

コンクリート構造物における補修補強材料間界面の疲労荷重下剥離に関する研究

東京大学 学生員 高橋 慶成

東京大学 正会員 松本 高志

1. はじめに

劣化したコンクリート構造物の補修・補強では、異種・異齢材料間界面での接合が必然的に行われるが、耐久的な補修・補強を行うためには耐久的な界面の形成が必要不可欠である。本研究では下面増厚補強された道路橋 RC 床版を研究対象とし、疲労荷重下にある母材 / 補修材間界面での疲労剥離を定量的に予測する。そのためにまず、要素試験としてコンクリート / ポリマーセメントモルタル界面をもつ供試体で様々なモード混合度下での単調、疲労载荷試験を行って界面破壊靱性値を測定し、次にその靱性値を下面増厚補強された梁の FEM 解析モデルに導入して材料間界面に進展する疲労剥離状況の解析を行った。

2. ポリマーセメントモルタル / 普通コンクリート間界面における破壊靱性値測定試験

本研究では材料間界面の付着性状を調べるため、図 1 に示すようなコンクリートとポリマーセメントモルタルを横に接合した梁を用いて単調载荷試験と疲労载荷試験を行った。試験はモード混合度（純引張り： 0° ~ 純せん断： 90° の混合度）：

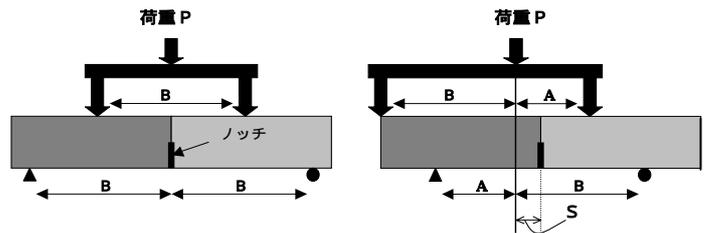


図1 界面破壊靱性値測定試験

$=0^\circ$ については図 1 左図の対称载荷、 $0^\circ < < 90^\circ$ については右図の非対称载荷で行った。疲労

载荷試験では载荷荷重をエネルギー比で単調载荷試験結果の 30 ~ 80% に相当するものに設定し、8Hz の片振り载荷を行った（図 2 ~ 4 にその試験結果を示す）。単調载荷試験では材料間界面にかかるせん断応力成分が大きいほど（モード混合度の高いほど）界面破壊靱性値が減少し、疲労载荷試験ではモード混合度が約 20° と約 35° のケースにおいて疲労劣化が早かった。このことから従来単純引張試験のみによる付着性状評価は不十分であると言える。さらに本研究では実際の補修・補強施工における下地処理の影響を考慮するために、コンクリート硬化遅延材を用いて粗さをつけた材料間界面に関しても試験を行った。その結果、単調载荷試験では平滑な材料間界面の場合と比べて破壊靱性値に 2 倍弱の増加が認められ、引張強度、ひび割れ開口変位、すべりせん断変位はそれぞれ、1.2 倍程度、1.4 倍程度、3.5 ~ 15 倍程度となった（以上の要素試験結果を FEM 解析モデルに導入する）。

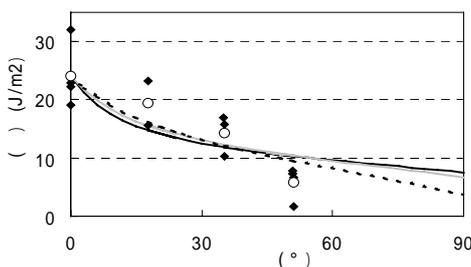


図2 界面破壊エネルギー（平滑界面での単調载荷）

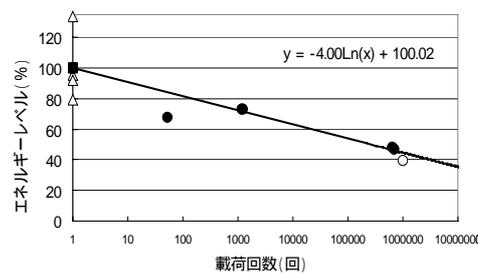


図3 疲労劣化直線（ $=0^\circ$ ）

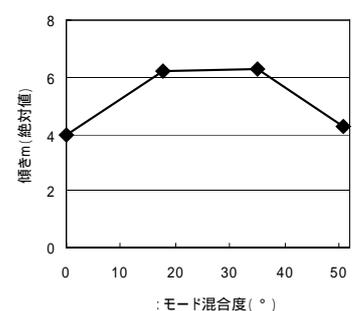


図4 疲労劣化直線の傾き

3. 下面増厚補強された RC 床版の FEM 解析

本研究では図 5 に示すようなポリマーセメントモルタルで下面増厚補強した梁の定点疲労载荷試験に対して、要素試験である破壊靱性値測定試験の結果を FEM 解析モデルに導入して、材料間界面の剥離挙動を予測した。解析モデルにおいては材料間界面の引張応力作用時のみに疲労劣化を考慮し、疲労試験の結果をもとにマイナー則による破壊基準を設け、破壊基準に到達するとその部分での材料間界面応力はすべて開放さ

キーワード：界面剥離，モード混合度，疲労劣化，

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL:03-5841-7455 FAX:03-5841-7496

れるものと仮定した。また、圧縮応力作用時には図 6 の Mohr-Coulomb の破壊基準に従うものとし、破壊包絡線に到達後は図 7 に示すようにせん断応力はせん断変位に比例して減少し、ある変位を超えると一定になるものと仮定した(圧縮変位は無い)。

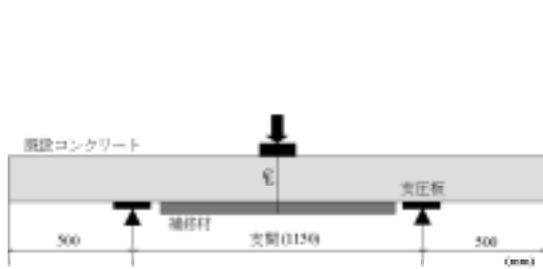


図5 下面増厚補強された梁の定点載荷

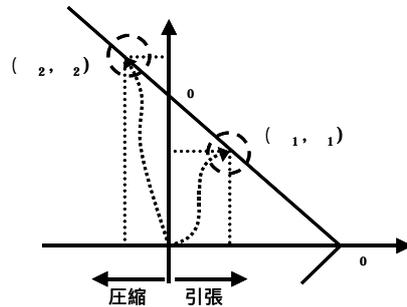


図6 Mohr-Coulombの破壊基準

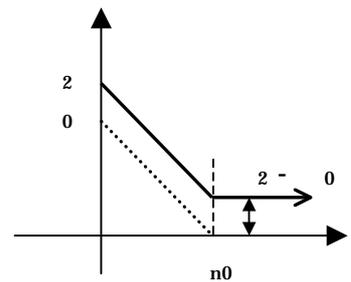


図7 応力-変位関係(圧縮時、せん断)

4 . 解析結果・考察

80kN を疲労載荷荷重とするケースの解析においては図 8 に示すように（梁は対称なので界面の右半分のみを考慮し、横軸は載荷中心からの距離とし、点はその部分の界面が剥離していることを表す）疲労載荷開始時に 462.1mm ~ 材料間界面端部に剥離クラックが発生し、そのクラックが載荷回数 5000 回のときに 442.1mm ~ 材料間界面端部にまで急激に広がった。これは図 9 の A 部分の段差となって載荷点変位に現れた。また図 9 の B 部分の段差は、図 8 において 3 万回から 10 万回の剥離状況に移行する際に生じたものである。さらに、図 9 の C 部分以降に関しては図 8 における載荷回数 10 万回以降の剥離状況に移行する際に生じた載荷点変位である。なお、解析では 80 万回より先では計算が収束せず連鎖的に剥離が進行し、界面が完全剥離すると推定された(載荷回数 80 万回でのクラックの先端は 357.9mm の位置まで達すると推定された)。表 1 には他の疲労載荷荷重に関する剥離状況もまとめた。

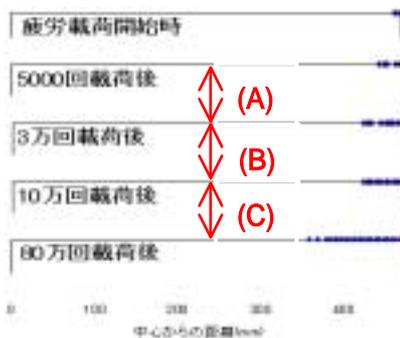


図8 界面の疲労剥離

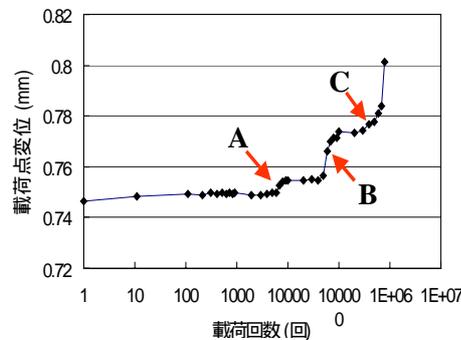


図9 載荷点変位と載荷回数

載荷荷重	剥離状況/載荷回数
40KN	(完全はく離せず)/500万回以上
60KN	(完全はく離せず)/500万回以上
80KN	完全剥離/約80万回

表1 載荷荷重と破壊形態

4 . まとめ

本研究では、コンクリート/ポリマーセメントモルタル間界面における界面破壊靱性値測定試験を行い、その結果を FEM 解析モデルに導入することで、疲労荷重下における材料間界面の剥離挙動を定量的に予測した。しかし、実際に行われた下面増厚補強された梁の定点載荷試験においては、材料間界面での剥離は見られず、最終破壊形態は材料部分での疲労破壊であった。今後の課題としては 材料間界面の幾何学的性状が及ぼす影響に関してさらに研究を進めること、 本研究では無視した圧縮側での材料間界面の付着性状の疲労劣化に関して調べること、 材料間界面の疲労だけでなく材料そのものの疲労劣化も考慮に入れること、以上 ~ が挙げられる。

参考文献

Yun Mook Lim (1993). "Interface Fracture Behavior of Rehabilitated Concrete Infrastructures using Engineered Cementitious Composites." Department of Civil and Environmental Engineering.