

地層の比抵抗検層値と透水性

根岸 正充* 中原 正幸** 寺岡 伸幸***

1. ま え が き

開発の進行に伴い丘陵地や山地での地下水開発の必要性が増加しているが、平野部に比較して困難な場合が多い。これは平野部では、帯水層は主に第四紀の未固結の砂、礫層からなり、地下水は層水であるのに対し、丘陵地、山地では新第三紀以前の固結した地層からなり、れっか水が主であり、帯水層とその地下水の賦存量の評価がむずかしいためである。

一方、実際の地下水開発では掘削井を設け、揚水試験により揚水可能量を調査するが、このとき、採水対象となる帯水層が的確に判定され、井戸鋼管のストレーナの位置が決定されなければならない。このため、透水層と難透水層の判定および採水対象層の深度は、ボーリングのコアやスライムの観察と電気検層による比抵抗値を参考に決定されていることが多い。なかでも、地層の比抵抗

検層値は最も重要な資料となっている。

当文では、平野部に比較して資料の少ない北海道の丘陵地や山地における、主にれっか水を採水対象とした水井戸の調査で求められた比抵抗検層値や地層係数と透水係数、比湧出量の関係などについて報告する。

2. 比抵抗検層

比抵抗検層は自然電位(S・P)検層とともに最も使用頻度の高い電気検層のひとつであり、その値は帯水層の位置や良否を決定するのに非常に有用である。地層の水理的な性質を判断するのに、ボーリングコア以上に役立つ場合が多く、井戸による地下水調査では欠かせない調査法のひとつである。また、比抵抗検層はダムサイトや地すべり地の地層の透水性調査にも、今以上に、取入れられてよい方法であると筆者は考える。

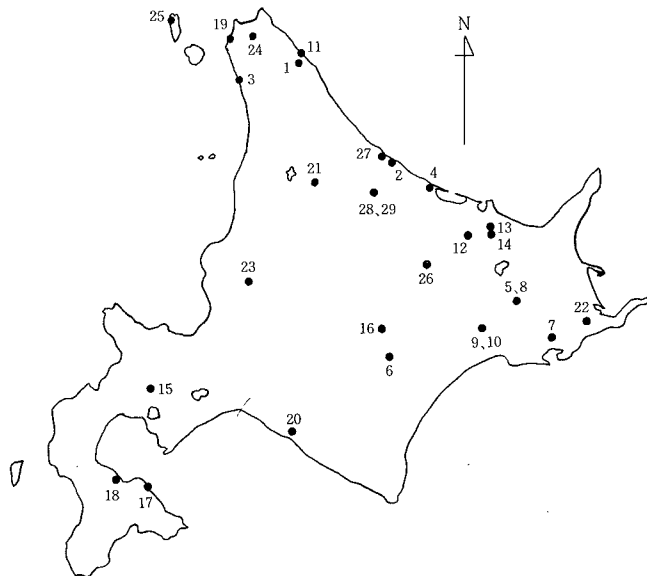


図-1 調査井位置

凡 例

1. 沖積統、段丘堆積物層 (浜頓別町)
2. " 現河床堆積物層 (紋別市渚滑)
3. 洪積統、海岸砂丘堆積物層 (幌延町浜里)
4. " 川西層 (湧別町川西)
5. " 釧路層 (標茶町オソベツ)
6. " 国見層および芽登凝灰岩層 (音更町下音更)
7. " 釧路層群 (厚岸町大別)
8. " 釧路層 (標茶町磯分内)
9. " 釧路層群 (阿寒町中央①)
10. " (阿寒町中央②)
11. " 浅芽野層 (猿払村浅芽野)
12. " 屈斜路火砕流堆積物層 (端野町協和)
13. " (東藻琴村未広)
14. " (東藻琴村福富)
15. " 羊蹄火山噴出物層 (真狩村新磯)
16. " 然別火砕流堆積物層 (土幌町新田)
17. " 出来湖崎火砕流堆積物層 (鹿部村駒ヶ岳山麓)
18. " 石倉層 (森町三岳)
19. 鮮新統、更別層 (稚内市下勇知)
20. " 厚賀層 (門別町清里)
21. " 川西層 (風連町丸三)
22. " 西春別層 (厚岸町姉別)
23. 中新統、前田の沢層 (新十津川幌加)
24. " 増幌層 (稚内市上増幌)
25. " 浜中層 (礼文町鉄戸)
26. 鮮新統、釧北火山岩類層 (釧戸町川南)
27. " 豊野層 (奥部町富丘)
28. 先第三系、日高累層群 (滝上町南佐久留①)
29. " (" " ②)

*地質研究室長 **農業水産部農業計画課開発専門官 ***地質研究室員

なお、比抵抗検層の一般的な測定法や原理、解析、測定結果などについては、すでにいくつかの文献¹⁾²⁾があるので詳細は省略するが、以下に述べる比抵抗検層値は、口径 $\phi = 150 \sim 200 \text{mm}$ の井戸で電極間隔 $a = 24 \sim 48 \text{cm}$ 、すなわち $a/\phi = 1 \sim 3$ の範囲で、電極配置はすべてノーマル配置 (normal device) により測定したものである。地下水を対象とした井戸の検層ではノーマル配置が最も適しているといわれ、電極間隔も最も一般的な間隔である。

調査個所を図-1に示す。

3. 比抵抗検層値と透水係数、比湧出量

井戸の掘削時に検層で求められる地層の見掛け比抵抗は、地層の比抵抗、層厚、泥水比抵抗、孔径、電極の形状などがすべて反映された値である。特に、泥水比抵抗や孔径の及ぼす影響は大きい。このため、ここでは掘削

孔径が150~240mm使用した泥水の比抵抗が5~30 $\Omega \cdot \text{m}$ である掘削井のみを対象として、検層による見掛け比抵抗値と透水係数および比湧出量 (specific capacity) との関係を求めた (図-2, 3)。

比湧出量は揚水量を井戸の地下水位低下量で除した値であり、単位水位低下量に対する揚水量を示す。ここでは、mあたりの水位低下量に対する毎分の揚水量 ($l/\text{min} \cdot \text{m}$) を示す。

透水係数は12時間の一定量揚水試験により求めた値であり、その解析はヤコブ法による。

図-2において、ショートノーマル (short normal, 電極配置がノーマル配置で、一般的には電極間隔 a は40cm以下をいう。ここでは $a = 24 \text{cm}$) の見掛け比抵抗 ρ_{as} とロングノーマル (long normal, $a = 48 \text{cm}$) の見掛け比抵抗 ρ_{al} と透水係数の関係を示す。

北海道内の調査井³⁾で、前述の泥水濃度 (5~30 $\Omega \cdot \text{m}$)

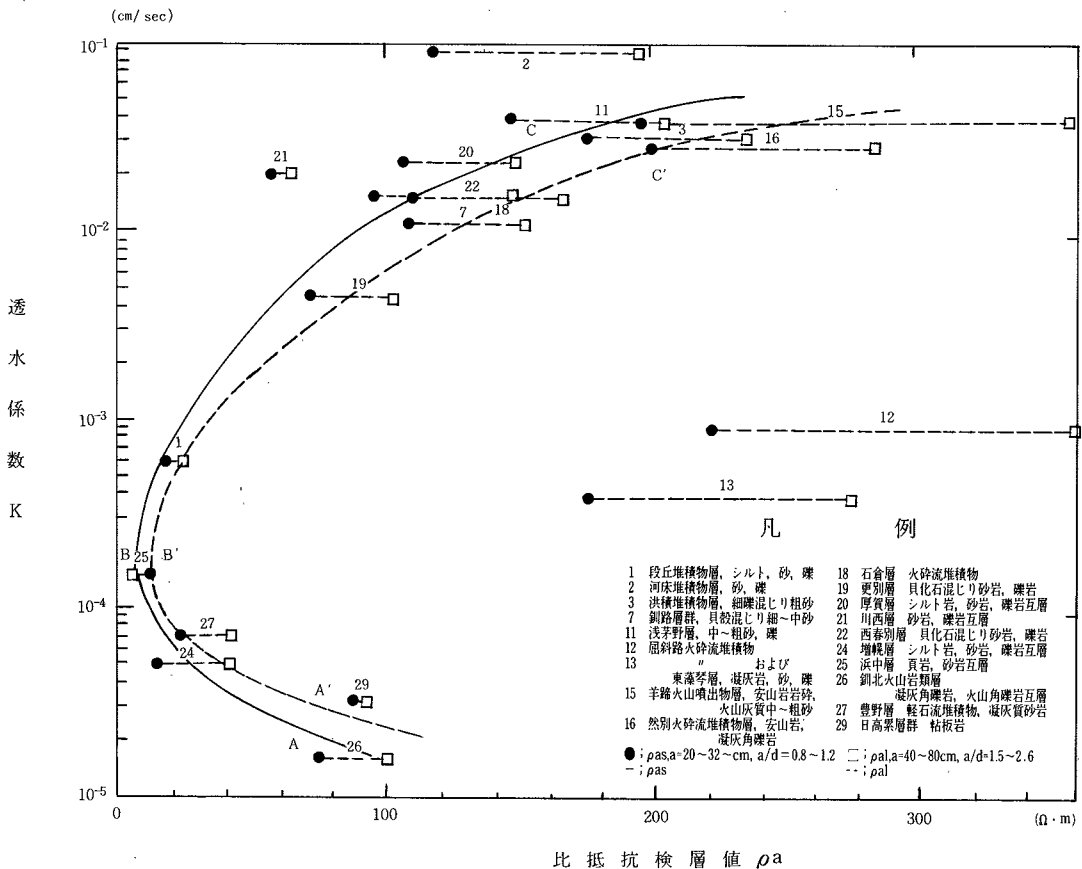


図-2 透水係数と比抵抗検層値

下において検層した見掛け比抵抗 ρa と透水係数 K の関係を、20例について求めたものである。

図に見るように、 K と ρa 及び ρal の関係はともにほぼひとつの曲線にのってくる。これを地質と対比すると、図中の曲線のAからBの区間は新第三紀中新世以前の固結した地層であり、 ρas 、 ρal の増加とともに K は小さくなっている。これらの地層では K は全体的に小さいが、その中においても、 ρas 、 ρal の増加は地層の固結度の増加や割れ目の減少を反映しているものと考えられる。曲線BからCの区間は新第三紀鮮新世から第四紀洪積世の地層であり、大部分が弱固結の地層であるがデータの中では新田 (No.19) のみが自破砕状の熔岩を挟む。これらの地層では、 ρas 、 ρal の増加とともに K は大きくなっている。

北海道内では、良好な帯水層となり得るには鮮新世以後の地層で透水係数 K が $10^{-3} \sim 10^{-2}$ (cm/sec) オーダーで

ある。このことを考慮すると、見掛け比抵抗値 ρa が $50 \sim 300 \Omega \cdot m$ の地層が良好な帯水層といえる。

図の中で、端野 (No.12)、東藻琴 (No.13) のみが全体の傾向とはずれていて、 ρa の値に比較して K が小さい。端野の地質は軽石を含む凝灰岩であり、このような凝灰岩の地層が他の帯水層の岩石に比較して岩質的に高い比抵抗であることによるものと考えられる。

図-3 に比湧出量 SC と見掛け比抵抗検層値 ρa を示すが、 SC と ρas 、 ρal の関係は図-2の透水係数 K と ρa の関係と同様な関係にある。 SC で見ると、帯水層というには $SC \geq 10$ (l/min·m)、良好な帯水層というにはさらに SC が大きい必要がある。このことを考慮すると図-2の場合と同様に、良好な帯水層の見掛け比抵抗 ρa は $50 \sim 300 \Omega \cdot m$ であり、この範囲で ρa が高いほどよい帯水層といえる。

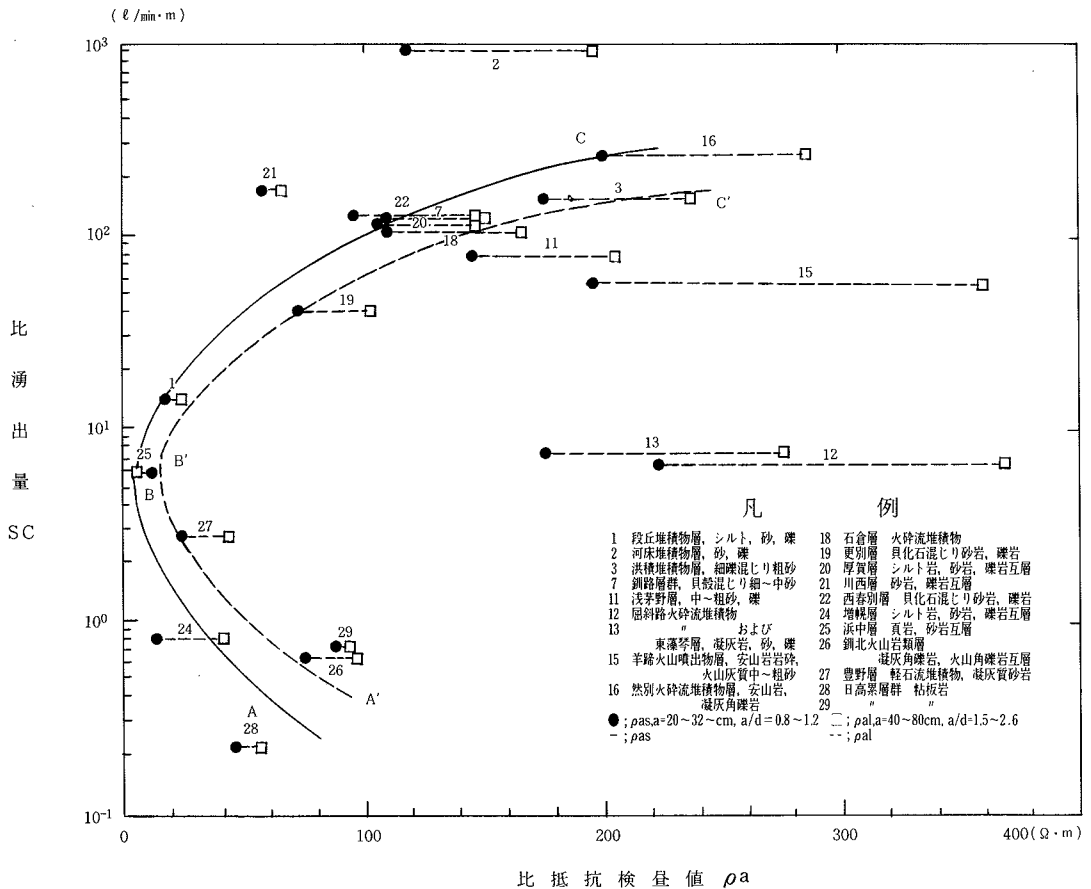


図-3 比湧出量と比抵抗検層値

4. 地層係数と透水係数, 比湧出量

地層の間隙が100%間隙水で飽和されているとすれば, 地層の比抵抗と泥水の比抵抗には次のような関係がある。

$$F = \rho a / \rho m$$

ρa : 泥水侵入帯の地層の見掛け比抵抗

ρm : 泥水の比抵抗

ここで, F は地層に関する定数で地層係数(formation factor)という。

地層係数 F は, 地層の間隙率 ϕ と密接な関係があると いわれ,

$$F = \phi^{-m}$$

m : 固結係数 (cementation factor)

などの式が提案されている。

このようなことから, 油井など地層の間隙率の推定に使用されてきたが, 山口は地層係数が水井戸の帯水層の水理定数の決定にも有用であることを報告するとともに, 地層係数についても詳しく紹介している。さらに, 井戸の調査例から良好な帯水層の地層係数 F は3~6の範囲にあることを報告している。村下(1962)は, 地層係数と透水係数の関係を報告⁴⁾(図-4)し, 山口の結果とよく一致することを示している。

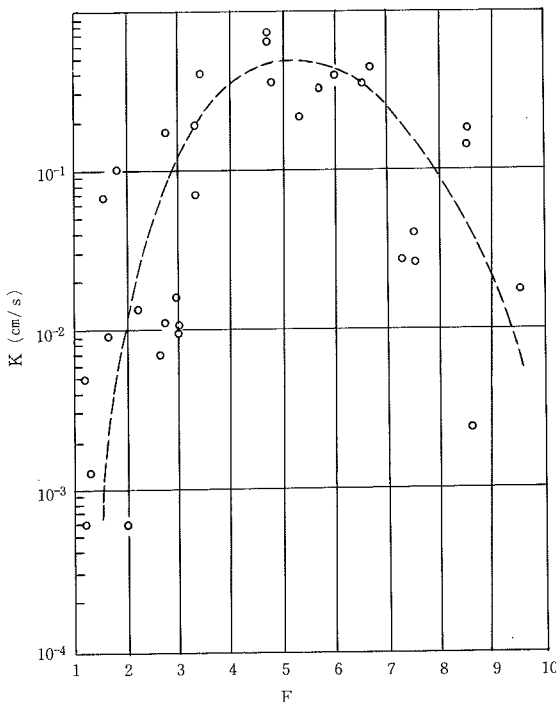


図-4 地層係数 F と透水係数 K との関係

当報告では, 前述の方法で求めた見掛け比抵抗検層値と泥水比抵抗値を Schulumberger W. S. Cにより公刊された偏差曲線により解析し, 地層係数 F を求め, 透水係数 K と, 比湧出量 SC との関係を示す(図-5, 6)。

図-5により K と F の関係を見ると, 前記の図-2, 3で見た K と ρa , SC と ρa のようなひとつの傾向がみられない。全体的には, データは相当バラツキがある。しかし, これを地質と対比してみると, 新第三紀中新世の泥岩, 鮮新世および第四紀洪新世の固結の地層では, 地層係数 F と透水係数 K の間に一定の傾向が認められ(図中の曲線 ABC), F が3~10の範囲で $K \geq 10^{-3}$ であり, 良好な帯水層になっている。村下が示した値(図中の曲線 $A'B'C'$)と多少異なっているが, 類似の傾向がある。 F の値が異なるのは村下の示したデータが未固結の砂, 礫などを対象としたのに対し, ここでは主に弱固結の地層が対象になっているので, 固結による比抵抗の増加が F の増加となって現われるものと考えられる。

一方, 曲線 ABC からはずれるこれら以外のデータ(図中のNo.28, 29, 26, 27, 12, 14, 18, 22)は, 先白亜紀の粘板岩および第三紀の火砕岩であり, 地層本来の比抵抗(真の比抵抗 ρt)が高い。このため, 透水係数に対応する F が前述の地層より大きくでるので曲線 ABC からはずれている。これらの地層を対象とすると, 留意すべき点と考える。

図-6により, 比湧出量 SC と地層係数 F の関係を見ると, 図-5における K と F の関係と同様の関係にある。すなわち, 第三紀鮮新世, 第四紀洪新世の堆積岩で SC が大きく, $F=3 \sim 10$ である(図中の曲線 ABC)のに対し, 先白亜紀の粘板岩や第三紀の火砕岩では SC は小さいが, F は2~20の範囲に及んでいる。

以上のことを考慮することにより, 図-5, 6は地層係数 F から透水係数 k および比湧出量を推定する基礎資料とすることができる。

5. あとがき

地下水は有用にして, 有限な地下資源であり, 北海道においても平野部では過剰揚水が懸念されるほど広範囲に利用されている。しかし, 丘陵地, 山地の地下水の調査がむずかしいこともあり, 近年増加しつつあるが, その資源量に比較して, いまだ, 十分開発されていない。資源の有効利用ということからも, 適切な開発が行わなければならないし, 今後もさらに開発が進められていくと考えられる。

今回, 井戸による地下水開発において, 最も重要な基礎資料のひとつである地層の比抵抗検層値と透水性につ

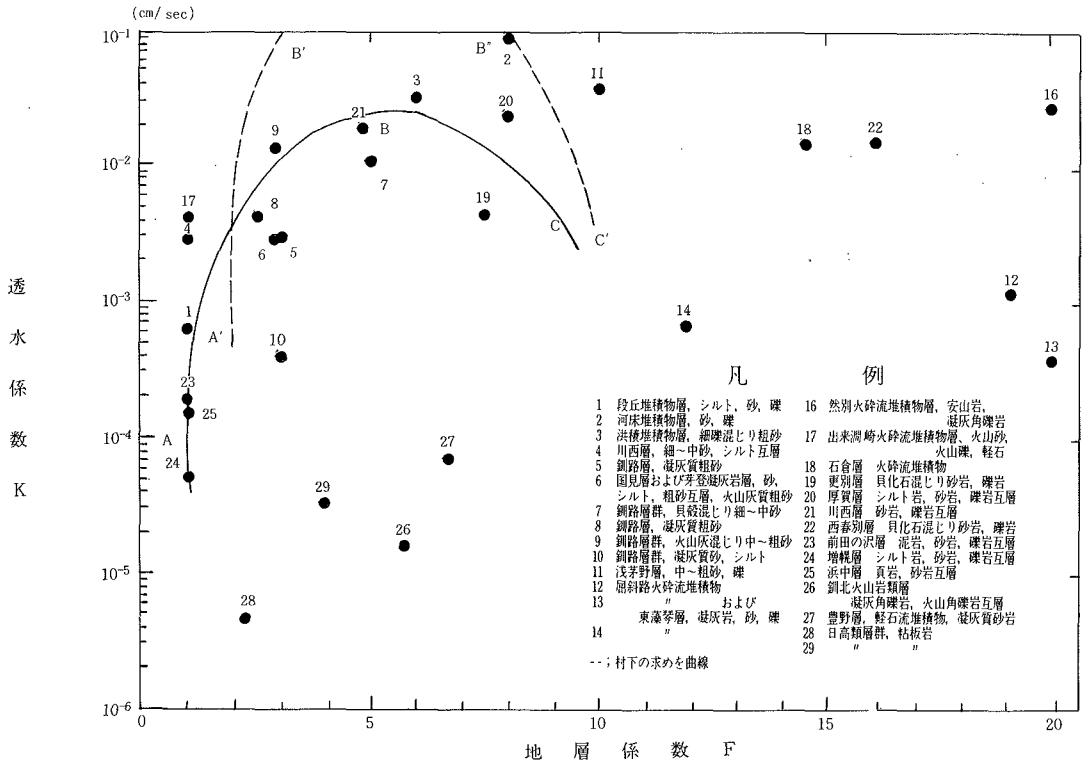


図-5 透水系數と地層係數

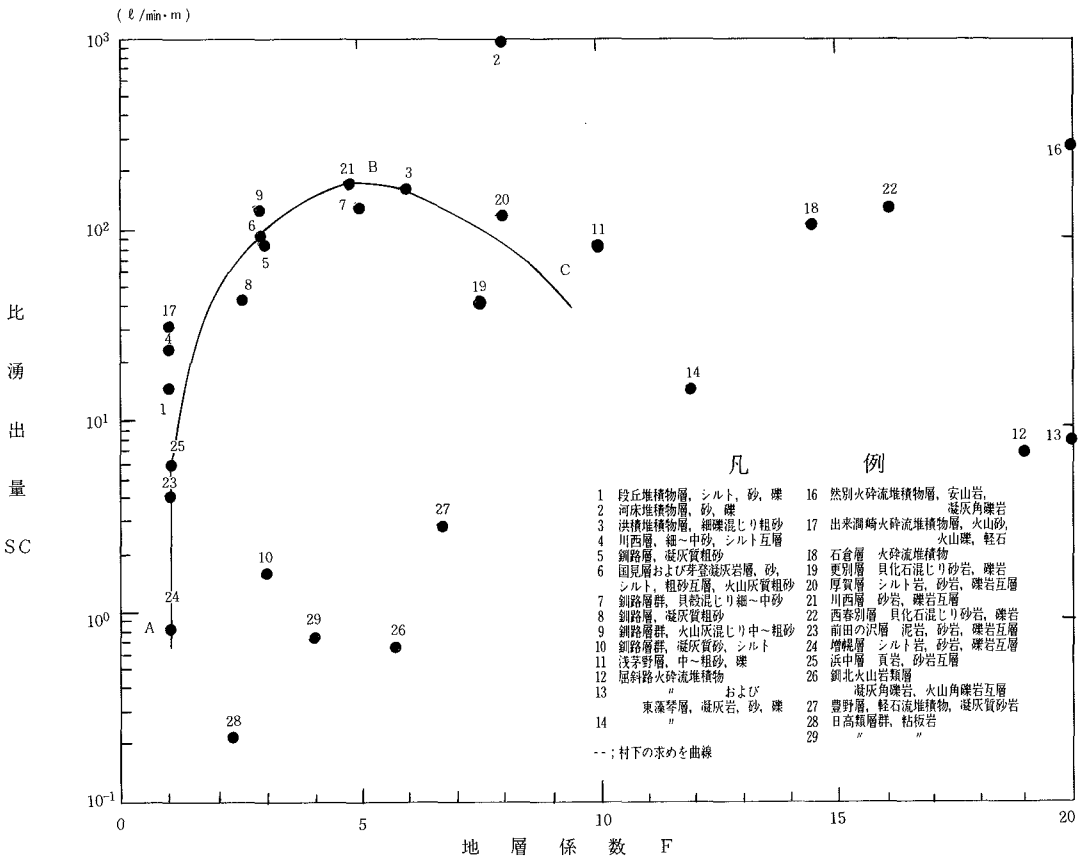


図-6 比湧出量と地層係數

いて報告したが、地下水開発の計画、調査のみならず、ダムサイトや地すべりの地下水の流動性を考える際の参考資料となれば幸である。

参 考 文 献

- 1) 山口久之助 (1962) : さく泉の電気検層法, 昭晃堂, PP 1 ~ 23.
- 2) 山本 莊毅 (1983) : 地下水調査法, 古今書院, PP119~122.
- 3) 北海道開発局農業水産部農業計画課, 開発土木研究所 (1979) : 営農用深層地下水調査報告書 (年度別各地区報告書).
- 4) 村下 敏夫 (1975) : 地下水要論, 昭晃堂, PP139.

*

*

*