

繰返し載荷をうける RC 単柱の圧縮ストラット角度に関する検証

*武蔵工業大学 学生員 ○白子 将則
 *武蔵工業大学 正会員 吉川 弘道
 **東急建設(株) 正会員 服部 尚道

1. はじめに

RC 部材のせん断抵抗機構を評価する際、従来からトラス理論が広く使用されてきた。トラス理論はコンクリートの圧縮ストラットとせん断補強鉄筋による斜材に上弦材、下弦材を組み合わせたトラスモデルで近似するものである。このトラス理論におけるせん断補強筋負担分の算定には、圧縮ストラット角度を $\theta = 45^\circ$ とした塑性トラス理論が用いられているが、既往の実験的成果から概ね $20^\circ \sim 40^\circ$ であることが報告されている¹⁾。そこで、既往の実験結果と修正圧縮場理論 (Modified Compression Field Theory) による解析値との比較を用い、圧縮ストラット角度の推定方法について検証した。

2. 圧縮ストラット角度の推定方法

本論では、圧縮ストラット角度を理論的な推定方法である修正圧縮場理論 (以下、MCFT) を用い、実験結果からの推定方法である目視角と比較し、角度の検証を試みた。

(1) 実験結果からの推定方法 (目視角)

実験試験体における軸方向鉄筋降伏後のひび割れ角度を目視によって観察する方法で卓越するひび割れ角度を圧縮ストラット角度とした。図 1 に一例を示す。

(2) 修正圧縮場理論 (MCFT) における手法²⁾

MCFT は、RC 部材に発生した斜めひび割れを離散的にとらえるのではなく、ひび割れが発生している RC 要素をマクロ的に捉え、要素内に働くひずみ・応力を平均的に取り扱うことで、せん断問題を合理的に取扱う解析手法である。要素として捉えることによりひび割れ間のコンクリート部分には、部材軸に対し角度 θ で主圧縮応力、その鉛直方向に主引張応力が作用すると考えられる。

要素内のひずみは、Mohr のひずみ円 (図 2) からひずみの適合条件式が求まり、鉄筋・コンクリートの材料構成則を用いることによって、各応力の軸方向鉄筋方向の力が算出され、釣合い条件を満たす RC 要素状態を収束計算から求める手法であり、必要な条件式は、以下の 3 つとなる。

- ・ひずみの適合条件
- ・コンクリート、鉄筋の材料構成則
- ・主鉄筋方向、せん断補強筋方向の力の釣合い条件

これらの条件式よりせん断面に働くせん断力 V は式 (1) として表される。

$$V = \sigma_1 b j d \cot \theta + \left(\frac{\sigma_v A_v}{s} \right) j d \cot \theta \quad \cdots (1)$$

θ : 圧縮ストラット角度
 s : せん断補強筋ピッチ
 σ_v : せん断補強筋応力
 A_v : せん断補強筋断面積
 σ_1 : 主引張応力
 d : 有効高さ
 b : 部材幅



図 1 目視角による手法

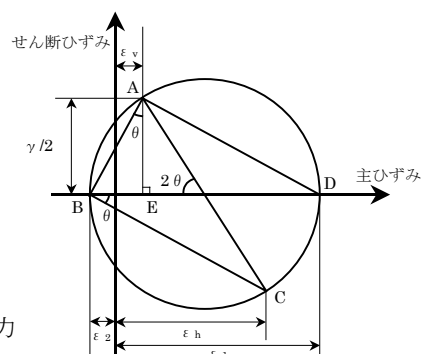


図 2 Mohr のひずみ円

表 1 試験体諸元

試験体	柱断面 (mm ²)	せん断スパン長 (mm)	有効高さ (mm)	曲げせん断 耐力比	繰返し回数	軸圧縮 応力度 (MPa)	軸方向鉄筋			帯鉄筋			コンクリート		破壊形態
							鉄筋比	降伏強度	ヤング率	鉄筋比	降伏強度	ヤング率	圧縮強度	ヤング率	
S10	320×320	1200	296	1.0	3回	0	2.5	356	1.87×10^5	0.06	354	1.91×10^5	27.3	2.28×10^4	曲げせん断
S15	320×320	1200	296	1.5	3回	0	2.5	387	1.86×10^5	0.18	267	1.83×10^5	23.1	2.20×10^4	曲げせん断

Key word: 圧縮ストラット角度, 修正圧縮場理論, コンクリートのせん断強度, せん断強度低下

連絡先 *〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL:03-3703-3111(内線:3241) FAX:03-5707-2125

**〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 渋谷地下鉄ビル TEL:03-5466-5280(内線:3384) FAX:03-3797-7547

3. 圧縮ストラット角度の検証

本論で算出した角度（目視角： θ_{exp} ，MCFT： θ_{MCFT} ）は既往の実験結果³⁾を用いた。表1に試験体諸元を示す。

(1) 曲げせん断耐力比による角度 θ の比較

曲げせん断耐力比の異なるS10, S15試験体を対象としたMCFTによる解析結果について、鉛直方向ひずみ ε_t と圧縮ストラット角度 θ の関係を図3に示す。その結果、一般的にRC単柱のせん断耐力は $\theta = 45^\circ$ 一定を仮定して評価しているが、鉛直方向ひずみの増加に伴い、圧縮ストラット角度が低下することが確認できる。さらに、S15試験体に対して曲げせん断耐力比が小さいS10試験体の圧縮ストラット角度が小さくなることを確認できた。

(2) 圧縮ストラット角度の変遷

図4にS15試験体を例に、頂部水平変位に伴う圧縮ストラット角度の変遷を示す。ここで、目視角は斜めひび割れが進展する以前はすべて 45° とした。また、MCFTから求められた圧縮ストラット角度を変形レベルにて評価するため、作用せん断力に対する頂部水平変位（軸方向鉄筋の拔出しによる回転変位を考慮）について、曲げ変形解析結果を適用した⁴⁾。図より θ_{MCFT} は目視角 θ_{exp} と同様の傾向を示すことが確認でき、終局付近では角度が概ね 35° となり、明らかに 45° より小さいことが確認できる。

4. コンクリートのせん断強度低下への適用性

図5にS15試験体を例に、圧縮ストラット角度を用いて算出したせん断劣化係数 ζ と応答変位塑性率 μ との関係を示すとともに Priestley らの提案式¹⁾も併記した。ここで、せん断劣化係数 ζ ($0 \leq \zeta \leq 1$)とは V_c を初期値 V_{c0} (V_c の最大値)で正規化したもので、劣化のない場合を $\zeta = 1$ とし、繰返し外力を受けるほど ζ は小さくなっていくものである。

その結果、目視角 θ_{exp} と θ_{MCFT} により算出したせん断劣化係数 ζ は、 $\theta = 45^\circ$ 一定と仮定して算出したせん断劣化係数 ζ より小さく評価されており、この傾向は Priestley らの提案式による挙動により近い傾向を示している。したがって、 $\theta = 45^\circ$ 一定と仮定して評価したコンクリートのせん断強度劣化は危険側の評価となる傾向が確認できた。

4. まとめ

圧縮ストラット角度について、既往の実験結果より得られた目視角 θ_{exp} に対し、修正圧縮場理論より算出した角度 θ_{MCFT} との適用について検証した。その結果、鉛直方向ひずみの増加に伴い圧縮ストラット角度が低下すること、曲げせん断耐力比の減少に伴い、圧縮ストラット角度が小さくなることを確認できた。また、既往の実験結果の範囲において、MCFTで算出した圧縮ストラット角度は変形に伴う圧縮ストラット角度の変遷を評価できたとともに、コンクリートのせん断強度低下にMCFTで算出した圧縮ストラットを適用することが可能であることを確認した。また、 $\theta = 45^\circ$ 一定ではコンクリートのせん断強度劣化は危険側の評価となる傾向が確認できた。

【参考文献】

- 1) M. J. N. Priestley, F. Seible, and G. M. Calvi : SEISMIC DESIGN AND RETROFIT OF BRIDGES, A Wiley-Interscience Publication, 1996
- 2) Frank J. Vecchio and Michael P. Collins: The modified compression-field theory for reinforced concrete elements subjected to shear, ACI Journal, March-April pp219-231, 1986
- 3) 大江 亮二:繰返し大変形を受ける鉄筋コンクリート単柱のせん断強度劣化と靱性評価, 平成12年度 武蔵工業大学修士学位論文
- 4) 宮城, 服部, 吉川, 藤田: RC柱におけるせん断劣化を考慮した変形性能評価手法, コンクリート工学年次論文集, pp1507-1512, Vol.22, No.3, 2000

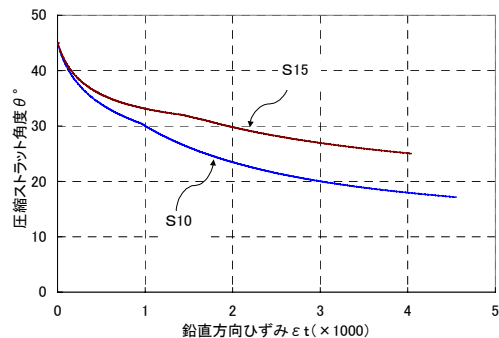


図3 曲げせん断耐力比による角度比較

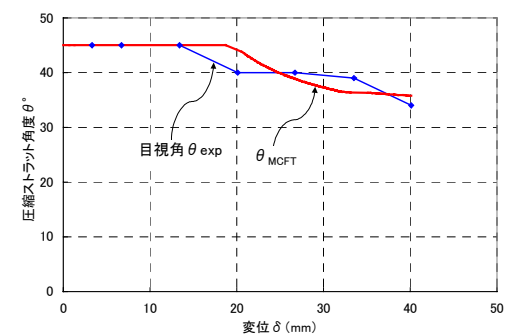


図4 S15試験体における角度の変遷

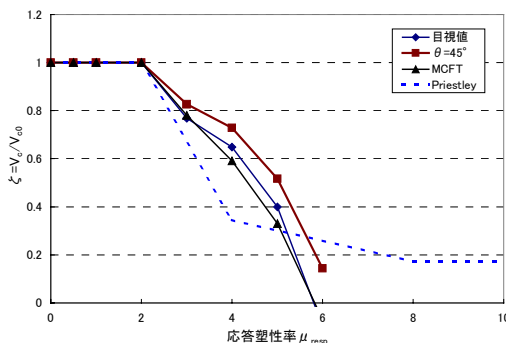


図5 $\zeta - \mu$ 関係(S15試験体)