

V-10

主筋に連続繊維補強材を用いたコンクリートはりのせん断耐力

北海道大学大学院 学生員 佐藤 靖彦

北海道大学工学部 正 員 上田 多門

北海道大学工学部 正 員 角田 典史雄

1. まえがき

連続繊維補強材は、高強度かつ軽量であるとともに、耐腐食性に優れるといった魅力ある特徴を持ち合わせており、鉄筋やP C鋼材の代替材としての積極的な利用が望まれるところである。しかし、連続繊維補強コンクリート部材に対し、従来の設計概念や設計式をそのまま適用することには種々の問題点が存在する。これは、主として連続繊維補強材が降伏域を持たない異方性弾性材料であること、および弾性係数が鋼材に比べ小さいといった材料特性に起因するものである。

我々は、これらの材料特性が、はりやスラブのせん断破壊に対し、如何なる影響を与えるのか、また、設計時にどのように取り扱うべきであるかに関して研究を進めているが、本論文は、連続繊維補強筋の弾性係数が小さいことに着目し、主筋の弾性係数の小さいことが、せん断補強筋を有するはりのせん断耐荷性状に与える影響に関する解析的検討を行った結果を報告するものである。

表-1 解析諸元

2. 解析の概要

2-1 解析プログラム

本研究で用いたプログラムは、鉄筋コンクリートはり部材のせん断問題に対して開発された2次元有限要素解析プログラムである¹⁾。本プログラムは、ひび割れの影響を平均的に捉え連続体に置き換えることのできるよう鉄筋コンクリート要素の平均応力-平均ひずみ関係を採用した分散ひび割れモデルを用いている。本有限要素は、その構成則の性質上、鉄筋で補強されたコンクリート要素の解析に適している。

2-2 解析モデル

本解析の主眼は、主筋の弾性係数の大きさがはりのせん断性状に与える影響であるため、主筋の弾性係数以外の諸元は、すべて同一としている。また、せん断耐力に大きな影響を与える補強筋の降伏を起こさせないために、降伏強度を大きくしている。表-

1に、本解析諸元を示す。また、図-1に要素分割を示す。

2-3 破壊荷重の定義

解析において、どのように破壊を定義するかが重要となる。本研究では、荷重-変位関係において、変位曲線がフォールグ・ブランチに移る直前、つまり、荷重-変位曲線のピーク値をもって破壊荷重と定義する。また、破壊位置については、応力-ひずみ曲線において軟化現象を示した領域とする。表-1に本解析における破壊荷重を示す。

解析 モデル	主筋の特性		せん断補強筋の特性		解析結果
	弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)	
NSPT	214	612	214	1306	480
NAPT	71	1306	214	1306	393

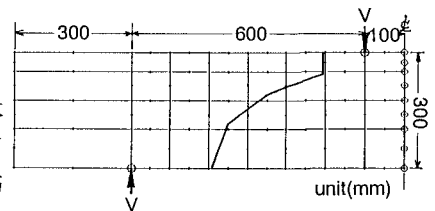


図-1 仮定したフリーボディ

3. せん断耐荷性状

3-1 せん断耐荷力の構成要素

一般に、斜めひび割れを持つはり部材の作用せん断力に対する力の釣合は、図-2に示すように、コンクリート圧縮域での抵抗力(V_{uncr})、骨材の噛み合わせ作用による抵抗力(V_{loc})と補強筋のダウエル作用による抵抗力(V_d)、さらにせん断補強筋による抵抗力(V_w)により考えることができる。そこで、本研究では、式(1)のような耐荷モデルを仮定した。

$$V = V_{total} = V_{uncr} + V_{cr} \quad (1)$$

V_{uncr} : コンクリート圧縮域で受け持つせん断力

V_{cr} : 斜めひび割れ部で受け持つせん断力

$$(\quad = V_{loc} + V_d + V_w)$$

また、 V_{cr} は、斜めひび割れ面が受け持つ力 V_{st} ($= V_{loc} + V_d$) と、せん断補強筋が受け持つ力 V_w により構成されるものである。ただし、本解析におけるひび割れ面でのせん断伝達モデルにより、骨材の噛み合わせ作用と補強筋のダウエル作用によるせん断抵抗力の両者を考慮できるものとする。

3-2 せん断耐荷性状

図-3は、圧縮域と斜めひび割れ域よりなるフービディ(図-1)におけるせん断力分担要素の作用荷重に対する各分担力の推移を示すものである。弾性係数の小さい供試体NAPTにおいて、圧縮域での分担力 V_{uncr} が小さく、ひび割れ部での分担力 V_{cr} が大きい。これは、図-4に示すように供試体NAPTの中立軸位置が高く圧縮域が狭い為に分担せん断力が小さくなり、斜めひび割れ面では、変形が大きく V_{cr} が大きくなるためである。ただし、図中の点線は、引張断面を無視した弾性計算値を示すものである。供試体NAPT、NSPTともに曲げせん断領域においては、弾性計算値とほぼ一致しているが、曲げせん断領域においては、弾性計算値を上回っている。よって、終局時において曲げせん断領域での圧縮域が、曲げ領域よりも減少していることがわかる。

図-5は、本解析プログラムのひび割れ発生条件を修正し、斜めひび割れの発生を許さないものとして解析した供試体NSPT-NSの部材断面内での軸方向ひずみを示すものである。ただし、その解析諸元は供試体NSPTと等しい。また、図-6は、供試体NSPTの軸方向歪を示す。この両者の比較から、斜めひび割れが発生することにより曲げせん断領域では、平面保持が成り立たないこと、および中立軸が上昇することがわかる。よって、曲げせん断領域では、斜めひび割れにより圧縮域が減少することがいえる。

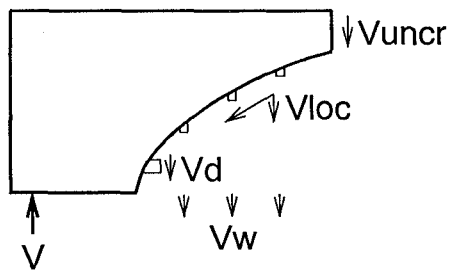


図-2 作用せん断力に対する力の釣合

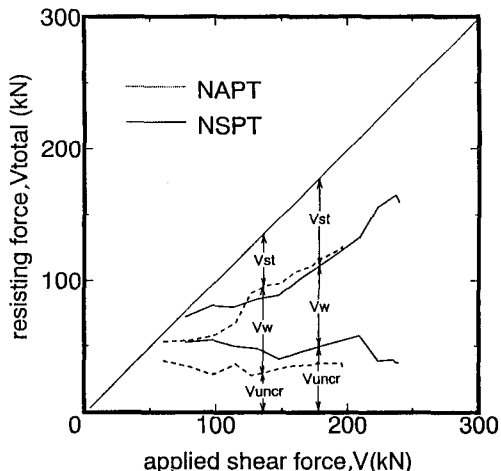


図-3 せん断分担力

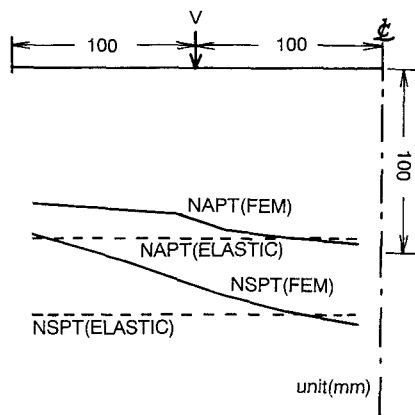


図-4 圧縮域の中立軸(終局時)

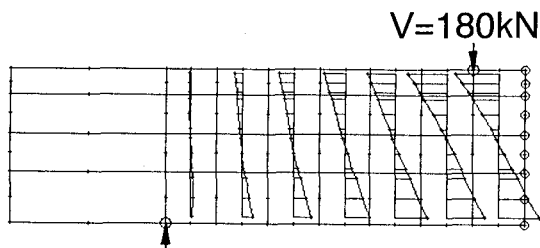


図-5 部材断面内の軸方向ひずみ (NSPT-NS)

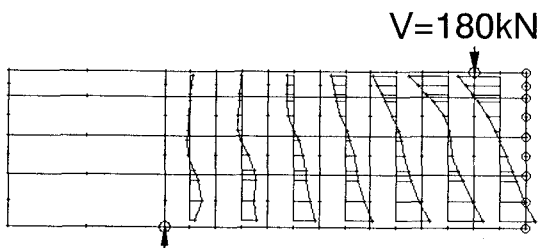


図-6 部材断面内の軸方向ひずみ (NSPT)

3-3 セン断耐力

本解析の破壊は、両者ともに荷重点付近でコンクリートが軟化を起こすことにより破壊に至っている。これは、実際の破壊形式と一致しているものである³⁾。そこで、荷重点付近のコンクリート圧縮域における応力状態を比較することによりその破壊を考える。検討領域として、図-7に示す3つの圧縮域断面（荷重点から $a=88.7$ 、 $b=50.0$ 、 $c=11.3\text{mm}$ の位置）を考える。図-8は、作用せん断力（ V ）と各断面での V_{uncr} の変化を示すものであるが、先に述べたように弾性係数が小さい場合

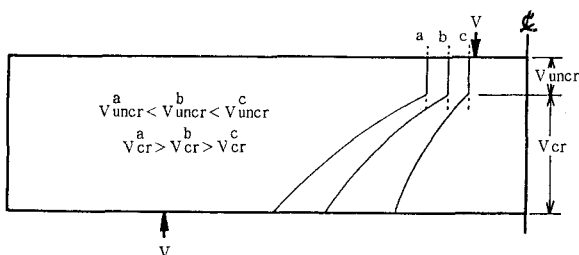


図-7 斜めひび割れの異なる

想定位置に基づくフリーボディ

（供試体NAPT）、どの断面においても分担力 V_{uncr} が小さい。ここで注目すべき点は、両者ともに荷重点に近い位置において、より大きなせん断力を V_{uncr} で受け持っていることである。また、その傾向は、作用荷重が増加するにつれ大きく現れる。これは、図-7に示すそれぞれの圧縮断面を含むフリーボディを考えた場合、荷重点から離れるに従い、斜めひび割れ部での変形が大きく、 V_{ocr} による分担力が大きいためである。図-9は、 V_{uncr} を圧縮域面積で除した平均せん断応力を示す。この場合、弾性係数の小さい方が、荷重に対する平均せん断応力の増加割合が大きい。これは、先に述べたように供試体NAPTの圧縮域面積が、供試体NSPTに比べ小さいためである。また、両者ともに荷重点に最も近い断面での平均せん断応力がほぼ8 MPaに達し破壊に至っている。

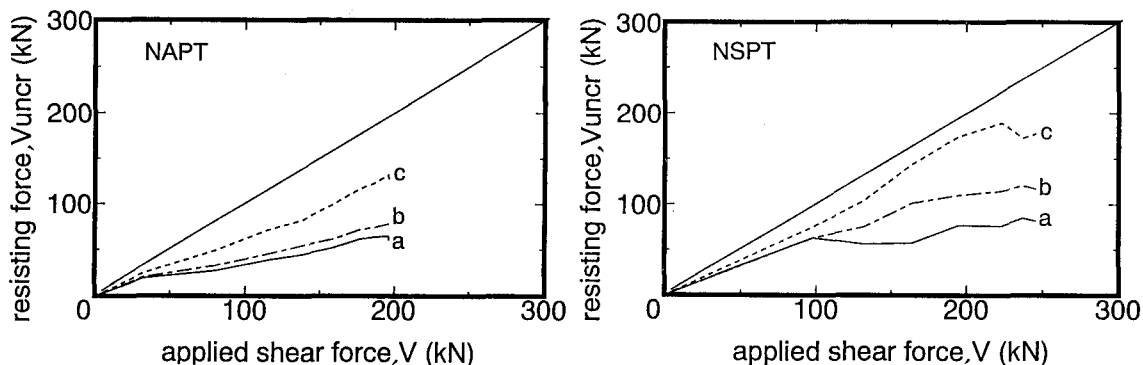


図-8 圧縮域のせん断力

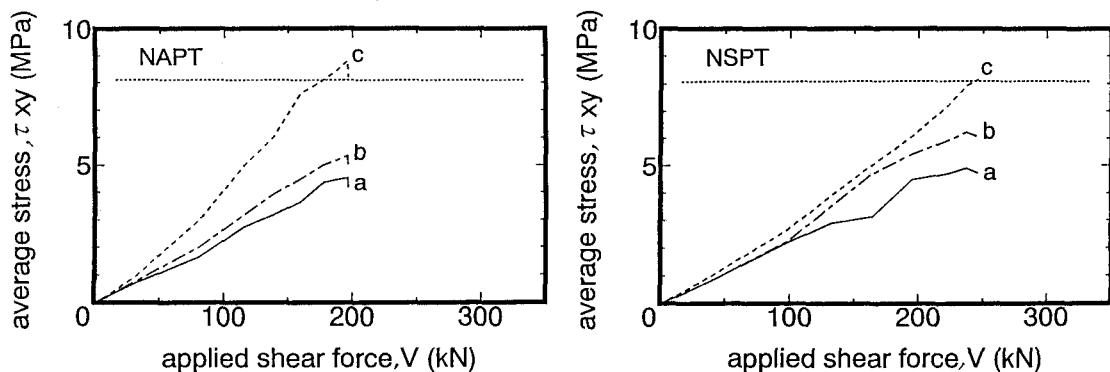


図-9 圧縮域の平均せん断応力

一方、図-10は、載荷点に最も近い圧縮断面での平均圧縮応力を示すものである。この場合も弾性係数が小さければ、その増加割合が大きく、終局時において両者ともに、ほぼ30 MPaで破壊に至っている。よって、本解析モデルにおいて、これらの応力が限界応力であると考え、主筋の弾性係数が小さい場合は、圧縮域が小さいために、弾性係数が大きい場合に比べ、早期に限界応力に達し、破壊を起こすものと言える。

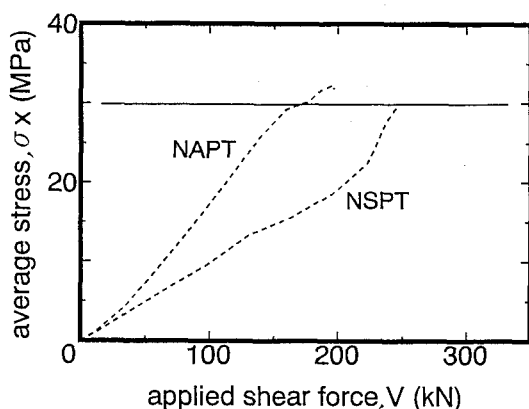


図-10 圧縮域の平均圧縮応力

4. まとめ

以下に、本研究で得られた知見を示す。

- (1) 曲げせん断領域では、斜めひび割れにより平面保持が成り立たず、中立軸が上昇する。
- (2) 主筋の弾性係数が小さい場合、圧縮域での分担せん断力が小さく、斜めひび割れ部での分担せん断力が大きい。
- (3) 主筋の弾性係数が小さい場合には、圧縮域が小さいために、低い荷重レベルで圧縮域が限界応力に達し破壊を起こす。

【謝辞】

本研究は平成3年度土木学会吉田奨励金(A)の助成を受けて行った。ここに付記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) ナス ハンタートン：鉄筋コンクリート梁におけるせん断抵抗機構の有限要素解析
東京大学大学院学位論文 1991年3月
- 2) 辻・斉藤・関島：FRPロッドで補強したコンクリートはりの曲げおよびせん断性状
コンクリート工学年次論文報告集、第10巻3号、1988年、pp.547-552
- 3) 西園・佐藤・上田・角田：レーザースペクトル法による連続繊維補強コンクリートはりのせん断変形挙動の解明
土木学会北海道支部論文報告集、第49号、1992年2月