

地下水は誰のものか？
 <第7回>

地下水の人工涵養

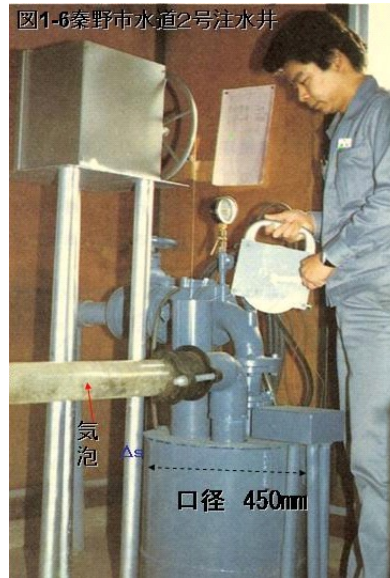
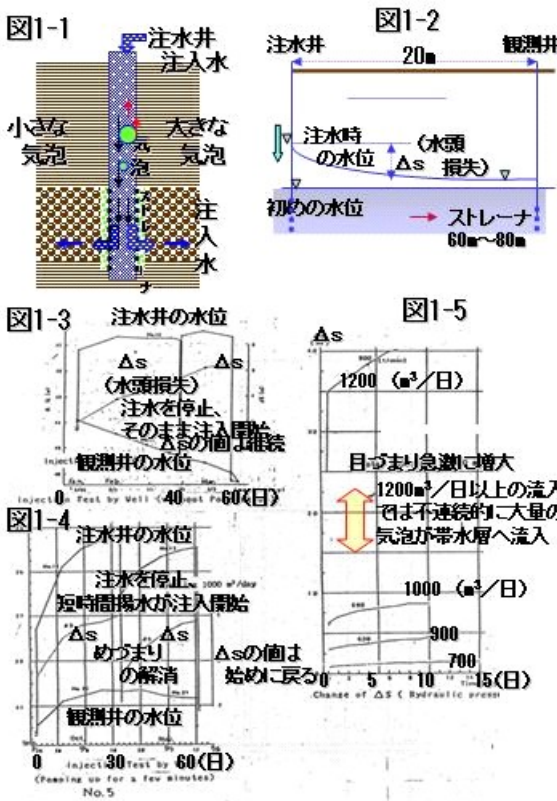
今から30年余ほど前(1970年代)日本列島は公害の渦中にあった。地下水も過剰揚水された結果日本各地で地盤沈下や地下水の塩水化等の地下水障害が起きた。当時の通産省、農林省、大学などの関係研究機関をあげてその対策に取り組んだ。その中心におかれた手法が深井戸による地下水の人工涵養であった。しかし農林省の佐賀県白石平野、通産省地質調査所の埼玉県妻沼の荒川河川敷、東海大学の神奈川県平塚市における深井戸への注水実験は注水井の目づまりを起こし、すべて失敗に終わった。これにより日本の地下水利用は許容安全揚水量に従うという揚水規制の色彩の濃い方策に進んだ。しかし、そのような状況下において神奈川県温泉地学研究所は秦野盆地で深井戸の人工涵養を成功させ、ため池や水田、浸透マス(浸透槽)などいろいろな地下水人工涵養の方策を実験して、地下水を涵養して有効利用するという地下水管理の道を開いた。また、地下水人工涵養の成功は「地下水は公水」という考えを大きく後押しした。

1 秦野盆地における深井戸による地下水の人工涵養

秦野盆地の注水実験で深井戸の目づまりの最も大きな原因は注入時に発生する気泡によるものであることを明らかにした(長瀬他1974,1975日本地質学会)。

物理実験によれば水中の気泡は終速度と呼ばれる一定の速度となって上昇する。終速度は気泡の大きさによって決まり直径2mmの大きさの気泡の終速度は15.3cm/秒で、直径が大きくなるのに比例して終速度も大きくなり、直径3.3mmのとき終速度は27.8cm/秒で最大となり、3.3mmより大きな気泡は大きさが増すとそれまでとは逆に23.0cm/秒を漸近線として減少するという。

図1 注水井の目づまりと解消



深井戸への注入水中に発生した気泡はごく小さいものは終速度が小さいので井戸の中を下降する注入水の流れに逆らって上昇することができず、流れにのって下降し、井戸のストレーナから帯水層に運び込まれる。帯水層に運び込まれた気泡は注入水の流速が急に減じるためにストレーナの外側にどンドン集積し、これが注入水の流れを阻害し、目づまりの原因となる(図1-1)。大きい気泡(直径3.3mmに近い気泡)は流れに逆らって注入水中を上昇し水面に達することができる。注入量が井戸の口径に対し多くなると注入水の下降流速が大きくなるため3.3mmより大きな気泡も注入水の流れにのって下降することになる。注水井によって注入できる水量は注入井の口径によって決まるといえる。

神奈川県温泉地学研究所の秦野市堀山下の注水実験場では注水井(口径300mm)から20m離れたところに観測井を掘削した(図1-2)。注水時、注水井と観測井の水位の上昇の差 Δs が水頭損失で、ダルシーの法則によりこの圧力差により注水井と観測井の間の地下水の流れが生じる。一定の注入量で注水を行っているとき Δs が増加することは一定の地下水の流れを起こすのに、水圧の増加を必要とすることになり、目づまりが進行していることを意味する。図1-3で

1000m³/日の注水を40日間続け、1時間ほど注入を中断した後、再び1000m³/日の注水を20日間続けたところΔSの値は注入中断以前の大きさに引き続いて増加した。これは中断前の目づまりが引き継がれたことを意味する。図1-4は前記と同じ条件の注水実験で中断の間に注水井から30分ほど揚水した後注水を再び開始した場合である。短時間の揚水によりΔSは初めの注水開始時の値に戻った。これは短時間の揚水で目づまりが解消したことを意味する。図1-5は注入井で700m³/日、900m³/日、1000m³/日、1200m³/日の注水をしたときのΔSの変化である。1200m³/日以上注水ではそれまでの注水量の増加と不連続にΔSの値が大きくなって目づまりが発生したことを示し、大量の気泡が帯水層へ流入したこととなる。この注水の後注入井で揚水すると汲み上げられた水の中に大量の小さな気泡が含まれていたことが確かめられた。

以上の実験結果を踏まえ秦野市が掘削した注水井では口径を450mmと大きくした(図1-6)。秦野市水道2号注水井では注入管の一部を透明の塩ビ管にしたので井戸に流入する気泡を観察することができる(1000m³/日の量で注水時 中央の白い筋が小さな気泡)。

表1 神奈川県温泉研究所注水実験井の水質

試料	採水日	水温(°C)	pH	蒸留発総残物	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe	Mn ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ SiO ₄	CO ₂	総計
注入水 (戸川浄水場)	1973 12.4	11.0	7.48	60.5	0.23	2.57	11.3	2.79	0	0	2.52	6.29	43.5		16.0	16.8	86.9
	1973 11.5	16.3	7.37	114	0.53	4.29	20.0	6.12	0	0	4.63	12.3	72.5	n.d	25.2	3.78	149.4

温泉地学研究所の注水実験で注入水には水無川の河川水を浄化した水道水を使用し、注入水中に鉄分(Fe²⁺)が全く含まれていない(表1)。浅層地下水を注入水に使用すると往々鉄分(Fe²⁺)が含まれていて、これが酸化されてFe³⁺となってストレーナ周辺に沈殿し目づまりの原因となることが多い。平塚市の注水井の目づまりはその可能性が大きい。

また酸素を遮断するため密閉状態で注入すると注水休止時に導水管内の中で発生した錆を井戸内へ流し込むことになり、これも目づまりを引き起こす原因となる。注入水は目で確認し、目づまりのもとになる汚れた水を注入井に流し込まない仕組みを作っておくことも大切である。

2 ため池による人工涵養と農閑期の水田からの人工涵養

秦野盆地の地下水涵養地域の堀山下において面積100m²のため池を掘り(図2-1)、ここに水を張って浸透させる地下水涵養実験を行った。地下浸透により、ため池の水面が低下する減水深は初めは27mm/時と大きな値を示したが日数とともに減少し、10日ほどで5.4mm/時ほどになってほぼ安定した(図2-2)。減水深から計算すると、このため池から13m³/日地下水涵養が可能である。手間や費用の割にそれほど大きい量といえないが、土地を購入するなどして一度造れば、半永久に地下水涵養が出来る。水をテーマとした公園に造って欲しい。

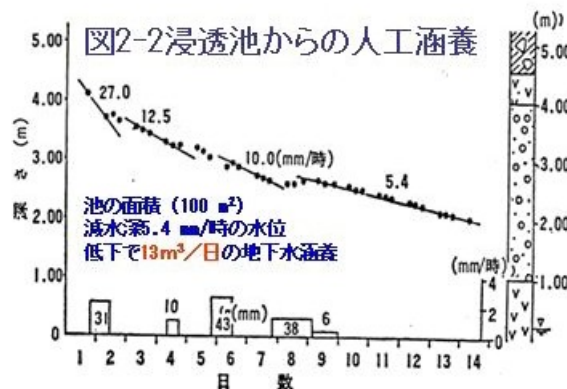


図2-3は冬季(農閑期)の1haの水田を借り受け、ここに農業用水路からの水を張って地下水涵養をしている実験風景である。水田の減水深はため池とほぼ同じ4.2 mm/時であるが、水田は広い面積を借り受けることができるので地下水涵養の効果は大きい。1haの水田から1000m³/日の地下水涵養が可能で、この値は1本の注水井戸の涵養量に相当する。

3 雨水浸透マス(雨水浸透槽)による人工涵養

図3-1は地下水涵養域戸川につくられた浸透マス掘削時の写真である。図3-4に示すとおり浸透マスの大きさ縦横2m、深さ3mに合わせて掘削し、中央に径1mの土管、その周りは砂利で充填し、地面付近は土で埋め戻した。注水は民家の屋根(55.2m²)と納屋の屋根(100.8m²)の降水である。この浸透マスから年間280m³/年の地下水涵養が可能である(長瀬和雄他1984 水文学研究会、1985日本地下水学会)。

地下水涵養量は民家の水道使用量程度で量は少ないが、その後の実験でこの施設では殆ど目づまりは起きず、半永久に地下水涵養が可能である(長瀬他 2000 神奈川温地研報告)。

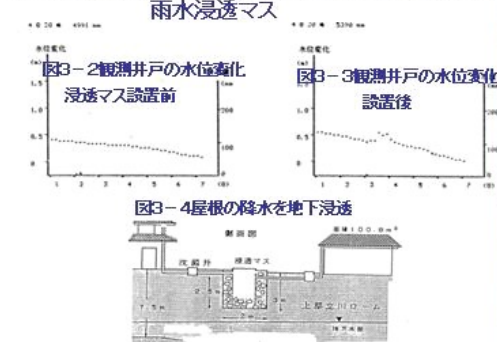


図3-2は浸透マス設置前の近傍の観測井戸の水位変化で、4.5mmの降雨で浅層地下水の水位に殆ど変化はなかった。図3-3は浸透マス設置後の同観測井戸の水位変化で4mmの降雨により明らかに地下水面上昇の効果が観測されている。表2は秦野盆地における10年間の日降水量の雨量度数と雨量の分布で、降水量のなかった日は2455日、降水量5mm以下の日数は545日などで降水の日でも量の少ない度数が多いことを示す。

表2 秦野盆地の日降水量度数と降水量

雨量度数分布 (1974-1983)

雨量(mm/日)	0.0	0.1-5.0	5.1-10.0	10.1-15.0	15.1-20.0	20.1-25.0	25.1-30.0	30.1-35.0	35.1-40.0	40.1-45.0	45.1-50.0	50.1-55.0	55.1-60.0
度数(日/10年)	2455	545	177	106	81	63	49	41	28	14	14	13	10
%	67.2	14.9	4.8	2.9	2.2	1.7	1.3	1.1	0.7	0.3	0.3	0.3	0.2
累積降水量(mm)	0	1362	1327	1325	1417	1414	1347	1332	975	595	665	682	573
%	0.0	7.3	7.1	7.1	7.6	7.6	7.2	7.1	5.2	3.2	3.5	3.6	3.1

雨量(mm/日)	-65.0	-70.0	-75.0	-80.0	-85.0	-90.0	-95.0	-100.0	-105.0	-110.0	-115.0	-120.0	-125.0
度数(日/10年)	6	7	6	6	1	7	4	3	0	1	3	2	0
%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
累積降水量(mm)	375	472	435	465	82	612	370	292	0	107	337	235	0
%	2.1	2.5	2.3	2.5	0.4	3.3	1.9	1.5	0.0	0.5	1.8	1.2	0.0

雨量(mm/日)	-130.0	-135.0	-140.0	-145.0	-150.0	-155.0	-160.0	-165.0	-170.0	-175.0	-180.0	-185.0	-190.0
度数(日/10年)	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0
%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
累積降水量(mm)	127	132	0	142	147	0	0	162	167	0	0	182	0
%	0.6	0.7	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.8	0.9	0.0	0.0	0.9	0.0

雨量(mm/日)	-195.0	-200.0	-205.0	-210.0	-215.0	-220.0	-225.0	-230.0	-235.0	-240.0	-245.0	-250.0	-255.0
度数(日/10年)	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
累積降水量(mm)	0	197	0	0	0	217	0	0	0	0	0	0	252
%	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3

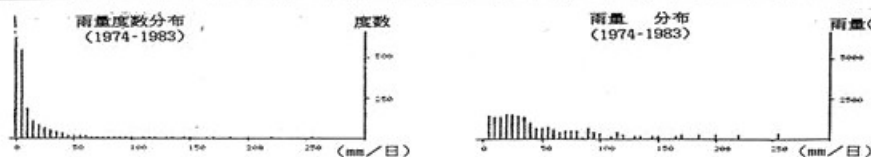


図3-5は浸透槽の設置状況で、中央に数本の塩ビの注水管、その周りは砂利で充填し、地面付近は土で埋め戻し、地面には芝生が植えられた。工場の屋根に降った降水が地下水涵養に使われている。あまり大規模な浸透槽を造っても降雨の度数が少なければ永い目で見れば効率の良い地下水涵養に貢献しない。日降水量が小さくとも度数が多ければその効果は大きい。表2から

れほどの規模の浸透槽をつくれれば効率が良く雨水涵養できるか検討することができる。表2に付した降雨の状況を示すグラフから100mm/日程度の日降水量を涵養ができる規模の浸透槽を作れば十分といえる。

4 秦野市が実施した地下水人工涵養

秦野市は神奈川県温泉地学研究所の実験結果を基に条例等を作って地下水涵養に取り組んでいる。図4は2003年までに秦野市が実施した人工涵養の実績である。市ではこの他に里山を整備し地下水涵養をはかる事業も実施している。



秦野市が実施している地下水の人工涵養の政策と本コラムで前回の秦野盆地の地下水流動図を重ね合わせると盆地の地下を流動する地下水は市民共有の財産で市民の理解のもとに利用しなければならないといえる。

第8回へ続く

長瀬和雄(長瀬技術士研究所)