

看板や道路標識に用いる杭・支柱連結基礎構造の最適設計

豊橋技術科学大学 学生会員 ○鈴木恒太

正会員 三浦均也, 松田達也

非会員 山田泰弘, 大黒華林

1. はじめに

看板や道路標識には、広く重力式基礎が用いられている。しかし、この工法では、広い施工スペースや長期の施工期間を要することに加えて、型枠工や鉄筋工など専門的な技術を必要とすることがとして挙げられている。一方で、杭基礎においては、必要杭長を無限長杭の公式（Chang の公式）によって算出することによって、杭長が過剰に長くなり、コスト面において重力式擁壁に劣るため採用されない状況が続いている。

筆者らはこれまで、水平荷重（風荷重や地震荷重）を支持するための合理的で経済的な基礎工法として、層構造地盤において非線形な地盤反力を考慮できる非線形応答関数法を用いて最適な必要杭長を算定する重力式基礎に代わるものとして杭・支柱一体基礎構造を提案し、その設計・施工法を看板や擁壁に対して検討してきた^{1,2)}。非線形応答関数法は、有限長杭の公式に連なるものであり、Chang の公式に代表される無限長杭の公式が有する必要杭長の決定に関する問題を解消できることが分かっている。そこで本研究では、杭・支柱一体基礎工法において、支柱よりも一回り大きな杭径を有する杭・支柱連結構造を用いることの優位性を杭・支柱単体構造と対比し

て明らかにするとともに、有限長杭の公式を用いることが不可欠であることを示すために一連の試設計を実施した。

2. 杭支柱連結基礎構造

図1のように、杭・支柱連結基礎構造は造成した柱状地盤改良体に鋼管杭を打設し、その後鋼管杭に鋼管支柱を連結する構造体である。一方、杭・支柱単体構造は杭と支柱を1体の鋼管とする単純な構造である。

3. 設計法

ここでは、Chang の公式として知られている杭を無限長と仮定した無限長杭公式（式(1)）と有限杭長 L に対して杭先端での境界条件（曲げモーメント $M=0$ 、せん断力 $Q=0$ ）と考慮した有限長杭公式（式(2)）を用いた。

$$\delta = e^{-\beta z} (a \cos \beta z + b \sin \beta z) \quad (1)$$

$$\Rightarrow a = \frac{Q_0 - \beta M_0}{2EI\beta^3}, \quad b = \frac{M_0}{2EI\beta^2}$$

$$\delta = (a \cos \beta z + b \sin \beta z) \cosh \beta z + (c \cos \beta z + d \sin \beta z) \sinh \beta z$$

$$\Rightarrow a = -\frac{M_0 \beta (-\cosh 2\beta L + \cos 2\beta L) + Q_0 (-\sinh 2\beta L + \sin 2\beta L)}{2\beta^3 EI (\cosh 2\beta L + \cos 2\beta L - 2)} \quad (2)$$

$$b = \frac{M_0 \beta (-\sinh 2\beta L - \sin 2\beta L) + Q_0 (+\cos 2\beta L - 1)}{2\beta^3 EI (\cosh 2\beta L + \cos 2\beta L - 2)}$$

$$c = -\frac{M_0 \beta (+\sinh 2\beta L + \sin 2\beta L) + Q_0 (+\cosh 2\beta L - 1)}{2\beta^3 EI (\cosh 2\beta L + \cos 2\beta L - 2)}, \quad d = \frac{M_0}{2\beta^2 EI}$$

ここで、 β は杭の特性値、 M_0 と Q_0 は杭頭における曲げモーメントとせん断力である。

4. 試設計の条件

看板は図1に示すようで、高さ8m、表示板4m×4mと設定を固定した。パラメータとしては設計風速を3種類 $V=40, 50, 60\text{m/s}$ 、地盤のN値3種類 $N=3, 5, 10$ とした。構造形式は2ケースで、杭・支柱単体構造、杭・支柱連結構造とし、試設計の結果を比較する。

簡単のために自重や地震荷重を無視し、設計風速が正面から作用する場合を想定して基準点（地表面レベル）における断面力を算出し、必要最小の支柱円形鋼管の断面を決定する。杭・支柱連結構造では、杭角形鋼管の外径を支柱概形よりも150mm大きく

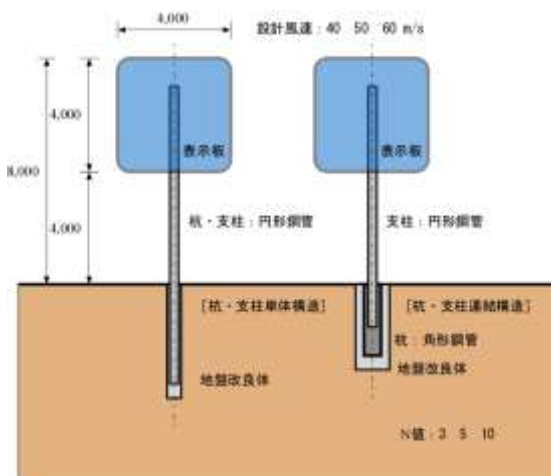


図1 杭・支柱一体工法

表 1 杭・支柱連結構造における計算結果

風速 $V(\text{m/s})$	N 値	支柱径 杭径 $D(\text{mm})$	特性値 $\beta(1/\text{m})$	杭頭変位 $\delta(\text{mm})$	無限長杭 杭長 $L_c(\text{m})$	許容 杭頭変位 $\delta(\text{mm})$	有限長杭 杭長 $L(\text{m})$
40	3	318.5	0.277	6.39	11.36	10.00	5.24
	5		0.314	4.72	10.00		3.74
	10	500.0	0.374	3.15	8.41		2.47
50	3	355.6	0.359	8.78	12.15		7.70
	5		0.294	6.48	10.69		4.99
	10	550.0	0.350	4.31	8.99		3.18
60	3	457.2/750.0	0.208	8.38	15.098		8.99
	5	457.2	0.261	7.46	12.02		6.33
	10	650.0	0.311	4.94	10.11		3.89

とることとした。条件としては、杭と支柱の鋼管杭に発生する断面応力が許容応力 (STK400, 短期荷重) を満たすこと, および許容杭頭変位を 10mm とした。

5. 結果と考察

表 1 に、杭・支柱連結構造における試設計の結果を示す。連結構造においては、支柱径は設計風速によってのみ決まるので、初期設定の杭径も設計風速に対応した支柱径よりも一回り大きく設定した。ほとんどのケースで杭頭変位が許容値以下となったが、地盤剛性が最も低く ($N=3$), 荷重が最大 ($V=60\text{m/s}$) のケースでは、杭頭変位をさらに大きな杭断面が必要であった。これより、荷重が大きく、地盤条件が悪い条件では、支柱断面を最小断面としたままで杭断面のみを大きくすることで対応可能であることが確認できた。

単体構造についての試設計の結果はスペースの関係で省略しているが、支柱鋼管の必要最小断面を用いた場合では、杭の剛性がほとんどのケースで十分でなく、許容杭頭変位を満たすように円形鋼管断面の断面を拡大する必要があった。このことから、単体構造において設計風速が小さく地盤剛性が高いケースを除いては、支柱部の断面が必要以上に大きくなってしまいうために不経済になると同時に、杭・支柱一体の全鋼管長が過度に長くなるなどの問題があることが分かった。

図 2 には、設計風速 $V=40\text{m/s}$, $N=10$ のケースにおける試設計の結果を、杭・支柱単体構造と杭・支柱連結構造の両方について示している。両方の構造に

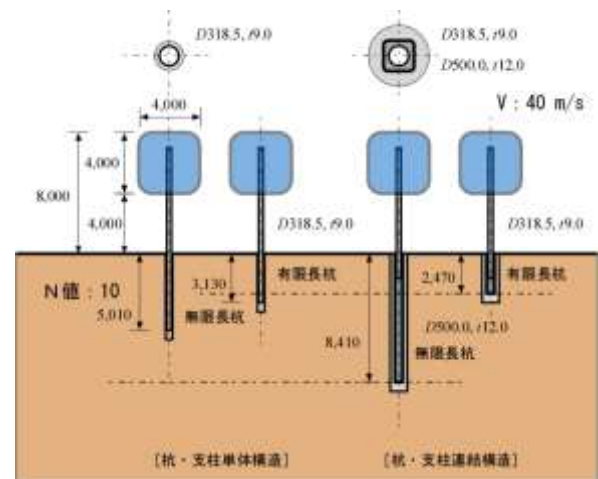


図 2 工法と杭長算出方法による比較

において有限杭長公式を用いることの効果は明らかであり、特に杭・支柱連結構造においては杭長が 30% 程度に短縮できることが分かった。

6. まとめ

荷重が小さく地盤条件が良い場合には杭・支柱単体構造が有利な場合があるが、それ以外では、杭・支柱連結構造の方が、設計のみならず施工においても優位性が高いと言える。また、杭・支柱連結構造では有限長杭公式を用いることは必須であることを示すことができた。

参考文献：

- 1) 三浦, 橋場, ソムチット (2013) “水平荷重を受ける柱－杭一体構造の層状地盤における重複反射解析法による設計”, 土木学会中部支部研究発表会
- 2) 三浦, 松田, 鈴木, 小野, 小林 (2019) “宅地開発に適用する杭基礎パネル式擁壁の応答関数法を用いた設計試算” 地盤工学シンポジウム (中部)