



漁網繊維補強コンクリートの繊維形状管理に関する研究

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒冷沿岸域チーム ○長谷 一矢
室蘭開発建設部 苫小牧港湾事務所 計画課 本間 薫
港湾空港部 港湾建設課 設計係 水口 陽介

コンクリートの靱性強化に使用される繊維補強コンクリートについて、その繊維に廃棄漁網を活用する取り組みが現在進められている。廃棄漁網をある程度細かく裁断して漁網繊維を製作し、フレッシュコンクリートに練り混ぜるが、漁網繊維の分散性や練り混ぜ後のワーカビリティの観点で、漁網繊維形状の管理が重要な課題であることを本報告で示した。さらに、漁網の裁断方法の調整や漁網繊維のふるい分けにより、繊維形状を管理できる可能性を室内試験結果から示した。

キーワード：リサイクルナイロン繊維、廃棄漁網、品質管理、ふるい分け試験、裁断

1. はじめに

2015年9月の国連サミットで「持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択され、その中で17の国際目標を盛り込んだ「持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals：SDGs）」が掲げられた。日本政府は2016年12月にSDGs実施指針を策定し、SDGs達成のための8つの優先課題を公表している。その優先課題のひとつが「生物多様性、森林、海洋等の環境の保全」であり、2019年5月に「海洋プラスチックごみ対策アクションプラン¹⁾」が策定された。これを背景に、大量廃棄される漁網の利活用に関する取り組みが進められている^{例えは}。

北海道開発局港湾建設課・水産課においても、「持続可能」をキーワードとした北海道の港湾・漁港の目指す将来像「北海道の港湾・漁港の技術開発ビジョン²⁾」を策定しており、重点課題のひとつ「北海道沿岸域のカーボン・ニュートラルの推進と海域環境の保全」において「漁網等の混入によるコンクリートの靱性化技術」を具体的な開発技術課題として掲げている。これは、廃棄漁網を繊維補強コンクリートの繊維材料として活用する試みであり、これまで北海道大学において基礎研究⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾が行われてきた。この漁網繊維補強コンクリート(写真-1)を現地実装すべく、現在、北海道開発局苫小牧港湾事務所が、試験練りと強度試験等を進めている。

この試験練りを実施する過程で見えてきた課題のひとつが、漁網繊維形状の管理である。廃棄漁網をフレッシュコンクリートに練り混ぜるためには、ある程度細かく裁断する必要があるが、裁断後の漁網繊維形状は不均一

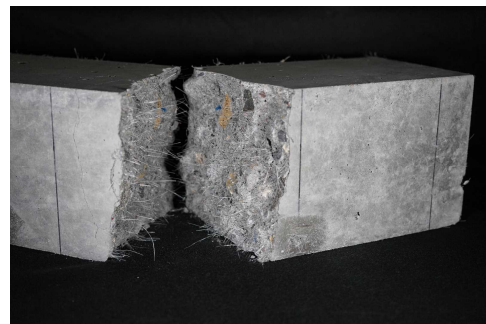


写真-1 漁網繊維補強コンクリート

であり、漁網繊維の分散性や練り混ぜ後のワーカビリティに大きく影響することが確認された。本報告は、現段階で調達可能な漁網繊維を用いた試験練りの結果から繊維形状管理の必要性を示すとともに、漁網の裁断方法の調整や漁網繊維のふるい分けによる繊維形状管理の可能性を、室内試験により探るものである。

2. 繊維形状管理の必要性

(1) 現段階で調達可能な漁網繊維の形状

前述した廃棄漁網の利活用に取り組む企業が北海道内にもあり、その企業の工場では道内各地からナイロン製の廃棄漁網を収集し、裁断、洗浄、ペレット化までを行っている。港湾や漁港の構造物に漁網繊維補強コンクリートを実装するためには大量の漁網繊維が必要となるため、工場での漁網繊維製作が現実的な方法のひとつであると考えられる。北海道開発局苫小牧港湾事務所で開催している試験練りと強度試験は、この工場における調達、

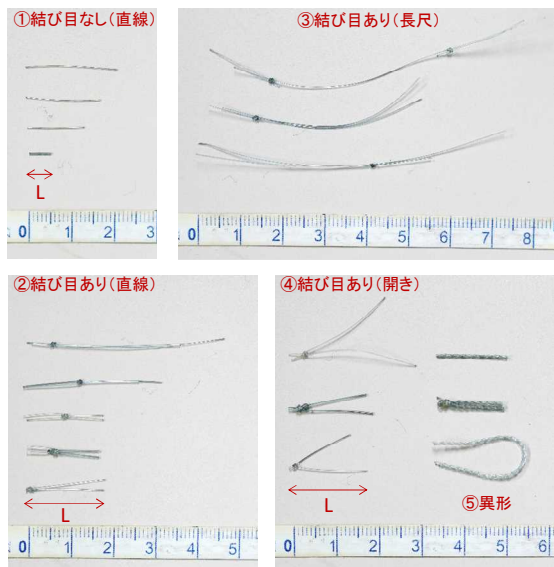


写真-2 工場で裁断された漁網繊維の代表的な形状

裁断、洗浄の工程を利用して製作した漁網繊維を使用している。この工場では一定の裁断間隔で駆動する1枚刃の切断部に、等速で廃棄漁網を通過させることで裁断しているとのことであった。1枚刃が駆動する裁断間隔を調節することにより漁網の裁断長が変化し、一度裁断した漁網を再度刃先に送ることで複数回裁断することも可能である。

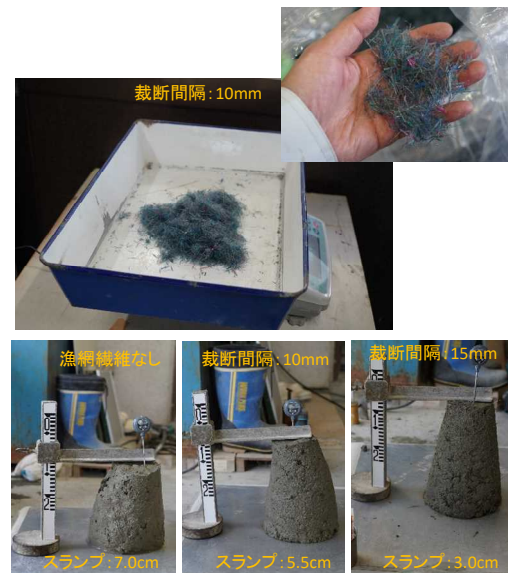
実際に工場で裁断された漁網繊維の代表的な形状を写真-2に示す。これは、裁断間隔15 mmで1回裁断した漁網繊維である。なお、このサンプルでは大部分の漁網が直径0.35 mm、結び目直径1.15 mmであった。格子状の漁網を1枚刃に通過させるため、裁断後の繊維長は刃先に対する漁網の入射角度により異なってくる。写真に示すとおり、①結び目のない直線的なもの、②結び目がある直線的なもの、③結び目があり長尺のもの、④結び目を起点に繊維が開いているもの、⑤異形のものがある。本数としては①②が大部分を占める傾向にあった。裁断間隔10 mm、40 mmでの裁断も実施しているが、繊維形状の種類は同様であった。

(2) 試験練りから見てきた課題

写真-3は試験練りにおけるフレッシュコンクリートの状態の一例である。試験練りでは裁断機の裁断間隔を10 mm、15 mm、40 mmに設定して製作した漁網繊維を使用した。(a)は裁断間隔40 mmで2回裁断した漁網繊維を室内ミキサーでフレッシュコンクリートに練り混ぜ、バットに広げた状況である。漁網繊維の大部分は練り混ぜできたものの、一部の漁網繊維が分離してしまう現象が見られた。これは、数十cmの極端に長尺の漁網繊維が含まれていたため、それを起点に他の長尺の漁網繊維と絡み合ったり、ミキサーの軸に巻きついたことが要因である。裁断間隔40 mmほどではないが、裁断間隔10 mmや15 mmでも同様の漁網繊維は存在しており、漁網繊維



(a) 一部の漁網繊維が混ざらずに残った状況



(b) 漁網繊維長とスランプの関係

写真-3 試験練りにおけるコンクリートの状態

の分散性の観点から数十cmの極端に長尺の漁網繊維を必ず取り除くことが課題としてあげられる。

(b)は裁断間隔10 mmと15 mmの設定で2回裁断を行い、極端に長尺の漁網を手作業で取り除いて試験練りしたフレッシュコンクリートのスランプ試験状況である。写真左が漁網繊維を混入していないコンクリートで、中央と右の写真が同じコンクリートに裁断間隔10 mm、15 mmの漁網を体積比2 %練り混ぜたものである。漁網繊維が混入するとスランプは低下し、その傾向は繊維長が長くなるほど強くなる。すなわち、漁網繊維の混入と繊維長がコンクリートのワーカビリティに影響している。繊維長の違いによるコンクリートの強度特性は別途試験中

であるが、少なくともワーカビリティの観点から漁網繊維長を管理することが課題としてあげられる。

3. 裁断方法の調整による繊維形状管理の可能性

(1) 概要

漁網繊維の繊維長は均一ではなくある分布をもつが、それは裁断機の裁断間隔と裁断回数に依存する。ここでは、前述した工場における裁断方法を参考に室内で漁網の裁断を模擬し、裁断間隔と裁断回数を条件とした漁網繊維長の分布を調べる試験を実施した。

(2) 試験方法

写真-4は漁網の裁断状況を示している。裁断した漁網の繊維長を全て計測することは困難であるため、四分法¹⁰⁾を準用して漁網繊維を縮分し、抽出した200本以上の漁網繊維長を計測した。写真-5は四分法による漁網抽出状況である。aのように漁網繊維をトレー内に均等に広げ、漁網繊維を少量ずつ摘み上げてトレー中央部でほぐしながら積み上げる。そして、円形に整えてbの状態を作る。a、bの作業は2回実施する。その後、bを4等分してcの状態とし、dのように対角の二つを取り除く。このa、b、c、dのサイクルを繰り返して漁網繊維を縮分した。なお、漁網繊維の大部分は、直径0.25 mm、結び目直径1.00 mmであった。抽出後は、写真-2に示す長さLを計測した。

(3) 試験結果と考察

図-1は裁断間隔と裁断回数を裁断条件とした漁網繊維長分布である。図の左列が裁断間隔15 mm、右列が裁断間隔40 mm、そして、それぞれ上段から裁断回数1回、2回、3回の結果を示している。横軸の繊維長区分は0～100 mmを5 mm間隔で区分し、100 mm以上は上限なく一区分としている。縦軸は漁網繊維の全体積に占める割合を示している。また、漁網繊維の結び目の有無についても色分けして示している。

裁断間隔15 mmと40 mm（左列と右列の図）を比べると、後者の方が長い繊維長の割合が多くなっており、特に繊維長100 mm以上の割合が非常に多いことは着目すべき点である。

裁断回数の増加（上段・中段・下段の図）による繊維長区分の分布の変化に着目すると、裁断回数を増すことで繊維長分布が短い方向へシフトしている。裁断間隔15 mmの場合は、2回以上の裁断で繊維長区分20 mm以下の割合が急激に増加する傾向にある。裁断間隔40 mmの場合は、分布の短い方向へのシフトが緩やかに進行する傾向にある。また、繊維長100 mm以上の繊維は、3回裁断しなければ割合が高いままとなっていることも着目す

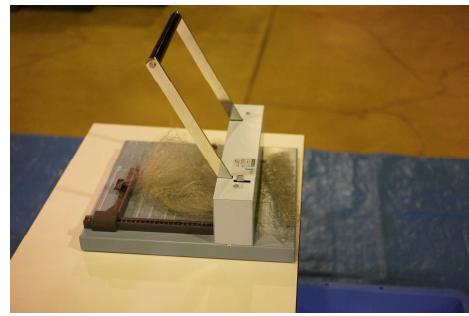


写真4 室内における漁網の裁断状況

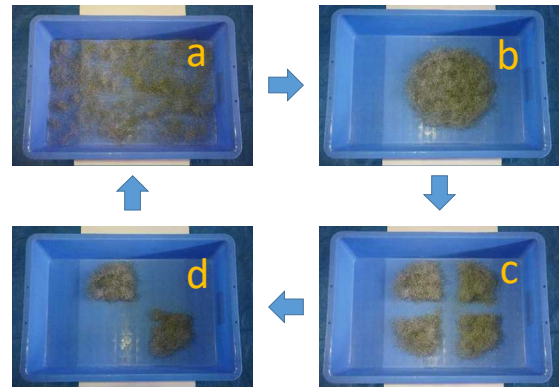


写真5 四分法による漁網繊維の抽出状況

べき点である。

結び目の有無（図の青と赤）の割合に着目すると、裁断間隔15 mm、40 mmのいずれも、分布が短い方向へシフトするほど結び目なしの割合が高くなる傾向にある。これは、裁断を繰り返しても結び目の絶対数は変化しないことと、結び目なしの漁網繊維は漁網の格子間隔以下の長さでしか生じ得ないことによる。また、図の右列下段と左列上段の分布が似ていることから、裁断間隔40 mmによる裁断をさらに繰り返すと、やがて裁断間隔15 mmの分布形状と同じ変化を辿るのではないかと考えられる。

以上の試験結果から、裁断間隔と裁断回数を変化させることで、漁網繊維長の分布をある程度管理できる可能性がある。本試験の条件は工場における裁断と全く同じではないが、仕上がる漁網繊維の傾向は同様であると考えられる。実際に使用する裁断機の特性を本試験のように把握することで、必要とする漁網繊維を効率よく得ることができると考えられる。

4. ふるい分けによる繊維形状管理の可能性

(1) 概要

前述した裁断方法の調整による漁網繊維の製作では、不必要な繊維長の漁網も含まれてしまう。特に、極端に長尺の漁網繊維は確実に取り除く必要がある。大量の漁網繊維を製作する場合、手作業による漁網繊維の選別は

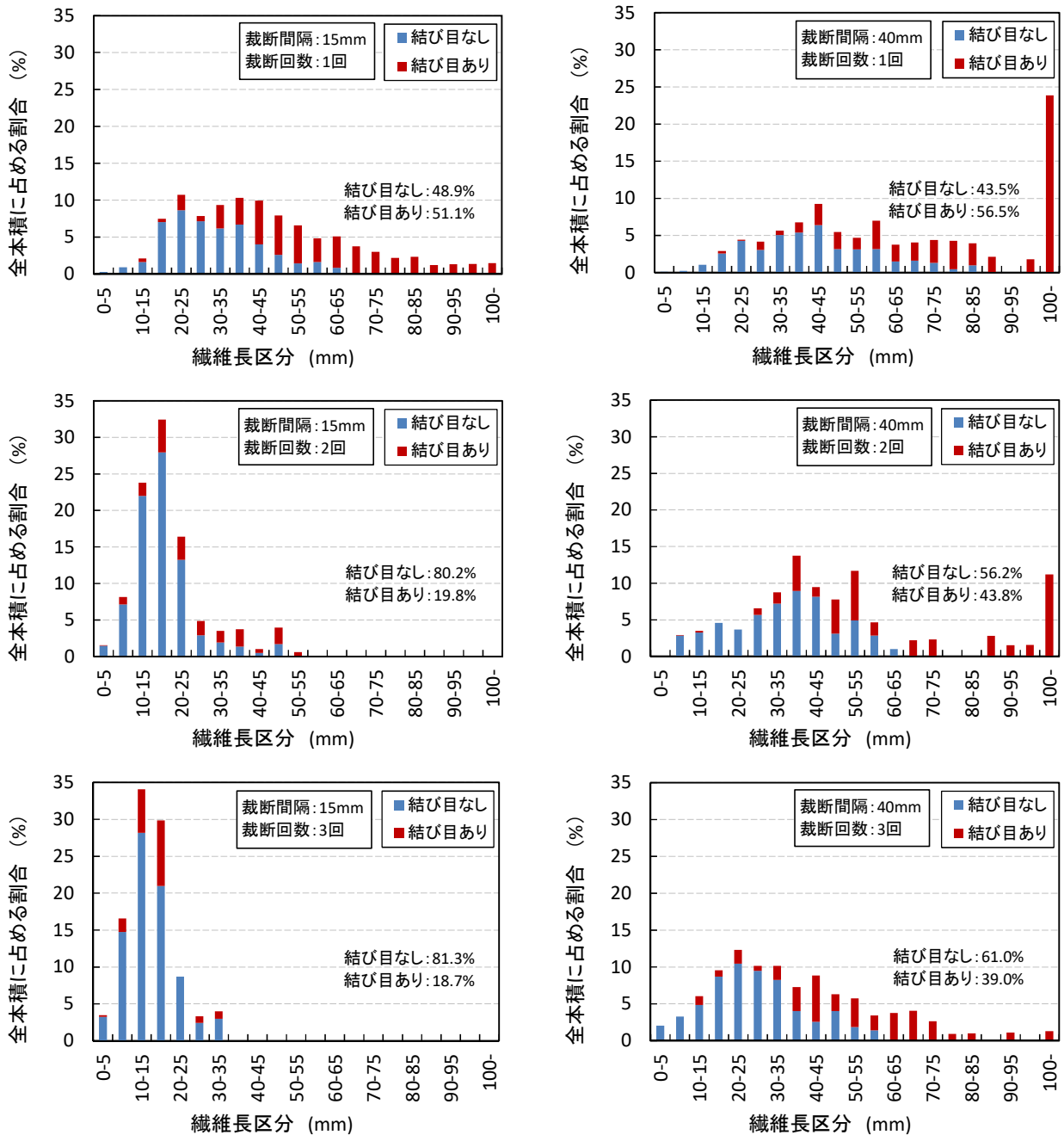


図-1 裁断間隔と裁断回数を裁断条件とした場合の漁網繊維長分布

非現実的であることから、機械的な方法で選別できることが望まれる。現段階で漁網繊維を選別できる工場は見当たらないため、将来的なふるい分け装置の開発を念頭に、既存のふるい試験機を利用して漁網繊維のふるい分け試験を実施した。

(2) 試験方法

写真-6は漁網繊維のふるい分け試験状況である。電動振とう機は水平方向に毎秒4回転の速さで楕円運動しつつ、毎秒1回の頻度でふるい上部を打撃して衝撃を与える構造となっている。電動振とう機には最下段の受け皿を除いて7段のふるいをセットできる。最上段(1段目)には極端に長尺の漁網を除去する目的で目開き38.1 mm



写真-6 漁網繊維のふるい分け試験状況

のふるいを用い、2~7段目には目開き4.75 mmと2 mmのふるいを3段ずつ用いた。目開き2 mmのふるいは結び目

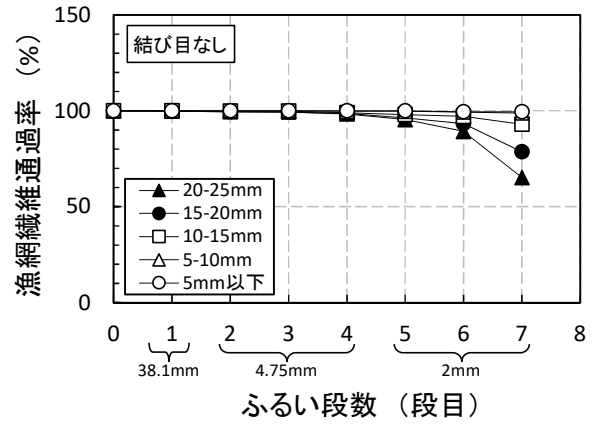
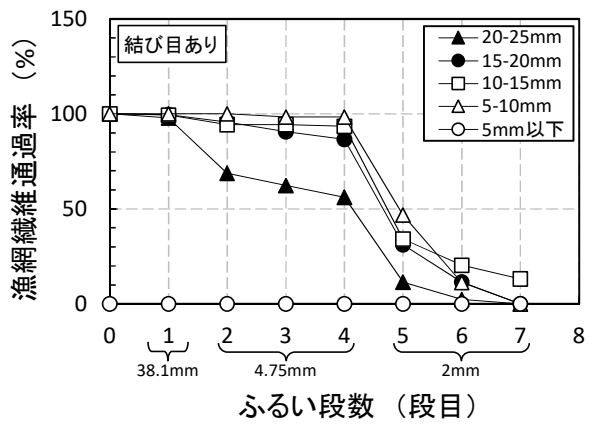
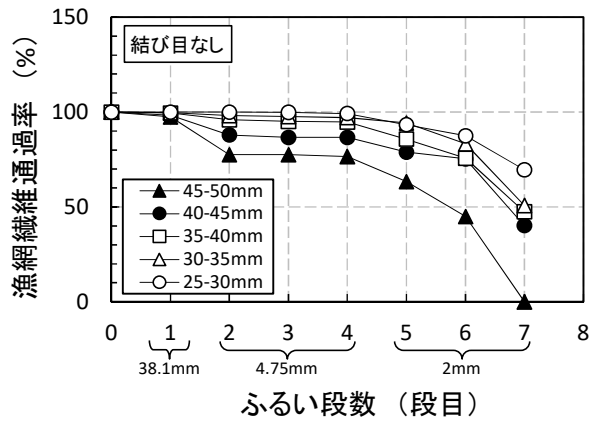
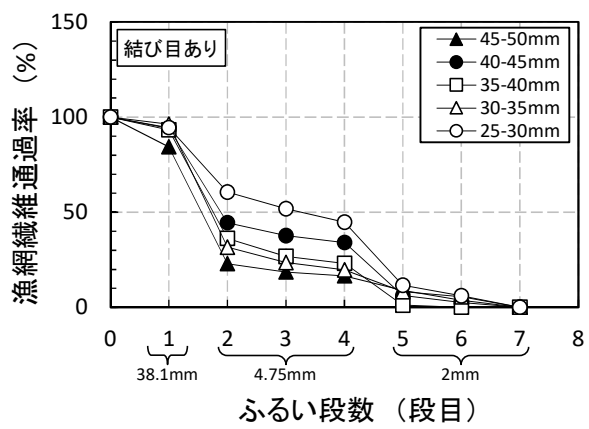
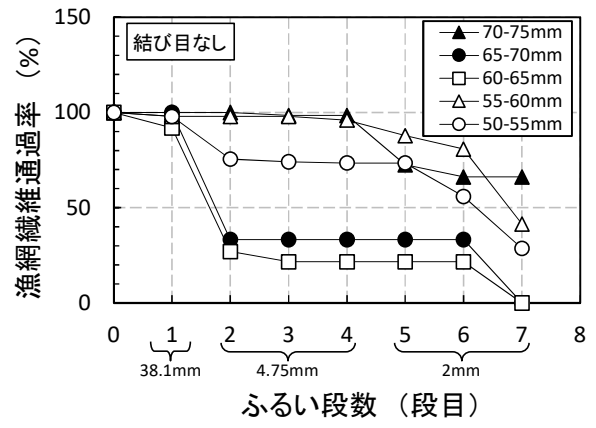
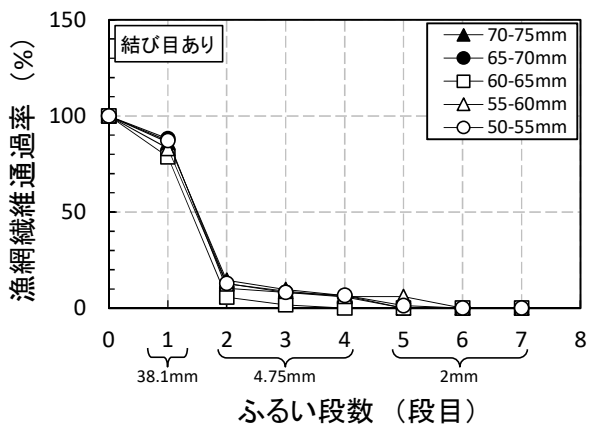
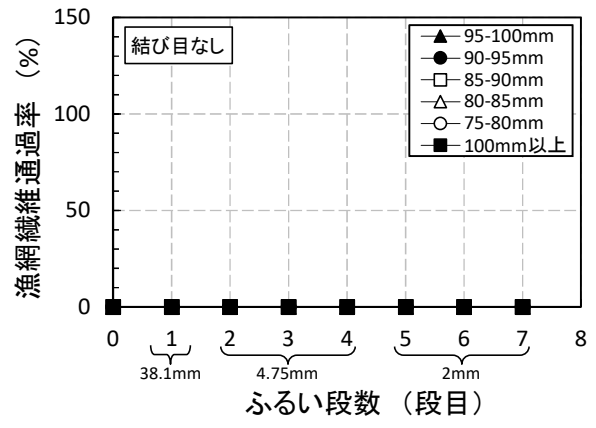
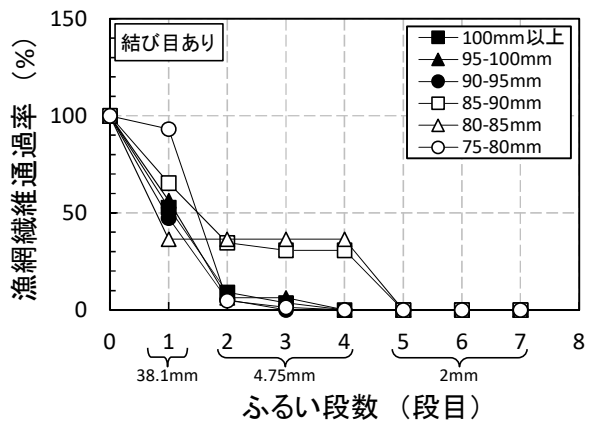


図-2 ふるい分け試験結果

ありの漁網繊維を分離する目的で採用した。同一規格のふるいを3段ずつ用いたのは漁網繊維を長さ別に選別する目的で採用した。ふるいの最上段に裁断間隔15 mm、裁断回数1回の漁網繊維を約60 g投入し、電動振とう機で120秒間ふるい分けし、各ふるいに残留した漁網繊維を回収した。回収後は3.(2)と同じ方法で漁網繊維長を計測した。

(3) 試験結果と考察

図-2にふるい分け試験の結果を示す。横軸はふるいの段数、縦軸は各ふるいを通過した漁網繊維の割合で3.(3)と同様に繊維長を区分し、漁網繊維通過率を求めた。図の左列と右列は漁網繊維の結び目あり・なしで、図の上段から下段に向かって繊維長区分が短くなっていく。

まず、結び目あり（図の左列）の結果に着目する。最上段の図を見ると、繊維長80 mm以上が1段目のふるい（目開き38.1 mm）を通過した割合は50 %前後、2段目のふるい（目開き4.75 mm）を通過した割合は10 %以下となっており、長尺の漁網繊維はこの辺りでおおむね取り除くことができる。また、図には示されていないが、この時数十cmの極端に長尺の漁網繊維は全て目開き38.1 mmのふるいに残留していた。順に繊維長区分毎に結果を見ていくと、繊維長20 mm以上の結び目がある漁網繊維は5、6、7段目のふるい（目開き2 mm）をほとんど通過できていない。結び目ありとなしの漁網繊維は目開き2 mmのふるいでおおむね分離することができる。

次に結び目なし（図の右列）の結果に着目する。最上段の図が0を示しているのは、結び目のない75 mm以上の漁網繊維が存在しないためである。順に試験結果を見ていくと、結び目なしはありに比べてふるいを通過しやすく、最終的に8段目の受け皿に到達する繊維も多い。5、6、7段目の目開き2 mmふるいに着目すると、繊維長が長くなるに従ってふるいの通過に時間を要する傾向にある。この傾向を利用することにより、繊維を長さ別に選別できる可能性があると考えられる。

以上の試験結果から、ふるい分けにより、①極端に長尺の漁網の除去、②結び目あり・なし繊維の分離が可能であり、③繊維を長さ別に選別できる可能性があることがわかった。

5. まとめ

本報告は、漁網繊維補強コンクリートの繊維形状管理を目的として、漁網の裁断方法の調整やふるい分けによる繊維形状管理の可能性を室内試験により探ったものである。以下に結論を述べる。

(1) フレッシュコンクリートへの漁網繊維の練り混ぜにおいて、数十cmの極端に長尺の漁網繊維は分

離してしまう。したがって、漁網繊維の分散性の観点から、練り混ぜ前に必ず取り除くことが課題としてあげられる。

- (2) フレッシュコンクリートに漁網繊維が混入するとスランプは低下し、その傾向は繊維長が長くなるほど強くなる。ワーカビリティの観点から漁網繊維長を管理することが課題としてあげられる。
- (3) 漁網の裁断間隔と裁断回数を変化させることで、漁網繊維長の分布をある程度管理できる可能性がある。
- (4) 漁網繊維のふるい分けにより、極端に長尺の漁網繊維の除去と結び目あり・なしの分離が可能であり、繊維を長さ別に選別できる可能性がある。

今後、漁網繊維の選別に特化したふるい分け装置の開発を進めるとともに、現地実装可能な繊維形状管理の方法を構築したいと考えている。

謝辞：(株)鈴木商会 菅原道紀氏、熊谷知哉氏には、漁網繊維の製作にあたりご協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1)環境省：海洋プラスチックごみ対策アクションプラン、
<https://www.env.go.jp/content/900513728.pdf> (2023年1月13日確認)
- 2)水産庁：令和2年度農林水産分野における持続可能なプラスチック利用対策事業（漁業における海洋プラスチックごみ問題対策事業のうちリサイクルしやすい漁具の検討）報告書、
https://www.jfa.maff.go.jp/sigen/action_sengen/attach/pdf/190418-26.pdf (2023年1月13日確認)
- 3)国土交通省北海道開発局 Web：https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kk/kou_ken/ud49g7000000jypy.html (2023年1月13日確認)
- 4)海野太貴・Shanya Orasutthikul・横田弘・橋本勝文：漁網を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.
- 5)海野太貴・横田弘・Shanya Orasutthikul・上松瀬慈：混入条件の違いによるリサイクルナイロン繊維のモルタル補強効果に関する検討、土木学会第71回年次学術講演会, V-256, 2016.
- 6)海野太貴・横田弘：リサイクルナイロン繊維のモルタル補強効果に関する検討、土木学会北海道支部論文報告集 第74号, E-08, 2018.
- 7)松浦悠・横田弘：リサイクルナイロン短繊維補強モルタルの力学性能評価、土木学会第74回年次学術講演会, V-55, 2019.
- 8)山口駿・横田弘：様々な形状を有するリサイクルナイロン繊維で補強したモルタルの力学性能、土木学会第74回年次学術講演会, V-536, 2019.
- 9)松浦悠・横田弘：リサイクルナイロン短繊維補強モルタルの耐凍害性評価、土木学会北海道支部論文報告集, 第76号, E-18, 2020.
- 10)日本産業規格：試験に用いる骨材の縮分方法 (JIS A 1158:2020)