

PID 制御を用いたバキュームディープウェルの揚水制御技術の開発

(株)大林組 正会員 ○山田 祐樹 森尾 義彦
(株)大林組 フェロー 山本 彰 西川 直仁

1. はじめに

都市部における開削トンネルや建築の地下掘削工事では、地下水位の上昇などもあり、地下水対策工が必須となっている。特に掘削の大深度化に伴い、高い被圧地下水を大きく低下させなければならない場合など、井戸本数が増加し、地下掘削工事の施工性に影響を与えかねない。筆者らは揚水効率を増加させることが可能なバキュームディープウェル工法に着目し、これまで改善・改良を行ってきた^{1), 2)}。

本報告では、揚水効率の改善方法として新たに開発した PID 制御を用いたバキュームディープウェルの揚水制御技術の概要について述べるとともに、その有効性を確認するために実施した大型模型実験結果について述べる。

2. 揚水制御技術の概要

一般に井戸内水位を制御する方法として電極等を用いた揚水ポンプの ON・OFF 制御があげられる。真空を併用したバキュームディープウェルにより揚水を行う場合、重力式揚水に比較して揚水量が増加するため、ON・OFF の繰り返しが頻繁になりポンプ等の故障につながりやすい。また、電極間隔を大きくすると、井戸内の水位変動が大きくなるため真空による効果が安定的に得られにくくなる等の問題がある。そのため、真空併用時に井戸内水位を一定に保つことが可能な揚水制御方法について検討を行った。

揚水制御技術の概要を図-1 に示す。揚水制御は、真空圧を計測する圧力計、大気圧補正機能を有する水位計、揚水流量の調整を行う電磁バルブならびに制御を行うシーケンサーで構成される。筆者は既往の実験¹⁾において、真空圧による補正を行うことにより真空併用時の井戸内水位を把握できることを確認している。揚水制御は、計測された真空圧と水位計の値をもとに井戸内水位を計算し、この井戸内水位が設定値となるように電磁バルブにより流量調整を行う方法とした。電磁バルブの制御には PID 制御を用いた。PID 制御とは、上記計算値と設定値の偏差に比例した出力を出す比例動作 (Proportional : 比例) と、その偏差の積分に比例する出力を出す積分動作 (Integral : 積分) と、偏差の微分に比例した出力を出す微分動作 (Differential : 微分) の三つの組合せにより制御を行う方式である。

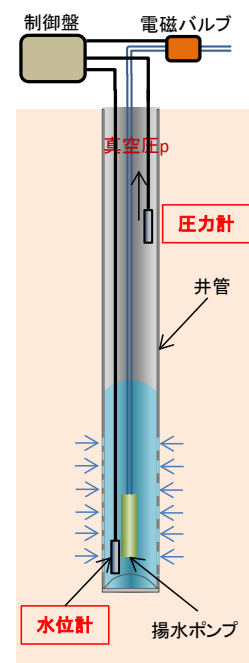


図-1 揚水制御技術の概要

3. 実験概要

(1) 実験土槽および模型地盤

揚水試験を実施するために幅 2.1m、高さ 2.35m、奥行き 8.3m の土槽を用いた。実験土槽の模式図を図-2 に示す。土槽端部には中詰め砂との間を有孔板で仕切り注水部を設置した。なお、注水部は水位一定境界となるように給水設備を設けている。模型地盤の作製には 7 号珪砂 (最大粒径 $D_{max}=0.425\text{mm}$ 、平均粒径 $D_{50}=0.155\text{mm}$) を用いた。地盤は空中落下法により作成

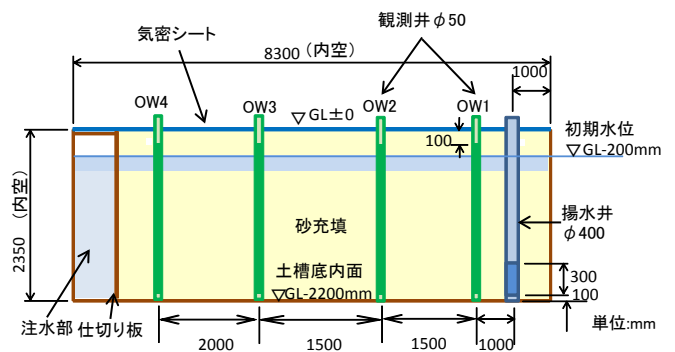


図-2 実験土槽の模式図 (断面図)

キーワード：ディープウェル，真空，制御

連絡先：東京都清瀬市下清戸 4-640 TEL. 0424-95-0910 FAX. 0424-95-0903

し、高さ 2.2m まで充填を行った。地盤作成直後の乾燥密度は $1.479\text{g}/\text{cm}^3$ であった。なお、模型地盤の作製後地表面には $t=1\text{mm}$ の塩化ビニールシートによって被覆し、気密性を保てる構造とした。

模型地盤には $\phi 400\text{mm}$ のバキュームディープウェルおよび $\phi 50\text{mm}$ の観測井を 4 本設置した。バキュームディープウェルならびに各観測井には圧力計および水位計を設置した。

(2) 実験方法

実験は同一の井戸を用いて重力式排水の場合（真空なし）および真空を併用した場合（真空あり）において、井戸内水位を一定とした揚水制御が可能かどうかの検討を行った。実験はまず真空なしの状態で 3 時間の連続揚水を行い、その後引き続き、真空を作用させ、真空ありの状態で 5 時間の連続揚水を行った。なお、実験中は真空の有無に関わらず揚水井内の水位を $\text{GL}-0.9\text{m}$ となるように水位制御を行った。

4. 実験結果

(1) 揚水井の水位制御

図-3 に揚水井内の圧力の経時変化を示す。圧力の経時変化より、180 分経過後から、揚水井内に真空圧が作用しているがわかる。揚水井内に作用している真空圧は平均で 45kPa 程度であった。図-4 に負圧補正を行った後の揚水井内水位の経時変化を示す。揚水開始直後ならびに真空を作用させた時点（180 分経過時）において井戸内水位が大きく低下あるいは上昇しているものの、その後時間の経過とともに設定水位となる $\text{GL}-0.9\text{m}$ 付近に収束しているのがわかる。

この結果から真空併用時にも井戸内水位を一定にコントロールできることが確認できた。

(2) 真空による効果

図-5 に各観測井における水位低下量を示す。真空の有無による水位低下量の違いが生じており、真空併用による地下水低下量の増加がみられるのがわかる。また、揚水量を比較すると重力式揚水時の揚水量は $3\text{L}/\text{min}$ 程度であったのに対し、真空併用後は $20\text{L}/\text{min}$ 程度となっており、真空を併用した水位制御により真空効果が得られることがわかった。

5. まとめ

新たに開発した PID 制御による揚水制御技術を用いたバキュームディープウェルにより、大型模型実験を行った。その結果、真空併用時において水位一定による揚水制御が可能であることを把握するとともに、真空併用による揚水能力の増大効果が得られることがわかった。

参考文献

- 1) 山田ら：ハイパーディープウェル工法の開発，大林組技術研究所報，No.77，2013
- 2) 西川ら：地下水汚染対策に適用するバキュームディープウェルの揚水試験，土木学会第 68 回年次学術講演会，pp. 167-168，2013

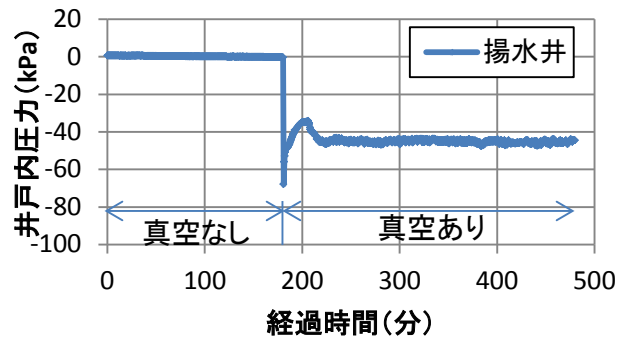


図-3 揚水井内圧力の経時変化

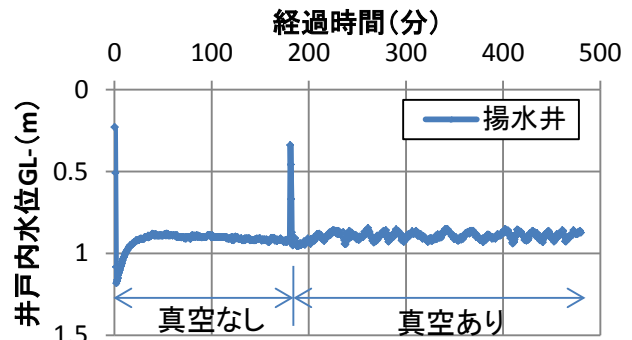


図-4 負圧補正後の揚水井内水位の経時変化

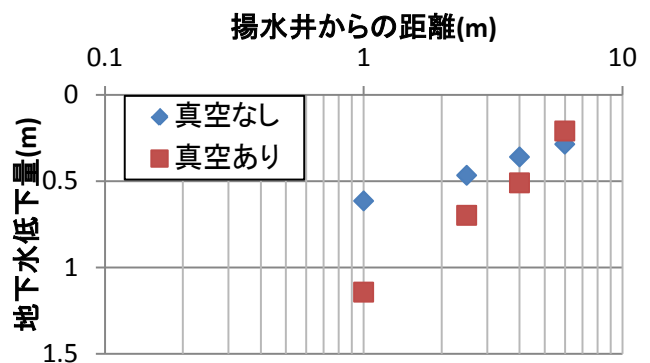


図-5 水位低下量の比較