。

そこで今回は金型铸造法で、機械部品である汎用の歯車地の金型を製作し、溶湯の成分を共晶および亜共晶成分の2種類とし、かつ鍛込方案を3つおりに変化させるとともに、鍛込温度も変化させて金型に鍛込み、製品のできばえの良否と、かたさについて調べたので報告する。

2. 試料と実験方法

2.1 溶解及び溶湯成分

溶解材料は鉄物用鉄 JIS3種1号B、及び溶接構造用圧延鋼材2種を使用した。また添加材としてFe-Si2号を、接着材にCa-Siを用いた。

溶解には高周波誘導溶解炉を使用し、溶湯成分は表1に示すように炭素をほぼ一定とし、珪素を変化

表1 鋼鐵の化学成分と炭素当量

試 料	化 学 成 分 %		備 考
	C	Si	
共晶成 分	3.09	3.64	CE = 4.3
亜共晶成 分	3.10	2.85	CE = 4.0

させて、共晶、亜共晶の2種類の成分として、それぞれの溶湯を金型に鍛込んだ。

溶解温度は1480~1500°Cとし、鍛込温度は大

き1350°C、1300°C、1250°Cとした。

2.2 金型及び鍛込方法

金型の材質はSS41相当である、形状は図1に示

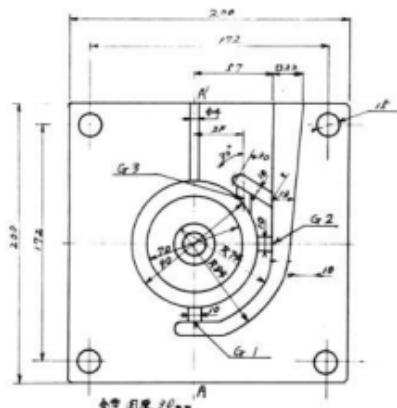


図1 金型の形状および寸法

すとおり、同一湯口から堰を押上げにしたもの(G1)と、中央に堰をもうけたもの(G2)、及び堰を上方につけて落しこみ(G3)の3方法が行なえる状態とした。

鍛込みは各堰の1ヶ所で行ない、使用しない堰は閉鎖した。

また湯口比は、G1=1:021:0.11, G2=1:0.25:0.11, G3=1:0.35:0.11である。

金型への塗型は、基礎塗型にリン酸塩系のものを200°Cに予熱した金型に吹付け、その表面に作業塗型としてススを吹付けた。

鍛込み前の金型の予熱温度は110~120°Cの範囲とし金型へ鍛込み後製品を取出す時期は、湯口が完全凝固した時点とした。

2.3 製品(歯車地)良否の判定

歯車地として使用の可否を判定するため、完全な歯車地となっているものを良、またひけ果、湯廻り不良のあるものは不良として取扱った、また内部欠陥は歯車地を十文字にマイクロカッターで切断し、内部欠陥とあわせてチルの発生状況を今後の参考に観察した。

2.4 かたさ試験

かたさ試験片は歯車地の中心を図1のA-A'で切断し、図2に示すように6ヶ所のかたさを熱処理前

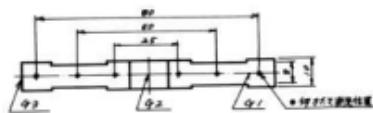


図2 歯車地のかたさ測定位置

と、熱処理後のものについて、ビッカース硬度計で測定した結果、外周部内容ともかたさの差が余り目立たなかったので、かたさは6ヶ所の平均値であらわした。

2.5 热处理

普通鉄は鍛造しのままで製品として使用できるが、金型鍛造品は製品の外周の一部又は隅角部にチルが発生しやすいので、局部的なメンタイトの除去と、切削性改善のため熱処理をおこなうのが普通である。今回の実験においても歯車地周辺部に若干チルを発生しているので、歯車地のかたさ試験片を金属製ボットに入れ試料が酸化されないよう銹ダライ粉をつめ、加熱温度850°Cで20分間保持後空冷した。

3. 実験結果と考察

3.1 製品(歯車地)の良否について

表2は鍛込温度別及び鍛込方案別(G1, G2, G3)

表2 鍛込温度および鍛込方案別による製品の良否

区分	鍛込温度[°C]	規格(G)		
		G1	G2	G3
共晶	1350	不	不	良
	1300	良	不	不
	1250	良	良	良
亜共晶	1350	良	良	良
	1300	不	良	良
	1250	不	不	良

G3)による製品の良否をあらわしたものである。

共晶成分については鍛込温度1250°Cのものは全品良品であったが、1300, 1350°Cの鍛込温度では良品の割合は少なかった。また鍛込方案でG2で鍛造したものは不良が多くみられたが、G1, G3では少なかった。なお、今回の実験で現われた不良は殆んど共晶、亜共晶ともひけ果であった。

亜共晶成分のものについては、鍛込温度1350°Cで鍛込んだものは全品良品であったが鍛込温度が低くなるにつれ不良率が多くなっている。また、鍛込方案別にみるとG3から鍛込んだものは全品良好であったが、G1から鍛込んだものは良品の割合共%であった。

ここで注目されることは、共晶成分では低温鍛込み側に良品が、亜共晶成分については反対に高温鍛込み側が良品であったことと、鍛込方案としてはG3が優位を占めたことで、これらのこととは一般にいわれることとよく一致した。

3.2 鍛込温度及び鍛込方法とかたさの関係

共晶成分の場合図3に示すようにかたさは鍛込温

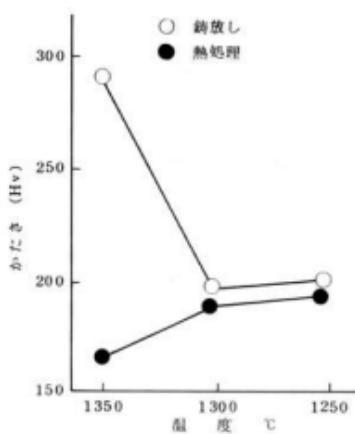


図3 鍛込温度とかたさの関係

度の高低によりかなり影響をうけている、即ち鍛造して、1350°Cで鍛込むと、かたさはHv 290で高く、1300, 1250°Cの鍛込みの場合かたさはそれぞれHv 195, Hv 200となって鍛込温度が低いとかたさも低くなることがわかった。これらを熱処理する

と 1350°C で鍛込んだものは鉄放しで Hv 290 のものが Hv 168 となり熱処理の効果は著しかった。しかし鍛込温度 1300, 1250°C のものは熱処理によるかたさの変化は小さかった。

亜共晶成分の場合も図 4 に示すように共晶成分と

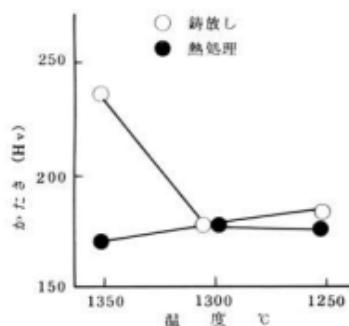


図 4 鍛込温度とかたさの関係(亜共晶)

ほぼ同様の傾向を示した。即ち鍛込温度 1350°C で鉄放しのままのかたさは Hv 240 のものが、熱処理により Hv 175 となりここでも熱処理の効果は大きかった。1300°C および 1250°C の場合熱処理の有無にかかわらず、かたさは Hv 175 ~ 180 程度であった。

共晶成分のかたさと、亜共晶成分のかたさを比較すると、若干亜共晶成分のものが低い値を示した。

次に鍛込温度 1300°C における共晶成分の鉄放しの G 別のかたさを図 5 に示す。G 別でかたさの変化

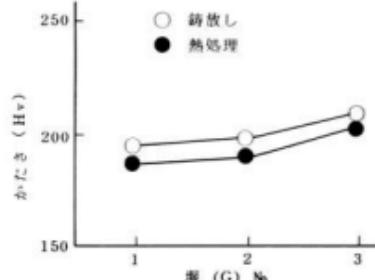


図 5 鍛込温度 1300°C における各 G 別のかたさ(共晶)

があると思われたが、鉄放しの G 1 で Hv 195, G 2 で Hv 198 および G 3 で Hv 210 となり、あまり差がなかった。また熱処理後のかたさは、鉄放しのままで殆んどかわらなかった。

亜共晶成分についても図 6 に示すように、1300°C

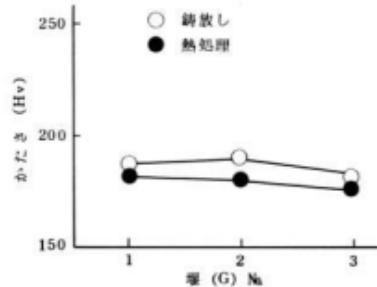


図 6 鍛込温度 1300°C における各 G 別のかたさ(亜共晶)

で G 別の鉄放しかたさを測定したが、共晶成分のかたさと同様にあまりかたさの差は認められなかった。しかし共晶成分のかたさに比べ、若干かたさは低くなっている。また、熱処理をおこなってもかたさはあまり低下しなかった。

共晶、亜共晶成分とも鍛込方法の違いによるかたさの変化は小さかった。また参考までに共晶、亜共晶の熱処理後の黒鉛の分布状態を写真 1 に示す。

共 晶 亜 共 晶

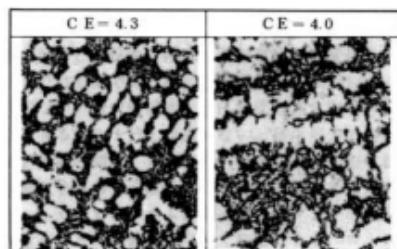


写真 1 热処理後の顯微鏡組織 ($\times 200$)

いずれの製品も欠陥品を除いては、かたさからみて切削性もよく十分使用可能であることがわかった。なお、製品の外周部と中心のかたさの差はほとんど見られなかった。

4. 結 言

金型铸造で、歯車地の製作をおこなった結果は次のとおりである。

1) 共晶成分の溶湯で、鍛込温度 1250℃ のものについては全品が良好であった。また鍛込み方法としては、押上げ及び落し込み方法がよかった。

2) 垂共晶成分の溶湯では、鍛込温度 1350℃ のものは全品が良好で、また鍛込み方法としては落し込み方法によるものがよかった。

3) 鍛込温度が高いとかたさも高くなり、適當なかたさを得るためにには 1300℃ で鍛込んだものが適當と考える。

金型铸造鉄においては、溶湯の化学成分により鍛込温度、鍛込み方案などについて十分考慮する必要がある。

文 献

- 原、世良、橋本、中村：本報告、19(1977)

自硬性鋳型に関する研究（第8報）

セメント鋳型回収砂の再生度について*

渡部英雄, 世良時夫
小林賢治, 原信彦
森田健次

費量を求めてセメント分として示した。

1. 緒 言

鋳造工場から廃棄される産業廃棄物の約半が廃砂¹⁾であるため、これらの砂を再び鋳型用けい砂として再利用できれば、廃棄場所の確保が困難な現状からみて、特に有益である。しかし廃砂の再利用を行うためには、粒度分布や砂粒表面に付着した添加物の測定法が、管理上必要である。

今回はセメント鋳型回収砂、再生砂の再生度を調べる試験法を検討し、これをもとに回収砂、再生砂の評価を行い、良好な結果を得たので報告する。

2. 実験方法

2.1 試料

試料は本報告第9報により作製したものを使用した。

2.2 pH測定

乾燥試料20gを300mLビーカーにとり、これに10倍量の蒸留水を加えて1時間攪拌し、24時間放置後上澄液をとって測定した。

2.3 酸可溶分の測定

乾燥試料20gを300mLビーカーにとり、これに5倍量の塩酸(1+10)を加えて30分間攪拌し、粘土分測定法²⁾に準じて可溶分を除去し、乾燥後の重量減を百分率で示した。

2.4 酸消費量の測定

試料をメノウ乳鉢で粉末にし、乾燥後1gを200mLビーカーにとり、1%N塩酸50mLを加え、さらに蒸留水50mLを加え1時間攪拌する。その溶液を5B汎紙で汎過し、初めの20mLをすて、その後50mLの汎液をとり、プロム・チモール・ブルー指示薬を2~3滴加え、1%N水酸化ナトリウム溶液で滴定した。検量線は乾燥したセメントを50~200mgまでそれぞれビーカーにとり、前述の方法により酸消

2.5 カルシウムの測定

試料をメノウ乳鉢で粉末にし、乾燥後0.1gを200mLビーカーにとり、蒸留水20mLを加えて試料をしめらせたのち、塩酸(1+1)10mLを加えて加熱溶解する。放冷後100mLメスフラスコに汎過し、標線まで希釈する。これより10mLホールビペットで採取し、100mLメスフラスコに入れ、干渉抑制剤として塩化ランタン溶液(Laとして1mL=50mg)10mLを加え、水を加えて標線まで希釈する。これを原子吸光分光度計によりカルシウムを測定した。検量線はカルシウムとして0~0.6mgまでそれぞれとり、前述の方法でカルシウムの吸光度を求めて、セメント分として示した。

2.6 物理試験

粒度試験、耐火度試験はJISに準じて測定した。また砂粒表面を走査型電子顕微鏡で観察した。

3. 実験結果と考察

実験結果を写真1、表1に示す。写真1より走査型電子顕微鏡観察は、砂粒表面の付着状況はよくわかるが、付着量の判断はできない。表1より粒度試験は新砂と回収砂、再生砂の粒度分布の変化を知るうえでは有効であるが、再生度の試験法としては適当でない。耐火度試験、pH測定はある程度の判断はできるが、十分とは言えない。酸可溶分の測定、酸消費量の測定、カルシウムの測定は砂粒の付着物を測定するので、砂の再生度を知るうえで有効である。とくにカルシウムの測定は、セメントの主成分を測定するため最も精度良く測定できる。カルシウムの測定と酸可溶分の測定及び酸消費量の測定結果の相関関係を図1、図2に示す。図1、図2よりどちらも相関関係は認められるが、酸可溶分の測定のバラツキは、酸消費量の測定より大きい。これは前法が試料をメノウ乳鉢で粉末にしてないため、砂粒表

* 昭和50年度技術開発研究費補助金による研究(その1)

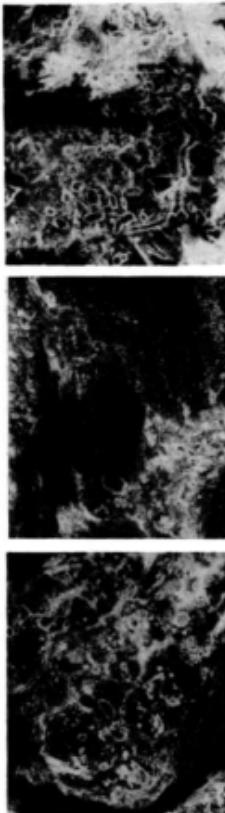


写真1 粒度分布の走査型電子顕微鏡写真 ($\times 250$)
電式再生砂
回収砂
新砂

表1 新砂、回収砂及び再生砂の各種試験結果

試料	粒度区分	粒度分布(重量%)						耐火度 ^{°C}	pH	懸濁分%	セメント分%	燃消費量	Ca分		
		14	20	28	35	48	65								
A	1 新砂	0.1	4.1	22.3	47.1	24.0	1.7	0.1	tr	tr	99.4	651	17.0		
A	2 回収砂	tr	0.6	8.2	31.4	45.9	0.7	0.1	tr	tr	99.9	555	1.46		
A	3 乾式再生砂	—	0.6	12.3	36.9	39.6	9.5	1.1	0.2	tr	100.2	557	1.44		
A	4 湿式 ^a 再生砂	—	0.9	10.6	34.3	39.6	13.0	1.1	0.4	tr	0.1	100.0	583	1.48	
B	5 回収砂	—	0.1	1.6	14.8	48.0	29.8	3.7	0.8	0.1	0.6	99.6	74.9	1.04	
B	6 乾式再生砂	—	tr	2.6	17.9	40.8	26.8	6.8	3.2	1.2	0.4	0.3	100.0	79.1	1.04
B	7 湿式 ^a 再生砂	—	0.2	3.2	20.9	45.9	24.3	4.0	0.9	0.1	tr	tr	99.5	683	1.04
C	8 回収砂	tr	0.1	11.0	32.8	40.0	13.7	1.3	0.4	0.2	0.1	0.4	100.0	61.4	1.04
C	9 乾式再生砂	—	—	2.0	15.6	44.7	31.1	4.6	1.0	0.4	0.2	0.3	99.7	74.7	1.04
C	10 湿式 ^a 再生砂	tr	1.4	13.2	42.6	35.3	5.7	1.2	0.4	0.1	0.2	0.1	100.1	76.5	1.04
D	11 回収砂	tr	0.1	6.0	23.2	43.0	23.5	3.5	0.2	tr	tr	99.5	655	1.04	
D	12 湿式 ^a 再生砂	tr	0.1	9.8	28.6	40.0	19.2	2.0	0.2	tr	tr	99.9	613	1.04	
E	13 新砂	—	tr	4.3	20.0	36.2	28.2	8.6	2.1	0.1	tr	tr	99.5	74.5	1.04
E	14 回収砂	—	0.2	5.4	29.4	41.6	20.3	2.8	0.3	tr	tr	100.0	63.3	1.04	
E	15 乾式再生砂	—	0.8	11.5	34.8	34.3	14.9	3.0	0.5	tr	tr	99.8	59.2	1.04	
E	16 湿式 ^a 再生砂	tr	0.9	10.7	34.9	37.5	13.6	1.8	0.1	tr	tr	99.5	57.8	1.04	
F	17 回収砂	—	0.1	3.2	18.8	37.4	29.2	7.8	1.9	0.4	0.2	0.9	99.8	79.7	1.04
F	18 乾式再生砂	—	tr	2.4	16.4	38.5	28.6	10.2	2.7	0.5	0.2	0.3	99.8	79.5	1.04
F	19 湿式 ^a 再生砂	—	tr	3.3	20.4	38.8	26.2	8.8	1.9	0.2	tr	tr	99.6	73.3	1.04

(注) 2~4, 14~16は100°C, 5~7, 17~19は1000°Cにそれぞれ加熱して作製

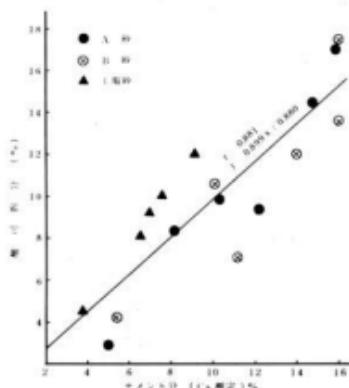


図1 カルシウム測定と酸可溶分の関係

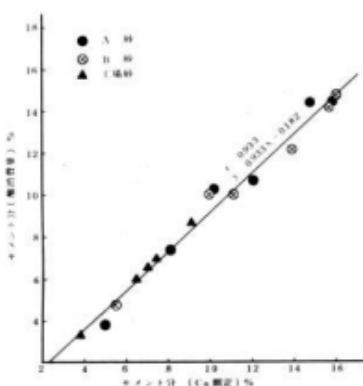


図2 カルシウム測定と酸消費量の関係

面に付着した添加物が酸により完全に溶けてないためと思われる。試料を粉末にするか、酸濃度を高くすれば、さらに精度をあげることが可能であろう。

試験法をもとに各種再生砂の再生法による再生度を比較すると、湿式再生砂が乾式再生砂よりすぐれている。

4. 結 言

セメント鉄型回収砂の再生程度を調べる試験法および再生法について検討した結果を要約すると次のとおりである。

1) セメント鉄型回収砂の再生度を知るには、カルシウム測定がすぐれているが、試験設備、試験法の容易さから考えると、中小鉄物工場では酸可溶分が適当である。ただし分析等の専任者のいる工場では、酸消費量の測定が酸可溶分の測定より有効である。

2) 再生砂の再生法による再生度を比較すると、湿式再生法が乾式再生法よりすぐれている。

文 献

- 1) 総合鉄物センター研究調査報告 162 鉄造工場の公害防止対策調査報告書(V) (1973), 27
- 2) JIS Z 2601

自硬性鋳型に関する研究（第9報）

セメント鋳型の常温性質に及ぼす回収砂の影響*

世良時夫, 小林賢治
渡部英雄, 小原信彦
森田健次

1. 緒 言

超速硬セメント鋳型（以下セメント鋳型という）は従来のセメント鋳型の硬化が遅いという大きな欠点を改善した造型法で、回収再生はけい酸ソーダ系に比べて容易と考えられ、回収砂を利用するうえで有利と思われる。

筆者らは、セメント鋳型回収砂をより多く利用することを目的に次のことで調べた。すでに前報¹⁾においてセメント鋳型回収砂の再生度について検討したが、本報では、けい砂を二種類選び、実験室において回収砂、さらにその砂を再生処理した再生砂を作製して、セメント鋳型の常温性質を試験した。さらに、工場で使用しているセメント鋳型回収砂についても試験したのでその結果を報告する。

なお本実験では粉砕、分級、鉄分除去処理した砂を回収砂、その回収砂をさらに処理して品質向上をはかった砂を再生砂ということとした。

2. 試料と実験方法

2.1 試料

実験に使用したけい砂は二種類で、一つは島根県産（以下A砂という）でSiO₂が90.04%と純度は普通のものである。またセメント鋳型を採用しているC工場のけい砂と同一銘柄である。他の一つはオーストラリア産（以下B砂という）でSiO₂が99.38%と純度の高いけい砂を使用した。セメントはO社製、表面安定改良剤（以下Mという）はO社納入品を使用した。

実験室での回収砂の作製は予備実験を参考にして図1に示す方法で行った。配合はけい砂100gに対してセメント8%，M 0.6%，水分4~6.5%で2分間混練してブロックを造型した。また熱影響を考慮して100°Cと1000°Cに加熱した二種類を作製した。



図1 実験室回収砂の作製法

回収砂は図1に示すサイクルを3回くり返したものを利用した。

再生法には大きく分けて乾式法と湿式法があり、前者は空気圧か機械的に衝撃を与えて再生しているものが多く、後者は超音波洗浄、ハイドロプラスト等が報告されている。本実験では、サンドブラストを利用して図2に示す乾式再生処理を行った。予備

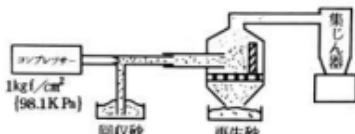


図2 乾式再生法の概要

実験結果から空気圧1 kgf/cm² (98.1 kPa)，処理回数は3回行い乾式再生砂としたが、工場回収砂については再生処理6回行ったものを含めた。又湿式法は図3に示す攪拌機による方法で行った。塩酸濃度

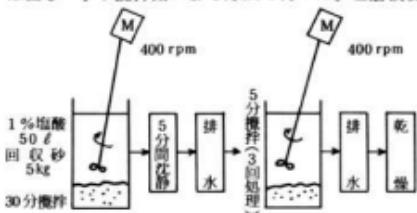


図3 湿式再生法の概要

* 昭和50年度技術開発研究費補助金による研究（その2）

は排水処理を考慮して1%とできるだけ薄くし、攪拌時間は30分とした。さらに、水洗して乾燥したものを混式再生砂という。ただし工場回収砂については塩酸を加えないで水洗処理した場合も含めた。

なお、1%塩酸で処理した排水を5分静置して測定したpHは4前後でありCODは150であった。この排水を凝聚沈殿法で処理するとCODは1/5に減少する。これに活性炭処理を行えばCODは問題なく処理できた。

2.2 実験方法

供試砂の調整は実験室ミルを使用し、けい砂にセメントを加えて1分間からびき、水分及びMを加えて2分間混練して供試砂とした。なお、水分添加量を決めるに当たり回収砂作製時の水分添加量を参考に検討した結果(水分添加量)/(セメント添加量+酸可溶分¹¹⁾比(以下(W)/(C+A.S)比といふ)が0.28~0.35になることがわかった。これから水分添加量は(W)/(C+A.S)比を0.35で計算して添加することにした。また工場回収砂の配合では予備実験結果から(W)/(C+A.S)比を0.4とした。

2.2.1 放置強度 $\phi 50 \times 50$ mmの標準試験片を使用し、所定時間放置後の圧縮強さを測定した。

2.2.2 表面安定度(以下SSIといふ) 標準試験片作製後24時間放置したものをロータップ型ふるい機を使用し、6メッシュふるい上で1分間振とうし、前後の重量比をパーセントで示した。

2.2.3 通気度試験 標準試験片作製後24時間放置して通気度試験器を使用して測定した。

3. 実験結果と考察

回収砂及び再生砂を表1及び表2に示す配合で調

表1 各種回収砂の配合表

No	けい砂	セメント(%)	M(%)	水分(%)
1	A新砂100	8	0.6	4
2	" 20, A100回収砂 80	6	"	7
3	" " , A1000 " "	"	"	5
8	" " , 工場回収砂 80	"	"	6
13	B新砂100	8	0.4	4
14	" 20, B100回収砂 80	6	"	7
15	" " , B1000 " "	"	"	5.5

表2 各種再生砂の配合表

No	けい砂	セメント(%)	M(%)	水分(%)
1	A新砂100	8	0.6	4
4	" 20, A100乾式再生砂 80	6	"	5.5
5	" " , A1000 "	"	"	4.5
6	" " , A100湿式再生砂 80	"	"	5
7	" " , A1000 "	"	"	3
9	" " , 工場乾式再生砂(3回) 80	"	"	5.5
10	" " , " " (6回) "	"	"	5
11	" " , 工場湿式再生砂 80	"	"	4
12	" " , " (水洗) "	"	"	5.5
13	B新砂100	8	"	4
16	" 20, B100乾式再生砂 80	6	"	5.5
17	" " , B1000 "	"	"	4
18	" " , B100湿式再生砂 80	"	"	5
19	" " , B1000 "	"	"	3

整して供試砂とした。表1と表2の実験日が違うため毎日の気温を参考に記入した。

3.1 各種回収砂及び再生砂が放置強度に及ぼす影響

実験結果は図4~5に示すとおりである。

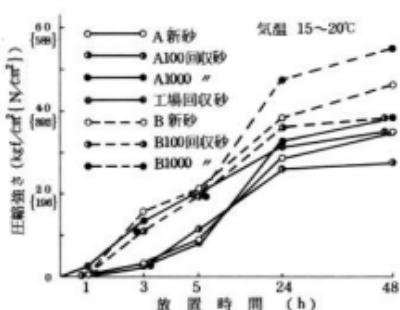


図4 各種回収砂が放置強度に及ぼす影響

(1) A, B回収砂とも新砂配合と同程度の放置強度である。しかしA砂よりB砂の放置強度は全般に高い。工場回収砂はとくに初期強度が高くなっている。

(2) いずれの砂も湿式再生砂に比べて乾式再生砂

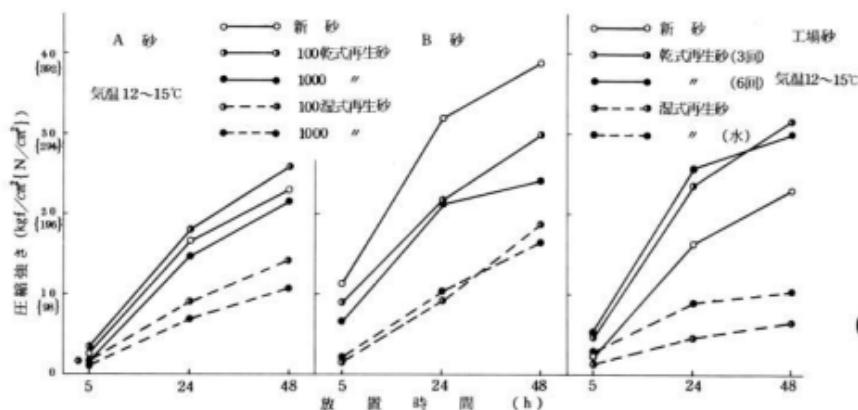


図 5 各種再生砂が放置強度に及ぼす影響

の放置強度は高い。

(3) A 及び工場の乾式再生砂は新砂配合の放置強度と同等かそれ以上であるが、B 乾式再生砂は新砂配合の放置強度より低い。

(4) A 及び工場の湿式再生砂は予備実験で行った新砂配合のセメント添加量 6% と同程度の放置強度であるのに対して、B 湿式再生砂の放置強度はそれより低い。

(5) 工場回収砂で再生処理の違いについて試験した結果、乾式再生処理の 3 回と 6 回では放置強度に大差はなかった。また湿式再生では水洗処理のみの砂は塩酸処理砂に比べて放置強度は少し高い傾向にある。

(6) A, B 砂とも回収砂では 1000℃ 砂が 100℃ 砂よりも放置強度は高く、再生砂では逆の傾向にあった。

(7) 砂粒に付着したセメント分が強度に寄与していることの確認として、工場の集じん機ダストをセメントの一部として添加して放置強度を試験した結果は図 6 に示すとおりである。この結果セメントとダストの等量添加までは放置強度に大差がないことがわかった。このことはダスト中に有効に働くセメント分があるということと同時に砂粒に付着したセメント分も圧縮強さに寄与しているものと考えられる。回収砂、乾式再生砂ではこの結果と一致しているが湿式再生砂では明らかでなかった。

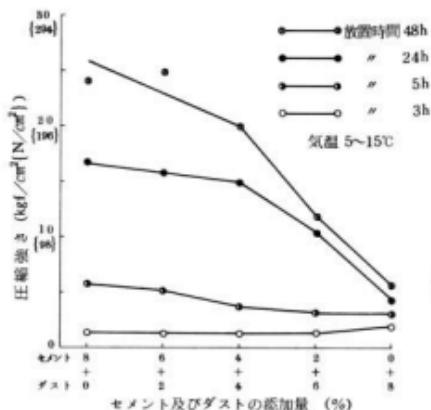


図 6 セメント及びダストの添加量が放置強度に及ぼす影響

3.2 各種回収砂及び再生砂が SSI 及び通気度に及ぼす影響

実験結果は図 7, 8 に示すとおりである。

(1) A, B, 工場砂とも回収砂及び乾式再生砂の SSI は新砂配合と比較して同程度か又はすぐれている。しかし湿式再生砂の場合は新砂配合に比べて劣り、なかでも 1000℃ 砂、工場塩酸処理砂は著しく劣る。

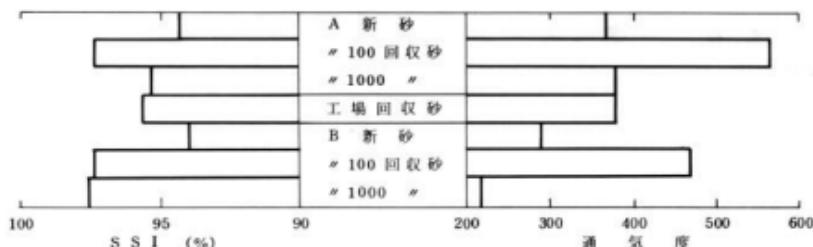


图7 各種回収砂がSSI及び通気度に及ぼす影響 (気温15~20°C)

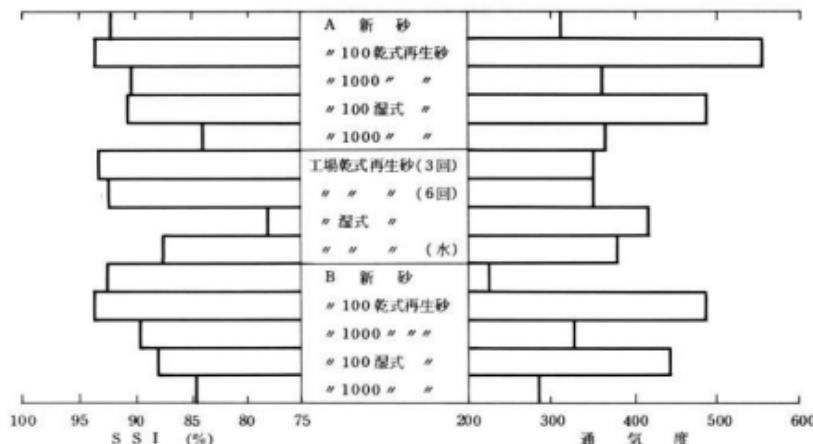


图8 各種再生砂がSSI及び通気度に及ぼす影響 (気温12~15°C)

く劣っている。このことは再生法の違いが大きく、放置強度の低いこととも関係している。

(2) 回収砂、再生砂とも通気度は新砂配合と比較して全般に高く、とくに100°Cでは著しい。再生法の違いは認められないが、回収砂、再生砂は充てん密度が低いためと考える。

以上の結果から総合的に考察すると次のとおりである。

けい砂の違いについては SiO_2 分の高いものほど一般に回収、再生するとき破碎しにくいので有利であるが、本実験の常温性質からはA、B砂に大差はない、A砂を使用して十分である。

回収砂作製時に100°Cと1000°Cの加熱の影響をみた結果、100°C砂は1000°C砂に比べてセメント

付着量が多く強固についているようである。したがって高温で熱影響を受けた砂はど回収、再生が容易であり常温性質ではとくに通気度に差が認められた。

再生法では乾式再生砂が湿式再生砂に比べて常温性質は良好であったが、回収砂と比べて再生度に大差がなかった。このことは砂粒に付着したセメント分が強度に寄与しているためであるが、混練時の添加水分量を増す必要があり鉄造欠陥の要因となりうる。湿式再生砂は新砂により近く再生されているため、新砂配合程度にセメントを増す必要がある。

一般に実験室は工場砂より厳しい条件であったが常温性質には大差がなかった。

4. 結 言

実験室及び工場の回収砂、再生砂の常温性質について実験した結果をまとめると次のとおりである。

(1) A 及び B 砂の SiO_2 分の違いは再生砂から判断して、両者に大差はなかった。

(2) 回収砂、乾式再生砂は砂粒に付着したセメント分が強度に寄与している。しかし、混練時の水分添加量を増す必要があり、鋳造欠陥の要因となると思われる。又湿式再生砂は新砂配合に近い性質であるが、B 砂については明らかでなかった。

(3) 回収砂の熱影響については、高温に加熱され

たものほど回収、再生が容易であり、通気度に影響が認められた。

(4) 工場回収砂の乾式処理回数の違いには大差がなかった。又湿式処理条件についても同様である。

(5) 回収砂、乾式再生砂の SST は新砂配合と同程度か又はすぐれている。

(6) 回収砂、再生砂の通気度は新砂配合に比べ高くなる傾向にある。

文 献

- 1) 親部、世良、小林、原、森田：本報告、20 (1977) 73

自硬性鋳型に関する研究（第10報）

セメント鋳型の高温性質に及ぼす回収砂の影響*

原 信彦, 世 良時夫
小林 賢治, 渡部英雄
森田 健次

1. 緒 言

前報^{1,2)}において超速硬セメント鋳型回収砂の残留セメント分の割定法及び常温性質について検討し、残留セメント分の測定には酸消費量か酸可溶分の測定が有効であることを知った。

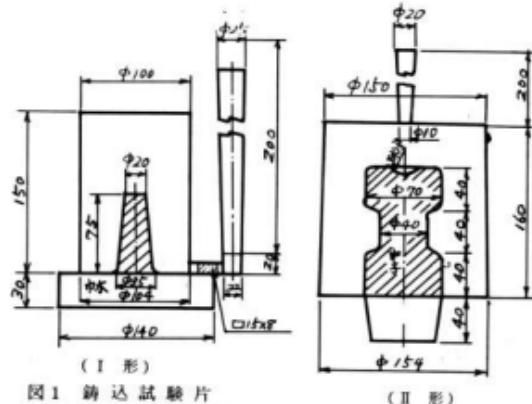
また常温性質については、回収砂及び乾式再生砂は残留セメント分が圧縮強さに影響し、湿式再生砂は新砂に近い値を示すことを知った。

本報においては前報と同一試料砂を使用しその高溫性質を検討するとともに鋳込み試験をおこなったので報告する。

2. 試料と実験方法

2.1 試料

けい砂は化学成分の異なる A (SiO_2 90.04%)、B (SiO_2 99.38%) 二種類（以後 A 砂、B 砂と言う）を使用した。



* 昭和50年度技術開発研究費補助金による研究（その3）

回収砂、再生砂は前報²⁾で使用した試料と同一試料である。

2.2 実験方法

供試砂は、前報²⁾の表1、2に示す配合で、その試料№(1~19)は本実験に示す№と同様である。

なお、鋳込み試験の試料№20は、工場回収砂にセメント4%，ダスト2%を配合したものである。

熱間強度試験は、φ28.6 × 50 mmの試験片を作製し48時間以上放置したのち、高温鋳物砂試験機を用いて100, 400, 700, 1000°Cの各温度で60, 40, 20, 15分、保持後その圧縮強さを測定した。

ただし再生砂の熱間強度は700°C加熱のみで比較した。

熱膨脹試験は、熱間強度試験と同じ試験片を使用し、熱膨脹試験機を用いて1100°Cでの急熱膨張量を測定しパーセントで示した。

鋳込み試験は、図1に示す試験片(I形、II形)の二種類を使用した。

試験用鋳型は中子の部分で、造型後48時間放置し揮発性塗型を塗布した。外型にはガス型を使用した。

鋳込みは、FC20相当の浴湯を鋳込温度1420~1450°Cでおこなった。

鋳込み試験片の良否は次の方法で判定した。

試験片I形は、後処理をおこなったのち、中子の部分に水を入れて容積を計り、中子の容積（計算値）から水の量を減じて焼着量を測定し、最大から最小までを5段階に分け表1に示す判定をおこなった。

試験片Ⅱ形は、後処理後、縦方向に切断して焼着程度を観察し、Ⅰ形と同様、焼着状況を5クラスに分類して判定した。その代表例を写真1に示す。

表1 鋳込試験片Ⅰ形の判定基準

	焼着量 cc	7~11	11~15	15~19	19~23	23以上
判 定	○	○	△	×	×	xx

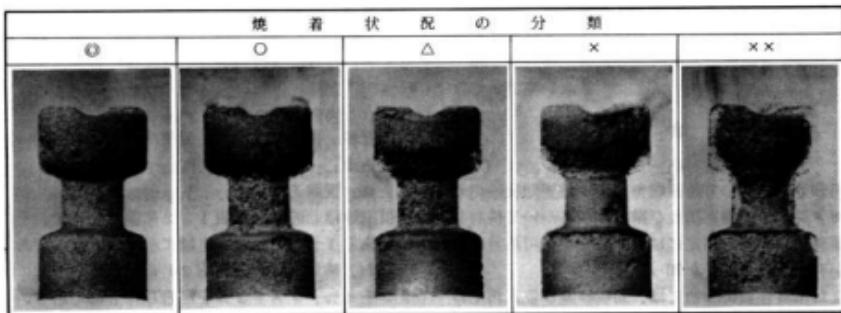


写真1 焼着状況の判定例(Ⅱ形)

3. 実験結果と考察

3.1 回収砂の高温性質

各種回収砂の熱間強度は図2に示すとおりである。A砂、B砂とも、1000°C回収砂は新砂に近い値を示したが、100°C回収砂、工場回収砂の値は低かった。

また、常温強度の高いものは、熱間強度も全般に高いが700°C以上では、いずれも強度の低下は著しく常温強度の1%以下であった。

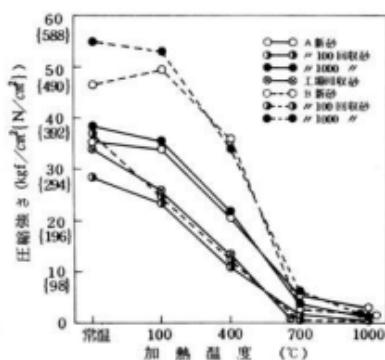


図2 各種回収砂の熱間強度

急熱膨張試験の結果は図3に示すとおり、100°C回収砂の膨脹量は新砂の1%位で、その他のものは新砂に近い値を示した。

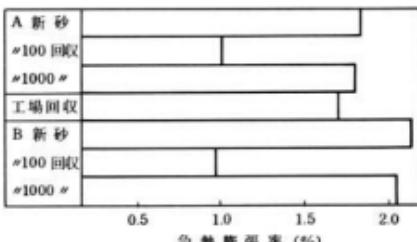


図3 各種回収砂の急熱膨脹率

これは、100°C回収砂には残留セメント分が比較的多く¹⁾したがって添加水分量も多くなり、砂の流動性が悪く充てん密度が低いことに起因すると思われる。

3.2 再生砂の高温性質

各種再生砂の熱間強度試験結果は次のとおりである。

A砂とB砂とでは大差はなかったが、新砂配合に比べ再生砂の熱間強度は(新砂の1%~1%程度)低い値を示した。また乾式再生砂と湿式再生砂とでは乾式の方が幾分高く100°C再生砂と1000°C再生砂で

は 1000°C 再生の方が高くなる傾向を示した。

急熱膨張試験の結果は図 4 に示すとおり 100°C 乾式再生砂は、新砂の約以下で小さく、回収砂と同じ傾向を示した。これは、回収砂(A100, B100)とほぼ同等の残留セメント分がある¹⁾ことからうなずける。

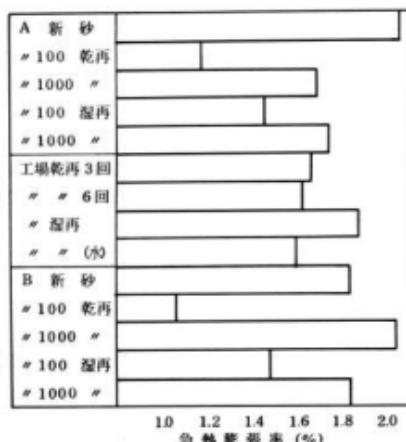


図 4 各種再生砂の急熱膨張率

3.3 鑄込試験

表 2 鑄込試験の判定

試料 No.	鑄込試験片 I 形		鑄込試験片 II 形		総合 判定
	焼着量 (cc)	判定	判定順位	判定	
1	13.6	○	5	○	○
2	25.3	××	17	××	××
3	27.4	××	20	××	××
4	9.0	◎	4	○	◎○
5	11.8	○	6	○	○
6	14.6	○	14	×	△
7	20.0	×	11	×	×
8	13.2	○	1	◎	○◎
9	9.9	◎	15	×	○△
10	9.3	○	16	×	○△
11	9.8	○	3	○	○○
12	8.6	○	12	×	○△
13	8.6	○	2	○	○
14	16.7	△	18	××	×
15	15.5	△	19	××	×
16	15.7	△	9	△	△
17	13.1	○	13	×	△
18	7.1	○	10	△	○
19	15.4	△	8	△	△
20	12.1	○	7	○	○

試験片 I 形及び II 形の試験結果は表 2 に示すとおり I 形と II 形とでは多少の差はあるが、総合的に判断すると、A 砂、B 砂とも回収砂は最も悪く、再生処理することによりこれらは改善され、なかでも A 砂の乾式再生砂はすぐれていた。

また工場砂は、ダスト配合砂も含めて全般に良好な結果を示し、実験室砂(A, B 回収再生砂)が比較的悪かったのは、回収砂の作製法がきびしそうたためと思われる。この試験結果から A, B 砂は大差なく SiO₂ の多い高価な砂(B 砂)を使用する必要はないよう思われる。

4. 結 言

セメント鉄型回収砂、再生砂の高温試験及び鉄込試験の結果は次の通りである。

1) 熱間強度は、常温強度の高い配合砂が全般に高い値を示した。しかし 700°C 以上では強度の低下は著しく常温強度の約以下となつた。

2) 急熱膨張試験の結果は、残留セメント分の多い 100°C 加熱の回収砂、再生砂は膨張量が小さく、その他のものは新砂に近い値を示した。

3) 鉄込試験の結果は A 砂、B 砂とも回収砂の焼着量が多かったが、再生処理をおこなうことにより改善されなかでも A 砂の乾式再生砂はすぐれていた。

文 献

- 1) 渡部 他 4名: 本報告 20 (1977) 73
- 2) 世良 他 4名: 本報告 20 (1977) 76

自硬性鋳型に関する研究（第11報）

フラン鋳型の性質について

小林賢治，中村和清
渡部英雄，酒井隆司

1. 緒 言

鋳物業界で植物を原料としたフラン樹脂による造型システムが脚光を浴びてきている。これは同樹脂を使用すれば、作業環境の改善、労働力の確保、産業廃棄物問題、生産性向上、省資源問題など現在鋳造業界が抱えている問題を次々と解決できる可能性がでてきたからである。

しかし水ガラスに比べ価格が約10倍、注湯後の湯口の崩壊が早い、臭気があるなどの問題があるため難問山積みの鋳物工場でフラン樹脂とフラン造型システムが近代化の最大の武器となり、普及するか

否かはこれらの諸問題を解決することにかかっている。

本研究は現在フラン造型を実施し、今後実施する現場で多く発生する強度発現の問題点について、樹脂、硬化剤の性質、および回収砂使用での鋳型の性質を含め調査、検討したので報告する。

2. 試料と実験方法

2.1 供試材料

2.1.1 原材料

実験に使用した供試材料の珪砂（温泉津5号）および各樹脂、硬化剤の性状を表1、2に示す。各フ

表1 実験室及び工場回収砂の各種試験

No.	粒 度 分 布 (重量 %)												酸消費量	pH	LOI	ダスト*			
	14	20	28	35	48	65	100	150	200	270	Pan	計				pH	ホルマリン mg/ml	フェノール mg/ml	
1	0.2	7.9	36.4	36.0	15.8	3.4	0.1	0.1	tra	0.1	100	61	6.85	9.15	5.3	9.35	ND	—	
2	0.1	7.2	36.3	37.2	15.8	3.1	0.1	tra	tra	tra	99.8	60	8.98	9.61	5.0	9.35	—	1.1	
3	0.1	6.1	32.1	37.9	18.9	4.5	0.3	tra	tra	tra	99.9	63	8.88	9.48	2.8	9.25	—	0.6	
A	0.7	16.2	35.6	30.2	14.4	2.5	0.3	0.1	tra	tra	100	57	4.99	4.35	4.3	—	—	—	
B	tra	0.3	7.3	45.6	40.8	5.2	0.6	0.1	tra	tra	tra	99.9	54	4.69	3.74	5.0	—	—	—
C	1.7	20.4	37.0	26.0	9.9	2.6	0.8	0.3	tra	tra	99.5	58	5.19	4.15	2.2	—	—	—	
珪砂	0.3	9.7	36.9	36.8	14.4	2.4	0.2	tra	tra	100.7	59	4.97	4.50	0.4	—	—	—	—	

* 試験方法：環境庁告示第13号およびJIS K 0102による。

珪砂：温泉津5号

表2 各種樹脂、硬化剤の性質

種類	樹脂		特長	硬化剤			
	比重	比粘度		種類	比重	比粘度	特長
1	1.157	11.4	赤褐色液体	Q	—	—	X S 赤褐色
			尿素変性高純度フラン	S	1.125	14	PTS 無色透明
2	1.17~1.20	95/25°	黒褐色液体	Q	—	—	PTS 棕褐色
			フェノール変性フラン	S	—	—	PTS 淡褐色
3	1.07~1.04	60/25°	黄褐色液体	Q	0.88~0.91	—	塩基(アミン系)黄色
			黒褐色液体 MDI	S	—	—	PTS 赤褐色
4	1.19~1.21	15~45/30°	黒褐色液体	Q	—	—	PTS 赤褐色
			尿素変性高純度フラン	S	—	—	PTS 淡茶色
5	1.172~1.177	20~30/20°	黒褐色液体	Q	1.23~1.24	—	PTS 黒褐色
			尿素変性高純度フラン	S	—	—	PTS 黑褐色
6	—	10~40	赤褐色液体	Q	—	—	PTS 黑褐色
			尿素変性高純度フラン	S	—	—	PTS 黑褐色

ラン樹脂は回収用に適する尿素変性高純度フラン、フェノール変性フランで、特に銅鋼、ダクトイル鉄用の粘結剤として各メーカーから販売されているものである。硬化剤は、パラトルエンスルホン酸系で、No.1で使用した速効性の硬化剤はキシレンスルホン酸系である。

2.1.2 実験室的回収砂

樹脂性状の異なる尿素変性、フェノール変性フラン、フェノール樹脂を使用し、混練硬化後に空気を遮断し、炉中で加熱破碎したものを供試した。

2.1.3 工場回収砂

工場回収砂はフラン樹脂、硬化剤は同メーカー同一品である。A社の回収方法はリクレーマで破碎し、排風機で粉塵を取り出すという初步的な回収方法であり、B社のは、珪砂を吟味しフラン鋳型に非常に適した砂を使用し、リクレーマで破碎し強力な集塵装置によった回収砂である。C社は、珪砂が外国産フリーマントルで、フラン砂回収再生装置のある工場回収再生砂である。

2.2 実験方法

2.2.1 圧縮試験片の作成

珪砂、回収砂を品川式攪拌機（羽根：スクリューピータ）を用い、63 rpmで1回4kgを下記の順で混練し、φ50×50の木型に造型し、脱型を行って供試した。フラン樹脂は砂に対して一律に1.5%添加し、硬化剤は砂温に対して、速効性（Q）80%、標準用（S）40%を樹脂添加量に応じて添加混練した。フェノール樹脂については当初砂の量に対して、フェノール1%と硬化剤を対樹脂1.5%配合しておき、ポリイソシアネート1%を加えて混練した。混練順序は下記のとおりである。

フラン樹脂： 砂 + 硬化剤 + 樹脂 → 取り出し

混練時間 60秒 60秒

フェノール樹脂： 砂 + フェノール + 硬化剤 + イソシアネート → 取り出し

混練時間 30秒 30秒

2.2.2 実験室的回収砂の作成

2.1.2で述べた3種の樹脂No.1、No.2、No.3を砂に対して一律に1.5%，硬化剤は標準タイプを40%添加し、2.2.1に準じて混練をおこない直ちに110×190×80の木型に造型した。5時間後上面に白色系塗型（塗型1kg+IPA.220g+メタアルコール.220g）を刷毛で1回塗後着火して30分経過後、

1000°Cに保たれた電気炉中で3分間加熱を行い、下記に示す工程で、同作業を珪砂の補給なしに8回繰返して実験室的回収砂の作成を行った。

混練→造型→塗型→電気炉中→放冷→クラッシャー→シンブソンミル混合攪拌→振動フルイ→回収砂、シンブソンミル運転時間3分とした。振動フルイで100メッシュ以下はカットした。

2.2.3 各種試験法

2.2.3.1 圧縮強さ

JIS法による。（Z 2604）

2.2.3.2 高温圧縮強さ

φ28×50の試片を15分間所定温度で加熱して圧縮強さを測定した。

2.2.3.3 表面安定性

試験片をロータップ機にかけた6メッシュふるい上におき、叩くことなく1分間振盪した後の、ふるい上の残留量と試験片重量との割合（%）で表わす。

2.2.3.4 強熱減量（LOI値）

試料10gを100°C±5°Cで30分間乾燥した後、1000°Cで0.5時間強熱し、デシケーター内にて冷却し強熱減量率で表わした。

2.2.3.5 酸消費量

JACT鈎物砂の試験法S-4法による。

2.2.3.6 pH

JACT鈎物砂の試験法S-3法による。

3. 結果および考察

3.1 各種フラン樹脂による放置強度

珪砂に各樹脂を1.5%添加した。砂温4°Cではメーカー指定の速効性の硬化剤を、20°Cでは標準タイプの硬化剤をそれぞれ80%，40%添加し脱型30分位を目安に2.2.1に準じて混練した試片の放置強度を図1、2に示す。各メーカーの樹脂、硬化剤の差はあるが、立上り強度はいずれも3時間経過ではほぼ平衡状態になっている。低温期の硬化はXS硬化剤を使用したNo.1が脱型は早いが最終強度のが余り良好とはいえないようである。また5時間経過で強度低下がみられるのが特徴である。No.2のフェノール変性フラン使用のものは安定した放置強度を示している。特に冬期は砂温、室温の低下で脱型等作業性が悪くなるため砂温は充分に管理されるべきである。1時間後の放置強度はいずれも良好な結果を得た。

図2は砂温20°Cの強度発現を示したもので、尿

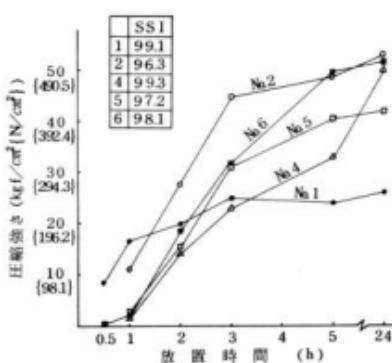


図1 新砂の放置時間と圧縮強さの関係
硬化剤量 40%
砂温 4°C, 室温 4~10°C, 湿度 58~71%

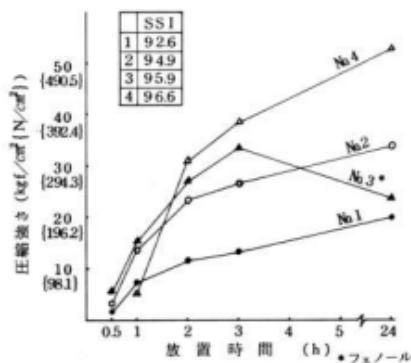


図2 新砂の放置時間と圧縮強さの関係
硬化剤量 40%
砂温 20°C, 室温 23~27°C, 湿度 59~72%

素変性 (No. 1, 4), フェノール変性フラン (No. 2), フェノール (No. 3)について硬化状態を試験したものである。No. 4を除いて、強度発現は著しいが、2時間後はNo. 4が特徴ある強度を示し、図3, 4から1~2時間目で硬化が急速におこることがわかった。

3.2 回収砂による放置強度

フラン樹脂法の主要目標は、砂の回収使用にあり、すでに 95% 以上の回収率に達している。その面で

は充分に期待に応えているが、まだいくつかの課題が残されている。表1に実験室の回収砂、工場回収砂の試験値を示す。図3, 4は各回収砂の強度発現を示す。写真1は表面の顕微写真である。表3は新砂、回収砂の高温圧縮強さの比較を示した。表4は

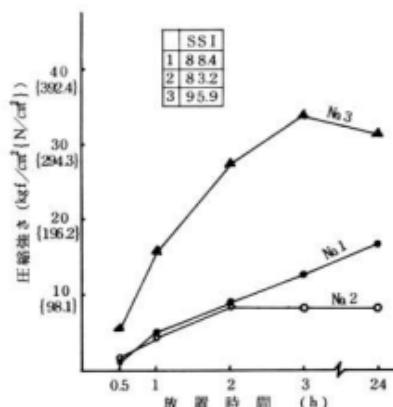


図3 回収砂の放置時間と圧縮強さの関係
硬化剤量 40%
砂温 20°C, 室温 22~24°C, 湿度 78~80%

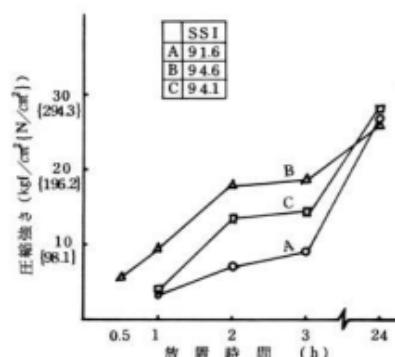


図4 工場回収砂の放置時間と圧縮強さの関係
硬化剤量 40%
砂温 20°C, 室温 22~24°C, 湿度 78~80%

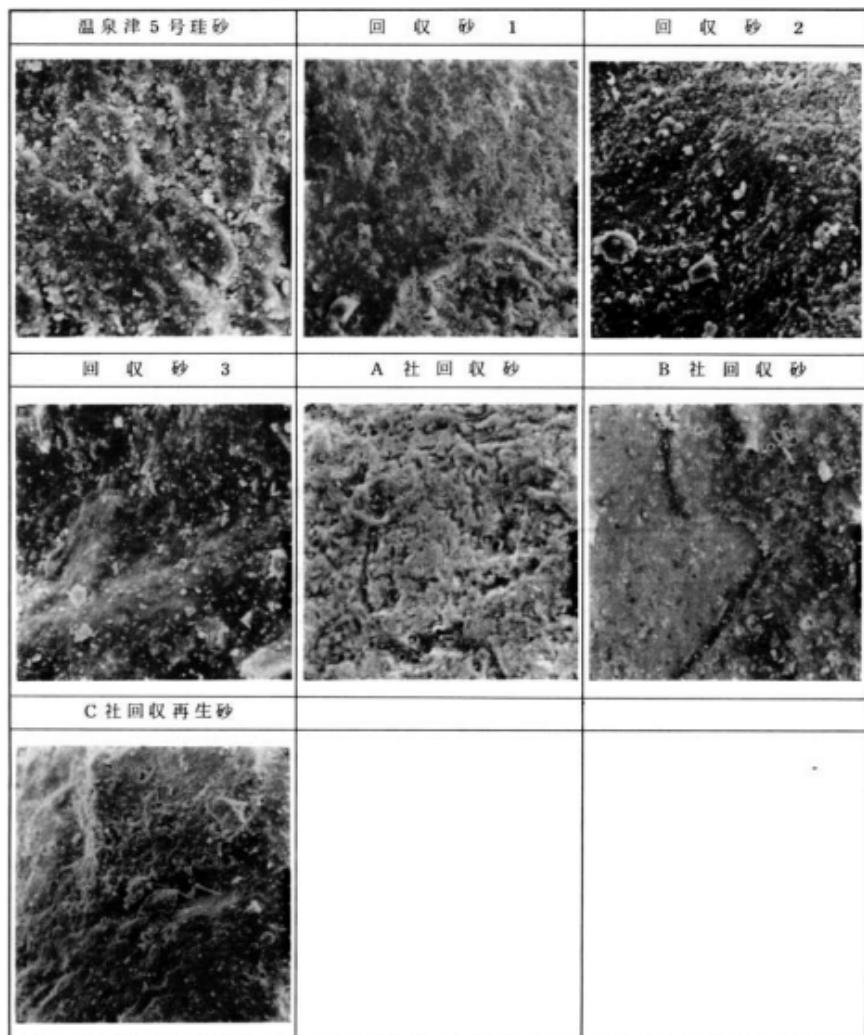
写真 1 実験室の回収砂と工場回収砂の表面写真 ($\times 500$)

表 3 新砂及び回収砂での高温圧縮強さ

		300°C	400°C	500°C
1 新 砂	Q	9.0	×	×
	S	16.0	4.0	×
回 収 砂	S	14.0	10.0	2.2
	Q	18.5	0.5	0.2
2 新 砂	S	29.0	19.0	1.5
	S	7.5	3.3	×
3 新 砂	Q	19.0	17.5	3.3
	S	21.0	14.0	×
4 新 砂	Q	—	—	—
	S	26.0	2.0	×
5 新 砂	Q	9.0	4.0	×
6 新 砂	Q	6.5	2.0	×
A 社回 収 砂	S	24.0	12.5	×
B 社回 収 砂	S	19.5	14.0	×
C 社再生回 収 砂	S	21.5	15.5	×

×印は測定不能

表 4 実験室回収砂の LOI 値の変化 (%)

回数 回収砂(%)	第 1 回目	第 2 回目	第 3 回目	第 4 回目	第 5 回目	第 8 回目
1	0.3	0.5	1.0	3.7	4.7	5.3
2	0.5	1.0	1.54	3.7	4.0	5.0
3	0.2	1.5	—	2.3	2.5	2.8

実験室回収砂の LOI 値の変化を示す。

表 1 に示すとおり、実験室の回収砂は № 1, № 2 ともに酸消費量と pH 値に異常が認められた。この結果 № 2 については通常の硬化剤使用量では硬化できなかったため、対砂 1% の硬化剤を余分に加えて回収砂の酸度調整をおこなった。№ 1 の最終硬化剤の使用量は 70 % で、作業可能な強度を得た。№ 3 の回収砂の pH としてはアルカリ側になるので、硬化剤使用量は減少でき、0.8 % で充分な硬化が得られた。№ 1, 2 の酸消費量、pH の変化は、白色系塗型剤に影響されたものと考えられる。№ 3 については新砂の場合と同じく強度が下ることがわかる。これはフェノール樹脂の特徴であるが作業に影響をうける程ではない。写真 1 の観察で、実験室の回収砂はスクラビングが不充分であり、表面に相当な付着物が残存している。この様な回収砂は特に硬化剤添加後の濡れ性が悪く、表面安定性の低下を招く。工場回収砂についてみると、B 社回収砂は酸消費量、

pH 値測定結果からかなり酸性側にあり、立上り強度が優れている。3 工場回収砂の強度発現には差異が認められるが 24 h 後の強度は大差がない。

4. 結 言

今回の実験では充分なデーターは得られなかったが、工場調査を含め、おもよそ下記の指針を得た。

(1) 新砂での硬化は余り珪砂の性質に影響されることなく硬化し、作業上の強度は得られるが表面安定性に影響をうけ、洗われ等の铸造欠陥を生ずる。

(2) 全面回収を行うための珪砂は粒度指数が小さく、微粉のまったくない、酸消費量の少ないものを選択する。

(3) 樹脂は高純度フラン樹脂が臭気は少なく作業上問題がない。硬化剤はいづれも冬期用の速効性は鉄湯時亜硫酸ガスのしげき臭が強い。フェノールも未だ臭気の点で問題が残り、鉄湯時ススの発生が見られる。

(4) 速効性硬化剤は粘度が高くさらには冬期に粘度があがるので、混練機回転数の小さいものは硬化ムラの原因となる。最低 80 rpm が必要である。

(5) 砂の回収において表 5 で示す通り 4 回目あたりからイグロスが増加している。現場ではこの傾向が遅く現われる(初期の回収装置で)が LOI 値の測定結果をみながら経済的新砂の補給を行う。

(6) 白色系塗型の多量使用は、回収砂の酸消費量、pH 値を高める傾向があり、硬化剤添加時の砂の濡れ性が悪く硬化不良を起す原因となる恐れがある。

(7) 砂の管理は LOI 値のみではなく、pH 値、粒度分布、微粉量の測定を行う必要がある。特に硬化剤添加時の砂の濡れ性は硬化特性を大きく左右するので、酸消費量、LOI 値の管理は重要である。

以上簡単ではあるが、これからフラン造型を導入する工場では上記の点に留意し、方案等の技術的な工夫を含め経済的作業改善を行う必要がある。

5. 参考文献

古新居 進：フラン系鉄型用粘結剤

岡見正一：フラン造型法の問題点とその対策

花王テクニカルレポート

武山 黙：フラン樹脂型法

神戸理化：フランガイド、フラン樹脂オール回収砂の実施報告書

旭有機テクニカルレポート

日立化成テクニカルレポート

総合鋳物センター：有機系自硬性鋳型の導入と管理
手法（その1，その2）

日刊工業新聞

The Quaker Oats Company : FORANNO-
BAKE.

大日本インキフランカタログ

X線応力測定の機械部品への適用例*

蒲田政信, 西川浩成
石田節

1. まえがき

機械部品の使用条件が過酷になるにつれ、また、省資源、省エネルギーの立場からも加工に厳重な管理が必要とされるようになった。

残留応力は機械部品の強度、変形、破壊等に大きな影響をあたえるため、残留応力の管理も必要となってくるものと思われるが、残留応力測定を現場の管理面に生かしていくには次のようなことが特に要求される。

- (1) 非破壊的な測定法であること
- (2) 局所的場所が測定できること
- (3) 簡便であること

X線応力測定法はこれらの諸条件を満足するものであるが、現場の機械部品に適用するにあたっては、種々の問題点も含まれ、X線応力測定技術、X線応力測定から得られる応力値のもう意味などに深い知識が必要とされ、資料の集積も大切なことと思われる。

筆者らは3年前にX線応力測定装置を設置し、広島県下の中小企業から持ち込まれるさまざまな試料について残留応力の測定を行ってきた。

これまでに測定した事例のうち二、三の例について整理してみたので報告する。

2. X線応力測定の機械部品への適用例

2.1 鋳造部品の応力除去焼なましへの適用

鋳造品の鋳造応力にともなう形状変化を防止する目的で以前は枯しが行われていたが、現在はほとんど応力除去焼なましが行われている。

農業用エンジンのフライホイルとシリンダーヘッドの鋳造のままのものと応力除去焼なましをしたもので形状と残留応力の経時変化があるかないか、X線応力測定装置、三次元座標測定機を用いて検討を行った。

* 中国地方非破壊検査技術振興会応力、ひずみ測定シンポジウムにて発表

試料は写真1に示すようなもので、フライホイル、

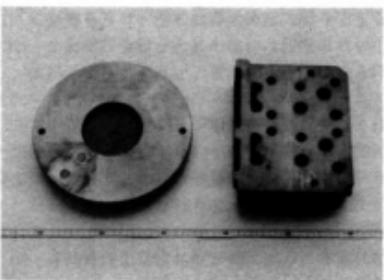


写真1 フライホイル（左）
シリンダーヘッド（右）

シリンダーヘッドとともにハナイト鉄でフライホイルは引張強さ 28 kgf/cm^2 (275 N/mm^2)、シリンダーヘッドは引張強さ $33 \sim 35 \text{ kgf/cm}^2$ ($324 \sim 343 \text{ N/mm}^2$) のものである。両試料とも写真にみられる面は $2 \sim 3 \text{ mm}$ 程度全面にわたって切削してあり、裏面は一部分切削してあるが大部分は鋸肌のままである。

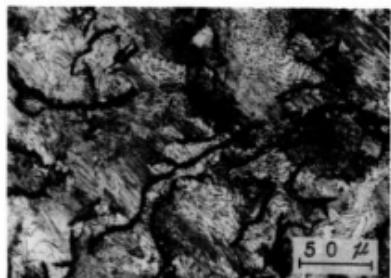
このように片面の切削量が多いので、鋳造応力による形状の経時変形が予想される。そこで形状と残留応力の経時変化を測定した。

形状測定は三次元座標測定機（三豊A-21）を使用し、試料を測定台にのせて、Z方向（試料の高さ）の変化を測定することにより、鋳造のままと焼なましをしたもので変形の経時変化の比較測定を行った。測定法は 12 mm の基準穴を2個設け、それに高さ測定方向（Z方向）をX軸に一致させて、一方の穴を原点 [X(0), Y(0)] として測定した。

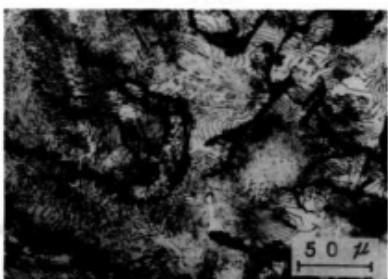
残留応力の経時変化の測定は切削加工された面で行い、切削加工層を約 200μ で電解研磨で取除いた。測定応力方向はフライホイルで径方向、シリンダーヘッドで長手方向とした。又、応力除去焼なましの

効果はシリンダーヘッドの鋸肌の部分を電解研磨で除去して表面からの残留応力分布を測定することにより確認した。電解研磨で取除いた部分は直径 15 mm 程度なので電解研磨による残留応力の解放の影響は補正していない。

応力除去焼なましは 550°C で 10 時間保持後、炉冷したもので、写真 2 はシリンダーヘッドの鋸造の



鋸造のまま



応力除去焼なまし

写真 2 シリンダーヘッドのミクロ組織

ままで焼なまし後のミクロ組織であるがミクロ組織に両者の差異はみられなかった。

図 1, 図 2 は三次元座標測定機により測定した寸法の経時変化である。寸法の経時変化は測定開始日より 123 日までのものであるが、鋸造のままではフライホイルで約 50 μ, シリンダーヘッドで約 30 μ の寸法の変動がみられた。寸法の変動が大きいにもかかわらず、あきらかに湾曲するとか、うねるような変形の経時変化は認められなかった。

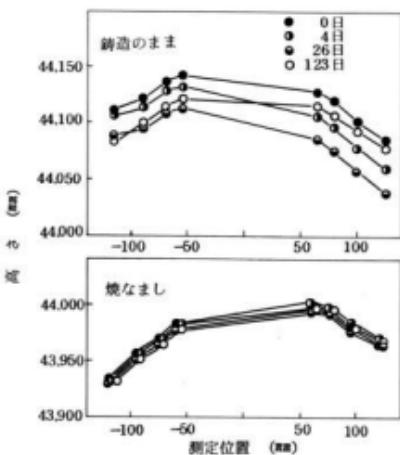


図 1 フライホイル形状の経時変化

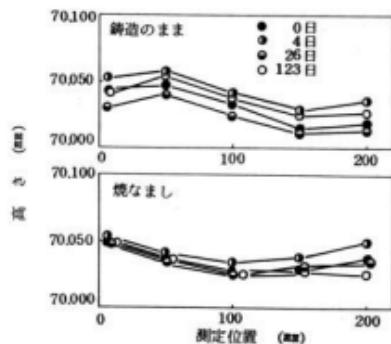


図 2 シリンダーヘッド形状の経時変化

焼なましの試料は寸法の経時変化は非常に少なく、ほとんどが三次元座標測定機の測定のバラツキ内であった。

鋸造のままで焼なましの比較をするとフライホイル、シリンダーヘッドとも鋸造のままで寸法の経時変化が大きいことがわかった。

図 3 はシリンダーヘッドの鋸肌部分の残留応力分布である。

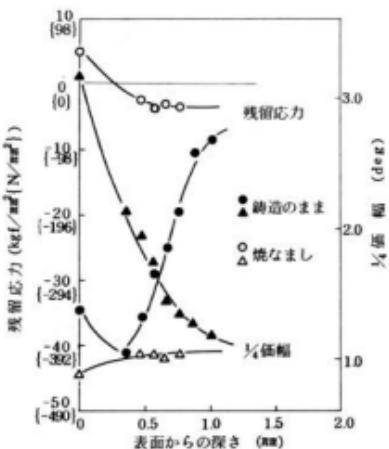


図3 シリンダーへッドの残留応力分布

铸造のままでは表面層に高い圧縮残留応力が存在し、約1mmの深さのところでも 10 kgf/mm^2 [98 N/mm^2] 程度の圧縮残留応力がある。焼なましのものは表面(鉄鋼)に 5 kgf/mm^2 [49 N/mm^2] 程度の引張残留応力があり約0.5mmで 3 kgf/mm^2 [29 N/mm^2] の圧縮残留応力に変化している。残留応力の分布とともに $1/4$ 倍幅も示してあるが、これからも応力除去焼なましの効果は十分でていることがわかった。

残留応力の経時変化は図4、図5に示すとおりで铸造のままではフライホイル、シリンダーへッドとも残留応力の経時変化は大きく、焼なましの試料の残留応力の経時変化は顕著でない。シリンダーへッドの铸造のままの残留応力の経時変化が大きいのは、吸排気孔、冷却水孔など鉄物形状が複雑で肉厚が薄いためと思われる。

又、フライホイルの残留応力の経時変化がシリンダーへッドにくらべて小さいのはフライホイルの肉厚が厚く、剛性が高いためと思われる。いずれにしても铸造のままでは残留応力の経時変化が大きく、特に初期の段階で大きいことがわかった。

応力除去焼なまし効果の確認、残留応力の経時変化の測定などはX線応力測定が非破壊的測定である特徴を生かしたもので手軽に利用できるので、今後の活用分野の拡大が望まれる。

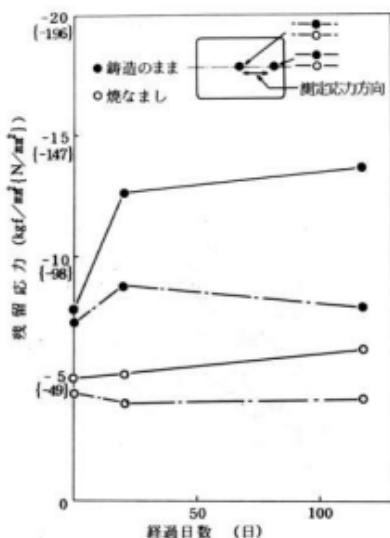


図4 シリンダーへッド残留応力の経時変化

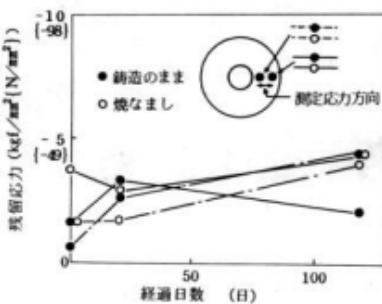


図5 フライホイル残留応力の経時変化

2.2 ポンプ用シャフトの歪の原因調査への適用

写真3に示すようなポンプ用シャフトにキーミゾを加工したところ、キーミゾ側が凹形になるような変形を生じた。

このシャフトの材質はSUS 317L (18Cr-12Ni-3Mo-極低C) で直径が大きいところで95

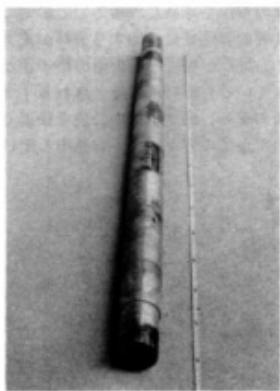


写真3 シャフト

ある。市販品の丸棒がなく、鍛造で丸棒に仕上げ、固溶化熱処理を行って機械加工したものである。

そのミクロ組織を写真4に示した。



写真4 シャフトのミクロ組織

図6はキーミゾ加工による変形量の測定結果で、キーミゾ寸法の大きなところが変形量も大きく、6個のキーミゾを、一直線上に加工すると最大0.2mmの変形を生じた。キーミゾ加工時の切削量を少なくしても、又、6個のキーミゾを交互に対称に加工しても0.12mmの変形を生じた。これらのことから、鍛造・固溶化熱処理一切削加工の際の残留応力が原因ではないかと思われ、X線応力測定により残留応力の測定を行った。

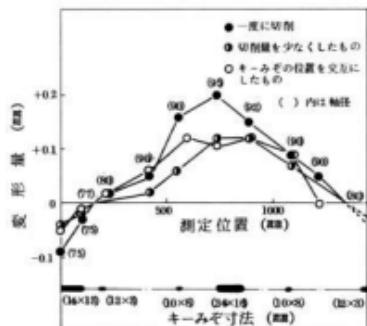


図6 シャフトの変形量

残留応力測定はシャフト中央部で軸方向の残留応力の測定を行った。図7はその測定結果で25kgf/mm²[2.45N/mm²]前後の圧縮残留応力があり曲がり変形

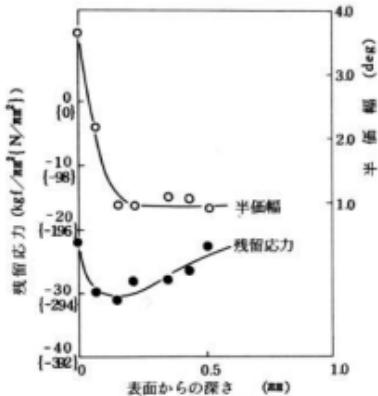


図7 シャフトの軸方向残留応力

の原因となったものと思われる。切削加工層を回折線の半幅より測定したが加工層は約200μmであり、切削加工層はシャフトの曲がり変形の原因になったものとは思われず、鍛造・固溶化熱処理時の残留応力のいずれかが原因と思われる。

3. ま と め

X線応力測定法による残留応力の測定例について不十分ではあるが述べてみた。今後、このX線応力測定の持つ特徴を生かして生産現場への活用分野の拡大を行っていくつもりであるが、活用にあたって次のようなことが望まれる。

(1) 測定対象物の材質、加工履歴を正確に把握し

ておくこと。

(2) 他の方法で求めた残留応力との対応をはかるため、X線的弾性定数に関する資料が充実すること（X線応力測定が特定の回折面の格子歪から応力測定を行っているため特に必要とされる）

終りにのぞみ、測定結果の公表を快よく承諾していただいた企業の方々に厚くお礼申し上げます。

昭和52年10月5日印刷
昭和52年10月15日発行

編集者
発行 広島県立呉工業試験場

〒737 呉市西中央3丁目6-21

TEL 呉局(0823)6438(17)

支局 〒720 福山市山手町砂畠

TEL 福山局(0849)2732

印刷所 松広印刷株式会社

呉市東中央3丁目4-4

TEL ②2175・②0989