

特殊バキュームウェル工法に関する数値解析法の提案と設計事例の紹介

株式会社エーバイシー 正会員 ○植松 祐亮
 株式会社エーバイシー 正会員 本多颯治郎
 株式会社エーバイシー 飯田 健一

1. はじめに

特殊バキュームウェル工法は、2000年頃から実際の現場において多用されている地下水位低下工法の一つである。特殊バキュームウェル工法の内、ウルトラディープ工法（以下“UD工法”とする）は、井戸の内部を真空にして排水を行なうことで地下水位の低下に対して威力を発揮するが、反面、水位低下に伴う沈下障害等、周辺地山に与える影響も大きい。一般に、土留め壁を用いた掘削工事では、排水量と土留め壁の根入れ長さは密接に関係しており、従前よりこれらを考慮出来る解析法が望まれていた。本論では、真空排水による負圧を考慮出来る、有限要素法の飽和-不飽和浸透流解析の方法を提案するとともに、実施設計を行なった事例を紹介する。

2. UD工法の概要

UD工法の特長は以下のとおり。①空気を吸引せず水だけを透す特殊スクリーンの開発により、大深度からの揚水が可能。②井戸ロスの低減と真空効果で地下水位低下量と影響圏半径が拡大し、揚水能力が増大。③揚水能力の増大に伴う揚水井戸本数の減少効果により、経済性が向上。④土留め壁内部の揚水に採用した場合、土留め壁背面の地下水位低下量の抑制が可能。（実質的に土留め壁内部に限定した地下水位低下が可能。）

これらの特長により、従来のディープウェル工法（以下“DW工法”とする）では排水困難であった、定水位の境界に近い場合の工事でも採用可能となり、周辺地盤の沈下障害の抑制効果も期待できる。図-1にUD工法の標準構造図を示す。

3. 解析プログラムの改良

1) 基礎方程式

図-2に示す微小立方体において、立方体を水流が通過する時の各成分をxyz直交座標の三成分に分割して整理する。微小立方体の水の収支は、質量保存則とダルシーの法則に基づくと、式(1)で表される。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - q = \left(\beta S_s + \frac{d\theta}{dh} \right) \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{式(1)}$$

K: 透水係数 h: 全水頭 q: 外部の流量(降雨, 揚水など)

β : $\beta=0$ (微小立方体が不飽和領域), $\beta=1$ (微小立方体が飽和領域)

S_s : 比貯留係数 $d\theta/dh (=d\theta/d\phi)$: 比水分容量 ϕ : 圧力水頭

2) プログラムの改良

筆者らは、複雑な境界条件や地盤条件に対する対応や3次元解析への拡張性を考慮し、解析プログラムは有限要素法によるものとした。ここでは、飽和-不飽和浸透流解析プログラムAC-UNSAF¹⁾を改良して使用している。

ここで、UD工法による揚水は、吸水部に大きな負圧($h < 0$)を与えることになる。飽和-不飽和領域を扱う浸透流解析では、負圧領域は不飽和として扱われる。しかし、UD工法では特殊スクリーンを使用するため、吸水部分が

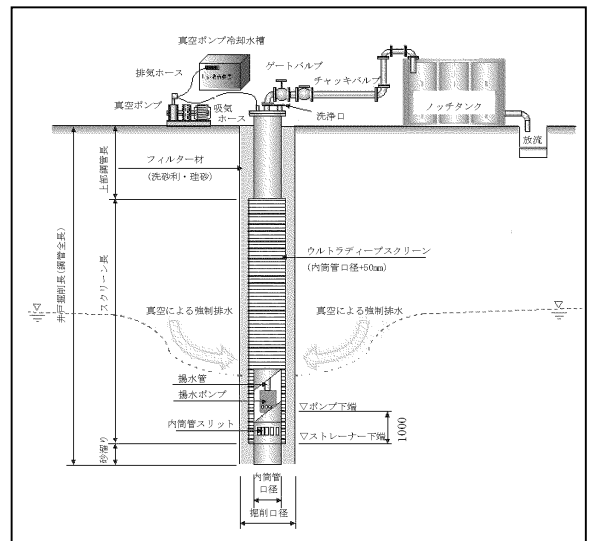


図-1 UD工法の標準構造図

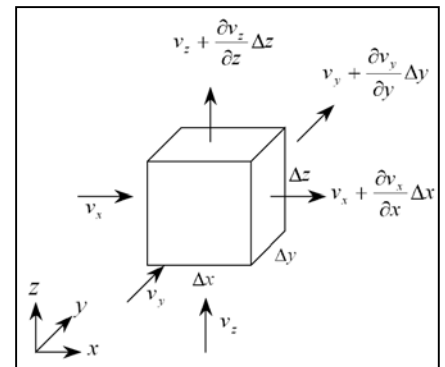


図-2 微小立方体

キーワード ウルトラディープ工法, 浸透流解析, 有限要素法

連絡先 〒530-0043 大阪府大阪市北区天満 1-19-4-6F TEL 06-6352-5663(代) E-mail ud@s-axc.co.jp

常に飽和状態にあると言える。したがって、吸水部の近傍は負圧であっても不飽和状態でないと考え、透水係数は飽和透水係数で処理を行なう。一方、低下する地下水面より上方は、不飽和の計算処理を行なう。

4. 設計事例

1) 工事概要

ここでは、仙台市の某浄化センター災害復旧工事における、排水工に UD 工法を採用した設計事例を示す。

本工事は、①既設構造物の撤去を行ない、②その後土留め壁を打設し、根切り工事を行なうものである。

施工場所は、河川や海などの定水位が周囲に存在する。そのため、地下水位が高く、掘削を行なうと大量の湧水が予想され、施工上の支障を生じる可能性があった。当初設計では釜場排水工法を適用し、工事区域内に 150 箇所もの釜場を設ける計画であった。しかし、既設構造物の撤去や躯体築造時の施工効率を高める必要があり、深井戸工法の検討を行なった。

2) 概略排水量の計算

掘削規模：200.0m×300.0m (60,000m²)

掘削深さ：撤去時 4.10m，築造時 13.00m

透水係数 Bn： $k=5.54 \times 10^{-5}$ m/sec

Ag： $k=3.39 \times 10^{-5}$ m/sec

Dc： $k=1.00 \times 10^{-8}$ m/sec

必要水位低下量：撤去時 2.00m，築造時 11.00m

予想井戸本数：DW 工法 28 本，UD 工法 6 本

井戸配置：土留め壁から 20m 離れた外周配置

3) 解析結果

掘削部分の水位低下量や排水量を検証するため、有限要素法による飽和-不飽和浸透流解析を行なう。解析モデルを図-4 に示す。解析プログラムは AC-UNSAF (改良版) を使用し、軸対称モデルを用いた。UD 工法において与える負圧は-0.6 気圧 (全水頭で-6.0m) とする。

撤去時の解析結果において、排水量は $Q_r=1.73\text{m}^3/\text{min}$ である。地下水位については、DW 工法・UD 工法ともドライワークが可能であることが確認された。

築造時の解析結果において、排水量は $Q_r=5.54\text{m}^3/\text{min}$ である。この排水量に対し、DW 工法の必要井戸本数は 28 本である。また、地下水位について、各工法を使用したときの掘削側の地下水の水面形状を図-5 に示す。DW 工法では、井戸を外周配置すると、掘削中央付近の地下水が低下しない。よって、DW 工法は採用困難と判断できる。また、図-6 に UD 工法を使用したときの地下水の水面形状を示す。UD 工法は、井戸を外周配置でドライワークが可能であることが確認され、施工上の障害はないと判断できる。

以上より、撤去時の井戸配置と井戸仕様で築造時の対応も可能であり、施工性等から総合的に判断し、本工事では UD 工法が採用された。現在、撤去工事、掘削工事が滞りなく終了し、躯体が築造されている。

5. 参考文献

1) 西垣誠，進士喜英，(仮)岡山地下水研究グループ：有限要素法による飽和不飽和浸透流解析 AC-UNSAF2D プログラム解説およびユーザーマニュアル，第 41 回実技セミナーテキスト「数値解析の理論と実務」，(社)地盤工学会関西支部，pp1-1-5～1-1-8，1999 年

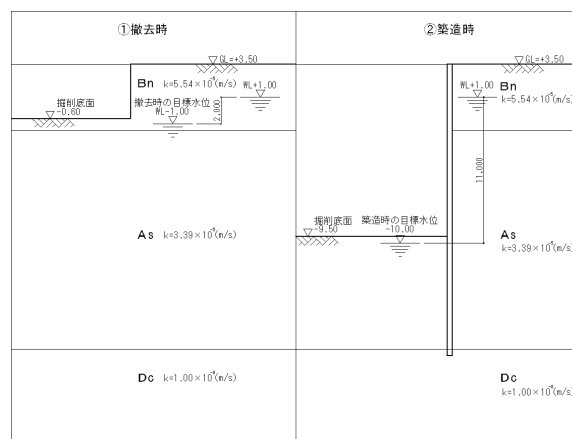


図-3 地盤条件，透水係数等

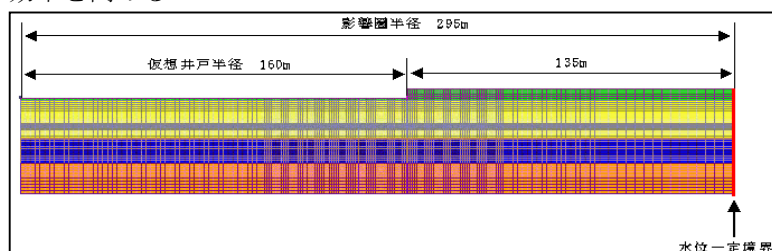


図-4 解析モデル図 (撤去時)

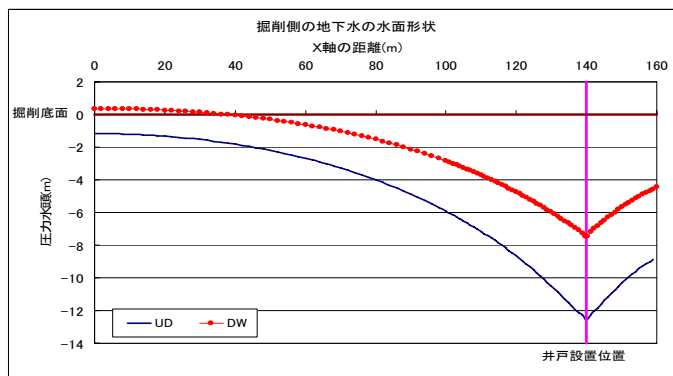


図-5 地下水の水面形状 (築造時)