

## 講座

## 「降雨浸透」

## Ⅲ. 都市部における雨水浸透阻害と見かけの地下水位

高村 弘毅\*

## 1. はじめに

都市における建築物や舗装道路のような非透水性物質による地表被覆率が拡大し、雨水の地下への浸透が阻害され、地下水の涵養システムや循環システムが損傷していることが、著者をはじめ多くの研究者によって報告(高村ほか, 1987;西,1988)されて久しい。しかし、近年、比較的多くの深井戸の水位が上昇し、都市の地下水環境が回復し、取水利用が可能になっているのではないかとの報告が多く、前述のとおり、重大な疑問を持たざるを得ない。その理由は、地下水取水量が以前より減少しているにもかかわらず浅井戸の水位が回復していないこと、湧水の湧出量や涸渇状況が復活していないこと(高村・和田, 1995;高村,1996a, 1996b)、一時的に浅層地下水位が上昇し、湧水湧出量が増加することがあっても短期間の内に元へ戻ること、不圧地下水と被圧地下水の交流メカニズムが存在することもあることからすると考え方に無理があること、浸透マスなどの諸透水施設による雨水浸透の促進効果が可視的に少ないことなどからである。このことから、報告されている深井戸の水位の上昇は、浅層地下水を含む都市における地下水環境が過剰揚水時代以前状態に回復したために起こる現象であるとは考え難いことから地下水位上昇のメカニズムを概念的にはあるが検討することとした。実例的には東京都の資料により2~3の算出例を示した。

## 2. 地表被覆率の拡大と雨水の地下水への浸透障害

都市における建物や舗装道路などの非透水性物質の地表被覆は、雨水が地表から浸透するのを阻害するばかりでなく、河川への直接流出を高め、地表・植物からの蒸発散量を減少させ、水の循環に大きな影響をもたらしている。特に、雨水による地表からの垂直方向への浸透の減少は、単に、地下水の涵養量を減少させるばかりでなく、地中水の挙動に大きく影響する。そこで、先ず、Fig. 1により、被覆率と雨水の地下浸透率の関係について東京都の区部(中抜き)の○印と多摩地区の山地部(雪印)を例にして検討してみる。

Fig. 1は、横軸に被覆率、縦軸に地下浸透率(左軸)と流出率(右軸)をとり、両者の相関を示したものである。資料は東京都の1968年と1986年のものである(東京都,1994)。細い実線は、被覆率0%のとき、雨水浸透を62%として(残りの38%が流出と蒸発散に相当)雨水浸透率から計算した両者の傾向線、数字が丸印で囲まれている黒点は東京都の諸河川の流出率から計算した両者(被覆率と浸透率)の関係、波線は被覆率100%のとき、流出率を82%(残りの18%が蒸発散量に相当する)としたときの傾向線、太い実線は両傾向線の平均線である。

Fig. 1によると、多摩地区での被覆率は1968年から1986年にかけて約30%から約20%増加して約50

\* 立正大学文学部地理学科

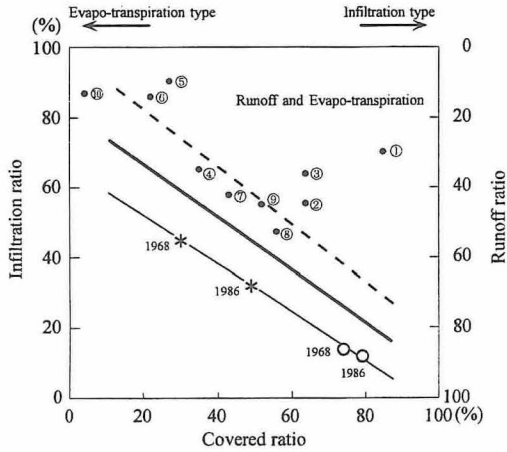


Fig.1 Relationship between surface cover ratio and rainfall infiltration ratio.

--- : Trend line calculated from surface runoff ratio (dots)  
 — : Trend line calculated from infiltration ratio  
 ——— : Mean of those two lines

%となったことで、浸透率が約15%減少して約30%となった。区部では、1986年からの被覆率の増加率（約5～6%）は小さいが、その値が高いため1986年の被覆率（約80%）に対して約15%の浸透率に過ぎない。また、河川の流出率と被覆率の相関から推定する浸透率と、被覆率と浸透率から

推定する流出率には約30%の差が生じる。これは、流出率に未知数の蒸発散が含まれるためであると考えられるので、両傾向線の平均値が現実に近い値であると考えられる。

### 3. 地下構造物による地下水位上昇効果（見かけ水位）と涵養阻害空間

#### 1) 人工地下空間と見かけ地下水位

Fig. 2「地下構造物による効果（上昇）地下水位（見かけ地下水位）」は、地表面と地下に人工の構造物が出来た場合に地下水環境に与える影響を想定した概念図である。

地層はローム層と礫層の2層から構成されるとする。(1) 開発前は、自然の状態で不圧地下水位は礫層の上限の位置にあることが井戸の水位で判る。同じ場所に地下(D)の部分掘削して地下2、3階、地上10階建のビルが建設されたとする(右の開発後の図)。開発前までは土壌水分と地下水を含んでいた地層が取り去られ、代わってコンクリートの地階空間が同じ容積で占有する。地階部分にあった帯水層は、建設発生土として撤去され、地中水や地下水が容量的に減ったにもかかわらず

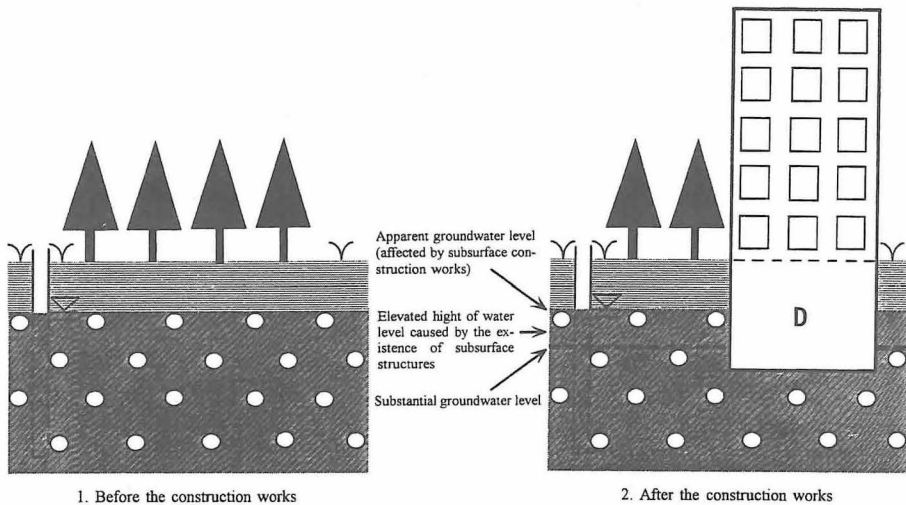


Fig. 2 Elevation of groundwater level caused by subsurface construction works.

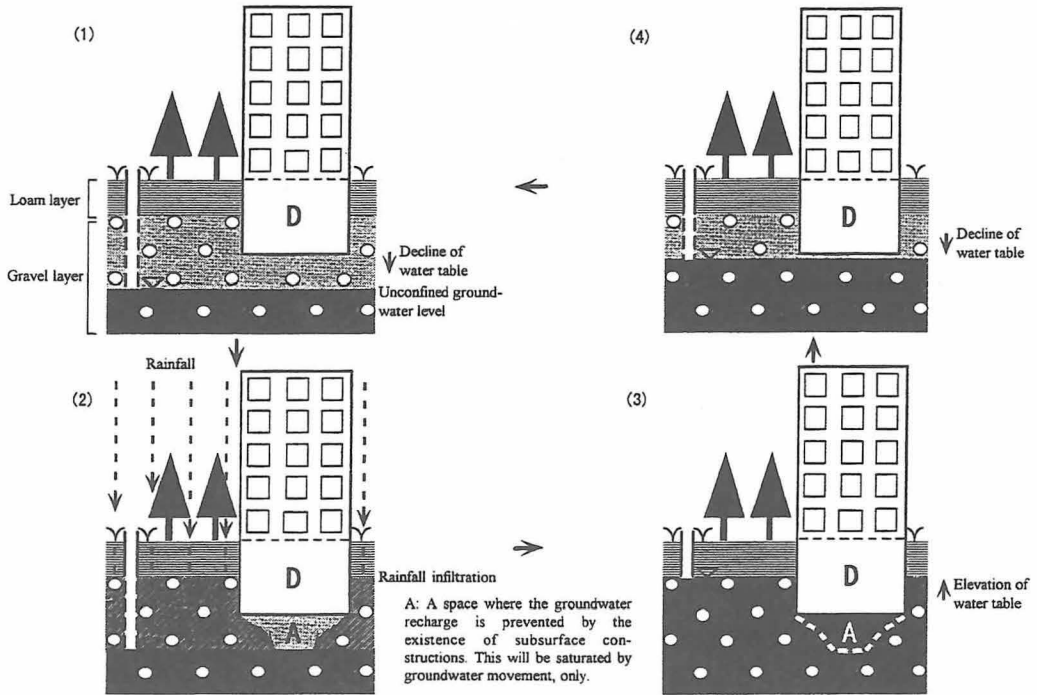


Fig. 3 Non-recharge space of groundwater by the impact of subsurface construction works.

らず、井戸の水位は開発前と同じ位置にある。これが地下建造物によって上昇した効果上昇地下水位、いわゆる見かけ上の地下水位ということになるのであり、実際の建物の容積の分を除いた地下水位（図中の換算実質地下水位）は、帯水層の間隙率の効果相当分下位にあることになる。従って、見かけ地下水位は真の意味の地下水環境の回復を意味しないことになる。

2) 地下涵養阻害空間の形成と地下水収支上の問題

Fig. 3「地下構造物による涵養阻害空間」は、地表や地下の人工構造物が雨水による地下水涵養と地下の保水環境、地下水循環などに如何に影響しているかについての概念図である。Fig. 3の地層のモデルは、Fig. 2と同じ2層構造であるので参照されたい。地下水位の昇降運動は礫層内で起こっていることを仮定している。

Fig. 3の (2)、(3)は、雨水の垂直涵養が阻害

される空間（地下建造物直下のAの部分）と、そこにおける礫層中の地下水位の昇降に伴う飽和時と、不飽和時の地下水循環への貢献の仕方を説明しているものである。地下構造物直下の阻害空間は、湧水などの涵養水源として寄与できるのは、地下水位が上昇し間隙が飽和されたときに限られてしまう。この阻害空間の容積こそが、都市の地下において年々増加しているのである（高村, 1994）。

4. 東京都の建設発生土量と地中水貯留空間の減少の推移

1) 新宿副都心の例

計算途中であり、十分な資料を掲げることが出来ないが、Table 1に新宿副都心をはじめ、都内の16体のビルの場合を例に、地下建造物の建設に伴う掘削土量と、更に、それに伴う地中水貯留空間と地下水貯留空間（比産出水相当量）の減少量を算出した。計算法は、建築面積に基礎底深を

Table 1 Reduce the storage space of soil water due to the construction works of main sky scrapers in Tokyo Metropolitan.

No.	Site	Construction space	Depth of groundworks	Volume of subsurface space	Porosity*	Effective porosity**
		(m <sup>2</sup> )	(m)	(m <sup>3</sup> )	Corresponding amount to soil water and groundwater (m <sup>3</sup> )	Corresponding amount to yielded groundwater (m <sup>3</sup> )
A	Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku	3,667	27.5	100,842	30,253	15,126
B	Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku	1,835	28.0	51,386	15,416	7,708
C	Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku	9,553	20.0	191,057	57,317	28,659
D	Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku	3,896	23.8	92,725	27,817	13,909
E	Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku	3,440	20.5	70,522	21,157	10,578
F	Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku	11,042	20.0	220,839	66,252	33,126
G	Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku	13,729	28.4	390,313	117,094	58,547
H	Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku	9,553	28.0	267,495	80,249	40,124
I	Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku	3,797	23.5	89,066	26,720	13,360
Subtotal		—	—	1,474,245	442,274	221,137
J	Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku	6,534	22.0	143,737	43,121	21,561
K	Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku	3,140	24.6	77,087	23,126	11,563
L	Kasumigaseki, Chiyoda-ku	6,178	20.8	128,502	38,551	19,275
Subtotal		—	—	349,326	104,798	52,399
M	Ikenohata, Taito-ku	790	16.5	13,028	3,909	1,954
N	Tsukuda, Chuo-ku	983	10.5	10,324	3,097	1,549
O	Higashi-ikebukuro, Toshima-ku	39,775	23.0	914,816	274,445	137,222
P	Kasuga, Bunkyo-ku	9,921	25.3	250,501	75,150	37,575
Subtotal		—	—	1,188,669	356,601	178,300
Total		—	—	3,012,241	903,672	451,836
					*30%	**15%

Approximately one-quarter of all multistories is listed.

掛け、間隙率(30%)、有効間隙率(15%)によって、水分相当量と比産出水相当量を概算した。これによると、新宿副都心地区の9体のビルで約22.1万m<sup>3</sup>(間隙率から産出した地中水分相当量にすると、約44.2万m<sup>3</sup>)、1建体最高約5.9万m<sup>3</sup>(同、11.7万m<sup>3</sup>)もの地下水の貯留空間が消滅したことになる。池袋のある高層ビルの場合、消滅地下水貯留空間は更に大きく、約13.7万m<sup>3</sup>(同、27.4万m<sup>3</sup>)の地下水相当分の地下水貯留空間が減少している。

## 2) 東京都の地中水減少量の推移

それでは、どれぐらいの地中水、地下水(比産出水相当量)が東京都から消滅しているかについて、建設発生土の発生量から算出してみた。計算は前項で述べた仮定条件に基づく方法によった。

Table 2、Fig. 4は、東京都の資料により、1986から1995年までの各年における建設発生土の発生量推移と、それから推算した地中水分相当量と

Table 2 Changes in surplus soil produced by construction works and reduced amount of subsurface water in Tokyo Metropolitan. Fiscal year data were used for the calculation.

Year	Urban side	Rural side	Total	Porosity*	Effective porosity**
				Corresponding amount to soil water and groundwater	Corresponding amount to yielded groundwater
1986	526	138	664	199	100
1987	542	169	711	213	107
1988	556	141	697	209	104
1989	536	194	730	219	109
1990	567	245	812	244	122
1991	617	238	855	257	128
1992	462	189	651	195	98
1993	441	164	605	181	91
1994	526	113	639	192	96
1995	483	92	575	173	86
Total	5,256	1,683	6,939	2,082	1,041
				*30%	**15%

(Unit: ×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>)

地下水相当量(地下水の比産出水相当)である。これらによると、その推移は、1991年を最高(地中水相当量:257万m<sup>3</sup>、地下水相当量:128万m<sup>3</sup>)に以降年々低下し、1995年には約32%減少し、86万m<sup>3</sup>となった。この減少傾向は、バブル経済の

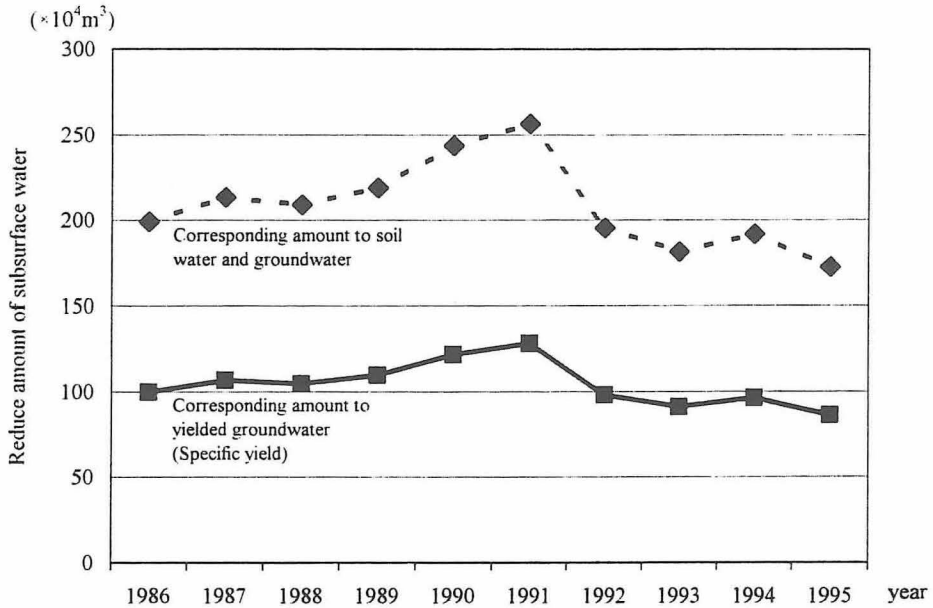


Fig. 4 Change in the lost groundwater corresponded to the produce of surplus soil which replaced to the multistories in Tokyo Metropolitan. Fiscal year data were used for all calculations in this paper.

崩壊により、建設ブームが去った影響が現れているものと思われる。しかし、1995年までの10年間に、地中水分にして2,082万m<sup>3</sup>、地下水相当量にして1,041万m<sup>3</sup> 賦存量が消滅し、これに相当する地下における水の循環系の容器が消失したことになることを考えると、大都市の貰い水の水道水源が気になってくる。

## 5. おわりに

大都市の市街区においては、地表空間の圧迫から、地上空間、地下空間へと立体利用への指向が強まっている。このような動向の中で、地震や台風など災害に対する安全性からも、地下街、地下事務所、地下駐車場、地下倉庫、地下変電所、高圧送電トンネル、道路、鉄道、エネルギー貯蔵、食糧貯蔵、上・下水道、地下の貯水池・放水路、洪水調整型雨水地下貯留水路、情報通信施設、諸廃棄物などの利用空間として、地下空間の開発の必要性は将来も計り知れない(西,1988)。防災型近代都市の計画には、地下高深度(−40〜−50m)空間の利用はもとより、アーバン・ジオ・グリッ

ド構想(日産)、地下歩道ネットワーク構想(建設省)などのような地下の巨大都市構想が21世紀の大きな課題となるのではないかと考える。このことは、とりもおさず、地下における水分の受け皿である地層容積の減少、すなわち、地下水などの地中水の減少の原因となっている。このような人為的な行為に起因する大きな地下水障害が存在するにもかかわらず、地下水循環(主に地中水の量、循環系など)の可視的な一部の水文現象により、都市の地下水の現象が全域的に自然へ回帰しているとの結論を得るには、浅層地下水位や湧水の湧出量の回復など、多くの裏付けが必要となる。もし、慎重性を欠く見解が、一人歩きしたり、将来の地下水対策に単純に利用されるようなことがあっては禍根を残すことになる。しかしながら、現実問題としては、過剰揚水時代の地下水位低下時に建設された建物の地下底面に加わる地下水圧や近年の建築基礎工事時の深層地下水圧による障害の発生にも注目しておかなければならない。このことから、都市における地表・地下の建造物が地下水分の循環系に与える影響については多くの未解決の問題が残されていることを指摘してお

きたい。

理論的概念により、現象を想定し、それを立証する手法が考えられつつも、資料の収集、計算などの事情から作業半ばにして報告することとなった。近い適切な機会に補完して続報をすることとしたい。

## 謝 辞

文末になりましたが、本研究にあたり、東京都環境保全局水質保全部水質規制課、飯田輝男氏、岡田信一郎氏、並びに立正大学大学院生の稲村明彦君にご協力いただいた。ここに記して深く感謝する次第である。

## 文 献

高村弘毅 (1994) : 都市の水循環の再生. 建設月報、No. 539, 30-32.

高村弘毅 (1996a) : 都市の水辺環境を回復するための予測計算. 立正大学大学院紀要、No. 12, 1-56.

高村弘毅 (1996b) : 都市の雨水浸透施設による地下水涵養. 地下水学会誌、38. 349-357.

高村弘毅・和田俊行 (1995) : 都市部における崖線湧水の水収支解析について. 雨水技術資料、17, 23-42.

高村弘毅・田中信太郎・梶原茂喜 (1987) : 雨水地下浸透モデル実験とその問題点—世田谷区成城における場合—. 地下水学会誌、29, 53-66.

東京都環境保全局水質保全部水質保全課 (1994) : 東京都地下水保全ガイドライン. 59p.

西 淳二 (1988) : 都市地下空間の活用. 環境情報科学、17, 29-33.

(受付 1997年7月24日)