

音響異方性を有する建築鉄骨溶接部の超音波探傷試験に関する研究（その2）

— 鋼材用音響異方性チェッカーの開発 —

倉 持 貢
(技術研究所)
矢 部 喜 堂
(技術研究所)

§ 1. はじめに

ビル機能の高度化等の要請に対応するために、最近の建築物は超高層化、大スパン化とともにインテリジェント化する傾向にある。また、巨大地震でも建物が崩壊しないように耐震性、制震性を考慮した設計法すなわち耐震設計法が採用されつつある。これに伴い、建築用鋼材に対する要求性能も多様化・高性能化する傾向にある。このような需要家ニーズの変化に対応するため、鉄鋼メーカー各社は新圧延技術の開発等を行ない、種々の高性能鋼を実用化している。その代表例が TMCP 鋼（加速冷却型・熱加工制御圧延鋼）や低 YR 鋼（低降伏比鋼）である。本鋼材は、従来鋼に比較して力学的特性や溶接性等が向上・改善されている。反面、音響異方性を有するものも少なからず見られ、建築鉄骨溶接部の品質保証の重要な手段である超音波斜角探傷試験の適用が困難となっているのが実情である。

音響異方性材の超音波探傷試験方法は、すでに JIS Z 3060-1988「鋼溶接部の超音波探傷試験方法および試験結果の等級分類方法」（以下、JIS Z 3060 という）に規定されるとともに日本建築学会「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説」（以下、AIJ-UT 規準という）の改定に伴って「付則 STB との音速差のある鋼材を用いた鋼構造建築溶接部の超音波探傷試験方法」-1989 として規準化された。これらを契機として、上記検査方法の技術的な重要性が徐々に関係者間に理解され、建築鉄骨工事への適用が増大する傾向にある。

筆者らは、これまでに音響異方性材における伝搬特性の基本特性を明らかにし、前報¹⁾で報告した。本稿では、さらに音響異方性の簡易判定法を提案

するとともに、音響異方性材の判別装置（以下、音響異方性チェッカーという）を開発し、その適用性等について検討したので報告する。

§ 2. 音響異方性材の超音波探傷試験方法の概要

AIJ-UT 規準と JIS Z 3060 に規定された音響異方性材の超音波探傷試験方法を比較したものが、表-1 である。両規準に基づいて音響異方性の有無を判定するためには、まず被検材の主圧延方向（L 方向）と主圧延方向に直角方向（C 方向）の音速を精密に測定し、その後には STB 音速比 (V/V_{STB}) や音速比 (C_{SL}/C_{SC}) を計算で求め、適用規準の規定に基づいて音響異方性の有無を判定する。さらに、音響異方性が『有』と判定されると音響異方性の程度に対応した探触子を選定するとともに、屈折角の補正量を計算で求める必要がある。

項 目	AIJ-UT 規準	JIS Z 3060	
対象物	STB との音速差のある鋼材	音響異方性を有する鋼材	
使用探触子	垂直横波探触子または斜角探触子	垂直横波探触子または斜角探触子	
測定項目	STB 音速比 (V/V_{STB})	音速比 (C_{SL}/C_{SC}) または屈折角度差	
判定規準	垂直法または斜角法とも探触子の屈折角や被検材の板厚毎に規定	垂直法: 音速比 >1.02 斜角法: 探触子60度 $\Delta\theta > 2^\circ$ 探触子70度 $\Delta\theta > 3^\circ$	
判定後の処置	使用探触子	STB 音速比に応じて屈折角60, 65, 70度の中から選定	屈折角60(65)度を選定
	試験片	STB A1, A2 または A3 被検材	STB A1, A2 または A3 RB 4 または被検材
	探傷屈折角	垂直法の補正式から算出または V 走査法で測定	V 走査法で測定
	DAC 作成	STB A2 で作成	RB 4 で作成
探傷感度	STB A2 で調整 (補正無)	RB 4 で調整	

表-1 音響異方性材の超音波探傷規準の比較

このような手順からも明らかなように、音響異方性のチェックには十分な測定時間や熟練技術者が必要となるばかりでなく、工期や検査費の増大を招く等の影響が生じてくる。このため、実際の鉄骨工事では本規準に基づく超音波探傷検査が十分に実施されているとはいいがたいのが現状である。

§ 3. 音響異方性チェッカー

3.1 本装置の仕様性能

今回開発した音響異方性チェッカーと本装置の主な仕様性能を、写真-1および表-2に示す。また、本装置による測定モードとその測定内容を表-3に示す。本装置は鋼材の音響異方性を検定するもので、超音波測定器本体とこれに接続されるセンサで構成されている。測定器本体にはコンピュータが内蔵されているため、従来の超音波探傷器等で必要であった複雑な計算作業や検定作業が省略でき、熟練技術者でなくてもヒューマンエラーのない測定が可能である。また、センサは二重構造で、2方向（L方向とC方向）の音速が1回の走査で測定できるために、測定時間を大幅に短縮することが可能である。

3.2 本装置の使用法

音響異方性チェッカーによる測定は、溶接部の超音波斜角探傷試験に先立って実施される。測定方法の概要を図-1に示す。本装置では、測定モードを選択した後、被検体の表面にセンサ（垂直横波探触子）を当てると直ちにL方向とC方向の音速の測定が開始され、測定モードに応じてSTB音速比または音速比が計算される。この結果に基づいて音響異方性の有無の判定が行なわれるとともに、音響異方性を有した場合の使用探触子および屈折角の補正量などが自動的に計算され、デジタル表示



写真-1 音響異方性チェッカー

される。その後は、音響異方性チェッカーが表示した数値に基づいて、従来の超音波探傷器を用いた斜角探傷試験を行なえば、溶接欠陥を適正に評価することが可能である。

3.4 本装置の特徴

本装置の特徴は、以下のようにまとめられる。

①AIJ-UT 規準に基づく STB 音速比の測定と STB との音速差の有無の判定が可能であり、またその結果による使用探触子の選定と STB 屈折角の補正量も同時に求められる。

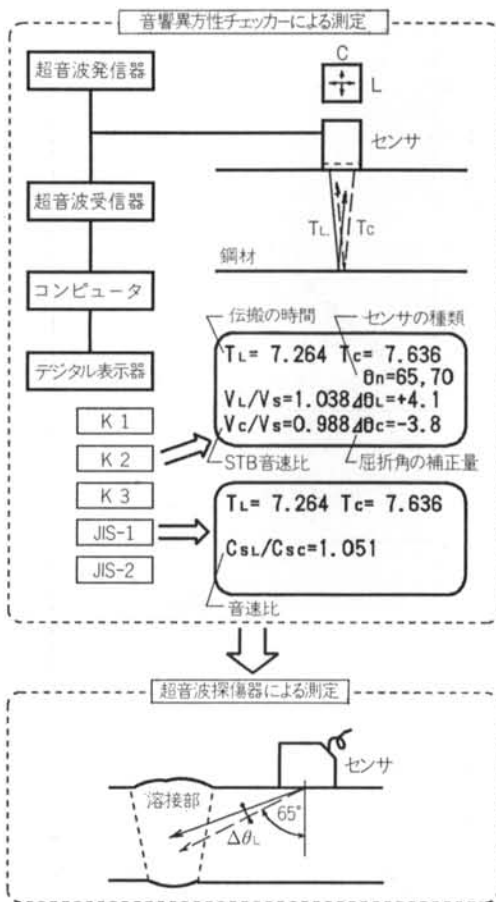
②JIS Z 3060 に基づく音速比の測定と、その結果による音響異方性の有無の判定が可能である。

名 称	仕 様		
音 響 異 方 性 チ ェ ッ カ ー	測定範囲	9~100mm	
	試験周波数	5 MHz	
	動作モード	垂直横波探触子法 (K-1, K-2, JIS-1, STB-Vモード)	
		斜角V走査法 (K-3, JIS-2モード)	
	測定方法	垂直横波探触子法: B ₁ -B ₂ 法	
		斜角V走査法: R-B ₁ 法	
	クロック分解能	20 ns	
LCD 表示内容	音速比, STB 音速比	4桁表示 最小値 0.001	
	屈折角度	2桁表示 最小値 0.1度	
	使用探触子	60°, 65°, 70°	
寸 法	約W230mm×H80mm×D130mm		
探 触 子	5C10×10SN×2(二重構造) 5C10×10A70		

表-2 音響異方性チェッカーの主な仕様性能

モ ー ド	規 準	条 件	測定法	測定 (表示) 項目
K1モード	AIJ-UT 規準	板厚 既知	垂直横波 探触子法	STB音速比(L or C), 使 用探触子, 屈折角補正量
K2モード	AIJ-UT 規準	板厚 不明	垂直横波 探触子法	STB音速比(L or C), 使 用探触子, 屈折角補正量
K3モード	AIJ-UT 規準	板厚 既知	斜角一探 V走査法	探傷屈折角
JIS-1 モード	JIS Z 3060	板厚既 知不明	垂直横波 探触子法	音速比
JIS-2 モード	JIS Z 3060	板厚 既知	斜角二探 V走査法	探傷屈折角
STB-V モード	AIJ-UT 規準	板厚 既知	垂直横波 探触子法	STB-A1の音速

表-3 測定モードと測定内容



図一 測定方法の概要

③垂直横波探触子および斜角探触子を用いた6種類のモードによる測定が可能である。

④垂直法に用いる垂直横波探触子は、振動方向が90度ずれた二重振動子の構造であり、L方向とC方向の音速が1回の走査で測定できる。

⑤斜角法による測定では、二探触子・V走査法による測定と1個の斜角探触子と同型の楔を用いた一探触子・V走査法による測定が可能である。

⑥操作が簡単で、しかも音速比やSTB音速比およびSTB屈折角の補正量等の計算を必要としないため、測定時間を大幅に短縮することができる。

§ 4. 各種測定モードによる測定

汎用超音波装置（ここでは、ポータブル探傷器と音速測定装置をいう）と開発した音響異方性チェッカーを用いた測定を行ない、これらの測定結果を比較検討した。

モード	異方性	判別個数 (チェッカー / 探傷器)	合致率 (%)
K1モード	有	13/12	97.5
	無	27/28	
K2モード	有	12/12	95.0
	無	28/28	
K3モード	有	8/7	97.0
	無	28/29	
JIS-1 モード	有	10/10	100.0
	無	10/10	
JIS-2 モード	有	9/10	95.0
	無	11/10	

表一 4 音響異方性の判定結果

本実験に供した試験体は20体で、1.000から1.053までの音速比を示すSS41(SS400)およびSM50A(SM490A)である。

各測定モード毎の音響異方性の測定結果を図一2に示す。横軸は、音速測定装置またはポータブル探傷器で測定した音速比、STB音速比および探傷屈折角を示し、縦軸は音響異方性チェッカーによる測定値を示している。また、この測定結果に基づく音響異方性の有無の判定結果を表一4に示す。なお、垂直横波探触子法の場合の判定は適用規準の規定に基づいて行ない、斜角V走査法の場合はSTB音速比等を屈折角度差に換算して判定した。

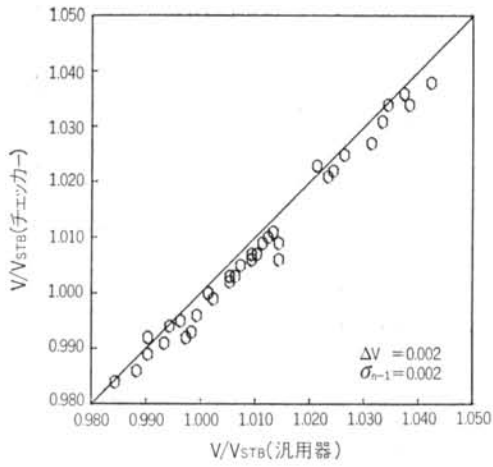
結果は、以下のように要約される。

(1)K1モードで測定した結果では、音速測定装置よりも音響異方性チェッカーで測定されるSTB音速比の方が0.5%程度低めになる傾向にあるが、AIJ-UT規準に基づくSTBとの音速差の有無の判定は約98%の合致率である。

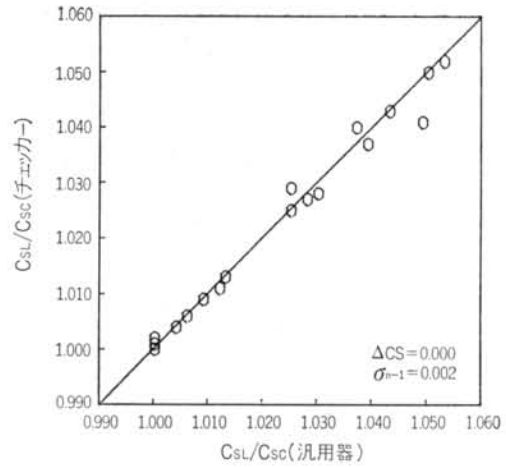
(2)K2モードでは、音速測定装置と音響異方性チェッカーの測定結果に若干の差異がみられる。このため、AIJ-UT規準に基づくSTBとの音速差の有無の判定は95%の合致率となる。

(3)K3モードで測定した結果では、ポータブル探傷器よりも音響異方性チェッカーで測定される探傷屈折角の方が0.6%程度小さめとなる傾向にある。このため、AIJ-UT規準に基づくSTBとの音速差の有無の判定は約97%の合致率となる。

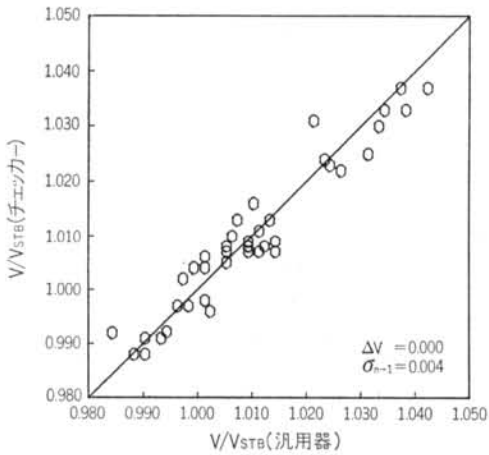
(4)JIS-1モードでは、音速測定装置で測定される音速比と音響異方性チェッカーで測定される音速比が極めて良く一致する。したがって、JIS Z 3060に基づく音響異方性の有無の判定は両者が完全に一致している。



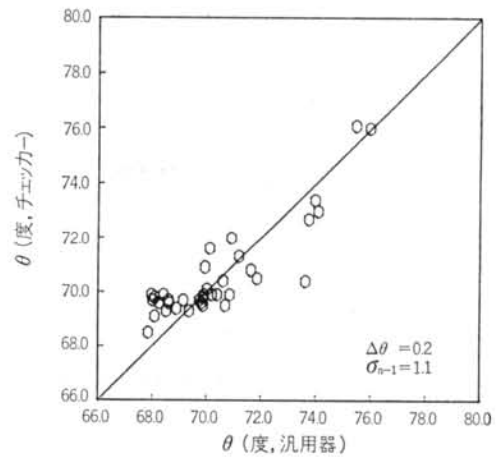
(a) K1モード



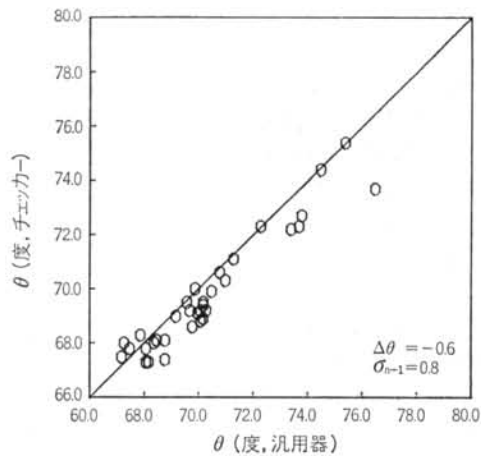
(d) JIS-1モード



(b) K2モード



(e) JIS-2モード



(c) K3モード

図-2 各種測定モードによる測定結果

(5)JIS-2モードでは、ポータブル探傷器で測定される探傷屈折角と音響異方性チェッカーで測定される探傷屈折角は約±1度の差異がみられる。このため、JIS Z 3060に基づく音響異方性の有無の判定は95%の合致率となる。

以上の結果から、今回開発した音響異方性チェッカーは十分実用に供する性能を有していると判断される。

§ 5. 建築鉄骨工事への適用例

音響異方性チェッカーを実際の鉄骨工事に適用し、本装置の適用性や作業能率を検討するとともに、建築鉄骨



写真-2 現場での測定状況

の主要構造材料における音響異方性材の存在状況を調査した。調査対象とした建物は、規模の異なる2棟を選定した。なお、適用規準は AIJ-UT 規準のみとした。

調査状況を写真-2に、調査結果を図-3に示す。超高層であるAビルの場合、測定されたSTB音速比は1.01を中心とする分布を示し、音響異方性材の存在率は1%と極めて低かった。一方、中規模建物であるBビルで測定されたSTB音速比は0.985~1.050と広範囲に分布し、かつ音響異方性材の存在率は約28%と高いことが明らかとなった。音響異方性材の存在率が超高層ビルで低くなったのは、工事着工前の段階で鋼材メーカーとの協議が十分に行なわれた結果によると考えられる。

また、ポータブル探傷器と音響異方性チェッカーとの作業能率を比較すると、後者が前者よりも約3倍高いことが明らかとなった。本結果からも、音響異方性チェ

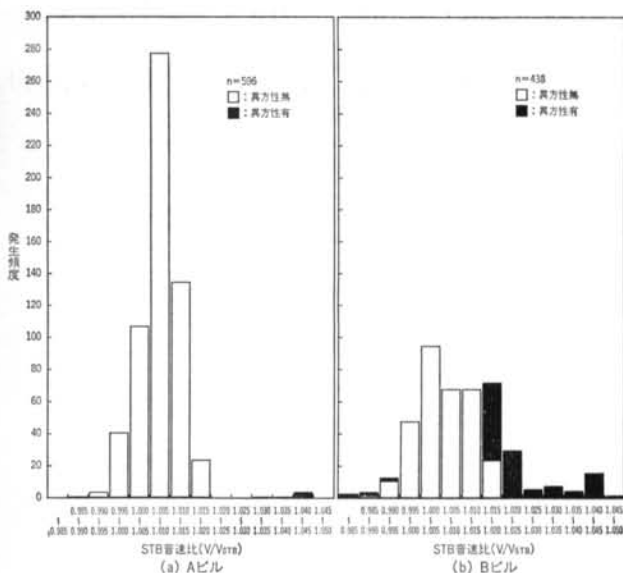


図-3 建築鉄骨用鋼材における音響異方性材の存在率
カーの有用性が確認された。

§ 6. あとがき

建築鉄骨溶接部の品質管理の重要な手段である超音波斜角探傷試験の信頼性を確保するために、音響異方性材の判別装置(音響異方性チェッカー)を開発するとともに、その適用性等について検討した。音響異方性チェッカーは、STB音速比等の測定精度および判定精度、また作業能率において従来の汎用超音波装置と同等以上の性能を有していることが確認された。今後は、数多くの現場計測からデータの蓄積を行なうとともに、本装置の一層の改良を図る予定である。

<参考文献>

- 1) 倉持, 他: “音響異方性を有する建築鉄骨溶接部の超音波探傷試験に関する研究(その1) 伝搬特性の特異現象” 清水建設研究報告 第50号(平成元年10月)
- 2) 倉持, 他: “斜角一探触子法による音速比(音響異方性)の簡易測定について” NDI第2分科会資料 No21237(平成1年1月)
- 3) 倉持, 他: “STB との音速差を有する建築鉄骨溶接部の超音波探傷試験に関する研究(その2) 音響異方性チェッカーの開発” NDI第2分科会資料 No21298(1990年5月)
- 4) 日本鉄鋼協会非破壊検査小委員会: “音響異方性を有する鋼溶接部の超音波斜角探傷法” 鉄と鋼 Vol. 73, No.6(1987年4月)

- 5) 宇田川, 他: “厚板異方性の非破壊測定 電磁超音波法による異方性測定装置の開発” NDI第2分科会資料 No21134 (昭和62年5月)
- 6) 広瀬, 他: “音響異方性を有する材料中における超音波の伝搬特性” NDI第2分科会資料 No21159 (昭和62年11月)