

プレテンションニング矩形バリの極限強度設計法について

加賀美 一 二 三

緒 言

鉄筋コンクリートバリにおいては、近時極限強度設計法によることになった国が米、ソを始めとして二、三あり、本邦においてもその過渡期にあるといえる。プレストレストコンクリートに関しては、現在の弾性理論による許容設計法と極限強度設計法との得失が論じられているが、ひびわれを禁物とする水槽や撓み制限を受ける構造物などは特種のものに属するので、一般プレストレストコンクリートの設計といえば、ハリがその大部分を占めることになる。

この場合の設計に当たり、ハリ腹部厚さのごとき施工上の制約とか、断面に應ずる中立軸の推定などが必要である現在の極限強度設計法は一部経験的であり、不的確のものであるが、既にプレストレストコンクリートバリの多くの実験において、その破壊実験値と塑性式による結果値とが構造技術の常識内の不合率である破壊曲げモーメント式によることは、弾性理論式より安全率一定を保ち力学的安定のものであり、経済的となって設計上望ましい。

本文においては、本学報掲載の実験報告によるプレテンションニング矩形バリの破壊実験の考察の結果、以下説述する極限強度設計法が望ましいことであることを述べたものである。

1. 塑性式による実験値の照査計算

鉄筋コンクリートバリと同様、平面保持の法則のもとに、プレストレストコンクリートバリの塑性破壊式についての研究結果が多く発表されており、これらの式中二、三のものは可成りに実験値に近い値を与えているものもあるが、著者は著者の提案式⁵⁾により既実験結果について計算して、よく一致することを報告している。

著者が本学報中に述べている実験結果のごとく、プレストレストコンクリートバリにおいても鉄筋コンクリートバリ¹⁾²⁾⁴⁾の場合と同様に、平面保持の法則が成立しないことが認められ、著者の提案式が立証できた。プレストレストコンクリートバリの塑性破壊の領域においては、プレストレスの影響は中立軸の上昇にともない極めて少ないということになる。本学報中に述べている実験結果にもとずき、第1回のプレテンションニングバリ供試体に対しては、著者の提案式を用いて計算し、第2回のプレテンションニング圧縮鉄筋合成バリに対しては、破壊曲げモーメント式を誘導して計算することにする。

(1) プレテンションニングバリ

著者の提案式；

コンクリートの応力関係より

$$M_u = p_p \gamma_y (1 - 0.545 p_p \gamma_y) b d^2 \sigma_{cy} \quad (1)$$

鉄筋の応力関係より

$$M_u = p_p (1 - 0.545 p_p \gamma_y) b d^2 \sigma_{pu} \quad (2)$$

ここに、

$$\gamma_y = \frac{\sigma_{pu}}{\sigma_{cy}}$$

σ_{pu} = PC 鋼線の破壊強度

σ_{cy} = コンクリートの圧縮破壊強度

以下は(2)式によって計算することにする。

第1供試体；～

供試体部材寸法は本学報中，プレテンションングバリの場合の図-1のものである。

荷重が塑性領域に入ると，上縁側の PC 鋼線の圧縮力は無視できる程度である。従って \bar{y} = ハリの有効高さ d とすると

$$d = \frac{0.330 \times 12 + 0.132 \times 10}{0.330 + 0.132} = 11.43 \text{ cm}$$

$$p_p = \frac{0.06602 \times 7}{12 \times 11.43} = 0.337\%$$

$$\gamma_y = \frac{\sigma_{pu}}{\sigma_{cy}} = \frac{20150}{450} = 44.8$$

$$p_p \gamma_y = 0.151$$

$$M_u = 12 \times 11.43^2 \times 20150 \times 0.0337 (1 - 0.545 \times 0.151) = 97600 \text{ kg cm}$$

$$P = \frac{2 \times 97600}{40} = 4.88 \text{ t} \sim 4.75 \text{ t (実験値)}$$

比 = 1.02

第2供試体；～

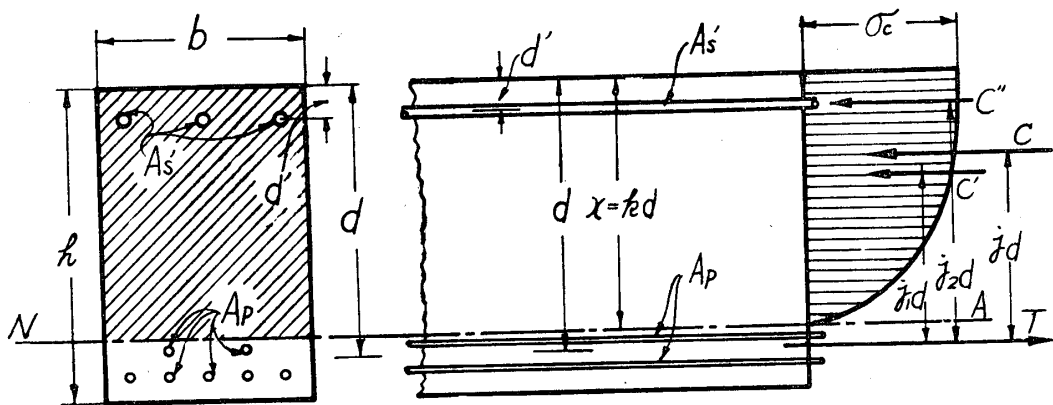
$$\sigma_{cy} = 318 \text{ kg/cm}^2, \gamma_y = \frac{20150}{318} = 63.4, p_p \gamma_y = 0.214$$

$$M_u = 94200 \text{ kg cm},$$

$$P = 4.71 \text{ t} \sim 4.55 \text{ t (実験値)}, \text{ 比} = 1.03$$

(2) プレテンションング圧縮鉄筋合成バリの力学的考察*

本学報中に述べているこの種のハリは，荷重時のひびわれ前後となるとその内部応力関係は，下図のごとくなる。



プレテン圧縮鉄筋合成バリの力学的応力関係

この場合の応力関係を考察するに当たり，次の記号を用いることにする。

A_p = 引張側の PC 鋼線断面積

σ_p = この場合の応力

* 昭和34年6月，土木学会年次大会にて講演のもの

A_s' = 圧縮鉄筋断面積

σ_s' = この場合の応力

$p_p = A_p/bd$ = 引張 PC 鋼線比

$p' = A_s'/bd$ = 圧縮鉄筋比

p_{p1} = コンクリートの圧縮と釣合う引張 PC 鋼線比

M_1 = この場合の抵抗モーメント

p_{p2} = 圧縮鉄筋の圧力と釣合う引張 PC 鋼線比

M_2 = この場合の抵抗モーメント

しかるときは

$$j_1d = C' \text{ と } A_p \text{ との間隔} = d - \nu x = (1 - \nu k)d, \quad x = kd,$$

$$\nu = n/(2n+1), \quad n = \text{応力曲線次数}$$

$$j_2d = C'' \text{ と } A_p \text{ との間隔} = d - d' = (1 - d'/d)d$$

$$jd = (C'j_1 + C''j_2)d / (C' + C'')$$

$$T_1 = \sigma_p p_{p1} bd$$

$$C' = \mu \sigma_c kbd, \quad \mu = n/(n+1)$$

$$T_2 = \sigma_p p_{p2} bd$$

$$C'' = \sigma_s' A_s'$$

$$T_1 + T_2 = C' + C''$$

$$M_1 = C' j_1 d = \mu \sigma_c kbd(1 - \nu k)d = \mu \sigma_c k(1 - \nu k)bd^2 \quad (a)$$

また,

$$M_1 = T_1 j_1 d = \sigma_p A_{p1}(1 - \nu k)d = \sigma_p p_{p2}(1 - \nu k)bd^2 \quad (b)$$

ここに, $A_{p1} = p_{p1}bd$

$$M_2 = C'' j_2 d = \sigma_s' A_s' \left(1 - \frac{d'}{d}\right)d = \sigma_s' p' \left(1 - \frac{d'}{d}\right)bd^2 \quad (c)$$

また,

$$M_2 = T_2 j_2 d = \sigma_p A_{p2} \left(1 - \frac{d'}{d}\right)d = \sigma_p p_{p2} \left(1 - \frac{d'}{d}\right)bd^2 \quad (d)$$

ここに, $A_{p2} = p_{p2}bd$

故に, (a), (c) 式より

$$M_c = \mu \sigma_c k(1 - \nu k)bd^2 + \sigma_s' p' \left(1 - \frac{d'}{d}\right)bd^2 \quad (3)$$

$$\frac{M_c}{bd^2} = \mu \sigma_c k(1 - \nu k) + \sigma_s' p' \left(1 - \frac{d'}{d}\right) \quad (3')$$

(b), (d) 式より

$$M_p = \sigma_p p_{p1}(1 - \nu k)bd^2 + \sigma_p p_{p2} \left(1 - \frac{d'}{d}\right)bd^2$$

しかるに,

$$p_{p1} + p_{p2} = p_p, \quad p_{p1} = p_p - p_{p2}$$

$$T_2 = C'', \quad \sigma_p p_{p2} bd = \sigma_s' p' bd$$

$$p_{p2} = \frac{\sigma_s'}{\sigma_p} p'$$

$$M_p = \left[\sigma_p p_p(1 - \nu k) - \sigma_s' p' \left\{ (1 - \nu k) - \left(1 - \frac{d'}{d}\right) \right\} \right] bd^2 \quad (4)$$

$$\frac{M_p}{bd^2} = \sigma_p p_p (1 - \nu k) - \sigma_s' p' \left\{ (1 - \nu k) - \left(1 - \frac{d'}{d} \right) \right\} \quad (4')$$

塑性破壊の場合には、荷重の増大に伴い、 A_p が降伏後の塑性領域に入り、 σ_c が破壊強度、 σ_s' が圧縮降伏点に達しなくても、暫時にして荷重はほぼ最大荷重に達し、PC 鋼線の伸びが撓み変化にみるごとく急増して、 σ_c は σ_{cy} に、曲げの大なるため σ_s' は σ_{sy}' に達するとき、一般に適切に設計されたプレストレストコンクリートバリにおいては、PC 鋼線は破断するものと考えられる。

故に、破壊の場合には、 σ_p は σ_{pu} に、 σ_c は σ_{cy} に、 σ_s' は σ_{sy}' になるものとして、(3)、(4)式に代入して破壊曲げモーメントの次式が得られる。

$$M_u = \left\{ \mu \sigma_{cy} k (1 - \nu k) + \sigma_{sy}' p' \left(1 - \frac{d'}{d} \right) \right\} b d^2 \quad (5)$$

あるいは

$$M_u = \left[\sigma_{pu} p_p (1 - \nu k) - \sigma_{sy}' p' \left\{ (1 - \nu k) - \left(1 - \frac{d'}{d} \right) \right\} \right] b d^2 \quad (6)$$

以上の一般応力時の(3)、(4)式および破壊時の(5)、(6)式の中立軸係数 k 値は、(3)、(4)式の関係より求められる。すなわち

$$\mu \sigma_c k (1 - \nu k) + \sigma_s' p' \left(1 - \frac{d'}{d} \right) = \sigma_p p_p (1 - \nu k) - \sigma_s' p' (1 - \nu k) + \sigma_s' p' \left(1 - \frac{d'}{d} \right)$$

$$k = \frac{\sigma_p p_p - \sigma_s' p'}{\mu \sigma_c} \quad (7)$$

また、破壊時には前述の応力考察の結果より

$$k = \frac{\sigma_{pu} p_p - \sigma_{sy}' p'}{\mu \sigma_{cy}} \quad (8)$$

以下実験結果について、(5)、(6)、(8)により照査計算することにする。

第1供試体；～

$$p_p = A_p / b d = 0.462 / 12 \times 11.43 = 0.34\%$$

$$p' = A_s' / b d = 1.91 / 12 \times 11.43 = 1.39\%$$

$$\sigma_{pu} = 20150 \text{ kg/cm}^2, \sigma_{sy}' = 2390 \text{ kg/cm}^2, \sigma_{cy} = 415 \text{ kg/cm}^2$$

$$k = \frac{20150 \times 0.0034 - 2390 \times 0.0139}{0.834 \times 415} = 0.102$$

$$M_u = \{ 0.834 \times 415 \times 0.102 (1 - 0.455 \times 0.102) + 2390 \times 0.0139 (1 - 2/11.43) \} \\ \times 12 \times 11.43^2 = 97300 \text{ kg cm}$$

$$P = 4870 \text{ kg} \sim 5150 \text{ kg (実験値)}$$

$$\text{比} = 0.95$$

第2供試体；～

$$p_p = 0.34\%, p' = 0.849 / 137 = 0.62\%$$

$$\sigma_{sy}' = 2830 \text{ kg/cm}^2, \sigma_{cy} = 364 \text{ kg/cm}^2$$

$$k = 0.168$$

$$M_u = \{ 0.834 \times 364 \times 0.168 (1 - 0.455 \times 0.168) + 2830 \times 0.0062 (1 - 2/11.43) \} \\ \times 12 \times 11.43^2 = 96100 \text{ kg cm}$$

$$P = 4810 \text{ kg} \sim 4850 \text{ kg (実験値)}$$

$$\text{比} = 0.99$$

プレテンションングバリもプレテン圧縮鉄筋合成バリも、以上照査計算のようによく一致することがわかった。

2. 極限強度設計式

プレテンションングバリのいままでの極限強度設計法は、経験上の仮定とか、施工上の制約を受けるのであるが、前項の(1), (2)式及び(5), (6)式に安全率を加味した破壊曲げモーメント式を用いれば、割合に簡単に設計できる。

(1) プレテンションングバリの場合

(1)式より

$$SM_u = p_p \gamma_y (1 - 0.545 p_p \gamma_y) b d^2 \sigma_{cy} \quad (9)$$

(2)式より

$$SM_u = p_p (1 - 0.545 p_p \gamma_y) b d^2 \sigma_{pu} \quad (10)$$

(2) プレテン圧縮鉄筋合成バリの場合

(5)式より

$$SM_u = \left\{ \mu \sigma_{cy} k (1 - \nu k) + \sigma_{sy} p' \left(1 - \frac{d'}{d} \right) \right\} b d^2 \quad (11)$$

(6)式より

$$SM_u = \left[\sigma_{pu} p_p (1 - \nu k) - \sigma_{sy} p' \left\{ (1 - \nu k) - \left(1 - \frac{d'}{d} \right) \right\} \right] b d^2 \quad (12)$$

(11), (12)式中の k は(8)式にて計算する。

以上の設計に当っては、一般に材料の強度、外力が与えられて断面寸法が要求されることが多い。

結 言

プレストレストコンクリートバリの極限強度設計法考察のため、プレテンションング及びプレテン圧縮鉄筋合成矩形バリについて吟味した。すなわち、実験結果はハリのヒズミ分布は平面保持が成立しないことがわかり、従って前者には塑性領域におけるプレストレス及び内応力を検討して、コンクリートの応力分布形を5次放物線とした著者の式を用い、後者は同様の応力分布形により、破壊曲げモーメント式を誘導して実験値を照査計算した結果、各実験とも極めてよく一致することがわかったので、これにもとづく極限強度設計式が簡易にて確実に目的にそいうる一方法であるといえる。

殊に、プレテン圧縮鉄筋合成バリは経済的にして、施工容易、力学的安全性大である。

参 考 文 献

- 1) 著者, 土木学会論文集, 第19号, 1954
- 2) 著者, 土木学会論文集, 第29号, 1955
- 3) Report of ASCE-ACI Joint Committee on Ultimate Strength Design, Proc. ASCE, 1955.
- 4) 著者, 材料試験, 第6巻, 第4号, 1957
- 5) 著者, セメント技術年報, 1957
- 6) 猪股俊司, PS コンクリートの設計及び施工, 1957