

# 転荷応力について

中 島 儀 八

## 1. ま え が き

プレストレスト コンクリート桁を設計する場合、断面寸法を桁自重以外のモーメントだけを考慮して決定し、自重を考慮してPC筋の配置を算出した結果、必要なPC筋のすべてが、所定のかぶりをとって配置できない場合がある。

このような事例は、桁高を低く設計し、かつ桁自重による曲げモーメントが桁自重以外のモーメントと比較して大きいときにおこる。換言すれば、桁自重以外の設計荷重がスパン長にくらべて特に小さい場合（屋根荷重を支えるハリ等）、あるいは荷重が相当大きいときには、ハリを長大スパンに設計する場合（スパン約 35 m 以上の橋梁等）に起りうる。従来の設計法では、このような場合には断面を大きくして、PC筋が断面内におさまるように設計を変更した。しかしながら、断面を大きくすることは、桁自重を増大するのみならず、プレストレスも増加することとなり、経済設計の面からは不利である。

また、桁自重以外の荷重には、建築の場合には、一般に小バリ、スラブ、壁、そのほか仕上荷重等の持続荷重がふくまれる場合が多く、橋梁の場合にも、桁間コンクリート、地覆、舗装、高欄、その他の付加荷重等の持続荷重が載荷される場合が多い。しかして、これらの持続荷重の中には、将来補修その他のため、取りのぞかれる可能性のある荷重もあるし、構造物が破壊するまで、永久に取除かれることが考えられない永久荷重もある。この永久荷重によって、桁の応力は変化しないから、永久荷重を桁断面の決定に影響させない設計法があるはずである。すなわち、桁自重以外のモーメントから、永久荷重によるモーメントをさし引いたモーメントだけを考慮して、断面を決定することができるはずである。

表題の転荷応力は、

a) 従来の設計法で、PC筋が断面内におさまらない場合、断面を変更することなしに、PC筋を断面内におさめること。

b) 桁自重および永久荷重以外のモーメントによって断面を決定すること。  
を目的とした設計施工法である。

## 2. 転荷応力の概念

転荷応力とは、桁に永久荷重および自重と逆向きの偶力プレストレスを与えて、永久荷重または自重の一部を打消す工法である。説明を簡単にするため、収縮、クリープ導入時の摩擦等による諸損失は考えないこととし、まず偶力プレストレスの与え方について記述する。図-1 に示す任意の桁において、上側を圧縮側、下側を引張側とし、 $\overline{AB}$  を桁の重心線とする。圧縮側においては  $\widehat{CDE}$  に沿って引張力  $P$  を作用させ、引張側においては  $\widehat{CFE}$  に沿って圧縮力  $P$  を作用させる（このような力の与え方については後述する）。また任意の断面 X-X における  $\widehat{CDE}$  と  $\widehat{CFE}$  の縦距を  $e$  とすれば、任意の断面 X-X においては、 $P \times e$  なる偶力プレストレスが作用する。この場合、圧縮側に作用する引張力と、引張側に作用する圧縮力とは、互いに打消しあって、桁には軸方向力は作用しない。厳密な意味では軸方向力は 0 とはならないが、ここでは無視する。ここに作用させる圧縮力  $P$  は、従来のプレストレスト コンクリート工法で与えられ、引張力  $P$  を与える具体的な方法としては、次のような手段が考えられる。

すなわち、図-2 に示すような細長い棒状体に、従来のポストテンション工法によって、プレストレスを与え、グラウトその他の方法による付着を行なわないまま

図-1

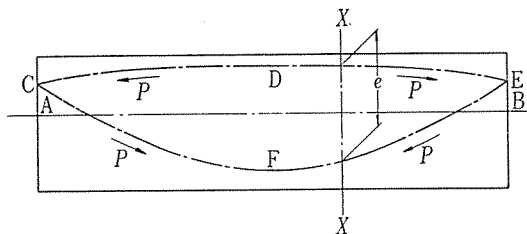
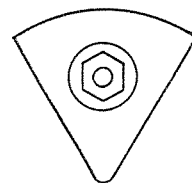
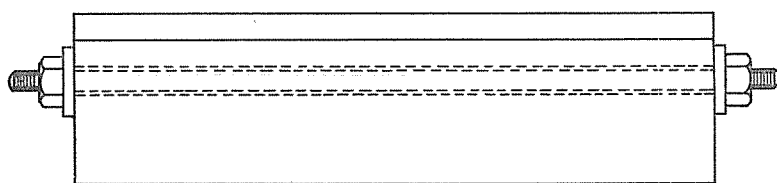


図-2



で、図-1の  $\widehat{CDE}$  の位置に取りつけて構造物を形成したのち、先に導入しておいた棒状体内のプレストレスを開放すれば、棒状体と本体との間のボンドにより圧縮側に引張力を与える結果となる。このように、あとでプレストレスを開放する目的でプレストレスされた構造体を引張体、引張体を内蔵した構造物を（引張体の応力が転荷されてできた構造物という意味で）転荷構造物、このような偶力プレストレス発生方法を、転荷応力法（Trans Tension 法）と呼ぶこととする。

次に転荷応力をプレストレス コンクリートに応用した場合について考えてみよう。プレストレス コンクリート桁の上下縁における、コンクリートの許容応力度の最大値および最小値が定められ、桁の断面が桁自重以外の設計モーメントだけを考慮して決定されたものとする。またプレストレス導入時および載荷時において、桁の上縁または下縁のいずれか、または双方の応力度が、コンクリート許容応力度の最大値および最小値に、それぞれ等しくなるように、断面が定められているものとする。

許容応力が与えられ、断面が決定すれば、桁の上縁、下縁の応力度が許容値を超過しないための、プレストレス力の作用線の部材重心軸からの極限位置  $C_1C_2$  が算出され（ $C_1$  は重心より下側に正、 $C_2$  は重心より上側に正とする）、必要なプレストレス力  $P$  の値もまた次式から求められる。

$$P = \frac{\max M_L - \min M_L}{C_1 + C_2} \dots\dots\dots (1)$$

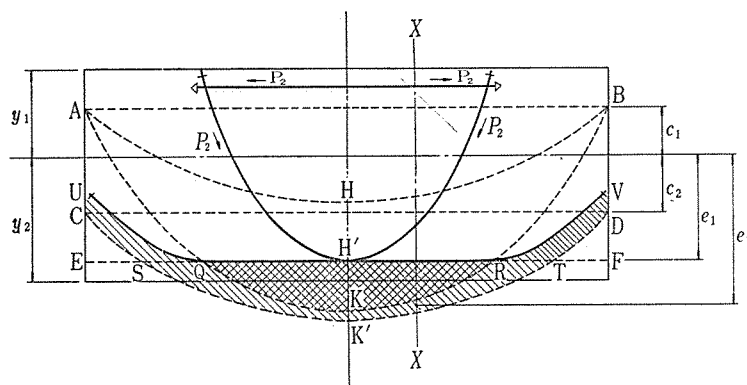
$\max M_L$  : 活荷重モーメントの最大値

$\min M_L$  : 活荷重モーメントの最小値

なお、活荷重には将来補修などのため取りのぞく可能性のある持続荷重をふくむものとする。また  $P$  の値はプレストレス導入時および載荷時において、桁の上縁または下縁双方の応力度が、コンクリートの許容応力度の最大値および最小値に、それぞれ等しくなったとき以外は、ある範囲内で任意に定めうる値であるが、転荷応力の説明とはあまり関係がないので、詳細な説明はぶき一応 (1) 式で決定されるものとしておく。桁は全長を通じ等断面であるとすれば、 $C_1C_2$  の値は桁全長を通じ一定の値をとる。

図-3 に示す等断面桁において、 $\overline{AB}$ ,  $\overline{CD}$  は重心線からそれぞれ  $C_1, C_2$  の距離にあるものとすれば、 $ABDC$  のかこむ範囲は、 $M_{D_1}$ ;  $M_{D_2}$ ,  $M_L$  を考慮しないときのプレストレスの作用線が取りうる位置の範囲を示す。ここに  $M_{D_1}$  は桁自重によるモーメント、 $M_{D_2}$  は構造物

図-3



が破壊するまで、取りのぞくことが考えられない桁自重以外の持続荷重（以下永久荷重と呼ぶ）とする。

図は説明を簡明にするため、単純支承桁とし、 $\min M_L = 0$  として書いてある。AB 線から下側に  $\frac{\max M_L}{P}$  に等しく  $\widehat{AHB}$  を画く。 $M_L$  の最大値、最小値に対しコンクリートの上下縁の応力度がそれぞれの許容値に一致しているならば H は CD 線に一致するが、そうでない一般の場合には H は CD の上側に来る。しかして  $\widehat{AHB}$  と  $\overline{CD}$  の間にかこまれた範囲が、 $M_L$  だけを考えたときのプレストレス力の作用線が取りうる位置の範囲を示す。 $\widehat{AHB}$  および  $\overline{CD}$  からさらに  $M_{D_1}/P$  を下側に測り、 $\widehat{AKB}$ ,  $\widehat{CK'D}$  を画けば、 $\widehat{AKB}$  と  $\widehat{CK'D}$  の間にかこまれた範囲が、 $M_L$  と  $M_{D_1}$  を考えたときのプレストレス力の作用線が取りうる範囲を示す。

永久荷重によるモーメント  $M_{D_2}$  はしばらく考えないこととし、ここで PC 筋の配置を考えて見る。所定のかぶりを取って PC 筋を配置しうる極限を EF とすれば、プレストレス コンクリートの場合には、PC 筋は EF 線より上になければならない。かつ、PC 筋は  $\widehat{AKB}$  と  $\widehat{CK'D}$  との間になければならないから、図のように  $\widehat{AKB}$  線の一部が EF 線より下側に来る場合には配置不能になる。

転荷応力の場合には、このような場合、PC 筋を例えば次のように配置する。図において  $\overline{EF}$  と  $\widehat{AKB}$ ,  $\widehat{CK'D}$  との交点をそれぞれ Q, R; S, T とする。QR 間では EF 線に沿って配置し、その外側では Q, R を通ってそれぞれ AQSC, BRTD の範囲内にあるように配置する。Q 点 R 点の外側では、PC 線は  $\widehat{AKB}$  と  $\widehat{CK'D}$  の間にあるので問題はないが、Q 点 R 点の間ではプレストレス力  $P$  の偏心距離の所要値 ( $\widehat{AKB}$  と  $\widehat{CK'D}$  がかこむ範囲) から PC 筋が断面内におさまる限界値 EF まで故意に PC 筋を移動させたことになる。QR 間の任意の断面 X-X において、EF の偏心距離を  $e_1$ ,  $\widehat{AKB}$  と  $\widehat{CK'D}$  との間の任意点の偏心距離を  $e$  とすれば（いずれも重心軸

から下に正), プレストレス モーメントは所要値  $Pe$  から  $Pe_1$  まで減少する。従って PC 筋を移動させた後では明らかに

$$P(e-e_1) \dots\dots\dots(2)$$

だけプレストレス モーメントが不足している。すなわちこの不足分だけを偶力  $P_2$  によって補えば, コンクリートの上下縁の応力度が許容値を超過することはない。偶力  $P_2$  のアームは大きくすればするほど,  $P_2$  の値が小さくてすみ経済的である。  $P_2$  の配置可能な限界を引張側において  $e_1$ , 圧縮側において  $e_2$  (重心軸から上側にはかるので負とする) とし,  $P_2$  の大きさを小ならしめるため, 配置可能な限界に配置すると, 偶力プレストレスモーメントは

$$+P_2(e_1+e_2) \dots\dots\dots(3)$$

ここに  $P_2$  および  $e_2$  は正数とする。

偶力  $P_2$  の大きさは (2) 式および (3) 式から

$$+P_2 = \frac{P(e-e_1)}{e_1+e_2} \dots\dots\dots(4)$$

となる。

図-3 において, 補足しなければならぬプレストレスモーメントの最小値および最大値は, 任意の断面において, それぞれ右上り斜線を施した部分の縦距にプレストレス力  $P$  を乗じた値, および右下り斜線を施した部分の縦距にプレストレス力  $P$  を乗じた値となる。

上述のように  $+P_2(e_1+e_2)$  の偶力を働かせると, 断面に作用するプレストレス力は

$$\begin{aligned} e_1 \text{ の偏心で働く圧縮力} & P-P_2 \\ e_2 \text{ の偏心で働く引張力} & P_2 \end{aligned}$$

となる。いま

$$P-P_2=P_1$$

とおけば, 断面に作用するプレストレス力は  $P_1$  と  $P_2$  となり, 全プレストレス力は

$$P_1+P_2=P-P_2+P_2=P$$

となり, プレストレス力の大きさを変えることなしに, プレストレス モーメントだけを, 大きくすることができる。

この関係を断面の上下縁応力計算式で表わしてみる。すなわち, プレストレス力  $P_1$  および  $P_2$  だけによるコンクリートの上下縁応力を  $\sigma_{po}, \sigma_{pu}$  とすれば

上縁応力

$$\begin{aligned} \sigma_{po} &= \frac{P_1}{A} - \frac{P_1 e_1}{Z_1} - \frac{P_2}{A} - \frac{P_2 e_2}{Z_1} \\ &= \frac{P_1-P_2}{A} - \frac{(P_1-P_2)e_1}{Z_1} - \frac{P_2(e_2+e_1)}{Z_1} \dots\dots\dots(5.1) \end{aligned}$$

下縁応力

$$\sigma_{pu} = \frac{P_1}{A} + \frac{P_1 e_1}{Z_2} - \frac{P_2}{A} + \frac{P_2 e_2}{Z_2}$$

$$= \frac{P_1-P_2}{A} + \frac{(P_1-P_2)e_1}{Z_2} + \frac{P_2(e_2+e_1)}{Z_2} \dots\dots\dots(5.2)$$

となる。(5.1) 式および (5.2) 式の右辺第一項および第二項は全プレストレス力  $P_1-P_2=P$  が  $e_1$  に作用したときのプレストレスによる線応力, 第三項は偶力プレストレス モーメントを示す。ここに

$A$ : コンクリート断面積

$Z_1, Z_2$ : コンクリート上下縁に対するコンクリートの断面係数

である。

次に永久荷重が作用する場合について考える。一般に PC 桁が架設され, これにコンクリート スラブ等が現場打ちされて構造物が作られ, その後に活荷重が載荷される。換言すれば永久荷重が負荷される頃に, 活荷重が載荷されることはほとんどない。さて 図-3 について説明したとおりに, PC 筋と偶力プレストレス筋が配置されると,  $M_{d1}$  と  $M_l$  の最大値, 最小値の間の任意の荷重が作用した場合, コンクリート縁応力は許容値を超過することはない。従って, 活荷重が載荷される以前には,  $M_l$  の最大値より小さい荷重が作用しても, コンクリートの縁応力は許容値を超過しない。永久荷重は  $M_l$  が作用するより以前に載荷されるので, 永久荷重によるモーメントが  $M_l$  より小ならば, 永久荷重の作用により縁応力が許容値を超過することはない。ただし, 活荷重が桁とスラブなどの合成断面でうけられるように設計されている場合には, 別に桁の載荷能力を計算し, その計算値より永久荷重が小ならば, 縁応力は許容値を超過しない。従って, 永久荷重を載荷したあとで, 先に導入した偶力プレストレス モーメント

$$+P_2(e_1+e_2)$$

とは別に, 永久荷重  $M_{D2}$  と大きさ等しく, かつ逆向きの偶力プレストレスを与えると, プレストレス力の作用線の位置は, 永久荷重が作用する以前と全然変わらない。しかしながら永久荷重  $M_{D2}$  が  $\max M_l$  (場合によっては桁の載荷能力) より大きい場合には, 永久荷重  $M_{D2}$  を数回に分けて作用させ, その一回ごとに作用させた永久荷重と大きさ等しく, かつ, 逆向きの偶力プレストレスをその度ごとに作用させると, プレストレス力の作用線は, 永久荷重作用前と変りはない。これをくり返すことにより,  $\max M_l$  (場合によっては桁の載荷能力) より大きい永久荷重モーメントも, PC 筋と引張体とが断面内におさまる範囲内ならば打消することができる。いま

$M_{D2}$ : 永久荷重によるモーメント

$P_2'$ :  $M_{D2}$  を打消すための偶力 (負とする)

$e_1'$ : 圧縮力アームの長さ (重心線より下側に測る)

$e_2'$ : 引張力アームの長さ (重心線より測り, 下側を

正とする)  
とすれば、

$$M_{D2} = -P_2'(e_1' - e_2')$$

引張体およびPC筋がすでに断面内に相当に配置されているので、 $e_1', e_2'$  の絶対値は大きくとすることはむずかしいが、PC筋および引張体が配置されていない範囲で、絶対値がなるべく大きくなるように定めると、 $P_2'$  の値が小さくなり、経済的となる。 $e_1', e_2'$  の値が決定されると、(6) 式から  $P_2'$  の値が定められる。

このように転荷応力によれば、永久荷重によるモーメントの作用を打消することができる。ただし、引張体の弾性変形の影響があると思われるが、ここでは原理的なことを述べているので考えないことにする。

### 3. 転荷応力による構造物の計算例

転荷応力をプレストレスト コンクリートと併用した場合とプレストレスト コンクリートのみの場合とを、下記二例について比較計算してみる。ただし、いずれの場合においても、プレストレス力の損失を無視し、有効緊張力が最初から働らくものとする。第一例は自重が大きく、PC筋が断面内におさまらない場合であり、第二例は永久荷重が存する場合である。

#### 3.1 第一例

支間 24 m、活荷重 300 kg/m を載荷される巾 30 cm の矩形断面のコンクリート単純支承桁につき、その中央断面を計算する。ただし、コンクリートの許容圧縮応力  $R_1 = 120 \text{ kg/cm}^2$ 、許容引張応力  $R_2 = 0$  とする。

##### 3.1.1 転荷応力併用の場合

活荷重モーメント  $M_L = 2\,160\,000 \text{ kg}\cdot\text{cm}$

必要な断面係数  $Z = \frac{M_L}{R_1 - R_2} = 18\,000 \text{ cm}^3$

桁巾  $B = 30 \text{ cm}$ 、桁高を  $H \text{ cm}$  とすると  $\frac{BH^2}{6} = 18\,000$

から、

桁高  $H = 60 \text{ cm}$

断面積  $A = B \cdot H = 1\,800 \text{ cm}^2$

プレストレス力  $P = \sigma_p \cdot A = 108\,000 \text{ kg}$

ケーブル1本当りの有効緊張力を 23 t とすれば、

ケーブルの本数  $n = 5 \text{ 本}$

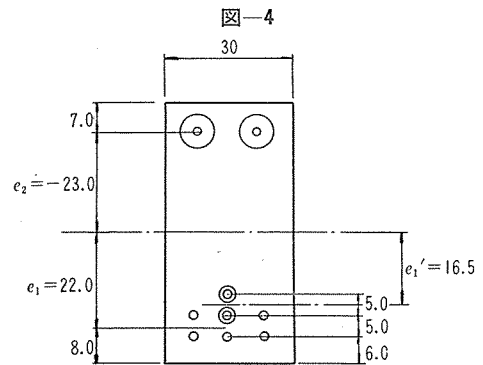
必要な偏心量  $e = \frac{Z}{A} + \frac{M_{D1}}{P} = 38.8 \text{ cm}$

自重モーメント  $M_{D1} = 3\,110\,400 \text{ kg}$

いま 図-4 のように、転荷応力を除いたプレストレスの偏心を最大限にとって  $e_1 = 22.0 \text{ cm}$  とすれば、転荷応力により与えなければならないモーメントは

$$M = 108\,000 \times (38.8 - 22.0) = 1\,814\,400 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

転荷応力として与えられる圧縮力および引張力の偏心



を、図-4 のようにそれぞれ  $e_1' = 16.5 \text{ cm}$ ;  $e_2 = -23$  に定めると、

$$P_2 = -\frac{1\,814\,400}{16.5 + 23.0} = -45\,930 \text{ kg}$$

図-4 において、

転荷応力用として与えられる圧縮力、および引張力は二重丸をつけて表わしてある。

3.1.2 プレストレスだけの場合 桁高を  $H$  とし、PC筋の配置を図-5 のように仮定すると、PC

筋の偏心量  $e = \frac{H}{2} - 11$  となる。

$$M_L = 2\,160\,000 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

$$M_D = 51\,840 H \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

$$A = 30 H \text{ cm}^2$$

$$Z = 5 H^2 \text{ cm}^3$$

$$e = \frac{H}{2} - 11 \text{ cm}$$

上下対称断面であるので

$$P_e = M_D + \frac{M_L}{2}$$

$$P = \frac{2 M_D + M_L}{2 e} = \frac{103\,680 H + 2\,160\,000}{H - 22} \dots (6)$$

無載荷時の下縁応力度が許容応力度を超過しないためには

$$\frac{P}{A} + \frac{P_e - M_D}{Z} < 120$$

従って

$$\frac{103\,680 H + 2\,160\,000}{(H - 22) \cdot 30 H} + \frac{1\,080\,000}{5 H^2} < 120$$

これを整理して

$$60 H^3 - 3\,048 H^2 - 144\,000 H + 2\,376\,000 > 0 \dots (7)$$

が得られる。これを解けば  $H > 75.615 \text{ cm}$

$$P \doteq 186\,510 \text{ kg}$$

となる。

### 3.2 第二例

支間 16 m のハリが、3 m の間隔に単純支承され、ハリの天端は 15 cm 厚さのスラブで連絡されている。スラブにかかる荷重は積載荷重および仕上荷重などをふくみ、活荷重計 500 kg/m<sup>2</sup> とする。この場合、ハリの中央断面につき計算する。ハリは 80 cm のハリ背（ハリの下端からスラブ天端まで）とし、腹部の厚さは一様とし、桁架設後スラブは現場打ちされるものとする。またスラブの有効巾はプレストレスに対しても、外力に対しても 180 cm とする。

#### 3.2.1 転荷応力併用の場合

活荷重モーメント  $M_L = 4\,800\,000$  kg-cm

$$\text{必要な断面係数 } Z = \frac{M_L}{R_1 - R_2} = 40\,000 \text{ cm}^3$$

活荷重モーメントは合成断面でうけられるので、合成断面（右下り斜線部分）の下縁に関する断面係数  $Z$  が 40 000 cm<sup>3</sup> になるように、腹部の巾  $B$  を定ると、断面の諸数値は

$$B = 25.7 \text{ cm}$$

$$A = 4\,370.5 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = 22.79 \text{ cm} \quad y_2 = 57.21 \text{ cm}$$

$$I = 2\,290\,000 \text{ cm}^4$$

$$Z_1 = 100\,500 \text{ cm}^3$$

$$Z_2 = 40\,000 \text{ cm}^3$$

スラブが打設される以前のハリの断面は 図-6 において、右上り斜線をほどこした断面とする。この断面の諸数値を求めると

$$A' = 3\,170.5 \text{ cm}^2$$

$$y_1' = 28.58 \text{ cm} \quad y_2' = 51.42 \text{ cm}$$

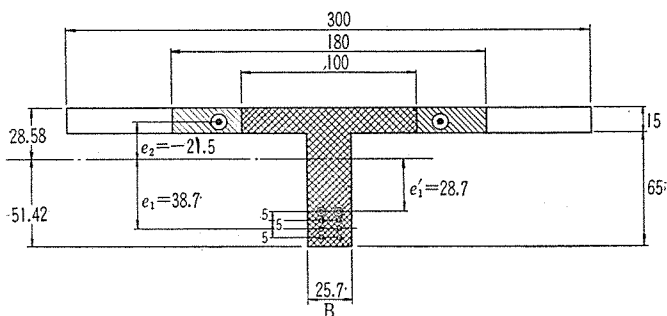
$$I' = 1\,884\,000 \text{ cm}^4$$

$$Z_1' = 65\,920 \text{ cm}^3$$

$$Z_2' = 36\,640 \text{ cm}^3$$

いま桁自重は P C 筋の偏心により、桁自重にふくまれない部分（巾 2 m の部分）のスラブの重量は転荷応力により、それぞれのモーメントを打消すように P C 筋の量および偏心を定める。

図-6



桁自重によるモーメント  $M_{D1} = 2\,434\,944$  kg-cm

上記をふくまないスラブのモーメント

$$M_{D2} = 2\,304\,000 \text{ kg-cm}$$

$$P = \sigma_g \cdot A' = 135\,920 \text{ kg}$$

ケーブルの本数  $n = 6$

$$e_1 = \frac{Z_1'}{A'} + \frac{M_{D1}}{P} = 38.7 \text{ cm}$$

桁の載荷能力  $M_C$  は

$$M_C = (R_1 - R_2) \cdot Z_2' = 4\,396\,800 \text{ kg-cm}$$

$M_C$  の値は  $M_{D2}$  より大きいから、転荷応力は一回に作用させてよい。転荷応力用として与える圧縮力および引張力の作用線の偏心をそれぞれ  $e_1'$ ;  $e_2$  とすれば偶力  $P_2$  は

$$P_2 = \frac{M_{D2}}{e_1' - e_2} = 45\,896 \text{ kg}$$

$e_1$ ;  $e_2$  の値は 図-6 に示す。

#### 3.2.2 プレストレスだけの場合

活荷重モーメント  $M_L = 4\,800\,000$  kg-cm

桁自重以外のスラブの重量によるモーメント

$$M_{D2} = 1\,382\,400 \text{ kg-cm}$$

ここに 図-7 において斜線をほどこした部分はプレキャストされるものとする。

桁自重以外のモーメント合計

$$\Sigma M_L = 6\,182\,400 \text{ kg-cm}$$

$$\text{必要な断面係数 } Z_2 = \frac{\Sigma M_L}{R_1 - R_2} = 51\,520 \text{ cm}^3$$

斜線に示す断面の下縁に関する断面係数が 51 520 cm<sup>3</sup> になるように  $B$  を定めると、断面の諸数値およびプレストレスの値は

$$B = 34.5 \text{ cm}$$

$$A = 4\,942.5 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = 25.65 \text{ cm} \quad y_2 = 54.35 \text{ cm}$$

$$I = 2\,800\,000 \text{ cm}^4$$

$$Z_1 = 109\,200 \text{ cm}^3$$

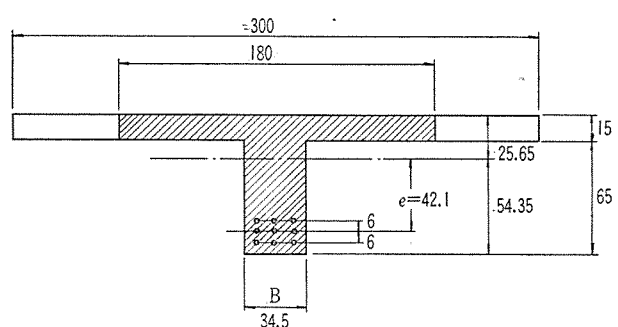
$$Z_2 = 51\,520 \text{ cm}^3$$

$$P = \sigma_g \cdot A = 190\,160 \text{ kg}$$

ケーブルの本数  $n = 9$

$$\text{桁自重モーメント } M_{D1} = 3\,795\,840 \text{ kg-cm}$$

図-7



$$e = \frac{Z_1}{A} + \frac{M_{D1}}{P} = 42.1 \text{ cm}$$

### 3.3 計算値の比較

転荷応力を併用した場合と、プレストレスだけの場合とについて、以上の計算結果を比較して見る。

第一例の場合

プレストレスだけの場合    転荷応力併用の場合

桁 高	75.615 cm	60.0 cm
圧縮力	186 510 kg	153 930 kg
引張力	0	-45 930 kg

第二例の場合

桁 巾	34.5 cm	25.7 cm
圧縮力	190 160 kg	181 816 kg
引張力	0	-45 896 kg

以上のよう、自重が大きい場合および永久荷重が作用する場合には、転荷応力を併用する方が有利である。

## 4. 転荷構造物における二、三の問題

転荷構造物には引張力を与えるための引張体が使用され、この引張体には検討を要する二、三の問題がある。以下、前節の第一例を再び引用しながら、これらの問題について検討を加える。

### 4.1 引張体の応力度

まず前節の第一例の転荷構造物について、応力状態を考えて見よう。

a) プレストレスだけが作用したと仮想したとき

$$\sigma_{p1} = \frac{P}{A} = \frac{P \cdot e_1}{Z} = -72$$

$$\sigma_{p2} = \frac{P}{A} + \frac{P \cdot e_1}{Z} = 192$$

b) プレストレス+自重モーメント作用時

$$\sigma_{d1} = -72 + \frac{M_{D1}}{Z} = 100.8$$

$$\sigma_{d2} = 192 - \frac{M_{D1}}{Z} = 19.2$$

c) 上記のほか転荷応力作用時—(No Load 時)

$$\sigma_{t1} = 100.8 + \frac{P_2 \cdot (e_2 - e_1')}{Z} = 0$$

$$\sigma_{t2} = 19.2 - \frac{P_2 \cdot (e_2 - e_1')}{Z} = 120$$

d) 上記のほか活荷重作用時—(Full Load 時)

$$\sigma_{l1} = 0 + \frac{M_L}{Z} = 120$$

$$\sigma_{l2} = 120 + \frac{M_L}{Z} = 0$$

すなわち、この例における転荷構造物の応力は 0~120 kg/cm<sup>2</sup> の間に変動する。しかしながら、引張体には製造時すでに相当の応力が導入されている。いま引張体 2

個を用いれば、引張体 1 本あたり  $P_2 = +\frac{45\,930}{2}$  のプレストレスが導入されている。引張体を円形断面とし、その外径を 14 cm、シースの径を 3 cm とすれば、引張体の応力度  $\sigma_z$  は

$$\sigma_z = \frac{45\,930/2}{\frac{\pi}{4}(14^2 - 3^2)} = 156.4 \text{ kg/cm}^2$$

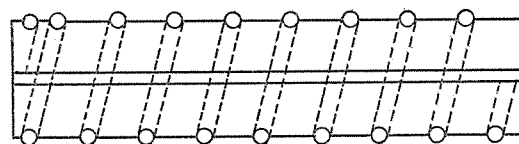
となる。この程度の応力は、引張体を構成するコンクリートの 28 日圧縮強度を 550 kg/cm<sup>2</sup> くらいにすればよいので、それほど困難ではない。もし  $\sigma_z$  がさらに大きな値であっても、図-8 のように、例えばラセン状の鋼筋により補強するなどにより  $\sigma_z$  の値はなお相当高い値もとることができる。

引張体が転荷構造物に埋込まれたあとでは、引張体の応力は、埋込前の応力に、転荷構造物としての応力が加算される。この例において、転荷構造物完成後における引張体の応力は

$$\sigma_z = 156.4 + 120 \times \left( \frac{7}{60} \sim \frac{53}{60} \right) = 160.4 \sim 262.4 \text{ kg/cm}^2$$

となる。

図-8



このように転荷構造物内の引張体は高い圧縮力にさらされる。しかしながら、引張体の周囲はコンクリートに包囲されており、高い圧縮力を受けて引張体だけが破壊するとは思われない。すなわち、ほかのコンクリートに包囲されたコンクリートはどの程度高い圧縮力に耐えるか試験により確認する必要がある。

### 4.2 引張力の伝達長

プレテンション構造物においては、桁の端部は P C 筋とコンクリートとの付着力不足のため、所期のプレストレスを導入し得ない。これと類似の現象が転荷構造物の場合にも起るものと考えられる。

しかし引張体の場合は、プレテンション構造物における P C 筋の場合と異なり、引張体に付着力を増加せしめるための種々の加工を施すことが容易である。例えば、図-9 のように引張体の端部に凹凸をつけるとか、または図-10 のように引張体の端部に鋼筋を埋込んでおく

図-9

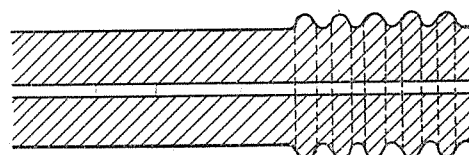
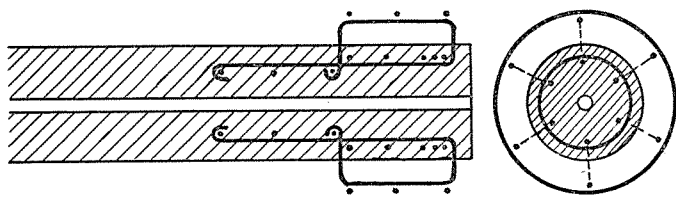


図-10



などのことにより付着力を増大することができる。これらの方法により伝達長をどれほど短縮しうるか試験により確認しておきたい。

### 4.3 引張体のクリープ

引張体の応力は埋込後は、埋込前の応力に転荷構造物としての応力が加算される。転荷応力とプレストレスを併用する場合は加算される応力は一般に圧縮力である。前述の例の場合は、埋込前の引張体の応力  $\sigma_z = 156.4 \text{ kg/cm}^2$  から、埋込後には  $160.4 \sim 262.4 \text{ kg/cm}^2$  に増加する。引張体は構造物へ埋込む相当前に作られるものとすれば、埋込時には引張体の製造時からの応力  $156.4 \text{ kg/cm}^2$  に対するクリープは相当進行している。従って  $156.4 \text{ kg/cm}^2$  に対する埋込後のクリープ量ははなはだ小さい。構造物に引張体を埋込んだあとで増加する応力 ( $4 \sim 106 \text{ kg/cm}^2$ ) は、同時に構造物の中の引張体の重心部に同様の応力が起こる。しかし、コンクリートの材令は構造物の方が引張体より相当若いので、引張体埋込後に増加する応力 ( $4 \sim 106 \text{ kg/cm}^2$ ) に対しては、クリープ量ならびに乾燥収縮量は構造物の方が引張体よりはるかに大きい。

従って、引張体埋込後に増加する応力 ( $4 \sim 106 \text{ kg/cm}^2$ ) に対する構造物と引張体との間の、クリープ量および乾燥収縮量の差が、引張体における製造時からの応力 ( $156.4 \text{ kg/cm}^2$ ) に対する埋込後に起こるクリープ量と乾燥収縮量より大ならば、引張体は構造物より圧縮力を、もし小ならば引張力を時間の経過につれてうけるようになる。従って、引張体の引張力はクリープの結果増大するか減小するか判然としないので、引張体の圧縮応力の時間に対する変化状態を試験により確認する必要がある。

以上引張体を使用するに当って起こる疑問点について述べたのであるが、これらについては現在試験を続行中であるので、まとめ次第改めて発表することとする。

## 5. あとがき

プレストレス コンクリートにおいては、P C筋を断面内におさめる必要から、P C筋の偏心量に限度がある。従って、自重モーメントが大きいとき、活荷重だけ

を考えて桁断面を決定した場合、P C筋を最下縁に配置しても、自重モーメントを完全に打消し得ないことがある。しかしながら転荷応力を利用すれば、P C筋の偏心だけで打消し得なかった残りの自重モーメントを、偶力プレストレスによって打消すことができる。また転荷応力によれば、取りかえ、補修などを行なうことが考えられず、構造物を取りこわすまで継続して作用すると考えられる自重以外の荷重をも、偶力プレストレスによって打消すことができる。このように転荷応力は、プレストレスがなし得ない幾多の利点を備えている。従って、転荷応力を臨機に適宜応用すれば、経済面からも有利に、利用面からも要求にマッチした構造物が得られる。いま、転荷応力を利用して有利な場合を列挙して見よう。

### (1) 桁高の低いことが要求される時

スラブは桁高が最も低い桁と考えることができる。しかしながらスラブを単純支承桁としプレストレス コンクリートとして設計すると、径間が  $13 \text{ m}$  以上くらいになれば、一般にP C筋が断面内におさまらなくなる。従って、 $13 \text{ m}$  以上くらいの径間で桁高を最も低くできるのは、転荷応力スラブである。

### (2) 長大径間のハリが要求される時

普通一般に行なわれているように、桁高をスパンの  $1/20$  程度にとると、橋梁の場合、スパン  $35 \text{ m}$  以上くらいの単純桁で、P C筋の偏心だけでは自重モーメントを完全に打消し得なくなる。従って桁高を特に高くしないかぎり、 $35 \text{ m}$  以上くらいになると転荷応力を併用した方がよい。

### (3) 軽荷重を支えるハリが要求される時

屋根を支えるハリのように、軽荷重を支える場合は、一般に桁の自重モーメントが、自重以外のモーメントより大きくなりがちであり、転荷応力を併用した方がよい。

### (4) 永久荷重が作用するとき

合成桁のスラブなどは永久荷重と考えられる。このような場合、転荷応力を利用してスラブの重量によるモーメントを打消せば、非常に経済的となる。なおこの方法は鋼構造鉄筋コンクリート構造にも利用できる。

以上転荷応力の概念と応用面について、筆者の構想を述べた。転荷応力には先にも述べたように二、三研究すべき点も残されているが、大方の御批判を仰ぎ、実用に供される日の早からんことを願うものである。

(筆者：別子建設KK取締役設計部長)