

超高強度コンクリートを使用した RC はりのせん断特性に関する解析的研究

東北大学 学生員 伊藤堅生 前田製管 (株) 正会員 前田直己 大成建設 (株) 正会員 阿部祐規
東北大学 正会員 秋山充良 東北大学 フェロー 鈴木基行

1. はじめに

近年、超高強度コンクリートおよび超高強度鉄筋の研究開発が進み、部材としての実用化が検討されつつある。しかし、このような超高強度材料を用いた RC 部材に関する力学的特性については、未だ不明な点が多い。現行の土木学会コンクリート標準示方書や ACI などの各耐力算定式も圧縮強度 70MPa 程度までのコンクリートを対象としている。このため超高強度 RC 部材の破壊性状や耐力について把握し、現行示方書で規定する耐力算定式の超高強度 RC 部材への適用性などについて、十分に検討する必要がある。

そこで本研究では、超高強度材料を用いた RC 部材の合理的な設計法を確立することを目的とし、コンクリートの圧縮強度が 70MPa を超えるせん断補強鉄筋のない RC はりを対象としたせん断実験を行った。そして破壊力学を使用した有限要素解析を行い、実験結果と比較することによって同手法の超高強度 RC 部材のせん断特性評価への適用性を検討した。

2. 解析概要

本研究は RC はりを 2 次元平面応力場問題として有限要素解析を行った。解析モデルは対称性を考慮して図-1 に示す 1/2 モデルとし、4 節点アイソパラメトリック要素を用いて分割した。载荷方法は加力点に変位増分を与える変位制御型とし、Newton-Raphson 法により収束計算を行った。

コンクリートの圧縮側の応力-ひずみ曲線は次式¹⁾を用いた。

$$\begin{aligned} \text{(最大強度以前)} \quad \frac{\sigma_c}{f'_c} &= 1.530 \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cu}} - 0.530 \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cu}} \right)^2 \\ \text{(最大強度以降)} \quad \frac{\sigma_c}{f'_c} &= 2.146 - 1.146 \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cu}} \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 σ_c : コンクリート圧縮応力、 f'_c : コンクリート圧縮強度、 ε_c : コンクリート圧縮ひずみ、 ε_{cu} : 圧縮強度時ひずみ

引張軟化特性には軟化開始応力を割裂引張強度 f_t で代替し、破壊エネルギー (G_f) は次式に示す CEB の推定式²⁾に基づき算定した。

$$G_f = G_{f0} \cdot (f'_c/10)^{0.7} \quad (2)$$

ここに、 G_{f0} : 最大骨材寸法による補正係数

軟化曲線は図-2 に示すような 1/4 モデル³⁾を用いた。なお本解析では分布ひび割れモデルを使用しており、引張応力とひずみの関係に変換する際の等価長さ (l_{eq}) には要素面積の 1/2 乗を用いた。ひび割れモデルには、ひび割れ発生後、主ひずみ方向が変化した場合に、ひび割れ方向を最大主応力方向と直交するように最大主ひずみ方向を回転させる回転ひび割れモデルを使用した。このモデルはコンクリートのせん断特性に関するパラメータを必要としない利点がある。鉄筋の構成則は完全弾塑性モデルとし、要素中に線材として配置した。

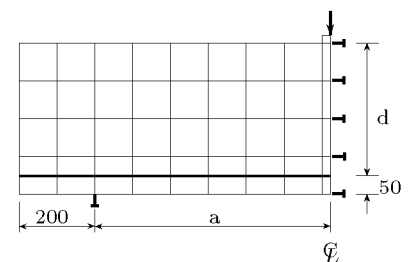


図-1 解析モデル

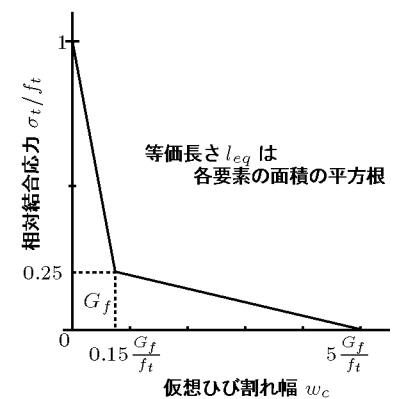


図-2 コンクリート引張軟化特性

表-1 供試体諸元

供試体	f'_c (MPa)	a/d	d (mm)	p_t (%)
M-4	87.8	4	350	1.23

Key Words: high-strength concrete, shear strength, finite element analysis, size-effect

連絡先 : 〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06 TEL : 022(217)7449 FAX : 022(217)7448

3. 解析結果および考察

(1) 実験との比較

表-1 に示す諸元を持つ超高強度 RC はり部材の実験より得られた荷重－変位関係と解析結果を比較した，結果を図-3 に示す．なお，実験時のこのはりの破壊形態は斜めひび割れ発生直後に耐力を失うことで破壊に至る斜め引張破壊である．実験と解析から得られる荷重－変位関係の比較から，解析では実験結果に比べ，初期の曲げひび割れ発生荷重を若干過大に評価しているが，その後のはりの剛性低下はよく表現できている．また，斜めひび割れ発生時における変位は実験値に比べ若干小さく算定しているが，斜めひび割れ荷重に関しては，精度よく求められた．

(2) セン断強度に影響を及ぼす因子の検討

本解析手法を用いて，斜めひび割れ発生時のせん断強度に影響を及ぼす各変動因子の検討を行った．併せて，既往のせん断耐力算定式（土木学会コンクリート標準示方書（JSCE と略），二羽らの式⁴⁾（NIWA と略），CEB の式（CEB と略））の超高強度 RC 部材への適用性についても検討した．

a) コンクリート圧縮強度

図-4 はコンクリート圧縮強度を変動因子とした結果である．図-4 より，コンクリート圧縮強度の増加に伴ない，せん断強度の増加は見られなくなり，既往の耐力算定式は有限要素解析結果を危険側に評価する．解析に使用した破壊エネルギー算定法は圧縮強度が増加しても破壊エネルギーがほとんど増加しないことを反映したものであるのに対し，既往のせん断耐力算定式は主に普通強度コンクリートを使用した RC 部材に対する実験結果から導かれたため，このような過大評価になったと考えられる．

b) 有効高さ

図-5 は有効高さを変動因子とした結果である．有効高さが 350mm から 850mm 時の解析より得られるせん断強度の減少割合は各耐力算定式に比べかなり大きい．しかし解析では，有効高さが約 850mm を超えるとせん断強度の寸法効果は消失していき，CEB の式より得られるせん断強度の減少割合に概ね等しくなった．

4. 結論

超高強度材料を用いたせん断補強鉄筋のない RC はりの解析を行い，次の結論を得た．

1. 破壊力学を使用した有限要素解析により，斜め引張破壊をする超高強度 RC はり部材のせん断特性を評価した．その結果，実験より得られた荷重－変位曲線を概ね再現することができた．
2. 超高強度コンクリートを用いた場合，有効高さが大きくない範囲では，従来のせん断耐力算定式で想定する寸法効果よりも，その影響が強く現れることが確認された．

参考文献

- 1) 鈴木基行，堀内信，前田直己，尾坂芳夫：純曲げを受ける超高強度コンクリートはり部材の力学的特性，コンクリート工学論文集，Vol.4，No.1，pp.39～51，1993．
- 2) CEB Comite Euro-International du Beton：CEB-FIP Model Code 1990，Final Draft 1991，Bulletin d'Information，No.203，pp.2-1～2-16，1991．
- 3) 内田祐市，六郷恵哲，小柳洽：曲げ試験に基づく引張軟化曲線の推定と計測，土木学会論文集，第 426 号 / V-14，pp.203～212，1991．
- 4) 二羽淳一郎，山田一字，横沢和夫，岡村甫：せん断補強鉄筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，第 372 号 / V-5，pp.167～176，1986．

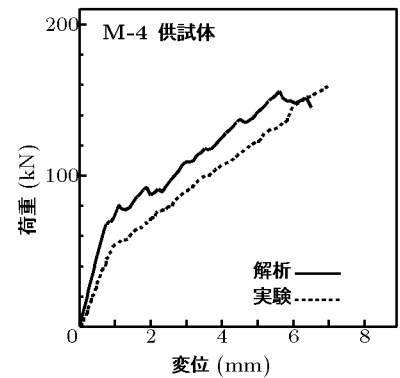


図-3 実験結果と解析結果

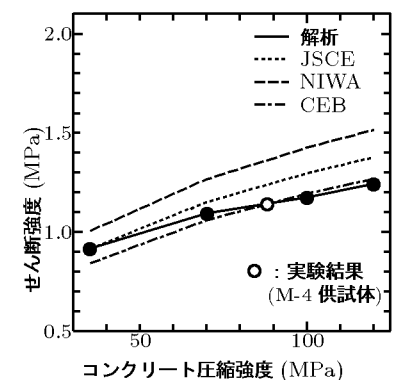


図-4 コンクリート圧縮強度の影響
($a/d = 4$, $d = 350\text{mm}$)

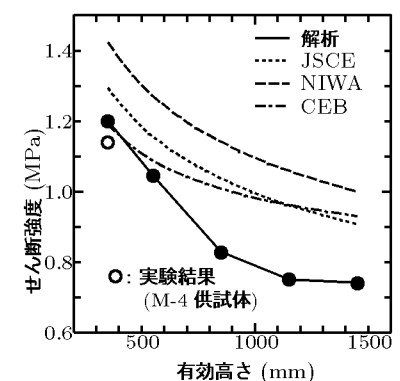


図-5 有効高さの影響
($f'_c = 100\text{MPa}$, $a/d = 4$)