

表層浸透能の変化を考慮した都市小流域における洪水流出解析

明星大学理工学部 正会員 藤村 和正*
 (株)新光建設 塩月 智
 明星大学理工学部 大屋 秀智

1. はじめに

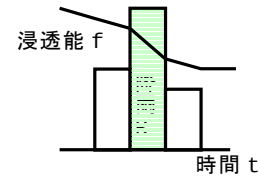
有効降雨を的確に算定するためには、浸透現象をより实际的に表現することが肝要である。今日まで様々な浸透モデルが開発されているが、降雨強度と浸透能の関係については降雨強度が地面の浸透能より大きくかつ一定であることを条件としている場合が多い。近年、Diskin と Nazimov は降雨強度を考慮した雨水浸透モデルを考案した^{1)、2)}。このモデルは非定常降雨に対しても浸透能の計算が可能であり、流出解析への応用が期待できる。

本研究では、Diskin と Nazimov が考案した雨水浸透モデル(以下、Diskin-Nazimov モデルと呼ぶ)により自然降雨の浸透能解析を行い、モデルの自然降雨への適用可能性を検討するとともに、さらに、多摩丘陵の都市小流域である永山試験流域において Diskin-Nazimov モデルを有効降雨の計算に用い、Kinematic wave 法による雨水流計算と組み合わせた洪水流出解析を行い、その再現性について検討する。

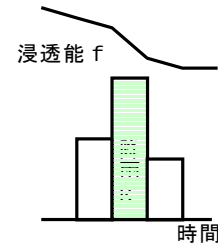
2. 非定常降雨の浸透能解析の方法

Diskin-Nazimov モデルの基本構造は原著論文^{1)、2)}また前報³⁾に記されているので、ここでは非定常降雨を与えた場合の浸透能の計算¹⁾について概要を記す。

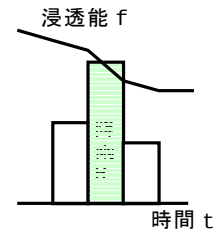
本モデルは、初期浸透能 f_0 、終期浸透能 f_c 及び表層水分保留量の最大値 S_m の 3 つのパラメーターにより浸透能 f と表層水分保留量 S との関係を線形的に(1)式で表している。また、単位時間当りの表層水分保留量の変化 ds は、実浸透度 q と地下水涵養量 g との連続条件により(2)式で表される。単位時間を計算時間ステップ Δt として時間刻みの始めと終わりの添え字を b, e とすると(2)式は(3)式で表される。非定常降雨の浸透能計算は、時間ステップ Δt における浸透能と降雨強度の関係を図1に示すように、①浸透能が降雨強度より小さい場合、②浸透能が降雨強度より大きい場合、③浸透能が降雨強度より大きい値から小さい値に変化する場合、の 3 つの計算過程に分け、それぞれの場合の表層水分保留量の関係式 S_e を(4)式、(5)式、(6)式で表す。即ち、これらの式と(1)式の浸透能式を用いることにより、逐次計算によって非定常降雨に対する浸透能の変化を計算することができる。なお、(6)式に含まれる S_r と Δt_2 は(7)式及び(8)式で表される。



①浸透能が降雨強度より小さい場合



②浸透能が降雨強度より大きい場合



③浸透能が降雨強度より大きい値から小さい値に変化する場合

図1 計算過程の3つの場合分け

$$f(t) = f_0 - \frac{f_0 - f_c}{S_m} S(t) \quad \cdots(1) \quad \frac{dS(t)}{dt} = q(t) - g(t) \quad \cdots(2) \quad S_e - S_b = \frac{q_b + q_e}{2} \Delta t - \frac{g_b + g_e}{2} \Delta t \quad \cdots(3)$$

$$S_e = \frac{1 - \frac{f_0 \Delta t}{2 S_m}}{1 + \frac{f_0 \Delta t}{2 S_m}} S_b + \frac{f_0 \Delta t}{1 + \frac{f_0 \Delta t}{2 S_m}} \quad (4) \quad S_e = \frac{1 - \frac{f_c \Delta t}{2 S_m}}{1 + \frac{f_c \Delta t}{2 S_m}} S_b + \frac{\Delta t}{1 + \frac{f_c \Delta t}{2 S_m}} R \quad (5) \quad S_e = \frac{1 - \frac{f_0 \Delta t_2}{2 S_m}}{1 + \frac{f_0 \Delta t_2}{2 S_m}} S_r + \frac{f_0 \Delta t_2}{1 + \frac{f_0 \Delta t_2}{2 S_m}} \quad (6)$$

$$S_r = \frac{f_0 - R}{f_0 - f_c} S_m \quad \cdots(7) \quad \Delta t_2 = \Delta t - \frac{S_r - S_b}{R - \frac{f_c (S_b + S_r)}{2 S_m}} \quad \cdots(8)$$

キーワード: 雨水浸透モデル、非定常降雨、自然降雨、有効降雨、洪水流出解析

*連絡先: 〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1 TEL:042-591-9792

3. 自然降雨による浸透能解析

明星大学運動場において 1999 年 11 月 1 日に観測された降雨を対象に湛水確認時間を目安として浸透能解析を行った。この降雨の湛水確認時間は 9 時 15 分であるが、午前 7 時から 8 時にかけて浸透能の計算値が急激に低下するのでこの時間内に湛水が発生したと推定した。従って、この時間内に浸透能曲線が降雨波形に重なるように初期浸透能 f_0 、終期浸透能 f_c 及び表層水分保留量の最大値 Sm の値を設定した。解析結果は、 $f_c=3\text{mm/h}$ 、 $f_0=10\text{mm/h}$ 、 $Sm=3\text{mm}$ として図 2 に示される浸透能曲線が得られた。なお、計算の時間ステップ Δt は 10 分とした。この解析結果により本モデルの自然降雨への適用可能性が示されたと言える。

4. 永山試験流域における洪水流出解析

永山試験流域は多摩ニュータウン地域にあり、中層集合住宅の流域面積が 2.8ha の小流域である(図 3 参照)。流域の土地利用は、建物が 12.5%、道路が 36.8%、踏み固め裸地が 5.0%そして芝地が 45.7%となっている。

洪水流出解析は、有効降雨の計算に Diskin-Nazimov モデルを用い、雨水流の計算に Kinematic wave 法を用い、表 1 に示されるパラメーターを適用した。終期浸透能 f_c の値は散水浸透実験で測定された値⁴⁾である。表層水分保留量の最大値 Sm の値は、踏み固め裸地については前述した明星大学運動場の解析値 $Sm=3\text{mm}$ を用い、芝地については都立大学構内の雑草伐採裸地における散水浸透実験の解析値³⁾を参考として $Sm=20\text{mm}$ を用いた。また、不浸透域については $Sm=2\text{mm}$ 、 $f_c=0\text{mm/h}$ として降雨の初期損失成分のみを考慮できるようにした。対象洪水は 1981 年から 1985 年の 5 洪水であり、多摩ニュータウン試験地水文観測資料(その 1)⁵⁾から雨量及び水位データを得た。解析結果の一例として、1983 年 8 月 18 日のハイドログラフを図 4 に示す。ハイドログラフの計算値は実測値によく適合しており、他の 4 洪水についてもほぼ同様の再現性が得られた。また、総流出量及びピーク流量の相対誤差についても平均値で 11.4%と 16.2%であり、誤差評価においても良好な結果が示された。

5. むすび

本研究により、Diskin-Nazimov モデルの自然降雨への適用可能性を示すことができ、さらに、実流域において Kinematic wave 法と組み合わせた洪水流出解析で、その再現性を示すことができた。

【参考文献】

1) Diskin, M. H. and N. Nazimov: Linear reservoir with feedback regulated inlet as a model for the infiltration process, J. Hydrology, 172, pp.313-330, 1995.
2) Diskin, M. H. and N. Nazimov: Ponding time and infiltration capacity variation during steady rainfall, J. Hydrology, 178, pp.369-380, 1996.
3) 藤村和正、安藤義久、山田富美夫、山中理: 散水浸透実験による湛水発生時間に関する一考察、土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集第 2 部、pp.702-703、1999。
4) 安藤義久: 都市域の浸透能と地形・土質・土地利用との対応関係、水工学論文集第 35 巻、1991。
5) 建設省土木研究所: 多摩ニュータウン試験地水文観測資料(その 1)、土木研究所資料第 2225 号、1985。

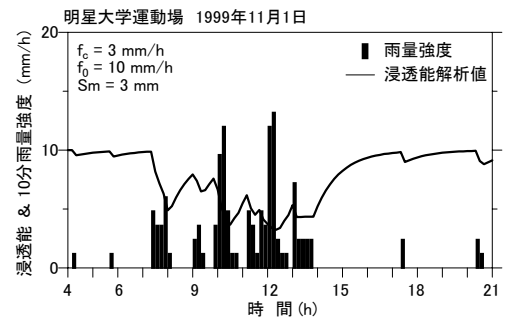


図 2 自然降雨による浸透能解析の一例

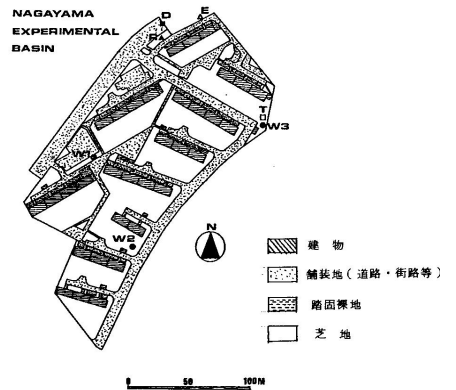


図 3 永山試験流域の概要図

表 1 洪水流出解析のパラメーター

有効降雨計算		
土地利用	終期浸透能 $f_c(\text{mm/h})$	表層水分保留量 の最大値 $Sm(\text{mm})$
建物	0	2.0
道路	0	2.0
踏み固め裸地	7.1	3.0
芝地	22.2	20.0
雨水流計算		
距離ステップ	斜面 10m	河道 30m
時間ステップ	3 秒	
斜面長 160m	斜面勾配	1/47.6
河道長 180m	河道勾配	1/47
河道定数($Q=KA^P$)	$P=1.02$	$K=2.98$
等価粗度	$N=0.008$	

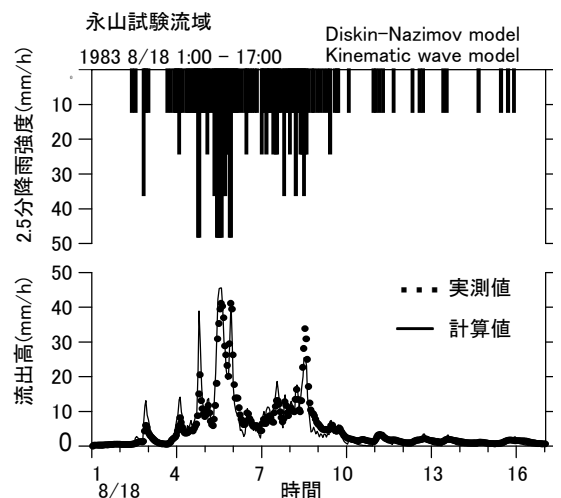


図 4 永山試験流域の概要図