

都市洪水の予測システムに関する研究開発

市街地における内水氾濫の解析結果

○高橋 未紗*¹ 山貴 緋称*²
野々村 善民*³

キーワード：VBA 気象庁 Web クエリ 確率降雨量 iRIC 建物占有率

1 はじめに

近年、河川からの洪水のほか、想定を超える内水の氾濫が生じ、浸水被害が多発している。そこで、水防法の一部が平成29年5月19日に改正され、地方自治体は公共の水域等において、様々な豪雨の再現期間と豪雨時の排水状況を把握している。従って、都市洪水に配慮した都市計画を策定するためには、気象庁をはじめ、地方自治体で管理されている気象データは、貴重な資料となる。その中でも手軽に利用できる気象データは、気象庁ホームページ¹⁾で公開されている。

そこで、筆者らは、大量の気象データを収集するための、Pプログラム^{注1)}を開発し、また、確率降雨量を算出するために、One Stepプログラム^{注2)}を開発した。

また、筆者らは、透水性と保水性の機能を高めた路盤を用いた都市洪水の対策技術を開発している。この対策技術の導入効果を明らかにするために、筆者らは河川氾濫シミュレーション iRIC^{注3)}を用いて、都市河川の水深を予測した。なお、iRICは国内外で広く普及しているフリーソフトであり、多くの解析の実績を有している。

上記の3つのプログラムを活用することで、市街地における内水氾濫などの状況が予測可能となる。これにより、様々な都市洪水に対して、床上浸水の被害軽減を目的とした都市計画が策定できることになる。

このように、本論文は、都市洪水の解析システムの機能を示し、神戸市灘区都賀川流域において、建物占有率の違いによる局地集中豪雨時の内水氾濫の変化を明らかにすることを目的とする。

2 都市洪水の解析システムについて

本論文で記す都市洪水解析システムは、以下の3つのプログラムで構成される。

- ① Pプログラム²⁾
- ② One Stepプログラム³⁾の改良版
- ③ 河川氾濫シミュレーション iRIC⁴⁾

解析システムの1つ目のPプログラムの機能一覧を図1に示す。図2は、気象データのURLの構成である。なお、1日の気象データを5年分ダウンロードする時間は、約100分間である。

これらの気象データのダウンロードに用いたPCの仕

様は、Windows10 Professional 64ビット、CORE i7、内部メモリ 32GBである。NET環境については、ダウンロード時のファイル転送速度の平均は100Mbpsである。

2つ目のOne Stepプログラムの改良版は、入力データを風速から降水量に換え、積算時間を入力することで、降水量の発生頻度、超過確率および非超過確率などが出力できる。

3つ目のiRICは、河川の流れ・河床変動解析ソフトウェアである。本論文で用いたソフトは、iRICのNays2DFlood（フリーソフト）である。

以上の3つのソフトを用いることで、日本国内の気象データから局地集中豪雨の再現期間が明らかとなり、日本国内における河川氾濫などの様子が予測できるようになった。

3 気象データについて

本論文で予測する内水氾濫の対象地域は、神戸市灘区の都賀川流域である。図3に示すように、現在の最寄りの気象観測所は、神戸地方気象台である。なお、神戸地方気象台の観測は2013年10月から開始され、それまでの観測は神戸海洋気象台にて行われていた。

神戸海洋気象台の所在地は、神戸地方気象台から西に約3.4kmの位置にあった。鶴甲雨量計は神戸地方気象台から北東に約4.4kmの位置にある。

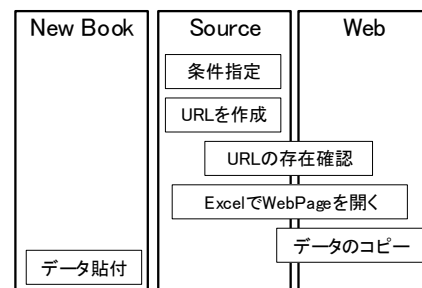


図1 Pプログラムの機能一覧

http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/hourly_s1.php?prec_no=都道府県番号&block_no=観測番号&year=観測年&month=観測月&day=観測日&view=

図2 URLの構成

図4は2種類の降雨量モデルを示す。図中の降雨量モデルAは2008年7月28日に発生した神戸豪雨の降雨量である。降雨量モデルAの降雨量は、神戸市の鶴甲雨量計で計測されたものであり、測定間隔は10[mm]である。神戸豪雨の降雨の継続時間は約1時間であり、1時間当たりの積算降水量は44[mm]である。10分間の最大降雨量は、144[mm/h]であり、10分間の積算降水量は24[mm]であった。また、図中の降雨量モデルBにおける10分毎の降雨量の比率は、降雨量モデルAの場合と同じである。降雨量モデルBの1時間当たりの積算降水量は69[mm]であり、10分間の最大降雨量は、230[mm/h]である。

上記の、降雨量モデルAと降雨量モデルBは、iRICによる内水氾濫解析の入力データとして用いた。



図3 神戸地方気象台の位置

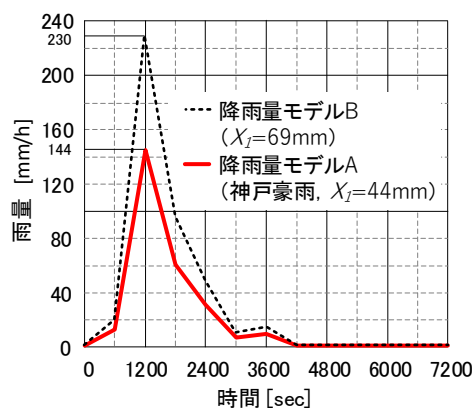


図4 神戸豪雨の降雨量モデル

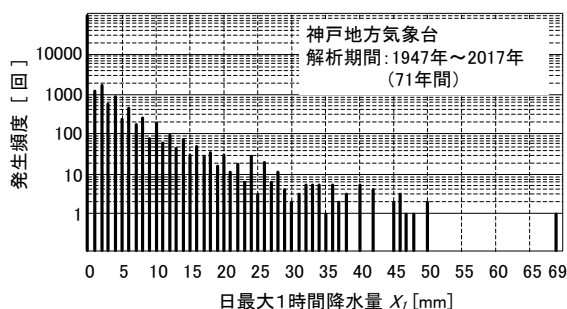


図5 日最大1時間降水量 X_1 の発生頻度

4 神戸地方気象台の確率降雨量について

本論文で収集した気象データは、P プログラムを使って、現在の神戸地方気象台の URL からダウンロードしたものである。

収集した気象データの解析期間は、1947年1月から2017年12月の71年間である。このうち、神戸海洋気象台で記録された気象データは1947年1月から2013年9月のものである。

複数年の気象データと One Step プログラムを用いて、降水量の発生頻度および超過確率などの統計量が算出できる。

図5は、神戸地方気象台の日最大1時間降水量 X_1 の発生頻度である。 X_1 の最大値は69[mm]であり、発生日は、1967年7月9日であった。

図6は、神戸地方気象台における日最大1時間降水量 X_1 の超過確率と再現期間を示す。図中の近似式は、 X_1 と超過確率の関係をグンベル分布で当てはめたものである。

X_1 が27[mm]である時、再現期間は1年となる。また、神戸豪雨時の X_1 は44[mm]であり、この時の再現期間は約6.3年となる。例えば、 X_1 が100[mm]である時、再現期間は528年となることがわかる。

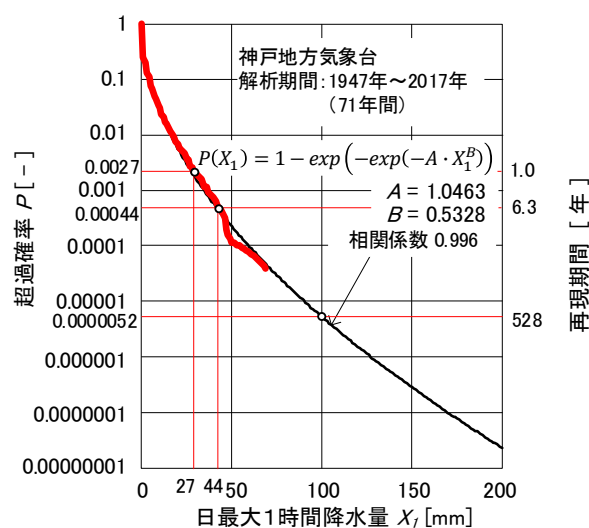


図6 日最大1時間降水量 X_1 の超過確率と再現期間

表1 iRIC の解析条件

No.	事項	内容
1	使用したソフト	iRIC(Nays2DFlood)
2	解析の対象地域	神戸市灘区の都賀川周辺
3	地形データ	国土地理院 基盤地図情報 数値標高モデル 5m メッシュ
4	移流項の差分方法	風上差分法
5	マンニングの粗度係数	0.035 [$\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$]
6	解析領域側方の境界条件	自然流出
7	初期水面	水深ゼロ
8	降雨条件	局地集中型豪雨時の降雨量モデル。図4を参照。



図7 解析領域(広域)

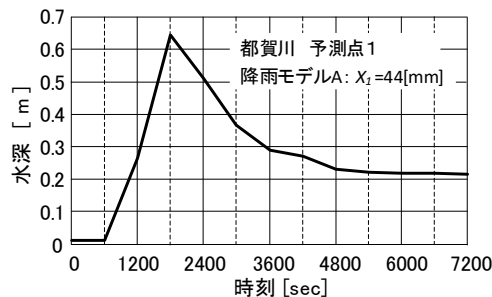


図8 予測点1における水深の経時変化



図9 都賀川流域における最大水深の分布



図10 国道43号線南側における領域Aの位置
(神戸市情報マップ)

5 都賀川の水深予測について

都賀川における水深および内水氾濫は平面二次元流として計算し、iRICのNays2DFloodを用いて予測した。

本章の解析の目的は、神戸豪雨時の都賀川における水深の経時変化と都賀川流域の市街地において内水氾濫が生じる恐れのある領域を明らかにすることである。

5.1 解析条件について

iRICの解析条件は、表1に示す。土地の被覆材料は、アスファルトおよびコンクリートとしたため、雨水の地下浸透率は0とした。また、下水および側溝などの人工的な水の流れは無視し、降雨の空間的分布は、均一である。本解析の入力データは、降雨量モデルAを用いた。

5.2 解析領域について

図7は、予測点1における水深の変化と都賀川流域における内水の水深を明らかにするために設定した解析領域(広域)である。解析領域は2600[m]×1600[m]であり、空間メッシュの数は167241[個](521×321)である。空間メッシュのサイズは、5[m]×5[m]とした。

5.3 都賀川の水深の予測結果について

図8は、都賀川の予測点1における水深の経時変化を示す。予測点1における最大水深の発生時刻は、雨の降り出しから1800[sec]であることがわかった。参考として、解析による最大水深は約0.63[m]である。

図9は、都賀川流域における最大水深の分布を示す。図中の楕円の範囲に示すように、国道43号線の南側の埋立地においては、内水の水深が大きくなることがわかる。以下、この地域をS地域と言う。S地域における内水の最大水深の解析結果は0.70[m]である。

6 市街地における内水氾濫の予測について

神戸市灘区の国道43号線南側における市街地は埋立地である。もし、豪雨時に側溝などの都市インフラの機能が一時的に停止した場合、S地域における内水の水深が大きくなる恐れがあることがわかる。

また、現在のS地域では、工場跡地に新たな建築物が多く建設されている。従って、内水の水深が大きくなる箇所は、建築物以外の舗装された道路などであるものと考えられる。

そこで、本章の解析は、S地域における建物占有率を算出し、建物占有率の違いによる内水氾濫の変化を明らかにすることを目的とする。

なお、領域Aの建物占有率は、建物の建築面積の合計を領域Aの面積で除したものである。また、解析の入力データは降雨量モデルAと降雨量モデルBを用いた。

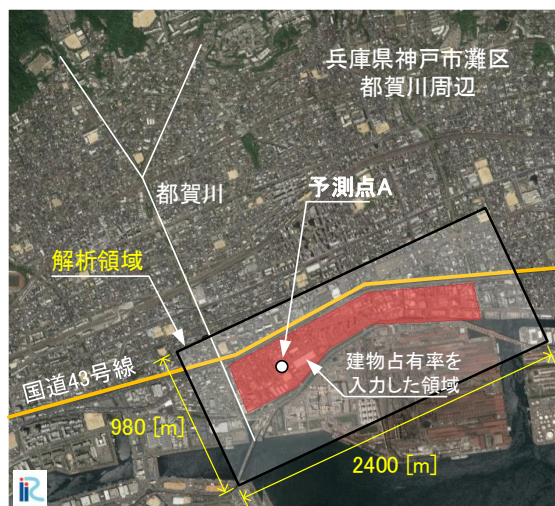


図 11 解析領域(狭域)

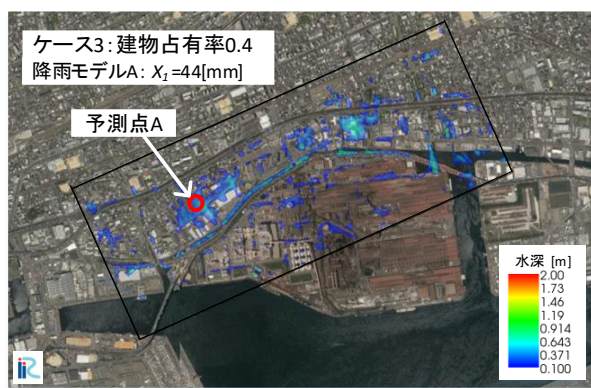


図 12 最大水深の分布

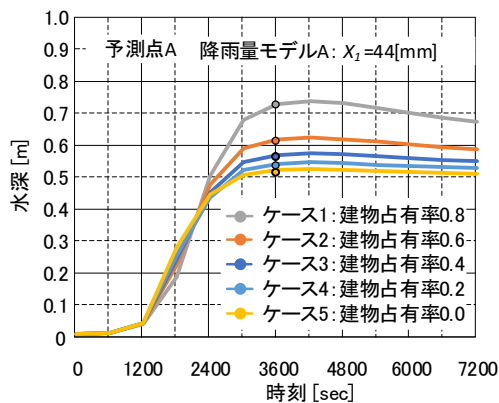
6.1 建物占有率について

図 10 は、都賀川流域の国道 43 号線南側を含む神戸市情報マップ⁵⁾の一部である。図中に S 地域に設定した領域 A の位置を示す。S 地域の用途地域は、準工業地域であり、建蔽率は 60% である。領域 A に建ち並ぶ建築物は、比較的新しい住宅であり、領域 A の建物占有率は 0.34 となることがわかった。なお、本解析では、以下の 5 つの建物占有率について内水の水深を予測した。

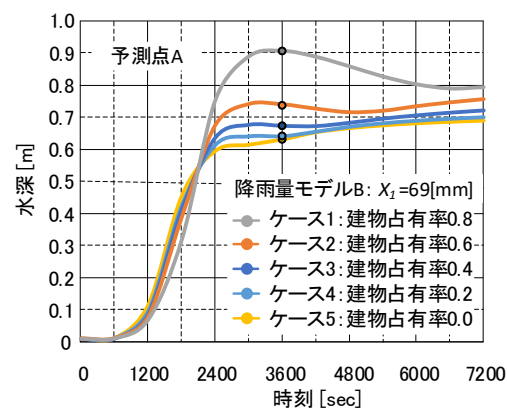
- ① ケース 1：建物占有率 0.8
- ② ケース 2：建物占有率 0.6
- ③ ケース 3：建物占有率 0.4
- ④ ケース 4：建物占有率 0.2
- ⑤ ケース 5：建物占有率 0.0

6.2 解析領域について

図 11 は、S 地域を含む都賀川流域の国道 43 号線南側における解析領域(狭域)である。解析条件は表 1 と同じである。解析領域の範囲は 980[m]×2400[m]であり、空間メッシュの数は 94276[個](196×481)である。なお、建物占有率を設定した空間メッシュは、S 地域を含む国道 43 号線の南側である。



(1) 降雨量モデル A



(2) 降雨量モデル B

図 13 予測点 A における水深の経時変化

6.3 市街地の内水氾濫の予測結果について

図 12 は、解析領域(狭域)におけるケース 3 の最大水深の分布である。S 地域における予測点 A の最大水深は 0.5m 以上となることがわかる。

図 13 は、2 種類の降雨量モデルについて、予測点 A の建物占有率の違いによる水深の経時変化を示す。

2 つの降雨量モデルにおける降雨の継続時間は 3600[sec]である。ケース 1 の建物占有率は 0.8 であるため、この時の水深が最も大きくなる。図 13(1)から 3600[sec]のケース 1 の水深は、0.74[m]であり、図 13(2)の場合は 0.91[m]である。

図 14 は、予測点 A において、2 つの降雨量モデルと建物占有率の違いによる水深を示したものである。図中の水深は、雨が降り出した直後から 3600[sec]の予測点 A における水深である。予測点 A における水深は建物占有率に比例することがわかる。予測点 A における建物占有率は 0.34 とし、図中の①近似式と②近似式を用いた場合、予測点 A の水深は 0.51[m]と 0.70[m]となる。

従って、神戸市灘区の都賀川流域の国道 43 号線から南側において、再現期間 6.3 年～71 年の豪雨が降った場合、最大水深の予測値は概ね 0.51～0.70[m]となる。

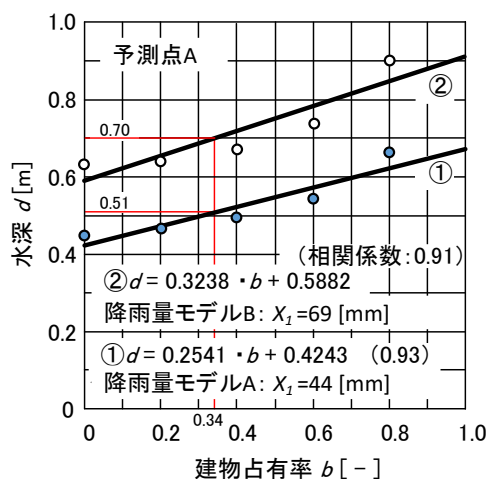


図 14 建物占有率と水深の関係

以上から、住宅の床上浸水を防ぐことを目的とした場合、道路面と住宅の 1 階床面の高さは概ね 1m 以上を確保することが有効であると思われる。

7 まとめ

国内で頻繁に生じる局地集中豪雨による都市洪水の状況を予測するために、本研究は、3つのプログラムから構成される都市洪水解析システムを開発した。

そこで、本論文は、都市洪水解析システムの機能を示し、神戸市灘区都賀川流域において、建物占有率の違いによる局地集中豪雨時の内水氾濫の状況を明らかにすることを目的とする。以下に得られた知見を示す。

- ① 都市洪水解析システムを構成する 1 つ目の P プログラムは気象庁の HP から気象データを収集できる。1 日の気象データを 5 年分ダウンロードする時間は、約 100 分間であることがわかった。
- ② 本解析システムを構成する 2 つ目の One Step プログラムの追加機能は、複数の気象データから降水量の発生頻度と確率降雨量などの出力である。
- ③ 本解析システムを構成する 3 つ目の河川氾濫シミュレーション iRIC、任意の降雨量モデルおよび基盤地図情報を用いることで、都賀川流域の市街地における内水氾濫の状況などが予測できることがわかった。
- ④ P プログラムを用いて、神戸地方気象台における 71 年間の気象データを収集した結果、日最大 1 時間降水量 X_1 の最大値は 69 [mm] であり、その発生日は、1967 年 7 月 9 日であることがわかった。
- ⑤ One Step プログラムを用いて、神戸地方気象台における日最大 1 時間降水量 X_1 の超過確率を算出した。その結果、2008 年 7 月 28 日に発生した神戸豪雨時の $X_1=44$ [mm] に相当する再現期間は約 6.3 年となることがわかった。

- ⑥ 国道 43 号線の南側における住宅地の建物占有率は 0.34 であり、再現期間 6.3 年～71 年の豪雨が降った場合、最大水深の予測値は概ね 0.51～0.70 [m] となる。以上から、住宅の床上浸水を防ぐためには、道路面と住宅の 1 階床面の高さは概ね 1m 以上を確保することが有効であることがわかった。

【注記】

- 1) P プログラムは、Microsoft Excel の 1 つの機能である Web クエリと VBA (Visual Basic for Applications) を用いて開発した。主な機能は、P プログラムに観測地点の都道府県番号、観測番号および観測年月日を入力することで、気象庁の HP から気象データがダウンロードできる。都道府県の地点レベルでダウンロードすることが可能である。
- 2) One Step プログラムは、Excel VBA を用いて開発した。複数年の気象データの各風速データから風速超過確率を算出し、Excel シートに出力するものである。
- 3) 河川氾濫シミュレーションソフト iRIC は、USGS (アメリカ地質調査所) で開発してきた MD_SWMS と (財) 北海道河川防災研究センターで開発してきた RIC-Nays の機能を統合した河川の流れ・河床変動解析ソフトウェアである。

【参考文献】

- 1) 気象庁：各種データ・資料，
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html> 2018 年 3 月
- 2) 島脇優里，野々村善民，山貫耕称，藤田一郎：気象データの収集プログラムの開発 神戸地方気象台の確率降水量について，日本建築学会北陸支部研究報告集 第 61 号，pp.172-175，2018 年 7 月 8 日
- 3) 高橋美玖，野々村善民：風速超過確率の算出方法に関する研究 One Step プログラムの開発，日本建築学会中国支部研究報告集 第 40 巻，pp.495-498，2017 年 3 月
- 4) iRIC Software Nays2DFlood：
<http://i-ric.org/ja/software/7/>，2018 年 6 月
- 5) 神戸市：神戸市情報マップ，
<http://kobecity.maps.arcgis.com/home/index.html>，2018 年 7 月
- 6) 野々村善民，藤田一郎：局地集中豪雨時の都市河川における水深の予測，日本建築学会技術報告集 第 24 巻 第 56 号，pp.271-274，2018 年 2 月
- 7) 高橋未紗，野々村善民，藤田一郎：都市洪水の対策技術に関する研究 (その 9) 市街地における建物占有率と内水氾濫について，日本建築学会北陸支部研究報告集 第 61 号，pp.176-179，2018 年 7 月 8 日

【謝 辞】

本研究は、全国トース技術研究組合 (国土交通大臣認可、国官技第 236 号) などから多大な支援を得た。本報の作成に当たって、多大な協力を頂いた関係各位に心から謝意を表します。

- *1 福井工業高等専門学校 環境都市工学科 本科生
- *2 千葉大学工学部 都市環境システム学科 学部生
- *3 福井工業高等専門学校 環境都市工学科 教授
博士 (工学)

Research and Development of the City Flood Anticipating System

Analysis result of the inland waters flooding in the urban area

○Misa TAKAHASHI^{*1} Hina YAMNUKI^{*2}

Yoshitami NONOMURA^{*3}

Keywords: Visual Basic for Applications, Meteorological agency, Web query,
Probability precipitation, iRIC, Building occupation rate

In recent years, in addition to river flooding, inland flooding has occurred one after another, and has done a lot of damage in many areas in Japan. Because of that, part of the Flood Control Law was revised on May 19, 2017.

Local governments have to grasp the situation where rainwater cannot be drained in public waters etc. Every local government has an increased need for drawing up a plan to make their city more resistant to disasters.

In order to clarify the probability of rainfall in major cities, we developed a program for collecting large amounts of meteorological data and another one for statistical analysis of collected weather data. In addition, in order to clarify the effect of introducing our countermeasure technology to prevent urban flooding, we predicted the depth of rivers in urban areas by river flooding simulation.

In this way, by utilizing the above three programs, practical prediction of urban flooding became possible. This paper aims to clarify the function of urban flood analysis system and to report the change of internal flooding inundation during localized torrential rain due to the difference of building occupancy in the Toga River basin of Kobe city. The findings obtained are shown below.

- (1) The first program, which is called “P program” was able to collect weather data from the homepage of the Japan Meteorological Agency. It took approximately 100 minutes to download five years’ weather data of the day.
- (2) The second program, called One Step program, has a function of calculating the occurrence frequency of precipitation and the probability of rainfall from a large amount of weather data.
- (3) The third one, which is called iRIC, is a river flooding simulation program. We found that the depth of the Toga River in Nada Ward, Kobe City could be predicted by using the arbitrary rainfall model and foundation map information.
- (4) By collecting 71 years’ daily weather data in the Kobe Regional Meteorological Observatory using the P program. We found the highest rainfall per hour was 69[mm], which occurred on July 9, 1967.
- (5) Using the One Step program, we calculated exceedance probability of the maximum rainfall per hour on the Kobe Regional Meteorological Observatory. As a result, it was found that recurrence interval corresponding to $X_1 = 44$ [mm] during the Kobe heavy rain that occurred on July 28, 2008 is approximately 6.3 years.
- (6) By using iRIC, we were able to estimate the depth of the internal flooding in the urban area if the same torrential rain as “the Kobe heavy rain” occur again in the Toga river basin. The building occupancy rate on the south side of Route 43 was 60%, and the building occupancy rate in the residential area was 34%. The maximum water depth was estimated to be 0.51 to 0.70 [m] when heavy rain fell from recurrence interval of 6.3 to 71 years. To prevent inundation above floor level of house. We have to secure the height of 1m or more for both the roadside and the first floor of the house.

*1 National Institute of Technology. Fukui College

*2 Department of Urban Environment Systems, Chiba University

*3 Professor, National Institute of Technology. Fukui College, Dr.Eng.