

場所打ち杭用杭頭半固定工法の開発
その7 杭頭主筋算定用曲げモーメント

正会員 吉川 清峰^{*1} 同 秦 雅史^{*2}
同 青山 隆行^{*3} 同 新井 寿昭^{*4}
同 堀越 章仁^{*5} 同 吉松 敏行^{*6}

場所打ち杭 杭頭 半固定
固定度 断面算定用曲げモーメント

1. はじめに

今般開発した場所打ち杭用の杭頭半固定工法¹⁾(以下、本工法)では、引張軸力を伝えるために杭頭部に引張定着筋¹⁾を配置している。この引張定着筋と杭主筋が重なる部分では、多量の軸方向鉄筋が存在することになる。この間の曲げモーメントの伝達状況について見ると、杭頭接合面¹⁾では杭主筋は寄与しないが、杭頭接合面で生じた応力は徐々に杭体に伝達され、引張定着筋の下端では杭体だけの抵抗となる。したがって、杭頭接合面と引張定着筋下端の位置で、それぞれに断面算定を行えば、引張定着筋と杭主筋の重なり部分も含め、十分な強度を保有していることになる。一方、引張定着筋下端の曲げモーメントは、杭径や地盤条件等によって異なるため、設計上は簡便に評価する必要が生じた。

そこで本報では、杭頭曲げモーメントに低減率を乗じることによって評価する杭体の断面算定用曲げモーメントについて述べる。

2. 杭の曲げモーメント

杭頭の固定度が であるような半無限長の杭の曲げモーメント M は、Chang の方法を拡張して(1)式で表される。

$$M = \frac{Q}{2\beta} e^{-\beta x} \{ \alpha \cos \beta x - (2-\alpha) \sin \beta x \} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 x : 杭頭からの深さ、 β : 杭の特性値、 Q : 杭頭のせん断力を示す。

以下、(2)式のように無次元化した曲げモーメントを用い、 $'$ を付けて表す。

$$M' = \frac{\beta}{Q} M = \frac{1}{2} e^{-\beta x} \{ \alpha \cos \beta x - (2-\alpha) \sin \beta x \} \dots\dots\dots(2)$$

特に杭頭曲げモーメント M'_0 及び地中部最大曲げモーメント M'_{max} は、それぞれ(3)式、(4)式で表される。

$$M'_0 = \frac{\beta}{Q} M_0 = \frac{1}{2} \alpha \dots\dots\dots(3)$$

$$M'_{max} = \frac{\beta}{Q} M_{max} = -\frac{1}{2} \exp \left\{ -\tan^{-1} \left(\frac{1}{1-\alpha} \right) \right\} \sqrt{(1-\alpha)^2 + 1} \dots\dots(4)$$

3. 断面算定位置での曲げモーメント

杭頭主筋の断面算定位置は、杭頭からの深さ x_1 にある引張定着筋下端(図1)とする。(2)式より、曲げモーメント M'_1 は x_1 及び β の関数となる。

x_1 は引張定着筋の杭への定着長さに等しい。本工法において定着長さは、定着方式(シース方式、打込み方式)

^{1),2)}、引張定着筋の材種、径及び杭コンクリートの F_c をパラメータに持つ。本工法の標準仕様は、許容付着力が許容引張力を上回るように定めており、ここではその最小値である 700mm を x_1 とする。

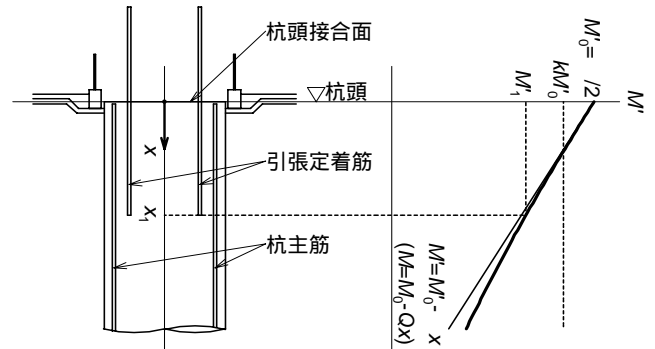


図1 杭頭の模式図と曲げモーメント図

杭の特性値 β は、現実的に取りうる上下限値を押さえるために、A,B,C の3本の杭を想定した。想定した杭の諸元及び β を表1に示す。

表1 想定した杭及び地盤の諸元

杭	A	B	C
径 B (mm)	3,000	1,800	800
N 値	1	5	10
変形係数 E_0 (N/mm ²)	0.7	3.5	7.0
コンクリート強度 F_c (N/mm ²)	30		
特性値 β (1/mm)	6.0×10^{-5}	1.2×10^{-4}	3.0×10^{-4}
長さ L (mm)	50,000	37,500	20,000
L/β	3.0	4.5	6.0

x_1 と β が定まったことにより、(2)式は x_1 の1次関数となる。

$$M'_1 = \frac{1}{2} e^{-\beta x_1} (\sin \beta x_1 + \cos \beta x_1) \alpha - e^{-\beta x_1} \sin \beta x_1 \dots\dots\dots(5)$$

図2に $x_1=700$ mm としたときの固定度 β と曲げモーメント M'_1 の関係を示す。また合わせて M'_0 と M'_{max} を示す。

β が著しく小さい場合には M'_1 が M'_0 を超えるため、杭頭主筋は地中部主筋以上の配筋としている。

4. 断面算定用曲げモーメント

杭頭主筋量を簡便に算定するために、断面算定位置の実際の応力である M'_1 を求めるのではなく、 M'_0 を用いた評価を行う。具体的には、(6)式が成り立つような k を定め、 kM'_0 に対して断面算定を行う。

$$kM'_0 \geq M'_1 \dots\dots\dots(6)$$

ここに、 k : 低減率(≤ 1.0)を示す。

図2に、 $k=0.85$ としたときの kM'_0 を示す。 $0.85M'_0$ は、B及びCの杭では全てのにおいて(6)式を満たしている。一方の小さいAの杭では、 x_1 が0.55以上のときに $k=0.85$ を超える。

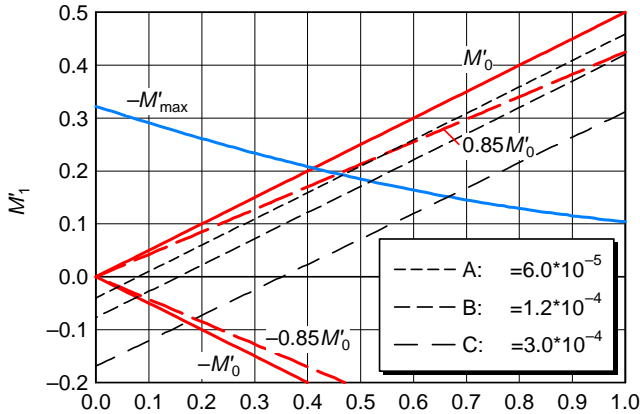


図2 固定度 x_1 と曲げモーメント M_1 の関係($x_1=700\text{mm}$)

固定度 x_1 は、軸力と杭頭のせん断力によって決まり³⁾、また杭頭のせん断力は、固定度の異なる他の杭と同一の水平変位となるように分配されるから、容易に決定することはできない。そこで次に $\alpha = 6.0 \times 10^{-5} (1/\text{mm})$ に固定して、杭や引張定着筋の仕様により変化する x_1 と、さらに低減率 k を変数として、(6)式が成り立つ x_1 の範囲を調べる。(6)式に(3)式と(5)式を代入すると、(7)式が得られる。

$$\alpha \leq \frac{2e^{-\beta x_1} \sin \beta x_1}{e^{-\beta x_1} (\sin \beta x_1 + \cos \beta x_1) - k} \quad (7)$$

結果を図3に示す。杭や引張定着筋の仕様を決めると x_1 が定まり、応力解析により k が求まる。断面算定に用いることのできる k は、(7)式より、 x_1 と α の交点よりも右上になければならない。

図3に断面算定位置 x_1 を決定するパラメータごとに、取り得る最小の x_1 の値を示す。定着方式を打込み方式としたときの最小の x_1 は $1,000\text{mm}$ で、 α に関わらず $k=0.90$ とすることができる。定着方式は打込み方式よりもシース方式、引張定着筋は低強度で細径、杭コンクリートは強度が高いほど x_1 が小さくなり、 k を大きくする必要はある。しかしいずれの場合も $k=0.95$ を超えることはない。

また本工法で推奨する引張定着筋の仕様 (SD490,D38/SD490,D41/SD685,D41, いずれもシース方式) としたときの x_1 を図3, a)に示す。 $-Q$ 関係³⁾から、 α は 0.85 程度以下であり、 $k=0.85$ を採用することができる。

また図1に示すように M を近似的に直線 $M = M_0 - Qx$ で表すと、(6)式に代入して k を略算する(8)式が得られる。

$$k \geq 1 - \frac{2\beta x_1}{\alpha} \quad (8)$$

5. まとめ

杭頭主筋の断面算定用曲げモーメントを、杭頭曲げモーメントと低減率で評価し、低減率の略算式を示した。以下に、固定度や他の条件に関わらず用いることのできる低減率の値を示す。

1. α が $1.2 \times 10^{-4} (1/\text{mm})$ 以上の杭における $k=0.85$ 。
2. α が $6.0 \times 10^{-5} (1/\text{mm})$ の杭で、引張定着筋を打込み方式としたときの $k=0.90$ 。
3. 全ての杭における $k=0.95$ 。
4. 引張定着筋を推奨仕様としたときの $k=0.85$ 。

参考文献

- 1) 吉松他：場所打ち杭用杭頭半固定工法の開発 その1開発背景と工法概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-1，2006.9（投稿中）
- 2) 森他：場所打ち杭用杭頭半固定工法の開発 その8施工実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-1，2006.9（投稿中）
- 3) 堀越他：場所打ち杭用杭頭半固定工法の開発 その6固定度 軸力や引張定着筋量の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-1，2006.9（投稿中）

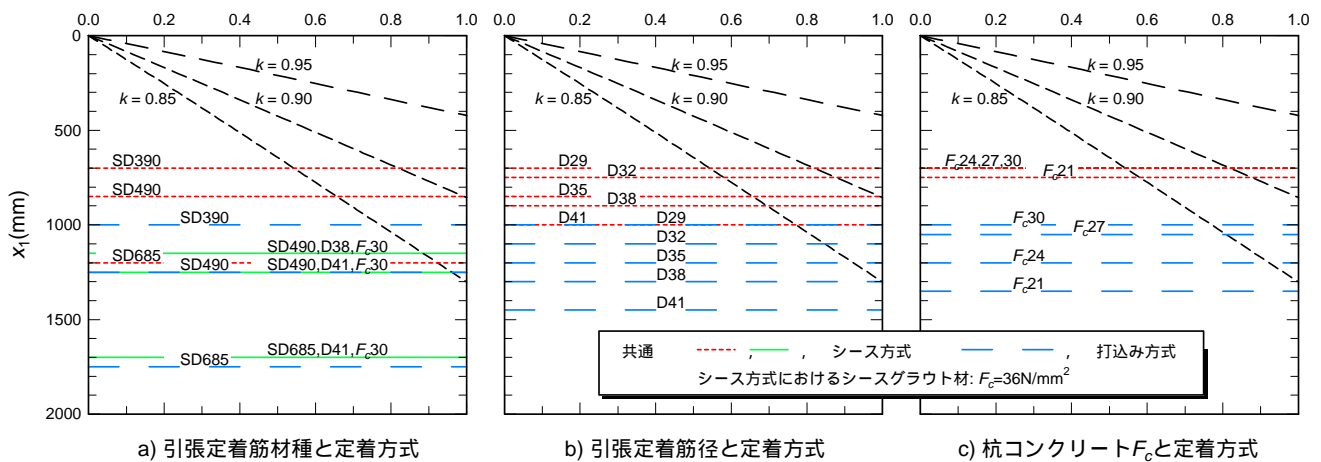


図3 断面算定位置 x_1 ，低減率 k と固定度 α の関係($\alpha = 6.0 \times 10^{-5} (1/\text{mm})$)

*1 飛鳥建設構造設計部
 *2 奥村組技術研究所
 *3 三井住友建設建築本部設計センター構造デザインディビジョン
 *4 西松建設技術研究所
 *5 松井建設
 *6 鹿島建設建築設計本部構造設計統括グループ

*1 Structural Engineering Dept., Tobishima Corporation
 *2 OKUMURA CORPORATION, Technical Research Institute
 *3 Architectural Design Center Structural Design Division, Sumitomo Mitsui Construction
 *4 Technical Research Institute, Nishimatsu Construction
 *5 MATSUI Construction
 *6 Architectural Design Division, Structural Engineering Department, Kajima Corp.