

ディープウェル工法における地下揚水自動管理システム

—掘削工程に応じた地下水位の自動管理—

岩本 宏

地下掘削工事において、ドライワーク確保や盤膨れ防止を目的として地下水位低下工法の一つであるディープウェル工法を採用する場合があります。今回開発したシステムは、このディープウェル工法に高精度の水位管理機能を付加し、掘削工事の工程に応じて最適な水位低下を実現するものである。また、ディープウェル工法が仮設設備であることから、コスト面や運用面の容易さにも十分配慮したものとなっている。

さらに同システムを用いることにより、従来工法で過度の揚水を行った場合の山留め壁外側の周囲地盤への影響、すなわち井戸枯れや粘性土地盤の圧密といった問題にも細かく対応できるようになった。

キーワード：地下水位低下工法、地下掘削工事、ディープウェル、水位管理、自動管理、遠隔操作

1. はじめに

地下水が豊富な地域での建築工事における地下掘削では、ドライワーク確保や盤ぶくれ防止を目的として地下水位低下工法の一つであるディープウェル工法(図-1)を採用する場合があります。しかしながら従来は、ディープウェルからの配管途中に設けた手動バルブの調整では細かい水位管理ができないために、掘削工事にとって余裕を見込んだ安全側の開き具合で揚水量調整を行っているのが実情であった。

一方で過度の揚水は、山留め壁外側の周囲地盤への影響、すなわち井戸枯れや粘性土地盤の圧密といった問題を発生させる要因ともなっていた。

そこで今回、24時間自動でバルブ開き具合の調整を行い、各ディープウェル内の水位を設定水位どおりに維持するシステムを開発し、上述の問題を可能な限り軽減することとした。

2. 従来のディープウェル工法の問題点

従来も、ディープウェルからの配管途中に設けた手

動バルブの開き具合により流量調整を行うことで、ある程度の水位調整は可能であったが、細かい調整までは困難であった。これは以下の理由による。

図-2は実際のディープウェルにおいて、手動バルブの開き具合を一定に保ったまま揚水を開始した後のディープウェル内水位の変動を示している。

バルブの開き具合に応じたディープウェル内水位に収束するまでに相当の時間遅れを伴うことがわかる。さらに掘削工事エリアには通常複数本のディープウェルがあり、これら複数のディープウェルが互いに干渉しているので、手動バルブの調整でディープウェル内水位を細かく管理することは現実的には難しい。

また、バルブの開き具合が一定でも日変動・季節変動や地下水の取水・降雨といった外的環境の変化に応じてディープウェル内水位が変動する点がいっそう手動による水位管理を難しいものになっている。そのため従来は、余裕を見込んだ安全側のバルブ調整により、全掘削期間を通じて1回~数回の調整で済ませていた。

ところで、自動制御の試みが全く無かったわけではない。ディープウェル内の水位に上限・下限水位を定め、この間の水位を満足するように水中ポンプのオン・オフを繰り返す制御方式がある。ただ、地下水位をある深度以下で維持させたい真の領域は、ディープウェル

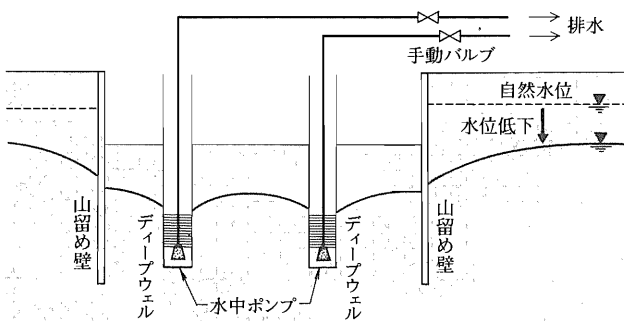


図-1 従来のディープウェル工法

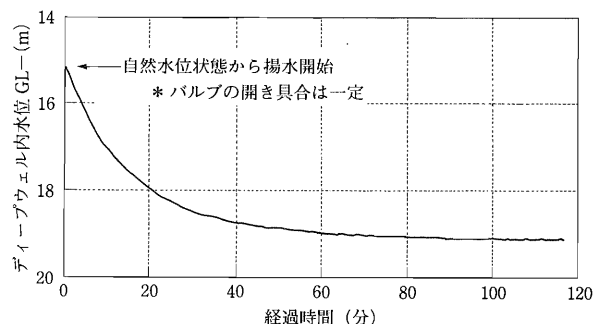


図-2 ディープウェルの時間応答性の一例

の中ではなくディープウェルの外側（かつ、山留め壁の内側）の水位である。

この水位を段階的に変化させるために、複数ディープウェル内の上限・下限水位を決めるのは容易なことではない。結局、余裕を見込んだ設定により、全掘削期間を通じて数回の調整で済ませるといった運用でしかなかった。

またインバータ制御可能な水中ポンプを用いることも考えられるが、ディープウェル工法では7.5 kW や11 kW クラスのポンプを用いることもあり、入手の容易さやコストの面を考えると一般的ではない。

3. 開発のねらい

(1) 目的

建築工事における地下水位低下工法の一つとして利用されているディープウェル工法に対し、水位管理機能を付加するシステムの開発を目的とした。

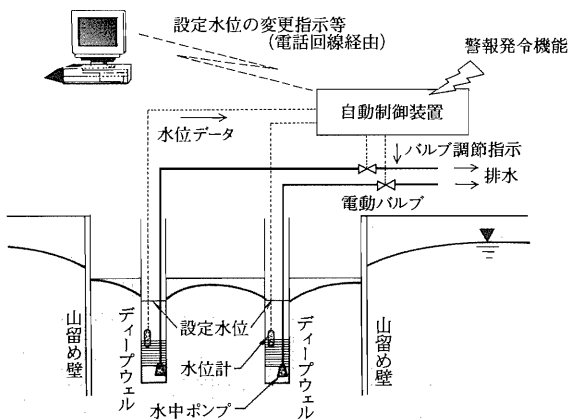
(2) 条件

前項の目的と、ディープウェル工法そのものが仮設設備である点を踏まえ、以下の条件のもとで開発した。

- ① 水位管理精度目標値：設定水位±10 cm 以内
- ② 水位設定指示等の日常管理が容易であること。
- ③ 消耗資材は入手・交換が容易なものであること。
- ④ 非常時の対応を十分考慮したものであり、必要であれば、いつでも従来の手法に戻せる機構であること。
- ⑤ 複数地点からのデータ収録が可能であること。

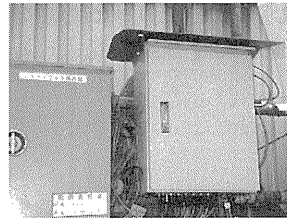
4. 揚水自動管理システムの概要

今回開発した揚水自動管理システムの概要を図—3

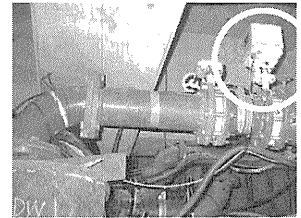


図—3 揚水自動管理システム

に示す。ディープウェル内部に投入した水位計のデータが作業所構内に設置した自動制御装置（写真—1）が読取る。自動制御装置はあらかじめ与えられた各ディープウェルの設定水位を満足するように配管途中の電動バルブ（写真—2）の開き具合を24時間調整する。この機構であれば電動バルブの制御を中止し手で全開状態にすることにより、いつでも従来のディープウェル工法に戻ることが可能となる。なお、水中ポンプ自体は通常使われているものである。



写真—1 自動制御装置



写真—2 電動バルブ

5. 揚水自動管理システムの仕様

システムの主な仕様を表—1に示す。

表—1 揚水自動管理システムの仕様

自動制御装置		
寸法	重量	53 cm×40 cm×20 cm（突起物と屋根は含まず） 20 kg～（システム構成に依存）
構造		IP 44 防水/防塵型
供給電圧		AC 100 V（1 P 2 W）
消費電力		100 W～（システム構成に依存）
内部電圧		DC 5 V, ±12 V, 24 V
C P U		Intel 8086 互換 16 ビット CPU
R O M / R A M		各 512 kbytes
データ通信		NTT 一般回線用モデム（携帯電話モデム接続可）
制御井戸本数		標準 4 井戸（ch）、最大 16 井戸（ch）観測用井戸の水位計、フロート式水位計（流量計測）、間隙水圧計、補助ポンプの起動等に各チャンネルを使用することも可能。
その他		ウォッチドックタイマ、バッテリーバックアップ、カレンダー機能等
管理用パーソナルコンピュータ		
OS		Windows 95/98/NT/2000
モデム		Windows で使用可能なモデム
管理ソフト		専用ソフトウェア
電動バルブ		電動バタフライバルブ（汎用品）
水位計		投込み式深井戸用水位センサ（汎用品）

6. 揚水自動管理システムの特徴

(1) 水位制御手法

電動バルブには、0～90度の範囲で弁を回転させることにより全開～全閉間の任意の状態を生む電動バタフライバルブを用いている。全開状態から全閉状態、あるいはその逆の動作に要する時間は、バルブの種類

にもよるが、15秒～30秒程度である。バルブの任意の開き具合（以下、開度と記す）への変更はこの時間以下で実現できるが、その開度に応じた水位に収束するまでには相当の時間を要することは図-2により明らかである。

そこで、一度バルブの開度を変更するとその後数分間の水位変動を観察し、そのまま放置しておくとも水位がどこに収束するかを推定し、その推定した水位と設定水位との比較をすることで、次の開度変更の必要性を早期に判断するフィードフォワード制御を取入れている。

ところで本システムの構成による水位制御においては、解消したい水位差（実際の水位と設定水位の差）に対応付けて開度の変更量を決めなくてはならない。開度検出機能を持ったバルブは同機能を持たないバルブよりもコスト高であるため、あえて同機能を持たないバルブを使用している。これは、結局のところ電動バルブは、電流が流れた時間だけバルブの開閉動作が行われるのであるから、電流を流す時間さえ決めることができれば、あえて開度指定で制御するバルブを使用する必要はないとの判断による。ただし、微小な開閉を指示する僅かな信号長さの場合は、バルブのもつバックラッシュ（遊び）により有効な開閉動作にならない場合がある。また、バックラッシュは流量等に依存して変化し一意な値とはならない。これらの点を考慮しながらバルブの制御を行うためにソフトウェア側での工夫を施している。

以上の考え方を取入れた制御手法による実工事での制御例を図-4および図-5に示す。図-4は自然水位状態から設定水位を変更して制御を開始した後のディープウェル内水位の変化を1分間隔のデータで表している。複数の井戸を同時に制御しても約30分ほどですべての井戸について設定水位に収束することを確認している。図-5は一度設定水位に収束した後の一週間の様子を15分間隔のデータで表している。許容誤差範囲の外側に出ると速やかに微調整を行い、極めて安

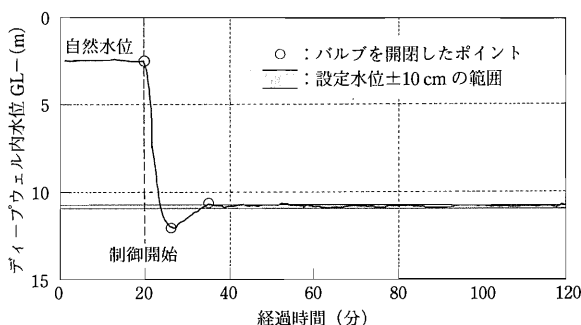


図-4 設定水位変更後の水位制御の様子

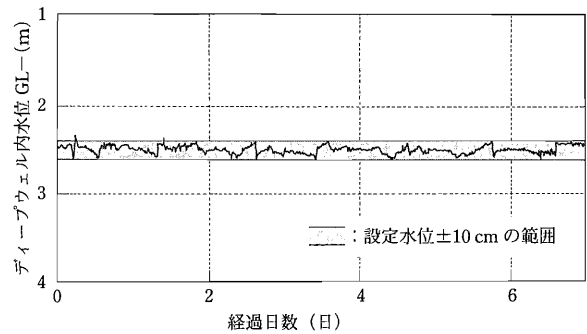


図-5 設定水位付近での水位制御の様子

定した水位制御を行っていることがわかる。

(2) 遠隔管理

作業所構内に設置された自動制御装置は独立した1台のコンピュータであり、専用の管理ソフトウェアを組込んだパーソナルコンピュータ（以下、パソコンと記す）と公衆電話回線を通じて通信が可能である。自動制御装置は、複数のパソコンと通信が可能であるが、制御開始を指示したパソコンからのみ制御の設定変更と制御終了の指示を受け、他のパソコンからの指示は受け付けないようになっている。なお、制御開始を指示するパソコンは作業所事務所に設置されることを前提としており、制御開始以後に設定変更可能な項目は各ディープウェルの設定水位のみという簡素なものとなっている。

水位制御開始後に各パソコンから自動制御装置に接続すると、自動制御装置が内部に保存している制御に必要な各種情報（各ディープウェルの設定水位や制御パラメータ、校正係数など）と過去の計測データが自動的にパソコンに転送される。同時にパソコン側では、受取ったデータを自動的にデータベース化するので、後にデータのグラフ化などが容易に行える。

データの転送が終わると、パソコンのモニタ上に図-6のような平面図が自動的に表示され、全てのチャンネル（水位およびその他観測項目）のデータが表示される。チャンネルのデータを過去4時間に遡って時系列グラフとして表示することもできる（図-7）。

自動制御装置に保存される観測データは数ヶ月分（ディープウェル数によって異なる）あるので、建築工事における通常の掘削工事工程を考えると、設定水位を変更する必要がない限り、パソコンから自動制御装置に接続する必要もないと言え、作業所管理者の作業軽減に役立っている。

なお自動制御装置を管理できるパソコンでは、一定の手順を踏むことでPDA（小型情報携帯端末）に管理ソフトウェアの複製をつくるのが可能である。こ

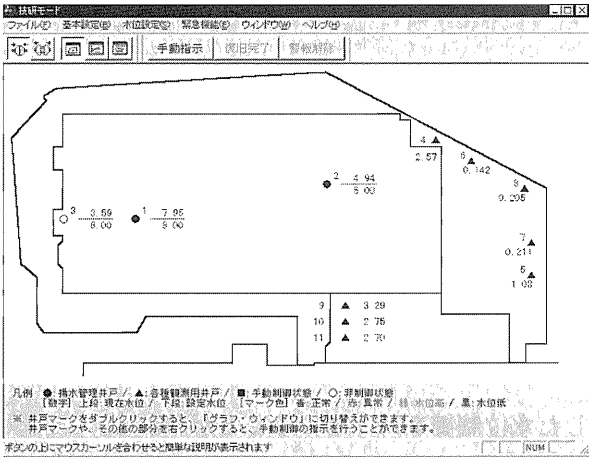


図-6 パソコン上でのデータ表示 (平面図)

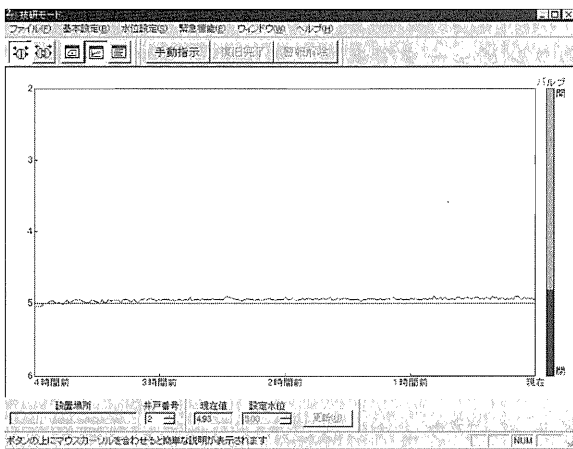


図-7 パソコン上でのデータ表示 (時系列)

の PDA に PHS カード類を組み合わせれば、いつでもどこからでも自動制御装置にアクセスし、状況把握や設定の変更が可能となる (写真-3)。

以上の機能を満たすためには、自動制御装置内に保存される各種情報、データが停電などで消失することは許されない。また、停電復旧後は速やかに制御を再開する必要がある。この基本的な機能については、自



写真-3 PDA 上の管理ソフトウェア

動制御装置について揚水管理以外の目的での計測もあわせて約5年間の稼働実績を積み、信頼性を向上させてきた。

(3) 非常時対策

停電があった場合には、再通電後に次の動作を行わせることができる。

- ① 制御を自動的に再開 (再通電が非常用発電機によるものであればその状態を検出可能)。
- ② 担当者の (携帯) 電話に通報。複数人可能。
- ③ 回転灯を点灯。
- ④ PC, PDA の画面上に具体的内容を表示。

ディープウェル内水位が予め設定しておいた上限・下限水位を超えた場合には、上記②～④に加えて次の動作を行わせることができる。

- ⑤ 予備のポンプを起動。

なお、一箇所のディープウェル内のポンプが故障するなどして水位が上がれば、周囲のディープウェル内水位も上昇しようとするので、自動的に周囲のディープウェルでの揚水量が増え、地下水位を安定化しようとする働きも期待できる。

7. まとめ

観測井戸や間隙水圧計の観測データをもとに、各ディープウェル内の設定水位を決め、これを自動管理させることが簡単にできるようになった。各ディープウェルの設定水位は同一である必要はなく、周辺への影響を考慮しつつ、また幾つかの区画に分けて進行する掘削工事の状況に応じて設定水位をきめ細かく管理していくこともできるようになり、本システムは着実にその成果を挙げている。

さらに本システムを用いると、ディープウェル内水位と観測井戸内水位 (もしくは間隙水圧計による地盤内水位) および揚水量の三者の定常状態における関係を把握することができる。これにより地下水流れの状態を的確に確認することができ、以後の類似の地層における掘削工事計画に有益な情報をフィードバックすることも可能になると考えている。

JCM A

【筆者紹介】
 岩本 宏 (いわもと ひろし)
 株式会社竹中工務店
 技術研究所
 建設技術開発部
 地盤・基礎部門
 インフラ技術グループ
 研究主任

