

## せん断補強筋を有するせん断破壊する RC はりの寸法効果に対する解析的検討

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

せん断補強筋を有しない RC はり部材では、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<sup>1)</sup>。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れないという実験結果も報告されている<sup>2)</sup>。本研究では、ひび割れ進展も含め RC はり部材の挙動を正確に再現できる 3D-RBSM を用いて、せん断補強筋が寸法効果に及ぼす影響を解析的に評価するとともに、ビーム機構とアーチ機構のメカニズムからその影響を考察する。

## 2. 解析手法および解析モデル

## 2.1 解析手法

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<sup>3)</sup>。

## 2.2 ビーム・アーチメカニズムの分離方法

RC 部材のせん断抵抗機構として、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。式(1)の各項目は 3D-RBSM で得られた応力分布の結果から、正確に算定することができる。

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

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。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、コンクリートとトラス機構による負担分の和として表される。今回は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。

## 2.3 解析モデル

せん断スパン比 3.51、単純支持の矩形断面を解析対象とした。図-1 に供試体概要の一例を示す。有効高さとしせん断補強筋比をパラメータとして、有効高さは  $d=325\text{mm}$ ,  $625\text{mm}$ ,  $925\text{mm}$  の 3 通り、せん断補強筋比は鉄筋の断面積を変化させることで、 $\rho_w=0.0\%$ ,  $0.08\%$ ,  $0.16\%$  の 3 通りとし、合計 9 パターンの数値解析を行った。コンクリート要素はボロノイ分割により作成し、平均要素寸法を  $35\text{mm}$  とした。コンクリートの圧縮強度は  $21\text{MPa}$  である。

## 3. 解析結果

## 3.1 せん断応力変位関係および変形図

図-2 に  $\rho_w=0.0\%$  と  $\rho_w=0.16\%$  の供試体のせん断応力-変位関係を示す。図-2 中の●印は、斜めひび割れ発生時である。図-3 に  $d=925\text{mm}$ ,  $\rho_w=0.0\%$  および  $\rho_w=0.16\%$  の供試体の最大せん断応力時の変形図を示す。 $\rho_w=0.0\%$  の場合は単一の斜めひび割れの進展と拡大が明確であり、 $\rho_w=0.16\%$  の場合は斜めひび割れが分散して発生し、最終的に載荷板近傍のコンクリートが圧壊した。これらの結果から、せん断補強筋の有無による破壊挙動の特徴を明確に捉えていることが確認できる。 $\rho_w=0.0\%$  の場合、斜めひび割れが発生した後もせん断応力

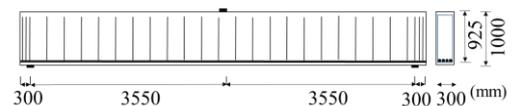


図-1 供試体概要

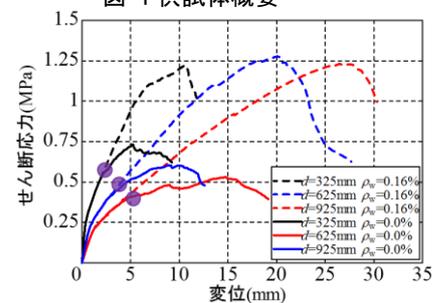
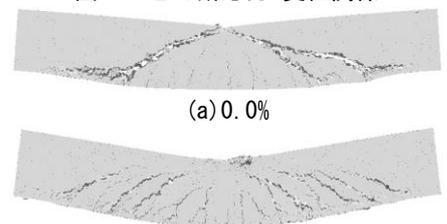


図-2 せん断応力-変位関係



(a) 0.0%

(b) 0.16%

図-3 最大応力時変形

が若干増加し、最大せん断応力に至ったが、有効高さの増加につれて、せん断強度が低下することが分かる。一方、 $\rho_w=0.16\%$ の場合、斜めひび割れ発生後、せん断補強効果により、せん断応力が顕著に増加し、最大せん断応力に至った。ただし、最大せん断応力は有効高さによる違いがほとんど生じなかった。

### 3.2 斜めひび割れ発生応力および最大せん断応力の寸法効果

図-4に、各せん断補強筋比に対する、斜めひび割れ発生時のせん断応力、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強度の変化の割合を示した。図中点線で表す斜めひび割れ発生時のせん断応力は、せん断補強筋比によらず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。一方、最大せん断応力はせん断補強筋を配置しない場合は、斜めひび割れ発生荷重と同様の寸法効果を示したが、せん断補強筋比の増加につれて寸法効果が生じない傾向になった。

### 4. ビーム・アーチ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-5に、 $d=925\text{mm}$ ,  $\rho_w=0.16\%$ の供試体に対し、ビーム・アーチ・トラス機構を分離し、せん断応力-変位関係中に、各機構が負担するせん断応力の変化を示した。図中の●印は、斜めひび割れ発生時である。斜めひび割れ発生時までは、ビーム機構  $V_b$  が支配的である。また、トラス機構  $V_s$  はせん断応力をほとんど負担していないことから、ビーム機構のコンクリート負担分  $V_{bc}$  によりせん断応力が負担されている。斜めひび割れ発生後は、トラス機構  $V_s$  とアーチ機構により負担されるせん断応力  $V_a$  が急激に大きくなり、最大耐力時はトラス機構とアーチ機構によるコンクリート負担分により主にせん断応力が負担されることが示されている。他の供試体も、ほぼ同じ挙動を示した。

図-6に最大せん断応力時の各機構の各せん断補強筋比における、せん断応力-有効高さ関係を示す。図中、赤線はビーム機構のうちコンクリート負担分を、青線と赤線の差がアーチ機構によるコンクリート負担分を、黒線と青線の差がトラス機構による負担分を示している。いずれの場合も、せん断応力のコンクリート負担分はアーチ機構が支配的となっている。 $\rho_w=0.0\%$ の供試体は有効高さが増加するにつれて、アーチ機構の寸法効果により、最大せん断応力が低下する様子が確認される。一方、せん断補強筋を配置する場合、アーチ機構への有効高さの影響は小さくなる。以上より、最大せん断応力時は、せん断補強筋の配置により、アーチ機構の寸法効果が低減され、全体の寸法効果が低減されることが示された。

### 5. まとめ

斜めひび割れ発生前はビーム機構の寸法効果が顕著であり、発生後せん断抵抗機構がアーチ機構に移行し、アーチ機構は最大荷重時寸法効果の主な原因となる。せん断補強筋の導入により、アーチ機構の寸法効果が緩和され、全体の寸法効果は小さくなる可能性が解析に示された。

### 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) Robert 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) 山本佳士他：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, Vol.64, No.4, pp.612-630, 2008.

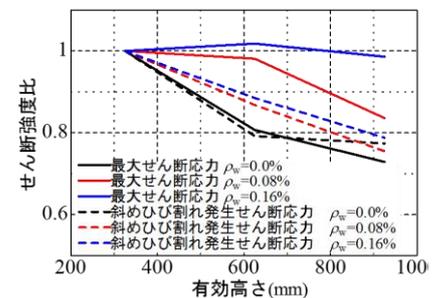


図-4 せん断強度比-有効高さ関係

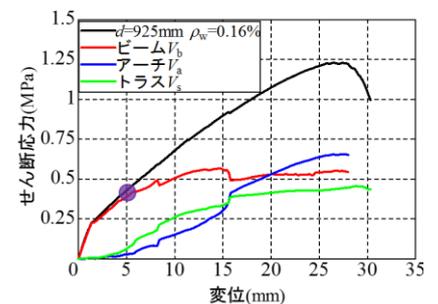


図-5 ビーム・アーチ機構分離

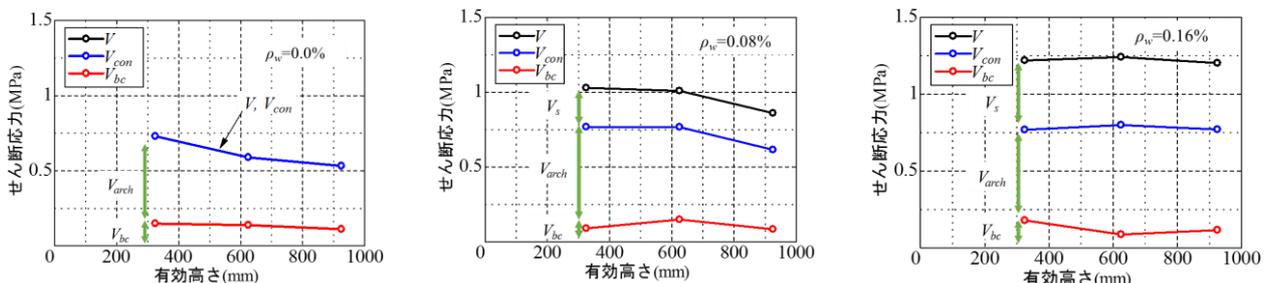


図-6 せん断応力-有効高さ関係