

2004年7月新潟豪雨水害の 災害調査による家屋被害関数の構築

DEVELOPMENT OF FRAGILITY FUNCTION FOR WOODEN HOUSE
OBTAINED FROM THE FIELD INVESTIGATION OF FLOOD DISASTER
DUE TO JULY 13, 2004 NIIGATA HEAVY RAINFALL

鈴木進吾¹・越村俊一²・原田賢治³・岡本学⁴
福留邦洋⁵・菅磨志保⁶・河田恵昭⁷

Shingo SUZUKI, Shunichi KOSHIMURA, Kenji HARADA, Manabu OKAMOTO
Kunihiro FUKUTOME, Mashiho SUGA and Yoshiaki KAWATA

- ¹学生会員 修(工) 京都大学大学院情報学研究科 博士後期課程 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
²正会員 博(工) 人と防災未来センター 専任研究員 (〒651-0073 神戸市中央区脇浜海岸通1-5-2)
³正会員 博(工) 京都大学防災研究所 COE研究員 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
⁴非会員 京都大学大学院工学研究科 修士課程 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
⁵非会員 博(都) 人と防災未来センター 専任研究員 (〒651-0073 神戸市中央区脇浜海岸通1-5-2)
⁶非会員 修(社福) 人と防災未来センター 専任研究員 (〒651-0073 神戸市中央区脇浜海岸通1-5-2)
⁷フェロー 工博 京都大学防災研究所 教授 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

This paper presents the fragility function for wooden house obtained from the field investigation of the flood disaster in Nakanoshima town, Niigata prefecture due to the July 13, 2004 Niigata heavy rainfall. At the emergency phase of disasters, the early understanding of overview of damage is required for the management of emergency personnel and resource. To understand the overview of damage easily, fragility function which estimates damage from inundation depth is helpful. The inundation depth is measured at many points and the damage rank of each house is identified in the investigation of this disaster. The fragility function is constructed using these data. Additionally, we marshaled those data about building damage and reviewed documents about damages in past tsunami disaster. By comparing obtained data to fragility curve, we considered the influence of driftage on building damage and the adequacy of that curve.

Key Words : *building damage, fragility curve, the 2004 Niigata-Fukushima Heavy Rainfall, field investigation, inundation depth*

1. はじめに

2004年7月12日夜から13日にかけて、日本海から北陸地方、東北南部にのびる梅雨前線の活動が活発になり、新潟県中越地方を中心とした地域に局地的な大雨を降らせた。この豪雨によって、新潟県では信濃川とその支流である五十嵐川および刈谷田川などが増水し、新潟県内河川の11箇所破堤、148箇所堤防決壊、123箇所越水、溢水、漏水した。この氾濫によって三条市、中之島町、見附市を中心に死者15名、重傷者1名といった人的被害をはじめ、家屋やライフラインに被害が発生した¹⁾。

特に、中之島町を流れる刈谷田川左岸の破堤地点は、町内のほぼ中心部であったため、全壊家屋数55棟、半壊棟数314棟と、他の被災市町村と比べ家屋被害数が圧倒的に多かった(9月14日新潟県発表)。

洪水氾濫による家屋被害額と外力(浸水深)との関係は、水害統計調査に基づき、治水経済調査要綱に定められている。たとえば、床上浸水が2mを超えた場合には、全棟数の45%は被害率を1.0(全壊)とすることになっている。治水経済調査マニュアル²⁾によると、被災家屋の被害額は、資産額に、浸水深に応じた被害率を乗ずることにより求められる。すなわち、ここでいう被害率とは、家屋の全価値に対する損耗した価値の割合で、

被害額の推計および治水事業の評価という観点から得られるものであり、被災地における被害家屋数の概算を推計し、浸水域の家屋被害の概略を把握するための資料としては適さない。

一方、洪水氾濫に対する家屋構造の耐性については、水害後の被害調査や氾濫流の再現を目的とした数値シミュレーションをもとに調べられてきた。たとえば河田・中川³⁾は、1983年山陰豪雨災害において三隅川流域で発生した洪水氾濫による家屋被害調査と、氾濫流の数値シミュレーションに基づき、家屋被害の程度を家屋構造、階数および建築年代、流体力との関連で調べた。また、佐藤ら⁴⁾は洪水氾濫による家屋被害程度と、数値シミュレーションによって得られた家屋の抵抗力との関係を調べている。しかし、治水経済調査のような被害額に関するデータの蓄積とは対照的に、氾濫流に対する家屋構造の耐性を調査したデータは少ない。

水害発生直後において被災自治体に求められることは、被害の概略を出来るだけ早く把握し、要員や資機材等の確保、応援要請など必要な対策を講ずることである。本来、洪水氾濫による家屋の損傷は、流速の2乗と浸水深の積で求められる流体力と、家屋構造との力学的関係に規定されるといってよい。しかしながら、水害後の被災地からは、家屋の壁面に残された濁流の痕跡以外に氾濫時の流況を知る手がかりが無い場合、この関係を用いることはできない。水害発生直後の自治体の対応要件を考慮すると、被災地調査において容易に得ることができる浸水深から家屋被害の概略を把握するための家屋被害関数（または家屋被害率曲線）を構築する必要がある。

さて、水害だけに限らず、今日の津波防災においても、臨海都市域での津波浸水に対するまちづくりを含めた被害軽減対策立案のため、今後発生すると想定される津波に関する物理的および経済的な被害予測が必要となっている。しかし、低頻度巨大災害である津波災害の家屋被害データは少なく、家屋被害関数を作成するためには、洪水氾濫と津波氾濫の相違を考慮しつつ、洪水被害データを援用していくことが望ましい。

本研究は、水害被災地における家屋被害の迅速な把握および津波災害における家屋被害の予測という視点に立脚し、数値シミュレーションや緊急被害調査において得られる浸水深の分布から地域の被害程度を把握できる家屋被害関数を構築することをその目的とする。そのために、平成16年7月13日に発生した新潟豪雨水害において、家屋被害の多かった中之島町を対象として被害調査を実施し、浸水家屋の被害判定結果と浸水深から家屋被害関数の構築を試みる。さらに、水害における家屋被害に関する既往の研究成果や、津波氾濫による家屋被害と比較し、その検証を行う。

2. 刈谷田川の洪水氾濫の特性

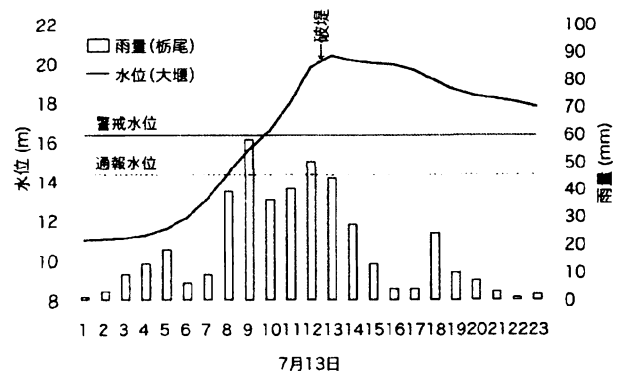


図-1 7月13日の栃尾市での雨量と、見附市での水位

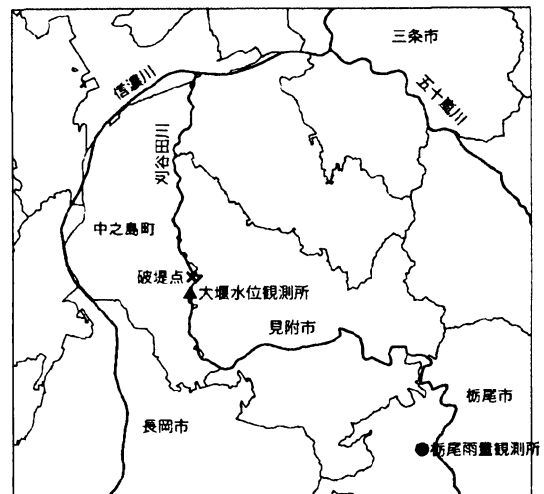


図-2 刈谷田川の地図および破堤点と観測所位置

2004年7月12日夜から13日夕方にかけて、日本海から北陸地方に停滞した梅雨前線は、西日本から東日本を覆った太平洋高気圧の縁を回り込むように日本海から流れ込んだ暖かく湿った空気により活発化した。

この活発化した梅雨前線は新潟県中越地方を中心に局地的な豪雨をもたらし、刈谷田川上流の栃尾市では13日午前8時から午後1時にかけての5時間にわたって時間雨量が40mm前後となり、13日の日雨量は421mmと、7月の平均月雨量243mmの2倍近くの値となる記録的な大雨となった。同じく上流の刈谷田川ダムでも同日午前9時から午後2時にかけて時間雨量が30mmを越え、日雨量は433mmとなる激しい雨が降った。

この豪雨により、見附市の大堰水位観測所では、水位が13日午前7時頃から1時間に1m以上と急速に上昇しはじめ、午前8時には通報水位を、10時には警戒水位を超え、その後も上昇を続け、午後12時50分頃中之島町の住宅密集地付近の堤防が幅約50mにわたって破堤した。図-1に、7月13日の上流栃尾雨量観測所での降雨の状況、破堤点の1.4km上流にあたる大堰水位観測所での水位の状況を示す。また図-2に、刈谷田川流域図、中之島町での破堤点、栃尾および大堰の観測所の位置を示す。

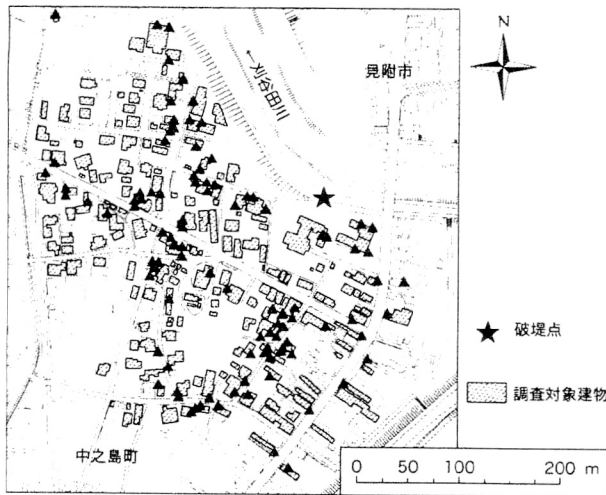


図-3 浸水深の計測点および調査対象家屋

3. 被害調査の実施と家屋被害の判定

(1) 被害調査の実施

被害調査は、災害発生の10日後にあたる7月23日、24日に実施した。調査の対象地域は、多くの家屋の構造に被害が発生した、中之島町の刈谷田川左岸の破堤点から半径約300mの範囲とした。調査内容は、(1)家屋壁面に残された浸水痕跡による浸水深の測定、(2)流失・倒壊を免れた家屋の外観写真の撮影と外観目視による被害程度の判定、(3)氾濫流の挙動や被災時の対応などに関する住民の目撃証言の収集である。さらに、災害の1ヶ月以降にあたる9月3日と9月13日、14日に、家屋被害の判定結果の妥当性の確認と復旧状況などに関する追調査を行った。

浸水深は、7月23日、24日の調査において、家屋の外壁に残された浸水痕跡高94地点、および家屋の内壁に残された浸水痕跡高4点を測量し、それぞれ周辺地盤からの高さとして補正した。家屋の外観写真は、調査時既に流失した家屋以外の173棟において合計607枚撮影し、被害程度を判定する資料とした。流失した家屋の同定は、災害前後の衛星写真および航空写真の比較、住民の目撃証言に基づいて行った。浸水深の計測地点、調査対象家屋の分布を図-3に示す。なお、調査対象家屋の構造は大部分が木造であった。被害判定の結果については、著者等のWEBページ (<http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/niigata/>) に詳しいので、参照されたい。

(2) 家屋の被害程度の判定

氾濫流による被災家屋の損傷程度の判定は、過去に行われた被害調査の文献を調べ、その基準に従うこととした。ここでは、たとえば1993年北海道南西沖地震津波の被害調査で使用された首藤⁵⁾に代表される判定基準を用いた。この判定基準を表-1に示す。ただし、この判定

表-1 家屋被害ランクの分類とその判定基準

ランク	分類	判定基準
1	全壊・流失 大破	壁および柱の大部分以上が壊れ、あるいは失われている。
2	中破	柱は残っている。壁の大部分は破壊されている。
3	小破	窓等は破壊されても、壁の大部分は残っている。
4	浸水のみ	浸水が判断されるが、壁・柱・窓に損壊は見当たらない。



写真-1 被害判定に用いた外観写真の一例

基準は、家屋構造に対する物理的損傷の調査に視点をおいているため、災害後に地方公共団体が行うような被災者の生活再建の支援を目的とする被害判定基準とは乖離があることに注意が必要である。

ランク1である全壊・流失・大破は、外力に対して確実に耐えられなかったと判断される家屋、ランク3は小破であり、柱、壁などの構造が外力に対してほぼ耐えられたと判断されるものである。ランク2はその中間となる中破である。すなわち、柱や構造部分は残存しているが、壁の大部分は破壊されており家屋は倒れやすくなっているものと考えられる。ランク4は浸水のみで、構造への物理的損傷は見当たらないものとする。

判定は次の手順で行った。

- 被災前である2002年4月29日に撮影されたIKONOS衛星画像と住宅地図を重ね合わせ、実存していた家屋の同定を行う。
- 現地調査および住民の目撃証言に基づき、住宅地図上で実存していた家屋のうち、流失した家屋を同定し、全壊・流失・大破として判定する(7月23日、24日に実施)。
- 流失家屋同定の漏れが無いよう、災害前に撮影されたIKONOS衛星画像と被災後の7月23日に撮影された航空写真から災害前後の家屋の対応関係を調べ、家屋の全壊・流失・大破の判定を確認する。
- 残る家屋については、表-1の基準に基づき、著者らのグループが、外観目視と写真により各戸の被

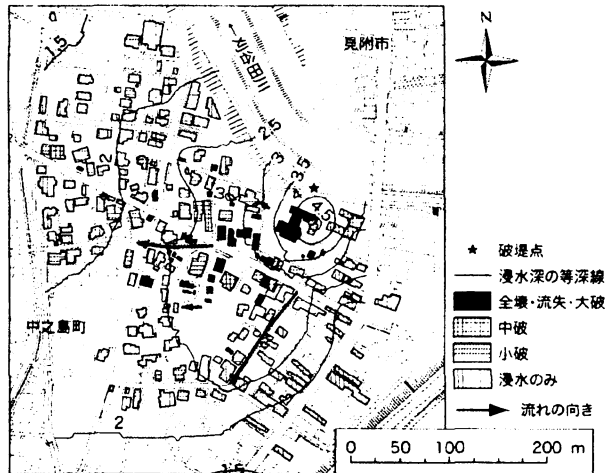


図-4 調査の実施により得られた家屋被害程度の分布

害程度を決定した。写真-1に外観写真の1例(被害程度は中破)を示す。

(3) 被害判定の結果

前項の判定の結果として得られた被害ランクの分布を図-4に示す。同図上には94地点において測量した浸水深の分布をもとにKriging補間法を用いて対象領域全体の浸水深の面的な分布を求め、0.5m間隔で等深線を引いた。これは、被害判定を行った全ての家屋について浸水深が得られなかったためである。浸水深が大きくなるほど、また道路に面している家屋ほど被害ランクが高くなること分かる。住民から得られた目撃証言により、13日13時の破堤後、氾濫流は破堤地点最近傍の妙栄寺の本堂を破壊し、その流れは南西方向が卓越していたことが分かった(図中の矢印)。得られた被害判定結果の分布特性はこの証言を支持していると言ってよいであろう。

図-5に家屋の被害ランクと浸水深との関係を示す。浸水深の値には補間値を用いているが、家屋の周囲では浸水深が連続的に変化するため、その平均値を代表値として表示している。また図には、既往の研究から、津波浸水深と家屋被害程度の関係が分かっているものについて、それぞれの文献から木造家屋の被害のみを可能な限り抽出し、同時にプロットした。本研究では以下のデータを比較対象として使用する。

- ・ 1964年アラスカ地震津波によるアラスカでの被害⁶⁾
- ・ 1986年日本海中部地震津波による秋田での被害⁷⁾
- ・ 1993年北海道南西沖地震津波による奥尻での被害⁵⁾

日本海中部地震津波災害およびアラスカ地震津波災害については、家屋の判断基準が必ずしも本研究と厳密には一致しないが、できるだけ本研究の基準にあわせてプロットした。また、ここに示したのはそれぞれの津波災害による被災家屋のうち、参照した資料⁵⁾⁶⁾⁷⁾の中で実測もしくは推定により浸水深が確認できる家屋のみである。そのため図-5において、浸水深の小さい範囲にも、実際には被害の小さな家屋が多数存在するはずである。

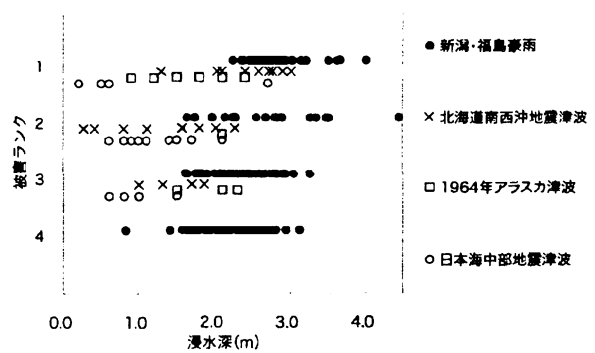


図-5 浸水深と被害ランクの関係

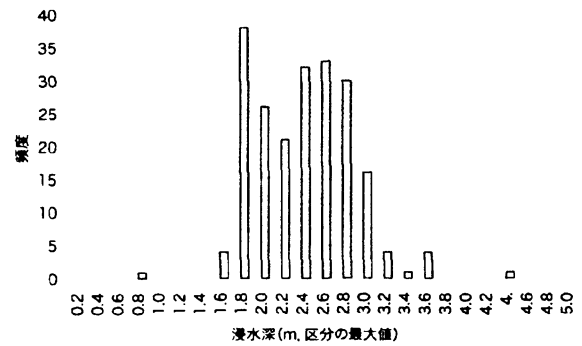


図-6 調査対象家屋の度数分布

図-5より、新潟水害では、浸水深が2m以上になるとランク1(全壊・流失)の被害が発生しはじめることが分かる。既往の津波災害では浸水深が2m以下でもランク1となるなど、新潟水害の被害よりも低い浸水深で発生している。判定基準を全く同一のものとした北海道南西沖地震津波の被害においてもこのことがいえ、概して津波災害の方が水害よりも低い浸水深で被害が出始めることが分かる。これは、津波が沿岸部では流速が大きく、港湾内の漂流物を多く含むため、その衝突による衝撃力の影響が無視できないことを示唆している。また、洪水が破堤点からの氾濫で、流れが四方に拡散するのに対し、津波は広範囲の汀線からの流れであることが多く、拡散しにくいことによる影響も考えられる。

したがって、中之島町の被害-浸水深の関係が津波のそれよりも過小な方向にシフトすることは妥当であると考えられる。

4. 家屋被害関数の構築

ここでは、得られた被害情報から、以下の手順に従って、家屋被害関数を構築する。

(1) 家屋被害率の算定

まず、被害調査から得られたデータセット(浸水深と

表-2 浸水レベルのデータセットの一例

代表浸水深	家屋コード	浸水深	ランク	棟数
1.56	42	0.80	4	20
	89	1.41	4	
	:	:	:	
	46	1.65	3	
	4	1.66	4	
1.73	7	1.67	3	20
	44	1.69	3	
	:	:	:	
	72	1.77	4	
	59	1.78	3	
1.84	56	1.79	4	20
	:	:	:	

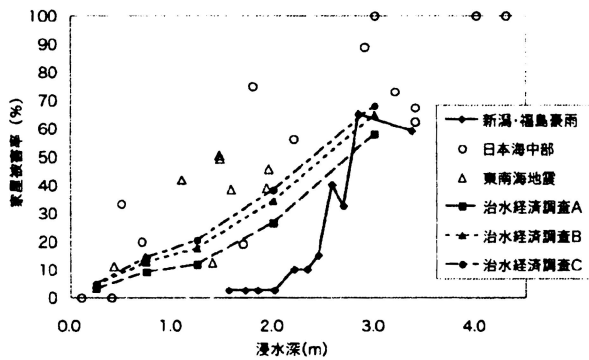


図-7 浸水レベルと家屋被害率の関係

家屋被害程度) に対して浸水深を任意の区間 (浸水レベル) に区切って家屋をグループに分類し, そのグループ内での家屋被害率を求める. 図-6に, 0.2m刻みで分類した浸水レベルに対する家屋棟数の度数を示す. この図から, 度数に偏りがある場合, その両端においては標本数が極端に少なくなり, 単純に等間隔で浸水レベルを設定して被害率を算出した場合, わずかな標本から推定する区間が生じ, その値の信頼性が低くなる. 家屋被害率を算定する際には, このような各浸水レベル内での棟数が不十分となることを避けるため, データを浸水深の深さ順に並べ替えた上で, 浸水レベルに応じて充分な棟数が得られるようにデータの統合を行い, 統計的精度を考慮して, 20棟毎に浸水レベルを定義した. 各浸水レベルに統合されるデータセットの例を表-2に示す. ここで, 浸水レベルを代表する浸水深は区間内の家屋の浸水深の平均値を用いた. このため, データの少ない浸水レベルでは, 浸水深の解像度が低くなることに注意が必要である.

浸水レベルに応じた家屋被害率 R_D の算定には次式を用いた. すなわち, 調査対象家屋棟数に占める, 大きな被害を受けた家屋棟数の割合として,

$$R_D = (a + 0.5b) / (a + b + c) \times 100, (\%) \quad (1)$$

である⁸⁾. ここで, a はランク 1 に分類される家屋数,

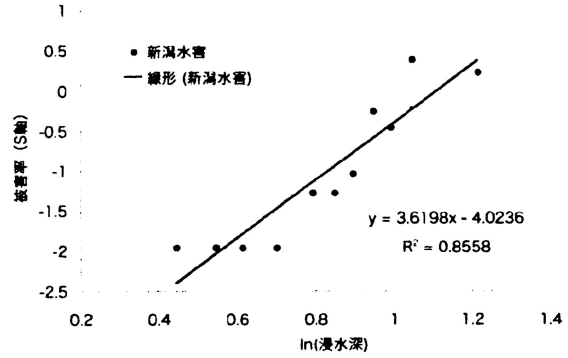


図-8 浸水深と家屋被害率の関係の確率紙表示

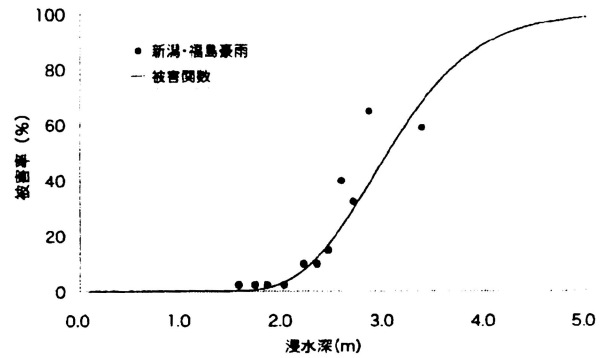


図-9 中之島町の家屋被害関数

b はランク 2 に分類される家屋数, c はランク 3 および 4 に分類される家屋数である.

図-7 に各浸水レベルに応じた家屋被害率の分布を示す. 比較対象として, 十分な量のデータが得られている 1983 年日本海中部地震津波災害における浸水深-被害率の関係, 被害率のデータが得られている 1944 年東南海地震津波災害における関係も示してある⁹⁾. 図-5 に示した浸水深と被害程度の関係と同様, 同じ浸水深であっても, 津波の氾濫流による家屋被害率はおよそ 20% 以上の差があることが分かる.

さらに, 直接的な比較はできないが, 治水対策の経済評価に用いられる治水経済調査マニュアルの浸水深と家屋被害率の関係も同図上に示してある. グループ A は地盤勾配が 1/1000 未満, C は 1/500 以上, B はその中間である. どのグループも津波による被害率よりも全体的に低いながら, 我々が行った新潟水害の判定結果よりも高い値となっている. これは冒頭に述べた, 判定目的の違いによる判定基準の違いによるもので, 治水経済調査マニュアルは, 浸水直後のみでなく, 内装の被害や, その他の複次的な被害も含めた被害額を求めるためのものである. 今回の判定結果より大きくなるのは妥当であると考えられる. 特に, 浸水深が 2.5m よりも小さい場合には両者の乖離が大きくなる. 浸水深が小さな場合には, 家屋構造の物理的損傷程度は小さいものの, 内装等の被害を考慮しなければならないためである. 浸水深が大き

い場合には、全壊・流失率が相対的に大きくなるので、両者はほぼ同じ結果となる。

(4) 家屋被害関数

前項の浸水レベル・被害率の関係は、データ数を考慮して定義した浸水レベルに応じて被害率を算定するために有効なものであるが、任意の浸水深に対応した被害率を算定するためには、回帰分析を行い家屋被害関数（家屋被害率曲線）を求める必要がある。

いま、外力（浸水深）の大きさに対して家屋被害率が正規分布または対数正規分布に従うと仮定する。ここで、ある浸水深 x のときに得られる家屋被害率 $P_D(x)$ は、式

(2) に示す対数正規分布で表されると仮定した。この仮定は、地震による建物被害の被害関数を構築する際に地震工学の分野で一般的に用いられている[たとえば、村尾・山崎 (2000)]¹⁰⁾。すなわち、標準正規分布の分布関数 Φ を用いて、

$$P_D = \Phi((\ln x - \lambda)/\zeta) \quad (2)$$

と表される。ここで λ 、 ζ はそれぞれ $\ln x$ の平均値、標準偏差であり、これらの値を図-8 のような確率紙を用いた最小二乗法によって求めた。本研究により得られた浸水深と家屋被害率の関係に、図-5 の回帰分析から求められた対数正規分布曲線を重ねて示したものが図-9 である。 λ 、 ζ の値はそれぞれ 1.11、0.22 であった。なお、回帰分析における相関係数は 0.8558 であり、得られた被害関数は被害を説明できていると考えてよいだろう。この結果から、中之島町の刈谷田川破堤点周辺における家屋被害関数は次式となり、この式を用いて任意の浸水深に対応する家屋被害率を算定することが可能になる。

$$P_D = \Phi((\ln x - 1.11)/0.22) \quad (3)$$

5. 結論

2000年7月新潟豪雨災害における中之島町の家屋被害調査を実施し、氾濫流の浸水深から家屋被害の概略を推計できる被害関数を構築した。

得られた被害関数を、津波氾濫流による家屋被害関数と比較した結果、物理的には類似した現象であっても、被害率に20%以上の差が生ずることが分かった。これは、津波には、漂流物の衝突による影響、破堤のような開口部からの拡散する流れではなく面的に同一方向へ流れることによる洪水とは異なる流速の影響が津波の被害関数に含まれているためであると考えられる。また、本研究の結果を治水経済調査マニュアルに基づいた被害率と比較すると、浸水深が2.5mよりも小さい場合には両者に乖

離が見られた。これは、治水経済調査マニュアルが家屋の物理的な損傷だけではなく、被害額の推計という観点から得られたものであるためと考えられる。浸水深が小さい場合には、家屋構造の物理的損傷程度は小さいものの、内装の被害を考慮しなければならないためである。浸水深が大きい場合には、全壊・流失率が相対的に大きくなるので、両者はほぼ同じ結果となることが分かった。

ただし、本研究で構築した被害関数は新潟豪雨災害での中之島町の家屋被害しか反映されていないため、一般化を目指した更なる検証が必要となることに注意が必要である。

謝辞：新潟県南蒲原郡中之島町の町民の方々には、被災後の復旧に忙しい中でありながら、本調査にご協力いただいた。ここに記して謝意を表す。また、本研究は文部科学省の大都市大震災軽減化特別プロジェクト（代表：河田恵昭）の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 国土交通省北陸地方整備局・新潟県：平成16年7月新潟・福島豪雨，第2報，2004。
- 2) 建設省河川局：治水経済調査マニュアル（案），2000。
- 3) 河田恵昭・中川一：三隅川の洪水災害—洪水氾濫と家屋の被害—，京都大学防災研究所年報，第27号B-2，pp.179-196，1984。
- 4) 佐藤智・今村文彦・首藤伸夫：洪水氾濫の数値計算および家屋被害について—8610号台風による吉田川の場合—，水理講演会論文集，第33回，pp.331-336，1989。
- 5) 首藤伸夫：北海道南西沖地震津波による家屋の被害，津波工学研究報告，第11号，pp.11-28，1994。
- 6) 首藤伸夫：米国クレセント市における1964年アラスカ津波，津波工学研究報告，第20号，pp.61-99，2003。
- 7) 水産庁：昭和60年度国土総合開発事業調整費 日本海中部地震津波対策調査報告書，pp.53-55，1986。
- 8) 羽鳥徳太郎：津波による家屋の破壊率，地震研究所彙報，Vol.59，pp.433-439，1984。
- 9) 羽鳥徳太郎・相田勇・岩崎伸一・日比谷紀之：尾鷲市街に遡上した津波の調査—1994年東南海，1960年チリおよび1854年安政津波，地震研究所彙報，Vol.53，pp.245-263，1981。
- 10) 村尾修・山崎文雄：自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数，日本建築学会構造系論文集，第527号，pp.189-196，2000。

(2004.9.30 受付)