

定着金物を用いた連続繊維シートによるRC構造物補強工法の開発

その5 損傷を受けた梁のせん断補強実験

損傷梁 鉄筋コンクリート せん断補強
既存建築物 炭素繊維シート

正会員 ○加藤 貴久*1 同 福山 洋*2
同 藤本 効*3 同 浅野 芳伸*4
同 高橋 茂治*5 同 中村 洋行*6
同 鈴木 英之*7 同 上田 正生*8

1.はじめに

現在、地震等で大きく損傷した構造部材においては、損傷後の補修方法について一般に確立されたものが無い。そこで、前報その3で用いた載荷後のNo.1試験体を損傷梁と仮定し、エポキシ樹脂でひび割れを補修し、その2で報告した連続繊維シート用定着金物（以下定着金物）を用いてCFシートとCFRPプレートによるせん断補強を行った。本報では補修および補強の概要と、補強された試験体の加力実験の結果について報告する。尚、試験体概要、載荷方法については前報その3で説明しているため本報では省略する。

2.エポキシ樹脂による損傷梁の補修

表1にひび割れ部に注入した材料の諸元を示す。写真1に載荷後の無補強試験体の損傷状況を示す。

写真1からも分かるように載荷後の部材は大きく損傷し、せん断ひび割れ幅は最も大きいもので約7mm程度であった。損傷後の補修方法は低圧樹脂注入工法とし、ひび割れ部に硬質形エポキシ樹脂を注入し、コンクリート躯体の一体性を復元させた。

作業手順は、一般的な低圧エポキシ樹脂注入方法（補修範囲の確認→清掃→マーキング→樹脂の計量・練り→注入器具の取付け→仮止めシール→養生→樹脂の計量・

練り→注入→注入測定→養生→仕上げ）により行った。この時に使用した樹脂量は、試験体全体で約12kgであった。これは、梁体積あたりでは、約 22.8kg/m^3 である。特に、かぶりコンクリートが剥落しかけていた部分への注入量が多かった。写真2にひび割れ注入後の状況を示す。一般的な耐震補強を行う被災していない梁に発生しているひび割れを考えると、乾燥収縮ひび割れ、長期荷重による曲げひび割れ等が考えられる。この場合の樹脂注入量は、試験体(b400mm×D625mm×L2,100mm)と同様の梁形状とした場合、乾燥収縮ひび割れを $\epsilon_{sh}=2\times 10^{-4}$ とすると、梁スパン内に発生するひび割れ幅の総和は0.42mmとなり、曲げひび割れを考慮しても全体で1mm程度と推定できる。全てが貫通ひび割れとした場合の樹脂注入量は、300g弱程度となり、それと比較すると、今回の損傷部の補修に用いた樹脂注入量は相当多いものである。

3.CFシートによるせん断補強

図1にせん断補強概要図を示す。せん断補強は、CFシート（高強度繊維目付量 $300\text{g/m}^2\times 1$ 層・幅125mm・長さ1600mm・7本）、CFRPプレート（幅50mm・厚み1.2mm・長さ2080mm・2本）、樹脂アンカー（M16 28本）、定着金物（14個）を用いてせん断補強を施した。補強範囲はスラブ厚さ120mmを考慮し、梁側面へ定着す

表1 低圧注入樹脂の諸元

	主剤	硬化剤	備考
主成分	エポキシ樹脂	変性脂肪族アミン	
比重	1.13	1.00	硬化物:1.08
配合比	主剤:硬化剤=2:1(重量比)		

JIS A 6024(建築補修用注入エポキシ樹脂)

試験項目	試験条件	551R(一般用)	JIS品質規定
粘度(mPa·s)	23°C±0.5°C	480	100~1,000
接着強さ(N/mm ²)	標準条件	7.4	6.0以上
	湿潤条件	4.8	3.0以上
	乾湿繰返し時	6.2	3.0以上
硬化収縮率(%)	標準条件	1.9	3.0以下
加熱変化	質量変化率(%)	—	3.9
	体積変化率(%)	—	3.6
引張強さ(N/mm ²)	標準条件	43.3	15.0以上
引張破断伸び(%)	標準条件	1.7	10.0以下

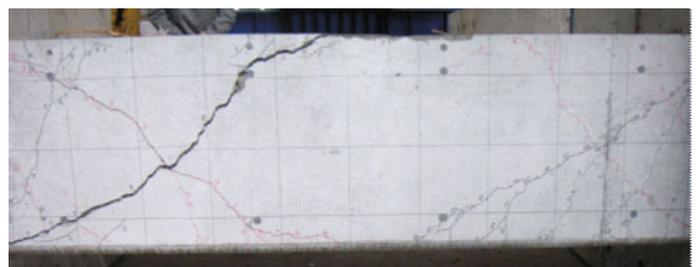


写真1 損傷後の無補強試験体



写真2 エポキシ樹脂注入後の状況

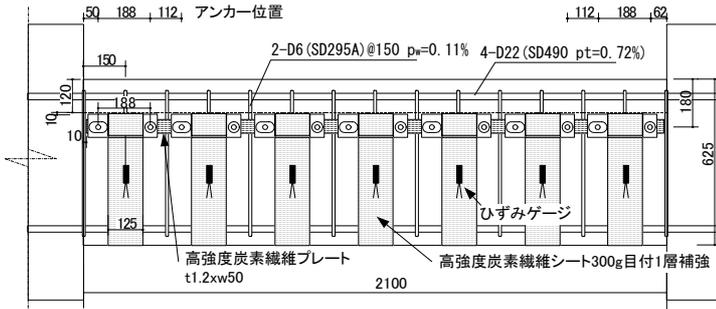


図1 せん断補強概要図

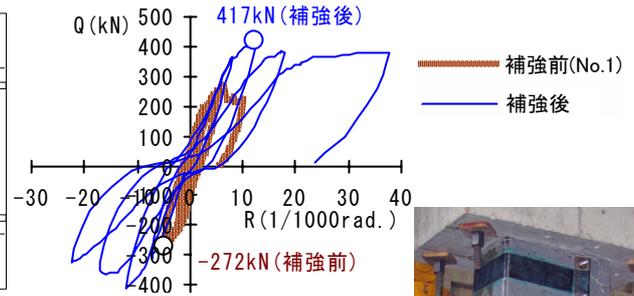


図2 せん断力-変形角関係

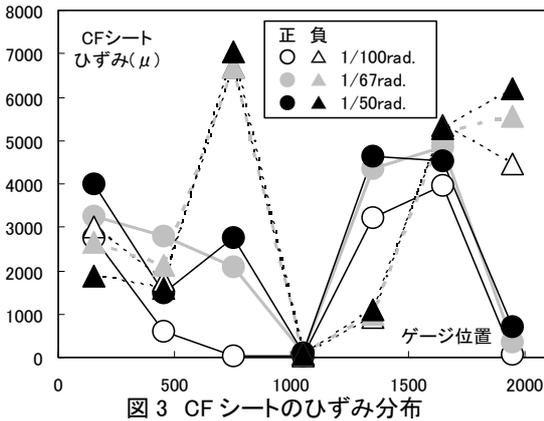


図3 CFシートのひずみ分布

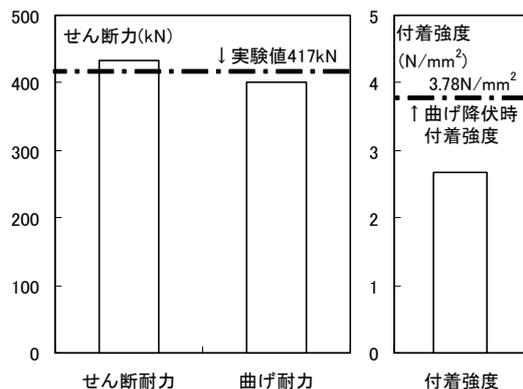


図4 最大耐力実験値と計算値の比較



写真3 破壊状況 (+1/25rad.)

る擬似閉鎖型の補強とした。補強後のせん断補強量は、既設の肋筋を無視すると 0.56N/mm^2 となった。

4. 実験結果

図2にせん断力(Q)-相対変形角(R)関係、写真3に補強試験体の破壊状況を示す。補強前の No.1 試験体は、主筋の降伏前である負加力時の $-272\text{kN}(-1/200\text{rad.})$ で、最大耐力となり、材端部の $1D \sim 1.5D$ の範囲がせん断破壊した。その梁を前述の方法で補修し、せん断補強を施したことで、 $417\text{kN}(1/100\text{rad.})$ まで耐力が上昇し、CFシートによる補強がされていない上端主筋の周りが付着割裂破壊した。

図3にCFシートのひずみ分布を示す。CFシートのひずみは最大で 7000μ 程度であった。この時に、定着金物部分でのCFシートの剥離や破断は見られなかった。

5. 終局耐力の検討

補強後の試験体について、曲げ降伏耐力、せん断終局耐力および主筋の付着強度の検証を行った。図4に補強後の最大耐力実験値を各計算値で除した比較を示す。まず、曲げ降伏耐力は略算式で計算し、曲げ降伏時せん断力は 400kN となった。せん断終局耐力は終局強度指針式A法で算出し、補強後のトラス機構の有効せい j_i は、下端主筋から上端の樹脂アンカーまでの長さとした。既存の肋筋の一部が破断している可能性があるため、肋筋は耐力に算入しなかった。その結果、せん断終局耐力は 432kN となった。ここで、コンクリートの圧縮強度は 31N/mm^2 、CFシートの有効強度は 0.7% ひずみ時の 1610N/mm^2 として計算した。主筋の付着強度は藤井森田式に

よる上端主筋の全割裂強度とし、式(1)から算出した。

$$\tau_{bu} = 0.8(\tau_{co} + \tau_{st}) = 0.8 \cdot 0.313 \{ (0.4 \cdot b_{si} + 0.5) \sqrt{c \sigma_B + \tau_{st}} \} \quad (1)$$

ここで、付着強度に対する既設肋筋の負担 τ_{st} を零とすれば、付着強度は 2.67N/mm^2 となる。

一方で、両端に降伏ヒンジが形成された時の設計用付着応力度 τ_f は式(2)から算出される。

$$\tau_f = d_b \cdot 2\sigma_{yu} / \{4(L-d)\} \quad (2)$$

σ_{yu} を材料試験結果の強度とすれば τ_f は 3.78N/mm^2 となる。つまり $\tau_{bu} / \tau_f < 1$ であるため、本実験は曲げ降伏の前に上端主筋が付着割裂破壊を生じることが予想されたが、実験結果は曲げ降伏耐力まで達した直後に上端主筋が付着割裂破壊した。既存の肋筋の評価をどのようにするかが課題であるが、スラブ下に相当する部分をCFシートによってせん断補強することにより、上端主筋の付着割裂破壊で決定されるせん断力まで、部材のせん断耐力を高めることが可能であった。

6. まとめ 1)せん断補強筋が破断しているような損傷を受けた梁でも、コンクリートの損傷部にエポキシ樹脂を注入し、定着金物で定着されたCFシートを貼ることで、損傷前の耐力を上回るせん断補強効果が得られることが確認された。2)補強後の耐力は、CFシートで補強されたU字形部分のせん断耐力、上端主筋の付着割裂耐力、梁の曲げ耐力のうちの小さいもので決定される。今回は既往の計算式によって補強後の耐力を算定したが、その評価方法については課題が残されている。

*1 三菱化学産資 *2 建築研究所 工博
*3 ベターリビング 工博 *4 奥村組
*5 川口テクノソリューション *6 コンステック
*7 安藤建設 工博 *8 北海道大学院教授 工博

*1 Mitsubishi Chemical Functional Products
*2 Building Research Institute, Dr.Eng
*3 Center for Better Living, Dr.Eng *4 Okumura Corporation
*5 Kawaguchi Techno Solution *6 Constec Engineering
*7 ANDO Corporation, Dr.Eng *8 Professor, Hokkaido Univ., Dr.Eng