

FBG センサを用いた接着接合部の損傷評価に関する基礎検討

その3 複合応力下での検討

正会員 ○織笠 千春\*1  
同 松本 幸大\*2  
同 吉岩 明彦\*3

接着接合 FBG センサ 損傷モニタリング

1. はじめに

近年、建物の補強や補修に対して接着接合が注目されているが、脆性的な破壊性状を示すことが危惧され、まだ普及には至っていない。これを踏まえ、既報<sup>1)</sup>では接着層にFBG(Fiber Bragg Grating)センサを埋設した鋼板接着2面せん断試験体の引張せん断試験を行い、光パワースペクトルの分析によって接着接合部の破壊前の兆候をモニタリング可能であることを示した。本報では、接着面を45度傾けた場合の試験体の引張試験を行い、複合応力下での接着層の破壊性状とFBGセンサによるモニタリング結果を報告する。

2. 試験概要

図1に試験体形状、歪ゲージ・FBGセンサ設置位置を示す。試験体は、H形鋼(H-350×350×12×19)を斜め45度に切り出し、エポキシ樹脂系接着剤で接着したものである。接着剤の公称引張せん断接着強さは凝集破壊100%時で19.6MPaである<sup>2)</sup>。接着面はロータリー式ブラスターにより表面処理を行った。接着面の表面粗さは粗さ測定器を用いて接着面1面につき3箇所測定を行い、十点平均粗さが30μm以上となるよう管理した。

引張せん断試験は、写真1に示す試験機で試験体両端100mmを固定して行った。荷重方法は、単純引張荷重と引張荷重除荷荷重である。試験体名は、荷重方法(P:単純引張荷重, R:引張荷重除荷荷重), 接着区間長, 試験体通し番号の順で構成され、FBGセンサを埋設した試験体においては荷重方法の後にF, 最後にセンサ埋設位置(40V:端部から40mm, 軸力直角方向)を付している。

3. 試験結果

写真2に破断面状況の一例を示す。これより、接着面全体にクラックが生じ凝集破壊を起こしていることが分かる。試験結果を表1に示す。表中の基準耐力比Rは最大耐力を公称耐力で除したものである。公称耐力は接着面積に接着剤の公称接着強さを乗じたものである。表1より、単純引張荷重においては公称耐力と同程度の耐力、引張荷重除荷荷重においては公称耐力の約7割程度の耐力が得られた。ここで公称耐力とは引張せん断時の公称耐力であるが、45度の角度での複合応力下においても大幅な耐力の変動がないことがわかった。

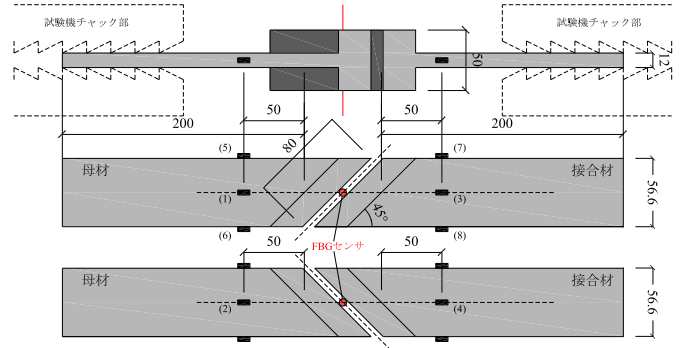
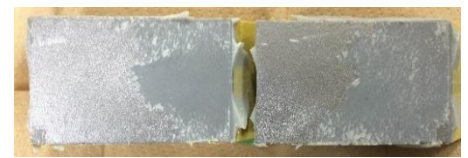


図1 試験体形状と歪ゲージ・FBGセンサ位置 [mm]



写真1 試験状況



C45P-L80-3

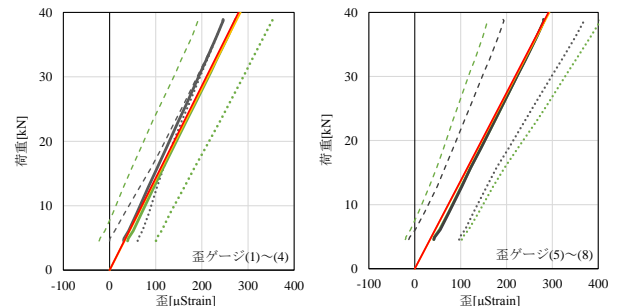


C45RF-L80-1-40V

写真2 破断面状況

表1 試験結果

試験体名	最大耐力 [kN]	基準耐力比 R	破壊時ステップ数
C45P-L80-3	88.9	1.13	-
C45RF-L80-1-40V	54.9	0.70	39



	歪ゲージ			
	(1),(5)	(2),(6)	(3),(7)	(4),(8)
測定値	.....	.....	.....	.....
平均値	————	————	————	————
解析値	————	————	————	————

図2 歪ゲージとFEMの歪比較 (Step.21)

また、本試験を行うにあたり、汎用 FEM ソフト LUSAS を用いて 3 次元モデルでの解析を行った。解析は六面体 2 次要素とし、接着層のメッシュサイズは 0.25mm 角とした。図 2 に歪ゲージと FEM 解析によって得られた歪の比較を示す。試験体にはわずかに偏心がみられたため、試験体の表裏に設置した歪ゲージの値に差異が生じているが、その平均値と解析値を比較すると概ね一致していることが図 2 から読み取れる。

#### 4. FBG 型歪センサによる損傷評価

図 3 に FBG センサから得られたピーク波長を歪に変換したものを示す。これより、FBG から得られた歪と FEM による歪は概ね対応していると言える。また Step.37 までの歪には線形性が見られるが、Step.38 になるとそれまでの分布から外れた歪が生じ始め、引張側に傾く傾向が見られる。Step.39 では更に引張側に傾き、破壊に至った。図 4 に光パワースペクトルの波形変化を示す。ここで、荷重時とは繰り返し荷重においてそのステップでの最大の荷重時で、除荷時とは荷重が下限値に達した時である。これより、Step.37 及び Step.38 では荷重時・除荷時共に波形の変化は見られないが、Step.39 の荷重時において波形の変化が見られる。この変化の直後に試験体は破断したが、破断後の除荷時波形を見ると複数のピークが見られる。これは荷重によって接着層にひび割れが生じ、FBG センサがその損傷を検知したためであると考えられる。図 5 に光パワースペクトルを定量化した値の変化を示す。定量化は既報<sup>1)</sup>と同様の式で定義されている。これより、面積及び標準偏差は Step.38 から増加傾向にあることが分かる。モーメントについては、Step.38 においてあまり変化が見られないが、Step.39 において圧縮モーメントの急激な変化が見られる。これより、破壊前の 2 ステップで接着層の損傷が進行し、FBG センサがその兆候を捕らえたと考えられる。純せん断時は応力が集中する端部にセンサを埋設していたため早期に破壊の兆候を捕らえることができていた。しかし、FEM 解析によると、本試験体では接着層の応力がほぼ均一であるため、急激な破壊が生じ損傷検知が破壊直前となったと考えられる。

#### 5. まとめ

本報では、45 度の複合応力下においても接着接合部が凝集破壊を生じ、純せん断時と同様の耐力を持つことを示した。また、破壊の直前ではあるがその兆候を検知できることを明らかにした。

#### 参考文献

- 1) 吉岩明彦, 織笠千春, 松本幸大, 松本拓也: FBG 型歪センサを用いた接着接合部の損傷評価に関する基礎検討 その 1・その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造 II) pp.927-930, 2015
- 2) コニシ接着剤カタログ:

3) コニシ接着剤カタログ:

<http://www.bond.co.jp/bond/catalog/index.php?s=1>

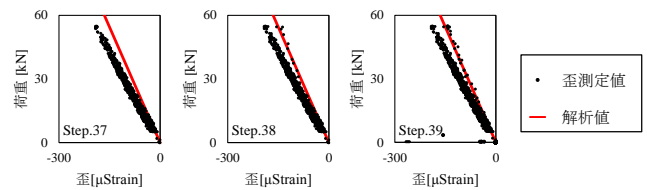


図 3 FBG センサから得られる歪

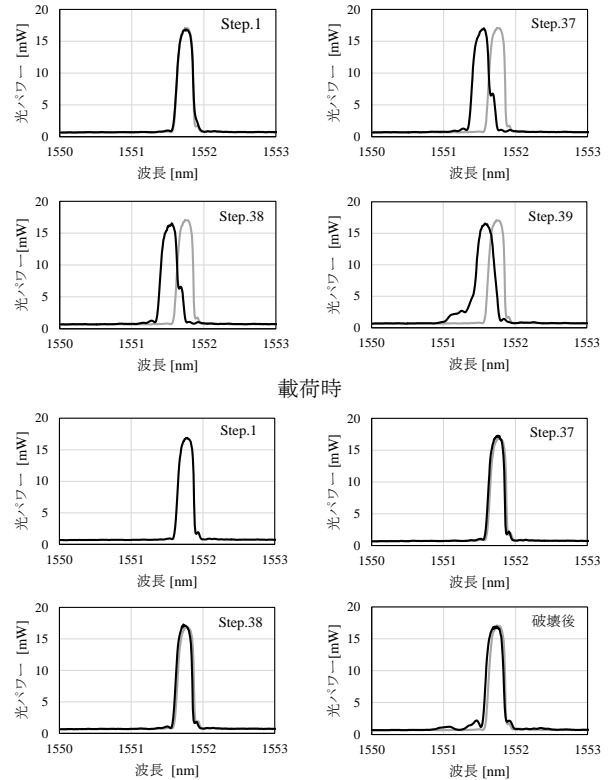


図 4 波形変化

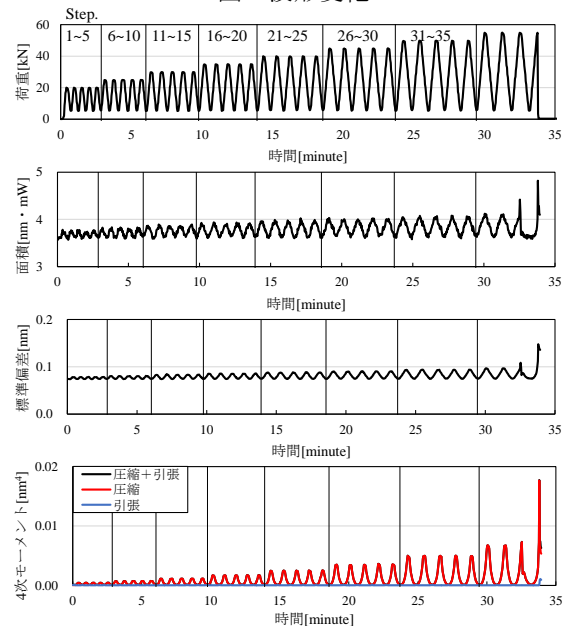


図 5 分析指標の変化

\*1 豊橋技術科学大学大学院 建築・都市システム学専攻

\*2 豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 准教授 博士 (工学)

\*3 元豊橋技術科学大学大学院 大学院生 修士 (工学)

\*1 Graduate Student, Dept of Arch. and Civil Engrg, Toyohashi Univ. of Tech.

\*2 Assoc. Prof., Dept of Arch. and Civil Engrg, Toyohashi Univ. of Tech., Dr. Engrg

\*3 Former Graduate Student, Toyohashi Univ. of Tech., M. Engrg