

近年の豪雨災害データベースに基づく洪水氾濫時の家屋被害関数の構築

東京理科大学 ○二瓶 泰雄*
東京理科大学 柏田 仁*

豪雨災害 家屋被害 洪水氾濫
家屋被害関数 令和元年東日本台風 建物 SG モデル

研究の目的

近年、全国各地で豪雨災害が発生しており、記録的な水害被害が発生し、顕著な「家屋被害」が生じている。洪水時の家屋被害に関しては、災害外力である洪水氾濫は土木（河川）分野、家屋被害は建築分野と、土木・建築の境界分野であり、研究事例が非常に少ない。建築分野では、耐震・耐風・耐火技術は充実しているのに対して、耐水（耐洪水）技術は大きく遅れている。本研究では、近年多発する豪雨に伴う甚大な家屋被害状況と洪水氾濫状況の定量評価可能な「洪水家屋被害関数」を構築することを目的とする。ここでは、研究代表者が長年蓄積している洪水氾濫・家屋被害状況に関する実測・数値シミュレーション結果に基づく豪雨災害データベースを活かし、洪水氾濫状況（浸水深や流速、流体力等）と家屋被害状況（家屋の流失）の関係性を表す洪水家屋被害関数（例えば、浸水深と流失発生率の関係）を作成する。また、被害関数の構築に際して、数値シミュレーションモデルの開発を行った。ここでは、広域の河川流・氾濫流一体計算において計算機負荷の増加を抑制しつつ、洪水氾濫時における建物一棟一棟の被害評価を可能とするために、計算格子サイズよりも小さなスケールの建物に作用する流体力を適切に評価可能な、新しい建物流体力評価用サブグリッドモデル（以下、建物 SG モデル）を導入した三次元氾濫モデルを新たに構築する。

研究の内容

<対象洪水と家屋被害概要>

本研究では、平成 27 年関東・東北豪雨の鬼怒川、令和元年東日本台風の千曲川、令和 2 年 7 月豪雨の球磨川、という 3 つ洪水災害を対象に洪水家屋被害関数を構築した。

<洪水氾濫シミュレーションモデルの概要>

本解析では 3 洪水に対して河川流・氾濫流一体解析法を適用した。R2 年球磨川では、代表者らが開発した「Hy2-3D モデル」を使用する。本モデルは平面二次元計算と三次元計算を併用することで、高効率な三次元流動計算を可能としている。被害関数構築に際して、洪水氾濫時における建物一棟一棟の被害評価を可能とするために、計算格子サイズよりも小さなスケールの建物に作用する流体力を適切に評価可能な、新しい建物流体力評価用サブグリッドモデル（以下、建物 SG モデル）を導入した。

H27 年鬼怒川と R1 年千曲川の解析には Hy2-3D モデルではなく、平面二次元計算を用いた。

<被害関数の構築方法>

建物流失率の算出方法は鈴木ら（2005）を参考としており、洪水指標を任意の区間（レベル）に区切って建物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ている。この方法を採用した理由は、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るためである。これを避けるため、建物データを洪水指標の大きさ順に並べ替えた上で、浸水レベルに応じて十分な棟数が得られるように任意の区間（レベル）に区切っている。

被害関数の回帰式の算定方法は、地震の家屋被害関数と同様の方法で試みた。村尾ら（1999）は「ある地震動 x の時に被災ランク R 以上の被害が発生する確率 $P_R(x)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 $\Phi(x)$ を用いて、対数正規分布で表せる」と仮定し、地震動における家屋被害推定式として以下のような式を構築している。洪水指標として浸水深 h 、流速 v 、単位幅流量 $q(=vh)$ 、流体力指標 v^2h を採用しており、建物 SG モデルを用いた球磨川上流では、流体力 F [kN] を加えて、家屋被害関数を構築した。

研究の成果、新知見

<家屋被害と水理量の関係>

3 洪水において得られた計算結果による水理量と現地調査による家屋被害状況を定量的に比較・検討するために、家屋被害と水理量の関係を取りまとめた。これより、H27 年鬼怒川に注目すると、流速と水深が各々 2.0m/s、2.0m を超えると流失家屋が多く発生しており、これらは倒壊限界（旧耐震基準）を上回っている。また、倒壊限界（旧耐震基準）を上回った浸水建物はほとんど存在していない。次に、R 元年千曲川では、鬼怒川と同様に、流失建物は高流速・大水深の範囲に分布し、浸水建物は低流速・小水深にまとまって分布した。R2 年球磨川でも、流失建物は高流速・大水深、浸水建物は低流速・小水深という傾向は一致している。しかし、鬼怒川や千曲川と比べて全体的に水深が大きい。これは鬼怒川・千曲川洪水では堤防決壊に起因する拡散型氾濫が、球磨川では流下型氾濫がそれぞれ卓越し、氾濫形態の違いが水理量に大きく影響している。

<家屋被害に対する建築構造の影響>

前節では建物構造を考慮せずに水理量と建物被害を、旧・新耐震基準値と比べたが、全ての流失家屋が旧耐震基準を上回っていないことが明らかとなった。この要因としては、流失建物の構造や諸元を考慮していないことが挙げられる。そこで、建築分野の専門家に協力を仰ぎ、R2 年球磨川上流の流失建物の構造分類を行った。ここでは、Google street viewに残される流失前の建物写真を用い、分類としては階数（1階建て、2階建て、ピロティ建築）、建築年代（非常に古い、古い、新しい）、構造（木造、軽量S造、重量S造、RC造、混構造、ピロティ）とした。年代の判別は定性的ではあるが、木造建築の耐震基準改定を目安として、「非常に古い」は1981年以前の旧耐震基準相当、「古い」1981年以降2000年以前の旧耐震基準相当、「新しい」は2000年以降である。これより、対象エリアで流失した136棟中、木造は107棟（78.7%）であり、その中でも「非常に古い」木造が85棟（62.5%）と最も卓越しているが、「古い」木造は20棟（14.7%）あり、「新しい」木造も2棟（1.3%）存在した。また、軽量・重量S造や混構造は25棟（18.4%）も存在し、その中でも軽量S造が多かった。ピロティ建築も4棟流失し、そのうち3棟は木造、1棟は混構造であり、耐水建築として知られるピロティ建築でも一部で流失被害が見られた。

これらの建物諸元データを用いて、建物被害と水理量の相関関係を、建物階数別・建築年代別・構造別に検証した。これより、流失建物136棟のうち、旧耐震基準を上回った流失建物は122棟であり、下回った流失建物14棟のうち11棟は1階建て建物であった。重量が軽い1階建て建物は、比較的小さな水理量で流失したことが推察される。同じく14棟のうち9棟が「非常に古い」木造建物であった。また、「新しい」流失建物は全て新耐震基準を上回っている。構造別では、重量S造や混構造の建物の多くは高流速・大水深に集中している一方、木造や軽量S造の建物は、小さな水理条件でも流失しており、構造別に建物流失条件が異なることが示唆された。

<洪水建物被害関数>

3つの洪水時の家屋被害データを用いて、洪水指標として浸水深 h 、流速 v 、単位幅流量 q 、流体力指標 v^2h を採用して得られた洪水建物被害関数を構築した。決定係数 R^2 は全ての指標について1に近い値を取っており、全ての指標において有効な被害関数が構築された。決定係数 R^2 の大きさは、流速<浸水深<単位幅流量<流体力指標となり、浸水深や流速よりも、両者の要素を組み合わせた単位幅流量や流体力指標の方が有効である。従来の洪水家屋被害関数は、浸水深 h のみを基に構築されていたが、流体力指標 v^2h や単位幅流量 q を用いた被害関数が被害推定に有用であることが示唆された。

これらの結果を詳細に見ると、浸水深の家屋被害関数

は、水深2mを超えると流失率が上昇を始め、水深3mから急激に流失率が上昇した。流速の洪水家屋被害関数は、流失率は小さな流速（0.5m/s）から上昇し、流速1.0m/sで5%、1.5m/sで10%、2.5m/sで25%となった。単位幅流量 q に関しては、7.18m³/sで26.6%の流失率を示し、4指標の中で最も大きな流失率を記録した。流体力指標は最も決定係数 R^2 が高く関数の適合度が高く、 $v^2h=10.54\text{m}^3/\text{s}^2$ で流失率26.0%を示し、流速と同様に直線的に増加した。

建物SGモデルでは直接個々の建物に作用する流体力を算出しているため、流体力を洪水指標として家屋被害関数を構築した。これより、決定係数 R^2 が十分1に近く、他の指標と同様に有効な被害関数が得られており、建物SGモデルの流体力評価の有効性が概ね妥当であることが検証された。被害関数形状としては上に凸となるような対数関数的な増加挙動をしており、他の洪水指標（浸水深や流速、 q 、 v^2h ）が直線的もしくは指数関数的な増加状況だったのとは大きく異なっている。流体力 F は v^2h と家屋幅の積に比例しており、 F が大きいくところは家屋幅や平面面積が大きく、結果として重量が大きいくことや建築構造が木造からS造となっていた。そのため、建物構造毎に洪水建物被害関数を構築することが必要不可欠であり、今後の大きな課題である。

また、流失した木造建物（非常に古い・古い）を対象として、流体力 F と重量 W の比（ F/W ）の累積分布を検討した。これより、全般的には、 F/W 値は、非常に古いく古いの大小関係となり、 F/W 値は建築年代の影響を受けている。また、 F/W の中央値は、「非常に古い」は0.10、「古い」は0.16であった。地震を外力とした旧耐震基準（「古い」建物）の F/W 値が0.20であることを考えると、「古い」建物の約68%は0.20以下となっていた。これは、洪水流の流体力は、地震と比べて継続時間が大幅に長いことが関係しているものと考えられ、外力の継続時間を考慮した家屋流失判定条件の検討が必須である。

今後の予定

洪水では、地震力と異なり、長時間にわたり継続的に流体力が作用するが、考慮できていない。まあ、前記したように、建物構造毎に洪水建物被害関数を構築することが必要不可欠である。これらの流体力の継続時間と被害の関係性解明を建物構造毎に行うことが今後の研究課題と据える。

謝辞

建物分類には工学院大学建築学部まちづくり学科・久田嘉章研究室にご協力頂きました。数多くの現地調査・数値解析には、東京理科大学水理研究室の学生・卒業生にご協力頂きました。ここに記して謝意を表します。