

フェーズドアレイ超音波探傷による接着接合部の欠陥の評価と適用性について

首都大学東京大学院 学生員○今井貴也・タイウィサル 首都大学東京 正会員 中村一史
 一般財団法人首都高速道路技術センター 正会員 増井隆・上條崇
 首都高速道路㈱ 正会員 平野秀一 日本エンジニアリング㈱ 正会員 政門哲夫
 ㈱ダイクレ 正会員 鈴木啓之 ㈱ITW PP&F JAPAN 中川健太

1. はじめに

補修工法の一つとして鋼板あるいは炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastic; 以下，CFRP）板を用いた当て板接着工法がある。当て板接着工法では，主に打音検査で点検されるが，定量的な評価や，欠陥の可視化が困難である。そこで，非破壊検査方法の中から内部欠陥の評価に適しているフェーズドアレイ超音波探傷法の適用性を検討した。この検査方法を用いて接着接合部の欠陥の検出精度を検証するとともに，CFRP板が接着された試験体の定量的な欠陥の把握を試みた。

2. 当て板を接着した試験体によるキャリブレーション試験

2.1 試験体と実験方法

図-1 に，フェーズドアレイ超音波探傷の一例を示す。探触子には Zetec 社製 LL-2.25MHz（128ch）を，探傷装置には同社製 TOPAZ32 をそれぞれ用いた。図-2 に，試験体図を示す。試験体は，母材の鋼板の両面に当て板となる鋼板を 2 種類のエポキシ接着剤によって接着接合した試験体である。試験体は 2 種類の接着剤に対して各 3 体，計 6 体（E250-N1～N3，E258R-N1～N3）を用意した。試験体は静的引張試験によって鋼板が端部からはく離した状態である。引張試験では，固定治具を用いることより片方の端からのみはく離が生じるようにしている。表-1 に，試験体の材料特性を示す。探傷は鋼板の縦波音速を用いて実施した。

2.2 欠陥の評価方法

欠陥の評価方法は，比較のために，(1) 目視，(2) フェーズドアレイ超音波探傷による垂直直接接触法（以下，直接法とよぶ），垂直水浸法（以下，水浸法とよぶ），(3) 浸透探傷法の 3 種類とした。目視では，試験体側面から，ルーペ（2 倍）を用いてはく離の先端を特定し，はく離長さをノギスで測定した。直接法，水浸法では，対象試験体のはく離面側から軸方向に向かって探傷を行った。直接法では，実際の点検時を想定した方法で，水浸法は直接法より安定して精度よく探傷が可能であり，直接法との比較のために行った。図-3 に，水浸法による探傷方法の概念図を示す。直接法では，探触子にウェッジを付けて探傷した。水浸法では，はく離部から水が浸入しないように養生した。浸透探傷法では，はく離部から浸透探傷液を注入し，数日後に当て板をはがし，その表面を目視により観察した。

2.3 検証結果と考察

試験片 E258R-N2 を一例として，図-4 に，直接法，水浸

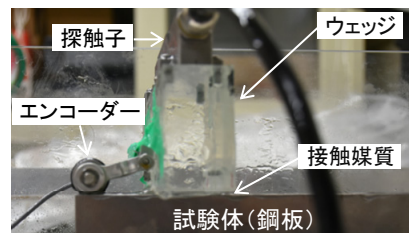


図-1 フェーズドアレイ超音波探傷の一例

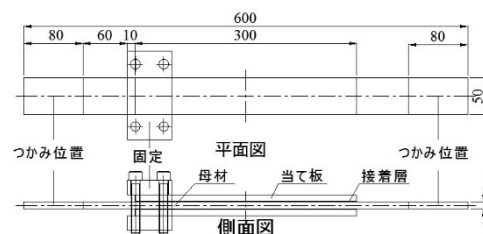


図-2 試験体図

表-1 材料物性値

材料		弾性係数(GPa)	縦波音速(m/s)	厚さ(mm)
鋼板	母材	200	5920	9
	当て板			16
エポキシ樹脂 接着剤	E250	2.6	—	0.5
	E258R	3.6	—	

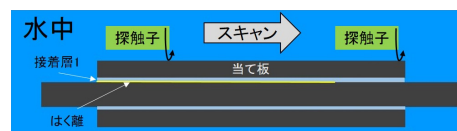


図-3 フェーズドアレイ超音波探傷の概念図

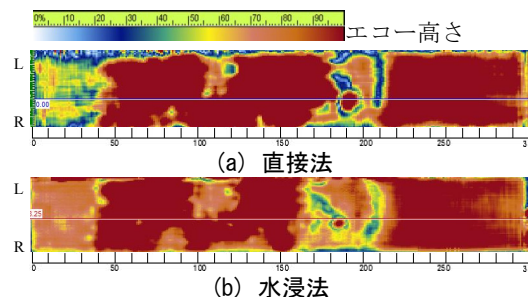


図-4 超音波探傷の結果 (E258R-N2)

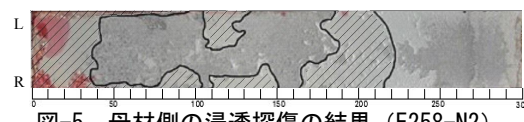


図-5 母材側の浸透探傷の結果 (E258R-N2)

キーワード 接着接合，当て板，内部欠陥，フェーズドアレイ超音波探傷

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京大学院 TEL.042-677-1111 内線(4564)

法による探傷結果を、図-5 に、浸透探傷液を注入し、当て板をはがした母材表面の状態をそれぞれ示す。図-5 のハッチング部は、はく離や接着不良と考えられる箇所を示している。図-4 のコンターはエコー高さを示している。

図-4、図-5 から、試験体端部から約 40mm までの範囲でエコー高さに変化があり、はく離が発生していると判断された。R 側 80～90mm、L 側 100～120mm、160～210mm の箇所においても変化が確認できる。これははく離ではなく、接着不良による空隙であると考えられた。また、フェーズドアレイ超音波探傷結果と浸透探傷結果を比較すると、概ね同じ結果が観察されていることがわかる。

図-6 に、側面のはく離長さの比較を示す。探傷方向に向かって左右の側面のはく離を L、R で区別した。図-6 から、超音波探傷と浸透探傷の長さの差異は最大 6mm であった。一方、目視の結果とは差異は大きく、過少に評価される傾向にあった。フェーズドアレイ超音波探傷法では、目視では見落とす可能性が高いはく離も定量的に評価できることから、接着接合部のはく離を精度よく検出できるといえた。

3. CFRP 板を接着接合した試験体への適用性について

3.1 試験体と実験方法

図-7 に、接着する CFRP 板の寸法を示す。接着方法は 2 ケースを検討した。可能な限り不良を生じないように接着した場合 (CASE1)、および CASE1 と同じ方法で接着した後、一旦取り外し、再度接着した場合 (CASE2) である。CASE2 は、現場での CFRP 板接着作業で設置位置のずれや間違いなどによる CFRP 板の貼り直しを想定している。接着剤には、粘度の高い MMA (メチルメタクリレート系) 樹脂を用いたが、接着厚さ管理が困難であり、実測で 2～10mm のテーパー状であった。そこで、探傷時の焦点距離は 5mm とした。図-8 に、ウェッジを取り付けた直接法による探傷状況の一例を示す。鉛直面では上から下に向かって、鉛直面について探傷を行った。さらに、表面探傷結果において、エコー高さに 50%のしきい値を設けることで、空隙箇所の面積を計算し、空隙率を求めた。なお、50%のしきい値は、キャリブレーション試験の結果から決定した。

3.2 探傷結果と考察

図-9 に、探傷結果の一部として、エコー高さのコンター図を示す。表-2 に、CFRP 板が接着された面積に対する空隙率を示す。図-9 の青色部分は、前章の検証結果と同様に、接着不良 (空隙) と考えられる箇所である。表-2 の空隙率からは、CASE2 の方が CASE1 よりも空隙率が大きく、概ね予想通りの結果となったが、空隙率は CASE1 でも大きく評価された。これは、CFRP 板中に含浸確認用のガラス繊維の縦波音速は、CFRP 板の縦波音速と異なるため、超音波の反射のタイミングがずれてしまい、ガラス繊維の範囲が縦方向の青い帯状で表示され、空隙と判定されること、また、接着剤の厚さの差が大きく (2～10mm)、適切に評価できない箇所 (CFRP 板上端から 120mm 以上) があることが要因と考えられた。

4. まとめ

フェーズドアレイ超音波探傷法を用いて接着接合部の評価を試みた結果、接着厚さが一定であれば、実用上十分な精度で内部欠陥の検出が可能であるといえた。なお、材料の厚さや材質が異なる場合には、検出が困難な場合があることもわかった。これらについては、今後の検討課題としたい。

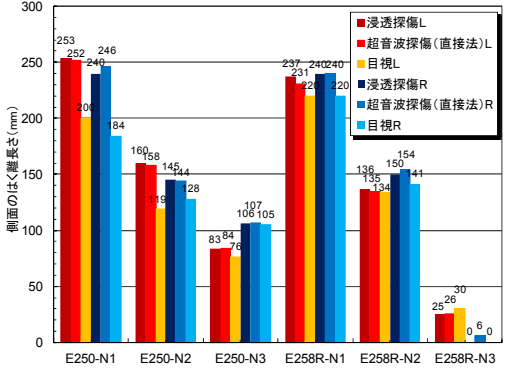


図-6 側面のはく離長さの比較

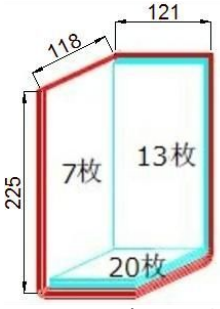
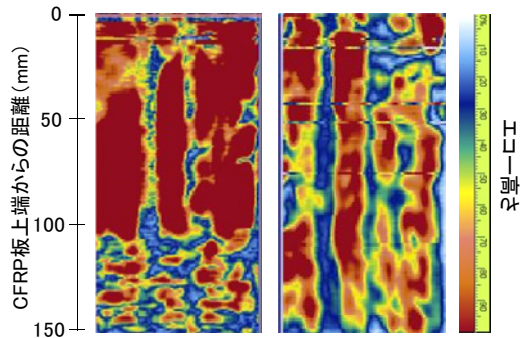


図-7 CFRP 板の寸法



図-8 探傷状況



(a) CASE1 (b) CASE2

図-9 探傷結果の一例

表-2 CFRP 板が接着された面積に対する空隙率			
ケース	観察箇所の面積(mm ²)	青色以外の面積(mm ²)	空隙箇所 (mm ²)
CASE1	13224.0	9579.4	3644.6
CASE2	10414.5	6562.5	3852.0

空隙率 (%)