

京都大学工学部
同正員 後藤尚男
正員 〇川口大仁

I 緒言

橋脚の設計は現在弾性理論によって行われており、耐震面では水平震度を考慮した物部博士の方法などが用いられている。一方大地震の震度は $\sigma = 0.3 \sim 0.6$ 程度と推定され、また橋脚の震害は根入長の不足による沈下、傾斜、転倒や、曲げ応力による折損、曲げ破壊が見られる。橋脚の崩壊は単に曲げ破壊のみを意味せず、傾斜沈下などの橋梁の使用を不可能にする被害も考えるならば、何らの震害も受けたくないような大きな橋脚を作ることとは不可能であり、また傾斜や沈下をしてもなお橋脚自体が健全な不均衡な断面を設計することも経済的に許されないことである。したがって橋脚の設計においては、終局状態を考慮し、終局強度を基準にとる極限設計法を適用して行うのが合理的であると考えられる。

II. 耐震性を考慮した橋脚の終局強度

1. 工学的仮定。 1). 平面保持の仮定。 2). コンクリートは弾塑性体とする。 3). コンクリート最大応力は σ_B (標準試体圧縮強度)。 4). 曲げ破壊時コンクリート圧縮応力分布は矩形、引張応力は無視。 5). 鉄筋は弾塑性体とし、引張鉄筋応力は σ_F 。 6). 橋脚の曲げ破壊は鉄筋の降伏に誘発されるコンクリートの圧潰による。 7). 地震力は静的に扱い、水平震度のみを考える。 8). 地震震度は橋梁全体を通じて同一震度をとる。 9). 地震力以外の水平外力は無視。 10). 水平外力に抵抗するのは土の反力土圧のみとし、それは物部博士の式による。 11). 地震時土圧は物部博士の地震時土圧論による。 12). 橋脚に作用する鉛直力は無視。 13). 橋脚の傾斜は、反力土圧の最大値がその深さの受切土圧の値と等しくなった時、始まるとする。

2. 橋脚の破壊モーメント M_u 。 橋脚断面は最も一般的な小判型を扱うが、橋脚部は図-1のように矩形と三角形に置き換え、考察する。橋脚の長径 b と短径 c の比は2~3であるので、曲げ破壊時には中立軸位置 η が小になるため、軸方向鉄筋カブリ u との関係($\eta < u$, $\eta = u$, $\eta > u$)を考え破壊モーメントを計算しなければならない。ここでは $\eta > u$ の場合について述べる。ここに、 α_1 , α_2 ; 橋脚断面矩形部及び三角形部軸方向鉄筋断面積、 d ; α_1 のうちで引張応力の効く鉄筋断面積の α_1 に対する比、 β ; 圧縮鉄筋応力と σ_F との比、

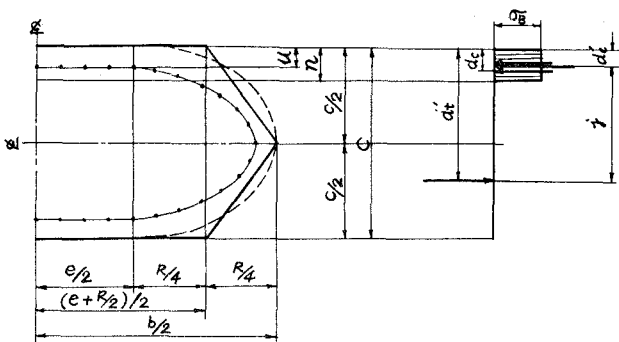


図-1. a) 橋脚断面

b) 応力分布

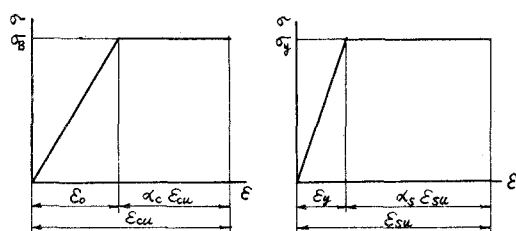


図-2. a) コンクリート応力-歪曲線

b) 鉄筋応力-歪曲線

$$\beta = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{sy}} = \frac{\epsilon_{cu} n - d_c}{\epsilon_{sy} n} = \frac{\epsilon_s \epsilon_{cu} n - d_c}{\epsilon_{sy} n} \quad T = \sigma_y (\alpha a_1 + a_2) \quad C = \sigma_b \left(\frac{R}{2C} n^2 + \frac{R}{2} n + en \right) + \beta \sigma_y (1 - \alpha) a_1$$

$$\therefore \frac{R}{2C} n^2 + \left(e + \frac{R}{2} \right) n + \beta \frac{\sigma_y}{\sigma_b} (1 - \alpha) a_1 - \frac{\sigma_y}{\sigma_b} (\alpha a_1 + a_2) = 0$$

圧縮鉄筋が降伏しているためには上式で $\beta = 1$ とおいたときの根 n が、次式を満足しなければならない。
 $\epsilon_s \geq \epsilon_{sy} \rightarrow \epsilon_{cu} \frac{n - d_c}{n} \geq \frac{\sigma_y}{E_s}$

圧縮鉄筋が降伏していないと、 β 式及び上の n に関する 2 次式を連立させ、 n, β を求める。

$$\text{圧縮合力位置 } d_c' = \frac{\sigma_b \left\{ \frac{R}{2C} n^2 + \frac{R}{2} n + en \right\} + \beta \sigma_y (1 - \alpha) a_1 d_c}{\sigma_b \left\{ \frac{R}{2C} n^2 + \frac{R}{2} n + en \right\} + \beta \sigma_y (1 - \alpha) a_1}$$

$$\text{引張合力位置 } d_t' = \frac{a_1 \{ c + 2(\alpha - 1) d_c \} + a_2 c}{2(\alpha a_1 + a_2)} \quad \text{ここに、} d_c: \text{圧縮鉄筋重心位置。}$$

$$\therefore j = d_t' - d_c'$$

$$\begin{aligned} \therefore M_u &= Cj = \left[\sigma_b \left\{ \frac{R}{2C} n^2 + \frac{R}{2} n + en \right\} + \beta \sigma_y (1 - \alpha) a_1 \right] (d_t' - d_c') \\ &= Tj = \sigma_y (\alpha a_1 + a_2) (d_t' - d_c') \end{aligned}$$

3. 橋脚の崩壊震度 橋脚に作用する外力は図-3 の如くである。ここに、 W : 上部構造重量、 W_1 : 橋脚躯体重量、 W_2 : 橋脚井筒重量、 w_1 : 橋脚井筒単位長さ重量。

$$1). \text{橋脚躯体の極限震度 } l_p, \quad M_p = l W h + l W_1 h_1$$

$$M_p = M_{up} \quad \therefore l_p = M_{up} / (W h + W_1 h_1)$$

$$2). \text{橋脚井筒の極限震度 } l_w, \quad \text{反力土圧式 } p = \frac{\gamma_1^2}{\gamma_1^2} (2y_1 - y)$$

$$p_1 = N l, \quad N = \frac{W + W_1 + W_2}{y_1 - \frac{l_2}{3}}, \quad \frac{y_1^2}{l_2^2} = \frac{W_2 h_2 - (W h + W_1 h_1)}{2y_1 - \frac{3}{4} l_2} \cdot \frac{3y_1^2}{l_2^2}$$

$$S_z = [W + W_1 + w_2 z - \frac{N}{y_1} (y_1 z^2 - \frac{1}{3} z^3)] l, \quad M_z = [W h + W_1 h_1 + (W + W_1) z + \frac{w_2 z^2}{2} - \frac{N}{y_1} (\frac{1}{3} y_1 z^3 - \frac{1}{12} z^4)] l$$

最大モーメント M_{z0} は、 $S_z = 0$ の条件から求められる。井筒の終局状態は $M_{z0} = M_{uw}$

$$\therefore l_w = M_{uw} / \left[W h + W_1 h_1 + (W + W_1) z_0 + \frac{w_2 z_0^2}{2} - \frac{N}{y_1} (\frac{1}{3} y_1 z_0^3 - \frac{1}{12} z_0^4) \right]$$

3). 橋脚の傾斜震度 l_i 地震時受効土圧 p は物部式において、井筒壁傾斜角 $\psi = 0$ 上面載荷重 $q = 0$ 、地表面傾斜 $\theta = 0$ とおき、 $l_i = 0$ から $l_i = \tan \theta$ の関係を用い式の変形を行うと

$$p = \frac{l_i^2 \sin^2 \varphi + l_i \sin \varphi + \cos^2 \varphi}{l_i (\cos \varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2}) + (\sin^2 \varphi - 2 \sin \varphi + 1)} w y b \quad \text{ここに、} w: \text{土の単位体積重量}$$

φ : 土の内部摩擦角

$p = p_1$ の終局条件から、傾斜震度 l_i は次の 2 次方程式を解くことによって得られる。

$$l_i^2 \left[\frac{N}{w y_1 b} (\cos \varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2}) - \sin^2 \varphi \right] + l_i \left[\frac{N}{w y_1 b} (\sin^2 \varphi - 2 \sin \varphi + 1) - \sin 2\varphi \right] - \cos^2 \varphi = 0$$

III 橋脚井筒模型による実験的研究

30 × 30 cm (中空 20 × 20 cm) の断面で長さ 2 m の井筒模型を製作し、単純支持 2 点載荷で静的曲げ試験を行い、井筒の終局強度及び井筒長中央で strain gage により歪を、dia/gage により撓みを測定した。この結果の詳細については当日発表するが、破壊荷重の計算値 (II で得た式による) と実験値とはよく近似し、最大誤差 10% であった。また圧縮側のコンクリート歪分布から、引張鉄筋応力を推定すると、降伏応力に達していることがわかった。

本研究は昭和 33 年度文部省科学研究費による試験研究の成果の一部である。

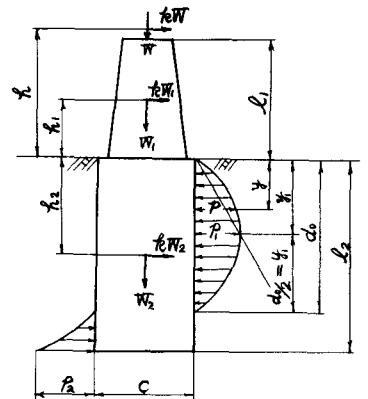


図-3 橋脚に作用する外力