

東海豪雨時の野並地区における浸水災害と 浸水シミュレーション

INUNDATION SIMULATION STUDY FOR THE NONAMI DISTRICT DUE TO HEAVY RAINFALL IN THE TOKAI REGION

立川康人¹・太田 裕司²・宝 馨³

TACHIKAWA Yasuto, OTA Yuji and TAKARA Kaoru

¹正会員 博(工) 京都大学助教授 防災研究所水災害研究部門 (〒 611-0011 宇治市五ヶ庄)

²学生員 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒 606-8501 京都市左京区吉田本町)

³正会員 工博 京都大学教授 防災研究所水災害研究部門 (〒 611-0011 宇治市五ヶ庄)

A simple inundation simulation model is applied to the Nonami district in Nagoya City, and the causes and countermeasures for the urban flood in the Nonami district due to the heavy rainfall in the Tokai region in 2000 are studied. The model estimates inundation stages with the continuity equation and the depth-volume relationship for the Nonami district generated from a 10m grid Digital Elevation Model. The computed maximum inundation depth shows a good agreement with the observed inundation depth. By using the model, inundation simulations are carried out under some scenarios. Findings from the simulations are that the maximum inundation depth does not change even if the pump system at the Nonami district worked without failure; the pump system needs more than 2.5 times capacity to cope with the heavy rainfall; and if the Nonami district does not have inflows from the adjacent basins, inundation damage is quite small. The simulation results indicate that a drainage system should manage a network of basin water movement in order to deal with a heavy rainfall beyond a design rainfall.

Key Words : heavy rainfall disaster in the Tokai region, urban flood disaster, inundation, the Nonami district

1. はじめに

2000年9月11日から12日にかけて本州上に停滞していた秋雨前線が、沖縄付近に停滞していた台風14号から流れ込んだ暖かく湿った空気によって刺激され、非常に活発化した。それに伴い、名古屋地方気象台では11日午後7時に時間最大雨量93mmを記録し、11日未明から12日までの総雨量は567mmに達するなど、東海地方のほぼ全域は記録的な豪雨に見舞われた¹⁾。この豪雨は、名古屋市天白区野並地区でも最大で2mを越える浸水被害をもたらした、地下鉄駅が水没するなどその被害は深刻であった²⁾。

本研究では、この野並地区を対象とした浸水位の再現シミュレーションモデルを構築し、このモデルを用いていくつかの状況下での浸水位の予測シミュレーションを行って、野並地区における今回の浸水被害の特徴や同地区の耐水性について考察する。具体的には、浸水発生時に一時的に停止していた排水ポンプが正常に稼動していたと仮定した場合の浸水状況の予測、隣接流域である郷下川流域・藤川流域からの溢水流入がなかったと仮定した場合の浸水状況の予測、郷下川流域・藤

川流域からの野並地区への流入量許容範囲の推定、そして、今回の浸水被害を防ぐために必要なポンプ容量の推定を行った。これらの結果、計画規模を越えるような豪雨に対処するためには、流域における雨水移動のネットワーク構造を考えた排水対策を考えねばならないことが明らかとなった。

2. 野並地区の概要と浸水被害の状況

(1) 野並地区の概要

野並地区の西側は天白川が北から南に流下する。天白川は愛知県日進市の三ヶ峰に源を発し、名古屋市南区(右岸)・東海市(左岸)において伊勢湾に注ぐ流域面積118.8km²、総延長22.7kmの二級河川である。また、野並地区の南側には藤川が東から西に流れて天白川に注いでいる。その藤川には、野並地区内を南に流れる郷下川(延長1.2km、流域面積1.83km²)が注いでいる。図-1に示すように浸水被害を受けた地区はこの3河川に囲まれた地域(114ha)であり、以前から浸水被害に悩まされてきた場所である。郷下川周辺が標高8m(T.P.)程度と野並地区では最も標高が高く、そこから西に向

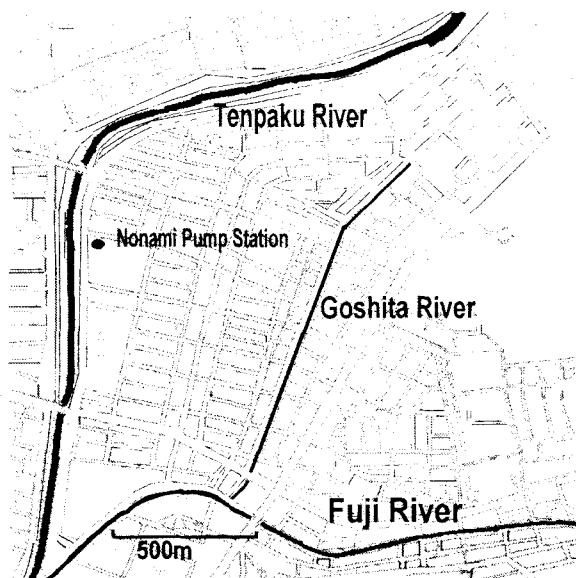


図-1 野並地区

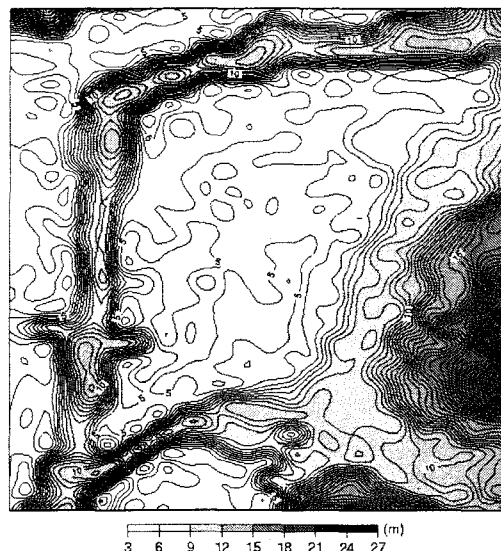


図-2 野並地区の標高分布

かつて急激に標高が低くなり、標高 5m (T.P.) 前後の低平地が天白川堤防まで広がっている (図-2)。

郷下川流域の約半分は相生山緑地として都市計画決定され開発が制限されているが、残る地域では土地区画整理事業によって宅地開発が進められてきた。また、開発による雨水流出量の増大に対処するために郷下川では改修事業が行われてきた。

(2) 野並地区の浸水被害

今回の記録的な豪雨によって天白川の水位が異常に上昇し、野並ポンプ所の対岸にある天白水位観測所では計画高水位 8.66m (T.P.) を約 6 時間超過するという事態に陥り、天白川の支流である藤川・郷下川が流下能力を失った。これによって郷下川と藤川から溢水した氾濫水は両河川よりも標高が低い野並地区に流れ込んだ。その結果、この豪雨による内水とも合わせて、野並地区では最大で 2m を越える浸水被害が発生した。浸水は 9 月 11 日夜から始まり、12 日未明に浸水のピークを迎えた後、ポンプ排水され、13 日午前 6 時 30 分になって浸水は解消した。

この間、50mm/hr の降雨に対応し得るように設置されていた野並ポンプ所において、燃料供給用のポンプが浸水して停止したために 5 台ある排水ポンプのうちディーゼル駆動の 4 台の排水ポンプが 5～6 時間停止するという事態に陥った。図-3 にそのときの排水ポンプの稼働状況を示す。

野並ポンプ所の総排水量は約 1,085,400m³ に達し、野並排水区 114 ha のうち約 70 ha が浸水の被害を受けた。野並地区は 1991 年にも浸水被害を受けており、その時の浸水深は野並ポンプ所付近で約 70cm であった。

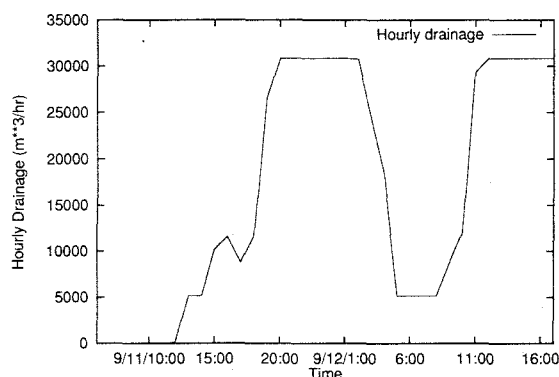


図-3 東海豪雨時の排水ポンプの稼働状況

3. 野並地区における浸水位の再現シミュレーション

野並地区の浸水被害は、豪雨による内水だけでなく郷下川と藤川からの溢水による流入も被害を大きくした一因と考えられる。これらの雨水の連続関係を 図-4 のように考え、野並地区での湛水位の時間変化を推定するシミュレーションモデルを構築した。具体的には、降水量、ポンプ排水量、藤川・郷下川からの推定流入量の時間変化を条件としてを与え、湛水量・湛水位の時間変化を推定する。

(1) 湛水位と湛水量との関係

浸水位を再現するシミュレーションモデルを構築する上で、湛水量と湛水位との関係を構築することが最も重要な作業のうちの一つとなる。ここでは、昭和 63 年

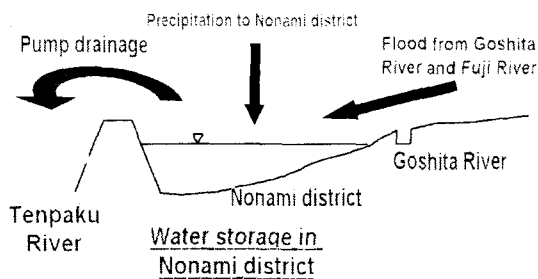


図-4 野並地区での雨水の連続関係

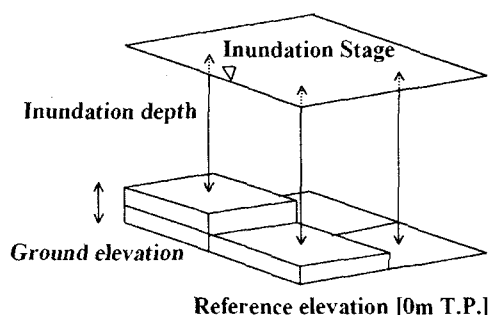


図-5 湛水量の計算手法の模式図

12月に名古屋市によって作成された地盤高データベースを用いてこの関係を求める。この地盤高データは、空中三角測量と水準測量によって作成された空間分解能 50m のメッシュ標高データを補間して空間分解能 10m のメッシュデータに変換したものであり、補間点は名古屋市を対象とした細密数値情報に収録されている標高データと同じ地点となっている。補間方法には B-spline 二次元補間式が使用され、標高は 1cm 単位まで記録されている。メッシュ格子点上に家屋がある場合はその家屋に接した地表面で最も低い地表面の標高が用いられており、メッシュ格子点が河川堤防内に入った場合には付近の堤防の標高が用いられている。

この地盤高データから野並地区に含まれる地点の標高データのみを抽出し、同地区における湛水位と湛水量との関係を求めた。図-5 に示すように、それぞれのグリッドセル (100m²) ごとに地盤高 (T.P.) と水位 (T.P.) との差からその湛水量が求められるので、この方法を野並地区全体に適用することで、この流域の湛水位と湛水量との関係を求めることができる。湛水位 (T.P.) の初期値を 15m とし、順次 0.1m ずつ減じて湛水量と湛水面積を計算した。得られた湛水量と湛水位との関係、湛水面積と湛水位との関係を 図-6、図-7 に示す。

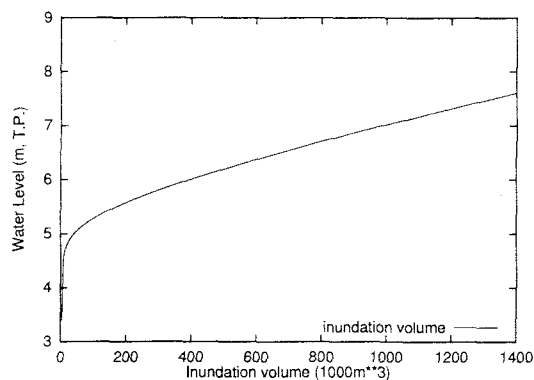


図-6 湛水量と湛水位との関係

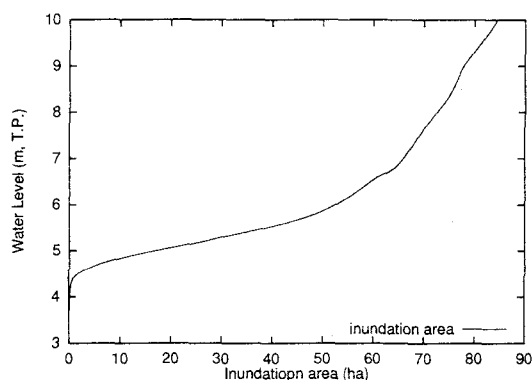


図-7 湛水面積と湛水位との関係

(2) 藤川・郷下川流域からの流出量の推定

藤川流域・郷下川流域は流域面積が小さくほぼ同じ程度に都市化されているため、両流域における流出形態は同様であると仮定して、郷下川流域での流出計算によって求めた推定流出量に係数倍したものを両河川流域からの流出量と考えた。

図-8 は、kinematic wave モデルを用いて推定した郷下川流域からの推定流出量である。郷下川流域の地形形状を、上端斜面幅 390m、下端斜面幅 2080m、斜面勾配 5 度、斜面長 1300m の円錐型斜面で近似し、マンニングの粗度係数を 0.05, 0.07, 0.09 (m^{-1/3}sec) の 3 通りに設定して流出量を計算した。降雨データは、名古屋市緑政土木局天白土木事務所での観測値を用いた。

(3) 浸水位の再現結果と考察

野並地区への降水強度を P 、野並排水区の面積を A 、ポンプ所からの単位時間あたりの排水量を D 、郷下川流域・藤川流域からの単位時間あたりの流入量を Q 、野並地区の湛水量を V とすると、それらの関係は t を時間として

$$\frac{dV}{dt} = \alpha PA + \beta Q - D \quad (1)$$

表-1 係数 β の値

流出係数 α	n = 0.05			n = 0.07			n = 0.09		
	流入開始時刻			流入開始時刻			流入開始時刻		
	19:00	20:00	21:00	19:00	20:00	21:00	19:00	20:00	21:00
0.6	0.83	0.85	1.01	0.82	0.85	1.00	0.82	0.85	0.99
0.8	0.68	0.70	0.83	0.68	0.70	0.82	0.67	0.69	0.82
1.0	0.53	0.55	0.64	0.53	0.54	0.61	0.52	0.54	0.64

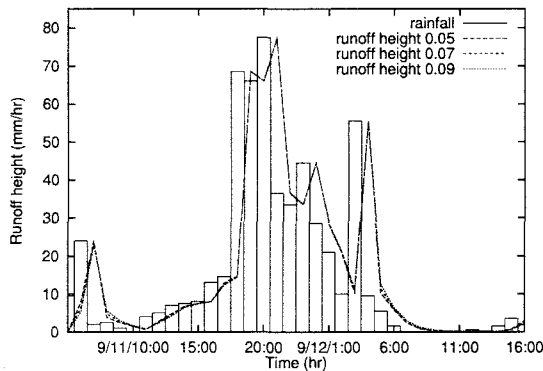


図-8 郷下川流域からの推定流出ハイドログラフと名古屋市天白土木事務所観測された時間降水量

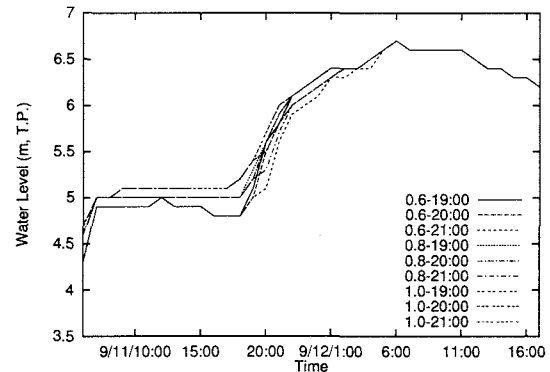


図-9 流出モデルの粗度係数を 0.05 としたときの湛水深の時間変化

と表すことができる。ここで α は浸水に寄与する野並地区への降水の割合 (流出率), β は野並ポンプ所からの排水量と郷下川・藤川流域からの流入量ならびに野並地区への降水量との収支を合わせるための係数である。 β の値の設定方法については後述する。湛水量 V と湛水位 H との関係は前節で得られているので、湛水位の時間変化は

$$\frac{dV}{dH} \frac{dH}{dt} = \alpha PA + \beta Q - D \quad (2)$$

によって得ることができる。

浸水状況を再現するためには、郷下川および藤川からの氾濫による雨水の流入がどの時間帯に起こったかを設定する必要がある。いくつかの目撃証言をもとに、野並地区への流入開始時刻は 11 日午後 7 時、午後 8 時、午後 9 時の 3 通りを考え、流入終了時刻は流入先河川である天白川の水位が郷下川護岸の高さよりも下がった 12 日午前 6 時として、その間の両河川流域からの推定流出量を野並地区への流入量として扱うことにした。

このとき、郷下川・藤川からの野並地区への総流入量と野並地区への総降水量との合計値は、図-3 に示す野並ポンプ所からの排水総量と等しいと仮定した。この仮定のもとに、野並ポンプ所での排水総量から野並地区への総降雨量を引いた量が、藤川・郷下川から流入してきた総量となるように β の値を決定した。 β の

値を表-1 に示す。 β の値は、郷下川からの流出量を得る際にマンニングの粗度係数を 3 通り、流出係数 α の値を 0.6, 0.8, 1.0 の 3 通り、氾濫開始時刻を 3 通り設定しているため、それぞれのケースに対応して合計 27 通りのパターンがある。

粗度係数を $0.05 \text{ m}^{-1/3} \text{ sec}$ とした場合の浸水位のシミュレーション結果を図-9 に示す。この図における凡例で 0.6-19:00 とあるのは、野並地区での流出係数 α を 0.6、藤川・郷下川流域から野並地区への流入開始時刻を 19:00 と設定した場合の湛水位のシミュレーション結果を示している。

27 通りの計算結果においていずれのケースも最高浸水位は 6.7m となった。野並地区の実際の最高浸水位は、痕跡から T.P. 値で約 7m であり、計算による再現結果は実際の浸水位とよく一致した。この違いは、野並地区内の建築物の厚みによる影響や建物の基礎の土盛り、標高データ作成時から現在までの期間の土地改変、測量結果の誤差等によるものであろう。

なお、設定したパラメータの値によって浸水開始時刻に多少の違いはあるものの、最大浸水位の再現結果は同じ値となった。これは、短時間内の急激な雨水の流入量に比べてポンプ排水能力が小さかったために、モデルパラメータの違いがシミュレーション結果の違いとして現れなかったためと考えられる。

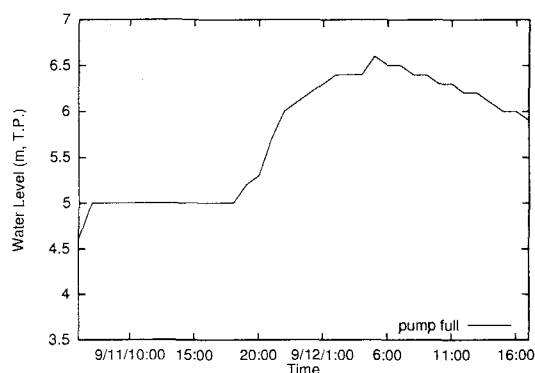


図-10 排水ポンプが完全に作動していたと仮定した場合の湛水位の時間変化

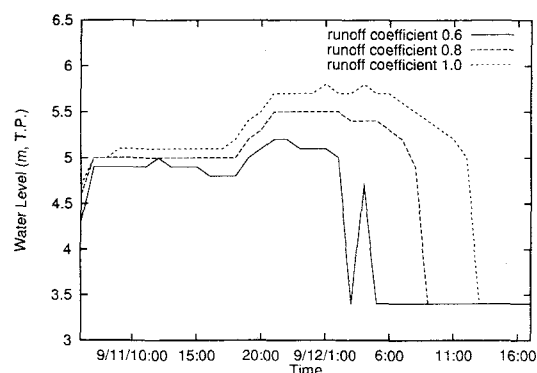


図-11 郷下川と藤川からの溢水がなかったと仮定した場合の湛水位の時間変化

4. 野並地区の耐水性の検討

野並地区の耐水性を検討するためにいくつかのシナリオを設定し、それぞれの場合で野並地区での湛水位がどのように変化するかを検討する。これらのシミュレーション結果をもとに、豪雨発生時の野並地区の耐水性について考察する。

(1) 排水ポンプが完全に作動していたと仮定した場合の浸水位

今回の豪雨によって、野並ポンプ所の排水ポンプが約 6 時間にわたり、燃料ポンプの浸水によって一部停止した。この排水ポンプの停止が、野並地区の浸水に与えた影響を調べるために、排水ポンプが完全に作動していたと仮定して浸水位シミュレーションを行った。なお、前章の浸水位シミュレーションの結果、モデルパラメータの値の違いは計算結果に大きな違いを与えないので、流出モデルの粗度係数を $0.05 \text{ m}^{-1/3}\text{sec}$ 、郷下川・藤川からの溢水期間を 11 日 21 時から翌 12 日 6 時までとし、野並地区での流出係数 α の値を 0.8 とした。なお、排水ポンプの排出先である天白川には十分排水できるものと仮定した。その結果を図-10 に示す。ポンプが完全に作動していたとしても最大浸水位は T.P. 値で 6.6m となり、浸水深を 10cm 程度しか改善しないことがわかった。

(2) 郷下川・藤川から野並地区への流入がなかったと仮定した場合の浸水位

郷下川と藤川からの溢水流入がなかったと仮定した場合の浸水位のシミュレーションを行なった。ここで、野並ポンプ所の排水ポンプの能力は最大限発揮されるものと仮定した。その結果を図-11 に示す。流出係数 α を 0.6 と設定した場合は、最大浸水位は約 5.2m (T.P.) にとどまった。図-7 からわかるように、浸水位が 5.2m

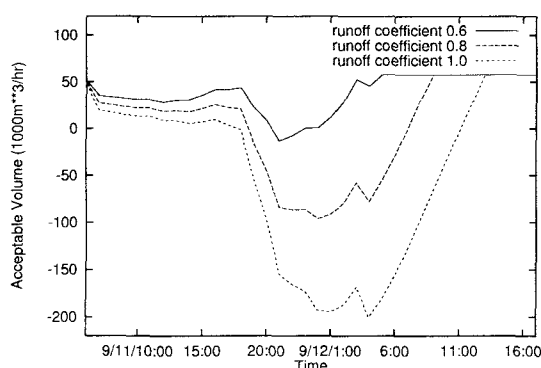


図-12 他地区からの流入に対する野並地区の受容水量 (T.P. 5m を基準とする)

となった場合の浸水面積は約 24ha であって野並地区の 1/5 程度であり、この場合には大きな浸水被害はほとんど発生しないと予想される。また、流出係数を 0.8 とした場合でも、浸水位は 5.5m (T.P.) にとどまり、今回のような大きな被害は発生しなかったと推定される。参考までに流出係数を 1.0 とした場合を計算すると、この場合の最大浸水位は 5.8m (T.P.) となった。

次に、今回の豪雨時において野並地区が隣接流域からの流入量をどの程度受容することができたのかを見積もった。野並地区の低平地部分は標高が 5m (T.P.) 前後の地域が大部分を占めるので、浸水位が 5m (T.P.) に達するまで野並地区への郷下川・藤川からの流入を許容できるものとしてその受容水量を求めた。その結果を図-12 に示す。この受容水量が正の値を取る時は、その水量分はまだ排水能力に余裕があり、郷下川と藤川からの流入を受容できることを示している。一方、負の値を取る時は、排水ポンプの能力以上に野並地区に内水が溜っていることを示している。図-12 に示すように、いずれの場合も降雨のピークとなる時間帯においては、排水能力に余裕がなかったことが分かる。そ

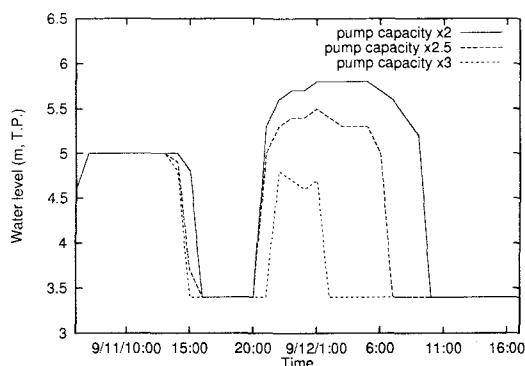


図-13 ポンプ能力を増強させた場合の湛水位の時間変化

こへ郷下川・藤川からの非常に大量の流入があり、その結果として大規模な浸水につながったと考えられる。

(3) 排水ポンプの能力を増強させた場合の浸水位

野並ポンプ場の排水ポンプが最大の能力で稼働していたとしても、湛水位に大きな変化は見られなかった。排水ポンプの能力がどれほどであれば浸水被害を出さずに済んだのかということを検討した。ただし、この場合においても、排水ポンプの排水先である天白川には十分な排水能力があるものと仮定した。排水ポンプの能力が2倍、2.5倍、3倍であった場合の、今回の降雨状況における湛水位のシミュレーション結果を図-13に示す。モデルパラメータの値は排水ポンプが完全に作動していた場合の計算条件と同様に設定した。図-13に示すように、ポンプの能力を2倍にしても、最大湛水位は5.8m (T.P.) と浸水を大きく減じる効果は見られなかった。しかし、ポンプ能力を2.5倍にすると最大湛水位は5.5m (T.P.)、3倍にすると最大湛水位は4.8m (T.P.) となり、今回のような降雨でも大規模な浸水被害には至らなかったことが予想される。

5. おわりに

本論では、東海豪雨発生時に野並地区において発生した浸水を再現するシミュレーションモデルを構築し、そのモデルを用いて、いくつかのシナリオのもとで浸水位がどのように変化する可能性があるのかを検討した。浸水位の再現シミュレーションにより以下の結果が得られた。

- 今回の豪雨によって野並地区が受けた浸水を、郷下川流域・藤川流域から野並地区への流入を考慮して再現した。最大湛水位の計算結果は実際の痕跡から得られた最大湛水位とよく一致した。
- シミュレーションによって得られた最大湛水位の値は、モデルパラメータの値によらず同じ値を示

した。これは、短時間内の急激な雨水の流入量に比べてポンプ排水能力が小さかったために、モデルパラメータの違いがシミュレーション結果の違いとして現れなかったためと考えられる。

また、いくつかの想定シナリオのもとでの浸水位シミュレーションの結果から以下のことがわかった。

- 野並ポンプ所の排水ポンプが今回の豪雨時に完全に作動していたとしても、最大浸水深はほとんど変化しない。
- 郷下川流域・藤川流域からの野並地区への流入がなければ野並地区において大きな浸水が発生することはない。
- 野並ポンプ所の排水ポンプが実際のものよりも2.5倍から3倍程度の能力があれば、浸水による被害は拡大しなかったことが予想される。ただし、いずれの場合も、排水ポンプの放流先である天白川に排水能力が十分あったことを仮定している。

以上からわかることは、想定以上の豪雨時には他排水区からの流入があるということを考慮して排水計画を立てなければならないということである。つまり、排水のネットワークを考えた流域・河川計画が重要である。想定以上の豪雨時にどの排水区が他排水区からの流入を受ける可能性があるかは事前に推定可能であろう。また、河川流・氾濫流・下水の流れを一体的に扱うモデルは、すでに戸田ら³⁾によって構築されつつあるので、こうしたモデルを用いたシミュレーション結果を実際の河川計画に生かしていく必要がある。

謝辞：被害状況や河川・水文情報など、貴重な資料を提供して頂きました国土交通省中部地方整備局、愛知県建設部河川課、名古屋市緑政土木局の皆様がこの場を借りて御礼申し上げます。また、これらのデータ収集にあたっては井上和也教授(京都大学)、武田誠講師(中部大学)に便宜を図っていただきました。なお、本研究を進めるにあたり、科学研究費特別研究促進費 12800012 (代表：辻本哲郎、名古屋大学)、京都大学防災研究所特定共同研究 11P-2 (代表：井上和也、京都大学) の補助を受けました。記して謝意を表します。

参考文献

- 牛山素行・石垣泰輔・戸田圭一・千木良雅弘：2000年9月11日～12日に東海地方で発生した豪雨災害の特徴，自然災害科学，Vol. 19, No. 3, pp. 359-373, 2000.
- 富永晃宏：天白川の水害の概要とその特徴，平成12年度科学研究費(特別研究促進費(1))「2000年9月東海豪雨災害に関する調査研究」報告書，pp. 107-116, 2001.
- 戸田圭一・井上和也・村瀬賢・市川温・横尾英男：豪雨による都市域の洪水氾濫解析，土木学会論文集，No. 663/II-53, pp. 1-10, 2000.

(2001. 4. 16 受付)