

垂直探傷法によるアンカーボルト定着長測定に関する検討

Measurement of Inserted Depth of Anchor Bolt by Normal Ultrasonic Transducer

池ヶ谷 靖 柳瀬 高仁
SEI IKEGAYA TAKAHITO YANASE
株式会社ジャスト
JUST Co.,Ltd.

概 要

鉄筋コンクリート造部材に施工されたあと施工アンカーボルトの長さは、超音波の垂直探傷法で正確に測定することができる。しかし、実際の測定では容易に端面エコーが検出されなかったり、手前の部分で大きなエコーが検出され端面エコーが検出されなかったりと必ずしも容易な測定でない場合がある。

そこで、実際の形状を模した試験体を用いて、端面エコーの検出実験を行なった。

その結果、端面の形状によって端面エコーが検出できない場合があり、またアンカーボルトが曲がっている場合その部分から大きなエコーが検出され端面エコーが検出できないことが明らかになった。

キーワード：超音波探傷，垂直探傷法，アンカーボルト，長さ測定

1. 緒 言

あと施工アンカーボルトの定着長さの測定に垂直探傷法による超音波探傷が行われる。実際の測定では、アンカーボルトにき裂等の損傷がなくても端面エコーの手前に大きなエコーが検出されたり、端面エコーが検出されないことがある。

そこで、実際の状態に対応したアンカーボルト模擬試験体を用いて、エコーが発生する条件を検討する。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の一覧を表 1 に示す。

試験体は丸鋼にねじを切って製作した。実験因子は母材径（32，25，16，13），先端形状（角度：0°，30°，45°）および折れ曲がりの有無である。試験体数は、折れ曲がりのあるものが各実験因子につき各 1 体，折れ曲がりの無いものが各 2 体の計 32 体である。折れ曲がりについては図 1 のように、ボルト中間部で折り曲げている。

アンカーボルト長の測定は、デジタル探傷器および探触子を種々組み合わせて、鋼材のままの状態と鋼材の周囲にモルタルを打設した状態の時にそれぞれ行う。測定の際にはボルトの全長を記録する他に、デジタル探傷器で波形も記録した。

鋼材の周囲へのモルタル打設は鋼材のままの状態でのボルト長計測の後に行った。鋼材が M22 より太く折れ曲がりの無いもの（各 2 試験体）の 1 体(No2)は、図 1 に示すよ

うにボルト中間部の約 10cm の区間にモルタルを打設し，残りの 1 体(No1)と折れ曲がりのある試験体は鋼材より約 10cm 長い円筒形のモルタルを打設した。なお，鋼材はねじ切りしてある部分が円筒形のモルタルの仕口から約 10cm 突出させた。

表 1 試験体

No.	試験体名	母材径	ねじ部	先端形状角度	折れ曲り (e1, e2)	No.	試験体名	母材径	ねじ部	先端形状角度	折れ曲り (e1, e2)		
1	M27- 0-1	D32	M27	0°	-	17	M16- 0-1	M16	M16	0°	-		
2	M27- 0-2				-	18	M16- 0-2				-		
3	M27-30-1			30°	-	19	M16-30-1			-			
4	M27-30-2				-	20	M16-30-1			-			
5	M27-45-1			45°	-	21	M16-45-1			-			
6	M27-45-2				-	22	M16-45-1			-			
7	M22- 0-1	D25	M22	0°	-	23	M16-e1-15	M16	M16	0°	e1 : 15mm		
8	M22- 0-2				-	24	M16-e1-25				e1 : 25mm		
9	M22-30-1			30°	-	25	M16-e2-10				e2 : 10mm		
10	M22-30-2				-	26	M16-e2-15				e2 : 15mm		
11	M22-45-1			45°	-	27	M12- 0-1			M12	M12	0°	-
12	M22-45-2				-	28	M12- 0-2						-
13	M22-e1-15	D25	M22	0°	e1 : 15mm	30°	-						
14	M22-e1-25				e1 : 25mm		29	M12-30-1	-				
15	M22-e2-10				e2 : 10mm	30	M12-30-1	-					
16	M22-e2-15				e2 : 15mm	31	M12-45-1	-					
						32	M12-45-1			45°	-		

試験体名称： M24 - 30

ボルト径 / 先端形状 (角度), e1, e2 : 折れ曲がり

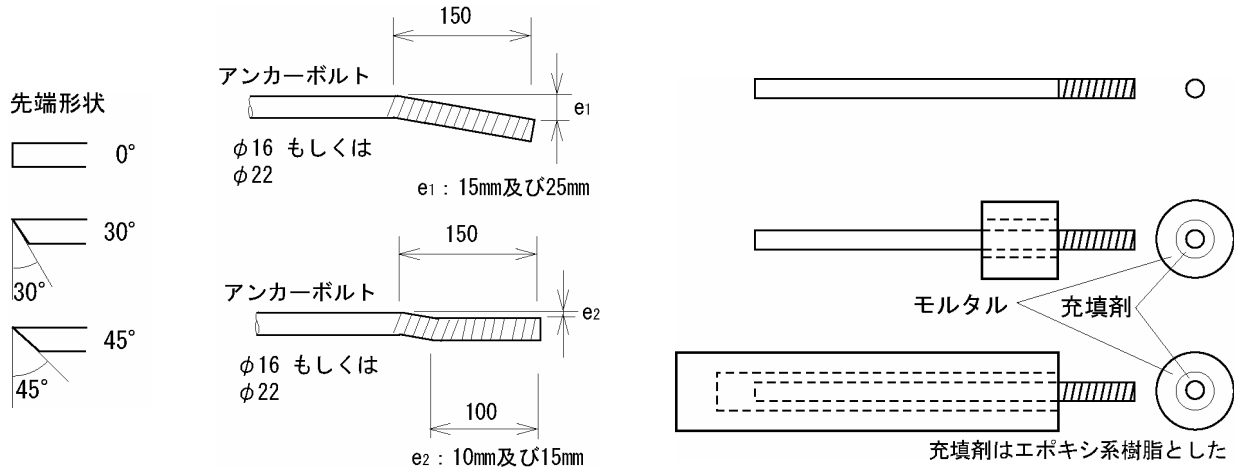


図 1 試験体パラメータ

2.2 実験装置

- 超音波探傷器：A 社ポータブルデジタル探傷器
B 社ポータブルデジタル探傷器
C 社ポータブルデジタル探傷器
- 探触子：セラミック X 社 5C10N, 3.5C10N, 5C10N(R 用) Y 社 2C10N, 5C10N
コンジット Z 社 2.25MHz, 3.5MHz, 5MHz, 7.5MHz, 10MHz (全て 13mm)
- 接触媒質：グリセリンペースト

2.3 測定方法

測定方法を図 2 に示す。

図に示すように、(a)気中、(b)充填、(c)充填後ボルト取り付けの 3 つの状態で行う。

その際に、探傷器及び探触子はいくつかの組合せで測定を行う。

さらに、測定データを探傷器のメモリーに保存しパソコンに転送し、比較検討する。

探傷器の設定は、パルサーは出力の大きい側、ダンピングは大きな値、帯域を設定できる場合は探触子の周波数に近い周波数の広帯域設定とした。また、B 社探傷器では駆動波形を方形波とした。

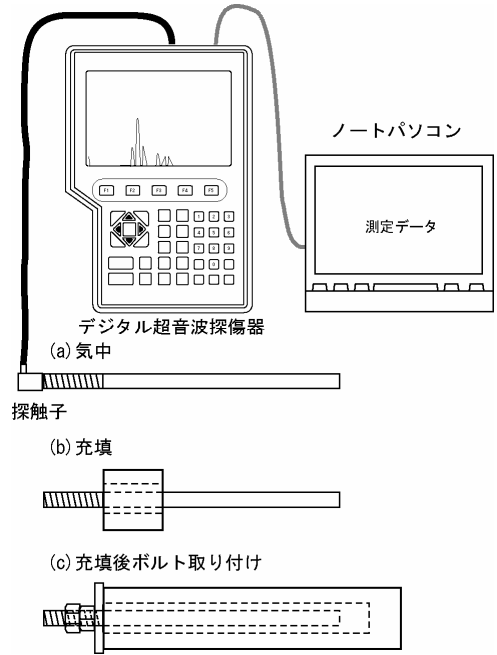


図 2 測定方法

3 . 実験結果

3.1 端面エコーの検出

気中及び充填後の端面エコーの測定結果を表 2 ~ 表 3 に示す。充填後ボルト付きの測定では、ボルト部や鋼板部からのエコーは検出されず充填後の測定データと大差はなかった。

表 2 気中測定結果及び充填後測定結果(その 1) の後のデータが充填後

No.	試験体名	A 社探傷器					B 社探傷器				
		X5MHz	X3.5M	X5M_R	Y2MHz	Y5MHz	X5MHz	X3.5M	X5M_R	Y2MHz	Y5MHz
1	M27- 0-1										-
2	M27- 0-2										-
3	M27-30-1	x	x	x	x			x	x	x	- x
4	M27-30-2	x	x		x		x	x	x	x	-
5	M27-45-1										-
6	M27-45-2										-
7	M22- 0-1										
8	M22- 0-2										
9	M22-30-1	x	x	x		x	x	x	x	x	x
10	M22-30-2	x	x	x		x	x	x	x	x	x
11	M22-45-1										
12	M22-45-2										
13	M22-e1-15										
14	M22-e1-25										
15	M22-e2-10										
16	M22-e2-15			x			x		x		
17	M16- 0-1										
18	M16- 0-2										
19	M16-30-1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
20	M16-30-2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
21	M16-45-1				x						
22	M16-45-2				x						
23	M16-e1-15										
24	M16-e1-25										
25	M16-e2-10										
26	M16-e2-15	x	x	x		x	x	x	x		x
27	M12- 0-1										
28	M12- 0-2										
29	M12-30-1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
30	M12-30-2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
31	M12-45-1	x	x		x	x	x	x	x	x	x
32	M12-45-2	x	x	x	x	x	x			x	x

注) x : 検出せず、 : SN 比 6dB 未満、 : 検出、 : データなし

表 3 気中測定結果及び充填後測定結果(その 2) 後のデータが充填後

No.	試験体名	C 社探傷器									
		X5MHz	X3.5M	X5M_R	Y2MHz	Y5MHz	Z2.25M	Z3.5M	Z5MHz	Z7.5M	Z10M
1	M27- 0-1										
2	M27- 0-2										
3	M27-30-1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	M27-30-2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	M27-45-1										
6	M27-45-2										
7	M22- 0-1										
8	M22- 0-2										
9	M22-30-1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
10	M22-30-2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
11	M22-45-1										
12	M22-45-2										
13	M22-e1-15										
14	M22-e1-25										
15	M22-e2-10										
16	M22-e2-15										
17	M16- 0-1										
18	M16- 0-2										
19	M16-30-1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
20	M16-30-2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
21	M16-45-1						x				x
22	M16-45-2										x
23	M16-e1-15										
24	M16-e1-25										
25	M16-e2-10										
26	M16-e2-15	x	x	x		x		x			
27	M12- 0-1										
28	M12- 0-2										
29	M12-30-1	x	x	x		x	x	x	x	x	x
30	M12-30-2	x	x	x		x	x	x	x	x	x
31	M12-45-1		x	x	x		x	x	x	x	x
32	M12-45-2	x	x	x	x		x	x	x	x	x

注) x : 検出せず、 : SN 比 6dB 未満、 : 検出

充填によって端面エコーが明瞭になる例を図 3, 図 4 に示し、充填によって端面エコーが不明瞭になる例を図 5, 図 6 に示す。

また、完全充填による端面エコーの変化は多くの場合、図 7, 図 8 に示すように、エコー高さはあまり変わらず、多重反射のエコーが減少する。

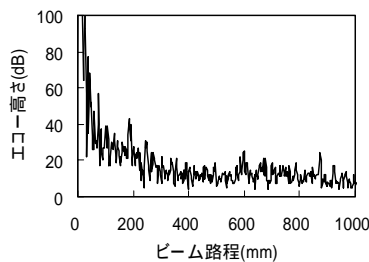


図 3 M27-30-1 X5M_R

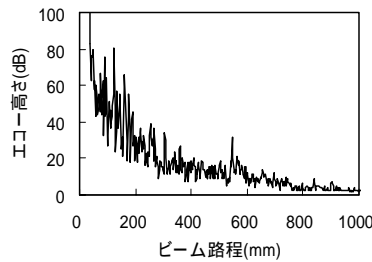


図 4 M27-30-1 X5M_R 充填後

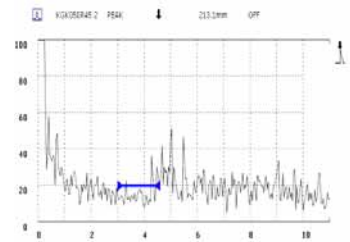


図 5 M12-45-2 X5M_R

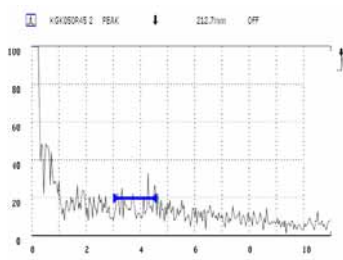


図 6 M12-45-2 X5M_R 充填後

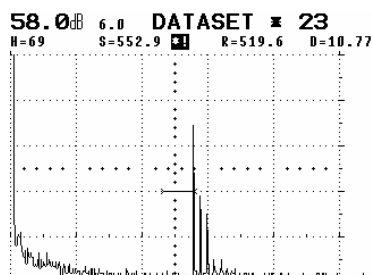


図 7 M27-45-1 Z5MHz (58dB)

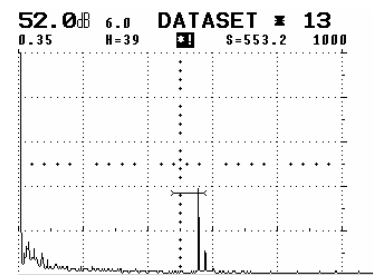


図 8 M27-45-1 Z5MHz 充填後 (52dB)

3.2 端面エコーの手前のエコー

端面エコーの手前のエコーについては、直線のアンカーボルトで大きなエコーは検出されなかった。

また、充填後や鋼板及びナットの締め付け後にその部分からの大きなエコーは検出されなかった。

それに対して、1点で曲げたアンカーボルトでは、図9～図10に示すように曲げ部分からのエコーは検出されなかったが、2点で曲げたボルトでは図11～図15に示すように曲げ部分からエコーが検出された。アンカーボルトの径16mmではずれが大きい場合($e_2=15\text{mm}$)には端面エコーが検出されず、径22mmではずれが大きい場合($e_2=15\text{mm}$)でも端面エコーが検出された。

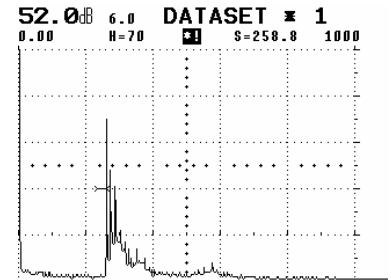


図9 M16-e1-15 X5MHz 充填後

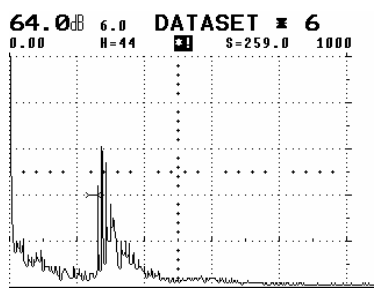


図10 M16-e1-25 X5MHz 充填後

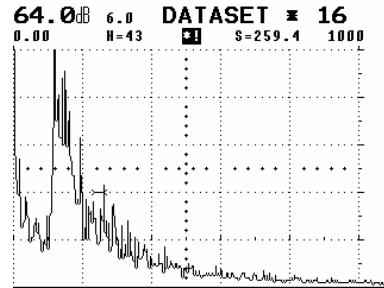


図11 M16-e2-15 X5MHz 充填後

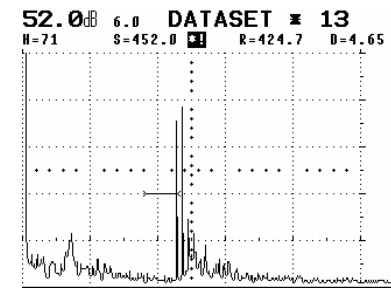


図12 M22-e2-10 Z5MHz

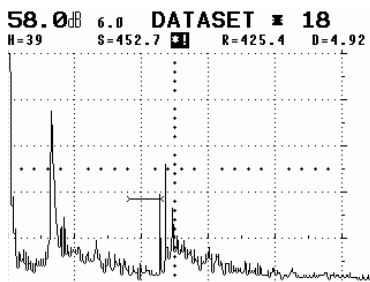


図13 M22-e2-15 Z5MHz

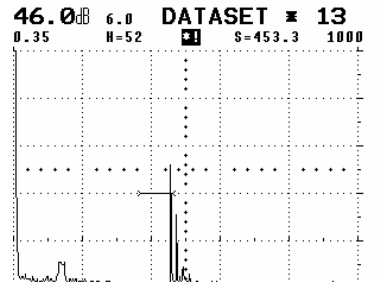


図14 M22-e2-15 Z5MHz 充填後

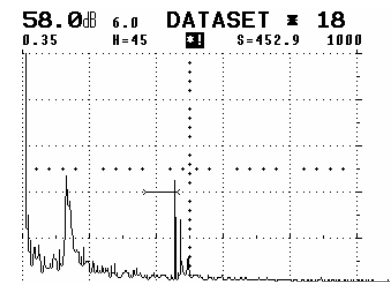


図15 M22-e2-15 Z5MHz 充填後

4. 実験結果について

4.1 端面エコー

端面エコーは、軸に対して垂直な端面(0°)では、アンカーボルトの径に関わらず、今回のすべての探傷器・探触子の組み合わせで、気中・充填・充填後ナット付のすべてのケースで十分なエコーが検出された。また、使用探触子はエコーの大きさと多重反射の少なさから5MHz近傍が最適と考えられる。

また、今回使用した探触子と探傷器組み合わせでは、5MHzの探触子を用いる限りではメーカーによる著しい差異は確認されなかった。

45° に切断した端面では、アンカーボルトの径があまり小さくない場合には(M16, M22, M27)エコー高さは軸に対して垂直な端面(0°)に比べると30dB程度エコー高さが低下したがほぼ検出された。

しかし、アンカーボルトの径がM12になると、 45° に切断した端面では、気中の測定

では端面エコーが確認された場合もあったが、充填を行うと充填のタイプに関わらず端面エコーがほとんどの場合検出されなかった。

図 16 にアンカーボルトの径が M22 の場合の、端面 0°・端面 45° 及び気中・充填の因子によるエコー高さを示す。

図に示すように、気中・充填ではあまり差異がなく、端面形状によってエコー高さが大きく変わっている。

気中・充填によるエコーの差異はアンカーボルトの径が小さくない限り、エコー高さよりもエコーの形状に影響を与えていた。

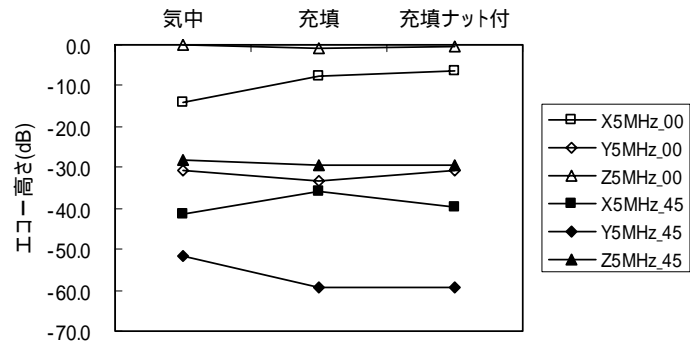


図 16 エコー高さ比較
(気中 Z5MHz を基準とした)

ただし、アンカーボルトの径が M12 の場合はエコー高さを低下させ、そのことによって SN 比が悪くなり、端面エコーが検出できなくなっている。

端面 30° では、気中では端面エコーがほとんどのケースで検出されなかったが、M27 の場合には充填によって端面エコーが検出されるようになった。

これらの端面エコーが検出されない場合で、周波数を変えても問題は解決しなかった。

4.2 中間部のエコー

ナット及び鋼板を取り付けてもその分でエコーが検出されないことから、通常の端面エコーを検出する探傷感度ではナット・鋼板・充填部表面からのエコーが検出されることはないものと考えられる。

また、曲げに関しても 1 点曲げではかなり著しい曲げでなければその部分からのエコーが検出されることはないものと考えられる。

一方、2 点曲げの場合は、比較的小さな曲げでもエコーが検出され、さらにある程度以上の曲げでは端面エコーが検出されないものと考えられる。

4. まとめ

今回の実験で以下のことが明らかになった。

- (1) アンカーボルトの端面エコー検出は 5MHz 近傍なら機器による差異が少ない。
- (2) 今回のアンカーボルトでは充填状態にエコーの著しい低下は確認されなかった。
- (3) アンカーボルトの先端形状によってエコーが検出されない場合がある。
- (4) アンカーボルトの径が小さい場合(M12)は端面 0° 以外では測定が困難になるものと考えられる。
- (5) アンカーボルトを 2 点曲げている場合は中間部でかなり高いエコーが検出され、端面エコーが検出されないことがある。ただし、中間部のエコーの幅が広いので中間部のき裂や短いアンカーとの判別は可能と考えられる。