

# 風荷重を受ける看板・交通標識を支持する杭基礎の重複反射法を用いた設計法

豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 国際会員 ○三浦均也, 松田達也  
豊橋技術科学大学 建築・都市システム学専攻 学生会員 羽柴慶太, KEODUANGCHITH Somchith

## 1. はじめに

本研究の目的は、重複反射法を適用することによる多層地盤における水平荷重を受ける有限長杭のたわみ挙動解析法を誘導するとともに、看板や交通標識のための支柱一杭基礎一体構造の合理的な設計手法を提案することである。看板や交通標識の設計においては、上部工の自重と比較して板面が受ける風荷重が支配的であるため、基礎の設計においては通常の基礎のように鉛直荷重を支持することよりも、水平荷重および回転モーメントに抵抗することが求められる<sup>1)</sup>。

看板・交通標識のための基礎の既存のもの多くは重力式で、コンクリート製の躯体を地中に打設してその自重により水平力や回転モーメントに抵抗するものである。鉛直杭を用いる場合には、水平荷重や曲げモーメントを受ける際の杭と地盤との相互作用を考慮したたわみ挙動解析は標準的に Chang の公式を用いている。この弾性床上の梁に等価な計算結果に基づき、杭のたわみ量や地盤との相互作用が定量的に計算できるため、その要件を満たす条件として、たわみ波形の波長に基づいて杭長を決定（標準的には波長の半分、あるいはその3分の2程度）している<sup>2)</sup>。このため、Chang の公式により設計された杭の長さは比較的長くなるため、基礎設計・施工の実務においては経済性の判断から重力式基礎が採用されてきている。

Chang の公式においては杭のたわみ量は杭の外径や曲げ剛性といった断面形状によってのみ決まるので、厳しい許容たわみ量に対しては断面が大きくなり（外径が大きくなり、肉厚になり）、その結果必要な杭長が増大する一方である。Chang の公式の実用上の問題点として以下の2点を挙げなければならない。

- ① たわみ量を杭長の関数として算定することができないので、許容たわみ量を満足するように杭長を決定することができない。
- ② 地盤は多くの場合均質ではなく成層状態となっているが、Chang の公式は杭と地盤の相互作用が無限の深さまで均質であることを適用条件としている。

さらに、重力式基礎（直接基礎またはケーソン基礎）の設計・施工上の問題点としては

- ① コンクリート躯体の打設する際の地盤掘削による地盤の緩みにより、水平荷重や回転モーメントに抵抗するべき地盤の水平抵抗を十分に期待できなく、専ら躯体の重力に依存した設計になる。
- ② 施工時においては掘削やコンクリート打設に要する敷地の専有面積が広がるため、並行する作業を阻害し、さらには、交通規制が必要になる場合も少なくない。
- ③ コンクリートの養生には所定の期間が必要なため、敷地の占有が長期間に及ぶか、または、十分な養生期間を確保できない場合もある。
- ④ コンクリートと上部支柱の接合にアンカーボルトを用いる場合には、長期間による腐食等が顕在化し、構造上の弱点となる場合が多い。

本研究では、Chang の公式が有する欠点を克服するために、重複反射法を援用して支配方程式を解く方法を提案している。重複反射法は地震時における成層地盤の振動解析に広く用いられている手法である<sup>3)</sup>。杭のたわみ解析においては時間項が現れないが、支配方程式をさらに単純化することなく数学的に解くことが可能で、重複反射法により「成層地盤」における「有限長の杭」の挙動を解析することが可能になる。これ

---

Method for design of pile foundation for signboard and traffic sign subjected to wind loading by means of multiple-reflection method: Kinya MIUTA, Tatsuya MATSUDA, Keita HASHIBA, and KEODUANGCHITH Somchith (Department of Architecture and Civil Engineering, Toyohashi university of technology)

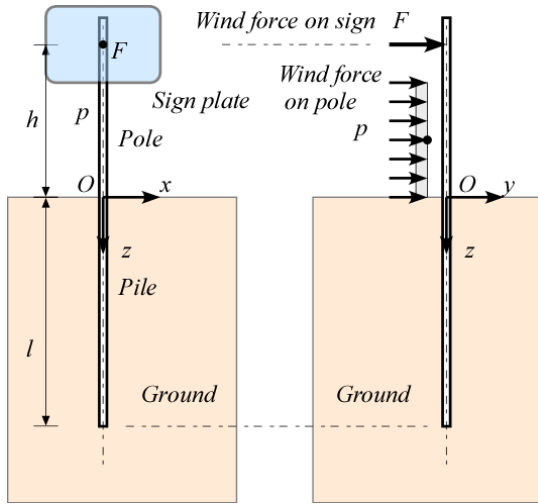


図-1 支柱・杭一体構造

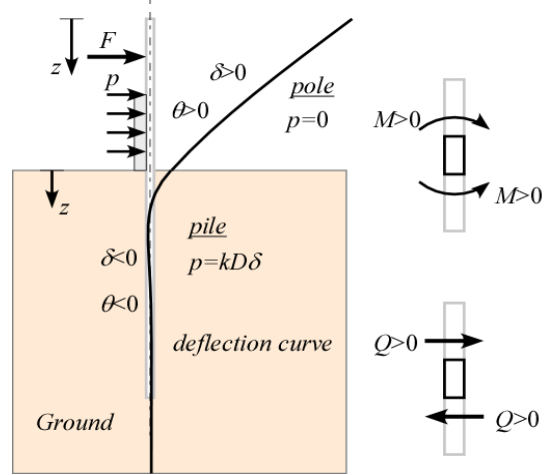


図-2 杭のたわみ挙動の定義

により、杭基礎の設計時において杭長を合理的に短くすることが可能になるので、上で説明した重力式基礎が抱える問題を克服するための有力な代替案になると期待できる。以下では、解析法を解説するとともに、一連の試設計を通して Chang の公式と比較することによって、その特徴と設計上の優位性を示す。

## 2. 重複反射法を用いた解析手法

本研究で対象とするのは、図-1 に示すように、支柱と杭が一体となった構造である。風荷重は表示板と支柱に作用するものとする。風荷重の算定および構造の検討は「建築基準法（政令第9章（工作物）関係）」および「政令 87 条，H12 建告第 1454 号」に則って行った。

【杭たわみ挙動の基本解】 地上の支柱部分は通常の梁として、集中荷重および分布荷重を受ける片持ち梁として解析できるので、ここでは説明を省略する。地下の杭部分は地盤との相互作用を考慮するために、弾性床上の梁と等価として以下のたわみ  $\delta$  に対する支配方程式を解くことによってたわみ挙動を計算することが可能である。

$$\frac{\partial^2}{\partial \delta^2} \left( -EI \frac{d^2 \delta}{d \delta^2} \right) = -EI \frac{d^4 \delta}{d \delta^4} = p = Dk\delta \quad (1)$$

たわみ角  $\theta$ ，曲げモーメント  $M$ ，せん断力  $Q$ ，分布荷重  $p$  の関係は以下のものである（図-2 参照）。

$$\theta = -\frac{d\delta}{dz}, \quad M = -EI \frac{d\theta}{dz} = EI \frac{d^2 \delta}{dz^2},$$

$$Q = \frac{dM}{dz} = -EI \frac{d^2 \theta}{dz^2} = EI \frac{d^3 \delta}{dz^3}, \quad p = \frac{dQ}{dz} = \frac{d^2 M}{dz^2} = -EI \frac{d^3 \theta}{dz^3} = EI \frac{d^4 \delta}{dz^4} \quad (2)$$

ここで、杭への分布荷重  $p$  は杭の単位長さあたりのものであり、外径  $D$  とたわみ量  $\delta$  に比例すると仮定して、以下のように定式化される<sup>2)</sup>。ただし、杭と地盤の相互作用たわみが小さな範囲から非線形であるため、以下のようにバネ定数  $k$  は一定ではなく、対象とするたわみの領域 ( $0 \sim \delta$ ) に応じて低下する。

$$p/D = k_0 \sqrt{\delta_0} \cdot \sqrt{\delta} \Rightarrow p/D = k\delta \Rightarrow k = \frac{k_0}{\sqrt{\delta/\delta_0}} \quad (3)$$

風荷重のような交番する荷重に対しては、地盤に顕著な塑性変形が生じないように、たわみの許容値を 1cm とし、地盤調査として標準貫入試験を採用する場合には以下の式でバネ定数を算定する<sup>1,2)</sup>。

$$\delta_0 = 1\text{cm}, \quad k_0 = \alpha \cdot E_0 \cdot D^{-3/4}; \quad \alpha = 0.2, \quad E_0 = 28N \quad (4)$$

ちなみに、式(3)に示した非線形性を考慮する解析法としては、有限要素法などの数値解析が用いられるが<sup>2)</sup>、本研究では、式(1)に示す波動方程式を数式で解き、Chang の公式と同様に、より客観的で安定な解析結果を得ることを目指している。

式(1) の微分方程式を解くことによって、以下のような4つの基本解からなる一般解が得られる。

$$-EI \frac{d^4 \delta}{dz^4} = p = Dk\delta \Rightarrow \delta = e^{\lambda z} \Rightarrow -EI\lambda^4 = Dk$$

$$\Rightarrow \lambda = \beta + i\beta, \beta - i\beta, -\beta + i\beta, -\beta - i\beta \quad \therefore \beta = \sqrt[4]{\frac{kD}{4EI}}$$

$$\therefore \delta = (a \cos \beta z + b \sin \beta z)e^{-\beta z} + (c \cos \beta z + d \sin \beta z)e^{\beta z}$$

ここで、 $\beta$  は波数であり、 $\pi/\beta$  は半波長に相当する杭長に等しい。また、 $a, b, c, d$  は未定定数であり、第1, 第2基本解は深さ方向で0に収束するのに対して、第3, 第4基本解は発散する。

式(2)に式(1)を代入して整理すると、杭のたわみ挙動を表すマトリックス方程式が得られる。マトリックス  $[S_e]$  は深さ  $z$  の関数である。

$$\begin{Bmatrix} Q \\ M \\ \theta \\ \delta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 2\beta^3 EI e^{-\beta z} (\cos \beta z - \sin \beta z) & 2\beta^3 EI e^{-\beta z} (\cos \beta z + \sin \beta z) & 2\beta^3 EI e^{\beta z} (-\cos \beta z - \sin \beta z) & 2\beta^3 EI e^{\beta z} (\cos \beta z - \sin \beta z) \\ 2\beta^2 EI e^{-\beta z} (\sin \beta z) & 2\beta^2 EI e^{-\beta z} (-\cos \beta z) & 2\beta^2 EI e^{\beta z} (-\sin \beta z) & 2\beta^2 EI e^{\beta z} (\cos \beta z) \\ -\beta e^{-\beta z} (-\cos \beta z - \sin \beta z) & -\beta e^{-\beta z} (\cos \beta z - \sin \beta z) & -\beta e^{\beta z} (\cos \beta z - \sin \beta z) & -\beta e^{\beta z} (\cos \beta z + \sin \beta z) \\ e^{-\beta z} \cos \beta z & e^{-\beta z} \sin \beta z & e^{\beta z} \cos \beta z & e^{\beta z} \sin \beta z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{Bmatrix}$$

$$\Rightarrow \{Q\}_z = [S_e]_z \{A\} \quad (6)$$

【均質地盤における無限長杭の解】 ここで、杭長を無限と仮定すると、第3, 第4基本解が消去され、以下に示すいわゆる Chang の公式が得られる。

$$(a \cos \beta z + b \sin \beta z)e^{-\beta z} \rightarrow 0 \quad (z \rightarrow +\infty) \quad [\text{Chang の公式}] \quad (7)$$

この公式は、地表面で杭頭に作用する曲げモーメント  $M_s$  とせん断力  $Q_s$  から未定定数  $a, b$  を容易に決定でき、たわみ計算も複雑なプログラムを必要としない。

#### 【重複反射法による杭たわみ挙動の解析】

(均質地盤における有限長杭の解) 地盤が均質である場合の有限長杭の挙動を図-3に示している(支柱部分と杭部分にはそれぞれ添え字0と1を付している)。杭頭および杭下端における境界条件は以下のようである。

$$\begin{aligned} [\text{at } z_1 = 0] \quad Q_1 = Q_s, M_1 = M_s \\ [\text{at } z_1 = l] \quad Q_1 = 0, M_1 = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

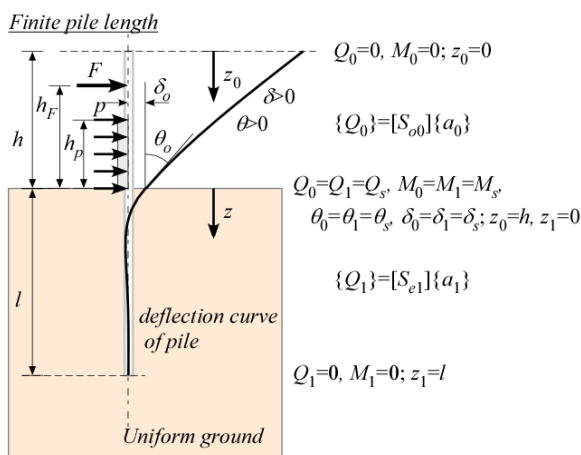


図-3 均質地盤における有限長杭の挙動

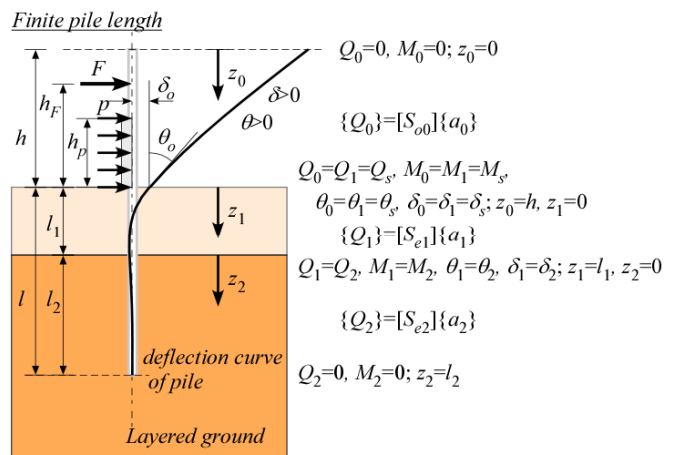


図-4 2層地盤における有限長杭の挙動

この境界条件は、マトリックスを用いると以下のようにまとめることができ、組み合わせてできる4×4のマトリックスを解くことによって未定定数 $a_1, b_1, c_1, d_1$ を決定することができる。

$$\begin{cases} \{Q_1\} \\ \{M_1\} \end{cases}_{z_1=0} = \begin{bmatrix} S_{e1\_11} & S_{e1\_12} & S_{e1\_13} & S_{e1\_14} \\ S_{e1\_21} & S_{e1\_22} & S_{e1\_23} & S_{e1\_24} \end{bmatrix}_{z_1=0} \begin{cases} a_1 \\ b_1 \\ c_1 \\ d_1 \end{cases} = \boxed{\begin{matrix} \{S_{e1\_1}\} \\ \{S_{e1\_2}\}_{z_1=0} \end{matrix}} \{A_1\} = \begin{cases} Q_s \\ M_s \end{cases} \quad (8')$$

$$\begin{cases} \{Q_1\} \\ \{M_1\} \end{cases}_{z_1=l} = \begin{bmatrix} S_{e1\_11} & S_{e1\_12} & S_{e1\_13} & S_{e1\_14} \\ S_{e1\_21} & S_{e1\_22} & S_{e1\_23} & S_{e1\_24} \end{bmatrix}_{z_1=l} \begin{cases} a_1 \\ b_1 \\ c_1 \\ d_1 \end{cases} = \boxed{\begin{matrix} \{S_{e1\_1}\} \\ \{S_{e1\_2}\}_{z_1=l} \end{matrix}} \{A_1\} = \begin{cases} 0 \\ 0 \end{cases}$$

このマトリックス方程式は、数式的に解くことが可能である<sup>4)</sup>。

(2層地盤における有限長杭の解) 地盤が均質な2層からなる場合の有限長杭の挙動を図-4に示すが、杭を成層状態に合わせて2分割している(支柱部分には添え字0と杭部分には上から添え字1と2を付している)。杭頭および接続部、杭下端における境界条件は以下のものである。

$$\begin{aligned} [at \ z_1=0] \quad Q_1 &= Q_s, M_1 = M_s \\ [at \ z_1=l_1, \ z_2=0] \quad Q_1 &= Q_2, M_1 = M_2, \theta_1 = \theta_2, \delta_1 = \delta_2 \\ [at \ z_2=l_2] \quad Q_2 &= 0, M_2 = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

この境界条件は、マトリックスを用いると以下のようにまとめることができ、8×8のマトリックスを解くことによって8個の未定定数 $a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2, d_2$ を決定することができる。

$$\boxed{\begin{matrix} \{S_{e1\_u}\}_{z_1=0} \end{matrix}} \{A_1\} = \begin{cases} Q_s \\ M_s \end{cases}$$

$$\{Q_1\}_{z_1=l_1} = \{Q_2\}_{z_2=0} \Rightarrow [S_{e1}]_{z_1=l_1} \{A_1\} = [S_{e2}]_{z_2=0} \{A_2\}$$

$$\Rightarrow \boxed{\begin{bmatrix} [S_{e1}]_{z_1=l_1} & -[S_{e2}]_{z_2=0} \end{bmatrix} \begin{cases} \{A_1\} \\ \{A_2\} \end{cases} = \begin{cases} 0 \\ \vdots \\ 0 \end{cases}} \quad (9')$$

$$\boxed{\begin{matrix} \{S_{e2\_u}\}_{z_2=l} \end{matrix}} \{A_2\} = \begin{cases} 0 \\ 0 \end{cases}$$

ここに示した手法は、地盤がより多くの層からなる場合にも拡張が容易であり、あとで示すように、杭長を長くするにつれて、Changの公式による解に漸近する。

### 3. 重複反射法による有限長杭のたわみ挙動の検討

重複反射法解析で得られた杭のたわみ挙動を均質地盤と層状地盤両方において、以下の2条件で検討する。

- ・ Case MS : 杭頭に曲げモーメントのみ作用
- ・ Case QS : 杭頭にせん断力のみ作用

解の基本的な性質を比較・検討するために、Changの公式で得られる無限長杭の数式解も必要に応じて合わせて示した。結果は、それぞれの最大値で正規化して示して、具体的には以下のものである。

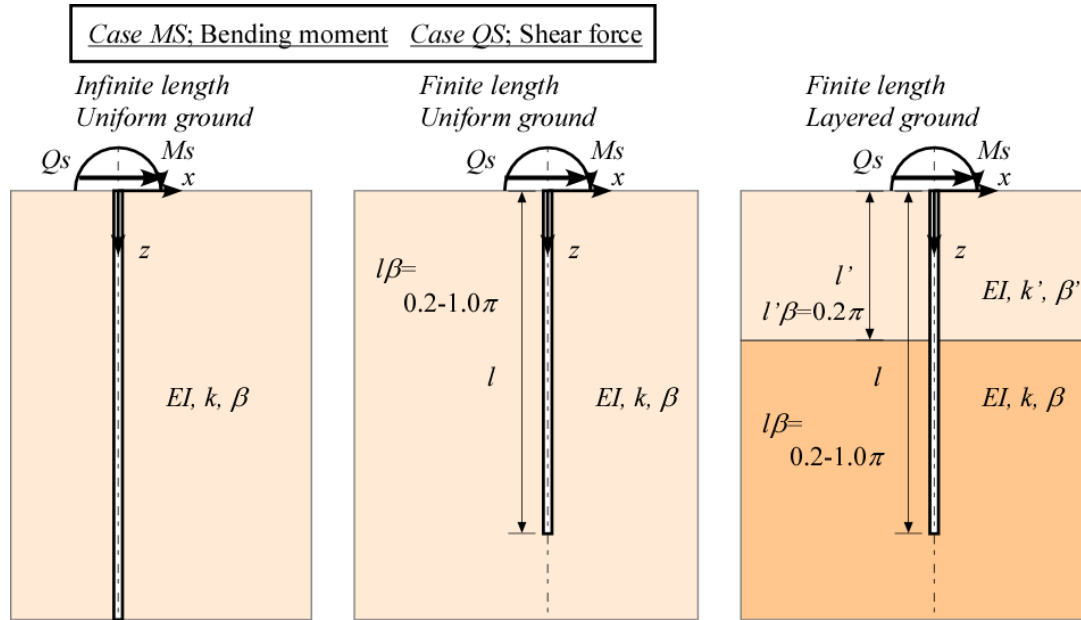


図-5 基本的な挙動を検討する地盤条件

$$\begin{aligned}
 \text{Case MS;} \quad & \frac{\delta}{\delta_{\max}} = \frac{\delta}{M_s / 2EI\beta^2}, \quad \frac{\theta}{\theta_{\max}} = \frac{\theta}{M_s / EI\beta}, \quad \frac{M}{M_{\max}} = \frac{M}{M_s}, \quad \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{Q}{\sqrt{2}M_s\beta e^{-\pi/4}} \\
 \text{Case QS;} \quad & \frac{\delta}{\delta_{\max}} = \frac{\delta}{Q_s / 2EI\beta^3}, \quad \frac{\theta}{\theta_{\max}} = \frac{\theta}{Q_s / 2EI\beta^2}, \quad \frac{M}{M_{\max}} = \frac{M}{Q_s e^{-\pi/4} / \sqrt{2}\beta}, \quad \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{Q}{Q_s}
 \end{aligned}$$

【均質地盤における検討】 図-6には杭頭に曲げモーメントが作用した際の、図-7には杭頭にせん断力が作用した際の、正規化したたわみ挙動を示している。杭長は $l = 0.4\pi / \beta \sim 1.0\pi / \beta$ の範囲でパラメトリックに変化させて示している。たわみ曲線が示すように、杭長が $\beta l = \pi$ では黒線で示した Chang の公式による解との差は無視できるほど小さくなり、通常的设计では波長の半分 ( $l = \pi / \beta$ ) をとって杭長を決定していることの妥当性が理解できる。杭長が短くなるほど、たわみ曲線の曲率は小さく、剛体的な挙動に漸近していることが分かる。これに伴い、杭の水平変位は急激に増大している。杭長が $l = 0.4\pi / \beta$ になると、地表面での水平変位は Chang の公式解の2倍程度まで増大している。これらの傾向は、CaseMS と CaseQS で共通している。杭長を変えることによって杭のたわみ挙動を敏感に制御することができることが分かった。

【2層地盤における検討】 図-8には杭頭に曲げモーメントが、図-9には杭頭にせん断力が作用し

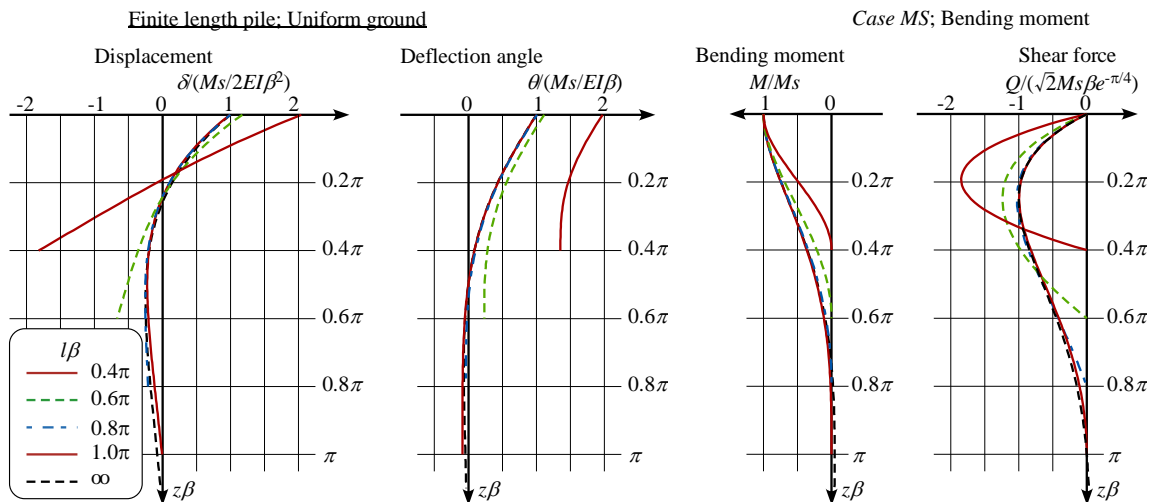


図-6 杭頭に曲げモーメントが作用した場合の均質地盤における正規化したたわみ挙動：Case Ms

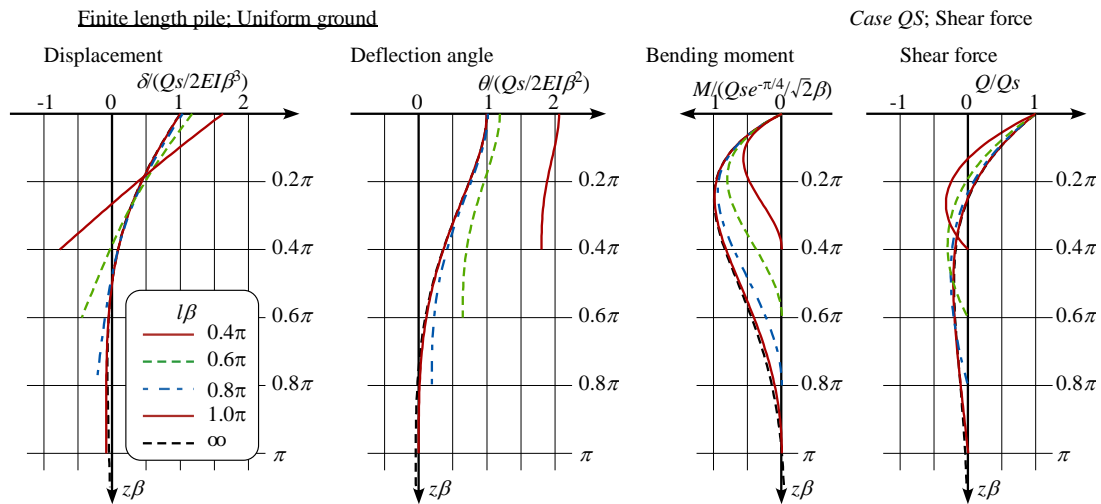


図-7 杭頭に曲げモーメントが作用した場合の均質地盤における正規化したたわみ挙動：Case Qs

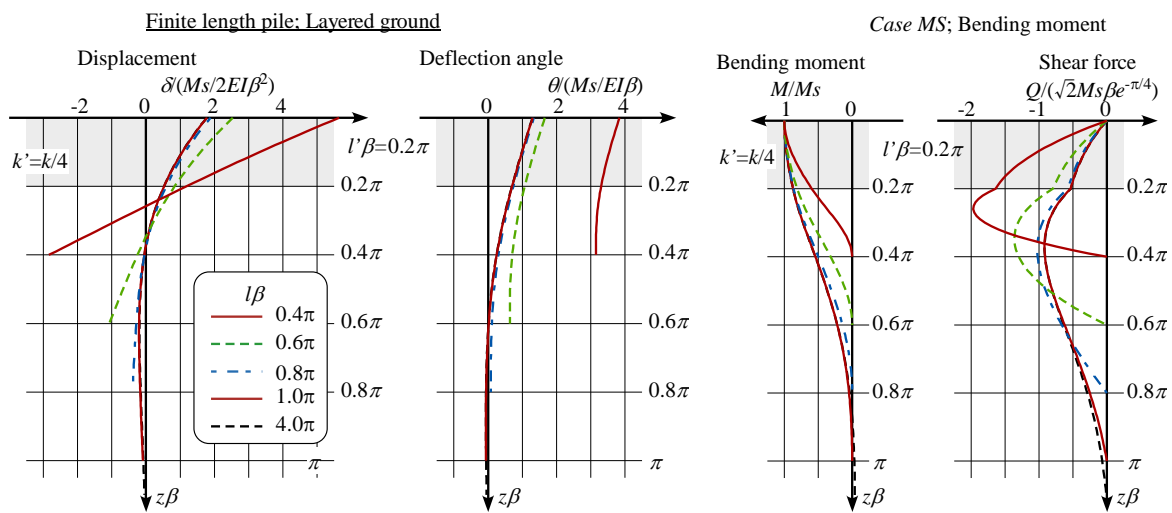


図-8 杭頭に曲げモーメントが作用した場合の2層地盤における正規化したたわみ挙動：Case Qs

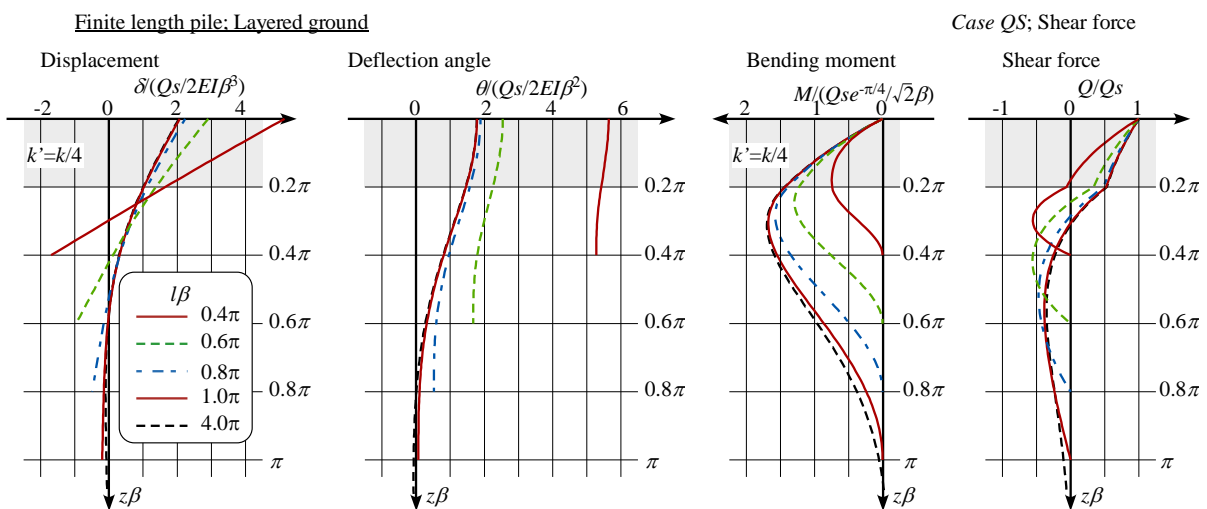


図-9 杭頭に曲げモーメントが作用した場合の2層地盤における正規化したたわみ挙動：Case Qs

た際の、正規化したたわみ挙動を示している。杭長は  $l = 0.4\pi / \beta \sim 1.0\pi / \beta$  の範囲でパラメトリックに変化させている。2層地盤は図-5の右図に示すように、地表面にはバネ定数が  $k' = k/4$  (N値が4分の1) の剛性の低い厚さ  $l' = 0.2\pi / \beta$  の層が載っていることを想定している。成層地盤には本来 Chang の公式を適用することできないが、その代わりに杭長を十分に長く2波長分とした場合の結果を黒線で示している。変位曲線が示すように、剛性の低い上層を有することによって、均質地盤よりも変形が大幅に増大している。

ただし、ここで採用したように上層が  $l' = 0.2\pi / \beta$  程度であれば、杭長が半波長 ( $l = \pi / \beta$ ) あるいはその 80% ( $l = 0.8\pi / \beta$ ) 程度とすれば、変形は十分に収束すると考えることができる。収束した場合でも、地表面での変位量は均質地盤の 2 倍程度は覚悟しなければならないことが分かる。

#### 4. 設計要件および設計手順

提案する設計の要件・手順、に加えて実施した試設計における想定について説明する。

##### 【設計要件・調査】(構造物の要件, 地盤条件, 材質断面形状の設定)

- 0.1. 交通標識または看板の設置高さ, 表示板の形状などの決定; 高さ 8m, 看板 2m×1m
- 0.2. 風力による風荷重を算定; 建築基準に基づいて風速 30m/s 相当, 水平力  $F=3000\text{N}$ , 作用位置  $h=7.5\text{m}$
- 0.3. 地盤調査, 地盤柱状図の作成;  $N$  値の異なる均質地盤と層状地盤, 地盤反力係数の計算 式(4)
- 0.4. 構造部材の材質, 断面形式を決定; STK-400 円筒鋼管とし, 支柱部分と杭部分を等断面形状とする

##### 【基本設計手順】(最初, 杭部分のたわみがないと仮定し, 余裕度を考慮した基本断面の選定)

###### 1.1. 設計条件の整理

- ・ 支柱天端変位の許容値  $\delta_a$ ; 高さの 3% ( $8 \times 0.03 = 24\text{cm}$ ), 最初は剛体地盤を仮定して余裕度 2 を設定
- ・ 曲げ圧縮応力の許容値  $\sigma_a$ ; 地盤面での曲げモーメントに対して, 余裕度 (2 程度) を設定  
(ここで圧縮応力に対する余裕度をある程度大きく取ることによって, 最終的に必要杭長を短縮できる)

###### 1.2. 曲げ (+曲げねじり) 許容応力に対して, 必要な杭断面の断面係数を算定

###### 1.3. 支柱部分のたわみによる天端変位を許容値以下とするため, 必要な杭の断面 2 次モーメントを算定

###### 1.4. 断面 2 次モーメントと断面係数から, 断面寸法を算定; 外径, 肉厚などの基本値を算定

##### 【詳細設計】(杭部分のたわみを重複反射法を用いて計算, 必要杭長の計算, 最終的な安全率の照査)

- 2.1. 杭部分のたわみも考慮した, 支柱天端の水平変位を計算; 許容値に対する安全率を算定
- 2.2. 最大曲げモーメント発生位置において, 自重・ねじりを考慮した組み合わせ応力により安全率を算定
- 2.3. 地上部分では長柱座屈を考慮した許容応力度に対して照査する; 座屈に対する安全率を算定
- 2.4. 上記に加えて, 地表面レベルにおける地盤の弾性許容変位 ( $\delta_s = 1\text{cm}$ )<sup>2)</sup> を満たす, 最短の杭長を繰返し計算によって決定する
- 2.5. 安全率の余裕が必要以上に大きければ, 余裕度を減らした基本設計から繰り返す

#### 5. 試設計による設計法の妥当性の検討

【基本設計: 断面形状の決定】 図-10 は曲げ圧縮応力の許容値に対する安全率をパラメータとして, 地表面での曲げモーメント  $M_s = Ph = 24,000\text{Nm}$  に対して必要な断面係数を求め, その値に対する円筒断面の外径  $D$  と肉厚  $t$  の負の相関関係を図示したものである。一方, 曲げ圧縮応力の安全率から, 円筒断面の曲げ剛性  $EI$  も決定されるので, それに対する支柱天端の水平変位を示しているのが図-11 である。これらの図から, 安全率 2 程度の余裕を持たせるためには外径が  $D > 200\text{mm}$ , 肉厚が  $t < 8\text{mm}$  程度であれば充分である。以上から, 均質地盤と層状地盤における試設計では円筒形断面を 3 種類 ( $D=200, 300, 400\text{mm}$ ) とした。

【地盤条件: 均質地盤と 2 層地盤】 均質地盤では, 半無限地盤の  $N$  値を 3 種類 ( $N=5, 10, 20$ ) とした。層状地盤では地表に 1m の剛性が低い層 ( $N=3$ ) を設置し, 以下の地盤の  $N$  値は 3 種類 ( $N=5, 10, 20$ ) とした。

【必要杭長の比較検討】 図-12, 13 にはそれぞれ均質地盤と層状地盤において, 設計要件のすべてを満足する最小の杭長を示している。比較のために, Chang の公式を用いる場合の通常的设计値 (波長の半分) も示している。提案する重複反射法では, 外径が大きく曲げ剛性と地盤反力が増大することによって, 必要杭長は短くできることを示している。また, 地盤の  $N$  値が増大すると, これによってもたわみ量は減少



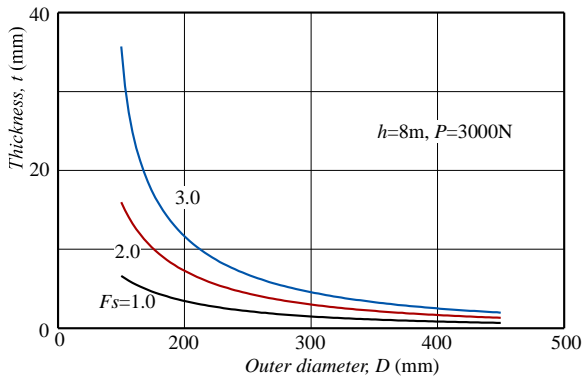


図-10 曲げ圧縮応力の安全率に対する断面形状

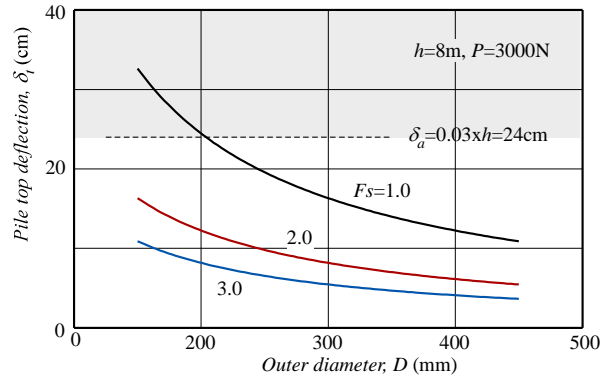


図-11 断面形状と天端水平変位の関係

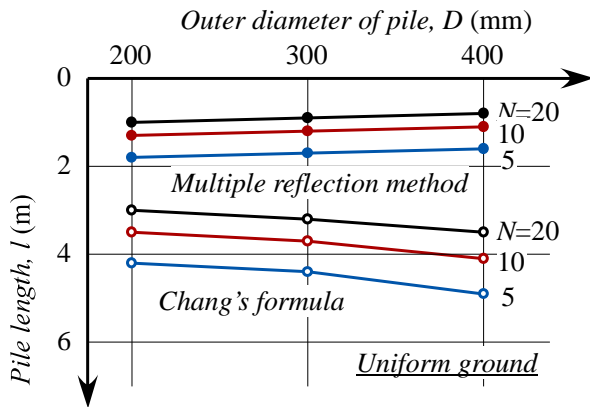


図-12 均質地盤における必要杭長の変化

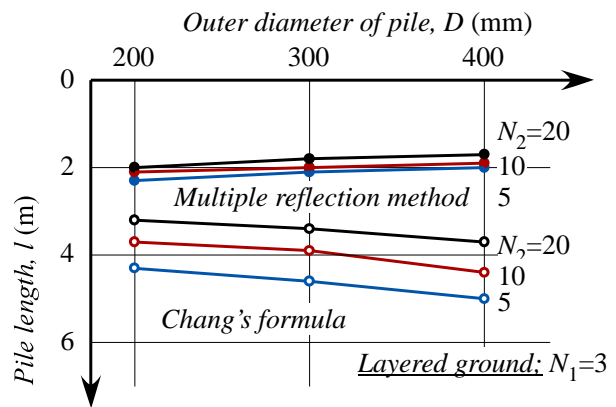


図-13 層質地盤における必要杭長の変化

するので、必要杭長が短くなる傾向を読み取ることができる。計算された必要杭長は Chang の公式によるよりも格段に短く（均質地盤では半分以下）になっている。層質地盤では地表の剛性の低い層を貫かなければならないので、必要杭長が伸びるが、この場合でも Chang の公式との差は依然として大きい。Chang の公式では外径が増大すると必要杭長が逆に大きくなる。この非合理的な傾向は、杭の剛性が増大するとたわみ挙動の波長が伸びるためである。提案する設計法ではこのような点も適切に改善できることが分かる。

## 6. あとがき

看板や交通標識を対象として、水平な風荷重を受ける支柱-杭一体構造の重複反射法を用いた設計法を説明し、試設計によりその妥当性を検討した。均質地盤と2層地盤における杭頭に曲げモーメントあるいはせん断力が作用する条件での基本的な検討では、杭のたわみ挙動が杭長の関数となっていることが分かり、また、層質地盤における剛性の低い表層地盤の影響も定量的に評価できることが分かった。さらに、設計手順を説明するとともに実施した試設計においては、杭の断面剛性に余裕を持たすことによって、変形の許容値を満たすのに必要な杭長は、Chang の公式に基づく既往の設計法によるものよりも格段に短くなることを示した。以上によって、支柱-杭一体構造が重力式基礎に対する有力な代替案になる可能性を示すことができた。今後は、合理的な設計法の構築を進めるとともに、原位置試験によって設計法の妥当性を検証する予定である。

## 参考文献

- 1) 道路標識設置基準・同解説；日本道路協会 (1987).
- 2) 建築基礎構造設計指針 6.6 節；日本建築学会 (2001), pp. 262-296.
- 3) Schnabel, P. B., Lysmer, J. and Seed, H. B. (1972): SHAKE A Computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, Report No. EERC72-12, University of California, Berkeley
- 4) 右城猛(2006)；鋼矢板を用いた自立式土留め工の設計，四国地方整備局研修資料