

報告 鉄筋のガス圧接継手部の表面 SH 波法による非破壊評価

森濱和正^{*1}・河野広隆^{*2}

要旨：鉄筋ガス圧接継手部の超音波探傷試験は、継手の引張強さとエコー高さとの間に強い相関関係があり、鉄筋ガス圧接部の品質管理の中で重要な役割を果たしている。しかしながら、現在用いられている斜角2探触子K走査法は、探傷可能領域が圧接面の中央近傍に限られており、より多くの欠陥の発生が予想される圧接面外周部には超音波ビームが当たらないといわれている。そこで、圧接部の検査の信頼性を向上することを目的に、表面SH波法による検査法の検討を行い、外周部の欠陥の検出に有効であることがわかった。

キーワード：ガス圧接継手、超音波探傷、エコー強度、ビーム路程、引張強度

1. まえがき

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震において、鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋のガス圧接継手部に破断現象がみられた。これを受けて、筆者らは、ガス圧接継手について、地震時に作用する高速引張や、高ひずみの正負繰返し、低温時の高速引張試験などを実施してきた¹⁾。

これらの結果から、ガス圧接の施工を標準通り適切に実施しておれば、地震時に想定される種々の载荷条件下でも圧接部が弱点となることはなかった。この理由として、圧接部は加熱により若干脆性的になっているものの、ふくらみを形成して断面が大きくなっているため、鉄筋母材が降伏を超える引張を受けても圧接部は塑性変形を生じないためであることがわかった。

施工を適切に行えば圧接部が弱点にならないことが明らかになったので、ガス圧接継手の信頼性を向上するために、非破壊による検査方法について検討した。圧接部の超音波探傷については既にJIS Z 3062に規格化されている（以下、現行法と呼ぶ）。現行法は、10,000本を超える現場継手の超音波探傷と引張強さの関係が

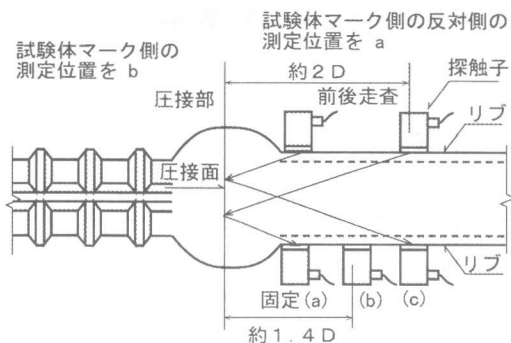
ら、超音波のエコー高さと引張強さの間には良い相関関係があることに立脚したもので、この方法による検査に合格すると鉄筋の規格引張強さを保証できるものとなっている。現行法の探傷可能領域は圧接面の中央近傍であり、この場合には上述のように十分な信頼性がある²⁾。ただし、欠陥は圧接面外周部に発生しやすいと言われており、この場合、現行法では外周部に超音波ビームが当たり難いという問題がある。そこで、新たな方法として、表面SH波法によって超音波ビームを圧接面外周部に当てる試験を試みたものである。

2. 超音波探傷試験³⁾

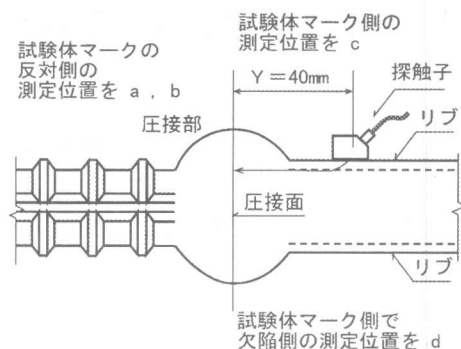
現行法に用いられている斜角探触子は通常SV波（Secondary Vertical Wave）と呼ばれるもので、振動子は垂直探触子と同様に縦方向に振動して縦波が発生する。この縦波が試験体表面に斜めに入射するときスネルの法則によりモード変換して横波だけが屈折し、材料中に伝搬する。SV波の横波は伝搬方向に対して直角に、かつ探傷面に垂直方向に振動する波であり、

^{*1} 建設省土木研究所 コンクリート研究室 主任研究員（正会員）

^{*2} 同 室長 工修（正会員）



図－１ 斜角２探触子法（現行法）



図－２ 表面ＳＨ波法

表面を伝播しにくい（図－１）。

これに対して、ＳＨ波（Secondary Horizontal Wave）の振動子は横方向に振動し、材料に入射してからも伝搬方向に対して直角の振動であり、探傷面に平行方向に振動する。この方向はＳＶ波と 90°異なっており、反射の際のモード変換は起こらずに伝播する。ＳＨ波は屈折角 75°以上になると表面を伝播するようになる（図－２）。これを用いて表面とその近傍の欠陥を検出しようとするものである。

3. 実験方法

3.1 実験概要

試験片は、圧接条件を変化させたり、圧接部に人工欠陥を与えるなど、欠陥を有する圧接継手を作成した。それらの継手の現行法および表面ＳＨ波法による超音波探傷試験を行った。その後、引張試験を行い、引張強さを求めた。

3.2 欠陥作成条件

試験片の種類を表－１に示す。鉄筋の種類はSD345 のD19～D51、継手の種類は一般に行われ

表－１ 試験片の種類

鉄筋の種類 呼び名	リブの種類	継手の種類	健全	欠陥作成条件											
				圧接面の状態				加熱条件		人工欠陥					
				ペースト	さび	ガス切断	塗料	バーナー ずれ	中性炎 加熱	内部欠陥		外部欠陥			
				1	2	4				3	6	9	1	2	4
D19	m	S	1.6D	○	○	○	○	○							
		P	1.4D	○	○	○	○	○							
D25	m	S	1.6D	○	○	○	○	○						○	○
	h			○	○	○	○	○						○	○
	l			○	○	○	○	○						○	○
	w			○	○	○	○	○						○	○
	n			○	○	○	○	○						○	○
D25	m	P	1.2D	○	○	○	○	○						○	○
	h			○	○	○	○	○						○	○
	l			○	○	○	○	○						○	○
D25	m		1.3D	○	○	○	○	○						○	○
	m		1.4D	○	○	○	○	○						○	○
D38	m	E	1.2D	○	○	○	○	○					○	○	○
		S	1.6D	○	○	○	○	○							
		P	1.2D	○	○	○	○	○							
D51	m	S	1.6D	○	○	○	○	○							
		P	1.2D	○	○	○	○	○							

試験片・記号の説明

I m-S-A0-1

通し番号
(1～4)

欠陥作成条件

継手の種類

鉄筋の種類

鉄筋の種類

鉄筋の呼び名 D19: I, D25: II, D38: III, D51: V

リブの形状 m: 中間, h: 高い, l: 低い, w: 広い, n: 狭い

継手の種類

N: 母材 S: 標準圧接 E: エンクローズ溶接

欠陥作成条件

P: 押抜圧接 P2, P3, P4: 押抜径 1.2D, 1.3D, 1.4D

端面の状態 A0: 健全(無欠陥)

B: B1, B2, B4: ペーストを鉄筋径の1/8, 2/8, 4/8塗布

C: さびを鉄筋径の4/8, 隙間 3mm

D: ガス切断を鉄筋径の4/8

E: 塗料を鉄筋径の4/8, 隙間 3mm

F: バーナーの圧接面からのずれ 3mm, 隙間 3mm

G: 中性炎(n)による加熱, 隙間 3mm

H: H3, H6, H9: 圧接中央に直径3, 6, 9mmのタングステン箔

外部欠陥 A: A1, A2, A4: 健全な圧接後, 圧接径の1/8, 2/8, 4/8の切欠

ている標準的な圧接S，熱間押抜法Pに，比較用にエンクローズ溶接Eも加えている。欠陥作成条件は，施工時に圧接面に付着することが考えられるセメントペーストB，さびC，ガス切断D，塗料を塗布した場合E，圧接の技量に関わると考えられる接合面とバーナーのずれを生じさせた場合F，還元炎を用いずに中性炎加熱を行った場合Gである。さらに，超音波探傷の検出能力を確認するため内部および外部に人工欠陥を作った。内部欠陥Hを作るには，融点の高いタングステン箔を切断面に付着させた。外部欠陥Aは，電動金のこによって切欠き（ノッチ）を入れた。

4. 実験結果

4.1 人工欠陥と相対エコー高さ

内部欠陥Hの現行法の結果を図-3に示す。比較に無欠陥A0の結果も記入してある。欠陥が大きくなるほど相対エコー高さも大きくなっており，欠陥の大きさと相対エコー高さの間には相関関係があるものと考えられる。ただし，一部に相対エコー高さの小さいものも見られたことから，放射線透過によりタングステンの位置を確認した。そうすると写真-1のようにタングステンが中心からずれるほど相対エコー高さは小さくなっており，現行法は中心付近の欠陥を感度良く検出できることがわかる。

表面SH波法の結果は図-4のとおり，欠陥の大きさが大きくなるほど相対エコー高さも大きくなっているものの，内部欠陥が9mm（H9）でも-10dB以下であり，表面SH波法は内部欠陥の検出能力は小さい。

4.2 ペースト付着と相対エコー高さ，ビーム路程のずれ

ペースト付着欠陥Bの現行法と表面SH波法の結果を図-5及び6に示す。また，外部欠陥Aを入れたときの表面SH波法の結果を図-7に示す。現行法のB1（1/8塗布）の相対エコー高さは-15dB以下であり，無欠陥A0の場合に近い。B2（2/8塗布）は0dB程度，B4（4/8

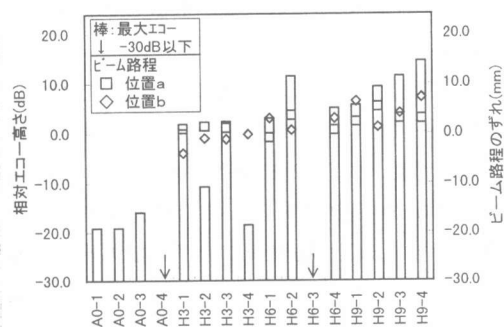


図-3 内部欠陥によるエコー高さとビーム路程のずれ(現行法)

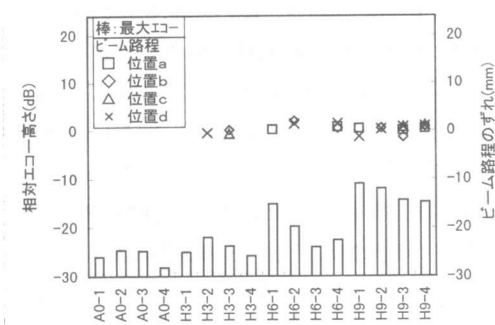


図-4 内部欠陥によるエコー高さとビーム路程のずれ(表面SH波法)

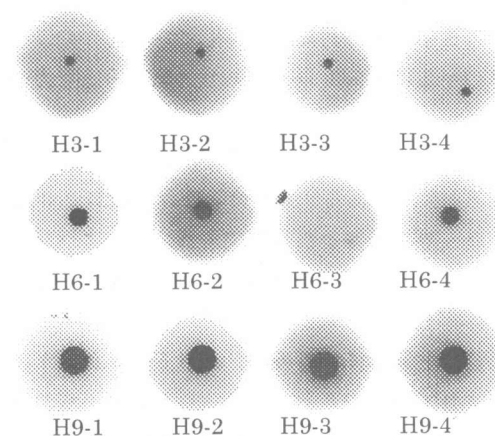


写真-1 放射線透過撮影

塗布)は+10～+19dBと非常に大きくなった。ビーム路程は，B1とB4は基準レベルにほぼ一致したが，B2は6～13mm大きくなった。これらの結果より，現行法では，B1のような外周近くの小さな欠陥は見つけにくいこと，B4は中央付近に大きな欠陥があること，B2は中

中央よりずれているが欠陥があることを検出している。

図-7より、表面SH波法は、A0（無欠陥）の場合-25dB以下に対し、A1（1/8切欠）は-5dB程度、A2（2/8切欠）及びA4（4/8切欠）は0dB程度である。この結果から図-6を見ると、B1は極表面にわずかな欠陥を有している可能性があること、B2及びB4は表面に1/8以上の欠陥があることが予想される。実際に引張試験後、破断面の欠陥面積を測定すると、破断面積に対する欠陥面積の率は、B1は9.4%、B2は21.5%、B4は49.8%であった。

4.3 その他の欠陥と相対エコー高さ

ペースト欠陥B2（2/8塗布）、さびC、ガス切断D、塗料E（いずれも4/8塗布）、バーナーのずれF、中性炎加熱G（いずれも全面欠陥）の現行法と表面SH波法の結果を図-8及び9に示す。現行法は、D、Eの欠陥の相対エコー高さが高く、ビーム路程のずれもほとんどないことから、中央付近に大きな欠陥を有していることを検出している。その他の欠陥の半数は相対エコー高さが-13dB~-19dBであり、わずかに欠陥のある可能性を示しているものの、残りの半数は-30dB以下であり欠陥の検出能力の小さいことを示している。

表面SH波法の測定結果が現行法と異なるのはB2欠陥である。B2欠陥は、欠陥が2/8であり、外側に偏った欠陥である。このような場合、表面SH波法が有効であることを示している。

両方共通しているのは、C、F、G欠陥が検出されていないことである。これらの引張試験後の破断面にはフラット破面が形成されていた。フラット破面は、酸化物があるときに形成されるものである。これまでも言われていることであるが、“さび”による欠陥は超音波探傷では検出できない²⁾。

4.4 相対エコー高さと引張強さの関係

図-10に鉄筋呼び名ごとに現行法と表面SH波法による相対エコー高さと引張強さの関係

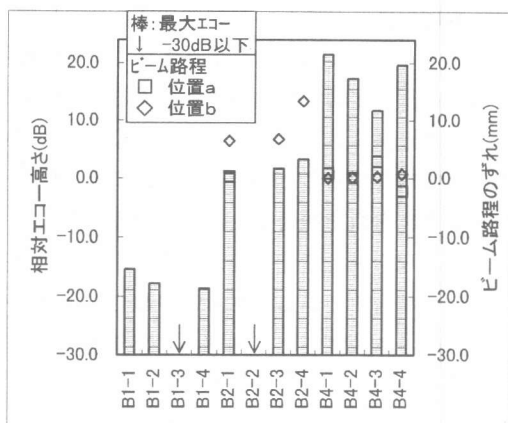


図-5 ペースト付着によるエコー高さとビーム路程のずれ(現行法)

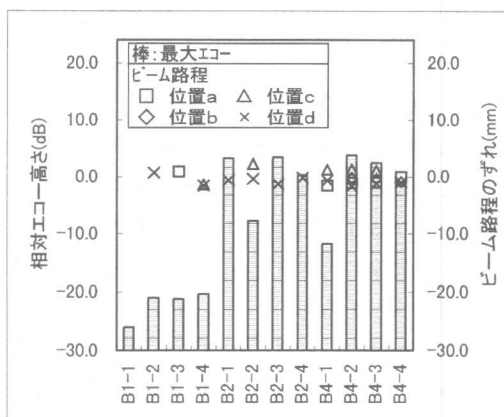


図-6 ペースト付着によるエコー高さとビーム路程のずれ(表面SH波法)

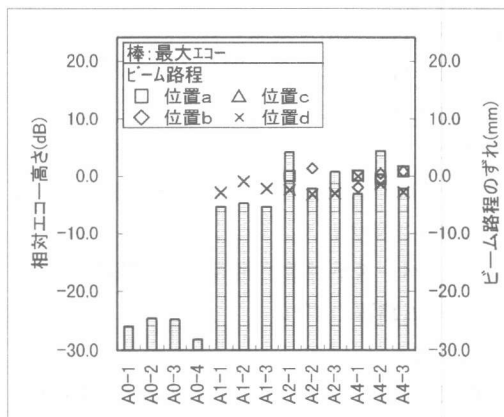


図-7 外部欠陥によるエコー高さとビーム路程のずれ(表面SH波法)

を示す。これらをまとめると、表－2 になる。特徴は以下のとおりである。

(1) 現行法は、引張強さと合否判定が比較的良好に一致しており、信頼性が高いことがわかった。しかしながら、太径である D51 および D38 の精度は低下した。この原因として、太径では外周部の欠陥が相対的に小さくなり、欠陥が検出できないものがあつたのではないかと考えられる。

(2) 表面 SH 波法は、D25～D51 はさびによる欠陥を除き引張強さと合否判定は一致したが、D19 では一致しなかった。この原因は、リブの幅と波長の関係で SN 比が適切にとれていないのではないかと推測される。

(3) 押抜圧接による外観観察は開口割れのみならず、へこみも評価することにより、さびによる欠陥も含め引張強さと合否判定はよく一致した。

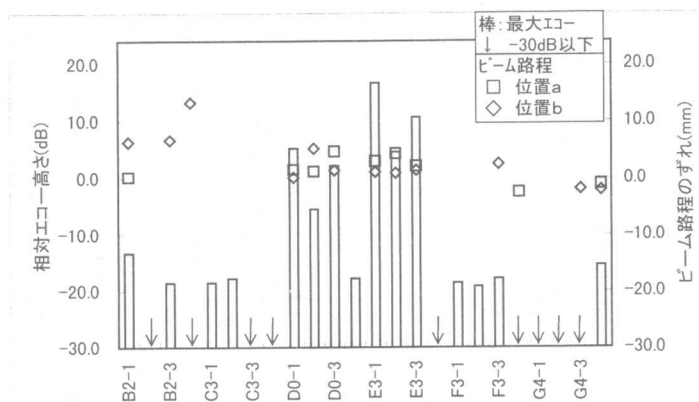
(4) (1)と(2)の結果より、太径の鉄筋には表面 SH 波法を採用することにより信頼性を高めることができるものと考えられる。

5. まとめ

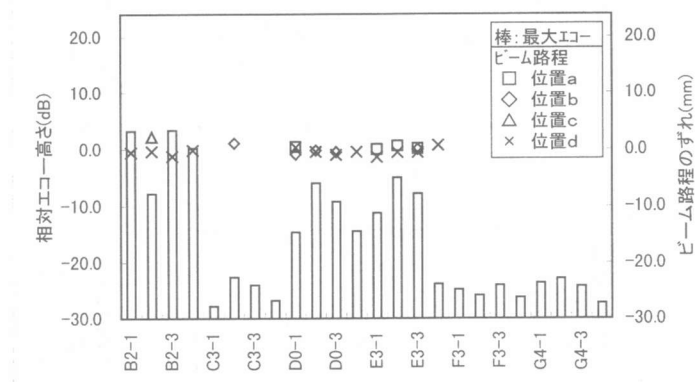
さまざまな欠陥を入れたガス圧接継手鉄筋について、現行法および表面 SH 波法による超音波探傷試験、引張試験を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

① 現行法は、さび欠陥を除き、中央付近の欠陥の検出能力は高い。欠陥が中央からずれていても、欠陥が大きければ検出は可能である。ただし、鉄筋が太くなると、欠陥がずれたときの検出能力は低下する。

② 表面 SH 波法は、外周部の欠陥の検出に



図－8 各種欠陥によるエコー高さとビーム路程のずれ(現行法)



図－9 各種欠陥によるエコー高さとビーム路程のずれ(表面 SH 波法)

表－2 鉄筋継手と非破壊試験の適用性

		現行法	表面SH波法	目視試験
標準 圧接	D19	◎	△	—
	D25	◎	◎	—
	D38	○	◎	—
	D51	○	◎	—
押抜 圧接	D19	◎	△	◎
	D25	◎	◎	◎
	D38	◎	◎	◎
	D51	◎	◎	◎

有効であり、現行法で検出できないところをカバーすることができ、信頼性向上に役立つものと考えられる。

③ さび欠陥については、超音波探傷試験では検出できない。さび欠陥については別途検討が必要である。

なお、本実験は、(社)日本圧接協会・圧接技術委員会との共同研究で実施したものである。

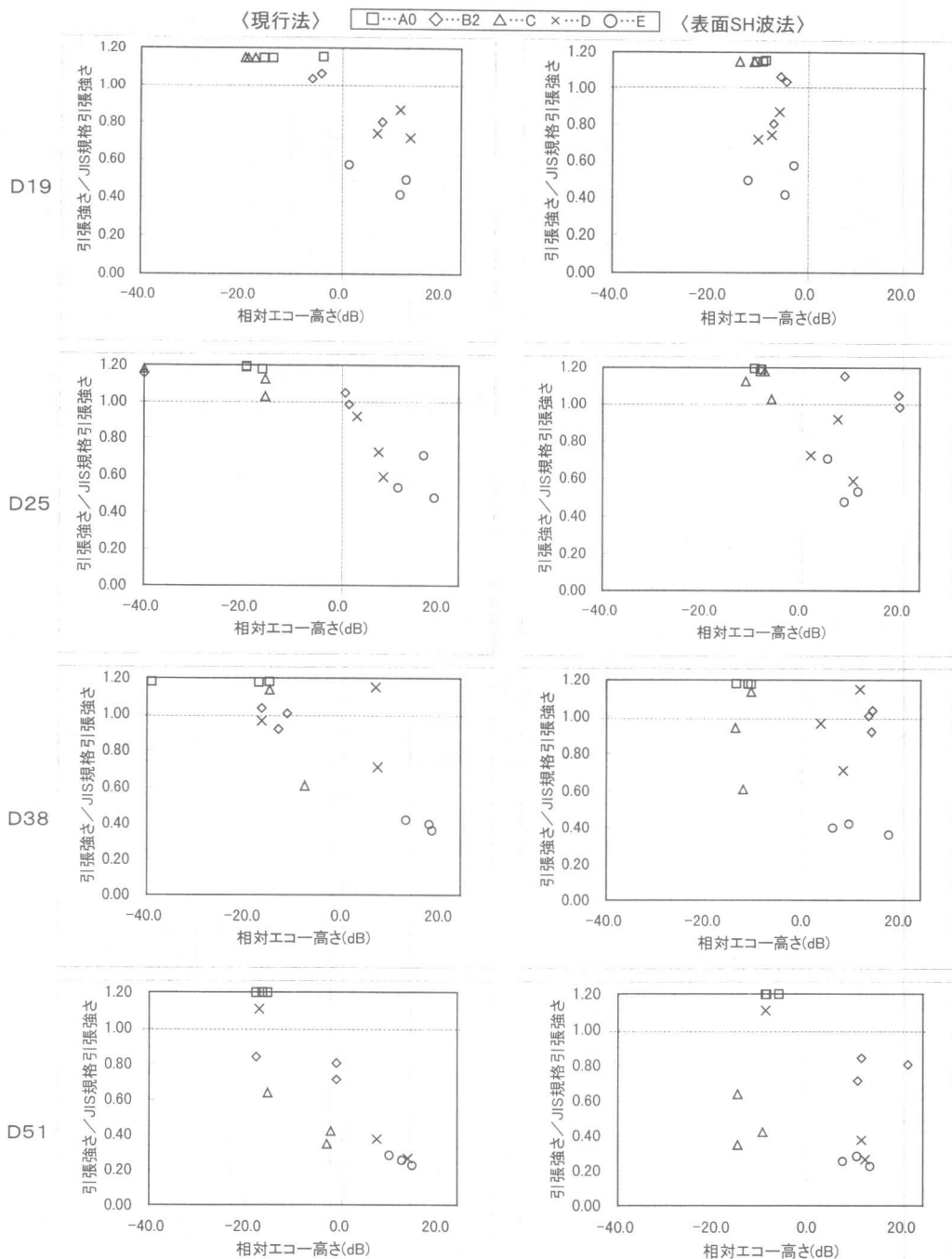


図-10 現行法及び表面SH波法によるエコー高さと引張強さの関係

参考文献

- 1) 森濱 和正, 河野 広隆, 加藤 俊二: ガス圧接鉄筋の高速, 繰返し, 低温引張試験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 20, No. 3, pp. 229-234, 1998. 7
- 2) (社)日本圧接協会: 鉄筋ガス圧接部の超音波探傷検査, pp. 107~124, 1994. 8
- 3) 立川 克美: SH波探傷の動向, 溶接技術, Vol. 44, No. 10, pp. 66~71, 1996. 10