

京都大学 学生会員○真邊剛典

学生会員 山本貴士

正会員 服部篤史

フェロー会員 宮川豊章

1. はじめに

連続繊維シート補強部材において、補強後に鉄筋腐食が進行した場合の耐荷性状を把握することは補強部材の耐久性能を評価する上で重要である。本研究では、シート補強後に電食により腐食を促進した部材について、鉄筋腐食とそれに伴う腐食ひび割れが補強部材の耐荷性状に与える影響を検討した。

2. 実験概要

試験要因は、補強方法に関して無補強のもの(N)および炭素繊維シート(シート厚さ 0.111 mm、引張強度 2900 N/mm²、ヤング係数 2.3×10^5 N/mm²)を支点外側を含め軸方向に 1 層張り付けたもの(CF)を設定し、鉄筋腐食量に関して腐食重量減少率で 3 レベル(0=0%, 1=約 2.2%, 2=約 8.4%)を設定した。供試体一覧を表 1 に示す。

供試体は図 1 に示すような 100×100×400 mm の角柱供試体である。引張主鉄筋は 1-D10(SD295)、せん断補強筋は D6(SD295) フープ筋とし、主鉄筋定着部およびせん断補強筋はエポキシ系樹脂により防錆処理をした。コンクリートは目標強度 $f'_{cr}=27\text{N/mm}^2$ で、腐食促進のため 3%食塩水で練り混ぜた。

シート補強後は電食法により腐食を促進した。定電流装置を用いて電流密度を 0.1mA/cm² に固定し、腐食レベル 1 は 200 時間、腐食レベル 2 は 480 時間の通電を行った(図 2)。

腐食促進後、供試体よりはつり出した鉄筋の引張試験を行うとともに、スパン中央および中央から支点方向に 80 mm の位置の 3 個所を軸直角方向に切断し断面内の腐食ひび割れを観察した。また、スパン 300 mm の中央一点静的漸増載荷曲げ試験($a/d=2.0$)を行い、荷重、スパン中央たわみ、シートひずみ(スパン中央および支点方向に 25 mm、50 mm、100 mm 位置の 4 点)を測定した。載荷終了後は腐食した鉄筋をはつり出して 60℃10%クエン酸水素二アンモニウム水溶液に浸漬し、腐食生成物除去後の鉄筋重量を測定し、健全な鉄筋重量との差から腐食重量減少率を算出した。

3. 実験結果および考察

3.1 鉄筋の引張試験

鉄筋の引張試験の結果を表 2 に示す。引張試験用供試体はせん断補強筋を有しておらず電流がすべて主鉄筋に流れたため、レベル 2 では、同様の曲げ試験供試体(N-2、CF-2)の腐食重量減少率(約 8.4%)より大きくなった。腐食後、降伏荷重および最大荷重の低下は重量減少率とほぼ同量であったのに対し、伸び能力の低下は顕著であった。

表1 供試体一覧

供試体名	試験要因		試験項目	載荷時 f'_c N/mm ²
	シート 補強	腐食 レベル		
N-0		0	載荷試験 腐食量 測定	35.1
N-1		1		37.3
N-2		2		35.3
CF-0	○	0		35.1
CF-1	○	1		37.3
CF-2	○	2		35.3
N-0(T)		0	鉄筋の 引張試験	—
N-1(T)		1	腐食量測定	—
N-2(T)		2		—
CF-2(Cr)	○	2	腐食ひび割れ観察	—

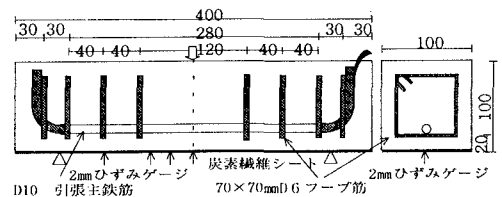


図1 供試体寸法およびシートひずみ測定位置

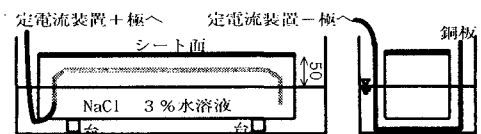


図2 電食装置

表2 鉄筋の引張試験

供試体名	N-0(T)	N-1(T)	N-2(T)
重量減少率(%)	0.0	2.3	13.8
降伏荷重(kN)	22.61	22.05	21.09
降伏点(N/mm ²)	32.31	32.25	35.05
最大荷重(kN)	32.57	31.59	24.87
引張強さ(N/mm ²)	41.32	46.21	41.32
伸び(%)	27.1	20.4	11.3
ヤング率(kN/mm ²)	185.5	209.3	204.2

注) 降伏点、引張強さ、ヤング率は断面減少率が重量減少率と等しいと仮定して算出したもの。

3.2 断面内の腐食ひび割れ

腐食レベル2における断面内の腐食ひび割れを図3に示す。目視により、主鉄筋からシートと側面に向かう微細なひび割れおよびFRP層とコンクリートの間に蓄積した腐食生成物が確認された。また、防錆処理をしたせん断補強筋がやや腐食した結果、せん断補強筋に沿うひび割れも確認された。シートに向かうひび割れ幅は無補強供試体の1/10程度であり、FRP層がひび割れを抑制していると考えられる。

3.3 荷重－たわみ曲線および破壊形式

シート補強供試体の側面の腐食ひび割れおよび載荷後のひび割れ状況を図4に示す。腐食レベル0では、スパン中央に曲げひび割れが数本発生した後、支点付近からのシート剥離により破壊に至った。腐食レベル1および2では、スパン中央に1本の曲げひび割れが発生した後、せん断補強筋の腐食に伴うウェブせん断ひび割れが発生、進展し、破壊に至った。また、腐食レベル2では主鉄筋に沿う側面の腐食ひび割れが、載荷初期の段階で軸方向に進展した。

全供試体の荷重－たわみ曲線を図5に示す。無補強供試体では、腐食後も部材剛性および曲げ耐力が低下しなかった。シート補強供試体では、せん断補強筋の腐食によりせん断破壊が先行したため、主鉄筋の腐食が曲げ耐力に与える影響は把握できなかった。しかし、ウェブせん断ひび割れ発生(約40kN)までの部材剛性は、腐食レベルによらずほぼ一定であった。

3.4 シートひずみの軸方向分布

ウェブせん断ひび割れ発生(約40kN)までのスパン中央および100mm位置のシートひずみを図6に、また、スパン中央から支点方向の4点で測定したシートひずみの標準偏差を図7に示す。曲げひび割れ発生以降、腐食量の増加に伴い同荷重に対する100mm位置のシートひずみが増大しているとともに、軸方向のシートひずみが均一化する傾向にある。これは、せん断補強筋の腐食とそれに伴うひび割れが存在することによりせん断スパン内のシート応力が増大したこと、および主鉄筋の腐食に伴う軸方向の腐食ひび割れがスパン中央引張縁への応力伝達を阻害したことが主な原因と考えられる。

4. まとめ

- (1) 電食による腐食促進ではFRP層が腐食ひび割れを抑制する効果が見られたが、自然腐食との対応は今後の検討が必要である。
- (2) シート補強後のせん断補強筋の腐食および主鉄筋の腐食に伴う軸方向の腐食ひび割れは、せん断耐力を低下させるとともにシートの軸方向応力分布を変化させる。

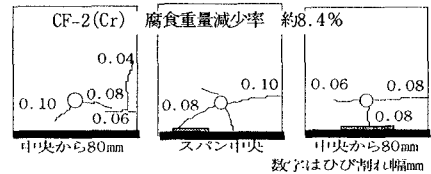


図3 断面内の腐食ひび割れ

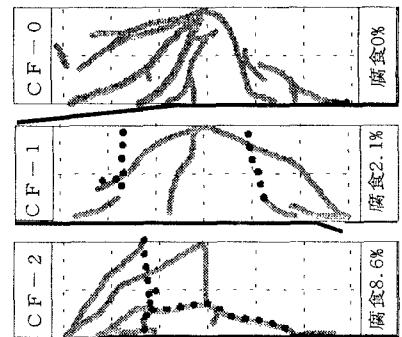


図4 ひび割れ状況(点線は腐食ひび割れ)

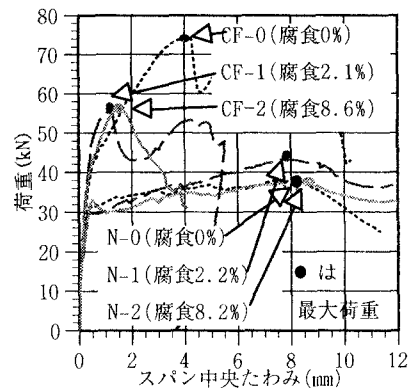


図5 荷重－たわみ曲線

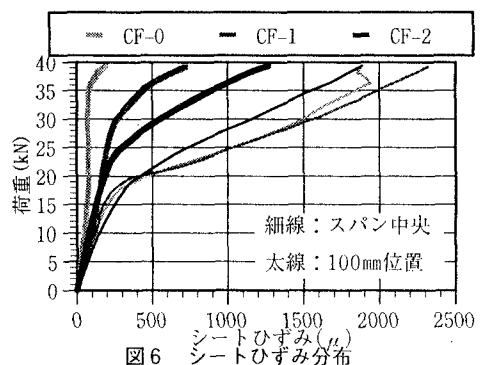


図6 シートひずみ分布

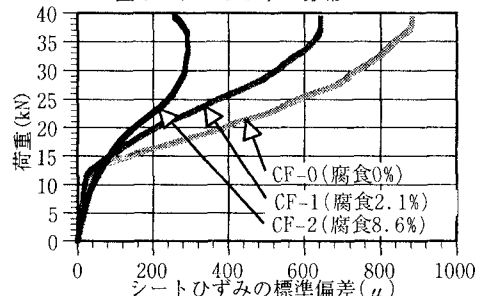


図7 4点のシートひずみの標準偏差