短繊維を混入させたPCM吹付け工法のRC梁への補修効果

北海道大学大学院工学院　学生会員　○海野　太貴
北海道大学大学院工学研究院　フェロー　横田　弘
北海道大学大学院工学院　学生会員　Shanya Orasutthikul

１．はじめに

断面修復工法の補修材として，セメント系複合材料に短繊維を混入させることで，ひび割れの分散や靭性の向上といった付加価値を高めた材料の使用が近年着目されている[1]。一方，海洋中に放置されたナイロン製漁網が様々な環境問題を引き起こしているが，放置漁網を確実に回収し，それをリサイクルすることが求められている。そこで，筆者らはナイロン製漁網を裁断し，モルタル中の補強短繊維として再利用することを検討してきた[2]。

本研究では，断面修復工法の中でも施工場所の制限を受けにくく迅速な施工が可能である吹付け工法に着目した。主に水路等の補修工事で使用されている補修材にリサイクルナイロン繊維（以下，RN繊維）を混入し，塩害劣化の生じたRC梁への補修に適用することを目的に，その性能回復効果について検討を行った。

２．試験概要

２．１ 供試体概要

作製した供試体は高さ15cm，幅10cm，長さ90cmのRC梁とし，コンクリートのW/Cは0.4とした。

２．２ 腐食方法および質量減少率

本研究では，鉄筋の腐食を比較的短期間で生じさせ，腐食量の制御が可能な電食法を採用した。また，主鉄筋の腐食がRC梁の曲げ耐力に最も影響することから，主鉄筋が他の鉄筋と接触する部分は絶縁し，主鉄筋のみに直流電流を作用させた。電食試験の状況を**図-1**に示す。曲げ載荷試験後の供試体から取り出した主鉄筋を，60℃に保った10%のクエン酸二アンモニウム溶液に48時間浸漬させ，腐食生成物を除去した後の質量を測定し，健全時の鉄筋質量との差を健全時の鉄筋質量で除すことにより質量減少率を求めた。主鉄筋の質量減少率は，レベルA（0%），レベルB（8%），レベルC（16%）の三水準とした。

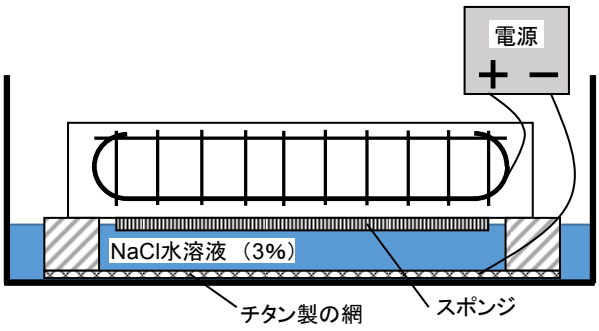

図-1　電食試験の状況

表-1　各供試体の条件

No.	腐食レベル	補修方法	補強繊維
1	A	-	-
2		M1	PE繊維
3	B	-	-
4		M1	PE繊維
5		M2	PE繊維
6		M3	PE繊維
7		M2	-
8		M2	RN繊維
9	C	-	-
10		M1	PE繊維
11		M2	PE繊維
12		M3	PE繊維
13		M2	-
14		M3	-
15		M3	RN繊維

２．３ 補修方法および補修材料

電食試験後，供試体の劣化部を手ばつりで除去し，湿式吹付け工法により補修した。その際，はつり量を下面より1cm程度の表面のみ（以下，M1），下面より2cm程度の主鉄筋まで（以下，M2），下面より4.5cm程度の主鉄筋裏側まで（以下，M3）の三水準とした。補修に使用した材料として，アクリル系ポリマーを混入したモルタルに，繊維長9mmのPE繊維および北海道根室市歯舞漁港所属の漁業者が使用していたナイロン製の漁網を長さ20mmの直線状に裁断したRN繊維を混入させた。各供試体の条件を**表-1**に示す。

キーワード　吹付け工法，補強短繊維，リサイクルナイロン繊維，エネルギー延性
連絡先　〒060-8628　北海道札幌市北区北13条西8丁目　北海道大学大学院　TEL011-706-6204

３．試験結果

３．１ 降伏荷重および最大荷重

各供試体の降伏荷重および最大荷重の結果を図-2 に示す。補修方法 M1 において，腐食レベルが高くなると残存した劣化部と補修部の間で剥離が生じたため荷重は減少したが，腐食レベルの低い段階では未補修の供試体と比較して荷重が増加し，小さいながらも補強効果を得られることがわかった。補修方法 M2 および M3 において，繊維なしで補修した供試体については，同じ腐食レベルで比較すると，未補修の供試体よりも小さな荷重を示す傾向にあった。一方で，PE 繊維を混入させ補修した供試体については，荷重は未補修の供試体よりも増加し，かつ，はつり深さに比例する傾向にあった。また，RN 繊維を混入させ補修した供試体についても，同様に荷重が増加し，RN 繊維は補強短繊維としての効果を発揮した。これは，短繊維を混入した補修部がひび割れを分散させ，大きな幅のひび割れとなるのを抑制し，破壊に至るまでに供試体がより大きな荷重に抵抗することが可能となったためであると考えられる。

３．２ エネルギー延性

試験により得られた荷重変位曲線下の面積を用いて式(1)でエネルギー延性 [3]を算出した。

$$D_E = \frac{S_u}{S_y} \quad (1)$$

ここで，

D_E : エネルギー延性，S_u : 最大荷重までの荷重変位曲線下の面積，S_y : 降伏荷重までの荷重変位曲線下の面積

求めたエネルギー延性を図-3 に示す。同じ腐食レベルの未補修の供試体と比較して，繊維なしで補修した供試体はエネルギー延性が増加したが，PE 繊維を混入させ補修した供試体はエネルギー延性が減少し，かつ，はつり深さに比例する傾向にあった。これは，PE 繊維を混入させることにより，補修部分の剛性が大きくなり，最大荷重に至るまで供試体に大きな変形が生じなかったためであると考える。一方で，RN 繊維を混入させ補修した供試体については，他の供試体と比較して，大幅にエネルギー延性が増加した。これは，PE 繊維を混入した時と異なり，十分な剛性が得られなかったが，変形に伴ってひび割れに架橋した短繊維が引抜けに抵抗し，補修部分がより大きなエネルギーを蓄えることが可能となったためであると考える。

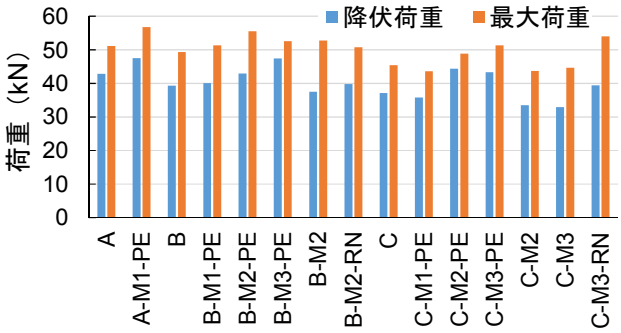

図-2 降伏荷重および最大荷重

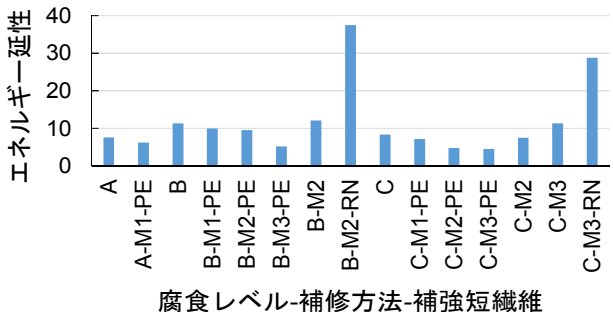

図-3 エネルギー延性

４．まとめ

補強短繊維の混入や補修方法の違いによる腐食した RC 梁への補強効果の差異について新たな知見を得た。本研究で使用した補強短繊維の種類による，最大荷重に至るまでの挙動の違いがわかった。この結果をふまえ，今後も補修材や補修方法による違いに加えて，補修後の再劣化への影響について検討を続ける予定である。

謝辞 : 本研究は科研費(26630208)の助成を受けたものである。なお，供試体作製にあたり，住友大阪セメント株式会社の山本誠氏のご助力をいただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1） 国枝稔 : 断面修復工法に関する動向と将来展望，コンクリート工学，Vol.48，No.5，pp.92-96，2010

2） 海野太貴，Shanya Orasutthikul，横田弘，橋本勝文 : 漁網利用したリサイクルナイロン繊維のモルタル補強材としての有効性，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp.1857-1862，2016

3） Thomsen, H. et al.: Failure Mode Analyses of Reinforced Concrete Beams Strengthened in Flexure with Externally Bonded Fiber-Reinforced Polymers. Journal of Composites for Construction 8(2), pp.123-131, 2004