

(50) ロープ系連続繊維補強材を緊張材に用いた外ケーブルPC部材の動的疲労特性

ハザマ 技術研究所 ○谷口裕史
 埼玉大学工学部 睦好宏史
 埼玉大学大学院 山口統央
 ハザマ 技術研究所 喜多達夫

1. はじめに

連続繊維補強材は、高強度、軽量、非磁性、耐腐食性に優れるなどの利点を有してはいるものの、鋼材と比較して伸びひずみが小さく、その破壊性状は脆性的であるという欠点も有している。このような欠点を補い、連続繊維補強材の特性を有効に利用できる構造形式の一つとして外ケーブルPC部材があげられる¹⁾。これに対し、筆者らは、外ケーブル式ノンメタルPC部材を開発する目的で、外ケーブル用緊張材としてフレキシブルなロープ系連続繊維補強材を、コンクリート内部の補強筋には炭素繊維からなる連続繊維補強材(以下CFRPと称す)を用い、さらに破壊性状を改善するために圧縮部コンクリートをCFRPで拘束した部材の各種性状を実験的に検討している²⁾。このようなノンメタルPC部材が開発されれば、通常の鋼材を補強材とした場合に懸念される腐食の問題を防げることから、第3種PCのようにひびわれを許容した適用方法も可能であると考えられる。

以上のような観点から、本論文では、ひびわれを許容した外ケーブル式ノンメタルPC部材が繰り返し荷重を受けた場合に問題となると考えられるコンクリートの疲労、外ケーブルの時間あるいは繰り返し荷重による変化、さらにはコンクリート内部のCFRPの疲労について、実験的検討を行った結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本実験に使用した連続繊維補強材の特性値を表-1に示す。ロープ系連続繊維補強材は、アラミド繊維の並立繊維束を芯材とし、その周囲をポリエチレンで被覆したものである。ロープの固定は、専用の定着具内にロープを通し、繊維芯材中心にスパイク金具を挿入することにより固定した。なお、定着具内でのスリップを防ぐ目的で、プレストレスを導入する前に切断保証荷重の60%のプレロードを与えた。

2.2 供試体および荷荷方法

本実験に用いた供試体の形状および配筋状況を図-1に、実験要因を表-2に示す。供試体はT型断面を有するはりであり、ケーブル定着部およびケーブルを曲線配置するための曲上げ部(デビエータ)を有している。なお、荷荷時にはデビエータ部での摩擦の影響を除去するために、テフロンシートをコンクリートとロープ系連続繊維補強材の間に2枚挿入した。せん断補強筋は、CFRPの弾性

表-1 連続繊維補強材の特性値

	公称直径 (mm)	公称破断 保証荷重 (tf)	公称 断面積 (mm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	破断時 のび (%)
ロープ系連続繊維	17	15	76.4	1.3*10 ⁶	1.5
CFRP φ15.2	15.2	20.3	113.6	1.4*10 ⁶	1.6

表-2 実験要因

供試体 No.	荷荷方法	上限荷重 (tf)	下限荷重 (tf)	荷荷速度 (Hz)	緊張力 (tf)	コンクリート強度 (kgf/cm ²)
1	動的疲労	9.5	2.5	2.0	13	327
2		16.0	2.5	1.0		346
3	静的疲労	-	-	-		393

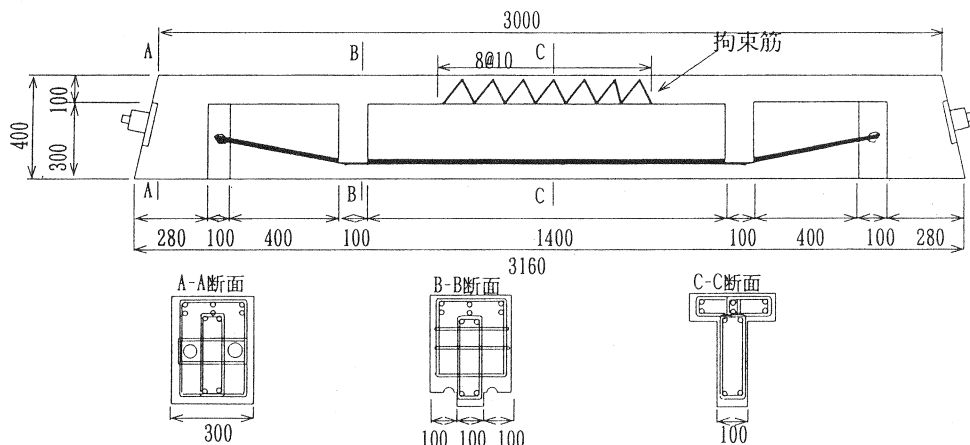


図-1 試験体形状および配筋図

係数比を考慮した提案式³⁾、および筆者らの提案した繊維含有率を考慮した提案式⁴⁾の両者より求め安全側に配置した。載荷は、一方向2点載荷であり、等曲げモーメント区間を40cmとした。また、圧縮部コンクリートには、はり中央部フランジの80cmにわたりCFRP拘束筋を配置した(横拘束筋比 $P_w = 0.5\%$)。載荷は、静的載荷および繰返し載荷であり、繰返し載荷における上限荷重は、ひびわれ発生荷重(9.5ton)および最大ひびわれ幅0.5mm時(16ton)とした。なお、この条件は、ひびわれを許容した場合に考えられる一般的な条件および最も厳しいと考えられる条件を想定している。繰返し載荷回数は200万回とし、200万回までに破壊しない場合には、最終的に破壊するまで載荷を行い、残存耐力を確認し、繰返し載荷を行っていない部材の耐力と比較した。

3. 実験結果および考察

3.1 ひびわれおよび破壊性状

載荷実験の結果を表-3に示す。ひびわれ発生荷重およびひびわれ幅は、精算法およびPRC指針の式に補強筋の弾性係数を代入して求めた結果³⁾と、ほぼ一致しており、既往の解析方法および算定式の適用が可能である。一方、今回の試験条件の範囲内では、200万回繰返し載荷による部材の破壊は認められなかった破壊性状は、静的載荷および繰返し載荷後のいずれの試験体も、まずコンクリート上縁部の圧縮ひずみが 3500μ 以上に達し、ひびわれが発生、コンクリートが圧壊に至る。しかし、圧縮部コンクリート内に配筋したCFRP拘束筋の効果により、部材は破壊せず変形がさらに進行し、最終的にはロープ系連続繊維補強材の繊維が順次破断していくことにより破壊に至った。このように、いずれの場合にもCFRP拘束筋の効果によりコンクリート圧壊時に部材が破壊せず、脆性的な破壊性状が改善されることが確認された。各試験体のひびわれ状況を

表-3 実験結果

図-2に示す。200万回繰返し載荷を受けた後にも、静的載荷を行った場合のひびわれ状況と顕著な差は認められていない。特に、上限荷重を

No.	ひびわれ発生荷重(tf)		ひびわれ幅0.2mm時荷重(tf)		ひびわれ幅0.5mm時荷重(tf)		コンクリート圧壊荷重(tf)	最大荷重(tf)	破壊形式
	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値			
1	9.5 (0.93)	8.8	10.0(200万回) (1.16)	11.64	18.5(200万回) (0.83)	15.32	33.6	40.24	圧壊先行 200万回以上
2	9.5 (0.93)	8.8	11.0(1.07)	11.76	16.0(0.96)	15.43	31.9	38.61	圧壊先行 200万回以上
3	9.5 (1.05)	10.0	11.0(1.16)	12.6	17.5(0.97)	16.9	30.0	34.4	圧壊先行

大きくしたNo.2においても、CFRPの付着切れによるひびわれ、破断も認められておらず十分な付着性状および疲労特性を有していると考えられる。また、せん断ひびわれ(せん断補強筋の破断)も認められていないことから、現在提案されているせん断耐力算定式により求められるせん断補強筋量を配筋することにより、CFRPせん断補強筋の破断による部材の破壊は防げるものと考えられる。

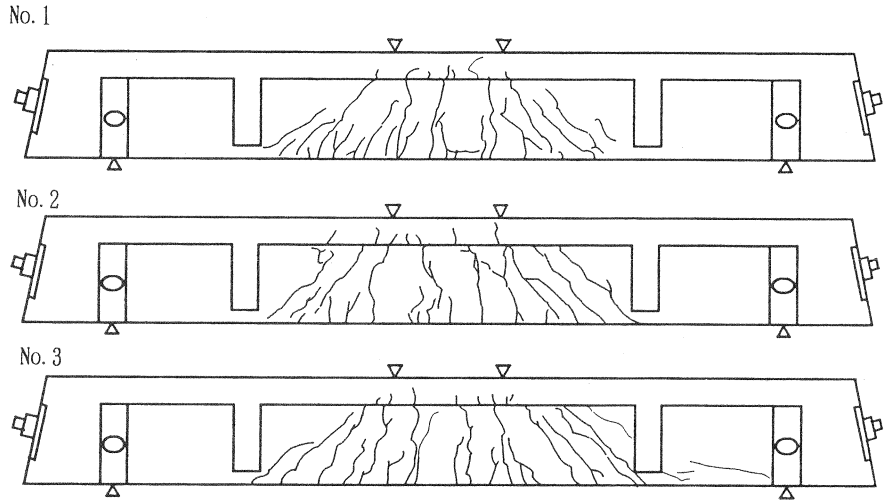


図-2 ひびわれ状況

3.2 荷重-変位関係

静的荷重時および200万回繰り返し荷重後の荷重時における荷重-変位関係を図-3に示す。静的荷重を行ったNo.3は、初期ひびわれ発生までは弾性的な挙動を示し、ひびわれ発生後はほぼ一定の剛性を示す。さらに、圧縮部のコンクリートひずみが 3500μ を越えた後もCFRP拘束筋の効果により耐力および変位が増大し、靱性の改善効果が認められた。一方、200万回繰り返し荷重を行った試験体は、初期の部材剛性はひびわれが発生しているために、静的荷重時と比較して小さくなる傾向が認められるが、その後の挙動には顕著な差は認められない。すなわち、いずれの試験体も圧縮部コンクリートにCFRP拘束筋を配置した効果により、コンクリートの疲労による部材の破壊を防ぐとともに、部材に靱性を付与し、脆性的な破壊性状を改善していることがわかる。さらに、残存耐力を比較した場合には、いずれの試験体も静的荷重時の部材耐力と同等の耐力が得られていることから、コンクリート、外ケーブル緊張材およびCFRP補強筋とも200万回繰り返し荷重に対し、十分な疲労強度を有していると言える。

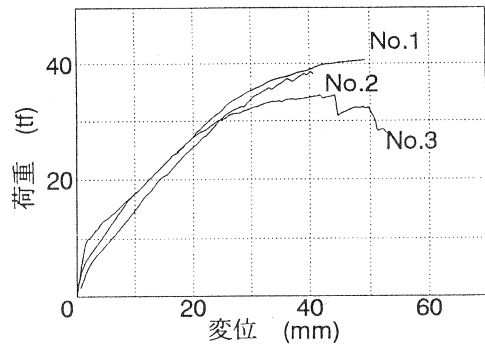


図-3 荷重-変位関係

3.3 ロープ系連続繊維補強材の挙動

繰り返し荷重を受けた後のロープ系連続繊維補強材の緊張力の変化およびその減少率を図-4および5に示す。上限荷重を9ton(ひびわれ発生荷重)としたNo.1は100万回までは、緊張力の低下はほとんどみられない。一方、上限荷重を16ton(最大ひびわれ幅0.5mm)とした場合には、繰り返し荷重回数10000回から緊張力の低下が認められ、200万回荷重時には約10%程度の緊張力の低下が認められた。これは、応力振幅により定着具内でのロープ系連続繊維補強材のずれが影響していると考えられる。

一方、ロープ系連続繊維補強材の破断箇所はいずれの試験体も定着具近傍およびデビエータ部であり、ほぼ同程度の繊維が破断していた。繰り返し荷重終了時のロープ系連続繊維補強材の外観は、No.1ではシース

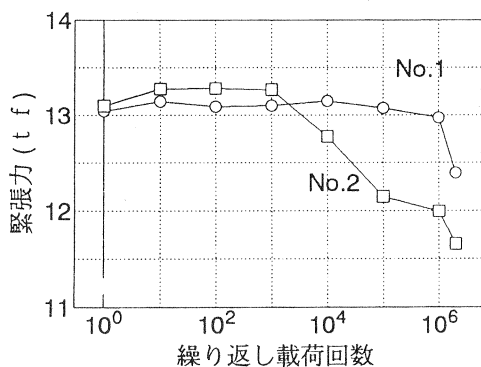


図-4 繰り返し载荷にともなう緊張力の変化

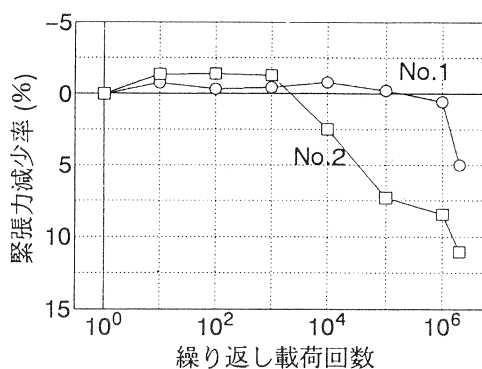


図-5 繰り返し载荷にともなう緊張力の減少率

部に顕著な変化は認められなかったのに対し、No.3はデビエータ部のテフロンシートおよびロープ系連続繊維補強材のシース部が磨耗している状況が観察されており、さらに磨耗が進展すると繊維自身が磨耗により破断する危険がある。このことから、本試験の範囲では、繰り返し载荷にともなうロープ系連続繊維補強材の疲労強度に問題は無かったが、大きな応力振幅を受ける場合にはデビエータ部でのシースの磨耗を減少させることが必要となると考えられる。

4. まとめ

ロープ系連続繊維補強材を外ケーブルに用いたノンメタルPC部材の繰り返し载荷試験の結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 上限荷重をひびわれ発生荷重および最大ひびわれ幅0.5mmとした場合には、200万回の繰り返し载荷により部材は破壊せず、200万回载荷後の残存耐力も、繰り返し载荷を受ける前と同等であった。すなわち、コンクリート、ロープ系連続繊維緊張材およびCFRP補強筋とも、十分な疲労強度を有していると考えられる。
- (2) 繰り返し载荷の影響により、緊張力が減少する傾向が認められる。この傾向は応力振幅が大きいものほど顕著であり、定着具内でのロープ系連続繊維補強材の固定部の影響であると考えられる。また、応力振幅が大きい場合には、デビエータ部でロープ系連続繊維補強材のシース部が磨耗するため、十分な対策が必要である。

謝辞：本実験を実施するにあたり、埼玉大学大学院高橋博威君、埼玉大学学生河田洋志君、藤岡篤史君の協力を得た。また帝人(株)、東京製綱(株)から材料を提供頂いた。ここに記して、厚く御礼申し上げる。

〈参考文献〉

- 1) 睦好宏史, 町田篤彦: FRPを外ケーブルに用いたPCはりの力学的性状, 土木学会論文集, No. 442/V-16, pp.153~159, 1992.2
- 2) 山口統央, 睦好宏史, 谷口裕史, 喜多達夫: ロープ状新素材を外ケーブルに用いたノンメタルPC部材の研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.2, pp.1051~1056, 1994
- 3) 例えば, 丸山久一, 小林俊彦, 清水敬二, 金倉正三: CFRPロッドを主筋およびスターラップに用いたコンクリートはりのせん断性状, 連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用に関するシンポジウム講演論文報告集, pp.187~192, 1992
- 4) 谷口裕史, 喜多達夫, 睦好宏史, 町田篤彦: FRPで補強したコンクリート部材のせん断耐力算定式の一評価, 土木学会第48回年次講演概要集, V-154, pp.334~335, 1993