

パンチングシア破壊する RC 柱の FEM 解析  
Finite Element Analysis of RC Columns for Failing Punching Shear

○山根康孝<sup>1</sup>, 伊東大地<sup>2</sup>, 田嶋和樹<sup>3</sup>, 白井伸明<sup>3</sup>

\*Yasutaka Yamane<sup>1</sup>, Daichi Ito<sup>2</sup>, Kazuki Tajima<sup>3</sup>, Nobuaki Shirai<sup>3</sup>

Abstract: In order to establish a punching shear model applicable to RC frame retrofitted with steel braces, RC column failing in punching shear was simulated by 2-D FEM. Two type of models were used: one is a continuum model and other is a discrete model with an interface element for representing punching failure surface. Constitutive law for the interface was derived based on the test results. As a result, the continuum model gave a better prediction than the discrete model. A poor prediction by the discrete model may be due to the fact that the shear span length of the specimen was long enough to cause bending moment. Thus, it is recommend to analyze specimens with zero shear span ratio.

1. はじめに

兵庫県南部地震以降, 鉄筋コンクリート (以下, RC) 構造物の耐震補強に対する関心が高まり, 様々な補強工法が提案されている [1]. 中でも比較的軽量で適度な大きさの開口を設けられる枠付き鉄骨ブレース工法が最も普及している. しかし, 近年提案された接着工法を用いた鉄骨ブレース補強骨組はパンチングシア破壊を生じる可能性がある. パンチングシア破壊を生じる RC 骨組は通常のせん断破壊をおこす場合に比べ, 靱性が劣ることが確認されている [2] が, 既往の研究では補強後骨組の耐震性能評価に関する検討 [3] は行われているものの, パンチングシア破壊に関する検討は十分であるとは言い難い. 本研究では, 数値解析に基づく補強後 RC 骨組の性能評価手法の確立を目指し, RC 柱のパンチングシア耐力に関する検討を行った山本らの実験 [4] を対象として FEM 解析モデルの構築を試みた.

2. 解析概要

本報では, コンクリートを平面応力要素, 鉄筋をトラス要素によってモデル化したもの (以下, 標準モデル) と, このモデルに界面を導入したモデル (以下, 界面導入モデル) について解析を行った. なお, 解析には汎用コード DIANA9.4 を用いた.

2. 1. 標準モデル概要

Fig 1.に要素分割図, 各要素に使用した構成則を Fig 2.に示す. 圧縮側の下降域は圧縮破壊エネルギー $G_{fc}$ を考慮した軟化モデルとした. なお,  $G_{fc}(N/mm)$ は中村ら [5] の提案式を用いた. 要素代表長さ  $L_c$  は要素面積  $S$  と等価な面積を持つ円の直径とした. 一方, 引張側の下降域は大岡らの 3 直線モデル [6] を採用し, 破壊エネルギー $G_f$  も大岡らの提案式から求めた.  $L_c$  は圧縮側と

同様に仮定した. 鉄筋の応力-ひずみ関係は bi-linear 型とした.

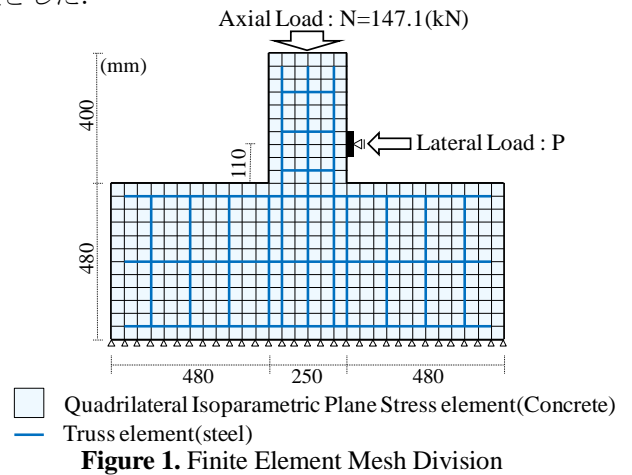
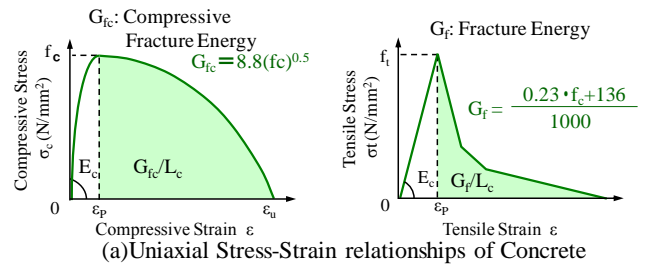


Figure 1. Finite Element Mesh Division



(a) Uniaxial Stress-Strain relationships of Concrete

(b) Stress-Strain relationship of Steel

Figure 2. Constitutive Laws for Concrete and Steel

2. 2. 界面導入モデル概要

シアスパンがきわめて短い場合, パンチングシア破壊を標準モデルで模擬することは困難である. そこで, シアスパンが短い場合にも適用できる解析モデルとして, 界面要素を導入した解析モデルの構築を試みた. 界面要素のモデル化詳細図および構成則を Fig 3.に示す. RC 柱とスタブ間のコンクリートおよび鉄筋を離散

化し、その間を線分界面要素によってモデル化した。接線方向の構成則は、実験におけるせん断ひび割れ、最大耐力および耐力安定時の荷重-変形関係を断面積で除したものであり、せん断ひび割れを生じるまでの変形はゼロとした。なお、接線方向とせん断方向の構成則は独立しており、せん断方向は剛とした。

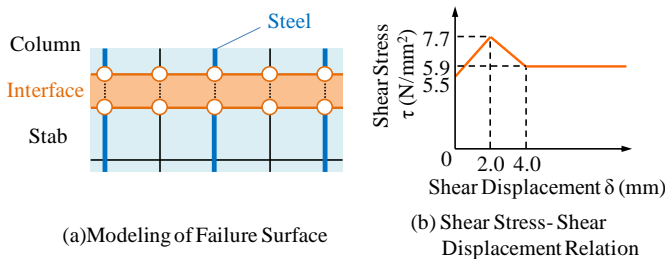


Figure 3. Modeling and Constitutive Law for Interface Element

### 3. 解析結果

#### 3. 1. 標準モデル解析結果

実験結果および解析結果を Fig 4., 実験のひび割れ図および解析における最大耐力時引張主ひずみ分布を Fig 5. に示す. Fig 4. には、パンチングシア耐力  $pQ_c(av)$  [1] とせん断ひび割れ強度  $Q_c(min)$  [7] を併せて示す. 解析結果は実験結果の荷重-変形関係を概ね模擬し、ひび割れ図と引張主ひずみ分布もよい対応を示している. このことから、十分なシアスパンのある RC 柱に関しては、標準モデルによってパンチングシア破壊を模擬することが可能であると考えられる.

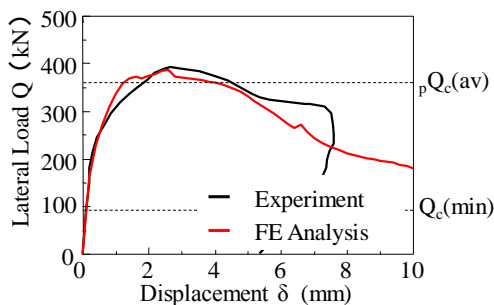


Figure 4. Lateral Load-Displacement Relationship

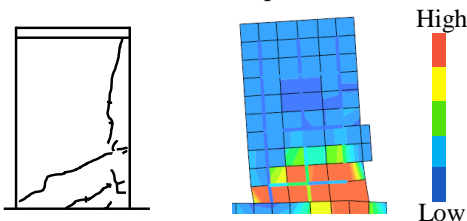


Figure 5. Observed Crack pattern and Distribution of Tensile Principal Strain

#### 3. 2. 界面導入モデル解析結果

実験結果および解析結果を Fig 6. に示す. 解析結果は、実験結果の最大耐力を過小評価した. 対象試験体は比較的大きいシアスパンのため、せん断力だけでなく曲

げモーメントが生じていること、およびせん断破壊面と解析モデルの界面の位置が一致していないことで、解析において現象を捉えることができていない可能性がある. 今後、界面位置がせん断破壊面と一致するようなシアスパンがゼロの試験体を対象として解析モデルの構築を試みる必要がある.

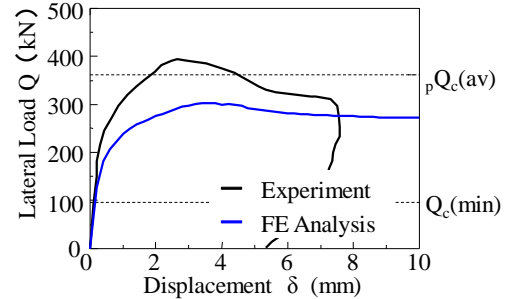


Figure 6. Load-Displacement Relationship

### 4. まとめ

- (1) パンチングシア破壊する RC 柱の 2 次元 FEM 解析を行った.
- (2) シアスパン 110mm のパンチングシア破壊は平面応力要素およびトラス要素のみで模擬できた.
- (3) 界面要素を用いてモデル化した結果、現象を捉えることはできなかったため、シアスパンがゼロの試験体を対象とした解析を行う必要がある.

### 5. 参考文献

- [1] 財団法人、日本建築防災協会、建設省住宅局建築指導課監修:「既存コンクリート造建築物の耐震改修設計指針 同解説」、2001.
- [2] 青山博之、山本泰稔、清田清司:「既存鉄筋コンクリート建築物の枠付き鉄板耐震壁に関する実験」、第 6 回コンクリート工学年次講演会論文集、1984.7
- [3] 國本拓也ほか:「鉄骨ブレース補強後 RC 骨組の耐震性能評価及び復元力特性のモデル化」、日本建築学会学術梗概集、C-2、2010.
- [4] 山本泰稔ほか:「既存鉄筋コンクリート造建築物の鉄骨枠付き補強耐震壁に関する実験的研究 (RC 柱のパンチングシア耐力に関する検討)」、日本建築学会学術講演梗概集 (関東)、1984.10
- [5] Nakamura,H. and Higai,T.: “Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete”, Modeling of Inelastic Behavior of RC Structures under Seismic Loads, ASCE, pp.471-487, 1999.10
- [6] 大岡督尚ほか:「コンクリートの破壊パラメータに及ぼす短繊維混入および材齢の影響」、日本建築学会構造系論文集、第 529 号、pp.1-6, 2000.3
- [7] 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説、1999