

杭頭結合部の応力照査式に関する一考察

○金沢大学工学部 正会員 近田康夫
金沢大学工学部 正会員 小堀為雄

1 はじめに

杭基礎における、杭頭結合部の設計、施工に関して多くの実験的な研究が行われてきたが、本研究では、杭頭結合部の応力照査に用いられる応力分布の仮定のうち、特にPC杭を用いた結合方法Aに関して考察を加えるものである。具体的には、フーチング・コンクリートの水平支圧に関する応力照査式に対して、3次元的な応力分布の仮定を用いて応力照査式の改良を試み、若干の考察を加えた。

2 水平方向応力照査式

杭基礎設計便覧において提案されている杭頭結合部の水平方向支圧応力に関する、安全性照査のための照査式は、PC杭の結合方法Aに対して次式のとおりである^{1),2)} (使用記号に関しては、文献およびFig.1を参照されたい)。

$$\sigma_{ch} = \sigma_{ch1} + \sigma_{ch2} = H/(D \cdot l) + 6M/(D \cdot l^2) \leq \sigma_{ca} \dots\dots\dots(1)$$

式(1)の右辺第1項、および第2項はそれぞれFig.1に示すような2次元的な応力分布を仮定していることになる。しかし、従来の実験報告が示すように応力の3次元的な分散や、杭周面の摩擦の影響により、実際に生ずる応力はずっと小さな値となるとされている。そこで、応力分布を橋梁の支圧部におけるロッカー・ピンによる支圧の考え方³⁾を参考にして、Fig.2のように仮定すると、杭頭の回転中心を、埋め込み長さの2分の1として、以下のような計算過程により、水平方向の応力照査式を書き改めることが出来る。すなわち、力のつりあいは、水平力HにおよびモーメントMに関してそれぞれ、

$$H = 2 \int_0^{l/2} \int_0^{\pi/2} \sigma_H \cdot (\cos \theta)^2 \cdot (D/2) \cdot dz \cdot d\theta = \pi \cdot D \cdot l \cdot \sigma_H / 4 \dots\dots\dots(2)$$

$$M = 4 \int_0^{l/2} \int_0^{\pi/2} \{ \sigma_H / (l/2) \} \cdot (\cos \theta)^2 \cdot (D/2) \cdot z^2 \cdot dz \cdot d\theta = \pi \cdot D \cdot l^2 \cdot \sigma_H / 24 \dots\dots\dots(3)$$

以上より

$$\sigma_H = \sigma_{ch1} = (4/\pi) \cdot H/(D \cdot l) \dots\dots\dots(4), \quad \sigma_H = \sigma_{ch2} = (4/\pi) \cdot 6M/(D \cdot l^2) \dots\dots\dots(5)$$

となり、式(1)の 4/π = 1.27 倍となる。

また、支圧応力σ_r (圧縮) が作用すれば、当然摩擦力が働くことになるので、これを考慮してみると、円周方向、杭軸方向の杭とフーチングの間の摩擦係数をそれぞれμ_r、μ_zとして、円周方向の摩擦力τ_r、杭軸方向の摩擦力τ_zはそれぞれ、

$$\tau_r = -\mu_r \cdot \sigma_r \cdot \sin \theta, \quad \tau_z = \mu_z \cdot \sigma_r \dots\dots\dots(7)$$

従って、杭頭埋め込み部の中心に関するこれらの摩擦力のモーメントは、対称性から水平力Hの寄与が相殺されるので、σ_r = {σ_H/(l/2)} · cos θ · z (0 ≤ z ≤ l/2) となり、次式が得られる。

$$\sigma_H^* = [32/\{8\pi + 16\mu_r + 12\pi \cdot \mu_z \cdot (D/l)\}] \cdot 6M/(D \cdot l^2) = \sigma_{ch2} \dots\dots\dots(8)$$

$$\sigma_H^* = \{4/(\pi + 2\mu_r)\} \cdot H/(D \cdot l) = \sigma_{ch1} \dots\dots\dots(9)$$

以上より、杭周面における摩擦を考慮した水平方向のフーチング・コンクリートの支圧応力σ_{ch}^{*}は、式(8)と式(9)の和で与えられることになる。以上の議論では、支圧応力がある有効に働く領域を±π/2としたが、実際には、コンクリートの乾燥収縮による杭とフーチング間の剝離の発生や、発生以後の経年変化などにより、有効支圧域が減少することが考えらるので、その有効支圧域を±αとして、同様の計算をした結果、Fig.3が得られる。Fig.3は、杭周面の摩擦係数μ_r、μ_zの値に対応するσ_{ch}^{*}の値を有効支圧域を表す角αをパラメータにとって示している。なお、σ_{ch}^{*}の値は、示方書の計算式(本論文では、式(1))の値との比で

示してある。この図より、水平支圧応力の最大値は、杭周面の摩擦の効果によって大きく減少することがわかる。また、有効支圧域を与える半角 α が $\pi/2$ 以下の場合には、急激に増加することも理解できる。しかし、フーチング・コンクリートの乾燥収縮などにより杭周面の摩擦状態は、経年的に変化すると考えるのが妥当であり、安全側を採って、式(4)、(5)を用いる方がより実際的であると考えられる。

なお、ここで仮定した、Fig.2の応力分布は、有限要素解析により、その妥当性を確認している(Fig.4 参照)。

3 結言

本論分では、水平支圧応力への軸力の影響を考慮しなかったが、軸力の有無は、応力分布全体の傾向への影響は顕著ではあるものの、水平方向の安全性の評価指標である最大水平支圧応力への影響がほとんどないことを有限要素解析により確認しており⁴⁾、ここでの取扱は妥当と言えよう。

しかしながら、杭頭結合部の最終体力の評価を行うような場合には、やはり、軸力、水平力そしてモーメントの複合的な効果を考慮する必要があるだろう。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、下部構造編、丸善、昭和55
- 2) 日本道路協会：杭基礎設計便覧、pp.276-299、丸善、昭和61
- 3) 吉町太郎：鋼橋の理論と計算（改訂版）、pp.208-9、石崎書店、昭和47年
- 4) 小堀為雄、近田康夫：剝離、滑動を考慮した杭頭結合部の応力伝達について、土木学会論文集、No.374(1-6)、pp.583-592、1986

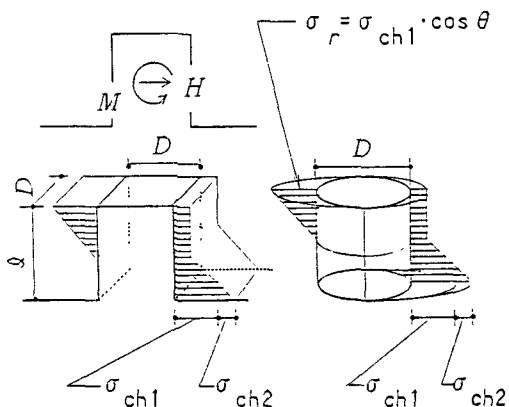


Fig.1 Stress distribution hypothesis^{1),2)} Fig.2 Presented stress distribution hypotheses

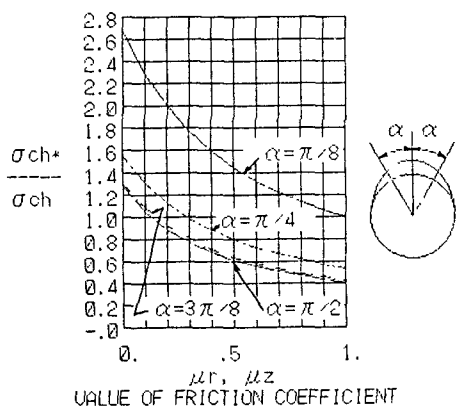


Fig.3 Effects of μ_r, μ_z and α on maximum stress value

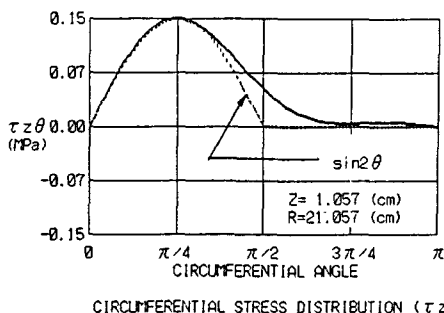
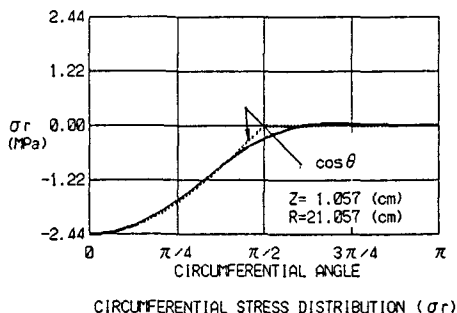


Fig.4 Stress distribution in circumferential(θ) direction by FEM analyses at bottom of footing