

# 論文 化学系繊維ネットをスターラップ代替として用いた RC 梁のせん断補強効果に関する実験的研究

福島 誉央<sup>\*1</sup>・Nhar Heng<sup>\*2</sup>・橋本 親典<sup>\*3</sup>・石丸 啓輔<sup>\*4</sup>

**要旨:**せん断補強鉄筋の高密度配筋とかぶりコンクリートの第三者影響度の抑制を目的とし、ネット格子の間隔と径が異なる 9 種類の化学系繊維ネットをスターラップ代替として RC 梁に適用し、2 点集中曲げ載荷試験を行い、せん断補強効果を検討した。その結果、せん断破壊先行型から曲げ降伏後のせん断破壊型へ破壊形式を移行させることができるせん断補強効果を保有するネットの存在を明らかにした。また、ネット単体の引張試験を行い、実せん断耐力とネット保有せん断耐力の関係を調べることで、スターラップと同等のせん断補強効果を得られるネット保有せん断耐力を導いた。

**キーワード:**化学系繊維ネット, せん断補強, ネット格子数, かぶり

## 1. はじめに

筆者らはこれまでに、短繊維や高流動等の技術を用いることなく、水産業界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り、かぶりコンクリートの第三者影響度とせん断補強筋の高密度化の抑制の可能性を追及してきた<sup>1)2)</sup>。

その結果、ネットを RC 梁試験体内部に配置することで、荷重の軟化を緩和し大きなじん性能を確保することを確認した。また、ネットの種類によって、除荷後に斜めひび割れ幅が閉じ変位が減少する効果が見られたことや、ひび割れ面に存在するネットの量を増やすことでより大きなじん性能を確保することが確認された。しかしながら、せん断破壊先行型の梁試験体を曲げ引張破壊型に移行するまでのせん断耐力の補強効果を得るまでは至らなかった。

本研究では、ネット格子の間隔と径の 2 つを主パラメータとし、せん断補強効果の有無およ

び効果の程度の違いを検討するために、9 種類のネットを RC 梁試験体のスターラップの代替として挿入し、2 点集中曲げ載荷試験を行った。

## 2. 化学系繊維ネットのせん断補強材への適用可能性の検討

### 2.1 実験概要

#### (1) 使用した化学系繊維ネット

化学系繊維ネットとは、数本の化学繊維を縫って線状にし、それをさらに格子状に組んだものである。本実験で用いたネットを表-1 に示す。使用するネットの素材はポリエチレン、ポリエステル、ナイロンの 3 種類とし、それぞれ格子

表-1 使用した化学系繊維ネット

名称	素材	格子間隔 (mm)	径 (mm)
PE-23.0×2.0	ポリ エチレン	23.0	2.0
PE-30.0×2.8		30.0	2.8
PE-37.0×3.4		37.0	3.4
PE-37.5×3.9		37.5	3.9
PE-37.5×4.0		37.5	4.0
PE-37.5×4.6		37.5	4.6
pe-14.0×2.0	ポリ エステル	14.0	2.0
pe-25.0×2.0	25.0	2.0	
N-43.0×4.6	ナイロン	43.0	4.6

\*1 阪神高速道路株式会社 修士 (工学) (正会員)

\*2 徳島大学大学院 マクロ制御工学専攻 (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 技術職員 (正会員)



(ポリエチレン)



(ポリエステル)



(ナイロン)

写真-1 化学系繊維ネット

間隔と径が異なる。表中の名称は、〔素材名-格子間隔×径〕と表記をし、ポリエチレン：PE、ポリエステル：pe、ナイロン：Nとした。

使用したネットの一例として、外観を写真-1に示す。

## (2) 試験体

試験体の形状寸法を図-1に示す。本実験では、主筋のみでスターラップを配置しないもの、スターラップを配置したもの、スターラップの代わりにネットを配置したもの（以後、無補強試験体、スターラップ試験体、ネット試験体と称す）の3種類の試験体を作成した。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（降伏点 $351\text{N/mm}^2$ 、弾性係数 $2.04 \times 10^5 \text{ kN/mm}^2$ ）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、せん断スパン区間内はピッチ150mmで配置した。

また、使用するネットはスターラップを配置した範囲と同様の位置に配置し、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、せん断スパン毎に1枚ものとし、圧縮鉄筋でネットの上端を固定した。

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 $21\text{N/mm}^2$ を目標とし、2軸強制練りミキサを用い製造した。

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、その後湿布養生を行った。所定の強度に達した時点で養生終了とし、直ちに載荷試験を行った。

## (3) 載荷試験方法

載荷試験方法は、載荷点間300mm、支点間1500mmの2点集中載荷とした。載荷方式は、荷重制御とし、所定の荷重に達した時点で引張鉄筋および試験体側面の引張鉄筋位置および圧縮

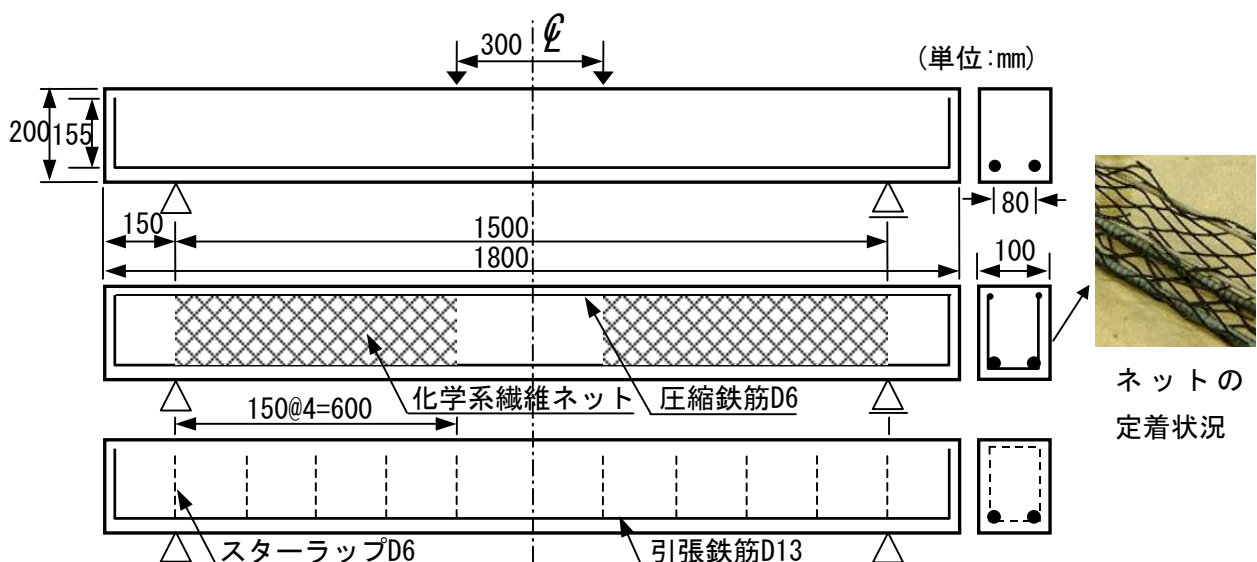


図-1 試験体の形状寸法および載荷方法

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 <sup>3</sup> )				
					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

鉄筋位置のひずみ、試験体中央部のたわみの計測を行うと共に、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追跡を行った。最大荷重に至った後は、試験体が破壊するまで載荷を行った。

## 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。図中の破線は、ひび割れ幅が最も発達し弱点となった部分を示す。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35kN程度でほとんど差は見られなかった。

各試験体について同様な破壊となった。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

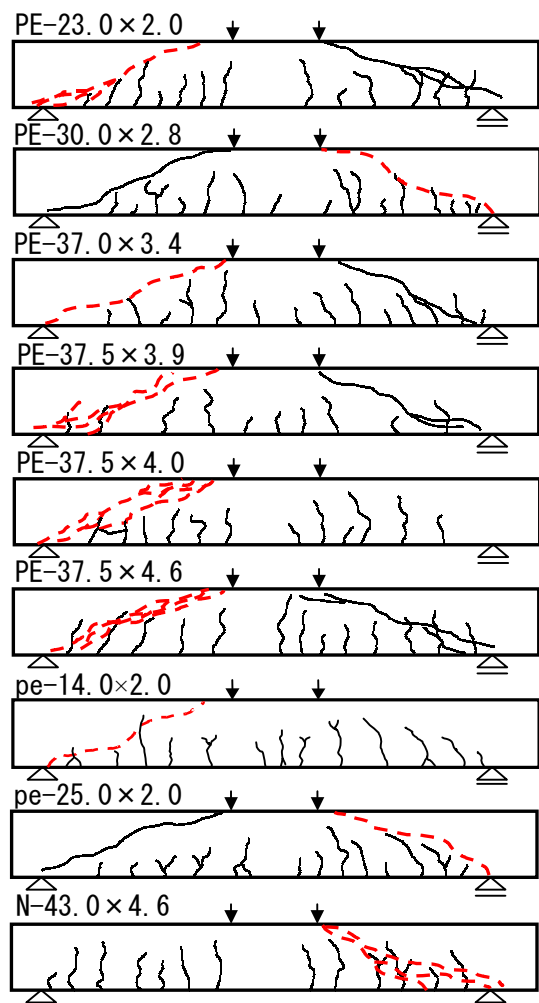


図-2 ひび割れ発生状況図

区間内の曲げひび割れはあまり進展せず、斜めひび割れが載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。しかしながら、最大荷重に至った後は脆性的な破壊とはならず、比較的緩やかに荷重は低下する結果となった。また、いずれの試験体についても最大荷重時にはネットは緊張していたものの破断は見られず、荷重が低下した後、荷重軟化域で数箇所破断するものも見られた。

### (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最大荷重時の主筋のひずみを図-3に示す。図中の棒グラフが最大荷重、点が最大荷重時のひずみを表す。いずれのネット試験体も、スターラップ試験体ほどの荷重の増加は見られないものの、無補強試験体に比べ最大荷重が増加していることがわかる。このことから、ネットを挿入することで斜めひび割れ時のせん断耐力以上のせん断耐力を確保することができたと考えられる。また、主筋の降伏ひずみは材料試験値から1721 $\mu$ である。よって、後述する3体以外の6体の試験体は主筋が降伏すると同時にせん断破壊したと考えられる。PE-37.0 $\times$ 3.4, PE-37.5 $\times$ 4.0, pe-25.0 $\times$ 2.0の3種類については主筋が十分降伏するまで荷重を保持することができた。この3体の試験体はいずれも、曲げひび割れが十分に発達した後斜めひび割れが発達し破壊した。よって、

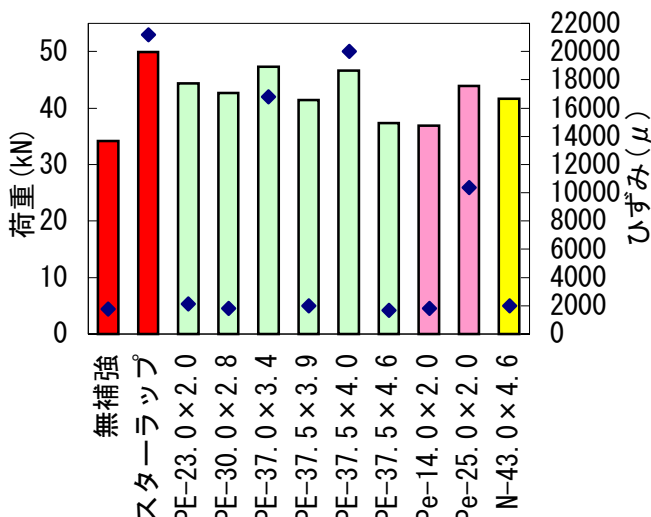


図-3 最大荷重および主筋のひずみ

せん断破壊先行型から曲げ降伏後のせん断破壊型へと破壊形式を移行させることができるネットが存在することが明らかになった。

次に、試験体中央部のたわみと荷重の関係を図-4に示す。主筋が十分に降伏した試験体の凡例を赤字で示す。最大荷重と同様に、ネット試験体のいずれについても、スターラップ試験体ほどの変形能力は見られないものの、無補強試験体以上の変形能力を持っていることがわかる。ネット試験体のうち、主筋を十分に降伏させることができた3体の試験体は、他の6体の試験体よりも大きな変形能力を有した。しかしながら、主筋が十分降伏していない PE-30.0×2.8 試験体は、先の3体の試験体とほぼ同程度の変形能力を有していた。N-43.0×4.6 は使用したネットの中で径が一番太いため、大きなせん断補強効果を得られると考えていたが、期待したほどの効果は得られなかった。ネットを配置することによるせん断補強効果は、ネットの格子間隔と径による影響の他に、より効率的に力を負担するネットの最適形状があると考えられる。

### (3) せん断補強効果の評価

ネットを配置することで得られたせん断補強効果を検討するため、最大荷重時における実験

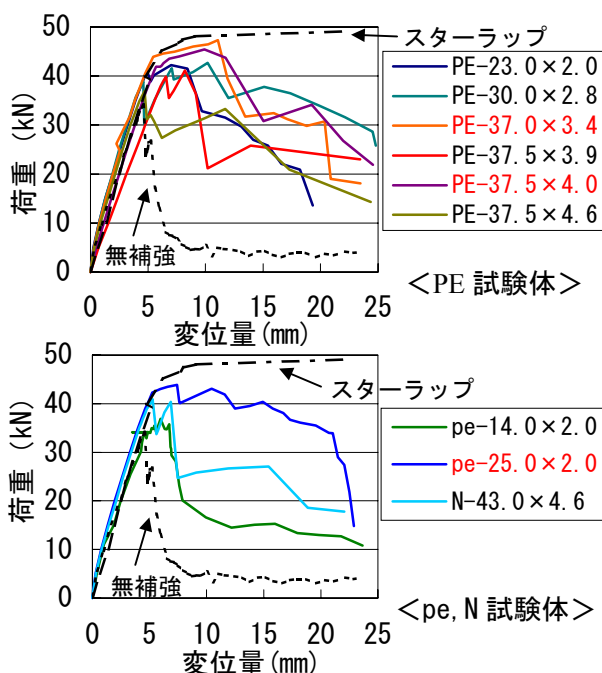


図-4 試験体中央部のたわみ

値のコンクリートの圧縮縁ひずみと主筋の引張ひずみで求めた中立軸  $x$  から算出した応力中心間距離( $d-0.4x$ )と、主筋のひずみと弾性係数から求めた鉄筋の引張力  $T$  の積を、せん断スパン長  $a$  で除して求められる曲げ荷重を算出し、実験で得られた最大荷重と比較した結果を表-3に示す。無補強試験体では、最大荷重が曲げ荷重を下回っておりせん断破壊であることが明らかである。一方、スターラップ試験体は、曲げ荷重が最大荷重を下回っている。引張鉄筋がひずみ硬化域に達し引張力が降伏荷重になったためと考えられる。ネット試験体の最大荷重は、いずれも曲げ荷重前後の値となっておりそれほど大きな差は無い。また、最大荷重が曲げ荷重を下回っているものについても無補強試験体ほどの差は無い。上回っている試験体についてもスターラップ試験体ほどの増加は見られない。主筋は降伏しているものの、ひずみ硬化域に達する前にせん断破壊したものと考えられるが、ネットを配置することで、せん断補強効果が得られている。

ネット試験体は、主筋が十分に降伏した試験体とその他の試験体で明確な差が見られない。径が太く強いと思われる N-43.0×4.6 よりも径の細かい PE-37.0×3.4 の方が高い効果を発揮していることから、せん断補強効果に与える影響は径の太さよりも格子間隔の方が強いと考えられる。すなわち、ひび割れ面に存在するネットの格子数が影響していると考えられる。

表-3 曲げ荷重と最大荷重の関係

名称	曲げ荷重 (kN)	最大荷重 (kN)	最大荷重/曲げ荷重
無補強	39.0	34.2	0.88
スターラップ	43.3	49.9	1.15
PE-23.0×2.0	39.9	42.2	1.06
PE-30.0×2.8	39.2	42.7	1.09
PE-37.0×3.4	43.5	47.3	1.09
PE-37.5×3.9	38.7	39.9	1.03
PE-37.5×4.0	43.6	41.9	0.96
PE-37.5×4.6	38.6	36.9	0.96
pe-14.0×2.0	38.4	36.9	0.96
pe-25.0×2.0	43.1	43.9	1.02
N-43.0×4.6	39.4	40.9	1.04



そこで、ネット自体の強さを測定し、ひび割れ面におけるネットの耐力を算定することで、せん断補強効果の定量化を試みた。

### 3. ネットのせん断補強効果の検討

#### 3.1 ネット単体の引張試験

##### (1) 実験概要

ネットの引張試験を行うにあたり、この材料における試験方法が存在しないため、『連続繊維シート引張試験方法（案）（JSCE-E 541-2000）<sup>3)</sup>』を参考にした。図-5に引張試験に使用した供試体の形状寸法を示す。十分な長さに切り出したネットを、鋼製のタブで挟み込むように接着樹脂により固定する。所定の期間養生し、定着部を試験機で掴み引張試験を行い、ネットが破断する時の最大引張耐力を測定する。

まず、ネットの引張耐力と格子数との関係を調べるため、写真-2に示す引張方向と直交する方向に、格子数を1~3個とした供試体について引張試験を行った。ネットは PE-37.0×3.4 を使用した。

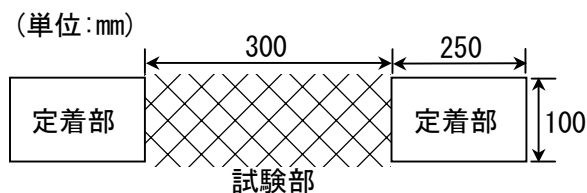


図-5 引張試験用供試体寸法

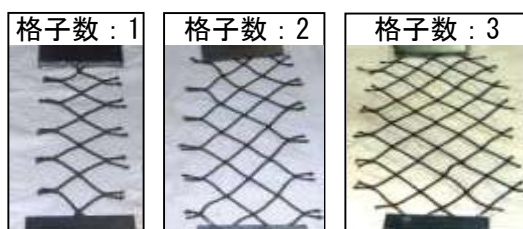


写真-2 格子数の異なる供試体

##### (2) 実験結果

図-6に試験結果を示す。格子数が増加するとともに引張耐力も比例的に増加している。この結果を踏まえて、ひび割れ面に存在するネットの格子数を求め、ネット保有せん断耐力として算定することとした。写真-3にひび割れ面におけるネットの格子位置の一例を示す。ネッ

ト格子数は、図-2に示す載荷点から支点の間に形成された破線のせん断ひび割れにおいて、目視で確認できる領域内で数えたものである。他の8種類のネットについても同様に引張試験を行い検討した。ただし、引張試験を行ったネットの格子数は3つの場合のみとした。

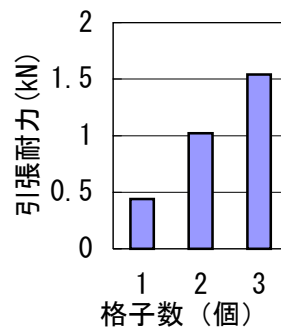


図-6 格子数と引張耐力の関係



写真-3 ネット試験体のひび割れ面に存在するネット格子位置 (PE-37.5×4.6)

#### 3.2 せん断耐力の検討

表-4にせん断耐力の検討結果を示す。ネット保有せん断耐力とは、ネットの引張耐力と格子数の積から算出したせん断耐力を意味し、実せん断耐力とは、実験より得られた最大荷重から求めたコンクリートの斜めひび割れ発生時せん断耐力 (17.7kN) を差し引いた耐力、つまり実際にせん断補強材として作用したせん断耐力を意味する。スターラップ試験体では、せん断耐力が約 22kN 期待でき、最大荷重時に約 7kN 負担していることから、せん断耐力が曲げ耐力を上回り、せん断破壊先行型から曲げ破壊型へと破壊形式を移行するのに、7kN 程度の荷重の負担が必要だと考えられる。ネットをせん断補強材として RC 梁に適用することで、破壊形式をせん断から曲げへ移行するためには、ネット保有せん断耐力が 7kN を上回っている必要がある。

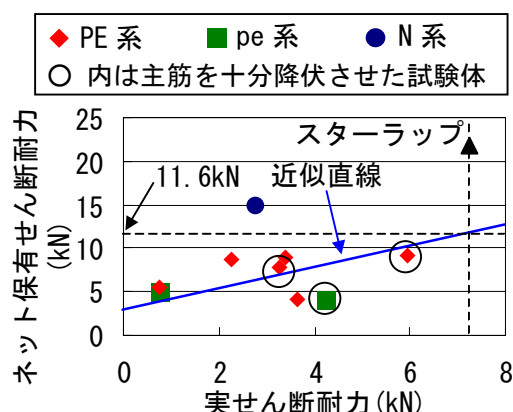
ネット試験体について、引張試験の結果、ネット保有せん断耐力が 7kN を上回っているものは4種類あり、N-43.0×4.6 が最も大きい値を示したが、RC 梁中における荷重の負担は小さく、逆に PE-30.0×2.8 のようにネット保有せん断耐力は小さいが、RC 梁中における荷重の負担は大

表一 4 セン断スパンにおけるネットの引張耐力

名称	引張耐力 (kN)	ひび割れ面に存在する格子数(個)	ネット保有せん断耐力 (kN)	実せん断耐力 (kN)
PE-23.0×2.0	0.84	32	9.0	3.4
PE-30.0×2.8	0.62	20	4.1	3.7
PE-37.0×3.4	1.54	18	9.2	6.0
PE-37.5×3.9	1.3	20	8.7	2.3
PE-37.5×4.0	1.3	18	7.8	3.3
PE-37.5×4.6	1.04	16	5.5	0.8
pe-14.0×2.0	0.4	38	5.1	0.8
pe-25.0×2.0	0.38	32	4.1	4.3
N-43.0×4.6	2.8	16	14.9	2.8
スターラップ			21.9	7.3

きいものが存在した。主筋が十分に降伏した 3 体のネット試験体では、8kN 程度の荷重の負担はみられないが、せん断破壊先行型から曲げ降伏後のせん断破壊型へ移行するだけのせん断補強効果を発揮している。他の 6 体のネット試験体でも、同程度の荷重を負担しているものも見受けられるが、破壊形式を移行するだけのせん断補強効果は得られていない。破壊形式の移行は、RC 梁の諸元や荷重条件によっても異なる。しかしながら本考察から、ネットによるせん断補強効果は、ネットが保有する耐力の大きさのみに依存するのではなく、ひび割れ面でのせん断伝達能力等のネットの引張耐力以外の効果によって、せん断補強効果を大きくさせる最適形状があると考えられる。

図一 7 に実せん断耐力とネット保有せん断耐力の関係を示す。スターラップ試験体の実せん断耐力とスターラップの降伏せん断耐力も合わせて示す。せん断破壊、曲げ引張破壊に関係なく、実せん断耐力とネット保有せん断耐力には



図一 7 ネットのせん断耐力の関係図

ある程度の相関性が認められる。図中の青色の近似直線は、9 体のネット試験体の実験値から求めた。N 系のデータを無視すると、11.6kN 以上のネット保有せん断耐力を有するネットを用いれば、ネット試験体はスターラップ試験体と同等に、完全な曲げ引張破壊型に移行させることができると考えられる。

#### 4. 結論

化学系繊維ネットをスターラップ代替として RC 梁に適用し、2 点集中曲げ載荷試験を行った結果、本研究の範囲で以下のことが明らかになった。

(1) 破壊形式をせん断破壊先行型から曲げ降伏後のせん断破壊型へ移行させ得るせん断補強効果を持った 3 種類のネット形状がある。

(2) ネット単体の引張試験により、最大引張耐力を求めることで、RC 梁中におけるネットのせん断耐力を推定することができる。

#### 参考文献

- 1) 新居史郎ほか: 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
- 2) 福島誉央ほか: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, pp.1645-1650, 2005.7
- 3) 土木学会コンクリート委員会編: 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, pp.55~66, 2000.7

#### 謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会平成 17 年度科学研究費補助金の基盤研究(B)(2) (課題番号: 17360205, 研究代表: 橋本親典) に基づき実施されたものであることを付記し、感謝の意を表します。