

自動車ハイテン材スポット溶接部の 高信頼性非破壊評価技術の開発

高田 一¹⁾ 北濱正法²⁾ 広瀬智行¹⁾
池田倫正²⁾ 西村恵次³⁾

1. はじめに

自動車の組立てでは車体を形成するため、数千の箇所にスポット溶接がなされている。スポット溶接では、通常、2～4枚の重ねた薄鋼板を、数mmの径の電極チップに挟んで溶接がなされるため、溶接部が凹んだ外観を示す場合が多い。

このスポット溶接部の健全性は、車体の強度に直接影響するため、評価を適切に行う必要がある。従来から、スポット溶接部の健全性評価方法として、でき上がった溶接部から評価用サンプルを抜き取り、破壊試験によって溶接金属の大きさを確認する方法や積層された板の境界へタガネを差し込んで剥離の有無や剥離しない部分の大きさを確認する方法(タガネ試験)が採用されている。しかし、これらの方法には、製品を完全に破壊する、あるいは、製品を傷つけるおそれがある等の問題があるため、非破壊試験によってスポット溶接部の健全性評価を行うことが、永年の課題となってきた。

特に現在は、二酸化炭素排出量削減のため、車体軽量化(鋼板薄肉化)が急務となっており、1つの切り札として、高張力鋼板、いわゆるハイテン材の適用が進んでいる。ハイテン材は硬くて変形しにくいいため、そのスポット溶接部へのタガネ試験適用は、以下の問題から事実上困難となっていた。

- (1) 板が変形しにくいいためタガネの差し込みが困難である。
- (2) 無理にタガネを差し込むと、溶接部そのものが割れる。

このようなことから、スポット溶接部の非破壊試験に対するニーズは一層の高まりを見せている。しかし、後述するよ

うにスポット溶接部を信頼性高く非破壊評価することが可能な技術および装置は存在しないのが実情であった。

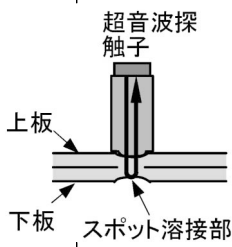
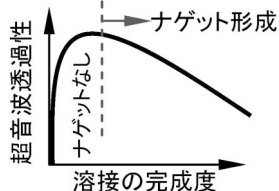
本報告では、車体へのハイテン材適用を進めるため必要な要素技術として、著者らが開発したスポット溶接部の高信頼性非破壊評価技術について述べる。

2. スポット溶接部非破壊評価技術とその問題点

スポット溶接部の非破壊評価では、従来、表1に示す通り、超音波を用いる方法⁽¹⁾⁽²⁾や電磁気的な方法が試されてきた。しかし、いずれもスポット溶接部の凹んだ形状の影響によって正確な測定が難しいことに加え、特に超音波法では、表1内の図の通り、スポット溶接部における超音波透過性と溶接の完成度(完成度が高い場合に溶接金属が大きく生成。以下、溶接金属をナゲットと称することがある。)との関係が2価関数となるため、溶接金属の生成がない不完全溶接部(一般に圧接などと称され、強度不足。)と溶接金属が十分に生成された溶接部とを識別できない重大な問題があった。

また、最近では、超音波探触子の平面走査、あるいは、アレイ化(マトリックス化)した超音波探触子の適用により、スポット溶接部の板厚方向における超音波透過性を平面映像化する

表1 スポット溶接非破壊評価の従来技術。

方法	技術	欠点
超音波法	超音波透過性検出(多重反射波利用) 	1. 傾いた面の内部を評価できない。 2. 超音波透過性と溶接の完成度との関係が2価関数になる。 
渦電流法 電磁気法	透磁率、電気伝導度を測定	測定結果がスポット溶接部の形状の影響を受ける。

* JFE 技研株式会社

1) 計測制御研究部主任研究員 2) 計測制御研究部長

** JFE スチール株式会社

1) 西日本製鉄所薄板商品技術部自動車室主任部員

2) スチール研究所接合・強度研究部主任研究員

3) 薄板セクター部主任部員

Highly Reliable Nondestructive Testing Technique for Spot-welds in Automotive Bodies Assembled from High Tensional Steel Parts; Hajime Takada*, Masanori Kitahama*, Tomoyuki Hirose**, Rinsei Ikeda**, Keiji Nishimura** (*JFE R&D Corporation, **JFE Steel Corporation)

2008年11月4日受理

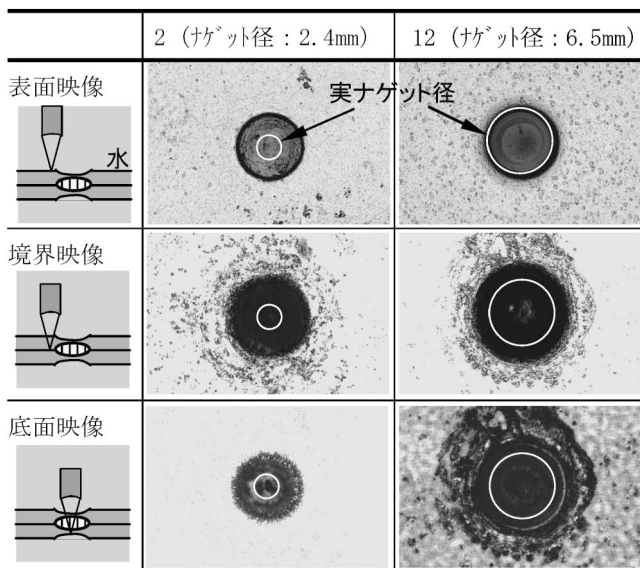


図1 スポット溶接部の超音波平面映像。

る装置が市販されている。しかし、このような装置を用いても上記した2価関数の問題は解決できない。図1は、板厚2.6mmの薄鋼板(引張り強さ: 780MPa)を2枚重ねてスポット溶接したサンプル(溶接電流の加減によって、ナゲットの大きさを変化)における超音波透過性を平面画像化した結果である。図1中の白丸は、その後の破壊試験によって測定したナゲット径である。境界映像からナゲットの外側に超音波が透過する領域が大きく存在することが分かる(超音波が透過するため、境界部からエコーがあらわれないので、黒く映像化)。この領域は圧接と同様な状態になっている部分である。また、底面映像からは、中央部近くのやや明るい領域(底面エコーによる)とナゲット径との間にほとんど関連がないことがわかる。

このように、ナゲット径を正確に測定でき、信頼性高く健全性の評価を行える技術は存在しなかった。

3. 高信頼性スポット溶接部非破壊評価技術とその特徴

本技術におけるスポット溶接部非破壊評価方法の原理を図2に示す。スポット溶接部の溶接金属の一方のわきから超音波(板波)を斜入射させ、反対側で超音波透過波(以下、単に透過波)を受波する。ナゲットには超音波を大きく減衰させるデンドライト組織が発達するため、板の表面に沿って伝搬する超音波は、ナゲットの径に比例した減衰を受ける。よって減衰量を測定することによりナゲット径を測定できる。

この方法においても、スポット溶接部の端部に形成される段差によって超音波の伝搬が乱され、その影響が減衰測定結果に現れることが懸念される。しかし、超音波(板波)には数多くの伝搬モードが存在する⁽³⁾ので、板内部の変位が大きいモードを選択することにより、段差の影響を最小にできる。

ところで、減衰測定は超音波探触子と被検体との接触状態の変化によって精度が低下しやすい。そこで、ナゲットによる超音波の減衰が観察される部位の平面的な広がりを検出す

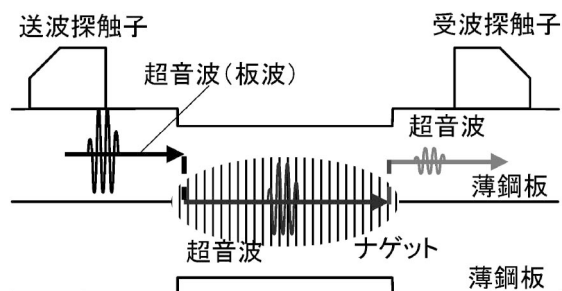


図2 超音波(板波)を利用したスポット溶接部評価方法。

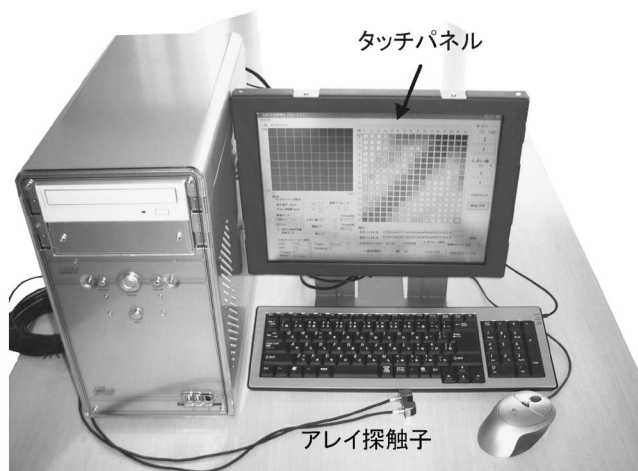


図3 開発した測定装置の外観。

るようにした。また、製造現場における非破壊評価では、探触子対の機械走査を行うことは難しいので、振動子アレイを備えた探触子を用いることにより、機械走査を行うことなく、平面的な広がりを検出する。以下では、アレイ配列方向において板波減衰が観察される部分の幅を減衰帯幅と称する。

装置の外観を図3に示す。1台の超音波送受信器とアレイ探触子との間にリレー回路を介在させ、超音波送受信器とアレイ探触子の素子との接続を変更する。受波された透過波信号はA/D変換されてパソコンへ送られる。パソコンを用いた信号処理により所定到達時間内の透過波の振幅を検出表示する。アレイ探触子の仕様は送波用と受波用とで同一であり、周波数5~10MHz、素子ピッチ0.6~1.6mm、素子数8~16である。以下の説明では素子数を8としている。

この装置では、透過波の振幅を全素子の組み合わせについて測定する。図4に示すように、送波用アレイ探触子のi番目(i=1, 2, ..., 8)の素子(送波素子とも称する)から送波された透過波を受波用アレイ探触子の1~8番の全素子(受波素子とも称する)で受波して、その振幅を検出するようになっていく(斜めバスの透過波の振幅も検出する。).

測定された透過波振幅はマトリックスに表示される。個々の表示は透過波の振幅によって輝度変調されている。明るい方が透過波の振幅が大きい。この表示には、図4に一例を示すように、アレイ探触子とスポット溶接部との相対的な位置関係を表示可能な利点がある。アレイ探触子とスポット溶接部との位置合わせに便利である。本装置による測定時間は1点当たり、3秒未満である。

減衰帯幅の測定では、測定された透過波振幅のなかから、

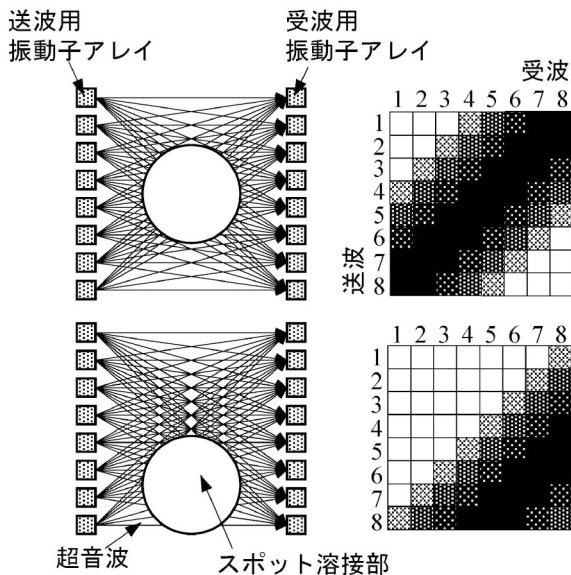


図4 送受波する超音波の経路とマトリックス表示を利用した位置ずれ検知。

i番目の送波素子とi番目の受波素子($i=1, 2, \dots, 8$)の組み合わせの測定値、即ち、正対する素子間の透過波振幅測定値を選ぶ。これら測定値を補間することによってアレイ配列方向における透過波振幅プロファイルを作成して、プロファイルが所定のしきい値を下回る部分の幅を減衰帯幅として測定する。

図5に代表的なサンプルにおける断面写真と透過波振幅プロファイルとの対比例を示す。ナゲット径(図中ではNDと表示)が大きいものほど、減衰帯幅が大きい。ナゲット径2.4mmのサンプルではナゲットの外側に鋼板が溶融せずに接合されたとみられる領域(いわゆる圧接)がある。本開発技術では、この領域では小さな減衰しか観察されないので、圧接を正確に判別できることがわかる。

板厚2.6mmの薄鋼板(引張り強さ:780MPa)を2枚重ねてスポット溶接したサンプル(溶接電流の加減により、ナゲット径を変化)を対象として測定を行い、減衰帯幅と切断試験により求めたナゲット径との関係を調べた結果を図6に示す。減衰帯幅はナゲット径とほぼ ± 0.5 mmの精度にて一致した。したがって、減衰帯幅をナゲット径として表示することが可能である。

4. 特許および実用化状況

本開発技術および装置は、国際特許など多数出願を行い、既に公開されている⁽⁴⁾。既に複数の測定装置をグループ会社を通じて自動車メーカーへ販売した。最近ハイテン材採用の動きに合わせ、さらに多くの社から引き合いをいただき、市場への展開が広がりつつある。

また、上記において示した例は、ハイテン材のスポット溶接の例のみであるが、この他の板厚や材質の薄鋼板のスポット溶接部へも適用可能なことが明らかになってきており、自動車スポット溶接部全般および家電等の他の産業分野のスポット溶接部に適用可能な見通しである。

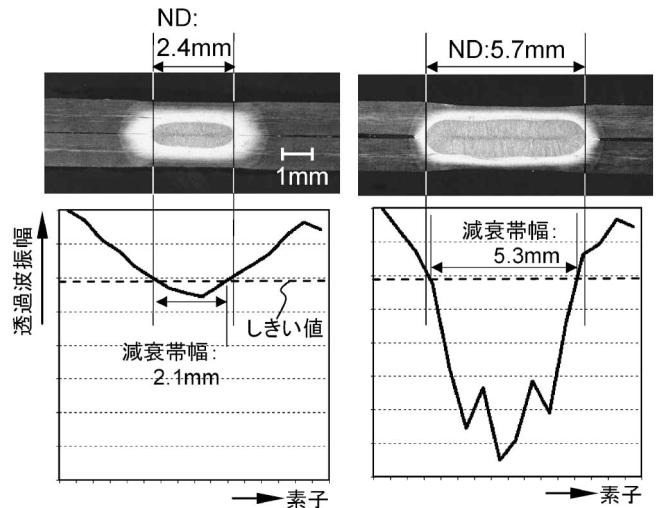


図5 スポット溶接サンプル断面写真と開発装置による透過波プロファイルおよび減衰帯幅測定例。

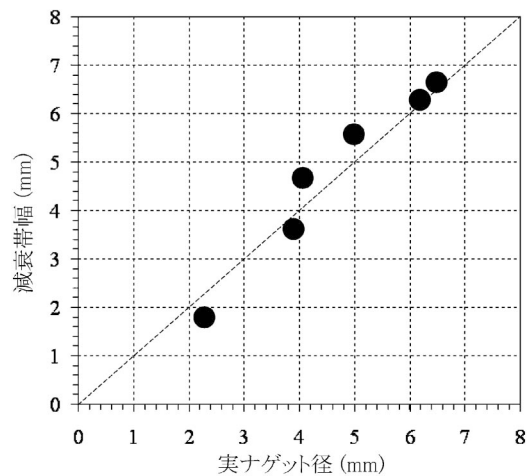


図6 開発装置により測定した減衰帯幅と実ナゲットとの関係。(板厚2.6mm 2枚重ね)

5. まとめ

超音波(板波)の透過減衰測定によって薄板スポット溶接部の健全性を評価する高信頼性評価技術および装置を新原理に基づき開発実用化した。軽量化を目指し設計された自動車車体の安全性を保証するため、ハイテン材のスポット溶接部を信頼性高く非破壊評価できる技術が必要不可欠となってきている。板波アレイ透過法を用いてハイテン材スポット溶接部のナゲット径を正確に測定できる本開発技術は、既に実用に供されており、今後さらに自動車車体へのハイテン材の円滑な採用に大いに役立つと期待される。

文 献

- (1) 超音波探傷試験Ⅲ：日本非破壊検査協会編，(社)日本非破壊検査協会，東京，(2001)，235。
- (2) 松島 勤：次世代超音波システムによるスポット溶接検査，平成13年秋季大会講演概要集。日本非破壊検査協会。(2001)，57-58。
- (3) Rose, J. L.: Ultrasonic waves in solid media, Cambridge Univ. Press, Cambridge, (1999), 101-126。
- (4) PCT/JP2005/016369等