

(V - 9) FRPシート・コンクリート間のモードI型破壊靱性値 K_{IC} に関する実験的研究

茨城大学大学院 学生員 三井雅一
茨城大学工学部 正会員 福澤公夫
茨城大学工学部 学生員 須田康之

1. はじめに

FRP シートとコンクリートの界面は極めて脆性的な破壊を示し、その剥離挙動を脆性的観点から正しく算定できる値を用いた合理的な設計法の確立が重要と考えられる。これまで、筆者らは破壊靱性値に着目して、界面に純粋なせん断力を作用させるダブルせん断試験法を用いモード II 型の破壊靱性値 G_{IIc} を算出してきた¹⁾。図-1に示されるように FRP シートとコンクリートの界面の付着性状には、モード I 型の剥離性状も考えられる²⁾。そこで、本研究ではコンパクトテンション試験法（以下、CT 試験という）によりモード I 型破壊靱性値 K_{Ic} を算出することを目的としている。また、筆者らは表面処理方法が付着性状に大きく影響を与えることを報告している³⁾。このことを踏まえて表面処理方法が破壊靱性値 K_{Ic} に及ぼす影響についても検討する。

2. 試験方法

図-2に示すように供試体には ASTM E399-90 (K_{Ic} 試験法) を準用した CT 試験片とした。上片に CFRP シート 5 層を接着した後、下片の接着面に所定の表面処理を行い両片を一体とした。なお、上片の CFRP シート接着面はディスクグラインダー処理を施した。切欠きは、図に示すように開口部先端から 106mm までは専用型枠を用いて成形を行い、その切欠き先端部には約 20° の角度を与えた。また、切欠き先端から先には理想的なグリフィスのき裂先端を再現するため厚さ 0.05mm の剥離フィルムを両片の接着時に挟み込んだ。図-2に示すようにフィルム長さを 10mm としたことより設計き裂長さ a は 80mm となる。各供試体により接着時の若干のズレ等によりき裂長さ a が変化することが考えられるため、破壊靱性値 K_{Ic} の算定に使用するき裂長さ a は試験後の破断面から実測した値を使用した。

接着面の表面処理方法としては、ディスクグラインダー処理とチッピング処理について行った。なお、両処理方法により形成されるコンクリート表面状態は大きく異なり、さらに純せん断力（モード II 型）を受ける場合の付着強度が本研究と同じコンクリートの場合で 1.5 倍程度チッピン

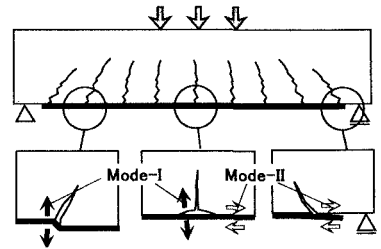


図-1 FRPシートの剥離様式

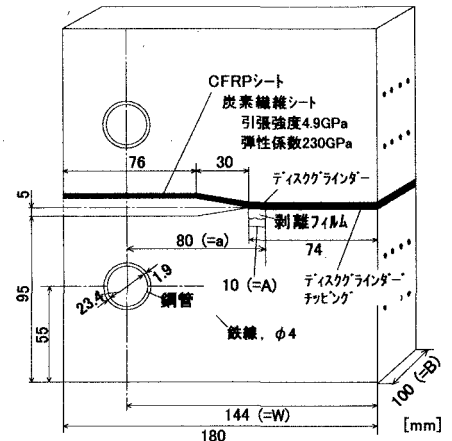


図-2 供試体寸法

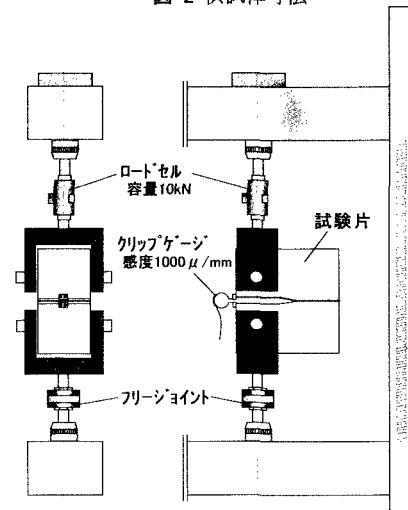


図-3 荷重方法

キーワード：破壊靱性値，FRP シート，コンパクトテンション試験，表面処理方法

連絡先：〒 316-8511 日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学都市システム工学科，TEL0294-38-5162，FAX 0294-38-5268

グ処理を行うことで増加することを確認している³⁾。
供試体は各表面処理ごと3体を作製した。

図-3に荷重方法を示す。荷重は、100kNの変位制御試験機によって変位速度を0.05mm/minと設定し上下に引張力を作用させた。図に示すように、試験片の軸ズレを防止するために、試験片の下部にフリージョイントを配置した。ロードセルにより引張荷重Pを、クリップゲージにより切欠き肩口部の開口変位量CMODを測定した。最大荷重以降の軟化域を精度良く測定するため、これらの値を毎分300回の間隔で測定を行った。

3. 試験結果および考察

図-4に得られたP-CMOD曲線の例を示す。また、式-1より破壊靱性値 K_{Ic} を算出した。ASTM E399-90に従って曲線の初期段階における線形域の勾配より5%低い勾配の直線とP-CMOD曲線との交点を求めると全ての試験において最大引張荷重 P_{max} 以降の荷重軟化域にその交点が位置することから脆性破壊と判定され、最大引張荷重 P_{max} は破壊靱性値 K_{Ic} を求める式-1の破壊発生荷重 P_Q と同値とされる。

$$K_{Ic} = \frac{P_Q}{B W^{1/2}} f(a/W) \quad , \quad f(a/W) = \frac{\{2+(a/W)\} \{0.886+4.64(a/W)-13.32(a/W)^2+14.72(a/W)^3-5.6(a/W)^4\}}{\{1-(a/W)\}^{3/2}} \quad (1)$$

ここに、 P_Q : 破壊発生荷重(N)、 B, W : 供試体厚さ、幅(mm)、 a : き裂長さ(mm)

表-1に算出した破壊靱性値 K_{Ic} を示す。図-4および表-1に示すように表面処理方法によりP-CMOD曲線および破壊靱性値 K_{Ic} は大きく影響を受けることが確認される。これはチップング処理を行うことで、コンクリート表面に大きな凹凸が生じ、その凹凸がき裂進展の抵抗力を増加させ、FRPシートとコンクリートとの界面の破壊靱性値 K_{Ic} を向上させたと考えられる。図-5には、レーザ変位計を用いた表面状態計測装置により破断面を計測した結果を示す。ディスクグラインダー処理を行った供試体の破断面は、浅いコンクリート表層部にき裂が進展する、または図に示すようにプライマー層またはエポキシ層を進展する。それに対し、チップング処理を行った供試体ではコンクリートの深い位置までき裂が進み、破断面の観察を行うと骨材とペーストの界面をき裂が進展したことが確認された。このように破断面の形状からも前述の破壊靱性値 K_{Ic} の向上に表面処理方法が大きく影響することがいえよう。今後、CT試験片のコンクリート強度および温度等の要因について試験を行い破壊靱性値 K_{Ic} の定量化を行うとともに、P-CMOD曲線をもとに多直線近似による逆解析法を用いた引張軟化曲線の推定を行っていく予定である。

参考文献

- 1) Fukuzawa,K., Numao,T., Wu,Z., Yoshizawa,H. and Mitsui,M: Critical Strain Energy Release Rate of Interface Debonding Between Carbon Fiber Sheet and Mortar, Proceedings of the FRPRCS-3, Vol.1, pp.295-302, 1997.
- 2) 堀井秀之, 福澤公夫, 関田徹志: 高性能材料の開発と破壊力学, コンクリート工学, Vol.37, No.9, pp.67-73, 1999.
- 3) 三井雅一, 福澤公夫, 沼尾達弥, 布田郁雄: CFRP シート・コンクリート間の付着強度と各種表面粗さ指標との関係, 材料, (採択済み).

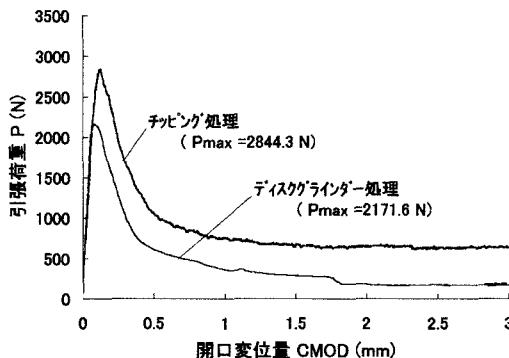


図-4 P-CMOD 曲線の例

表-1 破壊靱性値 K_{Ic} の算出結果

表面処理方法	K_{Ic} [MPa $\sqrt{m}$]
ディスクグラインダー処理	0.662
チップング処理	0.854

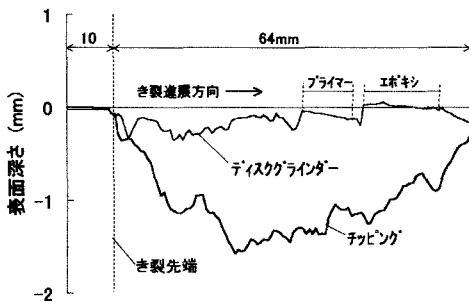


図-5 破断面形状 (測定ピッチ 0.3mm)