

論文 化学系繊維ネットを用いた RC 梁のせん断抵抗に関する実験的研究

福島 誉央^{*1}・石丸 啓輔^{*2}・橋本 親典^{*3}・渡辺 健^{*4}

要旨: かぶりコンクリートの第三者影響度とせん断補強の高密度配筋の抑制を目的とし、魚網の材料である化学系繊維ネットをせん断補強鉄筋の代替材料としての適用性について、2点集中 RC 単純梁の単調曲げ載荷試験を行った。主たる実験パラメータは、せん断補強の有無と、ネットの量と種類である。6体の RC 試験体による実験の結果、ネットを用いた場合、破壊モードを曲げ降伏後のせん断破壊に移行できなかったが、ひび割れ面に存在するネットの密度を高めることでひび割れ面でのせん断伝達力を保持させ大きいじん性を付与できた。また、伸縮性に富むネットを用いることで除荷後にひび割れ幅が閉じ変位が減少した。

キーワード: 化学系繊維ネット, 第三者影響度, せん断伝達, かぶり, じん性能力

1. はじめに

土木学会コンクリート委員会が制定した示方書〔維持管理編〕では、構造物の機能より必要となる要求性能を、安全性能、使用性能、第三者影響度に関する性能、美観・景観および耐久性能の5つに分類している¹⁾。この5性能のうち、土木構造物、建築構造物に関係なく、これまであまり検討がなされていない性能として、第三者影響度に関する性能がある。

この性能は、高速道路高架橋床板のかぶりコンクリートの落下や、山陽新幹線福岡トンネルの覆工コンクリートのはく落が社会的関心事となり、コンクリートの安全神話が大きく揺らぐ契機となった事故に起因している。よって、「第三者影響度」とは、構造物からはく落したコンクリートなどの器物および人に与える障害などへの影響度合いとして定義されている。

第三者影響度が要求性能の1つとして検討しなければならない RC 構造の部位は、かぶりコンクリートである。もちろん、かぶりコンクリートにひび割れが発生せず、コンクリート内部の鉄筋が腐食しなければ、かぶりコンクリートが

はく落することはない。しかしながら、時間の経過と共に、かぶりコンクリートは中性化の影響を受け、かぶり周辺の鉄筋は腐食しやすい環境下になる。すべてのかぶりコンクリートのひび割れが発生しないことはいえず、いったんひび割れが発生すると、水分・塩分の進入により腐食の可能性が大きくなる。したがって、かぶりコンクリートの第三者影響度を小さくするためには、構造細目の1つとして、かぶりコンクリートのはく落を防止する方策を検討する必要がある。

一方、耐久性能の観点から、かぶり厚さが増加する傾向にあり、はく落するコンクリート塊は大きくなる。さらに、阪神淡路大震災以降の耐震設計の見直しにより、せん断補強筋の高密度化は、かぶりコンクリートの確実な充てんという施工をより困難にしている。

かぶりコンクリートのはく落を防止するためには、コンクリート自体のひび割れ抵抗性を大きくすることである。トンネルの2次覆工コンクリートのはく落防止策の1つとして、繊維補強コンクリートが適用されている。しかしなが

*1 徳島大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)

*2 徳島大学 工学部建設工学科 技術職員 (正会員)

*3 徳島大学 工学部建設工学科教授 工博 (正会員)

*4 徳島大学 工学部建設工学科助手 博士 (工学) (正会員)

ら、コンクリートに短繊維を混入すると、スランプが小さくなり締固めが困難となり、高流動化が求められ、ますますコストの高いコンクリートになってしまう。

本研究の最終目的は、短繊維や高流動等の技術を用いることなく、水産業で用いられている安価で腐食しない‘魚網’である化学系繊維ネット（以後、ネットと称す）をかぶりコンクリート周辺に設置することにより、かぶりコンクリートのひび割れ抵抗性の増大を図る技術の確立である。

これまでの著者らの研究²⁾により、円柱型枠の内側にネットを筒状に設置し、そのネットの内側からコンクリートを充填し作製したコンクリート供試体を用いた圧縮試験を実施し、良好な施工性およびかぶりコンクリートのひび割れ性能の向上を確認した。

本研究では、構造部材のかぶりコンクリートのひび割れ抵抗性能の向上とせん断補強筋の高密度化を防ぐ可能性を検討するために、ネットのせん断補強材の代替材料として力学的性能、特にじん性能力について実験的検討を行った。

2. 化学系繊維ネットのせん断補強材としての有効性の検討

2.1 実験概要

(1) 使用した化学系繊維ネット

本実験で用いたネットは、コンクリート内部に設置することから、耐アルカリ性でかぶり部分へのコンクリートの充てん性を考慮して、表-1に示す特徴を有する、網目一辺の大きさが

表-1 ポリエチレンの特徴

メリット	比重:0.94~0.96
	吸水性が低く、濡れても強度・柔軟性は変化しない
	入手が容易で安価
	耐寒性に優れ、-40℃でも強度・柔軟性は変化無し
	摩擦に強く剛性が大きい
デメリット	酸・アルカリ抵抗性が高い
	海水による収縮が大きい
	耐熱性が低く、110℃程度で柔らかくなり130℃程度で溶けだす

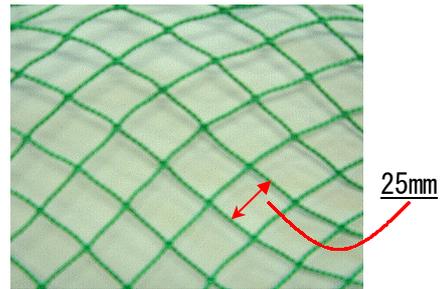


写真-1 ポリエチレン製ネット

25mmのポリエチレン製ネットを採用した。写真-1にポリエチレン製ネットの外観を示す。また、ネット一本（繊維数本の集合体）の破断強度は約6Nであるが、ネットとしての強度は試験方法が確立されておらず不明確である。

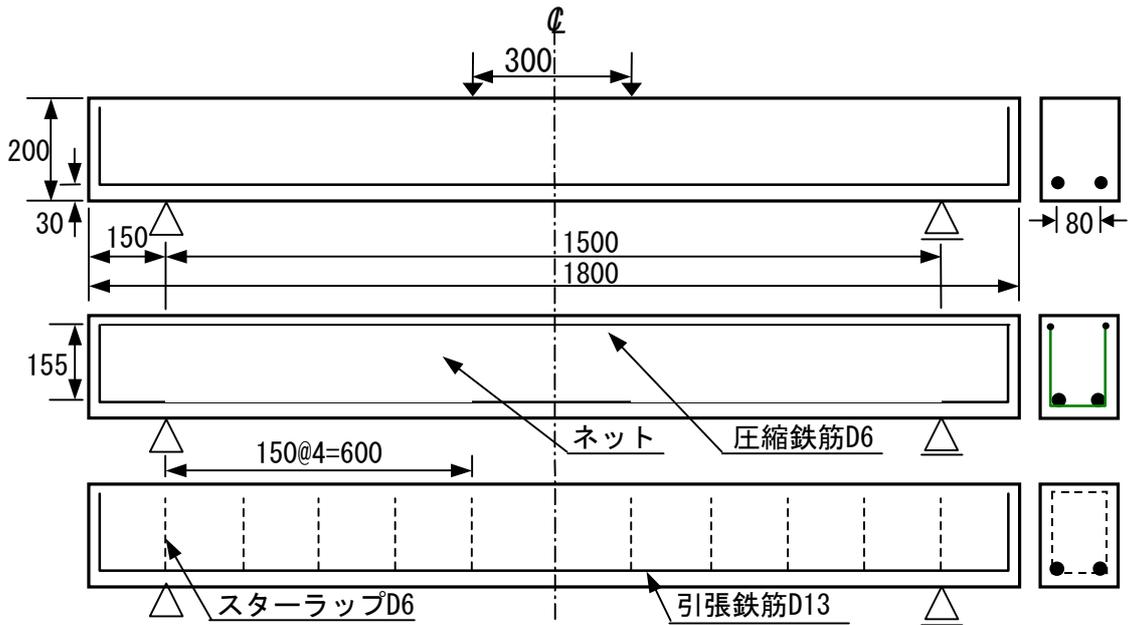
(2) 試験体

試験体の形状寸法を図-1に示す。本実験では、比較検討用として、主筋のみの無補強、スターラップを配置、スターラップの代わりにネットを配置したものの3体を作成した。試験体は、高さ200mm、幅100mm、長さ1800mmのRC梁を作製した。RC梁には軸方向鉄筋として、引張側にSD295A-D13をそれぞれ2本ずつ配置した。また、せん断補強用鉄筋としてSD295A-D6を、せん断スパンはピッチ150mmで配置し、等曲げモーメント区間内はせん断スパンと同様のピッチで配置するとRC梁中央となるため配置しないこととした。

また、使用するネットはせん断補強用鉄筋を配置した範囲と同様の位置に配置することとし、しっかり定着させるために圧縮軸方向鉄筋SD295A-D6を2本配置した。ネットは、1枚ものを、4本の軸方向鉄筋を巻くように配置した。ネットの配置状況を写真-2に示す。



写真-2 化学系繊維ネットの配置状況



図－1 試験体の形状寸法および荷重方法

表－2 示方配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ の範囲 (cm)	空気量の 範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (Kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AE剤
20	12±2	6±1	65	47.2	183	282	822	902	0.71

コンクリートの示方配合を表－2に示す。コンクリートの設計基準強度は21N/mm²を目標とし、2軸強制練りミキサを用い作製した。

試験体は、コンクリートを型枠内に打ち込み、24時間後に脱型し、その後28日間の湿布養生を行った。なお、荷重試験時における部材コンクリートの圧縮強度は25.0～29.8 N/mm²であった。

(3) 荷重試験方法

荷重試験方法は、荷重点間300mm、支点間1500mmの2点集中荷重とした。荷重方式は、荷重制御とし、荷重荷重が10kN毎にいったん荷重を保持し、曲げおよび斜めひび割れの発生状況等の記録を行った。最大荷重に至った後は、試験体が破壊するまで荷重を行った。

所定の荷重に達した時点で主鉄筋および試験体側面の引張鉄筋位置と圧縮鉄筋位置のひずみ、試験体中央部のたわみの計測を行った。

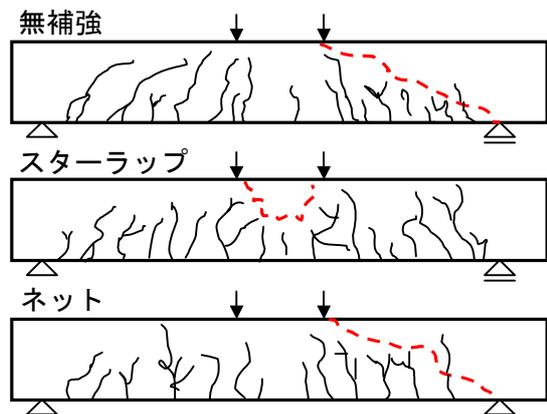
2.2 実験結果

(1) 破壊状況

破壊後の各試験体側面のひび割れ状況を図－

2に示す。曲げひび割れ発生荷重および斜めひび割れ発生荷重は、各試験体とも10kNおよび30kN程度でほとんど差は見られなかった。

スターラップを配置した試験体は、曲げひび割れが圧縮縁に向かって進展し、引張鉄筋が降伏に至った後、圧縮側コンクリートが圧壊する曲げ引張破壊であった。無補強およびネットを配置した試験体は、曲げひび割れの進展とともに、せん断スパンに発生した曲げひび割れが斜



図－2 ひび割れ発生状況図

めひび割れとなって進展した。斜めひび割れ発生後、等曲げモーメント区間内の曲げひび割れはあまり進展せず、斜めひび割れが荷点に向かって伸び、圧縮側コンクリートが圧壊する前に斜めひび割れが卓越して破壊するせん断破壊であった。

無補強の試験体は、最大荷重に至った直後、急激に荷重は低下し、さらに斜めひび割れ幅が著しく増大し脆性的な破壊となった。これに対して、ネットを配置した試験体は、最大荷重に至った後、比較的緩やかに荷重は低下し、斜めひび割れ幅の増大も無補強の試験体ほど大きいものではなかった。以上の事実は目視観察によるものであるが、無補強とネットを配置した試験体では、破壊挙動に明らかな違いが見られた。

なお、実験終了後のせん断ひび割れ周辺のネットは、コンクリートとしっかり定着しており、第三者影響度に対するひび割れ抵抗性は、せん断補強鉄筋試験体以上であると思われる。

(2) 最大荷重、主筋のひずみおよびたわみ

各試験体の最大荷重および主筋のひずみを図-3、試験体中央部のたわみと荷重の関係を図-4に示す。

スターラップを配置した試験体とネットを配置した試験体を比較してみると、最大荷重では5kN程度、主筋のひずみでは10倍以上の差が見られ、ネットを配置した試験体については主筋の降伏まで至らなかった。また、試験体中央部のたわみを見みると、スターラップを配置した試験体はせん断補強されているため曲げ引張破壊モードに移行するが、ネット補強試験体は最大荷重および主筋のひずみとも無補強の試験体

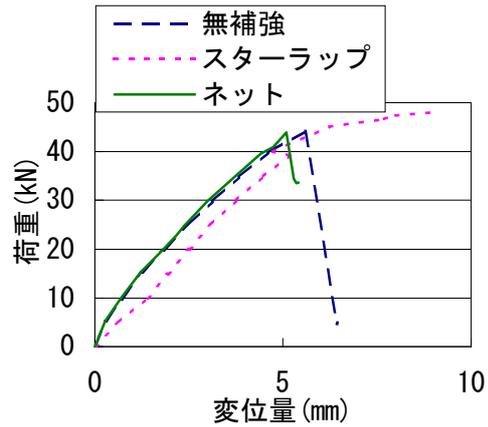


図-4 試験体中央部のたわみ

と同程度であり、せん断破壊モードのままであった。本試験体で用いたネットは、せん断補強材として斜めひび割れの進展を防ぎせん断破壊を抑制する効果は得られなかった。試験体中央部のたわみでは、ネットを配置した試験体のほうが若干小さく、変形能力の点においても、せん断補強鉄筋に代替する材料とは言い難い。

しかしながら、ネットを配置した試験体では、最大荷重に至った後に、斜めひび割れ幅の拡大によって、ひび割れ面に存在する目視可能となったネットが緊張し数箇所破断しており、引張力が作用していることが確認された(写真-3)。一方、ネット一本の破断強度は約6Nであり、ひび割れ面に存在するネットの本数は約60本である。したがって、ネットが負担できる引張力は最大でも360N程度で最大せん断力20kNに比べ極めて小さい。よって、ネット自体がスターラップのような働きをしているとは考えられない。むしろ、複数のネットの網目がひび割れ幅の増

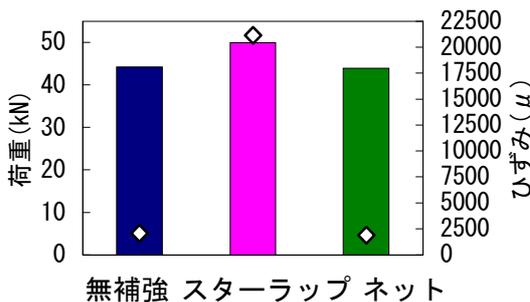


図-3 最大荷重および主筋のひずみ



写真-3 斜めひび割れ周辺のネットの定着状況

大を抑えることで、コンクリートのひび割れ面でのせん断伝達力を保持する機構が存在すると考えられる。

3. 化学系繊維ネットの量と種類の違いがじん性能力に与える影響について

3.1 実験概要

試験体の形状寸法，示方配合，載荷方法は 2 章で述べた方法と同様である。ただし，せん断補強鉄筋を有する試験体は作製していない。

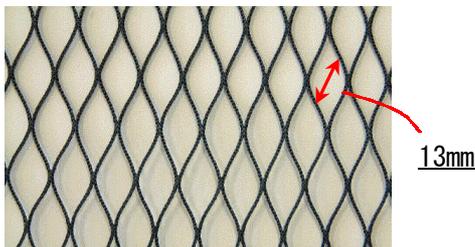


写真-4 テトロンラッセル製ネット

表-3 テトロンラッセルの特徴

メリット	酸・アルカリ抵抗性が高い
	耐熱性に優れ、240℃程度で柔らかくなり250℃以上で溶け出す

ポリエチレン製のネットは本数を増やすため、軸方向鉄筋に 2 重巻きとした。また，じん性付与効果を高めるため，ポリエチレン製ネットより網目が小さくかつ，ネット自体が伸縮を復元する能力を持つテトロンラッセル製のネットを 1 重巻きで配置した。テトロンラッセル製ネットを写真-4 に，特徴を表-3 に示す。また，目の大きさは一辺が 13mm のネットを使用した。粗骨材の最大粒径が 20mm であり，かぶりの外側にコンクリートを投入し，丁寧に締固めを行った。なお，載荷試験時における部材コンクリートの圧縮強度は 25.9~28.4 N/mm² であった。

3.2 実験結果

(1) 破壊状況

破壊後の各試験体側面のひび割れ状況を図-5 に示す。全ての試験体において，曲げひび割れ発生後，曲げひび割れの進展と共に，せん断スパンに発生した曲げひび割れが斜めひび割れとなり進展した。これは，2 章と同じ挙動を示し，

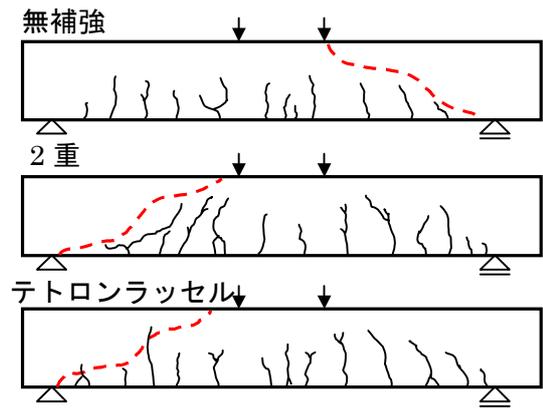


図-5 ひび割れ発生状況図

曲げひび割れ発生荷重および斜めひび割れ発生荷重は，各試験体とも 10kN および 30kN 程度で，これも 2 章の試験結果と同程度であった。

破壊モードは，各試験体ともせん断破壊であった。無補強の試験体は最大荷重に至った直後に破壊が起こり脆性的な破壊であったが，ネットを配置した 2 体の試験体は，徐々に低下し脆性的な破壊にはならなかった。ネットを 2 重に配置した試験体のせん断ひび割れ幅の増大は非常に緩やかであった。テトロンラッセル製ネットを配置した試験体は，斜めひび割れ幅の増大は 2 重に配置した試験体ほど緩やかではなかったが，除荷するとともにせん断ひび割れ幅が 1cm 程度閉じた。

なお，実験終了後のネットを配置した試験体のせん断ひび割れ周辺を観察すると，両試験体ともにコンクリートがかぶりまで十分に充填されており，施工性に問題はなかった。

(2) 最大荷重，主筋のひずみおよびたわみ

各試験体の最大荷重および主筋のひずみを図-6，試験体中央部のたわみと荷重の関係を図-7 に示す。最大荷重を比較すると，ネットを配置した試験体が無補強の試験体を多少上回る結果となった。主筋のひずみについても同様の傾向を示している。

試験体中央のたわみに関しては，同一荷重におけるたわみが大きく異なる。この差はひび割れ面に存在するネットの本数に依存していると考えられ，せん断ひび割れ幅の増大を抑制したことでせん断伝達力を保持したためと考えられ

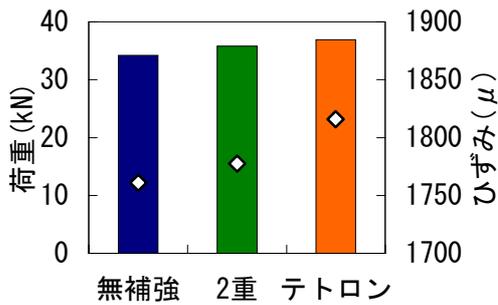


図-6 最大荷重と主筋のひずみ

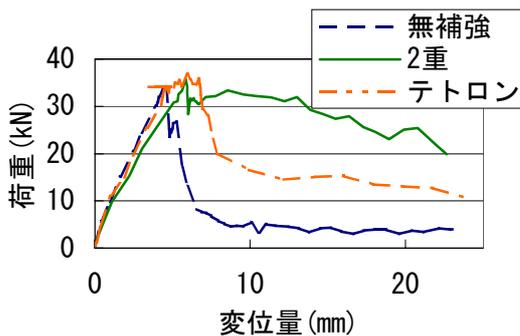


図-7 試験体中央部のたわみ

る。また、最大荷重に至った後の荷重軟化域での挙動は、無補強の試験体は著しく低下したが、テトロンラッセル製ネットを配置した試験体はしばらく緩やかに低下、その後急激に低下した。また、2重巻きにした試験体は最も耐力を保持したまま変形し緩やかに耐力が低下するという傾向を示した。

斜めひび割れの発生面に存在するネットの本数を増やす、つまり密度を高めることにより、ひび割れ面でのせん断伝達力を保持させ、じん性を付与させることができると考えられる。また、最大耐力以降のじん性は、使用するネットの量や種類に依存すると考えられる。

写真-5にひび割れ幅が閉じた状況を示す。実線が除荷前で破線が除荷後のひび割れ幅を示す。2重巻きの試験体はほとんど変化が無いのに

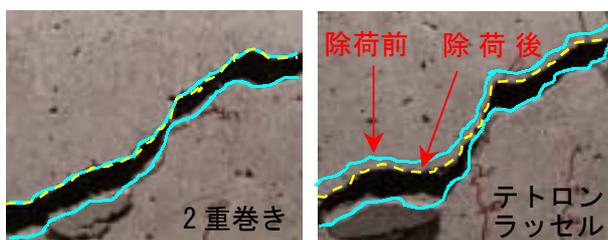


写真-5 除荷後にひび割れ幅が閉じた状況

対しテトロンラッセル製ネットを配置した試験体は約1cm程度ひび割れが閉じ、これはネットの復元力によるものと考えられる。ネットの伸びがポリエチレン製のネットより大きいためにひび割れ面でのせん断伝達力を負担する効果が低くなったと考えられる。

4. まとめ

水産業で用いられている魚網の材料である化学系繊維ネットをせん断補強鉄筋の代替材料としての適用性を検討するために、単純支持の2点集中RC試験体の曲げ載荷試験を行った。本実験の範囲内で、以下のことが明らかになった。

- (1) 化学系繊維ネットをせん断補強材として、RC梁に配置した場合、引張鉄筋は降伏せず、せん断耐力が増加する補強効果は得られない。
- (2) ひび割れ面に存在する化学系繊維ネットの密度を高めることで、最大荷重に至った後の挙動が、無補強の試験体とは異なり、ひび割れ面でのせん断伝達力を保持し、大きなじん性を確保することができる。
- (3) 伸縮性の化学系繊維ネットを用いることで、除荷後にせん断ひび割れ幅が閉じ、変位を減少させることが可能である。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会編：2章 構造物の要求性能，2001年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，pp.6～8，土木学会，2001.1
- 2) 新居史郎，原田貴典，渡辺健，橋本親典：魚網を利用した覆工コンクリート剥落防止技術に関する基礎的研究，平成16年度土木学会四国支部第10回技術研究発表会講演概要集，pp.288-289，2004.5

謝辞

本研究の遂行にあたり、化学系繊維ネットを三友漁網(有)の田中秀典氏から提供して頂きました。付記し深く感謝の意を表します。