

I - A 229 鋼板接着剥離の超音波による診断

北見工業大学 正員 三上修一 北見工業大学 フェロー 大島俊之
(株)サクラダ フェロー 鈴木康弘 (株)サクラダ エン지니어リング 正員 安岡富夫
(株)日本製鋼所 正員 田中秀秋

1. はじめに

土木構造物はその性能を長く維持することが要求される。特に鉄筋コンクリート構造物は、耐久性、維持管理性に優れているため、これまで永久構造物としてメンテナンス・フリーと考えられてきた。しかし、長期間その性能を維持するには、ある時点で適当な補修を行うことが必要である。また、阪神大震災によって、耐震基準の見直しから大量の鉄筋コンクリート構造物の補強が行われている。鉄筋コンクリート構造物の補修・補強工法のひとつとして鋼板を樹脂接着剤で接着する工法が多く用いられている。しかし、繰り返し荷重を受ける部分では損傷を受け鋼板とコンクリートが剥離することが懸念される。また接着部の充填不良を定量的に診断する手法の開発が必要となる¹⁾。欠陥の検査手法としては非破壊検査法の一つである超音波探傷法による診断手法の実用化が必要となっている。本研究では鋼板接着剥離をモデル化し、剥離部分の診断手法の検討を目的とし、測定手法を含めた波形解析方法について検討を行う。

2. 実験方法

(1) 供試体

鋼板がエポキシ樹脂でコンクリートに接着されたモデルを考えることにする。本研究では図1の様に鋼板とコンクリートの間にエポキシの充填不良による空隙が生じる場合や老朽化によって鋼板とエポキシの間またはコンクリートとエポキシの間に剥離がある場合の3種類についてモデル化する。鋼板の厚さは5mmとし、エポキシ樹脂層の厚さは鋼板とコンクリート面の隙間を5mm以上必要であることから5mmとした。コンクリート層の厚さは60mmとした。供試体中の空隙や剥離はドリルによってエポキシ樹脂を削って所定のサイズに作製した。欠陥サイズは50mm×50mmで、剥離層の厚さは約2mmとした。本研究では、鋼板とエポキシの接着面をA面、コンクリートとエポキシの接着面をB面と呼び、A面側の剥離をA1-2、B面側の剥離をB1-2、空隙をA1-B1、損傷の内部分をA0-B0と呼ぶことにする。これらの欠陥は接着面に沿って面的な広がりを示す。

(2) 超音波探傷法による測定

実験方法は鋼板表面に探触子を直接接触して探傷を行う直接探傷法で行う。測定システムは超音波の送受信を行う探触子、電圧を入力し、受信波を増幅するパルスレシーバ、波形記録・解析を行うデジタルオシロスコープから構成される。探傷方法は図2(a)に示すように1センサによる方法と(b)に示す2センサによる方法を比較した。1センサ方式の場合に使用した探触子は垂直縦波センサで、コンクリート対応低周波探触子(中心周波数0.5MHz、外径28mm、ここでは0.5Mセンサと呼ぶ)と鋼板探傷用探触子(中心周波数5MHz、外径14mm、ここでは5Mセンサと呼ぶ)の2種類を使用した。特に0.5Mセンサは中心周波数が低い領域であるが入射波形が短時間で減衰することから、比較的短

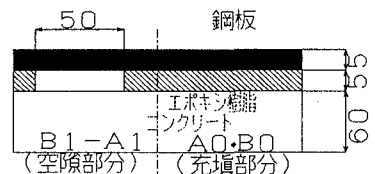
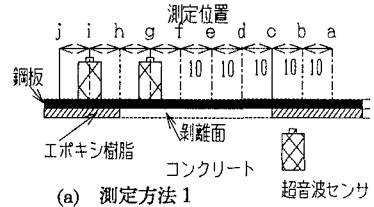
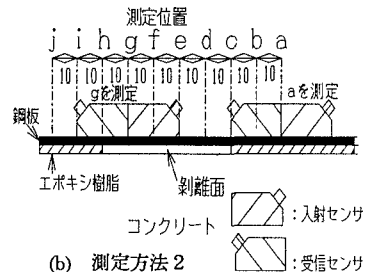


図1 鋼板剥離モデル



(a) 測定方法 1



(b) 測定方法 2

図2 接着剥離診断方法

キーワード: 鋼板接着、接着剥離、超音波探傷、反射波形、伝達関数

連絡先(090 北見市公園町165 北見工業大学 TEL.0157-26-9471 FAX. 0157-23-9408)

時間で反射波の測定が可能となることが特徴である。5M センサによる測定は図2にあるように剥離領域を中心に10mm 間隔に設けた左右合わせて10箇所の測点a～jで反射波形の測定を行った。0.5M センサによる測定はセンサの外径が大きい剥離面のある場合（A面とB面）とない場合の波形の比較を行った。2センサ方式の場合には斜角縦波探触子（中心周波数 2MHz、入射角 45°、長辺の長さ 30mm）を2個用いた²⁾。測定は図2(b)に示すように測点a～jの10点で反射波形を測定した。

3. 剥離面検出に関わる超音波伝播特性

剥離面からの反射波は鋼板、エポキシ、コンクリートの3種類の性質の異なる材料を伝播する。表1はそれぞれの材料の伝播速度と音響インピーダンスを示す。これらをもとにモデル供試体の各境界面での反射波の到達時間を計算すると表2のようになる。鋼板とエポキシの境界面では反射率が約88%になるため、鋼板底面からの反射波形の振幅が大きく、鋼板内を多重反射する波形が約1.68 μ s 間隔で現れる。またエポキシとコンクリートが密着している場合にはコンクリート中への透過率が大きい。縦波斜角探触子を用いた場合には図3に示すような到達時間の異なる4つの伝播経路を考えることができる。実線が縦波の伝播経路、破線が横波の伝播経路である。この探触子の場合には鋼板内での多重反射波形が少ないのが長所である。

表1 超音波伝播特性

	伝播速度(m/sec)	音響インピーダンス
鋼	5 9 5 0	4 6 . 4
エポキシ樹脂	2 4 5 3	2 . 9
コンクリート	4 7 8 0	1 1 . 5

表2 反射波到達時間（垂直探傷）

	反射波到達時間 (μ s)
鋼板底面	1. 68
エポキシ底面	5. 75
コンクリート底面	56. 27

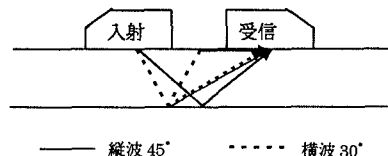


図3 縦波斜角の伝播経路

4. 測定結果

測定方法1によって得られた波形には入射波形が含まれるため鋼板底面からの最初の反射波形を判別することは難しい。実験結果よりA面剥離がある場合には剥離がない場合に比べて反射波の振幅が大きいたことがより分かる。これは、剥離面がA面にあることによって超音波の反射率が高くなるためと考えられる。図4は供試体B1-A1（空隙モデル）の測定方法1で5Mセンサによる測定波形の6MHz までの伝達関数を比較した図である。ここで伝達関数は健全部の反射波形のスペクトルを基準として各測定位置での伝達関数を計算したものである。この結果より剥離部（測点g, h）の伝達関数に3.5MHz 付近にピークがあることがわかる。図5は測定方法2によって得られた反射波形から横波－縦波伝播した波形の最大値を測点毎に求めプロットしたものである。剥離部分で振幅が大きくなっている傾向がわかる。

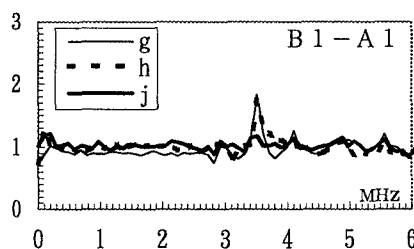


図4 測定方法1の伝達関数（B1-A1）

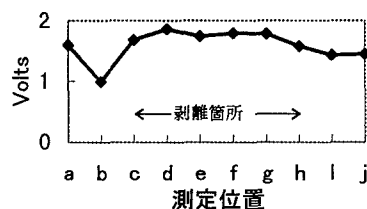


図5 横波－縦波反射波の最大振幅（B1-A1）

5. まとめ

本研究では鋼板とコンクリートの接着剥離を超音波を用いて診断する場合の測定方法、探触子の周波数特性を変えて実験を行った。本研究の測定方法によって反射波形の振幅や伝達関数を用いて剥離位置をある程度診断することができることを示した。さらに鋼板厚さやエポキシ樹脂層の厚さが薄くなるほど鋼板底面からの反射波の振幅が大きくなるため探傷が難しくなるので、これらによる影響についても検討する必要がある。本研究の実験・解析は八幡力氏（現大豊建設）の卒業研究として行ったものでありここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 山口、他：コンクリートの剥離と型枠裏の充填具合の超音波試験、非破壊検査協会秋季大会講演概要集、pp.355-362、1995.10.
- 2) 田中、大島：TOFD 法に於ける亀裂と超音波散乱の関係、土木学会北海道支部論文報告集、第53号(A)、pp.418-423、1997.2.