

第8章 モデル作業棟の設定

8-1 設定経緯

太重の工場近代化計画、即ち「品質管理レベルの向上」「競争力の強化」「納期の短縮」を達成しうる為の一手段として製造の管理、技術の改良及び工場で作業する従業員の働きやすい、やる気の出る作業環境を作り、さらに今後の厳しい受注環境に対し、工場の姿を対外的に営業活動に利用できるようにすることが必要であると考えられる。

しかしながら当調査団による第一回の現地調査では、起重機ガス設備事業部の工場は必ずしもその姿に至っていないのが現状である。

そこで工場の実態を調査し、具体的改善案を提示することとするが調査改善を行う起重機の工場は鋼材準備から組立完成まで多職種にわたり、工場棟数は12棟におよぶ。

従って代表作業棟を選び、この棟において改善策を実施することにより改善の評価を行うと共に他の作業棟への波及を図る。

8-2 現状の問題点と改善案

8-2-1 モデル作業棟の概要

モデル作業棟は第一溶接工場の備料工部に属し、第2棟（呼称 30t棟）で建屋寸法21m×108m、職種は野書き（下料）、ガス切断（気割）、歪み矯正（校正）、エッジプレーナー加工（包辺）、板継溶接（電溶）で作業員は26名である。

主要設備は30t天井クレーン2台、5t天井クレーン1台、歪取り機1台、プレーナ1台（他に1台新設中で現有機は近く撤去予定）、自動溶接機等で1996年の年間の鋼材加工量は鋼材投入量2,240t、製品重量1,820tで起重機生産工場の要である。

8-2-2 第2棟の改善の考え方

(1) 現状

生産技術及び管理面について下記の項目についての指摘をする。内容は表8-2-1に示す。

技術面	① ガス切断	管理面	①日程
	② 歪取り		②鋼材活用
	③ 板継溶接		③野書
	④ エッジプレーナー加工		④整理整頓
	⑤ 運搬		⑤人員計画

第一溶接工場

起重機ガス工場

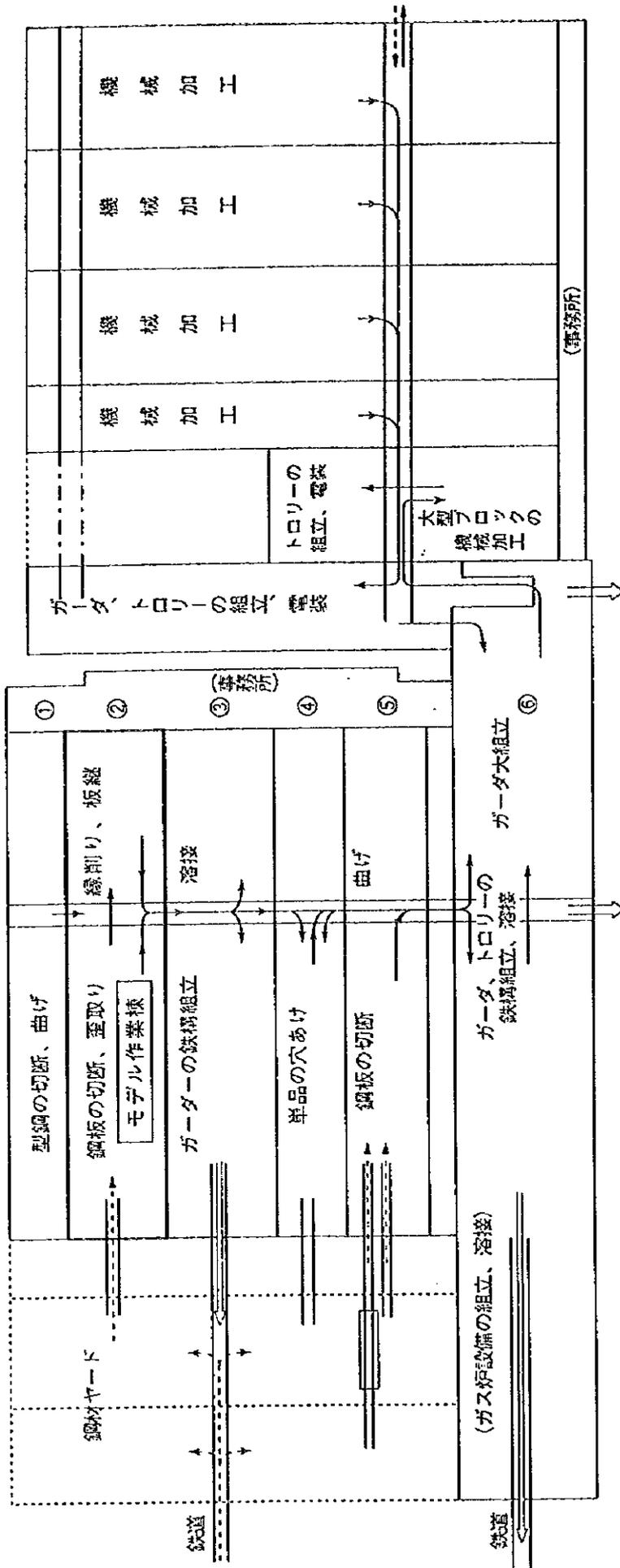


図8-1-1 起重機ガス設備事業部の横別職種及びモデル作業様の位置

(2) 改善の考え方

- ① 改善の主旨は工場を整備、整流することにより、コストを日々目で見える状態にして常に必要な手段を構じ、徹底したコストダウンを図ることにある。
- ② 整理整頓については事業部内の工場全体にいえることであるが、作業場の整理整頓をするという職場全体の意識が薄いように見受けられる。従って製造のスタート部門であるこの棟（2棟）がモデルとなって整理整頓を進めることで、工場全体への波及効果が期待できる。
- ③ 起重機製作の中で鉄構作業は全工程を通しての自動化が難しく、どうしても人の力による作業が重要になってくる。第2棟の全員が作業配置について遊びのないような仕事の与え方をすべきである。

そのためには工序票だけの作業指示でなく、日毎の詳細日程表によって管理者が仕事の山、谷を事前に確認し、人員配置を行うべきである。

この棟の主要日程計画は切断及び板継ぎである。

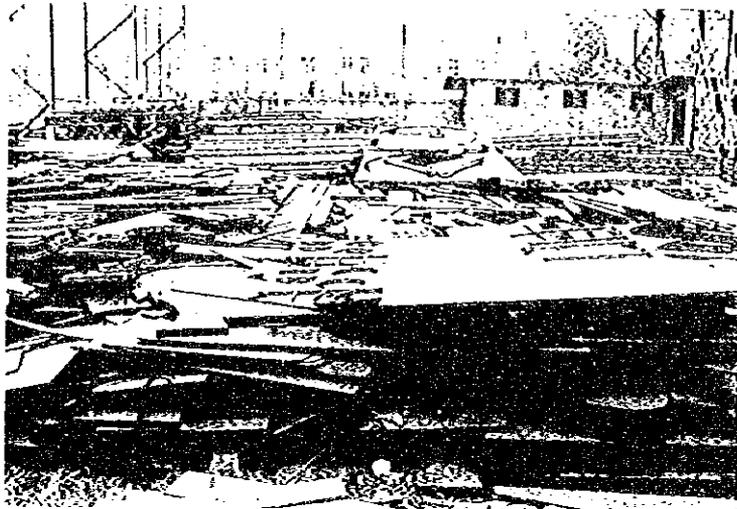
- ④ 鋼材の切断作業はNCプラズマ切断機2台を有する第5棟があり、ここは未使用のプラズマ切断機及びスペースが広くあるため、両棟を合わせた備料工部全体として、作業区分の見直しをし、作業場所の有効活用を図るべきである。

モデル作業棟の工場近代化の改善は第1ステップ、第2ステップに分けて考え、第1ステップでは大きな設備投資をせず、先ず作業環境の整備をすること（即ち働きやすい職場にすることを）、仕事を管理された状態にすること（仕事の計画、進捗が管理者のレベルで直ぐに目で見える状態）で、具体的には次に示すとおり技術上の問題及びその研究・改善・管理上の問題及びその改善で、これが軌道に乗った段階で、第2ステップで切断コンベア、ホースハンガー、リフティングマグネット、天井クレーンの床上操作装置等の設備の導入を実施するよう提案する。

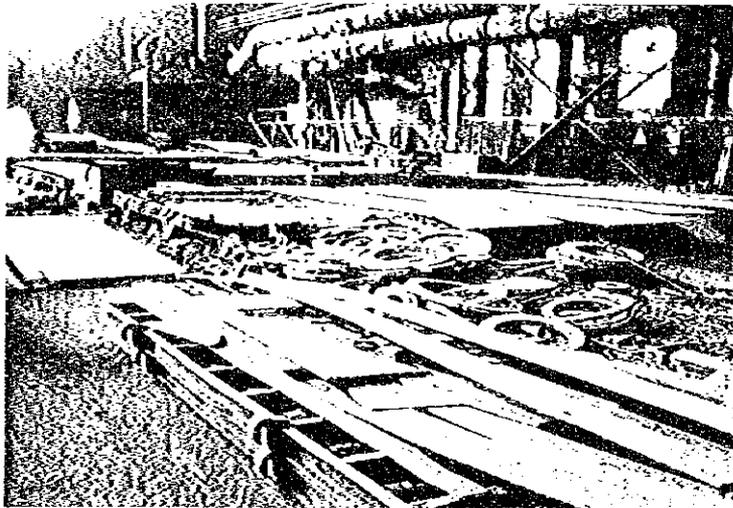
尚、第1ステップ改善案では常に第2ステップの流れを想定した作業計画を立て実行されたい。

第1ステップ改善案は第2ステップ案の事前改善である。

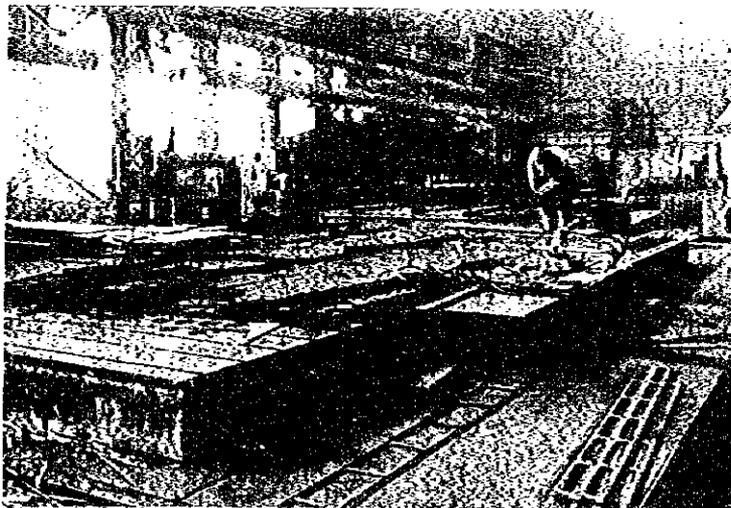
〔現状 1/2〕



スクラップ・残材
(屋外)



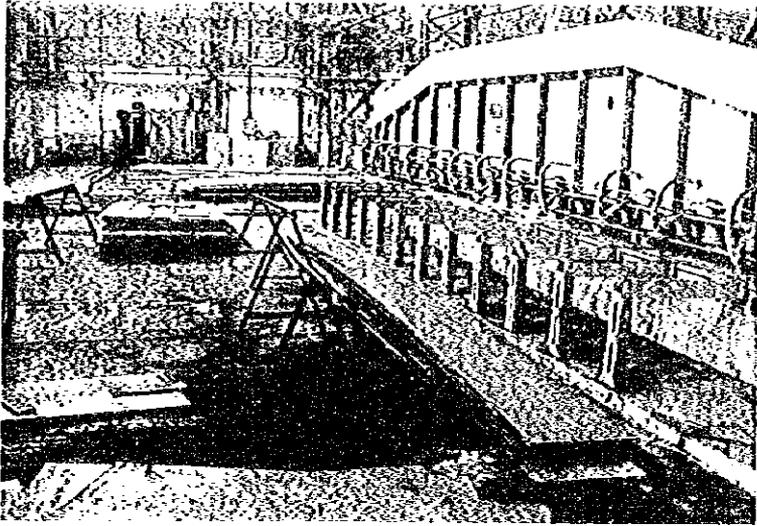
切断材・残材
(屋内)



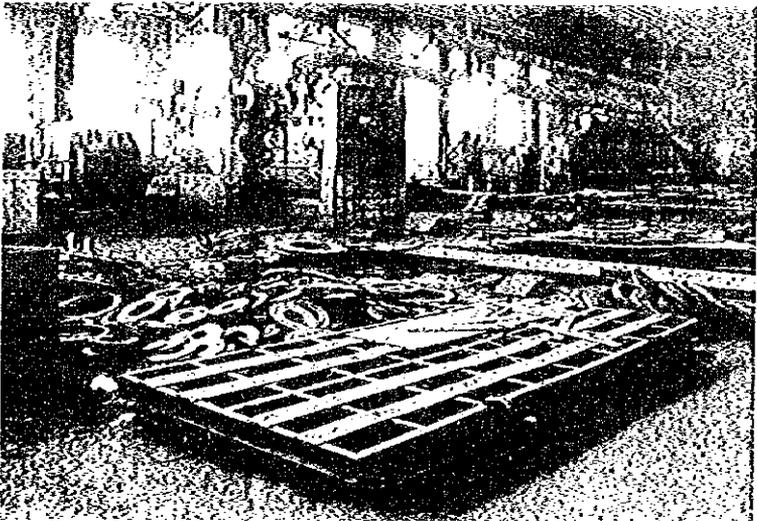
ガス切断場

図8-2-1 モデル作業棟(第2棟)の現状 (I)

〔現状 2 / 2〕



エッジプレーナ



切断材置場

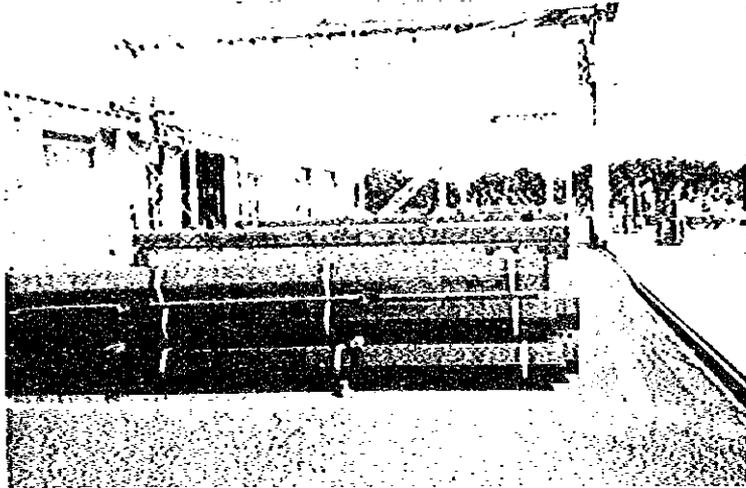
図8-2-2 モデル作業棟（第2棟）の現状（Ⅱ）

表 8-2-1 指摘事項及び第1ステップ改善案での提案事項

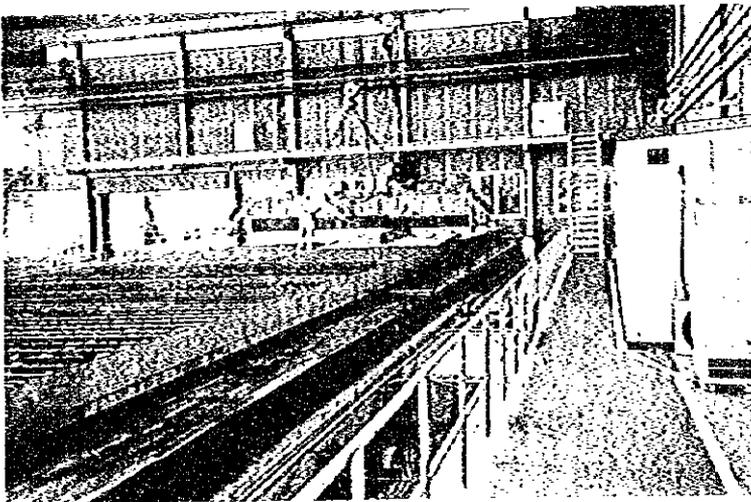
分類	職種	現状	改善提案
技術	1. ガス切断	1. ガス切断面が荒い。切断面が直角に切れていない。円形材は手動切断のため特に切断面、精度共に悪いものがある。	1. 溶接研究所で年度の研究テーマとして取り上げ、実態調査 → 施工試験方案の作成 → 実施 → 施工条件の設定を提案する。 円形材は数が多いので、型切り自動切欠機を使うか、5棟のNCプラズマ切断機を使用するとよい。
	2. 歪み矯正	2. 鋼板が曲がっているので切断後にレベルを通過している。	2. 4点吊りをすると鋼板の曲がりを防止できる。幅の狭い部材のガス切断では、2本トーチで同時に切断すると曲がりも少なく、作業能率も上がる。
	3. 板継ぎ溶接	3. エンドタブ材を使っていないので溶接始端部の溶接結果が良くない。	3. タブ板は近くにある。正しく使うよう、決められたことは守るよう作業者の躰けを徹底すべきである。
	4. プレーナ加工	4. 板継ぎ後のガス切断できるもの及びガーダのボルト接合になる板もプレーナにかけている。	4. 板継ぎ場近くに再切断場を置き、野書き、切断を行う。ボトル接合部は直角に野書きすればガス切断で十分である。
	5. 運搬	5. 鋼板を2点吊りしているのに、材料が大きく変形し、製品品質を悪くしている。	5. 軽量の4点吊りビームを作り、使うように指導すること（第2次でリフティングマグネットを利用すればよい）。
管理	1. 日程	1. 材料投入計画から搬入、野書き作業までの一貫した日程表がない。素材を屋内に大量に入れ、場所を取っている。	1. 工事番号、部品名、鋼種、寸法を明記した一日単位の週間、月間日程表を作成して担当部門に配布し、関係者全員が分かる様にし、鋼材の投入は日程表に従って消し込みを行うこと。

分類	職種	現 状	改善提案
管理	2. 鋼材管理	2. 残材（切断材の残りで再利用可能な鋼材）の活用が作業者まかせになっている。従って残材が大量に発生、その活用が計画的でない。また、屋外に保管した残材が積み重なった状態にあるため取り扱い困難となり、長期間利用されないものがある。	2. 板取り計画で管理する。 ・ 残材リストを作り、活用状況が分かるようにする。 ・ 屋内切断場近くに置き場を作る。 ・ 立て置きにする。
	3. 野営き作業	3. 板取りを跡書き作業者が行っている。板取りの計画と追跡が現場まかせになる可能性がある。歩留り向上対策が定量的でなくなる。 型板の保管が極めて悪い。	3. 鋼板の板取図（C. P）を生産科で作り、板取図ごとの日程計画、進捗の追跡を行うとよい。 型板は壁にかけるなどして、類別し保管すべきである。
	4. 整理整頓	4. 少ない安全通路に安易に材料が置いてあるので安全通路はないに等しい。 不要物が散乱している。 道具箱が多く整理が悪い。	4. 不要物は思い切って撤去すること。 安全通路は別紙第1次案を参照のこと。 道具箱は職場毎の共有として原則として組に1個、私物は別に保管し、公私の区別を明確にするよう指導（調査団提供の写真を参照のこと）。
	5. 人員計画	5. 作業者が職場を離れる状態が多くみられる。	5. 常に仕事量と作業人員のバランスをとって、定常的に仕事を投入するように管理すべきである。仕事の進捗を工序票だけに頼らず、日程計画と進捗が一目で分かるような状態にすべきである。

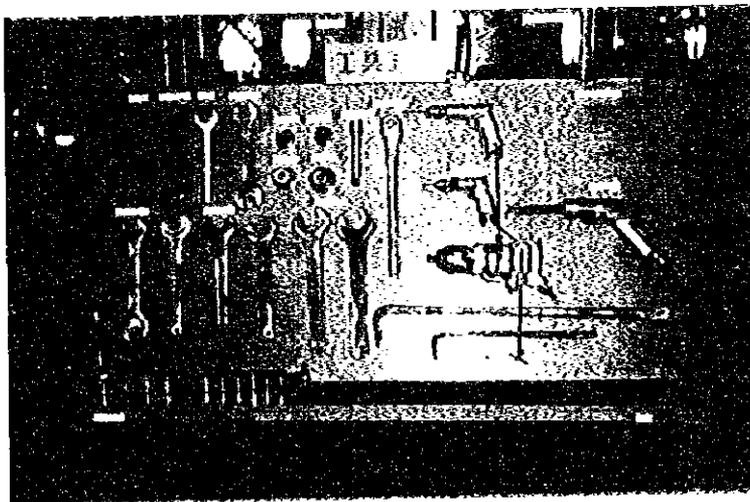
(改善例 1/2)



鋼材置場

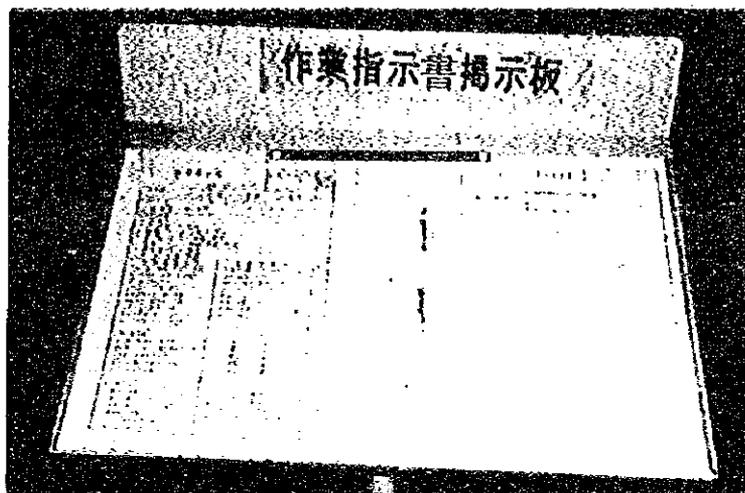


切断作業場と
安全通路

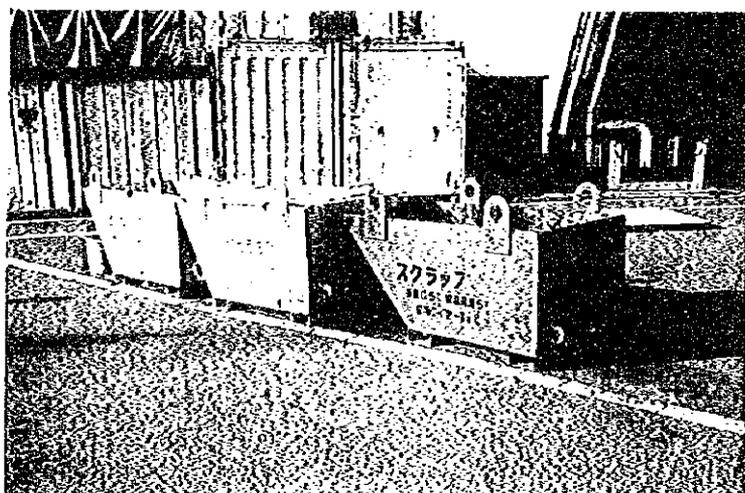


工具箱

図8-2-3 第1ステップ改善案の目標工場例 (1)



工場内の作業
指示書掲示



スクラップ箱、
ゴミ箱の表示
と置場

図8-2-4 第1ステップ改善案の目標工場例 (II)

8-2-3 第2ステップ改善案のポイント

- ① 切断作業は鋼材を投入する時から始まる。即ち切断に必要な材料はそれまでに必要なものだけを準備する。
- ② 事前に日程計画を立て進捗を管理者が確認する（管理の充実）。
- ③ 常に適正な人員を配置する。
- ④ 班員の創意工夫を取り入れ、目標を高くする。
- ⑤ 定量的に管理された最高の作業効率の模範工場とする。

8-2-4 第2ステップ改善案の設備項目

- ① 自動ガス型切断機
- ② 投入コンベア、野書きコンベア、切断コンベア
- ③ ホースハンガー
- ④ 鋼板運搬用リフティングマグネット
- ⑤ 天井クレーン床上無線操縦装置

8-2-5 改善の達成、目標

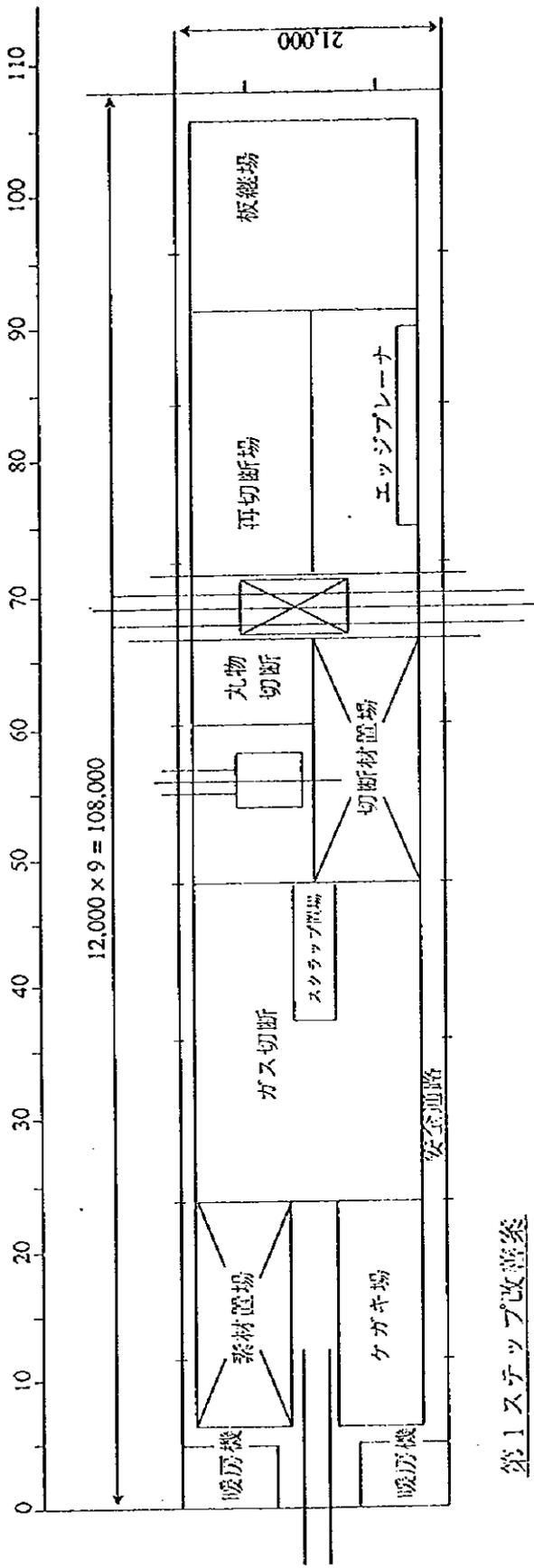
モデル作業棟は第1ステップにおいて表8-2-1に示す状態にすることであると同時に作業改善による2棟内の経済効果として下記の目標値を期待する。

	達成期限	改善項目	工数低減	鋼材の歩留
第1ステップ	1997年末	表8-2-1の実施	15%	85%
第2ステップ	1999年末	設備改善及び第1ステップ改善の発展	40%	93%

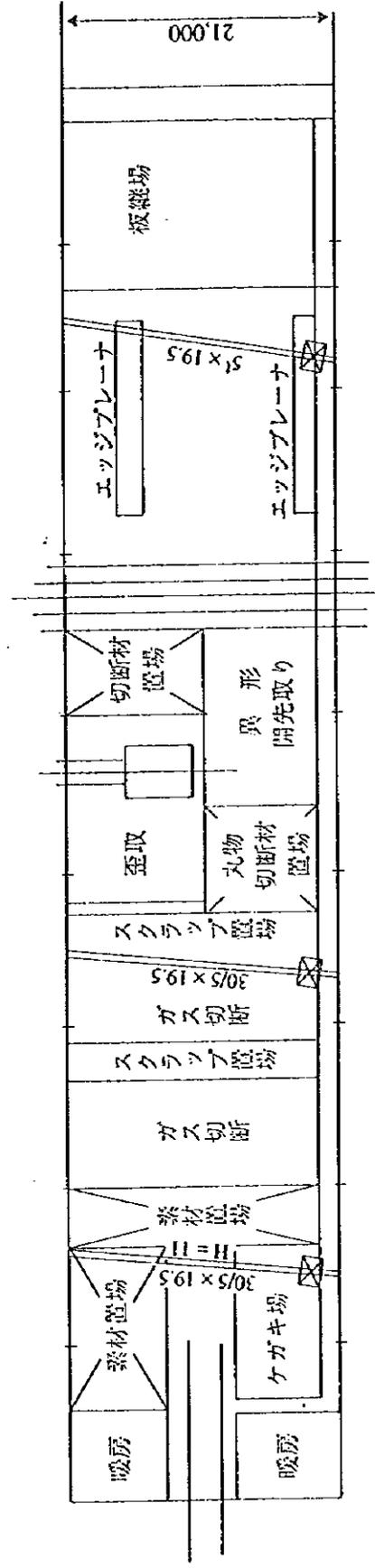
注：鋼材の歩留り；1996年実績は81%である。

表8-2-2 第2ステップ改善の設備計画

分類	設備項目	仕様	台数	参考資料
1.	自動ガス形切断機		1台	資料3
2.	切断コンベア 投入コンベア 引込コンベア 廻巻きコンベア 切断コンベア	ローラコンベア 1.5m×30m 駆動 ローラコンベア 1.5m×20m 駆動 ローラコンベア 1.5m×20m 71D7- スラットコンベア3.0m×30m 駆動	3連 1連 2連 2連	
3.	ホースハンガー	全高2.7m、柱4本、巾4.9m ハンガーレール4条	1台	
4.	リフティングマグネット	板厚6～30mm、巾1～2.5m 長さ6～20m (適用クレーン) ・屋外投入コンベア上20Tクレーン ・第2棟切断場30Tクレーン	1台 1台	資料4
5.	天井クレーン床上海隔操作運転装置	現在の天井クレーンに運転手方式と床上海隔操作方式の併用とする(適用クレーン) ・屋外投入コンベア上20Tクレーン ・第2棟切断場30Tクレーン	1台 1台	



第1ステップ改善案



現状 (97.3.12)

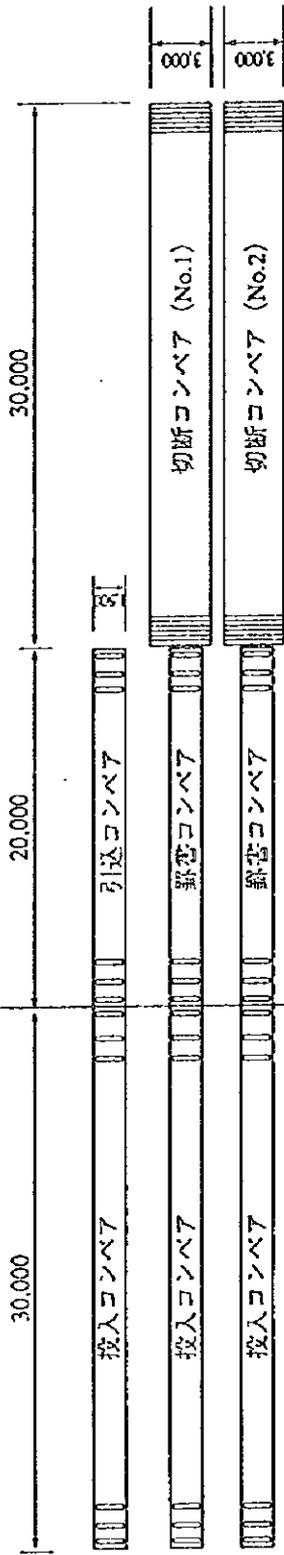
尺度 1/500

図8-2-5 第1ステップ改善案 第一溶接工場 30t棟 (2棟)

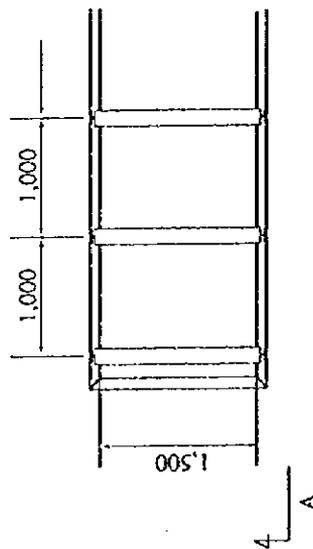
1棟

2棟

屋外鋼材置場



20T/SF

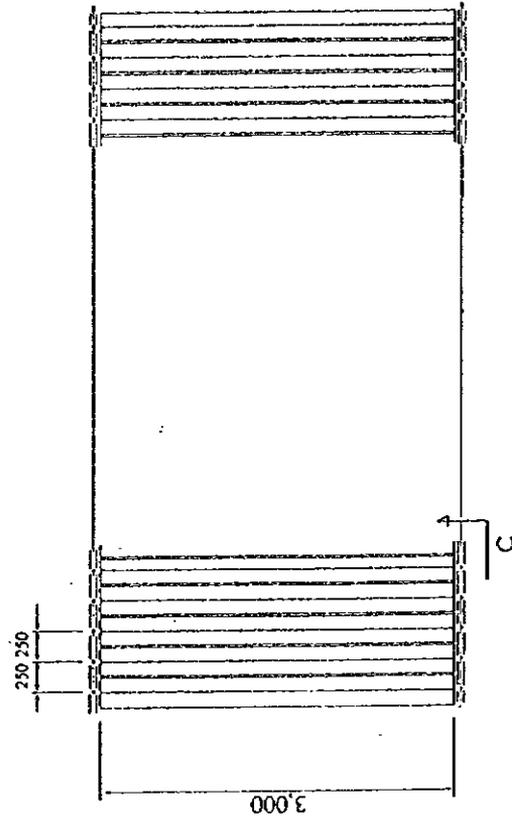


ローラコンベア (Roller Conv.)

- 投入用 (D)
- 引込用 (D)
- ケガキ用 (I)

D : driving R.

I : Idler



スラットコンベア (Slat Conv.)

切断用

図 8-2-7 コンベア配置図

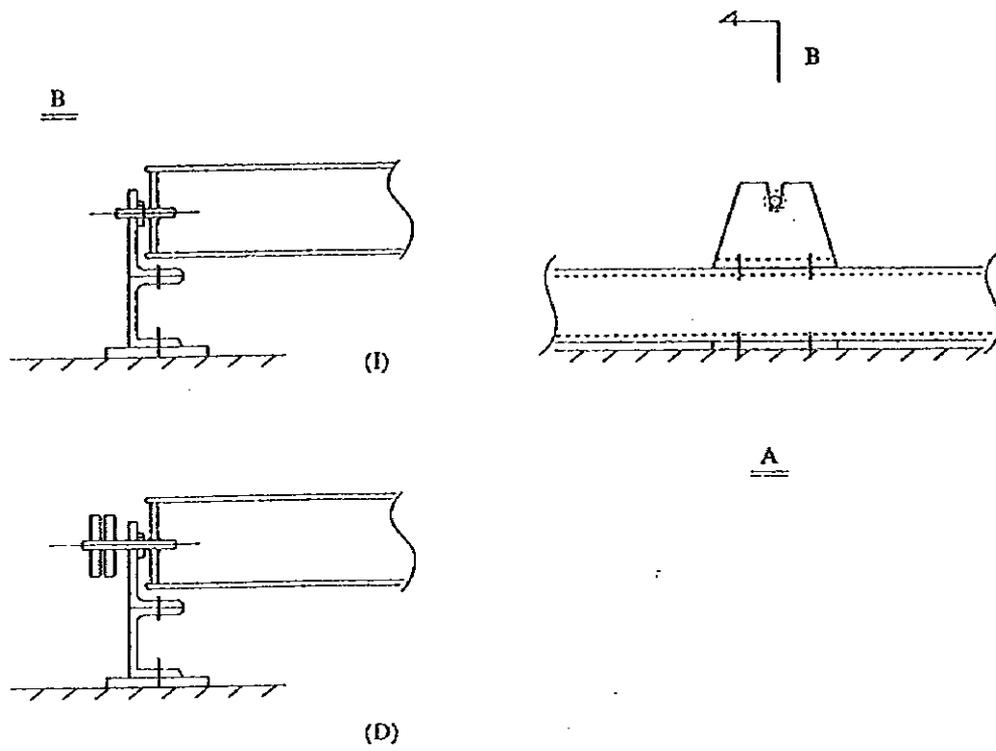


図8-2-8 ローラコンベア断面

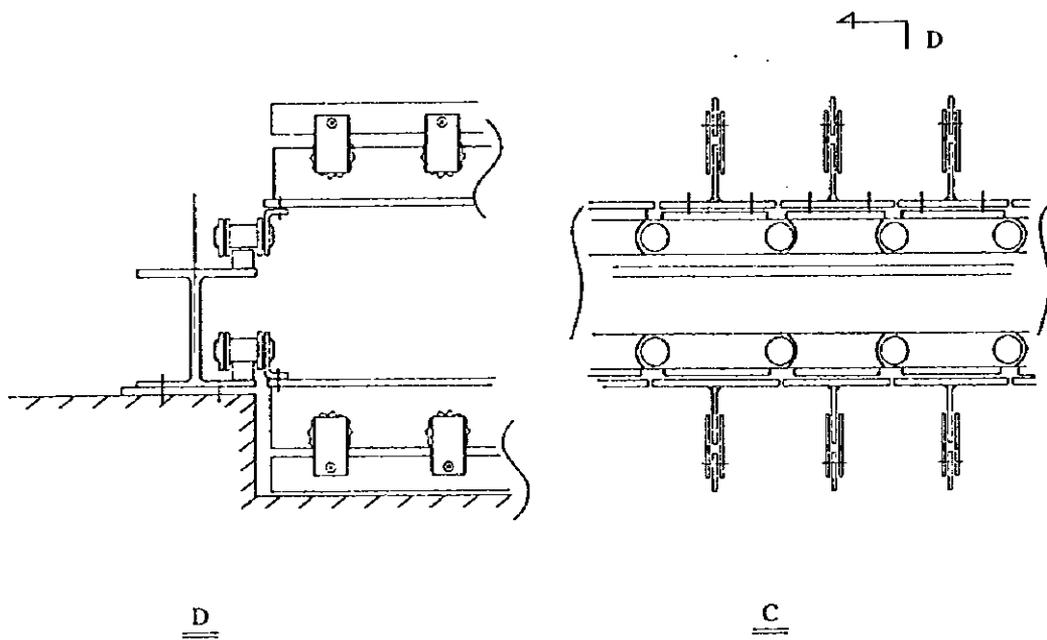


図8-2-9 スラットコンベア断面

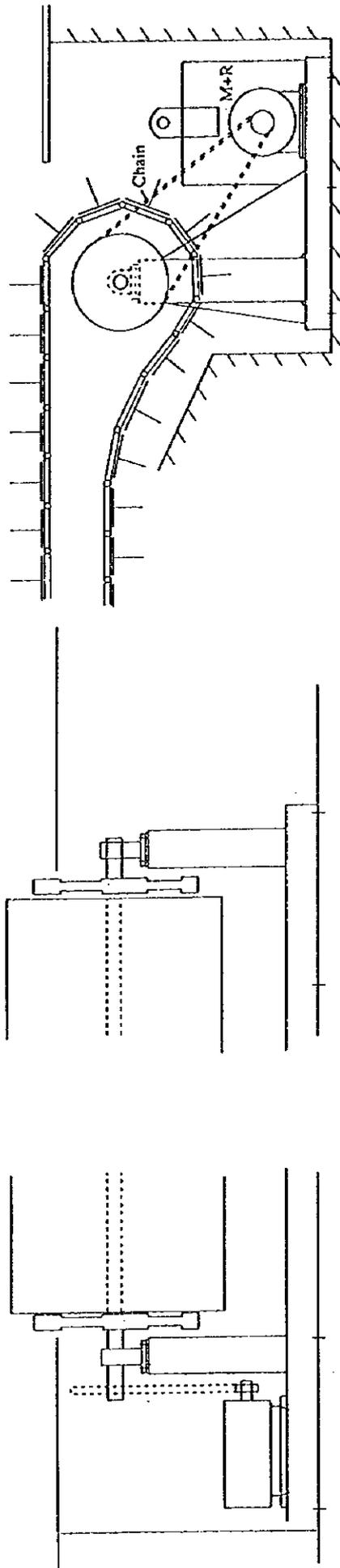


図8-2-10 スラットコンベア駆動部

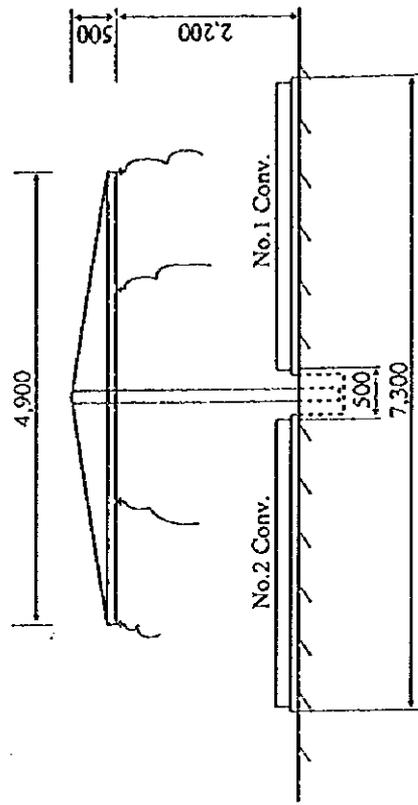


図8-2-12 ホースハンガー

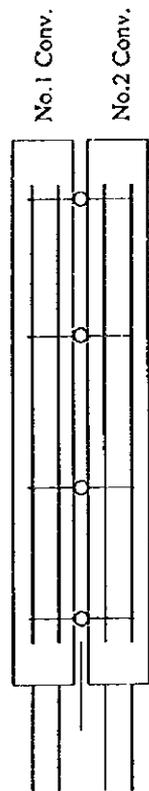


図8-2-11 ホースハンガー配置

第9章 設備積算

9-1 設備積算

積算は建物、集塵設備関係、基礎・据付け工事及び電気工事関係を除き、機械装置のみについて行った。

9-1-1 鉄構物製作

(1) モデル作業棟の設備改善（第2ステップ）

自動ガス型切断機、運搬用リフティングマグネット、自動切断ライン設備等の導入により、工数低減と鋼材歩留の向上を図る。

日本製上記設備の総額は約7,000万円であるが、自動ガス型切断機を除き他を中国製とした場合、その総額は約4,000万円となる。

(2) 一時塗装場の自動化設備（第2ステップ）

現有のショットブラスト設備を活用し、自動塗装機等を新設してライン化を図ると共に、運搬用リフティングマグネットの導入を図る。

日本製の価格は約11,000万円であるが、中国製も考えられる。この場合の価格は約5,000万円である。

(3) 組立場への自動溶接機の導入（第2ステップ）

最新の日本製自動溶接機を導入することにより溶接作業の能率向上を図る。

(4) 屋外材料置場に運搬用リフティングマグネットの導入（第2ステップ）

屋外材料置場に運搬用リフティングマグネットの導入を図る。

9-1-2 機械加工

(1) 野書き場へのレイアウトマシンの導入（第2ステップ）

手作業による野書き作業に代え、レイアウトマシンの導入により野書き作業の能率向上及び野書き寸法精度の向上を図る。中国製のレイアウトマシンがないため日本製とする。

9-1-3 太重側導入希望機械

(1) 起重機ガス設備事業部

製品の超大型化に対応するため大型旋盤及び厚鋼板板巻機各1台の導入が必要である。

日本製大型旋盤及び厚鋼板板巻機の価格は夫々約3億円と約7,000万円であるが、中国製も考えられる。この場合の価格は夫々約半値である。

(2) 減速機事業部

歯車加工機械の老朽化に対処するため、歯車研削機及び歯切り盤各1台の導入が必要である。いずれもドイツ製が適当と考える。

また、遊星歯車減速機車室寸法検査機1台の導入が必要である。
以上をまとめたものが表9-1-1である。

表9-1-1 ステップごとの導入設備と金額

(単位:千円)

		第1ステップ	第2ステップ	第3ステップ
		1997年	1998~1999年	2000年
鉄 構 物	<u>モデル作業棟</u>			
	1. 投入コンベア		(×3) 7,800	
	2. 引込コンベア		(×1) 1,000	
	3. 野書きコンベア		(×2) 1,650	
製 作	4. 切断コンベア		(×2) 24,400	
	5. 自動ガス型切断機		(×1) 5,000	
	6. ホースハンガー		(×1) 1,000	
	7. リフティングマグネット		(×2) 30,400	
	8. 天井クレーン用リモート コントローラー		(×2) 800	
	<u>一時塗装場</u>			
	1. リフティングマグネット		(×1) 15,200	
	2. 自動塗装ライン		(×1) 100,500	
機 械 加 工	<u>組立場</u>			
	1. 自動溶接機		(×2) 2,200	
太 重 側 導 入 希 望 機 械	<u>鋼材置場</u>			
	1. リフティングマグネット		(×1) 18,000	
機 械 加 工	<u>野書き場</u>			
	1. レイアウトマシン		(×1) 10,000	
太 重 側 導 入 希 望 機 械	<u>起重機ガス設備事業部</u>			
	1. 大型旋盤		(×1) 300,200	
太 重 側 導 入 希 望 機 械	2. 厚鋼板板巻機		(×1) 70,000	
	<u>減速機事業部</u>			
太 重 側 導 入 希 望 機 械	1. 歯車研削機		(×1) 230,000	
	2. 歯切り盤		(×1) 200,000	
太 重 側 導 入 希 望 機 械	3. 遊星歯車減速機車室の 寸法検査機		(×1) 10,000	
	合計 (但し起重機が設備事業部分のみ)		588,150	

設備投資は第2ステップに集中している。

価格は日本製品の一例を示したものである。中国製を検討する必要があり、自動ガス型切断機、自動溶接機及びレイアウトマシンを除き、中国製とした場合は、総額 3.1億円程度になるものと推定される。

第3ステップについては、製品プラスト設備及び野書き作業におけるCAM化設備があるが、これ等については具体的な導入計画が作成された後積算することにした。

9-2 近代化スケジュール

主要設備の導入及び稼働開始時期を第2ステップとした。

9-3 投資効果

この近代化計画の実施による第1ステップ終了時（1997年末）及び第2ステップ終了時（1999年末）の第1溶接工場及び起重機ガス工場について、投資効果の試算を行った。

また、三峡ダム発電所用超大型起重機の受注、製作がある場合、ない場合の双方についても試算を行った。

(1) 第1ステップ

第1ステップ終了時の金額評価は97年末までの期間が5カ月と短いため僅かではあるが、次の効果が期待される。

① 鋼材投入量の低減

1996年及び1997年の生産重量、鋼材歩留り及び投入量は表9-3-1の通りである。カッティングプランの採用及び吊り具の使用による鋼板運搬作業の改善等により鋼材歩留りが1997年末には85%に向上するので、1997年はこの歩留り向上分だけ鋼材投入量が減少することになる。よって1997年の鋼材投入の低減量及び低減金額は次の通りである。

$$\text{鋼材投入の低減量} : 53 \text{ t/年} \left\{ = (5,298 \text{ t/年} - 5,170 \text{ t/年}) \times \frac{5 \text{ カ月}}{12 \text{ カ月}} \right\}$$

$$\text{低減金額} : 15.9 \text{ 万元/年} (= 53 \text{ t/年} \times 3,000 \text{ 元/t}) \dots\dots\dots (a)$$

表9-3-1 1996年及び1997年の生産重量、鋼材歩留り及び鋼材投入量

	1996年	1997年	備 考
生産重量 (t)	6,130	6,130	97年の生産重量は前年の横ばいとした。
鋼材歩留 (%)	81	83	83% = (81% + 85%) × 1/2
鋼材投入量 (t)	5,298	5,170	鋼材投入量 = 生産重量 × 70% (製品に占める鋼材比率) / 歩留 / 100

② 工数の低減

第一溶接工場の備料工部及び組立溶接工部の合計人員 185名の工数の5%低減が期待される。その金額は次の通りである。

$$\text{工数低減による金額: } 23.125\text{元} \left[= 185\text{人} \times \frac{0.05}{2} \times 5\text{カ月} \times 1,000\text{元/人} \cdot \text{月} \right] \dots (b)$$

上記①及び②による低減金額の合計は次の通りである。

低減金額の合計: 18.2万円/年 (= (a)+(b)、日本円にして約 270万円/年)

(2) 第2ステップ

三峡ダム発電所用超大型起重機の受注、製作がある場合とない場合に分けられる。

1) 三峡ダム発電所用超大型起重機の受注、製作がある場合

工場の概要で述べたように1994年には大型起重機の受注により約8,300tの生産実績があり、一方、近代化計画の実施により鉄構物製作及び機械加工の工数が夫々20%低減するため、生産量目標値 10,000t/年の達成は可能である。

① 鋼材投入量の低減

第2ステップ終了時の2000年には生産量は10,000t/年となる。製品に占める鋼材比率が70%であるから鋼板投入量は7,527t/年となる。鋼板歩留が81%から93%に向上する。よって鋼材投入の低減量及び低減金額は次の通りである。

$$\text{鋼材投入の低減量: } 1.115\text{t/年} \left[= 10,000\text{ t/年} \times 0.7 \times \left(\frac{1}{0.81} - \frac{1}{0.93} \right) \right]$$

低減金額: 334.5万円/年 (= 1.115t/年 × 3,000元/t) (a)

② 売上増による直接人件費の付加価値増

1996年の生産量は6,130tであり、売上高は10,692万円であった。生産量が10,000t/年の場合も受注単価が1996年と同じとすると、10,000tの売上高は17,442万円となる。

売上高に占める直接人件費の比率が10%であることから、売上増による直接人件費の付加価値増は次の通りである。

売上増による直接人件費の付加価値増:

$$675\text{万円/年} [= (17,442\text{万円/年} - 10,692\text{万円/年}) \times 0.1] \dots\dots\dots (b)$$

上記(a)及び(b)の合計金額は次の通りである。

合計金額: 1009.5万円/年 (= (a)+(b)、日本円にして約15,000万円/年)

2) 三峡ダム発電所用超大型起重機の受注、製作がない場合

この場合現在の製品構成で推移するので、2000年の生産量は7,660t/年 (=6,130 t × 1 / 0.8) となる。

① 鋼材投入の低減量

鋼材の歩留りの向上による鋼材投入の低減量及び低減金額は次の通りである。

$$\text{鋼材投入の低減量} : 854\text{t/年} \left\{ = 7,660\text{t/年} \times 0.7 \times \left(\frac{1}{0.81} - \frac{1}{0.93} \right) \right\}$$

$$\text{低減金額} : 256.2\text{万円/年} (= 854\text{t/年} \times 3,000\text{元/t}) \dots\dots (a)$$

② 売上増による直接人件費の付加価値増

受注単価が1996年と変わらないとすると、売上増による直接人件費の付加価値増は次の通りである。

売上増による直接人件費の付加価値増 :

$$266.9\text{万円/年} (= (13,361\text{万円/年} - 10,692\text{万円/年}) \times 0.1) \dots\dots (b)$$

上記(a)及び(b)の合計金額は次の通りである。

$$\text{合計金額} : 523.1\text{万円/年} (= (a) + (b), \text{日本円にして約 } 7,800\text{万円/年})$$

第10章 結論と勧告

この度の調査で当工場の診断を行った結果、太重側工場近代化目標の達成を図るための当工場の最重要課題は製品の原価低減であることが分かった。そしてこのためには起重機製造原価の40%弱を占める鉄構物の原価低減が最優先課題であることが分かった。

また工場近代化目標の一つである起重機の品質及び性能の先進国製品級への向上化については、鉄構物の品質向上及び減速機の性能向上（歯車の寸法精度の向上）が主たる課題であることが分かった。

当工場は幸いにして三峡ダム発電所用超大型起重機（吊上げ荷重；1,200t）等有望な市場を抱えているが、中国国有工場の一般の傾向と同様に、従来の計画経済の考え方から市場経済への移行に大きな悩みを抱えており、工場全体の管理技術（生産技術、管理技術）の向上を強く望んでいることが明らかになった。

上述の診断結果を踏まえ、4項目の目標を達成するためにはどのようにしたらよいかの観点に立ち、調査・検討を行った。

目標達成という点からみた場合、工場の生産技術及び管理技術に多くの問題点が見出され、これ等について検討した結果が第4章～第6章であり、その回答としての改善項目・近代化計画をまとめたものが第7章～第9章である。

第7章で述べたように、鉄構物製作、機械加工、減速機製作、生産管理、財務・原価管理及び太重側導入希望機械の7つの面について改善項目を67項目に具体的に提案し、それを次のように3つのステップに分けて順次実施できるように検討した。

- 第1ステップ： 新規機械・設備を必要としない直ちにできる改善策の大部分を実施することにより、鉄構物の原価低減及び品質の確立を図る。
- 第2ステップ： 主に新規機械・設備の導入による改善を実施することにより、第1ステップの改善策実施による効果と合わせ、鉄構物原価の低減目標値15%（鋼材の歩留り向上：12ポイント、作業工数の低減20%）の達成を図る。
- 第3ステップ： 鋼材野書き作業のCAM化、将来の屋外型起重機製作への対応策として、製品プラスト設備導入等の検討を行い、起重機製作のより一層の国際化を図る。

第2ステップまでの主要設備として約3.1億円（歯車関係機械を除く）が積算されるが、これにより2000年には生産量の目標値10,000t/年が達成され、150,000千円/年の原価低減が図られる。

ところで対象工場の近代化には第1ステップが極めて重要である。なぜなら第1ステップの確立なしに第2ステップに進むことはできないからである。それ故第1ステップの改善策の確実な実施及びその効果の把握を強く望むものである。

既述のように改善項目の数は極めて多いので、その実施及び効果の把握に当っては、起重機ガス設備事業部長を委員長とする工場近代化実行委員会を設け、この委員会の誰が、どの改善項目を、いつまでに実施し、いつまでにその効果を把握するかを決定し、これに従って改善活動を開始することを勧告する次第である。

以上に述べた通り、本計画の実行により太原重型機械（集団）有限公司の起重機ガス設備事業部が近代的事業部に発展されることを期待しております。

本計画の作成にあたっては日本国際協力事業団殿の関係各位に御指導をいただき、また中国経済貿易委員会殿の関係各位や太原重型機械（集団）有限公司の総経理以下多くの関係の方々に御協力いただいたことに、謹んで謝意を表すものであります。

参 考 资 料

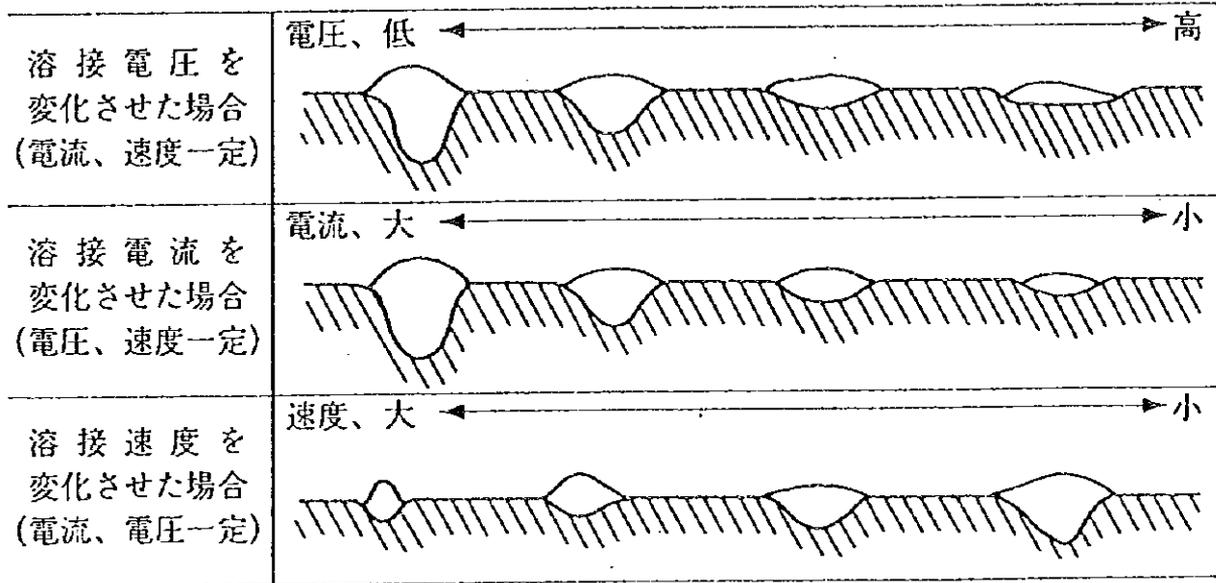
参 考 資 料 目 次

資料-1	溶接施工について	.....	1
資料-2	船用鍛鋼品に対する超音波探傷検査規格	.....	6
資料-3	自動ガス形切断機資料	.....	64
資料-4	運搬用リフティングマグネット資料	.....	65
資料-5	自動溶接機資料	.....	66
資料-6	レイアウトマシン資料	.....	68

7-6 溶接施工

[1] 溶接条件の変化とビード形状

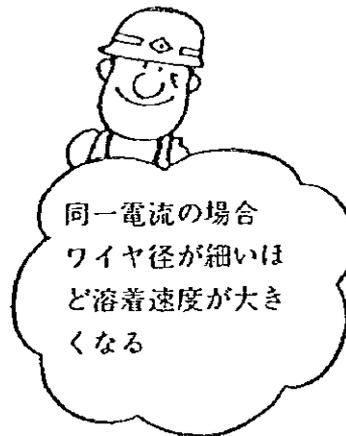
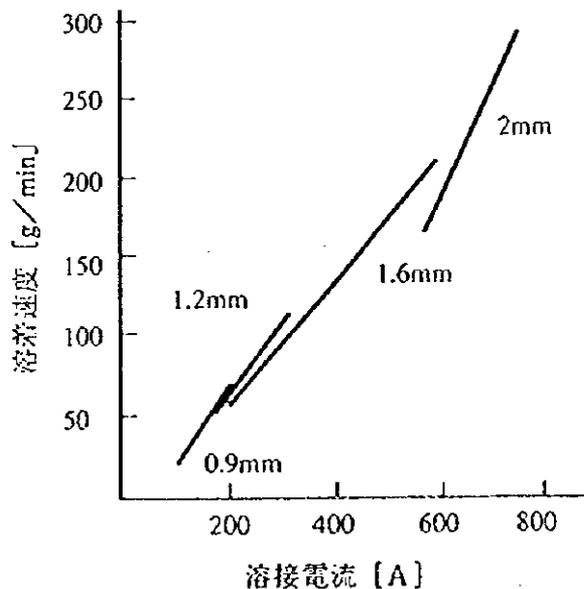
溶接電流、電圧、速度を変化させた場合のビード形状、とけ込み状態の傾向を図7.8に示す。



(図7.8) 溶接条件の変化とビード形状

[2] ワイヤ径と溶着速度

ワイヤ径と溶着速度の関係を図7.9に示す。

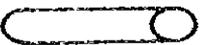
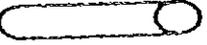
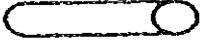
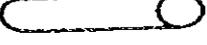
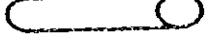
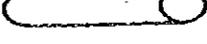
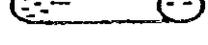
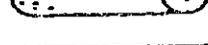
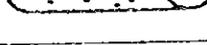


(図 7.9) ワイヤ径と溶着速度の関係

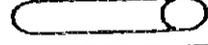
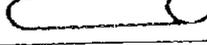
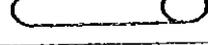
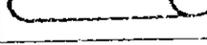
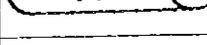
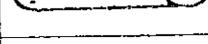
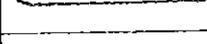
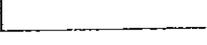
[3] ガス流量とノズル高さ

ガス流量およびノズル高さは、溶接部のピット、ブローホールなどの欠陥発生に重大な影響を及ぼす。表7.8、表7.9にそれらの関係を、表7.10に適正なガス流量とノズル高さを示す。

(表7.8) ガス流量とブローホールの関係

ノズル高さ [mm]	ガス流量 [l/min]	外観	X線
20	25		
	20		
	15		
	10		
	5		

(表7.9) ノズル高さとブローホールの関係

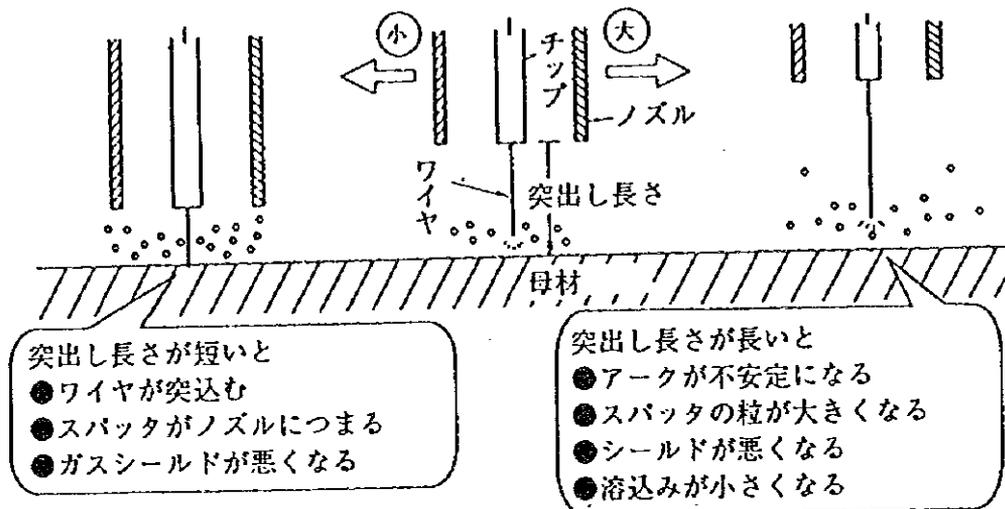
ノズル高さ [mm]	ガス流量 [l/min]	外観	X線
10	20		
20			
30			
40			
50			

(表7.10) ガス流量とノズル高さ

ワイヤ径 [mm φ]	電 流 [A]	ノズル高さ [mm]	ガス流量 [l/min]
1.2	100	10~15	15~20
	200	15	20
	300	20~25	20
1.6	30	20	20
	350	20	20
	400	20~25	20~25

[4] 突出し長さ (エクステンション)

ノズルからのワイヤ突出し長さは、図7.10に示すように適切な長さに保持する必要がある。



- 突出し長さが短いと
- ワイヤが突込む
 - スパッタがノズルにつまる
 - ガスシールドが悪くなる

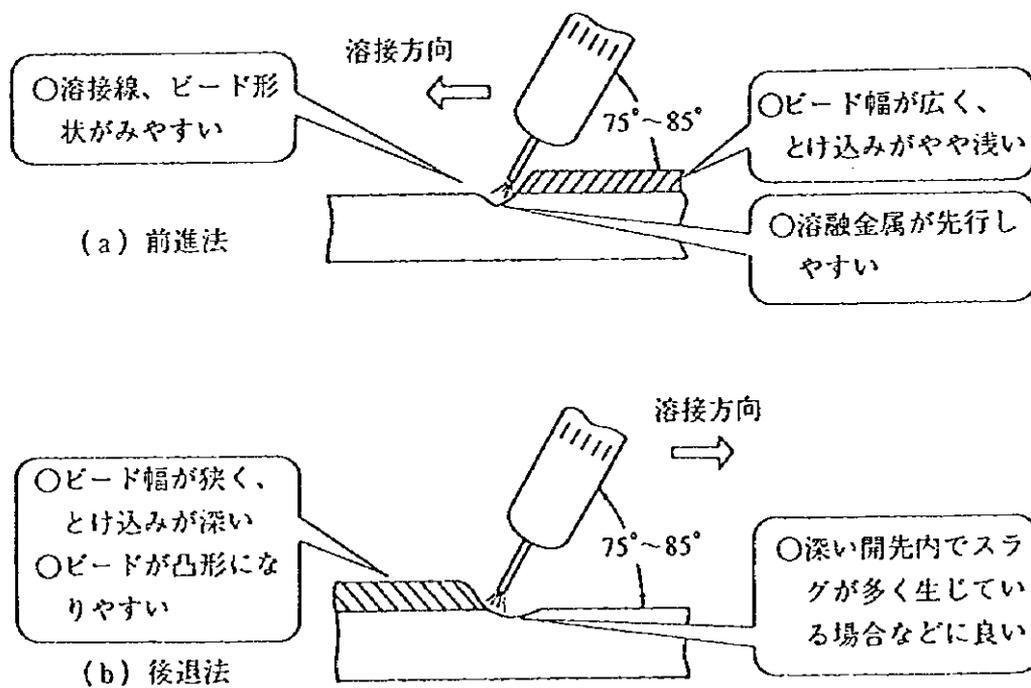
- 突出し長さが長いと
- アークが不安定になる
 - スパッタの粒が大きくなる
 - シールドが悪くなる
 - 溶込みが小さくなる

	適正突出し長さ	ノズル内径
大電流溶接 (粒状移行)	15~25mm	19mm
小電流溶接 (短絡移行)	10~15mm	16mm

(図 7.10) 突出し長さと溶接のやりやすさ

[5] 前進法と後退法

トーチの操作法として前進法と後退法があり、それぞれ図7.11のような特徴がある。



(図 7.11) 前進法と後退法の特徴

[6] 欠陥と対策

欠陥と対策を表7.11に示す。

(表7.11) 炭酸ガスアーク溶接に発生する欠陥と対策

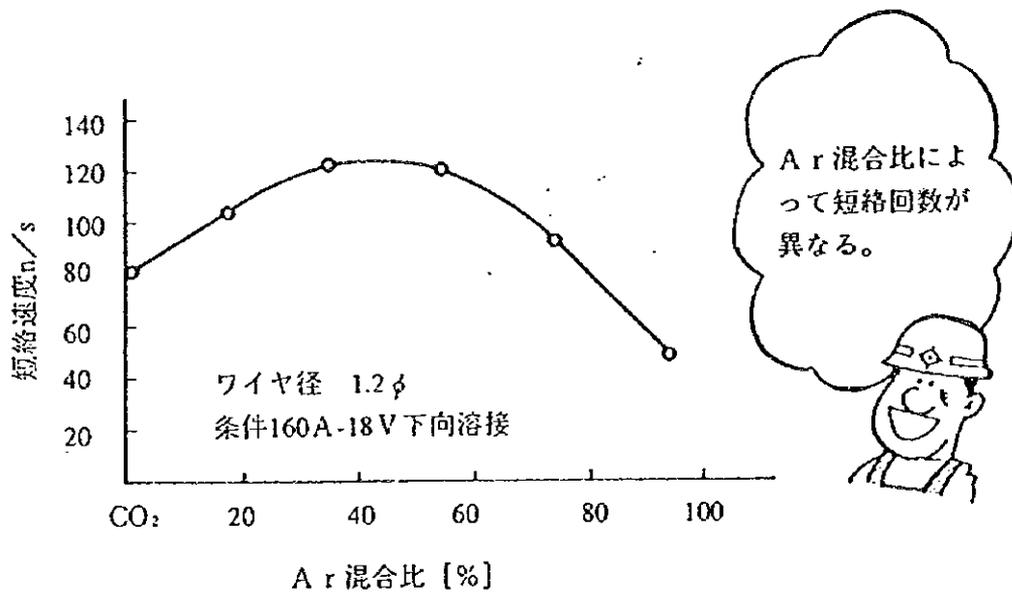
欠陥	原因 (対策)	欠陥	原因 (対策)
ピット、ブローホール	1 炭酸ガスが不足している	磁気吹き	1 大きい仮付けまたは、 溶んだ溶接部に向かって溶接する
	2 ガスヒータが働いていない		2 アースを溶接部からできるだけ 遠ざける (大物の場合)
	3 炭酸ガスが不純である		3 小物の場合、溶接スタート部に アースをとる
	4 風が強い、ガスシールドが 不完全である		4 アーク長を短くする
	5 ノズル…母材間距離が長すぎる		5 ワイヤを磁気吹きと反対方向に 傾ける
	6 被溶接物に極端に油脂が 付着している		6 タブなどを溶接始点、終点に付ける
	7 被溶接物に極端なスケールが 付着している	梨形割れ	1 溶接電流が高すぎる
	8 被溶接物に極端なさびがある		2 開先形状が狭すぎる
	9 ガスノズルにスパッタが 付着している		3 溶接電圧が低すぎる
	10 アークの長さが長すぎる (アーク電圧が高すぎる)		4 ワイヤねらい位置が悪い
オーバラップ	1 溶接電流が低すぎる	アーク不安定	1 コンタクトチップがワイヤ径に対し 大きすぎる
	2 溶接電流が高すぎる		2 コンタクトチップが消耗している
	3 アーク電圧が低すぎる		3 コンタクトチップが緩んでいる
	4 溶接速度が速すぎる		4 ワイヤリールの回転が円滑でない
	5 溶接速度が遅すぎる		5 供給ロールの溝が摩耗している
	6 ワイヤねらい位置が悪い		6 加圧ロールの締め付けが 不足している
	7 開先角度が狭すぎる		7 コンジットチューブの抵抗が大きい
アンタカット	1 アーク電圧が高すぎる		8 ワイヤ突出し長さが長すぎる
	2 溶接電流が高すぎる		9 アーク電圧が低すぎる、 または高すぎる
	3 ワイヤねらい位置が悪い		10 溶接電流が低すぎる
	4 運棒が荒い		11 溶接速度が不適切である
ビード蛇行	1 供給ロールのセンターが ずれて偏心している		12 運棒が不安定である
	2 ワイヤ矯正機の調整が不適正である		13 ノズルにスパッタが多量に ついている
	3 コンタクトチップが緩んでいる		14 突出し長さが変動する
とけ込み不良	1 溶接電流が低すぎる		15 ワイヤねらい位置が不良
	2 溶接電圧が極端に低い		16 母材がさび、ペイント、油などで 汚れている
	3 溶接電圧が高すぎる		17 アースが適切な位置にセット されていない
	4 溶接速度が遅すぎる (開先内)		
	5 溶接速度が速すぎる		
	6 開先角度が狭すぎる		
	7 ワイヤねらい位置が悪い		

7-7 混合ガス溶接

混合ガス溶接としては、一般にArとCO₂を混合したガスが用いられており、つぎのような特徴がある。

- (イ) スパッタの発生が少ない。
- (ロ) 美しいビード外観が得られる。
- (ハ) 薄板の突合せ溶接がやりやすい
- (ニ) 溶接金属の切欠じん性がすぐれている。

混合ガス溶接においては、短格移行形とスプレー移行形があり、短格移行形では、炭酸ガスアーク溶接の短格回数よりも図7.12に示すように多くなり、Ar混合比が50%程度のところで最大になる。



(図 7.12) シールドガス組成と短絡回数

JFSS

I 3

船用鍛鋼品に対する超音波探傷検査規格

JFSS I 3 - 1982

昭和 57 年 7 月 改訂

日 本 鋳 鍛 鋼 会

目 次

I	まえがき	8
II	検査規格改訂の基本的な考え方	10
III	超音波探傷装置及び性能規定	20
	同 解説	23
IV	鍛鋼製クランク軸の超音波探傷検査	28
	同 解説	33
V	船用一般鍛鋼品の超音波探傷検査	36
	同 解説	42
VI	タービンローター軸の超音波探傷検査	44
	同 解説	48
	参 考 資 料	61

Ⅰ ま え が き

昭和25年、日本で初めて鋼材内部の欠陥を検出する目的で超音波探傷法が開発されて、鍛鋼品の製造過程における品質管理の効果的手段として活用され、製造過程と冶金学的考察から探傷図形と欠陥の性状の関連を把握し、品質向上に多大の貢献をした。また、現在の情勢は関連産業の技術の進歩と共に高応力下における使用材料の高級化指向のもとに鋼材品質への要求は益々シビアなものになりつつあり、その保証手段として超音波探傷法は必須条件となり、さらに検査判定、採否決定の支配的要因を占めるに至った。

日本鍛鋼会では、さる昭和35年以来船用鍛鋼品に対する超音波探傷により現われる探傷図形と材料欠陥との関連性について調査研究を進め多くの範例を得ているが、関係各方面からの普遍的な検査基準設定の要望にこたえ、昭和42年12月当会技術委員会の専門部会として、「超音波探傷法による検査基準作成小委員会 (Sub-committee for Standard of Ultrasonic Inspection, 略称SUI小委員会)」を設け、2年有余にわたる調査研究の結果、昭和45年7月検査基準原案を作成した。

ひき続き、昭和45年8月本原案をもとに関連関係者によりさらに客観的な見地から検討を行ない、より合理的な基準とすべく関係官庁、学識経験者、(財)日本海事協会、造船所、エンジンメーカー、船主並びに鍛鋼品メーカーからなる総合委員会「超音波探傷による検査基準作成委員会 (Committee for Standard of Ultrasonic Inspection, 略称SUI委員会)」を構成、再度詳細な審議検討を経て、日本鍛鋼会の団体規格として「船用鍛鋼品に対する超音波探傷検査基準 (JFSS F6-1970)」を制定した。本検査基準は、過去に得られたデータの収集整理を行うとともに検査基準設定のための諸要因の確認と定量化を図ることを目的に大形鍛鋼材を供試材とする集合実験の結果などを総合的に勘案して作成したものである。

その後、日本鍛鋼会の規格体系改訂にともない前記JFSS F6をJFSS I3-1972とし、さらに昭和48年4月、当会鍛鋼技術委員会メンバーに加えて特に(財)日本海事協会からも参画願い、基準に関する不備事項ならびに要改訂事項について検討を行うこととし、「鍛鋼品の品質基準研究小委員会 (Sub-committee for Standard for Quality of Forgings: 略称SQF小委員会)」を構成、調査研究に着手した。本小委員会では素材の総合的な品質基準確立を目的とし、作業の着手に先立ち、関係検査機関、造船所、エンジンメーカー、船主並びに鍛鋼品メーカーを対象に本基準についての利用状況の把握と問題点の抽出を目的にアンケート調査を実施し、その結果と過去に得られたデータの再チェックと検査実務の現状などを勘案して調査研究を進め、2年余に亘る審議の結果、JFSS I3-1975をとりまとめた。

本基準は、現在、(財)日本海事協会、鋼船規則集検査要領として採用されているほか、需給両者の取引に多用されており、また英文版による海外関係機関への発表により画期的な基準として高く評価されている。

一方、関連産業においても機械構造物類に対する「超音波探傷検査規格」の設定が強く要望されており、JIS化の前段階として(社)日本非破壊検査協会による「炭素鋼及び低合金鋼鍛鋼品の超音波探傷試験

・「船用鍛鋼品に対する超音波探傷により現れる欠陥波形と地キズとの関連調査研究報告書 (第1報～4報、日本鍛鋼会PAF委員会)」

方法及び試験結果の等級分類法（NDIS 2411-80）が昭和55年9月に制定された。特に近年欠陥の定量化の必要性が高まり、自然欠陥と等価欠陥の関連と整合性にも考慮が払われ、また現用されている試験方法、精度管理、検査対象の範囲等について再度見直しをすべき時機にも来ていると考えられる。このような背景から今回鍛鋼技術委員会、「非破壊検査に関する調査研究部会（略称 NDT 部会）」では JFSS I 3 見直し改訂ワーキンググループを設け、NDT 部会関係委員に（財）日本海事協会及び A B 船級協会の参画を願い、昭和56年10月以降、種々の調査実験と詳細な審議検討を行ない、この改訂版を作成した次第である。

昭和 57 年 7 月

鍛 鋼 技 術 委 員 会

委員長 久 保 慶 正

Ⅱ 検査規格改訂の基本的な考え方

「船用鍛鋼品に対する超音波探傷検査規格」は、JFSS F6として1970年に制定され、JFSS I3として1972年及び1975年に改訂されたが、その後JIS Z 2344-1978（金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験方法）が改正され、また、NDIS 2411-80（炭素鋼及び低合金鋼鍛鋼品の超音波探傷試験及び試験結果の等級分類）が制定されるなど時間の推移に伴い技術の進歩やそれに伴う考え方の変化もあるので、これらを考慮して今回1982年版として改訂することになった。したがって、検査規格制定の考え方も、ここで改めて整理し、本規格の新しい考え方を明らかにすることにした。また、用語などについても、JIS Z 2344-1978及び日本鋳鍛鋼会編「鍛鋼品の超音波探傷法（昭和51年）」などの用語と整合性を持つようにつとめ、表現などにおいてもできるだけ平易簡明な文章に改めた。

1. 欠陥評価の考え方

本規格が対象と考えている材料は、船用鍛鋼品であるが、主として、ディーゼル機関部品（クランク軸、ピストン棒、接合棒、クロスヘッドピン）、推進軸系部品（スラスト軸、中間軸、プラベラ軸）並びにタービンロック軸を対象として取り上げている。また、ラダーストックやピントルなどの船体部品であっても、本規格が適用できると思われる範囲においては、注文者及び製造者双方の合意により適用し得るものと考えている。

これらの部品にき裂ないし折損というような致命的な事故が発生するのは、その部品に対して設計された材料強度、作用応力に問題がないとすれば、存在する欠陥によって材料強度が低下させられることによる。したがって、欠陥が有害であるか否かを定めるためには、その部品における設計条件と実際の応力状態とを考慮しながら、欠陥の種類、数、大きさ、方向、位置などを明らかにしなければならない。

当会では、1964年に実施した集合実験にもとづき、表面欠陥と材料強度との関係を定量化し、欠陥と応力の種類及び大きさとの関係から欠陥の有害性を評価するために、「船用鍛鋼品に対する表面検査の判定基準（JFSS F3-1968制定、後日、JFSS I2-1972と改訂）」を発表している。

推進軸系に作用する応力は、主として曲げ及びねじりの繰り返し応力であって、応力分布は表面層において最大応力となり、部品内部に進むにつれて応力は直線的に低下する。特に形状が急に変化したり表面欠陥があると部分的に応力集中が起り、その位置で応力勾配が急に大きくなり、表面部又は欠陥の底では非常に大きな応力になる。このように、表面層と内部とでは応力レベルに著しい相違がある。このため、推進軸系の部品では、もっぱら表面及び表面直下の健全性が重要視されるが、内部の健全性については応力レベルの低下を考慮に入れて評価することができる。

クランク軸では、ねじり応力、剪断応力、引張応力、圧縮応力、曲げ応力が複合的に作用し、しかも作動中の時間経過により、応力の種類が変化していき、その様子は非常に複雑である。また、ピンとウェブの境界のフィレット部や油孔の周辺などには高い応力集中が起る。しかし、このような複合応力においては、結果的に常に表面において最も高い応力となっており、内部にいくにしたがって応力レベルは低くなる。また、接合棒やピストン棒では、主として引張応力と圧縮応力がくり返し働くが、断面

の変化のあるところでは何程かの曲げ応力が働く。しかし、最も重要な断面形状の急変する部分では、応力集中が起り、この時には、表面及び表面近傍の応力が非常に高くなる。クロスヘッドに働く応力は剪断、曲げ、圧縮応力であるが、これらが複合された時には、やはり表面で応力は最大となり、内部にいくにしたがって応力レベルは低くなる。このような事実を考慮して、クランク軸を含む一般部品に対しては、応力レベルによって部位を区分し、高い応力レベルの部位に対する欠陥の評価はきびしくし、低い応力レベルの部位はゆるくするという考え方を基本としている。したがって、応力の最も高くなる表面の欠陥が最もきびしく評価されなければならない。

表面欠陥は、肉眼又は他の表面検査方法によって確実に検出することができるが、表面直下の欠陥はこれらの方法によっても一般に検出が困難である。また、垂直法による超音波探傷法では、表面下およそ15mm程度の深さまでは探傷器の不感帯に入るので一般には欠陥の検出ができない。したがって、このような表面に近い領域は、斜角法あるいは分割型探触子による探傷法を採用しなければならないが、これらの探傷法による鍛鋼品の検査については、現在までに集合実験などの実績がなく、規格として制定する準備が十分でない。このために、船用鍛鋼品に対する一般的な考え方としては、前記「表面検査の判定基準」により表面状態の検査をするとともに超音波探傷による内部性状の検査をすることになっているが、表面に近い領域に対しては、特に規定していない。このため、表面検査と超音波による内部検査との結果から、総合的に判断して表面に近い領域に疑問がある場合には、注文者並びに製造者双方の合意により、斜角法、分割型探触子又は周波数の異なる探触子等を用いて、いわゆる確性探傷を実施することが望ましい。

タービンローター軸の場合には、高温下での高速回転体であるために、遠心力によって半径方向、切線方向ともに著しく高い静的引張り応力と熱応力が作用し、その応力は、内部も表面と同じか、又は、内部の方が表面より高いなど複雑に分布する。このため、内部の健全性は表面と同様又は、それ以上に重視しなければならないので、本規格では、タービンローター軸に対する欠陥の許容レベルは、内部、表面ともに非常に厳しくなっている。

2. 探傷装置の性能統一

現在、鍛鋼品の探傷に用いられている探傷装置には種々なものがあり、探傷装置としての一般性能（増幅直線性、ノイズレベル、距離振幅特性、時間軸の直線性、遠距離分解能など）には、ある程度の差異がある。このため、本委員会では、探傷装置の性能統一が探傷方法及び採否基準の基本となるものと考え、「超音波探傷装置及び性能規定」を規定した。

なお、この一般性能のうち、距離振幅特性については、採否基準に直接、密接な関係があるので特に注意する必要がある。

探傷距離と欠陥エコーの高さとの関係については、探傷器の性能を統一した場合、距離振幅特性にはほとんど差がないことが集合実験により示されている。即ち、直径約500mm、周波数2MHz又は2.25MHz、振動子直径25±1mmの条件では各探傷器とも図2.1のように非常によく一致した結果を示した。

本規格を適用する場合、探傷装置の性能は、ここに定める性能規定に適合したものでなければならぬので、定期的に性能の管理を行ない、同規定に適合していることを確認することが必要である。

供試材	SF50, $\phi 495$ mm 人工欠陥 $3 \times l 30$ mm(横穴)	感度	$B_1 = 80\%$
		周波数	2MHz 又は 2.25MHz
		探触子直径	25 ± 1 mm

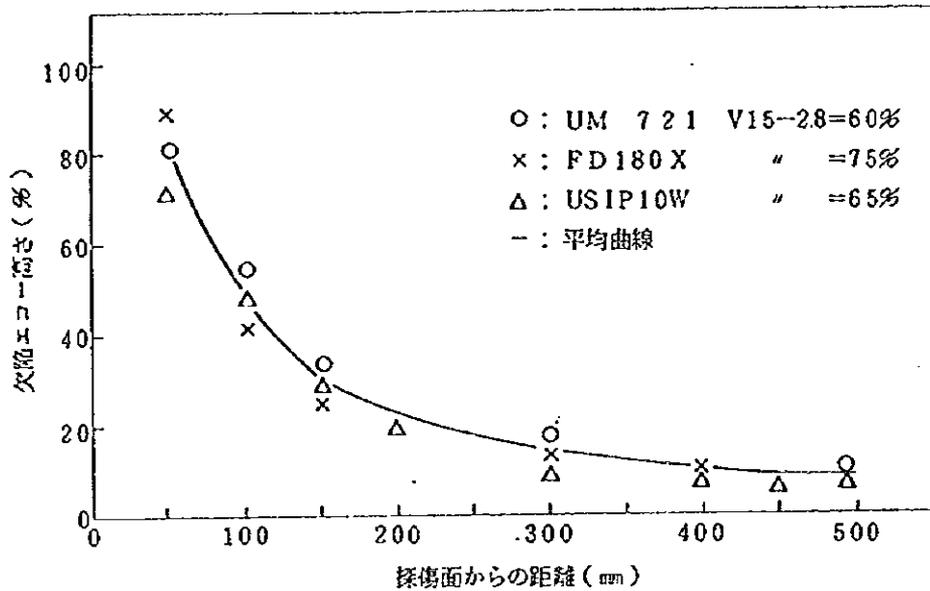


図 2.1 欠陥エコー高さの距離振幅特性

3. 探傷条件及び被検材の状態

3.1 探傷条件

1) 周波数

一般に、周波数が高いほどより小さい欠陥を検出することができるが、高い周波数を使うと透過度が悪くなり結晶粒の大きさの影響により林状エコーが現われやすく、欠陥エコーの検出及び判別がむずかしくなる。また、欠陥の大きさにもよるが、一般的には、傾きのあるき裂性の欠陥の場合には、反射指向性に関連して低い周波数の方が、砂きず性の欠陥の場合には、分解能に関連して高い周波数の方が、それぞれ検出能力が大きいという傾向がある。さらに、周波数が変れば距離振幅特性が変化する。このような意味から本規格では、各部品の応力レベルを考慮して、検出レベルを 1~2 mm 程度の反射源が検出できる程度とするために、2~2.25 MHz に統一することとした。

2) 振動子の直径

振動子の直径が異ると、指向角や近距離音場限界距離が変わるので、距離振幅特性が変わる。このために、1つの距離振幅特性曲線を採否基準線として使うためには、振動子直径を1つに固定してしまふ必要があり、本規格では当初振動子を直径 25 ± 1 mm に限定して使うことにしていた。しかしながら、当会で最近行った広範囲の調査では、振動子直径 24~28 mm の範囲内では、性能特性上大差がないことがわかったので、今回の改訂では、 $\phi 24 \sim 28$ mm とした。

3) 保護膜

軟質保護膜については、それを使うことにより判定評価に微妙な差異が生ずることもあり得るが、今日一般的に使われているので使うことができるとした。判定に問題が生じた場合には、保護膜なしの状態の評価すればよい。

4) 探傷感度の調整

現在、一般に用いられている探傷感度の調整方式には、試験片方式と底面エコー方式の2方式があるが、本規格では、全ての探傷について、底面エコー方式を採用した。その理由として、試験片方式は、被検材に対応して、それぞれ感度標準試験片によって探傷器の感度を一定にして探傷を行なうため、探傷感度を普遍的に調整することができるとともに、これによって探傷者相互の結果の比較も容易になり、また、被検材の超音波透過度の比較もできるなどの利点があるが、被検材の透過度、形状及び表面粗さなどの差異によって探傷図形が影響を受けるので、作業時の探傷条件が変わるたびに、その都度それらの補正を行わなければならないという煩わしさがある。

一方、底面エコー方式は、被検材の底面が探傷面と平行でなければならないという欠点があるが底面エコー高さを基準として欠陥エコー高さを評価する方式であるので、探傷図形からの欠陥評価が容易にでき、また、透過度、形状及び表面粗さの影響が少ないので、補正を要しないという利点があり実用的である。

タービンローター軸については、米国の General Electric Co. (底面エコー方式) と Westinghouse Electric Corporation (試験片方式) の両者の影響を受けて、両方式が用いられている。これらの規格では、ローター軸の中心又は中心孔付近に存在する $\phi 1.6\text{mm}$ の円板状欠陥からのエコーがブラウン管上、約10%に現われるような感度が使われている。これについては、「Vタービンローター軸の超音波探傷検査」の解説にあるように種々の径についての実験結果により、両方式の感度は差がないことが確認されている。

なお、ASTM A 418 -1977 (Ultrasonic Testing and Inspection of Turbine and Generator Steel Rotor Forgings) 及び NDIS 2411-80 でも、基本的には底面エコー方式を採用している。

5) 評価感度の確認

評価感度の調整方式については、各部品ごとの規定に定めてあるが、探傷作業中、特に長時間探傷作業を継続する場合にあっては、定期的に(例えば、2時間又は試験終了時)探傷器の感度を確認することが望ましい。また、探触子を取り替えたとき、接触媒質を替えたとき、あるいは探傷面の粗さや曲率が変わったとき等にも評価感度の確認を行なう必要がある。評価感度を確認したとき、2dB以上の感度低下があったときには、前の確認以後に探傷した部分は再探傷しなければならない。

3.2 被検材の状態

3.1.4) で述べたように、本規格ではすべて底面エコー方式を採用しており、かつ、製品ごとの規格で表面状態を規制しているため、被検材の状態による感度補正は、特に必要としない。材質により透過度に差がある場合には、底面エコー方式であっても減衰を考慮した補正が必要であると考えられるが

委員各社の調査により、船用鍛鋼品のようにほとんど同一レベルの材質のものが対象になる場合には減衰の差はわずかであって補正をする必要のないことがわかった。

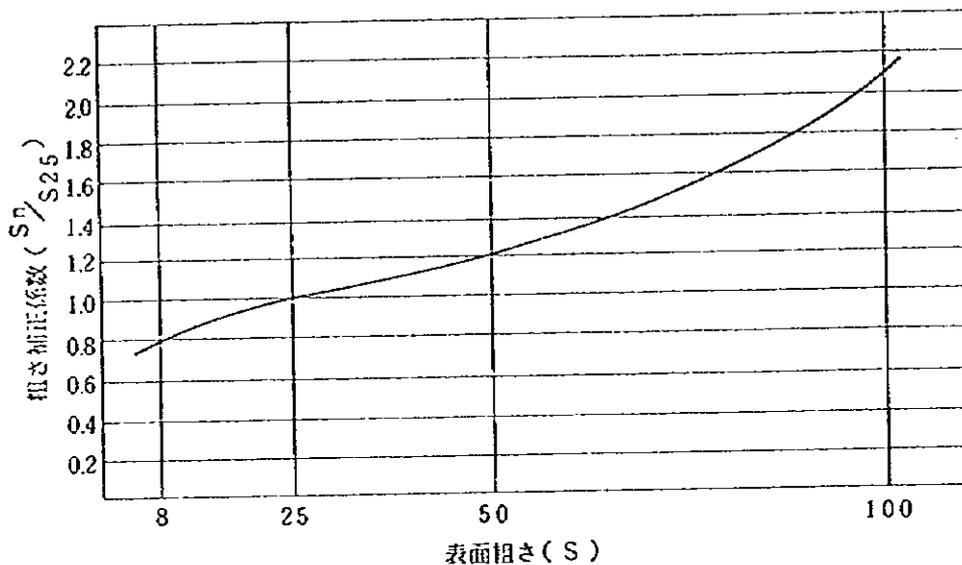
しかし、超音波探傷結果を製品間で比較する場合、あるいは、舶用品以外の一般鍛鋼品と比較する場合の参考にする目的で、試験片方式を採用するときには、以下に述べる表面粗さ及び曲率による感度補正を行う必要がある。

1) 表面粗さ

本委員会では表面粗さが探傷図形に及ぼす影響について実験を行なった結果、超音波探傷を行う場合、普通、一般の粗さ25S（JIS粗さ表示）を基準とすると、他の表面粗さの場合には図2.2に示すような割合で感度を補正しなければならないことが確認された。したがって、試験片方式を採用する場合には、常に表面粗さに注意し、標準粗さと異なる場合には同図によって感度を補正する注意が必要である。

2) 曲率

1)の場合と同様、曲率が図形に及ぼす影響について実験を行なった結果、平面を基準にすると図2.3に示す割合で感度を補正しなければならないことが確認された。したがって、試験片方式においては、常に軸の大きさに応じて同図によって感度を補正する注意が必要である。



(S_n/S_{25} : 表面粗さ 25 S のときの探傷感度を基準としたときの任意の表面粗さに対する探傷感度の割合)

図 2.2 表面粗さの探傷感度に及ぼす影響 (実験結果)

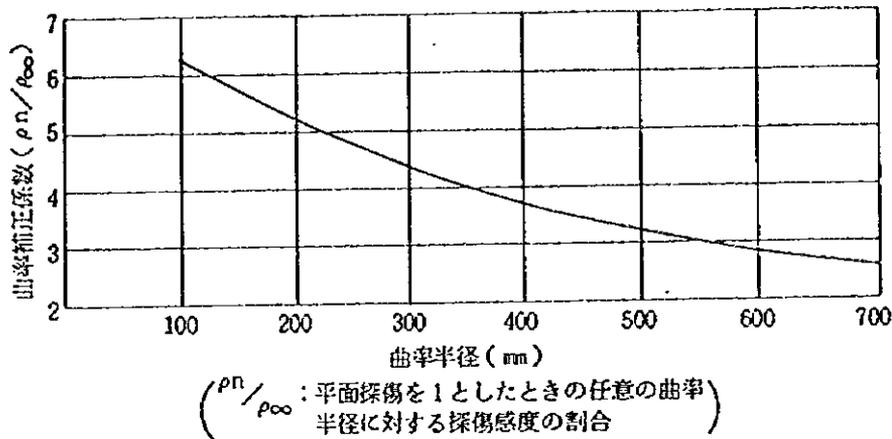


図 2.3 曲率の探傷感度に及ぼす影響 (実験結果)

4. 採否基準

4.1 判定基準線

1) 一般部品 (タービンローター軸を除く船用鍛鋼部品)

本規格に定める底面エコー方式では、被検材の健全部における第1回目の底面エコー (Bg) の高さがブラウン管上で80%になるように探傷感度を調整するが、同じ大きさの欠陥でも被検材の直径又は底面までの距離により欠陥エコー高さが変る。

本規格の1975年版では、図 2.4 に示す $\phi 3$ mm ドリル横穴を有する直径 495 mm の標準試験片により、判定基準線を作成し、異なった直径の被検材に対しても、この判定基準線を用いて判定することに定めていたため、 $\phi 495$ mm 以下の被検材の場合は、探傷感度が低下し、欠陥を過小評価する。また、 $\phi 495$ mm 以上の被検材に対しては、探傷感度が高くなり欠陥を過大評価することになるという問題があった。

このため、今回の改訂にあたり本委員会では、図 2.5 に示すように種々な深さに設けた $\phi 3$ mm のドリル横穴を有する対比試験片を使い実験をした結果、図 2.6 に示すように、被検材の直径が変ると欠陥エコー高さが変化する状況が明らかにされた。しかしながら、この図に示されている探傷面からの距離を底面までの距離の百分率で示すように書き直すと、図 2.7 に示すように各距離振幅特性曲線はほぼ重なって、そのばらつきは約 2 dB 以内となり、特に補正をする必要がないと考える。

このため、本規格の採否基準としては、図 2.7 に示されている曲線群の中心線を用いることとし、これを採否基準線Ⅱとした。そして、その $\frac{1}{2}$ の高さの距離振幅特性曲線を採否基準線Ⅰ、その 2 倍の高さの距離振幅特性曲線を採否基準線Ⅲとした。この採否基準線Ⅰ、Ⅱ、Ⅲは、後述の探傷区分Ⅰ、Ⅱ、Ⅲに対応するものである。

標準反射源としてドリル横穴を使うか、平底穴を使うかについては、議論の分かれるところであるが、鍛鋼品では、一般に鍛伸されたメタルフローに沿って長く伸ばされている欠陥が多いこと及び工作が容易であることなどから、本規格では、ドリル横穴を標準反射源とした距離振幅特性曲線を採否基準線とした。したがって、平底穴の距離振幅特性曲線を表わす AVG 線図とは一致しない。

2) タービンローター軸

タービンローター軸については、一般に米国の General Electric Co. 及び Westinghouse Electric Corporation の被検材中心付近に存在する $\phi 1.6$ mm 平底穴相当の欠陥を検出するという考え方が採り入れられている。

本規定においても、平底穴を標準反射源とする考え方を採用し、 $\phi 1.6$ mm 平底穴相当の距離振幅特性曲線を基準線 I とした。また、内部欠陥に対する破壊力学的観点から許容される単独欠陥の大きさが $\phi 3$ mm 相当であるので $\phi 3$ mm 平底穴相当の距離振幅特性曲線を基準線 II とした。

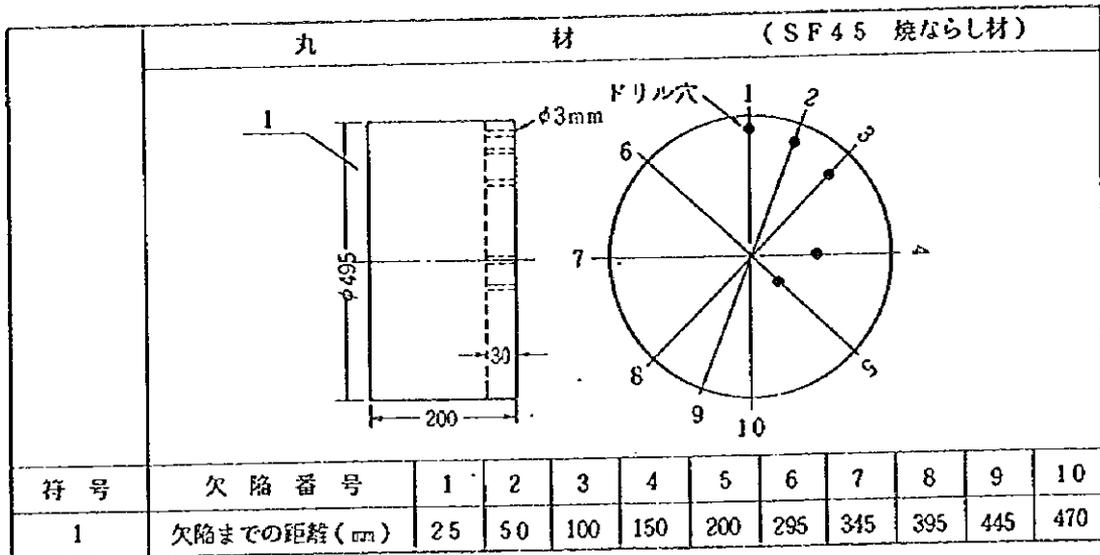


図 2.4 距離振幅特性曲線作成用標準試験片

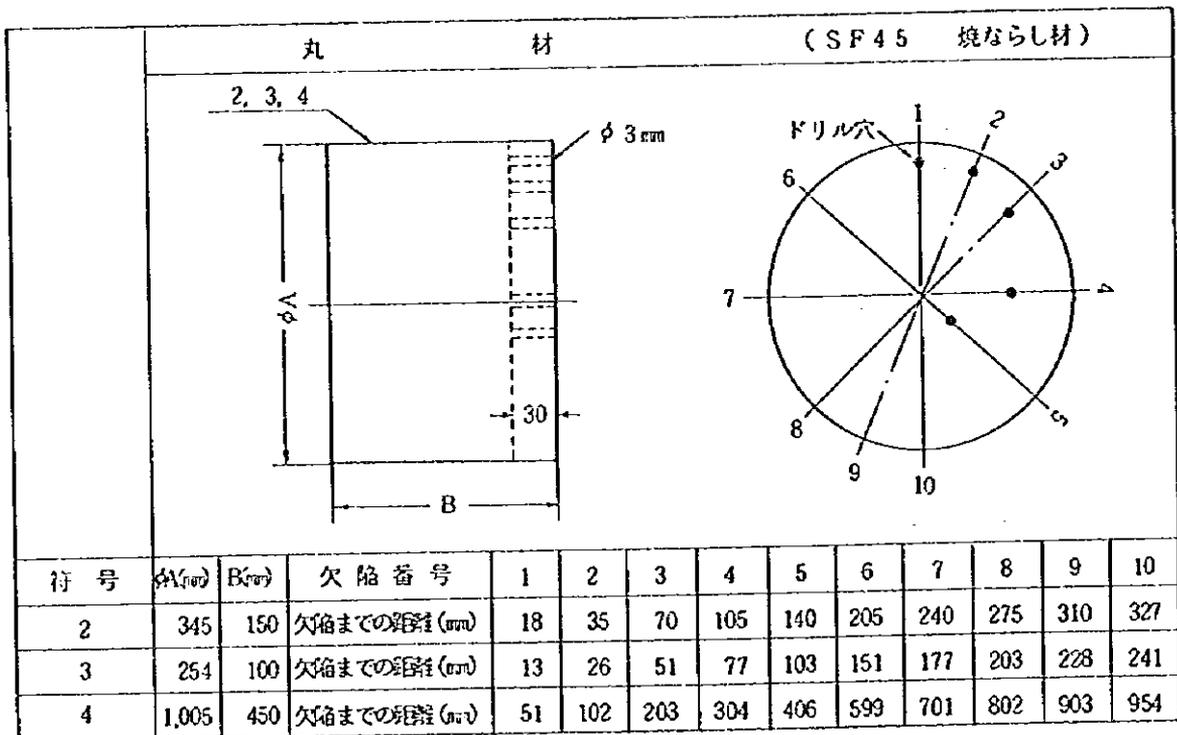


図 2.5 距離振幅特性曲線作成用対比試験片

SF50, $\phi 1,005$ mm人工欠陥 $\phi 3 \times t 30$ mm (横穴)
 SF50, $\phi 495$ mm人工欠陥 $\phi 3 \times t 30$ mm (横穴) 感度 $B_0 = 80\%$
 SF45, $\phi 345$ mm人工欠陥 $\phi 3 \times t 30$ mm (横穴) 周波数 2 MHz 又は 2.25 MHz
 SF45, $\phi 254$ mm人工欠陥 $\phi 3 \times t 30$ mm (横穴)

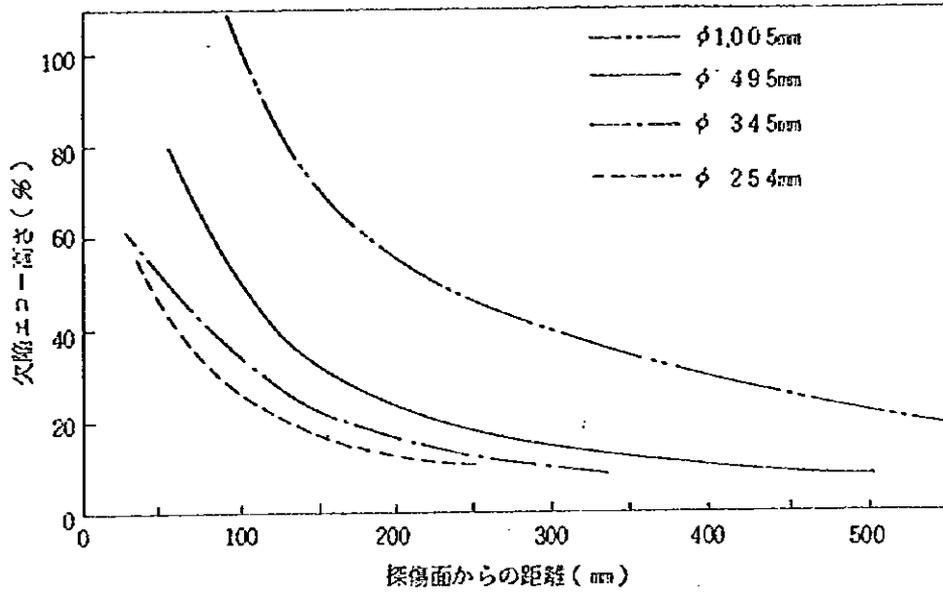


図 2.6 直径の変化による距離振幅特性への影響

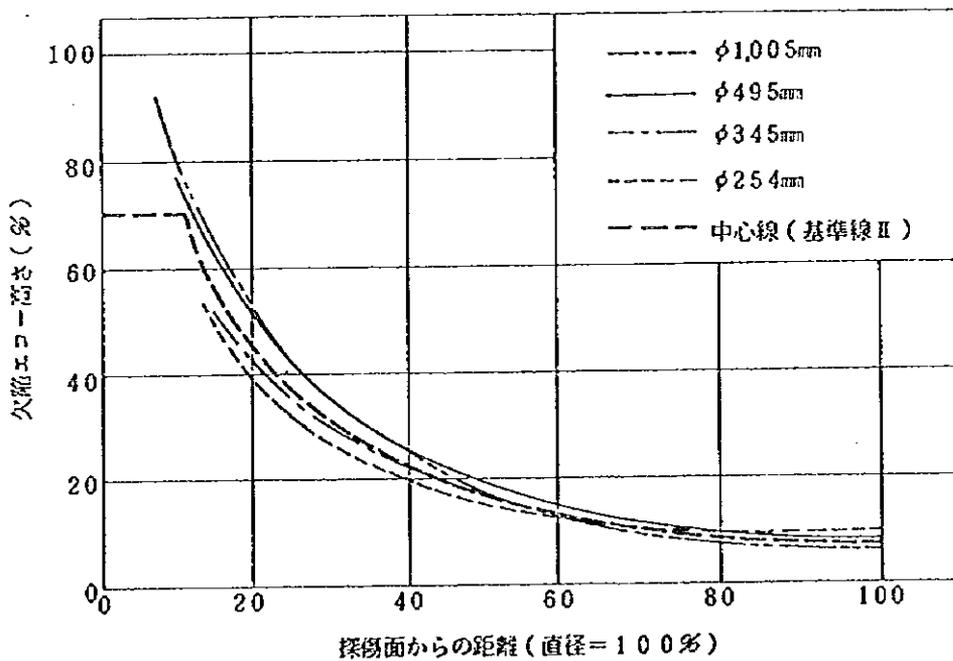


図 2.7 直径を100とした各直径による距離振幅特性

4.2 欠陥エコー評価の考え方

1) 一般部品

タービンローター軸を除く船用鍛鋼部品に作用する応力は、前述のように繰返し応力であるので発生する事故のほとんどは、疲労破壊である。したがって、この破壊を防止するためには、欠陥の大きさ、種類が材料の疲労強度に及ぼす影響とその欠陥の発生する位置の応力レベルを知り、常に疲労強度が応力レベルを下廻らないかどうかを念頭において、欠陥を評価しなければならない。さきに当会が制定した「表面検査の判定基準」は、このような考え方のもとに応力レベルによって区分Ⅰ、Ⅱ、Ⅲに分けて制定したものである。このため、本規格においても、表面検査の判定基準に制定された区分をそのまま準用し、それぞれの区分について欠陥の採否基準を定めた。

2) タービンローター軸

タービンローター軸は、高温高圧の蒸気条件下において高速回転を行うので、遠心力と熱応力を受ける。特に非定常運転時には、この熱応力は著しく高くなる。したがって、タービンローター軸は、前記の一般部品と異なり、静的高引張応力が支配的である（もとより、起動、停止に伴う若干の繰返しはあるが）ので、タービンローター軸に発生すると考えられる致命的な損傷パターンはいわゆる不安定破壊である。

不安定破壊の要因としては、使用条件として応力レベル、温度などが、また、材料特性としては欠陥の大きさ、分布、性状、材料の強度、破壊靱性などがあり、しかもこれらが相互に関連するものである。このため、本規格では、このうちの主要因であると考えられる応力レベル、材料の破壊靱性、破面遷移温度を多くの事例から求め、これらを用いて、いわゆる線型破壊力学理論から限界き裂長さを算出し、これに従来の実績をも考慮して、ある程度の安全率を加えて単独欠陥に対する許容長さを決定した。

なお、タービンローター軸の場合は、一般部品と異なり密集欠陥に対する評価基準が重要であるので、これを単独欠陥に対する許容基準を参考にして規定した。

4.3 採否に関する協議について

本規格の中の採否基準の規定においては、欠陥エコーの高さが2つの判定基準線にはさまれたある区分内にあるときには、注文者と製造者の協議によって採否を決定することが定められている。この場合、協議とは、他の周波数や分割型又は斜角探触子を使用して探傷するほか、表面の非破壊検査及びその他の調査結果など詳細な検討を行い、関係者が総合的な判断を行うことをいう。

また、協議の対象となるのは、規定された判定基準線を超えるもののみであって、判定基準線を超えないものについては、特に記録されないことになっているが、これは、あくまでも単独欠陥を対象とし、その欠陥の大きさを根拠として規定したものである。

合格範囲内の欠陥エコーでも、それが密集あるいは連続している場合には、その密集性、連続性を考慮に入れて判断することが望まれるわけである。しかし、どのような欠陥を密集性欠陥あるいは連続性欠陥とするかについて規定するのは、探傷の実際面から考えて、非常に困難な問題である。ASTM A388-1980では、2 in 立方以下の体積中に5個以上検出される密集性欠陥エコー及びブラウ

ン管時間軸上で、材料長さ 1 in 以上移動する移動性欠陥エコー、また、エコー高さに関係なく、同一面上に探触子の 2 倍以上の範囲にわたって検出される連続性欠陥エコーなどについては、記録すべき事項として挙げている。しかし、この規定も被検体の形状及び探傷装置の性能の面から考えて、必ずしも実務的でない。このような事情から、本規格では、欠陥の密集性、連続性に関しては規定しないことにしたが、判定基準線の 50% を超えるような密集欠陥あるいは連続性欠陥が検出された場合は、協議の対象とすることが望ましい。

5. 超音波探傷従事者

探傷従事者は、(社)日本非破壊検査協会 (NDI) の非破壊検査技術者技量認定制度における超音波探傷試験 2 級技量認定試験合格相当者で、かつ、大形鍛鋼品の実際の探傷作業に 1 年以上従事するとともに、日本鍛鋼会、技術委員会編纂の「鍛鋼品の超音波探傷法—探傷従事者のための必携書—」の内容を十分に理解し、これを修得した能力を有する者でなければならない。

さらに、品質の総合判定という問題は、単に超音波探傷による欠陥エコーからの推定のほかに冶金学的知識、製品の材料強度あるいは作動時の応力条件との関連性などを総合的に判断しうる技術者が行なうものとする。

Ⅱ 超音波探傷装置及び性能規定

1. 適用範囲

この規定は、「船用鍛鋼品の超音波探傷検査規格」に使用するパルス反射式超音波探傷装置及びその性能に適用する。

ここで定める以外の事項に関しては、JIS Z 2344-1978（金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験方法）による。

2. 探傷装置

2.1 周波数

周波数は、少なくとも、1 MHz から 5 MHz の範囲で使用できるものであること。

2.2 探触子

振動子は、チタン酸バリウム、ジルコンチタン酸鉛又は水晶とし、その直径は、周波数 1 MHz 及び 2～2.25 MHz については 24～28mm、4～5 MHz については 20～25mm でなければならない。
なお、探触子には、軟質保護膜を使用することができる。

2.3 ケーブル

ケーブル長さは、その探傷器固有長さ 3 m 又は 5 m を原則とする。長さの許容量は ±10% 以内でなければならない。

2.4 ゲイン調整器

探傷器には、ゲイン調整器を内蔵するか又は接続して付属されていなければならない。

3. 性能

3.1 感度余裕値

感度余裕値は、周波数 2 MHz 又は 2.25 MHz を用いたとき、JIS Z 2344-1978 付属書 4（超音波探傷器の感度余裕値の測定方法）により測定し、その感度余裕値は 30dB 以上であること。

3.2 不感帯

不感帯は、周波数 2 MHz 又は 2.25 MHz を用いたとき、総合感度が STB-G V 15-1:50% において、鋼中の長さにして、20mm 以下でなければならない。この場合、不感帯の測定は、目盛板の 20% の位置で行うものとする。

3.3 ノイズレベル

ノイズレベルは、周波数 2 MHz 又は 2.25 MHz において、総合感度が STB-G V 15-1 \geq 80% のとき、目盛板の 5% 以下でなければならない。

3.4 増幅直線性

増幅部及びブラウン管の入力に対する出力の直線性は、周波数 2 MHz 又は 2.25 MHz にて、JIS Z 2344-1978 付属書 1（増幅直線性の測定方法及び分類方法）により測定した等級が 1 級であること。

3.5 時間軸直線性

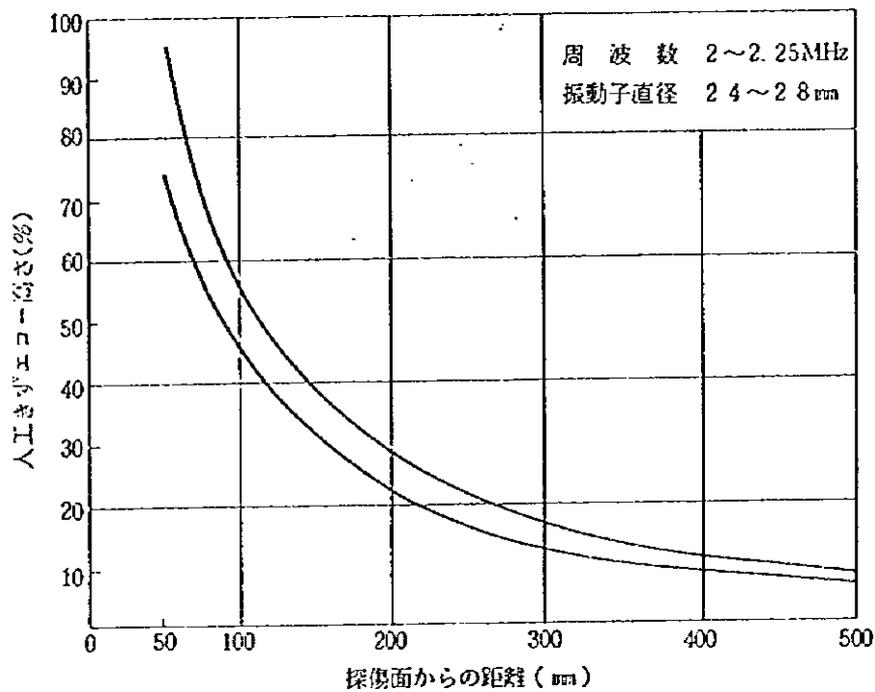
時間軸の直線性は、JIS Z 2344-1978 附属書 2 (時間軸直線性の測定方法) により測定し、その誤差は、2%以下であること。

3.6 遠距離分解能

遠距離分解能は、JIS Z 2344-1978 附属書 3 (遠距離分解能測定方法及び分類方法) により、周波数 2 MHz 又は 2.25 MHz、振動子直径 24~28mm で測定し、同規定の B 級以上に相当するものであること。

3.7 距離振幅特性

探傷器は、すべて周波数 2 MHz 又は 2.25 MHz において、 $\phi 3 \times l 30$ mm の横穴を反射源として、探傷距離 50~500 mm の範囲における人工きずのエコー高さの変動が、図 3.1 に示す許容範囲を超えてはならない。距離振幅特性曲線作成用標準試験片は、SF45~SF55 でマクロ的偏折がな



探傷面 からの距離 (mm)	人工きずエコー高さ	
	許 容 範 囲 上 限 (%)	下 限 (%)
50	95	75
100	55	45
200	28	22
300	17	13
400	11	9
500	8	7

図 3.1 人工きずエコー高さの距離振幅特性

く、焼ならしを施した均質な透過度を有するものでなければならない。図 3.2 にその一例を示す。

本試験片と異なるものを使用する場合には、これらの点を十分考慮したものでなければならない。
 なお、距離振幅特性線図は、随時必要に応じて提示できるように常に準備されていなければならない。

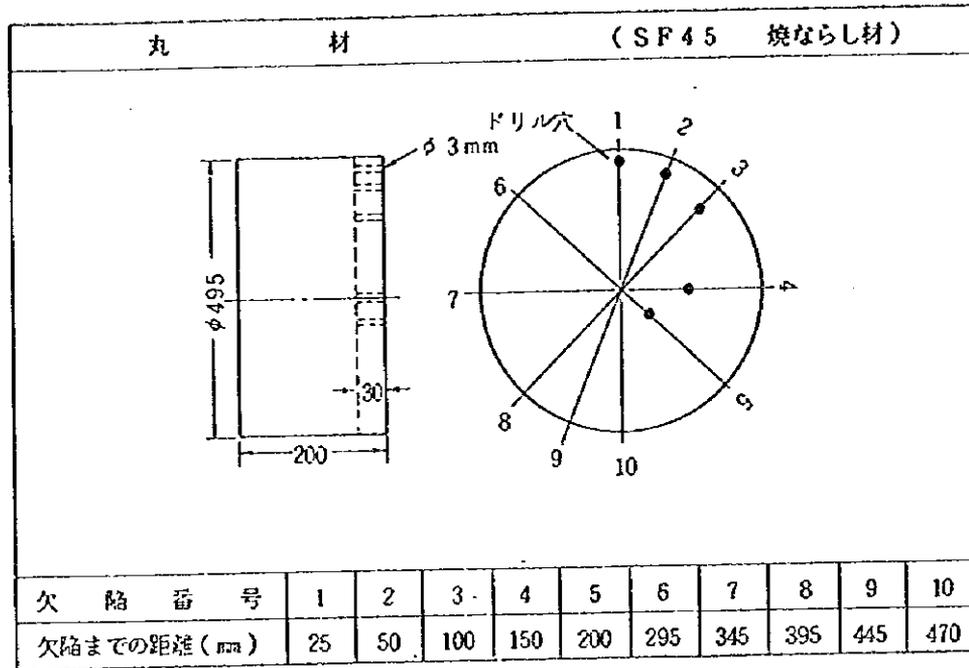


図 3.2. 距離振幅特性曲線作成用標準試験片 (人工きず)

4. 管 理

探傷装置は、年 1 回又は装置の精度に影響を及ぼすような保全補修あるいは部品交換などを行ったときは、その都度性能を検定し、「超音波探傷装置の性能チェックシート」により、本規定に適合することが管理責任者によって証明されていなければならない。

解 説

1. 適用範囲

「船用鍛鋼品に対する超音波探傷検査規格」に使用されるパルス反射式垂直法超音波探傷装置として具備しなければならない必要最小限の装置及び性能について規定した。パルス反射式探傷器では、1探触子を使用する場合と、2探触子を使用する場合とがあるが、本性能規定は1探触子の場合を対象に規定した。

探傷装置とは、探傷器、探触子、探触子ケーブル、ゲイン調整器などを含めた総称であって、電源電圧の変動が激しい作業環境においては、定電圧装置も必要品として探傷装置に加えられなければならないが、これは特例装置であるため除外した。

探傷装置の性能としては、STB-G V15-5.6による感度余裕値、不感帯、ノイズレベル、増幅直線性、時間軸直線性、遠距離分解能、距離振幅特性などについての総合特性を標準化するために規定した。

本規定は、探傷器の器差による探傷図形の変動を極力小さくすることを目的として、周波数2 MHz又は2.25 MHzを用いて作成したものであるが、必要に応じて使用される他の周波数についても、本規定に準じた性能の検定と管理がなされることが望ましい。

2. 探傷装置

2.1 周波数

探傷には、被検材の形状、寸法、材質、応力レベルなどを考慮の上、使用周波数の選定が行われることはもちろんである。船用鍛鋼品の探傷の場合には、使用周波数が1 MHzのような低い周波数から5 MHzのような高い周波数を必要とする場合がある。

鍛鋼品に現われる欠陥の発生位置及び応力レベルなどを勘案して判定する場合、同一製品においても使用される周波数は、単一周波数でなく、2ないし3種の周波数を必要とすることが多いので、1 MHz～5 MHzの周波数を具備することを規定した。

2.2 探触子

振動子としては、チタン酸バリウム、ジルコンチタン酸鉛、水晶などが使用されている。昭和44年の集合実験において、本規定で対象としているような欠陥に関して、チタン酸バリウム振動子と、水晶振動子の距離特性における差異を調査した結果、両者の間に顕著な相違は認められなかった。

また、ジルコンチタン酸鉛と水晶の間では、STB-Gにて同一感度に設定し探傷すると、水晶よりジルコンチタン酸鉛の方が、やや欠陥エコーが高い傾向を示していたが、いずれの振動子も使用できるとした。本規定では、探傷器性能の統一、探傷面の凹凸、曲面などを考慮して、振動子の直径は、周波数1 MHz及び2～2.25 MHzについては24～28mm、4～5 MHzについては20～25mmとし、器差の影響を小さくするようにした。

探触子には、軟質保護膜を使用することができるとしたが、使用にあたっては、探触子製造業者の指定する適切な軟質保護膜を使用しないと中心周波数、感度及び分解能が影響されるので、注意が必

要である。使用中の摩耗による厚さの減少や、膜の表面の傷、変質などが生じた場合は、速やかに新品と交換しなければならない。

2.3 ケーブル

普通使用されている探傷器固有の高周波同軸ケーブルの長さは、3m及び5mである。このケーブル長さが変われば、高周波回路の電気容量の変化によって探傷器の感度及び特性に影響を与える。普通は、同調コンデンサーによって電気容量の変化を補償できるが、電気容量の変化が大きくなると補償が不可能になる。このため、本規定では同軸ケーブルの長さを探傷器固有の長さとし、一応その許容差を±10%以下に制限することにした。しかし、特定の探傷器には、固有長さ2mなどの異なるケーブル長さのものもあり、このような場合、本規定の長さにと替えることが望ましいが、性能規定を十分満足する場合には、本項長さ規定について固執するものではない。いずれにしても使用する各探傷器ごとにケーブル長さの諸特性を検定しておくことが望ましい。

2.4 ゲイン調整器

ゲイン調整器は、探傷感度、反射エコーなどの定量的表示方法として利用されるだけでなく、探傷器の性能検定として必要なものであるから、探傷器に内蔵又は付属させ、探傷器の総合特性を合格させるものでなければならないと規定した。なお、ゲイン調整器は各ステップ間偏差±0.2dB以内、0~50dBの各点での総偏差は±1dB以内の精度を有することが望ましい。

3. 性能

3.1 感度余裕値

大形鍛鋼品では、感度余裕値の低い探傷装置を用いると、十分な欠陥検出能が得られない場合があるので、JIS Z 2344-1978 附属書4(超音波探傷器の感度余裕値の測定方法)における感度余裕値が30dB以上得られるような探傷装置を用いなければならないことを規定した。

3.2 不感帯

不感帯の大小は、被検材の表層部の欠陥検出能力に関係するだけでなく、探傷器の分解能にも影響を及ぼすので、探傷器の感度調整に際しては、極力不感帯を小さくすることが望ましい。このため、本規定では、探傷器の感度が、STB-G V 15-1:50%における不感帯が表3.1に示したように20mm以下でなければならないとした。

表 3.1 不感帯と探傷器感度

不感帯	探傷器感度	不感帯計測位置
≤20mm	V 15-1:50%	
(注) L: 鋼中の長さに換算した時の読み(mm)		

3.3 ノイズレベル

探傷図形に現われるノイズレベルは、電源電圧の変動、外部よりの発信電波、探傷装置の電気回路、被検材の組織、探傷面の表面粗さなどに起因して発生するものであるが、本規定では、2 MHz 又は 2.25 MHz の周波数を用いて探傷器の総合感度を STB-G V15-1 $\geq 80\%$ に調整したとき、探傷器に発生する電気回路的な原因によって生ずるノイズレベルが目盛板の 5% 以下とした。

3.4 増幅直線性

増幅直線性の測定方法及び分類は、周波数 2 ~ 2.25 MHz を用い、JIS Z 2344 - 1978 附属書 1 (増幅直線性の測定方法及び分類方法) によるが、購入時は 1 級のものでも使用中に増幅直線性が悪くなることもあり、毎日探傷作業開始時に点検することが望ましい。

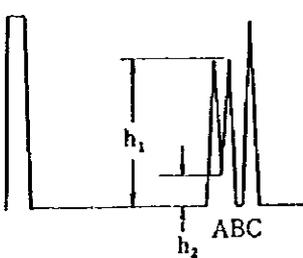
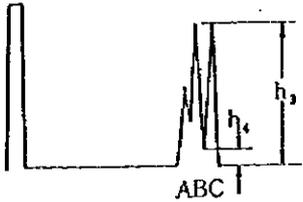
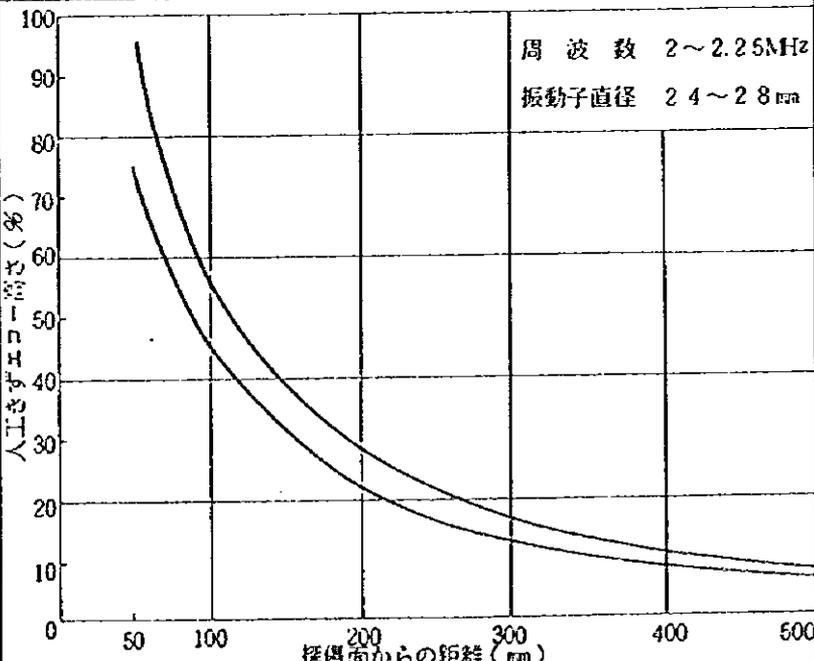
3.7 距離振幅特性

欠陥の性状、大きさなどを定量的に評価するための重要な問題点の 1 つとして距離振幅特性があげられよう。欠陥エコー高さは、探傷面からの距離によって変動する。このためには探傷器ごとの性能特性、いわゆる器差として許容できる距離振幅特性を許容可能な範囲に限定した。

4. 管理

超音波探傷装置の性能チェックシート

探傷器名称		機 械 No	使用探触子	軟質保護膜の有無	検定年月日	検 査 員 名	
検定項目	合格基準	検 定 要 領			検 定 結 果		
1. 感度 探傷器の値	30 dB以上	受信感度の最大とSTB-G V15-5.6 : 50%との間のゲイン調整器操作量 (dB値)			dB	P目盛 G目盛 R目盛	
2. 不感帯	20mm以下	STB-G V15-1 : 50%における目盛板20%位置での銅中長さの計測			mm	P目盛 G目盛 R目盛	
3. ノイズレベル	5%以下	1. STB-G V15-1 ≥ 80%に調整したときのノイズレベル 2. ノイズレベルが5%となったときのSTB-Gの感度			1. % 2. STB-G V15-1 %	P目盛 G目盛 R目盛	
4. 増幅直線性	1級	減衰量	エコーの高さの理想値(%)	測定値	偏差	エコーの消失	
		dB		%	%		
		0	100.0			---	
		2	79.4			---	
		4	63.1			---	
		6	50.1			---	
		8	39.8			---	
		10	31.6			---	
		12	25.1			---	
		14	20.0			---	
		16	15.8			---	
		18	12.5			---	
		20	10.0			---	
		22	7.9			---	
		24	6.3			---	
26	5.0			---			
30				---			
等級分類				(d (+)+d (-)) = %			
等級	1級	2級	級外	等級 級			
判定項目				合格 不合格			
d	6%以下	8%以下	規定せず	反射源STB			
エコーの消失	30dBで消失せず	26dBで消失せず	規定せず	P目盛 G目盛 R目盛			
5. 時間軸の直線性	2%以下	1. エコーの位置			1. エコーの偏差記録表		
					偏差		
					測定範囲		
					an		
					75mm		
200mm							
500mm							
B2							
B3							
B4							
B5							

検定項目	合格基準	検定要領	検定結果								
5. 時間軸の直線性	2% 以下	2. 計算による評価 $L = a_{max} \times 2\%$	75mm…L = 200mm…L = 500mm…L = 合格 不合格								
6. 分解能	B級 以上	1. Xの測定 $X = h_1(\text{dB}) - h_2(\text{dB})$ 	1. 調整 周波数 探触子 P目盛 G目盛 Rj目盛								
		2. Yの測定 $Y = h_3(\text{dB}) - h_4(\text{dB})$ 	2. X及びYの値 (dB) Xの値 Yの値								
		3. 分類法 <table border="1" data-bbox="343 1243 965 1355"> <thead> <tr> <th>分類</th> <th>A 級</th> <th>B 級</th> <th>C 級</th> <th>D 級</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X 又は Y の 値</td> <td>$X \geq 30\text{dB}$</td> <td>$Y \geq 30\text{dB}$</td> <td>$Y \geq 10\text{dB}$</td> <td>$Y < 10\text{dB}$</td> </tr> </tbody> </table>	分類	A 級	B 級	C 級	D 級	X 又は Y の 値	$X \geq 30\text{dB}$	$Y \geq 30\text{dB}$	$Y \geq 10\text{dB}$
分類	A 級	B 級	C 級	D 級							
X 又は Y の 値	$X \geq 30\text{dB}$	$Y \geq 30\text{dB}$	$Y \geq 10\text{dB}$	$Y < 10\text{dB}$							
7. 距離振幅特性	許容範囲内		調整 MHz 周波数 探触子 P目盛 G目盛 Rj目盛 STB V15- % 合格 不合格								

Ⅳ 鍛鋼製クランク軸の超音波探傷検査

1. 適用範囲

この規定は、船用鍛造一体型クランク軸及び半組立型クランク軸（ピン径 200 mm 以上）の超音波探傷検査に適用する。

2. 探傷時期

探傷は、最終熱処理が行われた後、キー溝、ドリル孔などの加工前に行う。組立型クランク軸については、組立前の機械加工後に探傷すること。

3. 探傷面の状態

探傷面は、ピン部及びジャーナル部については25S程度（JIS B 0601による粗さ表示）の機械加工面、アーム部は35S程度の機械加工面、グラインダー研磨面又はショットブラスト面とし、探傷をさまたげるようなむしれ、異物などがあってはならない。

4. 探傷装置

探傷装置は、第Ⅲ章に定める「超音波探傷装置及び性能規定」に合格していること。

5. 接触媒質

接触媒質は、原則として潤滑油又はマシン油を用いる。

6. 探傷要領

6.1 探傷範囲

探傷の範囲は、図 4.1 に示す矢印の方向からピン部、ジャーナル部及びアーム部の全域とする。

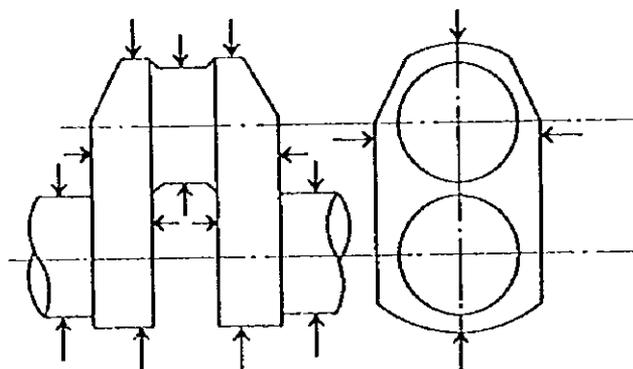


図 4.1 探傷方向

6.2 探触子

周波数は、2～2.25 MHz を使用し、振動子の直径は24～28mm とする。探触子には、軟質保護膜を付けることができる。

6.3 評価感度の調整

評価感度は、各探傷部位ごとに、その健全部において、第1回底面エコー高さが目盛板の90%になるように調整する。

もし、形状的な理由により底面エコー高さが正常に得られない部位については、この部位に近似の他の部位によって調整することができる。

なお、探傷装置のパルス幅は、探傷感度の必要最小限となるように調整し、リジエクション又はサプレッションは、原則としてツマミ目盛の0又はOffとする。

6.4 探傷感度の調整

探傷感度は、評価感度に調整後ゲイン調整器により、6 dB 高めた感度（以下+6 dB という）に調整する。

6.5 探触子の走査方法

探触子の走査速度は、毎秒 150 mm 以下とし、振動子直径の15%以上重複して探傷しなければならない。

6.6 探傷中の手順変更

探傷感度で探傷中に異常エコーが検出された場合は、評価感度に戻して再度その近傍について探傷を行うとともに、必要に応じて、その異常エコーの原因を明らかにするための適切な技法又は条件を変えて探傷し、最終判定に必要な情報を得なければならない。

7. 判 定

7.1 区 分

クランク軸を次のようにⅠ～Ⅲの3区分に分類する。

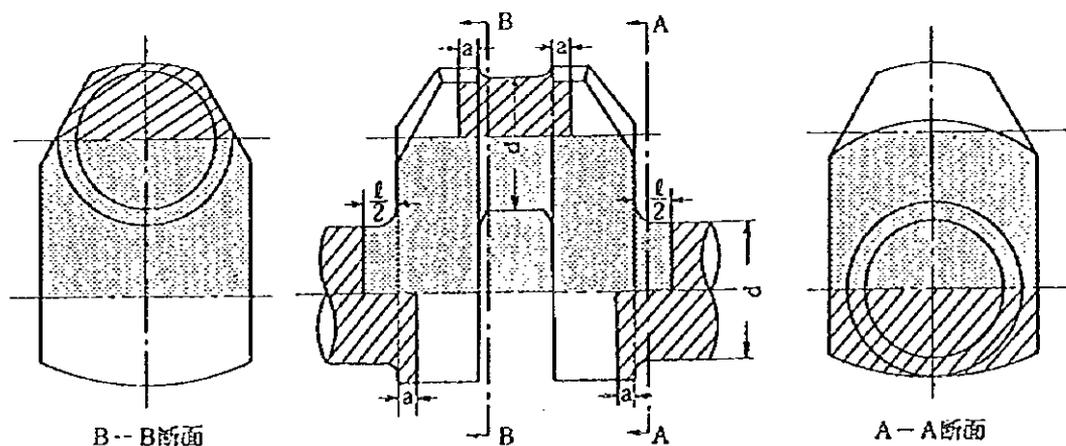


図 4.2 一体型クランク軸の区分

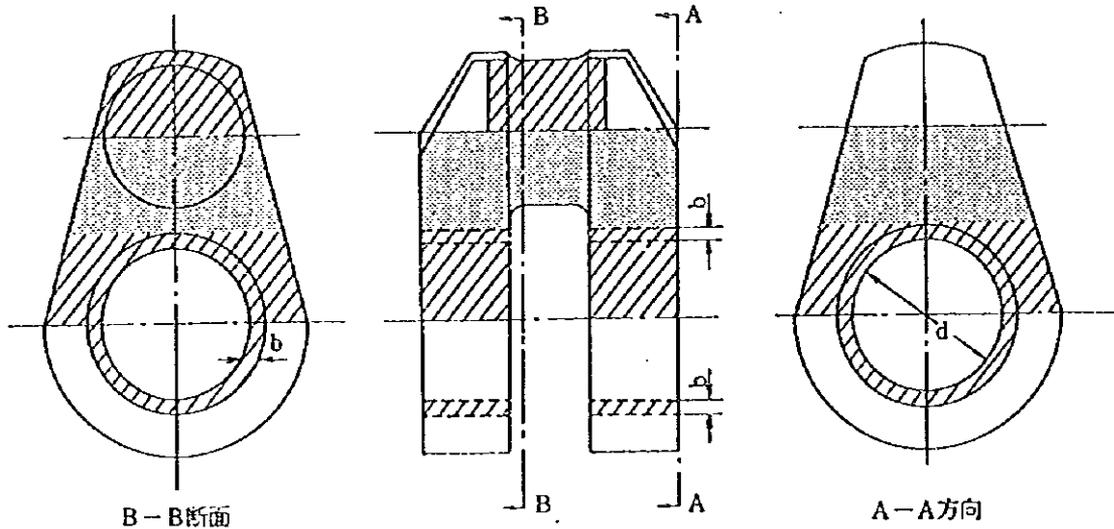
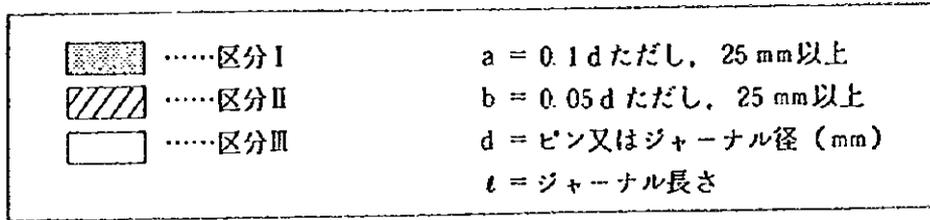


図 4.3 半組立型クランク軸の区分

7.2 採否基準

- 1) 区分Ⅰの範囲で、欠陥エコー高さが底面エコー高さを超える場合及びすべての区分で底面エコーが目盛板の10%以下になる部分がある場合は、不合格とする。ただし、形状による底面エコーの低下は、この限りではない。
- 2) 欠陥エコーが検出された場合には、図 4.4 判定基準線図により、次のごとく採否を決定する。なお、探傷距離50mm 以内に欠陥エコーが検出された場合は、協議の対象とする。

(i) 区 分 Ⅰ

(イ) A級クランク軸

欠陥エコー高さが、基準線Ⅰの1/10以下の場合合格とし、これを超える場合は、協議の上採否を決定する。

(ロ) その他のクランク軸

欠陥エコー高さが、基準線Ⅰ以下の場合合格とし、これを超える場合は、協議の上採否を決定する。

(ii) 区 分 Ⅱ

欠陥エコー高さが、基準線Ⅱ以下の場合合格とし、これを超える場合は、協議の上採否を決定する。

(iii) 区 分 Ⅲ

欠陥エコー高さが、基準線Ⅲ以下の場合は合格とし、これを超える場合は、協議の上採否を決定する。

(注) *協議とは、他の周波数や探触子などを使用して探傷するほか、表面の非破壊検査及び製造履歴など採否に必要な情報を収集し、関係者（製造者、購入者及び第三者機関など）が合議により採否決定を行うことをいう。

***クランク軸の級別は「船用鍛鋼品に対する表面検査の判定基準（JFSS 12-1975）」による。

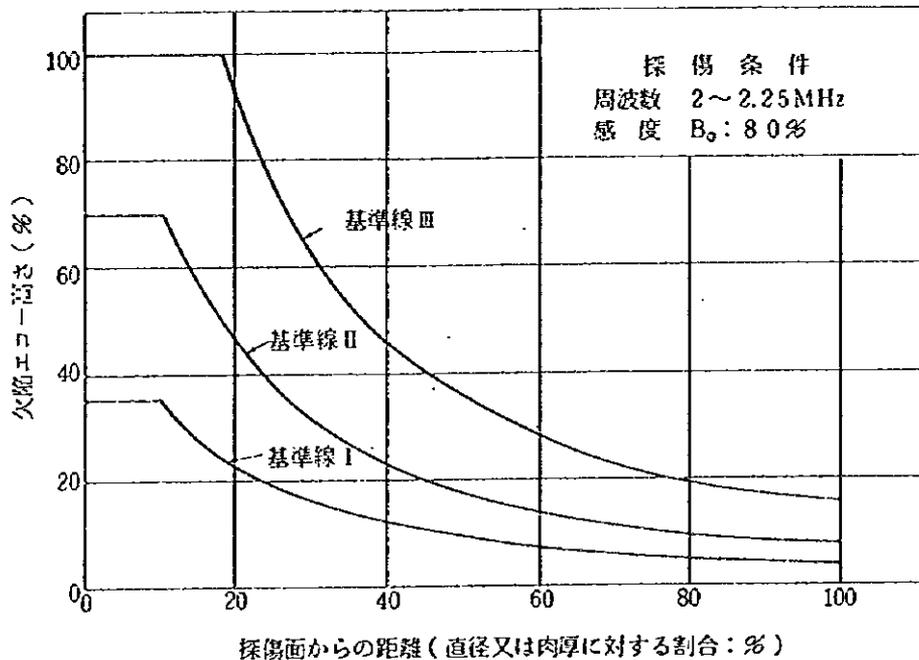


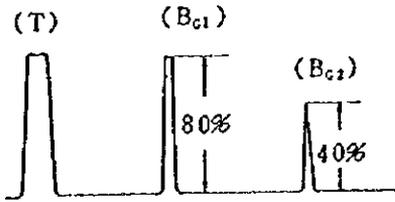
図 4.4 判定基準線図

8. 記録

8.1 探傷結果の表示

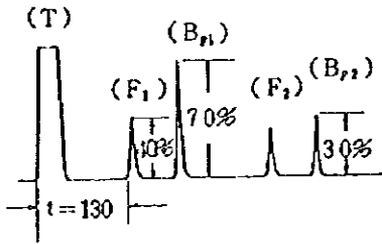
探傷結果は、各探傷部位ごとに、次の表示例にならって、すべて評価感度で探傷したものを記録しなければならない。この場合、底面エコー高さが評価感度探傷で目盛板の50%に達しない部分があるとき（ただし、形状に起因する場合を除く）、あるいは、判定基準線を超える欠陥エコーが検出されるときは、そのエコー高さ、位置、範囲など詳細な探傷結果を明示しなければならない。ただし、A級クランク軸については、欠陥エコー高さが基準線Ⅰの1/10を超える場合のみ記録すること。

表示例1 (健全部)



$$(B_{c1}) - (B_{c2}) \text{ の底面エコー高さ (\%)} \\ = B \ 80, 40$$

表示例2 (欠陥部)



$$\frac{(F_1) \text{ Fエコー高さ(\%), } (t) \text{ 探傷面からの距離(mm)}}{(B_{f1}) - (B_{f2}) \text{ の底面エコー高さ(\%)}} \\ = \frac{40 (130)}{70.30}$$

8.2 探傷成績表

探傷成績表には、少くとも次の事項が記載されなければならない。

- (1)被検材の識別記号 (例えば、船番、注文番号、図面番号、浴解番号、製作番号など)
- (2)注文主 (3)品名又は形式 (4)鋼種 (5)概略寸法 (6)探傷時期 (7)探傷日 (8)探傷器名
- (9)探触子の形式・寸法・周波数 (10)軟質保護膜の有無 (11)探傷面の粗さ (12)接触媒質
- (13)不感帯 (14)探傷成績 (健全部の底面エコー高さ、欠陥の位置、分布、欠陥エコー高さなど)
- (15)探傷者名 (16)探傷責任者の所見及び署名

解 説

1. 適用範囲

適用範囲をピン径 200 mm 以上としたのは、近距離音場限界距離の約 2 倍以上の探傷範囲を対象としたからであり、この近距離音場を別に考慮すれば 200 mm 未満のものにも準用して差しつかえない。

2. 探傷時期

一般に、鍛鋼品の探傷時期は、早ければ早いにしたことはないが、本規定では、全面探傷ができること、探傷面の粗度及び材料の透過性が探傷に支障のない程度であること、探傷後に新たな欠陥が発生する恐れがないこと、欠陥評価の際にキー溝、ドリル孔などからのまぎらわしいエコーが現われないことなどの条件を満足できる時期として、最終熱処理後の機械加工終了時でキー溝、ドリル孔などの加工前を選んだ。

なお、組立型クランク軸については、できるだけ早期で、探傷作業の容易な組立前の機械加工終了後に探傷することにした。

3. 探傷面の状態

探傷面は、各部位とも同じ表面粗さであることが望ましいが、本規定では、図 2.2 表面粗さの探傷感度に及ぼす影響にもとづき、表面粗さの影響の少ない範囲、即ち 25S、35S を適用することにした。したがって、ピン、ジャーナルは 25S、その他の機械加工面及びグラインダー研磨面は 35S とした。
(日本鍛鋼会、SUI 小委員会：超音波探傷法集合実験報告書 P 68 参照)

また、ショットブラスト面でも 35S 程度であれば十分探傷が行えるので、ショットブラスト面での探傷も行ってよいこととした。

6. 探傷要領

6.1 探傷範囲

一般に、欠陥はメタルフローの方向とはほぼ同じ方向なので、欠陥の検出が容易になるように、メタルフローと直交する方向から十分に探傷しなければならない。この意味で一体型、組立型のいずれも最高応力レベルにあるフィレット部の探傷は、主として図 4.1 に矢印で示しているようにクランクアームの側面から探傷できるので合理的であり、両アーム側面からの探傷によって、より効果的となる。この場合、底面エコーの変動が底面の形状に起因するものか又は、材質や欠陥によるものかについて十分に留意する必要がある。

6.3 及び 6.4 評価感度と探傷感度の調整

本規定では、感度の調整方法に関して探傷作業に適用するときの感度と、検出された欠陥エコーの評価、判定を行うときの感度の 2 種類について規定することとした。従って、この規定では前者を、「探傷感度」と呼び、後者を「評価感度」と呼ぶこととした。

この探傷感度は、欠陥エコーの見落しを避けるために、評価感度より6dB 増加するものであり本規定では、 $B_0:80\%+6\text{dB}$ を意味する。一方、評価感度は、判定を行うためのもので、 $B_0:80\%$ に定めた。

探傷感度を6dB 以上高めて探傷してもかまわないが、あまり感度をあげすぎると林状エコーや異状エコーが現われやすくなり、探傷作業を困難にしたり、底面エコーの低下状況が確認しにくくなることもあり、感度は高ければ高いほどよいということではないので、本規定では6dB と決めた。

6.5 探触子の走査方法

探触子の走査速度が早すぎたり、探触子の重複量が少なすぎる場合には、欠陥を見落す可能性があるため、本規定では走査速度毎秒150mm以下、走査時の重複量を振動子直径の15%以上に定めた。

6.6 探傷中の手順変更

ここでいう異常エコーとは、ゴーストエコー、側面エコー、遅れエコー、境界面エコー、外部信号などの材料欠陥以外の原因によって発生する超音波信号を意味する。異常エコーの原因としては、装置の性能特性、外部信号、又は、被検材の状態によるものなどが考えられる。

探傷中に異常エコーが検出された場合には、評価感度にもどして合否の判定を行うとともに、その原因を明らかにするために、他の周波数、分割型探触子、斜角探触子などを用いて詳細な調査を行う必要がある。

7. 判定

7.1 区分

クランク軸は、「基本的な考え方」で述べたように、形状的な複雑さから各部位によって表面の応力レベルや応力勾配が異なり、この応力レベルに応じて、欠陥の採否基準を定めるのが最も合理的である。そこで、本規定では、応力レベルに応じて、区分Ⅰ、Ⅱ及びⅢの3区分に分類した。

クランク軸で表面応力レベルの最も高い範囲は、アームすみ肉部の表面と表面からある深さの範囲である。この表面からの深さをどの位にするかは、この部分の表面応力レベルと応力勾配によって決められるべきであるが、本規定では図4.2に示すように、軸につながるアームすみ肉部から、アーム、ピン及びジャーナルを通じて一連に区分Ⅰとした。なお、ジャーナルの一部を区分Ⅰとしたのは、隣接するアームとの関連を考慮したものである。

区分Ⅱは、区分Ⅰにつぐ応力レベルにあると考えられる部分であり、この部分の品質の良否は、区分Ⅰの健全性に密接な関連があるので、区分Ⅰに隣接する範囲をこの区分とすることにした。アームすみ肉幅については、 $0.1d$ 、ただし、最小25mmの範囲に止めた。その他の部分を区分Ⅲとした。

7.2 採否基準

超音波探傷検査によって検出された欠陥エコーが、割れ性欠陥あるいは、フィレット近傍にあって使用上有害と判断される場合には、不合格とすべきである。欠陥が使用上有害であるか否かについては、欠陥の性状、存在位置、その部位における応力レベル及び応力勾配などにより決まるが、欠陥エコーの高さが底面エコー高さを超えるような欠陥が区分Ⅰの範囲にある場合及び区分の如何にかかわらず

底面エコー高さが10%程度しか得られないような減衰の著しい場合には、クランク軸として許容できる限度を超えていると判断されるので、不合格にすることとした。ただし、底面エコーの低下が形状に起因することが確認された場合には、本規定から除外することにした。

探傷距離50mm以内に欠陥エコーが検出された場合は、採否決定に際し、応力の高い表層部に近いので、その欠陥に関する詳細な情報が必要なこと、探触子の近距離音場内であり、本規定の探傷方法のみでは、この領域を十分に探傷することが困難なことなどから、協議の対象とした。

クランク軸の各区分に対応した判定基準線を超える欠陥エコーが検出された場合には、欠陥の位置、大きさ、分布状態などを考慮して、採否を決定する必要があるので協議の対象とした。ただし、A級クランク軸の区分Ⅰについては、負荷応力レベルがB級クランク軸よりも高いので、評価すべきエコー高さのレベルを判定基準線Ⅰの1/10を超えるもの全てについて協議の対象とした。

8. 記 録

製造者は、製品の明細及び探傷試験の全容を説明できるように規定にしたがって記録する必要がある。各探傷部位ごとの判定基準線を超える欠陥エコーが現われた場合、あるいは底面エコーの低下が現われた場合は、表示例にならって具体的に記録しなければならない。また、健全部についても表示例の如く(B₂)までの多重底面エコー高さを記録しておくことにより、必要に応じて定量的な減衰量を求める場合に役立てられる。

欠陥エコーの記録方法には、欠陥エコーと底面エコーの比によって示す方法も多く使われているが、この方法では形状的な底面エコーの低下がある場合、適切な判定ができないので、この規定では、各エコーの絶対高さを目盛板の%で表示することにした。

V 船用一般鍛鋼品の超音波探傷検査

1. 適用範囲

この規定は、プロペラ軸、中間軸、スラスト軸（いずれも軸径 200 mm 以上）並びに船用ディーゼル機関に用いる接合棒、ピストン棒、クロスヘッド（いずれも幹部径 200 mm 以上）の超音波探傷検査に適用する。

ただし、船体用ラダーストック、ピントルなどの鍛鋼品にも需給両者合意の上適用してもよい。

2. 探傷時期

探傷は、最終熱処理が行われた後、キー溝やドリル孔などの加工前に行う。

3. 探傷面の状態

探傷面は、全面 35S 程度（JIS B 0601 による粗さ表示の 25~50S）の機械加工面又はグラインダー研磨面とし、探傷をさまたげるようなむしれ、異物などがあってはならない。

4. 探傷装置

探傷装置は、第Ⅲ章に定める「超音波探傷装置及び性能規定」に合格していること。

5. 接触媒質

接触媒質は、原則として潤滑油又はマシン油を用いる。

6. 探傷要領

6.1 探傷範囲

探傷の範囲は、図 5.1 及び図 5.2 に示す如く、区分Ⅲ領域については、径方向から円周 90°をはさむ 2 線、区分Ⅱ領域については、径方向から円周 60°をはさむ 3 線上につき、全長にわたって連続的に探傷する。

また、輪端面からも十文字線上について、補助的に軸方向探傷を行うこと。

6.2 探触子

径方向探傷には、周波数 2 ~ 2.25 MHz、振動子直径 24~28mm、軸方向探傷には周波数 1 MHz、振動子直径 20mm 以上を使用し、探触子には軟質保護膜を付けることができる。

6.3 評価感度の調整

評価感度は、各探傷部位ごとに、その健全部において、第 1 回底面エコー高さが目盛板の 80% になるように調整する。

もし、形状的な理由により底面エコー高さが正常に得られない部位については、この部位に近似の他の部位によって調整することができる。

←：径方向探傷位置
 //：軸方向探傷位置

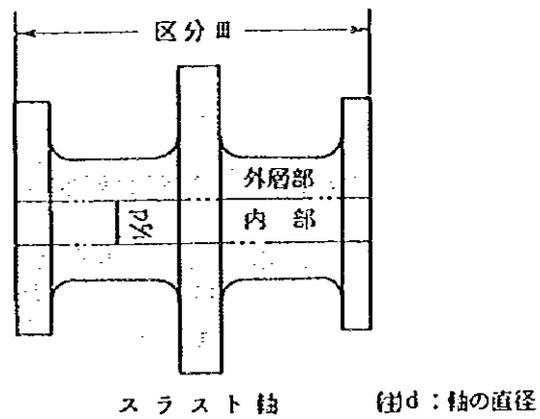
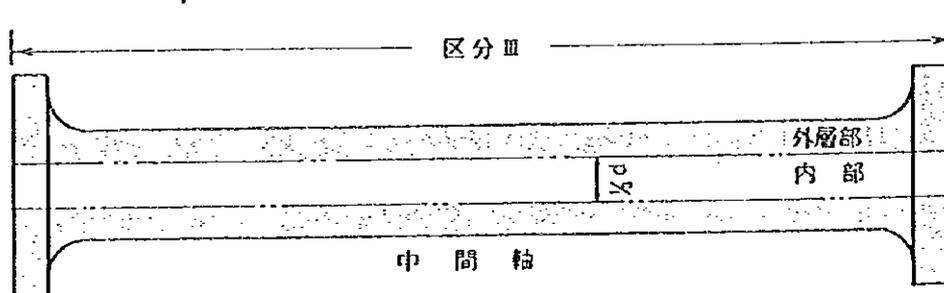
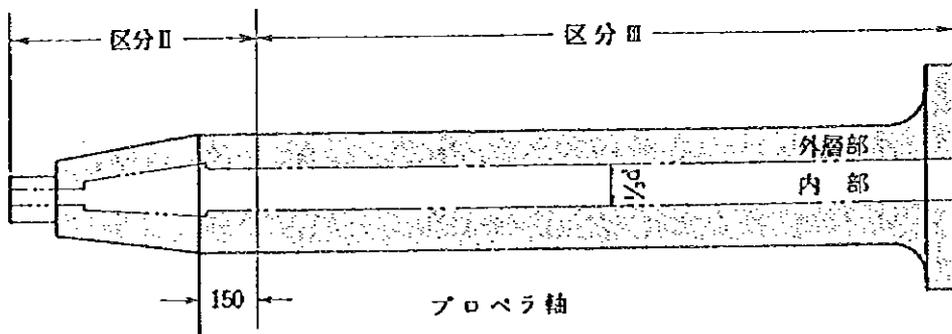
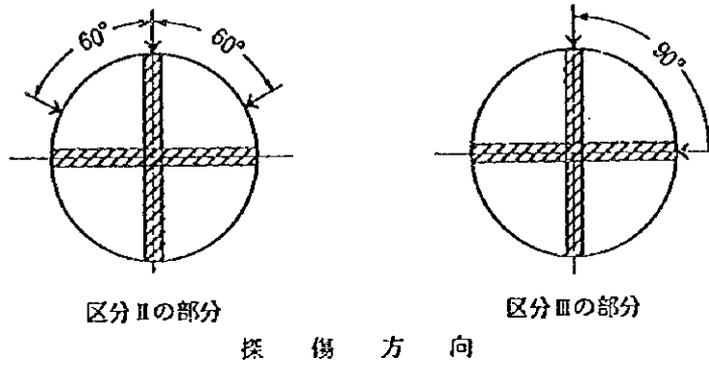


図 5.1 軸系部品の探傷範囲及び区分

← : 径方向探傷位置
 /// : 軸方向探傷位置

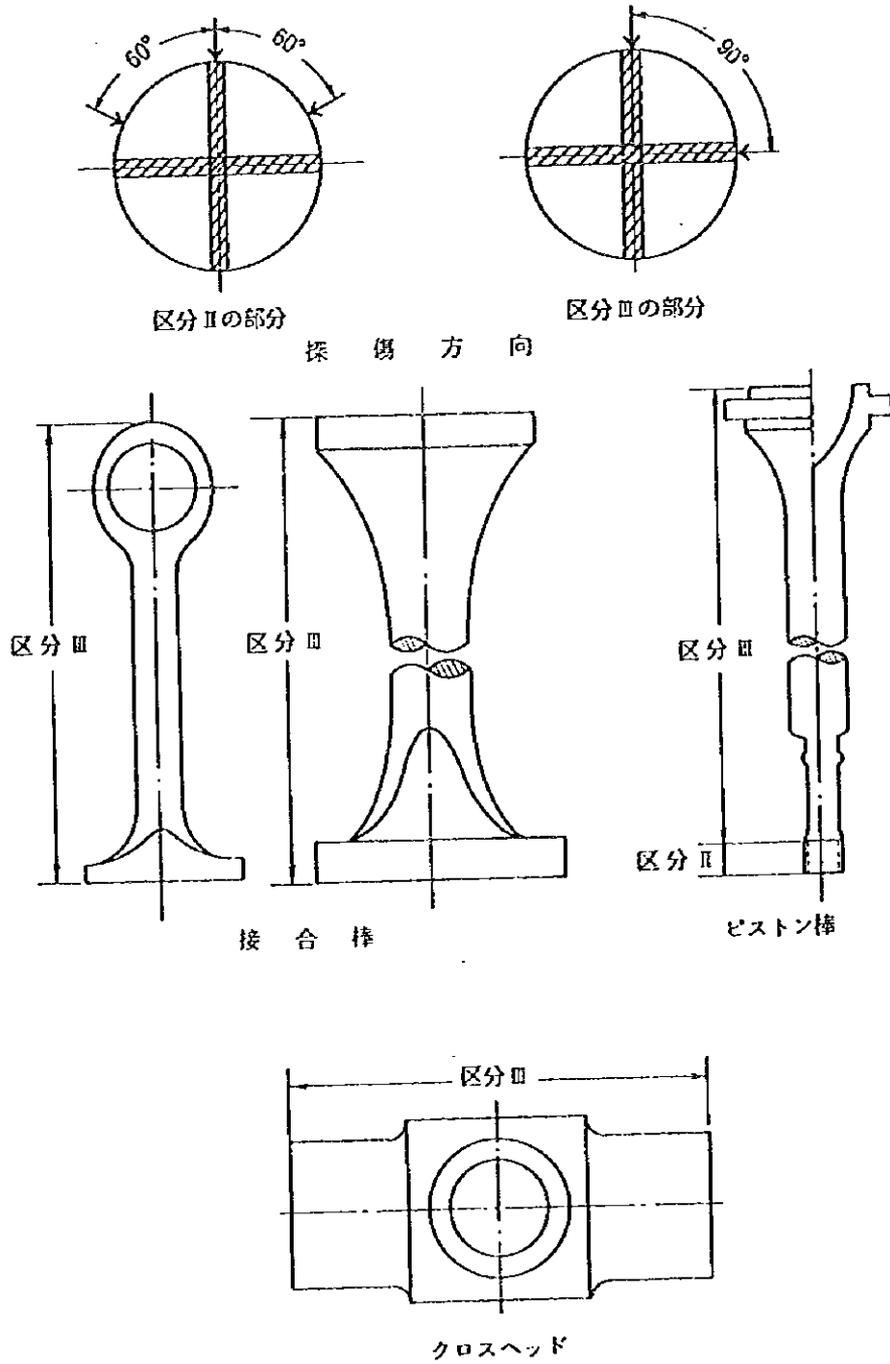


図5.2 接合棒, ピストン棒, クロスヘッドの探傷範囲及び区分

なお、探傷装置のパルス幅は、探傷感度の必要最小限となるように調整し、リジェクション又はサプレッションは、原則としてツマミ目盛の0又はOFFとする。

6.4 探傷感度の調整

探傷感度は、評価感度に調整後ゲイン調整器により、6 dB 高めた感度（以下+ 6 dBという）に調整する。

6.5 探触子の走査方法

探触子の走査速度は、毎秒 150 mm以下とする。

6.6 探傷中の手順変更

探傷感度で探傷中に異常エコーが検出された場合は、評価感度に戻して再度その近傍について探傷を行うとともに、必要に応じて、その異常エコーの原因を明らかにするための適切な技法又は条件を変えて探傷し、最終判定に必要な情報を得なければならない。

7. 判定

7.1 区分

軸系部品は、図 5.1 のように区分Ⅱ及びⅢの2区分に分類し、さらに軸全体を外層部と内部とに区分する。

接合棒、ピストン棒、クロスヘッドは図 5.2 のように区分Ⅱ及びⅢの2区分に分類し、外層部と内部とは同一区分として扱うこととする。

7.2 採否基準

7.2.1 軸系部品

(1) 欠陥エコーが検出され、底面エコーが全く得られない場合は、不合格とする。ただし、形状による底面エコーの低下はこの限りではない。

(2) 上記のほか、欠陥エコーが検出された場合には、図 5.3 判定基準線図により、次のごとく採否を決定する。

(i) 区分Ⅱ

外層部に検出される欠陥エコー高さが、基準線Ⅱ以下の場合は合格とし、これを超える場合は、協議の上採否を決定する。

(iii) 区分Ⅲ

外層部に検出される欠陥エコー高さが、基準線Ⅲ以下の場合は合格とし、これを超える場合は、協議の上採否を決定する。

7.2.2 接合棒、ピストン棒、クロスヘッド

(1) 欠陥エコーが検出され、底面エコーが全く得られない場合は、不合格とする。ただし、形状による底面エコーの低下はこの限りでない。

(2) 上記のほか、欠陥エコーが検出された場合には、図 5.3 判定基準線図により、次のごとく採否を決定する。

(i) 区分 II

欠陥エコー高さが、基準線 II 以下の場合に合格とし、これを超える場合は、協議の上採否を決定する。

(ii) 区分 III

欠陥エコー高さが、基準線 III 以下の場合に合格とし、これを超える場合は、協議の上採否を決定する。

(注) * 協議とは、他の周波数や探触子などを使用して探傷するほか、表面の非破壊検査及び製造履歴など採否に必要な情報を収集し、関係者（製造者、購入者及び第三者機関など）が合議により採否決定を行うことをいう。

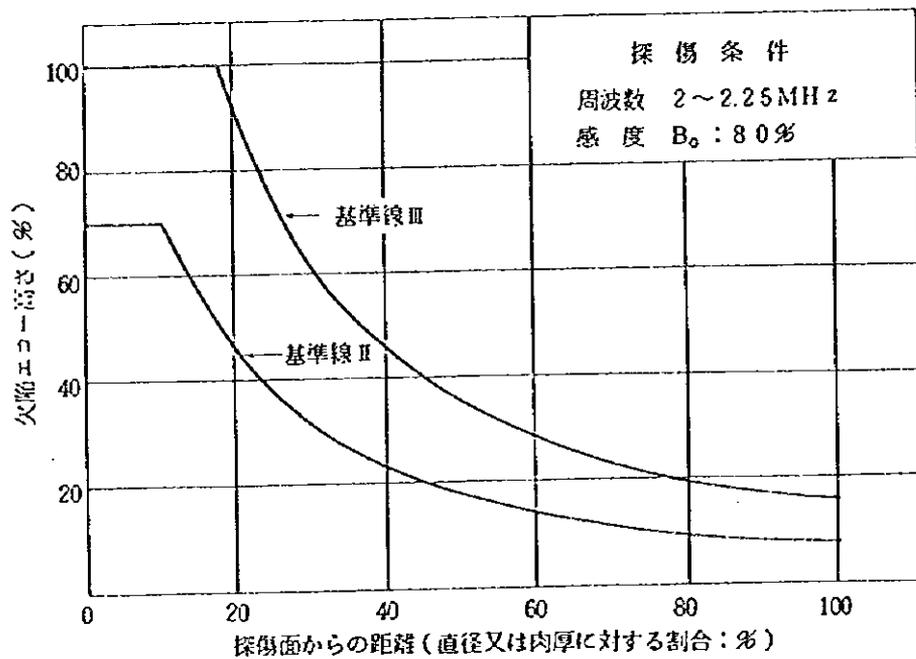


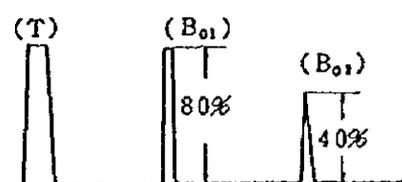
図 5.3 判定基準線図

8. 記録

8.1 探傷結果の表示

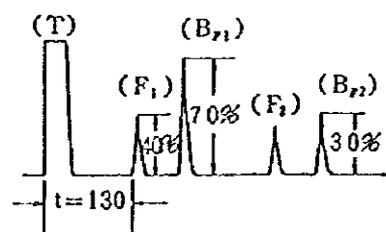
探傷結果は、各探傷部位ごとに、次の表示例にならって、すべて評価感度で探傷したものを記録しなければならない。この場合、底面エコー高さが評価感度探傷で目盛板の50%に達しない部分があるとき（ただし、形状に起因する場合を除く）あるいは、判定基準線を超える欠陥エコーが検出されるときは、そのエコー高さ、位置、範囲など詳細な探傷結果を明示しなければならない。

表示例 1 (健全部)



$$(B_{01}) - (B_{02}) \text{ の底面エコー高さ(\%)} \\ = B \ 80, 40$$

表示例 2 (欠陥部)



$$\frac{(F_1) \text{ Fエコー高さ(\%), } (t) \text{ 探傷面からの距離(mm)}}{(B_{F1}) - (B_{F2}) \text{ の底面エコー高さ(\%)}} \\ = \frac{40(130)}{70,30}$$

8.2 探傷成績表

探傷成績表には、少くとも次の事項が記載されなければならない。

- (1)被検材の識別記号 (例えば、船番、注文番号、図面番号、溶解番号、製作番号など)
- (2)注文主 (3)品名又は形式 (4)鋳種 (5)概略寸法 (6)探傷時期 (7)探傷日 (8)探傷器名
- (9)探触子の形式・寸法・周波数 (10)軟質保護膜の有無 (11)探傷面の粗さ (12)接触媒質
- (13)不感帯 (14)探傷成績 (健全部の底面エコー高さ、欠陥の位置、分布、欠陥エコー高さなど)
- (15)探傷者名 (16)探傷責任者の所見及び署名

解 説

1. 適用範囲

適用範囲を軸径 200 mm 以上としたのは、近距離音場では、探傷器と探触子の組合せによって距離振幅特性が種々異なるので、近距離音場限界距離の約 2 倍以上の範囲を想定したからであり、この点を考慮すれば、もっと小径のものに適用しても差しつかえない。

2. 探傷時期

探傷時期は、部材の最終熱処理が終了し、外周面の粗削り機械加工が完了した時期を想定して定めた。これは仕上加工が終了した時点では、キー溝やボルト孔などが探傷のさまたげとなること及び品質管理の面から探傷可能なできるだけ早い時期が望ましいという理由によるものである。

3. 探傷面の状態

探傷面の粗さを 35 S 程度としたのは、判定を左右するような欠陥を検出するには十分であり、グラインダー研磨面でも 35 S 程度の粗さであれば探傷に支障がないので採用した。なお、探触子直径以下のピッチでのうねりをもった面では、十分な探傷ができないので注意する必要がある。

6. 探傷要領

6.1 探傷範囲

探傷は、主として径方向から行うことにした。これは、一般に欠陥は、鍛伸方向に沿って存在するため、これに直交する方向から探傷するのが合理的と考えられるからであり、軸長にわたる直線的な連続探傷は、従来からよく採用されており、製品の内部品質を全体的に間断なく把握するのに適している。

また、これら部品のメタルフローは、同心状に長手方向に鍛伸されていて、比較的単純な形状であるため、円周上の 90° をはさむ 2 線上の探傷で問題とすべき欠陥は把握できるが、プロペラ軸及びピストン棒の区分Ⅱについては、慎重を期すために 60° をはさむ 3 線上探傷とした。しかし、いずれの場合も判定基準の 50% を超える欠陥エコーや底面エコーの異常な低下などが検出された場合は、その周辺をできるだけ広く探傷することが望ましい。

一方、軸端面から補助的に軸方向探傷を行うこととしたのは、形状急変部の割れや、急熱割れなど使用状態で重視すべき欠陥を検出するためであり、これらの見落とし防止のための補助手段である。

6.2 探触子

大形鍛鋳品の探傷には、一般に 1 ~ 2.25 MHz の周波数が用いられているが、径方向探傷で、外層部を精度よく探傷するには、パルス幅を小さくし分解能を高めるため、2 ~ 2.25 MHz を用いることとした。一方、軸方向探傷の場合は探傷距離が 5メートル以上に及ぶことがあるので、減衰を考慮し、かつ、大きな平面欠陥を検出する目的から 1 MHz を用いることとした。

6.3 及び 6.4 評価感度と探傷感度の調整

第IV章鍛鋼製クランク軸超音波探傷規定の解説 6.3 及び 6.4 項を参照。

6.6 探傷中の手順変更

第IV章鍛鋼製クランク軸超音波探傷規定の解説 6.6 項を参照。

7. 判定

7.1 区分

プロペラ軸は、プロペラ嵌合部及びその近傍と他の部分とでは、表面の作用応力レベルが異なるので前者を区分Ⅱ、後者を区分Ⅲと分類し、それぞれについて、採否基準を設定することとした。プロペラ軸の区分Ⅱは、表面検査の判定基準（JFSS I 2）の場合の区分Ⅰと比較して、領域を広くとったが、これは、区分Ⅲとの境界部分には、使用中にフレタイングが発生し易いために、高品質が望ましいこと及び探傷時の超音波の拡がりを考慮したものである。さらに、プロペラ軸、中間軸、スラスト軸などは使用時の作用応力が、主として外層部に限られ中心部の応力レベルは低いので、中心部に欠陥があっても強度上ほとんど影響を受けない。このため、軸の中心 $\frac{1}{2}d$ （ d は軸の直径）の内部領域と外層部とでは、評価基準を変えて採否を決定することとした。

接合棒、ピストン棒、クロスヘッドなどについては、形状が比較的複雑で使用中の応力分布も単純ではないので、内部、外層部とも同一の基準で評価し、ピストン棒のネジ部分を除き全て区分Ⅲとした。

Ⅵ タービンローター軸の超音波探傷検査

1. 適用範囲

この規定は、船用タービンローター軸の超音波探傷検査に適用する。

2. 探傷時期

探傷は所定の機械的性質を得るための最終熱処理が行われた後、溝切前の全域探傷が実施可能な可及的早い時期に行う。

3. 探傷面の状態

探傷面は、25S程度（JIS B 0601表面粗さ表示による）の仕上面とし、探傷をさまたげるようなむしれ、異物などがあってはならない。

4. 探傷装置

探傷装置は、第Ⅲ章に定める「超音波探傷装置及び性能規定」に合格していること。

5. 接触媒質

接触媒質は、原則として潤滑油又はマシン油を用いる。

6. 探傷要領

6.1 探傷範囲

探傷の範囲は、径方向よりローター軸の外表面を可能な限り全面について、連続探傷を行わなければならない。ただし、必要な場合は、軸方向からも行うことができる。

6.2 探触子

周波数は、2～2.25 MHz を使用し、振動子の直径は24～28mm とする。探触子には、軟質保護膜を付けることができる。

6.3 探傷感度の調整

探傷感度は、各探傷部位の直径ごとに、その健全部において第1回底面エコーの高さを、ブラウン管目盛板の100%になるように調整し、さらに、探傷部位の直径及び中心孔径に応じて、図6.1より求めた感度倍数を乗じた値にゲイン調整器により調整する。

探傷感度の調整に際しては、探傷装置のパルス幅は、探傷感度の必要最小限とし、ノイズレベルが探傷のさまたげにならないように調整しなければならない。

6.4 探触子の走査方法

探触子の走査速度は、毎秒150 mm以下とし、振動子直径の15%以上重複して探傷しなければならない。

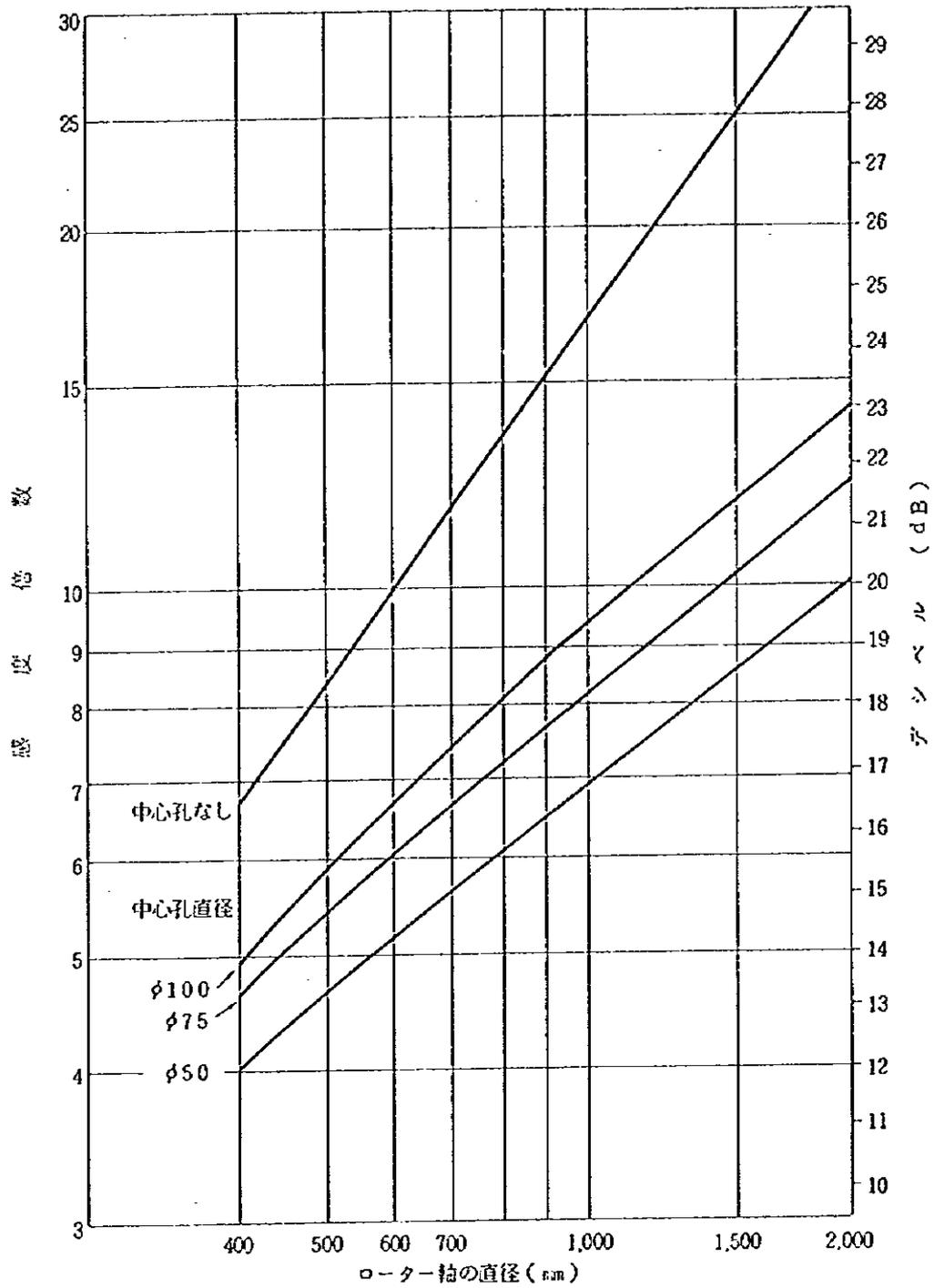


図 6.1 ローター軸の直径と感度倍数の関係

7. 採否基準

欠陥エコーが検出された場合は、図 6.2 判定基準線図により、次のごとく採否を決定する。

- 1) 単独欠陥エコーで、基準線Ⅱ以下の場合及び密集欠陥エコーで、基準線Ⅰ以下の場合は合格とする。
- 2) 単独欠陥エコーで、基準線Ⅱを超える場合及び密集欠陥エコーで、基準線Ⅰを超える場合は、協議によって採否を決定する。

(注) *協議とは、他の周波数や探触子などを使用して探傷するほか、表面の非破壊検査及び製造履歴など採否に必要な情報を収集し、関係者（製造者、購入者及び第三者機関など）が合議により採否決定を行うことをいう。

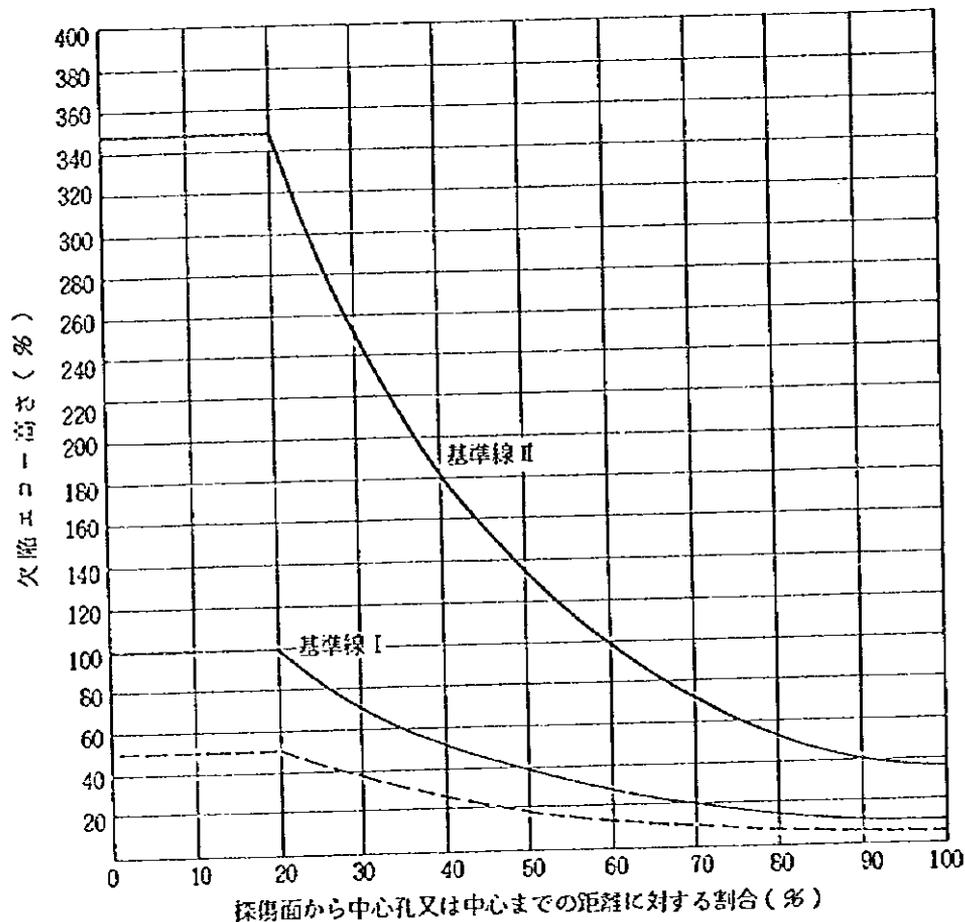


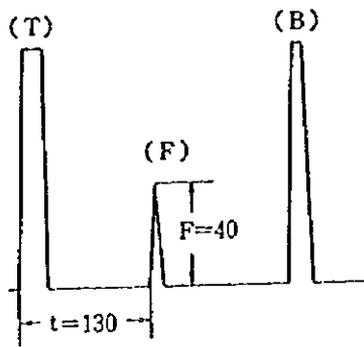
図 6.2 判定基準線図

8. 記録

8.1 探傷結果の表示

単独欠陥エコーで、図 6.2 判定基準線図の基準線Ⅰを超える場合及び密集欠陥エコーで図 6.2 判定基準線図の点線曲線を超える場合は、次の例にならってすべて記録しなければならない。この場合、特記を必要とする欠陥エコーの詳細については、その位置及び範囲が明示されなければならない。また、欠陥エコー高さが 100% を超える場合もパーセントで表示する。

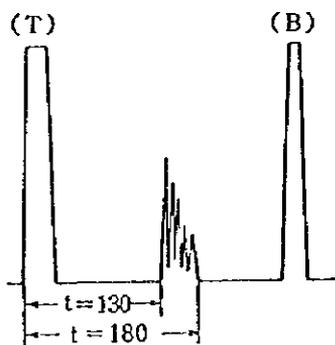
表示例1 (単独欠陥エコー)



$$\frac{(F) \text{ Fエコー高さ} \% (t) \text{ 探傷面からの距離mm}}{F/B \text{ dB値}}$$

$$= \frac{40 (130)}{26}$$

表示例2 (密集欠陥エコー)



$$\frac{(F) \text{ Fエコー高さ} \% (t) \text{ 探傷面からの距離mm}}{F/B \text{ dB値}}$$

$$= \frac{50, 45, 35, 25, 20 (130 \sim 180)}{16, 17, 19, 22, 24}$$

8.2 欠陥エコーの分類

1) 密集欠陥エコー

図 6.2 判定基準線図の点線曲線以上の欠陥エコーで、ブラウン管の時間軸上で鋼中距離50mmの間に5個以上の欠陥エコーがある場合。ただし、ノイズが大きい場合の点線曲線は、そのノイズの高さを加えたものとする。

2) 単独欠陥エコー

上記 1) 以外の場合。

8.3 探傷成績表

探傷成績表には、少くとも次の事項が記載されていなければならない。

- (1)被検材の識別記号 (例えば、船番、注文番号、図面番号、溶解番号、製作番号など)
- (2)注文主 (3)品名又は形式 (4)鋼種 (5)概略寸法図 (6)探傷時期 (7)探傷日 (8)探傷器名
- (9)探触子の形式・寸法・周波数 (10)軟質保護膜の有無 (11)探傷面の粗さ (12)接触媒質 (13)不感帯
- (14)探傷成績 (健全部の底面エコー高さ、欠陥の位置、分布、欠陥エコー高さなど)
- (15)探傷者名 (16)探傷責任者の所見及び署名

解 説

タービンローター軸は、高速回転状態で使用されるため、一般部品とはその応力分布が異なり、外表面から中心部まで、ほぼ同一レベルの応力を受ける。したがって、軸材の内部に存在する欠陥を検出することは、さらに重要な意義を持つことになる。このため、超音波探傷検査の方法は綿密さを要求され、欠陥に対する評価や合否の判定基準も厳しくなければならない。外国におけるローター軸の基準は、すでに定められたものが多数あり、日本では主として米国のものがよく知られている。本規定を作成するにあたり参考にしたこれらの基準を末尾に示した。

1. 適用範囲

この規定は、主機用タービンローター軸のほか補機用タービンローター軸にも適用することとする。

2. 探傷時期

探傷は、最終熱処理後の全域探傷が可能な比較的早い時期に行うことにした。しかし、調質効果の向上を計る目的で溝加工を行なった後に調質処理を行う場合があるが、この場合、上述のような調質後に探傷を行うこととすると、一般に、溝底からの探傷が不可能となると同時にディスク付根付近の欠陥の検出も困難となるので規定の後段に示すごとく溝加工前（調質前）で予め十分その部分を探傷し、次いで調質後、円周面のみを機械加工した状態で全域探傷を行うこととした。

なお、最終工程で加熱計測試験を行うものがあるが、この際の加熱は、機械加工による歪を除去するものであって、本質的に材料の諸性質に影響はないので、その前に試験を行うことはさしつかえない。

また、ディスクがテーバー状に機械加工されるものにあつては、その状態で探傷すると底面エコーが得られがたく、欠陥の大きさの推定もきわめて困難となるのでテーバー加工前に段削り加工などにより探傷面を平行にして探傷する必要がある。

3. 探傷面の状態

前述のように、ローター軸は高速回転体であり、応力分布上からも綿密な探傷を行う必要があると同時に、探傷結果のばらつきが少いことも要求される。このため、探傷面の仕上程度も各部分であまり大きな差があつてはならない。表面粗さを25S仕上としたのは、これより良い表面粗さにしてもあまり大きな効果が望めないからである。

4. 探傷要領

4.1 探傷範囲

探傷方向は、径方向のみとし、軸方向探傷は必要に応じて行うことにした。これは通常、欠陥はメタルフローの方向に鍛伸されており、軸方向探傷では検出しがたい理由によるものである。もちろん、径方向の欠陥も発生する可能性はあるが、これは主として偏折きずの場合であるから、径方向探傷に

よってその存在を十分に予測することが可能である。しかし、径方向の欠陥が検出された場合には、さらに軸方向の探傷を行う必要があることはいうまでもない。

4.2 探傷周波数

ローター軸の超音波探傷に通常使用されている周波数は、米国では General Electric Co. (以下 GE と略す) 及び、Westinghouse Electric Corporation (以下 WEC と略す) が 2.25 MHz を採用しており、船用タービンローター軸については、MIL-S-860 B (SHIPS) では 2.25 MHz を規定している。日本でもほとんど 2~3 MHz が使用されてきたことから、本規定では 2 MHz 又は 2.25 MHz と定めた。

振動子の直径は、「基本的な考え方」でも述べたように探傷結果に大きな影響を与えるので一定の大きさの振動子を使用しなければならない。このため規定では $\phi 24 \sim 28 \text{ mm}$ と定めた。

しかし、ローターの直径が小さく、使用する振動子径が大きい場合には、図 6.3 に示すように $\phi 1.6 \text{ mm}$ FBH が判定基準線 I よりも低くなる場合がある。このため、本規定では近距離音場 ($X_0 = \frac{D^2}{4\lambda}$) と中心又は中心孔までの距離 (A) において $0.25 \leq \frac{X_0}{A}$ の条件にて探傷することを推奨する。

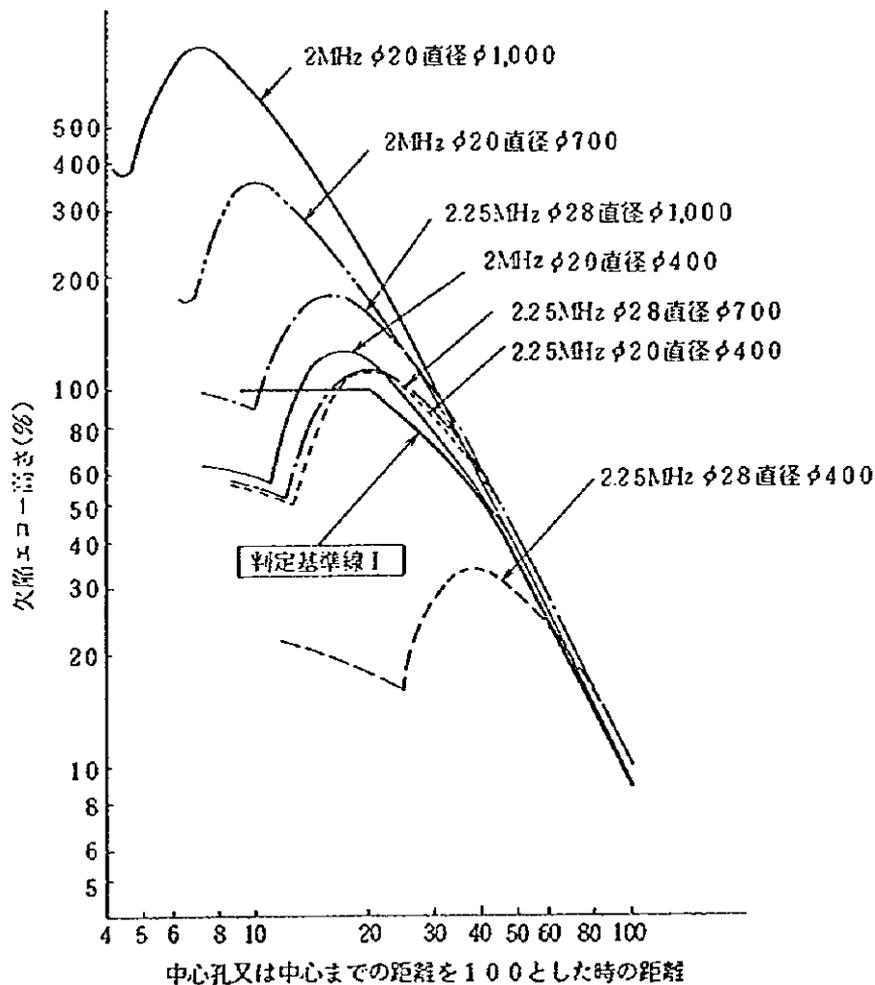


図 6.3 感度倍数(図 6.1)を用いた時の振動子の直径とロータ直径における $\phi 1.6 \text{ FBH}$ のエコー高さ

4.3 探傷感度

現在、ローター軸の探傷感度の調整方式には、底面エコー方式と、試験片方式との両方式が採用されており、いずれも一長一短がある。米国においてはGEが底面エコー方式を、WEC及びMIL Standardが試験片方式を採用している。

日本でも、GEとWECの両方の影響を受け、両方式が用いられてきている。

しかし最近になって、ローター軸の中心孔（あるいは中心）付近の小さい欠陥も検出し得る高感度探傷法が採用されるようになり、GEでは底面エコー方式で第1回底面エコー高さを予め定めた値に設定したのち、さらに、ローター軸の直径及び中心孔径に応じて、本文図6.1に示すような感度倍数を乗じた値に調整し、ローター軸の中心孔（又は中心）付近の欠陥検出能が、直径の大小に関係なく、ほぼ一定（ $\phi 1.6$ mmの平底孔からの欠陥エコー高さが、ほぼ10%）になるようにしている。またWECでは、試験片方式により、GEと同様に中心孔（あるいは中心）付近の $\phi 1.6$ mm平底穴からの欠陥エコー高さが、約6 mmになるような探傷感度を定めている。

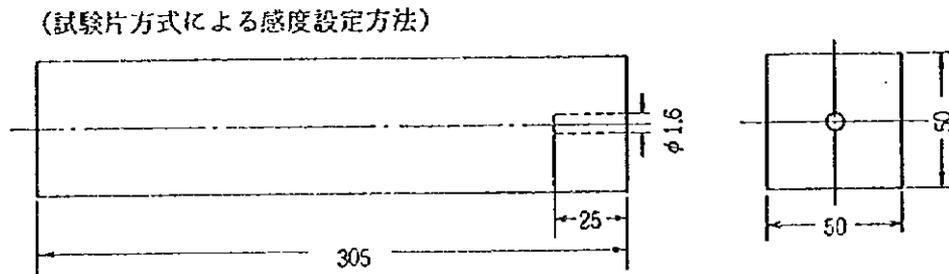


図 6.4 試験片の寸法 (単位：mm)

WECの探傷感度の求め方は、下記の式によってFの値を計算する。つぎに図6.4の試験片の $\phi 1.6$ mmの平底穴からのエコー高さを計算によって求めたFの値に合わせる。

$$F = 6 \times \alpha \times \left(\frac{T}{280} \right)^2$$

F：試験片の $\phi 1.6$ mm平底穴のエコー高さ (mm)

α ：曲率補正係数 (図6.5より求める)

T：探傷個所の肉厚 (mm)

上記の両感度方式による探傷感度を用いたとき、実際にローター軸の中心孔付近に存在する $\phi 1.6$ mm程度の平底穴からのエコーが、約10%又は約6 mmに現われることを試験材によって確認した。その結果は図6.6に示すように、両方式とも期待どおりの結果となり、また両方式による探傷感度は全く一致することが明らかになった。

この結果から、従来採用されてきた両方式を本規定では底面エコー方式とした。なお、ASTM A 418 (Ultrasonic Inspection of Turbine and Generator Steel Rotor Forgings)の1964年版では、底面エコー方式と試験片方式の両方式が規定されていたが、1977年版では底面エコー方式だけが規定されている。

本文図 6.1 “ローター軸の直径と感度倍数との関係”では、直径が 400 mm 以上の場合であって、400 mm 未満の場合は示されていないが、これは本規定はローター軸の胴部だけに適用するものであることを意味し、軸部は直径が小さくなり、作用応力が低いので、もっとゆるい基準で良いという考え方によるものである。なお直径が 400 mm 以下の場合、感度倍数のばらつきは図 6.3 に示すごとく近距離ほど大きくなる傾向にあるので、振動子直径、試験周波数ごとに計算をして感度倍数を求めるか、対比試験片を用いるか、いずれかの方法を採用することが望ましい。

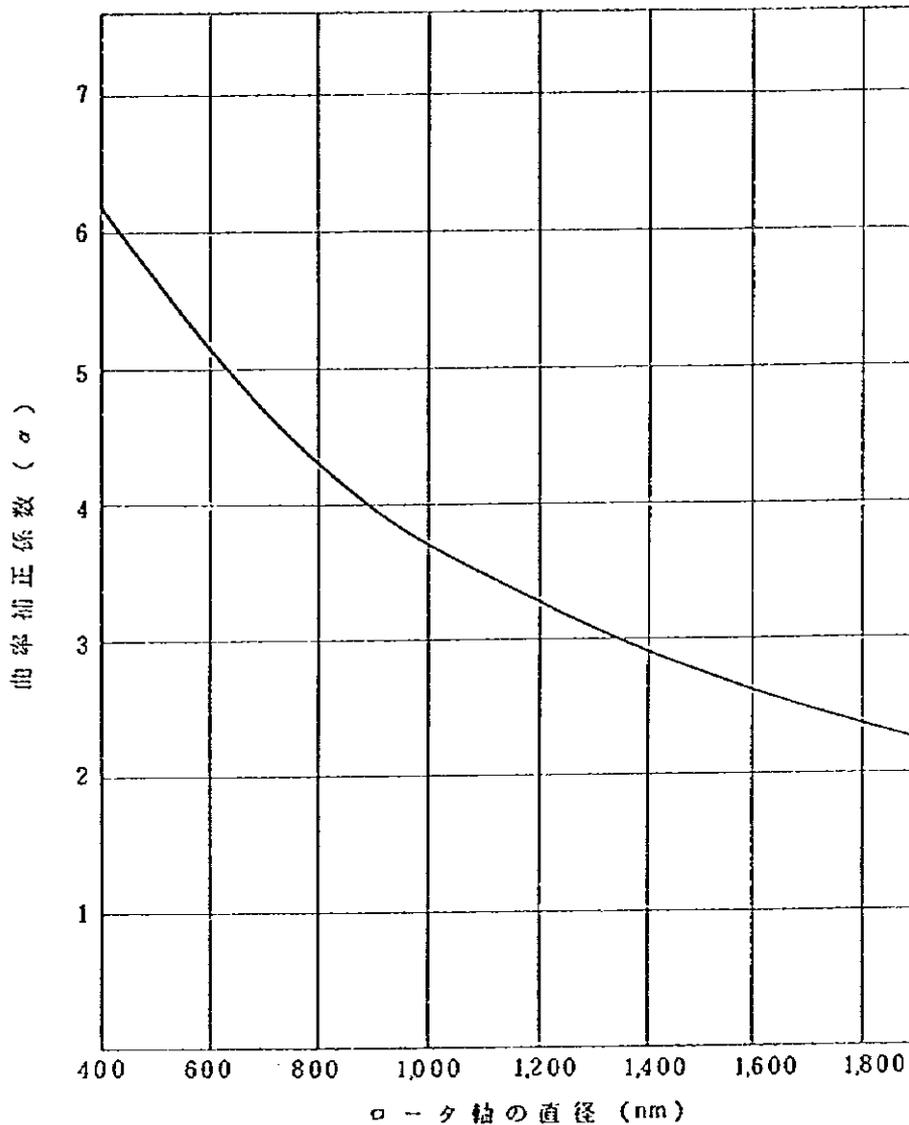


図 6.5 ローター軸の直径と曲率補正係数の関係

探傷条件

探傷器：UM721
 探触子：2.25Q28N及び2.25Z28N
 目盛板：100% = 7.5mm
 接触媒質：マシン油

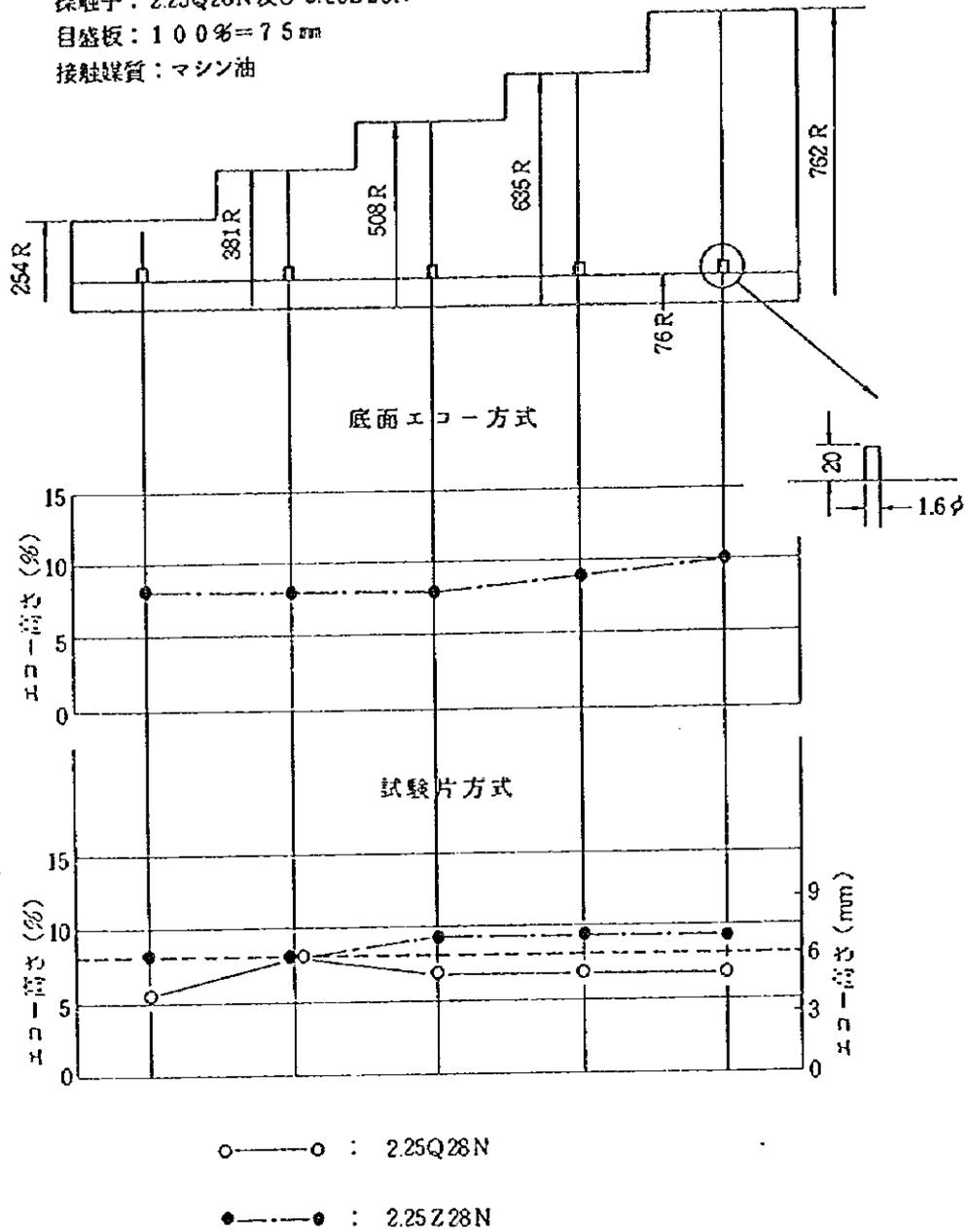


図 6.6 底面エコー方式及び試験片方式による探傷感度の確認試験

5. 欠陥エコーの分類

ローター軸に欠陥が発見され、その欠陥が破壊を起させる程度のものであるかどうかを評価する場合、一般には、その欠陥が単独欠陥であることを前提としている。しかし、実際のローター軸には狭い範囲に小さな欠陥が集合している密集欠陥がある。密集欠陥に対する評価は、単独欠陥とは別になされるべきであるが、その密集の程度を定量的に表現することが困難なため、通常は両者を特に区別して扱わない。しかしローター

軸の場合、単独欠陥よりむしろ密集欠陥を問題にすることがあるため、両者を分離して評価する必要がある。この場合、前述のように密集欠陥をどう定量化するかが問題であり、これの定義を明確にした規格や基準はほとんどなく、わづかに ASTM Standard に定義があるに過ぎない。即ち、ASTM A 388-80 Ultrasonic Examination of Heavy Steel Forgings で「スクリーン高さの 5% 以上の欠陥エコーが、2 インチ立方の体積の中に 5 個以上存在する場合、これを欠陥エコーの cluster という。」と定義され、また、ASTM A 418-64 Ultrasonic Testing and Inspection of Turbine and Generator Steel Rotor Forgings では「欠陥エコーの cluster：探触子をわづか移動したとき、時間軸の 2 インチ (51 mm) の部分の中にたくさんの欠陥エコーが同時に又は断続的に現われる状態」となっており、この場合、欠陥エコーの数は定められていない。

超音波探傷試験では、欠陥を直接目視できず、また、放射線透過試験のようにフィルム上に欠陥の形状、分布状態を写し出すものでもなく、あくまでブラウン管上の図形だけによって欠陥の存在を知るものであるから、検出された欠陥がローター軸内部にどんな分布状況で存在しているかを正確に知ることは極めて困難なことである。上述の ASTM A 388 による定義においても、「2 インチ立方の体積中に 5 個の欠陥エコー」を実際に、具体的にどう測定するかは非常に難しい問題である。この点では ASTM A 418 による定義の方がより具体的であるが、欠陥エコーの数の規定がないので、漠然としたものになっている。本規定ではこれら 2 つの定義を基にして、「時間軸上で鋼中距離 50 mm の間に 5 個以上の欠陥エコーがある場合」密集欠陥と定義することとした。この定義によって判定した代表的な図形を図 6.7 に示す。探傷距離の大きい場合、そのままの図形では欠陥エコーの数を測定するのは難しいので、掃引遅延を使用し、図形を部分拡大すると測定が容易になる。

このようにブラウン管の図形から単独欠陥か密集欠陥かを判断する場合、探傷器の遠距離分解能が大きな影響を及ぼすことを忘れてはならない。分解能の良くない場合には、欠陥エコーの数が少なく判断される場合があり、実際には密集欠陥と判定されるべきものが単独となることが考えられるので、探触子を含めた探傷器の遠距離分解能の管理はこの場合特に重要であり、探傷装置の性能規定に定められた B 級以上が守られなければならない。遠距離分解能に関する因子は数多いが、特に次の事項に注意する必要がある。

- (1) パルス幅 (送信エネルギー) を大きくすると分解能が悪くなるから、探傷感度の調整はパルス幅をできるだけ小さくする。
- (2) 振動子の大きさ、材質によって分解能が変化する。
- (3) 探触子は使用中にダンパーの接着が悪くなることもあり、この場合パルス幅が広くなり分解能を悪くする。
- (4) リジェクションは使用しない。

また、軸材の透過度が良くない場合はノイズレベルがかなり大きくなる。密集欠陥とみなす欠陥エコー高さは中心又は中心孔近くで 5% と小さく定められているため、このような場合は本文図 6.2 判定基準線図のなかの密集欠陥とみなす点線曲線はノイズレベルの高さによって修正されなければならない。

(a) 中心孔のない軸の欠陥図形
単独欠陥

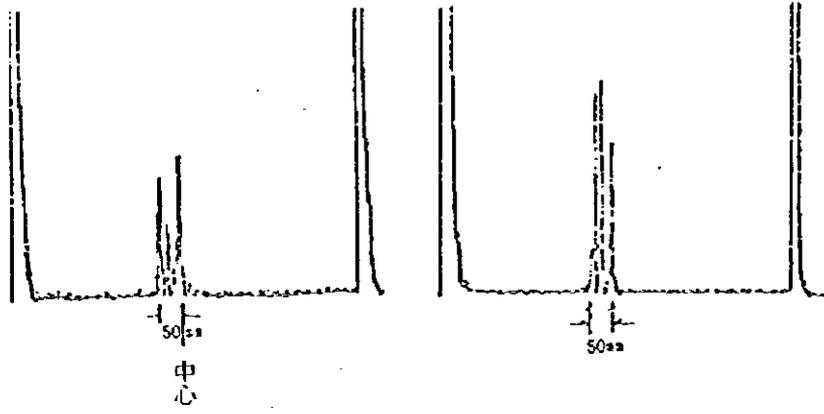
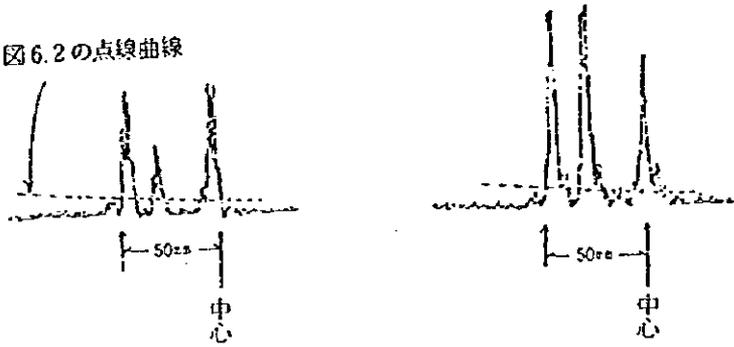


図 6.2 の点線曲線



密集欠陥

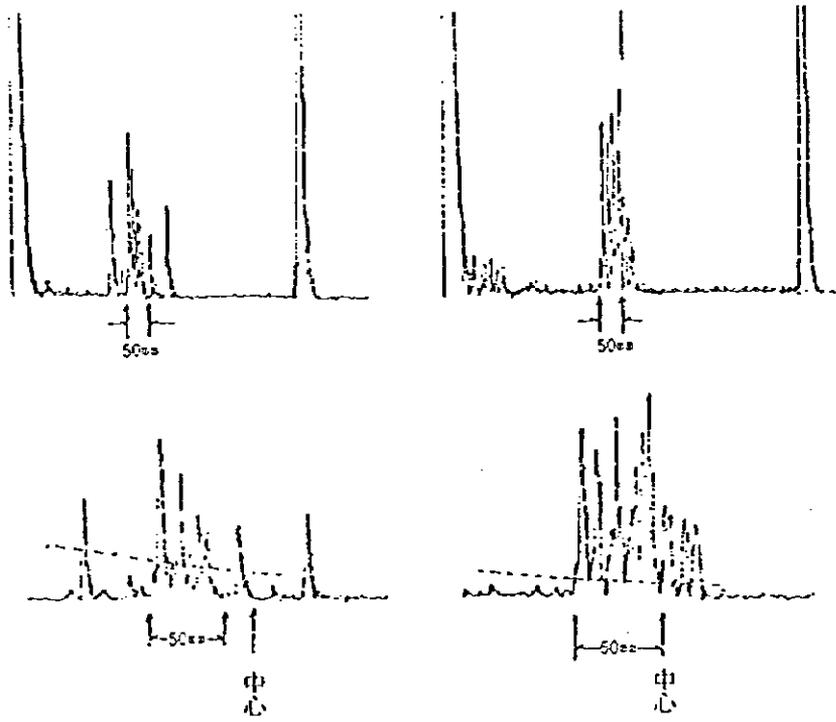
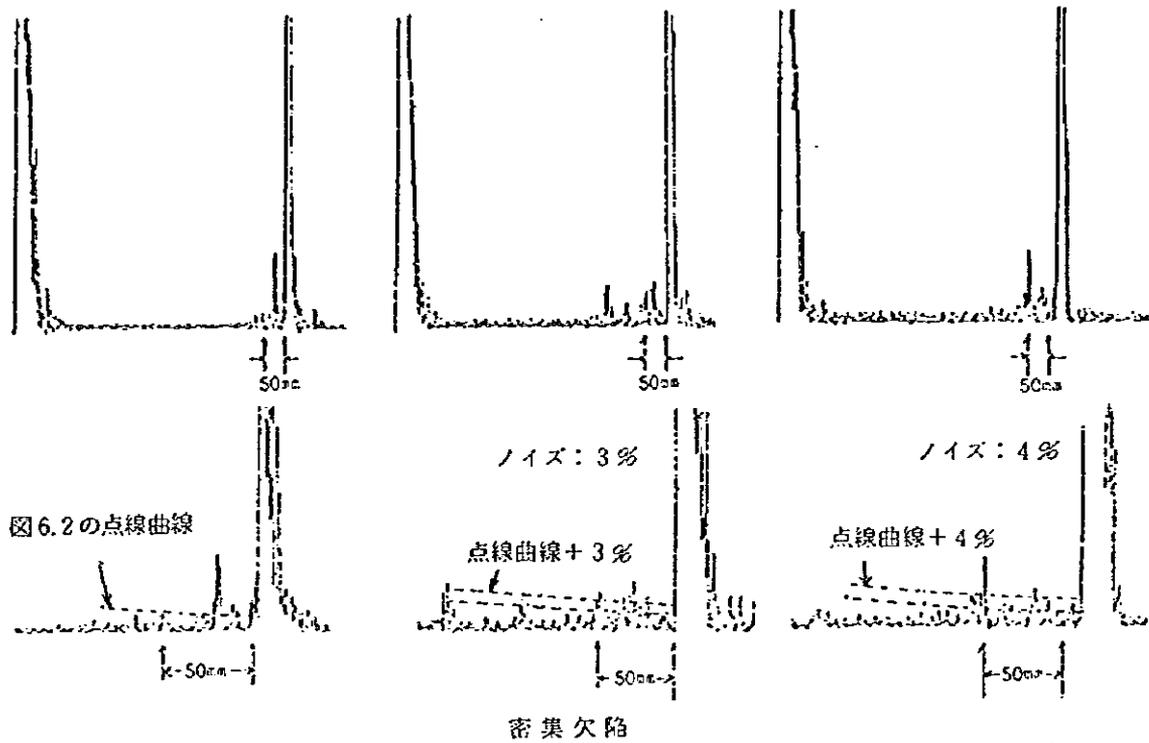


図 6.7 単独欠陥図形と密集欠陥図形の例

(b) 中心孔のある軸の欠陥図形
単独欠陥



密集欠陥

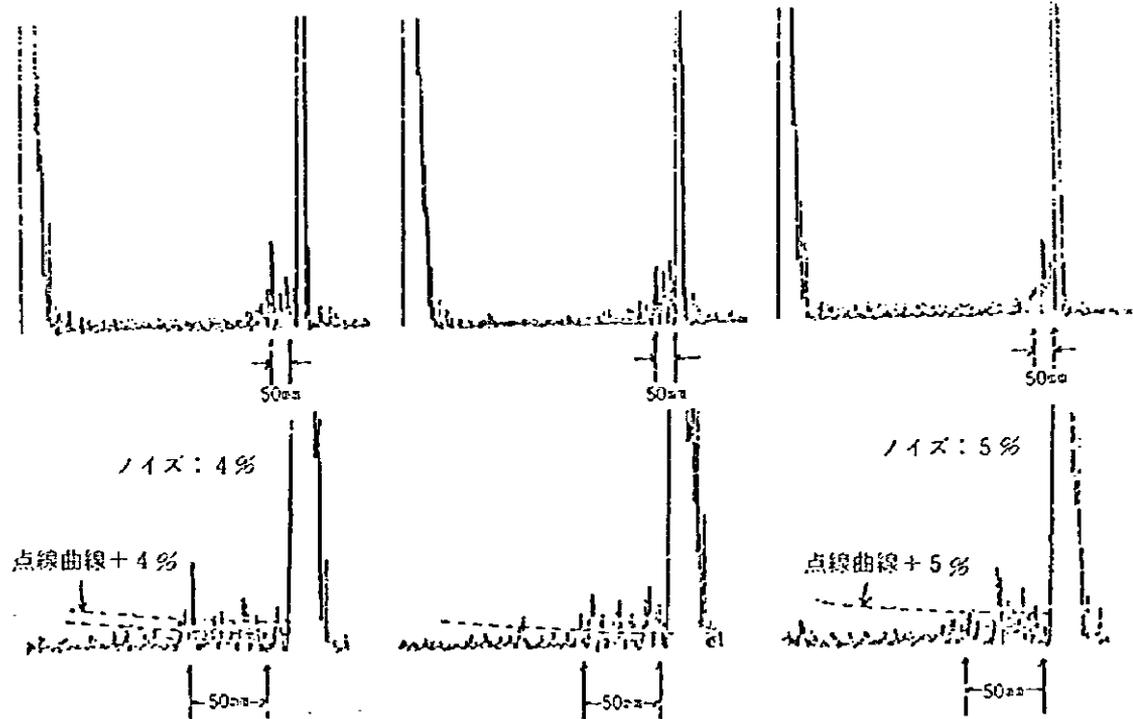


図 6.7 単独欠陥図形と密集欠陥図形の例 (つづき)

6. 欠陥の大きさの評価

超音波探傷試験によって発見された欠陥の実際の大きさを推定する場合、単に欠陥エコー高さだけでなく、他の多くの要因を考慮しなければならない。例えば、欠陥エコーが静止性か移動性か、単独か密集しているか、欠陥エコーの現われる表面上のひろがり及び底面エコーの減衰の程度などである。これらの要因と欠陥との関連を知るためには、欠陥材を切断するか、欠陥部分をコアで抜き取るかして実際の欠陥の性状、大きさ、密集度及び方向性などを明らかにしなければならない。こうした実例を数多く経験し、さらに、ローター軸の製造法などの十分な冶金学的な知識を持っていなければ正しい評価はできない。

一般に欠陥の大きさは、欠陥エコー高さ、欠陥エコーの探傷面からの距離などからその等価直径を求めて評価する方法が用いられる。等価直径の求め方には次の2つの方法があるが、これらはいずれも欠陥を超音波ビームに垂直に存在する円板と仮定してその直径を計算しており、実在する欠陥の大きさを示すものではない。

6.1 対比試験片による方法

対比試験片の平底穴のエコー高さ と 検出された欠陥エコー高さによって次の計算式を用いて等価直径を求める。

$$d = d_0 \sqrt{\frac{F}{F_0} \cdot \frac{X}{X_0}}$$

d : 検出されたエコーの等価直径 (mm)

d_0 : 対比平底穴の直径 (mm)

F : 検出された欠陥エコー高さ (mm 又は%)

F_0 : 対比平底穴のエコー高さ (mm 又は%)

X : 検出された欠陥エコーの探傷面からの距離 (mm)

X_0 : 対比平底穴の探傷面からの距離 (mm)

欠陥が探傷面近くにあり、距離 X が近距離音場内又はその近くの場合は上記の計算式はそのまま使うことができず適当な補正が必要になる。

6.2 底面エコー高さとの比による方法

この方法は、あらかじめ数値計算法によって作成された計算図表 (AVG ダイアグラム) などによって等価直径を求める方法で、欠陥エコー高さ と 底面エコー高さのデシベル (dB) 比及び欠陥までの距離と底面までの距離 (肉厚) とによって求める。

参考までに AVG ダイアグラムによる等価欠陥直径の求め方を図 6.8 に示す。

探触子 2 B24N を用い、底面エコー方式で、直径 600 mm の軸材を探傷したところ、距離 300 mm の位置に欠陥エコーが検出され、この時の F/Bg は -20dB であった。

以上の情報から、AVG ダイアグラムを用いて等価欠陥直径を求めるには、

- ① 軸材の直径が 600 mm であるから AVG ダイアグラム上に距離 600 mm と B_∞ との交点 P を求める。
- ② F/Bg が -20dB であるから、P 点から 20dB 下がった点 Q を求める。
- ③ 欠陥までの距離が 300 mm であるから Q 点を通る横軸との距離 300 mm との交点 R を求める。

R 点を通る df の値約 φ 5 mm が求めようとした等価欠陥直径である。

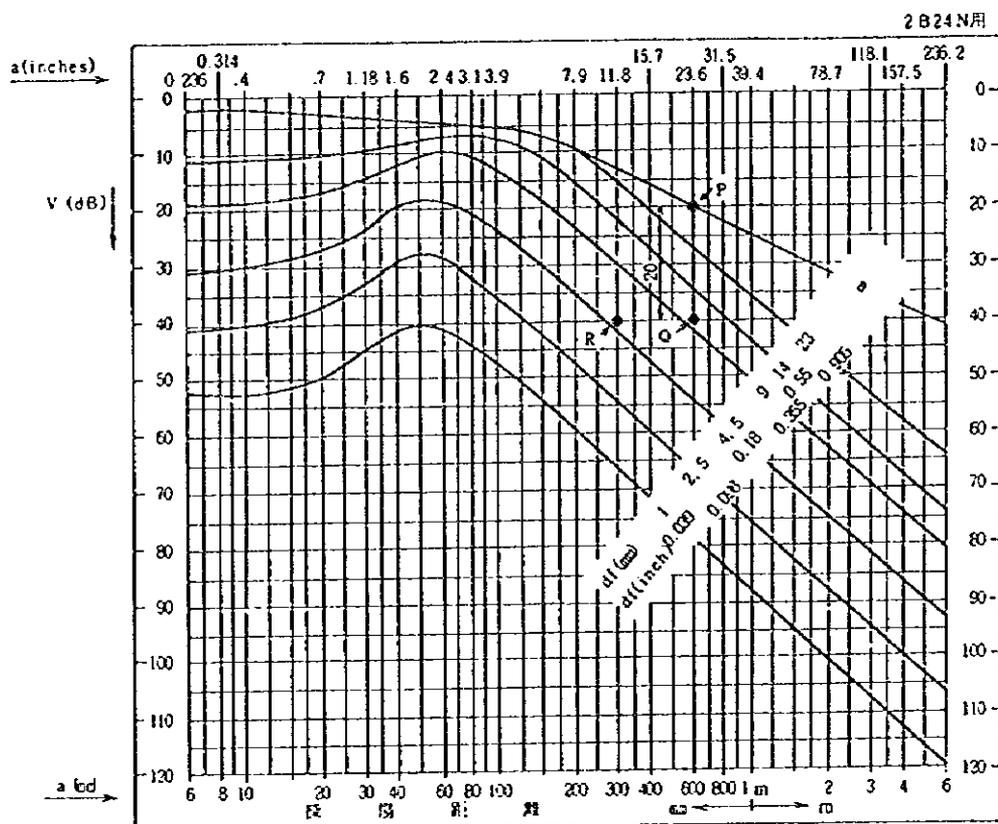


図 6.8 欠陥エコー高さや底面エコー高さとの比により AVG ダイアグラムを用いて等価欠陥直径を求める方法

7. 判定基準

高速回転体であるローター軸の破壊の原因は、欠陥、使用材料の特性及び作用応力などの関連によるものであるから、超音波探傷試験によって検出された欠陥が、不安定破壊の原因になるか否かは、欠陥の大きさ、分布状態、性状、材料の強度、不安定破壊に対する抵抗（破壊靱性）及び使用条件（応力、温度、起動停止の回数）などにより、正確な判断が要求される。

ローター軸内部に楕円形のき裂が存在し、これに垂直な引張り応力が作用する場合、不安定破壊を生ずる限界き裂の大きさは次式で表わされる。

$$a_{cr} = \frac{K_{Ic}^2 \cdot Q}{\pi \sigma^2} \dots\dots\dots (7.1)$$

a_{cr} : 限界き裂の半径 (mm)

σ : 作用応力 (kg/mm²)

K_{Ic} : 破壊靱性値 (kg・mm^{- $\frac{3}{2}$})

Q : 欠陥形状パラメータ

この計算式を適用する際、次のような重要な仮定があることを忘れてはならない。

- (1) すべての欠陥エコーはき裂とみなす
- (2) 超音波探傷試験で検出された内在欠陥を円板状き裂とみなす。
- (3) 作用応力はき裂に垂直方向の引張り応力とする。

ローター軸の中の欠陥は殆んどの場合、き裂性ではなく円板状でもなく、また応力の方向が常に欠陥に垂直ではない。したがって、これらの仮定は非常に大きな安全性をみているといえる。欠陥の形状比 ($A/2C$, A : 楕円の短径, C : 楕円の長径) は、超音波探傷試験で求められないので、通常は 0.1 ~ 0.5 の適当な値を使っているが、この値はあまり結果に影響しないので、0.5 (円形) を採用すると、欠陥形状パラメータ(Q)の値は図 6.9 から求めることができる。

破壊靱性値 (K_{Ic}) については、Brothers¹⁾ や Greenberg²⁾ などが Ni Cr Mo V 鋼及び Ni Mo V 鋼ローター軸についての実験値があり、その他 Cr Mo V 鋼についてもかなりの実験値が得られている。それらの実験値と T_e 温度 (試験温度 - FATT) との関係を図 6.10 に示す。

ローター軸の内部に存在するき裂は、タービンの起動、停止による繰返し応力によって成長するので、ローター軸材としては式 7.1 で与えられる限界き裂の大きさではなく、蒸気タービンの使用中に成長してその寿命の終わりに、ちょうどこの大きさに達するような初期限界寸法を考えるべきである。しかし、7.1 式を適用する場合、作用応力を十分高めに、破壊靱性値を十分控えめにとれば、計算の結果得られる限界欠陥の大きさは、実際のタービンローターの全寿命中に予想される応力振幅と応力繰返し数とによるき裂の成長を考慮に入れて求めた初期限界寸法より小さいのが普通である。したがって、超音波探傷結果の評価のためには式 7.1 を用いれば十分と考えられる。

非定常状態における中心孔近くの作用応力 (遠心応力、熱応力など) は、軸材の耐力近くまで達することが予測されるので、作用応力を材料の耐力 56kg/mm² にとり、FATT を +50°C、使用温度を 15

℃と仮定すると K_{Ic} の最低値は約 $170 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-\frac{3}{2}}$ で、式7.1から限界欠陥大きさは約 $\phi 13 \text{ mm}$ となる。

判定基準線図のIは $\phi 1.6 \text{ mm}$ の距離振幅特性曲線であり、IIは $\phi 3.0 \text{ mm}$ 距離振幅特性曲線になっている。したがって、判定基準は単独欠陥については等価直径 3 mm 以上の欠陥エコーがなければ合格となり、上記の試算例の限界欠陥大きさ $\phi 13 \text{ mm}$ に比較して約4倍の安全率を見ていることになる。等価直径が $\phi 3 \text{ mm}$ 以上の欠陥に対しては、そのローター軸の実際の耐力、FATT、使用温度、作用応力などから限界欠陥大きさを求め、これより小さい場合は合格とする。密集欠陥については判定基準線Iとしたが、これも十分な安全率を見込んでいる。即ち $\phi 1.6 \text{ mm}$ のき裂があり、これがローターの全寿命中に成長した場合、その最大の大きさは約 $\phi 3.0 \text{ mm}$ と考えられる(Cr Mo V 鋼の場合)。超音波探傷装置の分解能は非常に良い場合で、鋼中で 5 mm と考えられるので、欠陥と欠陥の間隔は 5 mm 以上離れていることになる。いま 1.6 mm の欠陥が 5 mm 間隔で2個あり、これらが成長して 3.0 mm になったとしても、この両者が連続することはない。

等価欠陥直径を求める場合に、軸材の減衰度が大きい場合、これを考慮しないと、欠陥大きさを過大に評価することになり、また欠陥が超音波ビームに対し直角でなく、傾斜していると過小評価することになるので、これらの場合には補正が必要になることを忘れてはならない。

(参考資料)

- 1) A. J. Brothers, D. L. Newhouse, B. M. Wundt :
Results of Bursting Tests of Alloy Steel Disks and Their Application to Design Against Brittle Fracture : ASTM 68th Annual Meeting (1965)
- 2) H. D. Greenberg, et al :
Critical Flaw Size for Brittle Fracture of Large Generator Forgings : Westinghouse : Westinghouse Research Laboratories Scientific Paper, 69 - 109 (1969)
- 3) JEAC 3202 - 1979
発電用蒸気タービンローター非破壊検査規定

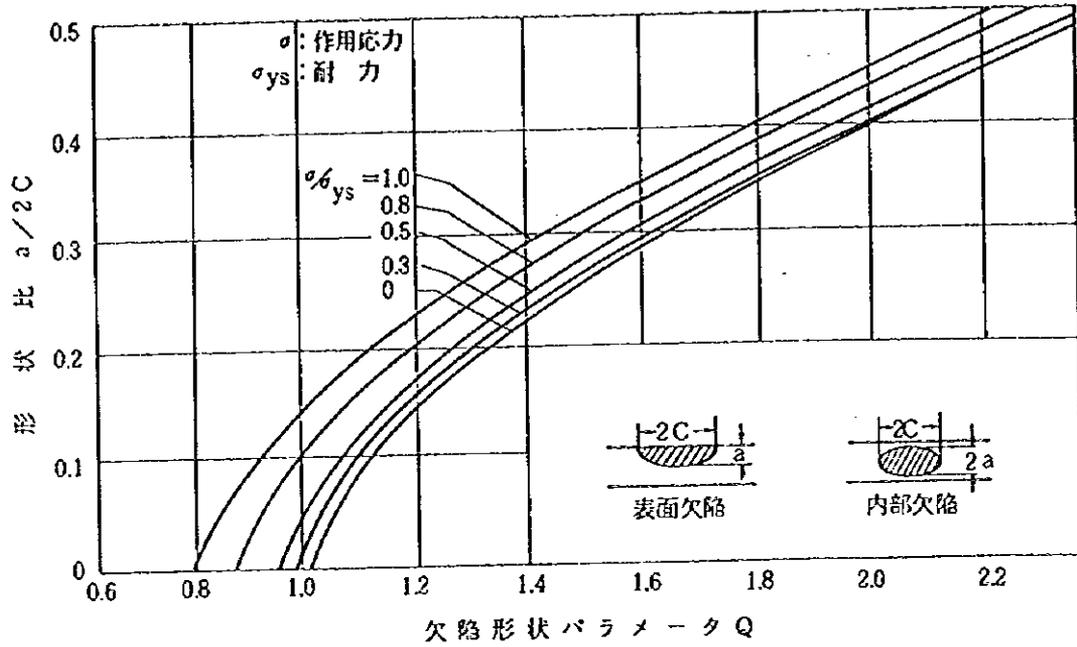


図 6.9 形状と欠陥形状パラメータの関係

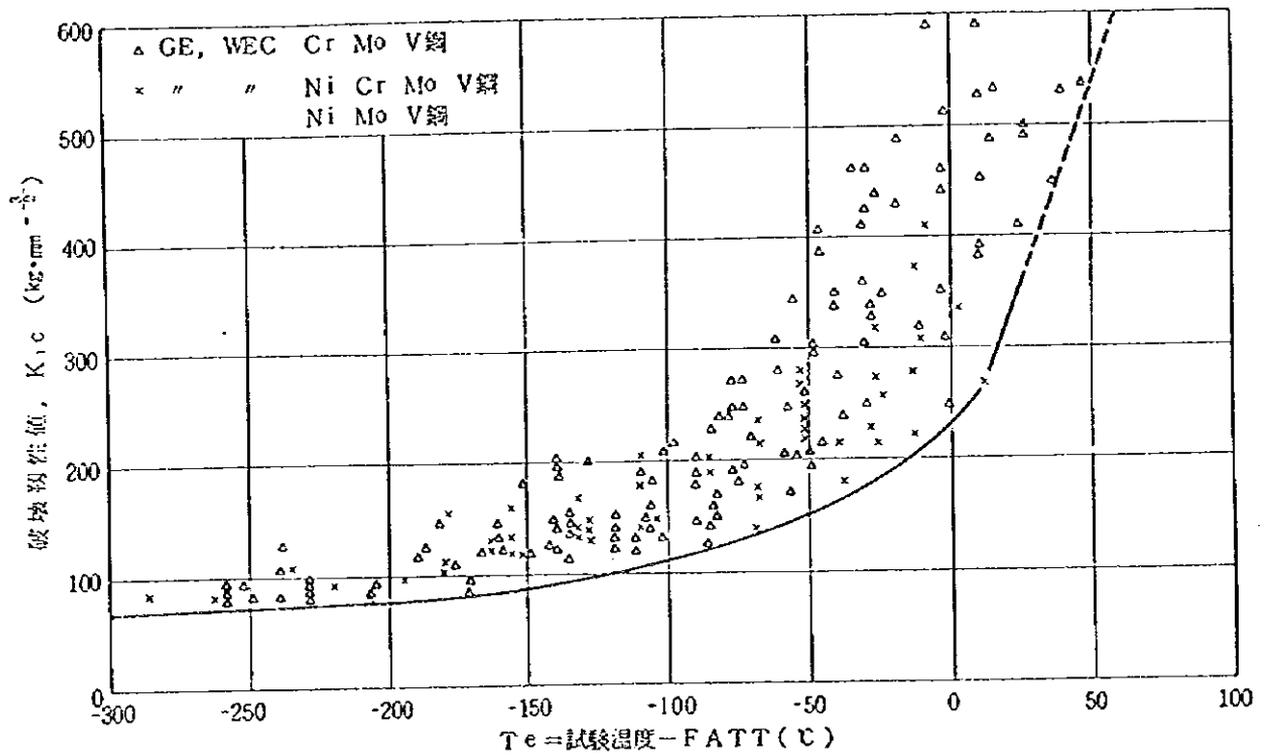


図 6.10 ローター軸材の破壊靱性値と T_e 温度の関係

参 考 資 料

欠陥面積の計算式（GEにおける例）

GEでは次のような計算式によって欠陥の面積を推定している。

計 算 式

$$S_c = S_{eq} \cdot \frac{A_1}{A_0} \cdot \frac{D_1^2}{D_0^2} \cdot C_\theta \cdot C_\alpha$$

S_c : 欠陥の面積 (mm)

S_{eq} : 基準底面反射の等価面積 (mm²)

図 1 から直接求める。

A_1 : 欠陥反射波の高さ (%)。 $F / B \times 100$ (%) で現わした値

A_0 : 基準底面反射波の高さ (%)。即ち 75 mm を 100 % とする。

D_1 : 欠陥までの距離 (mm)。ブラウン管上から求める。

D_0 : 底面又は中心孔までの距離 (mm)

C_θ : 欠陥の方向性による補正係数

図 3 の方法によって欠陥の角度を求め、図 2 から補正係数を求める。

C_α : 減衰による補正係数

1 MHz を用いる場合は 1.0 とする。

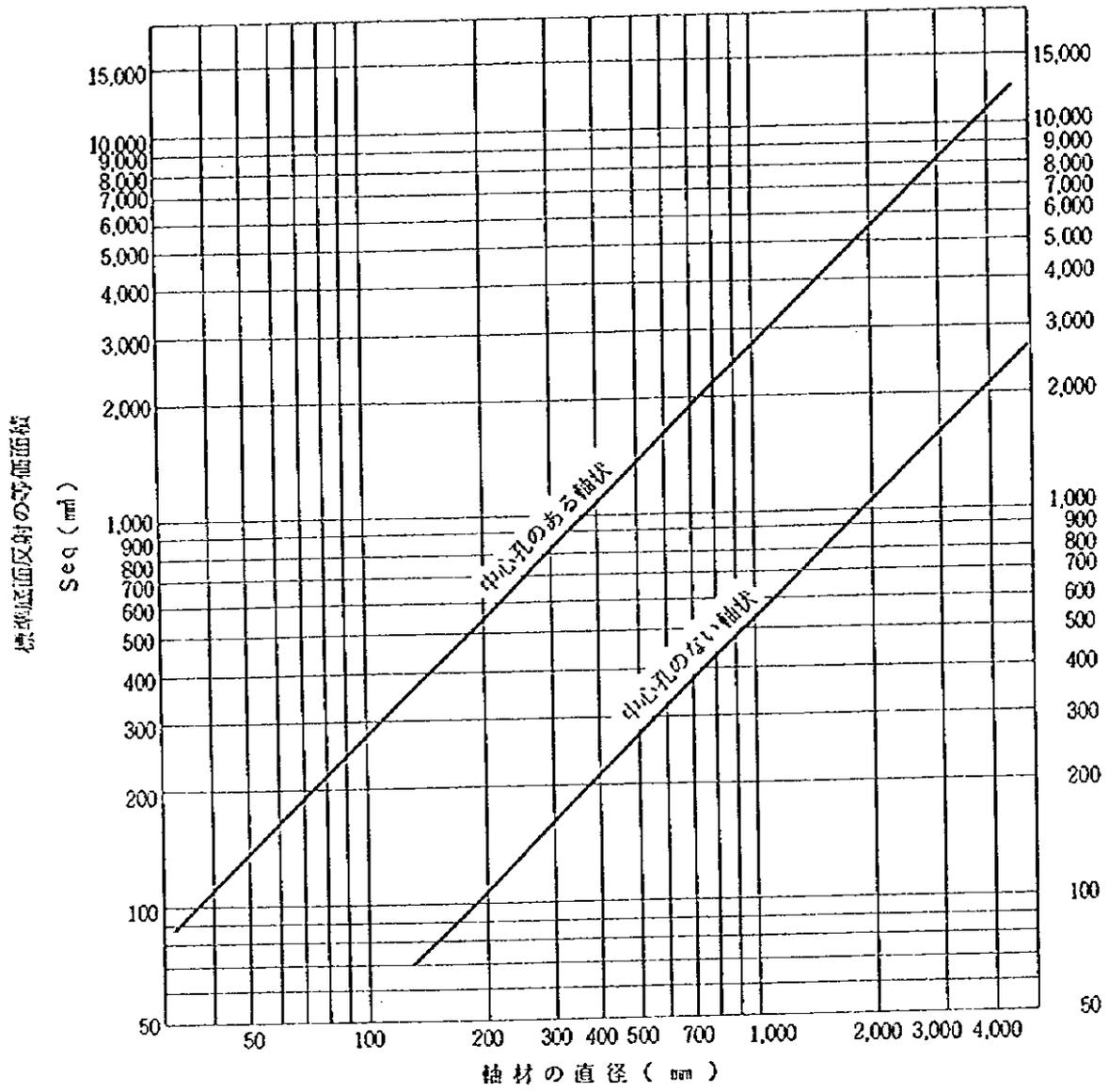


図1 標準底面反射の等価面積 (1 MHz の場合)

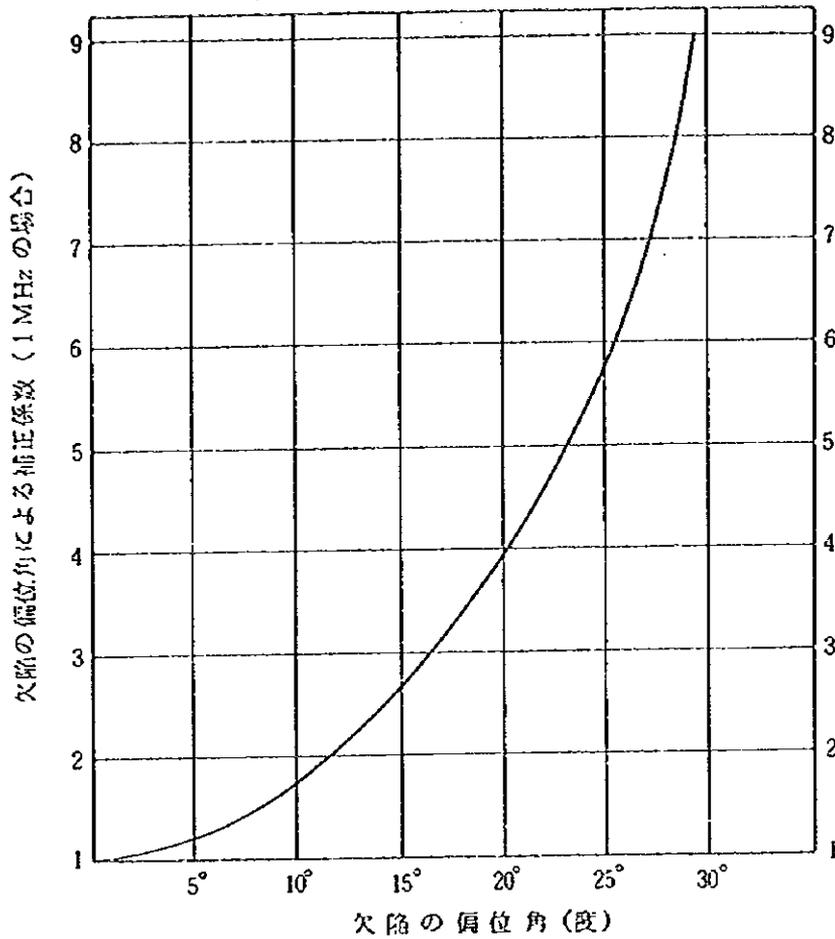
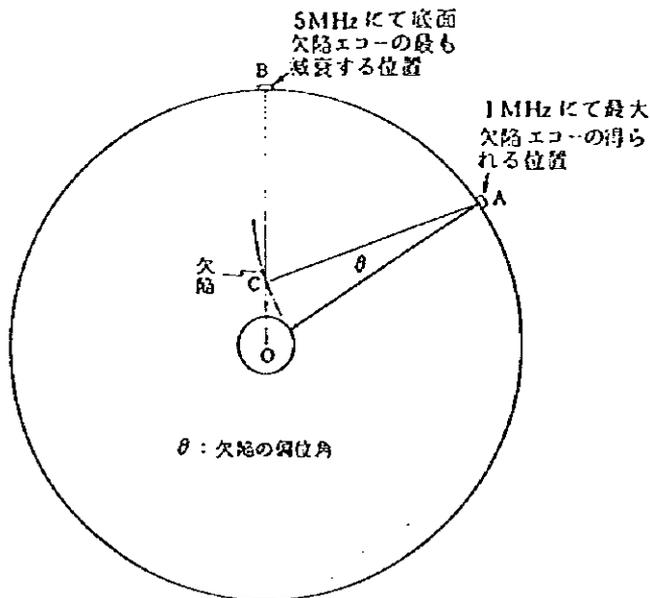


図2 欠陥の偏位角による補正係数 (1 MHz の場合)



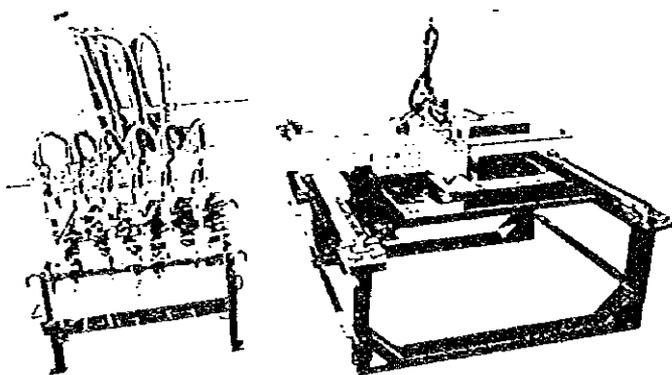
- (1) 1 MHzにて最大欠陥エコーの得られる探触子の位置Aを求める。
- (2) その時の探触子から欠陥までの距離をブラウン管上から求める。
- (3) 5 MHzにて底面エコーの最も減衰する探触子の位置Bを求める。
- (4) その点と中心(O)とを結ぶ。(欠陥はBO線上に存在する。)
- (5) A点を中心とし、(2)で求めた距離を半径とする円弧を画き、線分BOとの交点をCとする。(中心に近い側の交点をとる。)
- (6) A、Cを結び、A点を通る中心線とのなす角 θ を求める。

図3 欠陥の偏位角 (θ) を求める作図法

KT-530 GX | 515R | 518R | 520R

自動ガス形切断機

5'×10'鋼板の形切断が可能なレール延長機能を備えた530GXシリーズの本格的専用機です。



■ 附帯設備費が節減できる架台付コンパクト形に大形機の機能をプラスしました。

レール固定架台方式の長所に、5×10鋼板までの形切断ができるワイド機能を盛り込んだ、KT-530GXの姉妹機です。

■ レールは22kg/mの縦レール方式です。

2枚の鋼板を交互に切断処理する作業条件、また数台の切断機を同一レール上に稼働させるライン化にも対応することができます。

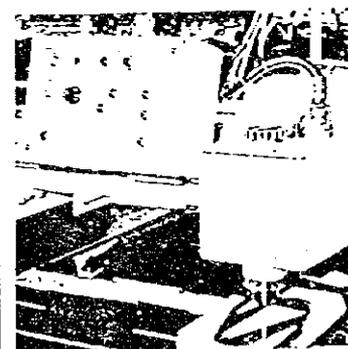
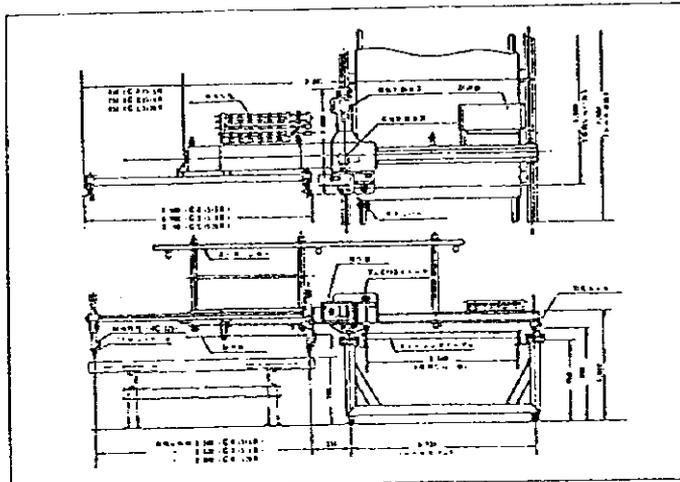
■ 安定した実績を誇るTLE-72XEは、ライン・エッチ両用のコオディネイトドライブ方式のトレーサです。

小光点矢印のスポットが特長で自動入射、脱線自動停止機能も備え、操作性の優れた自動化が施されています。

■ 自動点火の外にピアシング機能を備えています。

標準吹管数が多くなりますので、リモートコントロールによる点火と同時にピアシング動作が入ります。

■ 作業条件に応じられるオプションを用意しております。形切断機の使い勝手をより効率良く生かすためのご相談に応じております。



重量

機体	280 kg
レール架台	770 kg
トレーサ	5 kg

オプション

- 追加吹管最大本数 2本
- 断水装置
- 自動点火装置
- その他オプションはご相談に応じます。

標準仕様

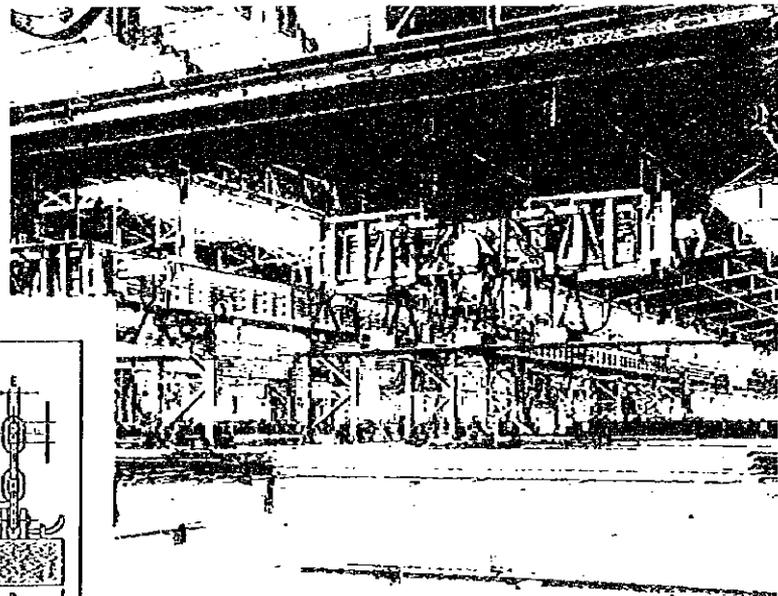
機種	1515R	1518R	1520R
有効切断巾	1,500mm	1,800mm	2,000mm
有効切断長	標準 3,700mm		
有効な範囲	1,500×1,500mm		
ならい速度	50~1,250mm/min		
ならい精度	±0.3mm		
切巾補正	±5.0mm		
切断板厚	標準 5~60mm		
標準吹管 HC-325	2本	4本	4本
使用火口	Sr3040G、3051(1,2,3)		
ピアシング装置			
使用電源	100/110V、50/60Hz		
トレーサ	TLE-72XEライン・エッチ両用		

標準構成

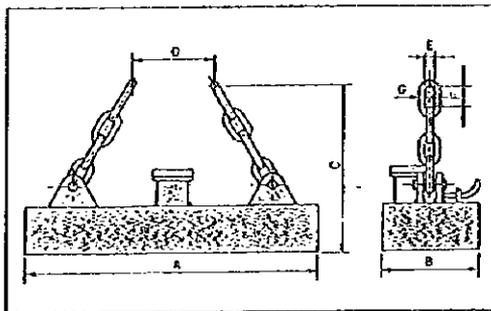
機械本体	1式
レール架台	4.8M
TXE-72XEトレーサ(アンプ付)	1式
ならい定盤	1台
吹管、火口	2組
供給ゴムホース類	1式
供給ケーブル類	1式
工具箱	1式

多枚数吊り用標準シリーズ(400シリーズ)

製鉄所の厚板工場や鋼板倉庫、および岸壁荷役設備などに最適なシリーズです。一度に数枚の鋼板を同時に運搬できます。しかも枚数制御性がすぐれているため、任意の所要枚数をハンドリングできる特長を持っています。



外形寸法図



標準仕様 (定格電圧DC220V/使用定格ED50%)

用途	常温用 (100°C以下)				高温用 (600°C以下)				
	LMKM-12040HA	LMKM-16040HA	LMKM-20040HA	LMKM-24040HA	LMKM-13042HAS	LMKM-17042HAS	LMKM-21042HAS	LMKM-25042HAS	
形式									
寸法	A	1200	1600	2000	2400	1260	1680	2100	2520
	B	400	400	400	400	420	420	420	420
	C	990	980	950	930	1030	1030	1010	980
	D (mm)	400	700	800	900	500	700	800	900
	E	110	110	110	110	110	110	110	110
	F	155	155	155	155	155	155	155	155
	G	32	32	32	32	32	32	32	32
消費電力(冷時)kW	3.0	3.2	5.0	6.0	2.4	3.7	4.0	4.6	
重量(冷時)kg	500	650	750	950	650	850	1050	1250	
鋼板厚さ別 運搬可能積	6 (mm)	3000	3400	3300	4200	3060	3480	3900	4320
	8 (mm)	3500	3900	4300	4700	3560	3980	4400	4820
	10 (mm)	3700	4100	4500	4900	3760	4180	4600	5020
	12 (mm)	4000	4400	4800	5200	4060	4480	4900	5320
	16 (mm)	4500	4900	5300	5700	4560	4980	5400	5820

運搬保証枚数の例

鋼板厚さ (mm)	1500 (mm)				2500 (mm)				4000 (mm)			
	LMKM-12040HA	LMKM-16040HA	LMKM-20040HA	LMKM-24040HA	12040	16040	20040	24040	12040	16040	20040	24040
6	6	7	7	7	3	6	6	7	-	-	-	5
8	5	5	5	5	3	4	5	5	-	-	3	4
10	4	5	5	5	3	4	4	5	-	2	3	4
12	4	5	5	5	2	4	4	4	-	2	3	4
16	3	3	3	3	2	3	3	3	1	2	2	2
20	3	3	3	3	2	2	3	3	1	2	2	2
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

(注) ● DC-220V 熱時電流における値です。 ● リフマグ1台当りの負担長さが3mの場合を示します。

ウエルクライマーF

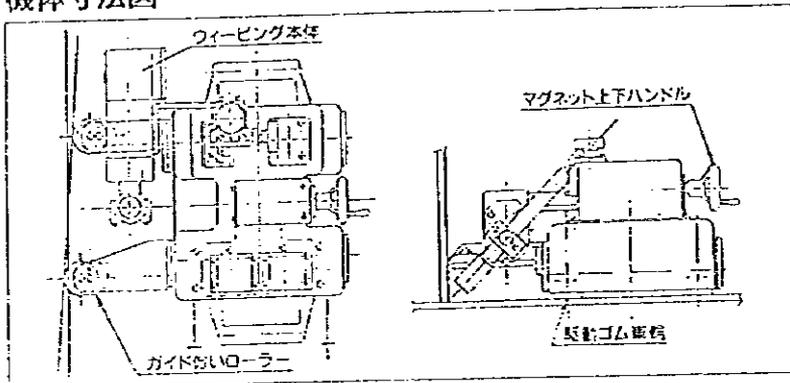
主な仕様

本体重量	約18kg
牽引力	壁面上下走行時 25kg
走行速度	100~1,200mm/min
駆動方式	左・右2モーター 4輪駆動
くい方式	ガイドローラー、固定式
走行姿勢	壁面垂直走行時：ガイドローラー横微い (壁面水平走行時：ガイドローラー下微)
トーチ調整範囲	上下調整 30mm 前後調整 30mm
操作ボックス	リモートコントロール方式
自動停止機能	標準装備、リミットスイッチ付
溶接電源	運動
一次電源	AC100V、50/60Hz
機体寸法	400(L)×410(W)×310(H)mm

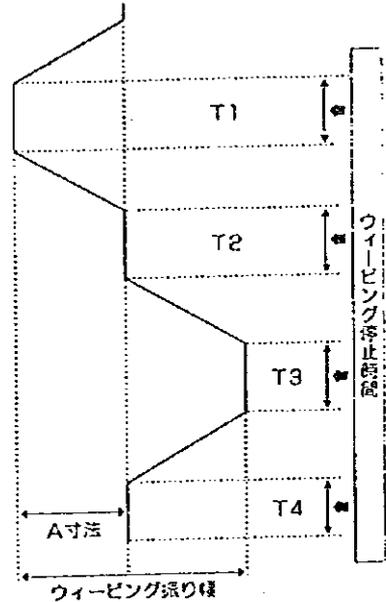
ウィーピング機能

径	幅	3~38mm
ウィーピング回数		1~200回
プログラム・パターン		4パターン
中心位置移動		ウィーピング中でも可
振幅変更		ウィーピング中でも可
中心位置確認		電源、ON時の位置、中心位置移動後記憶
運動機能		台車との運動可

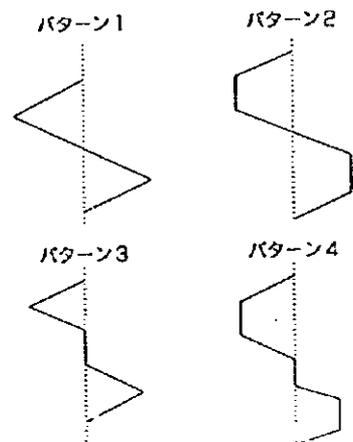
機体寸法図

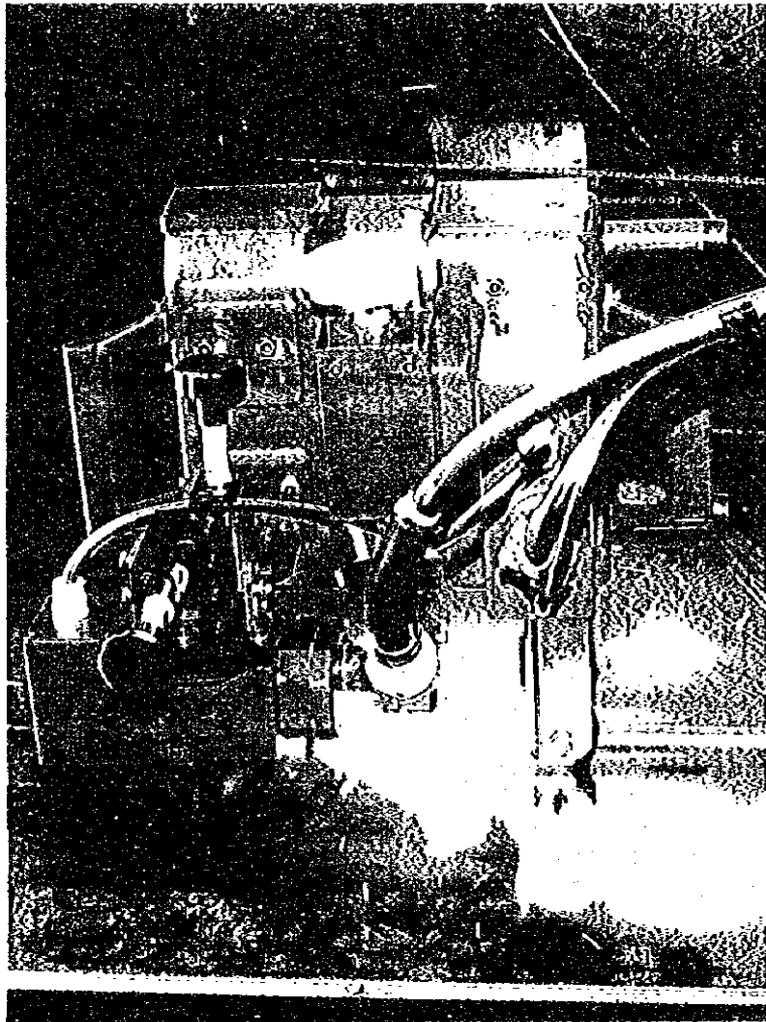


ウィーピング・プログラム



ウィーピング・プログラム・パターン

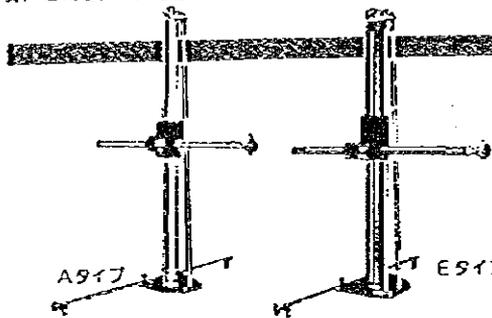




自動溶接機

Layout Machine

レイアウトマシンは片棒型の寸法測定、又はケガキ作業を行うユニークな装置として、数多くの実績を持つ世界に信頼される三次元測定機です。又、自動車業界を始めとする、機械、電機、造船、建設、その他各業界へ広く採用され、操作性、精度、信頼性、耐久性と共に工数の大幅短縮、省力化、品質管理面で高く評価され、内外で多くの納入実績を誇っています。



- 一度のセッティングで全ての面の測定及びケガキができます。
- 測定及びケガキ時間が大巾に短縮できます。
- 複雑な形状のワークも簡単にできます。
- 大物ワークなどは秒取り換えがないので安全性が向上します。
- 操作は非常に容易で熟練度は必要としません。
- デジタル装置が簡単に取付きます。

Aタイプ	H	W	寸法測定機
	測長範囲	1.000	1.000mm以内
Eタイプ	H	W	寸法測定機
	測長範囲	0.050	1.000mm以内

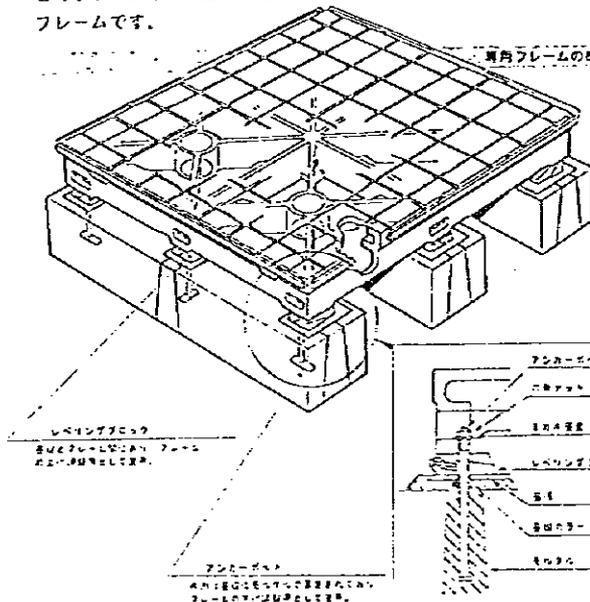
仕様

(単位:mm)

MODEL	A	B	C	D	D'	H	L	O	P	Q	R	S	W	重
48A	1220	840	230	100	1040	1920	172	245	87	190	360	1100	345	75kg
60A	1520	1170	230	50	1260	2175	190	305	87	250	420	1100	425	115kg
72A	1830	1170	230	90	1260	2475	190	305	87	250	420	1100	405	120kg
84A	2130	1210	430	235	1415	2840	240	430	125	330	610	1500	610	310kg
96A	2440	1210	430	295	1415	3240	240	430	125	330	610	1500	610	325kg
12E	1220	950	350	180	1130	1835	160	260	150	230	420	1120	425	145kg
15E	1500	1120	350	160	1300	2345	160	305	150	290	510	1430	495	195kg
20E	2000	1200	350	170	1370	2745	160	305	150	290	510	1500	495	205kg

Layout Frame

このフレームは片棒型で測定及びケガキ作業を行う、ユニークな装置として、数多くの実績を持つレイアウトマシンの専用フレームです。

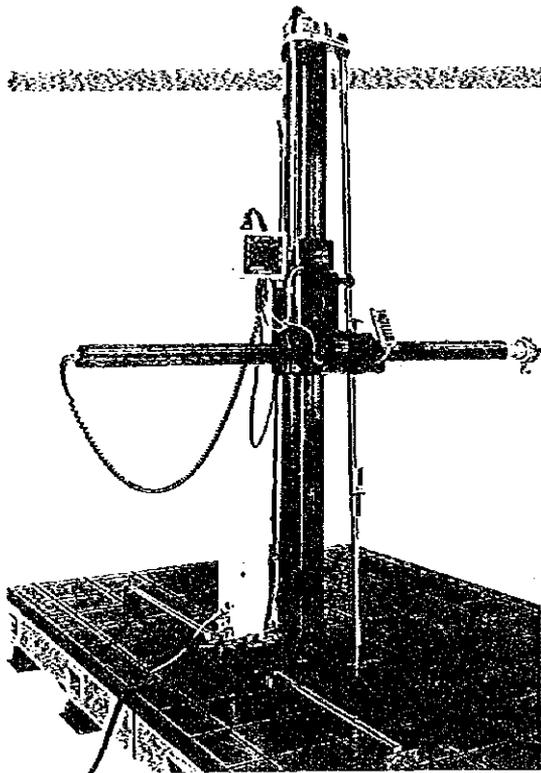


- アンカーボルト及びレベリングブロックによる特設式フレームですので、長時間に渡り、剛性維持が可能です。
- 減振鋼鉄を採用し、荷重に対してたわみを最小限にとどめる構造です。
- 減振膜にて、上面加工及び基準溝加工がされています。
- 基準溝を従って、ワークのセットやレイアウトマシンを移動した時のオフセットにも利用できます。

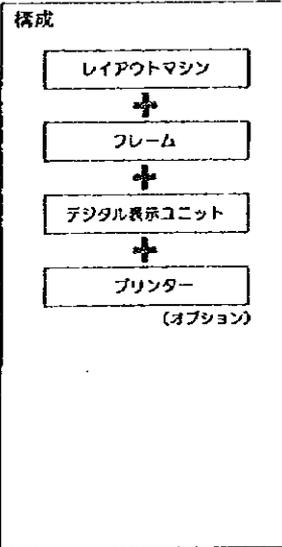
型式	2225	3225	4225
アンカーボルト2本数	8	12	12
レベリングブロック2本数	8	12	16
基準溝穴径	31/2φ	31/2φ	31/2φ
重	2.2t	3.0t	4.5t

このフレームは、二枚減振フレームの組合せによる構造になっています。減振鋼鉄のフレームに、減振膜が貼られています。

laymatic[®]-PRO system



レイアウトマシンの読み取りをデジタル読み取りしたもので、3軸現在値をそれぞれのカウンターに表示します。スケーリング機能、RS-232Cインターフェース1個子が標準付属されています。



主仕様

レイアウトマシン

単位: mm

項目 \ 機種	48A	60A	72A	84A	96A	12E	16E	20E
パーティカルストローク	1,220	1,520	1,830	2,130	2,440	1,250	1,600	2,000
水平ストローク	940	1,170	1,170	1,210	1,210	950	1,120	1,200
マシン全高	1,917	2,174	2,474	2,938	3,238	1,900	2,307	2,707
マシン重量	75kg	115kg	120kg	310kg	325kg	135kg	195kg	205kg
各軸精度	±0.16	±0.16	±0.16	±0.16	±0.16	±0.08	±0.08	±0.08

フレーム

単位: mm

項目 \ 機種	2225	3225	3325	4330
上面大きさ	2,000×2,000	3,000×2,000	3,000×3,000	4,000×3,000
厚さ	250	250	250	300
フレーム重量	2.2t	3.0t	4.5t	7.5t
上面の真直度	±0.05/1,000	±0.05/1,000	±0.05/1,000	±0.05/1,000
許容最大荷重	3t	3t	3t	3t

大型フレームは上記標準フレームの組合せとなります。

デジタルユニット

項目 \ 機種	laymatic-PRO	laymatic-α100-200-300-400
最小読取値	0.05mm	0.05mm
測定表示桁数	3軸6桁	3軸6桁及びシーケンスNo.3桁
読取応答速度	1,000mm/秒	1,000mm/秒
使用電源電圧	100V, AC ±10% 50/60Hz	100V, AC ±10% 50/60Hz

JICA