

ディープビームにおけるせん断補強効果のメカニズムに関する解析的研究

名古屋大学 学生会員 ○岩本 拓也
名古屋大学大学院 正会員 中村 光, 三浦 泰人

1. はじめに

ディープビームのせん断耐力については、2007 年版コンクリート標準示方書¹⁾においてせん断補強鉄筋による効果を考慮したせん断圧縮破壊耐力式が、2012 年版²⁾ではせん断補強鉄筋が多量に配置された場合の耐力式が示された。これらの耐力式により、ディープビームのより合理的な設計が可能になったが、せん断補強鉄筋による耐力の増加のメカニズムは明らかになっておらず、更なる合理的な設計のためには破壊に至るメカニズムの解明が望まれる。そこで、本研究ではひび割れや応力状態を詳細に検討できる 3 次元剛体バネモデル (RBSM) を用いてせん断補強筋比をパラメータとしたディープビームの数値解析を行い、実験では測定できない応力分布に基づき、せん断補強効果のメカニズムについて検討した。

2. 解析概要

2.1 解析手法

本研究では、Voronoi 分割を用いたランダムな要素形状を有する 3 次元 RBSM によりコンクリートをモデル化し、鉄筋は梁要素によりモデル化した。3 次元 RBSM は様々な部材で適用性が示されており、ひび割れ進展挙動など、コンクリートの不連続面の発生から破壊に至るまで精度よく評価できることが確認されている³⁾。

2.2 解析対象

単純支持された矩形断面の梁を対象とした。供試体概要を図-1 に示す。供試体は断面が $450 \times 300 \text{ mm}$ 、スパン長が 900 mm 、せん断スパン比が 1.5 であり、せん断補強筋比 p_w をパラメータとして 0.0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.0% の 5 つのパターンの数値解析を行った。せん断補強筋間隔は 100 mm である。軸方向鉄筋は D29 の鉄筋を 4 本配置し、降伏強度を 550 MPa として曲げ降伏に至らないように設定した。解析モデルを図-1 に示す。コンクリート要素は Voronoi 分割により平均要素寸法 30 mm とした。各種材料定数を表-1 に示す。圧縮強度を 32 MPa に設定し、その他の材料定数は土木学会コンクリート標準示方書²⁾で提示されている式を用いて算定した。

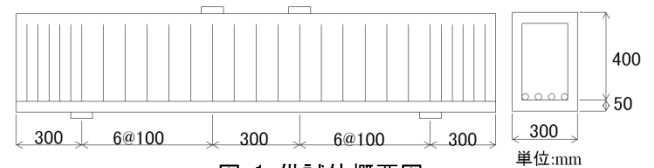


図-1 供試体概要図

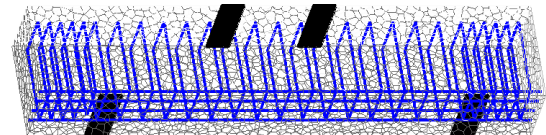


図-2 解析モデル

表-1 材料定数

f'_c (MPa)	f_t (MPa)	E (MPa)	G_f (N/mm)	載荷板幅 (mm)
32	2.3	2.6×10^4	0.086	100

3. 解析結果

3.1 荷重変位関係および変形

図-3 に、各せん断補強鉄筋比のせん断力-載荷点変位関係を示す。せん断補強筋の増加により耐力が増加し、最大荷重以降の荷重低下が緩やかになることが分かる。図-4 に、スタールップ量が異なる場合の最大耐力時の変形図を示す。変形図からは、最終的に載荷板近傍のコンクリート

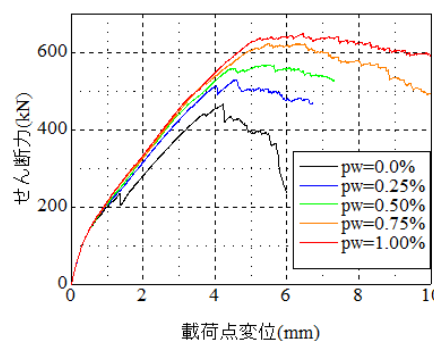


図-3 せん断力-載荷点変位関係

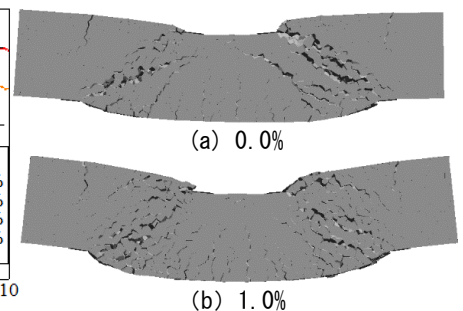


図-4 変形図

が圧壊することが確認された。以上の結果から、ディープビームの破壊性状であるせん断圧縮破壊を評価できていると考えられる。

3.2 せん断補強筋が耐力増加に及ぼす影響について

RBSM の特徴は、ひび割れ進展や応力分布性状を詳細に検討できることである。そこで、せん断補強筋が耐力増加に及ぼす影響を応力分布性状から検討した。せん断圧縮破壊する梁では、斜めひび割れの発生、斜めひび割れ発生後のアーチメカニズムの形成、スターラップによるトラスメカニズムなど、荷重レベルに応じて様々なメカニズムが生じることが知られている。そこで、できるだけある荷重段階のメカニズムのみを明確にするため、同一供試体の異なる荷重レベルや異なる供試体の同変位での応力分布の検討を行うこととした。

図-5(a)にせん断補強筋比 $p_w=0.0\%$ における変位 4.0mm 時の応力分布から、斜めひび割れ発生時の応力分布を引いたときの応力分布を示す。同様に、 $p_w=1.0\%$ から斜めひび割れ発生時の応力分布を引いた時の応力分布を図-5(b)に示す。これにより斜めひび割れ発生後のメカニズムを検討した。図-5(a)より、せん断補強筋がない場合は、斜めひび割れ発生後に斜めひび割れに沿ってアーチ機構が形成される様子が確認される。図-5(b)は図-5(a)と比較すると、載荷板縁から水平方向に圧縮領域が拡大しており、またストラット部分の幅が大きくなっていることが分かる。せん断補強筋を配置することで、アーチ機構と異なるメカニズムが形成されていることが推測される。そこでせん断補強鉄筋効果を詳細に検討するため、同変位において異なるせん断補強筋比の応力分布の引き算を行い、耐力の増加にせん断補強筋がどのような影響を与えるかを検討した。図-5(c)に変位 4.0mm における $p_w=1.0\%$ と $p_w=0.0\%$ の応力分布の差を、図-5(d)に $p_w=0.25\%$ と $p_w=0.0\%$ の応力分布の差を示す。図-5(c)、図-5(d)に共

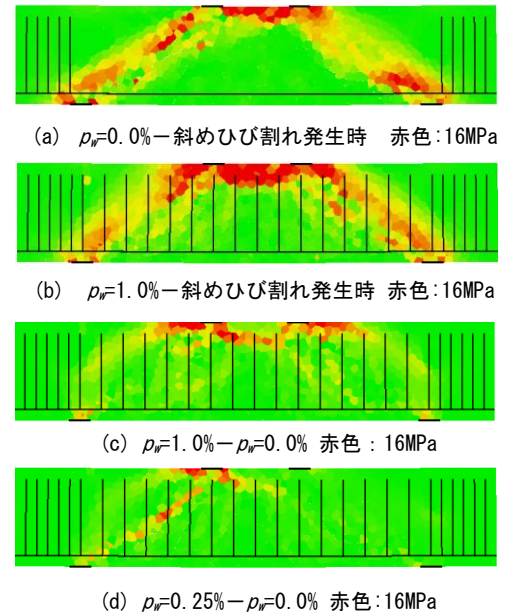


図-5 各せん断補強筋比の応力分布差

通して載荷板縁から圧縮領域が水平方向に延びており、その傾向はせん断補強筋比が大きいほどより顕著であった。また、水平方向に生成した圧縮領域から、ウェブ内を軸方向鉄筋に向かって斜め方向に向かう力の流れが、図-5(c)、図-5(d)いずれの場合にも確認された。さらに、せん断補強鉄筋比が大きいほど応力の値は大きくなり、圧縮力の流れが明確になることが確認された。この力の流れは、トラスメカニズムにおける圧縮弦材と圧縮斜材に対応しており、せん断補強筋を配置することでせん断圧縮破壊する部材にもトラスメカニズムが顕在化することを示していると考えられる。コンクリート標準示方書のディープビームのせん断耐力式²⁾は、アーチメカニズムを想定した式にせん断補強筋の効果を表す項を付け加えたものであるため、本解析結果によって適切なメカニズムに基づいた再検討が必要となる可能性が示唆された。

4. まとめ

RBSM を用いてディープビームのせん断補強筋効果のメカニズムを検討した結果、せん断補強筋による耐力増加はトラスメカニズムに基づく結果が得られた。コンクリート標準示方書のディープビームのせん断耐力式は、アーチメカニズムを想定した式にせん断補強筋の効果を表す項を付け加えたものであるため、適切なメカニズムに基づいた再検討が必要となる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 土木学会：2007 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，2008.3.
- 2) 土木学会：2012 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，2013.3
- 3) 山本佳人，中村光，黒田一郎，古屋信明（2008）3次元剛体バネモデルによるコンクリート供試体の圧縮破壊解析，土木学会論文集E，64（4），pp.612-630