

1. 要旨

この報告は軸方向圧縮力または引張力と曲げモーメントとを受ける鉄筋コンクリート部材の強度と変形能力について検討したものである。軸方向圧縮力と曲げとを受ける部材については重合の法則を適用し、軸方向引張力と曲げとを受ける部材については降伏強度は重合の法則を、また破壊強度は重合の法則による計算式とフリ合、条件とモデル化して求めた計算式⁽¹⁾とを適用した。

2. 降伏強度：引張鉄筋の降伏と部材の降伏と定義し、重合の法則を用いて降伏強度を求める。

1) 軸圧縮と曲げ

$$\begin{aligned} N_{sy}/bd\sigma_{co} &= C_f \rho_{sy} - p\rho_y, \quad \phi_{sy} \cdot d = E_{sy}/(1-\rho_{sy}) \\ \rho_{sy} &= [C_f(1-\alpha) + \sqrt{\{C_f(\alpha-1)\}^2 + 4\alpha p\rho_y(C_f - C_m)}] / 2(C_f - C_m) \end{aligned} \quad (1)$$

2) 軸引張と曲げ

$$\begin{aligned} N_{sy}/bd\sigma_{co} &= p\rho_y - C_f \rho_{sy}, \quad \phi_{sy} \cdot d = E_{sy}/(1-\rho_{sy}) \\ \rho_{sy} &= [C_f(\alpha+1) - \sqrt{\{C_f(\alpha+1)\}^2 - 4\alpha p\rho_y(C_f - C_m)}] / 2(C_f - C_m) \end{aligned} \quad (2)$$

降伏時の軸力と引張鉄筋同心軸に関するモーメントとの関係の一例を図-1に示した。

3. 破壊強度：コンクリートの圧縮破壊と部材の破壊と定義する。

1) 軸圧縮と曲げ

i) 中立軸位置が断面内の場合

$$\begin{aligned} N_{cu}/bd\sigma_{co} &= C_{fu} \rho_{cu} - p\rho, \quad \phi_{cu} \cdot d = E_{cu}/\rho_{cu} \\ \rho_{cu} &= [C_{fu}(1-\alpha) + \sqrt{\{C_{fu}(\alpha-1)\}^2 - 4\alpha p\rho(C_{fu} - C_{mu})}] / 2(C_{fu} - C_{mu}) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $p\rho = p \cdot (\sigma_s/\sigma_{co})$, $E_s \leq E_{sy} \rightarrow \sigma_s = E_s E_s$, $E_{sy} \leq E_s \leq E_{sh} \rightarrow \sigma_s = \sigma_{sy}$, $E_{sh} \leq E_s \leq E_{smax} \rightarrow \sigma_s = \sigma_{sy}(1 + A \log_e E_s/E_{sh})$

ii) 中立軸位置が断面外の場合

$$\begin{aligned} N_{cu}/bd\sigma_{co} &= C_{fu} \rho_{cu} - C_{fc1}(\rho_{cu} - \rho_z) + p\rho, \quad \phi_{cu} \cdot d = E_{cu}/\rho_{cu} \\ \rho_{cu} &= [2C_{mc1} - C_{fc1} - (\alpha-1)(C_{fu} - C_{fc1}) + \sqrt{\{(\alpha-1)(C_{fu} - C_{fc1}) - (2C_{mc1} - C_{fc1})\}^2 - 4\alpha p\rho\{(C_{fu} - C_{mu}) - (C_{fc1} - C_{mc1})\}}] / 2\{(C_{fu} - C_{mu}) - (C_{fc1} - C_{mc1})\} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 $p\rho = p \cdot (\sigma_s/\sigma_{co})$, $E_s \leq E_{sy} \rightarrow \sigma_s = E_s E_s$, $E_{sy} \leq E_s \leq E_{sh} \rightarrow \sigma_s = \sigma_{sy}$

2) 軸引張と曲げ i) 重合の法則

$$\begin{aligned} N_{cu}/bd\sigma_{co} &= p\rho - C_{fu} \rho_{cu}, \quad \phi_{cu} \cdot d = E_{cu}/\rho_{cu} \\ \rho_{cu} &= [C_{fu}(\alpha+1) - \sqrt{\{C_{fu}(\alpha+1)\}^2 - 4\alpha p\rho(C_{fu} - C_{mu})}] / 2(C_{fu} - C_{mu}) \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 $p\rho = p \cdot (\sigma_s/\sigma_{co})$, $E_s \leq E_{sy} \rightarrow \sigma_s = E_s E_s$, $E_{sy} \leq E_s \leq E_{sh} \rightarrow \sigma_s = \sigma_{sy}$, $E_{sh} \leq E_s \leq E_{smax} \rightarrow \sigma_s = \sigma_{sy}(1 + A \log_e E_s/E_{sh})$

ii) フリ合、条件とモデル化した計算式⁽¹⁾

$$\begin{aligned} N_{cu}/bd\sigma_{co} &= N_{sy}/bd\sigma_{co} + \Delta N/bd\sigma_{co}, \quad \phi_{cu} \cdot d = z E_{cu}/\rho_1 \\ \Delta N/bd\sigma_{co} &= \gamma_2 \rho_1 (1 - \rho_1/2) / 4\alpha, \quad \rho_1 = 2\{(4\alpha+3) - \sqrt{(4\alpha+3)^2 - 9(\alpha+1)}\} / 3, \quad \gamma_2 = \sigma_0/\sigma_{co} \end{aligned} \quad (6)$$

ここでは(5)または(6)式によって得られる強度のいずれか小さい方を破壊強度とした。また破壊時の軸力と引張鉄筋同心軸に関するモーメントとの関係の一例を図-2に示した。

4. 変形能力

部材の変形能力についてはコンクリートの圧縮破壊時と引張鉄筋の降伏時との曲率の差によって検討した。
図-3~5に変形能力と力学的鉄筋比または偏心量との関係の一例を示した。

5. 結び

1) 軸方向引張力と曲げを受ける部材

偏心量一定 ($\alpha=1.5$) で鉄筋量を $\rho=0.008 \sim 0.05$, 鉄筋量一定 ($\rho=0.0165$) で偏心量を $\alpha=1.5 \sim 6.5$ まで各々5段階に変化させて行なった実験結果^{(1),(3)}は重合の法則による計算値と比較的良好一致し、降伏強度、破壊強度、変形能力はそれぞれ計算値の $0.66 \sim 1.04$, $1.00 \sim 1.27$, $1.05 \sim 1.46$ の範囲であった。つり合い条件をモデル化した式による計算値は破壊強度では $1.01 \sim 1.29$, 変形能力では $2.06 \sim 3.00$ となり、変形能力において実験値と良く一致しなかった。以上の実験結果と計算結果をもとにして次のことを結論とする。

i) 降伏強度までは重合の法則が適用できる。

ii) 破壊強度は重合の法則による計算式と軸方向ひびわれ発生後のつり合い条件をモデル化して求めた計算式とを適用する。ただしモデル化した式の適用範囲はおおむね $\rho \rho_y \geq 0.4$ から $0.04 \leq \alpha \leq 0.40$ の範囲に限られる。なおこの範囲では強度は重合の法則を用いた強度に比べ、約10%低下し、変形能力は約60%減少する。

2) 軸方向圧縮力と曲げを受ける部材

重合の法則が成立すると仮定すれば次の結果が得られる。

i) 強度は従来の軸力と曲げとの相関図と同じ傾向を得るが、このときの変形能力はおおむね $\rho \rho_y \geq 0.2$ の範囲で急激に減少する。(図-3)

ii) また曲げのみが作用するときと比べて、つり合い鉄筋比は減少し、従来用いられている鉄筋量の範囲でも降伏と同時に破壊が起る可能性がある。

図-1 降伏強度

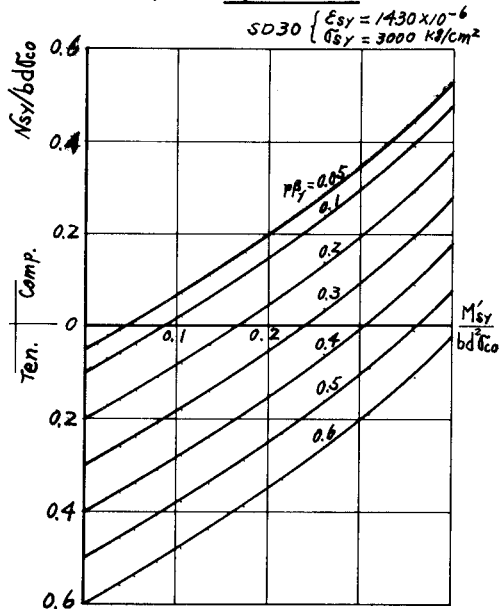


図-2 破壊強度

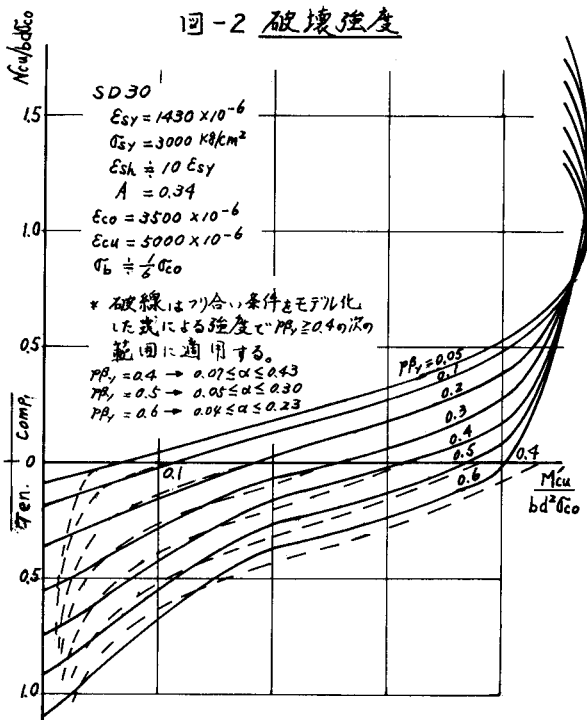


図-3 $(\phi_{cu} - \phi_{sy})d - \alpha$

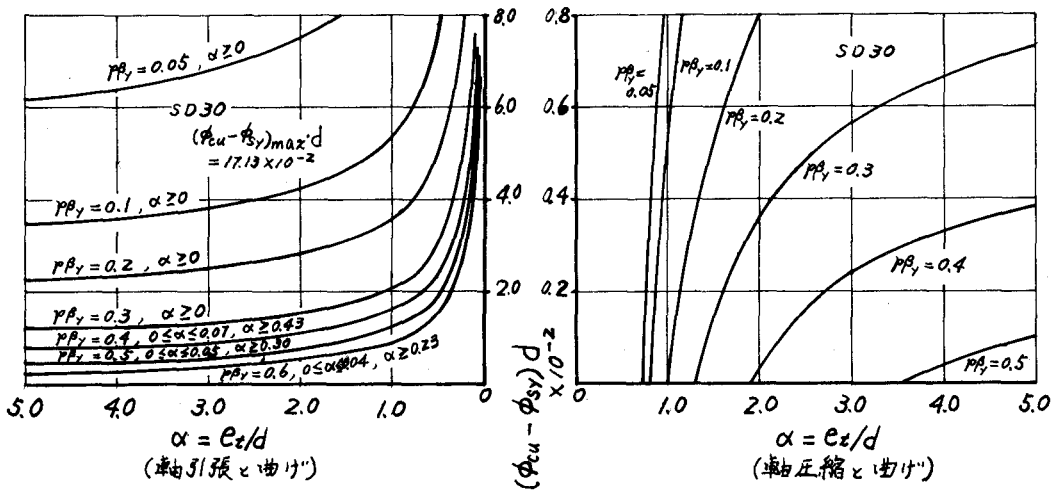


図-4 $(\phi_{cu} - \phi_{sy})d - \rho_y$

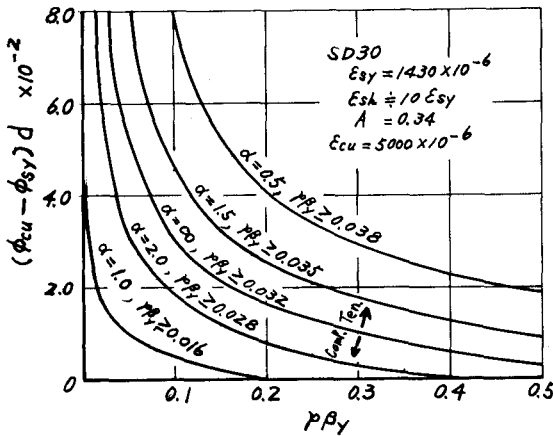
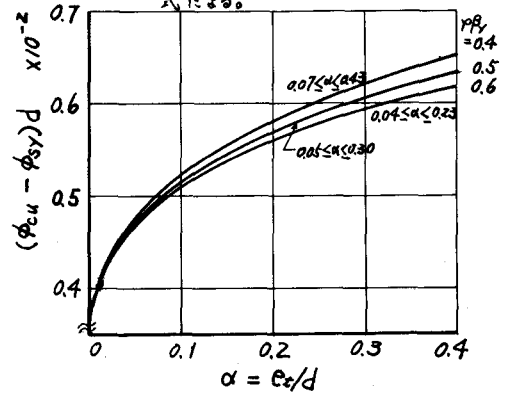


図-5 $(\phi_{cu} - \phi_{sy})d - \alpha$

(軸引張と曲げ, フリ合, 条件をモデル化) 式による。



記号) N_{sy}, N_{cu} : それぞれ引張鉄筋が降伏するときとコンクリートが圧縮破壊するときの軸力, M' : 引張鉄筋重心軸に関するモーメント, ϕ_{sy}, ϕ_{cu} : それぞれ引張鉄筋が降伏するときとコンクリートが圧縮破壊するときの中立軸係数, ϕ_c : 軸方向ひびわれ発生後の圧縮部係数, ϕ_y, ϕ_u : それぞれ引張鉄筋が降伏するときとコンクリートが圧縮破壊するときの曲率, ϕ_s : 鉄筋の応力度, ϕ_{sy} : 鉄筋の降伏点応力度, ϕ_{cu} : コンクリートの最大圧縮応力度, ϕ_b, ϕ_{cu} : それぞれコンクリートの曲げ引張強度と引張強度, ϵ_s : 鉄筋のひずみ度, ϵ_{sy} : 鉄筋の降伏点ひずみ度, ϵ_{sh} : 鉄筋のひずみ硬化点ひずみ度, ϵ_c : コンクリートの圧縮ひずみ度, ϵ_{co} : ϕ_{cu} に対するひずみ度, ϵ_{cu} : コンクリートの最大圧縮ひずみ度, ϵ_{cu} : コンクリートの最大曲げ引張ひずみ度, C_f : コンクリートの圧縮力に関する係数 $\epsilon_c = \epsilon_{c1} \rightarrow C_f = C_{fc1}$, $\epsilon_c = \epsilon_{cu} \rightarrow C_f = C_{fu}$, C_m : 中立軸に関するコンクリートのモーメント係数 $\epsilon_c = \epsilon_{c1} \rightarrow C_m = C_{mc1}$, $\epsilon_c = \epsilon_{cu} \rightarrow C_m = C_{mu}$, e_x : 引張鉄筋重心から軸力作用点までの距離, b : 断面の幅, d : 有効高さ, h : 断面の高さ $h = h_d$, A_s : 鉄筋の断面積, $\alpha = e_c/d$, $P = A_s/bd$, $\rho_y = \phi_{cu}/\phi_{sy}$, $\phi_c = \phi_{cu} (\epsilon_c/\epsilon_{co}) \cdot e^{1 - \epsilon_c/\epsilon_{co}}$

関連文献) 神山, 川口: 1) 土木学会年次講演概要集 S47, 48, 49年, 2) 橋梁構造工学研究発表会 S.47年, 3) セメント技術年報 S.48年