

I-83

エコー振幅変化に着目した鋼板接着剥離検出の研究

北見工業大学 ○学生員 岡部 雄二 ㈱サクラダ 正 員 南 邦明
 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
 北海道開発局 下元竜太郎

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物は、その耐久性、維持管理性が優れていることから、これまではメンテナンスフリーと考えられていた。だが、その性能を長期間維持していくには、適宜補修を行う必要がある。鉄筋コンクリート構造物の補修・補強工法のひとつに、鋼板をアンカーボルトで固定しその隙間に樹脂接着剤を充填して接着する工法が広く用いられている。しかし、コンクリート床版のように繰り返し荷重を受ける部分では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。非破壊検査法の一つである超音波探傷法を用いた。超音波探傷法は、探触子（センサー）により入射し、反射してくる超音波を受信することにより欠陥を検出するので探触子の走査状況や最適な探触子の選択の問題が存在する。本研究では、直接接触法による超音波探傷において、探傷の際に使用する探触子についての検討、さらにセンサーによるエコーの振幅の変化に重点を置き、剥離箇所の検出精度への影響について検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 供試体

図1のように鋼板をコンクリートに接着した場合に発生する欠陥は、鋼板と接着剤（樹脂）との剥離と、接着剤とコンクリートの剥離の2種類が考えられる。ここでは、前者をA面剥離、後者をB面剥離と呼ぶことにする。本研究では、

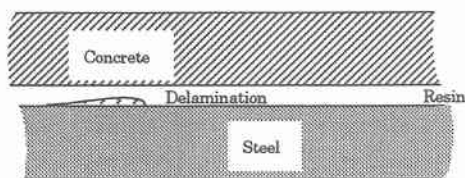


図1 鋼板剥離の発生パターン

これらの剥離状態を簡略化したモデル供試体を用いて剥離欠陥の検出方法を検討する。供試体 TypeA は、鋼板と樹脂が完全に剥離した場合のモデル化であり、TypeB はコンクリートと樹脂が完全に剥離したモデルである。そして、健全な状態をモデル化したものを TypeC とする。各供試体は、鋼板の厚さ S 、樹脂の厚さ R の2つをパラメータとして作製する。一般的な補修・補強用の鋼板厚さは、約4mm程度である。また、接着の際の樹脂の厚さは約5mmを確保するよう規定されている。これらのことから、鋼板の厚さ S を4.2mm、6mm、9mmの3種類を用意した。（本論文では、4.2mmを呼ぶとき4mmと呼ぶことにする。）また、樹脂の厚さ R を5mm、7mm、10mmの3種類で供試体を作製した。本論文では、供試体名として、例えば TypeB の供試体の鋼板厚6mm、樹脂厚5mmのときは「S6R5」と記述することにする。

2. 2 測定方法

実験方法は、図2のように供試体の鋼板表面中央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、図3に示すような超音波の送受信を行う探触子と探触子に電圧を印加し受信波を増幅するパルサーレシーバ、波形記録と解析を行うディジタルオシロスコープから構成される。探傷方法は図3に示すように供試体の2辺を単純支持し1センサ方式で測定を行った。実験に使用した探触子の共振周波数は、

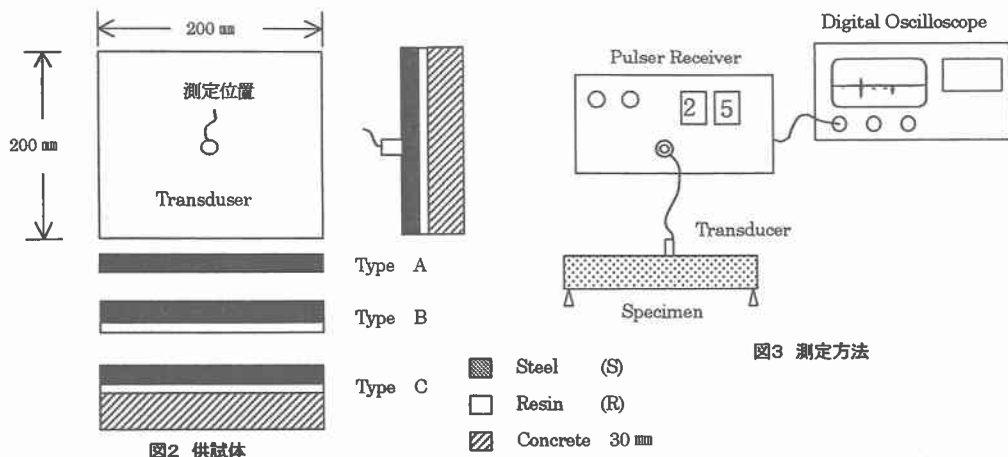


図3 測定方法

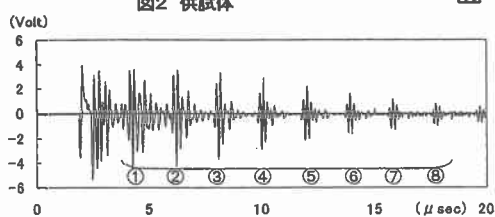


図4 供試体 S6 の反射波形

(接触圧力 120gf/cm² 共振周波数 5MHz GAIN 0dB)

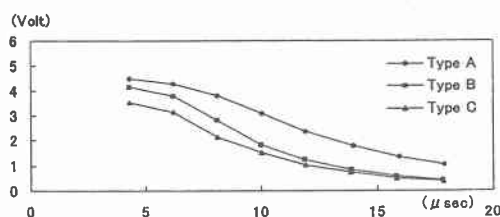


図5 供試体 S6R5 の減衰曲線

(接触圧力 120gf/cm² 共振周波数 5MHz GAIN 0dB)

0.5, 2.5MHz の垂直縦波探触子である。直接接合法による測定は、供試体と探触子の設置条件により測定結果に影響を与えるので接触圧力は一定に保ち、探触子と供試体の間には機械油を挟み一様な接触条件を保つようにした。図5の反射波形グラフは、S6R5 の TypeA を測定したものである。それぞれの供試体において数回の測定を行いその平均波形を用いて解析を行う。測定の際のパルサーレシーバーの GAIN (増幅率) は、0.5MHz 探触子で 25dB、2.5MHz 探触子で 0dB と設定する。

3. 解析方法

3. 1 エコー振幅の解析

材料は、伝播速度(縦波伝播速度)や密度等それぞれ固有の物性値を有することから超音波の伝播能力は異なる。故にエコーの振幅量の変化から欠陥の有無を検出することが超音波探傷法である。図4は S6 の反射波形で、図5は、S6R5 における全 Type の解析の例である。この時の測定条件は接触圧力 120gf/cm²・共振周波数 5MHz、反射波形は最初の 2μsec が測定時に設定した遅延時間であり、次に入射波の大きな振幅が記録される。その後はおよそ 2μsec のほぼ一定間隔で多重反射を繰り返すので、S6R5 の TypeA のグラフにあるように①～⑧の8個の鋼板内を多重反射する毎の最大値に着目して波群について解析していく。図5、横軸に反射波の到達時間(単位 μsec)をとり、縦軸に振幅(単位 Volt)をとっていく。(以降この曲線を減衰曲線と呼ぶことにする。)反射波の振幅は、負のピーク値が卓越しているので負のピークを読み取り、その値の絶対値を振幅量とする。減衰曲線は、多重反射を繰り返す度により複雑なモードになるので、第1～第5波を比較検討していくのが妥当である。

3. 2 探触子の共振周波数による影響

すでに図5では S6R5 を 5MHz・120gf/cm² という条件で減衰曲線による比較を行った。ここでは、同

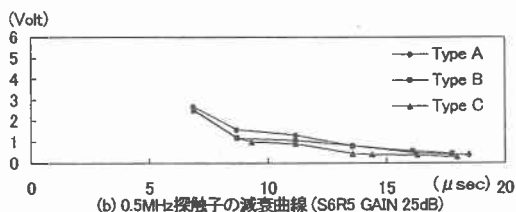
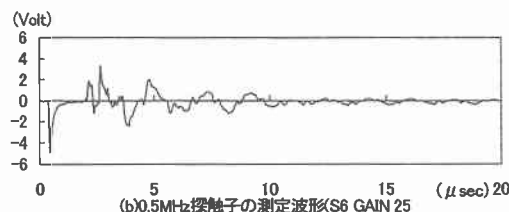
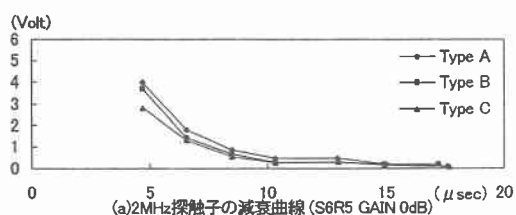
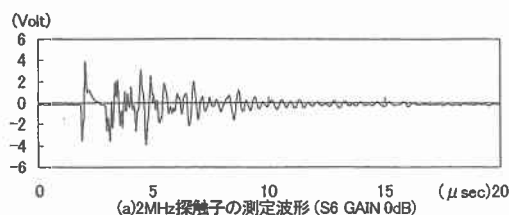


図6 共振周波数の異なる探触子の測定波形 (接触圧力 120gf/cm²)

図7 共振周波数の異なる探触子の減衰曲線 (接触圧力 120gf/cm²)

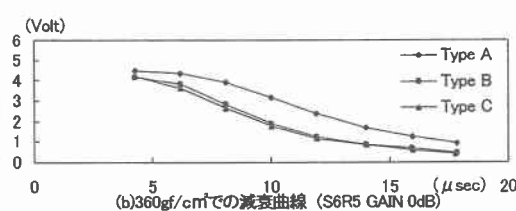
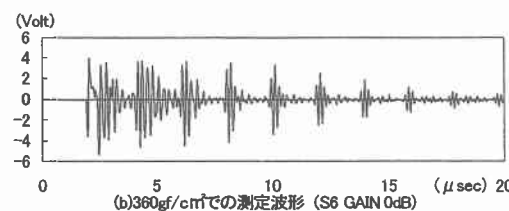
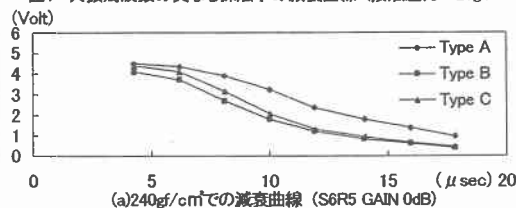
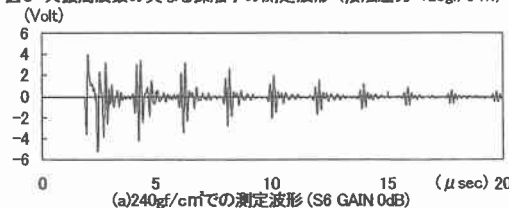


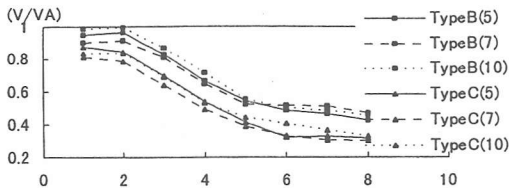
図8 接触圧力の違いによる測定波形 (共振周波数 5MHz)

図9 接触圧力の違いによる減衰曲線の比較 (共振周波数 5MHz)

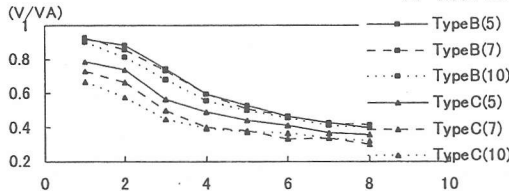
じ供試体を共振周波数の異なる探触子で測定・解析を行い、診断に用いる探触子の共振周波数による測定精度の検討を行う。このとき接触圧力は図5同様 120gf/cm²である。図6(a),(b)は、S6を共振周波数がそれぞれ 0.5,2MHzで測定した反射波形である。(a)は鋼板内を伝播する多重反射波が測定されている。(b)についても鋼板内の多重反射が見られるが(a)ほど明確に現れていない。図7(a),(b)は、図5と同様にして得られた減衰曲線である。これら2つとも図5のものとは比べると供試体による減衰曲線の差が明確でないことがわかる。これは、探触子の共振周波数が低くなると反射波の振幅が小さくなり、減衰も速くなる。これらの検討より共振周波数 5MHzの探触子を用いることにする。

3. 3探触子の押し付け圧力による影響

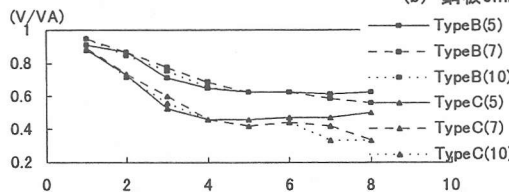
ここでは 5MHzの探触子で接触圧力による測定精度の検討を行った。図8(a),(b)は供試体 S6において接触圧力を 240,360gf/cm²と加えていった反射波形であり、図9(a),(b)は S6R5のそれぞれの接触圧力における減衰曲線である。結果、図4、図9(a),(b)から、TypeA,B,Cの減衰曲線の大きさに違いが出たのは圧力の低い 120gf/cm²の時であった。接触圧力が高くなると TypeB,Cの減衰曲線の差は小さくなり、判別が難しくなっていく傾向にある。他の供試体では圧力が一番高い 360 gf/cm²でも TypeB,Cの減衰曲線の大きさに違いが出て判別できているものもあったが、全般的に見ていくとやはり低い圧力の方が良いようだ。よって、接触圧力を 120gf/cm²として測定を行うことにする。



(a) 鋼板4mmの減衰曲線



(b) 鋼板6mmの減衰曲線



(c) 鋼板9mmの減衰曲線

図10 各鋼板厚の減衰曲線比

樹脂厚 (mm)	5			7			10		
V/VA	B	C	B-C	B	C	B-C	B	C	B-C
第1波	-5%	-12%	-7%	-10%	-19%	-9%	-1%	-16%	-15%
第2波	-3%	-15%	-12%	-8%	-21%	-13%	±0	-16%	-16%
第3波	-17%	-31%	-14%	-19%	-36%	-17%	-13%	-31%	-18%
第4波	-34%	-46%	-12%	-35%	-51%	-16%	-29%	-47%	-18%
第5波	-46%	-59%	-13%	-48%	-61%	-13%	-45%	-56%	-11%
第6波	-52%	-68%	-16%	-48%	-67%	-19%	-49%	-60%	-11%
第7波	-54%	-67%	-13%	-49%	-70%	-21%	-51%	-63%	-12%
第8波	-58%	-68%	-10%	-53%	-70%	-17%	-55%	-67%	-12%

樹脂厚 (mm)	5			7			10		
V/VA	B	C	B-C	B	C	B-C	B	C	B-C
第1波	-8%	-21%	-13%	-7%	-27%	-20%	-10%	-33%	-23%
第2波	-12%	-27%	-15%	-14%	-34%	-20%	-19%	-43%	-24%
第3波	-26%	-43%	-17%	-27%	-50%	-23%	-32%	-55%	-23%
第4波	-41%	-51%	-10%	-41%	-60%	-19%	-45%	-61%	-16%
第5波	-47%	-56%	-9%	-49%	-62%	-13%	-50%	-63%	-13%
第6波	-53%	-59%	-6%	-53%	-67%	-14%	-54%	-63%	-9%
第7波	-57%	-67%	-10%	-57%	-66%	-9%	-59%	-66%	-7%
第8波	-60%	-64%	-4%	-58%	-70%	-12%	-60%	-68%	-8%

樹脂厚 (mm)	5			7			10		
V/VA	B	C	B-C	B	C	B-C	B	C	B-C
第1波	-9%	-12%	-3%	-5%	-11%	-6%	-5%	-11%	-6%
第2波	-13%	-27%	-14%	-14%	-26%	-13%	-15%	-28%	-13%
第3波	-29%	-47%	-18%	-22%	-40%	-18%	-24%	-45%	-21%
第4波	-35%	-54%	-19%	-31%	-54%	-23%	-34%	-54%	-20%
第5波	-37%	-54%	-17%	-37%	-58%	-21%	-37%	-58%	-21%
第6波	-37%	-53%	-16%	-37%	-56%	-19%	-37%	-56%	-19%
第7波	-38%	-53%	-15%	-42%	-58%	-16%	-42%	-67%	-25%
第8波	-37%	-50%	-13%	-44%	-67%	-23%	-44%	-67%	-23%

4. 減衰曲線による検討

前章の結果からセンサーの接触圧力は 120gf/cm^2 、センサーの共振周波数が 5MHz という条件で鋼板厚 $4, 9\text{mm}$ においても樹脂厚をパラメータとして測定を行った。ここでは減衰曲線に着目し、第1～8波それぞれにおいてTypeAを基準としてTypeB,Cの減衰比のグラフ及びその割合を数値化した表を作成した。グラフの横軸には鋼板厚 4mm で約 $1.4\mu\text{sec}$ 、 9mm で約 $3\mu\text{sec}$ の間隔の多重反射波が見られ、それぞれのタイプにおいて波群のピークの到達時間にそれほどのずれがないことから第1波を1として8までという様に軸を取り、縦軸はTypeAの減衰曲線(VA)で基準化したTypeB,Cの減衰曲線(V)との比である。図5の減衰曲線からは第2～5波が判別に適する範囲であった。減衰曲線比からも同様なことが言える。この範囲において樹脂厚が増加しても減衰曲線比の変化は小さく、鋼板剥離箇所の判定に影響は与えない。

5. 結論

今回行った実験及びその検討をまとめると以下のことが言える。

1. 探触子の共振周波数は、低くなるほど欠陥評価が困難になっていくことが言える。故に共振周波数は 5MHz が妥当である。
2. 探触子の接触圧力が増すほどに、欠陥評価は困難になっていく。実験の範囲からは、 120gf/cm^2 程度が妥当である。
3. 鋼板内の多重反射波に着目した減衰曲線を利用すると鋼板剥離を評価できる。そして、評価できるその範囲でのTypeB,Cの差は $10\sim 20\%$ 程度である。

今後は実規模の鋼板剥離を想定した実験を行って今回の実験を確認する必要がある。

本研究の実施にあたり御礼が 鈴木康弘、安岡富夫氏のご助言をいただきました。また、平成10年度文部省科学研究費(代表者三上修一)の補助を受けました。ここに感謝します。

参考文献

- 1) 戸田、吉川、垣下、横山、呉、超音波モード変換法による鋼板巻き立て補強鉄筋コンクリート橋脚の樹脂密着率の定量評価、構造工学論文集 Vol.43A, p.1059-1064, 1997.3
- 2) 三上、大島、安岡、鈴木、田中：鋼板接着剥離の超音波による診断、土木学会第52回年次学術講演会講演要集I(A), p. 456-457, 1997.9