

東京工業大学 学生員 李 承漢

東京工業大学 正会員 長瀧 重義

東京工業大学 正会員 岡本 享久

1. まえがき 本研究はねじりを含む組合せ荷重を受けるRC部材において従来からある立体トラス理論および斜め曲げ理論とは別にこの種の荷重状態下のコンクリート構造物の破壊性状を合理的に表現しうるモデルを提案し、解析を行い、実験結果と比較検討したものである。

2. 本解析モデルの特徴およびモデル化 本研究で提案した破壊モデルはひびわれ発生角度に基づいたモデルであり、破壊面は上板のひびわれ角 θ_1 、曲げ・せん断によるせん断応力とねじりによるせん断応力が相殺する側板のひびわれ角 θ_2 、累加する側板のひびわれ角 θ_4 、および下板のひびわれ角 θ_3 によって決定される。モデル化を説明すると、

1) 図1、図2で示すように部材断面K-Kに沿って各面のひびわれ(主圧縮ひずみ)方向とこれに直角に交わる方向で断面を切断し、フリーボディを考える。

2) 各断面においてひびわれ(主圧縮ひずみ)方向と同一方向のLM, NO, QRおよびRS面は引張力が作用する面になり、引張力成分が働く。またひびわれ方向と垂直方向のKL, MN, OQおよびSK面は圧縮力が作用する面になり圧縮力成分が働く。

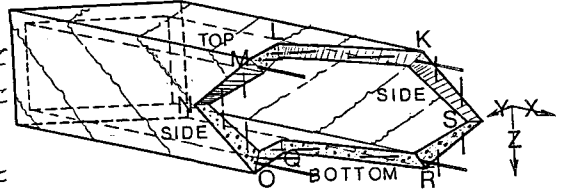


図1 破壊モデル

3. 構成方程式

(1) ひびわれ角度の算定 理想化された各破壊面でのひびわれ角度の関係はA.A.Ewida¹⁾らの研究を参考にして本論文では各組合せ荷重比が実験時の条件と解析結果が同一となるようにtrial and errorによって求められる角度補正係数 α と置くことによって算定した。

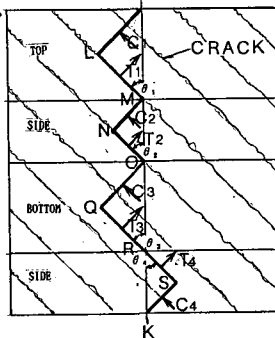


図2 破壊モデルの展開図

(2) 断面力の算定 ひびわれはコンクリート表面の主引張応力がコンクリートの引張強度に達した時発生するとし、部材表面の圧縮応力は釣り合い条件式から次式のようなになる。

$$\sigma_{ci} = \frac{\sigma_{st} [1 + h_2/h + (1 + b_2/b) d_1/b (\cos^2 \theta_2 + \cos^2 \theta_4)]}{[1 + h_2/h + (1 + b_2/b) d_1/b (\sin^2 \theta_2 + \sin^2 \theta_4)]} \quad (1)$$

ひびわれ発生時の断面力は各々の応力ブロックの断面積にモデル各板の引張、圧縮域の長さに乗じることによって、各板の断面力は次式のようなになる。

$$C_{1,3} = b \sin \theta_{1,3} \int_{h/(2-t_1)}^{h/2} 2 \cdot \sigma_{ci}/h \cdot Z \cdot dz \quad (2) \quad C_{2,4} = d_1 \sin \theta_{2,4} \int_{b/(2-t_1)}^{b/2} 2 \cdot \sigma_{ci}/b \cdot Y \cdot dy \quad (3)$$

$$T_{1,3} = b \cos \theta_{1,3} \int_{h/(2-t_1)}^{h/2} 2 \cdot \sigma_{st}/h \cdot Z \cdot dz \quad (4) \quad T_{2,4} = d_1 \cos \theta_{2,4} \int_{b/(2-t_1)}^{b/2} 2 \cdot \sigma_{st}/b \cdot Y \cdot dy \quad (5)$$

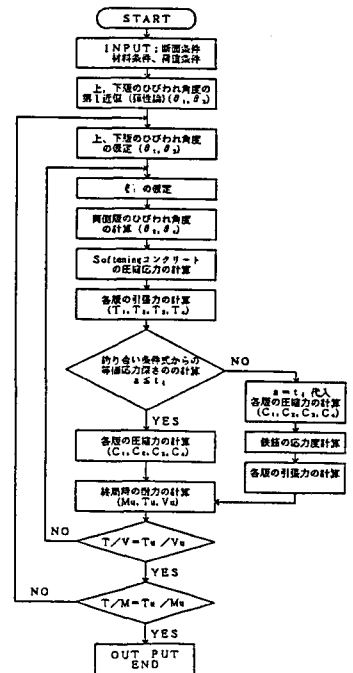


図3 終局時の耐力算定フローチャート

b : 部材全幅 h : 部材全高さ

b₂ : 中空断面の内面幅h₂ : 中空断面の内面高さAs_{x_i} : 単位長さ当りの軸筋の断面積As_{y_i} : 単位長さ当りのスターラップの断面積C_i : 圧縮力 T_i : 引張力X_i, Y_i, Z_i : 各断面のX, Y, Z 軸方向の断面力x_i, y_i, z_i : 座標軸から各断面力までのアーム長

終局状態での各板の圧縮力は式 (2), (3)での応力ブロックの断面積をコンクリートのSoftening および壁厚の影響を考慮した終局時のコンクリートを等価圧縮応力ブロックに置き換えることによって、また引張力は式 (4), (5)でのコンクリートの引張応力ブロックを鉄筋の耐力で置き換えることによって求めた。変形の適合条件から次式が得られる。

$$\tan^2 \theta_i = \sigma_{sy} / \sigma_{sx} \quad (6)$$

破壊面の力の釣り合いは上板の圧縮面の軸K-Lについて求める。

$$\begin{aligned} & \sin \theta_1 \cdot k_1 \cdot a \cdot \sigma_{ck} (b + (d-a) \cdot (\sin^2 \theta_2 + \sin^2 \theta_4)) \\ &= (d-a) \cos \theta_3 (\cos \theta_2 (ASx_2 \cdot \sigma_{sx} \cdot \cos^2 \theta_2 + ASy_2 \cdot \sigma_{sy} \cdot \sin^2 \theta_2)) \\ &+ (d-a) \cos \theta_3 (\cos \theta_4 (ASx_4 \cdot \sigma_{sx} \cdot \cos^2 \theta_4 + ASy_4 \cdot \sigma_{sy} \cdot \sin^2 \theta_4)) \\ &+ b \cos \theta_3 (ASx_3 \cdot \sigma_{sx} \cdot \cos^2 \theta_3 + ASy_3 \cdot \sigma_{sy} \cdot \sin^2 \theta_3) \end{aligned} \quad (7)$$

ここで $b \sin \theta_1 = b \cos \theta_3$ であるのでこの関係を式 (7)に代入し、この式から等価応力深さ(a)は求められる。求められた等価応力深さ(a)が壁厚(ti)を越えている場合コンクリートの圧壊とし、式(7)に $a = ti$ を代入し、式(6)との方程式を解くことによって軸筋の応力 σ_{sx} およびスターラップ応力 σ_{sy} を求める。

(3) 耐力の算定 仮想破壊面の座標軸を図1に示し、このような座標軸によるひびわれ発生時および終局時の部材各板の断面積およびアーム長を求め、各々のねじりモーメントは式(8)に曲げモーメントは式(9)にせん断力は式(10)で表せる。

$$\Sigma M_x (= T_{cr}, T_{uc}) = \Sigma (Z_i \cdot y_i - Y_i \cdot z_i) \quad (8)$$

$$\Sigma M_y (= M_{cr}, M_{uc}) = \Sigma (X_i \cdot z_i - Z_i \cdot x_i) \quad (9)$$

$$\Sigma z (= V_{cr}, V_{uc}) = \Sigma Z_i \quad (10)$$

また終局時の耐力算定フローチャートを図3に示す

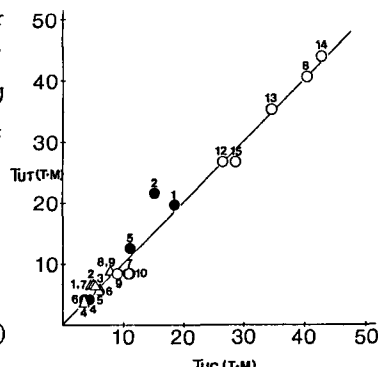


図4 終局時のねじりモーメントの実験値と解析値の関係

表1 実験結果と計算値の比較

シリーズ	No	T / M	σ_{ck} (kg/cm ²)	σ_{st} (kg/cm ²)	終局時の耐力					
					曲げモーメント (t.m)		せん断力 (t)		ねじりモーメント (t.m)	
					実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値
I	1	∞	322	17.5	—	—	—	—	18.64	19.66
	2	2.08	327	19.5	7.32	10.31	—	—	15.25	21.51
	3	0.00	373	22.8	19.43	20.42	10.50	10.96	0.00	0.00
	4	0.24	334	19.6	18.87	17.09	10.20	9.43	4.47	4.06
	5	0.95	345	17.5	11.84	13.81	6.40	7.17	11.20	12.49
	6	0.24	327	19.2	15.36	16.74	8.30	9.15	3.64	3.97
	7	0.24	251	14.5	45.16	35.07	24.41	18.98	10.74	8.33
	8	∞	261	19.5	—	—	—	—	40.60	40.63
	9	0.24	281	20.6	37.62	35.35	20.34	19.29	8.91	8.39
	10	0.24	304	21.2	45.22	35.55	24.45	19.31	10.76	8.40
	11	0.00	308	20.7	43.84	37.10	23.70	19.89	—	1.19
	12	0.95	331	18.2	28.20	28.27	15.25	15.14	26.68	26.68
	13	2.08	328	20.0	16.70	16.95	—	—	34.80	35.25
	14	∞	328	20.0	—	—	—	—	42.96	43.94
	15	0.95	326	23.4	30.33	28.22	16.40	15.11	28.69	26.66
II	1	∞	228	15.4	—	—	—	—	5.78	5.25
	2	∞	235	15.4	—	—	—	—	6.09	5.41
	3	∞	267	17.2	—	—	—	—	5.47	6.14
	4	∞	261	16.9	—	—	—	—	3.54	3.50
	5	∞	272	17.9	—	—	—	—	4.88	6.26
	6	∞	279	17.5	—	—	—	—	4.96	6.16
	7	∞	293	18.8	—	—	—	—	5.86	5.37
	8	∞	303	19.4	—	—	—	—	7.84	8.55
	9	∞	303	19.4	—	—	—	—	7.85	8.55

4. 実験結果および考察 実験値と解析値の比較を表1に示す。本解析が対象にした終局耐力は鉄筋の降伏値あるいはコンクリート圧壊時であり、実験結果と比較する場合、実験での終局耐力の定義は、i) 軸筋あるいはスターラップが降伏しており、荷重・変形曲線において剛性の低下が急激に起こる荷重。ii) 荷重・変形曲線においてi)で示す剛性の低下は起こらないが、部材4辺において、すべての軸筋あるいはすべてのスターラップが降伏する荷重。iii) コンクリートが圧壊する荷重。iv) i)、ii)、iii)で示す荷重よりひびわれ発生荷重が大きい場合はひびわれ発生荷重である。以上の定義に従って得た表1の結果に基づき実験値と解析値の比較をねじりモーメントに関して図4に示した。この図からT/M, T/Vの比の相違にかかわらず実験値と理論値は良い一致を示した。従って本解析法はT/M, T/Vが大きくなるにつれ曲げモーメントが低下する現状も説明でき、ねじりを受けるRC部材の耐力を過大評価しがちだった従来の理論をコンクリートストラットのSofteningの影響を考慮しコンクリート強度を低減させ、部材壁厚の変化によるコンクリートの圧壊を考えることにより実際の破壊形式を良く説明できた。

5. あとがき 本研究で得た結果を要約すると、1) 本モデルは、T/M, T/Vの比の変化を連続的に取り扱うことが可能であり、どのような組合せ荷重においても実際の破壊形式を表現しうるものである。2) 本解析は組合せ荷重および壁厚がどのように変化してもひびわれ、終局耐力を精度よく算定できる。

参考文献 1) A.A.Ewida and A.E McMullen : Torsion-shear-flexure interaction in reinforced concrete members, Magazine of Research, Vol.33, No.115, June 1981.