

## 支持条件の異なる RC 版の静的耐荷挙動に関する弾塑性解析

室蘭工業大学大学院 正会員 ○小室 雅人  
三井住友建設(株) 正会員 三上 浩

室蘭工業大学大学院 フェロー 岸 徳光  
室蘭工業大学大学院 学生会員 氏家 友哉

### 1. はじめに

本研究では、種々の支持条件下における RC 版の耐荷性状を適切に再現可能な解析手法の確立を目的として、支持条件の異なる 3 種類の RC 版を対象に三次元弾塑性解析を実施し、別途実施した静載荷実験結果との比較により、その妥当性を検討した。なお、本解析には構造解析用汎用プログラム DIANA9.3 を用いた。

### 2. 試験体概要

図 1 には、本研究で対象とした試験体の形状寸法、配筋状況および載荷位置を示している。試験体は支持条件の異なる 3 体である。全ての試験体は 2,000 × 2,000 mm の矩形 RC 版であり、版厚は 180 mm である。載荷版直径は 90 mm で、鉄筋は平均芯かぶり位置に D16 を 150 mm 間隔で格子状に配置している。なお、実験時のコンクリートの圧縮強度  $f'_c$  は、26.6 MPa 程度となっている。表 1 には、本解析で対象とした実験ケースの一覧を示している。

### 3. 数値解析概要

図 2 には、S2 試験体の要素分割状況を一例として示している。解析モデルは、各試験体の支持条件を考慮して、四辺単純支持および二辺単純支持(S4/S2 試験体)の場合は 1/4 モデル、一辺単純+二隅角点支持(S1 試験体)の場合には 1/2 モデルとした。

境界条件は、対称切断面に関しては法線方向変位成分を、支点部は 3 方向変位成分を拘束した。解析は載荷点部の上面の節点に強制変位を与えることにより実施し、収束計算には Newton-Raphson 法を採用した。

本解析では、各方向に配筋されている鉄筋群を固体要

素を用いた鉄板要素にモデル化することとした。鉄板は、周辺コンクリートへの影響を考慮して、板厚を鉄筋径と等しく取り、軸剛性が等価となるように換算弾性係数を与えることとした。さらに、鉄筋のすべりを再現するために、図 2 に示すように接触面要素を鉄板要素の上下面に配置している。なお、鉄板要素は平均芯かぶり位置に配置した。

図 3 には、コンクリートの応力-ひずみ関係を示している。圧縮側に関しては、圧縮ひずみ  $-3,500 \mu$  までは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。引張側には、示方書による引張軟化曲線を適用している。降伏の判定には Drucker-Prager の降伏条件を適用し、内部摩擦角を  $30^\circ$  とした。鉄板要素には、塑性硬化を考慮したバイリニア型の弾塑性体モデルを適用した。塑性硬化係数は換算弾性係数の 1% とし、硬化則には等方硬化則、降伏は von Mises の降伏条件に従うものとした。

表 1 試験体一覧

試験体名	支持条件	版厚 (mm)	鉄筋比 (%)	実測最大荷重 $P_{max}$ (kN)
S4	四辺単純支持	180	1.09	296.3
S2	二辺単純支持			292.2
S1	一辺単純+二隅角点支持			278.8

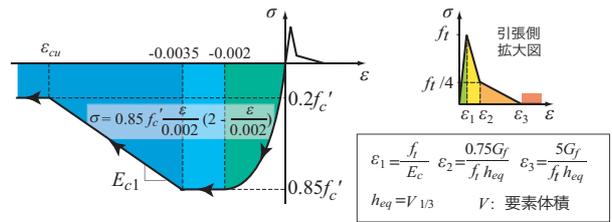


図 3 コンクリートの応力-ひずみ関係

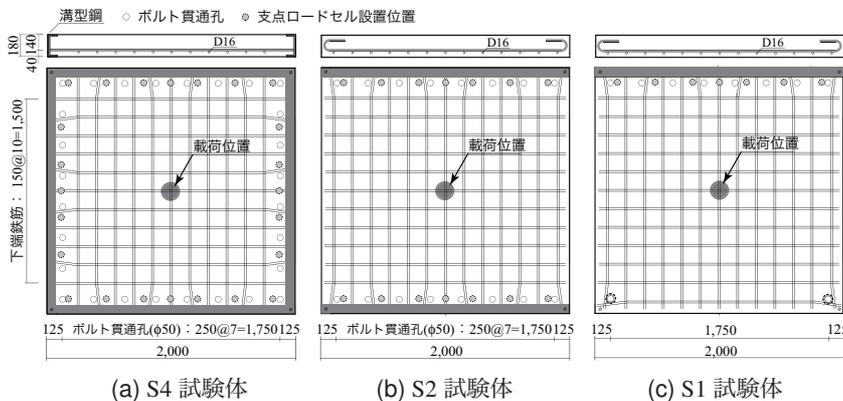


図 1 試験体の形状寸法、配筋状況

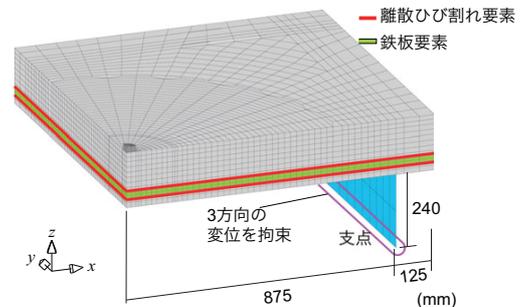


図 2 要素分割状況(S2 試験体)

キーワード：RC 版，耐荷性状，三次元弾塑性解析，支持条件

連絡先：〒 050-8585 室蘭工業大学大学院 暮らし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX:0143-46-5228

鉄筋のすべりに関しては、CEB-FIP モデルコードに準拠した鉄筋とコンクリート間の付着応力-すべり関係を与えている。なお、本解析では、比較のために鉄筋のすべりを考慮しない解析も実施した。

4. 数値解析結果および考察

図4(a)には、数値解析結果の荷重-版裏面中央点変位関係を実験結果と比較して示している。実験結果(黒、実線)に着目すると、いずれの試験体も荷重が $P=70$  kN程度まではほぼ線形に増大するものの、その後ひび割れの発生により剛性勾配が低下している。その低下割合は、S1試験体で最も大きく、次いでS2, S4試験体の順である。また、終局時変位は支持条件により大きく異なるものの、最大荷重値に関しては280~300 kNとほぼ等しい。

次に、すべりを考慮した数値解析結果(赤、一点鎖線)に着目する。(i)図に示すS4試験体では、実験結果と同様に70 kN程度で剛性勾配が低下しており、実験結果の耐荷性状を精度よく再現できていることが分かる。また、(ii)図のS2試験体の場合には、変位が3 mmを超えた領域で荷重を若干低く評価しているものの、荷重初期から変位が3 mm程度までは実験結果と非常に良く対応している。(iii)図に示すS1試験体の場合には、変位1~5 mm程度までは荷重が実験結果より若干大きく評価されているものの、荷重初期から最大荷重値に至るまでの耐荷性状は概ね一致していることが分かる。

なお、鉄筋のすべりを考慮しない数値解析結果(緑、点線)は、いずれの試験体においても、初期勾配は実験結果と一致しているものの、その後の剛性低下を再現できず、荷重を過大に評価していることが分かる。

以上より、提案の数値解析手法を用いることにより、支持条件にかかわらず押抜きせん断破壊による荷重低下を除き、RC版の耐荷性状を精度よく再現可能であることが明らかになった。

図4(b)は、実験終了後のひび割れ分布と実験最大変位時におけるRC版裏面の最大主ひずみ分布を比較して示している。(i)図より、S4試験体における実験終了後のひび割れ分布性状を見ると、版中央部において押抜きせん断破壊による円形状のひび割れ、およびねじりモーメントによる対角線状のひび割れが発生していることが分かる。一方、数値解析結果では、円形状のひび割れは再現できていないものの、対角線状のひび割れに関しては大略再現しているものと考えられる。

(ii)図に示すS2試験体に着目すると、支持部に平行した曲げ変形に起因するひび割れが多く発生している。また、版中央部には楕円形状のひび割れが形成されており、最終的には押抜きせん断破壊に至ったことがうかがわれる。数値解析結果においても曲げひび割れの分布状況等、

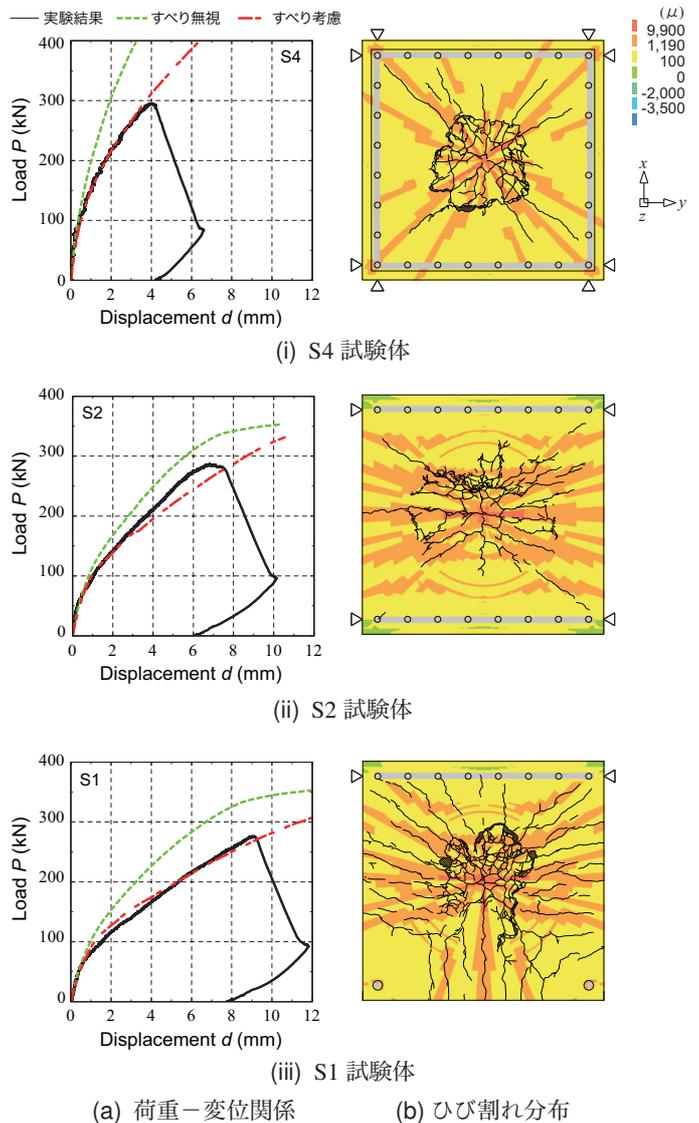


図4 荷重-変位関係および実験最大変位時における最大主ひずみ分布と実験終了後におけるひび割れ分布の比較

実験結果のひび割れをほぼ再現していることが分かる。

(iii)図に示すS1試験体の場合には、自由端部近傍において支点間の曲げ変形に起因するひび割れが発生し、一辺支持部近傍においてねじりモーメントに起因する対角線状のひび割れが発生している。また、版中央部には、押抜きせん断コーンの形成に伴う円形状のひび割れも見られる。一方、数値解析結果では、円形状のひび割れ分布は再現できていないものの、実験結果の曲げ変形あるいはねじりモーメントに起因するひび割れ分布性状を大略再現できていることが分かる。

5. まとめ

- (1) 提案の解析手法を用いることにより、押抜きせん断破壊による荷重低下を除き、RC版の耐荷性状を精度よく再現可能である。
- (2) また、実験終了時におけるRC版裏面のひび割れ分布性状に関しても、押抜きせん断破壊による円形状のひび割れを除き、大略再現が可能である。