

# せん断圧縮破壊を生ずる腹鉄筋のない 超高強度 RC はりのせん断耐力

東北大学大学院 学生員 ○佐藤成禎 日本道路公団 正会員 伊藤聖生  
前田製管(株) 正会員 前田直己 (株)前田先端技術研究所 正会員 米田正彦  
東北大学大学院 正会員 秋山充良 東北大学大学院 フェロー 鈴木基行

## 1. まえがき

近年、超高強度コンクリートや超高強度鉄筋に関する研究・開発が進み土木構造物としての実用化が検討されつつある。しかし、これら超高強度材料を用いた RC 部材に関する破壊性状や耐力については、未だ十分に解明されておらず、普通強度材料を用いた RC 部材を対象に提案されてきた従来の耐力算定式などの適用性を検討する必要がある。このような観点から、本研究では超高強度材料を用いた腹鉄筋のない RC はり部材のせん断特性を把握することを目的として、有限要素法を用いた非線形解析を行った。本研究では特に、せん断圧縮破壊を生じる RC はり部材を対象として、コンクリート圧縮強度の高強度化がそのせん断耐力に与える影響を解析的に検討した。また、土木学会コンクリート標準示方書に規定されるディープビームのせん断耐力算定式<sup>1)</sup>(以下、ディープビーム式)の超高強度 RC はり部材への適用性についても考察した。

## 2. 解析対象 RC はり

解析対象 RC はりの諸元を表-1 に示す。これら RC はりは、著者らが行ったせん断実験で用いた供試体<sup>2)</sup>と同一の諸元を有しており、コンクリート圧縮強度の高強度化がそのせん断耐力に与える影響を評価できるように選んでいる。

## 3. 解析手法

本研究では、RC はりを 2 次元平面応力場問題として解析しており、その载荷方法は加力点に変位増分を与える変位制御型とした。また、修正 Newton-Raphson 法により収束計算を行った。

RC はり部材の有限要素解析モデルを図-1 に示す。図-1 は、スパン中央において 1 点载荷を受ける単純はりに対して、対称性を考慮してモデル化したものである。

コンクリートのひび割れは、ひび割れ発生後に主ひずみ方向が回転した場合、ひび割れを主ひずみ方向に回転させ、応力とひずみの主軸が常に一致するようにした回転ひび割れモデルにより考慮している。

コンクリートの圧縮側の応力-ひずみ関係は、Thorenfeldt らのモデル<sup>3)</sup>を用いた。このモデルは、表-1 に示すように、圧縮強度  $f_c$  が 38MPa から 125MPa と相違する場合でも、材料試験結果から得られる圧縮軟化域の挙動を概ね捉えることができる。また、圧縮ひずみと直行方向に引張ひずみが作用する場合には、Collins ら<sup>4)</sup>に従い、その圧縮強度を低減させた。

ひび割れ発生後の引張軟化域には、1/4 モデルを用いた。1/4 モデルは、引張軟化を 2 直線で表したモデルであり、折点での応力を引張強度  $f_t$  の 1/4 とし、その応力-ひび割れ幅関係によって囲まれる面積が破壊エネルギー

表-1 想定した RC はりの諸元

	$f_c$ (Mpa)	$f_t$ (Mpa)	$d$ (mm)	$a/d$	$p_t$ (%)	$f_{sy}$ (Mpa)
LM20D	38	2.70	350	2	1.23	627
NM20D	71	4.03	350	2	1.23	627
MM20D	88	5.95	350	2	1.23	781
HM20D	115	4.72	350	2	1.23	627
UM20D	125	6.30	350	2	1.23	781
LM25D	38	2.70	350	2.5	1.23	701
NM25D	71	4.03	350	2.5	1.23	815
MM25D	91	5.36	350	2.5	1.23	785
HM25D	115	4.72	350	2.5	1.23	781

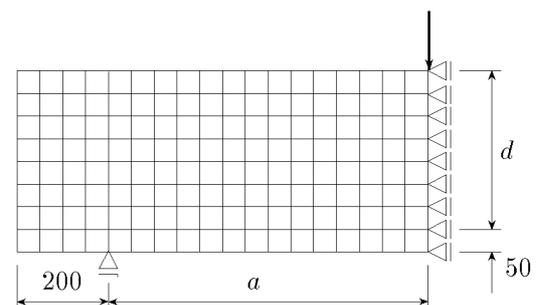


図-1 解析モデル

**Key Words:** 超高強度コンクリート, せん断圧縮破壊, 有限要素法, せん断耐力

連絡先: 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉06, TEL: 022-217-7449, FAX: 022-217-7448

ギー  $G_f$  と等しくなる。なお、 $f_t$  は材料試験から得られた値を用いており、破壊エネルギー  $G_f$  は、圧縮強度  $f_c$  より推定した。 $f_c$  から  $G_f$  を推定する際には、CEB-FIP の式<sup>5)</sup>を用いた。

鉄筋は完全弾塑性モデルとし、降伏強度  $f_{sy}$  は材料試験から得られた値を用いた。

#### 4. 解析結果

回転ひび割れモデルを用いた有限要素解析により、圧縮強度に関わらず表-1 に示す全ての RC はりにおいてせん断圧縮破壊を再現できた。つまり、計算上の斜めひび割れ発生に相当する荷重付近で、一度明瞭な荷重低下が見られ、その後タイドアーチ的な耐荷機構の形成により、さらに大きな荷重に耐えていることが確認された。

有限要素解析およびディープビーム式より得られた各解析対象 RC はりのせん断耐力と圧縮強度の関係を図-2 と図-3 にそれぞれ示した。図-2 および図-3 はそれぞれせん断スパン比 2.0 および 2.5 の RC はりを対象とした時の結果である。また両図には、再現解析で用いた RC はりのせん断実験結果<sup>2)</sup>も併記してある。

実験結果に対して、解析値およびディープビーム式は、コンクリート圧縮強度の高強度化に伴い、RC はりのせん断耐力を過小評価するようになる。特に、コンクリート圧縮強度  $f_c$  の 1/2 乗した値とせん断耐力が比例関係にあるとするディープビーム式でその傾向がより強く示されている。

せん断圧縮破壊を生じる RC はり部材の場合、最終的には載荷点付近のコンクリートの圧縮破壊により破壊に至るため、コンクリートの高強度化がせん断耐力の増加に効果的に寄与するが、現行のディープビーム式は、それを十分に反映できていない可能性がある。

#### 5. まとめ

せん断圧縮破壊を生じる超高強度 RC はり部材のせん断耐力を有限要素解析および現行のディープビーム式により算定した場合、せん断スパン比に関わらずせん断実験から得られる結果を過小評価する傾向が見られた。特にディープビーム式により推定されるせん断耐力は、コンクリート圧縮強度の高強度化に伴い、その傾向がより強くなる場合が確認された。

今後、より多くの実験および解析結果との比較を行い、せん断圧縮破壊を生じる超高強度 RC はり部材のせん断耐力を詳細に検討していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 [設計編], pp.163-165, 1996.
- 2) 伊藤聖生, 阿部祐規, 松原一実, 鈴木基行：超高強度材料を用いた腹鉄筋のない RC はり部材のせん断特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.3, pp.967-972, 2000.
- 3) Thorenfeldt, E., Tomaszewicz, A., and Jensen, J. J. : Mechanical properties of high-strength concrete and applications in design. In Proc. Symp. Utilization of High-Strength Concrete, 1987.
- 4) Vecchio, F. J., and Collins, M. P. : Compression Response of Cracked Reinforced Concrete. J. Str. Eng., ASCE 119, 12, pp.3590-3610, 1993.
- 5) CEB-FIP : New Textbook, pp.33-34, 1999.

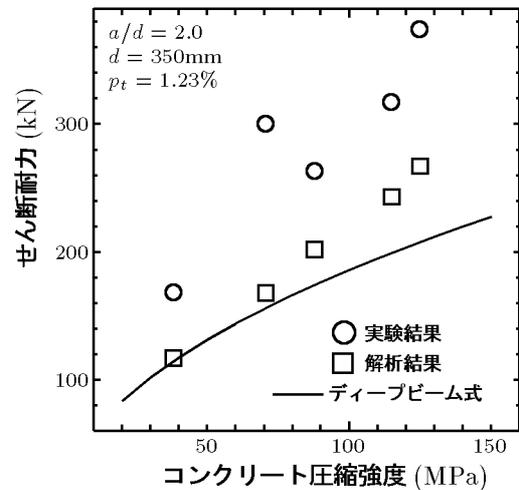


図-2 解析結果とディープビーム式の比較 (a/d=2.0)

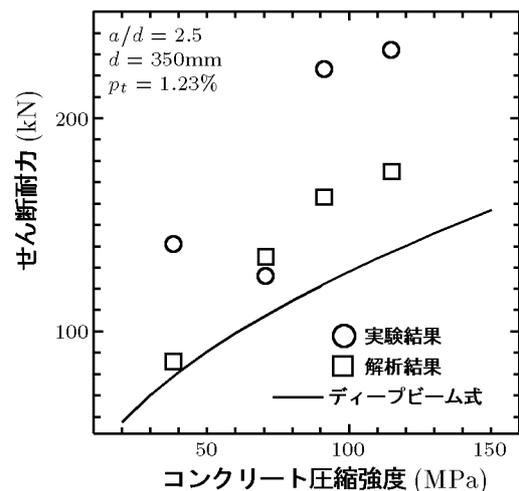


図-3 解析結果とディープビーム式の比較 (a/d=2.5)