

## 論 說 報 告

第十九卷第十號 昭和八年十月

## 水源としての地下水の利用に就て(續)

會員 吉 田 彌 七

On the Utilization of Ground Water as Sources of Water

By Yashichi Yoshida, Member.

## 内 容 梗 概

第一編(第十七卷第六號所載)に於て含水層の通水性に就て述べ、第二編(第十七卷第十二號及び第十八卷第一號所載)に於て地下水の利用の方法としての各種集水井及び集水渠に關し主として水理學上から論じたが、本編は地下集水工の實際計畫に就て述べ、之を以て本論文の結論に代へたものである。

## 目 次

第一編 粗糞なる岩石中の流れ(第十七卷第六號所載)	
第一章 概 論	1
第二章 砂又は砂混り砂利層中の流れ	2
第一節 概 論	2
第二節 砂中の流れに關する理論的考察	4
第三節 著者の理論的考察	8
第四節 砂中の流れに關する實驗公式	18
第五節 實驗又は實測による $k$ の直接間接測定法	31
第六節 $v = k \frac{h}{l}$ に於ける $\frac{h}{l}$ の實際上の上下限界	39
第七節 砂中の流れに關する結論	45
第三章 砂利及び之れに類似の材料中の流れ	46
第一節 概 論	46
第二節 細砂利及び砂混り砂利中の流れ	47
第三節 粗砂利中の流れ	47
第四節 結 論	59
第四章 砂岩及び之れに類似の材料中の流れ	60
第一節 概 論	60
第二節 砂岩中の流れの實驗資料	61
第三節 Cemented Gravel 中の流れ	62
第四節 實驗又は實例による直接間接測定法	65
第五節 結 論	65
第五章 粘土質材料中の流れ	66
第一節 概 論	66
第二節 粘土中の流れに關する K. Terzaghi 博士の研究	67
第三節 泥土に關する滲透性の研究	71
第六章 緩速濾過池及び河底の集水埋渠に於ける濾過の水理學的考察	72
第一節 概 論	72

第二節 緩速濾過池に於ける損失水頭.....	73
第三節 泥土にて覆はれたる河底の滲透.....	85
第二編 水源としての集水井及び集水渠 (第十七卷第十二號所載)	
第一章 緒    論.....	87
第二章 普通含水層に穿ちたる集水井及び集水渠.....	89
第一節 概    論.....	89
第二節 普通集水井.....	89
第三節 特殊集水井.....	145
第四節 水平集水渠.....	153
第五節 河岸又は湖岸の集水井及び集水渠.....	174
第六節 河床又は湖床に設けたる集水渠及び集水井.....	186
第三章 アルテシアン井 (artesian wells) (第十八卷第一號所載) .....	201
第一節 概    論.....	201
第二節 普通アルテシアン井.....	201
第三節 特殊アルテシアン井 (Artesian Wells of Special Type) .....	216
第四節 含水層が無限に深き場合のアルテシアン井.....	236
第三編 地下水集水工の計畫 (第十九卷第十號所載)	
第一章 概    論.....	274
第二章 透水層中の流れ.....	281
第三章 普通含水層に穿ちたる集水井及び集水渠.....	286
第四章 河岸又は湖岸の集水井及び集水渠.....	299
第五章 河床又は湖床に設けたる集水渠及び集水井.....	301
第六章 普通アルテシアン井.....	304
第七章 特殊アルテシアン井.....	306
第八章 含水層が無限に又は甚だ厚い場合のアルテシアン井.....	308
第九章 湧    泉.....	309
第十章 地下水揚水ポンプ.....	310

### 第三編 地下水集水工の計畫

#### 第一章 概    論

##### 1. 概    説

現今地表水が殆んど利用し盡され或は水利問題等で其の利用が困難なる爲、或は天然濾過を経たる優良なる水を得んが爲、地下水の利用は日に月に隆盛に赴きつゝある。然るに地下水は地中に存在するものであるから其の量、性質に関する調査が地表水の如く簡單に行はれない。又利用の経験に乏しく、或は湧出量或は井の水面降下の計算に難解の點が尠くない等の理由で其の利用が動もすれば制限されて來たかの觀があるのは實に遺憾の極である。且つ世人の多くは地下水に関する研究を積まず、只慣習的に其の利用に對して危懼の念を懐くものがあつて、爲に何れかと云へば地下水の利用は敬遠されて來た様な傾向があるのである。勿論地下水は地表水に比して難物には違ひないが、其の大汎の理論に通じ、利用の経験に富む技術者が理論と實驗の上に立ちて充分なる注意を拂ふときは其の利用は必ずしも難事ではない。

著者は茲に觀る所があつて既に第一編に於て「粗鬆なる岩石中の流れ」、第二編に於て「水源としての集水井及

「集水渠の理論」に就て詳論したから、最後に地下水集水工の計畫に就て述べ水源としての地下水の利用に就ての結論に代へんとするものである。

## 2. 集水工

湧泉は別として、地中に存在する地下水を汲上げる爲の集水工には大別して集水井と集水渠とがある。既に述べた様に地下水は普通含水層中の地下水、アルテシアン含水層中の地下水、河床、湖床に接せる含水層中の地下水があり、又含水層の性質も砂礫層のこともあるが、然らざることもある。又其の存在が地下浅いことあり、深いことあり、含水量に多寡あり、地下水源地帯に廣狹あり、利用の方法及び目的亦其の揆を一にせざるものがある。従つて一概に如何なる方法に依つて地下水を利用するが最もよいかと言ふことは論ぜられないが、普通吾々が最も多く遭遇する砂礫層の含水層に在りては、普通含水層が地表下浅い處に存在するときは集水渠又は大型の開井が適し、河川の伏流水、湖床及び河川の滲透水を利用する場合には集水渠が宜しく、反之、アルテシアン含水層の場合の如く地下水が深處に位するときは管井より成る集水井に依るの外はない。而して集水井たると、集水渠たるとを問はず所要の水量を得るに當つては 1 個又は 1 箇所にて足ることもあるが、群又は列を必要とすることもある。

然らば井又は渠には如何なる型式があるか、又其の湧出量は如何の問題に就ては既に第二編に於て詳論したから以下には種々なる目的に對して各種地下水の集水には如何なる井又は渠に依るべきか、其の設計は如何にすべきか、其の構造は如何にすればよいかに就て述べやうと思ふ。

## 3. 集水井の分類

井は構造、沈下の方法其他に依り種々なる種別がある。構造材料から大別すれば鐵井又は鋼井、鐵筋コンクリート井、煉瓦井、木井等がある。

地下水の所在の點から井を分類すれば

### 1. 普通井, 2. アルテシアン井

普通含水層中に穿つた井が普通井、アルテシアン含水層中に穿つた井がアルテシアン井である。其の他岩石の次生形式の地下貯水體内に穿つた井がある。普通井は井を含水層の全深に互つて沈め、其の側面の流入口から地下水が流入するものを以つて便宜上標準とするも、實際は地下水が井の側面の一部或は底面から流入する構造にした方が得策のこともある。次にアルテシアン井に於ては含水層の全厚から水が流入するのが標準であるが之れも都合に依つては含水層の一部からのみ水が流入する様な構造とし、或は含水層が浅い所に存在するときは底部から流入する様にすることもある。

井を深さから浅井、深井と區別することがある。普通 30 m 位を以つて深淺を區別するが是れに就ては別に學問上確たる根據はない様である。

構造に依り井を區別して

### 1. 開井, 2. 管井

となす。開井は主として圓形、稀には方形、矩形断面の筒井で人が自由に出入することの出来る大きさのもので、多くは掘井で其の直径は 90 cm 以上が常である。筒井とは径が略 60 cm 以下の管（稀には 60 cm 以上のもある）から出来てゐる井で、深井は多くは是れである。此の種の井は鑽井及び打込井から成るものと思つてよい。

沈下の方法に依つて井を分類すれば

### 1. 掘井, 2. 鑿井, 3. 鑽井, 4. 打込井

等がある。

掘井 (dug well) とは鶴嘴, ショベル, 鋤又は蒸氣ショベル其の他の浚渫機或は溝掘機を以つて掘鑿して作つた井である。此の種の井は直径が 60 cm 以上で普通浅い開井に限り用ひられる。

鑿井 (bored well) とは手螺維 (hand auger) 又は機械螺維 (power auger) を以つて流れに沿へる沖積層又は其の他の軟弱なる沖積物の中に穿ちたる井で、直径は普通 2.5~90cm 位である。この語は本邦に於ては往々にして鑽井と同意義に用ひられることがある。

鑽井 (drilled well) とは衝鑽 (percussion drill) 又は回轉式鑽孔機を用ひ切取又は磨削に依つて岩石を掘鑽し、其の破碎された岩石は之れを特殊な汲出器, サンド・ポンプ, 中空鑽孔器又は水壓式若くは自働洗滌方法で取除いて穿ちたる井である。其の直径は普通 2.5 cm~60 cm 位のものである。

Isaiah Bowman 氏に依れば掘鑽法には次の如き主要方法がある。\* の記號を附せるものは米國に於て現今主に採用されてゐる方法である。

#### A. Percussion methods.

1. Drillings removed with bailer.
  - a. Standard cable method.\*
  - b. Portable cable method.\*
  - c. Pole-tool method.
2. Drillings forced continuously upward through hollow drill rods-self-cleaning method.
3. Drilling held in hollow drill tool, which is periodically with drawn.
  - a. Mud-scow (or California) method.\*
  - b. Punching method.
  - c. Core-drill method.

#### B. Abrasion methods (diamond, Calyx, chilled-shot, etc.).

#### C. Hydraulic methods

1. Jetting (or hydraulic percussion) method.\*
2. Hydraulic rotary method.\*

是等の方法に就ては Flinn and others:—Waterworks Handbook 及び W. H. Jeffery:—Deep Well Drilling 等に可成り詳細に記載してあるから茲には述べないこととする。

打込井とは井套の先端に尖端を有する drive point を取付けて、drilling, boring 又は jetting の方法に依ることなく、之れを打込んで作つたものである。此の種の井は直径 2.5~7.5 cm 位のものが常である。

仕上げの方法から大別すると有套井, 無套井, 半套井となる。而して有套井及び無套井は套の材料と構造とに依つて種々なる區別がある。例へば厚鋼板套又は管, 板套, 煉瓦套, コンクリート套, 陶瓦套等に分つのである。尙有套井は水の流入する取入口即ち流入口の種類に依つて開端井 (open-end well), 網目井 (screened well), 有孔套井 (perforated-casing well) とに分つ, 開端井と云ふのは掘井の場合の如く井の底から水が流入する井で、網目井とは網目のストレーナー即ち停塵器 (strainer) から流入する井で普通の深井に利用され、有孔套井とは孔を有する各種の有套井を稱する。尙有套井は含水層との關係から、少くとも、普通の有套井, 天然濾過井 (natural-strainer well) 及び礫壁井 (gravel-wall well) とに區別することが出来る。天然濾過井とは微粒子を含む砂礫層中に穿ちたる井で、井の周囲の含水層中の微粒子は水と共に汲上げられたものである。礫壁井は含水層が微粒の砂から成る場合井の流入口の周囲に砂利を填充し、一つは汲出量を増し、他の微粒子が水と共に汲出されるのを防止する様にしたものである。

組合井 (combination well) とは普通含水層の水又は河岸又は湖岸の滲透水を多量に得んとする場合の如く開井

と集水渠とを組合せたものである。

アルテシアン井は水が自噴して地表に湧出すると否とに依つて自流井 (flowing well) と不流井 (non-flowing well) とに分つ。不流井はポンプにて揚水して汲出しを爲すのである。斯かる場合には揚水井 (pumping well) と稱する。

井を穿つ水層の性質に依つて井を大別すると、砂井、礫井、岩井等になる。普通我國で利用せられるのは砂井及び礫井である。岩井は尙之れを砂岩井、石灰岩井、珪岩井、花崗岩井、玄武岩井等に分つ。岩井は所謂水脈が外部から發見し難いから利用は中々難しい。

以上述べた井は一つにて水源としての目的を達することもあるが、場合に依つては數個よりなる列又は群を使用しなくては所要の量を得られないこともある。斯かる井群又は井列を gang, group or battery of wells と稱する。

含水層が相當廣汎なる範圍に亙りて存在し、其處に多數の井が穿たれてゐる場合には、斯かる地下水源地域を井場 (well field) と稱する。

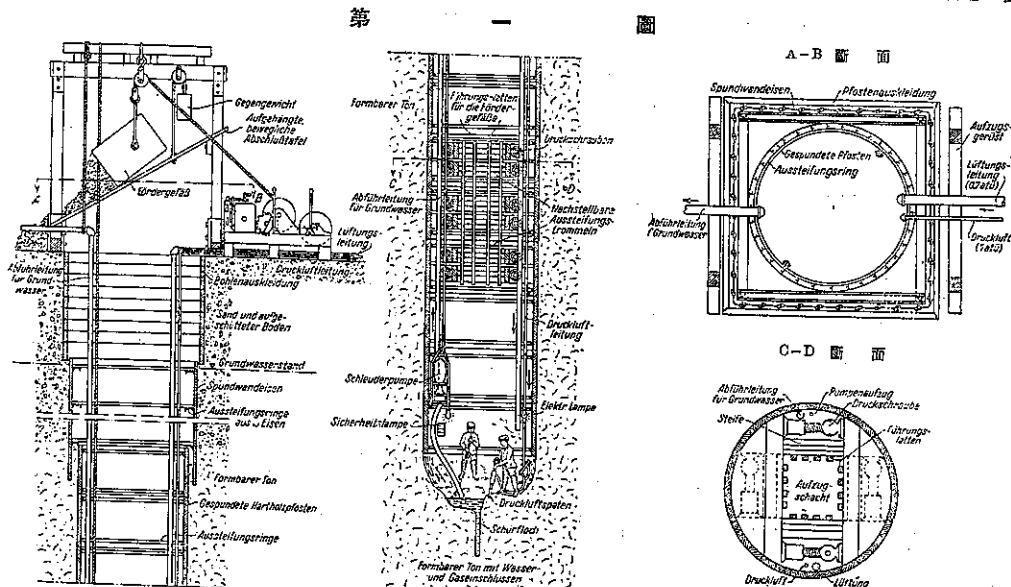
### 4. 集水井の計畫一般

#### (1) 概 要

含水層の調査が出来たならば先づ井にするか渠にするかを決定する。地下集水井を穿ちて有効に集水し得るは砂礫又は砂岩等の粗鬆なる岩石よりなる含水層が存在する場合が主である。而して含水層の地質構造の如何に關せず含水層が地表下淺所に存するときは集水渠又は大型の開井が適し、反之、地下水が地中深い所に存在するときは管井に限り採用される。本節に於ては集水井の計畫上其の種類に關せず考慮すべき事項に就て一寸觸れて置く。

#### (2) 開 井

(a) 築造法 開井の築造法には色々あるが大體次の2法に分たる。第一法は堅坑の築造に於ける如く先づ含水



(Zent. d. Bau. 圖に依る)

層に達する迄井坑を掘鑿し、然る後之れを巻立て、斯くて含水層内に井を穿つ方法である。第一圖は斯かる井の築造の模様を示せるもので、此の種の工法は含水層が可成り深い處に存在し、且つ上部の地層が強堅なる場合に適するものである。

第二の工法は沈井法である。之れは橋脚等の基礎工の場合の工法は地上で井筒を造り、之れを掘鑿するに連れ沈下する方法である。此の方法は地下水が非常に浅い處に存在し且つ湧出量が大なる場合に適するのである。井筒の構造材料等は井の利用の目的に依つて異なる。

(b) 構造 井の湧出に關する理論は第二編に於て述べた所であつて、井水位の降下は主として含水層中に於ける地下水の損失水頭に基因するのである。其の他井筒に流入するに當つての抵抗も多少はあるが、之れは流入口の設計其の宜しきを得ば大した問題ではない。而して井の半径は主として湧出量から定まるもので、如何なる場合に於ても井に流入する地下水の速度が實用最大流速を超過しない様に半径を定めることを忘れてはならぬ。又水面の降下から限定されることもある。尙開井のときは井筒中の貯水量も考へに入れて半径を定むるがよい。流入口の面積は井側面の20%以上にすることが望ましい。然らざれば地下水が井に流入するに當り可成りの水頭を失ふのである。流入口を設ける井側面の面積は又井側に於ける流速が其の含水層の實用最大流速を越えない様に決定すべきは論ずるまでもない。従つて是等の條件を満足すれば井は必ずしも含水層の全深に亙つて沈下するの要なく、又流入口は井筒の一部に設けるもよろしく、又井底のみから水を流入させても宜しい譯である。井の水深は最大汲出量のとき少くとも0.9mを要し、ポンプのストレーナー又は底瓣は井水面下0.6m以上の處、井底上0.3m以上の處に置くがよい。而して井底には砂利から漸次粒の小なる砂利、砂を詰めて濾過作用を有效ならしめ、又他方細砂が浮上るのを防止する様にすべきである。尙井底の砂が浮上る處のあるときは井底の流入速度が其の砂を浮上らせない程度に止むる様、井の半径を定むることを忘れてはならぬ。

後でも述べるが開井は地表水のため又其の他の汚染を受ける處が多いから此の點には充分の注意を要する。

### (3) 管 井

(a) 管徑 管井の管徑は含水層及び之れに關係ある地層の性質、汲出水量、使用の目的等に依りて異なるものである。

一般に管徑が小であれば、井に流入した地下水が上昇するに當つての摩擦抵抗及び上昇の流速水頭が大となる。又井の實用最大湧出量は井の半径に正比例するから此の點から考慮すれば管徑は大なる程よろしく、出來得べくれば管徑は45cm以上なることが望ましい。

深井の場合タービン・ポンプを使用するときはポンプの効率を大ならしめる上からも井の径は大なる程都合がよい。元來管井は掘鑿中幾分か曲るもので完全に垂直に管を下げることは實際上難しい。故に斯かる井にタービン・ポンプを据付けるためには井の径は豫め幾分の餘裕を取つて置くことが必要である。

一般に集水井の費用は全集水工の10~20%位のことが多いから差支へない限り井径は大なるものを選ぶがよい。尤も大径の井の掘鑿には優良なる機械設備と技術者とを要する。従つて掘鑿技術の點から管井の直径は制限を受けることがある。

概論すれば30~60mの深さの井のときは管徑が60cm、ストレーナーの直径が40cmを以つて最小限度とし、75mの井のときは管徑が45cm、ストレーナーの径が30cmを以つて最小とし、凡て礫壁井にすることが望ましい。

(b) 井套 井套は材料は無錳鋼又は純粹の鍊鐵がよいとされてゐる。而して引拔又は銲接に依つて作つたもの

が勝つてゐるが時には所謂鋳鐵によつて作つた "stove pipe" が用ゐられることもある。上水道等のときは相當に優良なものを選ぶは勿論であるが、簡易な各種の水源井のときは廉價にして所要の目的を達するものを選択することを忘れてはならぬ。

管の厚さは網目井のときは 9.5 mm 以上のものがよいが、有孔套井のときは米國標準 8 番以上の厚さのものは孔を穿つに困難である。

(c) 洗下法 管井の掘鑿法には本章 3. に於て述べた様に種々の方法があるが、我國では水壓迴轉式鑿井法 (hydraulic rotary method) 及び網掘式鑿井法 (standard cable method) が一般に使用されてゐる。

(d) ストレーナー 含水層内の水が井に流入する停塵器をストレーナーと稱する。此のストレーナーには普通ストレーナーと礫壁ストレーナーとがある。

普通ストレーナーと言ふのは有孔スクリーン (slotted screen) で、是れには數種がある。即ち第一の型は眞鍮管に内部から水平の長孔を穿ちたるもの、第二の型は縦の溝の周りに特種の針金を巻付け之れを鑿付けしたるもの、第三の型は有孔管の周りに針金を巻付けたもの或は針金の代りに金網を巻付けたもの等がある。井套に捻込んだストレーナーは取換が出来ない。故に取換の要のないときには井套に孔を穿ち之れを針金で巻付けてストレーナーとしたものを使用するが便利である。

細砂の含水層に普通のストレーナーを使用すると井中に砂が流入するから、之れを防止する爲、又ストレーナーが閉塞することを防止する爲、砂利壁を有するストレーナーを使用することがある。

砂利壁ストレーナーにはストレーナーのポケットに砂利を詰めてゐる有袋砂利壁ストレーナー即ち Taschenfilter と普通のストレーナーの外周に砂利壁を有するものがある。前者は内外のストレーナーの間の特殊なポケットに最初から砂利を詰めてあるものを洗下したものであるが、所謂普通の礫壁井は井の掘鑿法の如何により多少工法が異なる。第一の工法は網掘式鑿井の場合に採用される工法である。此の工法に於ては井套の下部に套より 10 ~ 25 cm 位徑の大なる沓を嵌める。井套は井の掘鑿が進行するに従つて洗下する。然るときは沓の徑は套徑より大であるからその間の環狀の空隙に 1/4 ~ 3/8 in 位の砂利を充し井套を洗下するに連れて漸次洗下する方法でもある。斯くてストレーナーが含水層に達すると茲に砂利壁も共に出来上るのである。第二の工法は水壓迴轉式鑿井法の場合に採用される方法である。之れに於ては鑿孔を套徑よりも 15 ~ 30 cm だけ大きく穿ち、此の中に孔套管を洗下し鑿孔と套との間に砂利を充して掘下げて行く。斯くて所定の位置まで井が洗下したならば砂利の中の泥を洗出するのである。

然らば砂利壁井と普通ストレーナーを使用する井とは何れがよいかと云ふに之れは主として含水層の性質に關するのである。即ち砂利の含水層から成る場合に於ては普通のストレーナーを有する井で結構であるが、細砂又はストレーナーの孔を塞ぐ様な物質を溶解して居る水例へば硬水を汲上げる様なときは砂利壁井がよいのは言ふ迄もない。而して網掘式に依るか、水壓迴轉式に依るかは地質又は掘鑿技術の進歩の程度にもよるが一般に論ずるときは水壓迴轉式の方が高價に付く。又 Taschenfilter は普通の礫壁井より高價であるが、然し構造及び作用の確實な點に於て優つてゐる。

ストレーナーは普通眞鍮で造るが、鋼、鍊鐵、無錳鋼、青銅、銅等も用ひられる。井套は普通鋼が用ひられ、時には鍊鐵も用ひられる。而して既述の如く無錳鋼の引抜管又は銲接管は理想的である。材料は凡て侵蝕されたり又は腐蝕されたりしないものを用ひることが大切である。如何に優秀なるストレーナーと雖も長年月使用してると孔が閉塞したり或は侵蝕又は腐蝕して、其の結果湧出量の減退を來し或は砂が揚つて來るものである。故

に之れを取換へる必要が起る。故に此の取換に備へる爲にはストレーナーは井套と別にして置くがよい。

ストレーナーの長さは長い程よい。然し長くなると工費が高む欠點がある。此の長さは主としてそれに流入の地下水の速度が含水層の實用最大流速以上とならない様にする事は勿論であるが、尙多少の餘裕を見込んで其の閉塞に備へることが大切である。

#### (4) 衛生的構造

地下水を上水道の水源として使用するに當つては直接飲料に供すると否とに拘らず外部より汚染されることがない様に其の位置、構造、其の周圍、汲上設備、殺菌等に注意することを要する。次に各種の井の衛生的構造に就て略述する。

### I. 鑿井

#### A. 岩盤に穿ちたる井

(i) 位置 井の位置は洪水のときと雖も地表水の害を蒙らない處又汚水溜、便所、下水槽等よりの漏滲の虞なき處、又下水に依つて汚染される虞なき處、廢井からの漏滲なき處其他汚染の虞なき處を選択することが大切である。

(ii) 構造 井套は沈下後水密性に富み、之れが貫く不透層の岩盤と水密的ならしめ上部よりの水が含水層に流入するを防止し、特殊な地層に依る腐蝕の虞あるときは適當なる防蝕法を講ずべきである。而して井の掘鑿が済んで井套の据込みが済んだら其の頂を適當の長さに切り密閉して汚染の憂なからしめる。

(iii) 坑 井の周圍には永久的の坑を作つてはならぬ。井の套頂はポンプ室の床面より少くとも 15 cm 高くし、又其の床面は地表面より 30 cm 以上高くする。

(iv) ポンプ連絡 如何なる種類のポンプを使用するにしてもポンプと井套との連絡を密實にし、外部から井水が汚染されない様、又機械に使用する油等が井水に混じらない様にする事を忘れてはならぬ。

(v) 殺菌 井の新設及び修理の時は鹽素又は漂白粉の溶液を加へて殺菌し然る後之れを汲上げる。而して井水の鹽素含有量が 0.3 p.p.m. 以下となれば使用してよしい。

#### B. 漂積土中に穿ちたる井

各種の漂積土中に穿ちたる井の位置、構造及び掘鑿設備等に關する注意は岩井の場合と變りはない。

此の種の井の套は含水層まで沈める。而して上方の不良水に依つて汚染されることがない様にする。又含水層が微粒の砂よりなるときは礫壁井とする。斯かる場合に於ては礫壁中に上層中の不良水が流入しない様に井套と不透層とを水密にすることが肝要である。

### II. 掘井

#### A. 一般

(i) 位置 鑿井の場合と變りはない。

(ii) 井筒又は井側の材料 井筒又井側は水密性に富む材料にて造り、地表面より少くとも 3 m 下方まで掘込むことを要する。普通は優良なるコンクリートを使用するが多い。

(iii) 入孔 入孔はコンクリート又は金屬を覆せた木材を以つて覆ひ井筒の頂より少くとも高くするがよい。

(iv) 空氣抜 空氣抜は外部より不衛生的なものが飛込まない様な構造にする。

(v) 吸込管 吸込管を挿入する孔も此處から塵埃等が飛込まない様にする。

(vi) ポンプの据付 ポンプは井の外に据付けるべきである。





號は第一編及び第二編に於て用ひたものと同一である。

## 2. 砂中の流れ

(1) 概説 既述の如く吾々が最も多く利用する砂又は砂混り砂利層中の水流は普通の場合に於ては stream line flow で Darcy 氏の公式

$$v = k \frac{h}{l}$$

に従ふものである。此の事實は實驗に依つて證明されてゐる不易の公理である。此の公式の適用に當つて其の範圍があるのは言を俟たない。

(2) 砂中の流れに関する理論 砂中の流れに関する理論的研究としては Slichter 氏、Terzaghi 教授及び著者の研究等があるが大體に於て Slichter 氏の公式は水理學上正しいと言へる。而して氏の理論公式は

$$k = cd^2$$

なる型式で表はされる。此の理論は實驗上からも正しいことが證明されてゐる。而し乍ら Slichter 氏が與へた  $c$  の論理値は眞値に對して 100% 位の誤差が實際に生ずるのは既に著者が論じた通りである。斯くの如くであるから  $k$  の値は  $d^2$  に比例することは理論上正しいが  $c$  が果して如何なる値を取るかは理論的研究のみでは不明で、茲に實驗的研究に依つて之れを確むるの必要が起るのである。

(3) 砂中の流れに関する實驗公式 既に述べた様に砂中の流れの理論は或條件の下に於ては理論的に解けるが、一般には實驗的研究の援けを借らなくてはならぬ。此の實驗的研究は第一編第二章第四節に於て述べた様に古くから多くの大家によつて行はれたが何れも長短ありて結論を得るに至らなかつた。そこで著者は茲に觀る處があつて第一編(48)式に示す様な實驗公式を誘導したのである。此の公式の比較的正しいことは發表後多くの實驗に依つて證明されてゐる。

(4) 實驗又は實例に依る  $k$  の直接、間接測定法 (3) に述べた様に砂の篩分試験を爲して均等係數、Hazen 氏の有效徑を知り、又空隙比を知り實驗公式に依つて其の砂中に於ける水流の transmission constant  $k$  を知ることが出来る。斯くして計算に依つて  $k$  を求める代りに實驗室で直接  $k$  を求めることも出来るのである。是れに就ては既に第一編第二章第五節で詳論したから重ねて贅すの要はない。次に Slichter 氏の direct-reading under-flow meter を用ひて直接含水層中に試験井を穿ち測定によつて  $k$  を求めてもよい。或は第二編第二章第二節 3. に於て述べた様に現場に試験井を穿ち湧出量、水面降下、其の他の實驗と連關して實測に依つて  $k$  を計算してもよい。實驗の方法及び其の計算の理論に誤りさへなければ此の方法は最も優れた方法である。何となれば計畫せんとする井又は渠附近の含水層に對する平均の  $k$  の値を得られるからである。

既に述べた如く  $k$  の値は何れかの方法で計算することが出来るが、何れも一長一短があつて完全でないから出来ることなら數法で  $k$  を求め互に比較研究して眞に近い値を得る様に力めねばならぬ。

(5)  $v = k \frac{h}{l}$  即ち Darcy 氏の公式の適用範圍

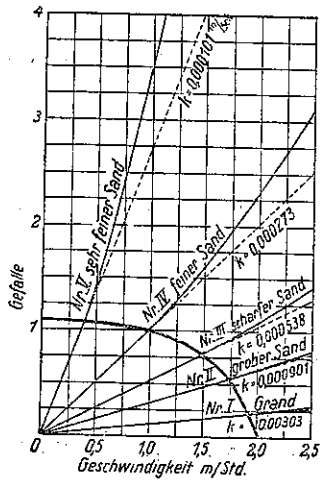
(a) 概要 Darcy 氏の公式は stream line flow の場合に限つて適用することが出来るものである。即ち地下水水流の速度  $v$  が critical velocity 以下のときに限り Darcy 氏の公式は正しく適用し得る。而して critical velocity 以上となると流速は  $h/l$  に正比例しない。而して此の  $h/l$  にも實際上制限があつて、此の値は其の限界より大に成り得ないのである。斯かる勾配が maximum hydraulic gradient で之れを  $i_0$  を以つて表す。此の  $i_0$  に對する流速が practical maximum velocity である。又地下水は其の水面勾配又は動水勾配が或値に達しな

いと實際上流を認め得ない。斯かる勾配を minimum hydraulic gradient と稱する。

(b) Minimum hydraulic gradient 又は  $h/l$  の最小値 之れは砂粒の大小其の他に依つて異なるもので其の値に就ては第一編第二章第六節 2. に於て詳論した。

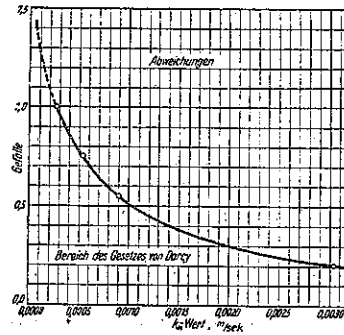
(c) Darcy 氏の公式の適用の最大限界 既に第一編第二章第六節 3. に於て述べた様に砂中の流が一定の値以上となると turbulent flow となり正確なる意味に於て Darcy 氏公式の適用が出来ない。此の turbulent flow と stream line flow との移り變りの流速が critical velocity である。此の値は砂中の流れの場合には是れを理論的計算に依つて求めることは難しいので普通は 實驗に依つて求めることになつてゐる。此の値を求めた有名な實驗に Piefke 氏の實驗がある。第一編第三十一圖は即ち夫で其の結果を再録すれば第二圖の如くなる。

第二圖  $h/l$  と流速との關係



(Piefke の實驗)

第三圖  $i_g$  と  $k_m$  との關係



此の critical velocity に對する水面勾配又は動水勾配が Darcy 氏の公式適用の最大限界勾配であつて是れを Grenzgefälle für das Gesetz von Darcy と言つてゐる。此の値を  $i_g$  を以つて普通示してゐる。今第二圖の結果から  $k_m$ (m/sec) と  $i_g$  との關係を求めると第三圖の如くなる。今此の圖から  $i_g$  と  $k_m$  の數學的關係を求めると近似的に次の式から表される。即ち

$$i_g = \frac{0.022}{\sqrt{k_m}} - 0.20 \dots \dots \dots (1)$$

茲に

$i_g$  = Darcy の公式を正しく適用し得る限界勾配

$k_m$  = transmission constant (m/sec)

上記の著者の實驗式の計算値と Piefke の實驗値とは次表に示す様に大略一致する。

第一表

$k_m$ の値 (m/sec)	$i_g$ の値	
	Piefke の實驗値	著者の公式に依る計算値
0.003	0.2	0.200
0.002	0.3	0.292
0.001	0.5	0.496
0.0005	0.77	0.782
0.0001	1.03	2.000

$k_m$  の値が著しく小さくなると (1) 式は正しく適用されない。即ち  $k_m$  が 0.00025 m/sec 以下となると  $i_g$  は  $k_m$  の大小に關せず凡て 1.00 位である。 $i_g$  が判れば Darcy 氏の公式を適用し得る最大流速は容易に判る。即ち其の流速を  $v_g$  とせば

$$v_g = k_m i_g$$

上式の  $v_g$  に Piefke の實驗値を代入して  $v_g$  を計算し之れを圖示すれば第四圖の如くなる。今  $i_g$  に著者の公式を代入すると  $v_g$  は次の如くなる。

$$v_g = 0.022\sqrt{k_m} - 0.20k_m \dots \dots \dots (2)$$

但し  $v_g$  の單位は m/sec である。

(d) 實用最大流速及び最大勾配 既に第一編第二章第六節 3. に於て述べた様に地下水の動水勾配或は流速には實際上限界があるものである。Sichardt 博士の研究に依れば次の如き關係がある。即ち地下水が實際に流れ得る最大流速に對する水面勾配即ち實用最大勾配を  $i_0$  とせば之れと  $k_m$  との間には次の關係が成立する。

$$i_0 = \frac{0.067}{\sqrt{k_m}} = \frac{1}{15\sqrt{k_m}} \dots \dots \dots (3)$$

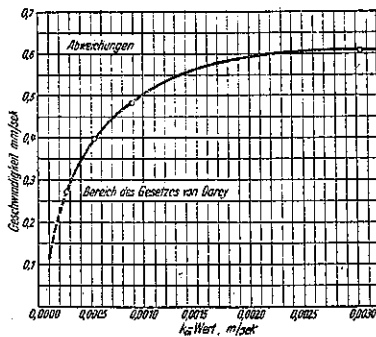
上式は第一編の (54) 式と同一である。

集水井の如き場合には此の  $i_0$  を用ひて其の最大湧出量を計算することが出来る。即ち地下水の流入面積に流入の最大流速を乗ずれば最大湧出量が判る。例へば  $\varphi$  を井側の流入口を有する部分の長さ 1 m の最大湧出量 (m<sup>3</sup>/sec),  $r$  を井の直徑 (m) とせば,  $\varphi$  は近似的に次の如くなる。

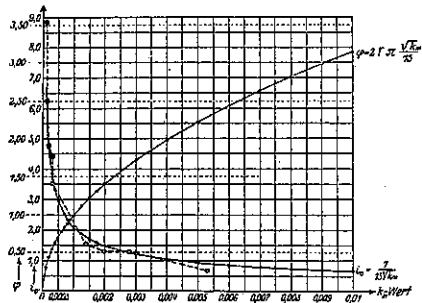
$$\varphi = 2\pi r i_0 k_m = 2\pi r \frac{\sqrt{k_m}}{15} \dots \dots \dots (4)$$

今  $k_m$  と  $i_0$  及び  $\varphi$  との關係を圖示すれば第五圖の様になる。

第四圖  $k_m$  と  $v_g$  との關係



第五圖  $i_0$  及び  $\varphi$  と  $k_m$  との關係



(Sichardt 博士に依る)

(e) 結 言 砂又は砂混り砂利中の流れは普通は stream line flow であるから Darcy 氏の公式に依つて計算してよい。而して transmission constant  $k$  の値は計算又は實驗に依つて求めればよい。然るに地下水の stream line flow には自ら限界があつて或流速又は水面勾配が一定の値以上となると流れは turbulent flow となる。故に turbulent flow となると正確には Darcy の公式は適用出来ないのである。尙砂中の流れは實際上或流速以上にはなり得ない。即ち地下水の勾配には一定の限界があつて之れ以上にはなり得ないのである。此の事實は集水工の最大湧出量を決定するに當つて考慮すべき大切な事項である。既に述べた  $i_0$  及び  $i_0$  は此の意味の勾配で  $i_0$  は  $i_g$  より大である。故に地下水が斯かる水面勾配又は動水勾配のときは實は Darcy の公式を應用して流速の計算

は出来ないのであるが、其の誤差は普通の場合でも僅少で、特に  $k_u$  の値が 0.0005 m/sec 以上のときは其の誤差は無視しても差支へない程であるから、著者は實用計算に於ては砂又は砂混り砂利中の流れは常に Darcy 氏の公式に依つて差支へないものと信ずる。

### 3. 砂利又は之れに類似の岩石中の流れ

(1) 概説 砂利層の砂利が全體として小なる場合若しくは砂混りの砂利のときは、普通は其の中の流れは stream line flow である。然るに砂利の粒が或る程度以上に大となると其の中の流れは多くの場合 turbulent flow となるのである。此の點に關しては第一編第三章に於て詳論して置いたから茲には其の要點のみを擧げて置く。

(2) 細砂利又は砂混りの砂利中の流れ 砂混り砂利又は有効径が 5 mm 以下の砂利中の流れは stream line flow と考へて差支へがない。従つて是れに關する理論は 2. に述べた砂中の流れに關する理論と大差はない。

(3) 粒子の大なる砂利中の流れ 砂利の有効径が 5 mm 以上なる場合には其の中の流れは turbulent flow となるのである。而して著者の研究に依れば 3~40 mm の有効径の砂利中の流れは第一編に掲げた (78) 式に従ふものと考へて差支へない。即ち

$$\frac{h}{l} = \xi \frac{v^n}{d_w}$$

茲に  $v$ : 砂利層の全斷面積に割當てたる地下水流の速度

$d_w$ : Hazen 氏有効径

$h/l$ : 水面勾配又は動水勾配

$n, \xi$  は  $h/l$  及び  $d_w$  に依つて變ずる常數で其の値は第一編第三十六圖から求むればよい。

實際問題として地下水含水層の砂利の有効径が 5 mm 以上のことは我國に於ては至つて稀の様である。従つて多くの場合 2. に於て述べた理論に従つて地下水流の計算をなし得るのである。

### 4. 砂岩又は之れに類似の岩石中の流れ

(1) 概要 砂岩は古世代から第三紀に亘つて産出するもので或者は 30~40% の空隙を有してゐる。従つて種の層は砂礫層又は砂層に次いで有用なる含水層たり得るのである。此の砂岩中の流れは多くの場合 stream line flow で Darcy 氏の公式に従つて計算してよい。

(2) 砂岩中の流れ 砂岩中の流れは Darcy 氏の公式  $v = k \frac{h}{l}$  に従ふものである。然らば  $k$  の値は如何にして求めるかと言ふに、之れには次の方法がある。即ち第一法は砂岩が甚だ粗鬆で且つ脆弱なる組織のときは之れを篩分析試験をして其の結果から  $k$  を求める方法で第二法は、diamond boring 又は其の他の方法で含水層の供試體を採取し、之れに就て  $v$  と  $h/l$  との試験を行ひ  $k$  の値を求める方法で、第三法は Slichter 氏の direct-reading under-flow meter を用ひて  $k$  を求める方法で、第四法は試験井を穿ちて實驗に依つて間接に  $k$  を求める方法である。

何れにしても  $k$  の値が解れば流れに關する理論は砂の場合と同様にして解くことが出来るのである。

(3) 礫岩中の流れ 粗鬆なる礫岩中の流れは砂利中の流れの場合と大差なく、割合に緻密な組織のときは砂岩の場合に準ずる。而して其の流れに關する理論は其の都度實驗に依るの外正確に知る方法はないのである。

## 5. 粘土質材料中の流れ

(1) 概要 粘土は元來不透水性の材料である。従つて粘土層は多量の水を含有してゐることはあるが其の湧水を利用することは實際上出来ない。故に粘土中の流れの理論は其の中の地下水を水源として直接利用する場合の湧出量の計算等に適用される様なことはないが粘土質の不透水層が果して如何程の水密性があるかを檢する様な場合には必要な事項である。

次に泥土中の流れは河床に泥土が沈澱する様な場所に集水埋渠を作つて集水する様な場合其の湧出量を計算するに當つて必要な事項である。

(2) 粘土中の流れ 粘土中の流れに關しては第一編第五章第二節に於て述べた様に Terzaghi 博士の研究がある。是れに依れば粘土中の流れは stream line flow たることは砂中の流れと大差はないが、只粘土は空隙が多いため高水壓を受けるときは組織の變動を來し、其の點は砂の場合と異なるのである。而して組織の變動を來さない程度の動水勾配に對しては Darcy 氏の公式を適用し得る。而して  $k$  の値は直接實驗に依つて求めるのが一番よい。

(3) 泥土中の流れ 水中の微細浮游沈澱物が沈澱して生じたる泥土は其の水隙と沈澱物の絕對容積の比は 2 以上である。然るときは斯かる泥土は半流動體の粘土と考へてよい。従つて其の組織が變更をなさない程度の動水勾配の許に於ては、泥土中の流れは Darcy の公式に従ふものと考へてよい。而して  $k$  の値は實際に於て實驗して求むべきである。

## 第三章 普通含水層に穿ちたる集水井及び集水渠

### 1. 資料調査

(1) 概要 普通含水層内の地下水を集水井又は集水渠に集め、之れを各種の水源として利用するに當り其の集水工の設計、施工の資料を調査することは極めて大切なることに屬する。地下集水工の成功すると否とは此の資料が充分に得られるか否かに關することが大である。

普通含水層中の地下水中に作つた集水工の理論に就ては第二編第二章に於て詳論した。

(2) 含水層の地質學的調査 大體に於て地下水の利用の可能性に富む土地を見出したならば、必要に應じ、適當なる地質調査をする。即ち踏査、試掘等により其の土地の地質構造を確めることが大切である。此の地質構造の鑑定に當つては、出來得べくんば、權威ある地質學者の實地調査を依頼して誤りなきを期し、且つ調査の實地指導を仰ぐべきである。斯くして含水層の地質構造、其の土地の地層の状態、含水層の範圍等を確むることを要する。此の調査は集水工の設計、施工に當り特に大切なるもので、當事者は時間と費用を吝まらず完遂を期すべきである。

(3) 普通含水層中の地下水 普通含水層中の地下水は地下水池、地下水流或は地下水瀑布として或は滲溜し或は移動してゐる。故に先づ普通の含水層内に利用すべき地下水が發見されたならば地質調査と相俟つて其の地下水の流動状態を長期に互り調査することを要する。地下水の流速及び其方向は第一編第二章第五節 3. に於て述べた C. S. Slichter 氏の方法に準ずればよい。

次に地下水量の増減の模様を長期に互り調査することを要する。地下水の増減は理論上數字的に求めることは無理で必ず實地調査を行ふべきである。其の參考資料として其の含水層中の地下水の收入區域及び集水區域内に降下した降水量、其の地下水の流出量、其の地下水區域内に於ける蒸發量及び葉面蒸發量、地表水との關係等を調

査することが出来れば結構である。

以上の如くして地下水の増減、含水層の範圍等の調査が出来たならば一年中の或時期に於ける地下水面の形状を知ることが出来、従つて地下水等高線を得るのである。此の地下水等高線は集水井の群又は集水渠の位置を定むるに當つての大切な資料である。

地下水は吸收及び流出の關係並に其の周圍の影響のために昇降するのである。此の昇降も亦井の設計特に湧出量の見積並にポンプの設計上大切な資料である。

又地下水が河川、湖床等の地表水と接するときは之れが影響を受け水位の昇降あるのみならず、地下水は地表水の補給を受け或は地下水が流出して地表水を養ふものであるから、夫等の關係に就ても充分なる調査を必要とする。

又普通の砂礫の含水層が海岸に存するときは理論上海水の浸潤範圍を計算し、出来得べくんば、實驗に依つて其の状態を検し、故障なく所要量の淡水を汲出し得るが如き設計が出来る様な資料を集め其の計畫を誤らない様にすることが肝要である。

原生形式又は次生形式の空隙中の地下水は其の位置さへ明かであれば其の利用は出来るが、元來の性質上其の發見が難しいから實際の利用價值は限られたる範圍のものとは云はねばなるまい。

普通含水層中の地下水は地表近くに於ては大氣の影響を受けることが大であるが、地表面下 5 m 又は夫以下に存在する地下水の温度は、普通我國に於ては年中 20°C に近い場合が多いのである。又地下水が地表水と接せる場合でも、相當に是から離れて居るときは其の地下水の温度は其の地表水の影響を受けることは少いのである。

普通に存在する砂礫層内の地下水の性質は必ずしも優良とは限らない。即ち耕地帯の地下水、人口稠密なる地方の普通含水層内の地下水は多少に拘らず汚染され、且つ汚染の虞があるから之れを直接飲料に供することは危険である場合が多い。即ち人工的に淨化法を講ずるに非ざれば上水道の水源としては成立しない場合が多い。併し乍ら、工業用水又は灌溉水又は灌溉用水の水源としては直ちに利用し得ることが多いのである。

(4) 含水層の通水性に関する調査 集水井又は集水渠の湧出量又は水面降下を論ずるに當つては先づ含水層砂礫の通水性に関する調査を必要とする。砂礫の transmission constant 即ち Darcy's constant  $k$  の測定方法には第二編第二章第二節 3. に於て述べた様に直接法と間接法とがある。

直接法には第一編第二章第五節 2. に於て述べた permeability tester に依る測定法、砂の篩分析試験を爲して有効徑、均等係數を知り、又空隙率を測つて第一編第二章第五節 6. に於て述べた著者の公式を用ひ計算に依つて求める方法及び Slichter 氏の direct-reading under-flow meter を用ひ、含水層内に試験井を穿ち測定に依つて直接に求める方法がある。上述の前 2 方法は實驗室に於ける實驗に依る測定法、第三の方法は現場に於ける直接測定法である。出来得べくんば實驗室及び現場に於て實驗測定を爲し、比較檢算して其の誤なきを確むることを得ば此の上はない。

間接法は試験井に依る方法で、井の湧出量及び水面降下に關する公式を應用して、第二編第二章第二節 3. に述べた様にして、間接に transmission constant  $k$  を計算する方法である。

何れにしても數度の實驗を爲して正確に  $k$  の値を求めることは大切なことである。是等の實驗に依る測定法は何れも完全とは稱し難く多少の誤差を伴ひ易いから異なつた方法に依つて試験し、其の結果を比較對稱して其の誤なきを檢することが大切である。

(5) 含水層の岩石の滲出能力 地下水の補給が充分で汲出量が補給量と平衡を保つか、或は汲出量が補給量よ

り小なるときは問題はないが、然し汲出量が補給量より多い場合には地下の貯水が漸次減退し、遂には汲出し盡されるに至るのである。斯かる場合には本編第二章第五節に於て述べた様に含水層の岩石の比滲出量を直接又は間接に知ることが大切である。元來地下水貯水は岩石の空隙に貯藏されたものが全部汲出されるに過ぎない。故に地下水貯水中有効に汲出して利用し得べき量を知るには比滲出量を知らねばならぬ。今比滲出量が知れれば全含水量に之を乗ずれば利用し得べき含水量が略正確に計算が出来るのである。又汲出量と含水量の減退との関係を知ること出来るのである。

(6) 實地試験用集水井又は集水渠に依る調査 以上述べた各種調査の他、費用と時間とが許すならば實地に試験用の集水井又は集水渠を造り、第二編第二章に述べた理論を應用して種々の實地調査をなし、最後の設計に資することが出来れば是れに越したことはない。上水道の水源として地下水の利用を目論む場合に於ては實地試験は是非とも行ひ設計の萬全を期し度きものである。實際に於て、實地試験は井に依るのが便利である。此の試験井の實地試験は少くとも數箇月、長きは數年に亘り相當學識經驗に富む技術者の指導の下に行ふ必要がある。普通行ふべき試験は、transmission constant  $k$  を求める試験、湧出量と井の水面降下との関係を知る試験、最大湧出量を確める試験、地下水面の降下を知る試験、流入の範圍を知る試験、井の水面降下又は水の上昇と時間との関係を知る試験等である。

含水層の性質が全體に亘つて均齊であると言ふことは到底我國の如き地質構造の複雑な處では望まれない場合が多いから、試験井に依る實地試験は集水工設計施工の完璧を期する上に於て實に有意義な企である。尚汲出した水の物理的、化學的性質の試験も忘れてはならぬ大切な事項である。

## 2. 地下水利用の目的

普通含水層内の地下水は上水道、灌漑用水及び工業用水の水源として利用される他、土木建築工事の基礎工事、農業土木工事の設計施工に當り關係深い問題である。

地下水の利用の目的が異なれば其の利用價值及び集水工の設計施工も亦異なるのは止むを得ない。地下水を上水道の水源として利用するに當りては其の調査は周到なるを要すべく、其の設計施工は完璧を期すべきであるが、工業用水又は灌漑用水の水源として利用するに當りては集水工の設計、施工は主として經濟的見地から支配されるのは理の當然である。

## 3. 水井型式の選擇

普通含水層の全深に亘りて井を沈下し其の全側面から自由に水が流入する型式の井を標準型の普通井と稱する。湧出量の點から論ずれば此の種の井は最も優れたる型式のもので、管井、開井何れの場合にも採用され、特に管井の場合に其の例多きを見る。

管井と掘井型の開井とは何れがよいかと云ふに、之れは含水層の性質、使用の目的、竣工期間、井の築造費に依つて主として支配されるもので、其の都度比較研究を要する問題である。併し乍ら一設に論ずるときは含水層が地表下淺い處に存在し、且つ永久的の集水工の場合には掘井を可とすべく、反之、含水層が深處に位し、或は軍事上一時的に飲料水を得んとする場合若しくは單一時的に水の必要あるときに於ては管井に依るを便とする。

既に述べた如く大型の開井の場合と雖も井を含水層の底部まで沈下し其の側面に水の取入口即ち流入口を設けることは湧出量を大ならしめる上から大切なことである。併し大型開井の場合には必ずしも井を不透層まで沈下する必要はない、其の代りに井底から自由に水が流入し得る様な構造にする。開端井の場合と雖も井側に適當なる



流入口を設けることは大切なことである。地下水の流入口に於ける最大流速が其の含水層に対する實用最大流速以上にならない様に流入口の面積を決定することが大切である。井側に流入口を有するときは流入口の面積と地下水に接する井側の面積との比は空隙比の  $\frac{1}{2}$  以上にすることが望ましい。今空隙比を 40% とせば流入口の面積は井側の面積の 20% 以上にすべきである。尚地下水が井に流入するに當り含水層内の土砂を伴はない様な流速を保ち得る様な流入口及び井底の設計を爲すことを忘れてはならぬ。

管井の場合に於ても含水層の全深に互りストレーナーを設ける必要はない。此のストレーナーの長さは井の築造費及び運轉費を考慮に入れて決定すべきは勿論であるが、尙掘井の場合の如くストレーナーの側面に於ける最大流速が其の含水層に対する實用最大流速以上とならない様に、又地下水が井に流入するに當り含水層内の土砂を伴はない様に設計することが大切である。ストレーナーに於ける開孔は少くとも全面積の 20% とし、出來得べくば之れが閉塞する場合を考慮に入れ 40% 位にすることが望ましい。

管井、開井の何れの場合を問はず其の構造材料、沈下の方法等の決定は利用の目的、工事の重要性、工費等に依つて支配される。

集水井の計畫一般に關しては第一章 4. に於て述べたから以下には只普通含水層に穿つた井に就て特に關係深き事項に就てのみ記述する。

#### 4. 普通集水井

(1) 普通集水井に關する水理學的理論 普通集水井の流れに關する理論、流入の範圍等に關する理論に就ては既に第二編第二章第二節に於て詳論せる處である。是れに依れば井に關する流れは J. Dupuit 氏の公式即ち第二編 (8) 式及び A. Thiem 氏の公式即ち同 (9) 式に依つて實際上差支へない。即ち

$$y^2 = \frac{Q}{\pi k} \log_e \frac{x}{r} + h^2$$

及び

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\log_e \frac{R}{r}}$$

から集水井の湧出量と水面降下との關係、地下水表面の降下の模様を知ることが出来る。而して (9) 式は井側に於ける流速が其の含水層の實用最大流速以上に達しない範圍内では、或は極く近似的に  $(H-h)$  が  $H$  の  $1/2$  に達する迄は有効に用ひられる。影響圓の半徑は第二編第二章第二節 6. 及び 7. に於て述べた理論を應用して求めることが出来る。

(2) 普通集水井の設計 設計資料の調査が完了し、次で集水井又は集水井群にすることが決定したならば其の寸法及び配置を定めねばならぬ。單一の集水井のときは井の位置は含水層區域の中央附近が可なるべく、井群のときは其の配列は第二編第二章第二節 9. に述べた理論を應用して成るべく無理のない様に且つ有効に水の集中心が出来る様な配置とすることが望ましい。

元來單一井の湧出量は含水層中の流れが stream line flow たる限りは前出の (9) 式

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\log_e \frac{R}{r}} \dots \dots \dots (a)$$

から計算する。然るに此の公式は  $h$  が或る値以下になると使用されない。然らば其の値は如何と言ふに、極く近

似的に論ずるときは  $h$  の最小値は  $\frac{H}{2}$  である。然らば理論値は如何にして求めるかと言ふに、是れは次の如くすればよい。即ち井側に於ける地下水の流入面積は  $2\pi rh$  である。而して井側に於ける流れの速度は實際上其の含水層に対する實用最大流速を越えることは出来ない。即ち  $v_{max} = ki_0$  を越えてはならぬ。茲に  $k$  は滲透係数で、 $i_0$  は第一編第二章第六節 3. 及び本編第二章に於て述べた最大勾配即ち地下水面が是れ以上急になり得ないと言ふ勾配であつて、其の値は  $k$  を m/sec. の單位即ち  $k_m$  にて表すときは  $\frac{1}{15\sqrt{k_m}}$  である。然らば井の最大湧出量は近似的に次の如くなる。即ち

$$f = 2\pi r \frac{k_m}{15\sqrt{k_m}} h_0$$

$$= 2\pi r \frac{\sqrt{k_m}}{15} h_0$$

今  $2\pi r \frac{\sqrt{k_m}}{15} = \varphi$  とせば

$$f = \varphi h_0 \dots \dots \dots (b)$$

上式は凡て長さの單位は m である。而して  $h_0$  は最大湧出に對する  $h$  の値である。

然らば  $f = Q$  なる條件を満足せねばならぬ。

依つて

$$\left. \begin{aligned} H^2 - h_0^2 &= \frac{Q}{\pi k_m} \log_e \frac{R}{r} \\ f &= \varphi h_0 \\ f &= Q \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (c)$$

から  $h_0$  を求めることが出来る。既に第一編に於て述べた様に井側の流速が實用最大流速に達すれば stream line flow でなくて turbulent flow となるから  $Q$  は上記の (a) 式から計算することは出来ないが其の誤差は一般に小であるから近似的には (c) 式の關係が成立するものとして差支へない場合が多い。特に砂粒が大なる場合にさうである。依つて

$$h_0 = -\frac{\varphi \log_e \frac{R}{r}}{2\pi k_m} + \sqrt{H^2 + \left(\frac{\varphi \log_e \frac{R}{r}}{2\pi k_m}\right)^2} \dots \dots \dots (1)$$

又は  $h_0 = -\frac{r}{15\sqrt{k_m}} \log_e \frac{R}{r} + \sqrt{H^2 + \left(\frac{r}{15\sqrt{k_m}} \log_e \frac{R}{r}\right)^2} \dots \dots \dots (1a)$

又は  $h_0 = -ri_0 \log_e \frac{R}{r} + \sqrt{H^2 + \left(ri_0 \log_e \frac{R}{r}\right)^2} \dots \dots \dots (1b)$

上式から  $h_0$  が解れば、

最大湧出量  $Q_{max}$  は

$$Q_{max} = \varphi h_0 \dots \dots \dots (2)$$

$$Q_{max} = 2\pi r \frac{\sqrt{k_m}}{15} h_0 \dots \dots \dots (2a)$$

或は  $Q_{max} = 2\pi ri_0 k_m h_0 \dots \dots \dots (2b)$

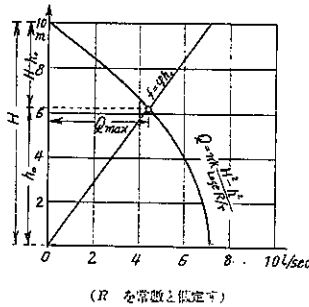
又は  $Q_{max} = f = -\frac{\varphi^2}{2\pi k_m} \log_e \frac{R}{r} + \sqrt{H^2 \varphi^2 + \left(\frac{\varphi^2}{2\pi k_m} \log_e \frac{R}{r}\right)^2} \dots \dots \dots (3)$

$$Q_{\max} = f = -\frac{2r^2\pi}{15^2} \log_e \frac{R}{r} + \sqrt{H^2 - \frac{2r^2\pi}{15^2} 2\pi k_m + \left(\frac{2r^2\pi}{15^2} \log_e \frac{R}{r}\right)^2} \dots\dots\dots (3 a)$$

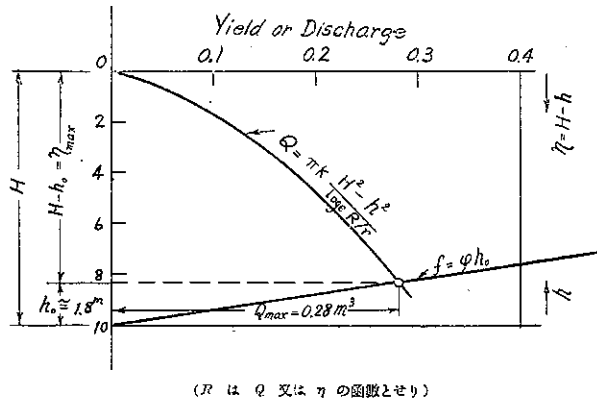
又は  $Q_{\max} = k_m \left[ -2r^2\pi i_0^2 \log_e \frac{R}{r} + \sqrt{H^2 (2r\pi i_0)^2 + (2r^2\pi i_0^2 \log_e \frac{R}{r})^2} \right] \dots\dots\dots (3 b)$

上式に於て  $k_m, H,$  及び  $r$  は與へられてゐるが  $R$  なる影響圏の半径は  $Q$  又は  $h_0$  が判らないから正確には判らないが近似的に假定して求めることが出来る。是等  $h_0$  及び  $Q_{\max}$  の計算に當つては第六圖に示す様な圖式解法に依れば簡易に其の値を求めることが出来る。即ち與へられたる井に對し  $h$  の種々なる値に對する  $Q$  及び  $f$  の曲線を描き夫等の交點を求めれば其の井に對する最大湧出量  $Q_{\max}$  及び最大水面降下  $H-h_0=\eta_{\max}$  を求めることが出来る。

第六圖  $Q_{\max}$  及び  $\eta_{\max}$  を求める圖式解法



第七圖



( $R$  を常數と假定す)

( $R$  は  $Q$  又は  $\eta$  の函數とせり)

第七圖は  $r=5$  m,  $H=10$  m,  $k_m=0.004$  m/sec. なる普通井に對する  $Q_{\max}$  及び  $\eta_{\max}=H-h_0$  に對する圖式解法である。

以上述べたるが如く與へられたる井の湧出量は制限されて居り、換言すれば  $(H-h)$  には一定の制限がある。故に或井からは  $Q_{\max}$  以上の湧出量を得ることは出来ない。故に一定量の水を得んとするには上述の湧出能力を考慮に入れて其の寸法及び井の數を決定しなくてはならぬ。尚井は長年月を経れば種々の原因で湧出量の減退を來し、又地下に存在する含水層のことであるから調査の完備を期することが出来ない事情もある。従つて機に臨み相當の餘裕を見込むことを忘れてはならぬ。尚井の設計を爲すに當つては井の中の貯水量、井中の水の上昇速度、ポンプの種類、井の構造及び施工等も考慮に入れ利用の目的に副ふ様にせねばならぬ。井群を必要とする場合の井の配列に就ては第二編第二章第二節 9. に述べた理論に依るべきである。

其の他井の計畫に關する一般事項に就ては第一章 4. を参照されたい。

5. 特殊集水井

實際に於ては含水層の全深に互つて井を沈下し、其の側面から集水する代りに、第二編第四十一圖に示した様に井を含水層の一部に沈下し其の側面或は側面及び底面から集水することがあり、或は底面のみから集水することもある。

管井の場合湧出量が多量のときは井は必ずしも下方の不透層迄沈下するの要なく、要は集水に無理のない程度に沈下すれば足りる。而してストレーナーの長さは普通の井の場合に準じ、井側に於ける流速が其の含水層砂礫の

實用最大流速を超過しない様に設計すればよい。井群の必要ある場合の其の配置及び間隔は普通井の場合に準ずる。其の他普通井の場合に準ずればよい。開井の場合にも底部及び井側の流速が其の含水層砂礫の實用最大流速を超えない様に設計すべきである。開井の方法は地下水流入の最大速度、湧出量を主眼として設計するのは勿論であるが其の他地質構造、井中の貯水量、井中の上昇速度、其の構造及び施工の點も充分考慮に入れることを忘れてはならぬ。

管井、開井の何れの場合を問はず水の流入口或はストレーナーの設計は含水層の性質に關することで、微粒子の砂よりなる含水層の如き場合には砂が井中に流入しない様な構造にすることが大切である。例へば管井のときは管の外側に砂利壁を作つて砂の流入を阻止する構造にするとか、又開井のときは井の底部のみから水が流入する開端井の構造とし、且つ砂粒が流入しない様に砂利及び砂の濾過層を造るが如きである。開井の場合の井群の配列の設計は管井の場合に準ずればよい。

### 6. 集水井の構造

普通の含水層内に穿ちたる普通井及び特殊井の構造に就て管井と掘鑿式開井に分ちて其の概要を示して置く。

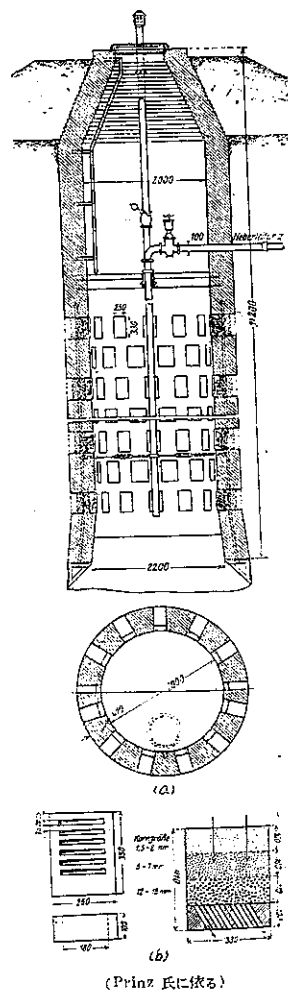
普通の開井は鐵筋コンクリート、コンクリート、煉瓦、木材等で作られ其の寸法は深さは 15 m 位が大なる方で普通は 10 m 以下、内徑は 0.6~10 m 位である。地層の性質、利用の目的に依つて構造の相違を來すは當然のことである。此の種の井は含水層が相當深い處に存し、且つ上方の地質が堅硬なときは先づ陸掘をして後に井側の巻立を行ふことが出来るが、含水層が浅い處に存し且つ上方の地質が粗鬆なる砂礫層から成るときは沈井法に依るを便とする。此の種の井は地表の汚水の浸入の虞があるから上水道の水源井の場合等では其の防止法を講ずることを忘れてはならぬ。又微細動物の繁殖に必要な太陽光線の入射を防止する上からも被覆の必要あるは既述の通りである。

(1) 開井 第八圖に示すのは鋼製の底沓を有する内徑 2 m の掘井である。水の流入口は含水層中の微粒の砂が流入しない様に (b) 圖に示す様に濾過層式にしてある。既に述べた様に流入口の面積は汲出中地下水に接する井側の 30% 以上にすることが望ましい。此の式の構造は上水道及び工業用水の水源として適する。

第九圖及び第十圖は木製の井枠を有する開井の例で、灌溉用水の水源又は試験井又は臨時の水源井に適する構造である。水は井の底、板の隙間より流入する。第十圖の上部は地下水面まで地盤を掘鑿し、然る後堅坑の場合に準じて巻立てたものである。而して含水層に達したなら順次内徑の小なる木製の圓い井を沈下してある。第十一圖は木製底沓を有する煉瓦製開井の例で、水は底部より流入する構造である。此の種の井は灌溉用水の水源としては蓋し適當なものであらふ。

第十二圖は鐵筋コンクリート井の構造で、本例では井の下部に於ては鐵筋を斜に挿入して垂直剪力に抵抗せしめてあるのが特徴である。鐵筋コンクリート

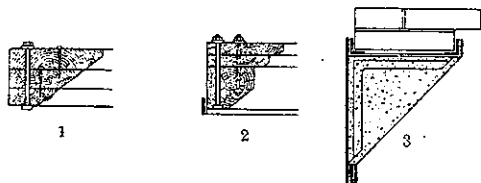
第八圖



(Prinz 氏に依る)

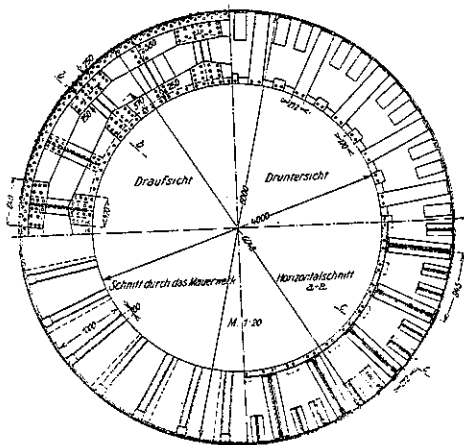


第十三圖



(Prinz 氏に依る)

第十四圖



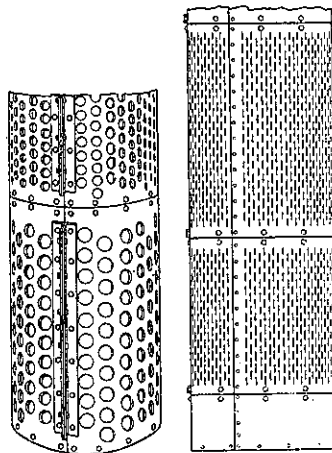
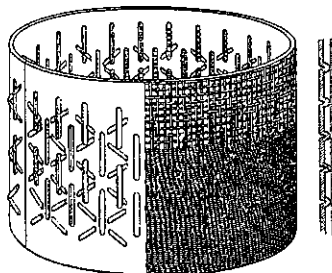
(Bösenkopf 氏に依る)

第十五圖

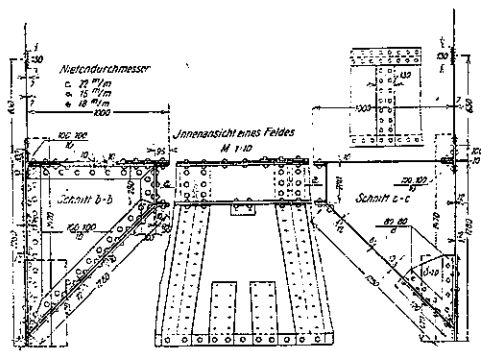


(Prinz 氏に依る)

第十六圖



(Prinz 氏に依る)



(Bösenkopf 氏に依る)







又工事施工の難易を慮つて慎重に決定すべき問題である。

(2) 集水渠型式の選擇 本編第二章 2. に述べた様に集水渠は構造上暗渠と開渠とがあるが特殊の場合を除き暗渠が勝つてゐる。特に上水道の水源の場合に然りとする。暗渠には管暗渠及び函暗渠があり、其の断面の形は渠内の水流に対する水理學上の理由及び施工の點から定めらるべきであるが實際は矩形又は圓形が多い。材料は凡ての點から考慮して鐵筋コンクリートがよい。其の他鐵管、陶管、木材等も可成り使用される。

(3) 集水渠に對する水理學的理論 普通集水渠の流れに對する水理學的理論、流入の範圍に關する理論に就ては第二編第二章第四節に於て詳論した。

普通吾々が遭遇する大規模の水源としての集水渠は含水層の區域の廣さに比して渠の長さが割合に小なる場合である。かゝる場合の渠の流れに關する計算及び流入範圍の決定は第二編第二章第四節 4. に於て述べた著者の理論に従へばよい。集水渠の最大湧出量は泉水井の場合に準じて求めることが出来る。即ち渠の湧出量は集水渠が流入の範圍に比し短小なるときは

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\log_e \frac{R}{r'}} \quad \dots\dots\dots (a)$$

及び  $r' = \frac{L}{\pi}$

集水渠が流入の範圍に比して割合に長いときは

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\log_e \frac{\pi R + L}{\pi r' + L}} \quad \dots\dots\dots (b)$$

である。計算記號は凡て第二編に於て述べたのと同一である。次に渠の最大湧出量は本章 4. に於て述べたと同一理論に依り、近似的に

$$\begin{aligned} f &= 2Li_0 k m h_0 \\ &= 2L \frac{\sqrt{km}}{15} h_0 \\ &= \varphi h_0 \quad \dots\dots\dots (c) \end{aligned}$$

並に  $\varphi = 2L \frac{\sqrt{km}}{15}$

依つて

$$H^2 - h_0^2 = \frac{Q}{\pi k m} \log_e \frac{R}{r'} \quad (\text{集水渠が短いとき})$$

又は  $H^2 - h_0^2 = \frac{Q}{\pi k m} \log_e \frac{\pi R + L}{\pi r' + L} \quad (\text{集水渠が長いとき})$

$$f = \varphi h_0$$

$$f = Q$$

とから  $h_0$  及び  $Q_{\max} = \varphi h_0$  を得る。従つて逆に所要湧出量が與へられるときは  $L$  は容易に之れを求めることが出来る。

(4) 集水渠の構造 集水渠は本編第二章 2. に於て述べた様に各種の暗渠特に我國に於ては構造の強固と製作の容易、敷設の簡單の點とから有孔鐵筋コンクリート管又は函の暗渠が多い。而して或ものは集水トンネルと稱

して差支へない様な大きな寸法のものもある。又地下水が浅い處に存在するときには覆蓋を有する 開渠式の構造が使用されることもある。

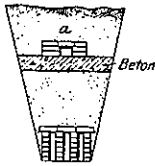
第二十四圖～第二十六圖は小規模の集水渠で、第二十四圖は半圓形のコンクリート管の上に空積の石工で半圓を作つたもの、第二十五圖は煉瓦を高く積上げて造つたもの、第二十六圖はコンクリート工にて作りたる管又は函を埋め、其の周圍に砂利又は碎石を詰めたものである。是等の埋渠は普通の場合と同様に何れも鑿獲して作るも

第二十四圖



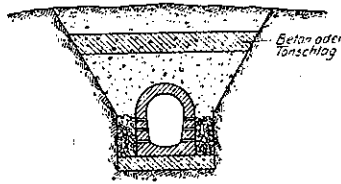
(Prinz 氏に依る)

第二十五圖



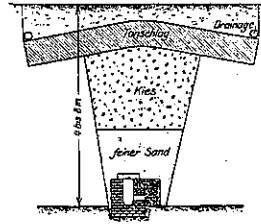
(Prinz 氏に依る)

第二十六圖



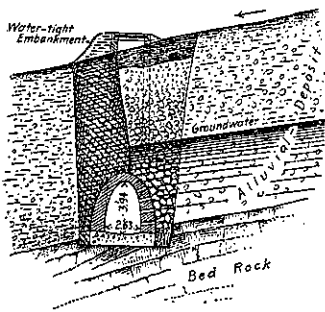
(Prinz 氏に依る)

第二十七圖



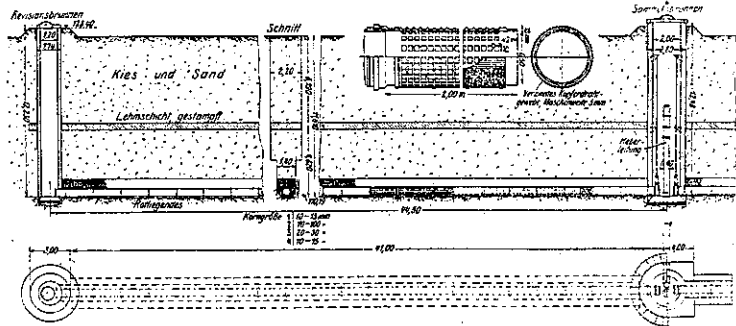
(Imbeaux 氏に依る)

第二十八圖



(Hörlig 氏に依る)

第二十九圖



(Wagl 氏に依る)

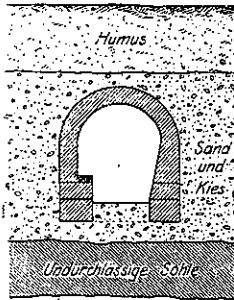
のである。而して一般に水を乾して埋設するのが常であるが、時には水中で埋設工事をするものもある。第二十五圖及びに第二十六圖に示す集水工に於ては共に埋渠の上をコンクリート又は粘土の層で被覆してある。是は汚水が滲透して地下水が汚染されない様にする爲である。尚集水管又は函渠は強固な地盤の上に埋設するか、或は人工的の砂利、木枠又はコンクリート等の基礎の上に埋設するを本則とする。

第二十七圖は石工埋渠の例で第二十八圖は地下水が傾斜せる場合の埋渠の例である。後の例に於ては下流に粘土の壁を作り水を堰止め出来るだけ多量に集水することが出来る様に力めてある。兩設計共埋渠の直上から地表水が漏滲しない様粘土層を用意してある。

第二十九圖は有孔鑄鐵管より成る埋渠で、管は錫メッキを爲せる銅線で作つた網を以つて取巻かれ渠の中に細粒の砂が流入するのを防止してある。管は長さ 2m. 直徑 50 cm. である。管の周圍には砂利を詰め、汚水の漏滲は粘土層で防止してある。埋渠の端には検査井があり、中央には集合井があつて、渠と井とを以つて組合井を爲してある。

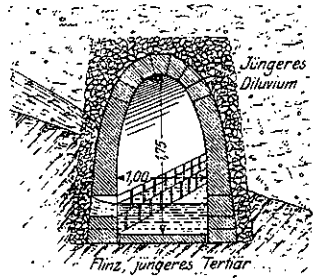
第三十圖～第三十二圖は渠の中を人が通行し得る程度の断面を有するものである。渠の構造は既に述べた處と

第三十圖



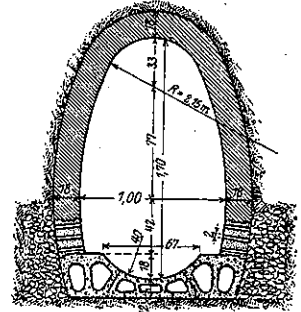
(Spataro 氏に依る)

第三十一圖



(Prinz 氏に依る)

第三十二圖



(Imbeaux 氏に依る)

大差はない。此の種の大型の渠は最近は多くは 鉄筋コンクリートで造られる様になつた。尙木製、陶瓦製、石工のものもある。

集水渠の埋設は既述の如く含水層が淺所に存在し、其の湧水量が少いときは、普通の切取りの場合の如く掘鑿しポンプにて水替を爲しつゝ渠の埋設を行ふことが出来るが、然し湧水量多く、且つ可成り深い處に含水層があるときは水密性に富む鋼矢板を打込み水密壁を作り其の内部を掘鑿し水替を爲しつゝ施工するも一法である。而して矢板は渠の埋設後引抜けばよい。宮本武之輔博士に依れば獨逸製 Larssen 式矢板が最も水密の目的に叶ふさうである。

又獨逸の Siemens-Bauunion で行つて居る様に渠の周圍に管井を打込んで水替をなし、地下水面を低下し渠の埋設を爲すこともある。

以上の如く水替をして渠の埋設をやれば施工は容易に且つ確實に行はれるが、水替作業に可成りの費用が掛るので時には水替をせず水中工事として渠の埋設をすることもある。

## 第四章 河岸又は湖岸の集水井及び集水渠

### 1. 概 説

河川又は湖の岸に含水層がある場合に其の水を天然濾過して集水せんが爲に岸に井又は渠を作ることがある。又地下水が河川又は湖に流入する場合之れを汲出して利用せんが爲にも岸に集水工を作ることがある。是等何れの場合も地表水に關係が深い關係上、地下水の利用權に就て法律上の問題を起す處が多いから、是れが利用に當つては周到なる注意を要する。

此の種の集水工の設計施工に當つては河岸又は湖岸の各種調査が大切である。特に含水層の地質學的調査並に地下水流の狀況に關する調査に就ては時間と費用を吝むことなく完璧を期すべきである。

### 2. 河岸又は湖岸に穿ちたる井

河岸又は湖岸に含水層があるときは茲に集水井を穿ちて是等地表水を天然濾過して汲出すことがある。斯くするとき地表水は著しく清淨となり、又水温の如きも地表水の如く気温の變化を蒙ること少く年中殆ど一定し利用上甚だ好都合で、従つて上水道及び工業用水の水源としては適當である。普通此の種の井は大型の開井が適し、構造は普通含水層中の集水井の場合と大差はない。井の位置は所要の水質の水が得られる範圍内に於て水邊

から成るべく近い方がよい。而して岸に泥土が沈積する様な處は湧出量が著しく少いから宜しくない。斯かる集水井の湧出量其の他の水理學的理論に關しては第二編第二章第五節 2. に於て詳論したから重ねて贅しない。

普通含水層の場合に比し地表水に接近して穿ちたる井は直接地表水から水の補給を受けるから地表水の水位が變化しない限り含水量の變化を來さない得點がある。

この種の井の最大湧出量も第三章 4. に述べた理論を應用して求めることが出来る。即ち同一の計算記號を用ひるときは

$$\left. \begin{aligned} Q &= 2\pi \frac{H^2 - h_0^2}{\log_e \frac{2b}{r}} \\ f &= 2\pi r \frac{\sqrt{k_m}}{15} h_0 = \varphi h_0 \\ f &= Q \end{aligned} \right\}$$

から近似的に  $Q_{\max}$  を求めることが出来る。茲に  $b$  は井の中心點と水邊との距離である。

### 3. 地下水が河川又は湖に注げる場合河岸又は湖岸に穿ちたる井

地下水が河川又は湖沼に注入して居る場合其の河岸又は湖岸に井を穿ちて水を集めるときの湧出量其の他の水理學的理論に關しては既に第二編第二章第五節 3. に述べた。夫に依れば地下水のみを集水することも出来るが、又在來地下水の他に河川又は湖沼の地表水の滲透水をも集水することが出来る。以上何れの場合を問はず原地下水は河川に流入してゐるから岸に井を穿つて集水するときは、河川の場合に於て下流の流量に影響を及ぼすのである。然るときは其の地表水を下流に於て永年灌溉其の他に利用してゐるときは、斯くの如き地下水の利用は動もすれば慣習法に依り流水使用權の侵害となることがあるから之れが利用に當つては充分なる用意を忘れてはならぬ。

### 4. 泥土が沈積せる河岸又は湖岸に穿ちたる井

河岸又は湖沼の岸の含水層内に井を穿ちて集水する場合河底又は湖沼底に泥土が沈積してゐること、或は沈積することがある。然るときは地表水が井に流入するに當り之れに非常なる抵抗を與へるのである。故に一定の水面降下を標準にするときは井の湧出量は泥土なき場合に比し著しく減退するものである。而して斯かる場合の湧出量其の他に關する水理學的理論に就ては第二編第二章第五節 4. に於て詳論した。泥土を滲透した地下水は然らざるものに比し清淨には違ひないが、直接之れを飲料に供する譯にもいかぬから上水道の水源の場合と雖も泥土の沈澱せざる處を擇んで集水井を設けるがよい。尙夫と同時に河底又は河岸の安固な處を擇ぶことを忘れてはならぬ。以上の如くであるから上水道、工業用水、灌溉用水の水源として水邊の含水層に井を穿ち其の滲透水を利用するに當つては泥土の沈澱しない水底の安固なる所を擇ぶべきである。

### 5. 河岸又は湖岸に集水渠を作り河川又は湖の水を天然に濾過して集水する場合

上水道其の他の水源として河川又は湖の岸の含水層内に水邊に沿ふて集水渠を作り地表水の滲透水を汲出すことがある。此の場合集水渠の湧出量其の他に關しては第二編第二章第五節 5. に於て述べた。夫れからも判る様に渠は所要の性質の水を得られる範圍内に於て成るべく水邊に接近するを可とする。渠の構造は本章 1. に述べた處と大差はない。此の渠は河川又は湖沼の底岸の安固な、洪水の害を被らない處又泥土の沈積しない處を擇ぶことを忘れてはならぬ。河川の場合に於ては、夫れが灌溉又は其の他の目的の爲利用されてゐるときは、集水渠を

作り其の滲透水を汲出すときは動もすれば既得権の侵害となるから此の點は充分考慮するを要する。

## 6. 河岸又は湖岸に集水渠を作り其の兩側より集水する場合

河岸又は湖沼の岸の含水層内に集水渠を穿つ場合には水は直接岸から滲透に依つて補給されるものとするのが最も安全な假定である。然るに渠が水邊に近いときは河川又は湖沼の滲透水は集水渠の裏にも廻るのが常である。斯かる場合に於ては渠の湧出量は 5. の場合即ち岸から直接滲透に依つて補給されるときよりも増加するのである。斯かる場合の湧出量其の他に關する理論は第二編第二章第五節 6. に於て述べた。既述の如く渠の長さが短いときは普通の集水渠の場合の如く相當井に換算して本章 2. の理論に従つて湧出量其の他の計算をする方が實際に近い。此の集水渠も水底に泥土の沈積しない、岸底の安定な處を擇んで築造すべきことを忘れてはならぬ。

## 7. 地下水流が河川又は湖に流入せる際、水邊に集水渠を作りて集水する場合

河川の流れが地下水の支給を受けて居る場合即ち出流河川の場合等に於て其の水邊に流れに沿つて集水渠を設置し集水することがある。此の場合の湧出量其の他に關しては第二編第二章第五節 7. に於て述べた。此の場合に於ては在來の地下水のみを集水することも出来、又河川の滲透水をも併せて汲出すことが出来る。前の場合には渠は水邊から可成り離れた方がよいが、後の場合には渠は差支へない限り川邊に接近するを可とする。井の場合同様之れが利用權に就ては充分の考究を要す。

## 8. 河岸又は湖岸の集水井及び集水渠の構造

(1) 集水井 河岸又は湖の水の岸に適當の透水層がある場合に茲に集水井を穿ちて集水し各種の水源として利用することがあるのは既述の如くである。此の種の井は多くは閉井で鐵筋コンクリート、コンクリート又は煉瓦製の大型の筒井が多い。其の構造は第四章 6. に於て述べた處と大差はない。此の種の井が川敷に設けられる場合には往々にして洪水の影響を受けることがあるから此の點は特に注意を要する。普通に此の井は導水管を以つてポンプ井と連絡を計るか或は直接ポンプの吸込管を集水井に入れて汲出す。有堤河川に於て導水管に依つて集水井の水をポンプ井に導くに當つては、堤防の保護上又洪水に備へるため堤外法尻に近く瓣室を設け必要に應じて自由に開閉が出来る様にし、且つ導水管は、少くとも堤防の下だけは、水密性の管を用ひ、接合も充分水密なる様に施工することが堤防の保護上肝要である。

既述の如く井は差支へない限り水邊に接近して設けるがよい。1個の井で湧出量が不足するときは數個の井を水邊に並行に穿つ。此の場合の井の間隔は  $m$  以上とするがよい。茲に  $b$  は井と水邊との最短距離である。

(2) 集水渠 河岸又は湖岸に集水渠を設けて河岸の滲透水又は元來の地下水或は是等兩者を集水することがある。此の場合の集水渠の構造は第三章 8. に於て述べた處と大差はない。只本來の性質上河川の川敷又は堤外地に設ける場合が多いからして、洪水に對する防備工を忘れてはならぬ。渠の築造方法は第三章に於て述べた所に準ずればよい。

## 第五章 河床又は湖床に設けたる集水渠及び集水井

### 1. 概 説

河川又は湖沼の滲透水を水道の水源とするに當つては前述の如く其の岸に井又は渠を作り集水することもあるが時には、水底に直接集水渠、稀には集水井或は兩者を組合せた所謂組合井を作ることもある。

湖床又は河川の川底が割合に安定な處、水深が左迄大ならず、而も水底に沈泥が沈積するが如きことがない處

換言すれば河流が微細浮遊物の沈澱を許さないか或は水清浄にして浮遊物に乏しき處に於ては此の種の集水工は最も當を得たものである。

水底に集水工を作つて集水せんとするに當つては其の地質調査をよく行ひ、且つ水深の地下水と地表水との關係を明かにし滲透水の利用を誤らない様にするのが肝要である。

## 2. 水底集水渠

水底が均等なる砂層より成る場合の水底集水渠の湧出量其の他に關する水理學的理論に就ては第二編第二章第六節に於て詳論した。夫れからも明かなる如く渠は水底に泥土の沈積しない處を擇ぶことが大切である。沈澱の生じない處に集水渠を埋設するときは其の位置は必ずしも流れに直角なることを要せず、必要に應じては流れに沿ふてもよい。尙河川のときは成るべく河身の眞直な處を選ぶがよい。又集水渠は1列に一直様に作らなくとも折線にしても、又2,3列にして之れを連絡してもよい。並行に渠を配列するときは其の間隔は、湧水量を大ならしめる上からは、少くとも河床表からの埋渠の深さの4倍、出來れば8倍乃至10倍にすることが望ましい。水底に泥土が沈積すると湧水量は著しく減退し、特に並行に埋設した集水渠の湧水量は減退するから出來得る限り泥土の沈積する所は埋渠を設けることを避けねばならぬ。

此の種の集水渠の構造は普通の集水渠の夫と大差はない。只洪水時河床洗掘の災害及び河床の低下等に備へる爲、渠は之れを相當の深さに埋設するを安全とする。併し乍ら湧出量の點からは淺いがよい。故に是等の點を慮り普通は河床面から淺きは2~3m 深きは10m 位の處に埋設する。尙安全のため管又は函の周圍に木枠等の保護工を施し夫等の間に砂利又は玉石を詰めることがある。此の埋渠は後日の監査に備へるため、適當の箇所に人孔を設けるがよい。而して此の人孔はなるべく水底に現れない様にしなくてはならぬ。尙此の集水渠は終端其の他の適當な處に接合井を設け、併せて此處で沈砂の作用を爲さしめ其の引入口には制水瓣又は扉を設備し、湧出量の調節を爲し得る様にする。尙有堤河川のときは此の種の集水工を堤内地點迄延長することは禁ずべきである。

此の種の上水道集水渠の我國に於ける實例は中島博士記念日本水道史及び河口協介氏著上水工學等に詳細な記述があるから茲に贅するの要はなからう。此の種の集水渠は工業用水の水源としても適當するものである。

此の種の集水渠は圍堰をして地表水を堰止め、且つ鋼矢板を打つて側方の滲透水を止め底部からの滲透水をポンプにて汲上げて埋設することもあるし、又水中作業で埋設することもある。

## 3. 水底集水井

河床又は湖床が適當なる透水性の砂礫層よりなるときは此處に井を穿ちて集水渠に代へることがある。此の種の集水井の流入量に就ては第二編第二章第六節に詳論して置いた。

此の種の井は殆んど鐵筋コンクリート製の開井で洗井法で洗め、水は井側の流入口及び井底とから流入する様な構造とする。従つて井其の者の構造は普通掘井式の開井と變りはない。只地表水が井側を傳つて未濾過の儘井中に浸入しない様に第二編第九十一圖に示した様に井の周圍の水底を1.5~2m 位コンクリートで以つて被覆することを忘れてはならぬ。尙其の周圍は洪水時洗掘される虞がない様捨石でも施して保護すべきである。

此の種の集水井には水面に突出せる集水塔式のものと、水底に掘込みたる沈埋式のものがある。集水塔式集水井は井の湧出量が大量の場合に於て、夫が水面に突出しても差支へないときに採用される型で、沈埋式集水井は湧水量が小なる場合に集水渠と組合せて利用する様なときとか、或は井が水面に突出するを好まざる場合に採用される方式である。沈埋式の場合には井の頂上からも水の滲透が出来る様な構造にしてもよい。此の場合の湧出



## 第六章 普通アルテシアン井

### 1. 概 説

アルテシアン構造の地層に於てアルテシアン水を各種の水源に利用してゐる例は決して少くない。アルテシアン含水層には種々あるが此の中で砂礫層又は多孔質砂岩の含水層が最も多く利用される。此のアルテシアン含水層は地中深くに存在する場合が多いから、井としては管井が主として使用され、多くは鑿井法又は鑽井法に依つて穿たれるのが常である。而して含水層が左迄厚からざるときは其の全深に互つてストレーナーを、挿入し、成るべく多量の水を汲上げる様にする場合が多いのである。それで一般に斯くの如き井を普通アルテシアン井と云ふ。而してアルテシアン含水層が地下浅い處に存在するときは大型の開井を以つて集水することがある、又含水層が厚いときは井の一部にストレーナーを取付けて集水することがある、又アルテシアン含水層が2層以上から成る場合には一つの井で上下の含水層から集水することがある、斯くの如き井は凡て特殊のアルテシアン井として茲では取扱ふことにする。

元來アルテシアン含水層が廣汎なる範圍に互つて存在し其の厚さが可成りの厚さで、而も其の中の地下水の補給が充分であるときは此の種の地下水は上水道、工業用水又は灌漑用水としての利用價値に富むものである。而も此の種の水は地中の可成り深い處に存在するから水質も良好で而も水温も一定して好都合である。然るに此の種の含水層は調査が可成り困難であり、又動もすれば其の水質も地質次第では深所に位するものはアンモニア、鐵分、鹽分等を含有することがあつて上水道等の使用の目的に通せず、或は利用の永久性に乏しいことなどがあるから、是等の點はアルテシアン地下水の利用に當り充分に注意を要する所である。普通アルテシアン集水井の水理學的理論に就ては第二編第三章第二節に於て詳論して置いた。

### 2. 資 料 調 査

(1) 概要 アルテシアン含水層及び其の中の地下水に就ても出來得る限りの調査を爲し然る上に於て適當な集水工を計畫すべきである。所謂井戸屋式のいゝ加減な調査を基とした設計では確實な集水工は望まれない。

(2) 含水層の地質學的調査 含水層の調査は外觀的調査と試掘による内部的調査と相俟つて完成する。此の調査は事情の許す範圍内で、時間と費用とを吝んではならぬ。

此の調査の中でアルテシアン系統に關する調査、含水層の露頭に關する調査、含水層の岩石學的及び水理學的調査は特に入念に行ふを要する。

(3) 含水層内の地下水 含水層の地質學的調査と相俟つて其の内の地下水の調査を入念に行ふ。即ち水質、水温、水壓等の調査を行ふは勿論のこと、長年月に於ける其の含水層の變化、水壓の變化、地下水の補給の狀態等に就て出來得る限りの調査をする。然し此の種の調査は可成りの費用が掛り、従つて工事次第では實際上行れ難いこともあるのは遺憾千萬である。

(4) 含水層の通水性に關する調査 アルテシアン含水層の場合に於ても其の通水性に關する調査は湧出量の計算を爲すに當つて大切なことである。此の調査は第三章に於て述べた普通含水層の場合と大差はない。

(5) 實地試験井に依る調査 アルテシアン含水層は多くは地中の深所に存在するからそれは試験井を穿つて實地試験を爲すことが出來ないこともあるが、事情が許すなら普通含水層に穿てる井の場合同様試験井に依る實際を爲し最後の設計の參考資料を得る様に力むべきである。此の試験も既述の普通含水層の場合と大差はない。



### 3. 普通アルテシアン井の湧出量、水面降下及び流入の範囲

普通アルテシアン井の湧出量、汲出中の井水面の降下及び流入の範囲に就ては第二編第三章第二節に於て詳論した處である。是に依れば井の湧出量は Deput 氏の式に依ることを得べく、井の流入の範囲は著者の所論に従つて決定することが出来る。尙アルテシアン井の設計上吟味すべき水理學上の理論に就て述べて置く。先づ地下水壓力面が水平なる場合或は水平に近い場合の流入の範囲は湧出量に正比例し、又井の水面降下に略比例して増大する。而して湧出量は井水面の降下に略比例して増大するもので、ときには両者が正比例するものと假定することもある位である。井群の設計を爲すに當つては各井の流入範囲が互に交差しない様にする事が湧出量を大ならしめる上からは望ましいことである。

今井の水面降下を一定とするときは湧出量  $Q$  は井の半径  $r$  が小なる間は相當なる影響を受けるが、 $r$  が可成り大となると其の  $Q$  に及ぼす影響は小である。又流入の範囲は  $r$  の増大に従つて多少は増大するが其の増加の割合は左程もない。又湧出量  $Q$  を一定とすれば井の水面降下  $\eta$  は井の半径が小なる間は  $r$  が小なる程大であるが、 $r$  が或値に達すると殆んど其の影響を受けない。

### 4. 普通アルテシアン井の設計及び施工

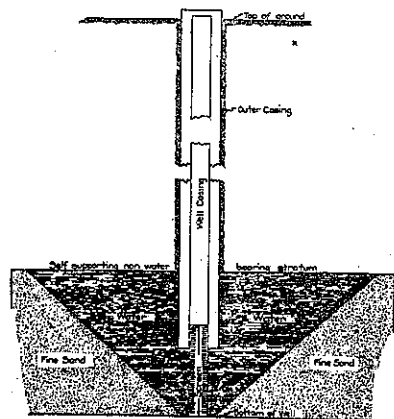
普通アルテシアン井としては管井がよいか開井がよいかは主としてアルテシアン系統の地質構造に關すること、含水層が地表近く存在するときの外は殆んど管井に限られてゐる。然らば此の管井の沈下法は如何と云ふに之れはアルテシアン系統の地質構造及び沈下技術の如何、工費等に關することが多いのである。我國に於ては主に掘鑽法に依り、其の内でも同轉式鑽井法及び綱掘式衝撃鑽井法に依つてゐる様である。

次に水の流入口は管井の場合には第三章 6. に於て述べた様に各種のストレーナーを使用する。又開井の場合に於ても第三章 6. に於て述べた様に特殊の流入口を設けるのである。而して含水層が非常に細粒の砂から成るときは砂粒が管内に流入するを防止するために礫壁井又は粗砂壁井とするか、或は第三十四圖に示す様に砂粒を汲上げて含水層内の砂を安定せしめ其の流入を止めることもある。第三十四圖に示すのはストレーナーが含水層の全厚に互つてない場合である。此の設計では含水層上の地層が可成り強度に富むものたることを必要とする。

井の半径  $r$  は 3. に於て述べた様に之れが小なる間は  $Q$  と  $\eta$  に關することが大であるから夫等相互の關係を調査し井の費額、ポンプの種類、沈下技術等を考慮に入れて決定すべきである。此の井の場合に於てもストレーナーの側面に於ける地下水の流速は其の含水層の土砂に対する實用最大流速を超過しない様に半径を擇ぶことを忘れてはならぬ。其の他管井のときは管径  $r$  は井中に於ける水の上昇流速、砂の流入を伴ふ流速等を考慮に入れ、又大型開井のときは貯水量も考慮に入れて決定せねばならぬ。

一つの井で湧出量が不足するときは井群を設ける。井群の配置及び井の間隔は普通井の場合と同一理論に基き

第三十四圖



(Bull. A. R. E. A. 氏に依る)

流入範囲が交叉しない様換言すれば井の相互干渉がない様に決定するのが本則である。尙ポンプ汲出のことも考慮に入れることを忘れてはならぬ。

大型の掘井のときは井筒と含水層上の不透層との隙間から 壓力を有する水が噴出又は滲出しないう様井筒と在來の地盤との間には少くとも 3m の間は良質の粘土にて密實に填充するを要する。此の工法は凡てのアルテシアン開井の場合忘れてはならぬことである。管井の場合に於ても此の點に注意を要する。

## 第七章 特殊アルテシアン井

### 1. 概 説

第六節に於て述べた様にアルテシアン含水層に井を穿ちて集水する場合には井を含水層の底盤に達する迄沈下し、含水層の全厚に流入口を設け出来るだけ多量の水を集水する様にするのが本則である。然るに管井の場合含水層が可成り厚いときは其の全厚に互つてストレーナーを設ける必要がないことがある。又含水層が浅い處に存在する場合に大型の筒井を洗めるに當つて含水層が可成り厚い場合又は湧出量が多い場合には井の側面の一部に流入口を設け併せて井底からの湧水を汲出し、又は單に井底のみからの湧水を汲上げることもある。又アルテシアン含水層が 2 層以上存在するときは一つの井を以つて夫等の含水層を貫き、夫々の含水層の部分にストレーナーを設け各層からの湧水を集水することも出来るのである。

是等の特殊アルテシアン井の水理學的理論に就ては第二編第三章第三節に於て詳論して置いた。

普通井にするか特殊井にするかは主としてアルテシアン系統の地質構造、含水層の厚さ及び通水性等に關することであるから、如何なる構造の井を採るかはその都度各資料の調査を基として決定さるべき事項である。

### 2. 特殊アルテシアン井の設計及び施工

(1) 概説 第六節に於ても述べた様に如何なる種類の井を採用するかは主として地質構造、含水層の性質に關することであるが、又是れは經濟上或は掘鑿の技術上からも支配を受けるのである。一般に含水層が地表近くに存在する場合の外は凡て管井が採用される。而して管井のときは井の最大湧出量又は許容水面降下を基としてストレーナーの長さ及び其の半徑を決定すればよい。即ちストレーナーの長さ及び半徑は其の側面に於ける地下水流入の速度が實用最大流速を超過しない様に、又其のときの井の水面降下が許容値を超えない様に定むればよい。シ濟的に論ずればストレーナーは上述の條件を満足する範圍内に於て短い程望ましいことであるが、元來アルテシアン井は地下貯水量の減退とストレーナーの閉塞のため漸次湧水量の減退を來す處が多いから、出來ればストレーナーの長さは餘裕を取つて長くして置いた方がよいのである。

次にアルテシアン式的大型開井のときは次の點に注意して設計をすればよい。

即ち井は成るべく深く含水層内に掘込み其の側面及び底面より自由に水が流入する様な構造にすることが望ましい。而して井の側面の流入面積が相當なる廣さを有するときは底面から水が流入すると否とは大して井の湧出量又は水面降下に影響を及ぼさない。尙側面のみから水が流入する構造の井に於ては其の流入面積が適當なる廣さ以上のときは其の廣狭は大して湧出量又は水面降下に關係を及ぼさない。又井の底面のみから集水する構造の井のときは、特殊な場合を除いて井はなるべく含水層中に深く穿入させない方がよい。一般に特殊アルテシアン開井の場合に於ても井の半徑は湧出量、井水面降下、流入口に於ける流速、井中の貯水量等を考慮して定めるべきであることは他の掘井式筒井の場合と變りはない。

以上は凡て左迄厚からざる含水層を有するアルテシアン系統の地層に井を穿ちたる場合に關することで、含水層が非常に厚い場合には適用が出来ない理論である。

次に各種の特殊アルテシアン井の設計及び施工に就て述べて見る。

(2) **二つ又は夫以上の含水層に亘るアルテシアン井** 或アルテシアン系統に於て二つ或は夫以上の含水層を發見した場合上層含水層よりの湧水のみでは所期の量を汲出し得ないときは、更に井を掘下げ下方の含水層からも集水することがある。此の種の井は多くは地下深くに存在するアルテシアン含水層中に穿ちたる井に限られて居る。井の掘鑽に依つて含水層の厚さ及び位置は略確認することが出来るから井を下げるに當つては丁度含水層の處にストレーナーが来る様な構造にすればよい。而して井は其の汲出中の水位が低壓の含水層内の地下水の壓力面以下となる様に設計せねばならぬ。然らざれば高壓の水は低壓の含水層内に流入し従つて二つの含水層からの湧出量は却つて高壓の含水層のみからの湧出量よりも減少するのである。井を上下の含水層に互つて沈下するときは下層の含水層の水壓が低いときは、動もすれば上層の含水層の水が下層の含水層内に逃げて殆んど或は全く集水することが出来ない様なことが起るから充分注意を要する。

(3) **ストレーナーが含水層の全深に及ばざるアルテシアン井** 管井に於てアルテシアン含水層が可成り厚いときは必ずしもストレーナーは含水層の全厚に互つて設けるの要はない。(1)に述べた理論からストレーナーの長さも決定したならば、次に其の設ける位置を定めねばならぬ。此の位置は含水層の水壓が可成り大なるときは上部に、又水壓が低い場合には下方に設けるのが得策であることが多い。

次に井の側面及び底面より水が流入する構造の掘井式の開井に於ては成るべく側面の流入口を廣く取り本編第三章 6. に於て述べた様な構造にして細砂の流入を防止し、又底面は大粒の砂利を敷き、漸次下方に行くに従ひ細粒の砂利、砂を詰めて濾過床の構造にして置くがよい。

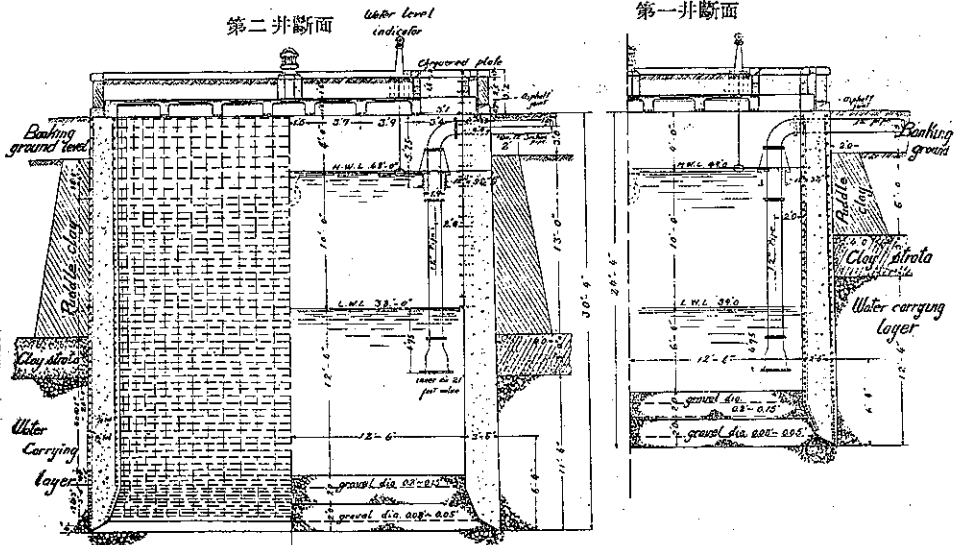
底面のみから水が流入する構造に於ては井は成るべく深く含水層内に穿入せしめず、その底面は之れを掘上げて粗粒の砂利から、下方に行くに従ひ漸次細粒の砂になる様に砂利、砂を詰めて置くがよい。尤もアルテシアン水が地表下浅い所に存在し井の湧出量を大ならしめる必要上水面降下が大なる場合には井筒を含水層中に穿入せしめなくてはならぬ。

第三十五圖は熊本市上水道水源井で八景水谷アルテシアン含水層に穿ちたる筒井で、共に含水層中に突入せしめ水は下方からのみ流入せしめる。是れは水面降下とポンプの吸込管の設置の都合上斯くせるものである。井は第一井及び第二井ともに内徑 25 呎とし井筒天端より深さ第一井は 24 呎 4 吋第二井は 30 呎 4 吋で共に沈井法に依つて沈下したものである。井筒と含水層上部の砂利混り粘土層とはコンクリートと粘土とで固着せしめ是れより上部は粘土の防水壁を作り地表水の流入を防ぎ、且つアルテシアン水の噴出を止めてある。此の井は著者の設計になるものである。

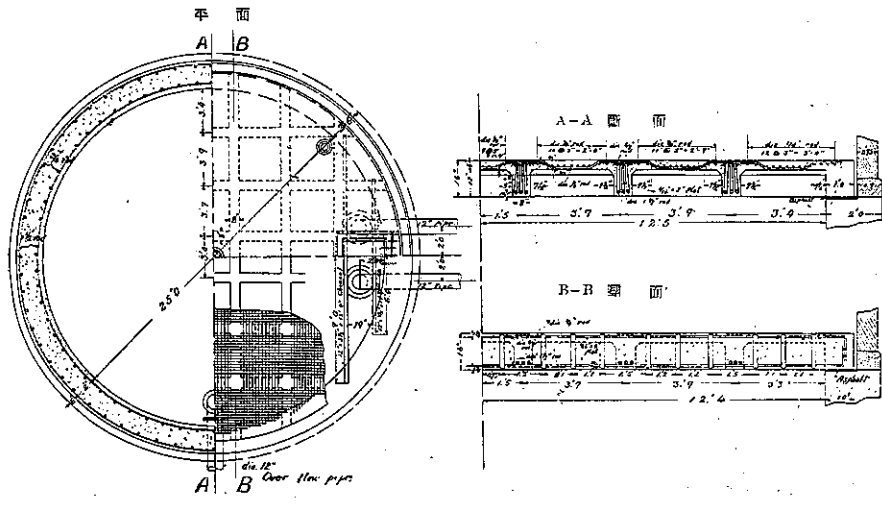
(4) **井群の設計** 井群の設計は前章に述べた普通アルテシアン井の場合に準ずればよい。

(5) **井の沈下** 管井の沈下方法は普通のアルテシアン井又は普通の含水層に穿つた井の場合と大差はない。開井の場合も既に述べた處に従へばよい。此の種の井の場合には湧水量が大なる場合が多いから、井の沈設作業中水替を容易ならしめるため大なる容量のポンプを用意することを忘れてはならぬ。

第三十五圖 熊本市水道八景水谷水源井



床版詳細圖



第八章 含水層が無限に又は甚だ厚い場合のアルテシアン井

1. 概 説

含水層が甚だ厚いか又は實際上無限に厚いと認め得る場合、之れに井を穿つときは是れに關する水理學的の理論は含水層が薄い場合と異なるのである。而して是れに就ては既に第二編第三章に於て詳論せる處である。此の種の井には種々あるが、管井としては第二編第三百十圖に於て示した(4)及び(6)の型式即ち井の含水層中に穿入せる部分が全部又は一部にストレーナーである構造のもの、筒井としては同圖の(1)、(2)及び(3)に示した様に底部のみから水が流入する構造のもの及び(5)及び(7)に示す様に含水層内に穿入せる井筒の側面の全部

又は一部からと底部とから水が流入する様な構造のものが普通に採用されてゐる。

如何なる型式の井を探るかにはアルテシアン系統の構造、含水層の性質、構造技術等に關することである。而して一般に論ずれば含水層が地下深い處に存在するときは管井とするの外なく、含水層淺きにあるときは管井、開井共に用ひられるが多量の湧水を必要とするときは管井よりも開井がよい様である。

是等各種の井の水理學的理論に就ては第二編第三章第四節に於て詳論して置いた。

## 2. 井の設計及び施工

(1) 管井 管井はストレーナーが長い程湧出量は増すものであるから、經濟が許すならば成可く長くするがよい。而して其の表面積は其處に於ける地下水の流入の速度が實用最大流速を超過しない様に其の半徑及び長さを定めることを忘れてはならぬ。既に第二編第三章第四節 5. に於て述べた様に井の湧出量又は水面降下は  $r$  の對數函數であるから、其の直徑は上述の如く地下水流入の實用最大流速から定まるものである場合が多いが、尚ポンプの種類によつて支配されることもある。而してストレーナーの長さは之れと所要の湧水量から計算されるのである。此の種の井の場合に於ても湧水量は年々減少の傾向があるから凡てに於て適當の餘裕ある計畫を樹てることを忘れてはならぬ。

管井の沈下法に就ては既に述べたから繰返さない。

### (2) 筒井

(a) 底部のみから水が流入する筒井 底部のみから水が流入する筒井には球底井、平底井及び含水層中に穿入せる平底井とがある。球底井とは井筒を丁度含水層の上面迄下げ其の底部を球狀に掘浚せる井、平底井とは井筒を丁度含水層の上面まで下げた井、含水層中に穿入せる平底井とは平底井を含水層内に多少に拘はらず穿入せしめたる井である。

此の種の筒井は普通の開井と大差なく其の井筒に流入口を有せず、従つて構造堅牢にして工費の廉なる特徴がある。而して井はなるべく球底井とし或は底部を掘浚して此處に粗粒の砂礫を入れて湧出量を増すがよい。含水層が比較的淺い處に存在するときは其の湧出量を増す都合上井筒を含水層内に穿入せしめるがよい。此の種の井の湧出量は正しく又は殆んど井の半徑に比例するから、湧出量を大ならしめんが爲には井の半徑を大ならしめることが必要である。此の種の井の最大湧出量も井底に於ける流入の實用最大流速に關するのは言を俟たない。尙含水層が細砂のときは砂が井に流れ込まぬ様に井底は粗砂利とし下に行くに連れて細粒の砂礫を詰める。井筒と不透層の間には粘土を填充して水密にする。

(b) 底面及び側面より水が流入する場合 既に述べた水理學的理論から明かなる様に、井は其の側面及び底面の兩部から水が流入する構造にすることが大切である。側面の流入口は井の水面降下も大ならしめる必要がある場合には下方にのみ設け、其の必要がないときは井筒の強度に影響なき限り含水層中にある井筒の側面に廣く設けるがよい。

## 第九章 湧泉

### 1. 概説

一般に湧泉の水は其の質優良なるを以つて其の盃飲料に適し、又工業用水、灌漑用水としても優れてゐる。従つて量が充分であれば種々の目的に使用し得るのである。然るに湧泉と雖も其の調査が不充分のときは利用を誤

ることなきを保證し難いから、之れが利用に當つては其の特性を充分調査することを忘れてはならぬ。其の中でも水が流出する開口、岩石構造及び地下水が湧出する原動力、湧水量及び其の變化、湧水の恒久性、水質、水温に就ては特に詳細なる調査を行ひ其の利用を誤らない様に注意すべきである。

2. 集水工の設計及び施工

(1) 概説 以上述べた如き調査の結果利用が不能であつたならば、茲に集水工を設け湧水を集水するのである此の利用の目的が灌漑の水源たらしめるにあるならば、要は集水が安全に有効に出来る様に取入口を作ればよい。然るに之れを上水道又は工業用水として利用せんとする場合には、集水に當つて第一に考慮すべきは湧出した泉水の性質を害しない様、換言せば外部から汚染されない様に之れを導水し得る様な構造に作ることが大切である。

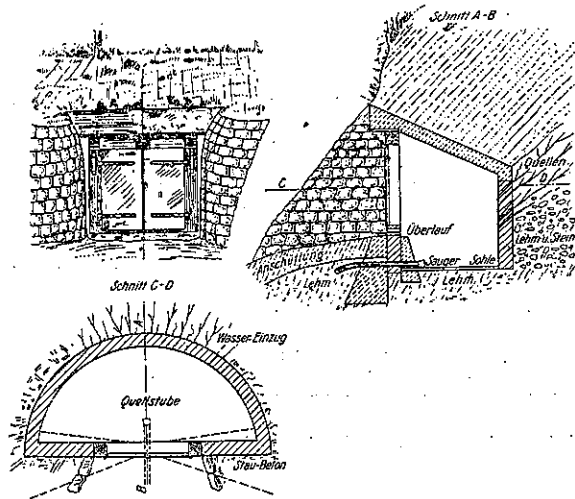
湧泉には漏滲泉、裂罅泉、管状泉等がある。漏滲泉は比較的長範圍に亙つて湧水する場合が多いが、裂罅泉及び管状泉は一地點から湧水する場合が多い。そこで集水工は湧水の状態により即ち一地點から湧水する場合と比較的長範圍から湧水する場合とで其の構造が異なるのである。

(2) 一地點から湧水する場合の集水工 先づ湧泉地點を適當に掘鑿して鐵筋コンクリート又は其の他の材料で小貯溜池を作り、水の汚染を防ぎ、閉塞其の他の害を避け、引入管からの湧水を貯溜する。若し砂礫層の如き岩石よりの湧水のときは砂が流入することがあるから、是れを未然に防止する濾過方法を講ずるか若くは洗砂池を設ける。尙必要に應じ小型の鑿室、量水堰、餘水吐、土砂吐を設ける。尙集水工には 監査、掃除等の爲の 出入口を設けるか、或は人孔を作つて置く。此の集水工の周圍及び上部には少くとも 0.5 m 位の厚さに土を冠し、外氣の温度變化の影響を受けない様にし、又光線を遮斷して生物の繁殖を防ぐ。鹿児島市水道の水源は此の種の湧泉である。第三十六圖は此の種の簡單なる集水工の例である。

若し湧水箇所が低地にあつて、汚染又は地表水流入の虞があるときには既に既述べた開井の構造にして井筒を地表に突出せしめるがよい。

(3) 比較的長範圍から湧水する場合の集水 漏滲泉又は裂罅の場合には比較的長い線に沿ふて湧泉を見ることがある。斯かる場合には既に述べた集水渠の例に倣ひ集水工を設くればよい。砂礫層よりの湧泉の場合には砂が流入しない様に砂礫の濾過層を設けることを忘れてはならぬ。

第三十六圖



(Eüsenkopf 氏に依る)

第十章 地下水揚水ポンプ

1. 概 説

地下水揚水ポンプとしては次の 3 種が主として採用されてゐる。

- 1: 往復動ポンプ (reciprocating pump)
- 2: 渦巻ポンプ (centrifugal pump)
- 3: 氣揚ポンプ (air lift pump)

一般に如何なる種類のポンプを採用するかは、集水井又はポンプ井の大きさ、揚水量及び揚程、ポンプ据付けの位置、動力及び其の他の要素から定まるのである。然らば如何なる型式のポンプが最も優つてゐるかと言ふに、之れは一概には論ぜられない。併し乍ら今日一般に廣く用ひられてゐるのは渦巻ポンプであつて、是れが發達し連れ他の種のポンプは著しく其の利用範圍を侵蝕されつゝある状態にある。尤も如何に渦巻ポンプと雖も行く所可ならざるはなしと迄は稱し難く、他のポンプと雖も中々棄て難い特徴を有してゐるものである。依つて以下に揚水ポンプの種類、其の得失、適所等に就て一寸觸れて地下水用揚水ポンプの選擇上の參考に供して置いた。

## 2. 往 復 動 ポ ン プ

(1) 概要 此の種のポンプは古くから用ゐられてゐるものであるが、現今は渦巻ポンプの爲に著しく其の使用範圍を縮められ昔日の俤はない。此のポンプは動力に依つて手動と機動とに分たれ、機動は更に原動機より間接に動力が傳達されるものと、直結のものがある。手動即ち人力に依つて働くポンプには家庭用又は小規模の灌溉用のものがある。而して上水道、工業用水又は大規模の灌溉用水の揚水に用ひられるポンプは機動であるの言ふ迄もない。動力としては電動機、蒸氣機關が用ひられ、稀には内燃機關が用ひられる。

此の種のポンプは6~7m以上の吸揚は實際上上困難であるから、水面の深さが是以上になると水筒を吊下げなければならぬ。一般に此の種のポンプの効率はいい方で、普通容積效率が80~99%である。

此の種のポンプの得失を擧げると次の如くである。

**得點** 容量の大小に關せず利用し得ること、揚程の大小換言せば井の深淺に關せず利用が出來、少量の水を高く揚水し或は揚程を一定に保ち揚水量を變ずることが容易であること等は其の得點である。

**缺點** 容量の大なる場合又は深所に設置するの要あるときは不經濟なること、曲つてゐる井には利用し難いこと、泥砂を混ざる水には不適當なること、修理の必要が起り易いこと等は其の缺點の主なるものである。

(2) 手動ポンプ 家事用其の他の井戸ポンプの如き吸出量少く且つ使用の回數が少いものゝときは人手で動かす手動ポンプを使用する。此の種の井戸は吸上高さが6~7mである。故に十數メートルの高さに揚水するの必要があるときは水筒を井戸に吊下げ一旦排出弁より排出された水を更に排出管に沿ひ押揚げ水筒よりも上方に揚水する様にする。斯くて18m位は揚水が出来るのである。此の種のポンプは家事用等の井戸ポンプとして適應してゐる。

(3) 深井ポンプ 井の水面が地表下十數メートルより深い處に位するときは、以前は往復動ポンプを吊下げ地上より長き唧子鐸を作用せしめて揚水して居つた。然るに此の種の深井ポンプは大なる重量が往復するを以つて振動音響甚しく、作用が間歇的であつて、又水中に減摩油を混じつ其の構造形態が大となり小徑の井に適しない缺點がある。故に現今は此の代りに堅型の渦巻ポンプが主に使用されてゐる。

此の種の井戸は簡易なものは手動のこともあるが、多くは機動である。

(3) 蒸氣直動ポンプ 之れは蒸氣筒と水筒とが共通の唧子鐸を以つて作用せられる蒸氣力にて働くポンプである。此の種の直動ポンプは比較的小型の割合に能力が大である。此の式のポンプには單聯ポンプ (simplex pump) と二聯ポンプ (duplex pump) とがある。此のポンプは現今井の揚水用としては餘り用ひられてゐない。

### 3. 渦 卷 ポ ン プ

(1) 概要 最近に於ける渦巻ポンプの發達は驚異に値する程で、其の結果此の種のポンプは揚水量の大小、揚程の大小に關せず大規模の揚水に盛んに利用される様になつた。渦巻ポンプの内て案内羽根を有するものを特にタービン・ポンプ、之れを有せざるものを單に渦巻ポンプと言つてゐる。

一般に渦巻ポンプは作用上低揚程、中揚程及び高揚程の3種に區別される。低揚程ポンプとは3~4m以下の揚程のとき用ひられるもので、多くは片側又は兩側吸込の渦巻ポンプが用ひられる。中揚程ポンプは4~30m位の揚程の所に用ひられるもので一段タービンポンプが使用される。高揚程とは30m以上300mにも及ぶ揚程の所に用ひられるもので多段渦巻ポンプが用ひられる。普通の渦巻ポンプの羽根車は水平の同轉軸上に取付けられるが、深井の揚水に用ひられるものは地下に吊下げたる垂直軸上に數段の羽根車を取付け、地上据付けの電動機を以つて運轉される。

動力としては主として電動機が用ひられるが内燃機關即ちディーゼル機關、揮發油機關及び石油機關も亦盛んに利用されてゐる。

次に此の種のポンプの得失を掲げて参考供する。

#### 得 點

效率がよいこと、形態が著しく小で狭い所に据付けが出來且つ運轉に當り著しく静謐なること、運轉が容易なること、構造が簡單で價格廉なること、高速運轉なるを以て電動機械は揮發油機關の如き高速回轉をなす原動機に直結運轉を行ふことが出來ること等は其の得點である。

#### 缺 點

容量が300 l/min以下の場合又は直徑15 cm以下の井の場合には效率が悪いこと、揚程と汲上量との間に一定の關係があつて水量と共に揚程も變ずること、吸込管の底に必ず底瓣を設けねばならぬことは其の欠點である。

(2) 低揚程渦巻ポンプ 之れは既述の如く揚程が3~4m以下の場合に用ひられるもので、案内羽根を有せざる渦巻ポンプが適し揚水量の少い場合には片吸込のもの、多い場合には兩吸込のものが一般に使用される。此の種のポンプは淺井戸の揚水には屢々用ひられる。

(3) 中揚程渦巻ポンプ 揚程が4~60m位までのときは一段タービン・ポンプを使用する。而して構造は揚水量の少いものは片吸込、多いものは兩吸込である。

(4) 高揚程渦巻ポンプ 揚程が30m以上なるときは多段タービン・ポンプを使用する。而して10~12段位のものを使用すれば600~700mの高所に揚水することが出来る。

(5) 深井用渦巻ポンプ 深井の如き鑽孔中の水を揚水するには以前はよく深井往復動ポンプを使用してゐたが現今では主として1段乃至數段の整型渦巻ポンプを井底以上數メートルの位置に固定し、地上据付けの電動機より長軸を下して運轉する場合が多い。之れをボアホール・ポンプ(borehole pump)と言ふ。此の種のものには15~45cm位の直徑の管井に使用し得べく、段數の増加に依り揚程を自由に増加し得べく、且つ電動機に直結して靜謐なる運轉が出来る得點がある。或設計に於ては多段渦巻ポンプを電動機と直結せしめ共に水中に浸すも差支へない様被覆した構造のものもある。而して30m以上の水中に没する場合には電動機に故障を起さない様に壓搾空気を導入し、附屬の調整装置に依りて常に水壓以上の壓力を保つ様にする。



最近は揚程 250 m, 汲出量 38 000 l/min なる大能力の深井渦巻ポンプが用ひられる様になつた。

#### 4. 氣揚ポンプ

此の種のポンプは空氣壓搾機以外には何等運動する部分を有せず、且つ築造後は何等の修理を要せず、井戸と空氣壓搾機とは隔るゝも作用に不都合はないから深井の汲揚げには以前から使用されて來たものである。以上述べた外此の種のポンプは種々の得點がある、其の反面缺點も多々あるから是等に就て述べ、此の種のポンプを使用するに當つての參考に供しやう。

##### 得 點

1. 湧出量の大きな小徑の管井から多量の水を揚水し得ること、例へば直徑 15 cm の井から 3 000 l/min の水を揚水し得ること（斯くの如きは到底復動ポンプ又は堅型タービン・ポンプの企て及ばざる所である）。
2. 小型の管井群を一單位で揚水することが出来ること、例へば湧出量 200~300 l/min の井が 4~6 箇所あつた場合には空氣壓搾機を適當な處に設備し、此處から空氣管を出して各井を連結し各井の揚水は之れを共同貯水池に貯へることが出来ること。
3. 曲つた管井の水を揚水し得ること。
4. 近づき易いこと。

##### 欠 點

1. 效率が悪くこと、即ち僅か 20~30 % に過ぎないこと、従つて往復動ポンプ又は渦巻ポンプに比し、普通に 100~200 % 動力費が高くつくこと。
2. 割合に廣い場所を取ること。
3. 淺井に利用が出来ないこと。
4. 地表に貯水池を要すること。
5. 常に運轉に注意を要すること。

以上の如く相當の得點もあるが、その反面缺點も多いから、現今では其の使用は渦巻ポンプのため可成り狭められた様である。 (第三編終り)

##### 附 記

本論文は著者の十餘年間に亙る研究を纏めたものである。而して本論文を完成するに當つては、著者自身の研究に成る處も多いが、其の反面同學の先輩諸士の御指導に待つ所も尠くなく、又中外の是れに關する論文に負ふ所も亦大なるものがある。尙數回に亙り發表の機會を與へ下さつた土木學會に對して深甚の敬意を表するものである。著者の仄聞する所に依れば本論を應用して上水道、灌漑用水等の水源地下水集水工の計畫の實施に成功せる例は決して尠くない。果して然らば、是れは著者の功績ではなくて、取りも直さず著者の研究を完成せしめられた先輩諸士の賜物であると信ずる。