

18. 短繊維補強軽量 2 種コンクリートを用いた RC 版の押抜きせん断耐力

安田 真太郎

1. 目的

粗骨材と細骨材に全て人工軽量骨材を用いた軽量 2 種コンクリート（以下，SL）は普通コンクリート（以下，N）と比べ非常に軽く，また短繊維で補強することで，普通コンクリートの 7 割程度しかない引張およびせん断強度を改善することができる．本研究では強度特性に優れる鋼繊維に着目した．しかし，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式は著者らの知る限り存在しない．そこで本研究では，破壊メカニズムに則した鋼繊維補強軽量 2 種コンクリート RC 版に適用可能なせん断耐力式を試験と FEM 解析より提案することを目的とした．

2. 内容

2.1 押抜きせん断試験

RC 版の押抜きせん断試験を行った．試験体は表-1 に示すコンクリート種類（N，SL），混入率（0，1.2%）をパラメータとした 4 タイプを作成した．図-1 に試験体概略図を示す．試験体は辺長 1200mm，厚さ 100mm であり，鉄筋は D10（SD295A，降伏強度 364N/mm²）を 14@80 で配筋し，有効高さは 75mm とした．版中央下面には変位計を設置し，鉄筋には，版中央から 120mm の位置にひずみゲージを貼付し，載荷板は 150×150×75mm を中央に配置した．

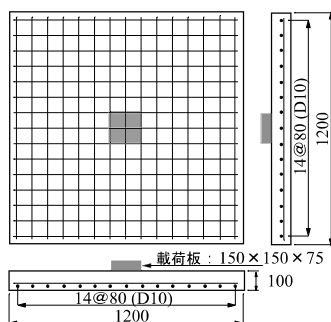


図-1 試験体概略図

2.2 FEM 解析

RC 版の非線形挙動を解析的にシミュレートするため，DIANA による非線形 FEM 解析を行った．モデルは 3 次元モデル，要素寸法 25×25×25mm，コンクリートは 8 節点ソリッド要素，鉄筋には埋込み鉄筋要素を用いた．コンクリートと載荷板は完全結合とした．載荷

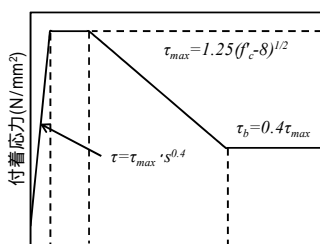


図-3 付着すべり関係

板にカーブシェル要素，支持板にはトラス要素を用い，載荷板，支持板ともに剛体を仮定した．図-2 に使用したコンクリート材料構成則を示す．ひび割れモデルには回転ひび割れモデルを用いた．コンクリート圧縮側には，最大荷重までは圧縮試験の結果を用い，引張側は既往研究により提案されている引張軟化曲線モデル式を用いた．鉄筋は降伏強度到達後，応力が一定となるバイリニアモデルとし，Von Mises の降伏条件を用いた．また，鉄筋とコンクリートの間にインターフェース要素を用いて，図-3 に示す付着すべり関係を適用した．

2.3 結果

各種強度試験の結果を表-1 に示す．SL の引張，せん断強度は N に比べて小さく，また繊維補強の影響で引張，せん断強度が増加した．図-4 に荷重-たわみ関係を示す．N-00，SL-00 では，最大荷重到達後速やかに荷重が落ちているのに対し，N-12，SL-12 は急激な荷重低下は見られず変位が進んでいる．また同図から，版の挙動は試験と解析で同じような傾向が見られた．表-1 に最大荷重も合せて示す．N-12，SL-12 は，N-00，SL-00 の 1.3 倍程度最大荷重が増加しており，繊維補強によりせん断耐力が向上していることがわかる．図-5 に示す荷重-鉄筋ひずみ関係から，鉄筋ひずみが最初に急増した点で曲げひび割

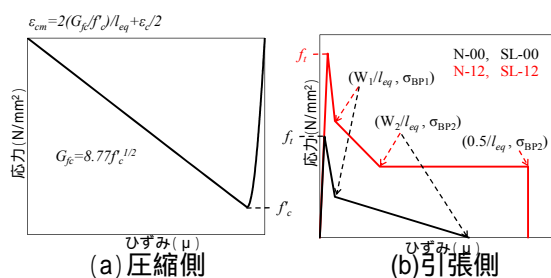


図-2 使用したコンクリートの材料構成則

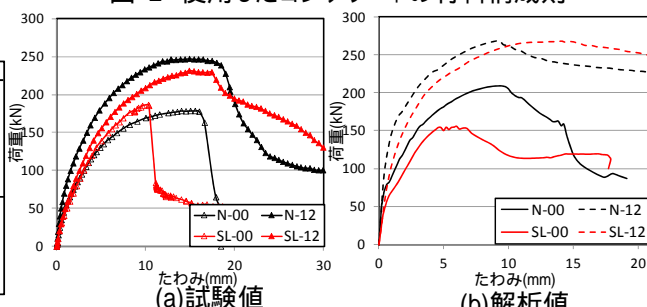


図-4 荷重-たわみ関係

れが発生した。曲げひび割れ発生以降，N-00，SL-00 と N-12，SL-12 にひずみ差が生じ始めた。また既往研究から，最大荷重の 60~80%の時に斜めひび割れが発生することが報告されている。試験では，全タイプが 150kN 程度で斜めひび割れが発生した。一方解析では，N-00，SL-00 は 120kN，N-12，SL-12 は 180kN で斜めひび割れが発生した。しかし，斜めひび割れ発生時の鉄筋ひずみは，繊維の有無に関わらず，試験も解析も同程度となった。これは試験と解析でひび割れ角度が一致していたためと考えられる。また N，SL とも，繊維補強効果により鉄筋ひずみが減少している。これは，鋼繊維が鉄筋に作用する引張力を一部負担したためと考えられる。図-6 に，斜めひび割れ発生時の鉄筋ひずみ差を示す。その結果，試験，解析の全ての斜めひび割れ発生荷重は，それぞれの最大荷重の 70%程度であることがわかった。また，鉄筋ひずみはコンクリートの骨材やひび割れ幅や発生位置により左右されるものであるが，本試験と本解析の全ての結果を平均化して考察すれば，N-00，SL-00 の鉄筋ひずみの平均は 1640 μ ，N-12，SL-12 のひずみの平均は 1355 μ であり，そのひずみ差は 285 μ となった。

2.4 RC 版の押抜きせん断耐力提案式

松井式（式（1））は，圧縮域コンクリートのせん断耐力と鉄筋のダウエル作用による剥離効果から，RC 版の押抜きせん断耐力を評価している。

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

ここで， a, b : 載荷板の主鉄筋，配力鉄筋方向の辺長 (cm)， x_m, x_d : 主鉄筋，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深さ (cm)， d_m, d_d : 主鉄筋，配力鉄筋の有効高さ (cm)， C_m, C_d : 主鉄筋，

配力鉄筋からのかぶり厚さ (cm)， $\tau_{s,max} : 0.252\sigma_{ck} - 0.000246\sigma_{ck}^2$ (kg/cm²)， $\sigma_{t,max} : 0.583(\sigma_{ck})^{2/3}$ (kg/cm²)

そこで松井式を基に，コンクリートのせん断，引張強度に既往研究による強度評価式を適用し，また繊維補強が鉄筋のダウエル作用に与える影響は強度試験と同等ではないと考えられるため，繊維補強係数を α と表現し，式（2）を提案した。

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

ここで， $\tau_{s,max}$: 各試験体 (N-00, N-12, SL-00, SL-12) の強度評価式を適用， $\sigma_{t,max}$: 繊維無補強試験体 (N-00, SL-00) の強度評価式を適用， α : ダウエル作用に及ぼす繊維補強係数， $\alpha = e^{-0.0002c}$

本研究において，図-5 に示す繊維補強による鉄筋ひずみ差 285 μ を α に用いることにより繊維補強効果を表した。その結果，繊維補強によりダウエル耐力が 1.06 倍上昇することがわかった。表-1 に提案式による計算値およびそれらの比較も合わせて示す。その結果，提案式で全てのタイプを安全側にかつ精度よく評価することができた。

3. まとめ

本研究から，FEM 解析により鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートの挙動を再現することができた。また，強度評価式や繊維補強係数を用いた鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートに適用可能な提案式によって RC 版の押抜きせん断耐力を精度よく評価することができた。しかし，式の提案に用いたひずみ差は，本研究における試験と解析によるものであり，実構造物にも適用できるよう評価式を一般化する必要がある。

表-1 各種強度，最大荷重比較

タイプ	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	試験値 (kN)	解析値		提案式	
						(kN)	試験/解析	(kN)	試験/提案式
N-00	37.4	2.97	4.99	28.6	178	209	0.85	171	1.04
N-12	38.6	4.52	5.09	30.7	240	274	0.88	214	1.12
SL-00	42.0	2.66	3.65	14.9	184	156	1.18	158	1.16
SL-12	41.3	3.94	4.89	15.6	232	268	0.87	201	1.15

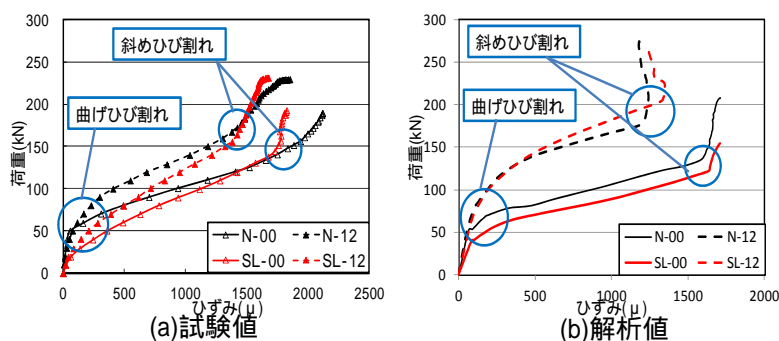


図-5 荷重-鉄筋ひずみ関係

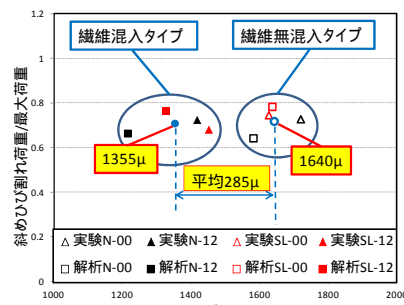


図-6 斜めひび割れ発生時の鉄筋ひずみ差