

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
 名古屋大学大学院 正会員 山本 佳人
 名古屋大学大学院 正会員 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、せん断補強筋による耐力増加のメカニズムは必ずしも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より、ビーム・アーチ機構の分離を行い、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。図-1に供試体概要を示す。供試体は断面が300×100mmであり、有効高さは250mm、せん断スパン比は1.5である。せん断補強筋間隔一定で、鉄筋断面積を変化させ、せん断補強筋比が0.0%、0.4%、1.6%の3パターンの数値解析を行った。図-2に解析モデルを示す。コンクリート要素はVoronoi分割により平均要素寸法20mmとした。各種材料特性値を表-1に示す。圧縮強度を40MPaとし、その他の材料特性値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。

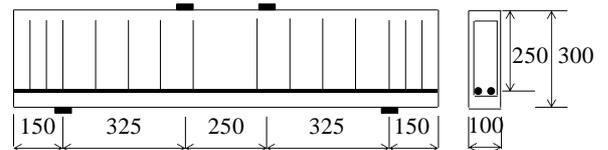


図-1 供試体概要図 単位：mm

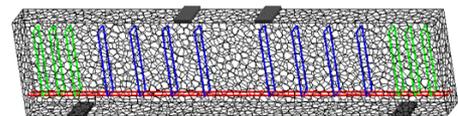


図-2 解析モデル

表-1 材料特性値

f_c (MPa)	f_t (MPa)	E (MPa)	荷板幅 (mm)
40.0	2.69	2.93×10^4	50.0

3. ビーム・アーチ機構

一般的にRC梁部材のせん断抵抗機構として、ビーム機構(トラス機構)とアーチ機構が存在する⁴⁾。ビーム・アーチ機構は、実験では明確に分離するのは困難であるが、解析では応力分布を適切に算定できれば分離可能である。したがって、ビーム・アーチ機構の分離を行うことで、せん断補強効果のメカニズムの解明につながると考えられる。ビーム・アーチ機構の分離は以下の式(1)を用いて行うことができる。

$$V = \frac{dM}{dx} = \frac{d(T \cdot jd)}{dx} = jd \cdot \frac{dT}{dx} + T \cdot \frac{d(jd)}{dx} \quad , \quad M = T \cdot jd \quad (1)$$

ここで、 jd :モーメントアーム長、 T :軸方向鉄筋張力である。右辺第一項がビーム機構によるせん断抵抗であり、第二項がアーチ機構によるせん断抵抗である。 jd は、断面の軸方向応力分布から、圧縮合力の作用点を算出することで求めた。今回は、せん断スパン中央付近の2つの断面を選出し、分離を行った。

キーワード ディープビーム, せん断, アーチ機構, トラス機構

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL: (052) 789-3735/4637

4. 解析結果

4.1 荷重変位関係および変形図

図-3 に、各せん断補強筋比のせん断力-載荷点変位関係を示す。せん断補強筋量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。図中点線は、土木学会コンクリート標準示方書²⁾に基づく耐力算定値であり、最大耐力はよく一致していることが確認された。

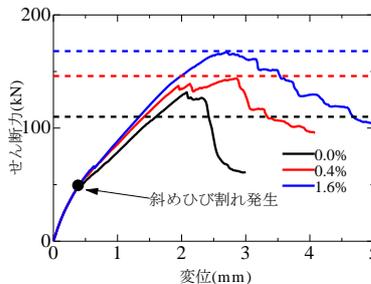


図-3 せん断力-載荷点変位関係

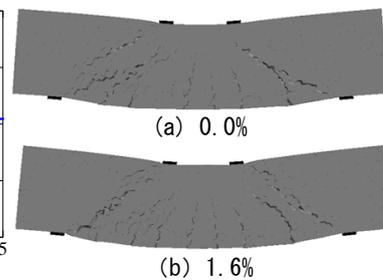


図-4 最大耐力時変形図

図-4 に、スターラップなしおよびせん断補強筋比 1.6% 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が圧壊することが確認された。以上の結果より、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。

4.2 ビーム・アーチ機構の検討

図-5 に、ビーム・アーチ機構の分離によって算出した、各せん断補強筋比における、アーチ機構が負担するせん断力-変位関係を示す。アーチ機構が負担するせん断力は、斜めひび割れ発生後急激に大きくなる。ただし、最大せん断力は、せん断補強筋量の増加に伴い、最大耐力が増加しても常に一定であることが確認された。これにより、本解析結果からは、アーチ機構は耐力の増加に関わらないことが示された。

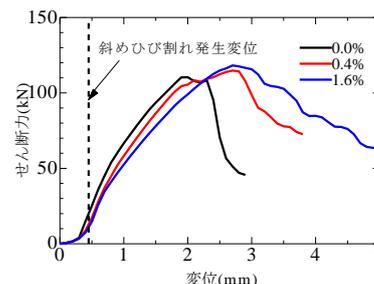


図-5 アーチ機構

図-6 に、各せん断補強筋比における、ビーム機構が負担するせん断力-変位関係を実線で示す。せん断補強筋が配置されていない場合（黒線）では、斜めひび割れ発生後に、ビーム機構が負担するせん断力は急激に低下することが確認された。一方で、せん断補強筋が配置された場合は、斜めひび割れ発生後もビーム機構がせん断力を負担し、せん断補強筋量が大きいほど負担量が大きくなることが確認された。このことから、ディープビームの耐力増加はビーム機構（トラス機構）によるものと考えられる。また図-6 に、せん断補強筋の最大ひずみ位置の鉄筋応力に対し、斜めひび割れ角度を 45 度と仮定してトラス理論により得られたせん断力-変位関係を点線で示す。0.4% の場合は、斜めひび割れ発生後トラス理論により得られたせん断力とビーム機構が負担するせん断力は一致する。一方、1.6% の場合、トラス理論により得られたせん断力は、斜めひび割れ発生後、ビーム機構が負担するせん断力より徐々に大きくなった。このことから、ディープビームでは、せん断補強筋量が大きくなると既往の実験的研究⁵⁾と同様に、トラス理論で算定されるせん断力は、耐力の増加を過大に評価する結果が得られた。

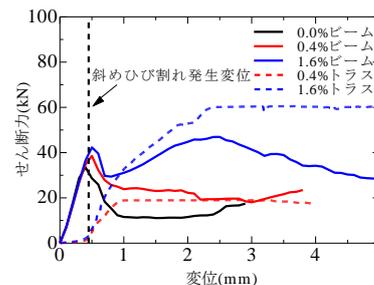


図-6 ビーム機構, トラス理論

5. まとめ

RBSM を用いてディープビームのせん断補強効果のメカニズムを検討した結果、耐力増加はビーム機構の増大すなわち、トラスメカニズムによるものと示され、アーチ機構は耐力増加に関わらないという結果が得られた。また、せん断補強筋量が大きくなると、トラス理論で算定されるせん断力は耐力の増加を過大に評価する結果が得られた。本解析で得られた結果から、ディープビームのせん断耐力は、アーチ機構による耐力に、トラス理論で算定される耐力を低減したものを加える形式が、よりメカニズムに近い算定方法であ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) Y.H. Gedik, H.Nakamura, Y. Yamamoto, N.Ueda and M.Kunieda : Effect of Stirrups on the Ahear Failure Mechanism of Deep Beams, *Journal of Advanced Concrete Technology* , JCI, Vol.10, 14-30, 2012.1.
- 4) 若林 實, 南 宏一：コンクリート系構造部材のせん断強度について，京都大学防災研究所年報，第 24 号 B-1, pp.2445-277, 1981.4.
- 5) 林川俊郎, 斉藤文彦, 角田與史雄：せん断補強筋を有する RC ディープビームの強度について，コンクリート年次論文報告集，Vol.12, No.2, pp.333-338, 1989.