

CFRP スtrandシートとコンクリートとの付着特性 Bond behavior of concrete and CFRP strand sheet

○鈴木宣暁^{*1}, 小森篤也^{*1}, 森充広^{*2}, 川上昭彦^{*2}, 堀越直樹^{*3}, 石井将幸^{*4}

○Nobuaki SUZUKI, Atsuya KOMORI, Mitsuhiro MORI, Akihiko KAWAKAMI, Naoki HORIKOSHI
and Masayuki ISHII

1. はじめに

農業用水路トンネルの補強には、CFRP 格子筋と PCM を組み合わせた補強法や、製管工法など様々な補強法が研究評価され、すでに施工現場で実施されている。筆者らは、硬化した炭素繊維束をすだれ状に加工した CFRP スtrandシート（以下、CFSS という）を補強材に、耐摩耗性が考慮されたセラミック骨材混合エポキシ樹脂モルタル（以下、エポキシモルタルという）を結合材に用い、森ら¹⁾の研究によりトンネル模型実験などで評価してきた。しかし、CFSS を含む連続繊維補強材は、引張強度が鋼材の 10 倍程度と非常に高いため、補強材の引張破壊前にコンクリートとの剥離破壊で終局を迎えることも報告²⁾されている。そこで本研究では、CFSS の補強量とコンクリート圧縮強度をパラメータとし、土木学会の規定する JSCE-E-543-2012「連続繊維シートとコンクリートの付着試験方法」³⁾に準拠する供試体を作成し、コンクリートと補強材のせん断付着特性を評価する。

2. 使用材料と試験方法

補強材に用いる CFSS は高強度型炭素繊維を用いており、引張強度は $4,110\text{N/mm}^2$ 、引張弾性係数は 248GPa を有している。そして、エポキシモルタルは、圧縮強度 59N/mm^2 、引張強度 24N/mm^2 、圧縮弾性係数は $2,400\text{N/mm}^2$ という材料特性値を有している。ここで CFSS の外観を写真-1 に示す。供試体の作成は、図-1 に示すコンクリート供試体を用い、側面 2 面に幅 50mm の CFSS を、エポキシ樹脂モルタルを用い接着させる。コンクリートの圧縮強度は 20N/mm^2 、 35N/mm^2 の 2 種類、CFSS の積層数は 1 層、2 層の 2 条件としそれぞれ供試体数は 3 とする。試験は、供試体端部の全ねじボルトを万能試験機に固定し、引張力を与えることによりコンクリートが供試体中心部で分断されることから、CFSS のみで応力を分担させ、補強材の剥離破壊までの挙動を CFSS 上に設置したひずみゲージとロードセルによる荷重により評価する。

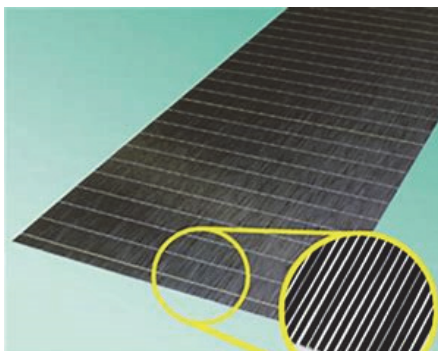


写真-1 CFSS の外観

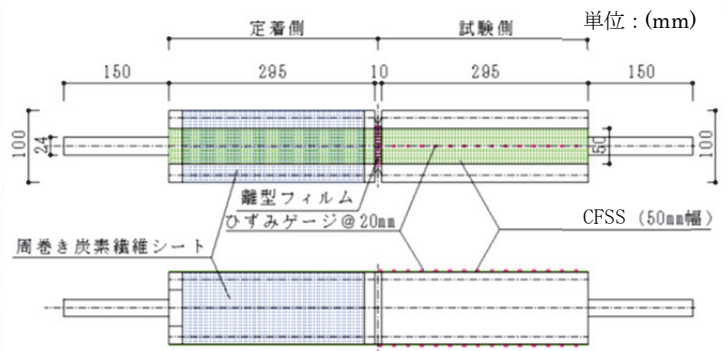


図-1 付着試験用供試体

*1 新日鉄住金マテリアルズ (株) Nippon Steel and Sumikin Materials Co., LTD., *2 農研機構 Institute for Rural Engineering, NARO, *3 オリエンタル白石 (株) Oriental Shiraishi Corporation, *4 島根大学 Shimane University.

キーワード：炭素繊維，付着強度，剥離破壊

3. 評価法と試験結果

評価は、JSCE-E-543に規定される界面剥離破壊エネルギー (G_f)、せん断付着強度 (τ_u)、有効付着長 (L_e)、により評価する。ここでこれらの算定法を式 (1) ~ (4) に示す。

$$G_f = \frac{P_{max}^2}{8b^2 E_f t} \quad (1) \quad \tau_u = \frac{P_{max}}{2bl} \quad (2) \quad L_e = \frac{P_{max}}{2\tau_y \cdot b} \quad (3) \quad \tau_y = \frac{\Delta \epsilon_F \cdot E_F \cdot A_F}{S_g \cdot b} \quad (4)$$

ここで、 G_f : 界面剥離破壊エネルギー (N/mm) P_{max} : 最大荷重 (kN), b : CFSSの接着幅 (mm), E_f : CFSSの引張弾性係数 (N/mm²), t : CFSSの設計厚み (mm), τ_u : 付着強度 (N/mm²), l : CFSSの接着長 (mm), τ_y : 有効付着長を考慮した付着強度 (N/mm²), $\Delta \epsilon_F$: ひずみ増加区間のひずみ差, A_F : CFSSの断面積 (mm²), S_g : ひずみ増加区間の距離(mm), L_e : 有効付着長 (mm), とする。

表-1 試験結果の一覧

供試体 圧縮強度 (N/mm ²)	CFSS 積層数 (層)	供試体	最大 荷重 (kN)	界面剥離 破壊 エネルギー (G_f) (N/mm)	せん断 付着強度 (τ_u) (N/mm ²)	有効 付着長 (L_e) (mm)
20	1	①	35.4	0.772	1.365	83
		②	34.1	0.713	1.312	99
		③	34.3	0.724	1.322	115
		平均値	34.6	0.736	1.333	99
	2	①	55.2	0.934	2.123	157
		②	50.1	0.769	1.927	172
		③	51.1	0.803	1.968	122
		平均値	52.1	0.835	2.006	150
35	1	①	40.9	1.027	1.574	87
		②	39.9	0.978	1.537	97
		③	37.1	0.845	1.428	84
		平均値	39.3	0.950	1.513	89
	2	①	44.8	0.616	1.725	124
		②	48.1	0.711	1.853	113
		③	41.8	0.536	1.608	167
		平均値	44.9	0.621	1.729	135

試験結果の一覧を表-1に示す。最大荷重の評価では、CFSS1層供試体は、コンクリートの圧縮強度の増加に伴い最大荷重が増大した。これは、コンクリート強度が剥離破壊荷重に寄与しているものと考えられる。一方、CFSS2層供試体では35N/mm²供試体よりも20N/mm²供試体の最大荷重が高い結果となった。20N/mm²供試体は、高圧水洗表面処理後のコンクリート表面粗度が高く、CFSSを2層にすることで最大荷重が増大したが、35N/mm²供試体では同一表面処理条件では粗度が低く、有効なせん断付着特性が得られなかったと考えられる。この結果は、吉澤ら²⁾の研究結果と同様であり、せん断付着性能に有効で、かつ水路トンネルで適用できる表面処理方法を今後の課題としたい。せん断付着強度の評価では、すべての供試体で土木研究所の共同研究報告書⁴⁾に規定する0.44N/mm²以上のせん断付着強度を有し、結果から同共同研究報告書に記載された設計法が適応可能である。界面剥離破壊エネルギーの評価では、すべての供試体で土木学会の規定する0.5N/mm⁵⁾を上回り、限界状態設計法での剥離破壊耐力が算定可能である。これらのことから、ホロ型水路トンネルの側壁部ではそのまま設計に適応可能と考えられるが、馬蹄形トンネルではせん断剥離破壊の影響に加え、覆工内面側への引張応力を考慮する必要があるものと考えられるため、曲がり梁の載荷試験など今後の課題としたい。有効付着長の評価では、83mm~172mmの範囲と求められ、実際の応力発生部位を考慮した設計が可能である。

4. まとめ

本研究により、CFSSとエポキシモルタルを用いた補強法は、せん断付着強度0.44N/mm²以上を有していることが確認され、土木研究所の共同研究報告書⁴⁾に規定する設計法が適応可能である。また、界面剥離破壊エネルギーにおいては、0.5N/mm⁵⁾を有し限界状態設計法での剥離破壊耐力が算定可能である。今後、農業用水路トンネルへの適応にはトンネル形状を考慮した評価が必要であると考える。

謝辞：本研究は、本研究は官民連携新技術研究開発事業新規研究開発課題「無筋コンクリート水路トンネル覆工に最適化した補強工法の開発」によって実施しました。

参考文献：1)森ら、空洞を考慮したコンクリート水路トンネルの補強検討，H29農業農村工学会大会講演会講演要旨集pp.564-565, 2)吉澤ら，連続繊維シートとコンクリートの付着挙動に関する検討，土木学会論文集，No. 662/V-49, 105-119, 2000. 11, 3)JSCE-E-543-2012「連続繊維シートとコンクリートの付着試験方法」2012. 4)土木研究所，コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書（Ⅲ），1999.12 5)土木学会，コンクリートライブラリー101，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 2012.5.