

炭素繊維シートによるセグメントの補強効果の検討

東京電力パワーグリッド(株) 正会員 吉本正浩, 正会員 和田好史, 正会員 佐藤克晴, 非会員 嘉賀大樹
東電設計(株) 正会員○阿南健一

1. はじめに

近年, 東京電力パワーグリッド(株)が保有する送電用のシールドトンネルにおいて, 荷重の変動や鉄筋の腐食に伴う耐荷性能の低下が問題となり, 補強などの対策が行われている^{1),2)}. 送電用のトンネルは, 超高压の送電ケーブルが多く収容されていることから, 狭隘な環境のトンネルが多い. 送電ケーブルを移設するためには, 代替経路の確保などにより, 費用が高額となる. このため, 狭隘な環境で, ケーブルの移設を行わずに実施可能な対策が求められている. そこで, 本検討では, 鉄筋が腐食したトンネルに対する補強方法として, 炭素繊維シートによるセグメントの補強効果について, 載荷試験による検討を実施した.

2. 載荷試験の方法

2.1 載荷試験の方法

載荷試験は, 補強の有無によるセグメント主断面の耐荷性能を比較するため, セグメントの単体曲げ試験(2点載荷, 載荷幅 600mm)として実施した. 載荷試験は, セグメントに補強を行った場合と未補強の2ケースを実施した.

補強対象とした試験に用いたセグメントは, 狭隘な送電用トンネルの状況を想定した以下の仕様のセグメントとした.

- ・セグメント幅: 1000mm, セグメント厚さ: 175mm,
- 主鉄筋量: D16×6 本(引張鉄筋比 0.88%), セグメント内径: 2400mm

2.2 炭素繊維シートによる補強の設計

(1) 炭素繊維シートによる補強構造

炭素繊維シートによりセグメントの補強は, トンネル内面側の鉄筋腐食の補強などが目的となり, トンネル内面に対して実施することとなる. 炭素繊維シートの接着面に漏水が発生すると, はく離などにより補強効果が得られなくなることが考えられる. このため, 炭素繊維シートの補強は漏水が多く見られる継手箇所や継手周辺, グラウトホール周辺を避け, セグメント単位で実施する必要がある.

このため, 図1のように, 補強はセグメント単位とし, 継手やグラウトホール周辺を回避して行うことを想定し, 幅 300mm の繊維シートを2列とし, セグメント内面に貼り付ける補強構造とした.

(2) 炭素繊維シートによる補強の設計方法

本検討では, セグメントの引張り鉄筋比 1%相当までの曲げ耐力まで向上させる量として設定した.

炭素繊維シートは, 鉄筋コンクリート断面における鉄筋と同様とし, 曲げ耐力の計算を行った. ただし, 炭素繊維シートは, 図2のように鉄筋と引張り時の挙動が異なるため以下として設定した.

- ・ヤング係数は仕様材料の規格値の 245N/mm^2 とする. 炭素繊維シートは鉄筋のような降伏の挙動がなく, 引張強度が非常に大きい (3400N/mm^2). しかし, 内面に貼り付けたシートに引張り力が作用すると引張り強度

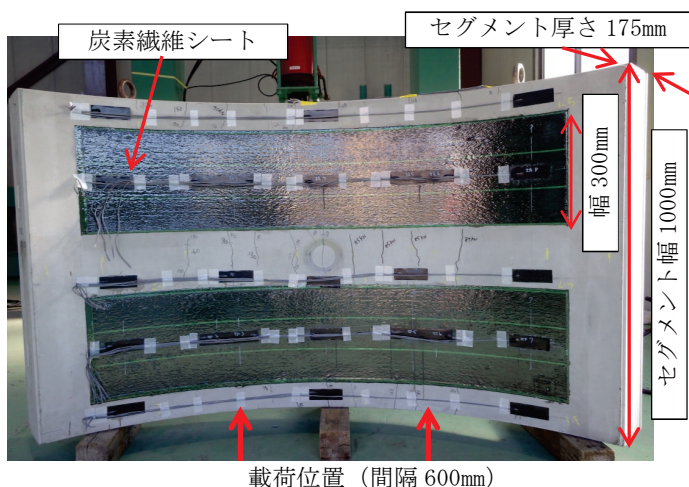


図1 繊維シートで補強したセグメント供試体
(載荷試験後の状況)

キーワード: セグメント, 補強, 繊維シート

連絡先: 〒100-8560 東京都千代田区内幸町 1-1-3

東京電力パワーグリッド(株)工務部 TEL 03-6363-1111

に達する前にはく離することとなる．このため、引張強さは、はく離破壊として次式³⁾により設定した．

$$\sigma_f \leq \sqrt{\frac{2G_f E_f}{n_f t_f}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 σ_f ：連続繊維シートの引張り応力度 (N/mm²)、 G_f ：連続繊維シートとコンクリートの付着に関する界面剥離破壊エネルギー（一般に 0.5N/mm²)、 E_f ：連続繊維シートのヤング係数 (N/mm²)、 n_f ：連続繊維シートの積層数、 t_f ：連続繊維シートの1層あたりの厚さ

これより、炭素繊維シートの補強の仕様は、以下として設定した．

・炭補研グレード No. :SU245-300, 繊維幅:600mm/ring, 長さ:1440mm,

繊維厚み: 0.167mm, 積層数: 2, ヤング係数: 245kN/mm², はく離破壊を生じない引張応力: 856.5N/mm²

補強の有無により終局曲げ耐力を計算すると、補強前が 54.4kN・m (載荷荷重 223kN), 目標耐力 (引張鉄筋比 1% 程度) 66.2kN・m, 補強後 71.0kN・m (載荷荷重 291kN) となった．補強前の曲げ耐力はコンクリートの圧壊であるが、補強後は繊維シートのはく離により破壊する結果となっている．

3. 載荷試験の結果

供試体の破壊状況と最大荷重を整理したのが図3である．供試体の破壊状況は補強の有無で異なる結果となり、補強したケースは計算と同様に繊維シートのはく離により最大荷重に至る結果となった．最大荷重についても、補強前より補強後が大きくなった．荷重と変位の関係を整理した図4からは、補強を行うと変位量が小さくなり、剛性が向上している結果が得られた．

4. おわりに

セグメントへの繊維シート補強の適用性を載荷試験により検討した結果、補強効果が得られる結果となった．繊維シートによる補強は、狭隘なトンネルにおいても比較的施工が可能と見込まれる．このため、鉄筋の腐食などにより耐荷性能が低下したセグメントに対して、有効な補強工法になると考えられる．今後は、載荷試験の再現計算など詳細な分析を行うこととしている．

謝辞： (株)IHI 建材工業，エルメス計測工業(株)，東京電設サービス(株)の関係各位には、本試験の実施に多大なご協力をいただきました．記して感謝の意を表します．

【参考文献】 1)岡滋晃，阿南健一，実広拓史，吉本正浩：シールドトンネルの鉄筋残存量の評価と補強設計に関する研究，土木学会論文集F1（トンネル工学），Vol172, No. 3, p. 1_108-1_122, 2016. 2)佐藤克晴，和田好史，阿南健一，岡滋晃，斉藤仁，吉本正浩：塩害により劣化したRCセグメントの鉄筋残存量および健全性の将来予測，トンネル工学報告集，第27巻, II-4, 2017. 11. 3)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，2000.

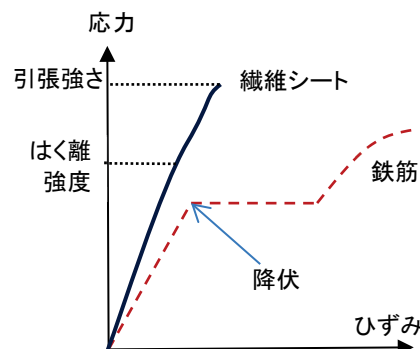


図2 繊維シートと鉄筋の引張り特性のイメージ

	未補強のケース	補強したケース
ひび割れ荷重	90kN	85kN
最大荷重	260kN	282kN
破壊状況		

図3 供試体の破壊状況および最大荷重

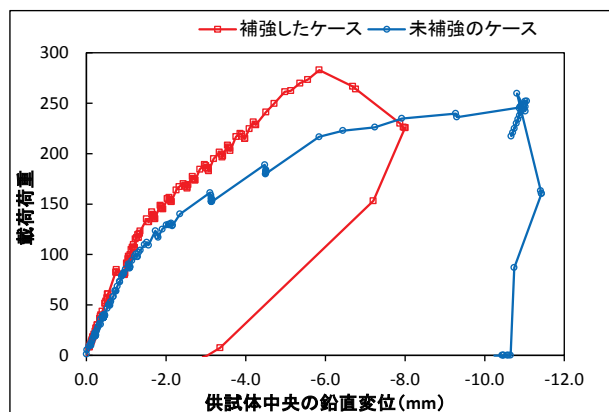


図4 載荷試験の荷重と変位の関係