

貯留浸透モデルによる雨水浸透工法の流出抑制効果の評価
Method for evaluating runoff restriction effect by storm water infiltration

建設省土木研究所 正員 吉野 文雄
建設省土木研究所 正員 寺川 陽
建設省土木研究所 正員 田子 秀徳

1. はじめに

宅地や工業団地の造成に伴い、当該地区からの降雨流出流量が増大し、中小河川や用排水路等に、大きな流量の負担増となっている。このため、これらの地区からの流出を抑制する対策のひとつとして、開発者に対し、所定の規模の貯留施設の設置を義務付けるという施策が取られてきたが、流出抑制効果の一部を降雨地下浸透処理によって対応しようとする試みがなされている。現在、その適切な設計、施工のための指針の作成が各所で行われているところである。

ここでは、雨水浸透処理施設の設計にあたって必要となる要素の1つである効果の評価方法について検討した結果を報告したい。著者らの提案する貯留浸透モデルを、住宅都市整備公団昭島つつじが丘ハイツでの実測データによって検証し、モデル的な団地について水平カットモデルとの比較を行ったものである。

2. 調査対象地域の概要

住宅都市整備公団昭島つつじが丘ハイツでは、昭和56年3月、敷地面積の約7%にあたる1.7haの部分について雨水浸透処理施設の試行建設が行われた。観測対象区域は、図-1のような4ブロックに分割できる。ブロックⅠ、Ⅱが浸透処理施設を設置した部分、ブロックⅢ、Ⅳが従来がたの雨水浸透処理施設を有する部分であって、おのおの面積及びその工種手別内訳は表-1に示すとおりである。表中の流出係数は下水道設置基準によるものである。

表-1. 工種別面積と浸透施設数

工種	流出係数	ブロック1	ブロック2	ブロック3	ブロック4	合計
建物	0.95	1635.0	803.8	749.2	2711.9	5899.9
道路	0.90	—	368.7	1145.9	4151.6	5666.2
駐車場	0.90	—	2404.5	—	—	2404.5
コンクリートタイル	0.85	401.4	1642.5	371.9	1266.9	3502.7
平版舗装	0.70	38.0	1173.9	393.0	1159.0	11082.6
緑地	0.10	448.4	4352.6	303.1	5978.5	11082.6
広場	0.20	—	32.2	—	328.2	360.4
砂場	0.10	—	76.7	—	—	76.7
計		2522.8	10674.9	2963.1	15596.1	31756.9
浸透例		10個	39個			49個
浸透トレンチ		50.5m	443.5m			494m
浸透側溝		87m	56m			143m
透水性舗装		0	2404.5m ²			2404.5m ²
貯留容量		18.71m ³	79.37m ³			98.08m ³

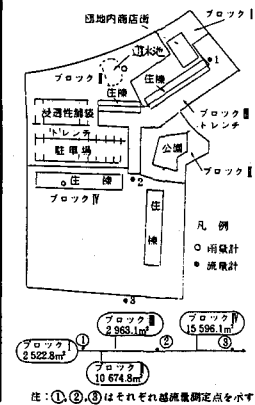


図-1. 調査対象地域

当該地区の土質は、地表下2.5～3.0m以深に粗粒種径の立川段丘礫層があり、その上を立川ローム層が被っている。地下水は、地表下10m前後である。浸透施設の設置位置に当る深さ30cmと60cmについて土質試験を行った結果によれば、透水係数（室内試験）は、 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ cm/sec}$ 程度であった。

3. 浸透施設の能力測定

浸透施設の浸透能力を把握するため、水道水を用いた注入実験が行われた。この結果の1例を図-2、図-3に示す。図-2は浸透槽、図-3は、地下埋管についての実験結果であるが、いずれも注入開始後2時間程度で定常値に達しているのがわかる。又、浸透量は、浸透面上の水位に比例する傾向が明らかにされており、ほぼ直線的な関係で近似できる。

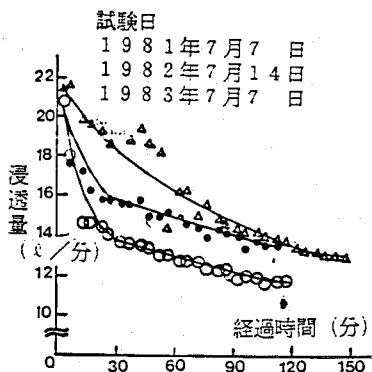


図-2. 浸透槽による浸透実験

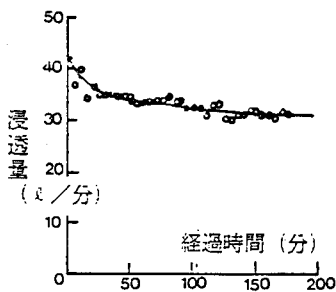


図-3. 地下埋管による浸透実験

注入試験の結果得られた浸透量は、定水位法、変水位法で求められたが、この浸透量が実降雨中も確保されるかどうかを、遊水池内の地下埋管（ブロックⅡ）と、浸透側溝（ブロックⅠ）に水位計を設置して調査した。浸透量は、地下埋管と側溝内の水が下流へ流下しなくなる水位以下の時に、流入する降雨水と地下埋管や側溝の貯留量の増減を計測して求めた。その結果を水位との関係で示したものが図-4、図-5である。

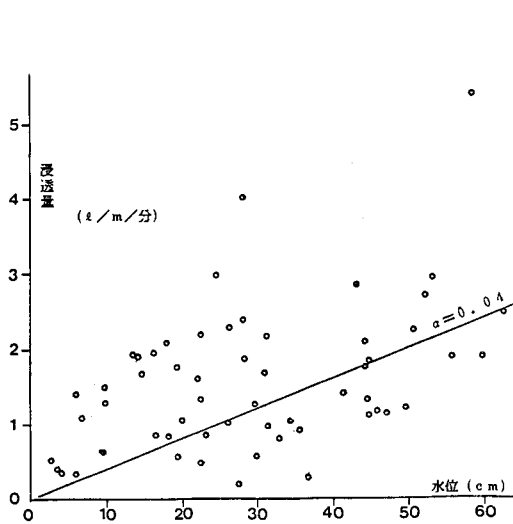


図-4. 浸透側溝の浸透量と水位の関係（Ⅰ）

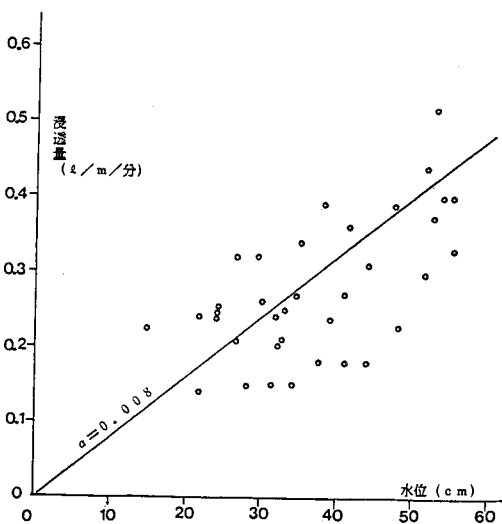


図-5. 地下埋管の浸透量と水位の関係（Ⅱ）

図中の直線は、流出計算のためにブロックⅠとⅡを代表する水位～浸透量関係として用いたものである。ブロックⅠ（盛土地区）の浸透能力はブロックⅡに比べ約1/5であるのがわかる。

4. 貯留・浸透モデルの構築

住宅団地からの流出計算は通常、合理式により行なわれる。これ以外に修正RRL法や準線型貯留法といった方法も稀に用いられるが、市街地からの流出は、降雨に対する応答が非常に早く線型関係でもほぼ満足する結果が得られることから、流出係数を下水道設置基準の値とした合理式によるものとした。

モデルの概要は図-6のとおりであり、その運用ルールは次の①～⑦とした。

①流出量は全流出量を合理式で求めその全量が一度浸透施設に流入する。

（ブロックⅠ、Ⅱとも現実の状況を反映していると考えて良い）

②流入量は、浸透施設の空隙部分だけ貯留される。（表-1）

③浸透量を水位に比例して差し引き、なお貯留しきれない流入量を下流への流出量とする。

④浸透施設は、地下埋管、浸透枳、浸透側溝、透水性舗装が採用されているが、実測の結果透水性舗装部からの流出は全く認められないことから、この部分からの流出は除外する。

⑤浸透施設の浸透能力は、施設の構造や設置されている場所の土質、浸透時の水位、等により異なるが、ここでは枳1個の浸透量が地下埋管1m当りの浸透量の2～3倍であるという実験結果を用いて枳1個を1mの地下埋管に相当するものと考えた。また、側溝は地下埋管と同一であるとする。

⑥浸透施設設置区画内の浸透枳や地下埋管、側溝で計測した浸透能力は、場所毎に異なっている。しかしその相違は、盛土を施したブロックⅠ、在来地層のブロックⅡの各々の地区内での試験地に分類して整理すると、あまり大きな差を示さなくなる。そこで、このブロックを代表する浸透量と水位の関係として図-4、図-5に示す直線関係を用いる。

⑦浸透量は全ての施設を単位当りの浸透量に置換し、

$$QL = \alpha HL \quad (QL: \text{浸透量}, H: \text{地下埋管内水位}, L: \text{地下埋管長}, \alpha: \text{係数})$$

の形で評価する。

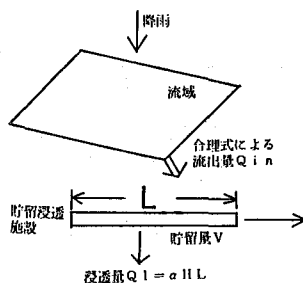


図-6. 貯留浸透モデルの概念図

5. 調査対象地域における流出計算

図-7に、貯留浸透モデルによる実測流出量と計算流出量との関係を降雨規模の大きな14降雨に適用した結果である。

降雨規模の小さな場合に、計算流出量が若干大きくなる傾向を有する。

この原因は降雨規模の小さな時の流出係数の値が、採用値よりも小さいこと、および浸透工法の浸透量は初期の浸透量が大きく一般に降雨後2～3時間で一定値になる傾向をもつが、ここで提案した「貯留浸透モデル」ではこのような取り扱いがなされていないことに、主因があるものと推察される。

図-8は、ピーク流出量（mm/30分）を実測値と計算値について示したものである。総流出量に比べて、点のちらばりが大きくなっているが、ほぼ妥当な計算であると言って良い。図-9に示す水平カットモデル（有効雨量として（実雨量－一定量の浸透量）を用いるもの）に比べ、適合度が良いと言える。

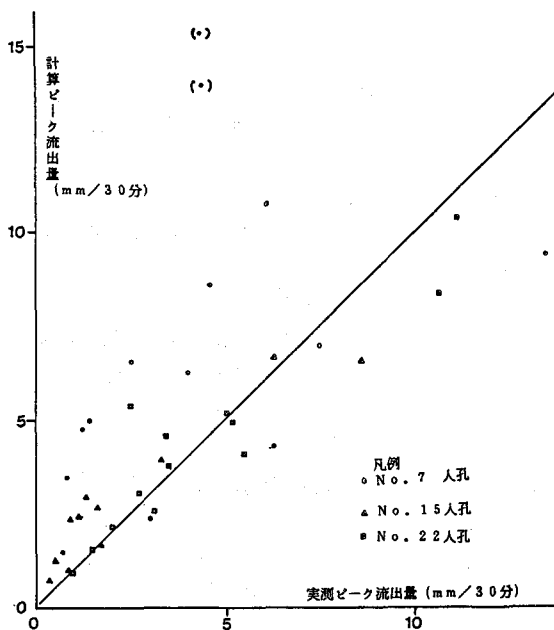


図-8. 貯留浸透モデルによる計算値と実測値の比較
(ピーク流出量)

ピーク流出量についても、総流出量の場合と同様に降雨強度の小さいところで大きな値となっているがこの理由は先に総流出量について述べたところと同じであろう。ブロックⅠからの流出は先述したように、この地区の浸透能力が盛土地区で小さいこと(ブロックⅡに比べ約1/5)、および浸透工法の採用数量が少ないこと(ブロックⅡに比べ約1/4)によりかなりの流出量が観測されている。一方、ブロックⅡからは、No.7, No.10, No.12, No.13の4洪水しか流出が観測されないが $\alpha=0.04$ とした貯留浸透モデルによる計算は、これらをよく再現できた。

6. モデル団地における流出抑制効果

貯留浸透モデルを用いる流出計算のための、モデル団地の土地利用および浸透工法の設置数量を住宅都市整備公団が昭和48~53年度にかけて建設した中層住宅団地から求めた。この平均的な土地利用と平均流出

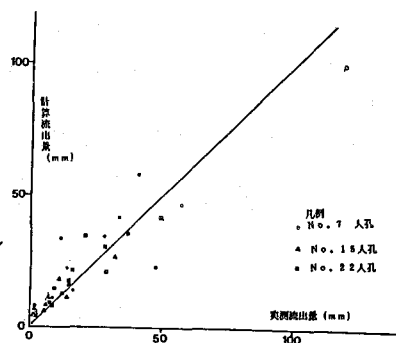


図-7. 貯留浸透モデルによる計算値と実測値の比較(総流出量)

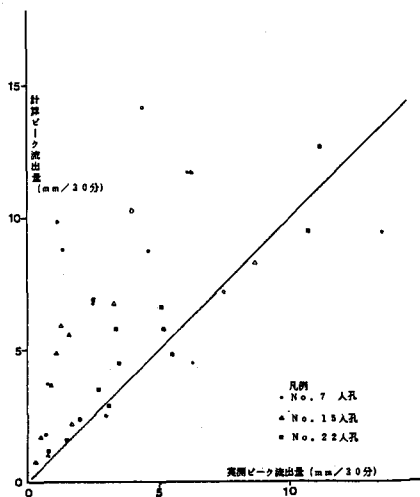


図-9. 水平カットモデルによる計算値と実測値の比較(ピーク流出量)

係数を表-2に示す。この表によれば、1ha当りの不浸透面積率は57%と成る。これに対し在来工法で必要となる雨水排水管等は、表-3に示すように総計で1071mになるが、これらを対象として浸透工法が用いられるものとする。なおこれ以外に駐車場、歩道等には1,810m²の透水性舗装が行われるものとする。各施設内の貯留量は地下埋管については幅60cmの地下埋管に水位50cmまで貯留することを考え空隙率0.3として算出した。浸透率は、その容積(φ=0.5m)×個数とした。表-2. 集約団地における土地利用と平均流出率

種別	平均利用率%	流出係数
住居建物	50.9	0.9
公共施設	2.5	0.9
公園	8.2	0.1
緑地	3.2	0.1
歩道・アプローチ	6.5	0.85
駐車場	11.7	0.85
供給処理施設	2.7	0.9
その他	2.7	0.85
	100.0	0.55

この貯留容量の考え方は、砕石部の空隙率が実際にはほぼ0.4あるのに対して0.3を採用していること、および各施設の設計水位は60cm以上あるのに、これを50cmとして少なく見積っていること、浸透率は砕石部の貯留空間を無視していること等により、現実のものより約2割前後少なめにしていることに相当する。なお透水性舗装についてはその貯留容量相当分(ここでは46mmであるが計算上50mmとした)だけの流出抑制がある(浸透は考えない)として、降雨が50mmに達すると流出(流出係数0.9)するものとした。

以上の前提のもとに流出抑制効果を1haの団地を対象として貯留浸透モデルで計算した。計算の時間間隔は5分(合理式の洪水到達時間と仮定)で行い、東京都の中央集中降雨形状を各確率規模について求め入力とした。

図-10はピーク流出量の削減効果を横軸に浸透能力を表わす指数α〔これは毎分の単位水頭当たりの浸透能力を表わす。Qℓ=αH, Qℓ: 浸透量(ℓ/分), H: 水頭(cm), α: 係数(ℓ/cm/分)〕をとって表現したもので各確率規模毎にピークの削減効果が評価できる。

ここでα=0は浸透がない時のものであるから、αが大きくなるとピーク減少の程度が大きくなり、降雨規模が大になるにつれてほぼ直線関係で表現しうることがわかる。なお同図には浸透能力をその計画最大値(H=50cmの時のQℓ)とした時の水平カットモデル計算の結果も示されているが、貯留浸透モデルでは、一時的に降雨を貯留し、水位に応じた浸透を考慮していることから、水平カットの場合より効果が大きくなることが示されている。

貯留浸透モデルでは、先述したように昭島での実測結果をより良く表現していることから、このモデルでの効果評価の方がより実際に近いものといえる。

表-4は、前述の計算結果を在来工法のものに対比して表したものである。ここではα=0.008(これは50cm水頭で0.4ℓ/30分/mの浸透量)と、α=0.04についてのものであるがα=0.008の場合総流出量の比で0.24~0.53、ピーク流量の比で0.69~0.75、同様にα=0.04の場合0.00~0.17、0.08~0.63程度にまで流出量を削減する効果をもつことがわかる。

この1haのモデル計算では浸透工法の数量が最大限のとりうる値として仮定されているので、地層の浸透能力(α)の大きなところでは非常に大きな流出抑制効果を示すことが判断される。この試算で採用された

表-3. 在来工法の雨水排水管等

施設	単位	1ha当たり数量(L)	浸透施設	施設内貯留量(m ³)
雨水排水施設	雨水管	m	浸透地下トレンチ	50.94
	雨水2寸	ヶ所	浸透ます	4.42
	側溝	m	浸透側溝	42.3
駐車場	m ²	1,160	透水性舗装	53.3
歩道・アプローチ	m ²	650		29.9

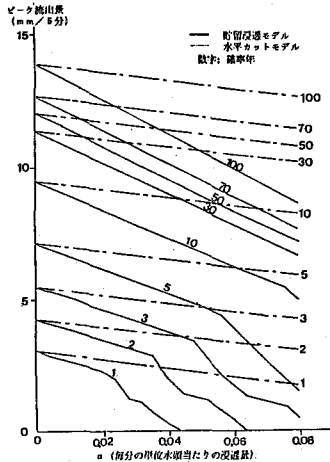


図-10. 1ha流域における貯留浸透モデルと水平カットモデルの比較(ピーク流出量)

α の最大値 ($\alpha=0.08$)は、トレンチ 1 m 当り 4 ℓ /分、従って 240 ℓ /時間の能力のものであるが、この程度の浸透能力は風積のローム層での注入実験でしばしば得られる値であり、これに安全率等を考えるとしても、相当の流出抑制効果を期待できるものといえる。

表-4. 流出総量の削減効果

上段 $\alpha = 0.008$
 下段 $\alpha = 0.04$

確事年	降雨量		在来工法地区 (A)		浸透工法地区 (B)		(B) / (A)	
	総雨量	5分雨量	総流出量	ピーク流出量	総流出量	ピーク流出量	流出量比	ピーク流量比
1	124	64	90	3.9	21.6	2.7	0.24	0.69
					0.3	0.3	0.00	0.08
					35.4	3.9	0.31	0.71
2	161	91	116	5.5	4.9	2.1	0.04	0.38
					50.6	5.1	0.35	0.72
3	197	117	143	7.1	10.1	3.8	0.07	0.53
					60.0	6.7	0.38	0.73
5	217	151	158	9.2	14.7	5.2	0.09	0.57
					85.2	9.0	0.44	0.74
10	272	202	198	12.2	24.7	7.3	0.12	0.60
					114.1	10.9	0.48	0.74
30	327	242	237	14.7	35.2	9.0	0.15	0.61
					123.7	11.5	0.49	0.74
50	345	256	250	15.5	38.9	9.6	0.16	0.62
					113.3	12.1	0.50	0.74
70	364	269	264	16.3	42.7	10.1	0.16	0.62
					152.7	13.4	0.53	0.75
100	400	296	290	17.9	50.7	11.3	0.17	0.63

7. まとめ

住宅都市整備公団昭島つつじヶ丘ハイツの浸透施設の実測データを用いて、貯留浸透モデルによる流出計算を行い、その適合性を検討し、従来の水平カットモデルとの流出抑制効果の比較を行った。これらの結果をまとめると以下になる。

- ①貯留浸透モデル (図-6) による昭島つつじヶ丘ハイツでの流出計算は、実測値と比較的良く合い、流出モデルとして十分使用できる。
- ②従来の水平カットモデルよりも貯留浸透モデルの方が実測値に対する適合度が高く、流出状況を良く表わしている。
- ③貯留浸透モデルは、碎石の空隙への貯留及び水位変化による浸透を表現しており、水平カットモデルに比べて、流出抑制効果の効果をより適切におこなえる。
- ④1 haのモデル団地において従来の工法と浸透工法による流出量を貯留浸透モデルにより試算した結果 $\alpha=0.08$ (50cm水頭で0.4 ℓ /分/m) の場合総流出量比で0.24~0.35、ピーク流量比で 0.69~0.75、 $\alpha=0.04$ の場合総流出量で0.00~0.17、ピーク流量比で0.08~0.63程度にまで流出量を削減する効果をもつ。

最後に、本解析に使用したデータは住宅都市整備公団が観測したものであることを記し、ここに関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

1. 石崎他; 雨水の地下浸透処理による流出の抑制; 土木学会誌 S 57. 2
2. 浸透型流出抑制施設の浸透能力把握手法に関する調査報告書; 土木研究所資料第2126号 S 59.8
3. 地下埋管の原理と効果—地下水涵養と流出抑制—; 土木研究所資料第1590号 S 56.11
4. 地下水涵養技術の応用に関する技術—第二版—; 土木研究所水文研究室 S 58.3
5. 雨水浸透施設からの流出のモデル化; 土木学会第37回年次学術講演会
6. 地下浸透を考慮した流出抑制法の開発実験に関する報告書; 土木研究所資料第1767号 S 57.3
7. 吉野; 浸透型貯留槽からの浸透流の解析と流出抑制効果の評価; 土木技術資料 24-11, S 57. 2