

連続繊維複合材の接着技術における接着界面の耐水性に関する実験的研究

茨城大学 学生会員 ○上辻 美咲・茨城大学 正会員 呉 智深・茨城大学 正会員 岩下 健太郎

1. 背景・目的

比強度、比剛性に優れ、軽量で耐腐食性に優れる連続繊維複合材(FRP: Fiber Reinforced Polymer)接着による補修・補強の適用事例が増えてきている。FRP 接着による補修・補強技術において、終局耐力に直結する最も重要な破壊モードは FRP の早期剥離であるといえる。そして、外的環境に暴されコンクリートからの漏水の影響もある接着界面は、例えば水や熱、化学物質といった外的な影響を受けやすいと考えられ、一方では FRP 接着によく用いられるエポキシ樹脂は水酸基を有しており、水の浸入による劣化が懸念される。そこで、接着界面に及ぼす水の影響を実験的に検証して、FRP 接着界面の耐水性を評価する。

2. エポキシ樹脂の加水分解による劣化について

FRP は一般に、ある程度耐水性を有しているといわれるが、ある程度の湿気は樹脂表面から吸着され、特に高湿度下で吸着される水分子は樹脂が持つ親水基などと結合し、そこからクレイズが発生して劣化の原因となる。土木構造物でよく用いられるビスフェノール A 型エポキシ樹脂も化学構造に親水基である水酸基を有しているため、加水分解による劣化が懸念される。

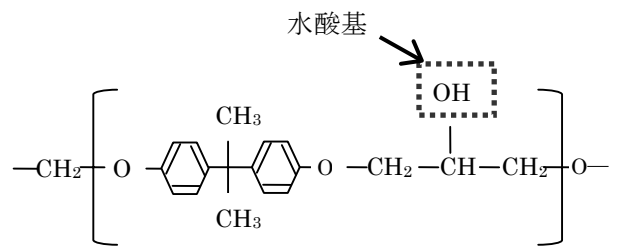


図-1 ビスフェノール A 型エポキシ樹脂化学構造の一部

3. FRP 付着強さの評価方法

FRP の付着強さの評価方法として土木学会編「連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強設計指針」¹⁾の実験案に示されるように主に両引きせん断試験が採用されており、本試験は供試体を図-2 で行った。ただし、試験寸法の制限から試験に影響しない範囲で、コンクリート塊の全長を短くした。ここで、固定側コンクリートは浸水時には接着せず、浸水後に接着するものとする。

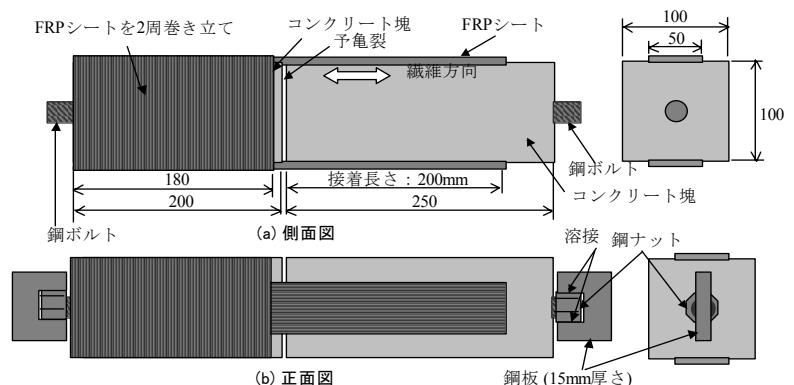


図-2 付着試験供試体

4. 試験方法と水準

本研究では、接着界面の耐水性を把握するために試験体を長時間恒温水槽(トーマス科学機器(株): T2)に浸水させ、設定時間経過後に乾燥させてから陸上環境で両引きせん断試験を行うことにより、水が接着界面の付着強さに及ぼす影響を検討した。まず、外部からの水の影響を調べるため最大 1000 時間浸水させ、次に内外部からの水の影響を調べるため、湿潤面に付着させ試験後通常の付着との比較を行った。また湿潤付着を行った場合、下地処理による耐水性の差を検討した。試験方法としては、湿潤面に付着させる場合、コンクリートの付着側母材を 24 時間浸水させたのち、ウェスで表面の水をふき取った後プライマー塗布し、下地処理を行う場合は乾いた後に行った。試験は、試験の極めて促進性を高めるために設定温度はガラス転移温度を超える 60℃とし、かつ常時水没とした。なお、本研究で用いる連続繊維シートには、耐水や耐高温性に優れる炭素繊維シートを用いた。一方、下地処理による耐水性の差を検討するために下地処理過程で不陸修正材とし用いられるエポキシパテに関して下記のパラメータを考慮した。

1) エポキシパテの有無、2) エポキシパテ厚さ(0.2mm、5mm の 2 種類)。ここで、エポキシパテはエポキシ樹脂
キーワード: コンクリート、FRP、付着、耐水性、劣化

連絡先: 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 TEL. 0294-38-5247

に軽量骨材を混入させて粘性を調整したものであり、水を含みやすく、かつ熱膨張係数が大きいため、水や高・低温の影響を受けやすいと考えられる。なお、本件では浸水時間 500hr の場合のみにして検討した。

5. 実験結果と考察

通常接着試験体における荷重－変位曲線を図-3 に、剥離破壊エネルギーの低下挙動を図-4 にそれぞれ示す。まず、最大荷重および付着強さの評価指標としての剥離破壊エネルギーが 50 時間の浸水試験でも 36% 低下しており、その後は低下が急速に緩やかになる傾向が確認された。よって、外部からの水の影響は短期的に大きく、その後、長期間に渡ってはほとんど影響しなくなる傾向が実験的に明確になった。ここで、剥離破壊エネルギーは (1) 式から算出した。

$$G_f = \frac{P_{\max}^2}{8b^2 E_f t} \quad (1)$$

ここで、 $P_{\max}$ は最大荷重 (N)、 b は FRP シート幅 (mm)、 E_f は FRP シートの引張弾性率 (N/mm²)、そして t は FRP シートの公称厚さ (mm) である。一方、浸水させた試験体の剥離界面 (図-5) は剥離後の観察により、浸水しない試験体でコンクリート層内 (モード C) であったのに対し、50 時間以上浸水させた試験体ではより表層に近い、プライマー層内、あるいは接着樹脂－プライマー接着界面であり、水の影響を受けやすい物質により構成されている界面から剥離が生じたことがわかる。次に、下地処理方法に関する荷重－変位曲線を図-6 に示す。湿潤状態で接着した場合は通常接着の場合と最大荷重の面で同程度であり、接着時にコンクリート内部に残留した水は接着層に大きく影響しないことが明確になった。一方、エポキシパテの厚みについては、0.2mm 厚さとした場合には塗布しない場合と同様の挙動だが、5mm とした場合には浸水による劣化がほとんど見られない。また、剥離界面は 0.2mm 厚さとした場合にコンクリート内部とはいえずやや表層部のモード B、5mm とした場合にコンクリート層内での剥離であるモード C であった。したがって、パテの塗布により外部からの水の浸入が若干妨げられ、厚塗りすることで水による接着界面の劣化が制御されることが明らかになった。

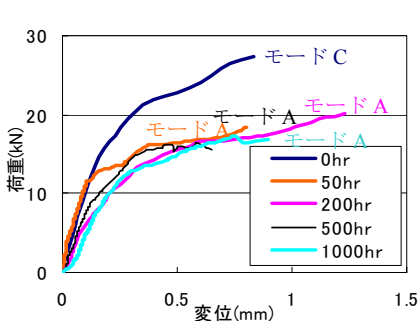


図-3 荷重－変位曲線 (通常接着)

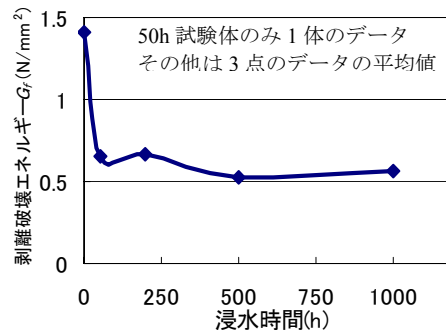


図-4 剥離破壊エネルギー(通常接着)

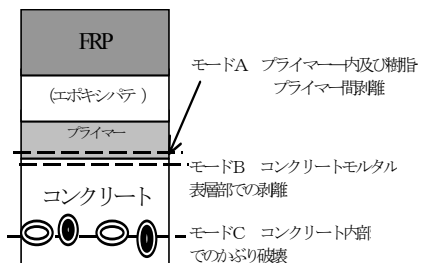


図-5 剥離発生界面

6. まとめ

- 1) 促進浸水試験において 50 時間で最大 36% の低下が生じ、それ以降は一定の値に収束しており、外部からの水の影響は短期的に大きく、その後、長期間に渡ってはほとんど影響しなくなる傾向が実験的に明確になった。
- 2) 促進浸水試験において水の影響を受けやすい物質により構成されている界面、すなわちエポキシプライマーおよびエポキシ樹脂層から剥離が生じたことがわかる。
- 3) パテを厚塗りすることで水による接着界面の劣化が制御されることが明らかになった。

参考文献

- 1) 土木学会：連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強設計指針、コンクリートライブラリー101
- 2) 呉智深、岩下健太郎、谷ヶ城俊、石川隆司、濱口泰正：FRP シートの接着界面に及ぼす温度の影響、日本材料学会、2005.5

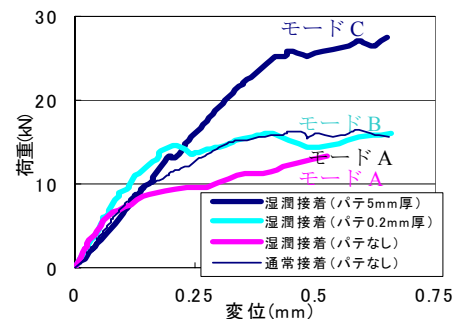


図-6 荷重－変位曲線 (下地処理方法)