

## 変動軸力を受ける鉄筋コンクリート柱 のせん断強度に関する研究

正会員 ○ 北山和宏

### (その3) 修正圧縮場理論を用いたせん断強度解析

(その3) ではRC柱のせん断強度に与える軸力の影響をBhide・Collins[1]が提案した修正圧縮場理論 (Modified Compression Field Theory - 以下MCFTと略記) を用いて検討した。ここでは一定軸力を受けた試験体K1およびK2を解析対象とし、あわせて軸力を変数とした解析を行った。

#### 1. MCFTの概要

MCFTとは図1のように部材全体に均一な圧縮応力場が形成されると仮定し、応力の釣り合い条件とひびわれを含む平均ひずみを用いた変形の適合条件とを使用してせん断強度を求める方法である。その特徴を以下に概説する。

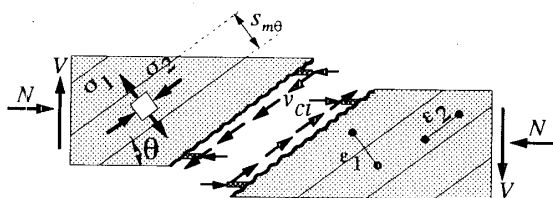


図1 MCFTで考慮する均一な圧縮応力場

- ① 主ひずみ方向と主応力方向とは一致すると仮定する。
- ② ひびわれ面での骨材の噛み合い作用によるせん断力の伝達を考慮する。①の仮定からひびわれ面での直圧縮力の伝達はないと考える。ひびわれ面におけるせん断応力度  $v_{ci}$  はひびわれ幅の関数として(1)式による[1]。

$$v_{ci} = \frac{1.8\sqrt{\sigma_B/10}}{0.31 + \frac{24w}{a+16}} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_B$ : シリンダー試験によるコンクリート圧縮強度(kgf/cm<sup>2</sup>)、 $w$ : ひびわれ幅(mm)、 $a$ : 粗骨材径(mm)でここでは20mm、である。ひびわれ幅 $w$ は斜めひびわれ間隔  $s_{m0}$  (CEB-FIP Model Code 1990[2]による) に引張り主ひずみ  $\epsilon_1$  を乗ずることにより求める。

- ③ ひびわれたコンクリートの圧縮強度の低減および鉄筋からの付着作用による引張りコンクリートのTension Stiffeningを考慮する。ひびわれたコンクリートの圧縮強度  $\sigma_{2max}$ 、ひびわれ後のコンクリートの引張り主応力度  $\sigma_1$  は以下の通りである[3]。

$$\sigma_{2max} = \frac{\sigma_B}{0.8 - 0.34(\epsilon_1/\epsilon_o)} \leq \sigma_B \quad (2)$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{cr}}{1 + \sqrt{200\epsilon_1}} \quad (3)$$

ここで、 $\epsilon_1$ : 引張り主ひずみ (正)、 $\epsilon_o$ : シリンダー試験によるコンクリート圧縮強度時のひずみ (負)、 $\sigma_{cr}$ : コンクリート引張り強度、である。

材料の応力度-ひずみ関係は鉄筋では2折れ線、コンクリートでは放物線とした。解析では引張り主ひずみを増加させてゆき、所定の軸力を保持できなくなるかコンクリートの圧縮主応力度  $\sigma_2$  が最大強度  $\sigma_{2max}$  に達するまで繰り返し収束計算を行った。MCFTで判別できる破壊モードは(1)ひびわれ幅の拡大によってひびわれ面でのせん断伝達が不能になりせん断強度に至る場合と、(2)コンクリートの圧壊、の2通りである。使用した材料特性は軸力無しと引張り軸力下では試験体K1のもの、圧縮軸力下では試験体K2のものとした ((その1)を参照)。

#### 2. 解析結果と実験との比較

軸力とせん断強度との関係を図2に示す。実験結果を●で示した。試験体K1の解析強度は14.5tonfとなり実験値の81%に留まったが、試験体K2では両者はほぼ一致した。引張りから圧縮への軸力変化とともにせん断強度は増大するという実験結果を追跡でき、設計で一般に使用される軸力の範囲 (軸力比などから判断して引張り: 50tonf、圧縮: 150tonf) ではせん断強度が2倍増大した。軸力が

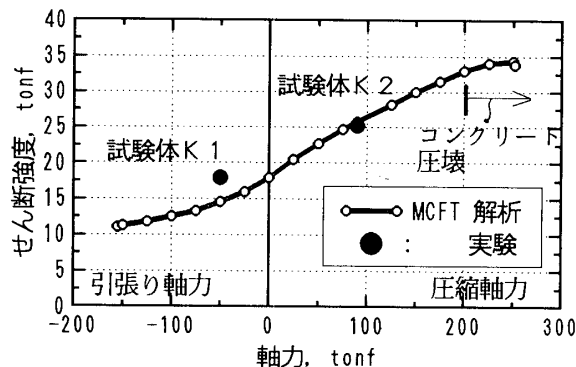


図2 軸力-せん断強度関係

## Shear Strength of Reinforced Concrete Columns Subjected to Varying Axial Load Part 3: Analysis on Shear Strength by Modified Compression Field Theory

KITAYAMA Kazuhiro

せん断強度に大きく影響することが解析からも窺えた。解析では、引張り軸力下ではせん断補強筋の降伏後にひびわれ面でのせん断伝達が不可能になった。また圧縮軸力下では、柱主筋を等価断面に置き換えて求めた軸力比0.85まではせん断補強筋が降伏することなくひびわれ面でのせん断伝達が不可能になり、これ以上の軸力比ではコンクリートが圧壊してせん断強度に達した。大きな圧縮軸力までコンクリートが圧壊しないのは、圧縮軸力の増加とともに材軸とひびわれとのなす角度（解析では材軸と圧縮主ひずみとのなす角度に等しい）が減少する（図3）ので、ひびわれ面を介して伝達できる水平せん断力成分がコンクリート圧壊前に低下してしまうためである。解析でのせん断補強筋は引張り軸力を受ける試験体K1では降伏し、圧縮軸力を受ける試験体K2ではその負担応力度は降伏強度の55%であった。実験での最大強度時には両試験体ともせん断補強筋は上下スタブ近傍のものを除いてほぼ降伏しており試験体K2において解析結果と異なった。

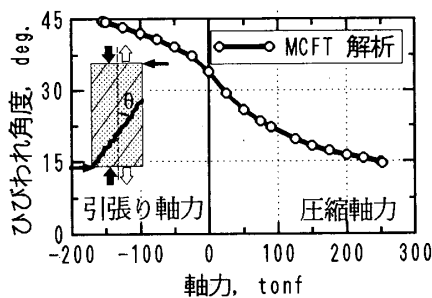


図3 軸力-ひびわれ角度関係

せん断変形角とせん断力との関係を解析結果を太線、実験結果を細線で図4に示す。引張り軸力を受ける試験体K1では剛性を低く評価したのに対して、圧縮軸力を受ける試験体K2では若干高く評価した。

材軸とひびわれ（あるいは圧縮主ひずみ）とのなす角度の推移を図5に示す。解析結果を太線、試験体の上下2区間の水平、鉛直および斜め方向の測定変位から求めた圧縮主ひずみ $\epsilon_2$ の角度を細線、主要なひびわれ角度を実測した結果を●でそれぞれ示す。引張り軸力を受ける試験体K1ではせん断力の増加とともに解析ひびわれ角度は低下して最大強度時には39度であった。実験でもひびわれ角度、測定による圧縮主ひずみの角度とも同様の傾向が認められた。圧縮軸力を受ける試験体K2では逆にせん断力の増加とともに解析ひびわれ角度は緩やかに増大し、やはり実験結果を追跡できた。最大強度時の解析ひびわれ角度は22度であり主対角角度である26.6度に近かった。なお、ひびわれ角度の実測値（図5の●印）を圧縮主応力度の方向とすると主応力度と主ひずみの方向とはほぼ同じと

見なせるが、主ひずみの角度のほうが若干大きかった。

### 3.まとめ

- (1) MCFTを用いた解析によって柱軸力がせん断強度に与える影響やひびわれ角度の推移をよく評価できた。引張りから圧縮へ軸力が変化するとともにせん断強度は大きく増加した。
- (2) 軸力の増加とともにひびわれ角度は減少し、解析ではそのためにひびわれ面を介して伝達できる水平せん断力成分が低下し最大強度に至った。

参考文献 [1] Bhide, S.B. and M.P.Collins : Influence of Axial Tension on the Shear Capacity of Reinforced Concrete Members, ACI Structural Journal, Sept.-Oct., 1989, pp.570-581. [2] CEB : CEB-FIP Model Code 1990 Final Draft, Bulletin D'information N°204, July, 1991, pp.7.9-7.14. [3] Vecchio, F.J. and M.P. Collins : The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear, ACI Journal, March-April, 1986, pp.219-231.

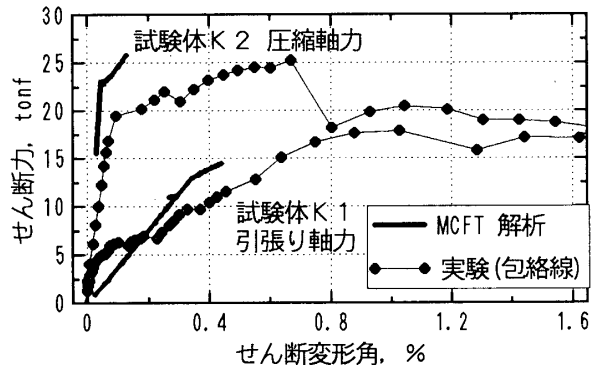


図4 せん断変形角-せん断力関係

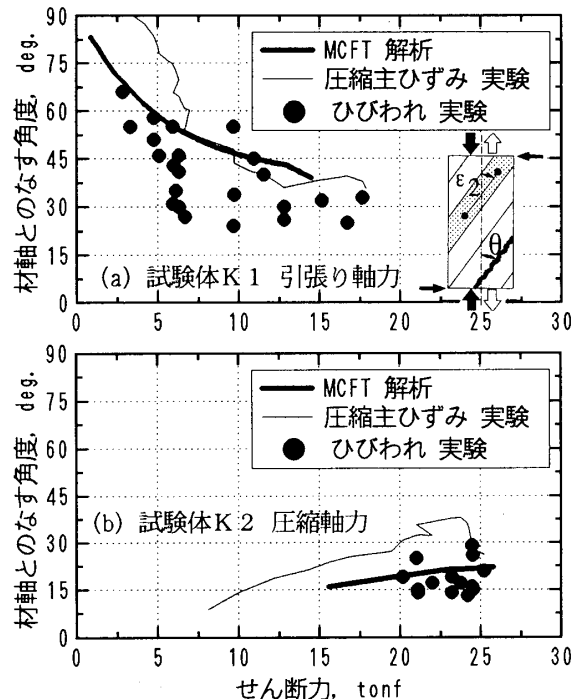


図5 材軸とひびわれ、圧縮主ひずみとのなす角度