

FRP シート補強 RC 版の押し抜きせん断破壊挙動に関する数値解析的研究

東京都建設局 正 会 員 ○内田 雅俊 室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光
三井住友建設（株） フェロー 三上 浩 室蘭工業大学 正 会 員 張 広鋒

1. はじめに

本研究では、FRP シートを下面接着した RC 版の押し抜きせん断破壊挙動を適切に再現可能な解析手法を確立することを目的に、2 方向アラミド繊維 (AFRP) シートを下面接着した 4 辺支持 RC 版に関する 3 次元弾塑性解析を試み、実験結果と比較することにより解析手法の妥当性を検討した。なお、解析では、押し抜きせん断破壊面の破壊挙動、主鉄筋のすべり、シートの剥離等の幾何学的不連続現象を接触面要素を用いてモデル化している。

2. 試験体の概要

本研究に用いた試験体は、無補強試験体を含め、2 方向シートの補強層数を 1 層から 4 層に変化させた 4 体の全 5 体である。試験体名は N が無補強、S がシート補強、第 2 項目の数字は補強層数を示している。図-1 には、解析対象とした試験体の形状寸法、配筋状況、載荷位置をシート補強概要とともに示している。実験時におけるコンクリートの圧縮強度は 34.9 MPa、弾性係数は 29.0 GPa、鉄筋の降伏強度は 362 MPa であった。

3. 数値解析概要

図-2 には、本解析に用いた試験体の要素分割状況を示している。解析モデルは、RC 版の対称性を考慮した 1/4 モデルである。コンクリートおよび FRP シートは 8 節点、6 節点あるいは 4 節点固体要素を用いてモデル化している。スパン中央部の鉄筋はビーム要素を用いてモ

デル化し、その他の鉄筋は埋め込み鉄筋要素を用いてモデル化している。境界条件は、解析対象の連続性を考慮して、対称切断面においてはその面に対する法線方向変位成分を拘束し、支点部においては節点の鉛直方向変位成分を拘束している。なお、解析は変位制御により行っている。

コンクリートの圧縮側の構成則に関しては、材料実験から得られた圧縮強度 f'_c を用い、圧縮歪 $3,500 \mu$ までは土木学会コンクリート標準示方書に基づいて定式化し、 $3,500 \mu$ 以後は初期弾性係数の 0.05 倍で $0.2f'_c$ まで線形軟化するモデルとした。一方、引張側に関しては、土木学会コンクリート標準示方書に示されている引張軟化曲線を適用している。鉄筋には塑性硬化係数 H' を考慮した等方弾塑性体モデルを適用した。AFRP シートは引張強度に達した時点で破断したと見なすモデルとした。

本解析では、RC 版の押し抜きせん断破壊を再現するために、接触面要素を用いて押し抜きせん断破壊面をモデル化することとし、版中央部にコーン状に配置した。配置位置やひび割れの角度は実験終了後のひび割れ状況を参考にして決定している。また、スパン中央部に配置されている鉄筋とコンクリート間にも接触面要素を配置し、主鉄筋のすべりをモデル化した。それ以外の鉄筋に関しては、解析を簡略化するために接触面要素を配置せず、すべりも考慮していない。コンクリートとシート間にはシートの剥離を考慮するために接触面要素を配置している。

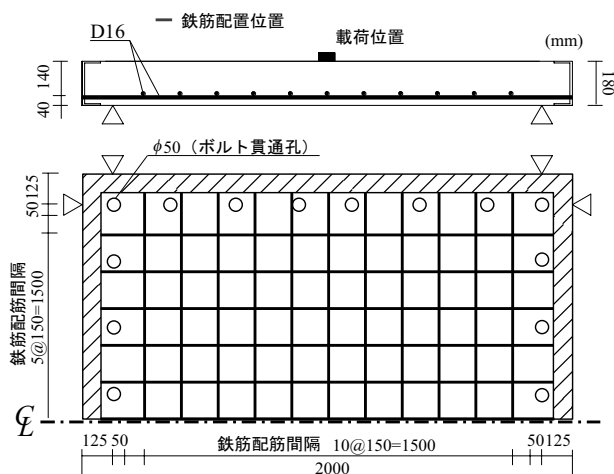


図-1 試験体の形状寸法、配筋状況、載荷位置

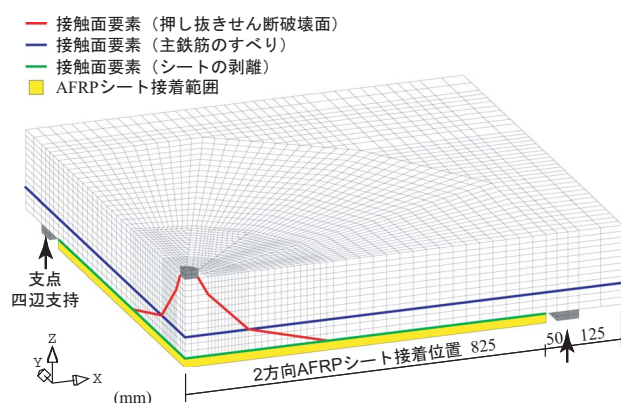
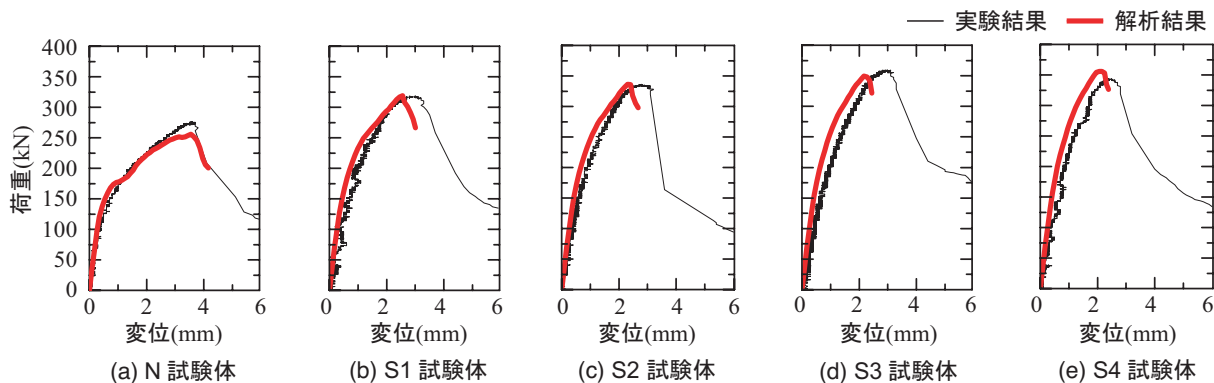


図-2 要素分割状況の一例 (S1 試験体)

キーワード：FRP シート、RC 版、押し抜きせん断破壊、離散ひび割れ手法、数値解析

連絡先：〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 建設システム工学科 TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227



図－3 荷重－版中央変位関係

4. 数値解析結果および考察

4.1 荷重－版下面中央変位関係

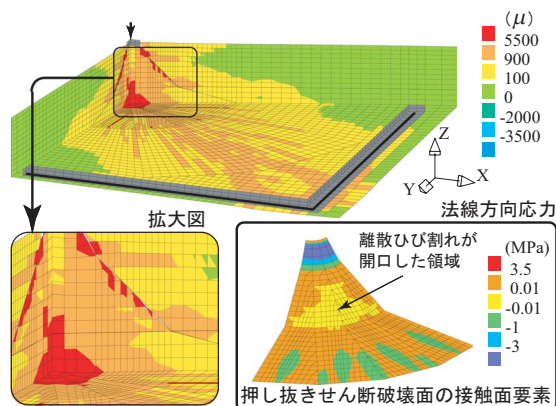
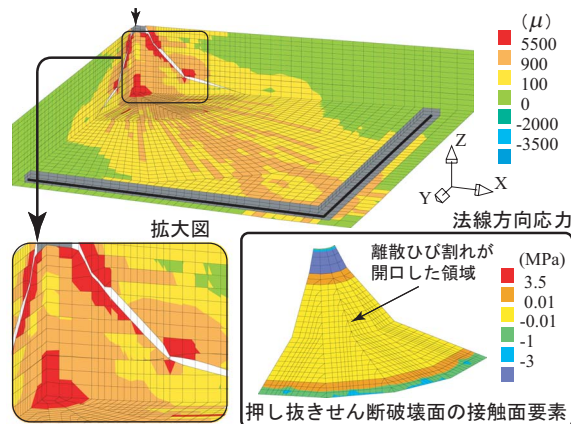
図－3 には、荷重－版中央変位関係における各試験体の解析結果と実験結果の比較を示している。各解析結果の終局原因は、全て押し抜きせん断破壊面における離散ひび割れの開口によるものである。

(a) 図に示す N 試験体の解析結果は、最大荷重が実験結果に比べ若干小さくなっているものの、载荷初期から押し抜きせん断破壊により終局に至るまで大略一致している。(b) 図～(e) 図にはシートを接着した S_n 試験体の結果を示している。 S_n 試験体の場合における最大荷重時変位に関する解析結果は、全ケースとも実験結果と比較して小さくなっている。これは、実験時にはひび割れが徐々に進行するのに対し、解析時には押し抜きせん断破壊面を平面と仮定しているため、ひび割れの開口が急激に進展したことによるものと考えられる。しかしながら、载荷初期から終局に至るまで、解析結果は実験結果とほぼ一致しており、実験結果を大略再現可能であることがわかる。

4.2 最大主歪分布および破壊状況

図－4, 5 には S1 試験体の各応力レベルにおけるひび割れ分布性状を示している。最大主歪のコンターレベルにおいて、 100μ 、 $5,500\mu$ の引張歪はそれぞれコンクリートのひび割れ発生歪およびひび割れ開口歪の概略値である。押し抜きせん断破壊面の接触面要素には、破壊応力に達した後法線方向の応力が開放されるモデルを適用していることより、コンター図において応力ゼロを示す黄色の領域では離散ひび割れが開口しているものと判断される。

図－4 には最大荷重時の解析結果を示している。この時点では载荷点直下付近および押し抜きせん断破壊面付近に分散ひび割れの開口が確認できる。また、押し抜きせん断破壊面に着目すると、中央に接触面要素の破壊を示

図－4 ひび割れ分布性状（S1 試験体）
最大荷重時：変位 2.56 mm（変形倍率：40）図－5 ひび割れ分布性状（S1 試験体）
終局時：変位 3.01 mm（変形倍率：20）

す黄色の領域が分布しており、離散ひび割れが部分的に開口していることがわかる。図－5 には終局時の解析結果を示している。この時点では図－4 に比べ分散ひび割れの進展は殆ど見られない。しかしながら、押し抜きせん断破壊面に着目すると、接触面要素の破壊が押し抜きせん断破壊面全体に分布しており、離散ひび割れが大きく開口することによって終局に至っていることがわかる。

5. まとめ

本研究で提案した解析手法を用いることにより、AFRP シート下面接着 RC 版の最大荷重等はほぼ一致しており、破壊挙動についても大略再現可能である。