

# 論文 化学系繊維ネット単独およびスターラップとの併用による RC 部材のせん断補強効果に関する実験的研究

Nhar Heng<sup>\*1</sup>・橋本 親典<sup>\*2</sup>・渡辺 健<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の抑制やせん断補強鉄筋のかぶり厚さの低減を目的とし、せん断補強鉄筋の代替材料として化学系繊維ネットに着目し、ネット周辺の網を太く編込み定着を強固にした編込み定着帯を有する新しいネット材料を開発した。ネット単独およびスターラップとの併用による補強方法を RC はり部材のせん断補強鉄筋に適用し、2点集中曲げ載荷試験を行った。その結果、ネット周辺に編込み定着帯を有するネットを2重に配置することにより、スターラップを全く使用しないでネット単独の場合においても、せん断破壊先行型の RC はりが、曲げ降伏先行型の破壊モードに転換することが明らかになった。

**キーワード:**化学系繊維ネット、せん断補強、定着、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迫りてきた<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に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、ネットの形状によって、せん断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動させ得るせん断補強効果を持ったものの、スターラップによるせん断補強と同様な曲げ降伏先行型の破壊モードに転換する

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、ネットのせん断補強効果を発揮させるために、ネット周辺の網を太く編込みネット自体の定着を強固にする工夫を施したネット材料を開発した。以後、これを編込み定着帯と称す。せん断破壊先行型の RC はり部材を対象として、この編込み定着帯を有するネットを単独使用およびスターラップとの併用使用としてせん断補強鉄筋の代替材料としての可能性を検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 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。本実験では、ポリエチレンの素材で 34.5mm の格子間隔、2.8mm の径、既往研究<sup>2)</sup>のネットを引張試験により引張耐力が 1 個の格子に対して、0.62kN を有するネットを用いた。これは、既往の研究で最もせん断補強筋として効

\*1 徳島大学大学院 工学研究科マクロ制御工学専攻博士後期課程 3 年 (正会員)

\*2 徳島大学大学院 ソフトウェア研究部システムデザイン工学専攻教授 工博 (正会員)

\*3 徳島大学大学院 ソフトウェア研究部システムデザイン工学専攻助教 博(工) (正会員)

\*4 徳島大学大学院 ソフトウェア研究部総合技術センター技術専門職員 (正会員)

果のある形状のネットである。これまで研究で、ネット自体の破断の前にひび割れ面でネットが滑ることによって耐力が低下する状況が観察された。本研究では、ネット自体の定着を強固にするために、ネット周辺の網を太く編み込んだ編込み定着帯を施した新しいネットを開発した。

化学繊維ポリエチレンの特徴を表-1に、ネット周辺の編込み定着帯を有するネットの外観および編込み定着帯なしネットの外観を写真-1に示す。

表-1 使用したポリエチレンの特徴

メリット	比重：0.94~0.96
	吸水率が低く、漏れても強度・柔軟性が変化しない
	入手が容易で安価
	耐寒性優れ、-40℃でも強度・柔軟性は変化なし
	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、130℃低度で柔らかくなり150℃で溶き出す

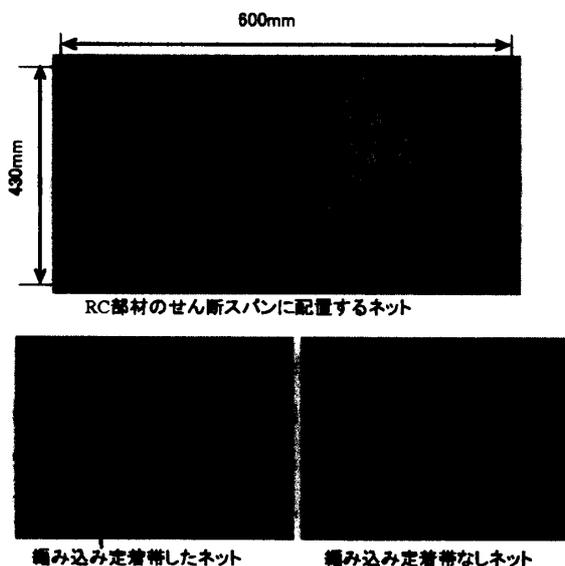


写真-1 編込み定着帯有無による化学繊維ネットの外観の違い

## 2.2 試験体

試験体の形状寸法を図-1に示す。全ての試験体は、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351N/mm<sup>2</sup>、弾性係数2.04×10<sup>5</sup>N/mm<sup>2</sup>）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および200mmで配置した。

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、せん断スパン毎に1枚、2重ネットの場合は2枚ものとし、4本の軸方向鉄筋を巻くように配置した。ネット2重巻きの配置状況を写真-2に示す。

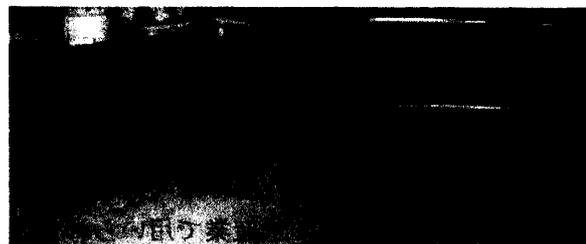


写真-2 化学ネット2重の配置状況

本実験では、せん断破壊先行型のRCはりを試験荷重時のコンクリートの圧縮強度によって調整した。コンクリートの圧縮強度が31N/mm<sup>2</sup>の試験体をシリーズIとして5種類の試験体、12N/mm<sup>2</sup>の試験体をシリーズIIの4種類の試験体、計9種類の試験体を作成した。詳細の試験体の種類別を表-2に示す。

コンクリートの示方配合を表-3に示す。本実験は、早強ポルトランドセメントを用いて、2軸強制練りミキサを用い製造した。荷重試験時における部材コンクリートの圧縮強度は、シリーズI試験体が養生材齢の14日において31N/mm<sup>2</sup>、シリーズII試験体では養生材齢の5日において12N/mm<sup>2</sup>であった。

## 2.3 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、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。

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。無補強試験体と(200mm)スターラップ試験体は、

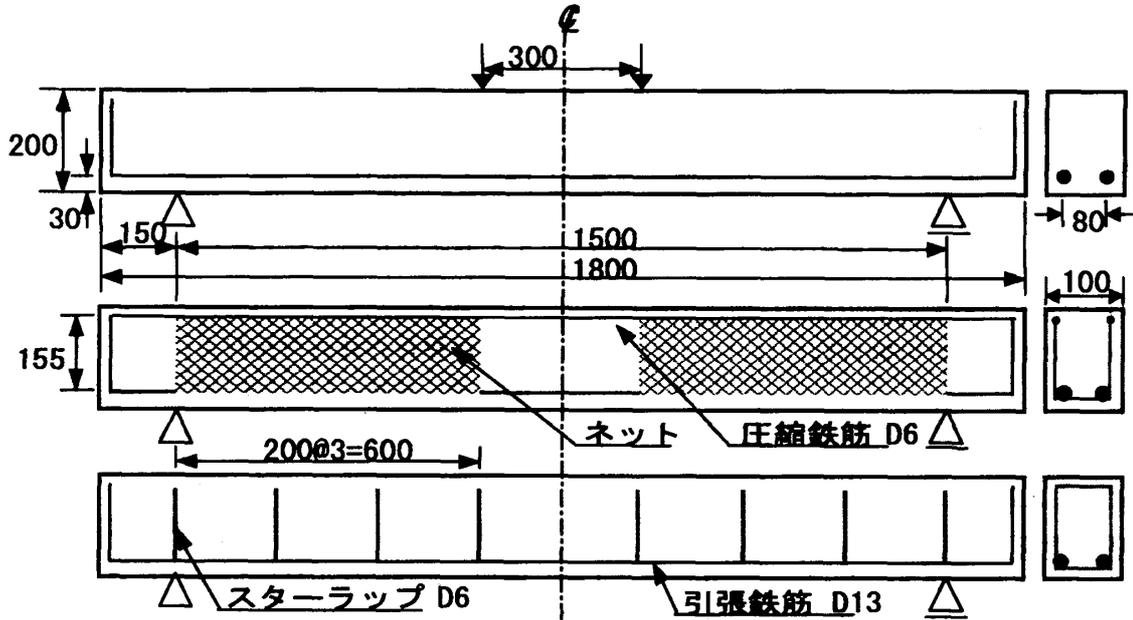


図-1 供試体の形状法および載荷方法

表-2 試験体の種類

コンクリート強度	試験体の種類	名称
シリーズ I 31N/mm <sup>2</sup>	主筋のみでスターラップを配置しないもの	無補強
	150mm間隔のスターラップを配置したもの	(150) スターラップ
	200mm間隔のスターラップを配置したもの	(200) スターラップ
	200mm間隔のスターラップと編み込み定着帯したネットを併用したもの	ネット+(200)スターラップ
	編み込み定着帯したネットを2重に配置したもの	ネット2重
シリーズ II 12N/mm <sup>2</sup>	主筋のみでスターラップを配置しないもの	無補強
	編み込み定着帯したネットを1重に配置したもの	ネット1重
	編み込み定着帯したネットを2重に配置したもの	ネット2重
	編み込み定着帯しないのネットを2重に配置したもの	編み込み定着帯なしネット2重

表-3 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

### 3. 実験結果

#### 3.1 破壊状況

##### (1) シリーズ I

破壊後におけるシリーズ I の各試験体側面の

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、せん断破壊となった。200mm のスターラップ間隔が大きいために、十分にせん断補強

の効果がなく、無補強試験体と同様のせん断破壊になったと考えられる。一方、ネット+(200)スターラップ試験体では、十分にせん断補強効果が発揮し、強いせん断補強の(150)スターラップ試験体と同様の曲げ破壊となった。また、ネット2重試験体は斜めひび割れが進行したものの、最大荷重に至るまでにせん断耐力が発揮し、最終に曲げ破壊となった。よって、編込み定着帯のネットをRC梁に単独および間隔の広いスターラップと併用に配置することで、無補強試験体のせん断破壊形式から曲げ破壊形式に移行することが明らかになった。

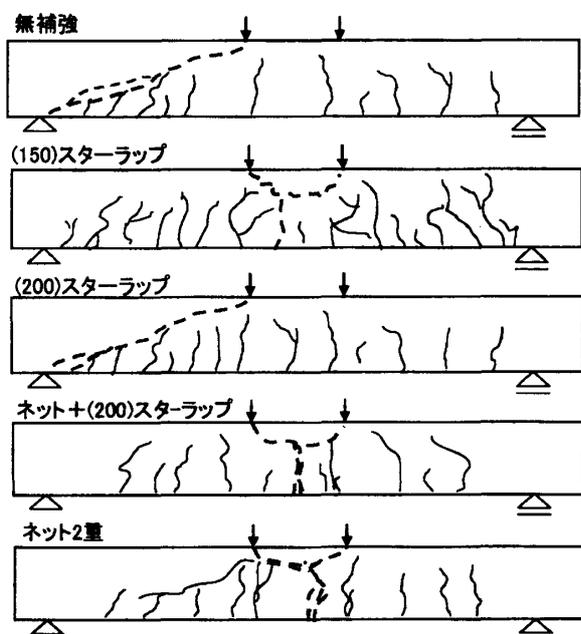


図-2 シリーズ I 試験体のひび割れ発生状況図

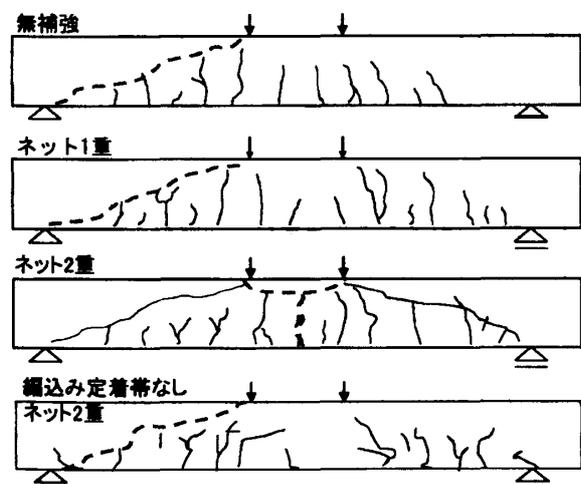


図-3 シリーズ II 試験体のひび割れ発生状況図

## (2) シリーズ II

シリーズ II の各試験体側面のひび割れ図を図-3 に示す。いずれの試験体も、編込み定着帯ネット2重試験体以外、斜めひび割れが大きく進展しコンクリートの割裂による破壊が見られた。

一方、編込み定着帯ネットを2重に配置した試験体は、シリーズ I の編込み定着帯ネット2重試験体と同様の曲げ破壊型となり、ネットのせん断補強効果があると考えられる。

### 3.2 最大荷重および主筋のひずみ

#### (1) シリーズ I

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-4 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。

無補強試験体および(200)スターラップ試験体は、(150)スターラップ試験体ほどの荷重の増加は見られなかった。しかし、ネット+(200)スターラップ試験体とネット2重試験体では、無補強試験体よりも最大荷重が大きく増加し、(150)スターラップ試験体とほぼ同様の荷重増加が見られた。このことから、ネット2重およびスターラップと併用に配置した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降伏点と弾性係数を用いて求めた値から  $1721\mu$  である。無補強試験体と(200)スターラップ試験体は主筋が降伏すると同時にせん断破壊した。これは、シリーズ I のコンクリート強度は大きかったため、主鉄筋が降伏に至るまで、コンクリート部材が荷重を負担したと考えられる。2重ネット試験体およびネット+(200)スターラップ試験体では、主鉄筋が十分に降伏しても、ネットのせん断補強により最大荷重を保持し、約  $22000\mu$  のひずみが伸びた。

#### (2) シリーズ II

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-5 に示す。いずれの試験体も、編込み定着帯ネット2重試験体ほどの荷重の増加が見られなかった。また、編込み定着帯ネット2

重試験体以外、全ての試験体の主筋が降伏する前に斜めひび割れが大きく進展しコンクリートの割裂による破壊が見られた。編込み定着帯ネット2重試験体は編込み定着帯なしネット2重試験体よりも最大荷重および主鉄筋ひずみが大きい値を示した。

従って、シリーズIおよびシリーズIIにおいても、ネット周辺を編込み定着帯したネットを用いて2重に配置することにより、ネット自体の破断の前にひび割れ面でネットが滑ることなくネットのせん断補強効果が発揮し、せん断破壊型から曲げ破壊型へと破壊形式を移行させることができると考えられる。

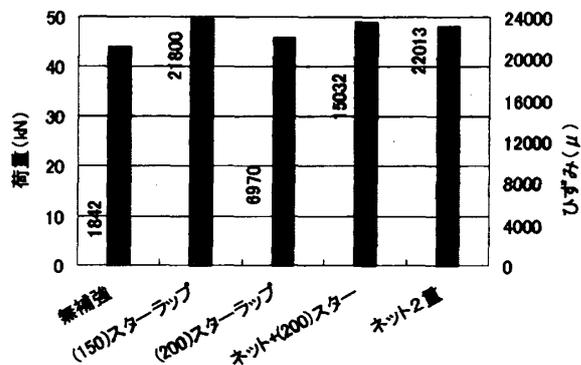


図-4 シリーズIの最大荷重および主筋のひずみ

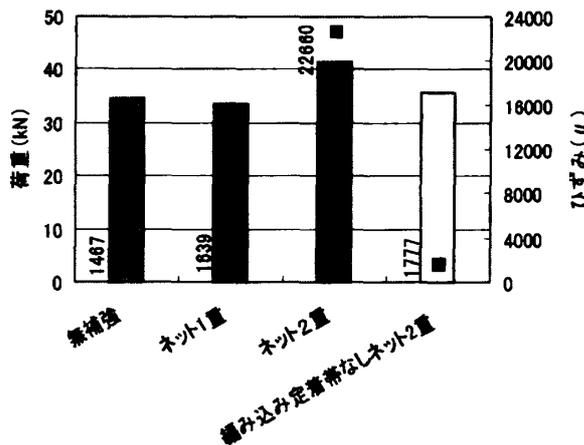


図-5 シリーズIの最大荷重および主筋のひずみ

### 3.3 変形性能

#### (1) シリーズI

試験体中央部のたわみと荷重の関係を図-6に示す。ネット2重試験体およびネット+(200)スターラップ試験体は主鉄筋が十分に降伏

し、(150)スターラップ試験体と同様の変形能力が有する結果となった。(200)スターラップ試験体は無補強試験体以上の変形能力を持つものの、せん断抵抗力が不十分のため、ネット2重試験体の変形能力まで至らなかった。

#### (2) シリーズII

シリーズII試験体中央部のたわみと荷重の関係を図-7に示す。いずれのネット試験体においても、無補強試験体よりも大きな変形能力を有していたことがわかる。しかしながら、編込み定着帯なし2重ネット試験体は、無補強やネット1重試験体より変形能力があったものの、編込み定着帯ネット2重試験体に比べて変形能力の増加がなかった。このことから、編込み定着帯のネットを2重に配置したことで、せん断耐力の増加に繋がったと考えられる。

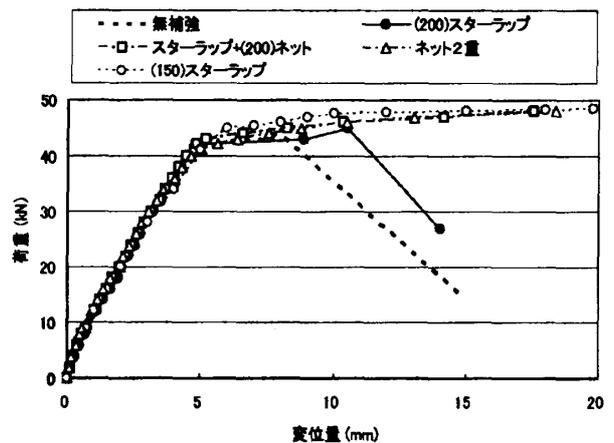


図-6 シリーズI試験体中央部のたわみ

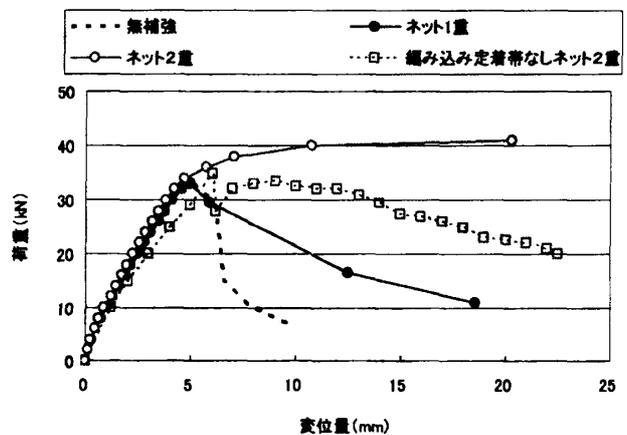


図-7 シリーズII試験体中央部のたわみ

### 3.4 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、コンクリートおよび鉄筋の応力-ひずみ関係を仮定し、断面内の力釣り合いと平面保持のともに求められる中立軸  $x$  と、鉄筋の引張力  $T$  より曲げ破壊荷重 ( $2T(d-0.4x)/a$ ,  $d$ :有効高さ,  $a$ : せん断スパン長)) を算出した。また、無補強試験体、(150) スターラップ試験体および (200) スターラップせん断破壊荷重を土木学会コンクリート標準示方書の算定式を用いて算出し、実験から得られた実際の最大荷重と比較を行った結果を表-4 に示す。

#### (1) シリーズ I

無補強試験体は、最大荷重がせん断破壊荷重より上回ったものの、曲げ破壊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、(150) スターラップ試験体は、最大荷重がせん断破壊荷重より下回ったものの、曲げ破壊荷重を上回っており、曲げ破壊となった。しかし、(200) スターラップ試験体は、最大荷重が曲げ破壊荷重と同等の値となり、せん断破壊荷重より約 26 kN 上回ったものの、(150) スターラップ試験体のせん断破壊荷重まで至らなかった。これは、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。一方、ネット+(200) スターラップ試験体およびネット 2 重試験体では、最大荷重が曲げ破壊荷重より上回っており、曲げ破壊となった。これは、編込み定着帯ネットのせん断補強効果によりせん断破壊荷重が(200) スターラップ試験体のせん断破壊荷重 (72.3kN) より  $\alpha$  または  $\alpha'$  のせん断破壊荷重を増えたからと考えられる。

#### (2) シリーズ II

無補強試験体は最大荷重がせん断破壊荷重より上回ったものの、曲げ破壊荷重を下回っており、シリーズ I の無補強試験体と同様にせん断破壊となった。また、編込み定着帯ネット 2 重試験体以外のネット試験体は、最大荷重が曲げ破壊荷重を下回った結果を示した。一方、編込み定着帯ネット 2 重試験体は、最大荷重が曲げ破壊

荷重より上回っており、シリーズ I のネット 2 重試験体と同様に曲げ破壊であることが分かる。

表-4 曲げ破壊荷重、せん断破壊荷重および最大荷重の関係

	名称	曲げ破壊荷重(kN)	せん断破壊荷重(kN)	最大荷重(kN)
シリーズ I 31N/mm <sup>2</sup>	無補強	45.5	40.4	43
	(150) スターラップ	45.5	84.1	49.9
	(200) スターラップ	45.5	72.3	46
	ネット+(200) スターラップ	45.5	72.3+ $\alpha$	49
	ネット2重	45.5	40.4+ $\alpha'$	48
シリーズ II 12N/mm <sup>2</sup>	無補強	37.0	29.4	34.5
	ネット1重	37.0	29.4+ $\alpha$	33.6
	ネット2重	37.0	29.4+ $\alpha'$	41.4
	編込み定着帯なしネット2重	37.0	29.4+ $\beta$	35.8

$\alpha$ : 編込み定着帯ネット 1 重によるせん断破壊荷重

$\alpha'$ : 編込み定着帯ネット 2 重によるせん断破壊荷重

$\beta$ : 編込み定着帯ネットなし 2 重によるせん断破壊荷重

### 4. 結論

本研究の範囲内で、編込み定着帯を有する化学系繊維ネットをせん断補強材として RC 梁に 2 重巻きおよび 1 重巻きと間隔 200mm のスターラップを併用した場合、せん断破壊先行型から曲げ降伏先行型の破壊モードに転換することができると明らかになった。

### 参考文献

- 1) 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
- 2) 福島誉央ほか: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.1681-1686, 2006.7

### 謝辞

本研究の遂行にあたり、化学系繊維ネットを三友魚網(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示します。