

B. d. II.

地質調査所報告第167号

被圧面井戸における水位降下と
揚水量との関係

地質調査所

昭和31年2月

551.49 : 621.2

地質調査所報告

所長 兼 子 勝

被圧面井戸における水位降下と 揚水量との関係

通商産業技官 村 下 敏 夫

目 次

I. 緒 言	1
II. わが国における被圧面井戸利用の現状	2
III. 水位降下と揚水量との関係	5
IV. 水位降下と揚水量との関係が示す収水層の物理的性質	7
IV.1 収水層の滲透係数の比較	9
IV.2 収水管の面積減少に伴なう水頭損失の増加	10
IV.3 適正揚水量の決定	11
IV.4 井戸の干渉による水頭損失の増加	13
IV.5 井戸効率の測定	14
IV.6 Swabbing による Specific Capacity の変化	16
V. 各地における水位降下と揚水量との関係	19
VI. 結 論	21
参考文献	22
Abstract	1

被圧面井戸における水位降下と 揚水量との関係

通商産業技官 村下敏夫

I. 緒 言

戦後灌漑用水としてあるいは塩害防止・簡易水道の水源として、広く被圧面地下水が利用されてきた。また一方軽・重工業の復興とともに、特に繊維・紡績・合成化学の諸工業では、品質の改良のために温・湿度調整用水、冷却用水、原料用水として、恒温でかつ質変化の少ない被圧面地下水の開発が急速にたかまつてきた。

しかしこれらの被圧面井戸は、別に定められた規則に基づいて掘鑿されているものではなく、必要に応じてもよりの箇所、あるいは施設費が最も安価にすむ地点で、鑿井業者が経験的に会得している深度の地下水を利用しているのが普通である。したがって井戸の間隔あるいは適正揚水量などという水理地質学的な検討は、ほとんどなされていないのが現状である。

また戦後特に顕著な自然湧水あるいは河川改修などに伴う地下水理の変化のため、全国各地で地下水の供給量に減少を生じているが、これが井戸の濫掘・過剰揚水などと相俟つて地盤沈下、塩水の侵入など、一連の災害を誘起している処も少なくない。さらに一部では井戸の増加につれて揚水量が減少するために、一層深部の帯水層を開発し、井戸の深度がますます深くなつてきている。このため関係者が自主的に地下水利用統制委員会を運営して、新しい鑿井に対する収水層の位置を決定している処がある。また個々の工場においても、地下水量が乏しいために少数の帯水層を適当に管理して、相隣接した井戸が同一層から収水しないようにしている処もある。

しかしこれは被圧面井戸の収水層に関する規制であつて、井戸の揚水量についてはまだほとんど規制されていない。特に被圧面地下水は表流水あるいは伏流水の利用とは異なり、利用施設の近くでしかも小規模の収水施設ですむ点が経済的であるという理由から、すべての帯水層にその排出能力以上の負荷をかけている。このため収水層の物理的性質が変化し、井戸の老朽化を促進する結果ともなつている。しかもこの現象は1井戸または井戸群についてのみでなく、圧力面低下の現象を伴つて漸次周囲に波及し、最終的にはもとの自然状態に回復しないのみでなく、水層を破壊する程度までに悪化している。

このような災害を未然に防止するには、その場所の収水層の物理的性質に相応した最も安全な揚水量を保持することが急務である。しかし適正な揚水規模は、地下水涵養地帯における水

理変化と、揚水井の周辺の地下水利用状態とによつて変化するものである。そしてこれら帯水層中における水理変化は、揚水井の水位降下と揚水量との関係によつて最もよく表現される。

この意味において、被圧面井戸における水位降下と揚水量との関係から、収水層の水理状態を推定するとともに、この関係を利用して適切な井戸管理を行うための1つの基準としたい。

II. わが国における被圧面井戸利用の現状

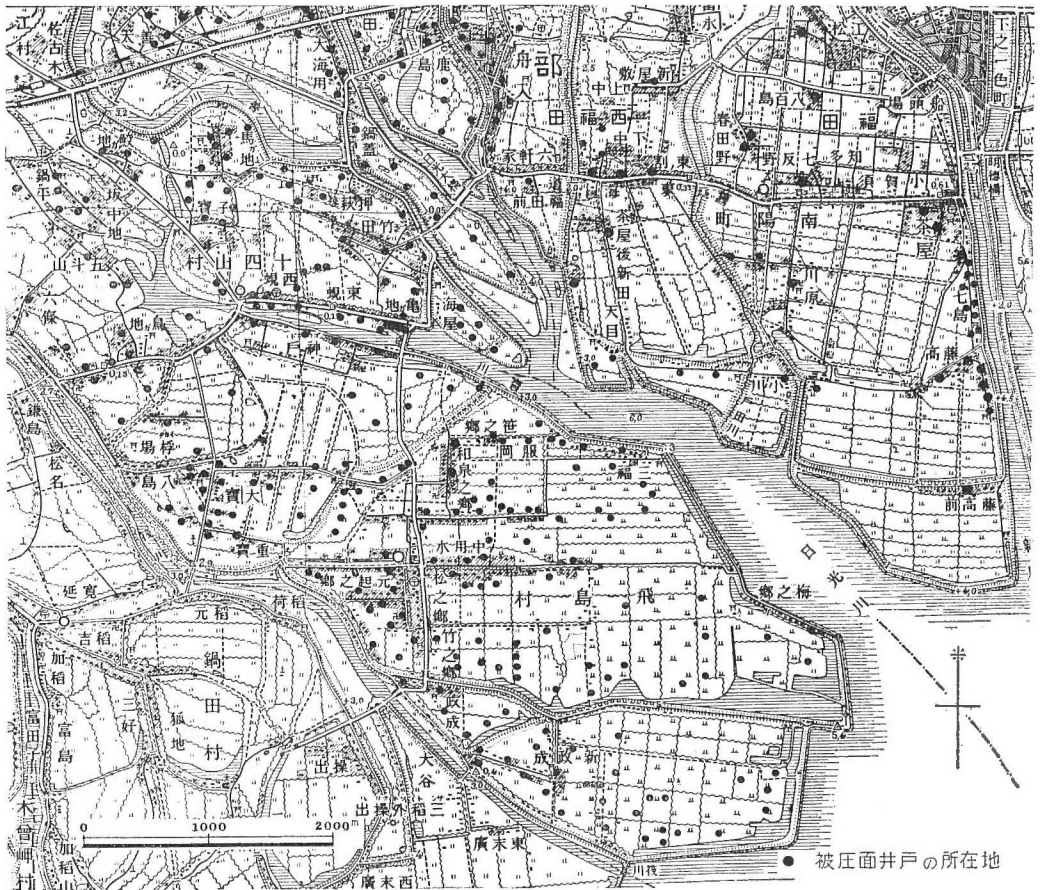
表流については、1) 農業水利・発電水利などの既得権と競合する、2) 降雨により濁度が高くなる、3) 塩水が混入する、4) 水温較差が大きく、かつ夏季高温となる、5) 導水経費が嵩む、などの理由でその利用が困難な場合に、地下水の利用が考えられる。特に港湾施設の利用や排水処理が有利なために、工場は主として臨海部に位置している。そのため表流の利用はほとんど望めず、工業都市の構成要素として、あるいは地盤沈下などの災害対策として、工業用水道による大量、かつ良質の水の供給がない限り、これらの工場は敷地内で、表流よりは安価・恒温・比較的低温および質的变化の少ないという利点をもつ被圧面地下水に依存し勝ちとなる。特に被圧面地下水は紡績工場の温・湿度調整用水、化学工場の冷却用水としては不可欠のものとなっている。

工業用水源として被圧面地下水の最も開発されている代表的な地区としては、東京都・富士市および吉原市一円・浜松市・名古屋市・四日市市を含む北伊勢湾沿岸地帯・一宮市・大垣市・富山市および高岡市・大阪市・瀬戸内海沿岸地帯が挙げられる。なかでも富士・吉原地区の製紙・製パルプ工業、浜松市の染色・楽器、四日市市の化学工業、一宮市の染色・整理・羊毛工業などは、最も使用水量の多い工業であり、これらの地区では原料用水、冷却用水、温・湿度調整用水として、その用水量のほとんど100%を被圧面地下水に依存している。

工場用被圧面井戸の深度は、大阪市の500m、名古屋市の400mなどが最も深いものに属し、井戸孔径は12~14"が一般に多い。これら被圧面井戸の収水層は主として第四紀層であり、1井あたりの揚水量が大きい。代表的な例としては東京都(孔径14~12", 深度330m) 6,400m³/日、富山市(12.5", 60m) 6,400m³/日、大垣市(12", 110m) 6,000m³/日などが挙げられる。しかし仙台市および塩釜市・名古屋市臨海部の1部あるいは四日市市・鈴鹿市・松坂市などでは、明らかに第三紀鮮新統から収水している。そしてその揚水量は一般に小さく1,000~1,200m³/日、最大で3,800m³/日程度である。

一般に工場は臨海部あるいは内陸部に集中しているため、被圧面井戸は狭隘な場所に集中して利用される。例えば富山市では25km²で125,000m³/日、新居浜市では2km²で65,000m³/日の揚水を行い、また川崎市工業用水道水源井15本(深度43~60m)は2.5km²の土地で54,000m³/日の揚水量を得ている。

被圧面地下水の集団揚水は工業用水源のみでなく、農業用水源・上水道水源として行われて



第1図 愛知県海部郡日光川河口に分布する被圧面井戸
井戸孔径 3~6", 深度 100~270m の農業用水源井が大部分を占めている。

いる例も少なくない。特に水田灌漑用・塩害対策用としては、千葉・埼玉・茨城・愛知・三重・奈良・香川・兵庫・佐賀などの各県が代表的なその利用地帯である。その1例として愛知県海部郡日光川河口附近の被圧面井戸の分布を示すと第1図のようになる。しかも農業用水源は工業用水源とは異なつた揚水を行い、夏季の灌漑、冬季の塩害対策といったように、一定期間に集中的に揚水されるため、それによつて生じる圧力面低下がまた大きい。第1図に示した海部郡一帯の深度60間以上の井戸は、10~15年前まで自噴していたが、灌漑用井戸の増加に伴つて昭和24年頃には115間以上の井戸、29年には160間の井戸のみが自噴するという状態で、60間井の圧力面は29年には地表面下4~5m程度まで低下している。そしてこの周辺の自噴井は夏・冬の揚水期間以外の10月~1月の3カ月間に限つて自噴し、圧力面の低下は年あたり8cmと測定されている。また名古屋市港区にある深度234mの被圧面井戸の圧力面は、大正14年当時地表面上0.75mであつたが、昭和12年には地表面下10m、25年には同じく14m、29年には27mに至つている。大垣市東部では深度70mの自噴井の自噴高18mを測定し

たが、これらの井戸は大垣自噴帯における地下水利用とともに自然湧水と相俟つて、年あたり8~10 cm 程度の圧力面低下を伴っている。そして大垣自噴帯としては1日あたり約10,400 m³ の揚水過剰となつている。すなわち地下水の自然供給量を上廻つてそのストックをも排出していることを示している。

これら圧力面低下のためと、井戸の相互干渉とによつて帯水層の圧力が減退し、地下水の自然流動量は漸次減少の傾向を示している。しかも一方、例えば四日市市では昭和12年における1日あたり総揚水量が20,000 m³ であつたのに対して、18年60,000 m³、20年45,000 m³、26年70,000 m³ と増加しているというように、地下水の需要量は年々増加している。このため井戸の増加を伴ない、必然的に自然供給量以上の揚水を行う結果ともなつている。そして需要量を満たすために帯水層は水質のいかんにかゝらず利用され、名古屋市臨海部では上部にある塩水混入の帯水層からも収水するために、周囲の井戸にも影響を及ぼし、量的に恵まれないように水質汚染の現象が生じている。

地下水取得量の増加と、地下水自然供給量の減少などに原因し、ますます深層の帯水層の利用が進み、前述のように愛知県海部郡では10~15年間に、深度60間から160間と都合4層の自噴性被圧面地下水層が開発されている。しかし収水層としての経済的限界は、その地域の地質によつておのずから決まるものである。四日市市臨海部においては、現在の収水層が第三紀暮明層に相当する層とすれば、その下位に想定される地層は、その南部鈴鹿地区で収水している市之原層に相当する砂層であり、後述のようにこの砂層は、第三紀尾張夾炭層から収水している名古屋市臨海部と同様に、その上位の暮明層・猪高層の帯水層よりもより悪い物理的性質を具えているために、上位の地層と同程度あるいはそれ以上の揚水量をうることはできない。しかも市之原層・尾張夾炭層に相当する地層中の水は、この地区においては量および水温はもちろん、水質が工業用水としては不適當であるので、これらの地区における収水層の経済的限界はそれぞれ暮明層・猪高層であるといえる。これに対して大垣市附近は、現在利用の対象となつている深度100~120 m の収水層は洪積層であり、その下位には量・質ともに適した第三紀鮮新統に相当する砂礫層が、少なくとも深度260 m まで連続しており、収水層の経済的限界までは達していない。

したがつて四日市市・名古屋市あるいは富山市・高岡市・浜松市など収水層の経済的限界に達している処では、今後の地下水開発には相当配慮しなければならないし、またその限界に達していない処でも、工場用井戸の集団揚水によつて生じる災害を防止するためにも、これらの揚水管理が急務となつている。

なお本文における術語は次のように定義した。

被圧面地下水 上下に不滲透層を有し、涵養地帯を除いては上位にある水層とはなんら水理学的関係を有しない帯水層中の圧力面を有する水をいい、その帯水層に掘られた井戸を被圧面井戸という。

収水層 採水の対象となっている帯水層を収水層といい、その層に採水の目的で設けられた孔明管を特に収水管という。

揚水水位 揚水によって圧力面勾配が生じ、圧力面が揚水量に相応しただけ低下する。この低下した圧力面を揚水水位という。

水位降下 圧力面と揚水水位との差、すなわち揚水によって生じた圧力面の低下をさす。これは一定時間に一定水量を揚水した時、あるいは揚水水位が一定になつた時に測定される。

III. 水位降下と揚水量との関係

新しく鑿井した場合には揚水試験を行うのが一般的な習慣である。揚水試験は、その井戸から実際に得られる揚水量を測定し、あるいはその帯水層の滲透係数の測定から、さらに大孔径の井戸を掘鑿した場合の揚水量を算定するためにも用いられる。

揚水試験において、揚水開始と同時に圧力面の低下に伴なつて揚水井に向かつて起る圧力面勾配は次第に大きくなり、Darcy の法則 $q=PIA$ (q : 流量, P : 滲透係数, I : 圧力面勾配, A : 断面積) によつて帯水層中の重力水は漸次井戸内に湧出する。そしてほかの揚水井の干渉がない限り、圧力面低下が生じている範囲、すなわち影響圏内の地下水の自然供給量と揚水量とが相等しくなるまで圧力面低下が続く。こうして起る (最も理論的な) 水位降下は、帯水層の滲透係数に逆比例している。

したがつて井戸の揚水量は、滲透係数と水位降下と帯水層の厚さとによつて決まるが、滲透係数や帯水層の厚さは、本質的には地質によつて限定されていて、揚水井固有のものであるから、水位降下が変化することによつて揚水量が増減することになる。

被圧面井戸における水位降下と揚水量との関係は、いろいろな数式で表現されているが、そのなかで最も代表的な Thiem の公式によれば次の関係が成立つ。

$$q = \frac{2\pi a P (s_1 - s_2)}{\log_e r_1 - \log_e r_2} \dots\dots (1)$$

または

$$q = \frac{2\pi a P (H - h)}{\log_e R - \log_e r} \dots\dots (2)$$

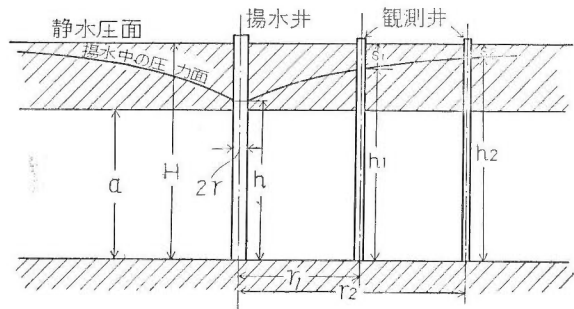
q : 揚水量

a : 収水層の厚さ

P : 滲透係数

s_1 : 揚水井から r_1 の距離にある影響圏内の観測井の水位降下

s_2 : 揚水井から r_2 の距離にあり、 r_1 の観測井よりも遠くにある影響圏内の観測井の水位降下



第2図 被圧面地下水の揚水公式における地下水状態を示す断面図

- H : 揚水前の帯水深
- h : 揚水中井戸壁における帯水深
- R : 影響圏の半径
- r : 揚水井の半径

この公式は Darcy の法則から発展したものであり、揚水中収水層の鉛直断面のすべての点における流速は相等しく、かつ流れは整流であるという仮定のうえに立っている。

一般に定流においては、流量 $q = Av$ (A : 断面積, v : 流速) は断面の位置にかかわらず一定不変であるから、ある断面において水流の断面積を増大または減少させると、これに応じて平均流速は減少または増大する。そしてもし相距たつた 2 断面積間で q に変化がなければ A と v とは q が不変になるように変化する。普通井戸の場合においては断面積の大きさ・形などは常に変化し、これに応じて平均流速も必ず変化するから不等速定流ともいえる。したがって井戸の理論は水路における不等速定流の(水深が下流側で減少する)低下背水に相当するものであるから、 $v = PI$ (P : 滲透係数, I : 圧力面勾配) における I の指数は一般化して $v = PI^{\frac{1}{n}}$ (ただし $n > 1$) という流速公式を用い、Brinkhaus は被圧面井戸に対して次の式を与えている。

$$s_1 = \left(\frac{q}{2\pi a P} \right)^n \frac{1}{(n-1)r_1^{n-1}} \dots \dots \dots (3)$$

または

$$H - h = \left(\frac{q}{2\pi a P} \right)^n \frac{1}{(n-1)r^{n-1}} \dots \dots \dots (4)$$

また流速がある限界を超えると、流れが整流から渦流に移行するという Reynolds の限界速度に関する研究に基づいて、Smreker は滲透層中における水の運動もある流速より大になれば一部に渦流が生じ、滲透運動の抵抗は急に増大すると考え、 $I = \alpha v^{3/2} + \beta v^2$ (α, β は常数) の実験指数公式を表わし、これから井戸の揚水公式を誘導して次の式を与えている。

$$q = 2\pi\mu a \left(\frac{g}{\gamma} \right)^{2/3} r^{1/3} (H-h)^{2/3} \dots \dots \dots (5)$$

- μ : 水の粘性係数
- $\frac{g}{\gamma}$: 滲透性に関する係数

これらの公式において 2 つの水位降下 ($H-h_1$) および ($H-h_2$) に対するそれぞれの揚水量 q_1, q_2 の関係は次のように変形できる。

$$(2) \text{ より } \frac{H-h_1}{H-h_2} = \frac{q_1}{q_2} \dots \dots \dots (6)$$

$$(4) \text{ より } \frac{H-h_1}{H-h_2} = \left(\frac{q_1}{q_2} \right)^m \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{または } \left(\frac{H-h_1}{H-h_2} \right)^m = \frac{q_1}{q_2} \dots \dots \dots (8)$$

$$\text{ただし } m = \frac{1}{n}$$

$$(5) \text{ より } \left(\frac{H-h_1}{H-h_2} \right)^{2/3} = \frac{q_1}{q_2} \dots\dots\dots (9)$$

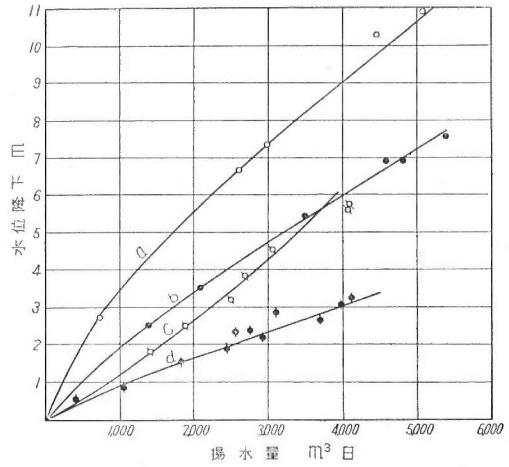
これらの式から Brinkhaus の公式(8)における指数mの値は, Thiem および Smreker の公式 (6および9)におけるそれぞれ1および2/3に相当することになる。

Thiem の公式は, 大孔径の井戸には適用でき, 実際の揚水量に近い値を示すが, 小孔径の井戸では実際値よりも大きい揚水量を示すことが認められている。これは一定水量の場合において流速が井戸の径に逆比例するから, 小孔径の井戸の場合は大孔径のそれに比較して, 収水層中の流れが渦流を呈し易いためである。

整流は滑面上をある勾配以下で流動する場合のみみられ, 帯水層のような粗面状の孔隙間を流動する場合にはむしろ渦流である。特にわが国のように収水管の孔の面積が, その10%以下(2%という低いものも実測した)という値を占めるものが大部分である場合には, 第3図に示したように実際水位降下と揚水量とは, Thiem の公式におけるような比例関係ではなくて, むしろ指数関数的な関係にある場合が多い。

第3図に被圧面井戸の水位降下と揚水量との関係を示す4つの例を掲げた。aは箱根火山東山麓に位置し, 収水層は岩屑を混えた凝灰岩からなり, bは主として兵庫県南部に分布する播磨層中の砂礫層, cは広島県南部に分布する花崗岩の礫を混える砂礫層, dは洪積層に相当する浜松累層の砂礫層からそれぞれ収水している。

なおこの図に示した4井の水位降下と揚水量との値を(7)式に代入して指数nの値を求めると, それぞれ0.721, 1.185, 1.185, 1.258となる。Brinkhaus の公式におけるnの値はn>1であるが, 実際に各地における水位降下と揚水量との値から計算されるnの値は, 1以上のみでなく1以下の場合もある。



第3図 被圧面井戸の水位降下と揚水量との関係

	孔径	時	圧力面 (地表面下)	深度	収水層 の厚さ
a:	富士写真フィルム K.K.足柄工場	133/4~8	2 m	60 m	45 m
b:	明石市上水道東王 子水源井	12	2.3	120	42.7
c:	広島県東海田市町 上水道水源井	8	1.3	21	4.6
d:	浜松市上水道補助 水源井	12	0.3	107	10

IV. 水位降下と揚水量との関係が示す収水層の物理的性質

2井またはそれ以上の揚水井の揚水量を比較するために, 単位水位降下あたりの揚水量を用いることがある。この値は specific capacity と呼ばれ, 単位は m³日/m で示される。先に

述べたように揚水井の水位降下は、理論的には Darcy の法則により帯水層の滲透係数と密接な関係にあるから、specific capacity は収水層の滲透係数や厚きによつて決まるものである。

しかし実際には水位降下は、井戸の構造やその附近の地下水利用状態によつて異なつた値を示すことがある。これは本質的には被圧面地下水の涵養地帯における供給量あるいは、揚水井周囲の地下水利用による帯水層中の水圧変化に原因するものである。そしてこの水圧変化によつて生じる収水層中の流動抵抗、収水管から揚水水位までの上昇の際に起る管内摩擦抵抗、揚水中の上昇速度などによる水頭損失、また収水管の孔の面積・形・配列などによる、すなわち井戸の構造による水頭損失によつて、実際には水位降下はより大きい値となる。水位降下と揚水量とは、前述のように指数函数的な関係にあるので、specific capacity の比較は同一水位降下のときでなければならない。

第3図に示した4本の井戸について水位降下3mのときにおける specific capacity を求めると、それぞれ $267\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$ 、 $567\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$ 、 $734\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$ 、 $1,300\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$ の値が得られる。このうち a の収水管は最も長いにもかかわらず specific capacity が小さいのは、収水層が岩屑混りの凝灰岩であるためで、他の井戸の収水層に比較して透水性が小さく、また c は収水管が短いわりに specific capacity が大きいのは、収水層が花崗岩質の物質からなり、さらに地下水の主流部に位置することなどの水理地質的条件によるものと思われる。また d が b・c よりも specific capacity の大きいのは、自噴性被圧面地下水を収水しているためと考えられる。一般に自噴井は非自噴井よりも圧力面が高いから、揚水に際して起る水頭損失がより小さく、specific capacity は非自噴井よりも大きい値を示す。これに対して b は基盤山地に近く位置し、おもに播磨層中の帯水層から収水しているが、収水層の大半は砂であり、しかも地下水はほとんど降雨の滲透水によつて供給されているので、供給量が少なく、かつ帯水層の物理的性質などが c・d よりも劣っていることなどのために、小さい値を示すものと推定される。

また井底が不透水層まで到達している揚水井と、到達していないで井底からも湧出するような構造の揚水井とでは、前者の場合は収水層中の流れが水平方向であるのに対して、後者の場合は井底からの流入による垂直流が生じるために水頭損失がより大きくなり、specific capacity は小さい値を示す。さらに揚水井はいろいろな場合、例えば swabbing や、揚水によつて細粒物質が収水層から移動する時などには、収水管周囲の帯水層は gravel packing を行つたと同様な結果となることがある。

要するに、同じ滲透係数を有する揚水井間の水位降下と揚水量との関係は、理論的に同一であるにもかかわらず、実際において単位水位降下に対する揚水量が異なるのは、水頭損失が相違していることを意味する。また同じ帯水層に同じ構造の井戸がありながら両者の関係が互に異なるのは、掘鑿あるいは揚水中において、収水管周囲の透水性に差異を生じたためと考えられる。

このように揚水井における水位降下と揚水量との関係は、本質的には帯水層の滲透係数によ

つて決まるが、帯水層中における水理変化、あるいは井戸の開発によつても変化するから、1井あるいは2井以上の揚水井について両者の関係を把握することによつて、その井戸あるいは井戸群の現状をある程度推察することができる。すなわち両者の関係から、

- 1) 収水層の滲透係数の比較
- 2) 収水管の面積減少に伴う水頭損失の増加
- 3) 適正揚水量の決定
- 4) 井戸の干渉による水頭損失の増加
- 5) 井戸効率の測定
- 6) swabbing による specific capacity の変化

など、収水層の物理的性質およびその時間的変化を知ることができる。

IV. 1 収水層の滲透係数の比較

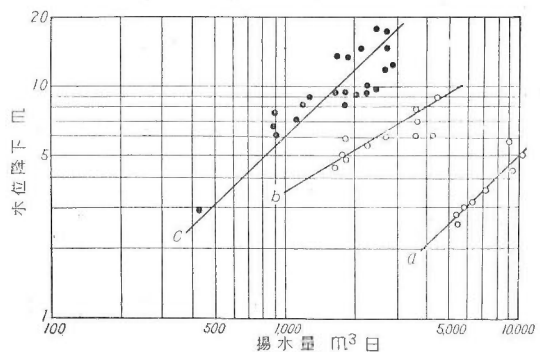
一般に帯水層の滲透係数は、粗粒物質から細粒物質になるにしたがつて減少し、またそれらの物質の混合の割合によつても異なる。すなわち礫の場合が最も大きく、砂礫・砂・粘土の順に小さくなり、それらの滲透係数の値はおおよそ 0.5~1.0 cm 秒, 0.1~0.5 cm 秒, 0.01~0.05 cm 秒, 10^{-5} ~ 10^{-8} cm 秒 を示している。

また帯水層の性質は、地質時代によつても相違し、一般に新しい地層は古い地層よりも透水性が大きく、また上位の地層は下位の地層よりも大きい。

かように滲透係数は帯水層の構成物質や堆積状態などによつて異なるから、相異なる帯水層から収水する揚水井の水位降下と揚水量との関係は、おのずから相違する。したがつて揚水井の specific capacity から逆にそれらの帯水層の滲透係数を比較することができる。この場合比較の対象となる揚水井は、同一孔径で収水層の厚さも同じ程度のものでなくてはならない。

いま同じ帯水層から収水する同一構造の井戸群について考えれば、それらが相互に干渉していない限り、水位降下と揚水量との関係は相等しいはずである。したがつて個々の井戸について求められる両者の関係と、これらの井戸群を1つの井戸とみなした場合の両者の関係とは相等しいことになる。

名古屋市内における同様な構造の被圧面井戸を選んで水位降下と揚水量との関係を求めると(第4図)、北部すなわち

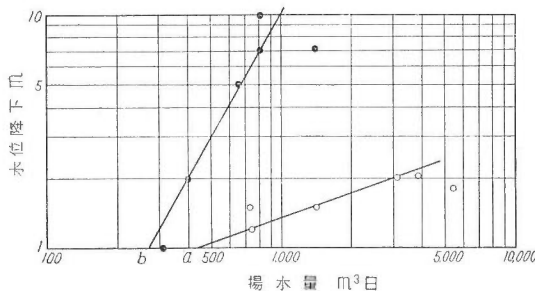


第4図 名古屋市内における被圧面井戸の水位降下と揚水量との関係

- a : 北部
- b : 中部
- c : 南部

庄内川流域が最も揚水量が大きく、中・南部と次第に小さくなり、水位降下5mの時に

specific capacity はそれぞれ $2,000\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$, $360\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$, $166\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$ で、北部は南部の約12倍に相当する。北部の被圧面井戸の多くは、洪積層に相当する大曾根層および唐山層から収水しているが、中部は洪積層の一部と第三紀層に相当する猪高層、南部はおもにその下位の尾張炭層から収水している。北部の帯水層は著しく礫質で、かつ庄内川から直接水の供給を受けているのに対して、中・南部はこれよりも下位の地層であり、特に南部の帯水層は砂質であるとともに、これらのなかに含まれる地下水の大半は名古屋東部丘陵地帯の滲透水によつて涵養されている。そして北部の圧力面は地表面下5m程度であるが、南部は地表面下20mにも及び、このため揚水時の水頭損失にも差異があると思われる。また一宮市・尾西市地区における大曾根層・唐山層に相当する層と、猪高層に相当する層とから収水する被圧面井戸の specific capacity は、それぞれ $500\sim 800\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$, $200\sim 300\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$, 最大 $3,000\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$ および $800\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$ の値を示している。この地区における圧力面は猪高層に相当する層の方がむしろ高い



第5図 高岡市および新湊市における被圧面井戸の水位降下と揚水量との関係

- a : 高岡市南部
- b : 高岡市伏木および新湊市などの臨海部

にもかゝらず、このように specific capacity の異なるのは帯水層が地質的に相違しており、滲透係数に差異があるためと思われる。

第5図は高岡市および新湊市附近における被圧面井戸の水位降下と揚水量とに関する資料について、その収水深度と帯水層の地質との関連において纏めたものである。このうち高岡市街地南部の深度30~60mの被圧面井戸の specific capacity

は、北部の同市伏木および新湊市などの臨海部の70~90mのそれよりも著しく大きく約15倍に相当する。地質的には同一の帯水層であるにもかゝらず物理的性質に差異があるのは、南部の帯水層は被圧面地下水の主流部で圧力面の高圧部にあたり透水度が大きく、しかも圧力面勾配が $1/500$ であるのに対して、臨海部は低圧部に位置して圧力面勾配は $1/1,800$ 程度の小さい値を有することなどが、そのおもな原因と推定される。

このように specific capacity は、帯水層の構成物質と堆積状態に基づく滲透係数の差異以外に、涵養地帯の水利の差異による帯水層内の圧力によつても異なるものである。

IV. 2 収水管の面積減少に伴う水頭損失の増加

必要な揚水量を確保するためには、帯水層の滲透係数に相応するだけ圧力面を低下させなければならない。そして揚水量が地下水供給量以内であつたならば、第3図に示したように圧力面は揚水量と一定の関係を保つて低下する。これは僅かな水位降下の場合でもみられる現象で、この場合さらに圧力面を低下させると井戸管内の圧力面は収水管以下に下がり、遂には揚

水不可能な状態に陥ることがある。

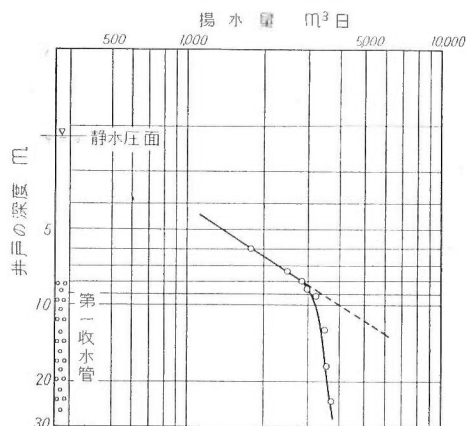
川崎市徳和紡績 K. K. 溝の口工場では、孔径 12", 深度 50m の被圧面井戸を掘鑿し、6～9m, 18～24m, 45～48m の3カ所の帯水層（上位2カ所は砂礫層、最下位は砂層）に収水管を設けたが、揚水試験の結果 720m³日の揚水量を確保するには、揚水水位を 29m に保たなければならないし、それ以上の揚水量をうることは不可能となった。揚水試験時においては第3収水層よりの供給量以外に、第1および第2収水層からの自然湧出量も加わっていたが、圧力面を 29m に低下させることは、これら上部の2収水管が揚水水位上に露出することとなり、やがては収水管としての効果を失い、ほとんど下位の砂層のみから収水する結果となつて、720m³日の揚水量も得られなくなる可能性が強くなるものと推定される。

富士写真フィルム K. K. 小田原工場では、孔径 14", 深度 60m の被圧面井戸を掘鑿し、収水管を深度 8～27m, 37～42m, 50～59m の3つの砂礫層に設け、揚水試験によつて水位降下 7.2m に対し揚水量 4,300m³日の成績を得たが、揚水開始後6カ月を経過しないうちに揚水量が減少し、現在では需要量 3,500m³日を満たすには第6図に示したように、第1収水管のほとんどが揚水水位上に露出するまでに圧力面を低下させなければならなくなつた。収水管の一部が揚水水位外に露出すると、それだけ孔の面積が減少するから揚水量は当然減少する。そして 3,500m³日の揚水量をうるには理論的には圧力面を深度 9.2m に保てばよいが、実際には 17.5m となり、8.3m の水頭損失を生じている。したがつてこのような揚水井での最も望ましい揚水水位は、揚水量が減少しても収水管の上限である深度 8m 以浅に圧力面が止まるように管理すべきである。

この現象は一種の過剰揚水とみることができる。そして単位揚水量に対する動力費が相当に嵩むのみでなく、この原因のために自由面地下水を吸引する結果となり、特にこの地下水の水質が不良である場合には、工場の必要とする水質は許容限界を越し、予想外に莫大な経済的損失を招く結果ともなる。

IV. 3 適正揚水量の決定

被圧面井戸の揚水を中止すると、圧力面は急速に回復して自噴するが、次第に低下して地表下 1m 位に静止すること、あるいは徐々に回復してやがて揚水前の静水圧面まで回復することは、野外においてよく経験する。



第6図 揚水により収水管の面積減少に伴つて生じる水頭損失

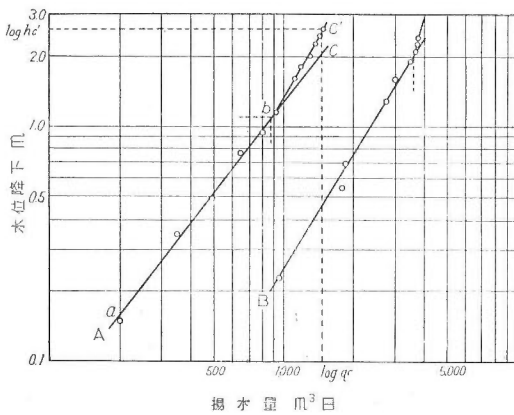
一般に被圧面地下水層中の間隙は、ある水頭圧の下で水によつて飽和されており、被圧面地下水はその上位にある地層の荷重に対する静水圧を有しているのが原則である。そして揚水あるいは自噴によつて地下水を排出すると、帯水層内に圧力の減退が生じ、静水圧が減少する。

この場合帯水層が圧縮性で弾力性があると、揚水中は静水圧の減退が連続して起るが、揚水が中止されると帯水層は膨脹し、帯水層中の圧力が回復して圧力面はもとの静水圧面にまで回復する。しかし帯水層が圧縮性で非弾力的であると、圧力減退に伴なつて帯水層にその上位の地層の荷重が加わると、地下水が排出されるとともに孔隙率が減少し、揚水を中止しても完全にはもとの物理的性質に回復せず、圧力面もまた原静水圧面に完全に復帰しないということが起る。

これは明らかに過剰揚水の現象である。すなわち地下水涵養地帯における供給量の変化以外に、多くは被圧面井戸の揚水量が供給量よりも大きいために、帯水層中の貯溜水が抽出され、これによつて占められていた間隙が縮小するからである。このような収水層の圧縮または砂の移動のために、井戸の周辺が沈下することはしばしば経験される。

したがつて圧力面が完全に原静水圧面にまで回復した場合には、この揚水状態は安全揚水であつたとはいえ、このときの揚水量を適正揚水量と呼ぶことができる。

適正揚水量、すなわち帯水層の物理的性質が変化しない範囲の揚水量の限界を決めることは、地下水利用上最も必要なことである。前述のように揚水量は水位降下に対してむしろ指数函数的に増加する。そして安全揚水の範囲内においては、水位降下と揚水量とは一定の関係を維持



第7図 適正揚水量を決定するために用いられる水位降下と揚水量との関係 (徳島市上水道水源井の資料による)

しているが、揚水量がある限界を超えると、揚水量の増加に対して、水位降下は急速に増大するに至る。この水位降下と揚水量との関係は次のようにして求めることができる。

いま Y 軸に水位降下 (h)、 X 軸に揚水量 (q) をとり、それらの値を両対数グラフに plot すると、例えば第7図に示したように、両者の関係は直線 abc となる。しかし $\log q$ が C 点に達すると水位降下は $\log hc'$ となり、直線 abc とは別な曲線 abc' が得られる。これは揚水に際して地下水供給量の範囲内での揚水量であれば、不等速定流の理論によつて $\log h$ と $\log q$ とは直線関係を示すが、揚水量が供給量を上廻ると、すなわち過剰揚水になると、揚水量の一部は帯水層中の貯溜水から排出されるようになり、摩擦抵抗がますます大きくなるために $\log q$ に対して $\log h$ がより増大するためであろう。したがつてこの直線の変曲点はその

井戸における安全揚水の限界点であり、そのときの揚水量が適正揚水量に相当する。第7図のAにおける適正揚水量は880m³/日、Bの適正揚水量は3,600m³/日と抑えられ、そのときにおける水位降下はそれぞれ1.1mおよび2.0mである。

一般に地下水流動量は涵養地帯における水理変化によつて増減する。例えば大垣市附近における自噴井の排出量は、夏と冬とでは30～50%程度の差があるから、安全揚水の限界もまたその変化に相応して相違することを考慮しなければならない。

IV. 4 井戸の干渉による水頭損失の増加

地下水利用の立場からいえば、井戸の位置選定にあつては、最も透水度の大きい、圧力面の高い処を選定するのが理想的である。しかし現実には地上権あるいは水利権などの障害のために、必ずしもそういう理想的な場所を選定することは困難な場合が多い。しかも1本の井戸の揚水量だけでは不足な場合や、その後の用水量増加に伴つて井戸を増設する場合、立地条件の制約を受け、あるいは水源を別個に設けるために生じる経済的負担のために、不利ではありながら既設井の近くに新たに水源井を求めるような例は少なくない。

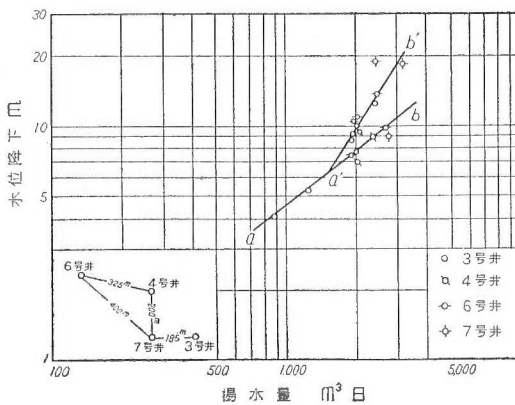
このため井戸増設にあつては、可能な範囲内において井戸間隔・収水層の選択などを行い、別府化学 K. K. 加古川工場のようにかなり理想的な地下水利用を行つている処がある。この工場は45,000坪の工場敷地内にある深度200mに及ぶ計9本の被圧面井戸から、日量6,000m³の地下水を取得している。これらの井戸のうち播磨層および一部明石層から収水する130m以浅の井戸のspecific capacityは360m³/日/m、また明石層下半で収水する150m以深の井戸のそれは200m³/日/mであり、適正揚水量はそれぞれ1,800m³/日、1,300m³/日と推定される。このような不利な自然条件下にあるので、相接した井戸の収水層は深度を異にして、できうる限り井戸相互の干渉を起さないよう管理されている。しかし必ずしもこのように地下水利用は行われておらず、トヨタ自動車 K. K. 挙母工場のように立地条件の不利な処では、需要量を満たすためにはある程度の過剰揚水は止むをえない現状である。この工場は瀬戸第三紀丘陵の東縁部にあたり、地下水供給源は降雨の滲透水以外にはほとんど考えられない。そのため被圧面井戸は深度100m以浅であり、圧力面は地表面下20～30mで、specific capacityは50m³/日/mという小さい値である。したがつて工場操業に必要な水量12,000m³/日を確保するには、各井戸ともすべての帯水層から収水し、水位降下が25mにも及んでいる。このため収水管の砂づまりが甚だしく、3カ月ごとにswabbingを行つており、圧力面は16年間に約5m低下している。

このような例は各地にみられ、特に臨海工業地帯では工業用水道・上水道などによる淡水供給以外はほとんど地下水によつてまかなわれており、各工場ともなんらの統制なしに揚水を行つているので、井戸の干渉が甚だしく圧力面が極度に低下している。しかもそれらの井戸群の総揚水量が地下水供給量を上廻るので、帯水層の物理的性質が破壊され、それらの井戸群のみ

でなく、他の井戸にも影響を及ぼし、水質の汚染などの災害を招くことがしばしばある。特に水質を生命とする工場においては、水質保全の見地からも井戸の相互干渉は極力避けて、安全揚水を保たなければならない。

四日市臨海工業地帯は、その用水量の100%を被圧面地下水に依存して、その大部分が深度100~200 mの帯水層から収水している被圧面井戸群による代表的な集団揚水地帯である。

この地帯は元来自噴していたのであるが、井戸の増加に伴ない、現在の圧力面は海面下20 m以上にも達している。そのうち日本板硝子K.K. 四日市工場の被圧面井戸について、昭和25年から27年10月までの期間の観測結果によると、圧力面は約15 m低下し、それに伴って揚水量は平均40%程度減少している。



第8図 井戸干渉によつて生じる水頭損失を示す水位降下と揚水量との関係

同工場内にある深度100~150 mの水層から収水している同一構造の被圧面井戸4本についての観測結果から、水位降下と揚水量との関係を両対数グラフに示したものを第8図に示した。これによると個々の井戸における水位降下と揚水量とは、直線 $aa'b$ のような関係にある。しかし4本の井戸を一斉に揚水すると、各井戸の揚水量が $1,500\text{m}^3/\text{日}$ に達するまでは、両者の関係は単独揚水の場合と全く同じであるが、それ以上に揚水すると

$aa'b'$ のように水位降下が急速に増大する。そして $3,000\text{m}^3/\text{日}$ の揚水量に対して、単独揚水と集団揚水との場合では約7 mの水頭損失がある。

これはおそらく $1,500\text{m}^3/\text{日}$ の揚水量以内では、各井戸ともほとんど干渉せず、またそれらの井戸の適正揚水量以内では理想的な揚水を行つているのであるが、それ以上の揚水量に対しては適正揚水量以内であっても、相互干渉のため、不自然な揚水条件になるものと推定される。

大垣市西大垣附近もまた代表的な被圧面地下水の集団揚水地帯で、孔径12~20"の被圧面井戸が 0.3km^2 に24本存在して、いずれも深度100~120 mから収水している。そして各井戸とも $2,000\sim 6,000\text{m}^3/\text{日}$ の揚水を行い、総量約 $63,500\text{m}^3/\text{日}$ に及び、揚水施設を最大限に作動すると $100,000\text{m}^3/\text{日}$ 以上の揚水が可能である。このため工場地帯の圧力面は少なくとも7 m以上低下し、その影響は約10 kmの下流部にまで及んでいる。

IV.5 井戸効率の測定

先に述べたように揚水井の水位降下は、滲透係数と密接な関係があるから、同じ滲透係数をもつ帯水層から収水している井戸群の水位降下と揚水量との関係は当然同じであるが、実際に

specific capacity の相違するのは、井戸の構造による水頭損失の差異によるものである。また同じ帯水層に同じ構造の井戸がはいっている場合、本来両者の関係は同一であるが、specific capacity の異なるのは、収水管附近の収水層の透水度が2次的に変化したためと考えられる。したがって揚水井の specific capacity を比較することによつて、その井戸の構造による水頭損失あるいは滲透係数の相違を知ることができる。すなわち揚水井の効率を比較することができる。

こゝでいう井戸効率とは、井戸管内における理論的水位降下と水頭損失によつて生じる実際の水位降下との比率をいい、井戸効率が100%ということは水頭損失を生じないような井戸構造であり、またそのような収水層であることを意味する。

理論的には揚水に際して井戸管の内外における水位差はないが、実際には水頭損失があるために、井戸管の内外の圧力面は異なる。事実揚水試験を行つた場合、揚水中止と同時に圧力面はある位置まで瞬間的に回復するが、それから徐々に回復する。この最初の瞬間的に回復する処が、おそらく管外の圧力面の位置であつて、それ以後は管内外の圧力面は平行して上昇し、もとの静水圧面まで回復するものと推定される。

井戸効率を測定する方法として、収水管のすぐ外側に小さな観測井を設け、揚水井の圧力面と比較する方法が従来行われているが、この場合、2井戸の圧力面差は揚水井の効率と逆比例している。しかしこの方法は、収水層の物理的性質が井戸の掘鑿あるいは揚水によつて変化していることは全く考慮されていない。

このほかの測定方法としては、滲透係数の測定や揚水量の算定公式を用いることによつて求めることができる。

$$\text{すなわち} \quad E_w = \frac{100 \cdot S_e}{S}$$

E_w : 揚水井の効率

S_e : 井戸管内の理論的水位降下

S : 観測した水位降下

被圧面井戸の理論的水位降下は次の式から計算できる。

$$S_e = \frac{0.366q}{HP} \log_{10} \frac{r_1}{r} + S_1$$

q : 揚水量

H : 揚水前の帯水深

P : 滲透係数

r : 揚水井の半径

S_1 : 揚水井から r_1 の距離にある影響圏内の観測井の水位降下

この公式を使用して L. K. Wenzel は5つの灌漑用井戸について、井戸効率を測定して第1表のような値を得ている。

これによると揚水井の効率は、Grand Island の41% から Gothenburg の120% までの範

第 1 表

場 所	孔 径 吋	深 度 呎	収水層の厚さ 呎	揚 水 量 ガロン/分	S 呎	S_0 呎	E_w %
Grand Island	24	39.5	100	540	20	8.2	41
Karney*	25		48	1,100	11	9.6	87
Gothenburg*	24	33	17	532	10.3	12.4	120
Scottsbluff	24	46	123	1,270	23	13	57
Wichita*	26		26.8	1,000	15	14.6	97

* これらの井戸底は不透水層まで到達している。

用にあるが、他の3井に比較して Grand Island と Scottsbluff の揚水井が低い効率を示しているのは、井底が不透水層まで達していないためであると指摘している。

IV. 6 Swabbing による Specific Capacity の変化

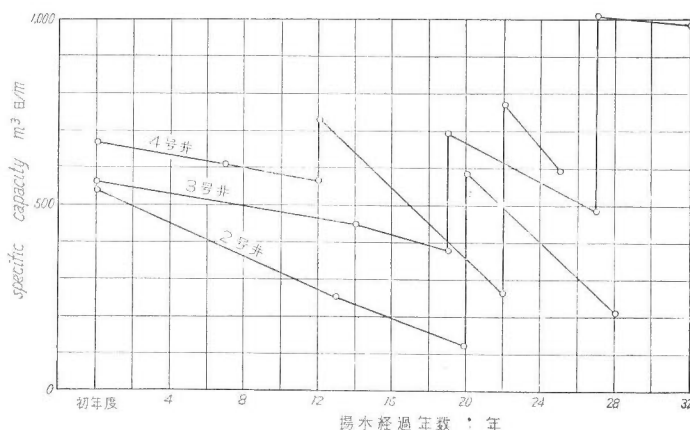
水位降下と揚水量との関係は、同じ構造の揚水井について、滲透係数の比較あるいは井戸効率の比較に用いられるのみでなく、個々の揚水井についてもそれらの時間的変化を知る1つの指標としても利用することができる。

以上に述べてきた水位降下と揚水量との関係は任意の時間におけるものであつて、時間的変化は全く考慮されていない。しかし井戸は竣工当初の揚水量を必ずしも長期間維持できるものではなく、揚水時間とともに変化するものである。特に揚水中における井戸周囲の収水層中の水の流れが整流であれば、周囲の揚水井の影響がない限り、時間的変化はほとんど考慮されないであろうが、井戸構造および揚水は、必ずしも理論的に行われておらず、揚水量に対して、収水管の孔の面積が小さいために起る渦流によつて砂の移動が生じ易く、加古川市東王子水源井では、2年間に24 m 堆砂している。砂の移動のため収水層の空隙率が変化し、あるいは帯水層が収縮して、揚水量が減少するいわゆる井戸老朽化の現象が起る。老朽化した井戸の若返り法としては、多くの場合 swabbing または爆破によつて、収水管内の砂あるいはその孔を塞いでいる砂の除去が行われている。また井戸中への砂の移動を予防する目的で、収水層に gravel packing が行われている。この方法は鑿井して井戸管を挿入するとき、孔壁と収水管との間に、あらかじめその水層の砂の粒径から計算して求められたある大きさ（大体砂の径の8倍が標準とされている）の砂利を人工的に充填して、揚水による収水層からの砂の移動を防止するとともに、収水管の断面積すなわち井戸の孔径をより大きくしたと同一の結果をもたらすものである。

井戸の若返り法を実施すると、少なくとももとの状態に近いまでに揚水量を回復する。そして収水管附近の収水層の透水度は、もとの値よりも幾分大きくなっている。

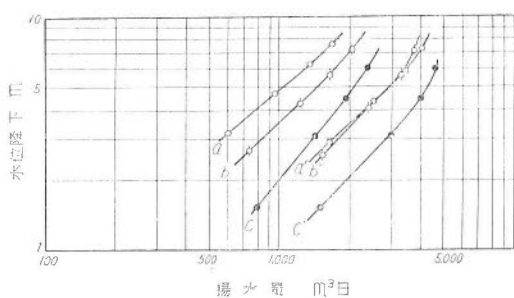
大牟田市上水道水源井における圧力面と揚水量との継年観測資料によると、竣工当初から現在までの間に両者とも漸減し、圧力面は約 5 m 程度の低下をみている。そのため各井戸につ

いて揚水開始より5～10年経過後に井戸の swabbing を行い、1井について少なくとも2～3回繰返し、それによつて揚水量の増加をはかっている。この資料に基づいて specific capacity の変化を示したのが第9図である。



第9図 揚水時間の経過に伴う specific capacity の変化

これによると揚水時間の経過とともに specific capacity は漸減し、2号井では20年後に当初の約1/3に減少しているが、swabbing によつて約3.5倍に増加、すなわち当初の値よりも大きい値となっている。



第10図 swabbing によつて変化する水位降下と揚水量との関係
a, a' は昭和17年, b, b' は23年, c, c' は27年の swabbing 前後における両者の関係

関係を求めると、第10図のように示される。これによると揚水開始当初の両者の関係は不明であるが、第2回の swabbing によつて第1回のそれに近い状態にまで回復し、第3回の場合には前の2回の成績よりもさらに効率よくなっている。しかしこの両者の関係をよく観察すると swabbing の前後における両者の関係は、ほぼ Brinkhaus の公式にしたがっているが、swabbing が行われるごとに直線の勾配、すなわち指数 n の値が次第に大きくなっている。そして第3回の swabbing 後においては水位降下は前2回では6mであるのに対して4mになると、安全揚水の限界に達する。換言すれば同一適正揚水量に対して第1・第2回と第3回とでは水頭損失に2mの差がある。収水層の厚さおよび孔径が一定であるにもかかわらず、このような結果となるのは、おそらく swabbing によつて収水管周辺の帯水層の透水度がより大きくなり、井戸効率が増加したためと推定される。

こゝにおいて Brinkhaus の公式

しかしふたたび減少の傾向を示し、3, 4号井においても swabbing を繰返すごとに揚水量の増加する割合もまた大きくなるが、減少する時間はさらに早くなる傾向を示している。そして specific capacity は竣工当初よりも swabbing 後における値の方が次第に大きくなっている。

なお6号井について3回の swabbing による記録から、水位降下と揚水量との

$$H-h = \left(\frac{q}{2\pi a P} \right)^n \frac{n}{(n-1)r^{n-1}} \quad \text{において}$$

$$C = \left(\frac{1}{2\pi a P} \right)^n \frac{1}{(n-1)r^{n-1}} \quad \text{とすると,}$$

$$H-h = Cq^n \dots\dots\dots (10)$$

$$q = C_0(H-h)^m \dots\dots\dots (11)$$

$$m = \frac{1}{n}$$

(11)式における C_0 の値はThiem の公式においては $\frac{2\pi a P}{\log_e R - \log_e r}$ に、Smreker の公式においては $2\pi\mu a \left(\frac{g}{\gamma} \right)^{2/3} r^{1/3}$ に相当することになるから、揚水井の収水層の厚さ・滲透係数・孔径などの井戸諸元に関する函数とみなすことができる。

この式に基づいて6号井の swabbing 前後における水位降下と揚水量との値から、指数 m と C_0 の値を求めると第2表のようになる。

第 2 表

	swabbing 前		swabbing 後	
	m	C_0	m	C_0
昭和 17 年	1.187	152	0.963	604
" 23 年	1.007	281	0.903	662
" 27 年	0.878	522	0.891	1,022

この表でみられるように、swabbing によつて C_0 の値は2～4倍に増加している。また水位降下 4 m のときにおける specific capacity は、第3表のように求められる。

第 3 表

	swabbing 前	swabbing 後
昭和 17 年	790m ³ 日/m	2,400m ³ 日/m
" 23 年	1,200 "	2,400 "
" 27 年	1,800 "	3,700 "

すなわち swabbing によつて specific capacity の値は2～3倍程度に増加している。前述のように収水層の厚さおよび孔径は固定しているから、 C_0 は specific capacity と同様に収水層の滲透係数を表わしているものと考えられる。

なお、このように swabbing によつて井戸の効率が增加することは、収水管周辺の滲透係数の増大、水頭損失の減少を意味するとともに、井戸の孔径をより大きくしたことと同一結果になっている。

V. 各地における水位降下と揚水量との関係

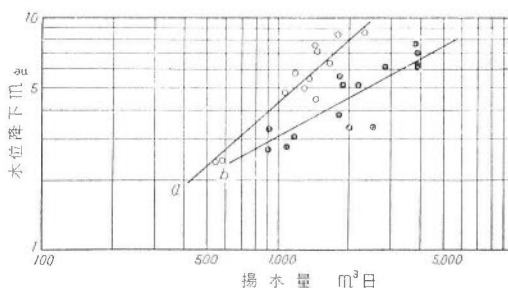
昭和26年から実施している工業用水調査の際、測定あるいは蒐集した被圧面井戸に関する資料、および全国工場調査表を基にして被圧面井戸の代表的ないくつかの地域について、その水位降下と揚水量との関係を求めると、東京・大阪・四日市というように、それぞれ比較的類似性の高い地質と考えられる地域ごとに纏めることができる。

しかし実際には個々の資料を検討するのに、いろいろな理由によつて資料の不備・測定上の誤差・条件の相違などはまぬがれないので、作業方法としてはその地区における被圧面井戸群から、孔径と深度のほぼ同じものを抽出して、揚水条件が近似のものと考え、収水管の位置・長さおよび構造・圧力面などを同一条件下にあるものとみなして、水位降下と揚水量との関係を(7)式によつて求め、これを両対数グラフに示したのが第11図以下である。

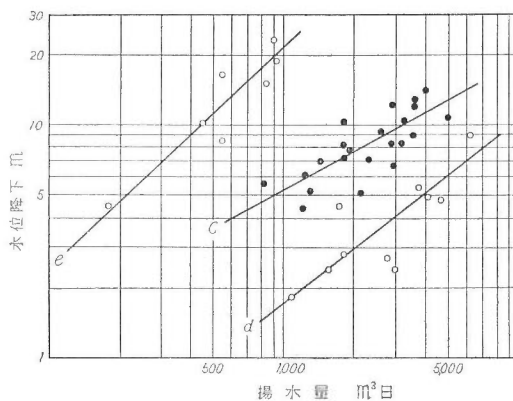
したがつてこれらはその地区における帯水層の、およそその物理的性質を示していると考えられる。

第11図は埼玉県浦和市・川口市附近における深度60~100m (a), 120~140m (b), また第12図は東京都における深度100~120m (c), および130~180m (d) と、川崎市附近の100~120m (e) の被圧面井戸の水位降下と揚水量とを表わしたものである。両者の関係すなわち specific capacity が、井戸の深度によつて相違するのは、先に名古屋市における例で述べたように、明らかに帯水層の性質の差異によるもので、同じ地域における同深度の帯水層でもその物質が一樣でなければ、両者の間にはそれぞれ特徴のある関係がみいだされる。a, b では孔径が8", 10~12" のためそれによつて両者の関係が異なるとも考えられるが、

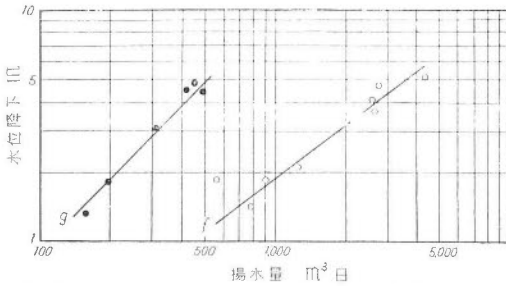
同一孔径の c, d 間でも相違するし、また常総台地における例からも、むしろ帯水層の物理的性質が深度によつて相違するためと考えられる。そして b, d はそれぞれ a, c よりもより透水度の高い帯水層ということができる。これに対して e は specific capacity が小さく、かつ



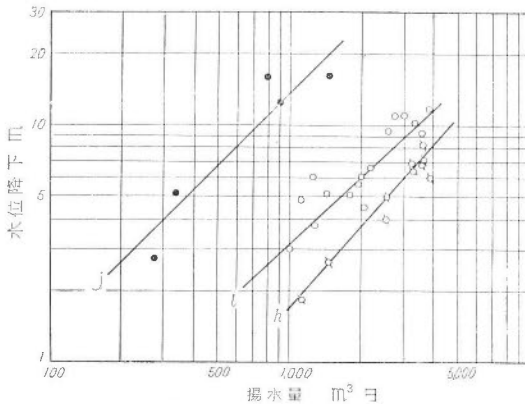
第11図 浦和市・川口市附近における被圧面井戸の水位降下と揚水量との関係



第12図 東京都および川崎市における被圧面井戸の水位降下と揚水量との関係



第13図 富山市における被圧面井戸の水位降下と揚水量との関係



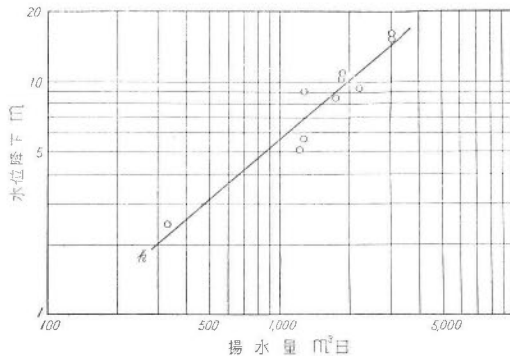
第14図 四日市市・鈴鹿市における被圧面井戸の水位降下と揚水量との関係

のように大部分第三紀暮明層に相当する地層から、鈴鹿市附近の被圧面井戸は、その下位市之原層に相当する地層からそれぞれ収水している。したがってそれらの帯水層は主として砂礫層と砂層とからなっている。第14図は四日市市の深度100m以浅(*h*)と150~200m(*i*)、鈴鹿市の150m(*j*)に相当する孔径12~14"の被圧面井戸の水位降下と揚水量との関係を示したものである。四日市市の深度による specific capacity の差異は、透水性の影響によるものであるが、(*i*)の井戸群はおもに臨海部に集中しているために帯水層の圧力低下が著しく、揚水時の水頭損失による影響もまた大きいのではないかと推定される。鈴鹿市附近における砂層の specific capacity は四日市市附近よりも劣るが、これは明らかに帯水層の差異による。この値はその南部津市附近における帯水層が、砂層(おそらく鈴鹿市附近と同じ地層であろう)からなる被圧面井戸が示す値と同じである。

直線の勾配が大きく、これらよりもより透水性の低い帯水層である。

富山港背面の被圧面地下水は、そのほとんどが常願寺川によつて涵養されており、被圧面井戸の多くは深度90m以内で、これらのうちから深度40~60m(*f*)と、60~90m(*g*)とに分けて両者の関係を示したのが第13図である。圧力面測定結果によると、*f*は常願寺川左岸の被圧面地下水主流動部にあたる地区に存在する被圧面井戸であり、*g*は主流部よりはずれた神通川寄りに位置するものである。したがって*f*と*g*において両者の関係が相違するのは、深度による帯水層の物理的性質の差異によるのみでなく、背面の地下水供給の差異にもまた原因している。

四日市市附近の被圧面井戸は、前述

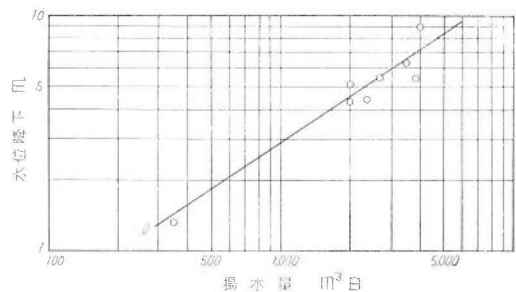


第15図 大阪市における被圧面井戸の水位降下と揚水量との関係

第15図および第16図は、大阪市および岡山県南部における深度それぞれ130~200m, 40~60mの被圧面井戸についての関係を示したものである。

以上は比較的類似性の高い地質と考えられる地区ごとに、水位降下と揚水量との関係を示したが、これは本質的には平野堆積物の物理的性質および、背面地域の集水規模あるいは集水能力などの水理的条件により、また2次的には被圧面井戸の開発規模に原因していることは確かである。

なおこれらの地区における水位降下5mのときにおける specific capacity の値と、Brinkhaus の公式における指数 n の値を第4表に纏めた。



第16図 岡山県南部における被圧面井戸の水位降下と揚水量との関係

第 4 表

地 区	n	specific capacity ($\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$)	地 区	n	specific capacity ($\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$)
名古屋市 北部	0.946	2,000	川崎市 e	0.949	44
〃 中部	0.618	360	富山市 f	0.823	720
〃 南部	0.959	166	〃 g	1.140	102
高岡市 南部	0.357	8,080	四口市市 h	1.139	520
〃 臨海部	1.825	132	〃 i	0.913	328
浦和・川口市 a	0.906	240	鈴鹿市 j	1.018	76
〃 b	0.546	490	大阪市 k	0.855	170
東京都 c	0.522	188	岡山市 l	0.651	460
〃 d	0.771	780			

VI. 結 論

(1) 臨海工業地帯あるいは内陸工業地帯のいずれを問わず、被圧面地下水の開発はほとんど無統制に、そして地下水の自然供給量以上の揚水が行われている。

(2) その過剰揚水によって生じる災害を防止するためには、工場の自然立地条件に適応した揚水を行う必要がある。

(3) 帯水層から排出される地下水量は、その滲透係数と圧力面勾配、すなわち揚水井においては水位降下によって決まる。

(4) しかし水位降下は帯水層の水圧、すなわち涵養地帯における供給と地下水開発の度合、あるいは揚水井の構造によって異なる。

(5) 揚水中における収水層中の流れは大半渦流であるから、砂の移動が起り易く透水度はおのずから変化する。

(6) このような帯水層の水理変化あるいは透水度の変化のみでなく、揚水に伴なう収水管の効率低下および井戸干渉による水頭損失の増大などの現象は、揚水井の水位降下と揚水量との関係が最もよく表現する。

(7) したがってこれから適正揚水量の決定、その井戸の効率の時間的变化などを知ることは、地下水利用上最も重要なことである。

参 考 文 献

- 1) 地質調査所：日本鉱産誌，BVI-b，水および地熱，1955
- 2) 蔵田延男：地下水に関する研究，衛生工業協会誌，Vol. 26，No. 7，1952
- 3) 蔵田延男・村下敏夫・森 和雄・米谷 宏：東海地域調査第1報，地質調査所月報，Vol. 5，No. 8，1954
- 4) 蔵田延男・村下敏夫・森 和雄：富山湾岸工業用水源地域調査報告，地質調査所月報，Vol. 6，No. 5，1955
- 5) 物部長穂：水理学，岩波書店，1933
- 6) 村下敏夫：地下水に関する研究（第4報），衛生工業協会誌，Vol. 27，No. 7，1948
- 7) 村下敏夫・比留川 貴・尾崎次男：東海地域調査第3報，地質調査所月報，Vol. 5，No. 12，1954
- 8) 村下敏夫・尾崎次男・藤倉孝次：東海地域調査第5報，地質調査所月報，Vol. 6，No. 7，1955
- 9) 大牟田市水道局資料，1947
- 10) 酒井軍治郎：地下水調査法，古今書店，1941
- 11) 徳島県：地下水調査（瀬戸内海調査地域），1955
- 12) Tolman. C. F. : Ground Water, 1937
- 13) Wenzel. L. K. : Methods for Determining Permeability of Water-bearing Materials Geological Survey Water-Supply, Paper, 887, 1942

Abstract

**Relation between Discharge
and Drawdown of Confined Wells**

By

Toshio Murashita

The discharge of confined well is closely connected with the permeability and the drawdown of aquifer. Therefore, the relation between discharge and drawdown of confined wells may be taken as indication of the following physical conditions of aquifers:

- 1) The comparison of permeability of aquifers.
- 2) The increasing of head loss due to decreasing of the opening area of the strainer.
- 3) The determination of the economic limit of pumpage.
- 4) The increasing of head loss due to influence of other discharging wells.
- 5) The measurement of the effectiveness of wells.
- 6) The fluctuation of specific capacity due to swabbing wells.

It is important for the development of ground water to understand the relation between discharge and drawdown of aquifer.

The Geological Survey of Japan has published in the past several kinds of reports such as the Memorirs, the Bulletin, and the Report of the Geological Survey.

Hereafter all reports will be published exclusively in the Report of the Geological Survey of Japan. The Report will be consecutive to the numbers of the Report of the Imperial Geological Survey of Japan hitherto published. As a general rule each issue of the Report will have one number, and for convenience's sake, the following classification according to the field of interest will be indicated on each Report.

- | | | |
|------------------------------|---|---|
| A. Geology & allied sciences | } | a. Geology.
b. Petrology and Mineralogy.
c. Palaeontology.
d. Volcanology.
e. Geophysics.
f. Geochemistry. |
| B. Applied geology | } | a. Ore deposits.
b. Coal.
c. Petroleum and Natural Gas.
d. Underground water.
e. Agricultural geology.
Engineering geology.
f. Physical prospecting.
Chemical prospectng & Boring. |
| C. Miscellaneous | | |
| D. Annual Report of Progress | | |

Note: In addition to the regularly printed Reports, the Geological Suavey is newly going to circulate "Bulletin of the Geological Survey of Japan," which will be published monthly commencing in July 1950.

本所刊行の報文類の種目には従来地質要報・地質調査所報告等があつたが、今後はすべて刊行する報文は地質調査所報告に収めることとし、その番号は従来地の質調査所報告を追つて附けることにする。そして報告は1報文につき報告1冊を原則とし、その分類の便宜のために、次の如くアルファベットによる略号を附けることにする。

- | | | |
|---------------------|---|-------------------|
| A 地質およびその基礎科学に関するもの | } | a. 地質 |
| | | b. 岩石・鉱物 |
| | | c. 古生物 |
| | | d. 火山・温泉 |
| | | e. 地球物理 |
| | | f. 地球化学 |
| B 応用地質に関するもの | } | a. 鉱床 |
| | | b. 石炭 |
| | | c. 石油・天然ガス |
| | | d. 地下水 |
| | | e. 農林地質・土木地質 |
| | | f. 物理探鉱・化学探鉱および試錐 |
| C その他 | | |
| D 事業報告 | | |

なお刊行する報文以外に、当分の間報文を謄写して配布したものに地下資源調査所速報があつたが、今後は地質調査所月報として第1号より刊行する。

昭和 31 年 2 月 1 日印刷

昭和 31 年 2 月 5 日発行

著作権所有 工業技術院
地質調査所

印刷者 田 中 春 美

印刷所 田中幸和堂印刷所

東京都台東区東黒門町 3 番地

REPORT No. 167

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Katsu KANEKO, Director

RELATION BETWEEN
DISCHARGE AND DRAWDOWN
OF CONFINED WELLS

by

Toshio MURASHITA

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Hisamoto-chō, Kawasaki-shi, Japan

1 9 5 6