

復水工法の管理への応用

日本下水道事業団 堺誠介

清水建設(株) ○吉田洋二郎、高坂信章

1. まえがき

松本市両島浄化センター機械棟建設工事では、周辺地域の井戸枯渇対策に大規模な復水工法を実施し、その管理に水位計と流量計をマイコンに接続した自動計測システムを採用した。計測管理の内容は、周辺の地下水位と浸透流による掘削底の安定性を把握し、両者が所定の範囲に入るように揚・注水量を調整し、さらに、注水井の目盛り状況を把握した。このシステムは、揚水試験にも応用され、試験データの収録と解析を自動化した。本稿では、地下水の管理と試験にマイコンを用いた計測事例を紹介するとともに、水位等高線など地下水の管理手法について述べる。

2. 復水工法の概要

建設地は、かつて河川合流地点の中洲にあたり、透水性の高い砂れき層が堆積する地下水の豊富な地域である。建設地を中心とする半径1km以内では、井戸利用戸数が860軒、上水道普及率が66%と地下水の依存度が高い。工事は、平面が30m×60m、深さ11.4mの掘削であり、大量の湧水と周辺の地下水位低下が心配されたため、復水工法を採用した。

復水の機構は、図-1に示すように、掘削内からディープウェルで揚水し、掘削外の帯水層に注水する方式であり、同図中の矢印が地下水の流れを表す。井戸の配置は、図-2に示すように、掘削内に29本の揚水井を、掘削から離れた位置に同数の注水井を設置し、それらを5つの系統に分けて管理した。

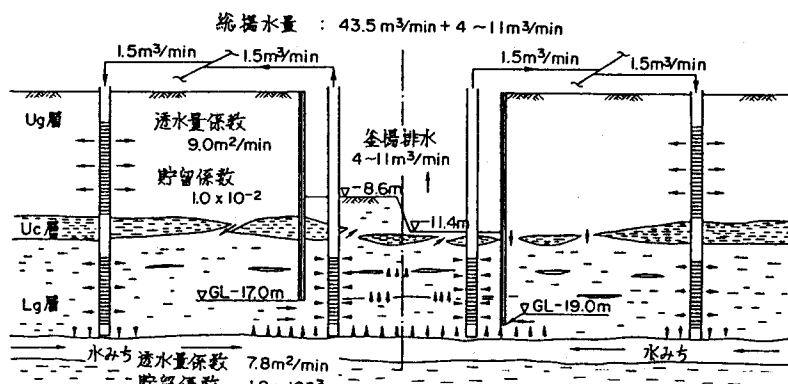


図-1 復水計画概念図

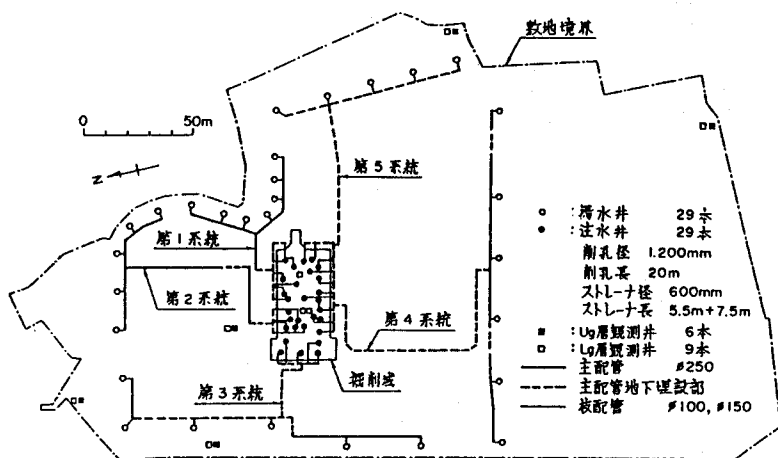


図-2 復水設備平面配置図

3. 管理項目と測定項目

当復水工事の主な管理項目は、①周辺の地下水位、②掘削底の安定性、③注水井の目盛りであり、以上の

管理に必要な測定項目は、掘削内外の地下水位、揚・注水量および注水井内の水位である。

特に、当工事では、周辺の地下水位を高く保つと同時に、掘削内で大きな浸透流が生じないように、掘削底下方の水位を下げるという、相反する水位管理を求められた。したがって、当計測システムでは、図-3に示すように、周辺の地下水位と掘削底の安全率が把握でき、かつ、両者を満足できる揚・注水量が計算で求まる機能を重視して計画した。

4. 計測機器の構成と測定頻度

復水工法では、揚・注水量の変化がただちに周辺の地下水位に影響するので、高い測定頻度が要求される。さらに、当工事では、井戸本数が多いので、管理に自動計測を採用した。計測機器の構成を図-4に示す。

各系統の揚水量を測定するバドル羽根型流量計および注水井・観測井の水位を測定する水圧計はオンライン方式にした。オンラインの計器は、10分毎に測定し、1時間毎のデータをフロッピーディスクに記録した。揚水試験では1分毎の測定が可能である。

各注水井の流量を測定する積算流量計および各系統末端から排出される余水量を測定する三角ゼキは、目読値をキーボードより

入力するオフライン方式にした。オフラインの計器は、主として、変化の遅い注水井の目詰りを対象にするので、1日1回の測定とした。

5. 計測に用いた理論

観測点以外の水位および地下水シミュレーションは、次に示す定常井の重ね合せ理論によった。

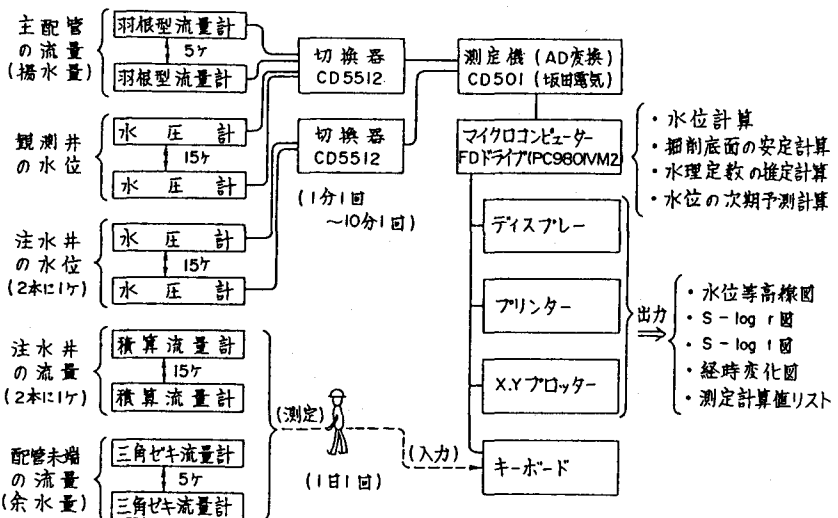


図-4 計測機器構成図

$$m_i = s_i + d_i = \sum (b_j - c_j \cdot \log r_{ij}) q_j + d_i \quad (1)$$

ここに、 m 、 s 、 d 、 r 、 q は、計算水位、水位降下（上昇）量、補正值、距離、揚（注）水量を、 b および c は井戸の固有値を表し、添字 i 、 j は任意点および井戸の番号を示す。補正值 d は、自然水位に相当する値であり、観測井の測定値と計算値の差から求める。井戸の固有値 b 、 c は、試験によって求める値であり、掘削の内外で値が異なる。

掘削底面の安定性は、観測点深さの鉛直全土圧 W と水圧 U との比、すなわち、盤ぶくれに対する安全率

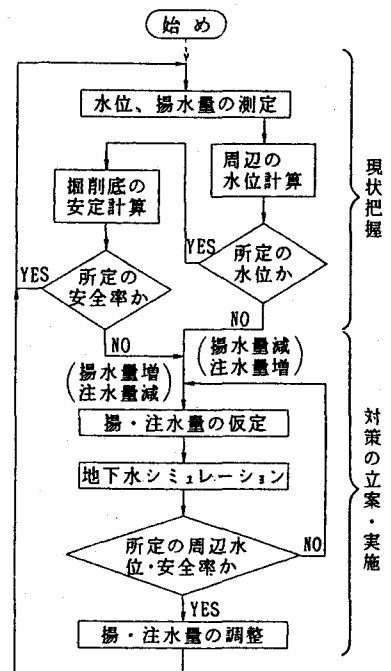


図-3 管理の流れ

$F_s = W/U$ で表した。同検討法を用いた理由は、当該地層の構成が複雑なため事前に破壊現象を特定できないこと、および、ボーリングの検討で用いる限界動水勾配法に比べ安全側の結果を得ることによる。

注水井の能力は、次に示す注水量 q と注水井内水位上昇量 u の比、すなわち比注水量 a で表した。

$$a_i = q_i / u_i = q_i / \{m_i - \sum_j (b_i - c_i \cdot \log r_{ij}) q_j - d_j\} \quad \text{ただし } i \neq j \quad (2)$$

ここに、使用した記号は(1)式と同じであり、 a_i の減少が目詰りの進行を、 $a_i m_i$ が注水能力の余力を表す。

6. 計測システムの機能

管理上重要な地下水位と掘削底の安全率は、図-5に示す画面で常にディスプレイ上に表示した。ここに、表示は、一目で状況が把握できるように、地下水位を水位等高線で表し、管理値を越える地下水位、安全率には色分けをした。

水位等高線の作成には多数の観測点を必要とするが、本システムでは、(1)式で任意点の水位を求め、観測点の不足を補った。計算値を併用したことによる表示誤差は、後日、水位計のない観測井で検証したところ、9cm以下であった。

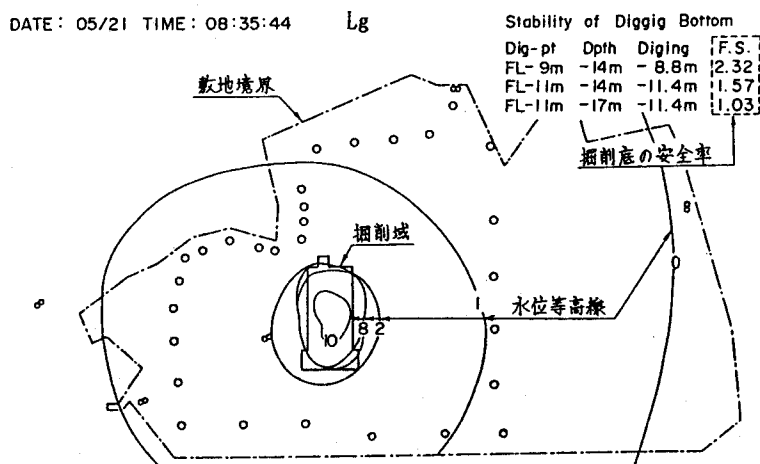


図-5 測定結果の表示画面

揚・注水量を決定するためのシミュレーションは、揚・注水量の余力をリストで求め、変更値を入力することで図-5と同じように予測結果が表示される。他に、本システムでは、測定・解析結果の経時変化図、数値データのリスト、および地下水解析に用いる s - $\log r$ 曲線、 s - $\log t$ 曲線が出力できる。これらの出力は、ディスプレイ上、プリンターおよびX Yプロッターとも可能である。

7. 計測管理の結果

日常の管理は、図-4に示したディスプレイ上の水位等高線と掘削底の安全率を確認し、1日1回、各注水井の流量と余水放流量を測定して入力する。地下水位の管理値は、周辺民家の井戸設置深さと濁水期水位を参考にして、敷地境界外で地表面から4.5m以内とした。掘削底の安全率は、1.0以下を危険、1.0を越え1.2以下を要注意として管理した。

復水工運転期間中の揚水量、地下水位、掘削底の安全率および掘削深を図-6に示す。周辺の地下水位は、全期間を通して管理目標を達成したが、掘削底の安全率は最終掘削時点で危険値に達した。最終掘削時点は、図-7に示すように、根入れ部の鉛直土圧と水圧分布が等しくなり、安全率が1.03まで低下した。しかし、揚水井と釜場から毎分50m³に及ぶ最大限の揚水を行い、シミュレーションに基づき可能な限り注水量を減らしたことで、危険な状態を回避できた。この危険な状態は、田植時の代かきによる一時的な地下水位上昇と最終掘削時点が一致したためと考える。

注水井の目詰りは、当初の予測より少なく、復水終了時点の注水能力が平均で当初の60%であった。井戸の洗浄は、運転期間内になく、後続工事（水処理施設）の運転開始時に行った。

8. 揚水試験への応用

当計測システムは、プログラムの部分的修正をして、後続工事の揚水試験に使用した。使用機器は、図-3に示した構成から流量計を除いた構成であり、補助として自記水位記録計3台を加えた。揚水量の測定は三角ゼキを用いた。

システムの機能は、試験データの測定・収録、自然水位変動の修正および各種グラフの作成であり、 $s\text{-log } r$ 曲線による定常解析および $s\text{-log } t$ 曲線による非定常解析が可能である。しかし、水位変化の大きい揚水初期は、オンライン機器の測定間隔が1分と長いいため、十分にデータが取れず、非定常解析には自記水位記録計のデータを補助的に使用した。

9. おわりに

復水工法の管理では、少ない観測井を用い、広い範囲にわたる地下水位を短時間に把握することが求められる。当工事では、計算水位を観測水位で補正し、水位等高線図で表す手法を用い、満足する結果を得た。

水位等高線図の作成は、マイコンで2分だが、手計算では数時間を要し、また、計算に必要な井戸特性値を求める試験も膨大な作業量になるので、管理には感知機とマイコンを直結した自動化が必要である。特に、掘削底の安全率が低下した時は、数多くのシミュレーションを短時間に行い、対策の実施、その効果の確認を次々に繰返すことができ、自動化した管理システムの威力を発揮した。この例は、自動化が単なる合理化だけでなく、工事の安全に大きく寄与した事例と考える。

最後に、当工事の復水工実施にあたっては、岡山大学の西垣先生に貴重は御助言をいただいた。ここに、誌面を借りて深くお礼を申し上げる。

参考文献 中出秀登、江藤隆、堺誠介；復水工法，土木技術，Vol.41，No.11，pp97～102

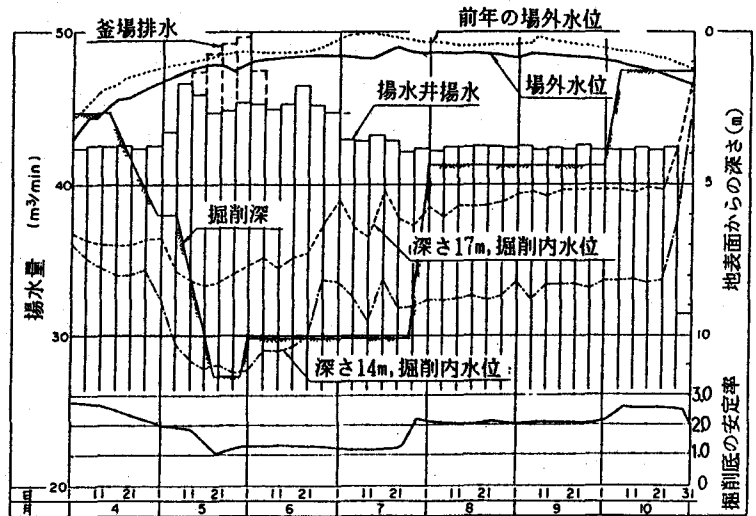


図-6 地下水位、揚水量及び掘削底の安定率の経時変化

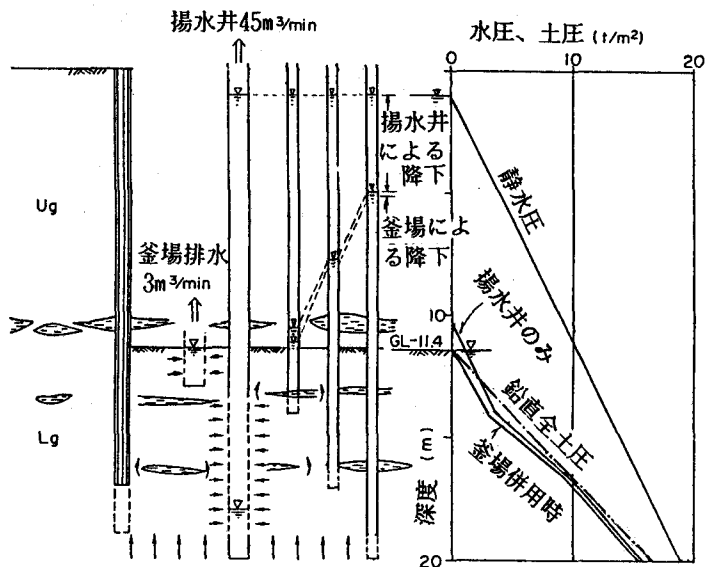


図-7 根入れ部水位観測による掘削底の安定