

4 辺単純支持された鋼繊維補強軽量 2 種コンクリート RC 版の押抜きせん断耐力の解析的検討

九州大学大学院 学生会員 ○安田真太郎 九州大学大学院 正会員 崔智宣
九州大学大学院 フェロー会員 日野伸一 九州大学大学院 正会員 山口浩平

1. 目的

普通コンクリート（以下、N）を対象とした押抜きせん断耐力の評価については、これまで数多くの研究者により様々な式^{1), 2)}が提案されてきた。しかし、軽量 2 種コンクリート（以下、SL）および鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートを対象とした RC 版の押抜きせん断耐力を精度よく評価できる式は未だ確立されていない。そこで本研究では、著者ら³⁾が行った RC 版押抜きせん断試験の結果をもとに、さらに解析的検討により鋼繊維補強軽量 2 種コンクリート RC 版に適用可能な押抜きせん断耐力評価式を提案することを目的とした。

2. 解析概要

2.1. 解析モデル

RC 版の非線形挙動を解析的に検討するため、汎用解析プログラム DIANA9.4.3 を用いて、3 次元非線形解析を行った。試験体概略図を図-1 に示す。同図●の位置の変位および鉄筋ひずみを検討した。寸法は辺長 1200mm、高さ 100mm、有効高さ 75mm、スパン長 1000mm とした。鉄筋は、上段鉄筋および下段鉄筋に D10 (SD295A) を 14@80 で配筋した。最小要素寸法は 25×25×25mm、コンクリートには 8 節点ソリッド要素、支承にはトラス要素、鉄筋には埋め込み鉄筋要素を用いた。コンクリート中央には幅 150×長さ 150×高さ 50mm の載荷板をソリッド要素で作成しコンクリートと接触させた。また鉄筋の構成則は、降伏強度到達後は応力一定となるバイリニアモデルとし、VonMises の降伏条件を用いた。コンクリートと鉄筋の境界部にインターフェイス要素を用いて CEB-FIP Model Code⁴⁾に従い、図-2 に示す付着-すべり関係を定義した。本解析に用いた、コンクリート種類 (N, SL)、鋼混入率をパラメータとした材料構成則を図-3 に示す。圧縮側は、最大圧縮応力まで圧縮試験結果、それ以降は山谷ら⁵⁾の研究の圧縮破壊試験から得られたコンクリートの圧縮破壊エネルギーを用いて破壊領域を線形で 0 まで低下する式として定義した。引張側は、は著者ら⁶⁾が切り欠きはりの 3 点曲げ試験から求めた引張軟化モデルを用い、応力=0 の時の軟化ひずみは、CEB-FIP Model Code⁴⁾のモデル式に従った。また実験での

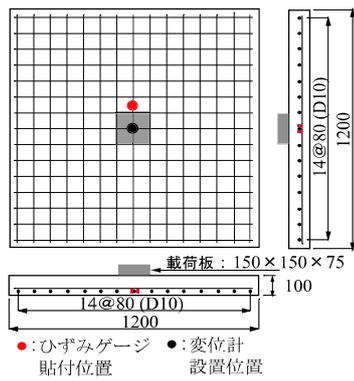


図-1 試験体概略図

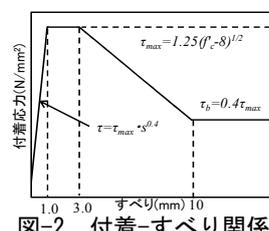


図-2 付着-すべり関係

支持条件は浮き上がり防止装置を取り付けず 4 辺単純支持とした。これは、既往の RC 版押抜きせん断耐力式¹⁾²⁾は 4 辺単純支持した試験体の結果を多く用いているためである。本解析での支持条件は、版の浮き上がりを許容するため、載荷板幅である 150mm のみコンクリートと支承を接地させた。

3. 結果および考察

3.1. 最大荷重および荷重-変位関係

表-1 に実験値と解析値の比較を示す。同表より、最大荷重は実験値と解析値の比が 0.95~1.13 と精度よく評価できている。図-4 に荷重-変位関係を示す。まず、SL-00 の最大荷重は N-00 の 0.87 倍であったが、鋼繊維混入率が増加するほど、N, SL とともに最大荷重が増加し、また最大荷重到達後は、繊維補強していないタイプは荷重が急激に低下するのに対し、繊維補強したタイプは、一旦荷重が低下するが、その後は一定の荷重を保持するなど、鋼繊維補強効果が確認できた。

3.2. 荷重-鉄筋ひずみ関係

荷重と版中央から 120mm の位置で求めた鉄筋ひずみの関係を図-5 に示す。ここで、それぞれの鉄筋ひずみが最初に急増した点で曲げひび割れが発生したと考えられる。また、同図の○で示す変曲点は、小澤ら⁷⁾が明らかにしている斜めひび割れが生じる荷重レベルと考えられ、本研究ではその荷重を斜めひび割れ荷重と定義した。表-1 に斜めひび割れ荷重と斜めひび割れ時の鉄筋ひずみを示す。斜めひび割れ荷重の実験値は解析値に比べ 1.06~1.60 倍と大きくなっているが、それは斜めひび割れの位置やその幅などの影響を受けやすいためである。一方、斜めひび割れ荷重時の鉄筋ひずみは実験値と解析値はほぼ一致している。また、図-6 に斜めひび割れ荷重/最大荷重と鋼繊維混入率の関係を示すが、解析値の斜めひび割れ荷重/最大荷重は 0.57~0.66 と、実験値の 0.56~0.75 内に収まっていることがわかった。この結果は小澤らの結果と同様である。

表-1 実験値と解析値の比較

| タイプ | コンクリート種類 | 繊維混入率 (%) | 圧縮強度 (kN) | 引張強度 (kN) | 実験値 | | | | 解析値 | | | |
|-------|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------------|---------------------|------|-------------|-----------------|---------------------|------|
| | | | | | 最大荷重 (kN) ① | 斜めひび割れ荷重 (kN) ② | 斜めひび割れ時の鉄筋ひずみ (μ) ③ | ②/① | 最大荷重 (kN) ④ | 斜めひび割れ荷重 (kN) ⑤ | 斜めひび割れ時の鉄筋ひずみ (μ) ⑥ | ⑤/④ |
| N-00 | 普通 | 0.0 | 37.4 | 2.97 | 178 (0.95) | 130 (1.06) | 1720 (0.97) | 0.73 | 187 | 123 | 1772 | 0.66 |
| N-04 | | 0.4 | - | - | - | - | - | - | 215 | 124 | 1704 | 0.58 |
| N-08 | | 0.8 | - | - | - | - | - | - | 226 | 131 | 1663 | 0.58 |
| N-12 | | 1.2 | 38.6 | 4.52 | 243 (0.97) | 180 (1.27) | 1422 (0.95) | 0.74 | 251 | 142 | 1499 | 0.57 |
| SL-00 | 軽量2種 | 0.0 | 42.0 | 2.66 | 184 (1.13) | 150 (1.60) | 1729 (0.98) | 0.82 | 163 | 94 | 1768 | 0.58 |
| SL-04 | | 0.4 | - | - | - | - | - | - | 169 | 106 | 1685 | 0.63 |
| SL-08 | | 0.8 | - | - | - | - | - | - | 191 | 121 | 1474 | 0.63 |
| SL-12 | | 1.2 | 41.3 | 3.94 | 232 (1.08) | 164 (1.34) | 1421 (0.99) | 0.71 | 214 | 122 | 1439 | 0.57 |

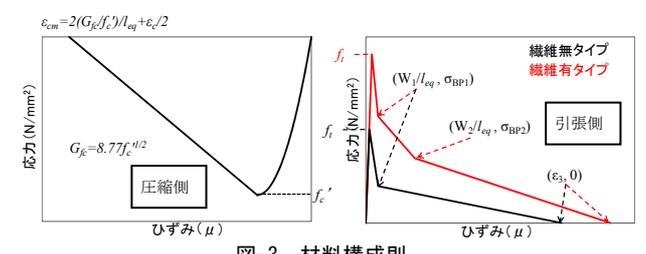


図-3 材料構成則

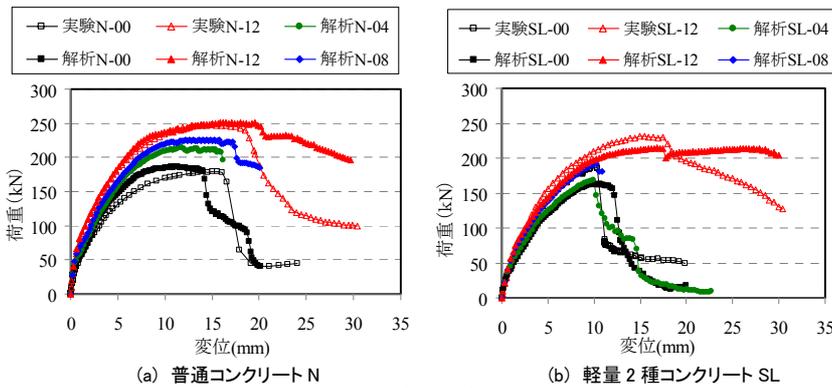


図-4 荷重-変位関係

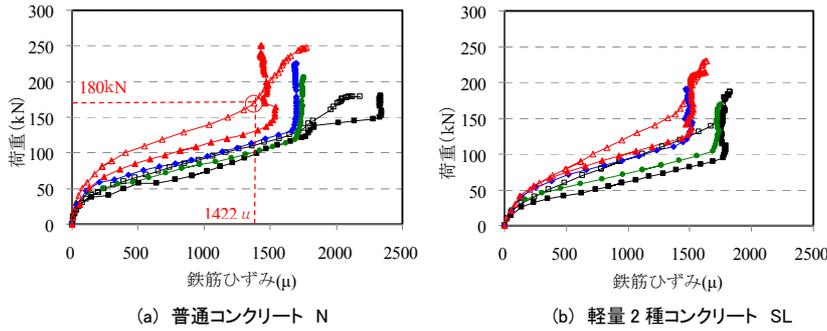


図-5 荷重-鉄筋ひずみ関係

3.3. 押抜きせん断耐力の算定式

図-7 に斜めひび割れ荷重時の鉄筋ひずみと鋼繊維混入率の関係を示し、定式化した。同図より、鋼繊維補強することで斜めひび割れ荷重時の鉄筋ひずみが減少しており、その減少率はSLの方が顕著であった。

以下に著者らが提案した押抜きせん断耐力式³⁾の修正式を示す。

$$P = \tau_{s,max} \{2(a+2x_m)x_d + 2(b+2x_d)x_m\} + \alpha \cdot \sigma_{t,max} \{2(4C_d + 2d_d + b)C_m + 2(a+2d_m)C_d\} \quad (1)$$

$$D_u = D_{u0} \cdot e^{-0.0002\varepsilon} \quad (2)$$

ここで、 a, b : 載荷板の主鉄筋方向、配力鉄筋方向の周長 (cm), x_m, x_d : 主鉄筋および配力鉄筋に直角な断面の引張側コンクリートを無視した断面の中立軸 (cm), d_m, d_d : 主鉄筋および配力鉄筋の有効高さ (cm), C_m, C_d : 主鉄筋および配力鉄筋からのかぶり厚さ (cm), $\tau_{s,max}$: 各タイプの強度評価式により算定, $\sigma_{t,max}$: 繊維無混入タイプ (N-00, SL-00) の強度評価式により算定, α : ダウエル作用に及ぼす繊維補強係数 ($D_u/D_{u0} = e^{-0.0002\varepsilon}$), D_u : 引張力を受けた鉄筋のダウエル耐力 (tf), D_{u0} : 引張力を受けない鉄筋のダウエル耐力 (tf)

式 (2) の ε は引張力によりせん断断面の鉄筋に生じるひずみ差であり、式 (3), (4) を ε に適用し、繊維補強によるダウエル作用の変化率を算出する。

普通コンクリートの場合

$$\varepsilon_N = 1789 - (-215V_{sf} + 1789) \quad (3)$$

軽量2種コンクリートの場合

$$\varepsilon_{SL} = 1771 - (-300V_{sf} + 1771) \quad (4)$$

ここで、 $\varepsilon_{N,SL}$: 斜めひび割れ荷重時の鉄筋ひずみ差 (μ), V_{sf} : 鋼繊維混入率

文献³⁾では実験結果より鉄筋ひずみ差を一律 230μ とし求めた繊維補強係数は 1.05 であるが、この式 (3), (4) より、鋼繊維 1.2% と補強した場合、鉄筋ひずみ差は、N は 258μ , SL は 360μ , それぞれの繊維補強係数は 1.05, 1.07 と前回の結果とほとんど変わらない。また、同式を用いることで 0~1.2% 内の任意の混入率において斜めひび割れ時の鉄筋ひずみを求められ、より汎用性の高い式を提案できた。しかし、これは本研

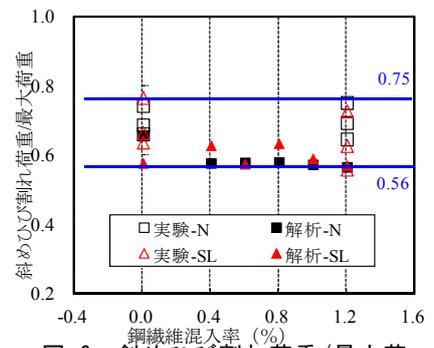


図-6 斜めひび割れ荷重/最大荷重と鋼繊維混入率

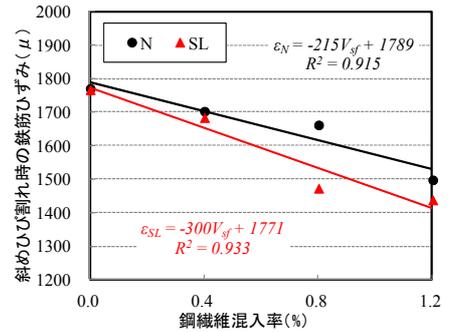


図-7 斜めひび割れ時の鉄筋ひずみと鋼繊維混入率の関係

究の条件での解析結果であり、データ数も少ないことから今後さらに検討が必要であると考えられる。

4. まとめ

- (1) 解析結果から、SL-00 の最大荷重は N-00 の 0.87 倍であったが、鋼繊維混入率が増加するほど、N, SL ともに最大荷重が増大した。
- (2) 最大荷重到達後の挙動について、繊維補強していないタイプ (N-00, SL-00) は荷重が急激に低下した。繊維補強した
- (3) タイプは一旦荷重が低下するが、その後は一定の荷重を保持しており、繊維補強効果が確認できた。
- (4) 斜めひび割れ荷重時の鉄筋ひずみと鋼繊維混入率の関係を求め、0~1.2% 内の任意の鋼繊維混入率において適用可能な繊維補強係数を算出でき、より汎用性の高い式を提案した。

参考文献

- 1) 角田ら：鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する研究：土木学会論文報告集，第 229 号，pp.105-115，1975.9
- 2) 前田ら：鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐力の評価式，土木学会論文集，第 348 号/V-1 コンクリート工学年次論文集，Vol.23, No.1, pp.133-141, 1984.8
- 3) 崔ら：鋼繊維補強軽量 2 種コンクリート RC 床版の押抜きせん断耐力評価，土木学会第 66 回年次学術講演会，V-526，pp.1051-1052, 2011.9
- 4) CEB-FIP Model Code 1990, Thomas Telford, 1990
- 5) 山谷ら：回転ひび割れモデルによる RC 梁のせん断挙動解析，土木学会論文集，No.620/V-43, pp.187-199, 1999.5
- 6) 崔ら：各種短繊維で補強した軽量 2 種コンクリートの引張軟化特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.33, pp.1243-1248, 2011.7
- 7) 小澤ら：RC スラブの押抜きせん断破壊機構に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21, No.3, pp.565-570, 1999.7