

湿潤環境下における FRP シート-コンクリート界面の付着特性

Influence of moisture behavior on bond properties between FRP-concrete interfaces

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 北見 篤史 (Atsushi Kitami)
 北海道大学大学院工学研究科 学生員 Justin Shrestha (Justin Shrestha)
 北海道大学大学院工学研究科 正員 張 大偉 (Dawei Zhang)
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 上田 多門 (Tamon Ueda)

1. まえがき

近年、力学的特性の優れた連続繊維シート（以下 FRP シート）を用いた接着工法はコンクリート構造物の補修・補強方法として広く用いられている。FRP シート接着工法では FRP シート-コンクリート間に界面が存在することになり、力や環境作用等はこの界面を介して伝達されるので、既存のコンクリート状態や付着特性、接着樹脂の耐久性等の様々な要因が影響を与える。特に界面での剥離破壊が問題点として挙げられている。そこで本研究では、モードⅠ剥離破壊に的を絞り FRP シート-コンクリート接着界面を持つ供試体を湿潤環境下に置き、所定の期間経過後に三点曲げ試験を行い、湿潤環境つまり水分挙動の接着界面に対する影響を研究する。現段階では、FRP シート-コンクリート界面を含む複合切欠き梁を用いた三点曲げ試験¹⁾の湿潤環境期間が2か月間のデータについて検討した。なお、本研究は湿潤環境下における FRP シート-コンクリート界面の付着特性を解明することを最終目標とした一連の研究の一部である。

2. 実験目的

湿潤環境がFRPシート接着工法に与える影響を、破壊形式、荷重変位曲線、破壊エネルギー等に着目しFRPシートの剥離という観点から実験を行い検証する。中でも既設部構造物、特にトンネルなどの曲線のあるコンクリート構造物では「モードⅠ剥離破壊」が最も有力になるので、これに的を絞り検証する。

3. 実験概要

3.1 三点曲げ試験

供試体は、図-1に示すように幅100×高さ100×長さ200mmの角柱供試体を打設後、2つの供試体間にエポキシ樹脂を用いてFRPシートを接着させたものである。供試体サイズは、幅100×高さ100×長さ400mmとなる。なおFRPシート付着界面の下半分(幅100×高さ50mm)にはビニールテープを用いて非付着面を切欠きとして作製した。これにより、FRPシート-コンクリート界面を含む複合切欠き梁となる。供試体の寸法、コンクリートやFRPシートそしてエポキシ樹脂の強度や種類などの諸要素はすべて同じにした。

曲げ試験は、支点と荷重点直下に0.001mmまで測定可能なLVDTを設置し、載荷速度を0.1mm/minとした

変位制御繰り返し荷重による三点曲げ試験を行った。なお、静的載荷には試験機として50kN油圧式サーボシステム(Instron1350)を使用した。

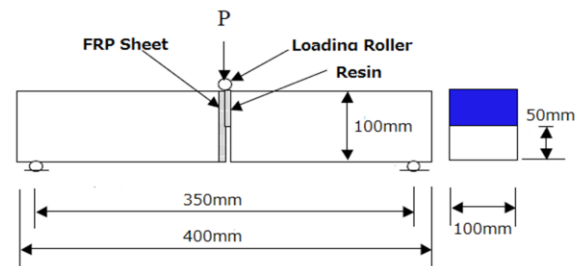


図-1 供試体概要図

また、湿潤環境下に置く供試体は水槽に浸水させた状態で所定の期間経過させることにした。表-1に供試体の変数を示す。

表-1 実験変数

Specimen No.	Immersed in Water	Period (month)
1	×	0
2	×	0
3	×	1
4	○	1
5	○	2
6	○	2

3.2 材料特性

コンクリートは、呼び強度27MPa、最大骨材寸法20mmのレディミクストコンクリート（早強セメント）を用いた。実測した圧縮強度は34.7～48.5MPa（材齢90～120日）であった。

補強材として用いたFRPシートは、炭素繊維(CFRP)シートのFORCA Tow Sheet (FTS-C1-20)を用いた。繊維目付量200g/m²、厚さ0.111mm、引張強度は3400MPaである。また、接着剤には引張強度42.7MPa、ヤング係数が2.95GPaのエポキシ樹脂FR-E3Pを用いた。

4. 実験結果

4.1 破壊形式

No.5の供試体を除くすべての供試体が、FRPシート-コンクリート界面に非常に近いコンクリート層での凝

集破壊という結果に至った（図-2 参照）。また、No.5の供試体は一部分のみだが樹脂-コンクリート界面での剥離破壊となった（図-3 参照）。

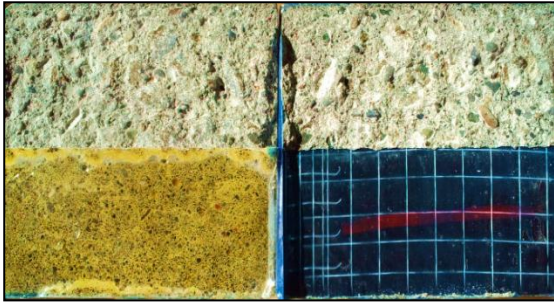


図-2 三点曲げ試験の破壊面（No.4）

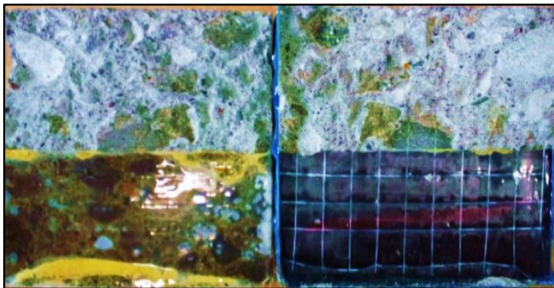


図-3 三点曲げ試験の破壊面（No.5）

4.2 荷重変位曲線

図-4 は荷重と載荷点における載荷方向への変位の関係を示した荷重変位曲線である。いずれの供試体も荷重が、ひび割れ発生荷重、最大荷重と増加していくにつれ変位も大きくなっていく。最大荷重到達以前は変位に大きな違いが見られなかった。最大荷重を超えると曲線形状は No.5 の供試体を除きすべての供試体が酷似している。No.5 の供試体は変位が大きくなっており、No.6 の供試体は最大荷重が高い値を出した。

4.3 荷重-CTOD曲線

切欠き先端でのひび割れ幅（CTOD）と荷重との関係を図-5に示す。荷重変位曲線と同様、いずれの供試体も荷重が増加していくにつれ変位も大きくなっていく。No.5 の供試体は、CTOD の場合も同様、他供試体と比べ最大荷重到達後に大きな変化を示した。それ以外の供試体は最大荷重到達後も曲線形状に大きな差異が見られないことがわかる。

4.4 破壊エネルギー

RILEM²⁾の推奨するする方法により求めた破壊エネルギーを図-6に示す。No.1、No.2、No.4の供試体はほぼ同じ値だが、No.5の供試体に関しては著しく高い値が出た。これは図-7、表-2に示す最大曲げ荷重、変位、CTODからもわかるように、No.5は変位が大きく荷重変位曲線下の面積が大きくなったことが理由に挙げられる。また、表-2は荷重がゼロになった地点での変位 δ_{max} とひび割れ開口変位 $CTOD_{max}$ を表にしたものである。これより、湿潤期間が2か月経過したNo.5、No.6の供試体は軟化が緩くなっていることが分かる。

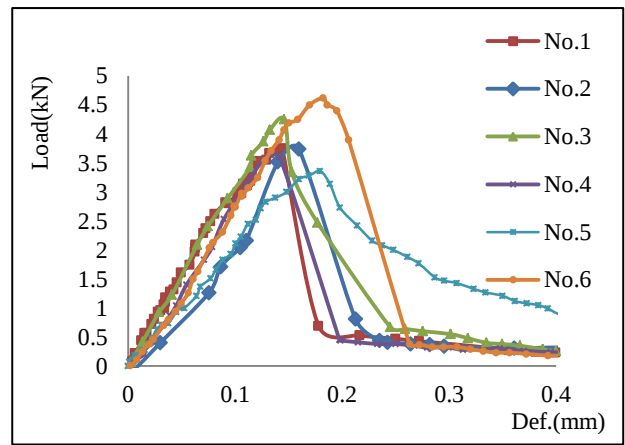


図-4 荷重変位曲線

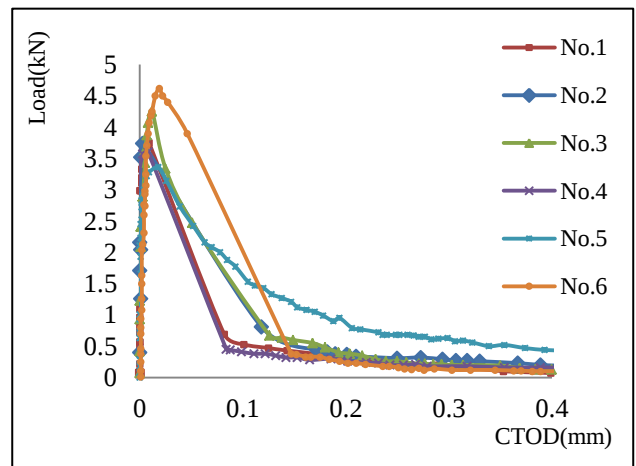


図-5 荷重-CTOD 関係

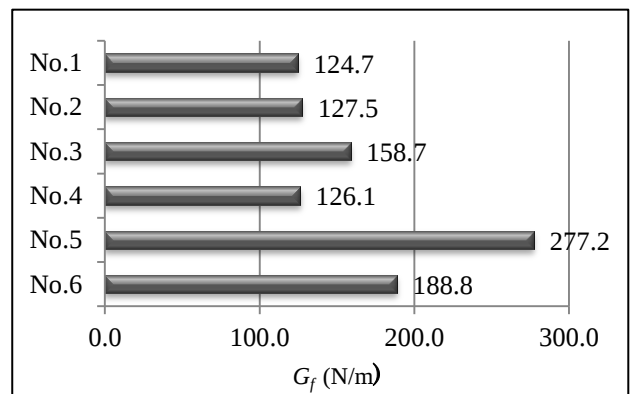


図-6 モード I 破壊エネルギー

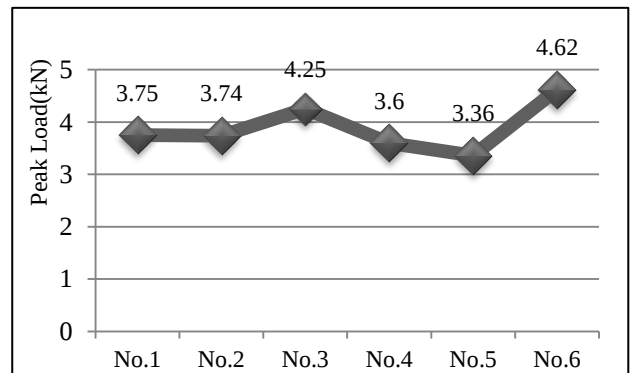


図-7 最大曲げ荷重

表-2 変位とひび割れ開口変位

Specimen No.	$\delta_{\max}$ (mm)	CTOD $_{\max}$ (mm)
No.1	0.7315	0.547
No.2	0.8425	0.56
No.3	0.8575	0.561
No.4	0.8745	0.554
No.5	1.89	1.28
No.6	1.211	0.8

5. まとめ

本研究より以下の知見が得られた。

- (1) 湿潤環境がモードⅠ剥離破壊に与える影響は、経過期間が2か月では大きな変化の傾向は見られなかった。
- (2) モードⅠ剥離破壊現象としての、破壊エネルギーや引張軟化特性にばらつきが見られたが、破壊形式との明確な関連は認められなかった。

今後、モードⅠ剥離破壊特性に与える湿潤環境の影響を明らかにしていく予定である。

謝辞

日鉄コンポジット社の小森篤也様には、CFRP シートのご提供、そして施工のご指導をして頂きました。ここに深く謝礼申し上げ、感謝の意とさせていただきます。

参考文献

1) Jianguo DAI, “MODE I FRACTURE BEHAVIORS OF FRP-CONCRETE INTERFACE”コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No.1, 2003

2) RILEM Draft Recommendation (50-FMC), “Determination of the Fracture Energy of Mortar and Concrete by Means of Three Point Bending Tests on Notched Beams, Materials and Structures”, Vol.18, No.106, 1985, pp.287-297