

論文

[2089] 集約せん断補強のPCa部材への適用と応力伝達に関する考察

野田宗生*1・小林克巳*2・吉野次彦*3・笹谷輝勝*3

1. はじめに

スリーブ継手を有するPCa部材で、せん断補強筋を継手両端に集約して配筋する事ができれば多くの利点がある。集約せん断補強効果を見るために、せん断スパン内でのせん断補強筋の総量(本数)を一定とした実験^[1]をはじめとして多くの実験^[2]を行い、その結果、集約せん断補強効果があることがわかった。

本報告は、スリーブ継手のスリーブ両端に集約せん断補強を行ったRC部材について、応力伝達機構の検討をするために有限要素解析を行った結果である。

2. 解析概要

2.1 解析方法

本解析では、2次元非線形有限要素解析プログラムを使用した。解析モデルは、試験体が点対称形をとるので、試験体の右半分をモデル化したものとした。コンクリートとスリーブ(鉄骨)は8節点を有する面材要素とし、鉄筋は線材要素とした。付着は、離散型のボンドリンク要素で表現した。ひび割れは、コンクリート要素内およびRC積層要素内で分布型ひび割れモデルとして使用した。さらに、曲げひび割れの開口が大きくなる領域では、離散型ひび割れモデルを使用した。また試験区間外での破壊を避けるため、試験区間外のコンクリートは、圧縮も引張もあらかじめ試験区間内のコンクリートよりも強度を高くした。

尚、載荷方法は、最初に10t載荷し、それ以降は1tずつ上乗せしていく単調載荷として、プログラムの釣り合い方程式の釣り合いが保たれなくなるまで載荷した。

2.2 解析モデル

実用モデルとなる集約せん断補強したPCa梁部材の例を図1に示す。

この部材を近似して解析モデルを作成した。解析モデルを図2～5に示す。解析モデルは、せん断スパン比(M/QD)を2.0、1.5の2種類とする。解析モデルの断面について、コンクリートは、カバーコンクリートの応力を無視し、コアコンクリートだけを考える。スリーブは、強度を高くして完全剛体として扱い、主筋の断面積の3倍程度とする。また、スリーブ両端の主筋および集約せん断補強筋の接合部分については完全付着とし、主筋

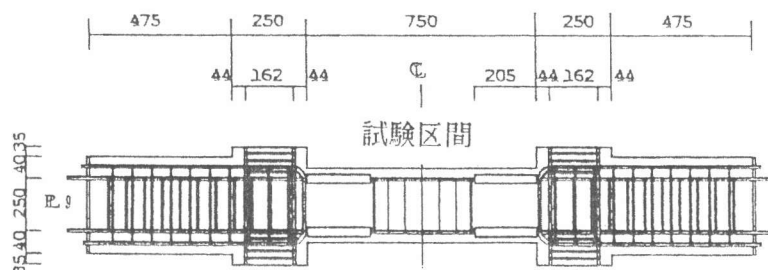


図1 スリーブ継手有する集約補強試験体

*1 福井大学大学院 工学研究科環境設計工学専攻(正会員)

*2 福井大学教授 工学部環境設計工学科 工博(正会員)

*3 (株)フジタ 技術研究所 生産技術研究部(正会員)

の抜け出しは無いものとする。主筋は、引張、圧縮鉄筋比とも $p_t = p_c = 1.27\%$ 、せん断補強筋は、あばら筋比 $p_w = 0.64\%$ とする。また、集約せん断補強筋の断面積は、普通のせん断補強筋の4倍程度とする。

尚、せん断補強筋はRC積層要素として、面材要素内に一様に分布しているものとする。
パラメータを以下に列記する。

1. RCモデル：通常のRC、せん断補強筋を均等に配筋したモデルで、スリーブも集約せん断補強筋もないもの。

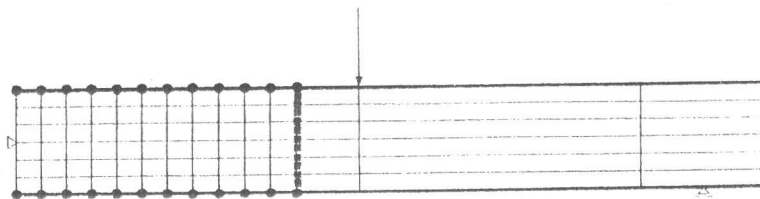


図2 RCモデル

2. PCaモデル：スリーブ効果を定量的に把握するためのモデルで、RCモデルにスリーブを導入したもの。ただし、スリーブに挟まれた区間にはせん断補強筋を入れない。

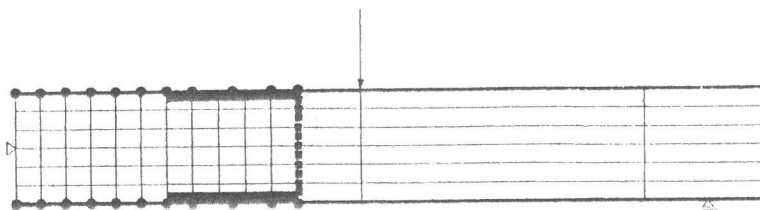


図3 PCaモデル

3. ISRモデル：集約せん断補強効果を定量的に把握するためのモデル。RCモデルに集約せん断補強筋を導入したもの。ただし、集約せん断補強筋に挟まれた区間には普通のせん断補強筋を入れない。

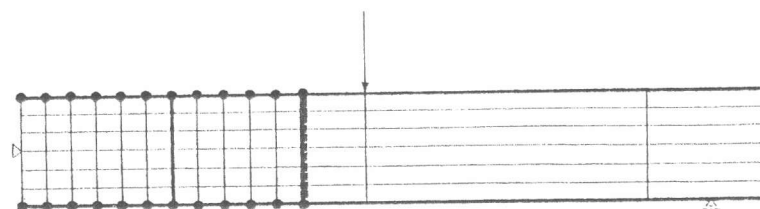
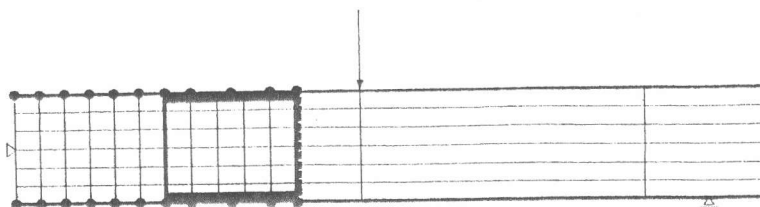


図4 ISRモデル

4. PCaISRモデル：実用モデルに対応したもの。スリーブ効果の期待されるPCaモデルと集約せん断補強効果の期待されるISRモデルを組み合わせたモデル。スリーブの両端に集約せん断補強筋を配筋する。



- コンクリート要素
- 鉄骨要素
- ▬ 線材要素
- ボンドリンク要素
- クラックリンク要素

図5 PCaISRモデル

以上の4種とし、合計8体について解析を行う。

2. 3 解析モデルの諸特性

コンクリート、鉄骨、鉄筋、およびボンドリンクの入力データを表1～4に示す。

表1 コンクリートの入力データ

圧縮強度	350	[kg/cm ²]
弾性係数	2.50*10 ⁵	[kg/cm ²]
割裂強度	35	[kg/cm ²]

表2 スリーブの入力データ

降伏強度	10000	[kg/cm ²]
弾性係数	2.10*10 ⁶	[kg/cm ²]

表3 鉄筋の入力データ

鉄筋の種類	降伏強度 [kg/cm ²]	弾性係数 [kg/cm ²]	断面積 [cm ²]
主筋	4000	2.1*10 ⁶	15.21
せん断補強筋	3500	2.1*10 ⁶	1.43
集約せん断補強筋	3500	2.1*10 ⁶	5.08

表4 ボンドリンクの入力データ

弾性付着剛性	8.0*10 ³	[kg/cm ²]
第2付着剛性	4.0*10 ²	[kg/cm ²]
折れ点付着応力	20.0	[kg/cm ²]
最大付着応力	40.0	[kg/cm ²]

3. 解析結果および考察

8体の解析モデルの主応力とひびわれの分布を図6～9に示す。RCモデルでは主応力が、圧縮隅角部へ向かう円弧を描いている。RCモデルの耐力20tに対して、PCaモデルは14tで、耐力が低下しているが、PCaモデルに集約せん断補強筋を導入したPCaISRモデルでは、RCモデルと同等の耐力が得られており、集約補強効果があった。

3.1 スリーブの影響

RCモデルの主応力方向が、一様に圧縮隅角部へ向かっているのに対してPCa、PCaISRモデルでは、圧縮側スリーブの端部に向かっている。スリーブの部分では、せん断補強筋が入っていないのでトラス機構はなく、アーチ機構だけで応力伝達をしている。そのために梁の破壊は、この部分のコンクリートの破壊となる。

しかしスリーブは、大きな圧縮応力を負担できる事や引張側主筋のダボ変位を拘束できる事で、コンクリートに作用する応力を緩和する働きがある。上下のスリーブ端部を集約せん断補強筋で結んだPCaISRモデルでスリーブと集約せん断補強筋に囲まれたコンクリートは、対角線上に圧縮応力が生じて耐力が上昇した。その部分の応力伝達機構は、その対角線を1辺、スリーブ、集約せん断補強筋をそれぞれ1辺とする巨視的なトラス機構と既往のアーチ機構の足し合わせと考えられる。

3.2 集約補強の影響

PCa、PCaISRモデルともスリーブの長さは全て一定で、かつ上下の主筋間隔にはほぼ等しい。せん断ひびわれが主筋に対して45度方向に入るとすれば、ひびわれの先端が主筋に到達した位置に集約せん断補強筋があるので、その位置でひびわれの進展を拘束する事ができる。

ISR、PCaISRモデルでは、集約せん断補強筋付近のコンクリートの主応力方向が、集約せん断補強筋に沿っている。集約せん断補強筋端部に応力が集中し、圧縮隅角部への応力集中が緩和された。また集約せん断補強筋に挟まれた区間の応力は、両端2本の集約せん断補強筋が、強い引張力を負担するため、コンクリートは集約せん断補強筋の端部を結ぶ対角線方向に強い圧縮応力を生じた。

RCモデルとISRモデルの比較では、あまり差がなかった。双方にスリーブを導入したPCaモデルとPCaISRモデルの比較では、集約せん断補強筋付近のコンクリートの主応力方向や梁全体のせん断耐力に差が生じた。PCaISRモデルの耐力は、RCモデルと同等で、集約補強効果があった。

Scale —

10 kgf/cm²

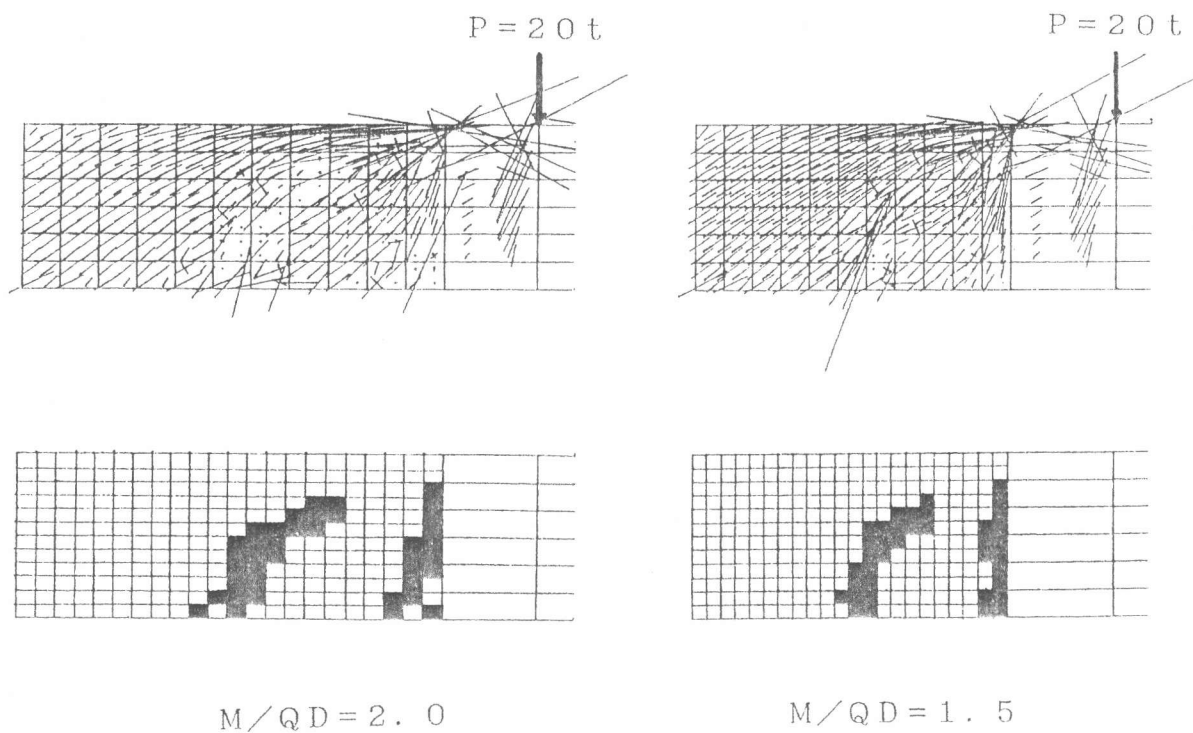


図6 主応力とひびわれの図 (RCモデル)

Scale —

10 kgf/cm²

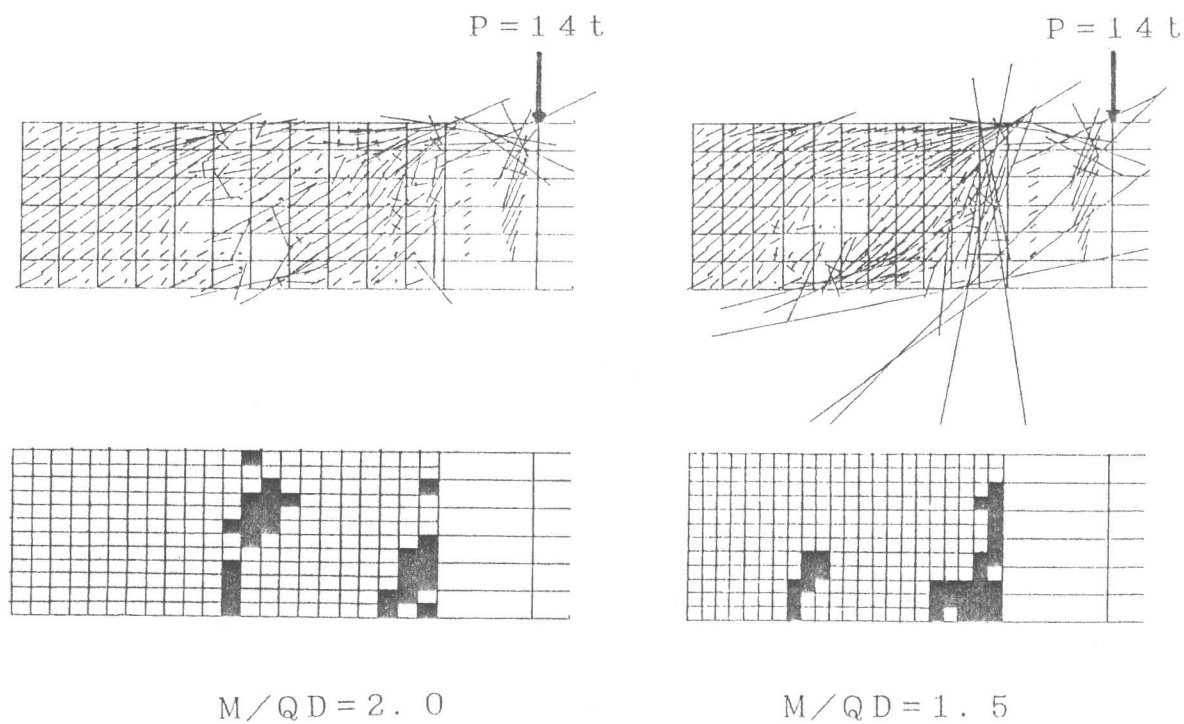


図7 主応力とひびわれの図 (PCAモデル)

Scale —
10 kgf/cm²

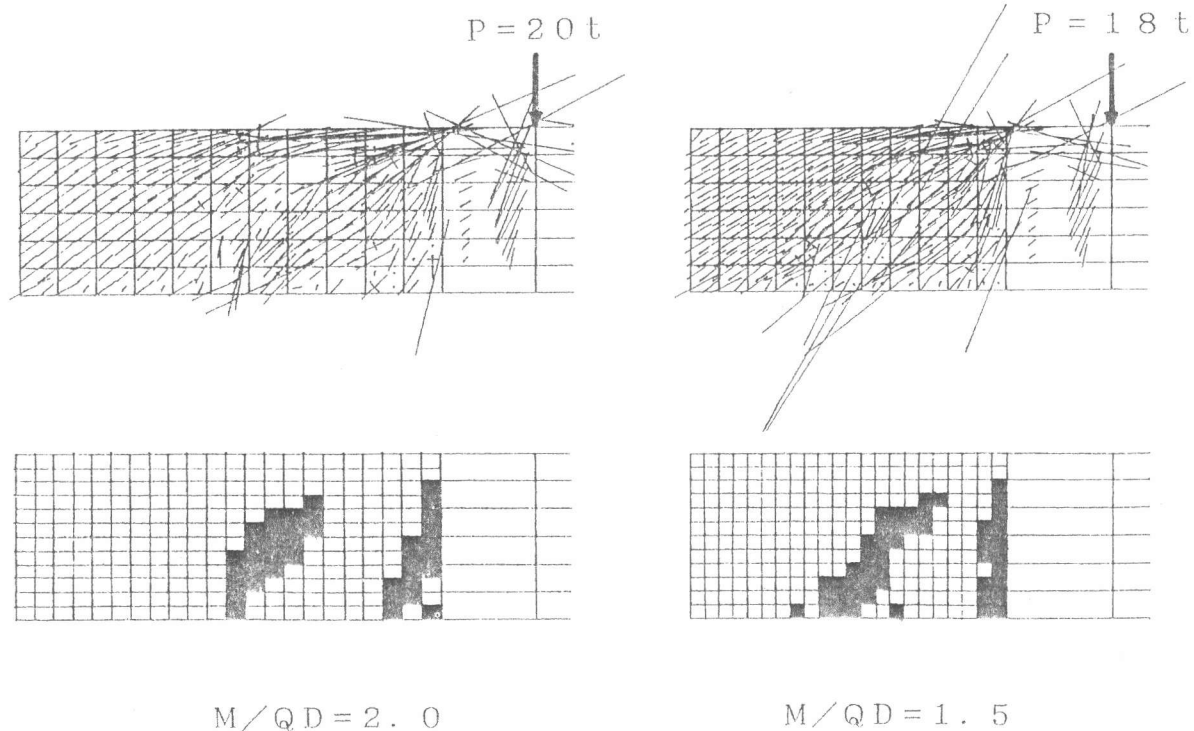


図8 主応力とひびわれの図 (ISRモデル)

Scale —
10 kgf/cm²

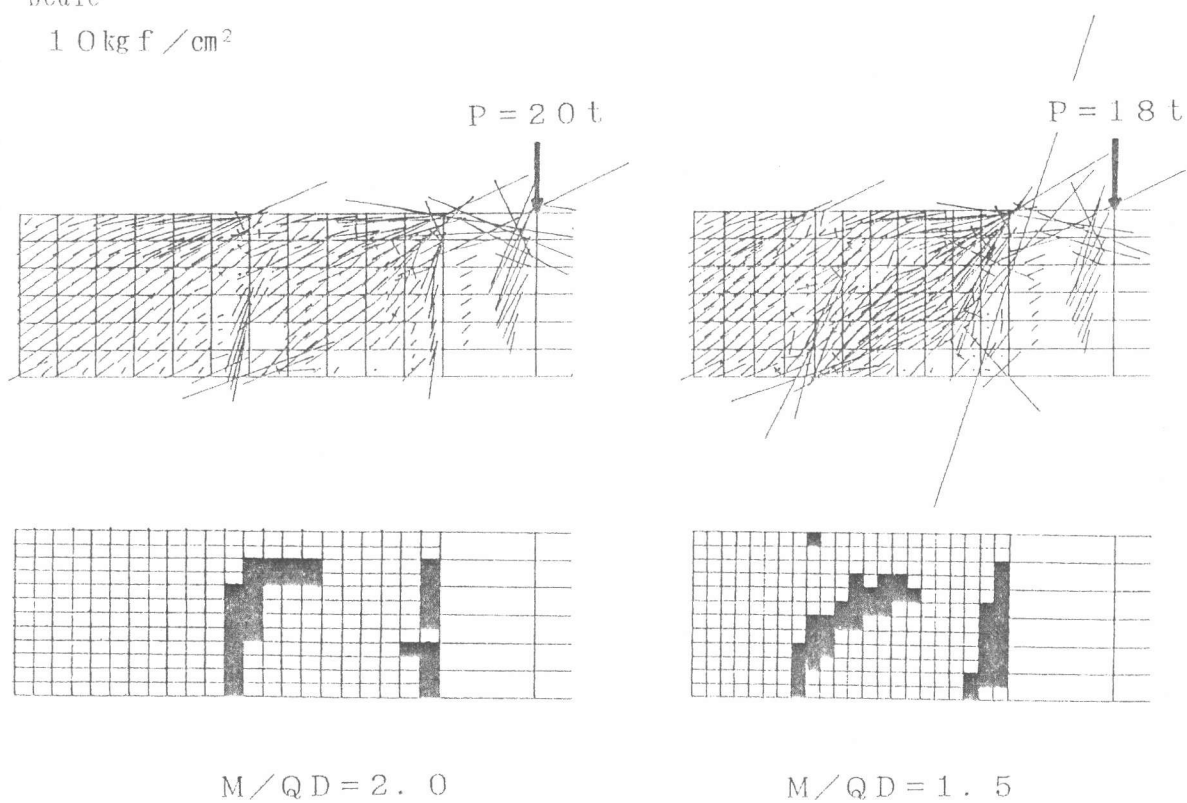


図9 主応力とひびわれの図 (PCaISRモデル)

3.3 セン断スパン比の影響

各モデルで、せん断スパン比にあまり差がなかった。スリーブ又は集約せん断補強筋に挟まれたコンクリートは、アーチ機構と下記に示すマクロトラス機構（対角線方向を1辺とする巨視的なトラス機構）で応力伝達をしている。せん断スパン比が大きい部材については、既往のせん断伝達機構のように連続的なものとして扱った方がよい。梁全体のせん断伝達機構は、従来のアーチ機構、トラス機構とマクロトラス機構を合わせた3機構の足し合わせによって応力が伝達される。

3.4 PCaISRモデルについて

PCaISRモデルは、PCaモデル、ISRモデルの複合した実用モデルである。スリーブ継手を用いる事で継手部の剛性が高くなり、圧縮力の負担割合が大きくなる。このため、圧縮応力の一部をスリーブが負担し、圧縮隅角部のコンクリートへの応力集中を緩和できる。また、集約せん断補強筋が強い引張力を負担できる事から、スリーブと集約せん断補強で囲まれた部分のコンクリートは、他の部分に比べて強くなる。このため、せん断補強筋をスリーブ端部に集約配筋した場合、均等にそれを配筋した場合と同等のせん断耐力が得られる。

マクロトラスの概要を図10に示す。スリーブを有する集約補強されたRC梁は、応力伝達の際、スリーブと集約せん断補強筋で囲まれたコンクリート内で、対角線方向に強い圧縮束を形成する。従って、通常のRC梁のように一様なせん断応力分布を示さない事から耐力評価も既往の評価方法では適切でない。

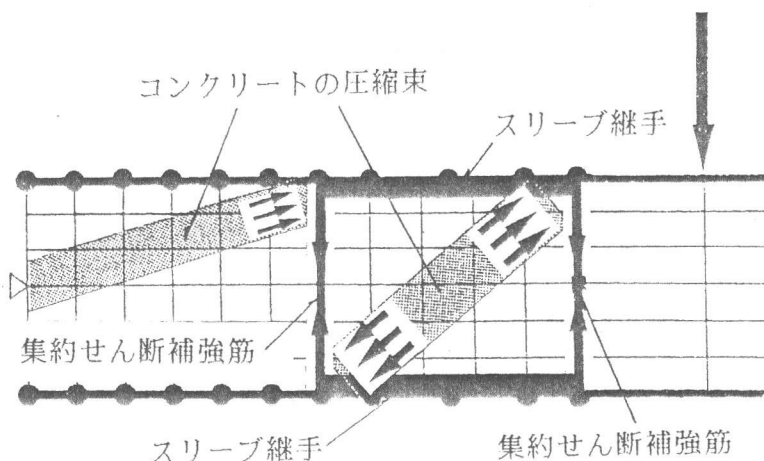


図10 マクロトラスの概要

今後は、マクロトラス機構の圧縮束を定量的に決め、せん断耐力評価方法を考えていく必要がある。

4. まとめ

有限要素解析をして集約補強効果を検討した結果、以下の事がわかった。

鉄筋の接合にスリーブ継手を用いるような部材においては、鉄筋継手スリーブの両端に集約せん断補強を行うことによって集約せん断補強筋とスリーブに囲まれたコンクリート部分に大きな圧縮束（マクロトラス）が形成される。またそれを含めて集約せん断補強の効果が確認できた。

今後は、この集約せん断補強筋によるマクロトラスを形成するせん断力伝達機構を定量的に明確に把握する必要がある。

【参考文献】

- [1] 小林ほか：コンクリート工学年次論文報告集 13-2, pp181-184, 1991.6
- [2] 小林ほか：日本建築学会大会学術講演梗概集C構造Ⅱ pp423-424, pp663-664, 1993.9