

溶接ビード品質評価システムの開発

吉川 毅, 澤山 一博
八代 信弘*, 堀田 敏*

Development of Quality Evaluation System for Welding Bead

Takeshi KIKKAWA, Kazuhiro SAWAYAMA
Nobuhiro YASHIRO, Satoshi HORITA

抄 録

大型鋼構造物用柱材における T 継手のすみ肉溶接を対象とした、溶接ビード品質評価システムの試作開発を行った。本システムは、レーザ式変位センサを有する計測装置が溶接部に沿って自動走行しながら溶接ビード断面形状を連続的に計測すると同時に、独自のデータ処理機能により各断面部の溶接品質および製品の総合評価を行うものである。これにより、検査工程の省力化と溶接品質の向上を図ることが可能となった。

1. はじめに

H 形鋼に代表される大型鋼構造物用柱材においては、溶接品質が安全性に及ぼす影響は極めて大きいものがある。しかし、溶接部の品質検査はほとんどが人手による測定と目視チェックに頼っており、測定誤差も大きいのが現状である。このため、溶接ラインの省力化や溶接品質の安定化が検討課題になっている。一方、溶接品質は溶接ビードの断面形状を把握することによりおおむね評価できることから、高速、かつ高精度な計測システムを開発することにより、これらの課題は解決すると思われる。

本研究では、大型鋼構造物用柱材の T 継手溶接部を対象にして、レーザ式変位センサによるすみ肉溶接ビードの断面形状計測および溶接品質を評価するシステムの試作開発を行った。また、開発したシステムを用いて実証試験を行い、その有効性の検証を行った。

2. 溶接ビード品質評価システム

本システムは計測装置（写真 1～2 および図 1）とパーソナルコンピュータにより構成される。計測装置は小型のレーザ式変位センサを主要機器として、計測機構、自動走行機構および制御系機器等により構成されている。本システムの計測に関する基本構成機器を表 1 に示す。

*株式会社 共成

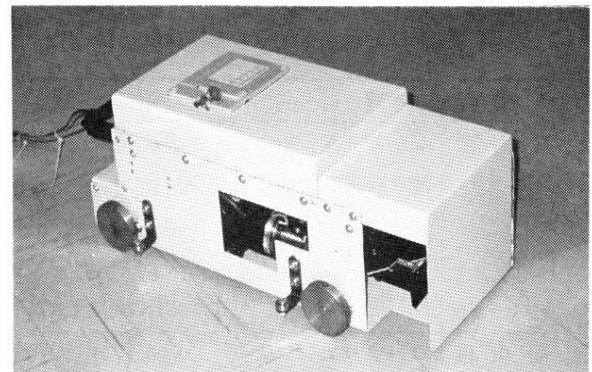


写真 1 溶接ビード品質評価システム（計測装置の外観）

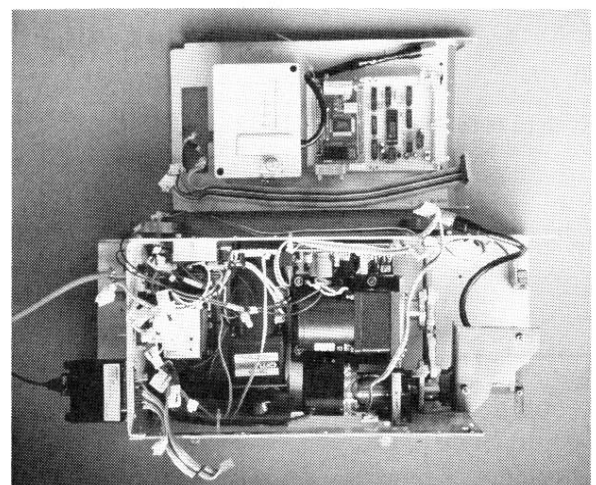


写真 2 計測装置のレイアウト

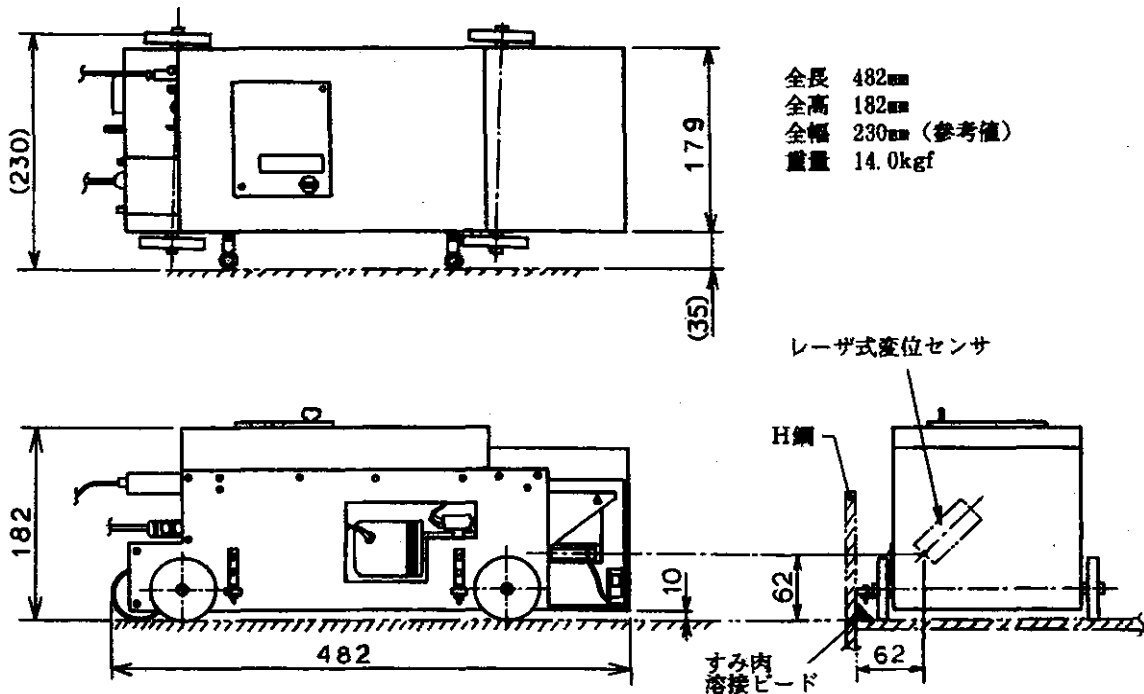


図1 溶接ビード品質評価システム (計測装置全体図)

表1 品質評価システムの基本構成機器

機能	機器名	仕様
距離計測*	レーザ式変位センサ 聯キーエンス LB-080	測定範囲 80±15mm 分解能 8 μm 応答速度 0.4ms アナログ出力±5V フジィコントロール有
旋回角度 検出	ロータリエンコーダ オムロン E6D-CWZ1E	分解能 1000P/R
信号変換**	A/Dコンバータ ADC0809N	変換精度 8 bit 変換速度 116μs 入力電圧 +5V
計測部制御	Z80マイクロコンピュータ 梅沢無線電気 UEC-02	Z80MPU, TMPZ840015BF-8搭載 クロック 6MHz
データ処理	パーソナルコンピュータ エプソン PC-486NA	CPU i486SX クロック 25MHz

注. *, **により, システム全体としての分解能は, 0.117mmである。

2.1 システム機能概要

溶接ビード品質評価システムは, T継手のすみ肉溶接作業における検査工程の省力化と補修工程の適切な実施, さらに溶接品質の向上を実現するものである。具体的には15m程度までの長スパン製品を対象にして, 溶接ビード断面形状を連続的に多数計測し, 解析することにより製品の溶接品質に関する総合評価を行う。

主な機能を以下に示す。

- ① 溶接ビードに沿って自動走行しながら, レーザ式変位センサにより断面形状を計測する。
- ② 製品の溶接品質に関する総合評価, および補修を要する位置をプリンタに出力する。
- ③ 溶接ビード断面形状のモニター表示, およびハードコピー出力を行う。
- ④ 溶接品質のデータベース化を図る。

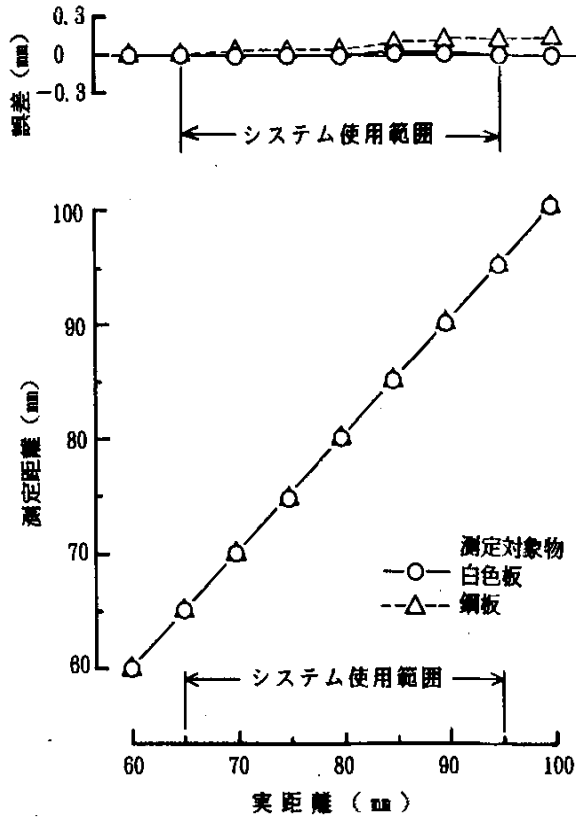
2.2 計測装置

2.2.1 レーザ式変位センサ

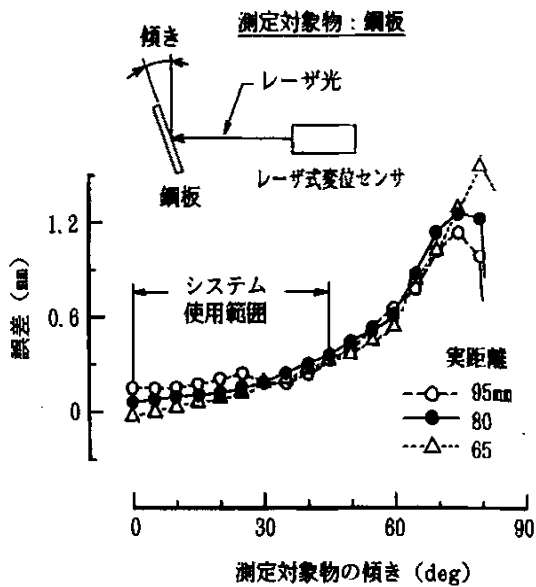
レーザ式変位センサは三角測量の原理を利用して距離計測を行っている。本システムで用いたレーザ式変位センサは測定範囲が80±15mmであり, その単体特性を図2に示す。なお, 特性調査のための試験は三次元精密測定機にレーザ式変位センサと測定用試験片を設置して行い, 試験片は白色アクリル板と任意の鋼板(くろ皮付き, かつ適度の発錆有り)の

2種類を用意した。

基本特性は極めて高い直線性を有しており、誤差は0.15mm以内である。角度特性は、計測時の使用範囲(±45deg未満)において0.30mm以内である。



(a) 基本特性



(b) 角度特性

図2 レーザ式変位センサの特性

2.2.2 計測機構

図3に計測機構を示す。基本構造は、ACモータ駆動による旋回機構にレーザ式変位センサを搭載したものである。計測方法はレーザ式変位センサを旋回させながら、一定の微小ピッチ角毎に溶接ビードまでの距離データを多数得るものである。さらに、これらのデータをパソコン上で高速処理することによって溶接ビードの断面形状が得られる。この動作を連続して行いながら溶接ビードに沿って走行することにより、多数の断面形状が得られて製品の溶接品質に関する総合評価がなされる。

以下に主な計測仕様を示す。

- ・計測ピッチ角 : 0.36deg
- ・計測範囲 : 55deg
- ・計測データ数 : 155個/断面
- ・旋回速度 : 0.74s/往復
- ・旋回往路, 復路共に計測可能
- ・走行速度 : 80cm/min

旋回速度は、計測精度に対するレーザ式変位センサの応答速度(最高0.4ms)の影響が無いように設定を行った。また、走行速度は通常80cm/minに設定してあるが、最高300cm/minまで任意に設定可能である。

走行しながら旋回計測を行う場合、計測される断面は計測開始点と計測終了点の間に走行速度分のズレ(本設定の場合、約5mm)が生ずる。このため、得られる断面形状は必ずしも垂直断面を示さないが、本設定速度では実用性能上に問題はない。

本計測仕様により、約1.1cm毎に溶接ビード断面の計測が行われる。

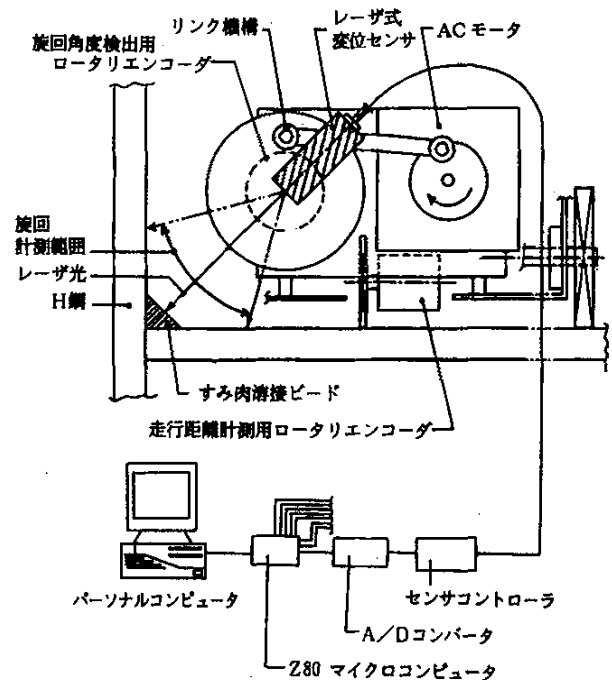


図3 計測機構

2.2.3 走行機構

図4に走行機構を示す。四輪走行方式を基本とし、駆動用ACモータ、走行距離計測用ロータリエンコーダ、ストッパーローラー、自動停止用光電スイッチおよびシャーシフレームにより構成される。

本システムで使用したレーザ式変位センサの計測範囲仕様は80±15mmであるため、走行に際してはセンサと溶接ビード間の距離をこの範囲内に保つ機構が必要となる。本走行機構は、前輪・後輪共に適度な舵角(2deg)を設定することで溶接ビード側にスライド走行する特性を持たせる一方、ストッパーローラーによって被溶接部材の垂直側面(すなわち、溶接ビード側)との間隔を一定に保ちながら被溶接部材の上を自走するシンプルな機構とした。このため、製品形状が多少曲がっていたり弧を描いていても、溶接ビードに沿った走行が可能である。

2.2.4 計測制御および溶接品質評価ソフトウェア

図5に制御系レイアウトを示す。計測および走行機構はZ80マイコンにより制御され、さらに品質評価部分と併せてパソコン(NEC PC-98系)により一括管理される。パソコンとマイコンとの通信手段は、ノイズ対策を考慮して光シリアル伝送方式(RS-232C準拠)を使用した。

図6にシステムの処理フローを示す。レーザ式変位センサにより得られた多数の距離データは一断面計測毎に光ファイバによりパソコンに転送され、専用開発した溶接品質評価ソフトウェアにより逐次、高速に処理される。長スパン製品の計測が終了すると、製品としての総合評価がなされてプリンタに出力される。また、任意位置の断面形状をモニター表示して局所的な溶接品質の確認ができる。必要に応じてハードコピーも可能である。

溶接品質評価ソフトウェアはC言語を用いて開発を行った。また、品質評価に関するアルゴリズムは日本建築学会の基準をもとに、共同開発を行った(株)共成の社内検査基準に準じた評価項目および評価基準により構築されている。

評価項目は溶接脚長、ビード断面積比率、ビード表面の凹凸とした。また、製品の総合評価については、溶接不良個所の割合や分布状態によって評価(合格または不合格)を行っている。評価アルゴリズムの一例として、溶接脚長取得に関する解析例を図7に示す。

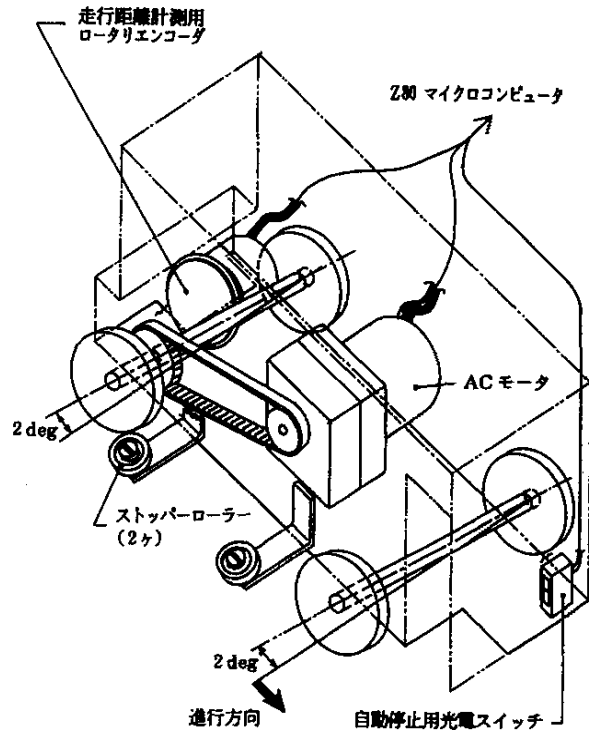


図4 走行機構

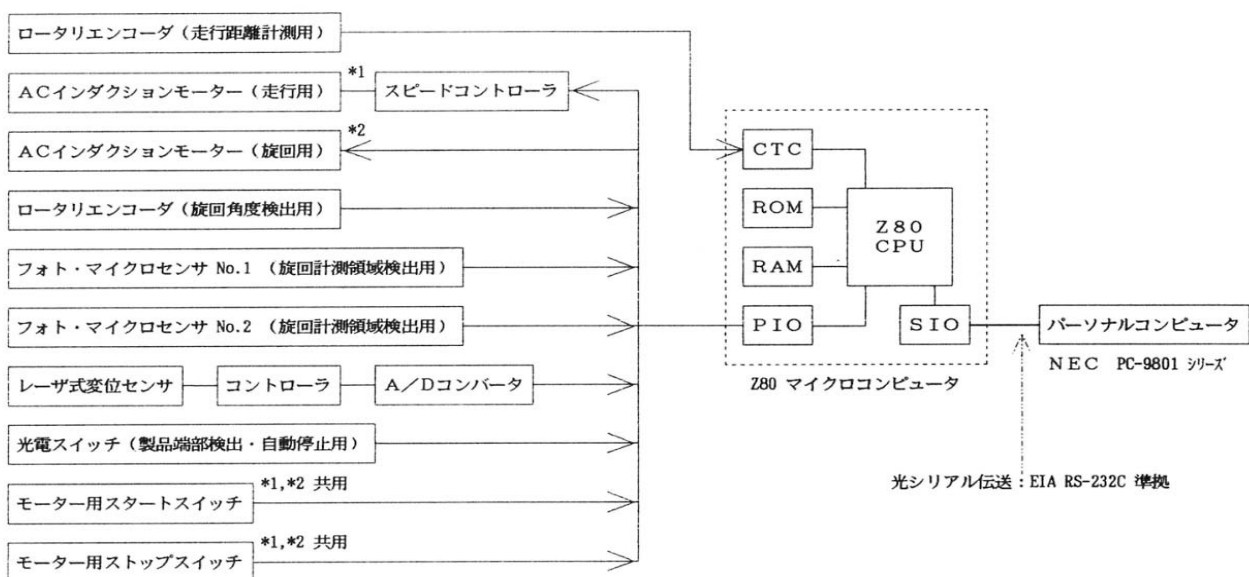


図5 制御系レイアウト

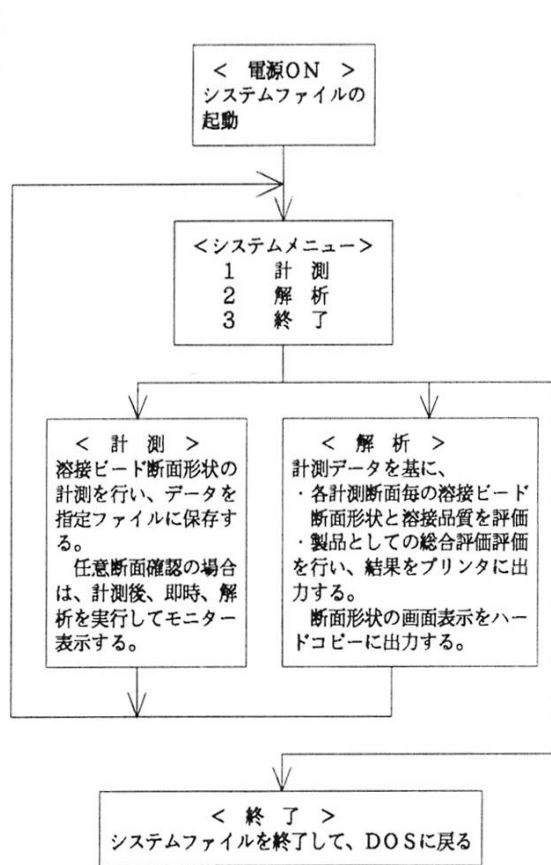


図6 品質評価システム処理フロー

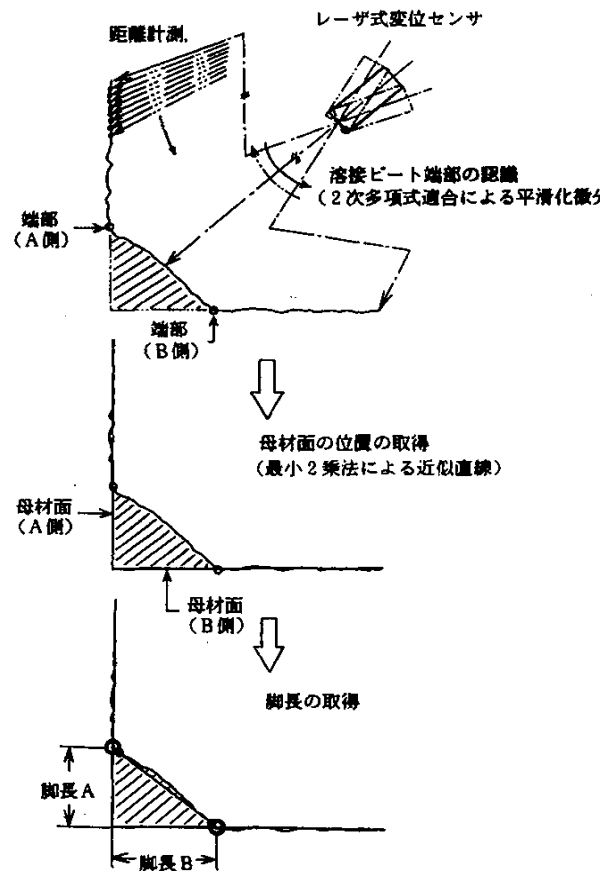


図7 溶接品質評価の解析例
(溶接脚長の取得方法)

3. 実証試験結果および考察

試作装置を用いて本システムの実証試験を行った。試験は、断面形状の評価精度および製品の総合評価に関して行った。

3.1 断面形状の評価精度

本評価精度は溶接脚長（以下、脚長という）に限定して試験を行い、誤差データが正規分布に従うものとして精度の統計的推測を行った。計測は走行停止状態でを行い、また、評価基準となる実測値はノギスを用いて測定した。

3.1.1 硬質紙モデルによる試験結果

計測精度に寄与する要因として、レーザ式変位センサ自体の特性、計測部の加工および組み付けの物理的精度等が考え

られる。本モデル（写真3）による試験はこれらの誤差要因を補正する手段として、実際の溶接製品による試験に先立って行った。モデルは硬質紙を使用しており、脚長は5mmおよび15mmの2種類に対応したものである。

図8-aの試験結果は、レーザ式変位センサの角度特性による誤差補正およびソフトウェアの解析精度を含むシステム全体の誤差平均値分の補正を行ったものであり、真の値（誤差0mm）を中心、として典型的な正規分布状態を示している。計測サンプル数が脚長5mmおよび15mmの合計95データに対して、標本標準偏差 σ_{n-1} が0.31mm(脚長Aにおける値)となり、 $2\sigma_{n-1}$ (信頼度95%)を考慮すると精度は ± 0.62 mmであるといえる。

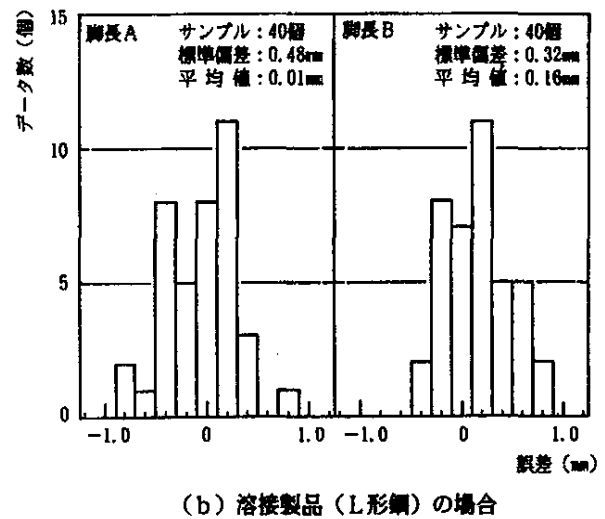
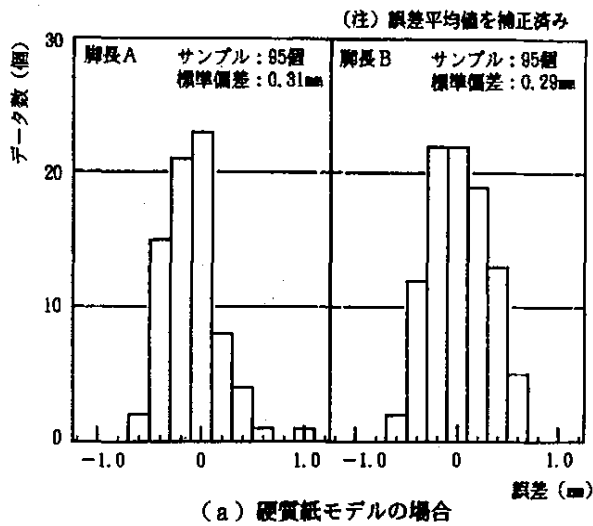
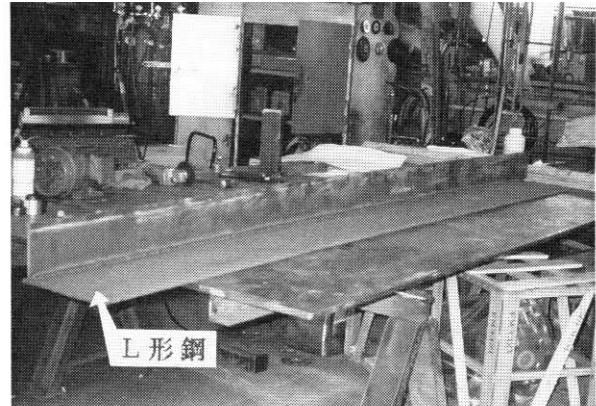
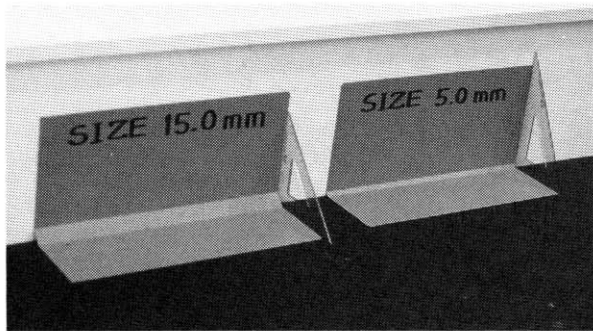


図8 品質評価システムの誤差分布

3.1.2 実際の溶接製品を用いた試験結果

硬質紙モデル試験結果をもとに、実際の溶接製品 (写真4) を用いて品質評価ソフトウェアの評価精度試験を行った (図8-b)。溶接製品は長さが4mのL形鋼であり、炭酸ガス溶接により製作されたものである。

計測サンプル数が40データに対して標本標準偏差 σ_{n-1} は0.48mm (脚長A) である。 $2\sigma_{n-1}$ (= 0.96mm) および誤差平均値分0.01mmを考慮すると精度は ± 0.97 mmである。この値は実用範囲内ではあるが、さらに精度向上の努力が不可欠である。

また、硬質紙モデルより溶接製品の場合の標準偏差が大きいことは、ノギス測定の誤差要因が大きいとも考えられる。よって、絶対精度を把握して精度向上を図るためには、本システムを用いて実際の溶接製品を数多く計測し、見きわめていく必要がある。

3.2 製品の総合評価

前述の溶接製品を用いて製品の総合評価試験 (写真5) を行った。その結果、従来の検査方法による評価と同等の結果が得られた。また、溶接不良により補修を要する位置についても適切に出力することが確認された。図9および写真6に試験結果の出力例を示す。

今後、長スパン製品 (15m程度) による試験も行って、評価アルゴリズムの信頼性を把握する必要がある。

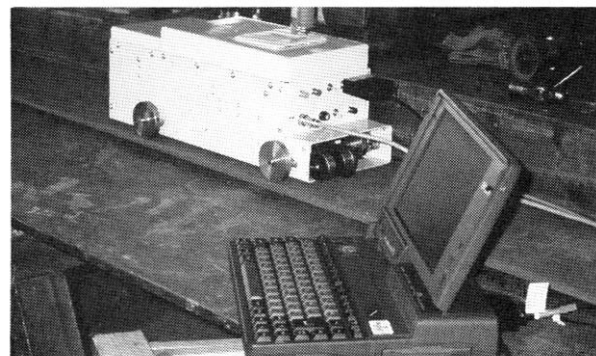


写真5 製品の総合評価試験

データファイル名		TEST27.DAT			
溶接サイズ		9.00 mm			
出力範囲		全データ			
計測番号	計測位置 (mm)	判定	***** 不良項目 *****		
1	0	NG	脚 a	脚 b	不等 面積 A凹凸
2	11	NG	脚 a		面積
3	48	NG	脚 a	脚 b	
4	95	O			
5	136	NG	脚 a	脚 b	

23	868	O			
24	895	NG			面積 A凹凸 P凹凸
25	946	NG	脚 a		
26	1000	O			
27	1038	NG	脚 a		不等
28	1071	NG	脚 a		A凹凸
29	1114	NG	脚 a		
30	1125	O			

51	2136	O			
52	2142	O			
53	2144	O			
54	2144	NG	脚 a	脚 b	不等 面積 A凹凸
55	2144	NG	脚 a		
56	2145	O			
57	2144	NG	脚 b		不等 面積 A凹凸
58	2155	NG	脚 a	脚 b	
59	2160	O			
60	2158	O			
61	2163	O			

製品評価		補修を要する			
溶接不良範囲					
400 mm	~	1400 mm			
600 mm	~	1600 mm			
800 mm	~	1800 mm			
1000 mm	~	2000 mm			
1200 mm	~	2163 mm[END]			

図9 品質評価結果のプリンタ出力
(製品の総合評価)

動計測機能、小型化および操作性に関しても配慮している。
 実証試験を行った結果、試作装置の性能はおおよそ満足いくものとなった。しかし、計測精度を含む品質評価精度が約±0.9mmで実用限界であること、前進方向しか計測できないこと、耐ノイズ性の確認が不足していることなどが今後の検討課題としてあげられる。

今後、この試作装置を実際の検査工程で試験使用してデータを蓄積する共に、本格的な実用化に向けて性能向上を図る予定である。また、本システムを応用して、溶接および検査工程の同時実施や溶接機の制御等の可能性についても検討していきたい。

参考文献

- 1) 溶接学会 編, 「溶接技術の基礎」, 産報出版 (株)
- 2) 南 茂夫 編著, 「科学計測のための波形データ処理」, CQ 出版社
- 3) 玄 光男 / 井田憲一 著, 「TURBO C 数値計算ライブラリ」, HBJ 出版局
- 4) 額田忠之 著, 「Z80 ファミリー・ハンドブック」, CQ 出版社

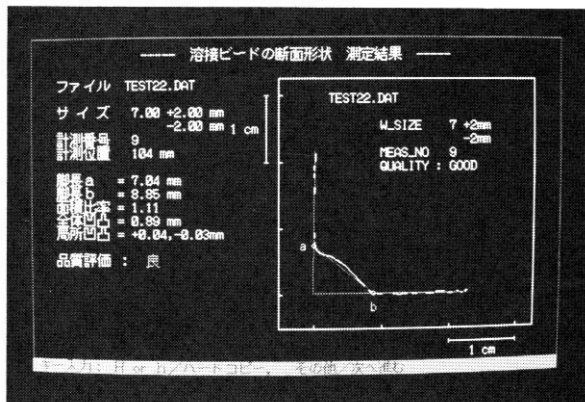


写真6 品質評価結果のモニター表示
(溶接ビード断面形状)

4. まとめ

自動走行しながら、レーザ式変位センサによりすみ肉溶接ビードの断面形状を計測して溶接品質を評価するシステムを開発した。本システムは大型鋼構造物用柱材のT継手溶接部を対象にして、検査工程の省力化と溶接品質の向上を目標に開発したものである。実用化を前提として、設計段階では自