

井戸揚水量をはかる三角堰（ノッチ）

地質ニュースにしばしばとりあげられた工業用水関係の記事 あるいは工業用水の専門雑誌のなかで 地盤沈下 地下水の塩水化の問題に関連して「井戸の適正揚水量」という言葉がよく用いられている。

ある限界を越えた水量の地下水がその地域でくみ揚げられると いろいろの災害がおこってくる。 その地域が軟弱なデルタ地帯であれば 地盤沈下の現象 あるいは塩水の侵入という現象などが起るといのである。地盤沈下も 塩水の侵入も 地下水をくみ揚げたから起るといのは 実是的確な表現ではなく そこには量的な要素が入ってこそ意味がある。 ある限界という表現には 多分に自然的要素が含まれており その限界量は地域によっておのずから異なっている。

その限界量を求めて これらの災害を防止するような対策をすみやかに講じることは きわめて必要なことではあるが それを正確に求めることはむずかしい問題である。 たとえそれが可能であるとしても その城内の井戸の配置が適切でなければ効果がない。 われわれが利用している帯水層は軟弱な砂礫や砂の層であって 帯

急がれる 適切な井戸管理

水層あるいはそれを含めた地層は一般には弾性体であると考えられるから 非常に小規模な所で起った無理な揚水が地盤沈下や塩水侵入の発端ともなりかねない。

そのようなものがいくつも重なってくると その災害は外へ向かって漸次波及し やがては広い範囲が災害に見舞われることになる。 大阪や東京でみられる地盤沈下 和歌山の塩水侵入などの例は おおむねこのような経過をたどっている。 そのためには 1本ずつの井戸がその災害の原因とならないような適正な揚水量のもとに管理されていなければならない。 その管理がうまく行われておれば 上記の災害はもちろん その井戸の揚水量の早期減退 あるいは排砂などの問題は おそらくおこりえないと考えられる。

揚水中における地下水の流れ

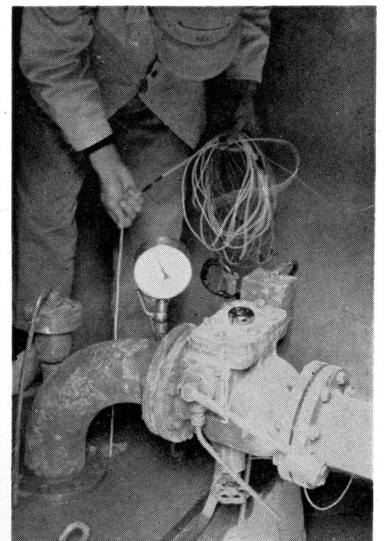
さく井にあたっては よく「12吋1万石」ということばが使われる。 12吋級の井戸から約 1,800m³/日の地下水が得られるというのである。 しかし地下水は 地表の河川と違って 砂や砂利などの間隙を縫って流れるので たとえその地下水が背後に大きな供給源をもって



工 場 用 深 井 戸
ボアホールポンプ井



工 場 用 深 井 戸
水中モーターポンプ



深井戸の水位測定

いるとしても 実際に1井からくみ揚げられる地下水量～井戸に単位時間集ってくる水量～は帯水層の浸透係数によっておのずから定まっている。したがっていくら大きな井戸を掘っても またいくら大きな容量のポンプを備えても 自然に集ってくる水量には限界があってそれ以上の水量が吸い出されるようになると 地下水の自然の補給がつかず 帯水層に無理な負担がかかる。

これはひいては 多量の排砂・井戸周辺の地盤陥没 異常な水位低下 あるいは悪水の混入 地盤沈下などを誘発する結果ともなるのである。

揚水した場合 井戸に集ってくる地下水には 次の四つが考えられる。

- 1) 帯水層の間隙（有効空隙）中の地下水
- 2) 自然状態の下で流れている地下水
- 3) 揚水により動水勾配が生じたために流動する地下水
- 4) 帯水層の上位にある地層から絞り出される地下水

一般に揚水によってすぐ出てくる地下水は おもに 2) および 3) の地下水であり またここで問題としているのもこの種の地下水である。

第1図について 上述の四つの地下水の関係を説明してみよう。地下水の流れは

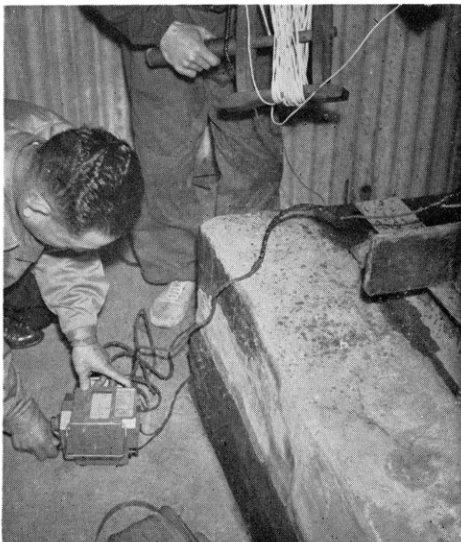
ダルシーの公式 $v=kh/l$ (v :流速 k :係数 h/l :動水勾配) にしたがって整流であるが この流れが渦流の状態

となると 上式は $v=k(h/l)^n, n < 1$ となる。

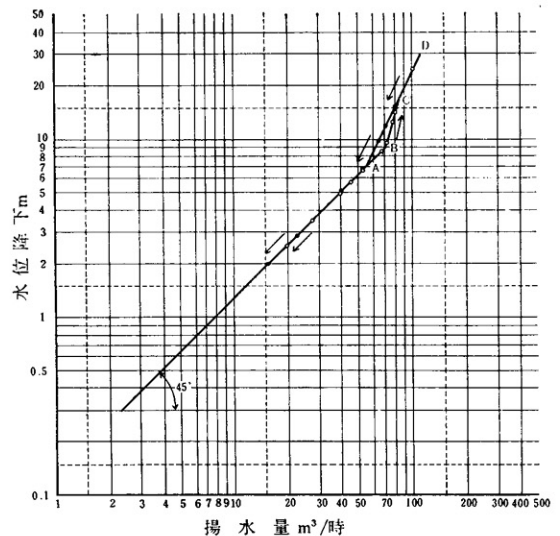
これは揚水井の場合にも同様であって 第1図のように両対数グラフに揚水量と水位降下（自然水位と動水位との差）との関係を示すと 整流の場合には指数は $n=1$ であるから 直線の勾配すなわち直線の示す角度は 45° となり 渦流の場合には $1/n > 1$ であるから直線の示す角度は 45° を越える角度となる。

この 45° を示す範囲（直線OA）の揚水量が 2) 3) の地下水～動水勾配に応じて補給されてくる地下水とみられる。しかし実際には揚水量がごく少ないとき一水位降下の小さい時に この二つの地下水のほかに別の地下水（おそらく 1) の地下水）の一部が少量補給される傾向がみうけられる。また 45° 以下の角度を示す直線が求められることもしばしばある。これは収水層（ストレートの入っている帯水層）の上位の地層が 細砂あるいは粘土混じり砂（このような層は普通収水層としない）であるような井戸に認められ 2) 3) の地下水のほかに水位の低下に伴って上位の地層から絞り出されるようなかたちで 4) の地下水が補給されるためとみられる。

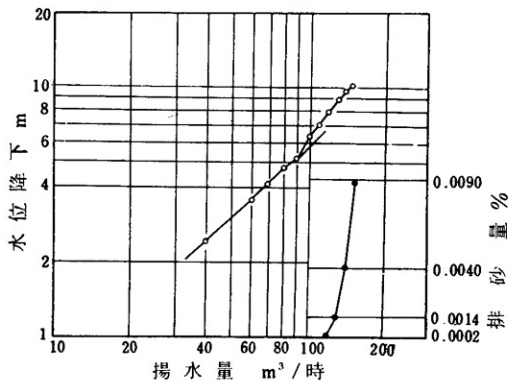
いずれにしても 45° あるいは 45° 以下の直線の部分における地下水の流れは整流であるが これがある限界に達すると 水位降下が大きくなるわりに揚水量が増加しなくなる。この部分は地下水の流れが渦流の状態となっていて ここで水に浮力がついてくるので 細かい砂や粘土などの粒子は地下水とともに井戸のなか



操作中の水位測定用メダ



第1図 両対数グラフに示される揚水量と水位降下との関係



第2図 千葉県における井戸の揚水量と水位降下との関係と排砂量

に入ってくる。排砂の現象はおもにこうして起るもので 第2図には地下水の流れが渦流となった部分(揚水量120~150m³/日の間)における水とともに排出された砂の量が重量百分比で示されている。

この渦流の状態は初期のうちでは井戸のごく近くの帯水層でおこるが水位降下が大きくなるにつれて次第に井戸の周囲におよんでいく。そしてこの場合には2)3)あるいは4)をあわせた地下水のなかに1)の地下水が補給されるようになる。

ともかく水位降下と揚水量との関係において直線が45°を示す間はいわゆる適正な揚水の範囲内において2)3)の地下水が自然状態において補給されているとみてよい。しかし45°を越えると間隙水が消費される状態となるのでこの間隙水の消費がひいては水位低下の直接・間接の原因となるというわけである。

適正揚水量のもつ意義

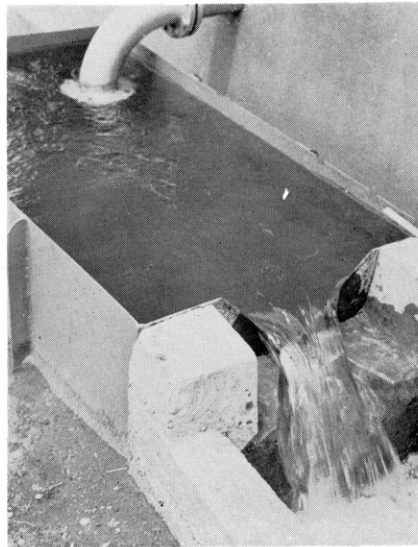
ここで最も重要なのは地下水の流れが整流から渦流に変化する付近で帯水層が受ける物理的変化である。

図のようなグラフは揚水量を任意に変化させてその時における水位降下(詳細にいえばある揚水量のもとで揚水井の動水水位が安定したときにその水位を測り次に揚水量を変えて再び安定した動水水位を求める方法を繰り返す)を求めて作図したものであるが第1図に示したように揚水量を漸次増加させた場合水位降下は最初直線OB(指数 n=1)にしたがっているがB点を越えると水位降下が急に増加しC点に達すると1/n>1の値をもつ直線CDに沿って再び増加する。こんどは逆に揚水量を減少させると水位降下はCBをもどらずにCDとOBとの交点Aに達したのちOAに沿うて減少する。

このA点における揚水量をわれわれは適正揚水量(限界揚水量)と呼んでいる。

いままでの多くの例では渦流の場合に示される1/nの値は角度になおすと帯水層が砂礫の場合で58°~63°砂の場合で50°~54°となっている。すなわち揚水量を増加させたときと減少させたときにできる三角形A・B・Cの面積は砂礫層では概して大きく砂層では概して小さい。

地層は外力に応じて圧縮しまた外力が除かれると膨脹するいわゆる弾性体である。揚水すると帯水層の圧力が減少するので帯水層が圧縮し揚水を中止すると帯水層が膨脹することは既に知られている。すると上述の適正揚水量付近における三角形ABCは帯水層の弾性履歴を表わすものとみられる。そして土の弾性は浸透係数の大きいものほど大きいから砂礫からなる帯水層の示す三角形ABCの面積は砂のそれよ



←
簡易な三角堰
整流板もついていない
イラフなものだが
これでも量水しない
よりましであり
用水現場が苦心してこ
こまでの予算をとっ
ただけでも井戸
管理へ一歩前進
したことになるう

JIS規格による三角堰



千葉県のある化学工場は 水源の得にくいところに立地しただけに 井戸管理への関心がこのほか深い 工場と水源地との間にこのようなジープを使って 水源監視を行っている 写真は 本日の井戸水位の状況を 無線で本部に通報しているところ

りも大きいといえる。

揚水中井戸に流入する地下水の流れが整流であることは 帯水層の弾性限界内に外圧が加わっていることであるから 揚水を中止した場合帯水層はもとの形に復することができるが 渦流の場合には帯水層に弾性限界を越えた外圧が加わることになるから 帯水層は弾性体としての性質を失い 非弾性体となって外圧を除いても もとの帯水層に復しなくなる。 とくに適正揚水量を越えた状態において揚水が長時間行われると 井戸周辺の帯水層中の砂が移動し また間隙水が消費されていくと帯水層の間隙が変化し 回復・膨脹しようとする力が完全に失われてしまう。

排砂量の多い井戸の水位が 回復することなく年々低下していく例 また同じ条件の揚水井群の中に かつては水量が多かったのが 現在では水位が低くて揚水量がきわめて少なくなった井戸がある例などは 井戸周辺の帯水層が弾性体としての性質をもたなくなったものとみなされる。 このような井戸の揚水量は 井戸のしゅんせつなどによって再び増加させることはできても 井戸の水位を回復させることはほとんど不可能に近い。

適正揚水量はたえず変化する

このように重要な意味をもつ適正揚水量は その井戸の近くに新しい井戸ができたり その周辺の揚水量が増加したりして その影響がこちらの井戸におよぶような

場合には 当然変化し このような場合にはその量は減少する。 この場合には改めて影響を受けた状態での適正揚水量が求められなければならない。

単独井の場合に求めた適正揚水量を（その多くは各井ごとにそれを求めることが繁雑なので）次の新設井にも適用して 知らず知らずのうちに各井とも渦流の状態のまま揚水し 水位低下のあまりにも著しいのに驚き その対策をうんぬん……という例がしばしばある。

深いところの帯水層は 上位の地層によって十分に加圧されているので 最初の井戸の水位は高く かつ揚水量もきわめて多い。 しかしこのような帯水層では多くの場合補給される 2) 3) の地下水量は少なく ややもすれば加圧された間隙水が そのおもな補給水となる。 そして2本 3本と新井が増加するにしたがって 帯水層の圧力が減退し それに応じて水位が低下する。 このような状態における井戸の水位低下は ある程度避けられないもののように考えられるが この過剰水圧ともいうべき圧力がなくなったときには 帯水層はもはや収縮してしまっているのである。

「覆水盆に帰らず」ということわざがある。 一たん破かいされた帯水層を元にもどすことはできない。 こうした現象が軟弱なデルタ地帯で起ったとすれば 地盤沈下の有力な一因ともなりかねない。

地下水源を生命とする生産工場 とくに臨海部に立地する工場においては 年々少なくとも一度は **適正揚水量の確認**という井戸の診断をぜひやってもらいたいものである。

(地質部 工業用水課)



各井戸の水が集まる集水池
それぞれの井戸の揚水量を加減して絶えず排砂の有無などを調べることができる