

プレキャスト円環柱の埋込長に関する実験的研究

東都大学教授 工博 岡 田 清
道路公団 山 根 巖
京都大学大学院学生 小 野 絃 一

1. まえがき

近年道路建設においても工事量の増大と労働事情の悪化にともない、工事の合理化やスピード化が要望されている。このような事情から高架橋においても上下部構造をなるべくプレファブ化するのが望ましい。これによって得られる利点としては次のようなことが考えられる。

- (1) 上下部工を同時に着工できるため工期が短縮される。
- (2) プレファブ化により現場施工が少なくなり、構造物の品質が向上する。
- (3) 労働力が少なくすむ。

しかしながら、プレファブ化によって新しい問題が生じてくる場合もある。下部工については、橋脚フーチングは現場打コンクリート、円柱として、たとえばプレキャスト円環柱を用いた構造では、フーチングとプレキャスト円環柱との結合構造をいかにするかという点である。橋脚の場合には、この部分に、特に地震時に大きな曲げが生ずるため、この円環柱をどの程度埋込む必要があるかについて検討する必要がある。本研究はプレキャスト円環柱の埋込長について実験および理論的に検討した結果について述べたものである。

2. 供試体および実験方法

長さ6 m、外径100 cm、内径68 cm、肉厚16 cmのプレキャスト円環柱(日本コンクリートK、K製品)を図-1に示すように、土中につくった9 m×3 m×1.5 mのコンクリートフーチング中に、それぞれ埋込長 $a = \frac{D}{2} = 50\text{ cm}$ 、 $3D = 75\text{ cm}$ 、 $D = 100\text{ cm}$ の深さに埋込んだ。埋込長 $a = 50\text{ cm}$ の円環柱については $\phi 38\text{ mm} \times 16$ 本、 $a = 75\text{ cm}$ の円環柱については $\phi 25\text{ mm} \times 16$ 本の基礎鉄筋を円環柱の埋込底部にセットして、モーメントの一部を持たすようにした。 $a = 100\text{ cm}$ の円環柱には基礎鉄筋を用い

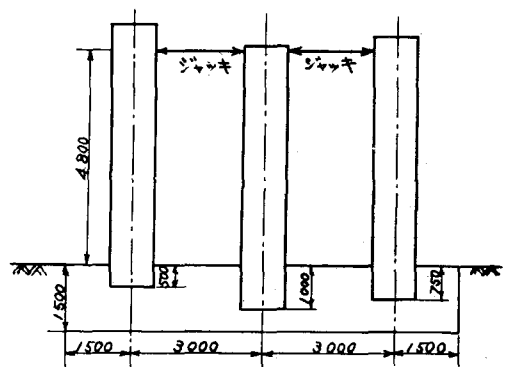


図-1 載荷方法

なかった。載荷方法は図-1に示すように、 $G \cdot L = 4.8 \text{ m}$ の位置で2本の円環柱の間にジャッキを挿入して荷重を与えた。ひずみの測定はフォーチング表面および基礎鉄筋は電気抵抗線ひずみ計を用い、埋込部の測定は、モールドゲージを用いて行なった。

3. 実験結果の概要

円環柱用のコンクリートの圧縮強度 $\sigma_{28} = 688 \text{ Kg/cm}^2$ ，弾性係数 $E = 4.0 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$ ，フォーチング用コンクリートの圧縮強度 $\sigma_{28} = 330 \text{ Kg/cm}^2$ ，弾性係数 $3.0 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$ であった。

図-2は埋込長 $a = 75 \text{ cm}$ と 100 cm ，図-3は $a = 50 \text{ cm}$ と $a = 100 \text{ cm}$ との間に、それぞれ 28 t および 50 t の荷重をかけた時に実測されたプレキャスト円環柱の埋込部分のコンクリートのひずみ分布図である。この実測値から推測すると、設計荷重である 28 t の場合（緑端部に生じているモーメントは $13.44 \text{ t} \cdot \text{m}$ ）には、 $a = 50 \text{ cm}$ 埋込の円環柱でも大してコンクリートの応力は生じていない。また、 $a = 75 \text{ cm}$ 埋込の円環柱に生じているコンクリートの応力と大差はない。しかし、

50 t の荷重（緑端部に生じているモーメントは $24.0 \text{ t} \cdot \text{m}$ ）に対しては、 $a = 50 \text{ cm}$ 埋込の円環柱に生じる応力は極めて大きくなり、ひびわれも実測された。この場合には、 $a = 75 \text{ cm}$ 埋込の場合と応力に相当な差が認められる。したがって、 $20.0 \text{ t} \cdot \text{m}$ をこえるような特に大きなモーメントが生じる場合には、埋込長は円環柱の直径の半分程度では不充分である。直径の $3/4$ 程度埋込と安全であると考えられる。 $10.0 \text{ t} \cdot \text{m}$ から $15.0 \text{ t} \cdot \text{m}$ 程度のモーメントが生じる場合には、埋込長を円環柱の $1/2$ 程度としても充分使用に耐え得ると考えられる。

図-4は $a = 75 \text{ cm}$ と 100 cm ，図-5は $a = 50 \text{ cm}$ と 100 cm との間に、それぞれ 28 t および 50 t の荷重をかけた時のフォーチング表面に生じるコンクリートのひずみ分布を表わしている。これ

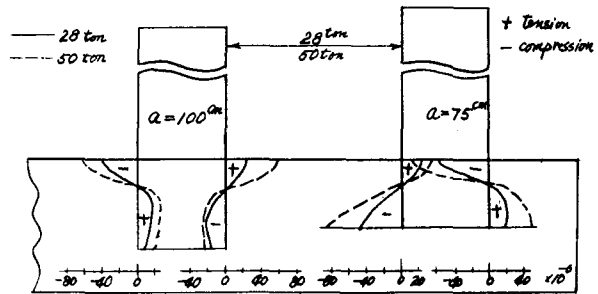


図-2 埋込部分のコンクリートのひずみ分布

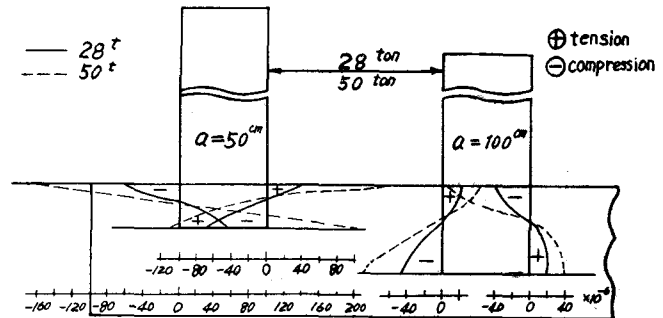


図-3 埋込部分のコンクリートのひずみ分布

らの図からわかるように、
2つの円環柱の間のフーチング表面では、ほとんど引張力が働らき、埋込長の少ない方の円環柱に近い部分で引張力は最大となっている。しかしながら、この部分の応力分布は非常に複雑である。2つの円環柱の外側のフーチング表面では、圧縮力が主に働らき、その値は円環柱近辺で最大となり、円環柱から遠ざかるにつれて急激に減少している。この分布は光弾性模型実験の結果とよく類似している。28 tの荷重では、生じる引張力も少なくひびわれの発生もなかったが、50 tの荷重では、大きな引張力が生じ、実際フーチング表面にひびわれが発生した。

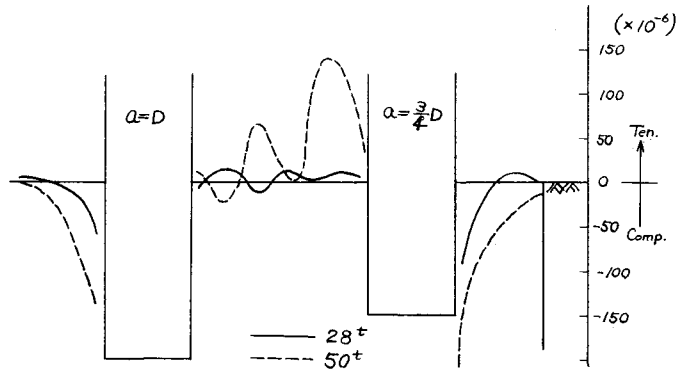


図-4 フーチング表面のひずみ分布

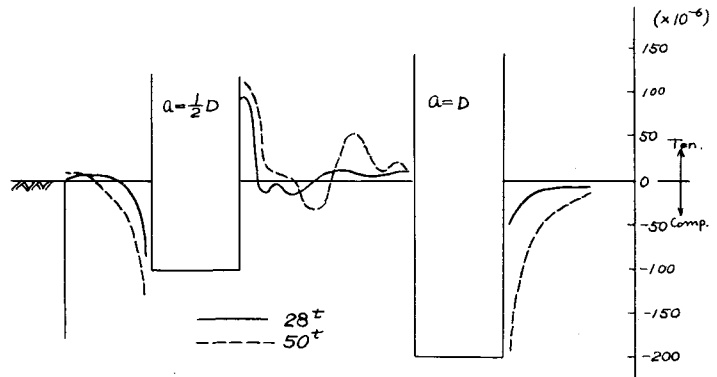


図-5 フーチング表面のひずみ分布

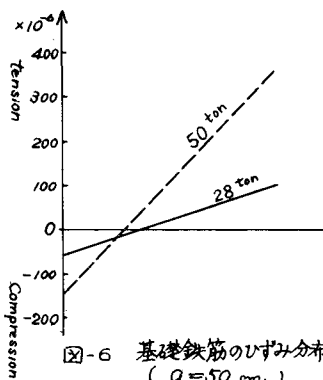


図-6 基礎鉄筋のひずみ分布
($a=50\text{ cm}$)

したがって、大きなモーメントが働らく場合には、フーチング表面のひびわれを防止するために、フーチングに補強鉄筋をセッ
ットする必要があると考えられる。

図-6は基礎鉄筋のひずみ分布図であるが、荷重が50 tの時でも、最大ひずみ量は 400×10^{-6} 以下であって鉄筋には余り応力が生じていない。

4. 理論的計算について

図-7に示すように、埋込長 a の円環柱に軸力 N 、曲げモーメント M 、水平力 P が作用した時、コンクリートに側面応力として p 、軸方向応力として q 、アンカー鉄筋応力として q_s が生じたと考え、埋込長 a が円環柱の長さ
に比べて小さいとして、埋込部を剛体と考えて次のような理論式をたてた。

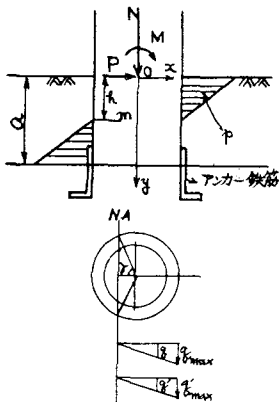


図-7

今 円環柱が力の作用点から h の深さにある回転中心 m の回りに θ だけ回転して中立軸が角度 r だけ移動して釣合ったとする。

水平力の釣合いより

$$P = r_o K_1 \theta (2ah - a^2)$$

軸方向力の釣合いより

$$N = K_2 \theta [2r r_o t \{ \sin r + (\pi - r) \cos r \} + n A_s r_s \cos r]$$

モーメントの釣合いより

$$M = K_2 \theta r_o \left[r_o t \left\{ (\pi - r) + \frac{\sin 2r}{2} \right\} + \frac{N A_s r_s}{2} \right] - \frac{a^2}{3} r_o K_1 \theta (3h - 2a)$$

ここで

$$r_o = \text{円環柱の外半径} \quad 50 \text{ cm}$$

$$r = \text{円環柱の平均半径} \quad 42 \text{ cm}$$

$$t = \text{円環柱の肉厚} \quad 16 \text{ cm}$$

$$r_s = \text{円環柱の中心より鉄筋中心までの距離} \quad 50 \text{ cm}$$

$$A_s = \text{鉄筋の総断面積}$$

$$a = 50 \text{ cm} \text{ に対して } 181.4 \text{ cm}^2$$

$$a = 75 \text{ cm} \text{ に対して } 78.5 \text{ cm}^2$$

$$n = \text{弾性係数比} \quad 5$$

$$K_1 = \text{コンクリートの水平反力係数}$$

$$a = 50 \text{ cm} \text{ に対して } 4.0 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^3$$

$$a = 75 \text{ cm} \text{ に対して } 3.3 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^3$$

$$a = 100 \text{ cm} \text{ に対して } 2.9 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^3$$

$$K_2 = \text{コンクリートの鉛直反力係数} \quad 4.0 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^3$$

上式を θ , r , h を未知数とする連立方程式としてといた。なお上に述べた個々の数値は実験の場合と同じ値である。

コンクリートの側面応力

$$p = K_1 \theta (h - y)$$

コンクリートの軸方向応力

$$q = \frac{\cos \varphi + \cos r}{1 + \cos r} q_{\max}$$

コンクリートの軸方向最大応力

$$q_{\max} = K_2 \theta r_o (1 + \cos r)$$

5. 理論的計算結果について

図-8は同一軸力 N に対するコンクリートの側面応力の分布である。この図からわかることは、中立軸の位置は埋込長のほぼ半分のところにくる。 $e=M/N$ が大きくなるにしたがって、 p は大きくなる。 e が大きい時はコンクリートの側面応力は $a=50\text{ cm}$ の時よりもむしろ $a=75\text{ cm}$ の時の方がやや大きくなっている。この理由としては、計算に使用したコンクリートの水平反力係数 K_1 の値の取り方やアンカー鉄筋量の影響などが考えられる。

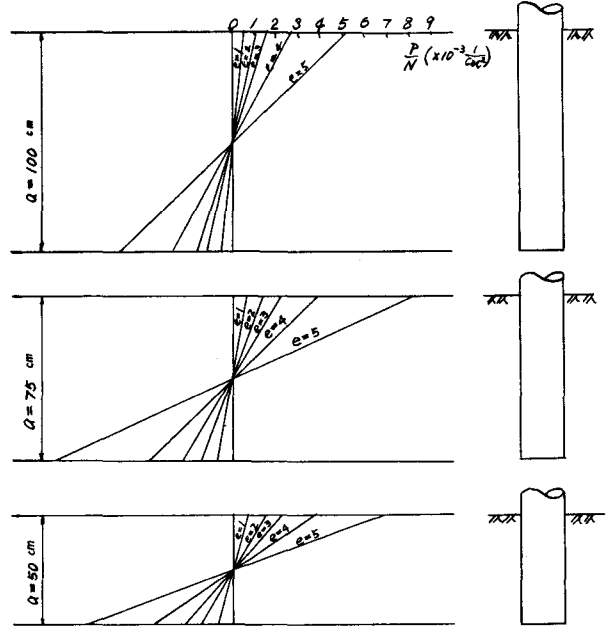


図-8 コンクリートの側面応力の分布

図-9は同一軸力 N に対するコンクリートの側面応力の最大値 $p_{\max}$ と埋込長 a の関係を e をパラメータとして表わしたものである。この図からわかることは、 e が小さい時は、埋込長は $p_{\max}$ に余り影響を与えない。 e が大きくなると、 $a=100\text{ cm}$ の $p_{\max}$ の値に比べて、 $a=75\text{ cm}$ 、 $a=50\text{ cm}$ の $p_{\max}$ の値はかなり大きくなるが、 N が特に大きくならないかぎりには、 $p_{\max}$ はコンクリートの許容応力内（円環柱のコンクリートの許容応力 230 Kg/cm^2 、フーチングの許容応力 110 Kg/cm^2 ）におさまる。したがって、コンクリートの側面応力の点から考えると、 $a=50\text{ cm}$ の埋込長でも使用できると考えられる。

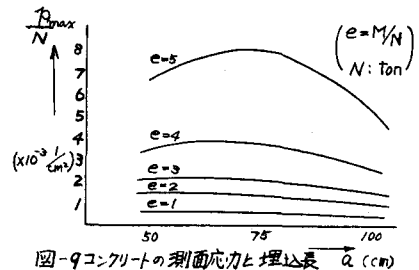


図-9 コンクリートの側面応力と埋込長

図-10は同一軸力 N に対するコンクリートの軸方向の最大圧縮応力 $q_{\max}$ と埋込長との関係である。この図からも明らかなように、埋込長 a が小さくなると $q_{\max}$ は急激に増加し、 e が大きい時は特にこの増加の割合は大きい。したがって特に大きな軸力とモーメントが働らく場合は埋込長を大きくする方が望ましい。

アンカー鉄筋応力度 q_s は $q_s = nq$ となるので、 q_s の分布は図-10と相似である。

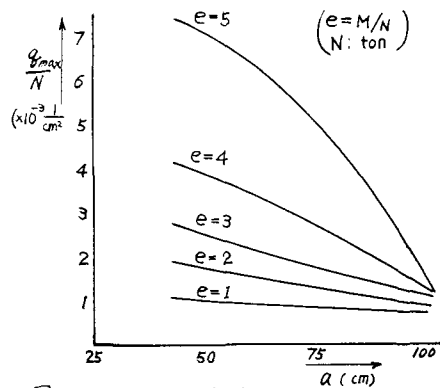


図1-10 コンクリートの軸方向応力と埋込長

6. 結 語

以上の実験および理論の結果から次のような点が考えられる。

- 実験で行なったような普通的设计に対しては、埋込長は円柱の直径の半分程度で充分である。
- 特に大きな軸力やモーメントが働らく場合は、埋込長を円柱の直径の $3/4$ 程度にすると安全である。
- コンクリートの反力係数 K の取り方に問題点が残る。
- 実験ではアンカー鉄筋に大きな応力は生じなかった。
- 実験では軸力 N を働らかさなかったが、実際には N を考慮しなければならない。
- 理論的計算は埋込部を剛体として行なったが、埋込部を弾性体として計算した結果も考慮しなければならない。これは現在進行中である。