

切削式杭基礎パネル擁壁の施工法と試算

豊橋技術科学大学 学生会員 ○東洗成, 澤木達也, 正会員 三浦均也, 松田達也
 (株)サインファースト 非会員 栗田和博, (株)岡三リビック 正会員 小浪岳治

1. はじめに

既往の擁壁建設では地山を一度掘削するため、既存の地山の一体性、剛性、強度が減少し、土圧が増大してしまうこと、また斜面の傾斜による裏込め土転圧施工により用地を有効利用することができず、交通の制約に対応できないなどの問題点があった。一方、切削式杭基礎擁壁では、地山を切削することで、それらの問題点を改善することができる。本研究では切削杭基礎擁壁とその上部に多数アンカー擁壁などを構築する複合構造について、その特徴や施工法、設計法を確認し、試設計を行うことでその適用可能性について検討する。土圧を受ける杭基礎の設計は通常、杭の無限長を仮定したChangの公式を用いるが、ここでは非線形応答関数を用いた方法を採用した¹⁾。その対比は次節で、看板の設計例を用いて簡単に紹介する。

2. 無限長公式と有限長公式の比較検討

外力を風荷重とする看板を試設計し、無限長公式と有限長公式の比較検討を行った。作用外力は豊橋市の設計風速32(m/s)を基に設定した。看板の構造形式は一本の角型鋼管で支柱・杭を構成するPsM、支柱に対し100mm外径の大きい角型鋼管杭を接合するPsPsMの二種類を使用した。試計算のケースは表2.1と地盤のN値5、10と角形鋼管周り1mmの腐食の有無での96ケースである。

表2.1 作用荷重と作用位置

| 曲げモーメント | 水平荷重P | | | | | | |
|---------|-------|------|------|------|------|------|-----|
| | 5KN | 10KN | 15KN | 20KN | 25KN | 30KN | |
| 作用高さ | 12m | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| | 9m | 45 | 90 | 135 | 180 | 225 | 270 |
| | 6m | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
| | 3m | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 |

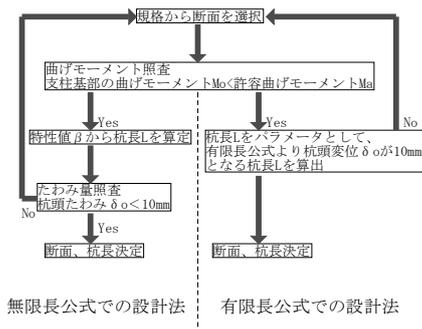


図2.1 看板設計のフローチャート

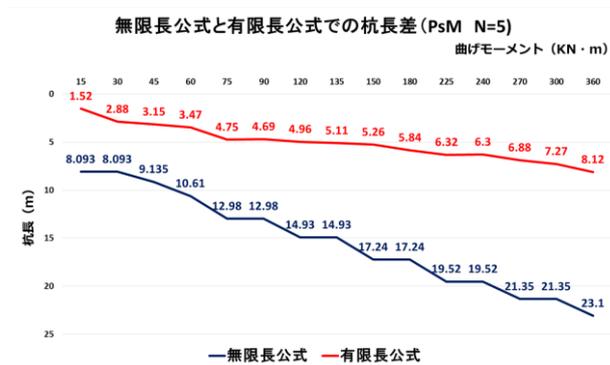


図2.2 無限長公式と有限長公式杭長比較

表2.2 腐食の有無での杭長比較 (有限長公式)

| D=φPsM Resting(有限長) | 高さ | 荷重 | | | | | |
|---------------------|----------|------|------|------|------|------|------|
| | | 5kN | 10kN | 15kN | 20kN | 25kN | 30kN |
| 12m | Not rust | 2.69 | 4.13 | 5.34 | 6.3 | 7.27 | 8.12 |
| | rust | 2.7 | 4.19 | 5.45 | 6.44 | 7.5 | 8.43 |
| 9m | Not rust | 2.3 | 3.41 | 5.11 | 5.84 | 6.32 | 6.88 |
| | rust | 2.31 | 3.43 | 5.35 | 6.05 | 6.46 | 7.03 |
| 6m | Not rust | 1.89 | 2.91 | 3.65 | 4.96 | 5.26 | 5.56 |
| | rust | 1.89 | 2.93 | 3.68 | 5.13 | 5.35 | 5.62 |
| 3m | Not rust | 1.38 | 2.08 | 2.74 | 3.47 | 3.82 | 4.69 |
| | rust | 1.38 | 2.09 | 2.75 | 3.51 | 3.86 | 4.79 |

試算結果から、有限長公式では無限長公式の約30~40%が必要杭長となった。また、腐食がある場合断面が小さくなるため、有限長公式では杭長を長く設計しなければならないが、無限長公式では特性値βの影響により、杭長は短く算出されるという不合理な結果が得られた。

3. 切削杭基礎擁壁の概要と施工方法

切削杭基礎擁壁は複数のH形状支柱のフランジ部をレールとして切削パネルを降下させることで地山を切削し、その前面に壁面パネルを取り付ける擁壁構築方法である。施工工程は①支柱立設工程、②切削パネル圧入工程、③壁面パネル構築工程、④充填剤投入工程、⑤切削パネル撤去工程の順に施工していく。

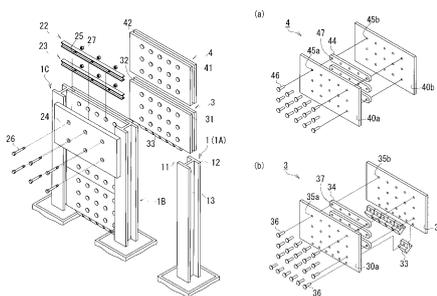


図3.1 切削杭基礎擁壁の構造

4. 切削式杭基礎擁壁の試設計条件

擁壁の設計をする際の構造はH形鋼の支柱に100mm以上外径の大きい角型鋼管杭を接合するPsPsM形式とする。杭に鋼種はSTK-400角型鋼管を使用する。許容応力は支柱、杭ともに140N/mm²とし、許容たわみ量は杭頭で杭径の5%、擁壁天端で壁高の5%とする。また、地盤は湿潤重量 $\gamma_t=19\text{KN/m}^3$ 、内部摩擦角 $\phi=30(\text{deg})$ 、壁面摩擦角 $\delta=20(\text{deg})$ とし、粘着力はないものとする。試計算ケースは壁高H=2m、4m、6mと杭間隔B=1.5m、2.25m、3m、地盤条件N=3、5、10の27ケースとする。

5. 選択される杭基礎と支柱の比較検討

試設計方法を以下のフローチャートに示す。

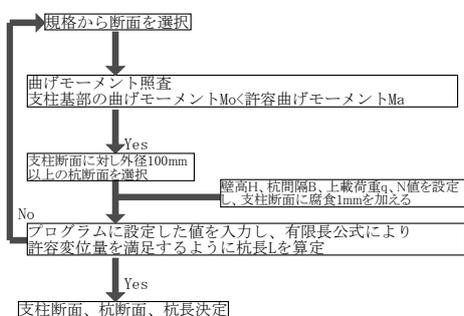


図5.1 擁壁設計のフローチャート

比較検討方法としては鋼材の規格から許容曲げモーメントを満たす最小の支柱H形鋼を選択し、その支柱H形鋼に対し100mm以上外径の大きい全ての角型鋼管の規格から杭長の計算を行い、支柱・杭の総重量が最小となるケースを検討、また複合構造において上部擁壁の構築可能壁高を検討した。計算結果において、変位量の許容値を満足しなかったケースについては斜線で示す。

表5.1 重量比較 (N=3,5,10)

| N値 | 3 | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2 | | 3 | | 4 | |
| 壁高 H (m) | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 |
| 杭間隔 B (m) | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 |
| 支柱 | H 150 | H 175 | H 200 | H 300 | H 350 | H 350 |
| 杭 | Ps 300 | Ps 300 | Ps 300 | Ps 500 | Ps 500 | Ps 550 |
| 杭長 (m) | 2.9 | 3.35 | 4.9 | 4.5 | 6.8 | 8 |
| 全重量 m (kg) | 203.8 | 280.0 | 389.9 | 1051.5 | 1585.3 | 2251.3 |

| N値 | 5 | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2 | | 3 | | 4 | |
| 壁高 H (m) | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 |
| 杭間隔 B (m) | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 |
| 支柱 | H 150 | H 175 | H 200 | H 300 | H 350 | H 350 |
| 杭 | Ps 250 | Ps 300 | Ps 300 | Ps 400 | Ps 500 | Ps 500 |
| 杭長 (m) | 1.85 | 2.25 | 2.8 | 3.8 | 4.2 | 5.55 |
| 全重量 m (kg) | 160.8 | 219.9 | 274.9 | 848.2 | 1228.8 | 1413.9 |

| N値 | 10 | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2 | | 3 | | 4 | |
| 壁高 H (m) | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 |
| 杭間隔 B (m) | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 |
| 支柱 | H 150 | H 175 | H 200 | H 300 | H 350 | H 400 |
| 杭 | Ps 250 | Ps 300 | Ps 300 | Ps 400 | Ps 450 | Ps 500 |
| 杭長 (m) | 1.25 | 1.4 | 1.7 | 1.95 | 2.8 | 3.45 |
| 全重量 m (kg) | 128.2 | 173.4 | 214.7 | 701.9 | 997.2 | 1077.2 |

表5.2 複合構造上部擁壁の壁高(H=1,2,3)

| 壁高H(m) | 3 | | | | | | 5 | | | 10 | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1.5 | | 2.25 | | 3 | | 1.5 | | 2.25 | | 3 | |
| 杭間隔 B (m) | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 |
| 支柱 | H 175 | H 150 | H 150 | H 250 | H 250 | H 250 | H 300 | H 400 | H 300 | H 400 | H 300 | H 300 |
| 杭 | Ps 300 | Ps 250 | Ps 250 | Ps 350 | Ps 350 | Ps 350 | Ps 400 |
| 上載荷重 q (KN/m ²) | 120 | 50 | 30 | 270 | 180 | 130 | 600 | 400 | 290 | 600 | 400 | 290 |
| 杭長 (m) | 5.10 | 4.85 | 3.45 | 5.40 | 5.75 | 5.35 | 5.55 | 6.70 | 5.15 | 6.70 | 5.15 | 5.15 |
| 上部擁壁の高さh(m) | 9.32 | 2.89 | 1.58 | 14.21 | 9.47 | 6.84 | 91.58 | 21.05 | 16.26 | 91.58 | 21.05 | 16.26 |

| 壁高H(m) | 2 | | | | | | 5 | | | 10 | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1.5 | | 2.25 | | 3 | | 1.5 | | 2.25 | | 3 | |
| 杭間隔 B (m) | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 |
| 支柱 | H 250 | H 250 | H 200 | H 300 | H 300 | H 300 | H 400 | H 400 | H 400 | H 414 | H 414 | H 414 |
| 杭 | Ps 350 | Ps 350 | Ps 300 | Ps 400 | Ps 400 | Ps 400 | Ps 500 | Ps 500 | Ps 500 | Ps 550 | Ps 550 | Ps 550 |
| 上載荷重 q (KN/m ²) | 80 | 40 | 10 | 140 | 80 | 60 | 300 | 190 | 250 | 340 | 250 | 250 |
| 杭長 (m) | 5.20 | 6.75 | 4.90 | 6.05 | 6.80 | 5.80 | 7.25 | 8.20 | 7.90 | 7.25 | 8.20 | 7.90 |
| 上部擁壁の高さh(m) | 9.18 | 2.11 | 0.53 | 7.37 | 4.74 | 3.16 | 26.84 | 17.89 | 13.16 | 26.84 | 17.89 | 13.16 |

| 壁高H(m) | 3 | | | | | | 5 | | | 10 | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1.5 | | 2.25 | | 3 | | 1.5 | | 2.25 | | 3 | |
| 杭間隔 B (m) | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 | 1.5 | 2.25 | 3 |
| 支柱 | H 300 | H 350 | H 300 | H 350 | H 350 | H 350 | H 428 | H 428 | H 414 | H 428 | H 428 | H 414 |
| 杭 | Ps 400 | Ps 500 | Ps 500 | Ps 450 | Ps 450 | Ps 450 | Ps 550 |
| 上載荷重 q (KN/m ²) | 40 | 40 | 10 | 90 | 80 | 30 | 300 | 190 | 130 | 300 | 190 | 130 |
| 杭長 (m) | 6.65 | 7.10 | 5.65 | 6.05 | 5.85 | 5.80 | 7.45 | 7.20 | 6.55 | 7.45 | 7.20 | 6.55 |
| 上部擁壁の高さh(m) | 2.11 | 2.11 | 0.53 | 4.74 | 2.63 | 1.58 | 15.79 | 10.00 | 6.84 | 15.79 | 10.00 | 6.84 |

試計算の結果、安定した地盤では許容曲げモーメントを満たす最小のH形鋼支柱断面に対し、100mm外径の大きな角型鋼管杭または100mm以上外径の大きいもののうち規格が最小のものを使用することで鋼材の重量を最小化できる。限界壁高はN値3で4m、N値5で6m、N値10は7mとなった。複合構造では切削式杭基礎擁壁が1mでは上部擁壁壁高は31.58m、2mでは26.84m、3mでは15.79mとなった。複合構造とすることで構築できる壁高は拡大し、他の擁壁と比較しても構築可能な壁高に関して優れている。

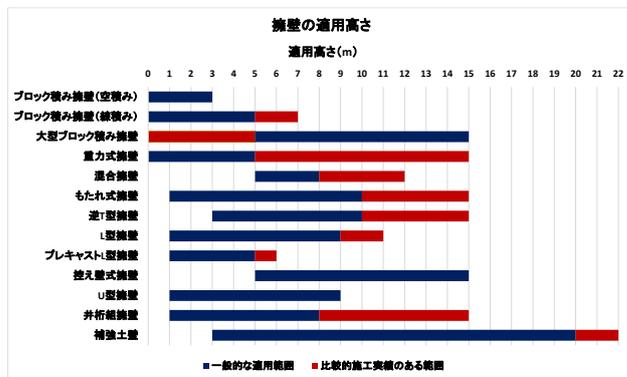


図5.2 擁壁の適用高さ

6. おわりに

本研究では、切削式で施工可能な杭基礎パネル擁壁の施工法とその試算について検討した。擁壁を複合構造とした場合も含めて設計可能な限界高さなどを明らかにすることができた。

参考文献

- 1) 三浦均也, 松田達也, 吉野貴仁, 高木翔太 (2016); 横荷重を受ける杭の応答関数を用いた非線形解析手法, 平成27年度土木学会中部支部研究発表会