

7. 地下水源調査の事例(題目)

(Exploration of underground Water)

辻本 浩志(田村ボーリング株式会社)

1. はじめに

今回、紹介する水源調査の事例は、不圧帯水層(第1帯水層)を対象に徳島県の桑野川流域において実施した水源調査の事例を報告する。この調査は、取水井の計画に先立つ水源調査として、計画実施されたものである。

流量規模の比較的大きな河川の流域では、帯水層厚が厚く高い透水性を示すことが多い。調査時点で計画される揚水井(100mm程度)では、揚水ポンプ等の制約により揚水試験時に十分な水位降下量を得ることができないことがある。しかし、井戸径の大きな揚水井(1.0~2.0m)を設置するには、費用が大きな問題となる。

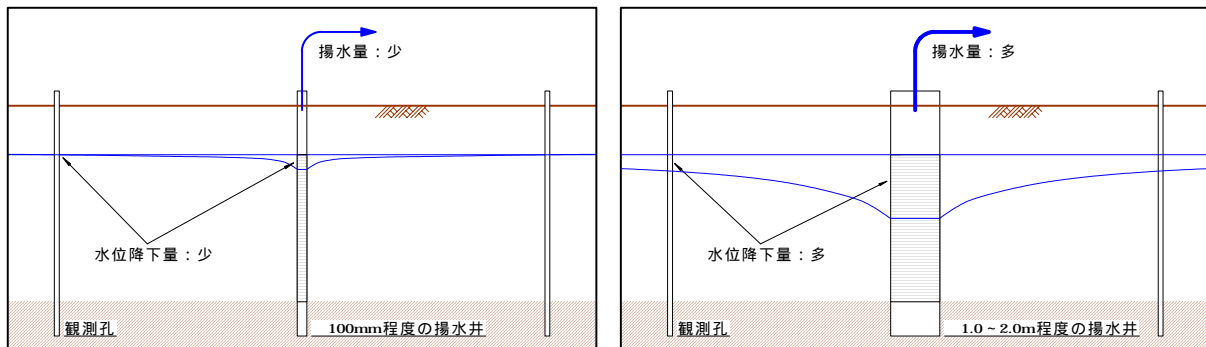


図 1.1 揚水試験模式図(揚水井径の大小による比較)

今回の水源調査でもボーリング調査等の結果により確認された帯水層厚や相対的な透水性から、揚水試験で十分な水位降下量を得られないことが懸念された。そこで、揚水井を2箇所設けて2つの揚水井より揚水することで、揚水量を増やすとともに、できるだけ大きな水位降下を得ることとした。また、水理解析では2つの揚水井の中心に、仮想井戸を想定して水理解析することにより水利定数を算出した。

2. 調査内容

水利定数を算出するために実施した調査項目と揚水試験を以下に示す。また、各調査孔の配置を図2.1に示す。

調査ボーリング孔：地質調査 66mm×10.0m(電気検層)

帯水層調査孔：帯水層調査 66mm×9.0m

井戸損失孔：地質調査 66mm×8m×2カ所

観測孔：地質調査 66mm×8m

揚水井：116mm×9.0m×2カ所

揚水試験：4昼夜3段階揚水試験(96hr)

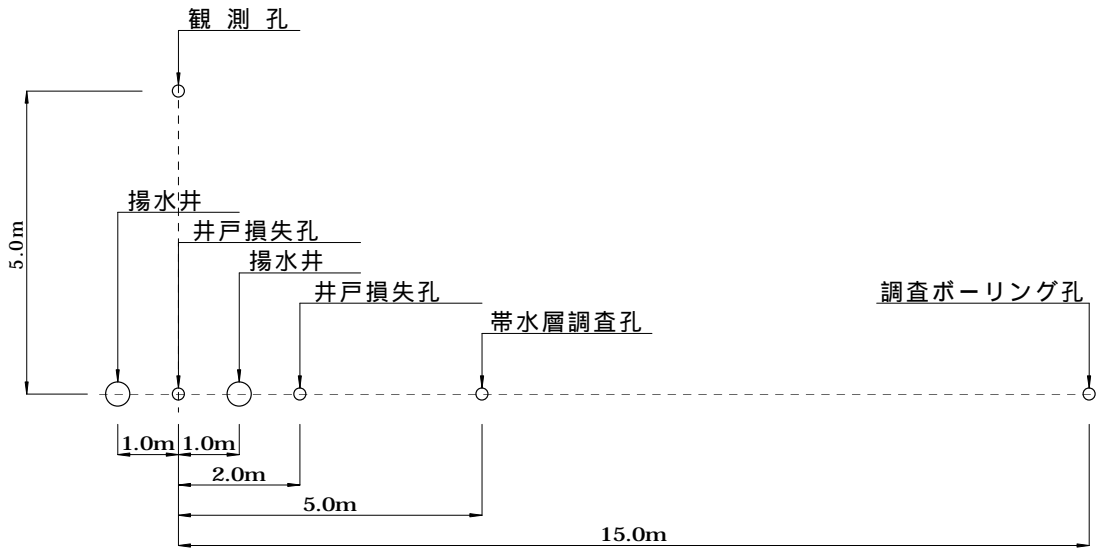


図 2.1 調査孔配置平面図

3 . 調査結果

(1)調査ボーリング孔

帯水層として、深度 GL-1.2m 以深から深度 GL-8.4m 間の「玉石粘土混じり砂礫」が考えられた。深度 GL-8.4m 以深でも「玉石粘土混じり砂礫」であるが、上層と比較して細粒分が多い状況であった。また、コアの状況から上層(GL-1.2～8.4m)の「玉石粘土混じり砂礫」の下位(GL-7.4～8.4m)でも細粒分が徐々に増加する傾向を示していた。コアの色調は、上位層が「暗褐～黄褐灰」に対して「暗青灰～青灰」であった。

同孔内で実施した電気検層の結果から、この層界(GL-8.4m)の上位 0.5～1.0m 程度が帯水層の下端深度と考えられた。

コアの状態および電気検層の結果より、帯水層下端深度は GL-7.0～7.5m 付近と想定された。地下水位を深度 GL-2.35m で確認していることから、帯水層厚は 4.7～5.2m 程度と推定された。

(2)帯水層調査孔

帯水層調査孔は、深度方向での透水性を評価することで、調査ボーリング孔で推定した帯水層厚の確認をした。ストレーナ付きの鉄管を揚水を繰り返しながら、打撃により帯水層中に貫入させる。その打撃回数と揚水量から帯水層の透水性を評価する。

帯水層調査孔の結果から、深度 GL-7.25m 付近までの「玉石粘土混じり砂礫」が帯水層であるとされ、帯水層厚を約 4.9m とした。

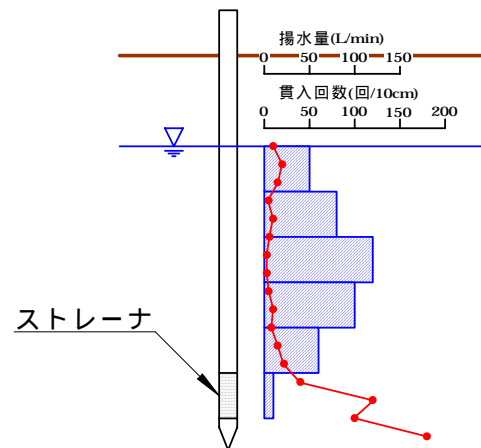


図 3.1 帯水層調査模式図

(3) 井戸損失孔

井戸損失孔では、揚水中の揚水井付近の水位降下状況から仮想井戸の井戸径を推定する資料とした。透水性が高いことから両揚水井の間では、十分な水位降下が得られていること、揚水井の両端でも大きな井戸損失を起こすことなく水位降下していることから仮想井戸の井戸径を安全側に $R = 2.0\text{m}$ ($r = 1.0\text{m}$) として水理解析するものとした。

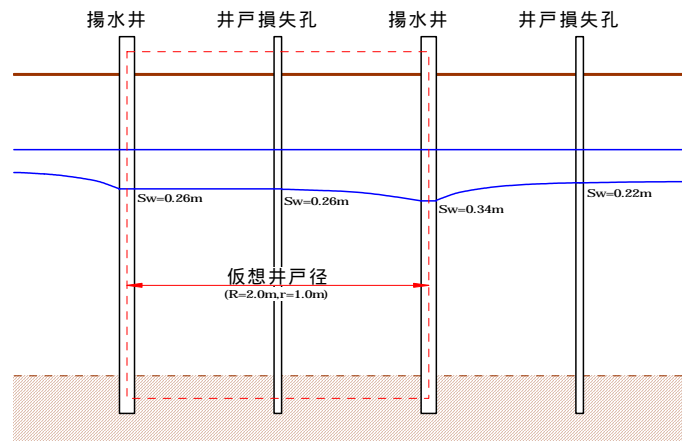


図 3.2 仮想井戸図

(4) 観測孔

観測孔では、調査ボーリング孔等で帯水層とされた地層を平面的に確認するとともに、揚水試験時に水位観測に用いた。調査ボーリング孔等で確認された帯水層は、概ね同様の厚みをもって存在すると考えられた。

(5) 揚水井

揚水井は、その間隔を 2.0m として配置し揚水試験用の井戸として仕上げた。ケーシングには、巻き線型(100)のスクリーンを使用した。

(6) 揚水試験

揚水試験は、各揚水井に陸上式ポンプ(75)を2台設置して、4昼夜3段階揚水試験とした。揚水時間と揚水量の関係を下記に示す。

- 第1段階 揚水量： $Q=850\text{m}^3/\text{day}$ (揚水井より)・揚水時間： $t=24\text{hr}$
- 第2段階 揚水量： $Q=850\text{m}^3/\text{day}$ (揚水井より)・揚水時間： $t=24\text{hr}$
- 第3段階 揚水量： $Q=1,700\text{m}^3/\text{day}$ (両揚水井より)・揚水時間： $t=48\text{hr}$

第1段階および第2段階では、各揚水井の揚水量を確認するとともに、それぞれの揚水量による水位降下量を確認した。両揚水井ともに単独揚水では、揚水量は $850\text{m}^3/\text{day}$ であり、水位降下量は $Sw=0.16 \sim 0.18\text{m}$ であった。

第3段階では、両揚水井より同時に揚水して、合計 $1,700\text{m}^3/\text{day}$ の揚水量と $0.26 \sim 0.34\text{m}$ の水位降下量を確認した。(揚水井 $Sw=0.26\text{m}$ ・揚水井 $Sw=0.34\text{m}$)

ボーリング調査および揚水試験の結果を図 3.3 に示す。

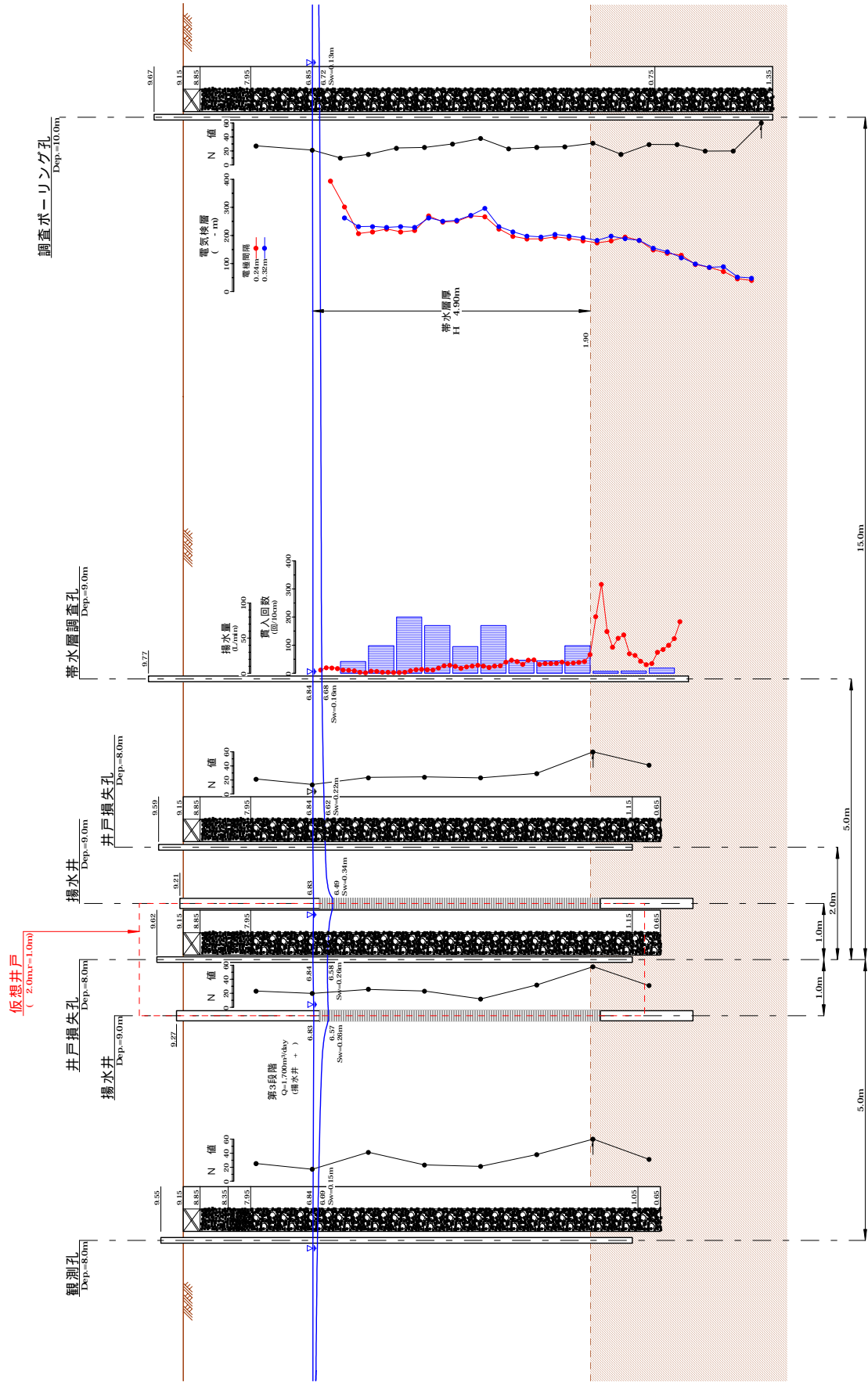


図 3.1 揚水試験水理図 (第 3 段階)

4 . 水理解析

水理解析は、揚水試験の各データをもとにタイス(Theis)の標準曲線解析法・ヤコブ(Jacob)の直線解析法・ティーム(Thiem)の平衡式により解析して水理定数を求めた。求められた水理定数の平均を下表に示す。

表 4.1 算出水理定数一覧表

透水量係数 (T) (m ³ /sec/m)	9.800×10 ⁻²	単位動水勾配の下で、単位幅の帯水層を通して伝送される単位時間当たりの水の量で表される。一般には透水係数と帯水層厚との積で表される。
貯留係数 (S)	0.295	単位水頭変化によって、単位表面積の帯水層の貯留量が変化する量。不圧地下水では、帯水層の間隙とほぼ同じ値を示す。よって、貯留係数は不圧地下水において、帯水層の間隙率とほぼ同程度の、0.05～0.4 程度を示す。
透水係数 (K) (m/sec)	1.843×10 ⁻²	透水係数は、流れの方向に直角な単位断面積を単位動水勾配の下で単位時間に通過する、その時点での水の量で表される。
帯水層厚 (H) (m)	4.90	取水井にかなりの量の水を輸送し産出することのできる、透水性のよい、水で飽和した地層の厚み。帯水層厚は、不圧帯水層の場合、地下水面と難透水層間の透水層をいう。
影響半径 (R) (m)	300	揚水の影響による水位降下の及ぶ範囲、井戸中心から水位降下円錐の外辺すなわち自然水位と等しくなる点までの距離を影響半径という。実際的には影響半径は揚水試験のときに複数の水位観測孔の水位データより十分な精度で求めることができる。

水理解析により算出した水理定数をもとに、取水可能量の試算をした結果、20cm 程度の水位降下量により約 3,000m³/day が取水可能と評価された。なお、試算上の井戸形状は、放射状井戸を採用した。(井戸躯体径 4.0m・井戸等価半径 12m)

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{\cdot K (H^2 - h^2)}{\ln(R - r)} \\
 &= \frac{\cdot 1.843 \times 10^{-2} (4.90^2 - 4.70^2)}{\ln(300/12.0)} \\
 &= 2,983 \text{ m}^3/\text{day}
 \end{aligned}$$

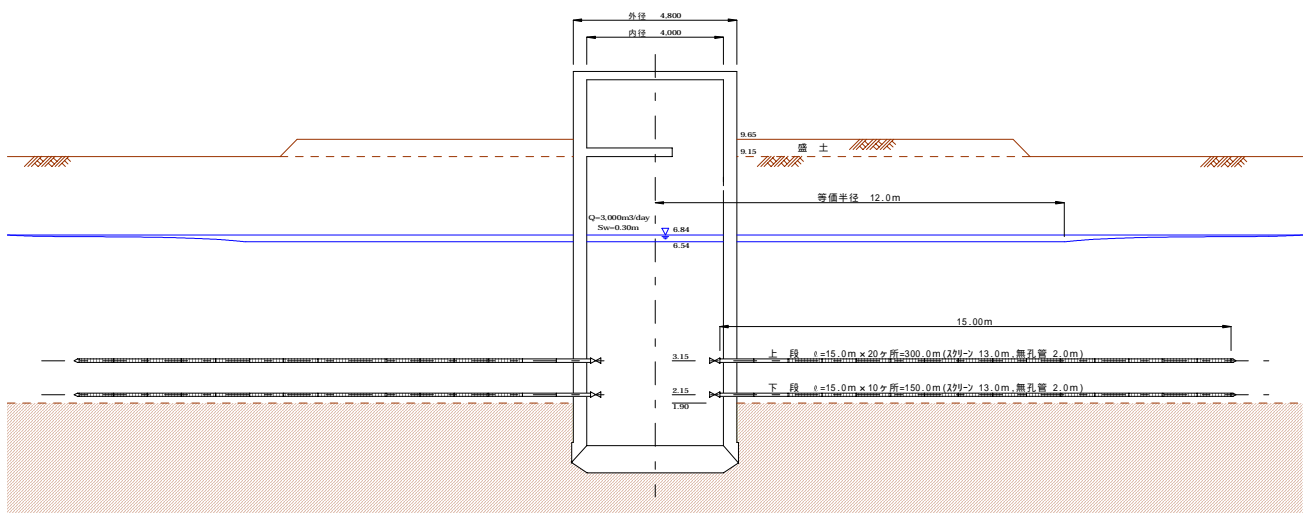


図 4.1 放射状井戸概略形状図

5 . 調査結果の評価

計画取水井(井戸躯体径 4.0m・井戸等価半径 12m)が築造され、竣工時の揚水試験で 18～21cm の範囲で 3,000m³/day の取水量が確認された。これは、調査時に試算した取水可能量に整合のとれた結果であった。また、竣工揚水試験の揚水実績より透水係数を確認した結果を下表に示す。

表 5.1 竣工時透水係数

透 水 係 数 (K) (m/sec)	2.019×10 ⁻²	第1段階
	1.831×10 ⁻²	第2段階
	2.000×10 ⁻²	第3段階
平 均	1.950×10 ⁻²	

竣工揚水試験の揚水実績より求めた透水係数は、調査時の水理解析により算出された透水係数と概ね同程度の値を示した。

6 . まとめ

水理解析により算出した透水係数や水理定数をもとに試算した取水可能量は、実際に築造された取水井の竣工揚水試験で結果と整合のとれるものであった。

この水源調査では、仮想井戸(井戸径 2.0m)を想定して水理解析をしたが、帯水層の透水性等によっては、仮想井戸の井戸径を減じて水理解析をする必要があると考えられる。これからの水源調査では、仮想井戸の井戸径の設定にあたり、多くのデータの収集に努めたい。

水源調査に限らず自然を相手に行う調査では、この手法だけでよいとされる完成された手法は存在しない。そのたびに課題をもち工夫し、より真実に近い結果を得ていくことが大切と考える。

以 上