

V-36

RC平板モデルにおけるコンクリートの圧縮応力-ひずみ関係

北海道大学大学院 学生員 塩永 亮介
北海道大学大学院 正会員 志村 和紀
北海道大学大学院 正会員 堀口 敬
北海道大学大学院 フェロー 佐伯 昇

1. はじめに

ねじりを受ける鉄筋コンクリート部材の解析モデルとして、近年 RC 平板モデルが用いられている^{1),2)}。これは、ねじり作用を受ける RC 部材をねじりに対して有効な中空構造に置き換え、その側壁を RC 平板としてモデル化するものである。この場合、RC 平板が受ける圧縮力は、一軸圧縮とは異なり二軸の圧縮-引張応力状態であるため、コンクリートの圧縮応力を低減させた応力-ひずみ関係を用いる必要がある。多くの研究者は、Collins らの提案した圧縮応力低減係数 η を用いてきたが、これは面内せん断力を受ける RC スラブを対象としたもので、ねじりを受ける RC 部材の場合この低減係数をそのまま適用できるか詳しい検討はなされていない。

本研究では、ねじりを受ける桁の側壁の一部分をモデル化した RC スラブ試験体による載荷実験を行う。実験においては、既往の純ねじり実験データを基に、その圧縮ひずみ・引張ひずみの挙動を再現することにより、純ねじりを受ける鉄筋コンクリート部材の圧縮応力-ひずみ関係を把握し、純ねじり解析における有効な圧縮応力の算定を目的とした。

2. 実験概要

図-1に示すように純ねじりを受ける RC 部材を、ねじりに対して有効な中空部材に置き換え、各側壁には作用トルクに対して一様なせん断流が生じると仮定する。その側壁の一部を RC 平板として取り出したものが図-2に示す RC 平板モデルである。このモデルでは、軸方向(l)及び横方向(t)にせん断流に対応するせん断応力が生じ、主応力方向(d, r)にはそれぞれ最大圧縮主応力及び最大引張主応力が生じる。ねじりの解析においては、 d 方向のコンクリートの圧縮応力-ひずみ関係が t 方向の引張応力の影響を受け、低減することを考慮する必要がある。この応力状態を実験で再現するため、図-3に示す試験体により載荷実験を行った。

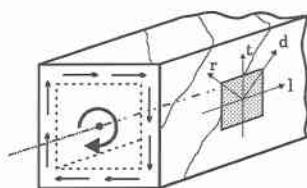


図-1 ねじりを受ける RC 部材

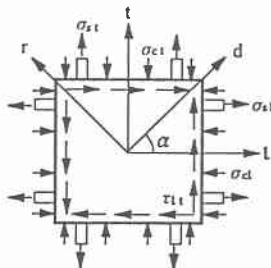


図-2 RC 平板モデル

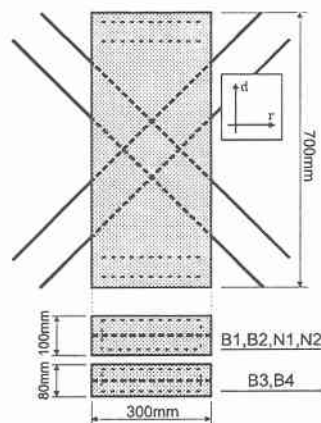


図-3 試験体図

Compressive Stress-Strain Relationship of Concrete for Reinforced Concrete Plate Model

By Ryosuke SHIONAGA, Kazunori SHIMURA, Takashi HORIGUCHI, Noboru SAEKI

表-1 試験体一覧

試験体名	荷荷方法	断面 (mm×mm)	鉄筋	コンクリート	
				圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
B1	二軸	300×100	D10	40.01	2.62
B2		300×100	D13	38.37	2.84
B3		300×80	D10	37.04	2.73
B4		300×80	D13	37.26	2.40
N1	一軸	300×100	D13	26.45	2.07
N2		300×100	D13	35.68	2.71

本実験では断面の厚さ、鉄筋種類を変え 4 種の試験体で二軸試験を行った。また、試験体形状による影響を知るため一軸圧縮試験も 2 体行った。試験体の一覧を表-1 に示す。断面厚さは 80mm 及び 100mm、使用鉄筋は D10(SD295)、D13(SD345) の 2 種類である。

二軸の圧縮-引張試験装置を図-4 に示す。フレームによって固定した油圧ジャッキを 4 方向の鉄筋に取り付け、これに引張力を与えながら RC スラブ試験体のコンクリート端面に荷重する。鉄筋にそれぞれ引張力を与えることでコンクリートの r 方向には引張応力が、また d 方向に荷重することで圧縮応力が働き二軸の応力状態となる。圧縮-引張のひずみの調節は、図-5 に示す既往の RC 桁の純ねじり実験データ（正方形断面）に従った。試験体のコンクリートひずみの測定は、 d 方向・ r 方向・及びそれに 45° の方向に Ω ゲージを取り付け測定した。一軸試験では、鉄筋に引張力は与えず、そのまま d 方向に荷重した。

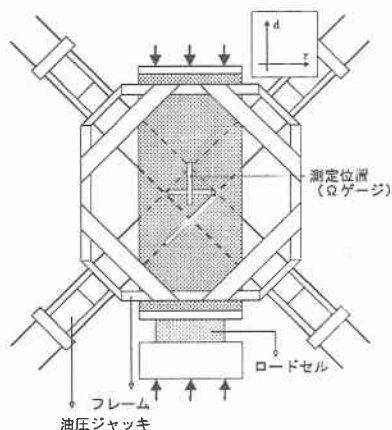


図-4 実験装置図

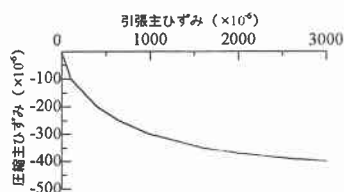


図-5 純ねじりひずみデータ

3. 実験結果

3-1. 一軸試験による圧縮応力-ひずみ関係

2 体の一軸試験による圧縮応力-ひずみ関係を図-6 に示す。一軸圧縮応力の理論値（シリンダーによる圧縮強度をピークとした放物線）に対し幾らか低減が見られる。これは、シリンダーのような円柱供試体とは異なり試験体がスラブ状であるため、長辺/短辺比が大きいことより応力の低下が生じたと思われる。圧縮ひずみに対する応力の低減率のグラフ(図-7)より、2 つの試験体においてほぼ同様な圧縮応力の低減があり、一軸状態の応力低減率を 0.8 とした。

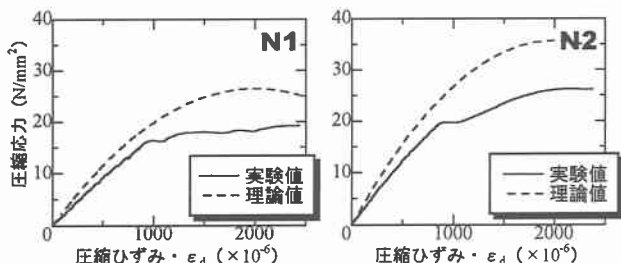


図-6. 圧縮応力-ひずみ曲線（一軸荷重）

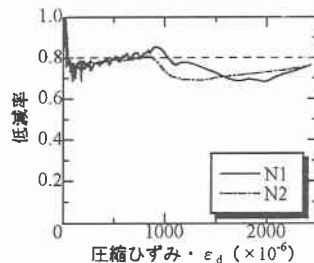


図-7. 圧縮応力の低減率

3-2. 二軸試験による圧縮応力-ひずみ関係

RC 平板モデルにを用いたねじり解析において、コンクリートの圧縮応力-ひずみ関係は、二次放物線に低減係数を乗じたものを用いている。低減式は、Collins の式が広く用いられているが、ここでは最近の Hsu らの研究⁴⁾⁵⁾による低減式も求めそれぞれ比較をおこなった。

コンクリートの圧縮応力

$$\sigma_c = \eta \cdot f'_c \left\{ 2 \left(\frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_0} \right) - \left(\frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_0} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Collins} \quad \eta = \frac{1}{0.8 + 0.34 \varepsilon_r / \varepsilon_0} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Hsu} \quad \eta = \frac{0.9}{\sqrt{1 + 400 \varepsilon_r}} \dots\dots\dots(3)$$

η : 低減係数 ε_r : 引張ひずみ
 f'_c : 圧縮強度 ε_0 : 最大応力時のひずみ
 ε_d : 圧縮ひずみ ($\varepsilon_0 = 0.002$)

図-8 に二軸試験の実験値、及び Collins、Hsu の低減式より得た圧縮応力-ひずみ曲線の比較を示す。実験値は、圧縮応力が 10N/mm² 程度までは Collins らの曲線に近いが、それ以降は差が開く。B2 の試験体においては初期応力にも差があるが、これは他の試験体は圧縮応力が 5N/mm² 付近でひびわれが発生したのに対し、載荷初期に予定より大きな引張ひずみを生じさせてしまい、ひびわれが 1N/mm² 程度で発生したためと思われる。破壊時の圧縮応力は、実験では約 20N/mm² であるのに対し、Collins らの式では 15N/mm² 以下になることもあり、低めの圧縮応力を示す。このため Collins の式を用いたねじり解析においては、実際よりも小さな圧縮応力で変形を評価してしまう可能性がある。図-9 に試験体のひびわれ図を示す。ひびわれはまず、試験体の圧縮方向に発生する。そのひびわれが上下に進展し、やがて破壊にいたる。一軸圧縮試験では鉄筋に沿ったひびわれが破壊面となったのに対し、二軸試験ではねじりを受ける RC 部材の破壊にみられるように、コンクリートが鉄筋から剥離した後に圧縮破壊した。

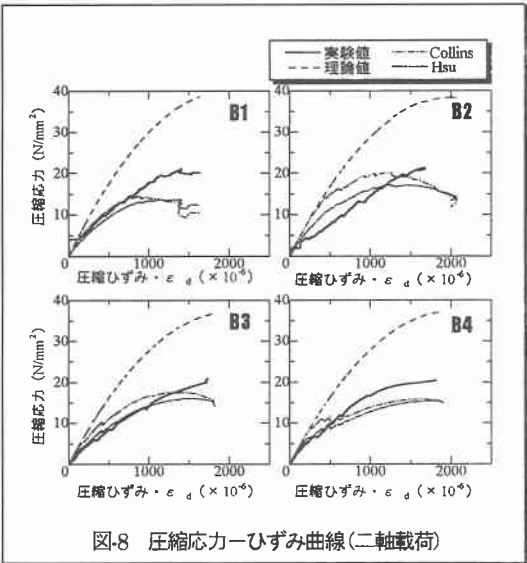


図-8 圧縮応力-ひずみ曲線(二軸載荷)

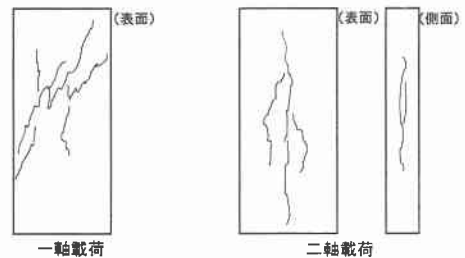


図-9 ひびわれ状況の比較

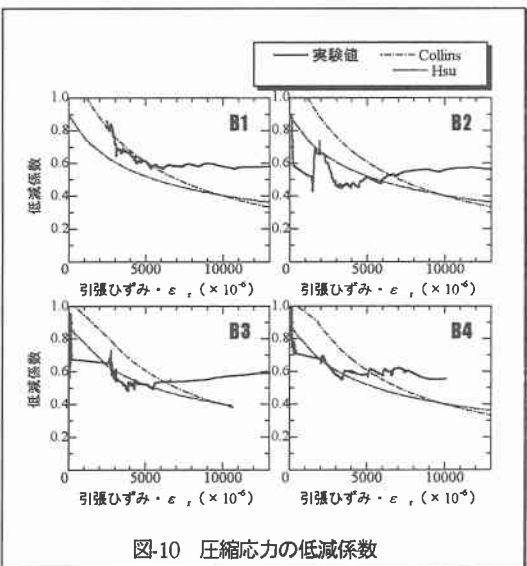


図-10 圧縮応力の低減係数

3-3. 圧縮応力の低減係数

図-8の圧縮応力-ひずみ曲線より、破線で表した理論式における放物線（一軸応力）と実線で表した実験値（二軸応力）との比を図-10に示した。この値が圧縮応力の低減率とされるので、Collins及びHsuの低減係数の式(2)、(3)も同時に表し比較する。Collins、Hsuらの式ではコンクリートの引張ひずみが0.01に達すると低減係数は0.4程度まで低下するが、本実験の結果では圧縮応力の低減率は、ある程度低下した後、一定の値（0.5～0.6）となり、引張ひずみの増加に伴う係数の減少はCollinsやHsuらの式とは異なり下限値をもつと思われる。そこで、RC平板モデルにおける圧縮応力の低減係数を次式(4)のように求めた。

$$\eta = \frac{0.8}{\sqrt[3]{1 + 400 \varepsilon_r}} \quad (\eta \geq 0.55) \dots\dots(4)$$

ε_r : 引張ひずみ

3-1で示したようにRCスラブ形状による影響から、あらかじめ0.8の圧縮応力低減がある。また、低減係数の下限値を0.55とした。図-11は、式(4)とB1～B4の試験体による実験から得られた低減率との比較を表したものである。B2については、荷重の制御に問題があり圧縮応力の低減が大きくなってしまったため検討から除いた。

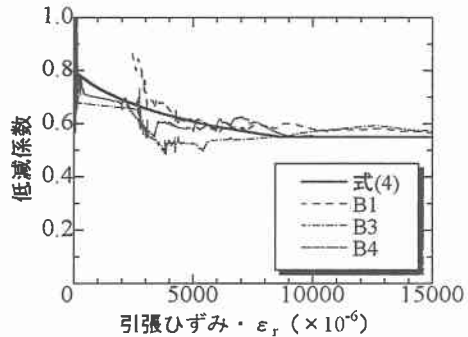


図-11 低減係数式と実験値

4. まとめ

- (1) 一軸圧縮試験の結果より、RCスラブの圧縮応力はシリンダー試験に比べ80%程度まで低下する。
- (2) 圧縮-引張の2軸応力下において、コンクリートの圧縮応力の低減率は、0.55程度の下限値をもつと思われる。
- (3) 2軸応力下のRCスラブ試験体は、ねじりを受けるRC部材の破壊でみられるかぶりコンクリートの剥離と同様にコンクリートが鉄筋から剥離した後に圧縮破壊を生じた。

【参考文献】

- 1) 長瀧、李、岡本：鉄筋コンクリート部材のねじり耐荷機構に関する一考察、土木学会論文集 No.390/V8.1998
- 2) 二羽、桧貝、守屋：ねじりを受けるRC棒部材に関する解析的研究、土木学会論文集 No.420/V13、1990
- 3) Vecchiano and Collins：The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Element Subjected to Shear、ACI Journal、Vol83、No.2、1986
- 4) Pang and Hsu：Behavior of Reinforced Concrete Membrane Element in Shear、ACI Structural Journal、V.92、No.6、1995
- 5) Belarbi and Hsu：Constitutive Laws of Softened Concrete in Biaxial Tension-Compression、ACI Structural Journal、V.92、No.5、1995