

せん断補強筋が RC はりのせん断強度の寸法効果に及ぼす影響評価

名古屋大学 学生会員 ○遅 舜元

名古屋大学大学院 正会員 中村 光, 山本 佳士, 三浦 泰人

1. はじめに

コンクリート構造物には、せん断強度が部材寸法に比例して大きくならない寸法効果の存在が知られており、設計上もせん断耐力の算定において、重要なパラメータとなっている¹⁾。しかしながら、せん断補強筋を配置した場合、寸法効果が明確に現われないという実験結果も報告されている²⁾。本研究では、応力状態およびひび割れ進展など、RC 部材の挙動を正確に再現できる 3D-RBSM を用いて、ビーム機構とアーチ機構のメカニズムやひび割れ幅分布からせん断補強筋が寸法効果に及ぼす影響を解析的に評価した。

2. 解析手法

2.1 3D-RBSM

本研究では、ボロノイ分割を用いたランダムな要素形状を有する 3D-RBSM によりコンクリートをモデル化し、鉄筋ははり要素によりモデル化した。3D-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、局所位置での詳細な応力状態などを、精度よく評価できることが確認されている³⁾。

2.2 ビーム・アーチ機構の分離方法

RC 部材のせん断抵抗として、ビーム機構とアーチ機構が存在する。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。

$$V = \left(\frac{dT}{dx} + \frac{dC_s}{dx} \right) \cdot \frac{j_s}{2} + \frac{dC_c}{dx} \cdot j_{Cc} + \frac{dT_c}{dx} \cdot j_{Tc} + C_c \cdot \frac{dj_{Cc}}{dx} + T_c \cdot \frac{dj_{Tc}}{dx} \quad (1)$$

ここで、 T と C_s は軸方向鉄筋の引張と圧縮力、 T_c と C_c はコンクリートの引張と圧縮力、 j_{Tc} と j_{Cc} は引張と圧縮力の重心と材軸の距離である。右辺第一、二項はビーム機構、第三、四項がアーチ機構によるせん断抵抗である。また、せん断補強筋を配置する場合、ビーム機構の一部はトラス機構により負担される。すなわち、ビーム機構により負担されるせん断力は、コンクリート負担分とトラス機構による負担分の和として表される。トラス機構により負担されるせん断力は、斜めひび割れ角度を 45° と仮定し、トラス理論に基づいて算出した。全体のビーム機構からトラス機構による負担分を引くことでビーム機構のコンクリート負担分は求められる。

3. 解析モデルおよび結果

3.1 解析モデル

せん断スパン比 3.51, 引張鉄筋比 1.01% の矩形断面の片持ち梁を解析対象とした。図-1 に供試体概要を示す。すべての供試体は左端から 300mm の上、下、側面の変位が拘束されている。有効高さは $d=325\text{mm}$, 625mm , 925mm の 3 通り、せん断補強筋比はスターラップの断面積を変化させることで、 $\rho_w=0.0\%$, 0.16% , 0.30% の 3 通りとし、合計 9 パターンの数値解析を行った。平均要素寸法を 30mm とした。コンクリートの圧縮強度は 40MPa とした。

3.2 寸法効果の評価

図-2 に $\rho_w=0.0\%$ と $\rho_w=0.30\%$ の供試体のせん断応力-変位関係を示す。せん断補強筋がない場合、最大せん断応力は明らかに寸法の増

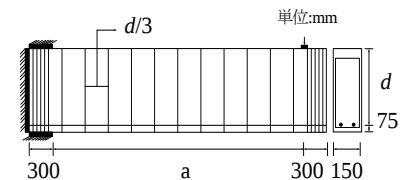


図-1 供試体概要

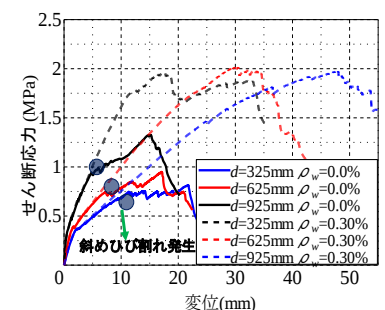


図-2 せん断応力-変位関係

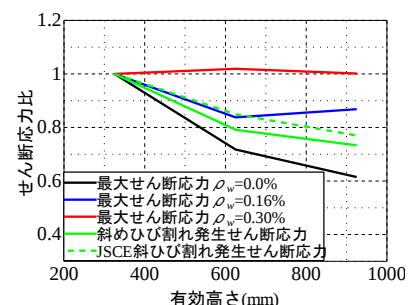


図-3 せん断応力比

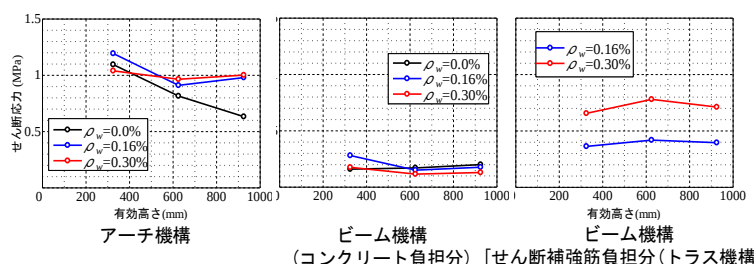


図-4 各機構により負担されるせん断応力

キーワード：寸法効果、せん断補強筋、ビーム・アーチ機構、ひび割れ幅

連絡先：〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 工学部 9 号館 526 号室 TEL 052-789-4484

加とともに低下している。一方、せん断補強筋比が 0.3% 配置された場合、最大せん断応力はほぼ等しくなり、寸法効果は生じていない。図-3 に各せん断補強筋比に対する、斜めひび割れ発生時せん断応力、最大せん断応力を、 $d=325\text{mm}$ の供試体の値を基準として正規化を行い、有効高さの増加によるせん断応力の変化の割合を示した。斜めひび割れ発生せん断応力の寸法効果は、コンクリート標準示方書の式と同様である¹⁾。せん断補強筋がない場合、最大せん断応力が有効高さの増加につれて低下し、顕著な寸法効果を示した。 $\rho_w=0.16\%$ の場合、寸法が大きいくほど最大せん断応力の低下が緩やかになり、寸法効果が緩和された。 $\rho_w=0.30\%$ の場合、最大せん断応力の低下が確認できず、寸法効果が生じていない。

3.3 ビーム・アーチ・トラス機構に基づくせん断補強筋比が寸法効果に及ぼす影響の考察

図-4 にビーム・アーチ・トラス機構を分離し、最大せん断応力時の各機構が負担するせん断応力を示す。ビーム機構のコンクリート負担分ならびにせん断補強筋負担分ともに顕著な寸法効果は示さない。また、コンクリートが負担するせん断応力はアーチ機構が主であり、ビーム機構の貢献は小さい。一方、アーチ機構が負担するせん断応力は、せん断補強筋を配置しない場合、顕著な寸法効果を示した。 $\rho_w=0.16\%$ の場合、有効高さ 325mm から 625mm の間アーチ機構の寸法効果が存在し、625mm から 925mm の間アーチ機構の寸法効果が生じない傾向になり、全体の寸法効果が緩和されることが示された。さらに、 $\rho_w=0.30\%$ の場合、有効高さは増加しても、アーチ機構は低下せず、寸法効果が生じなかった。このことから、最大せん断応力の寸法効果は、アーチ機構の寸法効果により生じ、せん断補強筋を配置すると、その寸法効果が低減されることが示された。

4. 局所情報による寸法効果のメカニズムに対する考察

寸法効果には、アーチ機構が大きく寄与していることが示されたので、アーチ機構と直接関係する断面内の圧縮応力を検討した。図-5 にせん断補強筋がない供試体の平均軸圧縮応力の材軸分布を示す。横軸は固定端からの距離とスパン長さの比率とした。せん断補強筋がない場合、有効高さの増加につれて、平均圧縮応力が低下している。なお、せん断補強筋が配置されると、平均圧縮応力の値が寸法によらず、ほぼ等しくなることを確認している。平均圧縮応力の相違の原因として、ひび割れ幅の影響が考えられる。図-6 に最大せん断応力時のひび割れ図、図-7 に断面の最大ひび割れ幅の材軸分布を示す。せん断補強筋がない場合、寸法が大きくなると、斜めひび割れ幅も大きくなるが、せん断補強筋が配置されると、ひび割れが分散することにより、斜めひび割れ幅は寸法とともに大きくなり結果となった。このようなひび割れ幅の相違が寸法効果に大きく影響する可能性が示された。

5. まとめ

せん断強度の寸法効果はある程度のせん断補強筋が配置されると生じなくなることを解析的に明らかにした。また、寸法効果は、アーチ機構によるせん断抵抗により生じること、せん断補強筋が配置された場合、ひび割れ分散性により、ひび割れ幅の寸法による相違が小さくなることで、寸法効果が減少する可能性を示した。

6. 参考文献

- 1) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書「設計編」，2013.，
- 2) Robeter J.Frosch：Behavior of large-Scale Reinforced Concrete Beams With Minimum Shear Reinforcement, ACI Structural Journal, VOL.97, NO.6, pp.814-820, 2000.，
- 3) 岩本拓也他：ビーム・アーチ機構に基づく RC はりのせん断抵抗メカニズムに関する一考察，土木学会論文集，VoL.73, No.1, pp.70-81, 2017

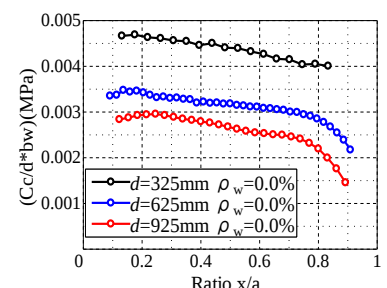


図-5 軸圧縮応力の材軸分布

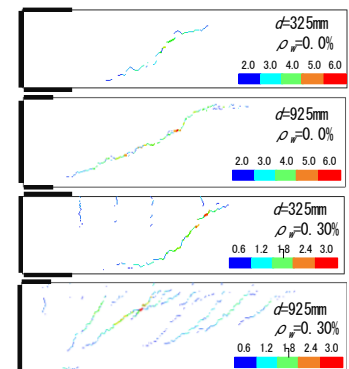


図-6 最大せん断力時ひび割れ図

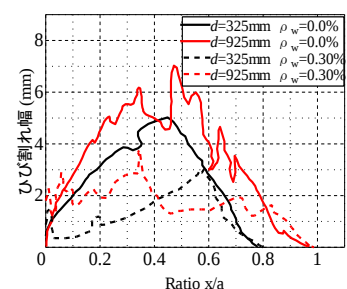


図-7 最大ひび割れ幅材軸分布