

PZT 素子を用いた CFRP 補強コンクリート接着接合部の界面剥離モニタリング

立命館大学 正会員 ○野村 泰稔
立命館大学 非会員 日下 貴之
立命館大学 非会員 伊藤 智

1. 緒言

昨今、コンクリート構造物など大型構造物に対して、比強度・比剛性に優れる CFRP 積層帯板を用いた補強が多く行われている。CFRP 積層帯板による補強は主として接着により行われるが、接着補強された構造物には様々な負荷がかかっているため、負荷が集中し易い接着接合界面の端部からの剥離が生じることが考えられる。そこで本研究では、PZT 素子を用いた CFRP 補強コンクリートの接着接合界面の剥離モニタリングを目的として、波動伝播挙動に及ぼす剥離損傷の影響について調査する。

2. PZT 素子を用いた CFRP 接着接合界面の剥離モニタリング

近年、PZT 素子を用いた構造ヘルスモニタリングに関する研究が多数報告されている。これらは PZT 素子をアクチュエータおよびセンサとして使用し、診断対象に弾性波を励起し対象内部を透過する波動の伝播挙動を評価することで損傷の位置や程度を同定することを目的としている。CFRP 補強コンクリートの接着接合界面に剥離が生じると波動の伝播経路が変化する。つまり、弾性波が励起され健全部では CFRP 積層帯板とコンクリートの層構造内を伝播し、剥離部では主に CFRP 積層帯板内を伝播すると考えられる。そこで本研究では、剥離が生じる際の波動の伝播経路の変化に伴い、CFRP およびコンクリートに伝播する波動の挙動が変化する性質を利用する。具体的には、一方の PZT 素子で受信される電圧信号の振幅エネルギー W を以下の式(1)を用いて評価することで剥離との関係を調査した。

$$W = \frac{1}{R} \int_t^{t+\Delta t} V^2 dt \quad (1)$$

ここで、 V はセンサで受信した電圧値、 t は積分開始時間であり、波動がセンサに最初に到達する時刻として、本研究では CFRP 単体での事前検討により $t=30\mu\text{s}$ と設定した。 Δt は積分時間長さであり入力波の持続時間と同じ $12.5\mu\text{s}$ とした。 R は PZT 素子の抵抗であり、本研究では 1.0 とした。

3. 実証実験

3. 1 供試体および試験方法 CFRP 積層帯板で補強されたコンクリート構造物を想定し、図 1 に示す供試体を作成した。CFRP 積層帯板をエポキシ系接着剤でコンクリート梁に接着し、CFRP 積層帯板上に PZT 素子を 2 個配置した。一つはアクチュエータとして使用し、もう一方は伝播してきた信号を収録するセンサとして使用した。剥離はコンクリート梁と CFRP 積層帯板の接着接合端部(左側)から導入した。剥離進展長は図 1 中の II の区間は 40mm 刻みで、I および III の区間は 30mm 刻みで導入し、剥離を進展させる毎に図 2 に示す 5cycle toneburst の電圧をアクチュエータに入力した。なお、入力電圧は 15V、加振周波数は PZT 素子の共振周波数を考慮し 400Hz とした。

3. 2 試験結果 剥離長さを変化させたときのセンサの波形を

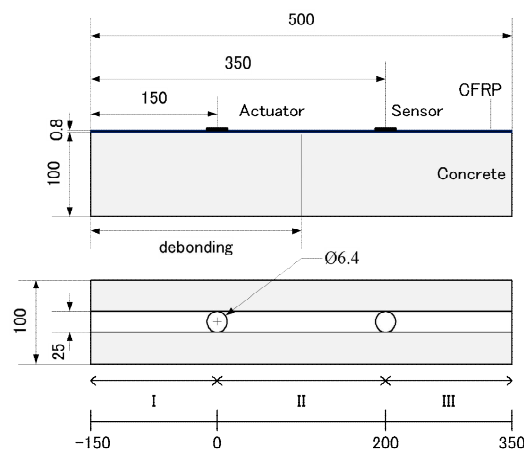


Fig.1 Layout of Specimen and PZTs

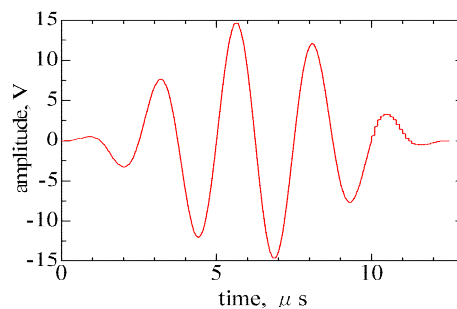


Fig.2 Input signal

キーワード PZT 素子, 弾性波, CFRP 補強コンクリート, 接着接合, 剥離モニタリング

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学部機械工学科 TEL 077-561-5073

図3から図5に示す。図3は剥離先端が図1のⅠの範囲に、図4は剥離先端がⅡの範囲に、図5は剥離先端がⅢの範囲に存在するときの出力波形である。それぞれの縦軸はセンサの受信した電圧[V]、横軸はアクチュエータを加振してから時間である。また、これらの受信信号の振幅エネルギー W と剥離先端位置の関係を図6に示す。横軸は剥離先端位置を示し、縦軸はそれぞれの剥離状況下での振幅エネルギー W をCFRP積層帯板単体での振幅エネルギー W_{CFRP} で除した無次元化エネルギー W/W_{CFRP} を示している。

剥離先端がアクチュエータまで届いていない状況(剥離先端位置、Ⅰ区間内)では受信信号中に振幅エネルギー W を計算できる到達波は確認できない(図3)。また、無次元化エネルギー W/W_{CFRP} は図6中剥離先端位置-150mmから0mmまでの間において、非常に小さくかつほぼ一定値となった。この理由として、アクチュエータとセンサの間に剥離が存在せず弾性波がセンサに到達するまでにコンクリートへ拡散減衰していったことが考えられる。一方、剥離がアクチュエータとセンサの間まで進展したとき(剥離先端位置、Ⅱ区間内)、図4に示すように、剥離が進展するにつれて受信信号の振幅が大きくなる傾向が確認できる。この増加傾向は剥離が進展するに伴い、アクチュエータとセンサの間で薄板であるCFRP積層帯板単体の領域が増え、拡散減衰の少ないラム波が卓越したことが理由として考えられる。無次元化エネルギー W/W_{CFRP} も同様に剥離進展に従い増加する傾向が認められる(図6)。また、剥離が接着接合端部からアクチュエータおよびセンサを越えて進展した場合(剥離先端位置、Ⅲ区間内)、受信信号の振幅に増加傾向は認められず(図5)、図6から明らかなように無次元化エネルギー W/W_{CFRP} もほぼ1.0を示しかつ一定値となることが確認できる。これは、アクチュエータから励起された弾性波は剥離部(薄板であるCFRP積層帯板単体内部)を拡散減衰が少ないラム波となって伝播したことに起因していると考えられる。以上の実験結果から、剥離発生に伴い、弾性波の伝播経路が変化することからPZT素子で計測される信号の振幅に変化が生じ、無次元化エネルギーを評価することで、剥離発生状況を定量的に差別化することが可能であることが分かった。特に、剥離がアクチュエータを越えてセンサまで近づくにつれて、剥離発生の有無およびその長さを定量的に同定できる可能性があることが分かった。

4. 結言

本研究ではCFRP補強コンクリート接着接合部の界面剥離モニタリングを目的として、PZT素子から励起される波動の伝播挙動に及ぼす剥離損傷の影響について調査した。実証実験を通じて、剥離状況により弾性波の伝播経路が変化し、弾性波の伝播挙動の変化が受信信号の振幅に現れることが明らかとなった。特に、剥離が接着接合端部からアクチュエータを越えてセンサまで近づくにつれて、受信信号の無次元化エネルギーが増加する傾向が確認され、剥離の有無だけでなく剥離長さを定量的に同定できる可能性があることが分かった。

参考文献 省略

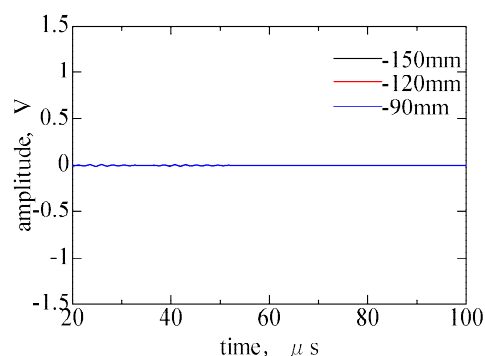


Fig.3 Elastic wave under debonding at region I

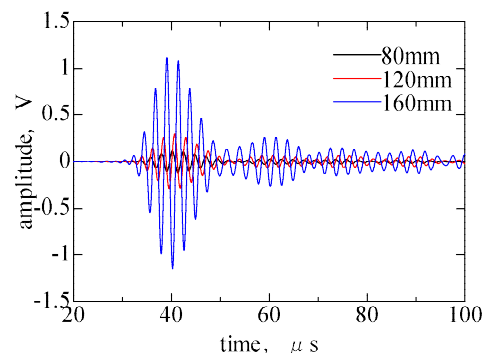


Fig.4 Elastic wave under debonding at region II

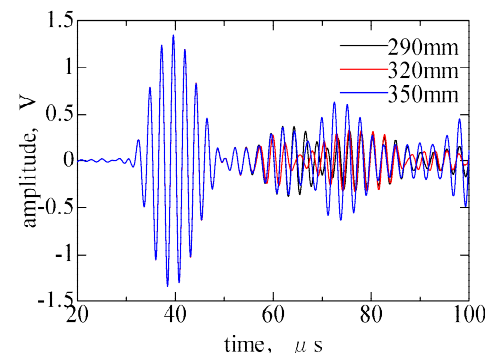


Fig.5 Elastic wave under debonding at region III

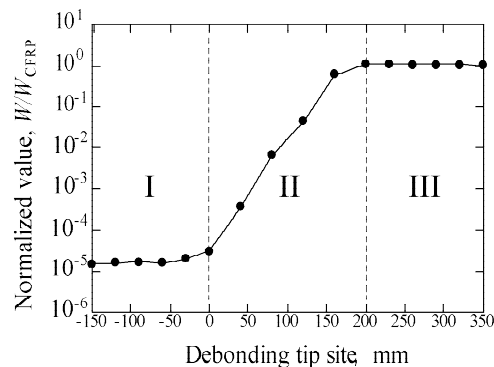


Fig.6 Relation between tip site of debonding and Normalized energy, W/W_{CFRP}