

地中熱利用促進協会

地下水はなぜわかりにくいのか

1. 地下水とは
(地下水の種類／地下水と地形・地質／水循環)
2. 地下水と水循環障害
(水循環不良／水循環不全／地下水流動阻害
地下水揚圧力／地盤沈下)

2026年6月10日

芝浦工業大学名誉教授
守田 優

1

東京都土木技術研究所 (1978 – 1987)



観測井戸掘削工事・深さ確認

地象部・地盤沈下研究室に配属(1978-1984)

東京都土木技術研究所地盤沈下研究室での業務

- ①地下水・地盤沈下観測所の定期的な点検
- ②地下水位と地盤沈下の自記記録紙データのチェック
- ③地下水・地盤沈下観測所のボーリング
- ④観測井戸の設計と工事監督
- ⑤揚水試験と水理・土質データの整理
- ⑥地下水流動シミュレーション

東京都土木技術研究所地盤沈下研究室での研究

1970年代、広域地下水流動の解析にコンピュータが導入され、地下水流動シミュレーションの研究が始まっていた。

地下水位と地盤沈下のデータを蓄積していた東京都土木技術研究所では、東京都の地質構造が明らかになったことから、地下水流動シミュレーションの研究を開始する段階にきていた。

→ 地下水流動シミュレーションモデルの構築と計算

2

講演の内容

1. 地下水とは？ （不圧地下水・被圧地下水／地形・地質）
水循環とは？ （地下水と河川の水循環）
2. 地下水と水循環障害 （地下水に関する水循環の問題）
水循環不良／水循環不全／
地下水流動阻害／地下水揚圧力／地盤沈下

3

1. 地下水とは？

地下水の種類（不圧地下水／被圧地下水／裂隙水）
地下水と地形・地質

4

地下水のわかりにくさ

1. 目に見えない、3次元的な流れ
2. 地質・地形によって決まる流れ
3. 不圧地下水／被圧地下水

5

地下水の種類

不圧地下水／被圧地下水／裂隙水

水理学的特性の違い

6

地層水と裂隙水（れっかすい）

地層水

地層の未固結岩の粒子間の空隙を満たす水からなる地下水。

第三紀、第四紀の新しい地層を満たす地下水。

地下水揚水の対象となる地下水である。地盤沈下を生じる地層は、第四紀沖積世（完新統）の粘土・シルト層である。

水循環をになう地下水である。

裂隙水

固結岩の割れ目、節理、断層等の他、（溶岩中に発達するいわゆる風穴のような空洞、石灰岩地域の鍾乳洞等）に賦存する地下水。

岩盤地帯のトンネル工事などで大量の地下水が湧水して難工事になる場合が多いが、これは裂隙水の場合が多い。

（『地下水学用語辞典』（古今書院）に加筆）

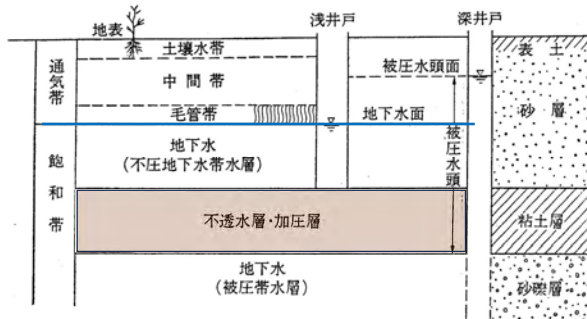
7

地下水とは？

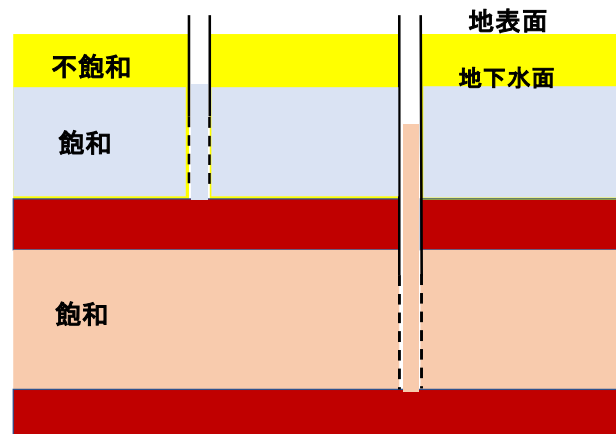
地下水は、地層の空隙や岩石の割れ目に存在し、重力の作用によって移動する水である。 **地層水／裂隙水**

地層水

井戸をつくるため地面を掘っていくと、やがて水面が現れる。この水面を地下水面といい、この面より下にあり、地層間隙中に飽和状態で存在している水を地下水という。



不圧地下水と被圧地下水

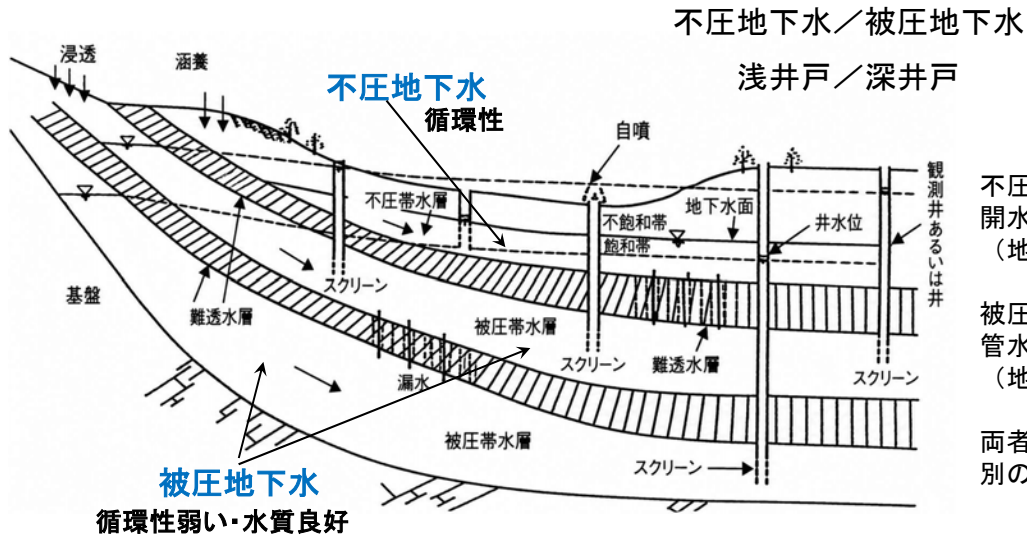


『地下水資源学』（共立出版）より

* 裂隙水については扱わない。地層水のみを対象とする。

8

地下水帯水層の構造



不圧地下水／被圧地下水

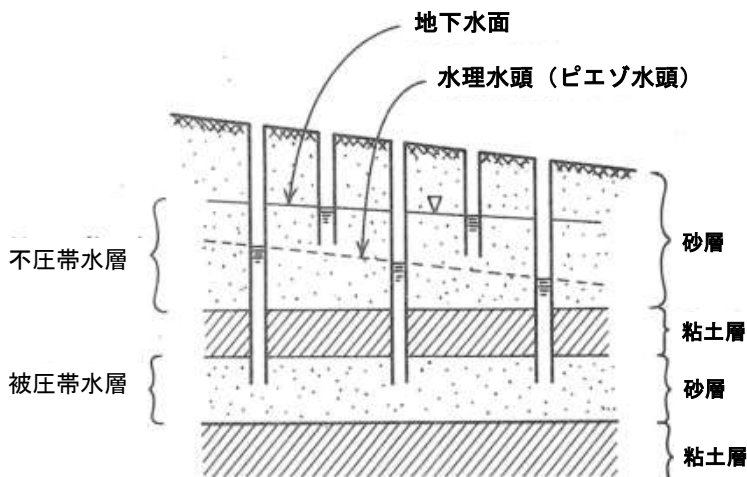
浅井戸／深井戸

不圧地下水は
開水路の水理
(地下の川)

被圧地下水は
管水路の水理
(地下のパイプ)

両者は水理学的に
別の原理に従う

不圧地下水と被圧地下水の水理



自噴井戸 (被圧地下水の一形態)



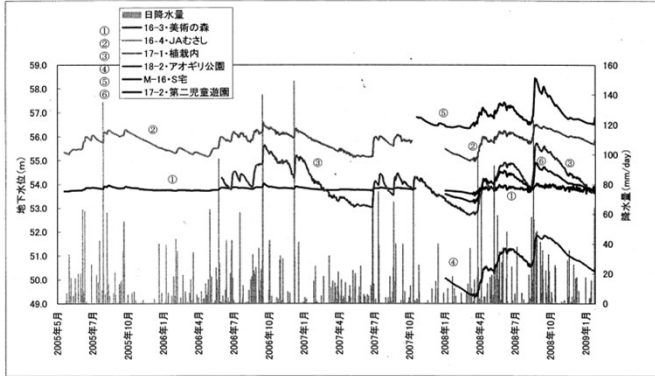
* 村下敏夫：「水井戸の話」
(ラテイス) 1966年より

“Groundwater” (Cherry & Freeze, 1979)をもとに作成

不圧地下水は水面勾配で流れる／被圧地下水は動水勾配で流れる。

地下水位の変動

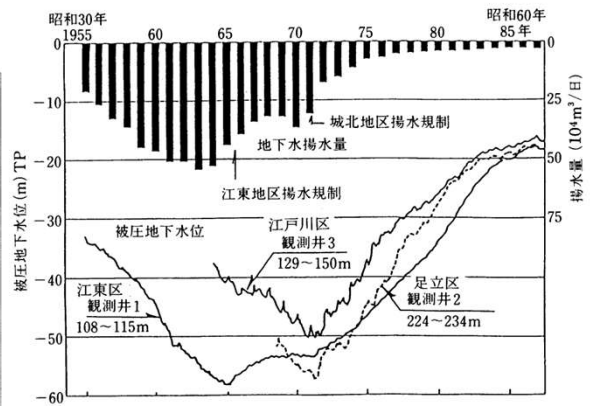
不圧地下水位の変動(小金井市武蔵野段丘)



東京都土木技術支援・人材育成センター年報(2009)より

不圧地下水位の変動は降雨によって支配される。
河川や湧水への湧出(と漏水)によって低減する。

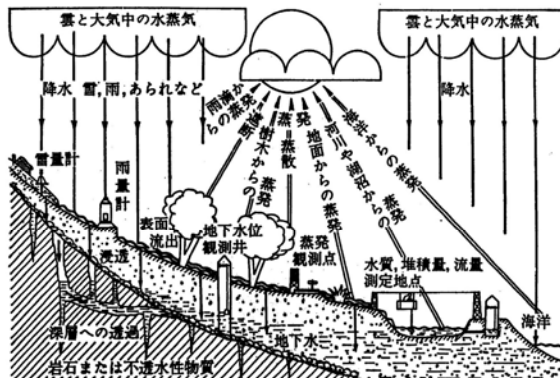
地下水揚水と被圧地下水位の変化



被圧地下水位は 潮汐や気圧などの自然要因によっても変動する。

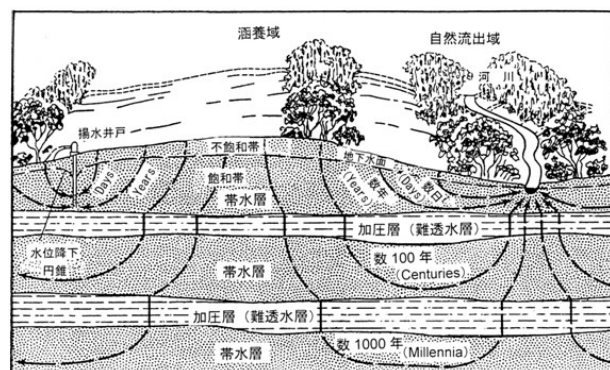
水循環における河川技術者と地下水技術者の見方の違い

河川工学から見た水循環



水循環の概念図
(アメリカ土木学会, 1949)

地下水学から見た水循環

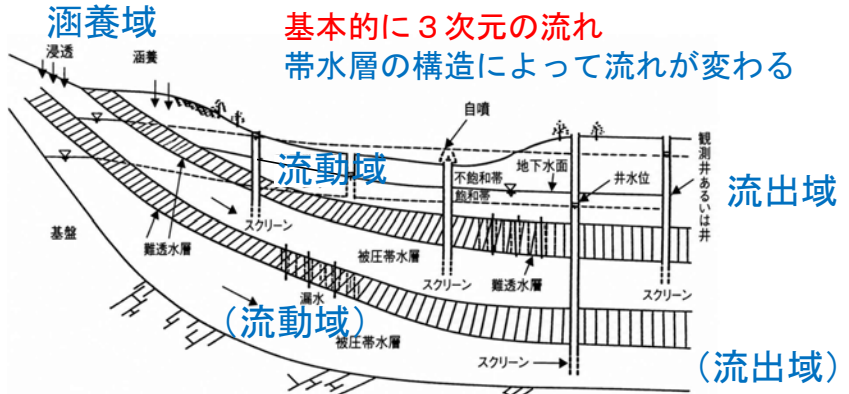
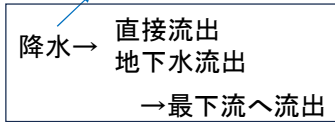


Tóth(1995)に加筆修正

河川流域と地下水域の違い



基本的に
蒸発散 2次元の流れ



不圧地下水：涵養→流動→流出（河川・湧水）
 被圧地下水：涵養→（流動）→（流出）
 * 揚水によって新たな流動が誘発される

地下水と地形・地質

地形区分の重要性

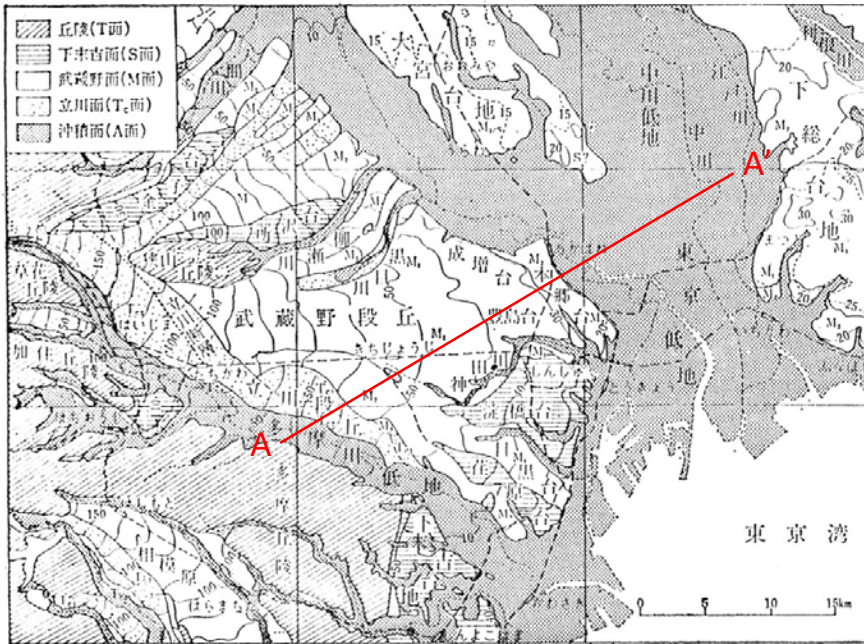
山地—丘陵—扇状地—台地—低地

東京の地形

東京は、地形の博物館であり、海から山へ、

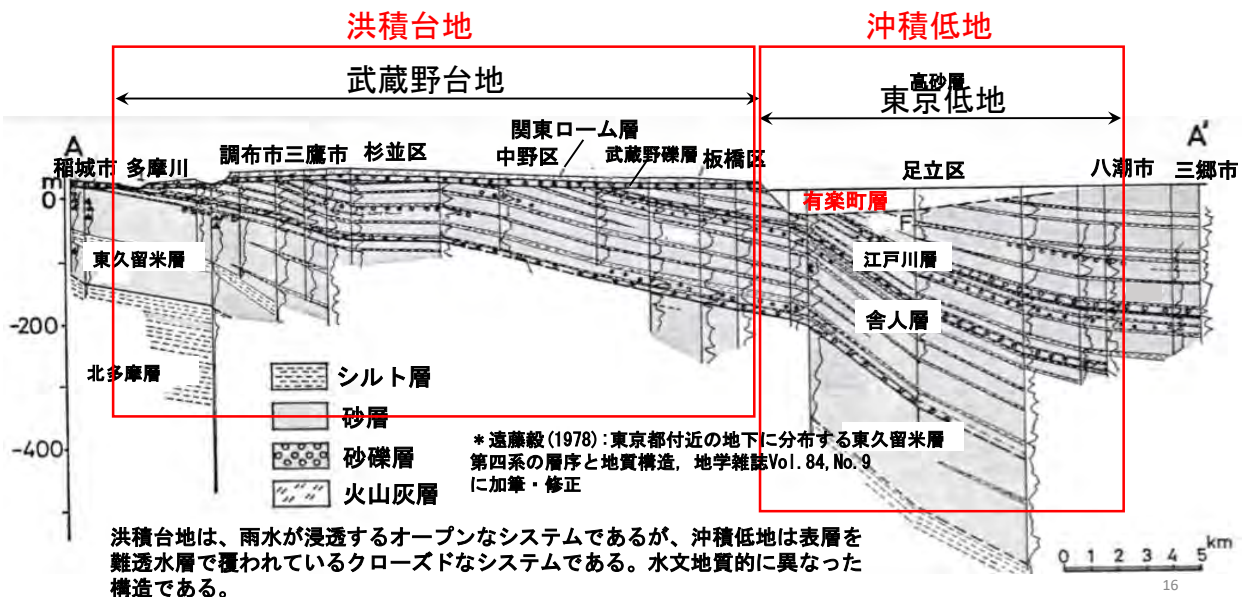
沖積低地（東京低地）
 洪積台地（武蔵野段丘）
 丘陵地（多摩丘陵）
 山地
 と連なっている。

扇状地は、古多摩川の扇状地として、青梅を扇頂とする古い扇状地が形成された。

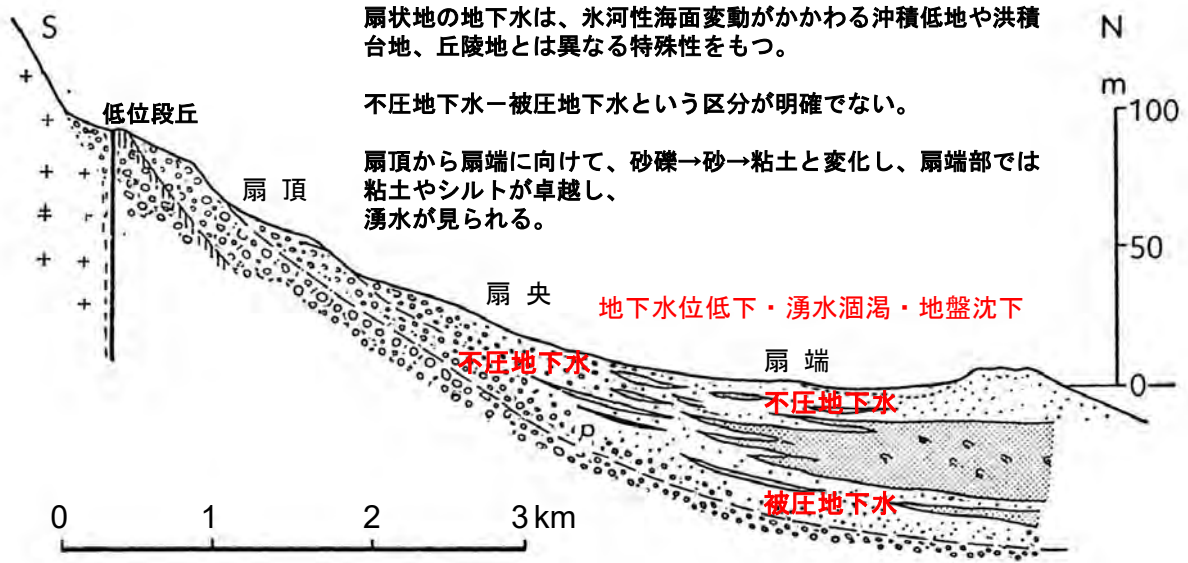


『東京の自然史（増補第二版）』（貝塚爽平・1979）に加筆

洪積台地と沖積低地の地下水帯水層



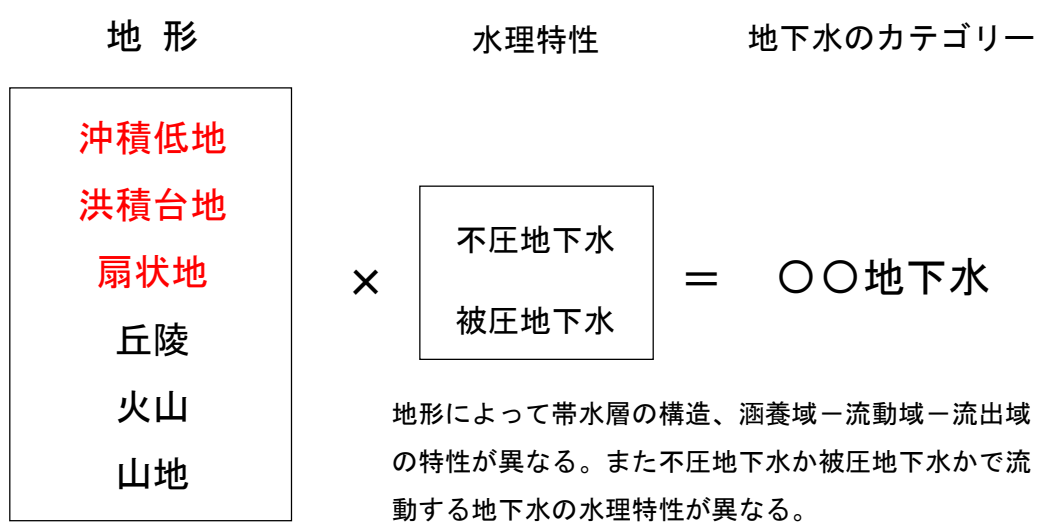
扇状地の地下水帯水層



扇状地の地下水は、氷河性海面変動がかかわる沖積低地や洪積台地、丘陵地とは異なる特殊性をもつ。
 不圧地下水－被圧地下水という区分が明確でない。
 扇頂から扇端に向けて、砂礫→砂→粘土と変化し、扇端部では粘土やシルトが卓越し、湧水が見られる。

* 笹嶋貞雄 他 (1959) : 敦賀平野とその地下水について, 福井大学学芸部紀要 をもとに作成 17

地下水の流動特性



地下水と水循環

地形区分の重要性

山地－丘陵－扇状地－台地－低地

19

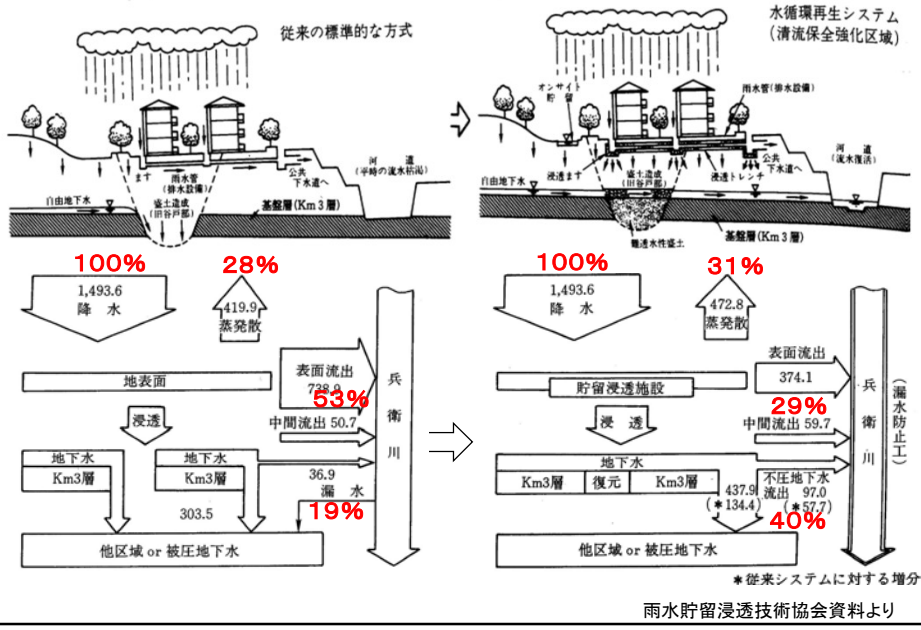
2. 地下水と水循環障害

1. 水循環不良
2. 水循環不全
3. 地下水流動障害
4. 地下水揚圧力
5. 地盤沈下
(地下水汚染)

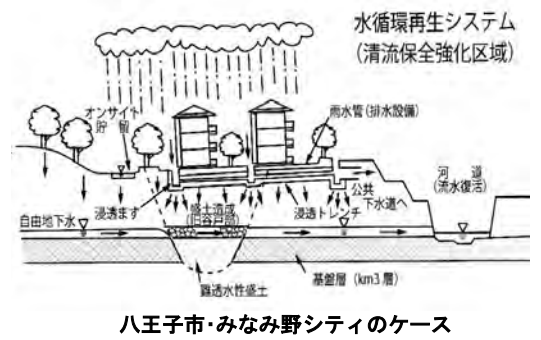
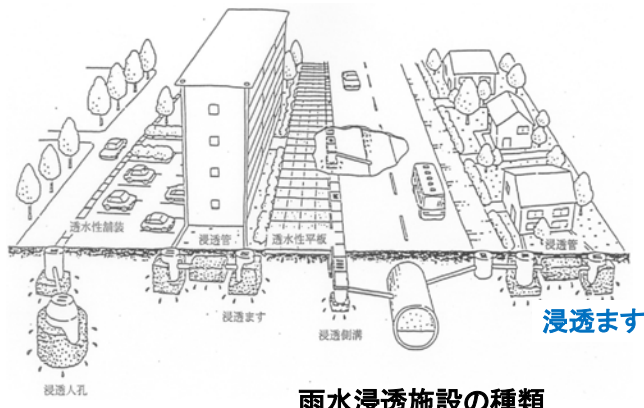
20

(1) 水循環不良

八王子ニュータウンの事例



水循環不良の改善～水循環の再生へ



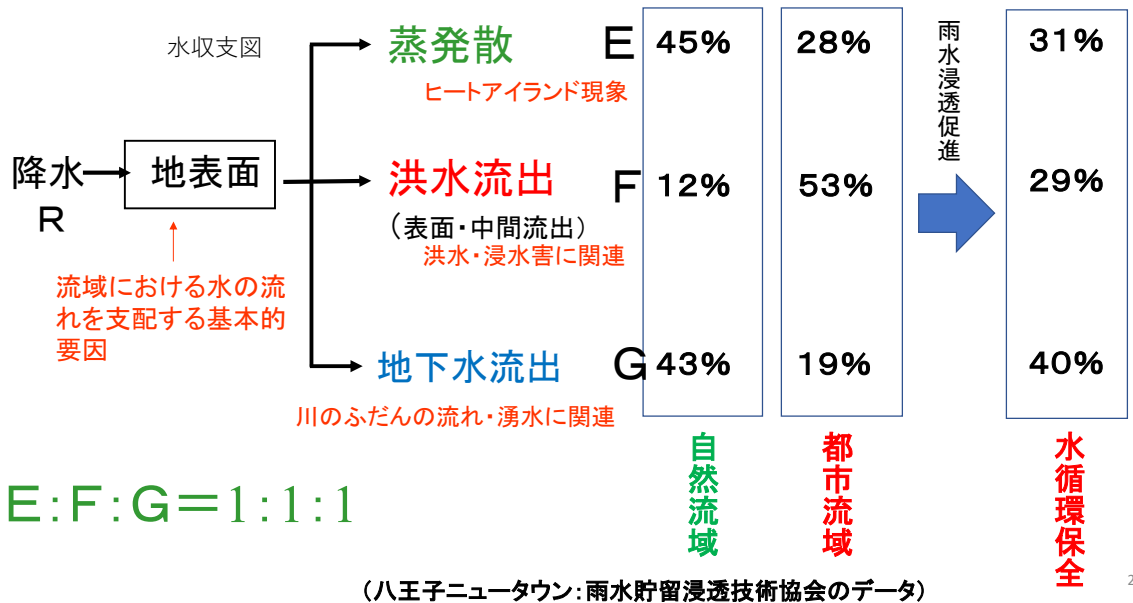
* 下水道普及の重要性

道路	屋根	浸透域
----	----	-----

実質浸透域

水循環不良の原因としての不浸透域の拡大であるが、雨水浸透施設を設置することで、不浸透域を**実質浸透域**に変えることができる。

河川流域における水循環の改善



23

(2) 水循環不全

井の頭池は昭和30年代に湧水量が減少を始め、昭和38年(1963年)に湧水がついに完全に涸渇した。(NHK「都市と水路」)



- ①55m井戸 昭和33年掘削
- ②111m井戸 昭和38年掘削
- ③120m井戸 昭和44年掘削
- ④120m井戸 昭和44年掘削

現在も掘削した深井戸10本によって池の水を補給している。

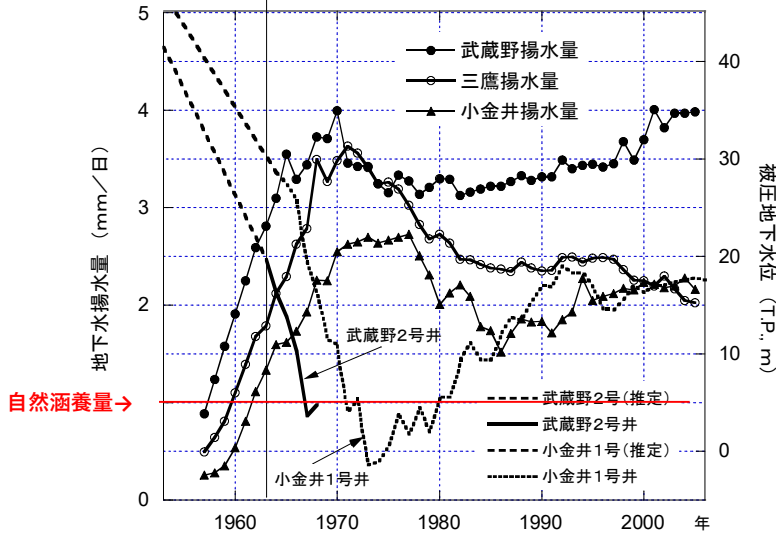
都市化がまだ進んでいない1963年に、何故、井の頭池は涸渇したか？

リードタイム、1950年代に何があったか？

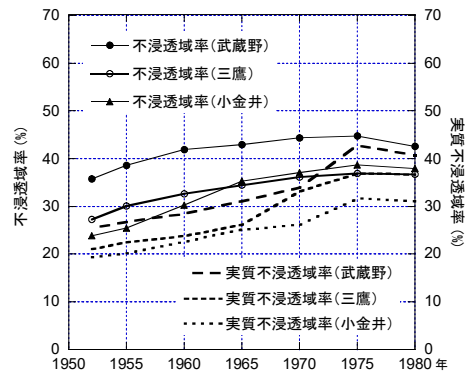
24

武蔵野地区の地下水開発と地下水位

井の頭池涸渇 (1963年)



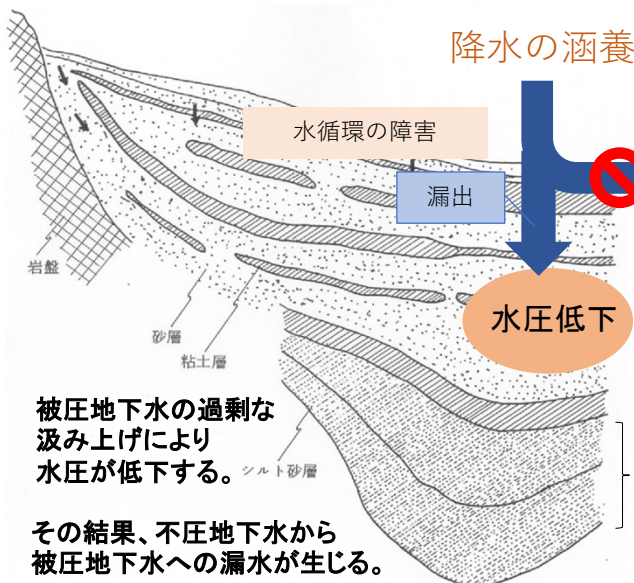
武蔵野地区3市の不浸透域率と実質不浸透域率



都市化による不浸透域率の増大が地下水補給量の減少をもたらしたといわれる。しかし、1960年代、実質不浸透域率(下水道が普及していない状態)は30%を下回っている。

25

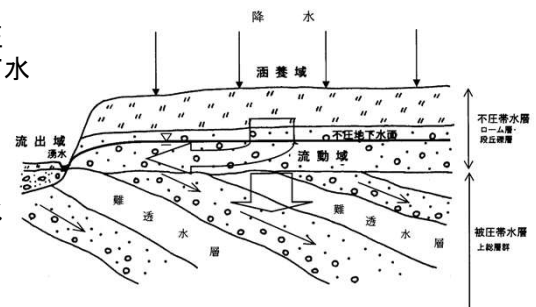
水循環不全のメカニズム



高度経済成長期に、多摩地区で、生活用水需要が増大

河川水は水利権がないので、上水道用の地下水開発

不圧地下水(井の頭池)湧水

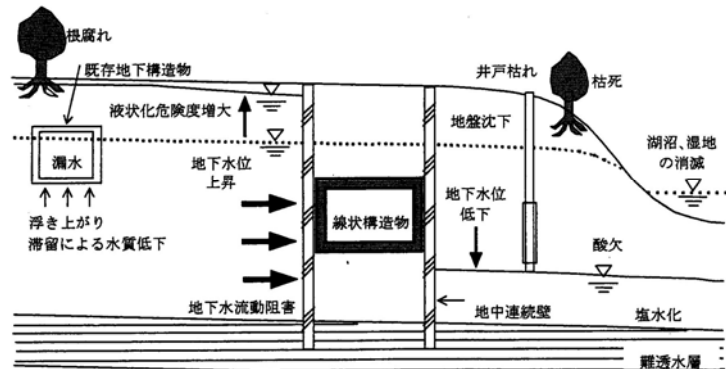


26

(3) 地下水流動阻害

不圧地下水の流れを**垂直**に建設される**線状**地下構造物により**不圧地下水**の流れが堰き止められ、上流で水位上昇、下流で水位低下が生じる。

不圧地下水の流れを堰き止める線状構造物により、漏水／井戸枯れ／植物枯死／根腐れ／湧水枯渇などが生じる



27



京都市の地下水流動阻害

地下鉄東西線の工事が 1990年に始まる。

1993年に入ると、二条駅－鴨川横断工区間の東西2.6km、南北約800mの範囲で流動阻害による被害が顕著になった。

上流側で、建物地下の浸水被害
下流側で、水位低下による井戸涸れの被害

不圧地下水の流れと直交する地下鉄建設による流動阻害。数年すると、地下水位も回復する。しかし、水脈そのものが分断されるため、豪雨時など異常な水位上昇などが起きる危険性がある。

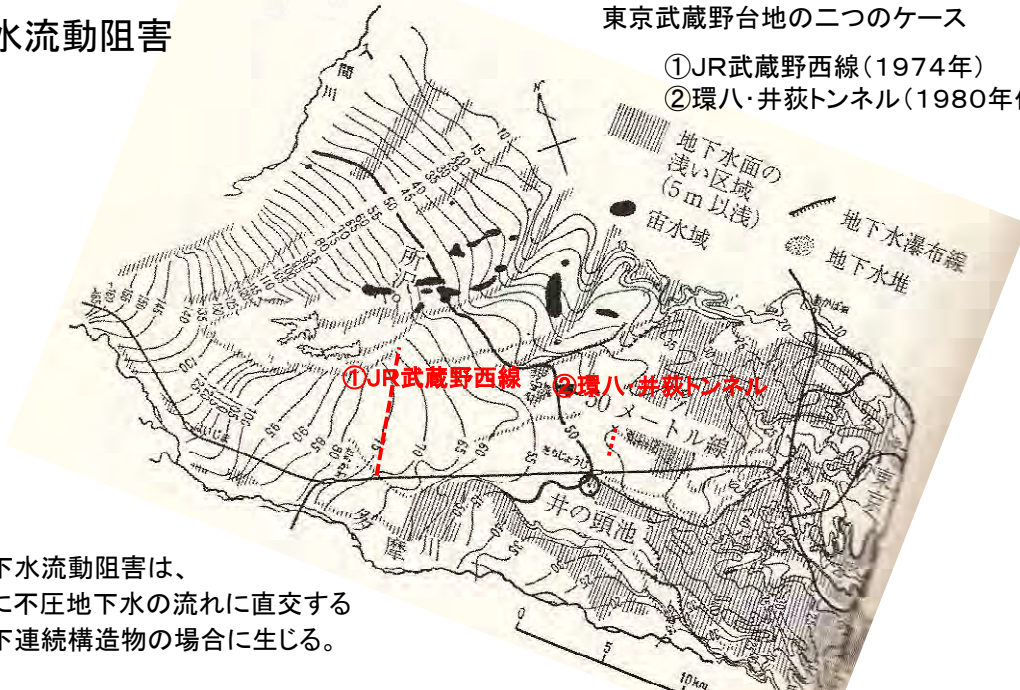
*) 東京では、武蔵野西線による1979年の流動阻害の事例がある。

28

地下水流動阻害

東京武蔵野台地の二つのケース

- ①JR武蔵野西線(1974年)
- ②環八・井荻トンネル(1980年代)



地下水流動阻害は、特に不圧地下水の流れに直交する地下連続構造物の場合に生じる。

29

(4) 地下水揚圧力

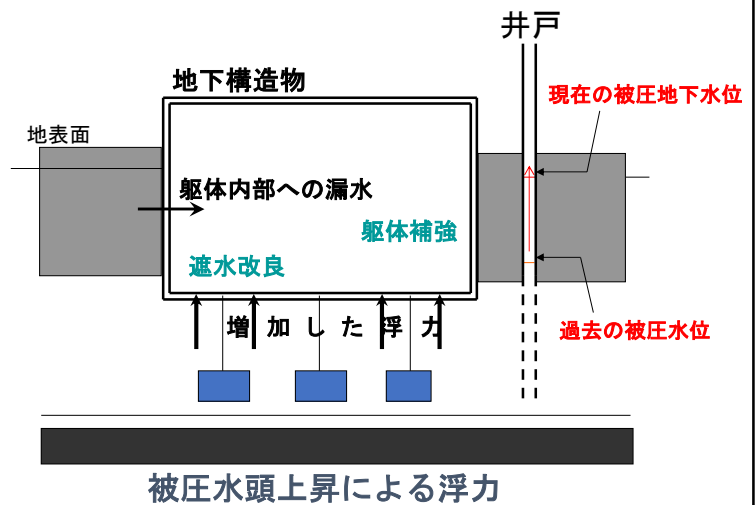
被圧地下水

地下水の揚圧力（対策）

東京駅・上野駅の事例

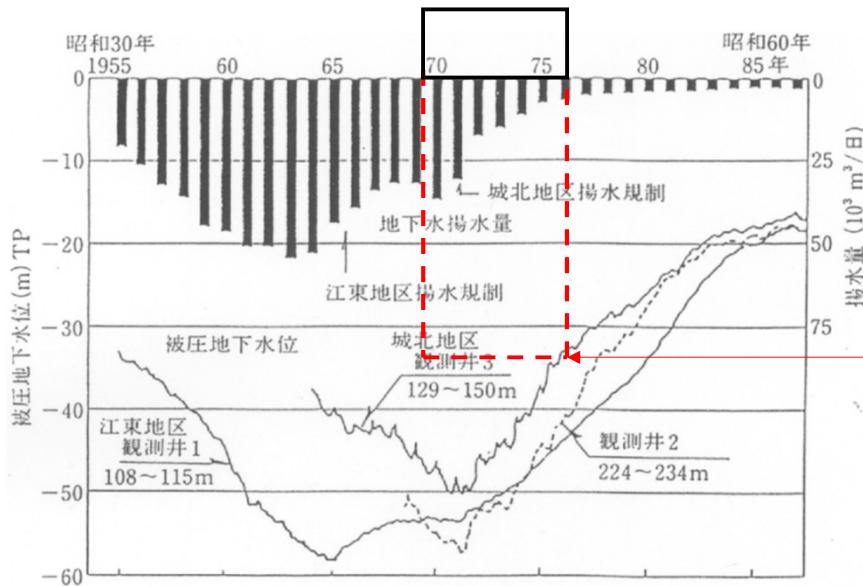
高度成長期、地下水の過剰なみ上げで水位が低下した。しかし、その後、揚水規制が進み、地下水位は上昇に転じた。

地下水位が低下した時期に設計・施工された地下構造物（東京駅地下／上野駅地下）では上昇した地下水の浮力で構造物破壊の危険性が生じた。



30

揚水規制による地下水位上昇が新たな問題を



設計時の地下水位は揚水規制によって低下した水位だった。

その地下水位を**自然の**地下水位と判断してしまった。

その結果、高いコストを負担することになった。

31

(5) 地盤沈下

沖積低地の地盤沈下の仕組み

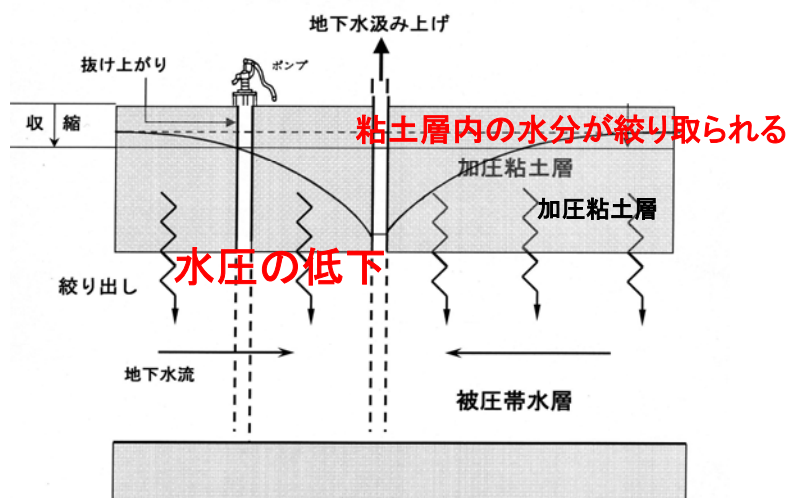
自然状態では、被圧帯水層の水の圧力と加圧粘土層内の水の圧力は釣り合っている。

地下水くみ上げにより、被圧帯水層の圧力が低下すると、上部の加圧粘土層内の水が帯水層の方へ絞り出される。

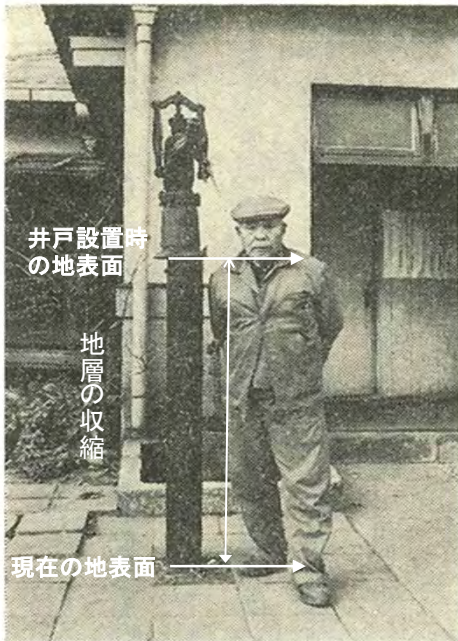
粘土層は、水が絞り出された分だけ縮む=収縮する（砂や砂礫からなる帯水層はほとんど収縮しない）。

この表層粘土層の縮んだ分だけ、地表面が沈下する。

（これは非可逆的であり、地下水位が回復しても収縮は戻らない）。

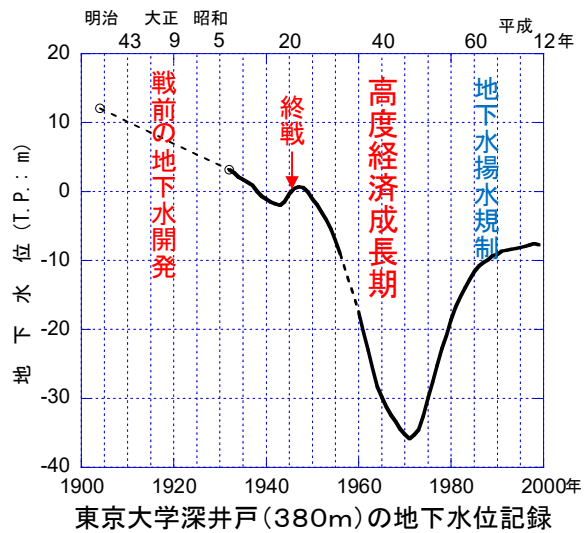


32



抜け上がった井戸

手押しポンプが地盤沈下のために抜け上がった。



4. 水循環健全化へ向けて

健全な水循環とは？

水循環再生システム

文化としての水循環保全

健全な水循環へ

STEP1. 地下水障害の防止と正常化

地盤沈下・地下水塩水化・**水循環不全**・**地下水流動阻害**

STEP2. 都市化によって悪化した水循環の改善

雨水浸透の普及による地下浸透の増加

STEP3. 文化としての水循環の保全

湧水保全の主体的な運動と地下水の持続可能性

行政と住民の協働としての地下水マネジメント

35

これからの地下水利用のあり方

水資源としての地下水

環境としての地下水

水循環における地下水

持続可能な地下水管理

地下水保全水位の設置と管理揚水

36

ご清聴ありがとうございます