

## 疲労荷重下での FRP シートの付着劣化について

## Bond deterioration of FRP sheet-concrete interface under fatigue loading

北海道大学大学院工学研究科 ○正 員 古内仁(Hitoshi Furuuchi)  
 北海道大学工学部土木工学科 学生員 齋藤佑樹 (Yuki Saito)  
 北海道大学大学院工学研究科 正 員 上田多門 (Tamon Ueda)  
 北海道大学大学院工学研究科 正 員 佐藤靖彦 (Yasuhiko Sato)  
 北海道大学大学院工学研究科 戴建国 (Jianguo Dai)

## 1. まえがき

FRP シートで補強されたコンクリート構造物は、実際は輪荷重などによって繰り返し荷重を受ける。これにより部材にひび割れが発生し、その周辺部界面に応力集中が発生し剥離が進行していく。付着応力を評価する為に静的実験は多数行われたが、このような繰り返しせん断応力に対する実験はほとんど例を見ない。実際に FRP シートの剥離破壊を先行させないように、繰り返しせん断応力によるせん断付着疲労耐久性を照査することが必要である。

本研究では寒冷地における実際の構造物を想定して、コンクリートを予め凍結融解することで劣化させた後、付着面におけるせん断力の挙動を疲労試験により考察をする。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用材料

早強ポルトランドセメントを用い、圧縮強度の目標値を 30MPa に設定した。また、静的試験日と同日に圧縮強度試験を行った。本研究で使用した FRP シートは弾性係数 236GPa、引張強度 3800MPa、設計厚さ 0.111mm の一方向強化材である。シートの剥離の前に供試体が破壊するのを防ぐ為に供試体内部に D10 の鉄筋を図-1 のように配置した。

## 2.2 せん断疲労試験機

図-2 に示すせん断疲労試験機は大阪大学で使用されたものに基づき造られた。荷重は 5Hz で、上部中央に作用させた。上部の載荷点間距離は 1200mm、下側支点間距離 600mm、試験機梁高 200mm である。この試験機は 2 つの独立した H 型鋼梁を中央でヒンジ結合したもので、H 型鋼梁の両端に鉛直荷重を載荷することで、試験機中央部が開閉し、供試体に純引張力が作用する。

## 2.3 実験供試体

実験には図-1 にあるような全長が 400mm、断面積が

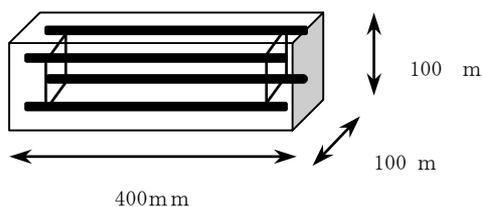


図-1 供試体サイズ

100mm×100mm の供試体を使用した。供試体のシート接着部分を表面処理した後、プライマーを塗布し、これを 2 体つきあわせ、FRP シートを 2 層貼り付けた。両側とも無接着区間を 1cm、接着区間 15cm、接着幅 6cm とし、図-2 のように、試験機中央部の上に乗せることで引張試験を行う。静的試験を初めに行いそれに対する疲労試験を、最大荷重比を実験変数とし、最小荷重比を 10% とした。

また、実験変数として過酷環境下においた供試体についても静的・疲労試験を行う為、図-3 のようなサイクルで凍結融解試験を行い、サイクル毎に気温が 20 度で 15 分の散水を行い、供試体を凍結させることで劣化させた。劣化の度合を定量的に示す為に供試体の動弾性係数を測定し、動弾性係数が 30% 低下したところを劣化の一つの実験変数とした。

## 3. 実験結果及び考察

## 3.1 静的付着強度に及ぼす凍結融解作用の影響

凍結融解を行っていない供試体で静的試験を行ったところ静的付着強度が 18.38kN であった。このとき剥離の起こる部分より供試体に角かけのようなものが発生してしまった。その為凍結融解したものの無接着区間を 4cm に延ばしたところ静的付着強度が 25.73kN となり凍結融

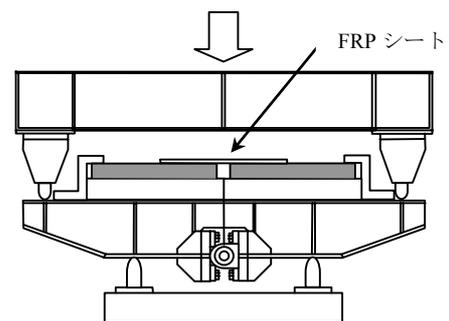


図-2 新型せん断疲労試験機

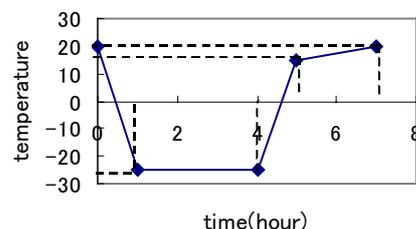


図-3 凍結融解の温度変化

解をしていないものよりも大幅に大きくなってしまった。供試体の圧縮強度は 34.79kN あったものが凍結融解によって損傷させたことで 23.39kN にまで下がっている。これからも付着強度が大きくなることは考えにくい為、無接着区間を延ばしたことで何らかの影響が発生したものと思われる。実際、破壊面を見てみると無接着区間が 1cm のものに比べ、無接着区間を 4cm に延ばしたもののほうがコンクリートを大きく削り取っている。無接着区間が長くなったことでコンクリートの破壊抵抗領域が増加し、付着強度が上がったものと考えられる。

### 3.2 付着疲労寿命

凍結融解を行っていない供試体による疲労試験のひずみ分布を図-5, 6 に示す。最大荷重比 85% に着目すると荷重が大きい為少ない载荷回数でひずみが大きく発生し、さらには 285 回でコンクリート表面の剥離へと至った。逆に 60% では荷重が小さい為せん断付着に抵抗している長さが短く、徐々にこの部分が移動していることがわかる。载荷回数が増えてもひずみがほぼ一定の値をとっている区間はせん断抵抗力が無い為、既に剥離していると考えられる。せん断付着に抵抗する長さが短い為、剥離してもその抵抗部分の位置がずれていくことで疲労寿命が長くなる。

図-7, 8 にシート接着端から 50mm における付着応力-すべり関係を示した。これらは载荷と除荷の過程によって得られたループである。付着応力の最大値は異なるものの、そのメカニズムに相違は無い。どちらも同じような挙動を示しているが、最大荷重の違いから 75% の方が少ない载荷でひずみが進行している。载荷回数が増加するにつれて付着応力の最大値が減少していく。図-9 に S-N 関係を示す。最大荷重比と载荷回数を対数でとるとほぼ直線になった。

### 4. まとめ

- (1) 载荷を繰り返すと、ある地点においてその付着の抵抗力は徐々に減少し、剥離の進行とともにすべり量が増えていく。それらのメカニズムは荷重レベルを変えてもほぼ相違は無い。
- (2) シートの無接着区間の長さによって付着強度が変わってくると思われる。今後は無接着区間を等しくして凍結融解による付着性状の変化を検討したいと思う。



図-4 凍結融解していないもの(上)  
凍結融解したもの(下)

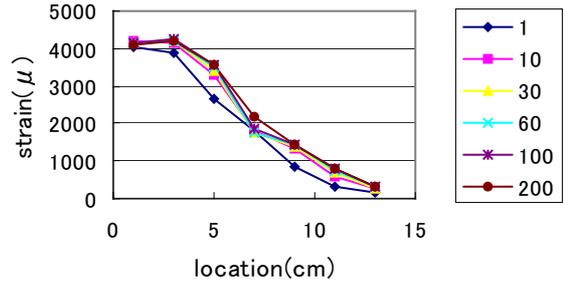


図-5 ひずみ分布(85%疲労試験)

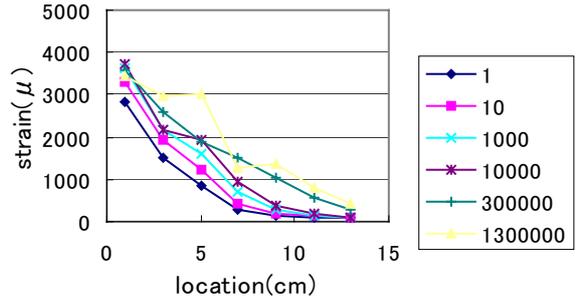


図-6 ひずみ分布(60%疲労試験)

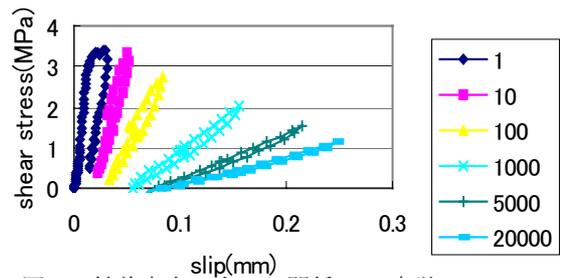


図-7 付着応力-すべり関係(75%疲労/50mm)

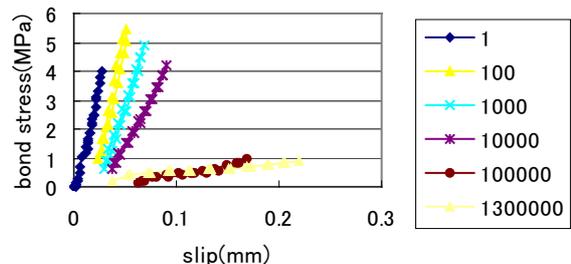


図-8 付着応力-すべり関係(60%疲労/50mm)

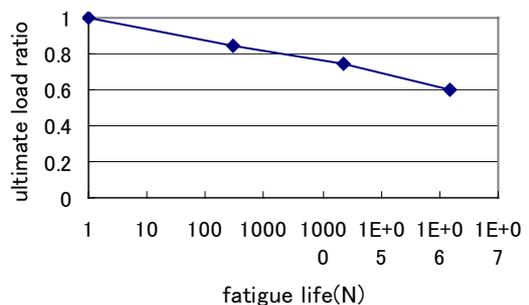


図-9 上限荷重比と载荷回数の関係