

# グレーチングからの排水を考慮したソウル市江南区の内水氾濫解析

長崎大学大学院 学生会員○金相曄、長崎大学工学部 坂田康幸、長崎大学大学院 正会員 多田彰秀

## 1. はじめに

近年、日本と同様に韓国においても、地球温暖化の影響を受け、局地的な集中豪雨の発生が増加傾向にある。1980年から2011年の約32年間に韓国で時間雨量70mm以上の集中豪雨が発生した頻度を分析した結果に基づけば、1980年代の10年間の平均発生頻度は3.1回であった。これが、1990年代には3.9回、2000年代の10年間には5.4回と増大している。このような中、ソウル市江南区では2011年7月27日午前7時～10時までの約3時間に142mmの集中豪雨が降り、内水氾濫に伴う甚大な被害が発生した。

本報では、集中豪雨に伴って発生したソウル市江南区での内水氾濫を対象に、グレーチングからの排水とマンホールからの噴出を考慮した連結モデルを用いて再現計算を試みたので、その結果について考察する。

## 2. ソウル市江南区での内水氾濫被害の概要

ソウル上空の大気不安定に伴い、ソウル市江南区では、2011年7月27日午前7時～10時までの約3時間に142mmの集中豪雨が降り（図-1参照）、甚大な内水氾濫が発生した。写真-1は、江南区の中でも標高の低いデチ洞近傍の被害状況を示している。内水氾濫のピークが出勤時間帯であったため、道路上での車両の浸水と放置、地下駐車場や地下商店街の浸水など数多くの被害が発生した。特に、低地に位置するデチ洞近傍では、幹線下水道の断面が縮小されている上に、曲管路での形状損失等が被害を甚大化させた原因であったと言われている<sup>1)</sup>。

## 3. 内水氾濫解析

地上部の二次元流れについては、洪水氾濫解析モデルを適用した。また、下水道の一次元流れは、開水路流れから管路流れへの遷移流をも解析できるPreissmann slotモデルを採用している。

### 3.1 地上部の二次元流れの基礎式

x方向の運動方程式；

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x(b)}{\rho} \quad (1)$$

y方向の運動方程式；

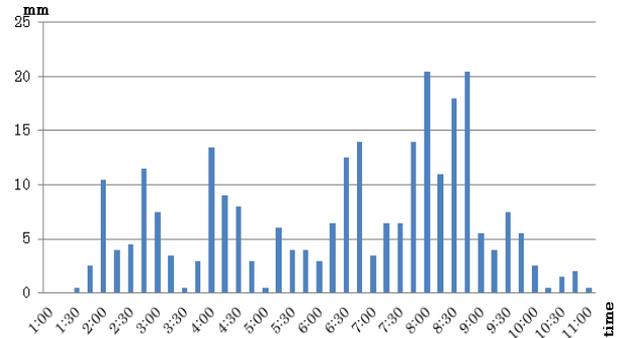


図-1 ソウル市江南区で観測された15分間降雨量<sup>2)</sup>



写真-1 デチ地下鉄駅周辺部の内水氾濫の状況（2011年7月27日）<sup>3)</sup>

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_y(b)}{\rho} \quad (2)$$

$$\text{連続式；} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = r_e - \frac{Q_g}{A} + \frac{Q_{mu}}{A} \quad (3)$$

ここで、 $r_e$ :降雨量(m/s)、 $M, N$ :流量フラックス、 $M=uh$ 、 $N=vh$  ( $u, v$ :x, y方向流速)、 $h$ :地上部の水深、 $H$ :水位、 $Q_g$ :地上部からグレーチングへの排水流量、 $Q_{mu}$ :下水道から地上部へ噴出流量、 $A$ :地上部格子の面積である。

### 3.2 下水道内の一次元流れの基礎式

$$\text{運動方程式；} \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial uQ}{\partial x} = -gA_n \frac{\partial H_p}{\partial x} - \frac{gn^2|Q|Q}{R^{4/3}A_n} \quad (4)$$

$$\text{連続式；} \quad \frac{\partial A_n}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{Q_{sew}}{\Delta x} - \frac{Q_{mu}}{\Delta x} \quad (5)$$

ここで、 $A_n = \begin{cases} B^*h : (h < B^*) \\ B^*B^* + B_s(h - B^*) : (h \geq B^*) \end{cases}$

ここで、 $Q_{sew}$ ( $m^3/s$ ):グレーチングから下水道へ排水する流量、 $Q_{mu}$ :下水道から地上部へ噴出流量、 $A_n$ ( $m^2$ ):流水断面積、 $\Delta x$ (m):下水道が離散化された1区間長、 $u$ (m/s):流速、 $R$ (m):径深、 $H_p$ :水位である。

### 3.3 グレーチングからの排水を考慮した連結モデル

本報では、地上部の内水がグレーチング（道路側溝）

を經由して下水道幹線に排水されるとともに、下水道内の流れがマンホールから地上部へ噴出できるものと仮定し、地上部の流れと下水道内の流れとを関連付けている (図-2 参照)。

(1) 地上部の格子からグレーチングへ排水される流量；

$$Q_g = \mu_1 * GL * h_l \sqrt{gh_l} \quad (6)$$

$$\frac{\partial h_g}{\partial t} = \frac{Q_g}{A_g} - \frac{Q_{sew}}{A_g} \quad (7)$$

ここで、 $Q_g$ :地上部の格子からグレーチングへの排水流量( $m^3/s$ )、 $A_g$ :グレーチングの面積、 $h_g$ :グレーチング中の水深、 $h_l$ :地上部の水深(m)、 $GPL$ :グレーチングの長さである。

$H_p \leq z_g$  のとき

$$Q_{sew} = \mu * GPL * h_g \sqrt{gh_g} \quad (8)$$

$z_g < H_p \leq z_b$  のとき

$$Q_{sew} = \mu * GPL * h_{gd} \sqrt{gh_{gd}} \quad (9)$$

ここで、 $\mu=0.544$ 、 $A_p$ :連結管の面積、 $h_g$ :側溝のピエゾ水頭、 $h_m$ :下水道のピエゾ水頭、 $GPL$ :連結管の幅である。

(3) マンホールから地上部格子へ噴出する流量；

川池ら<sup>4)</sup>に倣って、次のような算定式を採用した。

・  $h_l / h_d \leq 2/3$  (完全越流) の場合、

$$Q_{mu} = \mu_2 * 2\pi r_m * h_d \sqrt{2gh_d} \quad (10)$$

・  $h_l / h_d > 2/3$  (潜り越流) の場合、

$$Q_{mu} = \mu_3 * 2\pi r_m * h_l \sqrt{2g(h_d - h_l)} \quad (11)$$

ここで、 $Q_{um}$ :マンホールから地上部格子への噴出流量( $m^3/s$ )、 $r_m$ :マンホールの半径、 $h_d$ : $h_m$ (下水道の水位)-地盤高、 $h_l$ :地上部の水深、 $\mu_2=0.35$ 、 $\mu_3=0.91$  である。

### 3.4 計算条件

(1) 地上部の洪水氾濫解析； 図-3 に示す計算対象領域の南側から東側に地盤高さ 5~7m の堤防があるため、二級河川からの外水氾濫はない。図-3 中の青線に沿ってデカルト座標系を設定し、 $\Delta x=\Delta y=25m$  で 5968 個の計算格子を作成した。また、各格子のマニングの粗度係数は、建設省河川砂防技術基準に基づいて算定した。なお、 $\Delta t=0.01$  秒とした

(2) 下水道内の一次元水理解析； 各解析断面の区間長  $\Delta x$  を 10m、マニングの粗度係数を  $0.015(m^{-1/3} \cdot s)$  と設定した。さらに、時間雨量が 20mm 以上となると下流端に設置されている排水ポンプ (最大排水量  $52m^3/s$ ) が稼動するように操作要領が定められている。

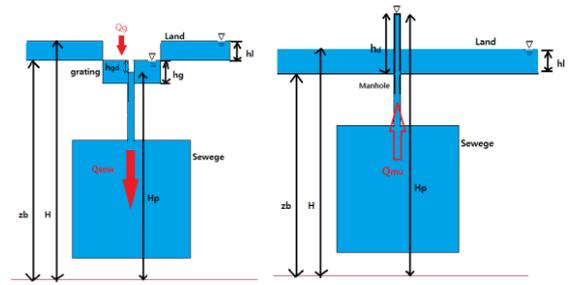


図-2 グレーチングからの排水量とマンホールからの噴出量



図-3 内水氾濫解析の計算対象領域 (赤線内)

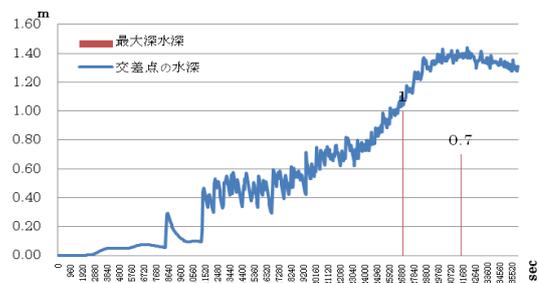


図-4 デッチ洞交差点の水深変化 (計算値)

## 4. おわりに

本研究では、グレーチング (道路側溝) からの排水を考慮したモデルによる内水氾濫の再現計算を実施した。その結果、地盤高の低いデッチ洞交差点近傍では、洪水痕跡よりも浸水深が大きく (図-4 参照)、解析モデルの改良が必要である。

**参考文献；** 1)Choi SiJung & Kang SungGyu；集中豪雨による都市内水浸水被害調査、水と未来、Vol. 44、pp25-29、2011。  
2)韓国気象庁サイト www.kma.go.kr (2012. 3. 12 閲覧)  
3)韓国連合新聞 www.yonhapnews.co.kr (2012. 3. 12 閲覧)  
4)川池健司ら；都市域の内・外水氾濫解析における下水道システムのモデル化、京都大学防災研究所年報、第 51 号、2008。