

プリプレグ炭素繊維テープを用いたはりのせん断補強特性

清水建設（株）技術研究所 正 長澤 保紀
 三菱レイヨン(株)複合材料開発センター 林 繁次
 清水建設（株）技術研究所 正 滝本 和志

1. はじめに

炭素繊維シートによる柱の耐震補強や、炭素繊維ロッドによる新設コンクリート構造物のPC代替材として炭素繊維が利用されている。本報告では、前報¹⁾に続いて、常温では硬化せず高温で硬化するプリプレグ炭素繊維テープに着目し、これをコンクリート梁表面に巻き付け、通电加熱することによって硬化させ、せん断補強材として利用の可否について実験的に検討を行った。その際、コンクリート梁隅角部に面取りを設けるが、コンクリート表面にプライマ塗布を行わずに巻き付ける方法を採用し検討した。

2. 実験方法

図1, 2に示すように、鉄筋コンクリートはり（ H 400 mm \times W 600 mm \times L 2400 mm、せん断スパン 800 mm）にプリプレグ炭素繊維テープをせん断補強として外周表面に巻き付けて通电加熱硬化させ、静的に3点曲げ载荷を行った。使用材料の詳細は表-1, 2に示す通りであり、プリプレグ炭素繊維テープは120熱硬化型である。実験要因としては、プリプレグ炭素繊維テープの層数と幅、巻き付け間隔、螺旋状巻きと閉鎖ループ巻きとし、また、通电回路として2電極間回路、5電極並列回路、4閉鎖ループ直列回路とした。通电は200V電源からスライダックにて電圧を変化させて、それぞれの回路の電気抵抗に応じて所要の電圧を1時間連続で作用させ、プリプレグ炭素繊維テープを130~160℃まで発熱させて硬化させることとした。また、せん断破壊後に試験体からプリプレグ炭素繊維テープを剥がして、図3に示すような端部処理を行い、引張強度試験を実施した。

3. 実験結果および考察

表3に通电結果を示す。テープ延長が48mあるため、2電極間での通电では8~4回に分けて通电する必要があるが、使用電力に余裕があるので、一部について並列回路を組んで通电加熱を試みた。

その結果、並列回路

表-1 プリプレグ炭素繊維テープ

炭素繊維目付量 (g/m ²)	250
炭素繊維比重 (g/cm ³)	1.82
炭素繊維体積抵抗 (cm)	0.0016
樹脂含有率	0.375
比熱 cp (J/g \cdot)	0.81
炭素繊維厚み (mm)	0.137
引張強度 (N/mm ²)	4000
ヤング係数 (kN/mm ²)	2.4×10^5

表-2 コンクリートおよび鉄筋

コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)	28
コンクリート割裂強度 (N/mm ²)	2.5
鉄筋 (SD490)	D19
鉄筋降伏点 (N/mm ²)	531
鉄筋引張強度 (N/mm ²)	696
鉄筋ヤング係数 (kN/mm ²)	200

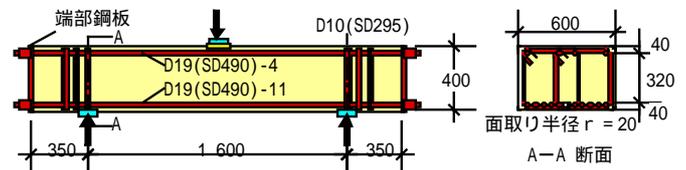


図-1 せん断実験用はり試験体 形状・寸法・配筋図

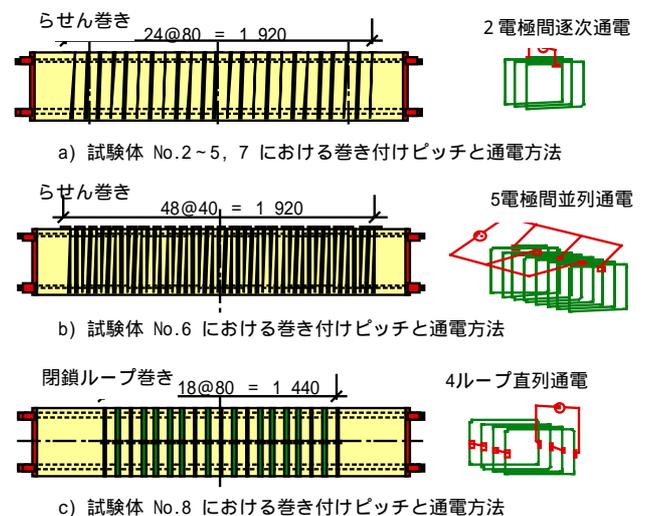


図-2 試験体へのテープ巻き付け方法と通电方法

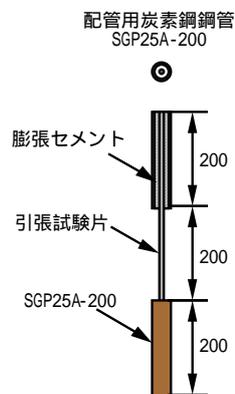


図-3 引張試験片端部処理

キーワード；炭素繊維，プリプレグテープ，補修補強，せん断，鉄筋代替材

〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 Tel.03-3820-5734

表 - 3 せん断補強試験体の通電過熱時の電圧・電力・平衡温度およびプリプレグ炭素繊維テープ引張強度

試験体名称	層数	幅 (mm)	通電距離 (m)	回路形式	電気抵抗設計値 ()	電気抵抗実測値 ()	電圧平均値 (V)	電力平均値 (kVA)	平衡温度 ()	引張強度平均値 (N/mm ²)
No2	2	10	6	2 電極間回路	34.9	33.9	190	1.1	130 ~ 160	4076
No3	4	10	10		29.1	29.7	220	1.6		3912
No4	6	10	12		23.3	23.0	216	2.0		4080
No5	12	5	14		27.2	26.6	213	1.7		3550
No6	3	10	16	5 電極並列回路	3.9	3.8	100	2.6		4068
No7	4	10	10	2 電極間回路	29.1	28.6	223	1.7		4070
No8	6	10	1	4 ループ 直列回路	3.9	4.4	75	1.3		3930
参考	10	25	32	3 電極並列回路	3.7	-	200	10.7		

でも同様に、5～10 分後に、所要の温度範囲 130～160 に到達して同一温度範囲で保持することができた。硬化したプリプレグ炭素繊維テープの引張強度は表 - 3 に示すように 12 層以外ではほぼ 4000 N/mm² を得た。12 層が少し低くなった原因として、炭素繊維への電極板の接触が十分でなく中心付近への電流通過が若干不足したものと推察される。以後、電極板 1 枚で接触させる層数を 8 枚程度に制限し、それ以上は複数枚の電極板で接触させる工夫でよいと判断された。表 - 3 には、10 層 25mm 幅のプリプレグ炭素繊維テープを 1m の柱に 250mm ピッチでらせん状に巻き付けた場合に 4 巻き（柱高さ 1m 分）毎に電極を設けて 2 区間（柱高さ 2m 分）を並列回路とすれば、200V 電圧で 10.7 kVA の電力で通電加熱できることを示した。

表 - 4 および図 - 4 にせん断耐力の実験値と計算値を示す。

すべての試験体で計算値を上回る結果を得、1) プライマー塗布をしなくても、型枠脱型面やコテ仕上げ面程度であれば、単に、プリプレグ炭素繊維テープを巻き付けて通電加熱することで十分にせん断補強効果が期待できる事が明らかとなった。詳細に見ると、2) 層厚を変化させた影響（試験体 No2～4）としては、層数増加とともにせん断耐力が増加する傾向を示した。3) 巻き付けピッチの影響（試験体 No4 と No6）としては、ピッチの狭い方がせん断耐力増加を示した。4) 層厚が 12 層（試験体 No5）になると、表 - 3 にも示すテープの引張強度の低下と同様に、せん断耐力も低下する傾向にあり、炭素繊維への電極板の接触の改善が必要であると推察される。5) 通電加熱後のテープの両側に含浸樹脂塗布を行った改善効果（試験体 No3 と No7）は少ない。6) らせん状巻きと閉鎖ループ巻きの相違（試験体 No4 と No8）としては、らせん状巻きの方がせん断耐力の増加が大きい。などが明らかとなった。

せん断耐力 (kN)

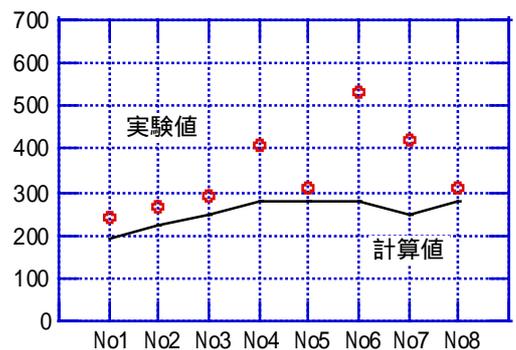


図-4 せん断耐力結果

表 - 4 プリプレグ炭素繊維テープによるせん断補強量と曲げせん断実験結果

試験体名称	層数	幅 (mm)	間隔 (mm)	せん断補強効率 K	V _{fd} (kN)	V _{cd} (kN)	せん断耐力 (kN)		実験値 / 計算値	備考
							計算値	実験値		
No1	炭素繊維テープ補強なし						192	243.5	1.27	
No2	2	10	80	0.80	29	192	221	263.5	1.19	
No3	4	10	80	0.80	58		251	294.0	1.17	
No4	6	10	80	0.80	88		280	406.5	1.45	
No5	12	5	80	0.80	88		280	310.0	1.11	1/2 幅
No6	3	10	40	0.80	88		280	531.0	1.90	1/2 間隔
No7	4	10	80	0.80	58		251	420.5	1.68	樹脂塗布
No8	6	10	80	0.80	88		280	312.0	1.12	閉鎖ループ

注) 計算値は土木学会「連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針」に準拠し、プリプレグ炭素繊維テープの設計引張強度 $f_{tud} = 3400\text{N/mm}^2$ 、 $c = b = 1.0$ として算出した。

参考文献 1) 長澤他: プリプレグ炭素繊維テープの通電加熱特性と引張強度, 土木学会第 56 回年次学術講演会 V-547, 2001.10