

所 長 鳥

地下水人工涵養技術シリーズ（その1）

土研資料 第1497号

土 木 研 究 所 資 料

地 下 水 人 工 涵 養 の 概 説

昭和54年 2 月

建設省土木研究所
河川部水文研究室

目 次

は じ め に	1
1. 人工涵養の歴史	2
1.1 外 国	2
1.2 日 本	3
2. 人工涵養の目的	6
2.1 地下貯留	6
2.2 地下水の塩水化防止	7
2.3 地盤沈下の防止	8
2.4 蓄熱の利用	9
2.5 地層での浄化	10
2.6 そ の 他	11
3. 地下水涵養の方法	12
3.1 注 入 法	13
1) 井 戸 法	13
2) 結 合 法	13
3.2 浸 透 法	13
1) 洪水法	13
2) 浸透池法	14
3) 水 田 法	14
4) 溝 渠 法	15
5) 抗 井 法	15
6) 河 床 法	15
7) 地下トレンチ浸透法	16
3.3 誘 発 法	16
4. 人工涵養に用いられる水源と水質	17
4.1 河 川 水	17
4.2 水 道 水	22
4.3 処 理 水	22
4.4 雨 水	25
4.5 地 下 水	26

はじめに

水資源の逼迫，さらには地下水過剰揚水による地盤沈下等の地下水障害の発生によって，一段と水資源開発が急務とされてきている。水資源確保は従来行なわれて来たダム建設による流況の安定化によるもの，また，海水の淡小化ないし，下水の三次処理によって新たに使用可能な水質を有する水を生み出すものが考えられるが，最近注目を浴びているのが地下貯水池構想である。

地下貯水池には二つのタイプが考えられている。海岸近くで地下水が無効に海域へ流出していたものを止水壁で止水し，海水の浸入を防ぎつつ，有効に利用する方法と平地（扇状地等）の膜大な貯水容量を持つ滞水層を考え，河川水の地下水への人工涵養を図り，ダムによる水資源開発と同様に河川の流況を安定化する水資源開発方法がある。しかし，この地下貯水池建設にはまだまだ解決されなければならない問題が山積されている。地下貯水池としての地下水流動系の水理，水文的調査方式の確立，滞水層を平面的に有効に利用するための取水技術の確立，地下水涵養技術の評価と適用範囲の明確化，周辺環境に与える社会，自然的影響の評価，総合運用管理システムの確立等である。これらの課題に対して鋭意検討を加えて，最終的に集大成されねばならない。

ここではこの集大成の一環として，地下水人工涵養の一般論について述べる。さらに続編として，注入井の涵養技術，拡水池の涵養技術，地下トレンチによる涵養技術についてそれぞれとりまとめる予定である。まず，地下水涵養の歴史を日本，外国について調べ，地下水人工涵養がいかなる目的で，いかなる方法で行なわれたかを知る。次に地下水人工涵養の目的について，多くの例を挙げ，具体的に述べる。さらに，地下水人工涵養の種々の方法と，涵養水源とその水質について説明する。

1. 人工涵養の歴史

人工涵養の歴史をみると19世紀初頭にスコットランドで行われたのを最初として、以後現在までかなり行われている。これらの実施された例を調べると人工涵養の目的と方法は時代背景、地域特性、によりかなり異なっているので、いかなる変遷をたどったかを外国・日本に分けて考えてみるものとする。

1.1 外国^{1), 2), 3)}

人工涵養の始めは地層を通すことにより、安定した清澄水を得ることに主眼がおかれたが、次第に地下水補給のための涵養も行われるようになりその目的は多様化して来た。その例を年代的に示すと以下のようである。

1810年、スコットランドのクフスコアの都市用水を、クライド川の島に埋設した集水埋渠で得た。

1820年代の初め、フランス南西部のノールーズでガロンヌ川のそばに浸透池を造り、川水の浸透水を都市用水とした。

1871年、アメリカ・アイオワ州デモインの水道会社がラクーン川の川べりに集水埋渠を造り、1908年にその上に浸透池を設けた。

1890年、アメリカ・コロラド州デンバーの水道会社がサウス・プラッテ川の扇状地に20エーカーの浸透池を造り、集水埋渠によってその浸透水を取水した。

1890年、ロンドンの都市用水を安定した確保するために、リー川の冬の余剰水を井戸を通してチョーク層に貯蔵した。

1897年、スエーデンのゲーテボルグ市の都市水道のために、ゴタ・エルフ川から650フィート離れた2つの浸透池に川水を送って地下水とし、これを井戸で汲み上げた。

1899年、フランス北東部のナンシーで、モーゼル川沿いの沖積層に深さ6.6フィートの砂を埋めた溝を造り、河川水を引入れて集水埋渠で取水して都市用水とした。

1906年、アービランシガカルフォルニアのサンチャゴ・クリークで、サンタ・アナ河の浸透計画を行なった。

1908年、ドイツのフランクフルトでは揚水によって減少した地下水を補うために汚れた河川水を浸透させ、浄化機能も利用した。

1915年、ポムマ谷保護協会がサンチャゴ河から水をひいて、1.48km²に分散浸透を行なった。

1921年、カルフォルニア州サンベルナルディオ市では沖積扇状地を用いて浸透を行なった。

1933年、ニューヨークでは西ロングアイランドにおける地下水位の低下が著しく、塩水化が生じたので、使用した水を地下還元するために法律が制定された。

1935年、サンタクララ谷地下水保全区では五つのダムを築造し、分散浸透を行なった。

1940年、オランダのハーグ近くのライデンでライン川の水質が良い時に取水し、砂丘地に浸透、貯蔵しておいて水需要の最盛期に揚水している。

1957年以降、イスラエルでは砂漠開発によって農業生産を高めているが、ヨルダン川の上流に当るチベリヤス湖の水と雨期の流水を、浸透池や井戸によって地下に貯蔵して夏期に利用している。

以上の人工涵養の目的をまとめると、1800年代は、河川の伏流水が、常に清澄であることに着目し、地層での浄化を目的としていたが、1900年代になって1800年代の目的に加えて水の需要量が季節により異なるため地下に貯留して、水需要の変動を調整する目的の地下貯水、地下水位の低下のための補給が行なわれるようになった。涵養は海岸近くでは塩水化（塩水の内陸への浸入）防止、内陸では地盤沈下防止としての効果を有する。地層での浄化の目的も引き続き積極的に汚濁河川水を用いて涵養が行なわれた。

人工涵養の方法の変化をみると、1800年代は図-1.に示すような河川、浸透池・集水埋渠との結合によりほとんどの人工涵養が行われている。

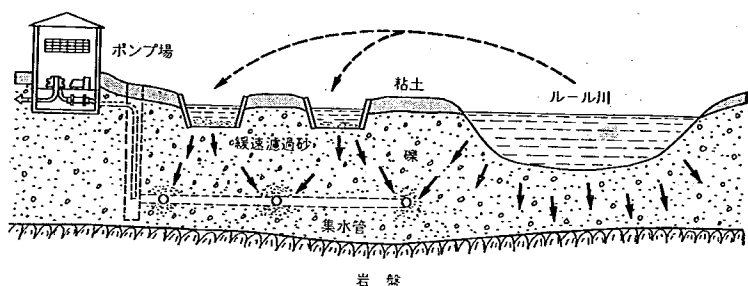


図-1. 地下水人工涵養の例

これは現在の上水道の緩速砂ろ過の施設化されないものと同じである。

1800年末に井戸注入や砂溝での注入も行われるようになった。また1900年代になってから、分散浸透も行われるようになった。

これらの方法による人工涵養は河川の近く、砂丘、砂漠を利用したものが多く、塩水化防止のように海岸近くのものもある。

Tison が1973年に世界各国の地下水人工涵養の実施国と方法をまとめて表-1.のように示している。

表-1. 世界における人工涵養実施例(IAHS, 2) 1973)

国名	実施例	注入井によるもの	溜池・導水路などによるもの	複合タイプ	その他
U・S・A	34	20	7	6	1
イギリス	30	28	2	-	-
ドイツ	16	-	13	3	-
スイス	8	1	7	-	-
オランダ	6	-	6	-	-
イスラエル	6	6	-	-	-
フランス	5	1	3	1	-
日本	4	4	-	-	-
ハンガリー	3	-	-	2	1
オーストラリア	2	-	2	-	-
南ア連邦	2	1	1	-	-
チニコ	1	-	1	-	-
イラン	1	1	-	-	-
メキシコ	1	1	-	-	-
ジャマイカ	1	1	-	-	-
モロッコ	1	-	-	-	1
総数(割合)	121	64 (52.8%)	42 (34.7%)	12 (10%)	3 (2%)

これをみると日本が4となっているが、かなり少なく絶対数には疑問は残るが、実施例の多いのはUSA・イギリスであり、ついでドイツである。方法は井戸によるものが多く、ついで浸透池法である。しかしドイツをみると井戸はまったくやらず、ほとんど浸透法であり、国により方法が異なる。日本で実施するには地形と目的にあった方法を採用する必要があるだろう。

1.2 日本

我国では水田が発達し、かんがい期にはこれによる涵養量は相当のものである。しかし、水田による涵養は結果としてあらわれることであり、涵養を主体としているものは19世紀半より行われた井戸によるものがすべてである。

意識的に人工涵養を行なった最初の例としては、記録には残っていないが1939年（昭和14年）頃、愛媛県宇和島市にある近江帆布（株）宇和島工場において、揚水干渉対策として行なわれたものであろうと言われている⁴⁾。

記録が残っている例としては、戦後の1951年頃に尼ヶ崎市の武庫川河床で行なわれているものが最も古い。この実験は地盤沈下対策の一環として、米国の M. Brashers 氏のすすめで井戸を掘り、表流水を注入したものである⁴⁾。

その後、人工涵養は民間会社が小規模に実施したり、役所でも基礎研究や実用を兼ねて行われており、それらの例は表-2に示すようなものである。

これらをみると1960年代までは地下水温が年間15度前後であることを利用して空調水を確保するために、空調排水を注入し、揚水している。この規模は小さいものである。1970年代にいつてからは地下貯留や地盤沈下防止を目的として、公共機関が中心となって積極的に行なう実験が目立つようになった。

注入の地層は砂礫まじりの沖積層の帯水層で、透水係数が 10^{-2} のオーダーであり、注入量は井戸当り $0.1 \sim 2.1 \text{ m}^3/\text{min}$ の範囲で行われている。

表-2 国内における人工涵養の歴史

年	場 所	注入井深度 (m)	注入井口径 (mm)	注入井 静水位 (-m)	帯水層	透水係数 (cm/sec)	注入水量 (m ³ /min)	注入水源
1951	兵庫県尼崎	71	500	—	砂・礫	3.0×10^{-3}	0.37	表流水
1956	大阪・ 製薬工場	150	150	—			1.9	空調水
1957	滋賀・ 繊維工場	180	300	自噴	砂・礫		1.6	空調水
1958	東京・ 放送局	90	300	43	砂・礫		0.7	空調水
1960~69	新潟・ガス田	150 1,040	200	20~40	砂・礫	$1.4 \sim 5.7 \times 10^{-2}$	1	表流水
1960~65	東京・ 化学工場	100 220	250	47	砂・礫	6.5×10^{-2}	0.5~0.8	空調水
1960	東京・品川	60	300	14	砂		0.01	空調水
1960~61	徳島・ 繊維工場	46	350	2.5	砂・礫		0.4~1.0	表流水
1962~69	直江津・ 鉄鋼工場	132	250	17	砂・礫	3.1×10^{-2}	0.3	空調水
1962~63	佐賀白石	165 70	150~100	3~5	シルト・砂・礫	$1.5 \sim 2.5 \times 10^{-3}$	0.5~0.2	表流水
1963~64	山形市 馬見崎	60	200	2~3	扇状地堆積物	4×10^{-1}	0.02	農業用水
1965~68	千葉市・ ガス田	1,410	127	55	細・中粒砂岩	1.8×10^{-2}	1.5	地下水
1966	京都府神足	88	200	4	砂・礫	2×10^{-3} $\sim 5 \times 10^{-2}$	0.38	
1967	福井県三国	42 65	200	20	砂・礫	1×10^{-3}	0.16	地下水
1967~71	埼玉県・ 妻沼研究地	200	300~400	7	砂・礫	8.8×10^{-2}	1.4	地下水
1970	敦賀市・ 紡績工場	90	300	5	扇状地堆積物		2.1	空調水
1970	東京武蔵野 団地	7~10	600~800	7~10	礫		0.1	上水
1970	静岡県三保	45	200	5	砂・礫	2.5×10^{-1}	0.1	
1971	金沢市・ 紡績工場	80	300	14.5	扇状地堆積物		1	空調水
1972~	新潟県 上越市	285	450~300	—		6.2×10^{-2}	1.1	表流水
1972~	神奈川県 泰野市	85	300	—	砂・礫	3.4×10^{-2}	0.65	水道水
1973~	神奈川県 平塚市	80	300	—		1.1×10^{-1}	1	地下水
1973~	山形県 山形市	90	300	—		2.1×10^{-3}	0.7	表流水
1974~76	大阪市 鶴見区	51	300	—	砂・礫	$1 \sim 5 \times 10^{-2}$	0.5	水道水

2. 人工涵養の目的

地下水の人工涵養を行うには、人工涵養の目的をはっきりするときに涵養水源の確保、涵養帯水層の把握により涵養方法が決まり、はじめて涵養の実施計画の根幹ができるのである。

人工涵養の目的は地下の帯水層を利用することから区別される。そこで、大別すると地下の空間を利用する貯留、地下水の過剰くみ上げによる障害を防止する塩水化防止と地盤沈下の防止、そして地層がもつ熱エネルギーを利用するもの、地層のもつ水質浄化の機能を利用するもの等がある。ここではこれらについて述べ、各目的の実施例や実験例を示す。

我国の帯水層は沖積層と洪積層に含まれるものがほとんどである。沖積層は今から1万年位までの間に川や海の水によって堆積された地層で、平野、盆地、谷底平野の平坦部の地下に沖積蓄水層が広がっている。また、洪積層は1万～100万年位までに河川によって運ばれた土砂が堆積した地層で、平野や盆地等の一段と高い台地、段丘、扇状地を作っている。

この帯水層は一般に空隙率が0.2～0.3といわれているので、大量の人工涵養を行うには地上ダムに比して広大な面積を必要とすることになる。涵養水は地層を通して涵養されるため、その注入速度は表流水をダムに貯留することに比較すると大変おそいものとなる。そのかわり、良質で安定した水を得ることができる利点もある。

2.1 地下貯留

地下貯留は、地上の水をできるだけ多く、簡便に注入する方法を用いて、帯水層に注入して、貯留するものである。注入対象水により、地下貯留の意義も多少異なる。例えば、水道水を注入する場合には、浄水場は年間一定の浄水能力をもっているが、水道の使用量は夏多く、冬少いので、冬期の余剰分を地下注入し、夏期に使用するためのもの、また、地上ダムとの連結により、河川水をできるだけ海域に流出させなくて、地上ダムの余剰分を地下貯留する。この時には降雨が対象となる。農業用水の利用されない時期や耕作面積の減少による余剰農業用水を地下貯留すること等がある。

貯留にあたっては、地下水盆の発達している地域が最適であるが、ただ地下水域が閉塞状を呈していないところでも地下水の流れは大変遅いので内陸部であれば止水壁を設けることなく貯水できると考えられている。海岸近くであれば海への流出がかなりあるので、その場合は止水壁の設置も検討する必要がある。ので、いずれにしろ、地下水の挙動を把握することが基本的な必要事項となる。

地下貯留を目的に現在注入を行なっている例としては神奈川県泰野市がある⁶⁾。泰野市は水道水の約8割を泰野盆地の地下水に依存しているが、地下水位の低下が見られるようになったので注入実験を48年から重ねている。泰野盆地の地層は図-2に示したが、A、B₁、B₂、B₃層よりなっており、注入実験はB₂層に対して口径300mm、深度85mの井戸を用いて行なわれている。注入水は水無川表流水を処理した水道水を用いており、昭和48年から継続しているが50年6月の段階では総量が300,000m³になっている。この量はB₂層が盆地の地下全体に広がっていると仮定するならば、水位を8cm上昇させたことになり、地下貯留能力は評価されるべきである。

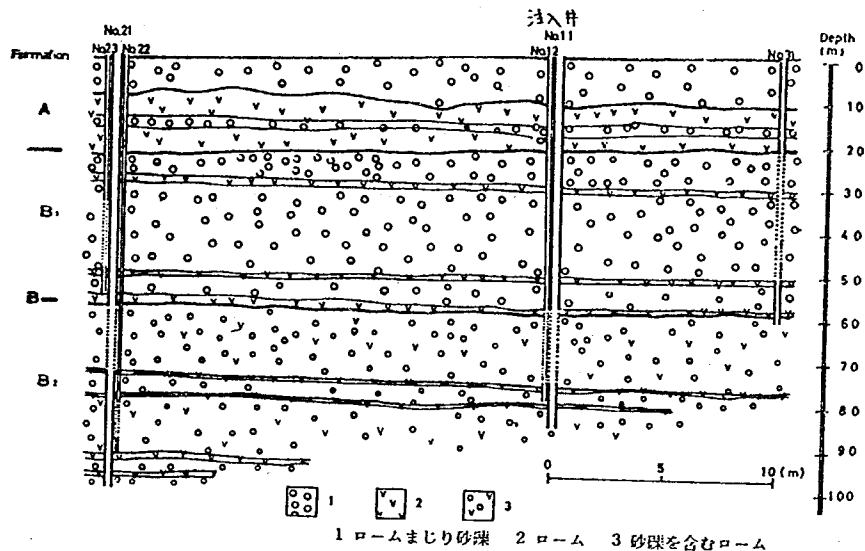


図-2. 秦野市の地層断面図

2.2 地下水の塩水化防止

都市は一般に海岸に集中し、工場による地下水の大量取水によって地下水位が低下して海水が内陸部に侵入してくる。このような場合には海岸線沿いに涵養井戸を設け、人工的に地下水嶺を作って海水の侵入を防ぐ必要がある。地下水嶺を作って海水の侵入を防ぐ場合には、既に侵入している海水が内陸に封じ込められないように処置をしておかねばならない。もう一つの方法としては内陸部における涵養量を増大させ、内陸から海岸に向かって地下水位が低くなるようにする。

塩水化防止のための注入例としては日本にみられず、カルフォルニア州オレンジ郡の例がある。ここでは多量の地下水を揚水したために海水が4.8~24.0kmも内陸に侵入したので、これ以上侵入するのを防止するために計画が立てられた。侵入した海水を汲み出すための井戸を内陸1.6kmに連続して設け、さらに内陸側に注入井戸を設けて淡水の壁を作った。

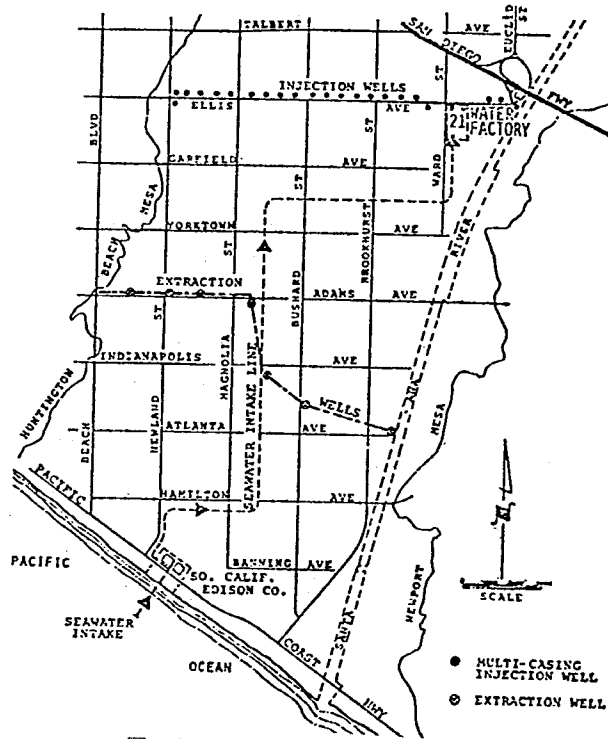


図-3. ウォーターファクトリー-21周辺図

この結果非常に良好な結果が得られている。揚水井と注入井の配置は図-3に示すとおりであり、水理学的な防止壁を作るには年間4,059万 m^3 の注入量が必要である。注入水としては下水の3次処理水と脱塩した海水あるいは深層地下水との混合水を用いている。

3次処理のプロセスとしては以下のようである。

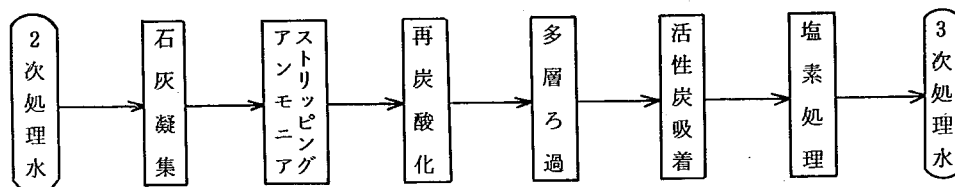


図-4. 三次処理フローシート

このような処理を行うと莫大な費用と高度な技術を必要とする。

2.3 地盤沈下の防止

地盤沈下は地下水の多量くみ上げによりもたらされるのであるから、地下水のくみ上げ規制を行えばその防止ができる。しかし、規制だけでは都市活動を制限するため、地下水の涵養を行いながら地下水利用を行えば、都市活動を制限することなく、地盤沈下の防止を行うことができる。

地盤沈下の問題は国の内外で生じており、国内においては大都市のみならず中小都市にまで及んでいる問題であり、真剣にその対策が実施されつつある。

地盤沈下防止の目的で注入実験を継続しているのは新潟県上越市である⁸⁾。この地域では昭和30年代の前半に、図-5のG₄層という良質な滞水層が発見されて以来、地下水の汲み上げ量が増大していった。そのために地盤沈下が発生し、人工涵養の必要性が生じてきた。注入実験は保倉川表流水を凝集、沈殿、ろ過を行なった処理水を用いており、涵養井戸は口径300mm(上部53mは450mm)、深さ285mである。ストレーナーは233~279mに設けてありG₄層が注入の対象となっている。この井戸の注入量は65 m^3/hr 程度が良好であり、浮遊物が1ppm以下の場合には200,000~300,000 m^3 (130日~19日間)の量を連続して注入することができる。また目詰りが生じた時点で約2時間再揚水(150 m^3/hr 程度)すれば目詰りは回

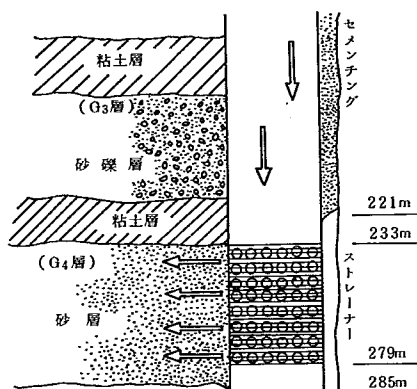


図-5. 上越の地層断面図

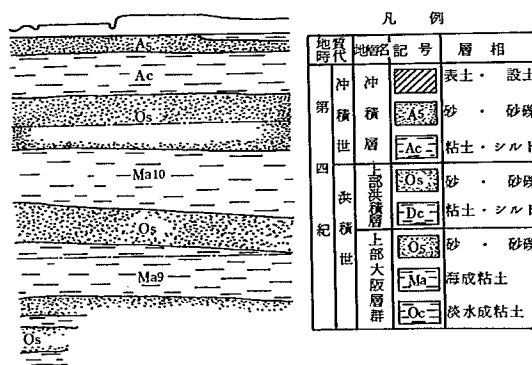


図-6. 大阪市鶴見区の地層断面図

復している。このように注入そのものは良好に行なわれているが、地盤沈下が注入によって防止されたかについては、揚水規制による回復もあるために明確にはなっていないが、いずれにしろ沈下の傾向はなくなったとされている。

また、同じ地盤沈下防止を目的としている大阪市鶴見区の実験では、深度 51m、口径 300mm の井戸で $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ を注入している⁹⁾。地層は図-6に示したとおりであるが、この実験においては注入に伴って間隙水圧がどのように変化するかを測定しており、図-7に示すような結果が得られている。この結果を見ると、間隙水圧は注入によく反応しており、注入することによって地盤沈下が防止できることを示唆している。

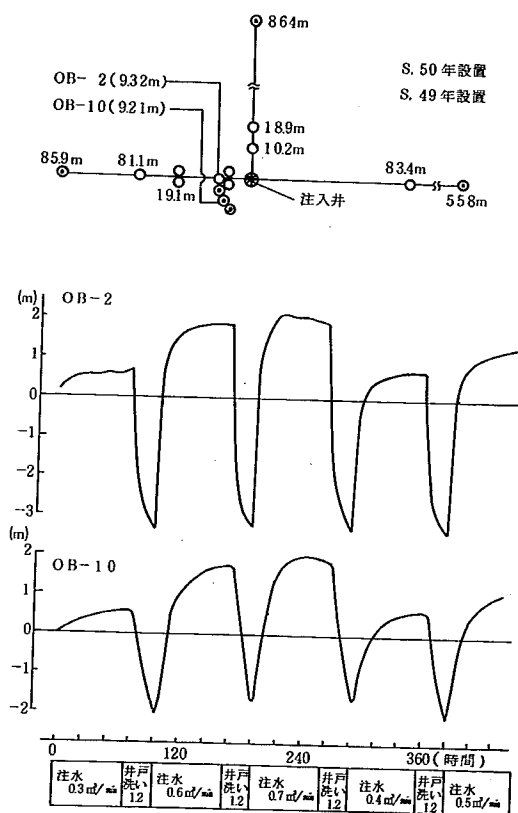


図-7. 注入、揚水に伴う間隙水圧の変化

10度以上の水を得ることにより消雪を行うことを目的とする。

消雪水としての利用は山形で実験されているので示す¹⁰⁾。この実験の注入井と揚水井が 224m 離れており、注入と揚水を同時に行なっている。1977年の夏に平均 23.7°C の水を約 10^4 m^3 注入し、半年後の冬期に平均 5.3°C の冷水を注入すると同時に温水を揚水した時の水温変化を見ると図-9のようになっている。すなわち、自然の地下水温は年平均約 16°C であるのに対し、揚水される水温は最初は約 20°C で次第に 16°C に近づくが、明らかに 16°C よりも高く、夏期に温水を注入した効果が得られている。

2.4 蓄熱の利用

地下水温が年間一定の 15°C 前後であることを利用して、夏は冷房、冬は暖房用水として空調に用いる。この例を模式的にかくと図-8となる。

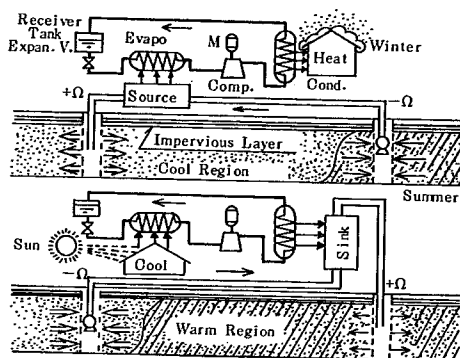


図-8. 空調用水としての地下水利用模式図

冬期積雪の多い地方では道路等の消雪を行うため、地下水を利用している。地下水の利用は冬期でできるだけ水温が高い方がよいので、夏期の高い水温の水を多量涵養し、地下の保温力を利用し、冬期に高水温の水を得る。地下水がたりなくなると、冬期の数度前後の水を注入し

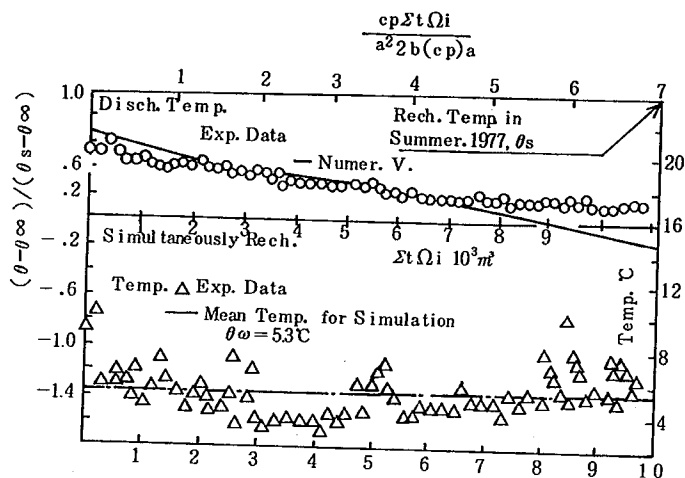


図-9. Discharged Warm Water and Recharged Cool Water after Snow Melting in Winter, 1978

を目的とする。あまり汚濁されている水を涵養すると後述するような目詰りが起って、ほとんど涵養できなくなる。

浄化を目的とする場合にはできるだけ土壤に接触させることが有益であり、かつ目詰りを起しやすいので、涵養方法の選択が重要となる。

この蓄熱利用の特殊なものとして温泉水の水量の減少した温泉地域で、地下水の涵養を温泉水増加に利用しているところもある。

2.5 地層での浄化

土壤には、汚水中にある有害物質を吸着したり、置換反応やろ過で捕捉したり、微生物により分解したりする浄化の機能がある。この機能を利用して、もう少し浄化すれば、利用できる水を涵養することにより、良質の水を得ること

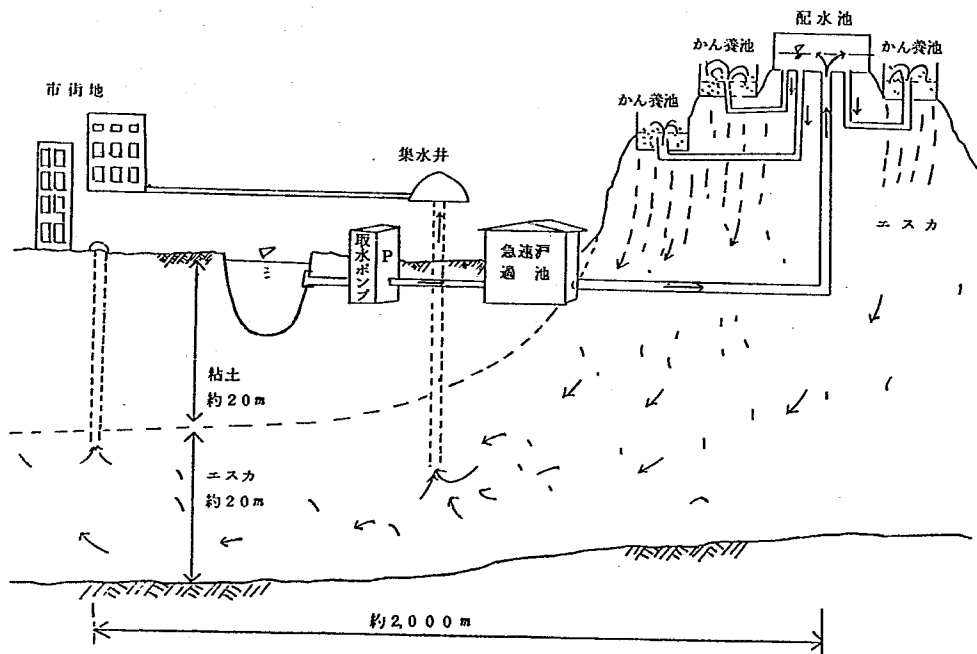


図-10. ウツサラ市地下水人工涵養プラント模式図

浄化を目的としている例はスウェーデンで見られ、図-10に示すような方式を採用している。すなわち、前処理として急速ろ過を行ない、これを涵養池から浸透させ、浄化された水を井戸で揚水して利用している。

2.6 そ の 他

その他特殊なものとしては、石油の二次回収、天然ガスの確保、岩塩の溶解媒体等として、地下水の注入を行うが、これは水を用いるが、注入した水を回集して利用しないので、涵養と呼ぶことはできない。

3. 地下水涵養の方法

地下水の涵養は地表水を帯水層に入れて、利用するために行うのである。この利用については前述したいくつかの目的に大別される。涵養方法は表流水を帯水層にいかにいれるかで3大別されることになる。

帯水層に直接注入するのを注入法とよび、地表面から次第に深層へと浸透し帯水層に達するのを浸透法と呼び、帯水層で取水し、地表からの浸透速度をはやめたり、地下水位が高く浸透しなかったものを取水により地下水位を低下させて浸透せしめるのを誘発法とよぶ。これらの関係を図示すると図-11となる。

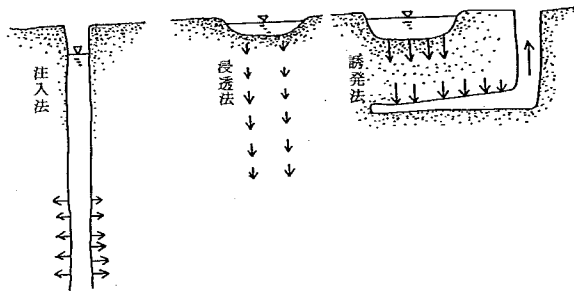


図-11. 涵養方法の模式図

注入法は井戸により帯水層に直接注入する方法であるが、井戸注入のみか、浸透法との組合せであるかにより分けられる。前者を井戸法とよび、後者は結合法とよばれる。

井戸法は狭いわずかな場所で注入することができるので日本的な方法である。反面、浸透法に比して目詰りが起った場合にその回復ないし防止に問題があり、その解決が重要な課題である。そこで本書はこの井戸法における目詰り原因とその対策を主眼において解説したものである。

浸透法は別名拡水法、分散浸透法、地表涵養法などと呼ばれているが、この方法には7つの方法があり、その特徴をまとめると表-3となる。

表-3. 浸透法の特徴

	方 法	特 徴
浸 透 法	洪水法	洪水時のみ行う。広大で平坦な土地が必要。
	浸透池法	最もよく用いられ、目詰りの解消も容易である。
	水田法	かんがい期のみならず非かんがい期の利用も可能、効果大きい。
	溝渠法（水路）	池のかわりに水路（溝渠）を用いるものである。
	抗井法	井戸法に似ているが、いわば空井戸である。除抗の場合もある。
	河床法	河床を用いるものである。日本では利用度は少ない。
	地下トレンチ法	新しい技術であるが、今後の検討をまたねばならぬが日本的で有望。

一般に浸透法は広大な面積を必要とするが反面地下水涵養の最大の欠点である目詰りを直接的に解消できる大きな利点がある。

3.1 注 入 法

1) 井 戸 法

井戸による人工涵養のうち、我が国で最もよく採用されているのは水井戸とはほぼ同じくらいの口径の井戸を使用して涵養する井戸法で、さらに細分すると地下水面下に直接浸透させる湿式型のものである。

湿式型の井戸法には水を注入する方法が二通りある。一つは地表面と静水位との差を利用する自然注入法であり、もう一つはポンプによってそれ以上の水頭圧で注水する加圧注入法である。自然注入法は地下水位が低く、透水性があまり高くない滞水層の場合に適しており、国内での例はほとんどこの方法である。加圧注入法は地下水位が高い時とか、割れ目があって透水性が良く、多量に注入したい時などに用いられる。

新潟県では井戸による注入を行なっているが、その井戸の略図を図-12に示した。⁸⁾ 65ml/hr 前後の注入を行なっているが、ある程度注入すると水位の上昇が起るので、それを水位計によって知り、目詰り解消のために逆洗ポンプを稼働させる。なお、この目詰りは注入水量、注入水質、滞水層の性状等によって異なるが、これらについては4章で対策を含めて詳述する。

また、井戸で目詰りを生じた場合には揚水することが唯一の回復策となるので、目詰りを回復させる場合には必ず排水が生じる。したがって排水を処理する対策が必要となる。

2) 結 合 法

結合法は主として井戸と水路との組合せによるものである。代表的な例としてはオランダのライデンの砂丘地における浸透がある。一般的に言って、都市内部における井戸法を除き普通に行なわれている地下水の人工涵養は井戸と水路、井戸と貯水池のような組合せによる結合法が多い。

3.2 浸 透 法

1) 洪 水 法

この方法は大量の水をゆっくり、浅く地表面に流すもので「布状洪水」を人工的に起したものである。この目的のためには地表に凹凸が少ない緩斜面が必要であるが、均一に水を流すことは困難である。そのために堤防を設けたり、溝を作ったりする必要が生じてくる。

洪水法で水の浸透が良いのは自然の植生に被覆されていて、土壌が流れないところである。したがって理想的に洪水法を行なうには植生や土壌が荒されていないところがよい。

この方法は施設がほとんど不用だが、大量の水を涵養するためには広大な敷地が必要であり、注入は降雨時のみと限定される。日本のように河川近くの平地に村落や農地が発達したところでは利用不能で、外国で砂漠や森林、原野などの未利用土地を有する国に適する。

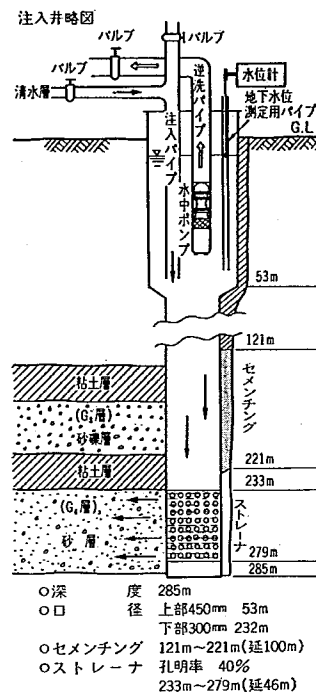


図-12 井戸法による人工涵養施設(新潟県の資料による)

2) 浸透池法

浸透池の構造は非常に簡単なもので、図-13に模式的断面を示した。建設に際しては、まず最低地下水位6mぐらいまでの試くつをし、コアを採取して透水係数などの水理定数を測定して、適当な大きさと深さの池を掘る。目詰りが生じるので、水質により異なるが少なくとも年に2回程度底を乾燥させるが、その間雑草がはえるので雑草の成長が少ない時に掘り返す。これによって雑草が枯れ、土壤間に空隙ができる。また、時には底のシルトを取り除き、新しい砂礫を敷きかえることもある。アメリカではこの作業にブルドーザーを用いている。

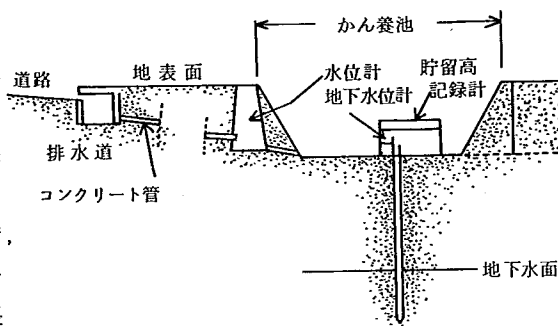


図-13. 代表的な浸透池の模式的断面¹¹⁾

3) 水田法

水田による涵養量は非常に大きいものである。今市扇状地での調査結果¹²⁾を見ると、この扇状地の表層は約7mの関東ロームで覆われており、その下に扇状地礫層が分布している。ローム層の間隙率は60~90%、扇状地礫層の間隙率は約30%である。このような扇状地で4月から5月に水田の代かきが行なわれているが、この間の地下水位上昇は3m以上もあった。5月から8月まではかんがいが続く、地下水位はほぼ一定に保たれていた。それが8月下旬から9月上旬にかんがいを停止すると地下水位は急激に低下を始める。このような水位変化は毎年定期的に生じるもので、水田による涵養がかなりの量になることを示している。

以上の水収支を図-14に示してあるが、かんがい期には1ヶ月で908mmが浸透し、そのうちの745mmが地下水の増加になっている。また、非かんがい期には浸透量が19mmに対して168mmが流出し、149mmに相当する分が減少している。

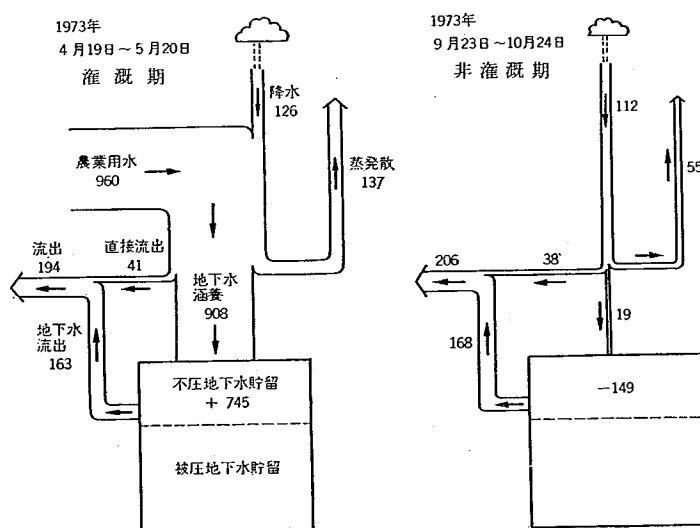


図-14. 今市扇状地における灌漑期と非灌漑期の水収支 (単位mm)

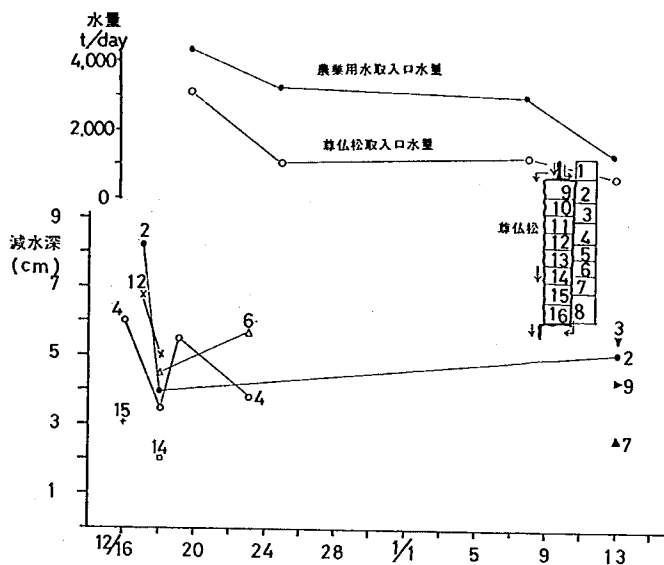


図-15. 農業用水流量と水田の減水深の変化
1～16尊仏松における各水田の位置とその減水深の変化

神奈川県泰野市では、井戸による注入以外に水田による人工涵養も実施している¹³⁾。泰野盆地は透水性が良く、昭和50年12月から2.2ヘクタールの農閑期の水田から人工涵養を行ない、図-15に示すような量を注入させることができた。

水田法の場合、非かんがい期に水田を利用することにより、稲の収量はほとんど変化ないと泰野ではされているが、他の水田での検討は必要である。

又、水田での浸透量を増大するために、すきかえしを行うと2倍強の効果があるといわれている。

4) 溝渠法

この方法は地表に溝を掘り、ここに水を流す間に浸透させる方法である。この方法は漏れの多いかんがい用水路に似たものであり、浸透を良くするために溝は平たく、底は平らにし、溝と溝の間隔は小さくする。溝の勾配は浸透に有害な微粒子を流し去るような流速が得られるようにする。

栃木県的那須郡黒磯町東西那須町を貫流する那須流水は日本三大流水の一つであるが、この水路が那須野を横切る間に $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ の水が消失している。事実この水路から下には地下水が豊富であるが、非かんがい期に流水を止めると直ちに井戸水が枯れてしまうことから、水路から浸透していることが判る¹⁾。

5) 抗井法

抗井法とは地表から浅い抗井を掘り、ここから浸透させるものであり、砂利採取の露天掘り跡などが用いられる。この方法は基本的には井戸と変わらないが、井戸の場合は滞水層まで達するのに対し、抗井の場合は必ずしも滞水層に達しない。また、井戸とちがって抗井は垂直に限らず、廃坑などを利用した方法もある。

6) 河底法

河床は水の浸透しやすいところと浸透しにくいところがある。また、河床だけでなくその両岸も、河岸段丘、崖錐等の堆積環境に従って河床の水位を上昇させることによって浸透が促進されることもある。また、浸透は付近の地下水位とも密接な関係にあるが、これらを総合して水の浸透しやすいように堰を作ったり、あるいは他の適当な方法によって河川流路を使って浸透を促す方法である。また、旧河道は透水性のよいところもあるので、新旧河道を用いて水の浸透を行なうのがこの方法である。

河床を用いて人工涵養を行なっている例としては米国の Santa Ana River がある¹⁾。ここでは河床に約 100 m 間隔で堰が設けられ、一種の浸透池になっており、数個の浸透池が連続している。浸透速度として

は $0.8\text{ m}/\text{日}$ が得られており、清掃は3ヶ月に1回程度底部をブルドーザーで掻き取っている。

これらの汚泥は有効利用できる場合もあるが、そうでない場合もあるので処分方法も考えておかねばならない。

7) 地下トレンチ浸透法

地下トレンチ法は他の浸透法と異なって、地中50~70cmより注入する方法である。この方法は地表面の土地を有効利用しながら注入できる利点がある。しかし、畑作物への影響、トレンチ間隔等の問題があり今後の検討を待つべき点が多い。地下トレンチは図-16に示すような構造をもち、穴あき管で水を浸透させるものであり、処理能力は $10\sim15\text{ mm}/\text{日}$ であると言われている¹⁴⁾。

この方法は雨水の浸透を促進させるために、住宅敷地内に設ける場合にも有効と考えられる。これは屋根に降った雨水を、といを通してトレンチに導き、浸透を促す方法であり、地表の土地利用には障害がないとされている。

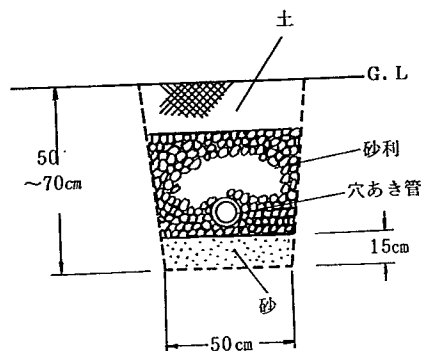


図-16. 地下トレンチ概念図

3.3 誘発法

誘発法は図-17に示すように、井戸などの集水施設によって河川水や湖沼水周辺の地下水位を低下させ、それによって地下に誘導させる方法である。

この方法は、地下水量を増加させる目的ではなく、地下水の循環を早くして再利用を目的とする時に用いられる。

誘発涵養の場合、涵養池と集水施設の同時利用が前提となるので、必要条件として①涵養池の水位を望ましい程度に保てること、②涵養池と集水施設間の最適距離条件、などが考えられる。

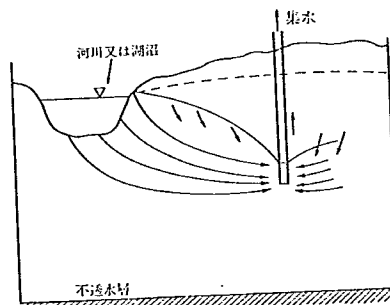


図-17. 誘発法の模式図¹⁵⁾

4. 人工涵養に用いられる水源と水質

人工涵養は表流水を地下水にかえることであるから、水源として最大のものは河川水である。この河川水を人間が使うために浄水した水道水の余剰を涵養することもあり、人間の使用後の汚水を処理して公共水域に放流するので、この処理水を涵養することもできる。河川水のもととなる雨水もごくわずかであるが利用することができる。人工涵養の目的を良質の水を得ることにすれば、汚濁地下水を深層に注入して良質な水にかえるため地下水が水源になることもまれにあるだろう。

そこで、水源として河川水、水道水、処理水、雨水、地下水の5つについて、その水質特性を検討する。

4.1 河 川 水

河川水質は地域や上流、中流、下流と河川の位置により、河川の流下途中にダム、湖沼、せき等により一時滞流する場所のあること、また降雨等によって大きく異なる。

環境庁は公共水域保全のため、各河川及び湖沼に生活環境に係る環境基準を設けている。水質資料がすぐ手元になくてもこの基準の類型がなにであるかを知れば一応の目度をつけることはできるし、また、現状で高い値であっても将来的には類型指定の水質になることが予想されるので、水源水質の検討にあたってはこの類型指定を知るべきである。

ちなみに河川と湖沼の生活環境に係る環境基準を示すと表-4、表-5である。

環境庁が昭和51年度の全国公共用水域水質年鑑に示しているのをみると、各水域で基準値を越えるのは全体の20%位であり、80%は基準を満たしている。

表-4. 生活環境に係る環境基準 河 川（湖沼を除く。）

項目 類型	利 用 目 的 の 適 応 性	基 準 値				
		水素イオン濃度 (pH)	生物化学的酸 素 要 求 量 (BOD)	浮 遊 物 質 量 (SS)	溶 存 酸 素 量 (DO)	大 腸 菌 群 数
AA	水 道 1 級 自然環境保全お よびA以下の欄 に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	1 ppm 以下	25 ppm 以下	7.5 ppm 以上	50 MPN/ 100 ml 以下
A	水 道 2 級 水 産 1 級 水 質 汚 濁 おおよびB以下の 欄に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	2 ppm 以下	25 ppm 以下	7.5 ppm 以上	1,000 MPN/ 100 ml 以下
B	水 道 3 級 水 産 2 級 水 質 汚 濁 おおよびC以下の 欄に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	3 ppm 以下	25 ppm 以下	5 ppm 以上	5,000 MPN/ 100 ml 以下
C	水 産 3 級 工業用水1 級 おおよびD以下の 欄に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	5 ppm 以下	50 ppm 以下	5 ppm 以上	—
D	工業用水2 級 農 業 用 水 おおよびEの欄に 掲げるもの	6.0 以上 8.5 以下	8 ppm 以下	100 ppm 以下	2 ppm 以上	—
E	工業用水3 級 環 境 保 全	6.0 以上 8.5 以下	10 ppm 以下	ごみ等の浮遊 が認められな いこと。	2 ppm 以上	—

表-5. 生活環境に係る環境基準 湖 沼

湖 沼 (天然湖沼および貯水量 1,000 万立方メートル以上の人工湖)							該 当 水 域
項 目 類 型	利 用 目 的 の 適 用 性	基 準 値	水素イオン 濃度 (pH)	化学的酸素 要求量 (COD)	浮遊物質 量 (SS)	溶存酸素量 (DO)	
AA	水道 1 級 水産 1 級 自然環境保全 および A 以下の欄 に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	1 ppm 以下	1 ppm 以下	7.5 ppm 以上	50 MPN/ 100ml 以下	第 1 の 2 の (2) に よ り 水 域 類 型 ごと に 指 定 す る 水 域
A	水道 2,3 級 水産 2 級 および B 以下の欄 に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	3 ppm 以下	5 ppm 以下	7.5 ppm 以上	1,000 MPN/ 100ml 以下	
B	水産 3 級 工業用水 1 級 農業用水および C の欄に掲げる もの	6.5 以上 8.5 以下	5 ppm 以下	15 ppm 以下	5 ppm 以上	—	
C	工業用水 2 級 環 境 保 全	6.0 以上 8.5 以下	8 ppm 以下	ごみ等の浮 遊が認めら れないこと。	2 ppm 以上	—	

表-6. 荒川の類型別水質一覧

単位: mg/l

項 目	類 型	AA (二瀬ダム)	A (正喜橋)	B (開平橋)	C (笹目橋)	D (戸田橋)
PH		7.0	8.1	7.5	7.1	7.1
浮 遊 物 (SS)			18		15	29
塩素イオン (Cl^-)					130	191
アンモニア性窒素 (NH_4-N)			0.22	0.43	1.25	1.92
亜硝酸性窒素 (NO_2-N)		0.002				
硝酸性窒素 (NO_3-N)		0.26	1.15	1.78	1.97	2.17
全 窒 素 (T-N)					3.95	5.02
リン酸イオン (PQ_4-P)			0.17	0.25	0.82	1.13
全 リ ン (T-P)		0.04				
溶存酸素 (DO)		9.6	10.7	9.6	7.6	4.9
生物化学的酸素要求量 (BOD)		1.5	1.4	1.5	4.4	5.2
化学的酸素要求量 (COD)		1.1	2.3	2.7	6.2	7.3
大 腸 菌 群			1.1×10^4	6.0×10^3	1.3×10^5	

水質の標示としては、生活環境に係る環境基準に示されている PH, BOD, COD, SS, DO, 大腸菌のように人為汚濁の指標となるもの、(これには他にアンモニア (NH_4-N), 亜硝酸 (NO_2-N), 硝酸 (NO_3-N), 全窒素 (T-N), リン酸イオン (PO_4-P), 全リン (T-P), ABS 等がある。), 地域の地質等に帰因する無機物質として、カルシウム (Ca), マグネシウム (Mg), ナトリウム (Na),

カリウム (k)、鉄 (Fe) 等がある。地下水涵養を行って障害となるのは前者の人為汚濁の指標物質が多量に含まれるときである。

荒川を例として、類型指定別に水質を昭和51年の水質年表からみると表-6となる。

後述する処理水に比してかなりきれいであるが、室内実験から考えるとC、D類型の水質はかなり早く目詰りを起すことが感じられる。

河川水が滞流すると水質変化が起る。特に著しい変化は植物プランクトンの発生であり、その結果、SS、COD、PH、DOの増加が起る。このプランクトンは年変動が大きく、冬期はほとんど出現しないが、夏期に大増殖する。そこで、滞流している水源を使う場合にはプランクトンの確認が必要である。このプランクトンは河川水に含まれる窒素・リンを利用するから、窒素・リンの高い水は十分注意が必要である。

日本の代表的湖沼及び一部のダムの水質をみると表-7のようである。²¹⁾

表-7. 各湖沼の水質一覧表²¹⁾

湖沼名	地 点	年 月 日	透明度 m	PH	BOD ₅ /L	COD _{Mn} /L	NH ₄ -N _{mg/L}	NO ₂ -N _{mg/L}	NO ₃ -N _{mg/L}	T-N _{mg/L}	PO ₄ -P _{mg/L}	T-P _{mg/L}	クロロフィル _α _{mg/L}	銅体数/ml	そ の 他
琵琶湖	北湖	今津・長浜中央	50.7~51.3	8.0	7.4 ~8.4	0.7	不検出	0.001	0.09	0.27	0.002	0.005	4.1 (8.5)		表面9回 測定 滋賀県
	北湖	全 域 平 均	50.1~12	5.7	7.8	0.86	0.002	0.003	0.10	0.29	0.009	0.008			
	南湖	"	50.1~12	2.3	7.9	1.46	0.025	0.005	0.14	0.53	0.023	0.027			
霞ヶ浦	北浦	釜 谷 沖	48.4~49.3			3.31	0.156	0.002	0.08	1.39	0.026	0.059	56.0 (193)		国土開発 " 淡水試 " " " 4~9月21回測定 58.7 (46.29)
	西浦	湖 心	48.4~49.3			3.2	0.100	0.005	0.07	1.3	0.006	0.08	57.5 (125)		
	"	土浦水道沖	48.1~12	0.6	7.6 ~8.65	5.2	0.380	転載せず	0.13	2.48	0.032	0.266			
	"	"	49.1~12	0.8	7.6 ~9.8	3.4	0.166	"	0.37	2.83	0.008	0.102			
	"	木原沖(水道取水移動予定地)	48.1~12	1.2	7.6 ~9.6	5.4	0.117	"	0.02	1.08	0.041	0.302			
	"	"	49.1~12	1.0	7.5 ~9.5	3.1	0.119	"	0.06	1.28	0.014	0.080			
諏訪湖	小坂沖	46.3~12						0.50		1.45			10月測定 51.1 (10.35)		12回 6回
		47.2~ 7						0.51		1.33			77.5 (90.2)		
	湖 心	48.1~10	0.56	6.7 ~9.2	5.4	5.4	0.22	0.030	0.25	2.20	0.012	0.191	9.20 (219)		
堀ノ湖		47.7.25	2.1					0.08		0.02			8		2回 4回
	湖 心	48.9~11		7.1 ~7.2	1.55	2.25	0.198	0.064	0.029	0.359	0.019	0.058	9.1 (13.2)		
	"	49.5~ 8		7.4 ~8.2	2.55	1.73	0.103	0.010	0.024	0.278	0.020	0.028	15.5 (226)		
小川原湖	最深部	49.9.3		7.1			0.07	0.01	0.30	0.48		0.06			4回
十和田湖	湖 心	47.8~11		7.7		1.05	<0.02		<0.02	最大0.07	0.004	最大0.009			3回
野尻湖	"	47.10~12		6.7 ~7.3	0.60	0.63	1月0.14	0.005	0.105	0.263	10月0.006	0.016			3回
田貫湖	全域平均	46.6~12		6.9 ~7.2	1.30	0.97	0.020	0.007	0.011	0.227	0.003	0.055			
釜房ダム	最深部	48.11.19		7.1			0		0.21	0.43	0.002	0.020			
		49.3.13		6.9			0.01		0.25	0.29	0.003	0.010			
松原湖		48.8~10		6.85~9.25		2.95	0.048	0.005	0.168		0.010		8.1 (11.3)		2回
穴道湖		47			1.4	4.0				0.332		0.026			年平均
相模湖(ダム)		47		8.0		1.5	0.07	0.024	0.60		0.155				"
津久井湖(ダム)		47		7.8		1.9	0.07	0.021	0.81		0.122				"
中神寺湖	全域平均	46.5~12		7.6 ~8.1	0.93	0.70	0	0	0.034	0.128	0.003	0.014			4回
尾瀬沼	"	46.5~11		7.0 ~7.4	0.9	1.7	0.102	0.002	0.064	0.23	0.002	0.024			4回
芦の湖	"	46.7~12		7.0 ~8.4	1.3	0.77	0.021	0	0.052	0.147	0.007	0.014			3回
河口湖	"	46.6~12		7.2 ~7.7	0.78	0.93	0.054	0.002	0.029	0.315	0	0.012			4回
山中湖	"	46.6~11		7.3 ~7.5	0.85	0.65	0.035	0.002	0.051	0.245	0.001	0.012			4回
本栖湖	"	46.6~12		6.8 ~7.1	0.68	0.40	0.049	0.001	0.061	0.18	0.001	0.004			4回
西 湖	"	46.6~12		7.3 ~7.6	0.83	0.68	0.014	0.002	0.126	0.22	0.001	0.007			4回
精進湖	"	46.8~12		7.1 ~7.3	1.93	1.17	0.334	0.021	0.736	1.38	0.001	0.041			3回

河川水は洪水時と平常時では濁度に大きな変化があり、洪水時の高濁水を水源とすれば、いかなる涵養方法を用いてもはやく目詰りを起す。そこで、洪水時の濁度（浮遊物量）の変化をみると図-18、図-19となる。荒川の寄居地点における流量と浮遊物質（SS）濃度の関係を図-18に示した。これを見ると流量の増加にともない、SSの急激な増大がうかがえる。図-19には天竜川の月別の流量と濁度を示した。これを見ても流量が多くなると濁度が急激に増大している。

これらから河川の流量が多くなり、地下水涵養水源が豊富になったときには、涵養に最大の障害となるSSが多くなるので、涵養前に除去するか、もっとも目詰りの障害の影響の少ない方法か目詰り回復の簡便な方法を用いることが勘容である。

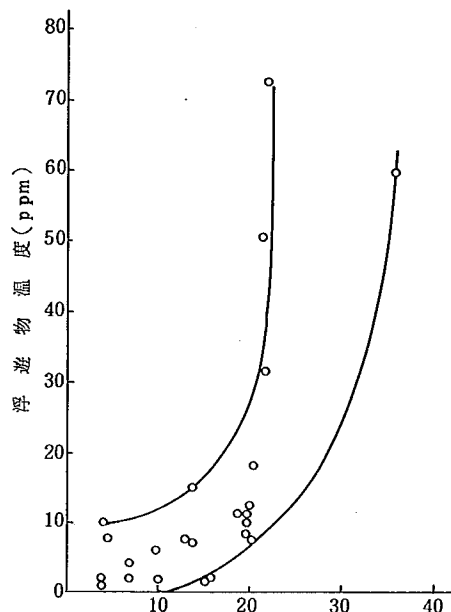


図-18. 荒川の寄居の流量と浮遊物濃度の関係
(水質年表より)

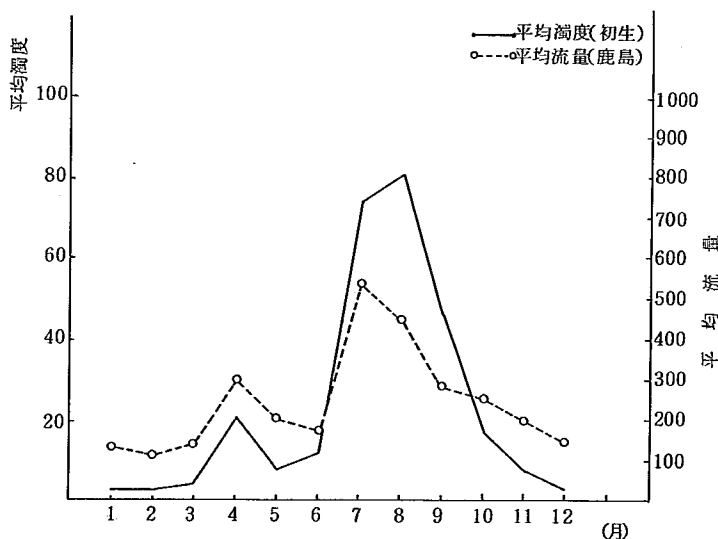


図-19 河川流量と濁度の経月変化 (S. 48 ~ 50年) (天竜川)

4.2 水道水

水道水の水質は厚生省の基準があり、表-8に示すような値である。

表-8. 水道水質基準

項 目	基 準 値	項 目	基 準 値	項 目	基 準 値
硝酸性および亜硝酸性窒素	合計 10mg/l 以下	マンガン	0.3mg/l 以下	陰イオン界面活性剤	0.5mg/l 以下
塩素イオン	200mg/l 以下	亜鉛	1.0mg/l 以下	pH 値	5.8~8.6
過マンガン酸カリウム消費量	10mg/l 以下	鉛	0.1mg/l 以下	臭 気	異常があってはならない。
一 般 細 菌	1cc中100以下	六価クロム	0.05mg/l 以下	味	"
大腸菌群	50cc中検出せず	カドミウム 注3)	0.01mg/l 以下	色 度	5度以下
注1) シアンイオン	0.01mg/l 以下	ヒ素	0.05mg/l 以下	濁 度	2度以下
水 銀 注1)	0.0005mg/l 以下	フッ素	0.8mg/l 以下	セレン 注3)	0.01mg/l 以下
有機リン 注1)	0.01mg/l 以下	総硬度	300mg/l 以下	残留塩素 注2)	0.1ppm以上
銅	1.0mg/l 以下	蒸発残留物	500mg/l 以下		
鉄	0.3mg/l 以下	フェノール類	0.005mg/l 以下		

注1) シアンは0.01mg/l以下、水銀は0.0005mg/l以下、有機リンは0.01mg/l以下

注2) 結合残留塩素の場合0.4ppm以上、病原生物に汚染のおそれがあるとき残留塩素0.2ppm、結合残留塩素1.5ppm以上とする。

注3) 暫定値

水道水が涵養水源としては水質的にもっとも良質な水であり、その上消毒がしてあるため、微生物による目詰りも起りにくいという利点がある。しかし、汚れた水をこれまで浄化するにはかなりの費用を必要とするため地下水利用との関連で、水道水まで浄水して注入するかいなかは検討しなければならない。

実際に水道水を注入している例としては神奈川県秦野市⁶⁾や大阪市鶴見区⁷⁾があり、各々表-9に示すような水質である。

表-9. 注入水水質の例

項目 実施例	pH	蒸発 残留物 (ppm)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe	Mn	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ SiO ₃	CO ₂	導電率 μS/cm
秦 野 市	7.48	60.5	0.23	2.57	11.3	2.79	0	0	252	629	435		16.0	16.8	
大 阪 市	6.9		0.5	8.1	10.5	1.8	0	0	13		19.8	5.45	13.0		98

表-9に示した水質も水道水の水質基準は満しているの、その他成分について分析したものである。

4.3 処 理 水

処理水の代表的なものは下水(生活排水主体で一部事業排水と雨水を含む)処理場の処理水であり、他に工場廃水を主体とした事業所単独の処理水があるが、ここでは下水処理場の処理水を対象とする。

下水処理場では流入原水を活性汚泥法ないし散水ろ床法を用いて処理した水を二次処理水とよび、この二次処理水をさらに種々の方法により処理したものを三次処理水と呼んでいる。

下水道統計をもとに全国の平均的下水及び二次処理水の水質をみると表-10のようである。

表-10. 下水処理場流入下水と二次処理水水質 (単位 mg/l)¹⁸⁾

項 目		SS	BOD	COD	T-N	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Org-N	PO ₄
流入下水	合流式	224	138	101	28.4	10.6	0.25	0.58	16.5	7.0
	分流式	188	184	75	33.2	28.3	0.10	0.60	14.4	18.9
2次処理水	合流式	25	14.6	17.9	15.6	9.1	0.34	2.54	5.8	3.3
	分流式	27	18.8	16.1	25.3	16.5	0.41	2.62	6.6	10.7

注) 昭和47年の平均値で、合流式は全国31ヶ所、分流式は37ヶ所の処理場の資料をまとめたものである。
尚、合流式とは雨水も流入するものであり、分流式とは雨水と汚水を分離し、汚水のみを対象としたものである。

流入下水をみるとSSが 200 mg/l 前後あり、このままではすぐ目詰りを起し涵養水源としては使用できない。

二次処理水をみるとSSが 25 mg/l であり、他にもBOD、NH₄-N等があり問題であるが、まずSSのみでも後述する実施例や実験例から涵養水源として用いるには障害がある。アメリカの例をみても処理水を涵養水源としているのは三次処理水である。日本では三次処理を実験ないし試験的に行っているが実施

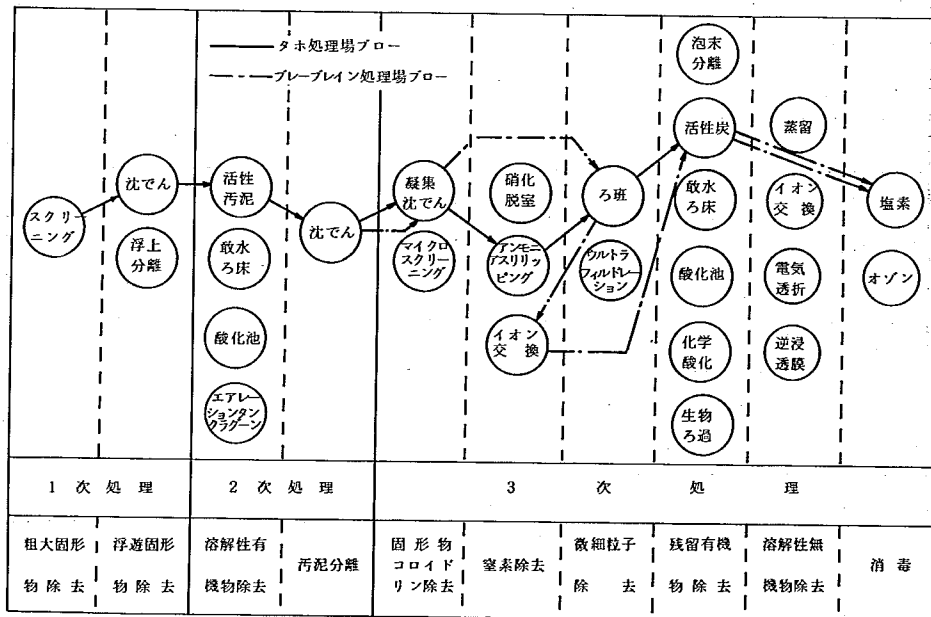


図-20. 各処理方式の組合せ位置と除去対象物質 (水質工学による)¹⁹⁾

している例はないので、すぐ水源にすることはできないが、公共用水域保全のため三次処理を行う傾向にあるので、将来水源として利用することが可能となろう。処理水の量の変動はほとんどないので、これが水源となれば安定して受けいられるので有益である。

下水の二次処理・三次処理の方法と除去対象物質を示すと図-20となる。

三次処理水を涵養水源としているアメリカの2例は以下の処理フローで、表-11、表-12に示す水質を注入している。

(1) オレンジカウンティ⁷⁾

処理フローは以下のようであり、その時の二次処理水と三次処理水の水質は表-11に示したようである。

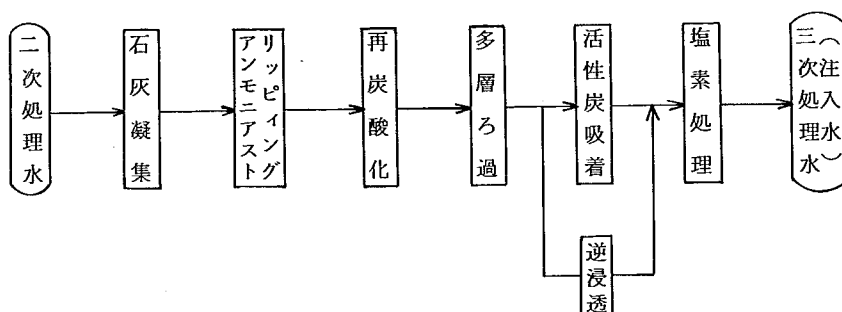


図-21. 三次処理フローシート

表-11. 注入水源としての三次処理水質

項 目	流入水水質	処理水水質	項 目	流入水水質	処理水水質
カルシウム	90 mg/l		pH	7.6	
マグネシウム	35 "		濁 度	23 mg/l	
ナトリウム	250 "	250 mg/l	COD	95 "	8.0 mg/l
カリウム	20 "		MBAS	1.2 "	0.05 "
重炭酸塩	380 "		全 硬 度	365 "	
塩 化 物	265 "	260	有機性窒素	3 "	
硫 酸 塩	340 "	375	アンモニア性窒素	45 "	16 "
リン酸塩	18 "	除去率 96~99%	シリカ	28 "	
TDS	1200 "				
電気伝導率	2150 μV/cm	2070 μV/cm			

この三次処理水を井戸に4~5ヶ月注入しているがまったく目詰りが起っていないとのことである。

(2) ロングアイランド (バイパーク)²⁰⁾

三次処理のフローは以下のようであり、この時の処理水質は表-12に示した。

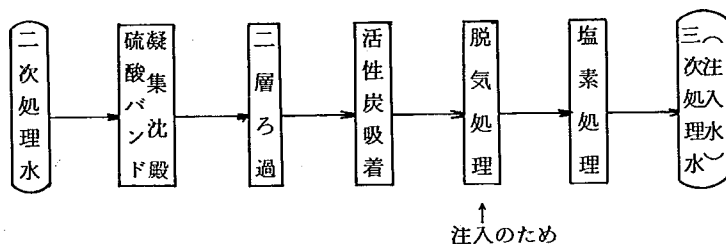


図-42. 三次処理フローシート

この水質を井戸に注入しても2～3週間で目詰りするため、実験を中止し、今後は浸透法を検討することである。目詰りの原因としては帯水層の透水係数があまりに小さいからとされている。

表-12. ロングアイランドの注入用三次処理の水質²⁰⁾

項 目	濃 度	項 目	濃 度
SiO ₂	13 mg/l	SO ₄	160 mg/l
Fe (total)	0.41 "	Cl	99 "
Fe (溶存)	0.23 "	NH ₄ -N	30 "
Mn (total)	0.075 "	電気伝導度	786μS/cm
Ca	20 "	pH	6.15
Mg	6.4 "	DO	4.5 mg/l
Na	86 "	COD	9 "
K	13 "		
HCO ₃	59 "		

4.4 雨 水

雨水には大気中に浮遊する物質が含まれており、降雨初期には濃度が高く、次第に低濃度になることが予想される。したがって測定 の時間や測定場所などの違いによって大きく異なると考えられる。東京都やその他の場所 で測定されている結果を表-13に示したが、アンモニア性窒素は0～0.87ppm、総窒素では0.1～1.73ppm、CODは1.4～4.4ppmを示しており、都市周辺の雨水は比較的高い値である。

表-13. 降 雨 の 水 質²¹⁾

(単位: mg/l)

測 定 地	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-N	PO ₄ -P	T-P	COD	備 考
宇 部	0.48	0.3		0.78	0.054			
東 京 都	0.76	0.15		0.91				
大阪市郊外	0.40	0.26		0.66				
熊 本	0.096	0.03		0.13				
大 曲	0.162	0.057		0.22				
東 京	0～0.87 0.41	0～0.01 0.01	0.07～0.62 0.19	0.11～1.30 0.61	0.012～0.08 0.03			74.6～75.2 5回の平均
霞ヶ浦	0.60～2.21 0.58	0～0.036 0.009	0.04～0.42 0.18	0.1～1.73 1.4	0～0.072 0.014	0～0.072 0.014	1.4～4.4 2.64	74.5～75.1 12回の平均
波 佐 見				0.1以下		0.014	2.5	7月13日
諫 早 市 (原 口)				0.4		0.040	1.8	7月4日

しかし、処理水の注入水質に比べれば、きれいな水である。

4.5 地 下 水

地下水を涵養水源として用いることは本来的に意味のないことである。ただ、オレンジカウンティの場合、塩水化防止の水源不足のため、地下水位が下っても塩水化に関係のない地点の地下水をくみ上げて、塩水化防止の水源としている。他に地下水を水源とするなら、汚染された浅層地下水を深層に注入して、地層での浄化を期待することが考えられる位である。

日本の全国 189 ケ所で測定された地下水を地域別に比較すると表14となる。地下水は一般に河川水に較べて、溶解性物質が多く、アルカリ度・硬度・鉄イオンなどが多いようであるが、これらの成分が、地下水涵養の場合大きな障害になることは考えられない。

上述の目的で地下水を涵養水源とするなら、その涵養方法は注入法の井戸法ということになる。

表-14. 日本の地下水水質¹⁶⁾

項 目	地 区	北 海 道	関 東 ・ 東 北	関 西 ・ 北 陸	四 国	九 州	全国平均
pH		7.17	7.28	7.04	6.80	7.06	7.11
電気伝導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		2007	2456	1852	2696	1923	2155
M-アルカリ度 (ppm)		7079	701	6875	5732	5818	6774
全 硬 度 (")		6736	892	5226	814	5242	6964
塩素イオン (")		1610	1322	1522	304	2167	1725
シ リ カ (")		4365	3394	2628	167	3255	3235
鉄 イ オ ン (")		1081	0320	0975	1006	0304	0787
全 鉄 (")		2130	0884	0807	1408	0574	1264

埼玉県妻沼市での涵養実験では地下水をもちいており、その資料から、浅層地下水と深層地下水の水質をみると表-15のようであり、浅層地下水に深層地下水よりかなり多くの物質が含まれている。

表-15. 深層地下水と浅層地下水の水質¹⁷⁾

	pH	アルカリ度 CaCO_3 , ppm	Cl^- ppm	SO_4^{2-} ppm	Ca^{2+} ppm	Mg^{2+} ppm	$\text{Na} +$ ppm	$\text{K} +$ ppm	Mn^{2+} ppm	$\text{Fe}^{2+} +$ ppm
注水帯水層 (200m)	7.8	96.0	14.2	2.8	20.3	6.1	17.5	2.1	0.08	0.08
注 入 水 (15m)	6.9	148.5	22.0	35.3	41.6	14.4	18.1	2.9	2.27	4.54

参 考 文 献

- 1) 山本荘毅, 地下水の人工涵養について.
そのⅠ, 用水と廃水, Vol 2, No 8, p 59 ~ 64 (1960).
そのⅡ, " Vol 2, No 9, p 55 ~ 62 (1960).
そのⅢ, " Vol 2, No 10, p 63 ~ 69 (1960).
- 2) 山本荘毅, 地下水の人工涵養, 施工技術, 第9巻, 第7号, p 11 ~ 15 (1976).
- 3) 村下敏夫, 地下水人工涵養の技術上の諸問題, 施工技術, 第9巻, 第7号, p 22 ~ 28 (1976).
- 4) 小西泰次郎, 人工地下水,
その1, 地下水と井戸とポンプ 昭和47年9月, p 9 ~ 12.
その2-1 " 昭和48年6月, p 10 ~ 13.
その2-2 " 昭和48年8月, p 7 ~ 14.
その2-3 " 昭和48年9月, p 6 ~ 12.
- 5) 河川局, 地下ダム構想 一地下貯留一, 地下水と井戸とポンプ, 昭和51年5月, p 2 ~ 8.
- 6) 長瀬和雄, 熊沢武雄, 泰野盆地における地下水の人工涵養, 工業用水, 第205号, p 65 ~ 72 (昭和50年).
- 7) 建設省土木研究所, 地下水涵養技術の開発, 昭和52年3月.
- 8) 新潟県生活環境部公害規制課, 上越地区地盤沈下防止対策事業-G₄層地下涵養中間報告書, 昭和51年10月.
- 9) 近畿地方建設局淀川工事事務所, 地下水涵養技術および利用計画検討業務報告書, 昭和52年3月.
- 10) 横山孝男, 梅宮弘道, 人工涵養法による帯水層の蓄熱利用, 日本地下水学会誌, 第17巻, 第2号, p 1 ~ 13 (1975).
- 11) M.T. ヨーノス, 地下水人工涵養, 水道協会雑誌, 第483号, p 2 ~ 5 (昭和49年).
- 12) 榎 根勇, 水循環における地下水人工涵養の位置づけ, 施工技術, 第9巻, 第7号, p 16 ~ 21 (1976).
- 13) 長瀬和雄, 他, 泰野盆地における地下水の人工涵養(Ⅰ), 神奈川県温泉研究所報告, 第7巻, 第3号, p 135 ~ 144 (1976).
- 14) 石崎勝義, 水資源問題解決のための地下水利用(4), 地下水と井戸とポンプ, 1977年7月 p 2 ~ 5.
- 15) M.T. ヨーノス, 地下水人工涵養の水理 一涵養池の水理機構一 水道協会雑誌, 第495号, p 21 ~ 34 (昭和50年).
- 16) 鈴木静夫, 本邦地下水の化学成分の分布と特性, 水処理技術, Vol 7, No 10, p 1 ~ 9 (1966).
- 17) 永井 茂, 村下敏夫, 人工地下水における注水井戸の目詰まりと井戸能力の回復 一妻沼実験地の例一, 工業用水, 第170号, p 48 ~ 54 (昭和47年).
- 18) 茨城県, 霞ヶ浦湖北流域下水道の調査研究 一富栄養化に関する基本調査報告書一, 昭和50年3月.
- 19) 水 質 工 学.

- 20) Ragone, S. E and J. Vocchioli, Chemical interaction during deep well recharge
Bay park New York , Ground Water , Vol 13, No 1, p 17 ~ 24 (1975).
(訳) 深井戸還元による地下水の水質変化 — Bay Park, New York の例 — 水処理技術,
Vol 16, No 7, p 63 ~ 67 (1975).
- 21) 長崎県, 長崎南部地域総合開発計画における諫早湾淡水湖に係る水質予測検討資料, 昭和52年3月.
- 22) 菅原利夫, 宮古島における地下ダム開発構想と調査計画について, 地下水と井戸とポンプ,
1974年5月, p 8 ~ 11.
- 23) 紫崎達雄, 地下ダム論についての私見, 地下水と井戸とポンプ, 1977年1月, p 10 ~ 12.