

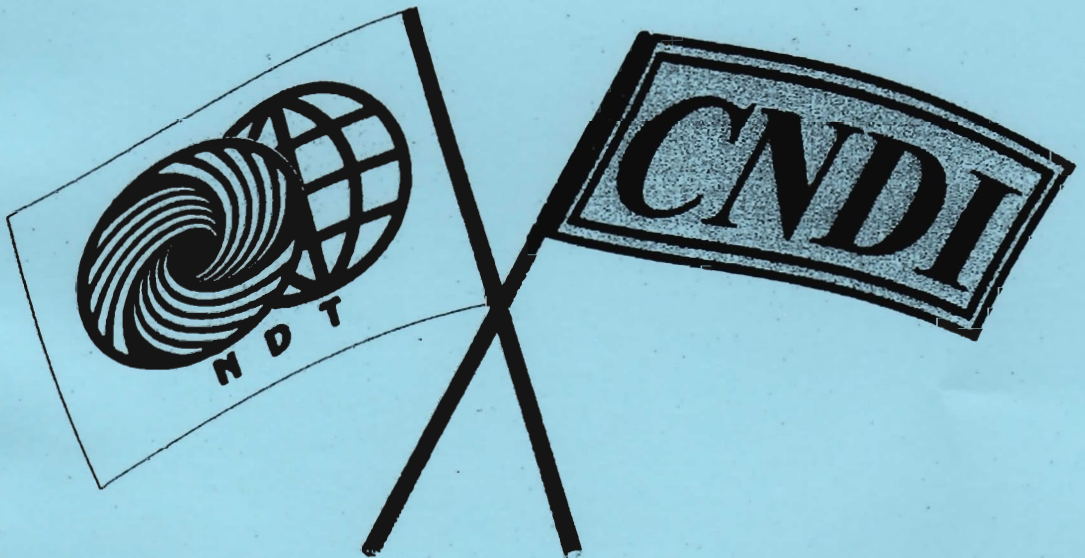
神奈川県非破壊試験技術交流会・千葉県非破壊検査研究会

第2回 合同研究発表会

第10回

神奈川県非破壊試験技術  
交流会・技術発表会

講演資料



神奈川 <http://www.kanagawa-ndt.jp/>

千葉 <http://www.cndi.jp/>

日時 平成18年2月10日(水) 13:00~16:50

## 目 次

### 発表会

1. 応力塗料膜（ストレスマークⅡ）のひずみ感度特性と応力測定 . . . . . 1  
 関東学院大学工学部 ○宮武 俊弘  
 TCM株式会社 長嶋 和雄
  2. 空気式超音波探傷のCFRPへの適用 . . . . . 15  
 独立行政法人宇宙航空研究開発機構 松嶋 正道  
 千葉県産業支援技術研究所 ○長瀬 尚樹
  3. ソフトプローブによる溶接部のキズ高さ測定の検討 . . . . . 17  
 ジャパンプローブ株式会社 ○高橋 雅和 , 高橋 修 , 星野 秀和
  4. CND I 活動のネットワーク化の紹介 . . . . . 23  
 JFE技研株式会社 高田 一
  5. 電磁気法を用いた連続板厚測定装置 SLOFCE SF400 の紹介 . . . . . 25  
 日本工業検査株式会社 鈴木 力雄
  6. CND I におけるTOFD共同研究事業の紹介 . . . . . 39  
 千葉県産業支援技術研究所 立川 克美
- 特別講演. 技術者の倫理 . . . . . 45  
 (社)日本機械学会工学教育センター長 大輪 武司

# 応力塗料膜(ストレスマークⅡ)のひずみ感度特性と応力測定

The Strain Characteristic and the Stress Measurement for the  
Brittle Lacquer Coating-STRESSMARKⅡ

関東学院大学 宮武 俊弘

Kanto Gakuin Univ. Toshihiro MIYATAKE

TCM 株式会社 長嶋 和雄

TCM Co, Ltd. Kazuo NAGASHIMA

## 1. はじめに

機械・構造物を構成する部材は、強度的役割を十分に果たさなければならぬ。よって、構成部材の強度設計は、非破壊試験の一つである実験応力・ひずみ解析が実施され、安全・安心について十分に検討されることが必要である。応力・ひずみ測定法は、全面測定型と点測定型とに大別され、本研究では全面測定型の応力塗料膜法に着目している。塗料膜法は、主応力に対して垂直にき裂が発生し、そのき裂の発生状況から高応力箇所、主応力方向、主応力分布等が明らかにされる大きな特徴を持っている。

自然乾燥型の応力塗料に関する現在までの製品の動向は、CRUX (I社製)が国内で最初に開発された。この時、噴射剤に使用していたフロンガスが、温暖化やオゾン層の破壊に関係することが明らかとなり、また溶剤に使用したトリクロロエチレンが発癌性の関係から使用制限を受け、クラックスは製造・販売を中止した。これを受けて、応力塗料 STRESSMAP (M社製)が製造・販売された。この塗料は、噴射剤にジメチルエーテルを、溶剤に可燃性ではあるがトルエンを使用した。しかしながら、会社の営業方針から、製造・販売がここでも中止となった。次に、ストレスマップと同じ成分である STRESSMARK (N社製)が製造されたが、塗料膜の特性に多少の問題があった。今般、S社から新応力塗料(応力解析塗料)STRESSMARKⅡが製造され、O社から販売されることになった。

以上の背景から、ここでは新応力塗料(ストレスマークⅡ)のひずみ感度に関する特性について、利用者・使用者の立場から明らかにすると同時に、実験技術の紹介を主たる目的とした。特性については、①乾燥時間とひずみ感度との関係、②膜厚とひずみ感度との関係、③空冷増感効果、④負荷時間特性、⑤下塗塗料がひずみ感度に及ぼす影響等である。さらに、応力塗料膜法による応力測定を行なった結果として、その実験例を示した。

## 2. ひずみ感度の測定および

### 試験片形状

#### 2-1. 試験片の形状および測定法

応力塗料膜法は、き裂発生ひずみ値(ひずみ感度)が実験の成功に大きく影響する。ひずみ感度の測定は、図1で示す片持ちはり方式を採用する。試験片の材質はステンレス鋼

(SUS)で、あらさは塗料膜の密着性から約  $20\mu\text{m Rz}$  に加工した。形状は、全長  $L=305\text{mm}$ 、高さ  $h=2\text{mm}$ 、幅  $b=35\text{mm}$ 、はりの有効長さ  $\ell=250\text{mm}$ 、負荷としてはたわみ量( $\delta=29.3\text{mm}$ )を作用させた。そして、負荷点からの長さ  $\ell_0$  を測定し、図中の式を使用してひずみ感度  $\varepsilon$  を求めた。

#### 2-2. 実験手順

図2には、応力塗料膜法に関する実験手順を示した。まず初めに、乾燥条件(温度・湿度)に適合する応力塗料の選定を行った。次に、試験体および感度検定試験片の表面前処理として、十分に脱脂・洗浄を行った。そして、下塗塗料を膜厚  $t_u=0.01\sim 0.02\text{mm}$  に塗布し、室温で3hr以上乾燥させた。その後、応力塗料である上塗塗料を通常膜厚  $t_s=0.12\sim 0.13\text{mm}$  に塗布し、所定の温湿度条件の中で自然乾燥させた。この膜厚については、き裂の観察などから判断して、適当な厚さであると考えている。乾燥過程終了後、ひずみ感度検定器に取り付け、負荷(たわみ量)を作用させた。その後、き裂の検出・記録ならびに応力・ひずみ解析を行う。なお、この時の負荷は、塗料膜の粘弾性特性から判断して、通常は約4sec以内で行っている。また、本実験では、塗料膜の乾燥室として恒温恒湿室とを使用した。

#### 2-3. 応力塗料

図3は、実験対象としている新応力塗料ストレスマークIIである。我国の気温は、四季があるため、自然乾燥型の塗料としては乾燥温度を十分に考慮

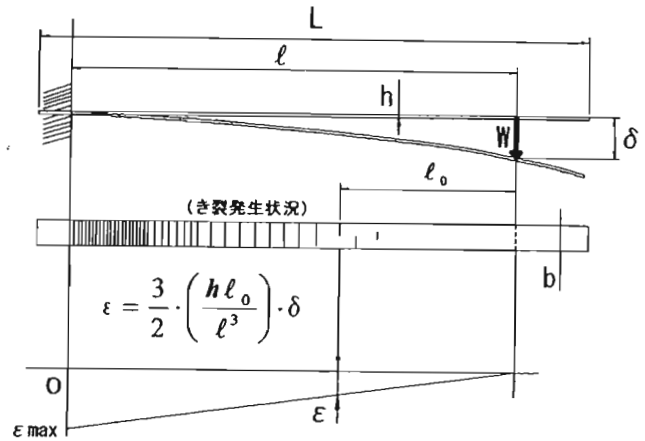


図1. ひずみ感度の測定

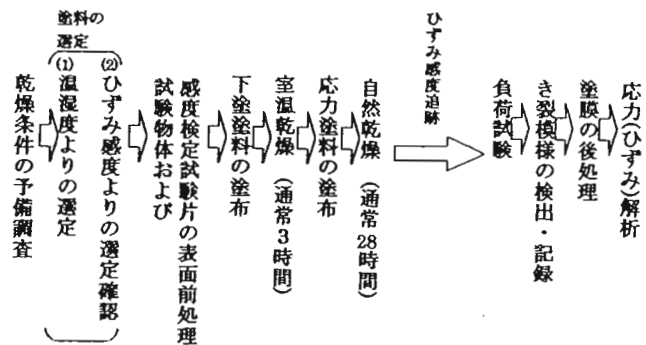


図2. 実験手順



する必要がある。よって、乾燥温度・湿度条件に対応できる応力塗料が開発された。ここで、対象とする製品は、ST-15, ST-20, ST-25 であり、塗料は乾燥温度によって区別され、数字は最適乾燥温度を示している。また、ST-UC は下塗塗料である。

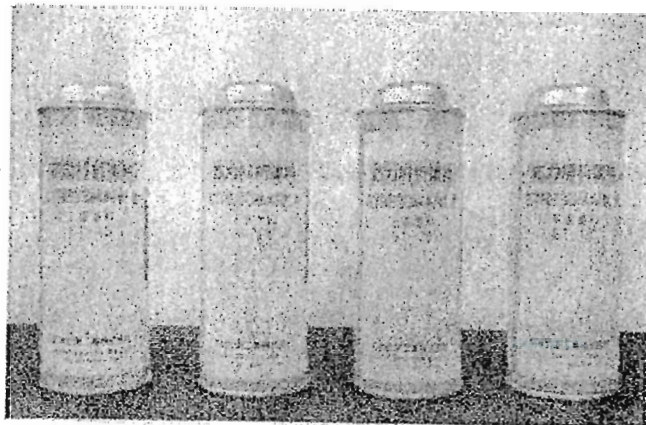


図3. 新応力塗料ストレスマークII

### 3. き裂の発生状況

図4は、き裂発生状況の一例(乾燥時間とひずみ感度との関係に注目した場合)である。No.1の試験片は乾燥時間  $H_D = 18\text{hr}$ , No.2は  $H_D = 20\text{hr}$ , No.3は  $H_D = 22\text{hr}$  の状況であり、またNo.8は  $H_D = 32\text{hr}$  の状況である。ここで明らかのように、新応力塗料ストレスマークIIは、良好なひずみ感度を示すと同時に、焼き割れが発生しやすいことが示された。よって、実際には多少の注意が必要であると思われる。

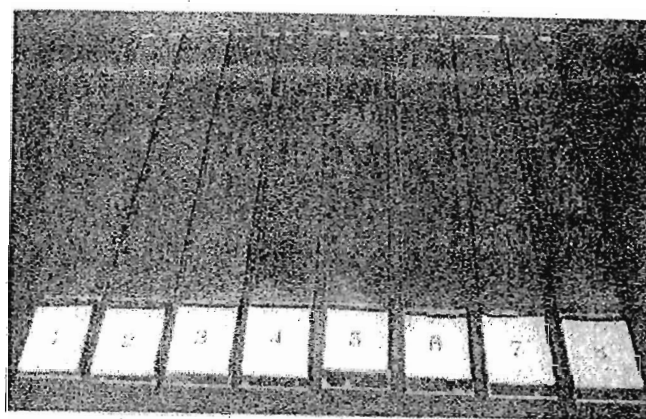


図4. き裂の発生状況

### 4. 塗料膜のひずみ感度特性

#### 4-1. 最適乾燥時間

塗料膜のき裂発生状況から、乾燥時間  $H_D$  とひずみ感度  $\epsilon$  との関係として整理し、最適乾燥時間について明らかにした。なお、ここでは新応力塗料ストレスマークIIとの比較として、ストレスマークおよびクラックスの結果をも示した。

まず初めに、図5は、ST-15 (15度用) の場合である。この時の膜厚は、マークIIが上塗塗料  $t_s \approx 0.12\text{mm}$ , 下塗塗料  $t_u \approx 0.02\text{mm}$ , マークが上塗塗料

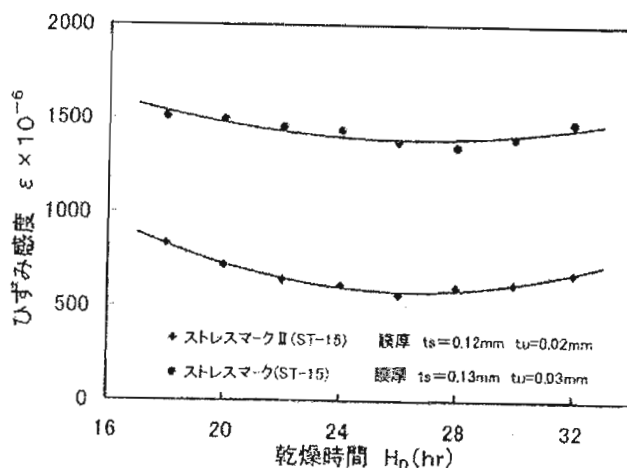


図5.  $H_D$  と  $\epsilon$  との関係 (ST-15)

$t_s \doteq 0.13\text{mm}$ , 下塗塗料  $t_u \doteq 0.03\text{mm}$  である. そして, ひずみ感度が最も良い乾燥時間について, マークIIは  $H_D \doteq 26\text{hr}$  のときひずみ感度  $\varepsilon \doteq 500 \times 10^{-6}$ , マークは,  $H_D \doteq 26\text{hr}$  のとき  $\varepsilon \doteq 1400 \times 10^{-6}$  を示した. この二つの塗料を比較した場合, マークIIが良好な結果を示していることが明らかとなった.

次に, 図6はST-20 (20度用)の結果である. ここでも, マークIIは  $H_D \doteq 26\text{hr}$  のとき  $\varepsilon \doteq 550 \times 10^{-6}$ , マークは  $H_D \doteq 28\text{hr}$  のとき  $\varepsilon \doteq 1400 \times 10^{-6}$ , またクラックスでは  $H_D \doteq 28\text{hr}$  のとき  $\varepsilon \doteq 800 \times 10^{-6}$  の結果を示した. 三種類の塗料を比較した場合, ここでもマークIIが最も良好な結果を示した. なお, 膜厚については, ほぼ一定で実験を行っている.

#### 4-2. 上塗塗料の膜厚がひずみ感度に及ぼす影響

応力塗料膜のひずみ感度は, 膜厚  $t_s$  に大きく影響されることが考えられる. 通常の場合, 膜厚はき裂の観察とひずみ感度から判断して,  $t_s = 0.12 \sim 0.13\text{mm}$  程度で実施されている. ここでは, 下塗塗料の膜厚  $t_u \doteq$  一定とし, 上塗塗料の膜厚  $t_s$  とひずみ感度  $\varepsilon$  との関係について注目した. 図7はその結果を示した.

まず始めに, ST-15 については, 膜厚  $t_s \doteq 0.15\text{mm}$  の場合で, 乾燥時間

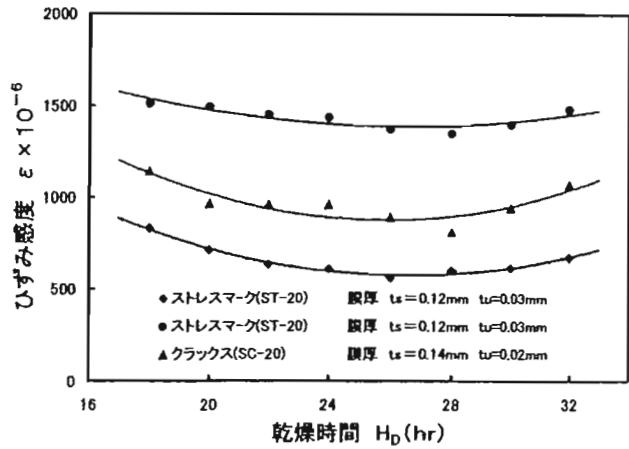


図6.  $H_D$ と $\varepsilon$ との関係(ST-20)

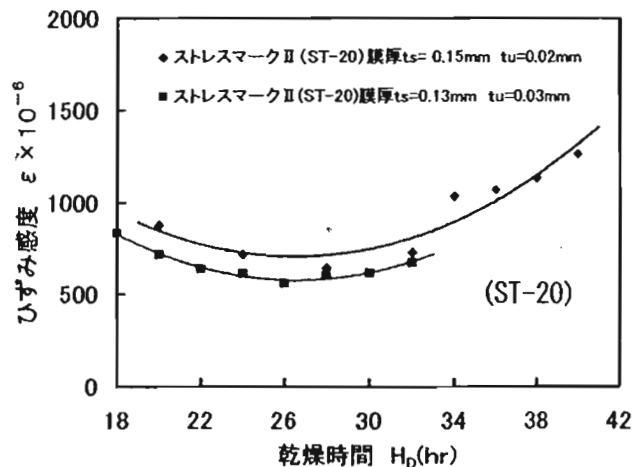
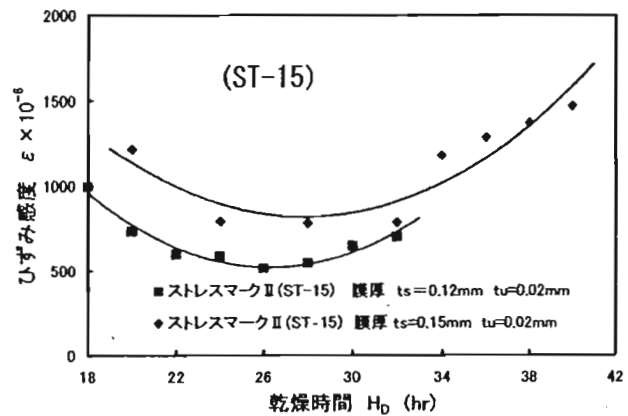


図7. 膜厚  $t_s$  が及ぼす影響

$H_D = 28 \sim 30 \text{hr}$  のとき  $\epsilon \approx 800 \times 10^{-6}$ , また  $t_s \approx 0.12 \text{mm}$  の場合で,  $H_D = 26 \text{hr}$  のとき  $\epsilon \approx 500 \times 10^{-6}$  を示した.

次に, ST-20 については, 膜厚の差が小さいことから, 大きな差を示さないほぼ同等の結果となった. 以上の結果から, 最適乾燥時間は,  $t_s \approx 0.13 \text{mm}$  のとき,  $H_D \approx 28 \text{hr}$  である. また, 膜厚が薄い時, 塗料膜のひずみ感度は良好な結果を示すが, き裂の観察に関しては困難である.

#### 4-3. 冷却(空冷)増感効果

応力塗料の主成分は, 樹脂(アビエチン酸およびカルシウムアビエテート)である. 冷却すると収縮することから, 冷却増感法が考えられる. よって, ここでは空冷法による増感効果に注目して実験を試みた. その結果を図8に示した.

応力塗料 ST-15 の場合は, 乾燥室との温度差  $\Delta t = 5^\circ\text{C}$  の場所で負荷した結果である. 特性値に大きな差を認めるこ

とになった. ストレスマークの場合は,  $H_c = 0$  で  $\epsilon \approx 1350 \times 10^{-6}$  のとき,  $H_c \approx 7 \text{min}$  冷却することにより  $\epsilon \approx 1000 \times 10^{-6}$  となった. これに対して, ストレスマーク II は,  $H_c = 0$  で  $\epsilon \approx 870 \times 10^{-6}$  のとき,  $H_c \approx 6 \text{min}$  冷却することにより  $\epsilon \approx 440 \times 10^{-6}$  となり, 増感効果が大きいことを示した.

次に, ST-20 の場合は, 三種類の塗料について実施した. ストレスマーク II は,  $H_c = 0$  で  $\epsilon \approx 540 \times 10^{-6}$  が  $H_c \approx 6 \text{min}$  の冷却で  $\epsilon \approx 180 \times 10^{-6}$  となり, 比率としては約 70% の向上を示した. ここでも同じように三種類を比較し

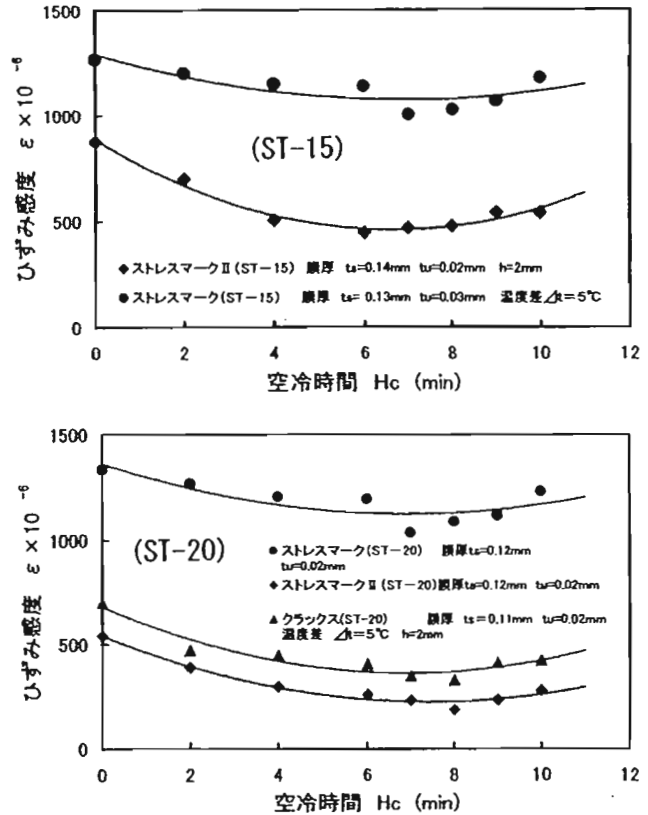


図8. 空冷増感効果

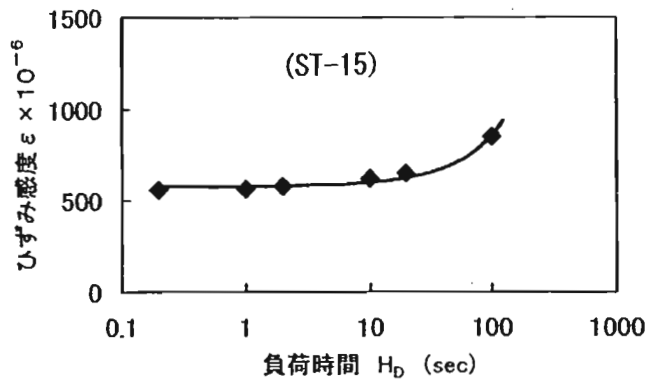


図9. 負荷時間特性

た場合、ストレスマークⅡがより良好な結果を示すことが明らかにされた。

#### 4-4. 負荷時間特性

応力塗料膜は、もろい塗料ではあるが、一般の塗料と同様に、粘弾性挙動を示している。したがって、ひずみ感度は、負荷時間（設定の負荷を作用させるために必要とする時間）の長短に大きく影響される。よって、負荷時間特性

に注目して実験を行ない、その結果の一例を図9に示した。この結果は、塗料 ST-15 の場合であり、塗料膜のひずみ感度に及ぼす影響としては、負荷時間が  $H_w \leq 10 \text{sec}$  であれば少ないことが明らかとなった。しかしながら、負荷作用に必要な時間は、短くすることが望ましいと考える。

#### 4-5. 下塗塗料が及ぼす影響

塗料膜のひずみ感度  $\epsilon$  は、当然のことながら下塗塗料が厚い場合、悪化することが考えられ、実験結果からもその状況は、十分に認められた。実験結果は、図10で示すように  $t_u = 0$  のとき、 $H_D \approx 28 \text{hr}$  で  $\epsilon \approx 620 \times 10^{-6}$  であるのに対して、 $t_u \approx 0.04 \text{mm}$  のときは、 $H_D \approx 28 \text{hr}$  で  $\epsilon \approx 750 \times 10^{-6}$  となった。これらのことから、通常の実験手順 ( $t_u \approx 0.01 \sim 0.02 \text{mm}$ ) に従っている場合、ひずみ感度に及ぼす影響は少ないように思われる。

### 5. ホイールローダ荷役装置

#### 構成部材の応力解析

##### 〈実験例〉

#### 5-1. 基本装置および実験目的

##### 実験目的

本実験で取り扱ったホイールローダの基本構造は、図11に示すものであり、ホイ

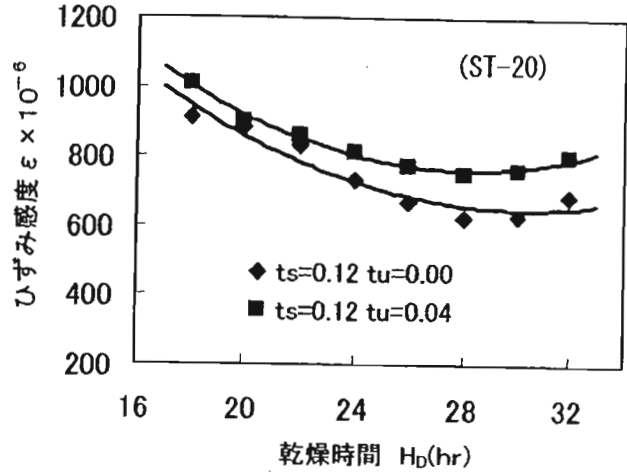


図10 下塗塗料が及ぼす影響

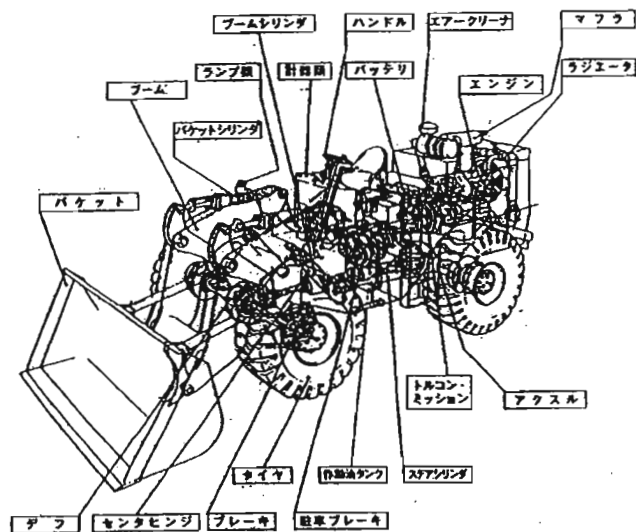


図11. ホイールローダの基本構造



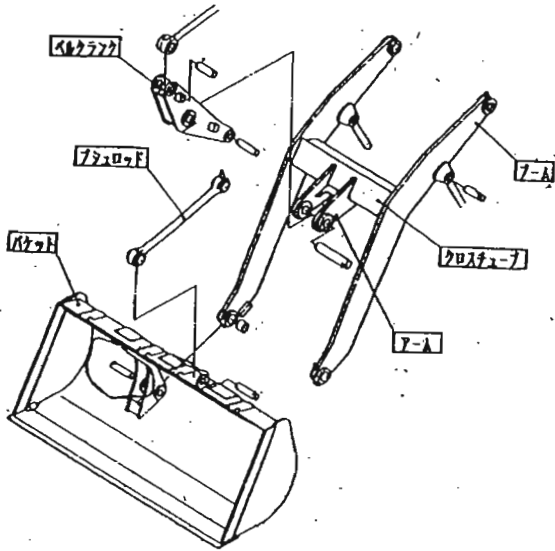


図 12. 荷役装置の詳細図

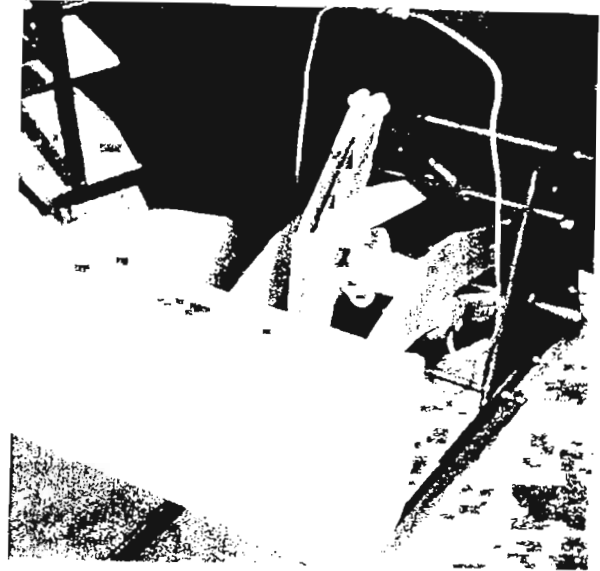


図 13. 負荷装置

ールローダ荷役装置を構成する部材については、図 12 に示した。

これらの部材に対して、安全・安心の立場からの耐久性・信頼性の向上を目的とした強度解析を試みた。解析の手法は、まず始めに、自然乾燥型の応力塗料膜法を採用して、主応力方向、高応力箇所、主応力分布等を把握した。次に、ひずみゲージ法を使用して、定量的な応力解析を実施し、強度設計への因子を明らかにした。

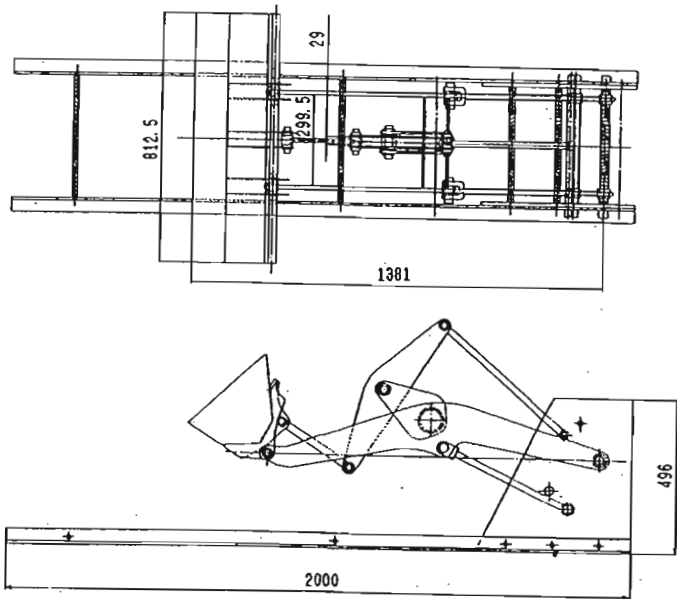


図 14. 模型・負荷装置の計画図

なお、実験対象とした構成部材は、力学的に大きな役割を果たしているブームとベルクランクを中心として取り組んだ。

#### 5-2. 模型の形状および負荷装置

実験対象としたホイールローダ実機は、実験室内での取り扱いが困難であるため、強度解析に注目しているブームならびにベルクランク等については、

模型化(1/2縮小)し、アクリル材を使用して加工した。次に、負荷については、ブームが水平に位置する状況で、バケットの中央部(偏心率  $e=0$ )および中央部から離れた位置について作用させるようにした。その負荷装置は、図13のように加工・組立を行い、また部材の形状および主要寸法は図14のとおりである。

### 5-3. き裂模様

塗料膜法の実験技術および手順に従って実験を行った。その結果としては、図15、16にブームおよびベルクランクの表面に発生したき裂模様を一例として示した。き裂は斜光線による撮影であることから、高応力箇所・主応力方向を保持するためにき裂を正確にトレースした。その結果が図

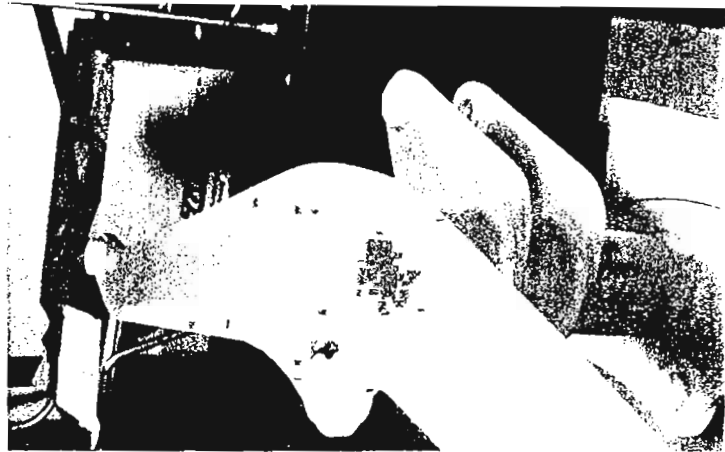


図15. き裂発生状況(ブーム), 偏心率  $e=0$  のとき

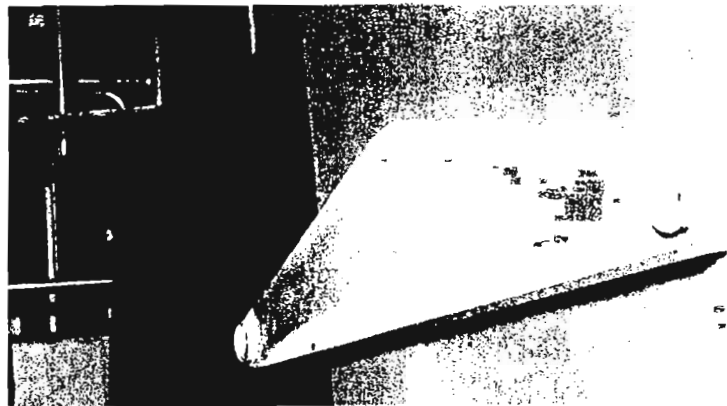


図16. き裂発生状況(ベルクランク), 偏心率  $e=0$  のとき

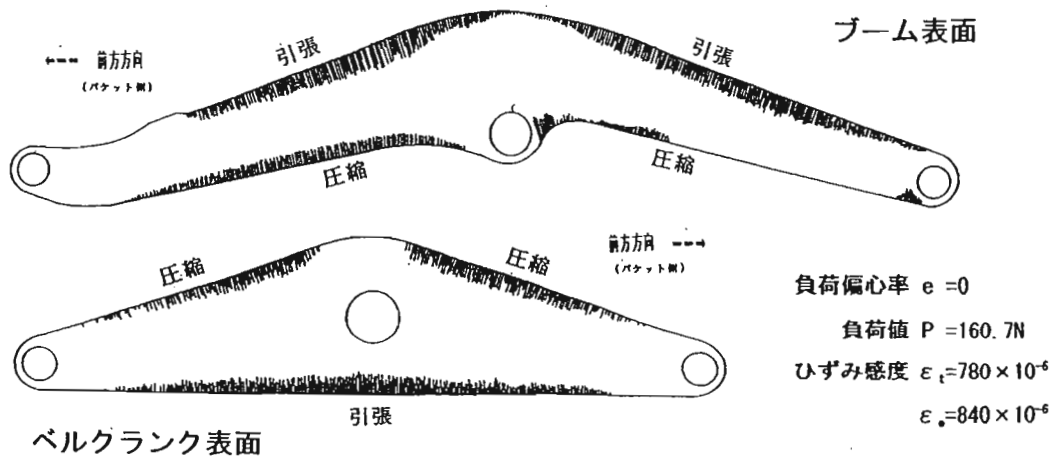


図17. き裂のトレース結果

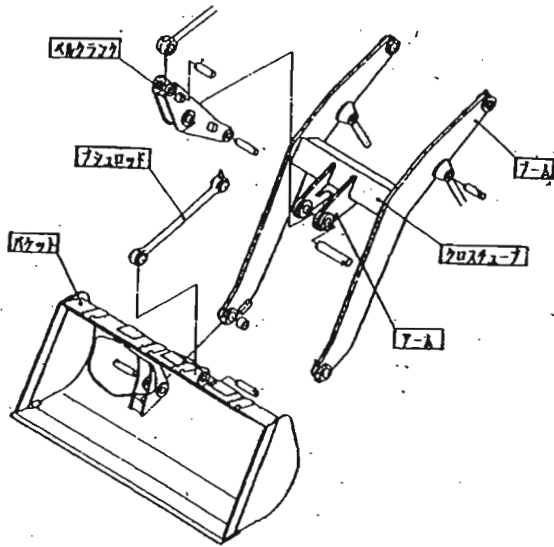


図 12. 荷役装置の詳細図

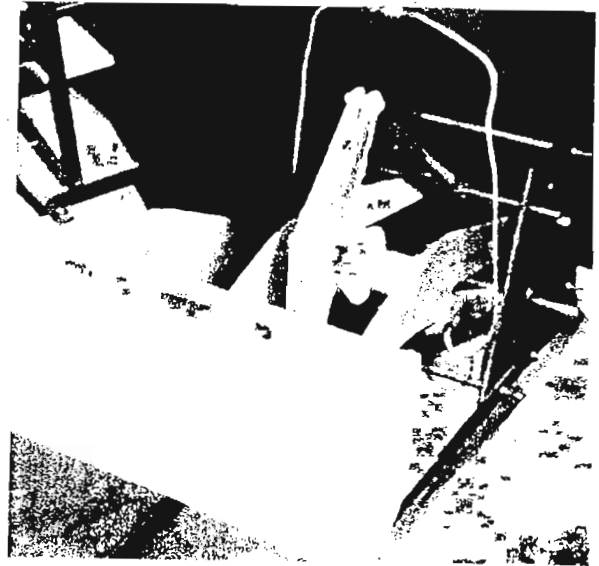


図 13. 負荷装置

ールローダ荷役装置を構成する部材については、図 12 に示した。

これらの部材に対して、安全・安心の立場からの耐久性・信頼性の向上を目的とした強度解析を試みた。解析の手法は、まず始めに、自然乾燥型の応力塗料膜法を採用して、主応力方向、高応力箇所、主応力分布等を把握した。次に、ひずみゲージ法を使用して、定量的な応力解析を実施し、強度設計への因子を明らかにした。

なお、実験対象とした構成部材は、力学的に大きな役割を果たしているブームとベルクランクを中心として取り組んだ。

#### 5-2. 模型の形状および負荷装置

実験対象としたホイールローダ実機は、実験室内での取り扱いが困難であるため、強度解析に注目しているブームならびにベルクランク等については、

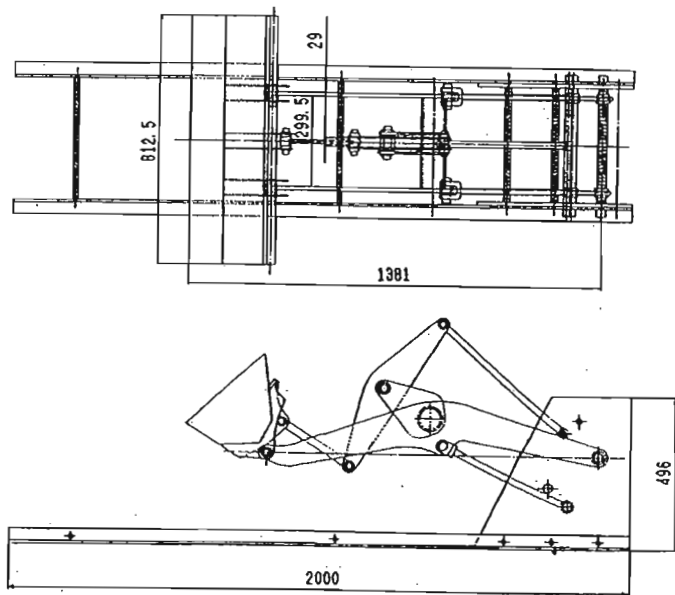


図 14. 模型・負荷装置の計画図

模型化(1/2縮小)し、アクリル材を使用して加工した。次に、負荷については、ブームが水平に位置する状態で、バケットの中央部(偏心率  $e=0$ )および中央部から離れた位置について作用させるようにした。その負荷装置は、図13のように加工・組立を行い、また部材の形状および主要寸法は図14のとおりである。

### 5-3. き裂模様

塗料膜法の実験技術および手順に従って実験を行った。その結果としては、図15、16にブームおよびベルクランクの表面に発生したき裂模様を一例として示した。き裂は斜光線による撮影であることから、高応力箇所・主応力方向を保持するためにき裂を正確にトレースした。その結果が図

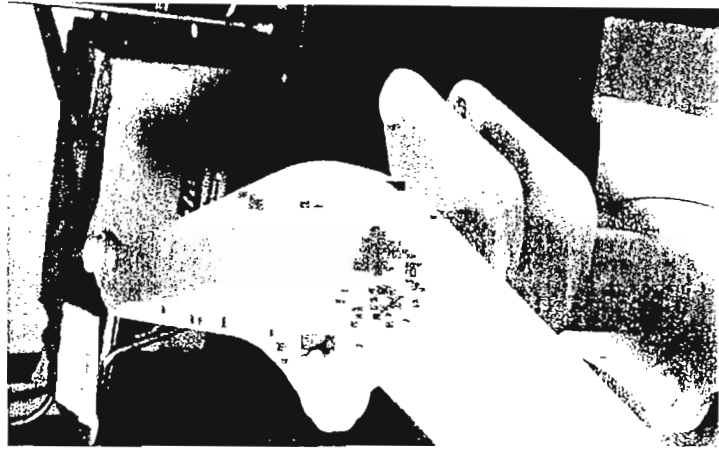


図15. き裂発生状況(ブーム), 偏心率  $e=0$  のとき

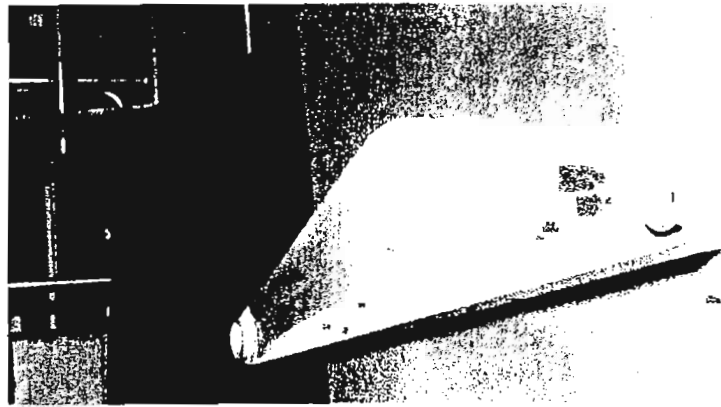


図16. き裂発生状況(ベルクランク), 偏心率  $e=0$  のとき

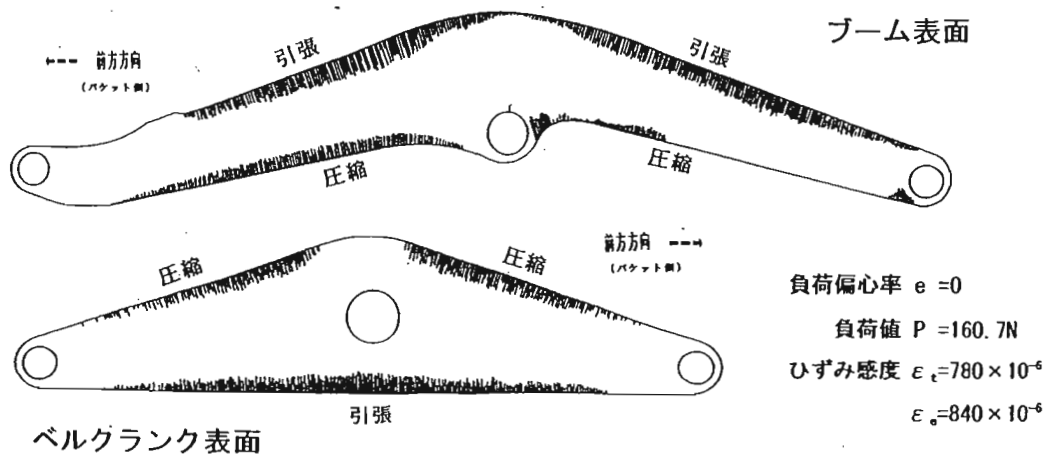


図17. き裂のトレース結果

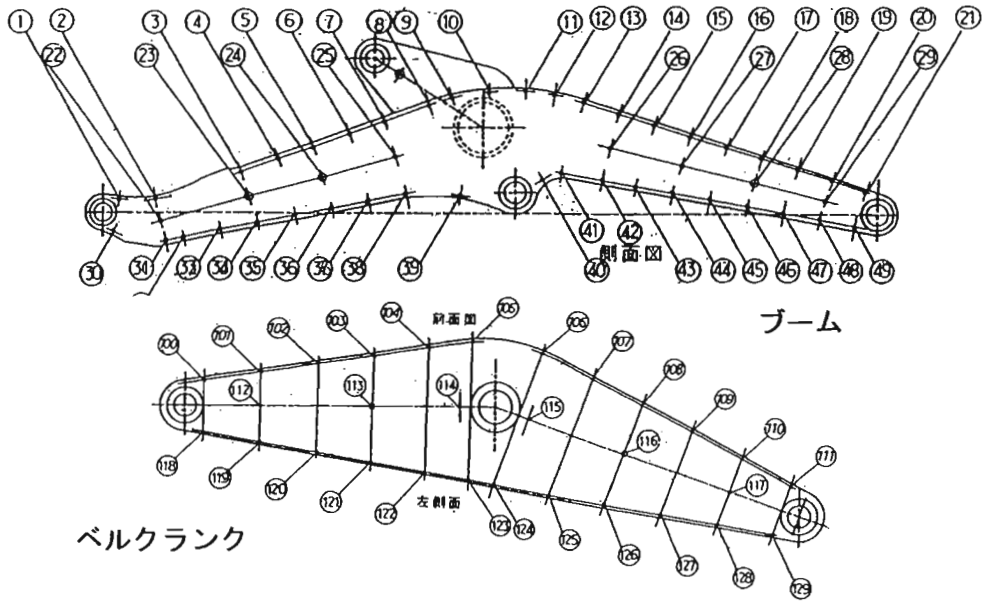


図 18. ひずみ測定箇所

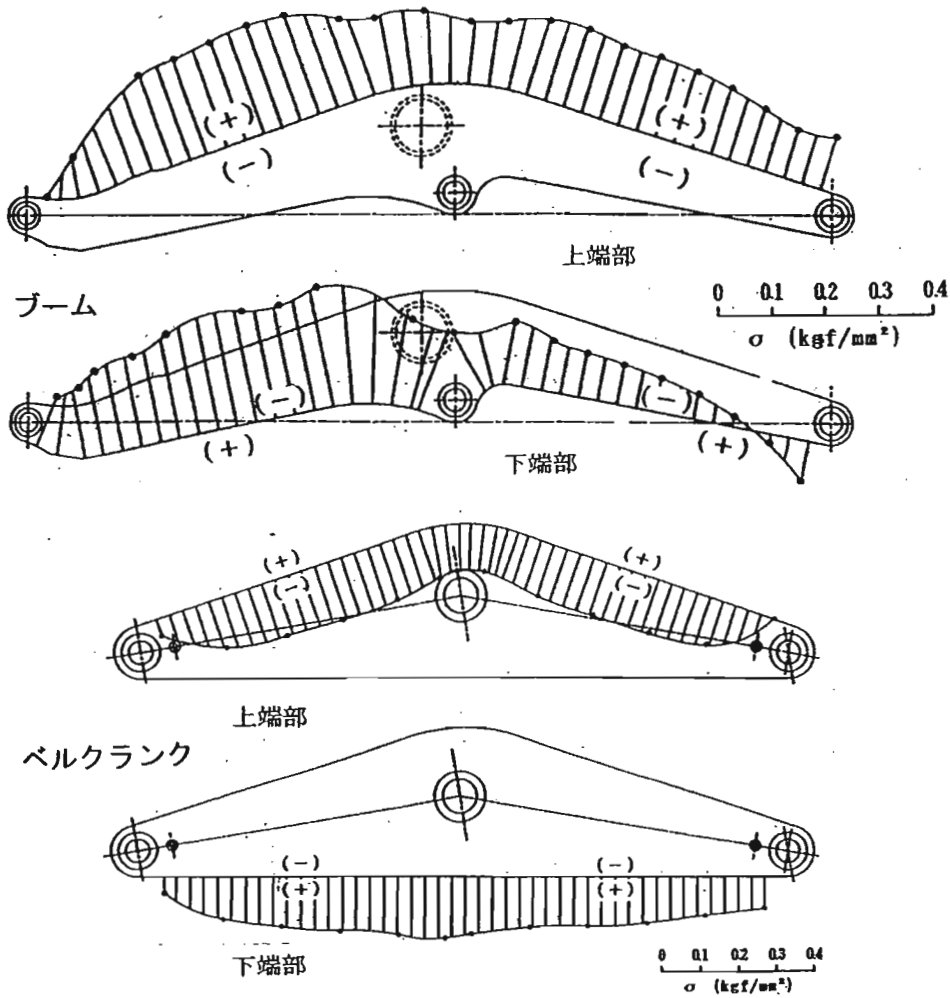


図 19. 応力分布



17である。ここで示すき裂の発生状況(き裂の発生箇所・き裂の先端を結ぶ曲線およびき裂の発生方向)から定性的な応力解析が可能である。

#### 5-4. ゲージ法による応力解析

図 15, 16 で示されたき裂発生状況と図 17 で示されたトレース結果に基づいて、ひずみゲージ法による測定箇所を定めた。その状況は、図 18 に示すとおりである。その後、負荷 P を作用させてひずみ  $\varepsilon$  を測定した。次に、実験応力・ひずみ解析を実施した。その結果としては、図 19 に示すとおりである。

以上から、ホイールローダ荷役装置を構成する主要部材であるブーム、ベルクランクに発生する主応力状況を把握することができた。ここでの資料は、弾性相似則を使用することによって、強度設計に対する一つの因子になり得るものと考えている。また、応力塗料膜法とひずみゲージ法を併用して、強度解析を実施することは、非常に有効性が高い手段であることが示された。

## 6. おわりに

以上の実験結果から次のような考察が得られた。すなわち、全般的に判断して、ストレスマーク II のひずみ感度は良好であり、長く使用されてきたクラックスに近似する傾向を得た。

- ① 最適乾燥時間については、乾燥時の温湿度条件に関係なく、膜厚が  $t_s \approx 0.13\text{mm}$  の場合、従来の塗料と同様に  $H_D \approx 26 \sim 28\text{hr}$  である。
- ② 空冷増感法を使用する場合の最適冷却時間は、従来の塗料と同様に  $H_c = 6 \sim 7\text{min}$  である。
- ③ 負荷時間については、 $H_w \leq 10\text{sec}$  のとき、ひずみ感度に及ぼす影響は少ないように思われる。
- ④ 下塗塗料の影響については、通常の実験技術に従って実施する場合、ここでもひずみ感度に及ぼす影響は少ないと考えている。

ストレスマーク II は、焼き割れが発生しやすいため、製品の取り扱いには多少の注意が必要である。この件に関しては、塗料膜を少し厚くすることで解決されると考えている。なお、応力緩和特性については、今後実験を行う予定である。

以上の結果を統括すると、本実験で取り扱った自然乾燥型応力塗料ストレスマーク II は、実験応力・ひずみ解析に取り組む塗料として、十分に使用できるものと考えている。また、実験応力・ひずみ法の一つである応力塗料膜の有効性については、実験例を用いて示した。今後、多方面で使用・利用されることを期待している。なお、本実験は、田川 光君(関東学院大学)

院生)が中心になって取り組み, その多大なるご協力に対して, ここに謝意を表示する次第である.

#### 〈文献・資料〉

- 1)菅野 : 非破壊検査, Vol.25, No5, (1976), 252
- 2)宮武 : JSNDI 第 12 回 SSM シンポジウム, (1980), 9
- 3)菅野 : 機械の研究, Vol.33, No10, (1981), 11
- 4)菅野, 宮武 : 日本船用機械学会誌, Vol.17, No10, (1982), 38
- 5)宮武 : JSNDI 第 22 回 SSM シンポジウム, (1990), 179
- 6)長嶋, 中村, 奥田, 菅野, 宮武 : JSNDI 資料, No.4845, (1991), 31
- 7)宮武, 恵方谷, 田村, 壺井, 伊藤 : JSNDI 資料, No.4861, (1992), 45
- 8)宮武 : 関東学院大学工学部研究報告, Vol.37, No.2, (1994), 33
- 9)宮武 : JSNDI 第 25 回 SSM シンポジウム (1994), 63
- 10)宮武, 内布, 亀田, 長嶋 : JSNDI 第 28 回 SSM シンポジウム, (1997), 110
- 11)宮武, 亀田, 長嶋 : JSNDI 第 31 回 SSE シンポジウム (2000), 151
- 12)宮武 : 関東学院大学工学部研究報告 Vol.44, No.2, (2001), 127
- 13)応力塗料 < STRESSMARK II > 使用説明書, 応力計測工業(株)

# 空気式超音波探傷の CFRP への適用

宇宙航空研究開発機構 松嶋 正道、杉本 直  
千葉県産業支援技術研究所 長瀬 尚樹

## 1. はじめに

軽くて強い CFRP は、航空機・宇宙機構造に広く適用されている。新型大型旅客機の機体構造には、軽量化を目的に CFRP が多用されており、主翼や機体もアルミ合金から CFRP に代替されようとしている。これは、座席数を多くして運航効率の良くする目的からであり、当然のことながら胴体部分を広く大きくする必要が生じるので 2 階構造（実際は 3 階）や広胴多径構造となる。航空機の面積（2 乗）が大きくなると、重量は体積（3 乗）で重くなり、揚力を高くするために主翼面積を大きくしなければならなくなり、全体重量が増加する。そこで、アルミ合金（比重：2.4）から CFRP（比重：1.7）にする必要が生じた。

## 2. CFRP

炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastics）は、PAN 系（ポリアクリロニトリル）炭素繊維とエポキシ熱硬化樹脂の組み合わせが広く用いられている。プリプレグシートを型に合わせて任意の繊維方向に引きそろえて、重ねてオートクレーブ中で、加圧・加熱して一体成型部材を製作する。ここで問題となるのは、機体の大型化による一体成型部材も大型化することである。特にエアバス社 A380 は左右主翼と機体をつなぎあわせるキャリスルーが CFRP で作られている、荷重も大きく部材としてはプライマリーである。また、胴体後部の圧力隔壁も特殊な成型方法を用いて CFRP で作られている。ボーイング社 787 は、主翼・尾翼・胴体に CFRP が適用されており、その割合は 50% 近くまでの値となっている。これらの大型一体成型部材の製品検査としては超音波探傷が適用される予定である。

## 3. 超音波探傷

CFRP は UD プリプレグシート（厚さ：1.2mm）程度であり、クロスプリプレグシート（厚さ：2.5mm）程度であり、積層構成例は (+45,0, -45,90) 4、s y m. で示されている。層間が 32 箇所あり、衝撃荷重が加わると、層間に起きるはく離が多数発生する。衝撃面からみるとデント（くぼみ）・マイクロクラック・層間剝離・層の分離・繊維破断などが発生する。これらを超音波探傷（反射法）で全て見分けるのは難しいので軟 X 線、X 線 CT、サーモグラフィーなどと併用することが必要となる。また、CFRP の厚み方向の音速は 2700 から 3000m/秒程度であるので、プローブ周波数を適宜に選択する必要も生じる。供試体も補強平板の形状をしており、スキンとストリンガーが一体成型材であるのでストリンガーのウェブまで探傷しようとするとう無理が生じる。平板形状であれば、従来の反射法をもち

いれば、はく離やクラックも探傷することが可能である。ただし、水中で全没探傷を行うことが必要である。ここで、昨年に導入した空気式超音波透過探傷機（ジーンズ社製品）をもちいると、水の心配がないために、探傷作業が簡便に行える。しかし、検出能力は下がってしまうが、「傷が有るか、無いか？」の判断は、3mm程度であれば検出できる。補強平板の形状でも、ストリンガ－のウェブまで透過できる性能を有している。今までは、疲労試験中に試験片の超音波探傷を行う必要があっても水まわり関係のジグを必要としたが、空気式超音波であれば、X-Yスキャン系統の動作ができればリアルタイムではく離の進展が確認できる。精密な探傷が必要となれば、試験片を外して、従来の全没探傷を行えばかなり小さな傷を確認できる。

#### 4. 結果

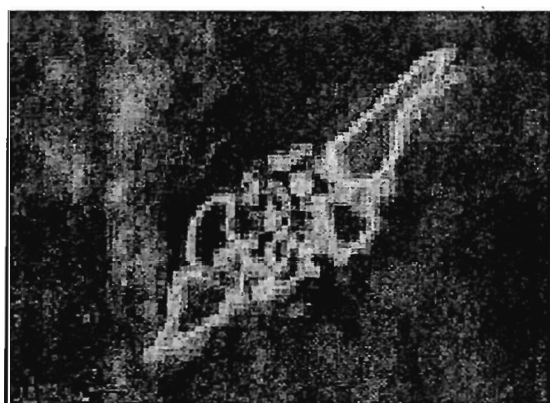


図1 全没探傷（反射法）による画像

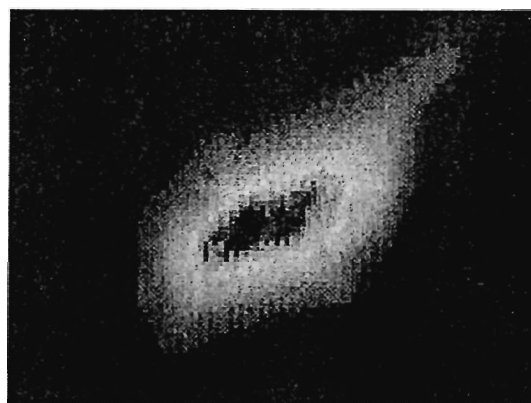


図2 空気式超音波（透過法）による画像

#### 5. おわりに

超音波探傷は、大型航空機の開発とともに、アレイ型プローブやマルチプローブの応用が考えられており、探傷時間も短時間で行えるスキャン装置の開発やソフトも含めたCPUの高性能と関係されているメーカーの努力に期待しています。空気式超音波の場合は、プローブとアンプの開発が進められると、今以上の高性能機種が実現できると考える。

# ソフトプローブによる溶接部のきずの高さ測定の検討

Measurement of weld defect's Height by Soft Probes

○ 高橋 雅和  
Masakazu Takahashi

高橋 修  
Osamu Takahashi

星野 秀和  
Hidekazu Hoshino

ジャパンプローブ(株)  
Japan Probe Co, Ltd.

## 概要

探傷面の凹凸になじんで良好な伝達効率を得られる軟質振動子(当社商品名はソフトプローブと呼ぶ)を使用した垂直探触子を開発<sup>1)~3)</sup>した。これは溶接部ビード上からの探傷が可能であると共に、あらゆる曲面からの探傷が可能である。前回溶接部ビード上からソフトプローブによる、溶接部の融合不良の探傷例を紹介した。今回は更に溶接部のきずの高さ測定の検討を行った。

KEYWORDS: Flexible Dual Probes, Acoustic Sheet, Straight Beam on Weld

## 1. はじめに

探傷面の凹凸になじんで良好な伝達効率を得られる軟質振動子を使用した垂直探触子を開発した。これは溶接部ビード上からの探傷が可能であると共に、あらゆる曲面からの探傷が可能である。前回、溶接部ビード上からソフトプローブによる、溶接部の融合不良の探傷例を紹介<sup>4)~5)</sup>した。今回は更に溶接部のきずの高さ測定の検討を行ったので、その実験結果と考察を述べる。

## 2. 実験内容

1) 試験片 I : 板厚 25mm、幅 100mm、長さ 200mm、溶接部は X 開先で、その中央にきず高さ 4~5mm の融合不良を有する試験片である。その形状・寸法は図 1 に示す様にタイプ A、B、C のきずを独立して各 2 個、合計 6 個製作した。

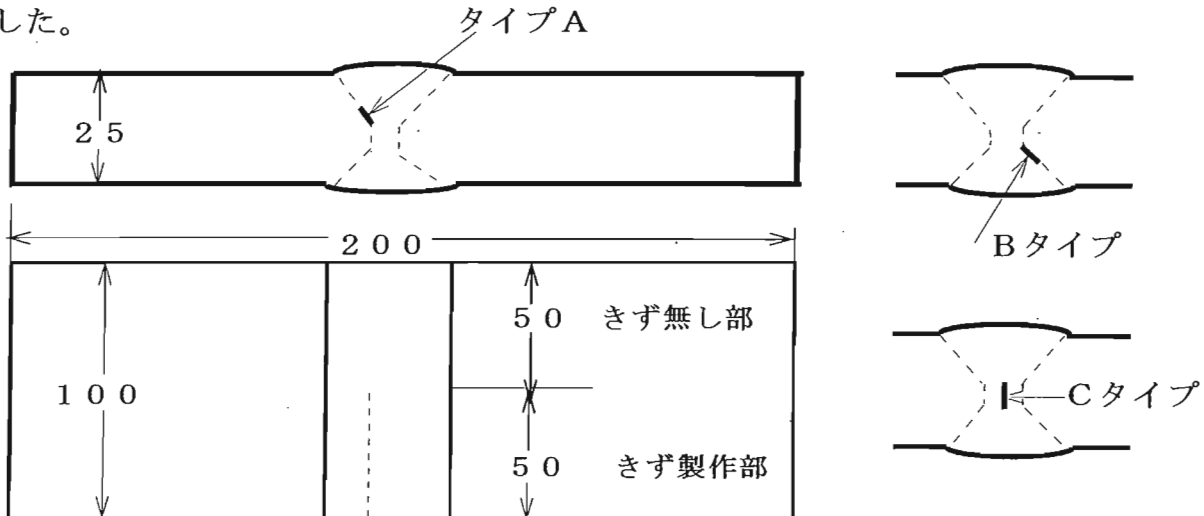


図 1 溶接部の試験片 I の形状・寸法

試験片 II として、板厚 19(40)mm、幅 150mm、長さ 350mm、溶接部は X、K、レ型開先で、その中央近くにきず高さ 1~7mm の溶込み不良、融合不良を有する試験片も使用した。この試験片は探傷後切断しマクロ試験を実施した。その結果は図 8、図 9 に示した。



2) 探触子：ソフトプローブで5K10/2ND、5K5/2NDである。溶接部のきずの確認として1) 項の試験片をあらかじめ、TOFD法で探傷した。図2はソフトプローブの外観写真を、図3は実験に使用した試験片を、図4はソフトプローブで溶接部の探傷状況を示す。

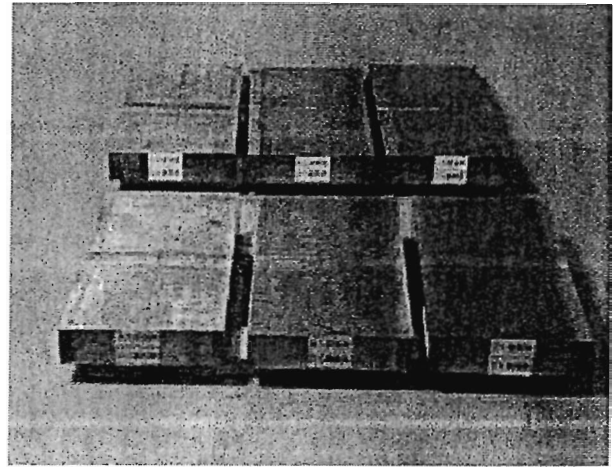
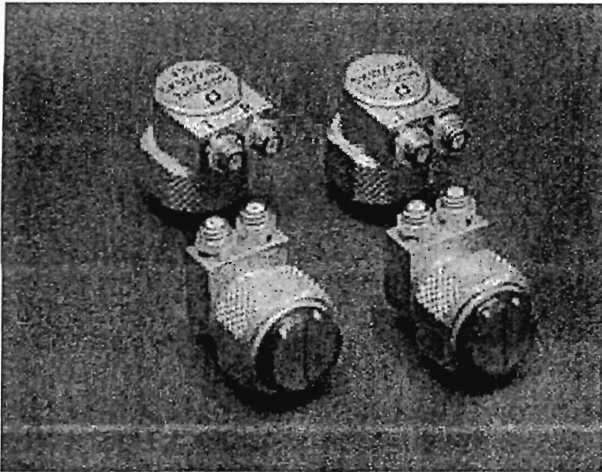
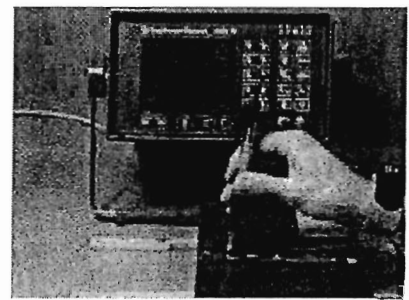
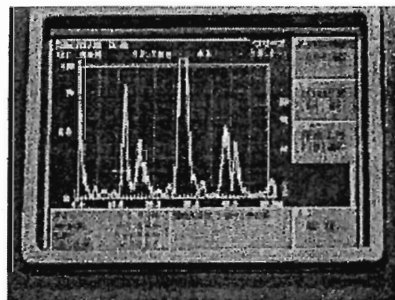
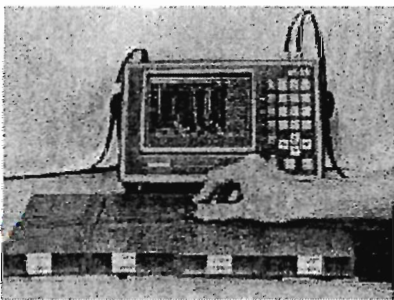


図2 ソフトプローブの外観写真 図3 溶接部試験片Iの外観写真

- 3) 超音波探傷器：日本クラウトクレマー(株)製USD15、菱電湘南エレクトロニクス(株)UI-25  
 4) 接触媒質：(株)サーングスニチゴウのソニコート  
 音響シート：東レ(株)製テトロンフィルムで厚さ25 $\mu$ を使用した。



(a) 5K10/2ND (b) 5K5/2ND  
 図4 ソフトプローブで溶接部の探傷状況

### 5) 実験項目と方法：

前回の実験<sup>4)~5)</sup>で、溶接部のビード上より探傷する場合に音響シートはソフトプローブの保護や感度・走査性に優れていたもので、本実験ではすべて厚さ25 $\mu$ の音響シート(テトロンフィルム)を使用した。溶接部ビード上面及び裏面の両面より探傷した。きずの高さはきずの上端部、下端部に別々にゲートの設定してビーム路程( $W_{UT}$ 、 $W_{LT}$ )を読みとり、上端部の深さ $d_{UT}$ 、下端部の深さ $d_{LT}$ とし、きず高さ $H$ は、 $H = d_{LT} - d_{UT}$ とした。

## 3. 実験結果と考察

### 3. 1 試験片Iの結果

図5は5K10/2NDによるきずの高さを測定時の探傷図形で、左側は上面より、右側は下面よりの探傷図形である。図中の記号は、▼：きずの上端部、▽：きずの下端部、■：底面である。

記号、▼：きずの上端部、▽：きずの下端部、■：底面、測定範囲：50mm

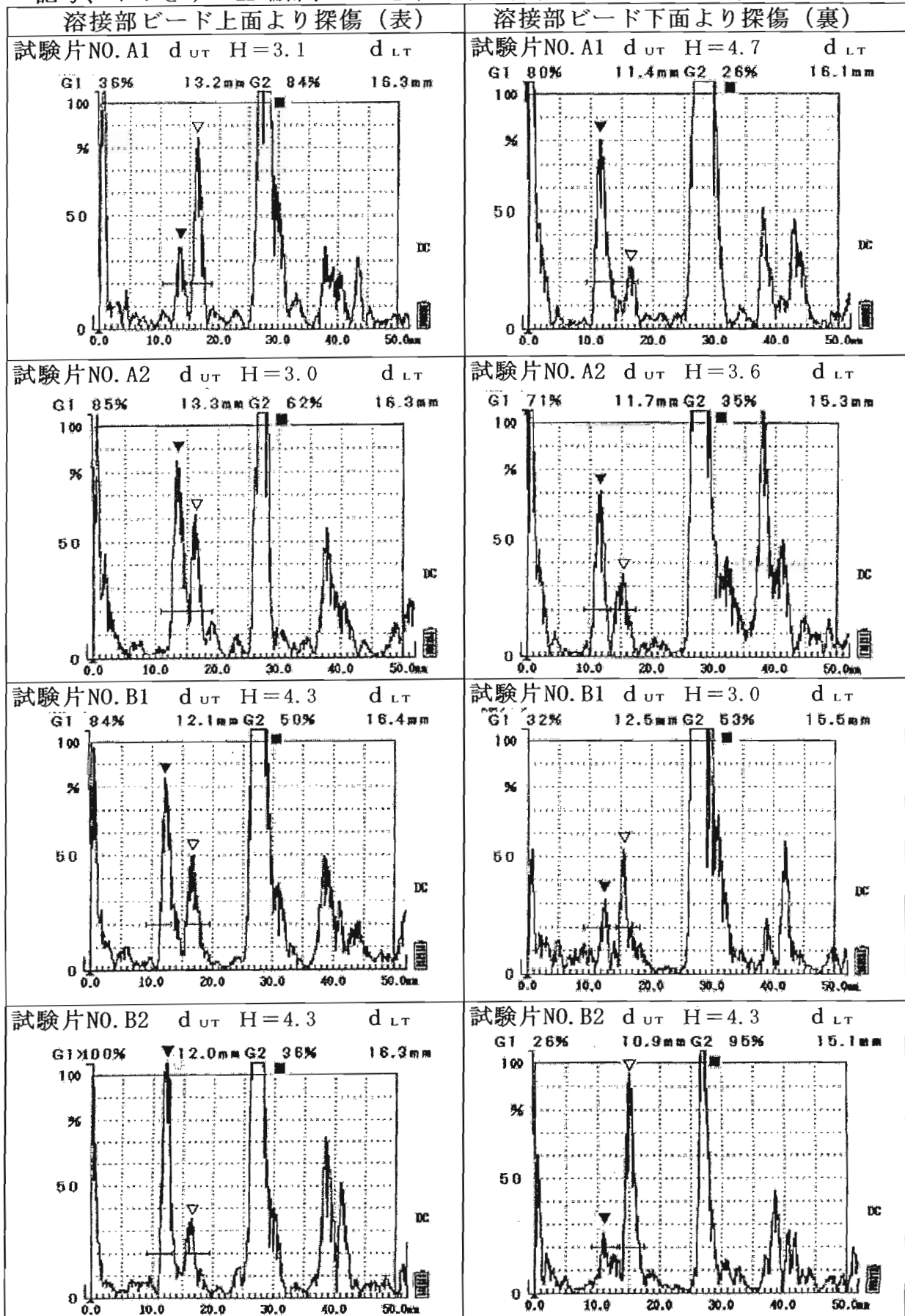


図5 ソフトプローブ5K10/2NDによる探傷図形 (試験片A, B)

- 1) 4種類の試験片A1、A2、B1およびB2の探傷でも、きずの上端部と下端部のエコーは明瞭に現れており、上端部および下端部に別々にゲート設定することできずの高さの測定は可能であった。
- 2) 上面からの探傷では試験片A1を除き上端部のエコーの方が高い。下面からの探傷では、試験片Aでは上端部、試験片Bでは下端部のエコーの方が高い。
- 3) タイプA及びBのきずは、図1の溶接部の側面の磁粉探傷の結果から、きずの高さは4～5mm程度であった。タイプCのきずはソフトプローブや磁粉探傷法でも検出できなかった。これはきずが密着したものと思われる。
- 4) 図6はタイプCの試験片の探傷図形の一例を示す。

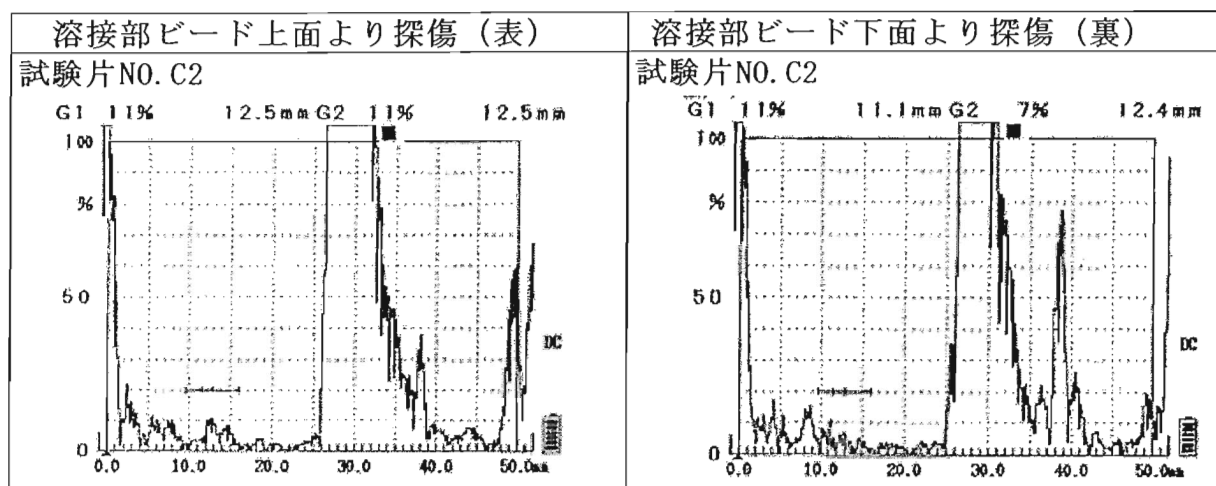


図6 ソフトプローブ5K10/2NDによる探傷図形(試験片C2の例)

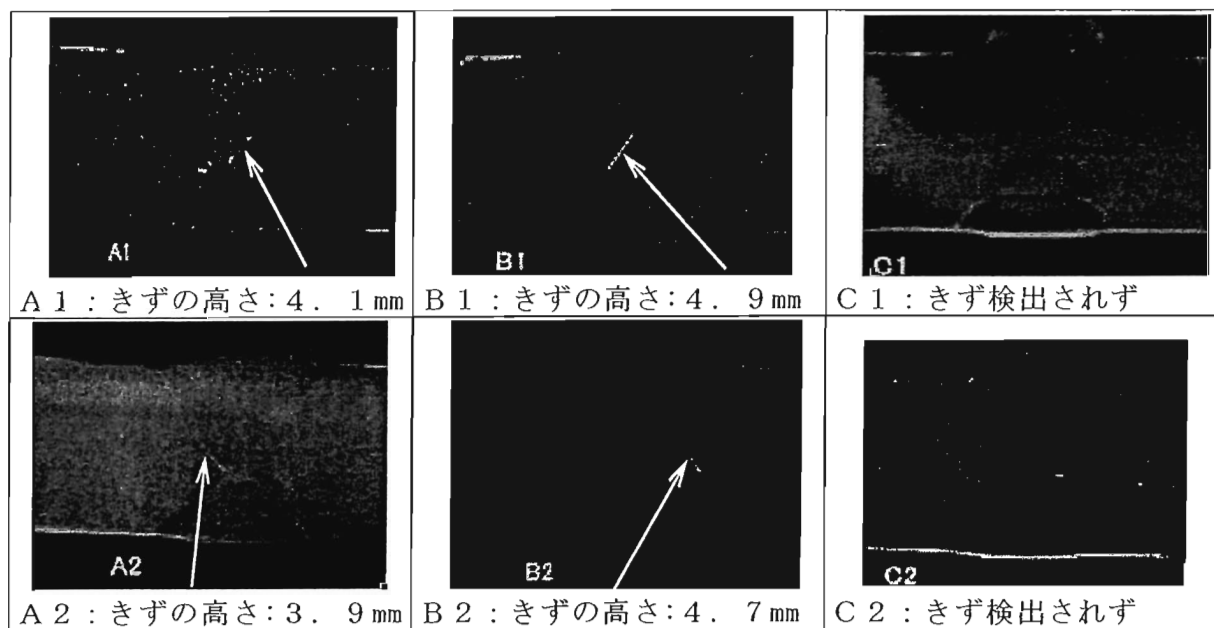


図7 磁粉探傷時の磁粉模様の写真

- 5) きずの高さ測定について、今回の測定結果とTOFD法や磁粉探傷結果の比較を表1に示す。

### 3. 2 試験片IIの結果

- 1) 試験片IIの2-4, 2-5の探傷図形とマクロ試験結果を図8に示す。
- 2) 試験片IIの探傷図形とマクロ試験結果を図9に示す。



表 1 各種探傷法によるきず高さ測定結果の比較(単位:mm)

試験片		ソフトプローブ			TOFD法			磁粉探傷法
番号	探傷面	上端部	下端部	高さ	上端部	下端部	高さ	
A 1	上面	13.2	16.3	3.1	10.9	15.1	4.2	4.1
	下面	11.4	16.1	4.7	9.1	13.1	4.0	
A 2	上面	13.3	16.3	3.0	11.2	14.9	3.7	3.9
	下面	11.7	15.3	3.6	9.2	13.1	3.9	
B 1	上面	12.1	16.3	4.2	10.3	15.3	5.0	4.9
	下面	12.5	15.5	3.0	9.4	13.8	4.4	
B 2	上面	12.0	16.3	4.3	10.3	15.2	4.9	4.7
	下面	10.9	15.1	4.3	9.7	14.1	5.1	

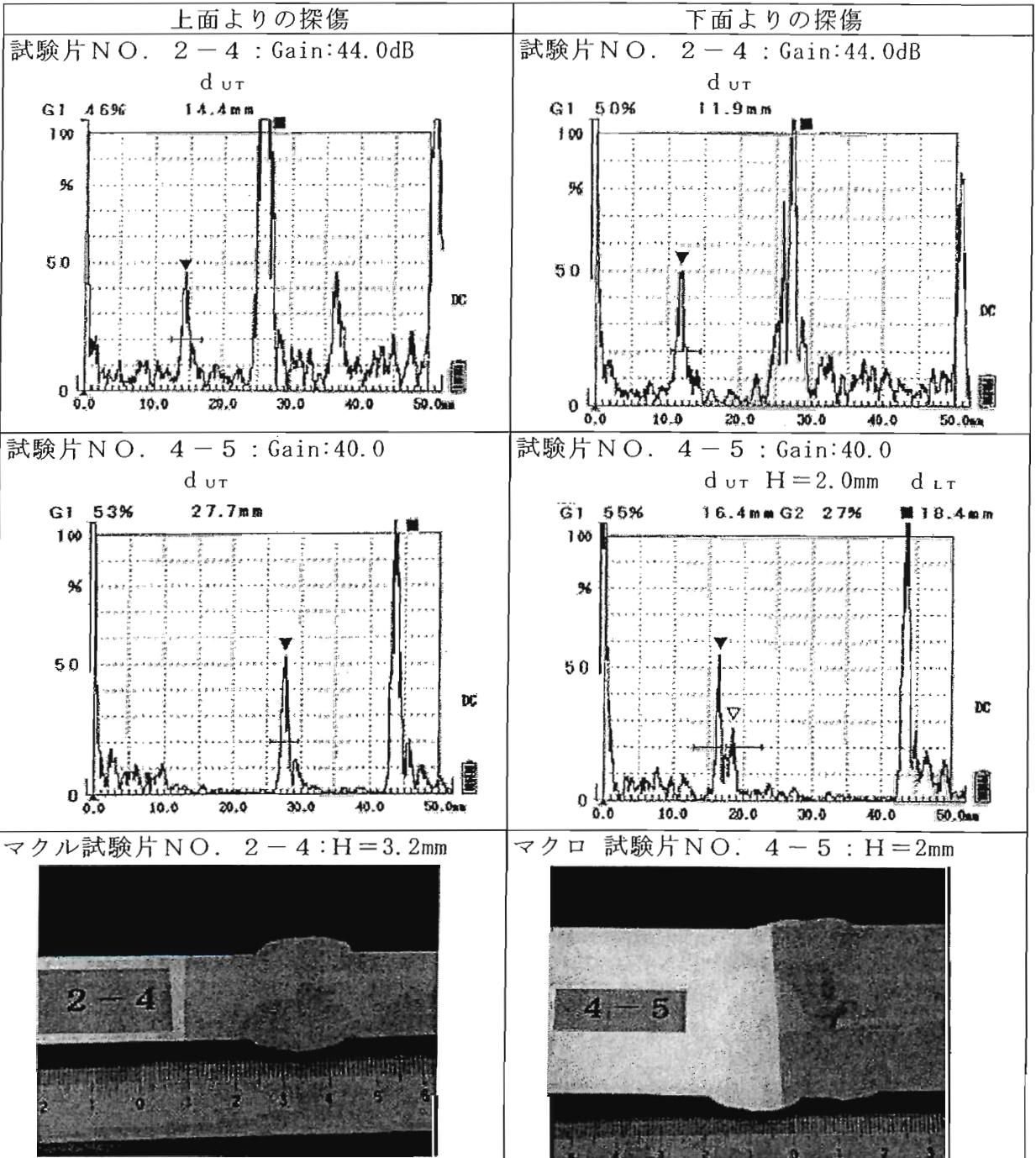


図 8 試験片 2-4, 4-5 の探傷図形とマクロ試験結果

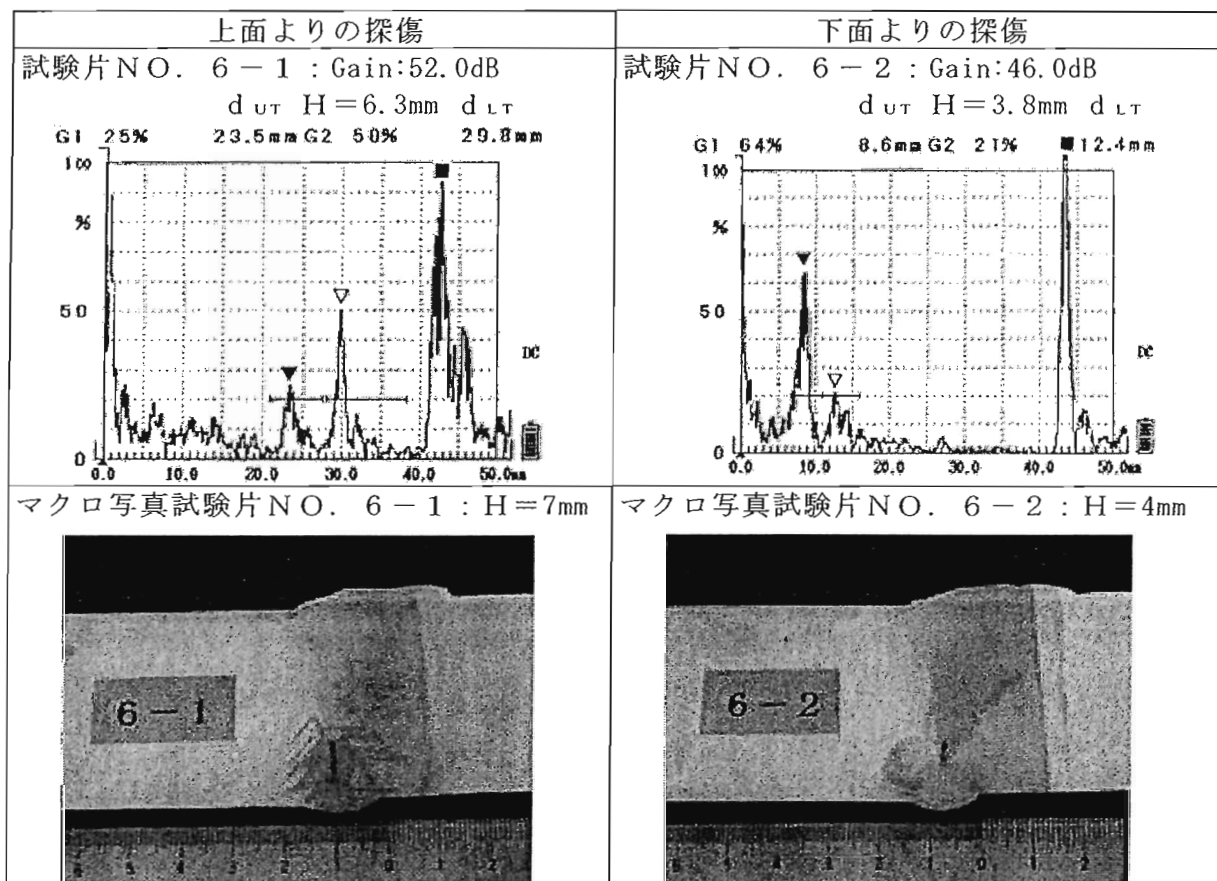


図9 試験片6-1, 6-2の探傷図形とマクロ試験結果

#### 4. まとめ

今回は、ソフトプローブにより溶接部ビード上から溶接部のきずの高さ測定例を紹介した。

- 1) ソフトプローブを使用することで、溶接部ビード上から溶接部のきずを容易に探傷できることが分かった。
- 2) 音響シートを適用すると、音響的にも良好で、探触子の摩耗防止及び保護の点からも望ましい。特に探触子の走査性に優れており、溶接部の探傷をより容易にする。
- 3) 溶接部のきずの上端部、下端部のエコーが検出できれば、上端部および下端部に別々にゲートを設定しビーム路程からきずの高さを求めることができた。

#### 参考文献

- 1) 高橋 修、幸崎 進、岩橋 充、李 文：ソフトプローブの紹介、pp.15-22, 神奈川県ND T研究会講演資料、(2003)
- 2) 福原 照明、星野 充宏：軟質二振動子垂直探触子と円柱探傷面による集束音場の数値実験、平成15年秋期大会講演概要集、pp.169-170, (2003)
- 3) 島田道男、吉井徳治、成瀬健：ソフト探触子による腐食材厚さ評価、超音波分科会資料NO.21713, pp.1-4, (2003)
- 4) 高橋 雅和、高橋 修、李 文：軟質二振動子垂直探触子による溶接部の探傷、超音波シンポジウム、pp.129-134, (2004)
- 5) 高橋 雅和、高橋 修、笠原 基弘：軟質二振動子垂直探触子による溶接部の探傷(2)、超音波分科会資料NO.21731, pp.35-42,



## CNDI活動のネットワーク化の紹介

研究会HP WG ○高田 一\* 立川克美\*\*

Hajime Takada Katsumi Tachikawa

\*JFE技研株式会社

JFE R&D Corporation

\*\*千葉県産業支援技術研究所

Chiba Industrial Technology Research Institute

### 概要

千葉県非破壊検査研究会（CNDI）活動のネットワーク化についてその概要を紹介する。ネットワーク化の目的および現在の活動状況について述べる。

千葉県非破壊検査研究会は、以下の Web サイト運営を行っています。

(a) 千葉県非破壊検査研究会公式サイト

<http://www.cndi.jp/>

(b) NDT に関する掲示板サイト

<http://www.bbsndt.net/>

上記 Web サイト運営の目的と現在の活動状況を対比して、以下に示します。

(1) 情報の公開

活動内容を紹介することによって、本研究会の社会への貢献をアピールしています。これによって、研究会の社会的な地位を高めるとともに、新会員や講習会受講者などの獲得を図ります。

(2) 研究会運営の効率化、軽量化

研究会事務局業務をネットワーク上で動作するプログラムに代替させることにより、研究会事務局業務を軽減します。これは、単なるコンピュータによる業務代替に留まりません。従来のファックスや電話のような1:1の情報伝達ではなく、1:多の情報伝達が可能になりますので、会員への通信に要する時間を削減できます。

具体的には、総会、研究発表会、講習会等の行事の案内や会員への連絡事項をWeb上に掲載し、Webサイトからの参加申し込みを受け付けできるようにしています。なお、個人情報の伝送に当たっては、SSL(暗号化データ通信)を用いることにより、セキュリティの確保に努めています。

(3) 会員サービスの向上

ネットワークにつながったパソコンがあれば、いつでもどこでも研究会情報を取り出すことができますようになります(ユビキタス・ネットワーク)ので、情報伝達の円滑化、迅速化を図ることができます。

また、研究会 Web サイトを会員誰もが利用可能な研究会の文書保管庫として利用することができます。一例として、現在、PDF版20年誌や各種行事の写真の掲載を行っています。さらに、従来、各種行事(総会、研究発表会)への参加者しか得られなかった諸情報を Web サイトに掲載することにより、会員への周知を図っています。

(4) 情報の収集(掲示板サイト:今後、本格化)

会員の意見や会員が保有している情報を吸い上げ、研究会運営に生かします。今後、NDTに関する掲示板サイトを活用していく予定です。

(5) オンライン会議体の形成(掲示板サイト:将来課題)

設定した課題に対して、会員が意見を出し合い、統一的な意見を作り出すことが可能と考えています。

以上のように、研究会活動における Web サイトの活用は、研究会および会員の双方にとって極めて大きな利点があります。研究会 Web サイトをご活用くださいますよう、ここで改めてお願い申し上げます。

以上

# 電磁気法を用いた 連続板厚測定装置

## SLOFEC FS400 の 紹 介

危険物保安技術協会  
性能評価取得

日本工業検査株式会社

2.02.2006

## SLOFECとは

SLOFEC(Saturation Low Frequency Eddy Current)

マグコントロール法(磁気飽和渦流探傷法的一种)  
を原理とした、タンク底部板の高速腐食検査システム

ドイツ : Kontroll Technik 社製

1

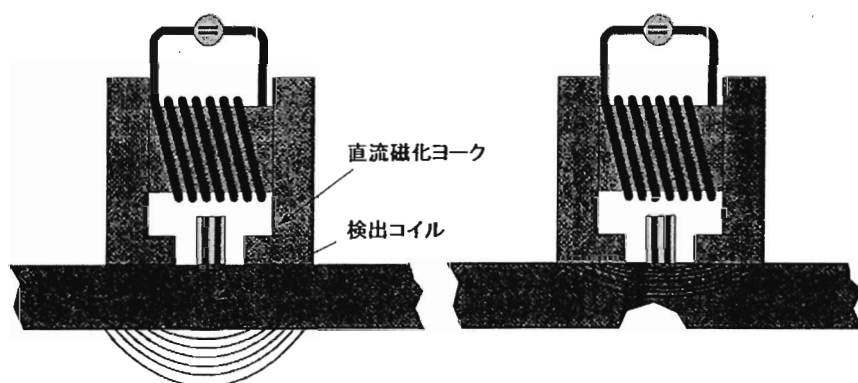
## 紹介の項目

1. 測定 の 原理
2. 装置 の 概要
3. 特長 と 性能
4. 適用 事例

2

## SLOFEC原理

測定 の 原理 1



健全箇所における  
試験体内の磁場の分布

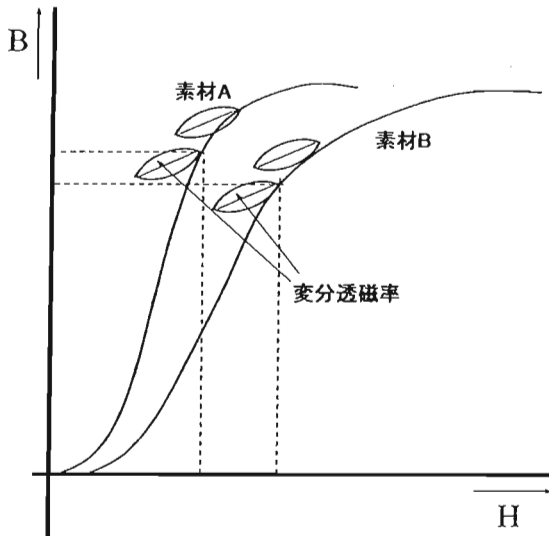
裏面の腐食箇所における  
試験体内の磁場の分布

試験周波数 15mm 50KHz~100KHz  
15mm以上 20KHz~50KHz

3

# SLOFEC原理2

測定の原理2



減肉部で磁束密度が変化

↓  
変分透磁率が変動

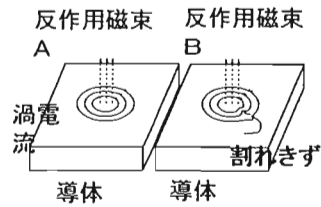
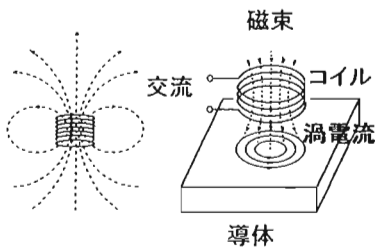
↓  
検出コイルのインピーダンス  
変化となり、検知

材質が異なる場合は直流  
磁場の強さを調整し、  
変分透磁率を同じにする

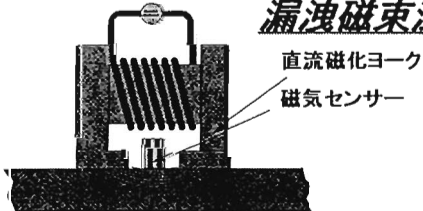
4

# 渦流法の原理

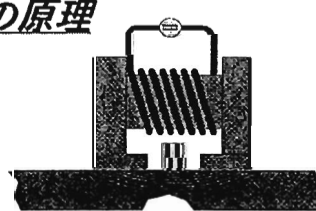
測定の原理3



# 漏洩磁束法の原理



健全箇所における  
試験体内の磁場の分布



表面の腐食箇所における試験  
体内の磁場の分布  
表面への漏洩磁束が増加する

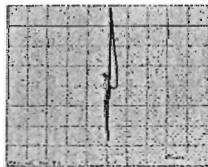
5

# 設定-磁化電流値-

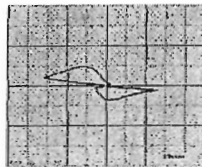
測定の原理4

磁化電流値 ⇒ 検出された表面きず信号と裏面きず信号の位相差に影響

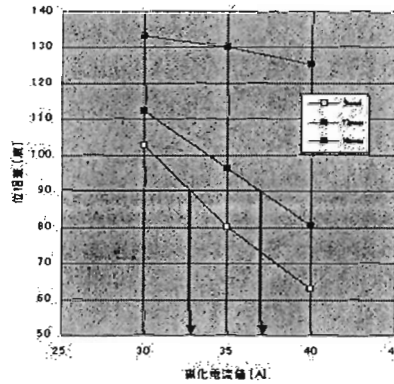
きず信号の解析において、  
表面きず信号位相角と  
裏面きず信号位相角との  
位相差(分離)を90°になるよう調整



裏面きず(90°)



表面きず(0°)



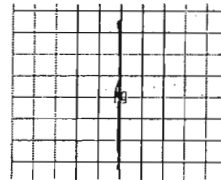
磁化電流値変化と表面きず信号の位相差の関係

6

# SLOFEC信号波形

測定の原理5

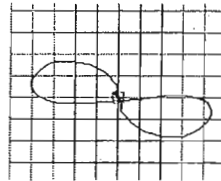
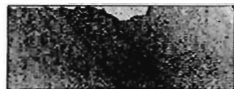
裏面きず



Signal display of  
SUBSURFACE  
DEFECTS

VERTICAL SIGNAL  
ORIENTATION

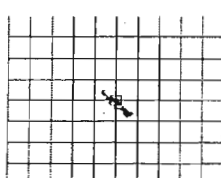
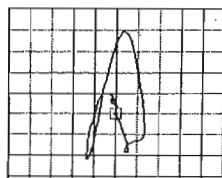
表面きず



Signal display of  
SURFACE DEFECTS

HORIZONTAL  
SIGNAL  
ORIENTATION

表面溶接部との重なり時  
疑似信号

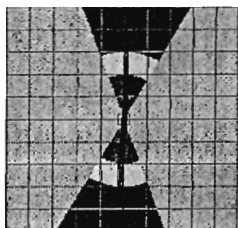


疑似信号

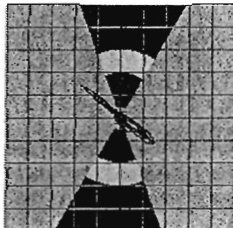
7

# 検出信号波形

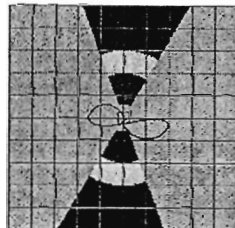
〔裏面減肉信号例〕



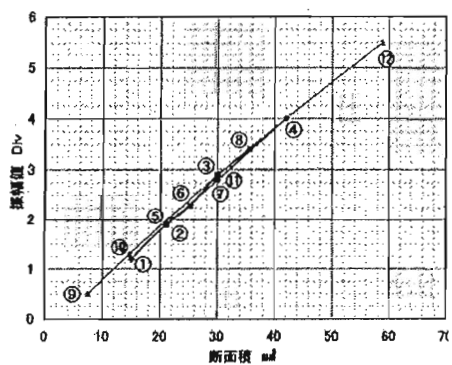
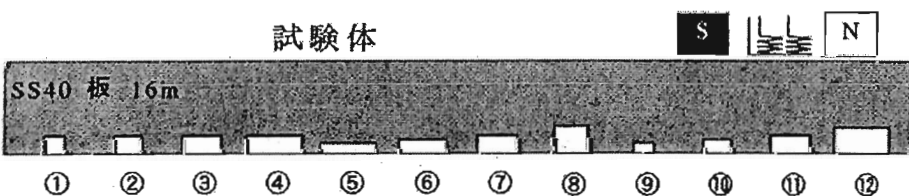
〔ノイズ信号例〕



〔表面減肉信号例〕



## 試験体



3) 欠陥形状と振幅値



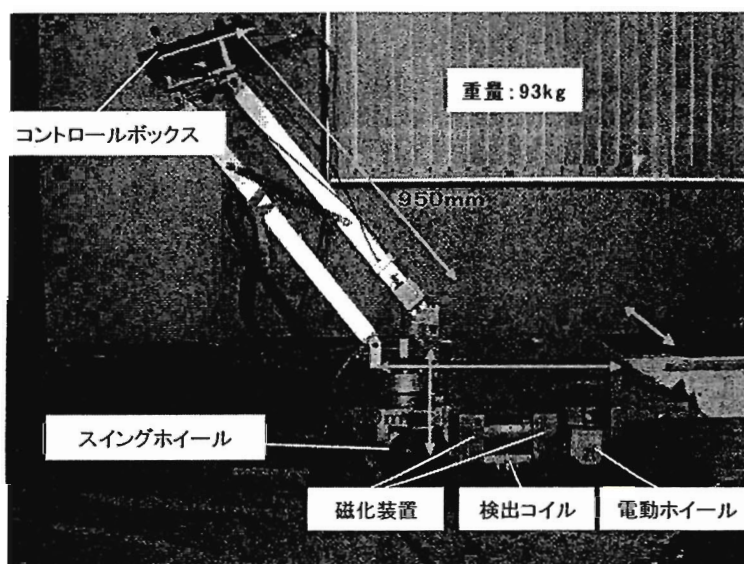
## 紹介の項目

1. 測定 の 原理
2. 装置 の 概要
3. 特 長 と 性 能
4. 適 用 事 例

10

## 装置・スキャナー部の外観

装置の概要1



11

# センサユニット構造

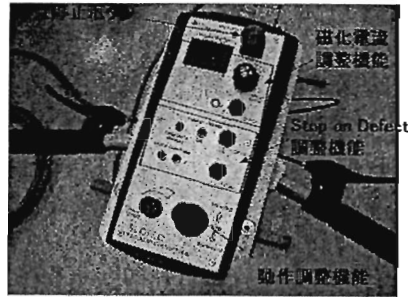
装置の概要2



<右側面>



<前面>



<Control unit>

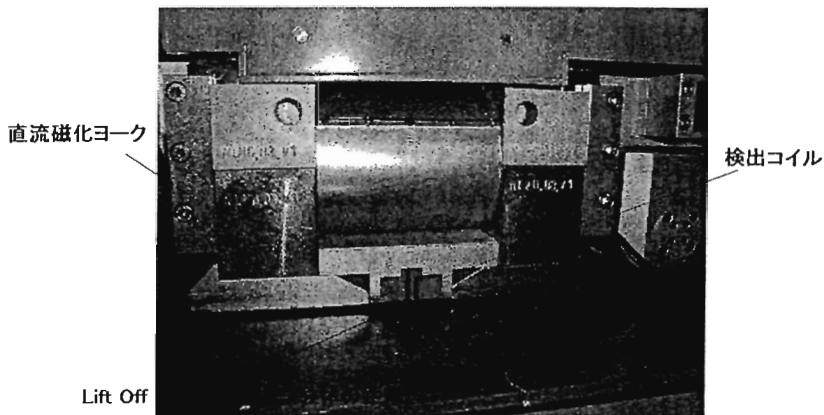
※ Stop on Defect機能:

走査時にある基準を超える信号を検出すると自動的に停止し、その検出箇所を赤色ランプに表示する機能

12

# 設定 - リフトオフ

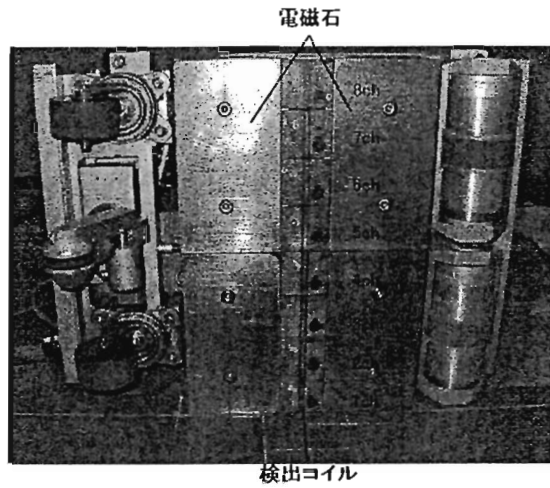
装置の概要3



タンク底板の表面状態(歪み・凹凸)などにより調整  
感度余裕値を持たせるため、なるべく小さく設定

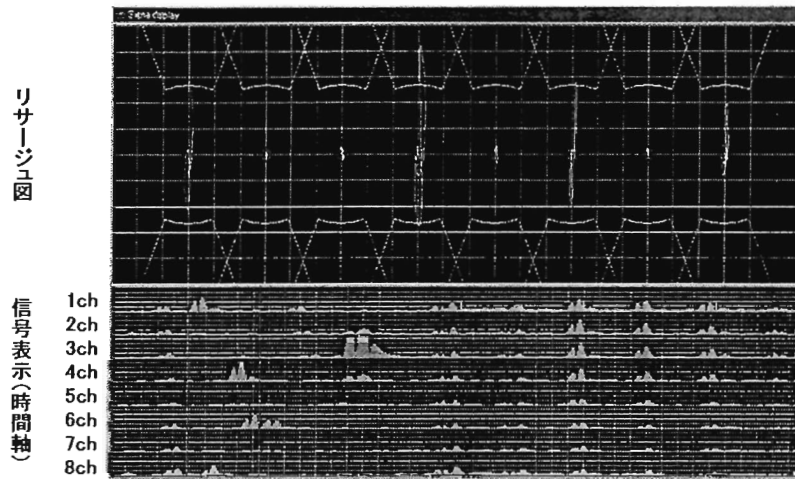
13

## 検出コイルの配置



14

## 設定 -データ解析画面-



各チャンネルのバランス、及びカラーイメージ感度を調整

15

## 紹介の項目

1. 測定 の 原理
2. 装置 の 概要
3. 特長 と 性能
4. 適用 事例

16

## SLOFEC特長

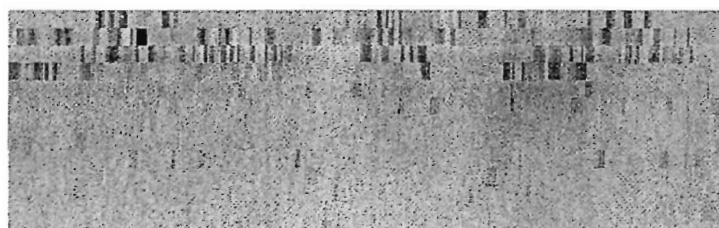
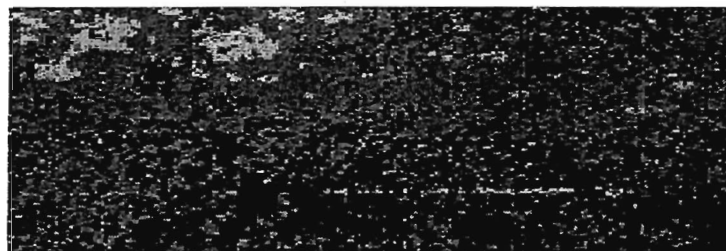
特長1

- 高速で全面探傷が可能 : 最大 分速 30m
  - 検出能力が高い  
(表面状態や腐食の形状・程度に対する依存性が低い)  
(定点肉厚測定では検出困難な局所的な裏面腐食も検出可能)
- 前処理、後処理が殆どいらぬ  
(清掃程度で検査可能、接触媒質等不要)
  - 表裏面孔食の判別が可能  
(表面腐食がある場合でも裏面腐食の検出が可能)
- 電気情報の変化の補足なので、直接の板厚測定ではなく  
人工腐食の大きさ(深さ)との比較

17

## 腐食板の写真

特長2



18

## SLOFECの性能: 確認試験より

性能

FS400

- (1) 適用材質 : タンク底部に使用している炭素鋼
- (2) 適用板厚 : 公称 6mm~24.6mm
- (3) コーティングの種類・厚さ  
: 強磁性体金属被膜を除き  
0mm~9mm
- (4) 環境温度 : -10°C~50°C
- (5) 作業時間 : 5時間以内の点検
- (6) 使用電圧 : 交流 90V~250V
- (7) 検査速度 : ~500mm/秒:30m/分

19



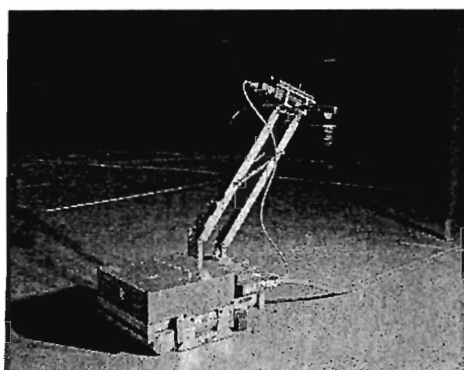
## 紹介の項目

1. 測定の原理
2. 装置の概要
3. 特長と性能
4. 適用事例

20

## SLOFEC構造2

適用1



センサユニット



解析ユニット

21

適用2

## SLOFEC現場風景1

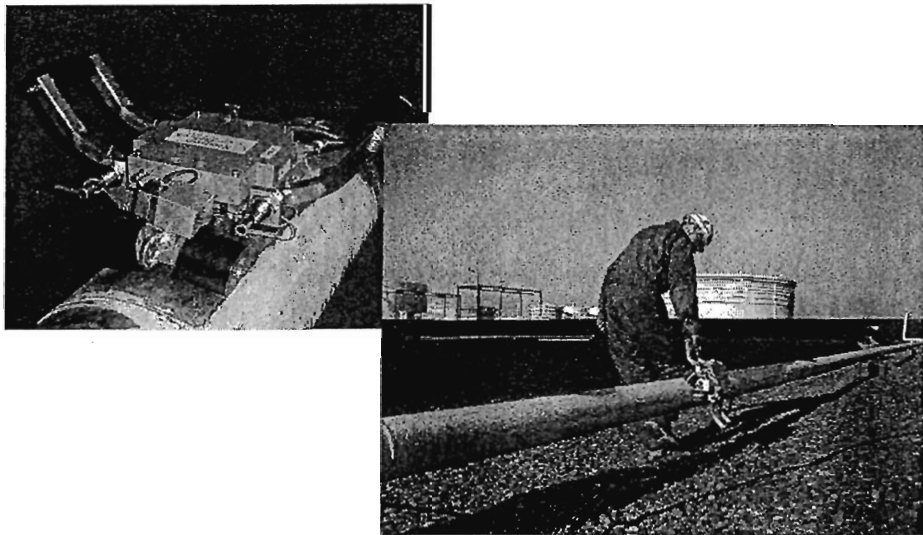


タンク底板面探傷状況

22

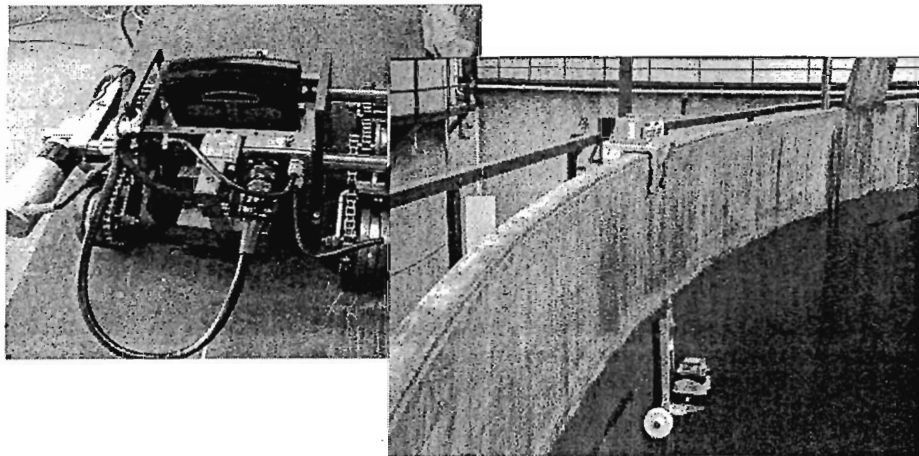
## パイプスキヤンの写真

適用3



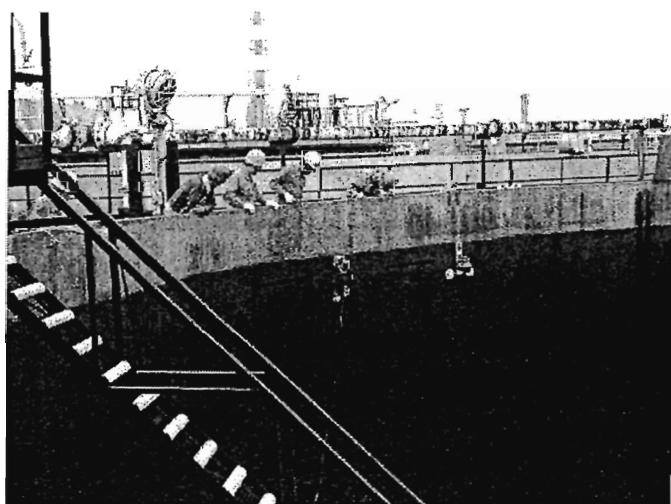
23

# クローラー&レーザーガイド 適用4



24

# 自動走行 適用5



25

# タンク側板のスラッジ

適用6



26

## 千葉県非破壊検査研究会におけるTOFD共同研究事業の紹介

千葉県非破壊検査研究会事務局 立川克美, 長瀬尚樹, 細谷昌裕

### 1. はじめに

千葉県非破壊検査研究会（CNDI）が設立されたのは1981年（昭和56年5月）、事務局を1984年（昭和59年4月1日）に千葉県機械金属試験場（現千葉県産業支援技術研究所の前身、平成15年度より名称変更）の非破壊検査室に置いて以来、研究会活動は会則の第3条「会員相互の非破壊検査技術の向上と、情報交換、および親睦交流を図ることを目的とする」に基づき、研究発表会、講演会、NDIの資格試験関連の講習会を実施し、試験場が果たすべき企業への支援業務と研究会業務を有機的に結合し、20年以上に亘って研究会の会員のみならず、県内企業への非破壊試験技術の普及と技術向上についての様々な支援策を効果的推し進めてきた。

2005年度には研究会事業の新たな展開として、研究会会員参加の共同研究を実施することとした。テーマとしては、千葉県産業支援技術研究所が行っている超音波探傷試験TOFD法についての研究をCNDIとの共同研究として実施することとした。今回、発足の経緯と共同研究の目的、体制および実験の進行状況について紹介する。

### 2. 千葉産技研のTOFD法に関する研究

近年、超音波探傷試験の分野でTOFD法が注目されており、発電設備を中心とする重工業関連分野において様々な適用事例が報告されている。JSNDIでは2001年にNDIS 2423（TOFD法によるきず高さ測定方法）を制定したが、その適用範囲は厚さ19mm以上のフェライト系鋼のきず高さ測定と定められた。NDIS制定当時は、板厚19mm以下のきず高さデータが十分得られていなかったことと、きず長さの測定データも十分得られていなかったことにより、きず高さ測定に限定された規定となったのが実情である。

旧千葉県機械金属試験場においても2000年よりTOFD法のきず高さ測定の優位性に着目し、基礎的な実験に着手した。実験当初はTOFD探傷装置もなく、デジタル式の超音波探傷装置を用い、二探触子法によるAC波形から伝搬時間を読み取り、手計算によりきず高さを算出した。そのサイジング性は従来のパルス反射の一探触子法とは比較にならないほどきず上端部の測定値が実きずの位置と一致した。

その後、千葉県が実施する技術パイオニア養成事業ORT研修制度を活用し、TOFD装置を導入したばかりの（株）シーエックスアール千葉営業所より研修生を受け入れ、前述のNDIS規格で対象外となった板厚19mm以下の材料を対象として、きずの検出性とサイジングについての研究を行ってきた。2005年まで得られた結果では、適用板厚の下限値6mmまではTOFD法による検出性とサイジング性は良好であるが、密着したきずにおいては検出性が低下することも分かった<sup>1)</sup>。

### 3. きずサイジングの必要性と規格

20世紀において構造物は盛んに製作され、性能の低下あるいは耐用年数が来れば廃棄されるサイクルとなっていた。しかし、21世紀は経済的、資源的な観点から現存の設備をできるだけ長期に使い続けるスタイルに移行せざるを得ない。そこに、構造物の保守と維持が重要なテーマとなり、非破壊試験によるき裂などのきず検出と共に、信頼性の高いきずのサイジングが要求される。



超音波探傷によるきず高さ測定に関する規格では、前記のNDIS 2324の他に溶接部の超音波探傷規格JIS Z 3060:2002「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」の付属書8に〈参考〉として、端部エコー法によるきずの指示高さの測定方法がある。また、NDIS 2418「端部エコー法によるきず高さの測定方法」の改訂版が2005年に発行された。

原子力安全・保安院ではUTによる供用期間中検査（ISI）として、発電設備技術検査協会が提案した「改良UT」手法として、端部エコー法、フェイズドアレイ法、モード変換法などを組み合わせたひび深さと長さ測定方法を制定した。

TOFD法の海外規格では、CEN/TC 14751:2004があり、いずれはISO案として審議に付されるのは確実な情勢である。このような事態に備え、JSNDIとしても日本案を提案できるような体制を整えておく必要性に迫られている。

#### 4. 共同研究の組織化

JSNDI超音波分科会の中にTOFD法調査研究WG（GL名取孝夫：㈱ジャスト研究所）があり、2003年より検討を重ねてきた。メンバーには過去にNDI等でTOFDに関する研究報告を行った実績のある検査会社や重工業関係および探傷機器メーカーである。このWGでは、過去の測定実績報告、実きず高さとの相関関係等が報告され、TOFD法はきず高さの測定において、信頼性の高い結果が得られると同時に、検出の困難なケースもあるとの報告を得ることができ、探傷条件に左右される度合いが大きいことも分かった。

TOFD法をJIS規格化するには、同一試験体に対して製造メーカーの異なる様々なタイプの装置によるデータと測定者の異なる多くの実験結果が必要である。このような集合実験を行った例としては、1999年～2000年に国土交通省国土技術政策総合研究所が中心となって実施した「鋼道路橋溶接部の非破壊検査手法に関する共同研究」のなかで、TOFD法の実験がサブ的にデータ取得された例がある。更に、一昨年来よりつくばの同研究所において鋼製橋脚隅角溶接部のNDTで、フェイズドアレイ法、AUT、MUT、TOFD法による回送実験が行われているものの、この研究は厚板の鋼製橋梁溶接部の探傷を目的としたものであり、この結果をJIS規格作成の基礎データとして使用させて頂く同意も得ていない。

このような状況から、千葉県産業支援技術研究所においてTOFDの規格化に貢献すべく、TOFD法による鋼溶接部のきず検出性とサイジングに関する実験を回送実験方式にて実施する計画を立て、参加者を募ることとした。

千葉産技研において、企業との共同研究を実施する場合、共同研究契約を締結することが義務付けられている。この計画では実験参加者数を5社以上を必要としたため、全ての参加者との共同研究契約書の取り交わしには多くの時間を費やし、更に千葉県外の事業者との共同研究における事務上の困難が伴うことも予測できた。

これらの状況から、CNDIが共同研究取りまとめ窓口になって千葉県と契約をすることを提案し、CNDI役員会および総会並びに産技研の了解の元に契約書を締結した。

なお、共同研究の公募は、研究会ホームページで公開すると共に、産報出版「検査機器ニュース」および鋼構造出版の「鋼構造ジャーナル」に募集記事の掲載をお願いした。

参加申込者を表1に示す。本実験には、当初の予想を上回る11社の参加申込みがあった。なお、このうち、4社はCNDIの非会員であったので、この実験を機にCNDIの会員に登録をお願いした。

表1 参加チーム名

	参加企業名	所在地
1	(株)シーエックスアール千葉営業所	市原市青柳2-16-10
2	(株)ダンテック関東支社千葉営業所	千葉市中央区南町2-22
3	(株)日鐵テクノリサーチ検査・計測事業部	君津市君津1
4	(株)アイ・エム・シー	千葉市中央区稲荷町2-11-6
5	新日本非破壊検査(株)関東支社	千葉縣市原市白金町4-48
6	東電工業(株)検査技術センター	川崎市幸区柳町83-1
7	(財)発電設備技術検査協会	横浜市鶴見区弁天町14-1
8	(株)ジャスト研究所	横浜市港北区新横浜2-5-26
9	日本クラウトクレマー(株)	豊島区西池袋5-13-13
10	(株)菱電湘南エレクトロニクス	鎌倉市山崎25
11	ダイヤ電子応用(株)関東営業所	東京都江東区亀戸1-7-3
12	千葉県産業支援技術研究所	千葉市稲毛区天台6-13-1

本実験計画と進行には、J S N D I 超音波分科会の接合部の超音波探傷研究委員会（委員長：高田一 J F E 技研）と T O F D 調査WGの協力を仰ぐこととした。なお、本共同研究の幹事役として、高田一（J F E 技研）、名取孝夫（ジャスト研究所）、古川敬（発電技研）、長瀬尚樹（千葉県産業支援技術研究所）、立川克美（千葉県産業支援技術研究所）が担当した。

## 5. 実験の概要

### 5. 1 実験期間

試験体は重量物であるため、輸送は困難である。そこで、試験体を千葉県産業支援技術研究所に常設し、各チームに約1週間の期間を割り当てることとした。データ取りは7月中旬より開始し、11月上旬にデータ取得完了とした。TOFDデータ取得後、AUTにてJIS Z 3060による探傷データの取得を経て、試験体の切断作業を行うこととした。各チームのサイジングデータと試験体の切断結果との関係を2006年3月末までに報告する。

### 5. 2 試験体

実験に用いた突合せ溶接継手試験体11体の板厚および開先形状を表2に示す。当初の計画では、溶接試験体の他に、板厚25mmの疲労き裂試験体の測定も計画したが、産技研の疲労試験機のトラブルにより、疲労き裂の測定は断念した。



図1 試験体と探傷風景

表2 試験体数

試験体番号	板厚	開先形状	探傷範囲 (Xs~Xe)
6-1	6	V	120 ~ 450
6-2	6	V	120 ~ 400
12-1	12	V	150 ~ 520
12-2	12	V	30 ~ 350
25-1	25	V	30 ~ 290
25-2	25	K	30 ~ 290
40-1	36	V	40 ~ 310
40-2	36	K	40 ~ 310
60-1	60	K	40 ~ 260
60-2	60	X	40 ~ 260
100-1	100	V	100 ~ 400

## 5-3 使用探傷装置

参加12チームが使用した探傷装置の一覧および探触子を表3, 表4に示す。

表3 装置名・使用チーム数

装置名	使用チーム数
日本ケイトクレーマー USI- $\alpha$ TOFD	3
R/Dテック $\mu$ TOMOSCAN	3
菱電湘南エレクトロニクス TOFD25	1
ジャスト研究所 TOFD25	1
ジャスト研究所 UTステーション	2
ダイヤモンド電子応用 FINE-TOFD 2000	2
ダイヤモンド電子応用 multi-TOFD IV	1
発電技研 エムン計測	1
新日本非破壊検査 UマスターII	1

表4 使用探触子 (各チームの総合)

周波数	屈折角	振動子サイズ
5	35°, 45°, 50°, 60°, 70°	$\phi 6$ , 5×5, 7×7, 10×10, $\phi 0.25$ in (6.35mm)
7	60°, 70°	7×7
7.5	60°	$\phi 0.25$ in (6.35mm)
10	60°, 70°	$\phi 3$ , $\phi 0.25$ in (6.35mm)
15	60°, 70°	$\phi 0.25$ in (6.35mm), $\phi 4$ , 7×7
20	60°	—

## 5-4 データの取得

### ①感度設定

- (a) 独自の条件（ラテラル波の高さを記録し、RB 試験片  $\phi 3$  下端回折波との dB 差を記録）
- (b) ラテラル波  $40 \pm 10\%$
- (c) ラテラル波  $80 \pm 10\%$
- (d) ラテラル波が得られない場合は裏面エコー  $100\%$  程度  $+12\text{dB}$ （RB 試験片  $\phi 3$  との比較を記録）

### ②Dスキャン

Dスキャン①      Dスキャン②      Dスキャン③

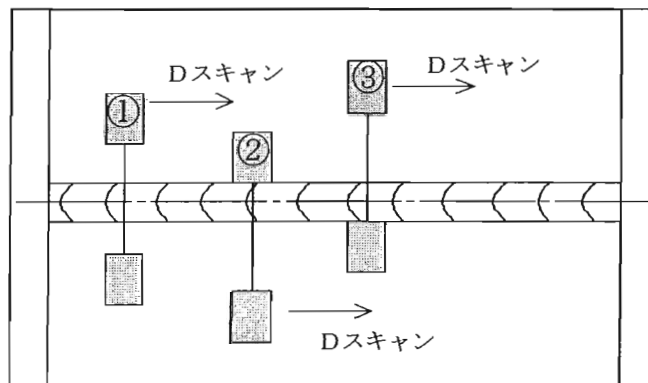


図2 Dスキャン手法

探傷画像データは試験当日提出とした。きず高さおよびきず指示長さのサイジングデータについては、後日提出とした。

## 6. 今後の計画

探傷データと実きずサイジングデータとの相関を3月末までに提出。JIS規格案として、Z3060の付属書への規定する案が有力、他の測定方法端部エコー法やフェイズドアレイとの比較実験も必要との意見もあり、現在追加実験と共に当初計画案の変更も視野に入れて調整中である。

## 7. まとめ

千葉県非破壊検査研究会の初の試みとして計画したTOFD法による溶接きず評価実験は、多くの方に参加頂き貴重なデータが得られつつあり、関係者の皆様に深謝申し上げます。残りの期間はあまり長くはないが、超音波探傷試験の検出性とデータの信頼性向上を目的に、本データを最終目的であるJIS規格化に向けた資料としてまとめて行く予定である。

また、個人的なことになるが、CNDI事務局を昭和60年引き継いで以来、20年目にして「親睦」「情報交換」から一歩踏み出した感がある。事務局担当者としては多いにやりがいを感じているところで、事情が許せば他のテーマでも会員参加の共同研究に取り組みたい思いである。

## 参考資料

- 1) 立川ら：JSNDI、第12回超音波による非破壊評価シンポジウム講演論文集 p31~34



## 技術者の倫理

2006.2.10  
 社団法人日本機械学会  
 工学教育センター長  
 大輪武司

## 目次


- 注目される技術者倫理
- 技術とは何か
- 技術者倫理としての行動決定法
- 企業の中で

### (1) 三菱自動車の大型車用ハブ

- 大型車用ハブの疲労破壊事故  
 設計変更→事故多発(92-)  
 :整備不良のためと発表
- バスでも事故(99):調査委員会を作るも同様の結論
- ついに死亡事故(02):原因究明進まず  
 2年後(今年3月)に欠陥を認めてリコール

2004年3月3日記者会見 参考資料1

大型トラックハブの疲労破壊



項目	調査結果					対応	
	材料	設計	製造	検査	整備	修理	回収
原因	材料	設計	製造	検査	整備	修理	回収
対策	材料	設計	製造	検査	整備	修理	回収
対応状況	完了	完了	完了	完了	完了	完了	完了
回収状況	完了	完了	完了	完了	完了	完了	完了
回収率	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
回収台数	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
回収金額	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

※1000台は回収率100%を仮定した場合の数値です。実際は回収率が100%未満です。

### (2) 東芝のFDDの例



### 東芝のFDDの場合

- わずかな危険の可能性を無視
- 担当の技術者はわかっていたはず
- 事故のないことが言い分け
- 結果は莫大な損害  
 1100億円の金額と信用



### (3) 日航機のトラブル

- ✿ 2005年2月 747、5機が強度不足の部品で飛行していたことが判明
- ✿ 3月 非常用脱出装置が作動しない状態で飛行(東京→札幌)
- ✿ 4月 再発防止策を国交省へ提出
- ✿ 6月 羽田の着陸便でタイヤ2本がはずれ
- ✿ 7月 整備不良で逆噴射が作動せず(札幌)

### 日航機のトラブル その2

- ✿ 8月 福岡発機のエンジンが異常燃焼して、多数の部品が落下
- ✿ 12月 非常用脱出装置が作動しない状態で飛行(台北行き)
- ✿ 2006年1月7日 逆噴射装置が働かず(大阪→鹿児島)
- ✿ 1月 再発防止策の再提出を国交省が指示

### 技術とは何か

科学と技術はどこが違うか

### デカルト (René Descartes)

1596~1650

方法序説(1637)  
(理性をよく導き、  
もろもろの学問に  
おいて真理を求め  
る方法についての  
序説)

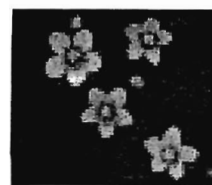


### デカルトの方法論

- ✿ 明かなもののみをとること
- ✿ 出来るだけ細かく要素に分解すること
- ✿ 単純な物から始めて再構築すること
- ✿ 見落としのないことを確認すること

### デカルトの方法の順序

- ✿ ノイズの除去
- ✿ アナリシス(分析)
- ✿ シンセシス(総合)
- ✿ 確認

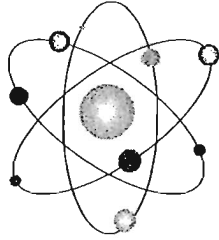


## デカルトの方法の前提

- 分析の対象がすでに存在すること
- これは科学の前提

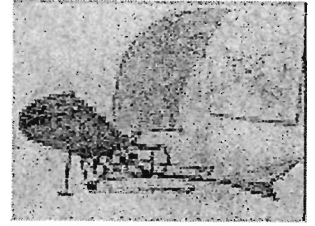
— そして —

- これは技術では成り立たない



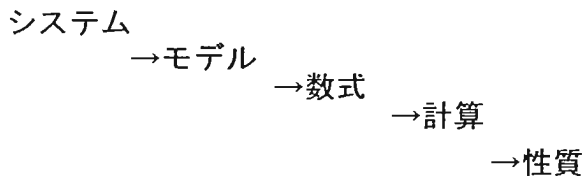
## 技術では

- まず物のイメージを作る必要がある
- そこで初めてそれを解析して性能を求めることが可能になる
- これは科学の方法とは順序が逆である

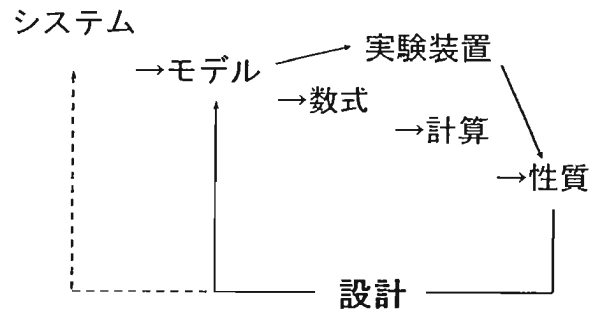


レオナルド・ダ・ビンチ (1452~1519)

## 解析の流れ



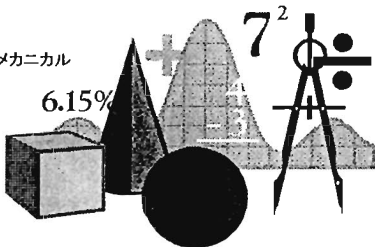
## 技術では



## 設計

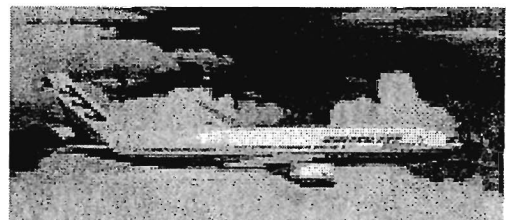
- 設計は科学になれないくらい創造的な作業である

1984.10.22 日経メカニカル



## 技術は

科学が創造主の摂理を探求するのに  
対して技術は神が作らなかったものを  
新たに考え出し、作り、運用する



## 科学と技術

- ④ 科学はすでに存在する物に働いている普遍的な法則を探求し
- ④ 技術は新しい機能を実現する具体的な方法を案出し、作り上げ、運用する

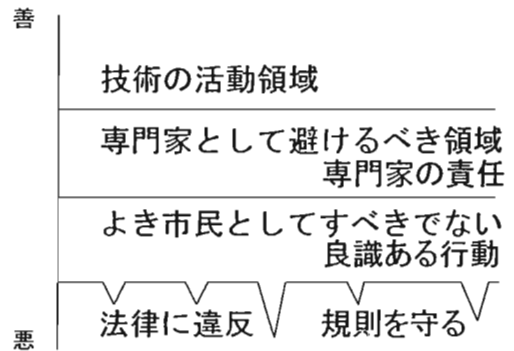
## 技術者と科学者

- ④ 「もの作り」に携われれば技術者
- ④ 真理を探究していれば科学者
- ④ 音楽をしていると音楽家
- ④ ゴルフをしているときはゴルファー
- ④ つまり一人の人間の中に  
科学者も技術者も、芸術家も哲学者も共存している

## 技術者は

- ④ 新しいものを作る  
もの：ハード、ソフト、サービス
- ④ 新しいものは人類にとって新しい環境  
「技術者は社会を使って実験をしている」
- ④ 「専門家は美德を備えるべきである。ほとんどの人は専門家を信じる以外に方法がない。知識の急増は無知の急増であり、知識が力ならば無知は無力である。」

## 技術者の倫理、責任



## 技術者の行動決定法

どう行動したらよいか

## 倫理的行動決定法

- ④ 義務論的(エマニュエル・カント)  
人にされたくないことを人にしてはならない  
皆がしたら悪だと思えることは一人でも悪い
- ④ 功利理論(ジェルミー・ベンサム、ミル親子)  
最大多数の最大幸福  
これは価値関数の設計  
少数の非常に不幸な人を救うためには皆で  
少しずつ我慢する(最大不幸の最小化)

## 倫理問題の例題

- A県のゴミ最終処理場建設の責任者であるBさんは、委員会で種々検討した結果、県の中で人口密度が小さいC町の山中に建設することに決定した。しかしC町の人に「C町だけが犠牲になるのはおかしい。絶対反対だ。」と言われている。
- さてBさんはどうしたらよいでしょう。

## 設計と倫理の関係

- 設計の段階で技術者倫理が重要であることは言うまでもない
- もう一つの関係は設計問題が倫理問題に良く似ている常に相反問題の中にある
  - 性能と価格、堅牢さと重量などなど
  - 顧客は誰か、顧客は何を望んでいるか
- この種の問題は正解が一つに決まらず、従来の教育機関は教えるのが得意でない

## 相反問題の解き方

- 明らかに優先する方があるか何が最も大切なのかを考える
- 問題点を明らかにする
- 考え得る複数の行動をそれによって満足される責務で採点する
- 創造的中道:どちらも部分的に満足する方法を考える

## 企業内での倫理の扱い

テキサス・インスツルメント  
ロッキード・マーチン

## エシックス・ビジョン(TI)

- TIの社員は、すべての行動と決定の際に倫理と誠実さを最優先に考慮する権限を与えられている
- そしてこの目的を首尾一貫して達成するということが社内外から認められている

## メッセージ(TI)

- 信頼と尊敬はお金では買えない
- いつも疑問を呈する権利を持っている
- ハイレベルの誠実さは競争力である
- 誠実さは職場の人間関係と慎重なビジネスの生命線である
- 倫理的な決定は勉強できる
- 顧客との相互理解は信頼関係から
- 誠実さはオープンな職場環境から



## 物品の授受(線引きの例として)

### 相手が企業の場合(LM)

- 相手の企業に規則があるときはそれに触れないこと
- 食事:市場の慣習に従ったもので、頻繁でないこと、贅沢でないこと
- 贈り物:ロッキード・マーチンの社員は仕事上の関係がある会社またはその社員に市場価値が\$100以上の贈り物(スポーツ接待、チケットを含む)を提供することを禁ずる

## 社員がもらう側になる場合

- 要求することは一切禁ずる
- 当社と関係がある、または関係を持つとする個人や会社から市場価格\$100以上のものを受け取ることは禁ずる
- 製品またはサービスを購入する立場の社員はペン、キーホルダー、水筒、サンパイザー、コーヒーカップ、コップなど以外はもらってはならない

## 行動のチェックリスト(TI)

- あなたの行為は規則を破ってませんか
- あなたは公平ですか、正直ですか
- あなたの行為は時間の試練に耐えられますか
- 自分に対してどんな気持ちですか
- 新聞がかぎつけたらなんて書きますか
- 今夜は安心して寝られますか
- あなたの子供が同じ事したら親としてどうですか
- 家族や友人に知られても平気ですか

## 企業の技術者の注意

- 技術者のうそはすぐに公衆の安全を脅かす
- 企業の技術者の周りには相反問題の種がいっぱい
- とにかく一人で悩まないこと
- コミュニケーション・コミュニケーション・コミュニケーション
- 倫理的な行動は勉強できる
- 周りに信頼できる仲間を持つこと

## 倫理問題は企業にとって大きな痛手(場合によっては会社消滅)

- 企業の中にある倫理問題をひとつずつ解消していかななくてはならない
- 企業の中には倫理問題が必ずある
- 倫理問題があることに気が付いていない
- 倫理問題であることに気がついていない
- 経営者と従業員に何ができるか

## 内部告発は最後の手段

- 内部告発は本人にも会社にもよい結果を生まない場合が多い
- 職場での話し合い
- 直接の上司との話し合い
- 会社内のヘルプライン
- 学協会など外部のヘルプライン

## 米国の企業の場合

- 取締役会の下に倫理委員会を置き、その下にエシックス・オフィスを置いている。エシックス・オフィスは数人のスタッフ
- 教育はエシックス・オフィスの支援で行う
- グローバルな展開を考慮  
共通な部分と地域によって異なる部分
- <http://www.eoa.org>

## 部下に圧力をかける上長の言葉

- 何とかしろ
- 分かるだろう、子供じゃないんだから
- うまくやれよ

## 部下に言ってほしいこと

- 私もルールを守るから、君たちも守ってくれ
- 自ら教育の先頭にたって伝えること

ありがとうございました

大輪武司 owa@jsme.or.jp



