

◇技術紹介 Technical Report◇

## 多様化する水害リスクの評価技術

### Evaluations and Countermeasure Techniques for Management of Various Water Disaster Risks

副島 紀代	Michiyo Soejima
萩原 由訓	Yoshinori Hagiwara
榎木 康太	Kota Enoki
吉野 攝津子	Setsuko Yoshino
野畑 有秀	Arihide Nobata

#### 1. はじめに

日本は地理的、地形的な諸条件から、台風、豪雨等の災害が発生しやすい国土となっている。また、近年の地球温暖化の影響や都市化に伴う社会構造の変化等により、風雨による被害と社会への影響は年々その頻度の増加とともに深刻さを増している。ここでは水害を対象として、最近の被害傾向および今後の被害想定に対する大林組の取組みについて紹介する。

#### 2. 近年の水害の傾向

最近 10 年間に発生した主な国内外の水害事例を Table 1 に示す。様々な事例から、近年の水害の特徴として、以下の傾向が挙げられる。

##### 2.1 短時間強雨の増加

水害の根本の原因である雨量は、地球温暖化の影響等により年々増加傾向であるといわれている。アメダス(気象庁の地域気象観測システム)が観測した 1 時間降水量 80mm 以上の短時間強雨の年間観測回数のグラフ(Fig. 1)からは、統計期間である 1976~2017 年の約 40 年間で増加する傾向が明瞭にみられる。また都市化によるアスファルト舗装などの影響により、雨水の地中への浸透が低下しており、局所的な豪雨が降ると下水道や中小河川に一時的に雨水が集中する。その結果、中小河川の急激な増水や内水氾濫が発生する。2008 年に発生した神戸・都賀川の急激な増水による水難事故や東京・雑司ヶ谷での下水道幹線工事現場内での急な出水による死亡事故、またしばしば発生しているアンダーパスの冠水による事故もこのような短時間強雨(いわゆる「ゲリラ豪雨」)が原因となっている。

##### 2.2 総雨量の増加

短時間の降水量だけでなく、総雨量も増加傾向にある。2011 年台風 12 号では奈良県上北山村で 1652.5mm(72 時間雨量)という記録的な雨量が観測された。また、2015 年の「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨」では、栃木県日光市今市で 647.5mm(2015/9/7~9/11)が観測され、鬼怒川の水海道水位観測所(茨城県常総市)において観測史上最大流量が記録された。その結果、流下能力を上回る洪水となり、7 ヶ所で溢水し、常総市三坂町地先で堤防が決壊した。このように総雨量の増加は大規模河川の洪水の引き金となり、2011 年のタイの大洪水のように、広域に甚大

な影響を及ぼす恐れがある。さらに、2013 年に伊豆大島で発生した土砂災害や 2014 年の「平成 26 年 8 月豪雨」による広島市の土砂災害のように、大規模な土砂災害を伴う土砂洪水複合災害を引き起こす場合もある。

##### 2.3 過去に水害経験の少ない地域での被災

これまでに台風による水害が少なかった地域での被災事例も増えている。2016 年 8 月には台風 7 号、11 号、9 号が相次いで北海道に上陸した。また台風 10 号は暴風域を伴ったまま岩手県に上陸し、東北地方を通過し日本海に抜けた。北海道に 3 つの台風が上陸したことや、東北地方の太平洋側に台風が上陸したことは、気象庁が 1951 年に統計を開始して以来、初めてのことであった。これらの台風により、北海道と岩手県ではこれまでにない記録的な雨となり、洪水による甚大な被害が発生した。岩手県岩泉町では山地河川洪水により山間部の集落で急激に水位が上昇し、高齢者福祉施設で逃げ遅れた入所者 9 名が死亡するという痛ましい事故も発生した。

##### 2.4 水害の多様化

降雨による水害の他にも、2011 年東日本大震災の際の大規模な津波被害をはじめ、2012 年のアメリカにおけるハリケーン・サンディや 2013 年のフィリピンにおける台風による高潮の被害、2011 年東日本大震災や 2016 年熊本地震の際に発生したダム・ため池などの決壊による洪水など、多様な水害が発生している。また水害の広域化、複合化も懸念される。平成 30 年 7 月豪雨では、前線や台風の影響で西日本各地で長時間の記録的な大雨となり、大規模な洪水や土砂災害、ため池の決壊等、様々な災害が広域で同時多発的に発生し、甚大な被害となった。

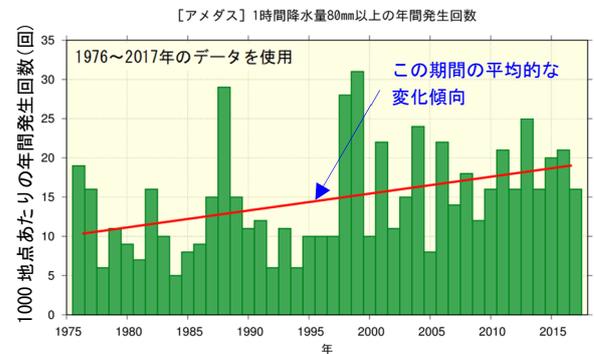


Fig. 1 アメダスが観測した 1 時間降水量 80mm 以上の短時間強雨の発生回数 (気象庁りに加筆)  
Frequencies of Heavy Rainfalls  
(Hourly Precipitation over 80mm/h)

### 3. 水害リスクへの対応

#### 3.1 水害に対する社会の動向

2000年頃から都市部における局地的集中豪雨による被害が問題になり、大林組では2007年に社内の設計者向けに「水害に対する設計ガイドライン」を作成した<sup>2)</sup>。それから今日までの約10年の間にも、Table 1に示すように自然災害による多様な水害が発生している。また、2011年タイの洪水では、日本企業の工場被害による製品製造の滞りなど、海外の水害リスクの認知が事業継続の面で重要な問題に繋がることも顕在化した。

これらの数々の被害に対応すべく、国や関係機関も関係法令・規準等の改正を行っている<sup>3)</sup>。特に2011年の東日本大震災を契機に、たとえ発生頻度が低くても想定を超えるような事象が起り得るなら、「想定外」を作らないために検討すべきだという機運が高まった。そこで、津波に関しては、2011年に中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」の最終報告<sup>4)</sup>において、「従来の規模の(比較的発生頻度の高い)津波」(レベル1)と、「発生頻度は極めて低いが大規模な被害をもたらす最大クラスの津波」(レベル2)という2つのレベルの津波を想定することが示された。また、2015年に改正された水防法では、想定する災害レベルを従来の「計画規模の降雨」から「想定し得る最大規模の降雨」に拡大することが示された<sup>3)</sup>。今後これらの整備が進むにつれて、「想定し得る最大規模」の降雨や津波等による水害対応が各地で求められることが予想される。

一方、「想定し得る最大規模」の事象(レベル2)に対して施設等の浸水を完全に防ぐことは、経済的にも社会環境・自然環境の面からも現実的ではない。そこで最近で

は、レベル2相当の過酷な事象に対してはある程度の損傷や浸水、財産損失を許容した上で、人命保護を最優先の目標とするなど、事象の規模・発生頻度に応じた対応が求められている。最近注目されているタイムライン<sup>5)</sup>は、被害の発生を前提として、事前に「いつ」「誰が」「何をするのか」を明確に時系列で整理したものであり、特にレベル2相当の事象に対する被害の軽減を目的として、国や自治体による導入の動きが進んでいる。さらに福祉施設や地下街、大規模工場等でも、人的被害の軽減を目的として、浸水防止計画や浸水時の避難確保計画の策定が法的に求められるようになってきている。

#### 3.2 「水害に対する設計ガイドライン」の改訂

大林組では、以上のような最新の知見を反映させ、2017年に技術研究所と本社設計部門との協働で「水害に対する設計ガイドライン」を全面的に改訂した(Fig. 2)。水害の激甚化、多様化に対応し、想定外のリスクを極力なくすべく、考慮すべき水害の種類を増やすとともに、それぞれの特徴に応じて地形等による潜在的な水害のリスクをスクリーニングすることとした。また、人的リスク・物的リスク、法的な要求事項をチェックリストにより客観的に評価し、避難安全性や事業継続性も考慮した上で、事象の規模・発生頻度(レベル1/レベル2)に応じた防護目標を設定し、適切な対策を選定するフローとなっている。対策の立案に当たっては、大林組保有技術を中心とした様々なメニューや適用事例を示し、ハード対策に加え、タイムラインを考慮した避難計画などのソフト対策を適切に組み合わせることにより、総合的な水害リスクへの対応を目指した内容となっている。次章ではガイドラインに示した対応技術を紹介する。

Table 1 最近10年間に発生した国内外の主な水害事例  
List of Recent Damages Caused by Water Disaster During the Last 10 Years

発生年	名称(太字は気象庁の正式名称)	主な被害	原因となる気象現象
2008年	神戸・都賀川水難事故	局所的な豪雨により都賀川が急速に増水し5名死亡。	大気不安定による局地的豪雨
2008年	雑司ヶ谷幹線再構築工事事故	局所的な豪雨により下水管内が急激に増水。作業員5名死亡。	大気不安定による局地的豪雨
2008年	栃木県鹿沼市アンダーパス冠水事故	冠水したアンダーパスで車が立ち往生、運転手1名が水死。	大気不安定による局地的豪雨
2008年	<b>平成20年8月末豪雨</b>	愛知県岡崎市や東京都八王子市などで浸水・土砂災害被害。	前線と低気圧の影響による局所的な豪雨
2009年	<b>平成21年7月中国・九州北部豪雨</b>	山口県防府市の特別養護老人ホームに土砂流入、7名が死亡。	梅雨前線による大雨
2010年	岐阜県可児市7・15豪雨災害	岐阜県可児市でアンダーパス冠水による浸水被害が発生。	梅雨前線による大雨
2011年	<b>平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震</b>	大津波により死者・行方不明者2万人超。	地震に伴う津波
2011年	<b>平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震</b>	福島県須賀川市の藤沼ダムが決壊、死者・行方不明者8名。	地震
2011年	<b>平成23年7月新潟・福島豪雨</b>	広域で浸水・土砂災害が発生。鉄道やインフラにも被害。	前線の影響による大雨
2011年	チャオプラヤ川洪水(タイ)	洪水で広域にわたって長期に浸水被害、産業にも多大な影響。	台風の影響などによる長期にわたる多雨
2011年	紀伊半島豪雨	大規模な土砂災害、河川氾濫が発生。死者・行方不明者98人。	台風12号による大雨
2012年	<b>平成24年7月九州北部豪雨</b>	浸水・土砂崩れによる被害。死者・行方不明者32名。	梅雨前線および大気不安定による大雨
2012年	ハリケーン・サンディ(アメリカ)	高潮でニューヨークを中心に大規模な浸水被害。	ハリケーンによる大雨および高潮
2013年	平成25年伊豆大島土砂災害	伊豆大島で大規模な土砂災害。死者・行方不明者39名。	台風26号による大雨
2013年	フィリピン高潮災害	高潮によりレイテ島タクロバンを中心に甚大な被害。	台風30号による高潮
2014年	<b>平成26年8月豪雨</b>	広島市では大規模な土砂災害が発生し死者74名。	前線と台風12・11号による豪雨・高潮
2015年	<b>平成27年9月関東・東北豪雨</b>	線状降水帯が発生、鬼怒川の氾濫で広域浸水被害。	前線と台風18号による局所的豪雨
2016年	<b>平成28年(2016年)熊本地震</b>	黒川第一発電所で設備損壊、発電用水が流出し下流で被害。	地震
2016年	平成28年8月北海道豪雨	洪水や土砂災害により広範囲で浸水、甚大な被害が発生。	前線と台風7・9・10・11号による大雨
2016年	平成28年8月岩手豪雨	岩手県の高齢者福祉施設で入所者9名が死亡。	前線と台風7・9・10・11号による大雨
2016年	愛知県清須市アンダーパス冠水事故	局地的豪雨でアンダーパスが冠水し水没した車両で1名死亡。	台風16号および前線による大雨
2017年	<b>平成29年7月九州北部豪雨</b>	線状降水帯により土砂災害が多発、死者・行方不明者26名。	梅雨前線と台風3号による局地的豪雨
2018年	<b>平成30年7月豪雨</b> (西日本豪雨)	記録的な大雨で広域に甚大な被害。死者・不明者200名超。	前線と台風7号による広範囲の大雨



Fig. 2 水害に対する設計ガイドライン  
An Design Guideline for Water Disaster

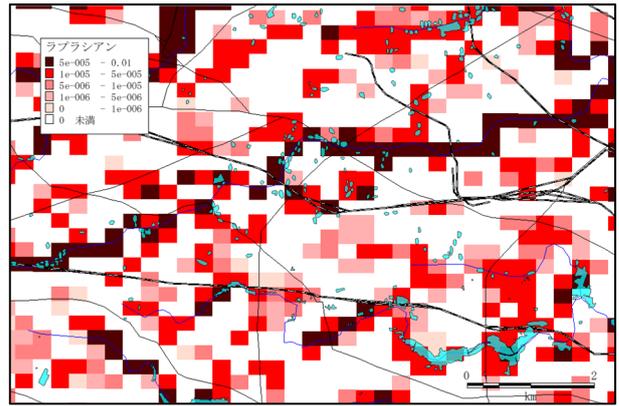


Fig. 3 標高ラプラシアン計算例<sup>6)</sup>  
Altitude Laplacian for Evaluation of Water Damage Risks

#### 4. 適用可能な各種評価技術の紹介

##### 4.1 潜在的な水害危険性の把握

対象施設の水害の危険性を評価する際には、まず立地地点の地理および地形的条件による潜在的な水害危険性を把握することが重要である。そこでガイドラインでは、いくつかの評価項目から簡易スクリーニングを行うこととしている。例えばその1つとして、標高のラプラシアンによる評価(Fig. 3)がある。標高のラプラシアンは地形の凹凸を表す指標で、窪地や谷などの凹地形では正の値になる。窪地は水が溜まりやすいことから、この値を用いてその土地が本質的に持っている水害(内水氾濫および外水氾濫)に対する危険性の度合いを簡易的に評価する手法を提案している<sup>6)</sup>。ただし、これらはいずれもすべての浸水地域を包含するとは限らないため、複数の指標から総合的に判断することが必要である。

2015年の水防法の改正で、河川洪水・内水氾濫・高潮・津波については、自治体にハザードマップの作成・配布が義務化された<sup>3)</sup>。Fig. 4に想定最大規模の洪水による浸水ハザードマップの例<sup>7)</sup>を示す。立地地点の具体的なリスクを把握するためには、このような情報も有効である。ただし、ハザードマップは特定の事象に対する評価結果であるため、あるハザードマップで被害の可能性が低いと判断される場合でも、想定外をなくすためには前述の地理および地形的条件に基づく総合的なリスクの把握が肝要である。

##### 4.2 浸水危険性の評価

地下室を有する建物や地下街の場合、対象地点の浸水深のほか、どのように地下に氾濫水が流入してくるのかという予測が人的リスク・物的リスクへの対応に役立つ。建物内浸水予測モデルでは、建物内への流入条件を規定することで、浸水状況をシミュレーションすることができる。Fig. 5に地下駐車場をモデルとしたシミュレーション例を示す。地下4階までの車路およびフロアを6面体セルを用いてモデル化し、2か所の地上入口および出口から50m<sup>3</sup>/sの割合(地上浸水深2m程度を想定)で水が流

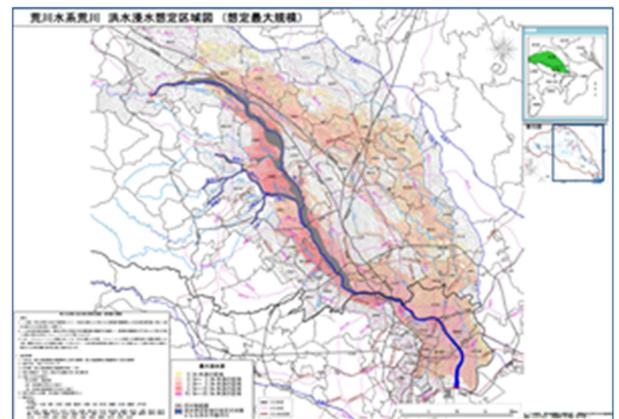


Fig. 4 荒川水系荒川洪水浸水想定区域<sup>7)</sup>  
(想定最大規模)  
Estimation of the Maximum Flood of Arakawa River

入する条件で、経過時間ごとの浸水深の分布、水圧および流速を描画した。その結果、浸水開始から約60秒で地下4階部分に浸水が到達することや、その頃に上階では場所によって2m近い水深となっていること、斜面部では最大8m/s程度の高い流速(射流)となり、斜面終端部では高水位(常流)となっていることなどが明らかとなった。経過時間による各階の浸水深を知ることで、どのくらいの避難余裕時間が必要か、また浸水させたくない設備・機器をどの位置に設置するのが適切かを把握することができる。

##### 4.3 避難安全性の評価

4.2節に示す浸水シミュレーションに避難シミュレーションを組み合わせることによって、避難行動の傾向や対策による避難安全性への効果を定量的に示すことができる。Fig. 6は地下街の浸水避難シミュレーションの例<sup>8)</sup>、Fig. 7は津波避難シミュレーションの例<sup>9)</sup>である。人命を第一に考えるには避難安全性の確保が必須であり、このような手法で対策の効果を検証することは、人的被害の軽減に大変役立つ。また、ハード対策だけでなく、警報や避難誘導、教育・訓練といったソフト対策の効果も、シミュレーションにより検証が可能である。

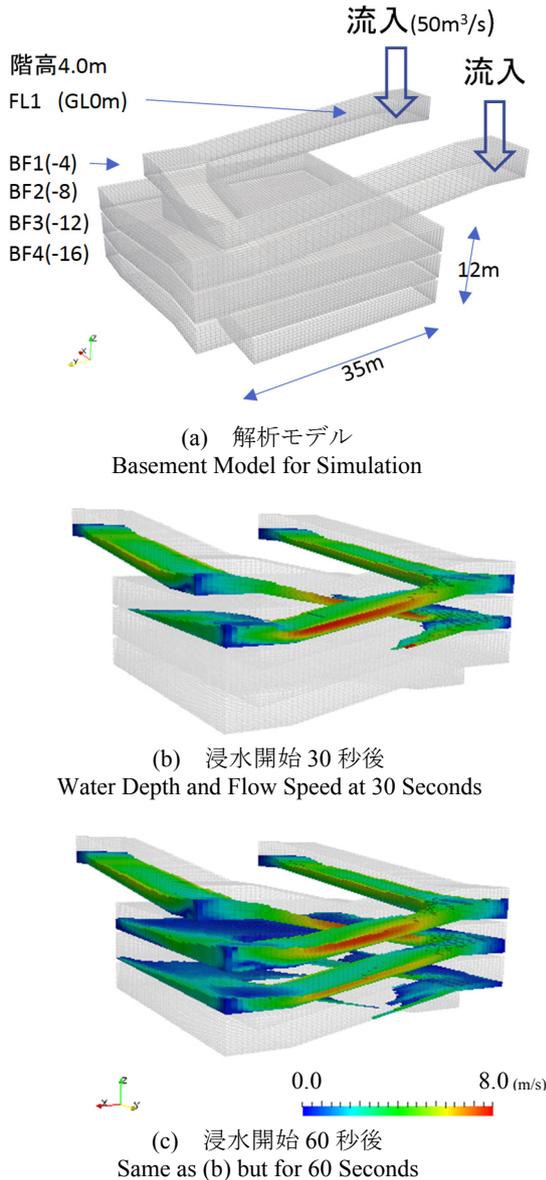


Fig. 5 浸水予測モデルによる解析例  
Simulation of Flooding into Basement

## 5. まとめ

2017年に改訂された「水害に対する設計ガイドライン」の内容に基づき、最近の被害傾向および今後想定される被害に対する大林組の水害リスク対応技術について紹介した。大規模な水害に対しては、完全に浸水を防止するのは難しいのが現状であるが、タイムラインを活用した早期の対応で被害を最小限に留めたり、適切な避難計画で避難安全性を確保したりするなど、ハード技術とソフト技術を組み合わせて総合的にリスクに対応することが重要である。今後も気象変動や社会構造の変化に伴い、新しい形態の水害が発生する可能性があるが、常に時代の変化に追随し、自然災害による被害の軽減に努めていきたいと考えている。

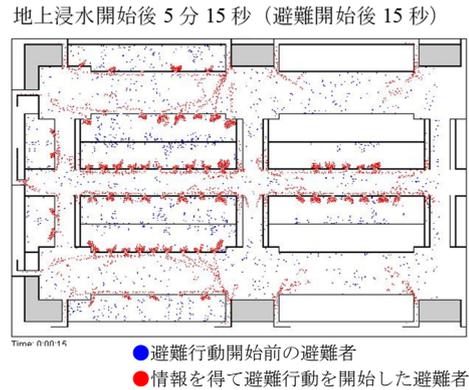


Fig. 6 地下街の浸水避難シミュレーションの例<sup>8)</sup>  
A Screen Shot of Flood Evacuation Simulation

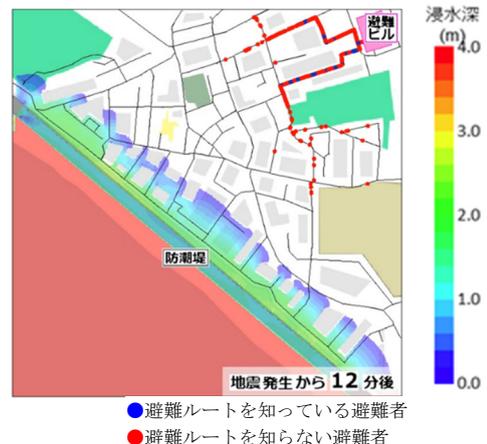


Fig. 7 津波避難シミュレーションの例<sup>9)</sup>  
A Screen Shot of Tsunami Evacuation Simulation

## 参考文献

- 1) 気象庁：大雨や猛暑日など(極端現象)のこれまでの変化, [http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme\\_p.html](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html), 2018.6.4 閲覧
- 2) 菊地敏男, 他：建物の水害に対する設計ガイドラインについて, 大林組技術研究所報, No. 71, 2007
- 3) 小澤隆：近年の水害の状況と水防法, 国立国会図書館調査と情報 -ISSUE BRIEF-, No. 946, 2017
- 4) 内閣府中央防災会議：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告, 2011
- 5) 国土交通省 水災害に関する防災・減災対策本部 防災行動計画ワーキンググループ：タイムライン(防災行動計画)策定・活用指針(初版), 2016
- 6) 萩原由訓, 他：GIS データを用いた都市水害に関する簡易危険度評価の研究, 大林組技術研究所報, No. 79, 2015
- 7) 国土交通省関東地方整備局荒川上流河川事務所：「荒川水系洪水浸水想定区域」, [http://www.ktr.mlit.go.jp/arajo/arajo\\_index038.html](http://www.ktr.mlit.go.jp/arajo/arajo_index038.html), 2018.6.4 閲覧
- 8) 吉野攝津子, 他：地下街浸水避難シミュレーション, 大林組技術研究所報, No. 79, 2015
- 9) 武田篤史, 他：津波避難シミュレーションを用いた地域の安全性向上, 大林組技術研究所報, No. 78, 2014