

3D-RBSMによるせん断破壊する RC はり部材の 3 次元的なひび割れ発生・進展挙動の検討

名古屋大学 学生会員 ○茶谷 友樹

名古屋大学大学院 正会員 中村 光, 三浦 泰人

1. はじめに

RC はりのせん断破壊は斜めひび割れの発生・進展の影響を大きく受けるが、一般に表面から観測できるひび割れのみでの知見しかなく、内部ではどのような発生・進展をするかは明らかになっていない。そこで本研究では、部材の表面だけでなく内部のひび割れ性状にも着目し、ひび割れ一本一本を再現できる 3 次元剛体バネモデル (3D-RBSM) を用い、ひび割れの 3 次元的な進展・挙動を詳細に検討した。

2. 解析手法および解析モデル

解析手法は、当研究室で開発を進めてきた剛体要素をバネで結んだモデルで構造解析を行う 3D-RBSM を用いた¹⁾。図-1 に示す、高さ 200mm、幅 200mm、

せん断スパン長さ 550mm のせん断破壊する RC はり供試体を対象に 3 点曲げ解析を行った。供試体は右側のスパン内のスターラップを少なくし、斜めひび割れ進展挙動を検討するスパンとした。図-2 に解析モデルを示す。平均要素寸法を 15mm とし、鉄筋は全てはり要素でモデル化した。また、

図-1 の破線 A~C の断面内に剛性を極端に小さくしたはり要素を複数本鉛直に配置し、断面内の高さ方向のひずみ分布を出力できるようにした。なお、コンクリートの圧縮強度を 30MPa とした。

3. ひび割れの 3 次元的な進展挙動

3. 1 荷重変位関係およびひび割れ進展

図-3 に荷重-変位関係を示す。供試体の鉛直変位が 2.0mm あたりで微細な斜めひび割れが表面で確認され、6.0mm の時に最大荷重 247kN を示しせん断破壊をした。荷重-変位関係の赤点で示した鉛直変位 $\delta=1.5, 2.0$ mm の時の右側スパンの表面および底面のひび割れ図と図-1 中の A~C の断面で

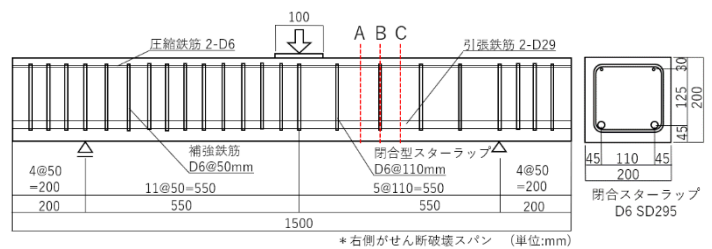


図-1 供試体概要

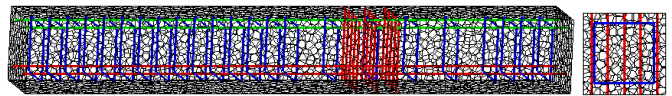


図-2 解析モデル

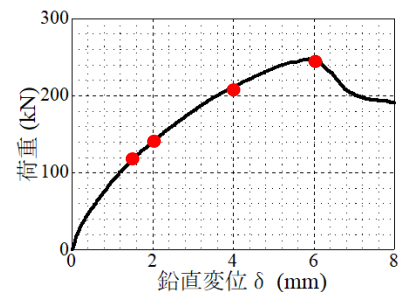


図-3 荷重-変位関係

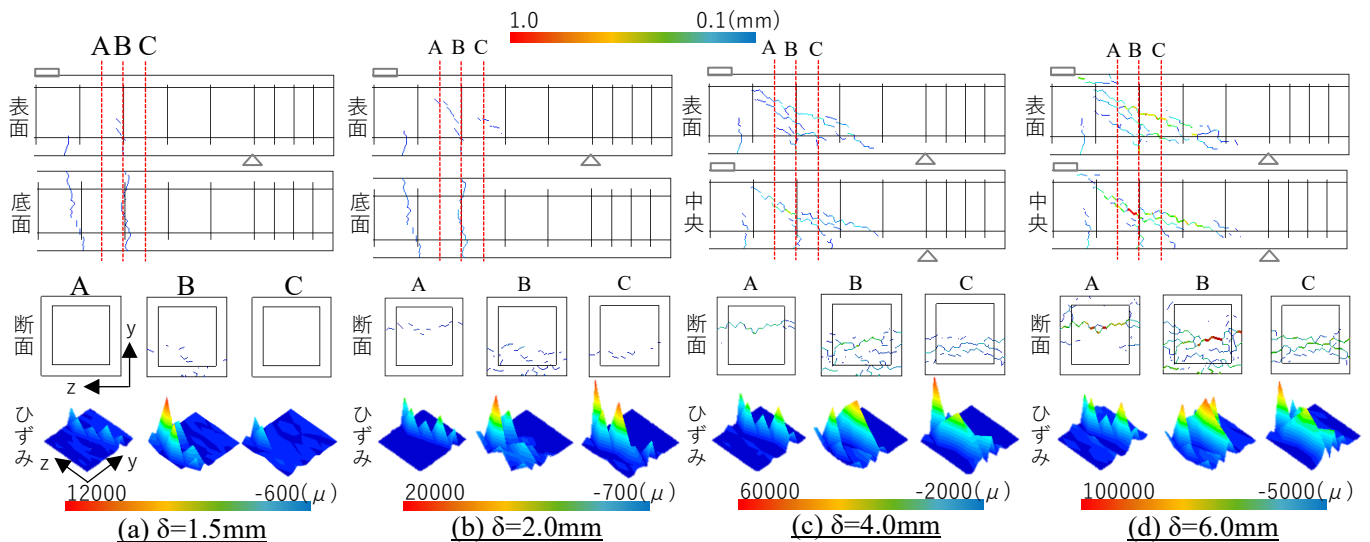


図-4 ひび割れ図およびひずみ分布

のひび割れ図と断面内の高さ方向（y 方向）のひずみ分布を図-4(a)および(b)に示す。また同様に、鉛直変位 $\delta=4.0, 6.0\text{mm}$ の時の右側スパンの表面と幅中央での内部のひび割れ図と断面内のひび割れ図、ひずみ分布を図-4(c)および(d)に示す。なお、断面 A と C は隣り合うスターラップ間の中心の断面で、断面 B はスターラップ位置の断面である。

3. 2 斜めひび割れの 3 次元的な進展挙動

図-4 に示す $\delta=1.5\text{mm}$ の時点では、底面のひび割れと同位置の側面でのみひび割れが観測されることから、曲げひび割れだけが発生している。しかし $\delta=2.0\text{mm}$ の時点では、断面 C の位置で側面には底面と繋がっていないひび割れが発生しており、曲げひび割れから支点方向に向かう斜めひび割れが発生した。一方、断面 A でのひび割れは、曲げひび割れから載荷点方向に進展した斜めひび割れであると考えられる。この時、断面高さ方向のひずみ分布は断面 C では斜めひび割れ位置で大きくなるとともに、中心部で大きな値を示す。 $\delta=2.0\text{mm}$ 直前のひび割れも詳細に検討したところ、斜めひび割れは断面中心で発生したのち、内部でひび割れ幅を拡大しながら側面に進展していくことが確認できた。また、斜めひび割れの断面内のひび割れ幅はひずみ分布より、 $\delta=4.0\text{mm}, 6.0\text{mm}$ でも内部の方が大きくなっていることがわかる。この傾向は特に、スターラップ位置の断面でより顕著に見られる。

斜めひび割れがある程度進展した $\delta=4.0\text{mm}, 6.0\text{mm}$ では、中心部で幅の大きい支配的な斜めひび割れが一本生じるが、表面では斜めひび割れが複数本に分散しており、その幅は中心部より小さくなっていることもわかる。表面部のひび割れの分散性は、スターラップの存在により内部から進展したひび割れが複数本に分かれたためと考えられる。このことから、ひび割れ幅やひび割れ分布も 3 次元的に変化していることが確認できた。

3. 3 断面内の高さ方向のひび割れ発生・進展挙動

図-4 に示す $\delta=6.0\text{mm}$ の最大荷重時のスターラップのない断面 A のひび割れ図では、斜めひび割れがスターラップの配置された場所と同じ位置を起点として高さ方向に進展しているひび割れが存在していることが確認できた。これをより明確にするため、図-5 に断面 A およびその近傍でさらに細かく切った断面 D, E のひび割れ図と変形図を示す。断面 D では載荷点付近の上面の圧壊部のひび割れと断面上部を通る斜めひび割れが交わって高さ方向のひび割れが生じている。断面 A, E と載荷点から遠ざかるにつれて斜めひび割れの位置は下がるが、いずれも高さ方向のひび割れは断面上部まで繋がって発生していることがわかる。このことから、前述したスターラップ手前で分散して広がった斜めひび割れが、載荷点付近の圧壊部のひび割れと繋がるようにして高さ方向にもひび割れが発生・進展したと考えられる。

4. まとめ

RC はり部材の内部も含めたひび割れ進展挙動を 3 次元的に検討することにより、斜めひび割れは断面の中心から発生し、中心部でひび割れを拡大しながら側面に進行していること、スターラップの影響で表面部では分散してひび割れ幅は小さくなるが、内部ではより大きなひび割れ幅の斜めひび割れが存在していることが解析的に確かめられた。また、圧壊部に近い断面では斜めひび割れがスターラップの配置された場所と同じ位置を起点として高さ方向に発生・進展することが確認できた。

参考文献

- 1) 山本佳士ら：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，Vol.64，No.4，pp.612-630，2008.

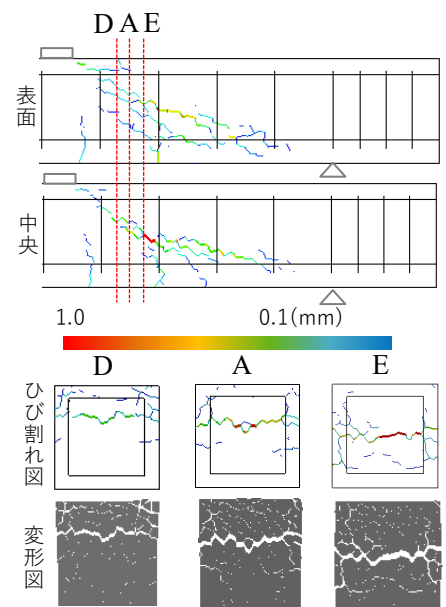


図-5 ひび割れ図および変形図