

杭状盤ぶくれ対策時の三次元解析による掘削底面の安定性検討

Three-Dimensional Analysis on Heaving in Unique Countermeasure Using Piles Installed

中川勲治^{※1}

Kunji Nakagawa

森永利行^{※1}

Toshiyuki Morinaga

小林薰^{※2}

Kaoru Kobayashi

北島孝義^{※1}

Takayoshi Kitajima

阿保寿郎^{※2}

Toshiro Abo

岡本真次^{※1}

Shinji Okamoto

福島博司^{※1}

Hiroshi Fukushima

福島浩人^{※1}

Hiroto Fukushima

【キーワード】 土留め 盤ぶくれ 対策工 掘削 三次元解析

1. はじめに

開削工事において、掘削底面の盤ぶくれに対する安定性確保は重要な検討課題の1つである。盤ぶくれの安定性を検討する際には、抵抗力として土塊重量だけでなく土留め壁と地盤との摩擦抵抗を考慮する方法などがある¹⁾。

より経済的に盤ぶくれ対策工を実施するために、地盤と場所打ち杭との周面摩擦力を揚圧力に対する抵抗力要素の1つと考える設計・検討法が考えられる。

本報文では、盤ぶくれに対する掘削底面の安定性について三次元弾性有限要素法(以下、3D-FEMと記す)による解析的検討に基づく、杭状盤ぶくれ対策工の照査手法の紹介を行う。

2. 杭状盤ぶくれ対策工の概要と盤ぶくれ検討式

杭状盤ぶくれ対策工は、道路下の開削工事では一般的に多用されている中間杭を活用し、中間杭と地盤との周面摩擦力を揚圧力に対する抵抗力要素として取り入れ、盤ぶくれに対する掘削底面の安定性を確保するものである。

通常の中間杭は、上載荷重に対して支持力を得る長さのみで設計されている。この場合には、図-1(i)に示すように、盤ぶくれ対象となる難透水層の浮き上がりが生じた場合、揚圧力に対抗できず、中間杭も運動した変位挙動を示すことになる。このため、盤ぶくれに対抗するための杭(以下、対策杭と記す)として周辺地盤との周面摩擦力を抵抗力要素の1つとして考慮することができない。このことから、図-1(ii)に示すように中間杭の先端部は、難透水層を貫通させ、下部に位置する被圧帶水層まで深く貫入させることで、揚圧力が作用した場合でも難透水層とともに、対策杭が運動した浮き上がり挙動を生じないようにした。

対策杭を用いた場合の検討式²⁾は、式(1)に示す左辺第2項に対策杭と周辺地盤との周面摩擦力(以下、C₁'と記す)を加算し安定性を検討する。

$$\frac{W}{F_1} + \left(\frac{C_1}{F_2} + \frac{C_1'}{F_2'} \right) + \frac{C_2}{F_3} \geq U \quad (1)$$

ここに、W : 掘削底面～難透水層下面までの土塊重量(kN)

C₁ : 土留め壁と周辺地盤との周面摩擦力(kN)

C₂ : 地盤(難透水層)のせん断力(kN)

C₁' : 杭状盤ぶくれ対策杭と周辺地盤との周面摩擦力(kN)

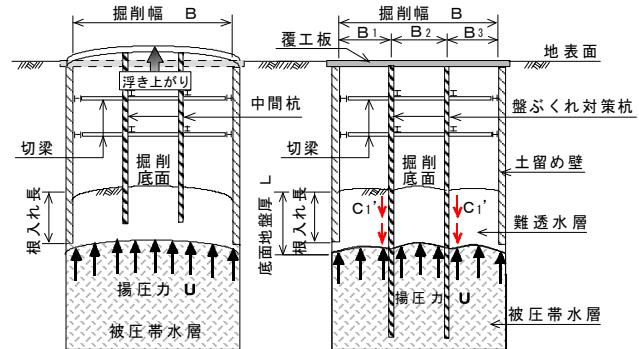
U : 難透水層下面に作用する揚圧力(kN)

F₁ : Wに対する安全率

F₂ : C₁に対する安全率

F₃ : C₂に対する安全率

F₂' : C₁'に対する安全率



(i) 一般的な中間杭

(ii) 盤ぶくれ対策としての中間杭

3. 掘削底面地盤の安定性の解析的検討

掘削幅Bを難透水層の厚さと等しい底面地盤厚Lで除したB/L(以下、B/Lと記す)が、2~3を超える場合には、曲げやせん断による破壊に対する検討を必要とするが、現状では、明確に検討方法が確立されていない。よって、B/Lを1以下に抑えることで、難透水層の曲げ破壊やせん断破壊に対する検討は必要ないと考えられ²⁾、対策杭と地盤との周面摩擦力を抵抗力要素の1つとして考慮する場合の適用条件は、① B/Lを1以下 および② 対象地盤である難透水層のN値を3以上 と定めた。

なお、対策杭を施工した場合の掘削幅Bについては、図-1(ii)に示すようにB1、B2及びB3の内、最大幅

※1 中日本土木支社 大阪土木事業部 ※2 技術研究所

を用いてB/Lを算定するものとした。以下には、3D-FEMで対策杭を用いた場合の掘削底面の安定性に関する解析の照査結果について示す。

図-2は、対策杭の平面的な配置を示す。断面方向打設間隔(以下、間隔aと記す)と奥行き方向打設間隔(以下、間隔bと記す)で示す対象領域(斜線)の、実施工時の底面地盤厚Lを10mとしてモデル化した³⁾。

底面地盤厚比B/Lが1.0となる図-3(i)に示す基準連続壁モデルにおいて、掘削幅Bと中央部の最大浮き上がり量δにより算出される曲率を基準曲率とする。図-3(ii)の対策杭モデルで示す間隔aと間隔bは、対象領域と、この領域の最大浮き上がり量で決まる曲率(1/R)が基準曲率以下となるように求める。なお、3D-FEMによる検討では、杭状盤ぶくれ対策工(通常は中間杭)の間隔bを2.5mとし、比較用にその半分の1.25mでも検討した。

解析時の境界条件は、対策杭と周辺地盤を完全定着とし、各節点は表-1に示す通りとする。表-2は、間隔aと間隔bをパラメータとして実施した解析ケース一覧を示す。また、3D-FEMは、地盤を、ポアソン比νを0.33とする均質な弾性体と仮定し、対象とする掘削工事で実施された試験調査結果を基に、設定した表-3で示す地盤物性値および揚圧力U=250kN/m²を用いた³⁾。揚圧力は、難透水層下面全面に等分布荷重として上向きに作用させている。

図-4は、基準連続壁モデル(case1)と代表的な対策杭モデル(case6)における揚圧力が難透水層下面に作用した場合の難透水層の浮き上がり変位分布図を示す。case6の分布図では、側面部の奥行き方向の杭間部分にも浮き上がり変位が発生していることがわかる。

図-5は、杭状盤ぶくれ対策工の間隔aをパラメータとして算定した掘削底面の曲率1/Rを示す。杭状盤ぶくれ対策杭モデルによる掘削底面の曲率1/Rを基準曲率以下にするためには、間隔bが2.5mの際は、間隔aは7.5m以下になる。また、参考として実施した間隔bが1.25mの際は、間隔aが10mでも基準曲率以下であった。

以上より、今回の条件においては、杭状盤ぶくれ対策工を施工した場合に掘削底面の安定性(基準曲率以下)を確保するために、間隔bが2.5mの際は、間隔aを7.5m以下にする必要があることがわかる。

4.まとめ

杭状盤ぶくれ対策工を実工事に採用した事例を用い、盤ぶくれに対する安定性についてその検討手法を示した。今後、現場計測データ等の蓄積を図り、経済性や合理性の高い本対策工の展開・活用を図って行きたい。

【参考文献】

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書 開削工法・同解説, pp. 149-150, 2006.
- 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説—開削トンネルー, 丸善, pp. 208-211, 2001.
- 3) 近久博志, 小林薰, 松元和伸, 松島洋, 阿部幸雄：地下駅建設時の掘削に伴う中間杭を活用した盤ぶくれ対策工の設計・施工と計測管理, とびしま技報(土木), No. 49, pp. 131-143, 1999.

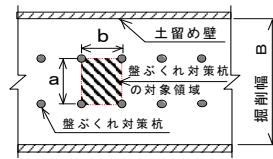
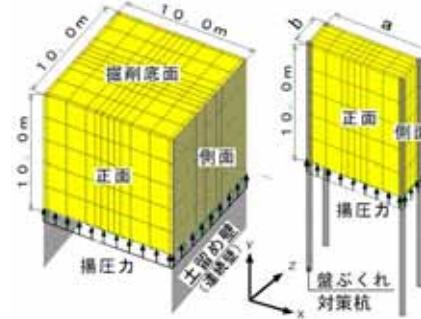


図-2 対策杭の平面的な配置イメージ



(i)基準連続壁モデル (ii)対策杭モデル
図-3 解析モデルと作用荷重の概要図

表-1 解析モデルの境界条件一覧

モデル名	側面	正面と背面
基準連続壁モデル	両側面に位置する節点 ■ X, YおよびZ方向: 固定	正面と背面に位置する節点 ■ X, YおよびZ方向: 自由 ■ Z方向: 固定
盤ぶくれ対策杭モデル	①4辺上に位置する節点 ■ X, YおよびZ方向: 固定 ②その他側面に位置する節点 ■ X方向: 固定 ■ Y方向, Z方向: 自由	正面と背面に位置する節点 ■ X, Y方向: 自由 ■ Z方向: 固定

※1) Y方向は上向き, Z方向は奥行き方向である。

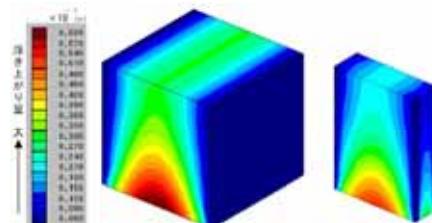
表-2 解析ケース一覧

ケース名	解析モデル	揚圧力 U (kN/m ²)	底面地盤厚 L(m)	奥行きピッチ b(m)	施工幅 a(m)
case1	連続壁モデル		10.0	10.0	10.0
case2				5.0	
case3				7.5	
case4	盤ぶくれ 対策杭モデル	250	10.0	10.0	
case5				5.0	
case6				7.5	
case7				10.0	

表-3 解析に用いた地盤物性値

	単位	難透水層 (Tos3層)
単位体積重量 γ_t	kN/m ³	16.7
変形係数 E	kN/m ²	54,000
ポアソン比 ν	-	0.33

注)孔内水平載荷試験結果により得られた変形係数を6倍(深い掘削土留工設計法より)



(i)基準連続壁モデル (ii)盤ぶくれ対策杭モデル
図-4 難透水層の浮き上がり変位分布図

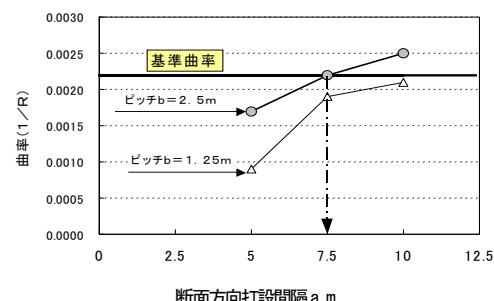


図-5 断面方向打設間隔aによる掘削底面地盤の曲率変化