

土留め壁背面に設置する水平水抜き孔の設計の考え方

清水建設株式会社 正会員 高坂信章
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 成田昌弘
清水建設株式会社 正会員 齋木 正

1. はじめに

降雨による水位変動の激しい地盤条件のもとで計画された開削工事において、水位変動により土留め壁に過剰な水圧がかかることが懸念された。過剰水圧の発生を防止することを目的として水平水抜き孔を壁外に設置し、水位上昇時のみこの水抜き孔から排水する工法を採用することにした。水抜き孔には、必要排水量が集水可能、必要とする水圧（水位）低減が土留め壁背面全体にわたり達成できる、という機能が要求される。設計にあたっては、水抜き孔の設置ピッチ、水抜き孔の長さ、径などを決定する必要がある。

本現場では、水抜き孔の設計にあたり三次元浸透流解析を実施して水抜き孔の仕様を決定した。設計の考え方を紹介するとともに、この結果をふまえた合理的な水平水抜き孔の設計手法について提案する。

2. 設計および解析の条件

解析は三次元浸透流解析プログラム(AC-UNSAF3D)¹⁾を用いて定常解析にて行った。解析モデルの概要を図-1に示す。降雨時に帯水層基盤面から9mまで水位上昇することが想定される不圧帯水層の水位を土留め壁面においては基盤面から6m以下に低下させなければ土留めの安定が保てない。この目的のために、基盤面から5.8mの高さに長さ L の水平水抜き孔をピッチ a で設置する。水抜き孔の径は $\phi 100\text{mm}$ を想定した。解析領域は、水抜き孔1本の分担範囲（＝水抜き孔設置ピッチ： a ）の半断面とし、土留め壁直角方向には影響圏距離100mをとった。境界条件として、解析領域端面ABCDは $H=9\text{m}$ の水位固定境界、側面ACGEおよびBDHFは対称面となるため不透水境界、土留め壁に相当するEFGHは不透水境界、また底面CDGHも不透水境界とした。水抜き孔出口に相当する節点において設置深度 $h_0=5.8\text{m}$ の水位固定境界とする。地盤の透水係数は $1 \times 10^{-1}\text{m/min}$ （ $=1.7 \times 10^{-1}\text{cm/sec}$ ）とし、水抜き孔に相当する要素の透水係数を $1 \times 10^3\text{m/min}$ （ $=1.7 \times 10^3\text{cm/sec}$ ）として水抜き孔の長さを表現した。

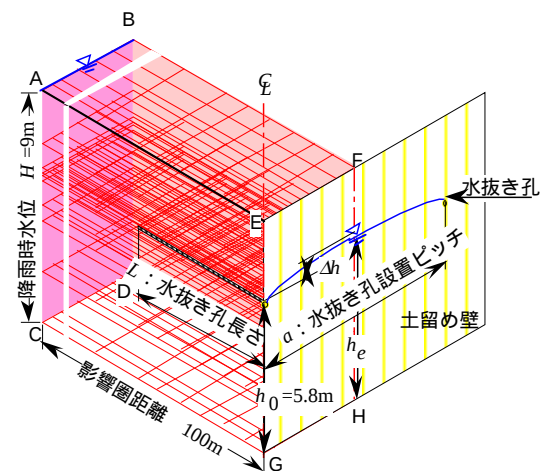


図-1 解析モデル、解析条件概要図

解析条件として、水抜き孔の設置ピッチ a を1.0、1.5、2.0、5.0、10.0m、水抜き孔の長さ L を0.5、1.0、2.0、5.0、10.0mと変化させて水位低下状況、水抜き孔排水量を算定した。

3. 解析結果

解析結果として、水抜き孔間の中間点（土留め壁への最大水圧が作用するFH線上）の水位 h_e と水抜き孔出口水位 h_0 との差 Δh を整理する。図-2には設置ピッチ a と Δh の関係を示した。 a が大きくなるにしたがい a の0～1乗項に比例して Δh が大きくなる。図-3には水抜き孔長さ L と Δh の関係を示した。 L が大きくなるにしたがい

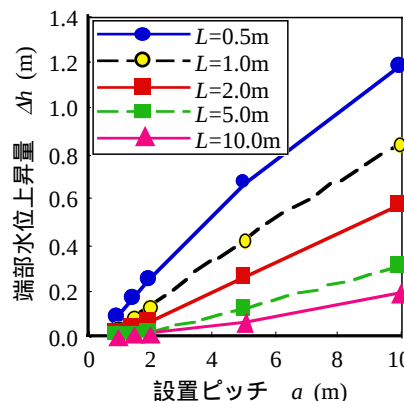


図-2 設置ピッチと端部水位上昇量の関係

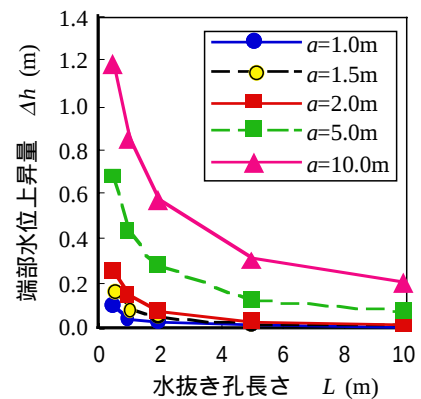


図-3 水抜き孔長さと端部水位上昇量の関係

い L の-1~0 乗項に比例して Δh が小さくなる。

図-4 には設置ピッチ a と水抜き孔 1 本あたりの排水量 Q の関係を示した。 a が大きくなるほど Q が大きくなる。また、 L が短いときほど Q は少なく、 a が大きいときほどこの差は顕著である。この関係は、

$$Q = (0.003 \ln(L) + 0.022) a \quad (1)$$

により表される。

4. 水平水抜き孔の設計

解析結果より、端部水位上昇量 Δh は、

$$\Delta h = \alpha \frac{a^\beta}{L^\gamma} \quad (2)$$

により近似できる。 α, β, γ は定数である。試行錯誤的に求めた $\alpha = 0.098, \beta = 0.92, \gamma = 0.53$ を用いて解析結果を整理すると図-5 となる。(2)式を変形すると端部水位を設計水位内におさめるために必要な水抜き孔の長さ L_1 は設置ピッチ a の関数として、

$$L_1 = \left(\frac{\alpha}{\Delta h} a^\beta \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (3)$$

と表される。 $\Delta h < 6.0 - 5.8 = 0.2\text{m}$ および α, β, γ の諸数値を代入すると、

$$L_1 = 0.26 a^{1.74} \quad (4)$$

となる。一方、水抜き孔で必要排水量を集水するためには流入流速 v が限界流速 v_c 以下でなければならない。限界流速として層流から乱流への遷移流速に関するものと、地盤中の土粒子の移動開始に関するものがある。透水係数 $k = 1.7 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ の地盤では、層流から乱流への遷移流速が支配的であり、その値は $v_c = 0.22 \text{cm/sec} = 0.13 \text{m/min}$ 程度である²⁾。(1)式で表される水抜き孔 1 本あたりの排水量 Q を水抜き孔の表面積 $A = 2\pi r_w L$ ($r_w = 0.05\text{m}$: 水抜き孔の半径) で除した流入流速は、

$$v = \frac{(0.003 \ln(L) + 0.022) a}{2\pi r_w L} \leq v_c = 0.13 \quad (5)$$

となる。したがって、必要排水量を集水するための必要水抜き孔長さ L_2 は、次式の関係を満たす必要がある。

$$\frac{0.26\pi r_w L_2}{0.003 \ln(L_2) + 0.022} = a \quad (6)$$

(4)式および(6)式で表される必要水抜き孔長さを設置ピッチとの関係で図示すると図-6 になる。採用すべき水抜き孔の長さ L は L_1 および L_2 の大きい方である。 L を設置ピッチ a でわった値 l (単位奥行きあたりの必要水抜き長さ) を図-6 に併示した。 a が小さいときは L が限界流速により決定され、 $a-L$ はほぼ比例関係にあるため、 a の増加による l の増加量は比較的小さい。 a が大きくなると L が端部水位上昇量により支配され、 a の $\beta/\gamma = 1.74$ 乗に比例するため、 a の増加による l の増加率は a が小さい場合と比較して大きくなる。したがって、設置ピッチは a が小さい範囲で施工が効率的に行える値を選定すればよく、今回の事例では 3m 程度が妥当と考えられる。

5. おわりに

本報告では、水抜き孔の長さや設置ピッチにより水抜き孔間の水位の盛り上がりがどのように変化するかを評価して、これを考慮した水抜き孔長さの設計式を提案した。また、水抜き孔流入部の限界流速という観点から決定される必要水抜き孔長さとの比較により、合理的な水抜き孔設計法を提案した。

今後、これらの一般化をはかり数値解析を行わずに設計ができる体制としたい。

【参考文献】

- 1) 西垣誠、進士喜英：- AC-UNSAF3D - プログラム解説およびユーザーマニュアル、地盤工学会中国支部,1999.
- 2) 高坂信章：井戸の限界揚水量に関する考察、第 35 回地盤工学研究発表会、(投稿中)。

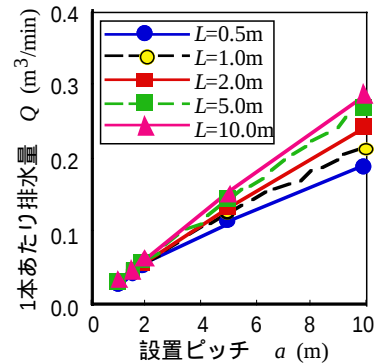


図-4 設置ピッチと排水量の関係

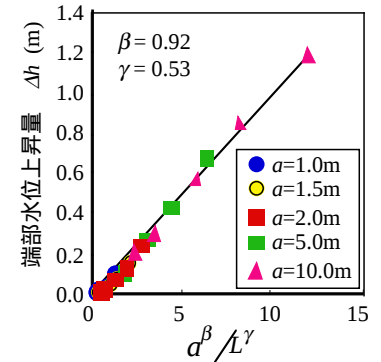


図-5 端部水位上昇量のまとめ

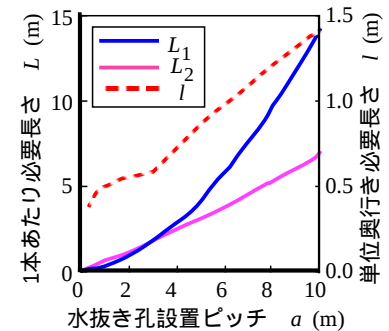


図-6 設置ピッチと必要長さの関係