

連続繊維シートを用いた耐震補強工法の適用拡大に関する実験的検討

NEXCO 西日本コンサルタンツ(株) 正会員 ○安東 史晃, 中谷 隆生
西日本高速道路(株) 正会員 豊田 雄介
九州大学 フェロー会員 松田 泰治, 学生会員 濱田 慶太郎

1. はじめに

現在, 設計要領第2集橋梁保全編¹⁾(以下, 設計要領)において, 連続繊維シートを用いたじん性補強を採用する場合, 橋脚断面寸法の辺長比が1:1.5以下の橋脚に適用することが規定されている(図1). これは既往の実験結果²⁾を踏まえて規定されたものであるが, 連続高架区間で多く採用されている独立2柱式の既設橋脚の柱断面は辺長比が1:2.0のものが多く, 連続繊維シートを用いたじん性補強の適用範囲を辺長比1:2.0までに拡大するだけでも, 耐震補強における現地作業の効率化に対する効果は大きいと考えられる. 過去に筆者らは適用範囲の拡大の可否を確認するための実験結果を報告³⁾したが, 新たな知見が得られたのでここで報告する.

2. 実験概要

2.1 実験供試体

実験供試体形状を図2に示す. 柱断面の辺長比は1:1.5, 1:2.0, 1:2.5, 1:3.0の4タイプとし, 軸方向鉄筋と帯鉄筋間隔は既往の研究成果²⁾と同様に, 曲げ破壊型となる供試体とした. また, 補強の効果検証として, 無補強, 炭素繊維シート, アラミド繊維シート(以下, 炭素繊維, アラミド)の3タイプの合計12ケースの供試体で実験を行った. なお, 本実験では, 変位制御の荷重装置を使用し, 各サイクルにおける3回の正負交番繰返し荷重を行い, 荷重荷重が最大荷重の80%を下回った時点で荷重終了とし, 1つ前のサイクルの変位を実験上の終局変位とした.

2.2 連続繊維シート量の設定

実験供試体の連続繊維シート量は, 炭素繊維とアラミドで引張強度やヤング係数が異なるため, 両者の引張力が同等となる補強量で設定することが考えられたが, 表1に設計要領に基づき計算で求めた終局変位を, 図3に連続繊維シートで横拘束されたコンクリートの σ - ϵ 曲線を示す. 表1のとおり, 設計要領に基づき算出された終局変位が両者で大きく異なるため, 計算上の両者の終局変位が同等となる補強量(体積比が同等)で設定した.

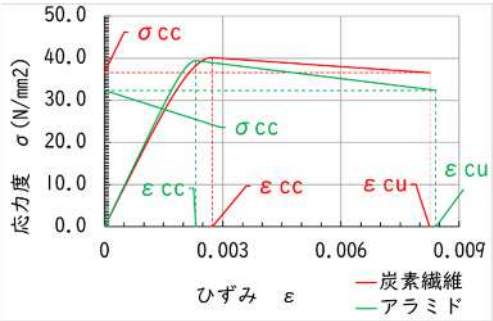


図3 辺長比1:2.0の σ - ϵ 曲線

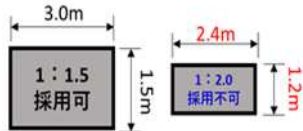


図1 じん性補強用連続繊維

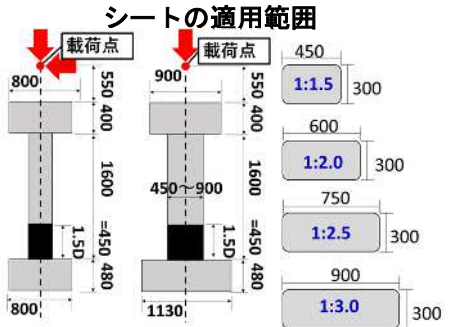


図2 供試体形状 (単位:mm)

表1 供試体補強量一覧

辺長比	断面		載荷軸力	帯鉄筋比	補強	周方向	体積比	引張力	変位			塑性率
									初降伏	降伏	終局	
	D	B							ρ_w	δy_0	δy	δu
	mm	mm					kN	%	N/mm	(mm)	(mm)	(mm)
1:1.5	300	450	175	0.06	炭素繊維	300g-1層 +400g-1層	0.345%	1,323	18.38	21.02	117.9	5.608
					アラミド	525g-1.0層	0.336%	888	18.32	20.74	120.0	5.784
1:2.0		600	235	0.06	炭素繊維	300g-3.0層	0.334%	1,703	18.34	20.58	113.3	5.505
					アラミド	350g-2.0層	0.336%	1,184	18.27	20.31	118.8	5.849
1:2.5		750	290	0.05	炭素繊維	400g-3.0層	0.355%	2,264	18.30	20.33	118.8	5.843
					アラミド	525g-1層 +350g-1層	0.336%	1,481	18.23	20.05	118.2	5.896
1:3.0		900	350	0.06	炭素繊維	600g-2層 +200g-1層	0.345%	2,642	18.29	20.17	115.5	5.729
					アラミド	525g-2.0層	0.336%	1,777	18.21	19.89	117.8	5.924

キーワード：正負交番荷重試験, 終局変位, 辺長比, 連続繊維シート, じん性補強

連絡先：〒732-0057 広島市東区二葉の里三丁目5番7号, TEL：082-298-8377

3. 実験結果

3.1 補強効果の確認

表 2 に載荷実験終了時の終局変位を示す。また、図 4 に炭素繊維、図 5 にアラミドの辺長比 1:2.0 における無補強と比較した荷重変位曲線を示す。表 2、図 4、図 5 より、無補強供試体に対し、炭素繊維補強の供試体は辺長比 1:2.5 までは実験終了時の変位が 2~3 δ_y 程大きく、補強効果が確認されている。一方、アラミド補強の供試体では、辺長比 1:1.5 では実験終了時の変位が 2 δ_y 程大きく、補強効果が確認されたが、辺長比 1:2.0、1:2.5 では無補強に比べて実験終了時の変位が 1 δ_y の差しかなく、炭素繊維のような補強効果が確認されなかった。

3.2 炭素繊維とアラミド 2 の横拘束力の比較

帯鉄筋と連続繊維シートの破壊順序を表 3 に示す。表 3 より辺長比 1:1.5 の炭素繊維では、連続繊維シートのひずみが引張ひずみを超過した後、帯鉄筋が降伏しているが、アラミドでは帯鉄筋と連続繊維シートの引張ひずみの急増が同じサイクル内で生じている。一方、辺長比 1:2.0、1:2.5 では炭素繊維、アラミドとも帯鉄筋の降伏と連続繊維シートの引張ひずみ超過が同じサイクル内で生じている。ここで、帯鉄筋と連続繊維シートで拘束されたコンクリート強度 σ_{cc} 算出時の横拘束力の比較結果を図 6 に示す。図 6 より、設計上の終局変位（終局ひずみ ε_{cu} ）は同等であるものの、全横拘束力の合計は炭素繊維の方が約 3.2 倍大きくなっており、全横拘束力に対する連続繊維シートの負担割合は、辺長比に関わらず炭素繊維が 70%~80% であるのに対し、アラミドは 50% 以下と小さいことが確認できる。この全横拘束力と連続繊維シートが負担する横拘束力の違いが実験結果に影響したものと考えられる。これは、横拘束力算出における連続繊維シートと鉄筋のヤング係数比が、炭素繊維は 1.2 に対しアラミドは 0.38 であることから、炭素繊維とアラミドで同じ体積比で補強を行ったとしても、アラミドの方が全横拘束力が小さくなるためである。

4. まとめ

今回の実験の結果を踏まえ、実験結果の信頼性向上を目的に、辺長比 1:2.0 の供試体に対し、無補強、炭素繊維、アラミドのそれぞれ 2 体ずつ追加の実験を行い、各供試体とも $n=3$ の実験が同様の結果であることを確認している。これより、炭素繊維シートを用いたじん性補強の適用範囲は「辺長比 1:2.0 以下」とし、アラミドでは「辺長比 1:1.5 以下」とすることが妥当と考えられる。なお、炭素繊維シートについては、辺長比 1:2.5 の供試体に対する信頼性向上のための追加実験を実施していないことから、炭素繊維シートを用いたじん性補強の適用範囲は「辺長比 1:2.0 以下」と考えられる。最後に、この研究にご協力いただいた九州大学、関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

1) 東・中・西日本高速道路(株).設計要領第 2 集 橋梁保全編 (令和 2 年 7 月)

2) 長田ら, 炭素繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強, コンクリート工学 年次論文報告集, Vol. 18, No. 2, 1996

3) 安東ら, 連続繊維シートを用いた耐震補強工法の適用拡大に関する検討, 土木学会第 77 回年次学術講演会公演概要集 V-59,2022

表 2 実験終了時の終局変位

補強種類	無補強	炭素繊維	アラミド
実 時	1:1.5	5 δ_y	8 δ_y
験 の	1:2.0	5 δ_y	8 δ_y
終 変	1:2.5	5 δ_y	7 δ_y
了 位	1:3.0	6 δ_y	6 δ_y

「※ δ_y は降伏変位を示す」

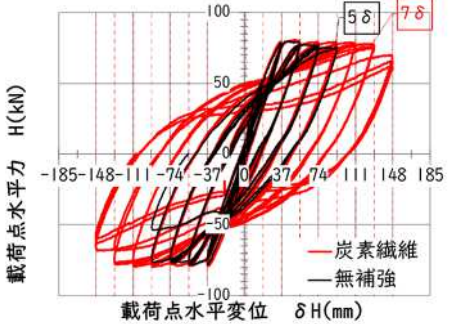


図 4 辺長比 1:2.0 荷重変位曲線 (無補強と炭素繊維の補強効果比較)

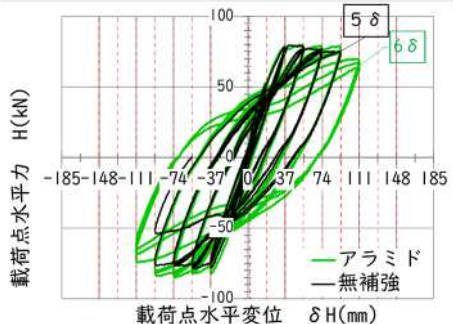


図 5 辺長比 1:2.0 荷重変位曲線 (無補強とアラミドの補強効果比較)

表 3 帯鉄筋と連続繊維シートの破壊順序

	1:1.5	1:2.0	1:2.5	
	炭素繊維	アラミド	炭素繊維	アラミド
連続繊維 シートの亀裂	① 4 δ_y -1	① 4 δ_y -1	① -5 δ_y -1	① 4 δ_y -1
連続繊維シートの 引張りひずみ急増	② -7 δ_y -1		② 5 δ_y -2	① 5 δ_y -3
連続繊維 シートの膨張	② -7 δ_y -1	② -7 δ_y -3	③ -6 δ_y -1	④ -6 δ_y -2
連続繊維シートの 引張りひずみの超過	① 6 δ_y -1	② -7 δ_y -3	③ -6 δ_y -1	② 4 δ_y -2
帯鉄筋引張 ひずみの急増	② 6 δ_y -2	② -7 δ_y -1		③ 6 δ_y -1
帯鉄筋の降伏	③ 6 δ_y -3	② -7 δ_y -3	③ -6 δ_y -1	③ 6 δ_y -1

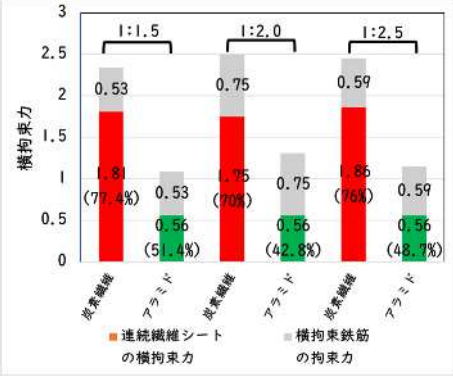


図 6 横拘束の合計に対する 連続繊維シートの負担割合