

立命館大学理工学部

学生員

○加藤 慎介

立命館大学院理工学研究科

学生員 佐々木 優介、前田 祐助

立命館大学理工学部教授

正会員

岡本 享久

1.はじめに

これまでに、「純ねじり」、「せん断」の解析は精度の高い研究結果が得られてきた。しかし、実際の荷重条件で多い「曲げ・せん断・ねじり」の挙動解析は十分に至っていない。本研究では、「純ねじり」、「せん断」解析を組み合わせ、RC 平板要素にモデル化し、力の釣り合い式および変形の適合条件式を適用して、組み合わせ断面力を受ける RC 部材の挙動解析を行う。

2.解析概要

ねじりモーメント T が作用した際、断面を中空断面と仮定し、壁厚 td に仮定のせん断流 q が流れると仮定し解析を進める。

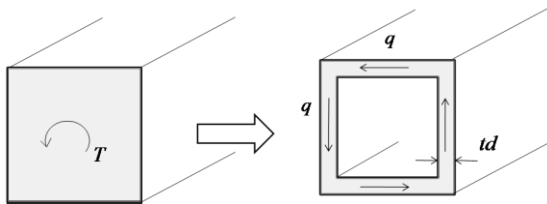


図1 仮想中空断面と作用するせん断流

解析上の仮定として、

- ① 斜めひび割れを含む様な平板要素としてとらえ、要素内のひずみ・応力を平均的に取り扱う。
 - ② せん断応力は、ねじりモーメントによるせん断応力、せん断力によるせん断応力に分配することができることとする。
 - ③ せん断とねじりの主引張応力が重なる面での破壊を想定し、その面の解析から全体の挙動を推定する。
- 以上を踏まえ、下記の条件を考慮し解析をする。

i)変形の適合条件

曲げ・せん断による変形については、曲げによる変形が支配的であること、せん断破壊が脆性的な破壊で

あることより、変形状態においては、せん断のみによるひずみを考慮しないこととし、純ねじりの変形の適合条件式を適用する。

ii)ひずみの適合条件

平板要素内のひずみは、Mohr のひずみ円からひずみの適合条件を求める。ここで示すひずみは、RC 平板の厚さ方向に平均化したねじりによるひずみと、せん断によるひずみを重ね合わせたものである。

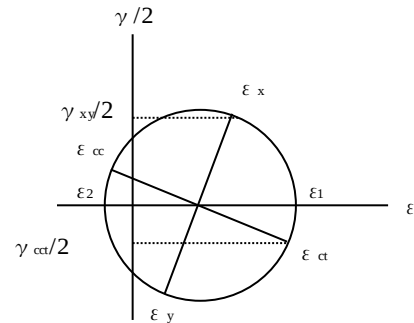


図2 平均ひずみの関する Mohr の応力円

iii)力の釣り合い条件

せん断・ねじりの組み合わせ荷重下においては、外力の作用により以下のような力の釣り合いとなる。

$$p_x \sigma_{sx} + \sigma_{cx} = 0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$p_y \sigma_{sy} + \sigma_{cy} = \tau_v \quad \dots \dots \dots (2)$$

iv)コンクリートの材料特性

ひび割れ直行方向に作用するコンクリートの引張応力については、岡村らの提案するテンションステフィニングを考慮した応力 - ひずみ関係を用いる。また、ひび割れ平行方向圧縮応力については、Collins らの提案するコンクリートの軟化特性を考慮した応力 - ひずみ関係を用いる。

v)せん断とねじりの応力分配

せん断応力 τ_{cxy} はねじりモーメントに抵抗するせん断応力 τ_t 、せん断力に抵抗する τ_v に分配することができる。

$$\tau_v = [fg / (1 + fg)] \tau_{cxy} \dots \dots \dots (3)$$

$$\tau_t = [1 / (1 + fg)] \tau_{cxy} \dots \dots \dots (4)$$

(ただし、 $f=T/M$ 、 $g=M/Vd$)

vi)ねじりモーメント T の算定

せん断・ねじりの主引張応力が重なる面での破壊を想定しているので、その面のせん断応力 τ_1 を用いる。

$$T = 2A_0 \tau_1 t d \dots \dots \dots (5)$$

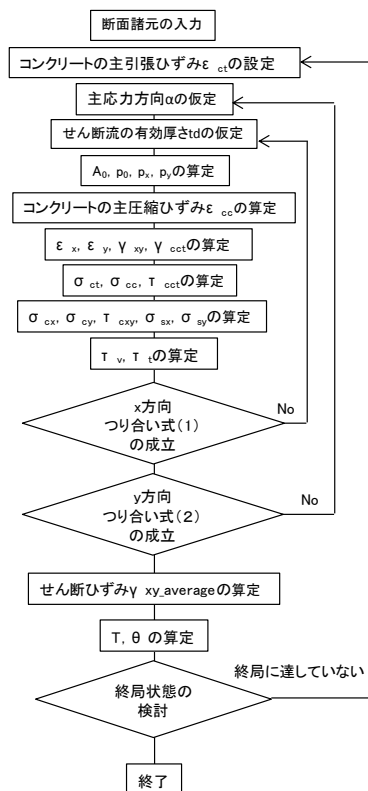
($A_0=(b \cdot t d)(h \cdot t d)$: 有効断面積)

vii)ひび割れ性状を考慮したねじれ角算定

単位長さあたりのねじれ角の算定は、以下の式によって求められる。解析上の仮定③で示したように、せん断とねじりの主引張方向が重なる面を解析することにより部材全体の挙動を把握する。

$$\theta = \gamma_{xy} p_0 / (2A_0) \dots \dots \dots (6)$$

3.解析フロー



コンクリートの主引張ひずみ ϵ_{ct} を 0.0001 ずつ増加。

4.解析結果

表 1 実験(シリーズ 1)

供試体名	断面寸法 mm ²	スパン mm	コンクリートかぶり mm	上端軸筋 呼び名	下端軸筋 呼び名	腹鉄筋
MQT8	250×250	1800	30	D10	D16	D10
MQT11						

表 2 実験(シリーズ 2)

供試体名	腹鉄筋比 %	腹鉄筋本数 本	载荷条件	T/M
MQT8	0.26	8	曲げ・せん断・ねじり	0.42
MQT11	0.35	11	曲げ・せん断・ねじり	0.42

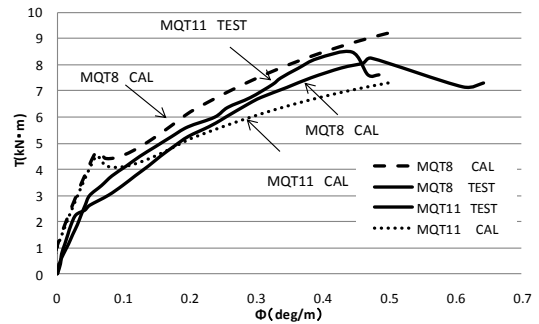


図 3 トルクーねじれ角関係比較

図 3 に実験値と解析値のトルクーねじれ角関係の比較を示す。解析値の終局ねじりモーメントは共に、鉄筋の降伏時となった。終局ねじりモーメントは、MQT8 は実験値 8.25kN・m、解析値 9.31kN・m を示し、MQT11 は実験値 9.88kN・m、解析値 7.37kN・m を示した。

終局ねじりモーメントの解析値は、MQT8 において安全側に評価してしまっているものの、ある程度の精度がある解析ができた。解析値において、MQT8 から MQT11 にかけて腹鉄筋比を増やしているものの、終局ねじりモーメントが低下しているのは、コンクリート強度が MQT8 の方が高い値を持っているからだと考えできた。これより、本解析手法においてはコンクリート強度が部材全体の強度に大きく影響を与えると考えられた。

変形については、ひび割れ発生荷重等あまり精度の良い解析ができていない。これは、本解析で用いた立体トラス理論は塑性体についての理論であり、ひび割れ発生前の弾性状態では、別の構成方程式を用いる必要があると考えられる。

5.まとめ

組み合わせ断面力を受ける RC 構造部材において、せん断とねじりの主引張応力が重なり合う面での破壊を想定し、せん断応力についてねじりとせん断に分配することにより、終局ねじりモーメントの推定が可能となった。