

# 論文 各種機械式継手の鉄筋挿入長さの超音波による測定方法の検討

森濱 和正\*1・田中 賢治\*2・倉持 貢\*3

**要旨:** 鉄筋の継手は鉄筋コンクリート構造物を成立させるためにきわめて重要であり、(社)日本鉄筋継手協会では各種継手の検査方法について検討されている。そのうち、本論文では同協会が 2006 年に制定した規格 NAKS 0003「機械式継手の鉄筋挿入長さの超音波測定方法(案)」の問題点について検討したものである。検討内容は、超音波探傷器の調整方法、適用可能な探触子、各種機械式継手への適用性であり、そのための各種実験を行なった。その結果、探傷器の調整に用いる音速、継手の種類および鉄筋の種類と適用可能な探触子の関係を明らかにした。

**キーワード:** 非破壊試験, 検査, 鉄筋, 機械式継手, 挿入長さ, 超音波, 表面 SH 波

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造は、圧縮力をコンクリート、引張力を鉄筋に受け持たせた構造であり、所要の性能を有する継手を確保することは鉄筋コンクリート構造を成立させるために極めて重要である。継手の所要の性能を確保するためには、施工仕様および検査基準の確立が必要である。そのうち、本論文では機械式継手の検査方法の検討結果について報告する。

作製された継手の検査方法確立のために 2001 年に(社)日本圧接(現、鉄筋継手)協会に非破壊検査小委員会が設置され、ガス圧接継手、溶接継手、機械式継手の検査方法に関する検討が行われている<sup>1), 2), 3), 4), 5), 6), 7)</sup>。その成果として 2006 年に(社)日本圧接協会規格 NAKS 0003(以下、単に NAKS という)「機械式継手の鉄筋挿入長さの超音波測定方法(案)」が制定された<sup>8)</sup>。

しかし NAKS は、(1)超音波探傷器の調整方法、(2)適用可能な探触子、(3)各種機械式継手への適用性についての問題が指摘されており、これらの検討を行なっているの、その結果を報告する。

## 2. NAKS の概要と問題点, 検討内容

まず、NAKS による機械式継手の鉄筋挿入長さの測定方法の概要、指摘されている問題点および検討すべき点を整理する。

### 2.1 NAKS の概要

#### (1) NAKS 制定までの検討

NAKS 制定までには文献 1), 2), 8) のとおり各種実験を行なってきたが、実験した鉄筋・継手はほとんどねじ節鉄筋継手である。

#### (2) 挿入長さの測定方法

鉄筋挿入長さの測定は、**図-1**のように鉄筋のリブ上に接触媒質を塗布し、その上に表面 SH 波探触子を設置し、エコー高さが安定するまで探触子を強く押しつける。エコー高さが安定したら測定用のゲートを、エコー位置を含むように移動し測定長さ  $L_1$  を読みとる。挿入長さ  $L$  は式(1)によって求める。

$$L = L_1 - L_2 \tag{1}$$

ここに、 $L_2$ : カプラー・探触子間距離

#### (3) 測定装置の調整

挿入長さ測定前には、測定装置の調整が必要である。NAKS では、測定範囲の調整および感度の設定を行なう。測定範囲の調整は、測定精度に直接関係するため最も重要である。長さ測定精度は、鉄筋を伝搬する音速値によって左右されるため、調整は実際に工事に使用されている鉄筋もしくは超音波特性がそれと同等の鉄筋を用いて、**図-2**のように鉄筋端面から探触子先端までの距離を 100mm, 200mm とした場合に、測定値が 100mm±0.5mm, 200mm±0.5mm の表示になるように音速設定値およびゼロ点の調整を行なう。

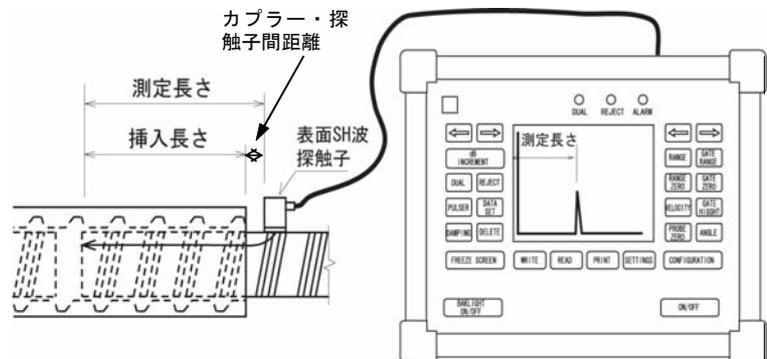


図-1 挿入長さ測定方法

\*1 (独)土木研究所 材料地盤研究グループ基礎材料チーム総括主任研究員 (正会員)

\*2 (有)プレテックエンジニアリング

\*3 清水建設(株) 建築事業本部建築技術部技術顧問 (正会員)

感度の設定は、**図-2**の鉄筋端面と探触子の距離が100mmのとき、エコー高さが画面の50%になるように調整する。

#### (4) 適用可能な探触子

測定に用いる探触子は、周波数2MHz、振動子寸法5×5mmものが規定されている。探触子は5MHzのものがよく用いられているが、この規定は現場実験により、鉄筋端面が直角に切断されていない場合などは2MHzのほうが測定しやすかったことから設けられたものである  
2)のその4。

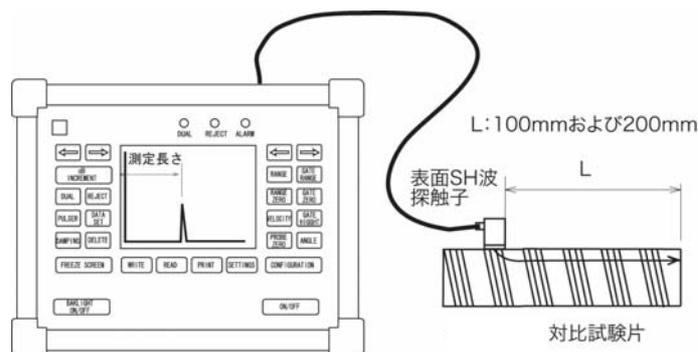


図-2 測定装置の調整

### 2.2 NAKSの問題点

指摘されているNAKSの問題点は次のとおりである。

#### (1) 超音波探傷器の調整方法

測定範囲の調整である鉄筋の音速を求めるに当たっては、実際の工事に使用されている鉄筋を用いて行うようになっているため、現場で300mm以上の鉄筋を用意して複数回の手順を踏んで調整しなければならず、現場で苦慮されている。

#### (2) 適用可能な探触子

探触子は周波数2MHz、振動子寸法5×5mmに限定されているが、2MHzの表面SH波用の探触子は少ない。

#### (3) 各種機械式継手への適用性

ねじ節鉄筋継手以外の検討が不足しており、それ以外の各種機械式継手への適用性が不明である。

### 2.3 検討内容

これまでの検討内容と今回の検討内容をまとめたものが**表-1**である。01-05年度はNAKS制定のための検討である。07、08年度はNAKS改正のための検討である。

07年度はねじ節鉄筋について5社の鉄筋メーカーからD19～D51まで5種類の鉄筋を集め、リブ形状の測定、調整方法、鉄筋単体による長さの測定精度の実験を行なった<sup>9)</sup>。文献9)では、調整方法は長さ50mmの鉄筋を対比試験片(RB)とする長さ調整と音速の検討を行い、RBを用いた調整はノイズが多く適用は不可能なことがわか

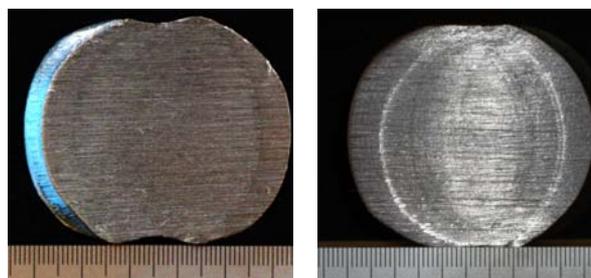
り、今回の実験では実施していない。ねじ節鉄筋の音速は3,240m/sであった。長さ測定にリブ形状の影響度合いを確認するための鉄筋単体の長さ測定を行なった。

今回の検討は、リブが突起状になっている通常の鉄筋のリブ形状、音速測定、鉄筋単体の長さ測定を行なった。また、ねじ節鉄筋継手を含め各種継手試験体を作製し、鉄筋挿入長さの測定を行なった。

### 3. リブ形状測定

NAKSでは表面SH波を用いるため、超音波が入射・伝搬するリブ形状を把握しておくことは重要である。

ねじ節鉄筋の断面は**写真-1**のように、主にリブ面が平らなものと、溝状にへこんでいる2種類があったことから、リブの幅と凹凸を測定した。その結果は**表-2**のとお



(a) 溝状のへこみ (B社) (b) 平ら (D社)

写真-1 ねじ節鉄筋の断面

表-1 検討内容

検討年度		01-05年	07年	08年		
継手の種類		主にねじ節鉄筋継手	ねじ節鉄筋	ねじ節鉄筋継手	モルタル充填継手	鋼管圧着継手 端部ねじ加工継手
鉄筋メーカー		各種	ねじ節5社 A～E社	ねじ節2社 B,D社	通常の鉄筋A社 同左F社	
検討内容	リブ形状	—	○	○	○	○
	調整	RB	—	○	—	—
		音速	○	○	○	○
	鉄筋単体長さ	○	○	○	○	○
継手挿入長さ		○	—	○	○	不可
文献		1,2,8)	9)	本論文		

りであった。

通常の鉄筋の断面は写真-2のとおりであり、リブの幅、高さ、リブ上面の曲率半径は表-3のとおりである。

#### 4. 鉄筋の音速測定

##### 4.1 測定方法

鉄筋の音速は、100mm長さの試験体を用いて、横波垂直探触子により図-3のように測定した。各試験体の実長さをノギスで計測し、探傷エコーのB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>間のビーム路程差が実長さになるよう探傷器の音速を調整して求めた。

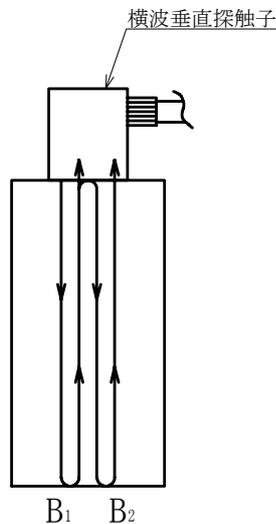


図-3 鉄筋の音速測定

##### 4.2 測定結果

表-4に音速の測定結果を示す。ねじ節鉄筋、通常の鉄筋とも、ほぼ3,240m/sであり、メーカーごとの違いもわずかである。測定装置の測定範囲の調整の際、この値を設定しても差し支えないものと考えられる。

表-4 鉄筋の音速測定結果

鉄筋の種類	ねじ節鉄筋					通常の鉄筋	
	メーカー	A社	B社	C社	D社	E社	A社
呼び径	音速 m/s					音速 m/s	
D19	3250	3234	3255	3229	3257	3241	3229
D25	3236	3249	3279	3226	3223	3244	3233
D32	3262	3240	3240	3251	3236	3236	3230
D38	3243	3244	3240	3237	3242	3234	3241
D51	3242	3243	3244	3257	3244	3238	3241
平均	3247	3242	3252	3240	3240	3239	3235
標準偏差	8.9	4.9	14.8	12.1	11.1	3.6	5.2
最小	3223					3229	
最大	3279					3244	
全平均	3244					3237	

#### 5. 鉄筋単体の長さ測定

##### 5.1 測定方法

鉄筋単体の長さ測定方法の概要を図-4に示す。測定距離は鉄筋端部から50, 100, 200mmとした。ノギスで探触子を所定の位置に設置し、端面からのエコーの立ち上がり時間を測定した。鉄筋の音速は3,240m/sを用いた。

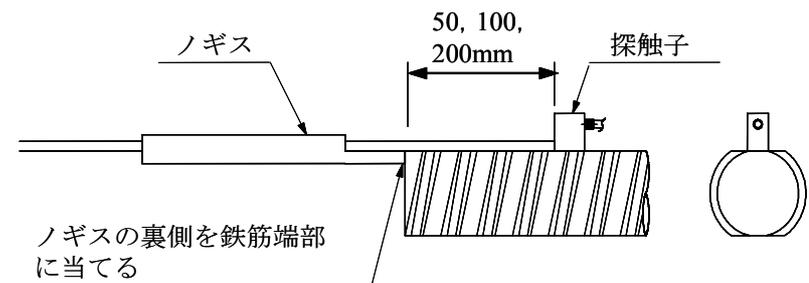
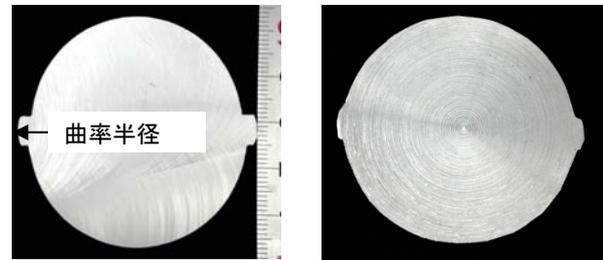


図-4 鉄筋単体の長さ測定方法

表-2 ねじ節鉄筋のリブ形状測定結果 (単位: mm)

メーカー	リブ形状	D19	D25	D32	D38	D51
B社	幅	2.7	3.8	2.3	8.5	10.7
	凹凸	-0.3	-0.7	-0.7	-1.0	-1.5
D社	幅	4.6	7.2	7.4	7.8	10.3
	凹凸	0.4	0.2	0.3	0.2	-0.7



(a) A社

(b) F社

写真-2 通常の鉄筋の断面

表-3 通常の鉄筋のリブ形状測定結果 (単位: mm)

メーカー	リブ形状	D19	D25	D32	D41	D51
A社	幅	3.8	4.2	7.4	7.0	6.2
	高さ	1.6	1.4	1.7	2.5	2.6
	曲率半径	4.3	7.5	9.3	11.4	9.4
F社	幅	4.0	4.7	6.0	7.9	6.6
	高さ	0.8	1.2	1.4	1.1	1.7
	曲率半径	5.8	7.7	10.7	11.1	8.4

## 5.2 測定結果

ねじ節鉄筋 (D 社) および通常の鉄筋 (A 社) の測定結果の一例 (探触子 2MHz の 5×5mm (図には 2M5×5 と標記) の場合) を図-5 および図-6 に示す。また、測定誤差 (=測定長さ-鉄筋端部から探触子までの設定長さ) の結果を図-7 および図-8 に示す。

図-5 および図-6 より鉄筋単体の長さはほぼ測定できている。このときの測定誤差は、図-7 および図-8 のとおり設定した距離が長くに従いほぼ比例して大きくなっていくことから、原点を通る直線 (y 切片ゼロ) で回帰して誤差率を求めた。その結果は表-5 のとおりである。

D 社のねじ節鉄筋は探触子の種類に関係なく測定誤差率は 1%以下であった。リブが溝状になっている B 社製は、探触子 5MHz が 1%以下であったが、2MHz はそれよりも大きくなっている。

通常の鉄筋の誤差率は、探触子 2MHz の 5×5mm と 10×10mm、探触子 5MHz の 5×5mm の 3 種類は 3%程度で

あったが、探触子 5MHz の 10×10mm は 1.4%であり、前 3 種類の 1/2 程度であった。

以上の結果より、探触子は 2MHz よりも 5MHz のほうが測定誤差は小さい。振動子の大きさの影響は、ねじ節鉄筋は明確ではなかったが、通常の鉄筋は 5×5mm よりも 10×10mm のほうが誤差は小さい。この原因は、特に通常の鉄筋は、超音波が伝搬する突起状のリブの幅と波長の関係から、SN 比が低下するためと考えられる。

表-5 鉄筋単体の長さ測定の誤差率

探触子		測定誤差率 (%)			
周波数 (MHz)	大きさ (mm)	ねじ節鉄筋		通常の鉄筋	
		B	D	A	F
2	5×5	1.2	0.5	3.3	1.2
	10×10	1.5	0.6	2.9	—
5	5×5	0.8	0.9	3.3	—
	10×10	1.0	0.7	1.4	—

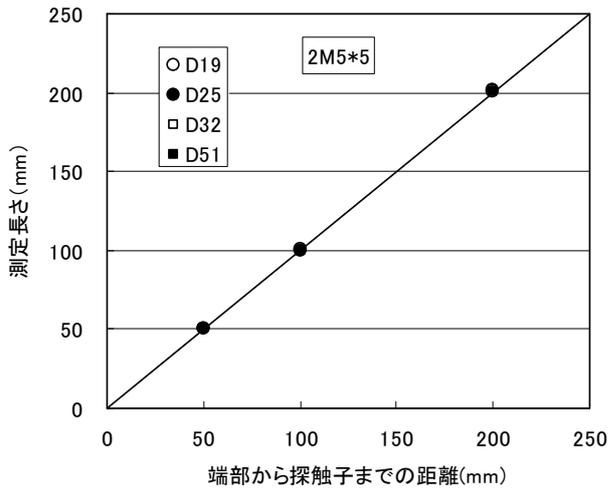


図-5 鉄筋単体の長さ測定結果 (ねじ節鉄筋 D 社)

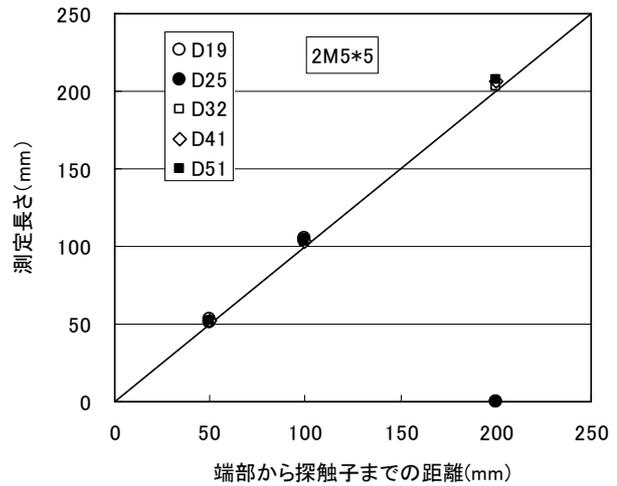


図-6 鉄筋単体の長さ測定結果 (通常の鉄筋 A 社)

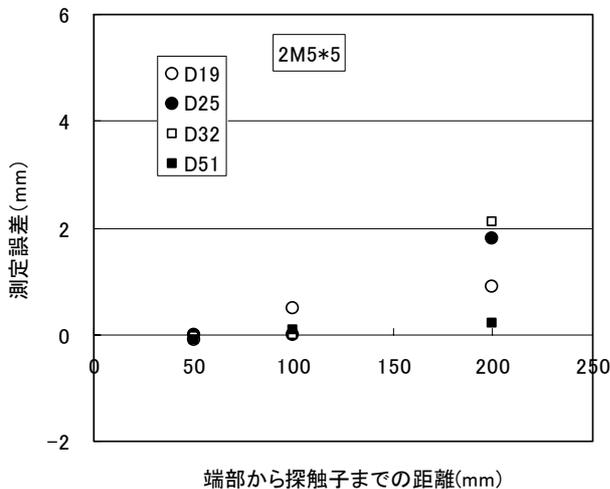


図-7 測定誤差 (ねじ節鉄筋 D 社)

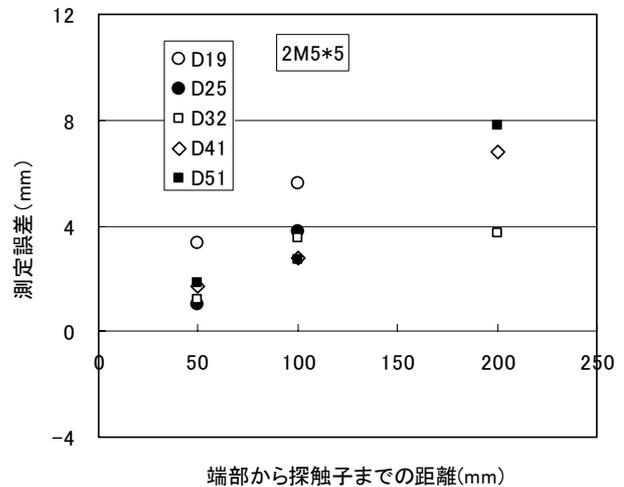


図-8 測定誤差 (通常の鉄筋 A 社)

## 6. 各種継手の鉄筋挿入長さ測定

### 6.1 測定方法

機械式継手の鉄筋挿入長さは、**図-9**のように探触子の位置（カプラー端部・探触子間距離）をカプラーまたはスリーブの端部から0mm（近傍）、50、

100mmに変化させて設置して探触子から鉄筋端部までの長さを測定し、カプラー端部・探触子間距離を差し引いて求めた。ただし探触子設置位置は、上記のカプラー端部・探触子間距離には固定せず、設定位置の近くを走査して測定しやすい位置とした。

実挿入長さは次のように求めた。鉄筋の全長を**図-3**のように横波垂直探触子を設置して往復伝搬時間を測定し、音速に3,240m/sを用いて求めた。鉄筋全長から挿入されていない長さを差し引いて実挿入長さを求めた。

### 6.2 測定結果

端部ねじ加工継手は、超音波が伝搬する鉄筋表面にね

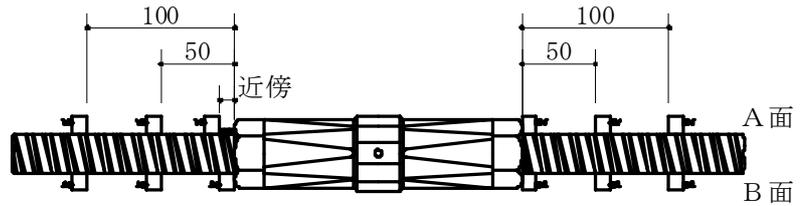


図-9 挿入長さ測定方法

じを切っていることなどからノイズが大きく、端部からのエコーを明確に検出することができなかつたため挿入長さの測定は困難であり、そのほかの継手の鉄筋挿入長さを測定した。

継手の挿入長さ測定結果の一例（探触子は2MHzの5×5mmを用いたねじ節鉄筋継手およびモルタル充填継手の結果）を**図-10, 11**に示す。縦軸の測定値は探触子から鉄筋端面までの長さの測定結果であり、横軸の設定長さは実際の探触子から鉄筋端面までの長さである。両者はほぼ一致しているものの、**図-11**には測定値がゼロになっているものが少なくない。これはリブ形状の影響

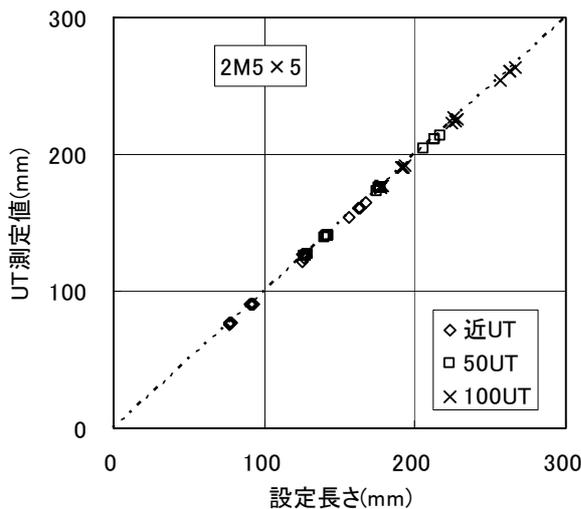


図-10 挿入長さ測定結果（ねじ節鉄筋継手D）

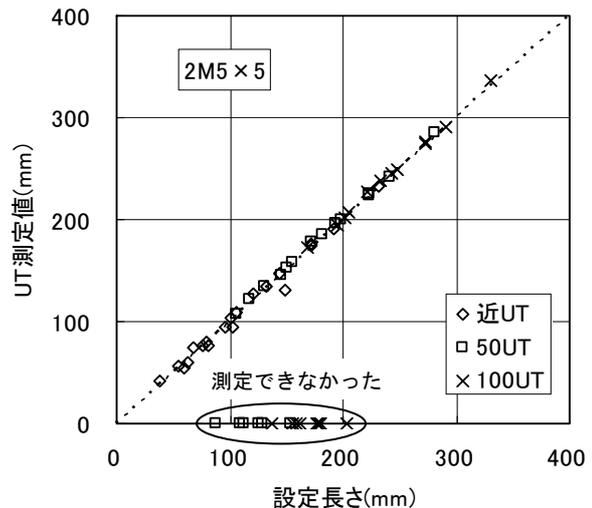


図-11 挿入長さ測定（モルタル充填継手）

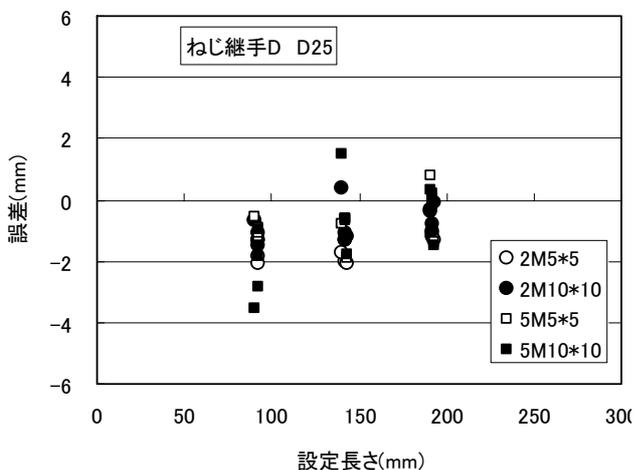


図-12 測定誤差（ねじ節鉄筋継手D25）

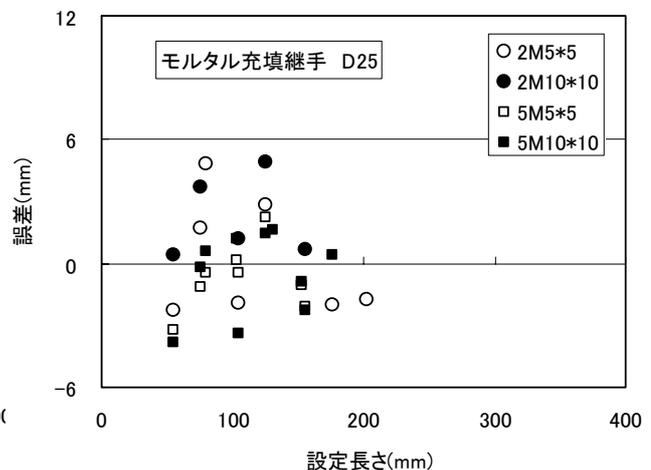


図-13 測定誤差（モルタル充填継手D25）

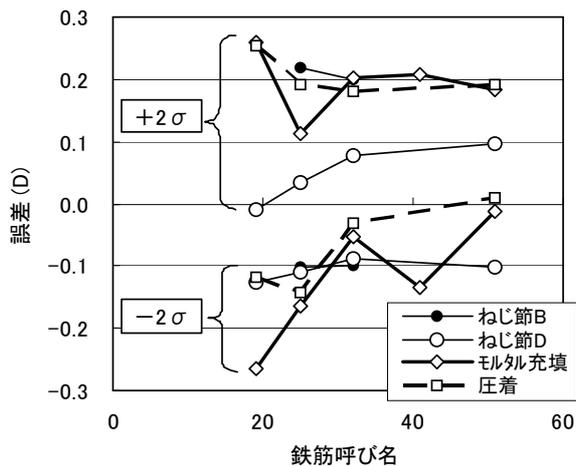


図-14 誤差 2σの範囲

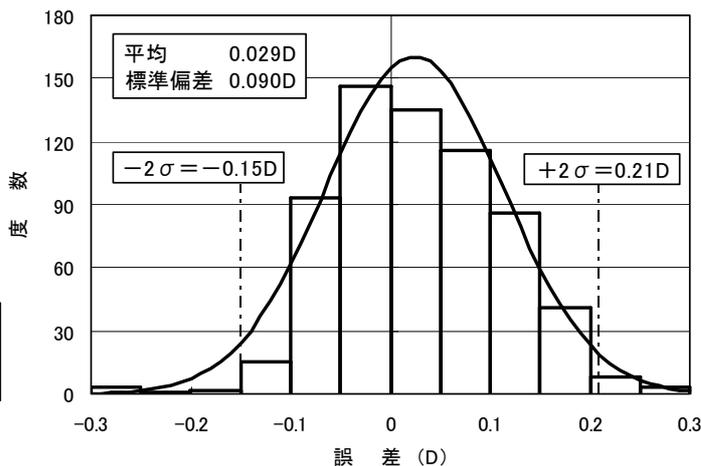


図-15 全誤差の分布

により SN 比が低下したために測定できなかったことを示しており、通常の鉄筋に 2MHz の探触子を用いるとこのような結果であった。

図-12 および 13 には測定誤差 (= 測定長さ - 設定長さ) の結果を示している。両図は鉄筋呼び名ごとに 4 種類の探触子の結果を合わせて示している。鉄筋単体の長さ測定誤差 (図-7, 8) は設定長さとの関係は比例関係になっていたが、機械式継手の場合は明確な関係を見出すことは難しい。

そこで鉄筋呼び名ごとに誤差の平均値  $m$  と標準偏差  $\sigma$  を求め、95%程度入る誤差の範囲  $m \pm 2\sigma$  を求めた。その結果が図-14 である。鉄筋 D19 の誤差範囲はやや大きいですが、そのほかの鉄筋はマイナス側約 0.1D、プラス側約 0.2D になっており、プラス側に偏る傾向がある。全測定結果 (649 点) の誤差のヒストグラムを作成すると図-15 のようになり、誤差の分布  $2\sigma$  はほぼ  $\pm 0.2D$  である。

## 7. まとめ

各種機械式継手の鉄筋挿入長さ測定方法に関して検討した。その結果、次のことが明らかになった。

### (1) 超音波探傷器の調整方法

測定範囲の調整には、鉄筋の音速を 3,240m/s に設定してよい。

### (2) 各種機械式継手 (鉄筋の種類) と適用可能な探触子

ねじ節鉄筋継手には、周波数 2MHz および 5MHz、振動子寸法 5×5mm および 10×10mm の 4 種類の探触子の適用が可能である。通常の鉄筋を使用するほかの継手には、5MHz の探触子に限定する必要がある。

### (3) 測定誤差

上記の成果を用いて実際の継手の鉄筋挿入長さを測定し誤差分布の  $2\sigma$  を求めるとほぼ  $\pm 0.2D$  であった。

最後に、本報告は、(社)日本鉄筋継手協会・非破壊検査小委員会を実施した結果である。

## 参考文献

- 1) 森濱和正ほか：超音波を用いた鉄筋継手の検査方法に関する研究、(その 1 圧接面の超音波の分布 (音場)、その 2 機械式継手の挿入長さの測定方法)、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2 構造IV (以下 AIJ), pp.33-36, 2002.8
- 2) 森濱和正ほか：超音波を用いた鉄筋継手の検査方法に関する研究、(その 3 超音波の分布と欠陥検出、その 4 機械式継手の挿入長さの現場測定)、AIJ, pp.819-822, 2003.9
- 3) 森濱和正ほか：超音波を用いた鉄筋継手の検査方法に関する研究、(その 5 圧接・溶接継手の超音波探傷試験)、AIJ, pp.47-48, 2004.8
- 4) 森濱和正ほか：ねじ節鉄筋のガス圧接継手の超音波探傷試験、AIJ, pp.471-472, 2006.9
- 5) 森濱和正ほか：圧接・溶接継手の超音波探傷試験に関する検討、鉄筋継手の挿入長さの測定方法、土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集 第 V 部, pp.773-776, 2004.9
- 6) 倉持貢ほか：鉄筋溶接部の超音波探傷試験に関する研究 (その 1 新手法の探傷原理と検証実験、その 2 欠陥入り溶接試験体による探傷実験)、AIJ, pp.97-100, 2007.8
- 7) 倉持貢ほか：鉄筋エンクローズ溶接継手の超音波斜角探傷検査法に関する研究、コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.685-690, 2008.7
- 8) 森濱和正, 池ヶ谷靖：日本圧接協会規格 NAKS 0003 「機械式継手の鉄筋挿入長さの超音波測定方法 (案)」の紹介、コンクリート工学, Vol.45, No.10, pp.3-9, 2007.10
- 9) 森濱和正ほか：機械式継手の挿入長さ測定に関する研究、AIJ, pp.223-224, 2008.9