

ポリウレア樹脂のせん断特性を考慮した有限要素解析による FRP シート付着挙動の再現

早稲田大学 学生会員 ○尾崎 允彦
早稲田大学 正会員 佐藤 靖彦

1. はじめに

FRP シート接着によって補強した場合には、FRP シートがコンクリートから剥離することで部材全体の破壊に至る。このため、FRP シートの剥離を抑制するために、付着耐力を向上させる方法が研究されてきた。小林ら¹⁾は、FRP シートとコンクリートの間に弾性係数の低いポリウレア樹脂を設けることで、付着耐力が大幅に向上することを実験的に明らかにしている。これは、弾性係数の低い樹脂が緩衝材の役割を果たし、FRP シートからコンクリートへの応力伝達が緩やかになるためである。このように、現在までに、メカニズムの定性的な理解は進んできた。しかし、例えば、どのような樹脂特性が付着特性をどのように変化させるかなどの定量的な検討は未だ不十分である。そこで、本研究では樹脂特性を考慮した付着特性の評価を可能にするため、ポリウレア樹脂を用いた FRP シート付着挙動の解析的再現を試みる。

2. ポリウレア樹脂のせん断試験

(1) 実験概要

ポリウレア樹脂はウレア結合から構成される高分子化合物で、弾性係数は 30 N/mm^2 程度、破断ひずみは 400 % 程度である。FRP シートとコンクリート間にポリウレア樹脂を設けた場合には、ポリウレア樹脂がせん断変形することによって応力を伝達することになる。このため、FRP シート全体の付着挙動にポリウレア樹脂のせん断特性が大きな影響を及ぼす

と考えられる。そこで、本章では、ポリウレア樹脂のせん断特性を正確に捉えるために、著者らが新たに考案したポリウレア樹脂のせん断試験を行う。

図-1 に製作した試験片の概略、図-2 に試験の様子を示す。本試験体は FRP プレートの両面にウレタンプライマーとポリウレア樹脂を塗布し、対称に 4 面製作することで引張試験によって、ポリウレア樹脂のせん断変形が発生するようにした。すなわち、FRP プレートの両端を引っ張ることで、ポリウレア樹脂がせん断変形し、荷重とせん断変形量からせん断応力-せん断ひずみ関係を取得することができる。試験片の幅は 20 mm とし、ポリウレア樹脂の厚みは小林らが行った FRP シート付着試験と同様に 1 mm とし、2 体の試験を行った。なお、載荷速度は、せん断ひずみ速度が $0.05 \text{ \%}/\text{sec}$ となるように $0.06 \text{ mm}/\text{min}$ に設定し、損傷の有無を調べるためにせん断ひずみが 5 % 程度で一旦除荷し再載荷を行っている。

(2) 実験結果

図-3 にせん断応力-せん断ひずみ関係の実験値 (S-1 と S-2) とその直線モデル (S-model) を示す。ポリウレア樹脂は非線形性を有しており、せん断ひずみが 50 % 以上では大きな傾きの低下が見られた。

3. ポリウレア樹脂のせん断試験解析

図-3 のせん断特性を付着試験の有限要素解析に導入できるように、図-1 の試験の有限要素解析を行い、せん断特性が一致するようなポリウレア樹脂の応力

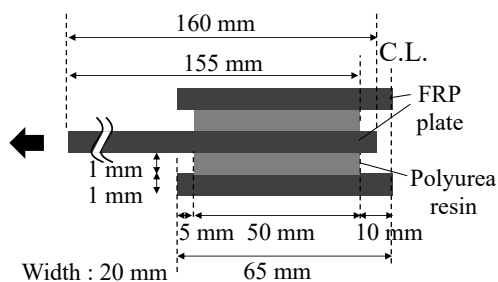


図-1 ポリウレア樹脂の試験片

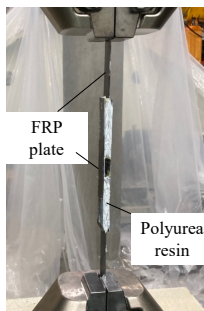


図-2 せん断試験の様子

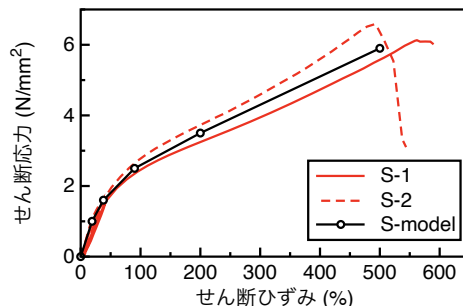


図-3 ポリウレア樹脂のせん断特性

キーワード FRP, ポリウレア樹脂, 付着試験, せん断特性, 有限要素解析

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 TEL 03-5286-3852

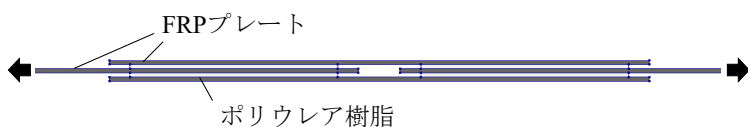


図-4 ポリウレタ樹脂のせん断試験有限要素解析モデル

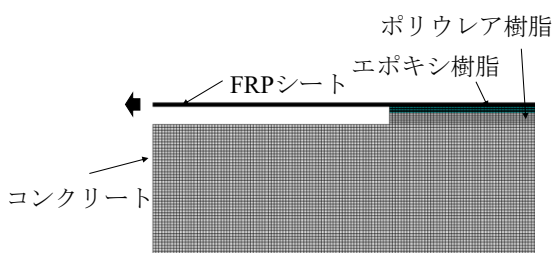


図-6 FRP シート付着試験の有限要素解析モデル

-ひずみ関係を逆算する。図-4 に示すせん断試験の有限要素解析モデルを作成し、解析を実施した結果、図-5 の応力-ひずみ関係 (Model-S) が得られた。また、図-5 にはポリウレタ樹脂単体の引張試験 (JIS K716 1A) より得られた応力-ひずみ関係 (Model-T) も併せて示している。

図-5 では初期の傾きは両者で一致しているものの、ひずみが 30%程度からの非線形領域では大きく傾きが異なっている。このため、樹脂のせん断特性が構造上卓越する場合には、せん断応力-せん断ひずみ関係を実験から把握する必要があると言える。この解析によって得られた Model-S を次のポリウレタ樹脂を用いた FRP シート付着試験解析で用いる。

4. FRP シート付着試験解析

過去に小林ら¹⁾が行ったポリウレタ樹脂 (1 mm) を用いた FRP シート片引付着試験の再現解析を行う。モデル化は過去の著者らの研究²⁾と同様に行い、図-6 に示すように新たにポリウレタ樹脂層を設けた。なお、コンクリート表層の引張強度を 4.0 N/mm^2 、引張破壊エネルギーを 0.4 N/mm 、ポリウレタ樹脂のポアソン比を 0.49 に設定した。

解析から得られた荷重-すべり関係を図-7 に示す。2体の実験値 (P1-1 と P1-2) と解析値 (P1-Analysis-S) は概ね傾向が一致している。特に P1-1 と P1-Analysis-S は近い挙動となっている。また、ポリウレ

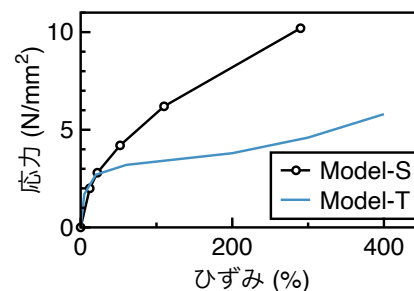


図-5 モデル化した応力-ひずみ関係

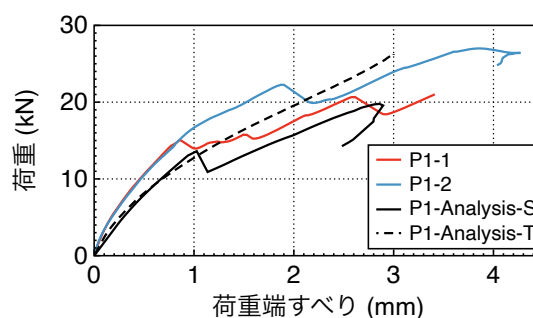


図-7 FRP シート付着試験の荷重-すべり関係

タ樹脂の応力-ひずみ関係 (Model-T) をそのまま導入した場合を P1-Analysis-T として示しているが、荷重の低下が発生せずに破壊に至った。これは、実験や P1-Analysis-S では荷重端から FRP シートの剥離が進展したのに対し、P1-Analysis-T では自由端に大きいひび割れが発生し破壊したことによる。つまり、せん断特性を導入することで実験と同様の破壊形式が得られた。樹脂のせん断特性を考慮することで解析的に剥離現象を評価することができると言える。

5. まとめ

ポリウレタ樹脂のせん断試験を行い、そのせん断特性を有限要素解析に導入することによって、ポリウレタ樹脂を用いた場合の FRP シートの剥離現象を適切に再現することができた。

謝辞

実験へご助言いただいた日鉄ケミカル&マテリアルの小林朗氏と立石晶洋氏にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小林朗ら:高伸度弾性樹脂を用いて接着した FRP シートとコンクリートの付着挙動に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 66A, pp.855-867, 2020.
- 2) 尾崎允彦, 佐藤靖彦: FRP シートとコンクリート界面のモデル化に着目した有限要素解析による剥離破壊の再現性評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.2, pp.343-348, 2021.