

V-192

炭素繊維補強シートコンクリート構造物の界面クラックの進展

茨城大学 学生会員 松崎 智優 茨城大学 正会員 呉 智深
茨城大学 正会員 田名部 菊次郎 福島高専 フェロー 岩松 幸雄

1. 緒言

近年の阪神・淡路大震災により、既設コンクリート構造物の耐震補強の重要性が再認識され、これまで以上に耐震補強に関する研究が盛んになってきた。このような現状の中、従来の補強工法に代わって、繊維強化プラスチック（Fiber Reinforced Plastic、以下FRP）シートと呼ばれる新素材を利用した接着工法が注目され始めた。近年、このFRPを用いた既設コンクリート構造物への補強・補修の研究例は数多く報告されている。

しかし、FRPシートによる構造物の補強にはまだまだ未解明の実用的な問題が多く、本格的に実用化されるためには、これらの問題の解明が必要である。本研究ではこれらの中でも、脆性破壊となるシートとコンクリート接着界面の剥離破壊性状問題を着目してみる。

シートとコンクリートの接着界面に生じる剥離の原因として1) 施工不良（浮き）、2) コンクリート曲げひび割れの端部、3) コンクリート内部のせん断ひび割れとコンクリート引張表面の凹凸部、4) 疲労荷重などが考えられる。本研究はその中の原因2)について無筋コンクリート供試体の剥離破壊の実験的な表現と破壊力学手法を用いた有限要素解析を行ったものである。

2. 炭素繊維シート補強梁の曲げ試験

(1) 実験概要

本研究では、図1に示すような、初期欠陥のない梁と初期欠陥を想定し梁中央に切欠きを有した梁の2種類の無筋コンクリートにそれぞれFRPシートを貼り付け補強した。実験ではこれらの供試体を用いて曲げ試験を行い、その破壊性状を観察した。表1に本研究で供試体作製のために用いた材料の物性を示す。

(2) 実験方法

本研究では油圧式万能試験機を用いた3点曲げ試験を行った。測定項目は、梁中央部のたわみ量、供試体各点のひずみ、初期曲げクラック発生荷重、シートの剥離発生荷重、供試体の破壊荷重、そのほかに各荷重段階における曲げクラック、せん断クラックの進展状況と剥離進展状況および供試体の破壊状況を観察した。剥離発生と進展状態は、シートに圧電セラミックスを貼り、剥離が発生したときの小さな振動を電気信号に変え、ホロスコープ上に波形で表すことにより測定した。この時の測定点は剥離の位置を把握するため図2に示すように梁中央部から左方向に5、10、20、30cmとした。また、載荷速度については荷重が1tfに達するまでを100kgf/minとし、1tfに達したら初期曲げクラックが発生するまでを30kgf/min程度とした。発生後は曲げクラックが進展し、それによって境界剥離の発生が確認されるまでを50kgf/minとし、その後、剥離が確認されたら荷重を一定時間（約3～5分間）保持した。その後は、剥離の進展を観察するために10～30kgf/minの低速度で供試体が破壊するまで続けた。

(3) 実験結果

図3に実験で観察された剥離進展の様子と圧電セラミックスの反応を示す。図では、シートの剥離は切欠き周辺

キーワード：炭素繊維シート、境界剥離、コンプライアンス法、有限要素法、エネルギー解放率

〒316 茨城県日立市中成沢町4-12-1 TEL0294-38-5172 FAX0294-35-8146

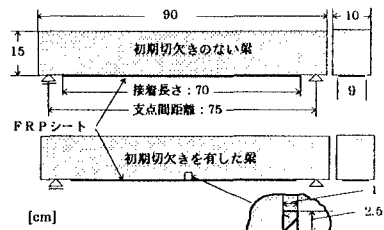


図1：供試体形状・寸法

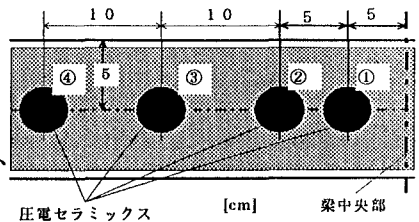
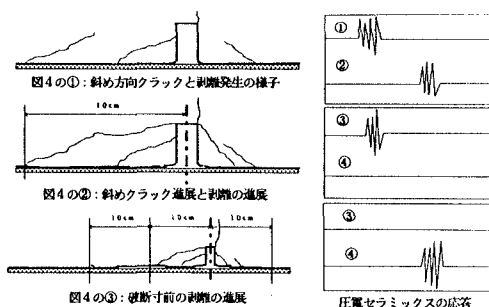


図2：圧電セラミックス貼り付け位置

表1：材料特性

コンクリート	ヤング係数[kg/cm ²]	2.94×10^4
	圧縮強度[kg/cm ²]	425
	ポアソン比	0.2
FRPシート	ヤング係数[kg/cm ²]	2.35×10^5
	引張強度[kg/cm ²]	3600
	ポアソン比	0.3
エポキシ樹脂	ヤング係数[kg/cm ²]	3.5×10^4
	ポアソン比	0.35

より発生し、その後は次々と、供試体中央の切欠きか梁中央部の曲げひび割れに向かって斜めに発生したクラック群の進展に伴い、剥離も切欠きを中心として左右に進展し、次第にコンクリートの斜めひび割れと曲げひび割れ端部の間に10cm程度の剥離領域を形成した。このとき圧電セラミックスは図2の測定点①から順に②、③、④へと応答していった。ホロスコープ上の波形の大きさは、剥離の進展の大きさに比例し大きく応答している。その後、シートの剥離はさらに10cm（切欠きからの距離20cm）ほどの長さで一瞬のうちに進展した（図4の③）。接着長さ70cmに対して、シートの剥離長さが全体のおよそ半分を越えた瞬間に供試体は崩壊した。これは、残された接着長さで供試体にかかる荷重を支えきれなくなったために破壊に至ったといえる。



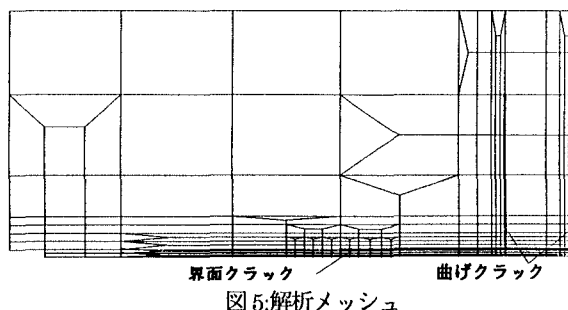
3. 数値解析

（1）破壊力学を適用したシートとコンクリートの境界の剥離解析

本研究では、複雑な挙動を示す剥離進展のメカニズムを破壊力学を用いた2次元有限要素モデルによる解析を行った。解析モデルは、より実際のコンクリート構造物に近づけるために、コンクリートにいくつかの曲げクラックが存在し、そのうえで剥離が進展していくと仮定する（図5）。また、剥離の進展を境界面のクラックの進展であると考え、剥離の進展はモードIIクラックとして表現する。ここでクラック進展の解析は、クラックが進展するために必要なエネルギー解放率 G_{II} と部材のコンプライアンス C を考慮することによって求まる。式中の部材幅を b 、 P は荷重、 a は界面クラック長さ、 k は定数そして C はコンプライアンスを表す。ここで境界クラックは、（1）式で求めたエネルギー解放率 G_{II} が境界の限界エネルギー解放率 G_{IIcr} と等しくなるとき進展すると仮定する。以上の式と解析モデルを用いて解析を行った。実験より得られた実測値と解析値との比較を次に示す。

（2）解析結果

図6には実験された切欠きを有する供試体の解析と実験結果の比較を示している。この解析値は曲げクラック数が3本のモデルについて G_{IIcr} をパラメータとして解析したものである。



4. 結び

本研究では剥離問題を取り上げ、実験的な再現と破壊力学の適用により、シートとコンクリート接着界面のクラック進展のメカニズムを破壊エネルギーの定式化により示すことができた。しかし、紙面の都合で曲げクラックの本数、初期界面クラックの長さなどを変数としてシミュレーションした結果を示せなかった。また、現時点において解析モデルにはまだいくつかの不確定要素が存在している。特に、その要因の一つである境界の剥離が進展する条件パラメータである G_{IIcr} の値は実験値とかなりのギャップがあり、現時点ではまだはっきり断定できず、今後の研究に残された課題である。

