

論文 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

崔 智宣*1・山口 浩平*2・日野 伸一*3・安田 真太郎*4

要旨 : 4 辺固定支持された RC 版の押抜きせん断破壊挙動は, 既往の実験および数値解析により検討されているが, 4 辺単純支持された場合の解析手法は確立されていない。また, 鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートを対象とし, その鋼繊維混入率の影響を考慮した算定式は著者らの知る限り存在しない。本論文では, コンクリート, 材料構成則に着目し, RC 版のせん断破壊挙動を FEM により検討するとともに, 鋼繊維混入率をパラメータとした RC 版の押抜きせん断耐力式の確立を目的とする。

キーワード : 押抜きせん断耐力評価, 4 辺単純支持, 軽量コンクリート, 鋼繊維補強

1. はじめに

RC 版が局所的な荷重を受けると, 荷重直下のコンクリートが押抜かれる押抜きせん断破壊が生じる。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様々な式が提案されている。RC 版の押抜きせん断耐力の算定式は, 試験結果に加えて影響因子の統計学的解析を行い, 耐荷力算定式を導いている角田ら¹⁾の式やその角田式を基にしたコンクリート標準示方書式²⁾, 押抜きせん断破壊のメカニズムに則した前田・松井ら³⁾の式などがある。これらのいずれの式も, 支持条件毎に整理されていない現状 (角田式は全て単純支持) にある。また, 岸ら^{4), 5)}は 4 辺固定支持した RC 版の押抜きせん断破壊挙動を, 離散ひび割れモデルを用いた解析的検討により概ね再現している。

現在軽量コンクリート RC 版のせん断耐力に関して, コンクリート標準示方書では, 軽量コンクリートの種類に関わらず一律 70% に低減することが規定されており, 骨材種類や強度特性を考慮することができない。また, 短繊維および軽量 1 種コンクリートを用いた RC 版の押抜きせん断耐力は舟橋ら⁶⁾, 東山ら⁷⁾により, 軽量化は低減係数で, 短繊維補強は繊維補強項で評価したせん断耐力算定式が提案されている。しかしながら, 粗骨材および細骨材の全てに人工軽量骨材を用いた軽量 2 種コンクリート, 強度特性に優れる鋼繊維で補強した鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートを対象とし, さらにその鋼繊維混入率の影響を考慮した算定式は著者らの知る限り存在せず, 現在の算定方法では明確な評価ができない。

著者らは, 鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートを用いた RC 版の押抜きせん断試験を行い, 耐荷挙動, せん断耐力等を把握した。文献 8) では, 押し抜きせん断試験より,

軽量コンクリートを用いることでせん断耐力が減少し, 鋼繊維補強することでせん断耐力が増加することや軽量化および鋼繊維補強することにより破壊面角度も異なることを明らかにした。その破壊モードは斜めひび割れの貫通による押抜きせん断破壊が支配的であるため, コンクリート材料の引張側の構成則の影響が大きいと考えられる。また, 松井式を基準として軽量化および鋼繊維補強が考慮できる式を提案した。しかし, その際, ダウエル作用に及ぼす繊維補強効果は実験から得られる鉄筋のひずみ差 (一律 230 μ) から求めており汎用性がない。一方, 文献 9) では切り欠きはりを用いた 3 点曲げ試験によりビニロン繊維, ポリエチレン繊維および鋼繊維を対象として引張軟化特性について検討を行い, 各短繊維の引張軟化曲線のモデル式の提案している。

そこで本論文では, コンクリートの材料構成則に着目した FEM により, RC 版のせん断破壊挙動を検討するとともに, 鋼繊維混入率をパラメータとした RC 版の押抜きせん断耐力式の確立を目的とした。なお, FEM 解析モデルは破壊面を予め定着する離散ひび割れモデルではなく分散ひび割れモデルを用いる。

表一 使用材料の種類および性質

種類	記号	性質
普通ポルトランドセメント	C	密度:3.16t/m ³
海砂	普通S	表乾密度:2.58t/m ³ , 粗粒率:2.71
碎石	普通G	表乾密度:2.88t/m ³ , 吸水率:1.92%, Gmax:20mm
人工軽量細骨材	軽量S	絶乾密度:1.68t/m ³ 24時間吸水率:10.0%, 粗粒率:2.69, 実績率:53.2%
人工軽量粗骨材	軽量G	絶乾密度:1.27t/m ³ , Gmax:15mm 24時間吸水率:10.3%, 粗粒率:6.47, 実績率:63.1%
高性能AE減水剤	SP	密度:1.05~1.09t/m ³
AE剤	AE	密度:1.06~1.10t/m ³

*1 九州大学大学院 工学研究員社会基盤部門特任助教 博 (工) (正会員)
 *2 九州大学大学院 工学研究員社会基盤部門助教 博 (工) (正会員)
 *3 九州大学大学院 工学研究員社会基盤部門教授 工博 (正会員)
 *4 九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻

表-2 試験体および試験結果 *サンプリング不良

タイプ	コンクリート種類	鋼繊維混入率 (%)	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)	実験値 (kN)
N-00A	普通 (N)	0	30.3	2.59	3.08	21.9	189
N-00B			37.4	2.97	4.99	28.6	179
N-12			38.6	4.52	5.09	30.7	248
SL-00A	軽量2種 (SL)	0	22.6	1.70	-*	11.8	174
SL-00B			47.3	2.33	3.77	16.2	178
SL-00C			42.0	2.66	3.65	14.9	187
SL-12A		1.2	35.2	3.91	-*	14.9	226
SL-12B			45.8	4.75	6.18	16.5	263
SL-12C			41.3	3.94	4.89	14.9	232

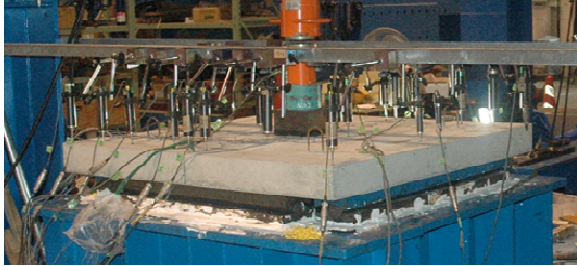


図-2 支持条件および荷重状況

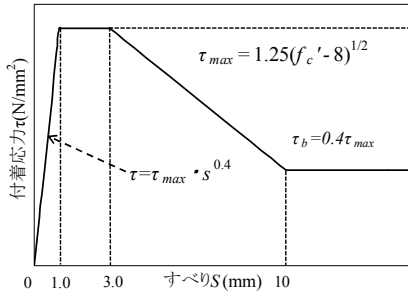


図-3 付着-すべり関係

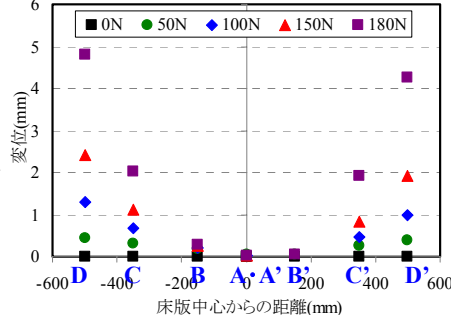
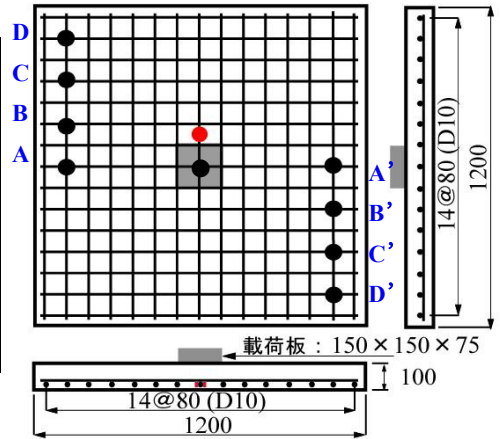


図-4 変位-中心からの距離



●: ひずみゲージ 貼付位置
●: 変位計 設置位置

図-1 試験体概略図

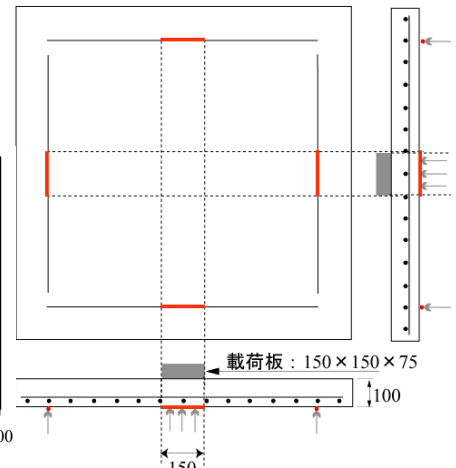


図-5 支持条件

2. 試験概要

試験体は、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 タイプを各 3 体以上作製した。N は普通コンクリート, SL は軽量 2 種コンクリートを示す。ハイフン後の数字は混入率を示し, 例えば 00, 12 はそれぞれ体積比に対しての混入率 0%, 1.2% を示す。鋼繊維は直径 0.62mm, 長さ 30mm のフックエンド型を使用した。表-1 に使用材料の種類および性質, 表-2 に試験体および実験結果 (平均値) を示す。図-1 に試験体概略図を示す。試験体寸法は辺長 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。図-1 の●の位置の変位および鉄筋ひずみを測定した。試験体中央には幅 150×長さ 150×高さ 50mm の荷重版を配置した。支持条件および荷重状況を図-2 に示す。

3. 解析概要

3.1 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。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。実験と同様に試験体中央には幅 150×長さ 150×高さ 50mm の荷重版をソリッド要素で作成して, 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パイロニアモデルとし, 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 Code¹⁰⁾に従い, 図-3 に示す付着-すべり関係を定義した。

3.2 支持条件の検討

実験での支持条件は浮き上がり防止装置を取り付けず 4 辺単純支持としたため, 図-1 の●に変位計を設置し浮き上がりを確認した。RC 版の浮き上がり変位と版中心からの距離の関係を図-4 に示す。その結果, 版中心からの距離が 150mm 付近から版の浮き上がり変位が大きくなる一方, 中央から 75mm (荷重板幅) の範囲は浮き上がらず支承と接地しているため, 解析では実験と同様な支持条件にするため, 支承をトラス要素により線支持し, 図-5 に示すようにその領域を鉛直方向に支持した。

表-3 解析ケース

解析ケース	材料構成則		最大荷重(kN)	実験値* / 解析値
	圧縮 (図-6)	引張 (図-7)		
①	(a)	(a)	137	0.77
②	(a)	(b)	230	1.28
③	(a)	(c)	172	0.96
④	(b)	(a)	156	0.87
⑤	(b)	(b)	231	1.29
⑥	(b)	(c)	187	1.04

*実験値は表-2を参照

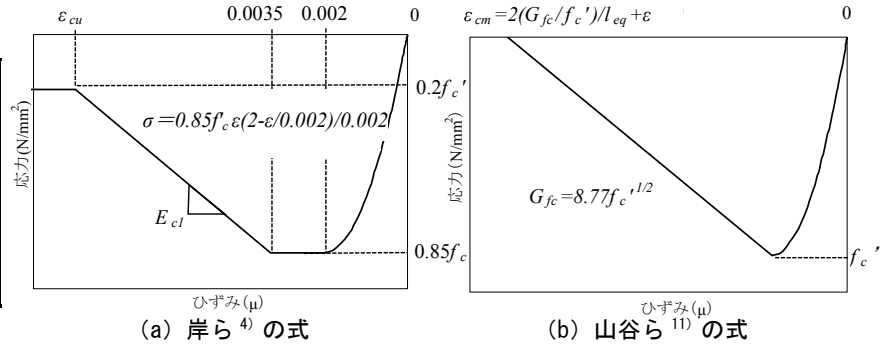


図-6 構成則 (圧縮側)

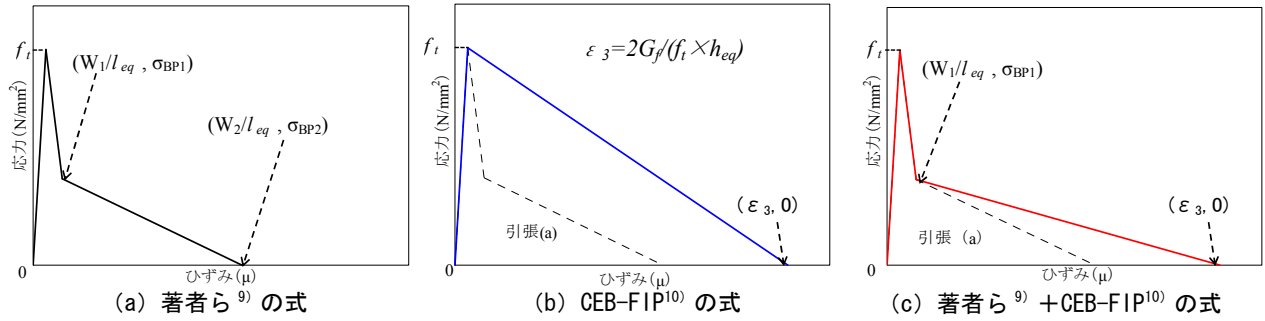


図-7 構成則 (引張側)

3.3 材料構成則の検討

N-00 を基準に、表-3 の 6 つの解析ケースを設けて、圧縮側や引張側の構成則について検討して、鋼繊維補強軽量 2 種コンクリート RC 版の解析に適切な材料構成則を把握する。図-6, 7 に一例として普通コンクリート N-00 の圧縮側、引張側の構成則を示す。なお、本節では設計基準強度 40N/mm^2 に最も近い N-00B を対象とした。

(1) 圧縮側

圧縮域は図-6 のように 2 つを検討した。構成則 (a) は岸ら⁴⁾が用いており、圧縮ひずみが 3500μ まで土木学会コンクリート標準示方書²⁾の式、 3500μ 以降は初期弾性係数の 0.05 倍で $0.2f_c'$ まで線形軟化するモデルである。構成則 (b) は最大圧縮応力までは圧縮試験結果、それ以降は山谷ら¹¹⁾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 G_{fc} を用いて破壊領域を線形で 0 まで低下する式 (ϵ_{cm} は終局ひずみ) で定義した。

(2) 引張側

引張域は図-7 のように 3 つを検討した。構成則 (a) は著者ら⁹⁾が繊維補強コンクリートを用いた切り欠きりの 3 点曲げ試験から求めた引張軟化曲線 (σ_{BP} は曲がり点応力, $W_{1,2}$ は仮想ひび割れ幅, l_{eq} は等価要素長さ) を用いて提案したものである。構成則 (b) は応力がゼロ時のひずみを CEB-FIP Model Code¹⁰⁾のモデル式に従い、破壊エネルギー G_f は提案した有効破壊エネルギー⁹⁾を適用して求めた材料構成則である。構成則 (c) は最大応力以降の第 2 折曲り点までは提案した引張軟化モデル (a) を用い、その以降から応力=0 の時のひずみを (b) の CEB-FIP Model Code を適用した。なお、比較のため、(b)、

(c) の中に (a) の構成則を点線で示している。

3.4 解析ケースの決定

表-3 に材料構成則による解析ケースと最大荷重、図-8 に荷重-変位関係を示す。同図には実験値と比較するため、N-00B の一部データを合わせてグラフに載せている。同表および同図より、圧縮 (a) を用いたケースが圧縮 (b) を用いたケースより最大荷重が小さい。また、引張 (a) を用いたケース①、④の初期剛性は実験値とほぼ同じであるが、ケース①の最大荷重は 134kN 、ケース④のそれは 156kN で、それぞれ実験値の 0.77 倍、0.88 倍と最大荷重を過小評価している。

一方、引張に (b) を用いたケース②、⑤の初期剛性は実験値より大きく、最大荷重も実験の 1.29 倍、1.30 倍と大きい。また、破壊挙動はせん断破壊ではなく曲げ破壊のような挙動を呈した。岸らは離散ひび割れモデルに引張 (b) を用いて精度よい結果を得ているが、文献⁸⁾より、軽量化や繊維補強の影響で破壊面角度が異なることは明らかになっている。そのため、本研究では離散ひび割れモデルではなく、分散ひび割れモデルを用いて解析し破壊面角度を検討するため、引張 (b) の結果は本解析には適切ではないことが考えられる。

引張 (c) を用いたケース③、⑥は、初期剛性は勿論、最大荷重もそれぞれ 0.96 倍、1.04 倍なり、実験値と近い値であった。しかし、最大荷重時のケース③の変位は実験値の 50% 程度と、早い段階で最大荷重に達しているため、ケース③よりケース⑥の方が適切であると判断できる。以上より、圧縮側のみパラメータとしたケースを比較した場合、初期剛性、最大荷重、最大荷重後の挙動な

表-4 実験値と解析値の比較

タイプ	実験値				計算値 (kN)	解析値				最大荷重	
	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	実験値/ 解析値	実験値/ 計算値
N-00	179	130	1720	0.73	166	187	123	1772	0.66	1.08	0.96
N-04	-	-	-	-	-	215	124	1704	0.58	-	-
N-08	-	-	-	-	-	226	131	1663	0.58	-	-
N-12	248	180	1422	0.73	242	251	142	1499	0.57	1.02	0.99
SL-00	187	150	1729	0.80	189	163	94	1768	0.58	0.99	1.15
SL-04	-	-	-	-	-	169	106	1685	0.63	-	-
SL-08	-	-	-	-	-	191	121	1474	0.63	-	-
SL-12	232	164	1421	0.71	231	214	122	1439	0.57	1.00	1.08

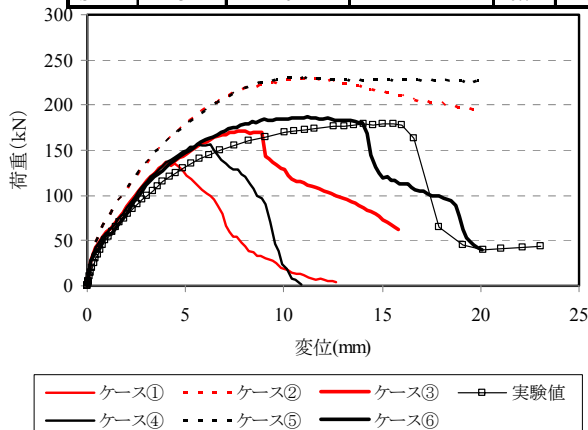


図-8 荷重-変位関係

どの変化がほとんどなく、斜めひび割れ発生の貫通による押抜きせん断破壊が支配的であるため、引張側の構成則の影響が大きいと判断できる。実験結果でも、FEM 解析結果でも引張側の構成則が支配的であった。また、軽量コンクリート、鋼繊維補強コンクリートの解析からも初期剛性、最大荷重、最大荷重後の挙動、破壊面角度など総合的に判断してケース⑥がより一致した。それぞれの比較については別の機会に公表予定である。

次章ではケース⑥の材料構成則に基づいて、コンクリート種類 (N, SL)、鋼繊維混入率 (0, 0.4, 0.8, 1.2%) をパラメータとした解析を行った。また、軽量コンクリート、鋼繊維補強コンクリートにおいて、それぞれらの構成則については参考文献9)に提案された引張軟化曲線を解析に用いた。

4. 結果および考察

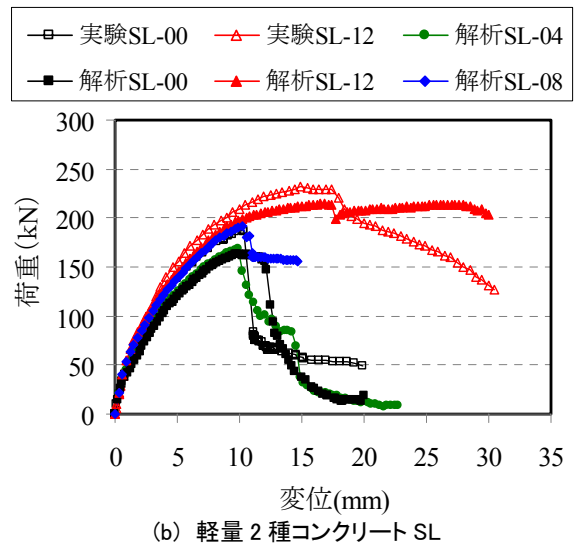
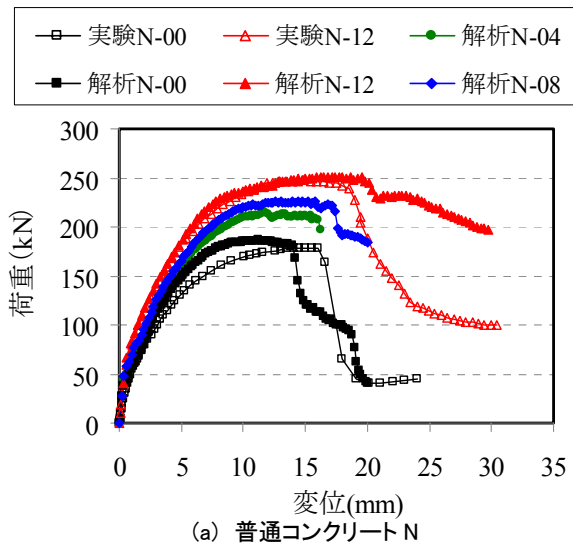
4.1 最大荷重および荷重-変位関係

表-4 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は 0.95~1.13 と精度よく評価できている。図-9 に荷重-変位関係を示すが、同図より、鋼繊維補強による N と SL の解析値を比較した。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、最大荷重からも鋼繊維補強効果が確認できた。最大荷重到達後は、鋼繊維無補強タイプ (N-00, SL-00)

は荷重が急激に低下するのに対し、繊維補強タイプは、N-04, N-08, N-12 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いる。また、SL-04 は SL-00 と同様に荷重が急激に低下したため、軽量 2 種コンクリートに鋼繊維を 0.4% 混入しても繊維補強効果はほぼ期待できないが、SL-08, SL-12 は一旦荷重が低下するものの、繊維補強効果は顕著であった。

4.2 荷重-鉄筋ひずみ関係

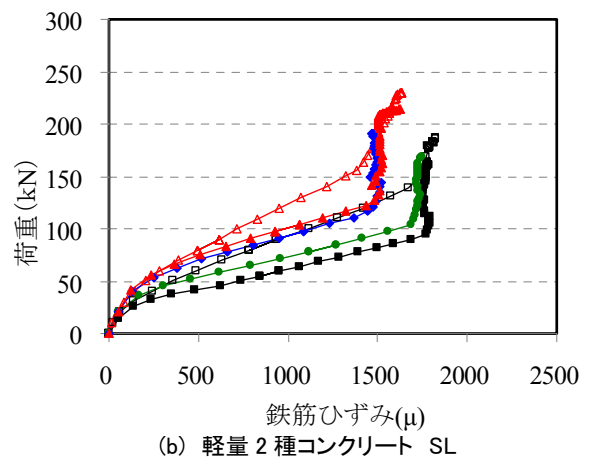
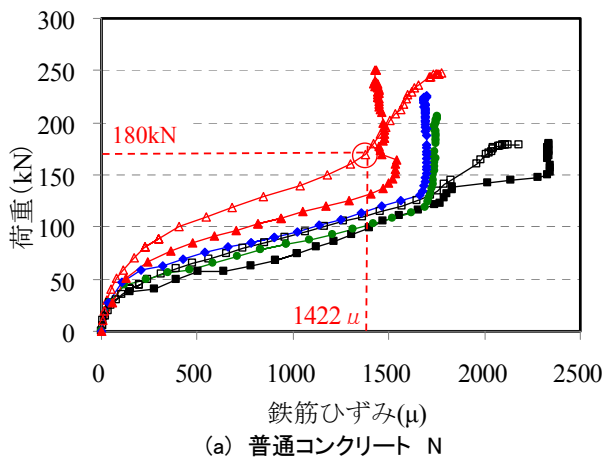
荷重と版中央から 120mm の位置で求めた鉄筋ひずみの関係を図-10 に示す。小澤ら¹²⁾の論文では、普通コンクリートを対象とし、「径方向ひずみが全て減少に転じた時に載荷を中止したものでありこの場合には載荷板に向かう鉛直に近い曲げひび割れのみが発生している」と記述されているため、径方向ひずみが全て減少に転じてから斜めひび割れが発生すると考えられる。一方、本研究で対象としている軽量コンクリートや繊維補強コンクリートに関する文献は著者らの知る限りはないので、小澤らの論文を参考にして軽量コンクリートや繊維補強コンクリートについても検討した。本試験結果では径ひずみが最大ひずみになってから、鉄筋ひずみ (図-10) の傾きが大きくなり、これを斜めひび割れ荷重であると定義した。ここで、例えば『実験N-12』から2つの変曲点が確認できる。50kN~100kN の時に見られる最初の変曲点は曲げひび割れの発生時であるが、180kN (図の○) の第2の変曲点は、斜めひび割れが生じる荷重レベルと考えられる。表-4 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 倍とばらつきは大きいですが、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。汎用的な松井式³⁾などの普通コンクリートの斜めひび割れ角度は 45° とされているが、各タイプによって斜めひび割れによる破壊面角度が異なることは明らかになっている。一方、鉄筋ひずみは破壊面角度 45° を想定して斜めひび割れが入る位置に貼付しているため、それで求めた斜めひび割れ荷重も各タイプの斜めひび割れの位置やその幅によって異なると思われる。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



(a) 普通コンクリート N

(b) 軽量 2 種コンクリート SL

図-9 荷重-変位関係



(a) 普通コンクリート N

(b) 軽量 2 種コンクリート SL

図-10 荷重-鉄筋ひずみ関係

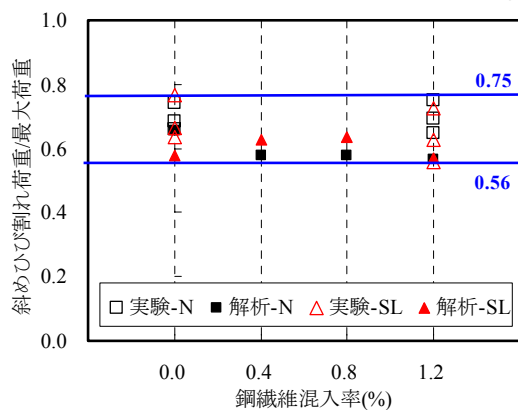


図-11 斜めひび割れ荷重/最大荷重と鋼繊維混入率

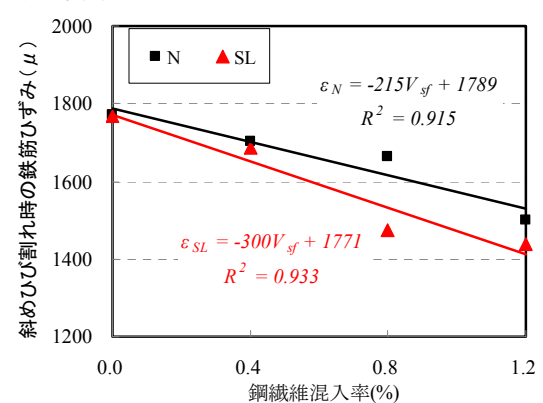


図-12 斜めひび割れ時の鉄筋ひずみと鋼繊維混入率の関係

る。また、図-11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。なお、同図には表-2の全ての結果を示した。同図より、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。小澤らの論文には「径ひずみはいずれも最大耐力の60~80%付近で圧縮ひずみが最大値に達した」と記述されており、小澤らの結果と同様であると考えられる。

4.3 押抜きせん断耐力の算定式

図-12 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の方が顕著であり、Nより繊維補強効果が大いと考えられる。以下に著者らが提案した押抜きせん断耐力式⁸⁾を示す。なお、式(1)の α は繊維補強がダウエル作用に及ぼす影響を表している。

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

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

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 ($\alpha = D_u/D_{u0} = e^{-0.0002\varepsilon}$), 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 はダウエル作用に及ぼす鉄筋に生じる鉄筋ひずみ差であり、式 (3), (4) を適用し算出する。

普通コンクリートの場合

$$\Delta\varepsilon_N = \varepsilon_{N-00} - \varepsilon_N \quad (3)$$

軽量 2 種コンクリートの場合

$$\Delta\varepsilon_N = \varepsilon_{SL-00} - \varepsilon_{SL} \quad (4)$$

$\varepsilon_{N,SL}$: 斜めひび割れ荷重時の鉄筋ひずみ (μ), V_{sf} : 鋼繊維混入率(%), ε_{N-00} : 1789 (μ), ε_{SL-00} : 1771 (μ)

文献⁸⁾では実験結果より鉄筋ひずみ差を一律 230 μ として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 285 μ , SL は 360 μ , それぞれの繊維補強係数は 1.06, 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。

5. まとめ

- (1) FEM の材料構成則において、圧縮域は圧縮試験結果と圧縮破壊エネルギーを用いて線形で 0 まで低下する式を、引張域は著者らが提案した引張軟化モデルとそれ以降から CEB-FIP Model Code を適用した式を用いることで実験値を精度よく評価できた。
- (2) 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 とともに最大荷重が増大した。
- (3) 最大荷重到達後の挙動について、繊維無補強タイプ (N-00, SL-00) は荷重が急激に低下した。繊維補強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性を求め、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 与史雄, 井藤 昭夫, 藤田 嘉夫: 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) 土木学会: コンクリート標準示方書, 2002
- 3) 前田 幸雄, 松井 繁之: 鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式, 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
- 4) 岸 徳光, 三上 浩, 張 広鋒, 内田 雅俊: RC 版の押抜きせん断破壊に関する数値解析的研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 61 号, V-39, 2004
- 5) 張 広鋒, 岸 徳光, 三上 浩, 高玉 郁子: 離散ひび割れを考慮した RC 版の押し抜きせん断破壊正常に関する数値解析, 応用力学論文集, Vol.10, pp.477-484, 2007.8
- 6) 舟橋 政司, 原 夏生, 横田 弘, 二羽淳 一郎: 高性能軽量コンクリートを用いた RC 部材のせん断耐力評価手法, 土木学会論文集, No.767/V-64, pp.211-226, 2004
- 7) 東山 浩士, 水越 陸視, 松井 繁之, 青木 真材: 繊維補強軽量コンクリートを用いた RC 床版の押し抜きせん断耐荷力, 構造工学論文集, Vol.54A, pp.105-115, 1975.9
- 8) 崔 智宣, 日野 伸一, 山口 浩平, 柴田 博之: 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
- 9) 崔 智宣, 山口 浩平, 日野 伸一, 梶原 秀夫: 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
- 10) CEB-FIP Model Code 1990, Thomas Telford, 1990
- 11) 山谷 敦, 中村 光, 檜貝 勇: 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
- 12) 小澤 満津雄, 内田 裕市, 小柳 治: 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
- 13) 鈴木 基行, 中村 泰介, 堀 内信, 尾坂 芳夫: 軸方向鉄筋のダウエル作用に及ぼす引張力の影響に関する実験的研究, 土木学会論文集, 第 526/V-15, pp.159-166, 1991