

洪水氾濫によるライフライン停止被害の 定量的な算出手法の開発

DEVELOPMENT OF QUANTITATIVE ESTIMATION OF LIFELINE DAMAGE BY FLOOD

多田直人¹・池内幸司²・廣瀬昌由¹・栗林孝典³・猿渡広邦⁴

・伊藤弘之⁵・久保田啓二郎⁶・大浪裕之⁷・池田剛司⁸

Naoto TADA, Koji IKEUCHI, Masayoshi HIROSE, Takanori KURIBAYASHI,
Hirokuni SARUWATARI, Hiroyuki ITO, Keijiro KUBOTA, Hiroyuki OONAMI and Goji IKEDA,

¹正会員 工修 国土交通省 水管理・国土保全局 (〒110-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)

²正会員 博士(工学) 国土交通省 水管理・国土保全局 (同上)

³正会員 国土交通省 水管理・国土保全局 (同上)

⁴国土交通省 水管理・国土保全局 (同上)

⁵正会員 工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

⁶工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (同上)

⁷国土交通省 国土技術政策総合研究所 (同上)

⁸福岡市 港湾局 (〒812-8620 福岡市博多区沖浜町12-1 博多港センタービル8階)

It has been recognized that disruption of lifeline by floods causes very serious damage on our society, from the experiences of the past flood disasters. Therefore, it is important to quantitatively estimate the flood damage in terms of lifeline disruption, in order to understand the potential flood damage. However, there are only few cases to estimate the quantitative flood damage in terms of lifeline disruption, because the mechanism of network from a supplier to a user is very complicated. The damage in terms of lifeline disruption is considered practically neither in the flood project evaluation nor in the flood risk analysis.

In this study, we developed the methodology to simply calculate the number of the affected people by disruption of electric power and gas based on the simulated inundation depth. By the methodology, flood risk can be evaluated in terms of disruption of lifeline.

Key Words : *disruption of lifeline, electric power, gas, flood damage,
quantitative estimation, project evaluation, flood risk analysis*

1. はじめに

治水事業の事業評価においては、治水経済調査マニュアル(案)(平成17年4月)に基づき、費用便益分析によって事業の投資効果を評価している。しかし、現在計上している便益は、治水事業の様々な効果のうち貨幣換算が可能な項目を被害軽減額として算出したものであり、治水事業の効果の一部の計上に留まっている。

特に、河川の洪水氾濫による電力、ガス等のエネルギー供給施設(ライフライン)の停止被害については、社会経済活動への直接的な影響に加え、被災後の復旧・

復興に遅延などの影響を及ぼす等、これまでの水害被害の事例からその影響の大きさが認識されていた。

例えば、2005年のハリケーン・カトリーナによる災害では、15基の火力発電所のうち5基、変電所263箇所が浸水被害を受け、最大300万世帯が停電に見舞われた。ニューオーリンズ市内における復旧率は、3週間後で19%、4ヶ月後で95%であった¹⁾。電力と通信の途絶により、現金の引き出しやクレジットカード等の取り扱いができなくなったため、水、食料、ガソリン等生活必需品が買えない状況となった²⁾。

平成12年に発生した東海豪雨水害においては、最長約

5日間の停電、都市ガスについては最長約7日間の供給停止、固定電話については最長約4日間の不通、携帯電話では基地局が最長12日間の停波となるなどの被害が発生した³⁾。

このように、社会経済活動にとって必須の施設であるライフライン停止被害の定量的な算出は、流域の水害による被害の深刻さを判断するための重要な指標となる。特に電力途絶は、災害時の応急活動に支障が出ることや、医療機関等における患者の生命維持に関わる場合があるとともに、他のライフラインの供給に波及するおそれがある。ライフライン停止の波及被害を把握することにより、各事業者における事業継続計画（BCP）、浸水防止対策、ライフライン停止に備えた危機管理対策、ライフラインの早期復旧方策の検討等に活用することが期待される。

ところが、これまでは水害によるライフライン停止被害を簡易に定量評価する手法がなかったため、リスク分析や事業評価においてはライフライン被害の定量評価が実務的に行われてこなかった。

泰，目黒（2002）⁴⁾は、平成12年東海豪雨を事例として、配電用変電所の電力供給量の変動と浸水区域との関係について分析を行い、電力供給量の低下量から配電用変電所の配電エリア内の浸水区域を評価する手法を提案している。しかし、電力供給低下量の実績値に基づいて事後的に被害を算出する手法であるため、事業の整備効果等を事前に推計することはできない。

また、中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」においては、河川管理者が利根川及び荒川の洪水氾濫の浸水シミュレーションにより計算地点毎（計算メッシュ毎）の浸水深を示した上で、そのデータを基に各ライフライン事業者が個々の供給施設の機能停止の有無を確認し、さらに供給ネットワークを考慮した影響範囲を確認するという手法により、電力、ガス等のライフライン停止被害の推計が試みられた⁵⁾。しかし、この手法はライフライン事業者に多大な負担を課すこととなるため、全国の河川において算出することは実務上困難である。

このように、電力、ガス等のライフライン停止による影響を推定する既往の手法は、被害状況を事後的に把握するためのものや、ライフライン事業者に多大な労力を課すものであり、整備効果等を事前に評価するための簡易的な推計手法については、これまで検討がなされてこなかった。

そこで本研究では、ライフラインの代表事例として電力とガスに着目し、河川の洪水氾濫によりライフライン機能が停止する浸水深を分析することで、ライフライン停止被害を定量的に推計する手法を開発した。全国の河川管理者が簡易な計算により推計できるよう、手法の開発にあたっては、電力、ガスの各ライフライン事業者への聞き取りを行い、ライフライン供給源から利用者まで

のネットワークを構成する施設と、それらの施設の浸水深に応じた脆弱性を把握・分析し、浸水シミュレーションから算出される浸水深のみを用いて、ライフライン停止により影響を受ける影響人口を簡易に推計する手法の検討を行った。

なお、本研究は国土交通省の「河川事業の評価に関する研究会」において著者らが研究会の事務局として行った、ライフライン被害の定量化手法についての検討を基にしたものである⁶⁾。

2. 「電力停止による影響人口」の算出手法

(1) 基本的な考え方

河川の洪水氾濫による電力停止は、住民生活や企業活動の支障、医療行為の制限、災害復旧の遅延等、社会経済活動の様々な面において悪影響を及ぼすが、本研究では「電力停止による影響」の代表的な指標として、浸水により停電が発生する住宅の居住者数を推計することとする。

電力供給システムは図-1のとおりとなっており、多数の供給施設を経由するとともに、中間施設は互いにネットワーク化されている。浸水により停電が生じる要因としては、発電所や変電所等の供給側施設の浸水によるものと、住宅やビル等の利用者側施設の浸水によるものとが考えられる。

供給側施設と利用者側施設のそれぞれについて、浸水による影響を把握するために電気事業者への聞き取りを行い、停止条件の設定を行った。確認できた事項は次のとおりである。

- 例えば、発電所から変電所までの送電網等については、仮にどこか1カ所の施設が機能停止しても周囲の送電系等からバックアップが可能である。このように、電力供給側施設の機能が停止した場合の影響範囲の設定には、システム全体の相互補完関係の把握が必要になる。
- 供給側施設の多くは浸水に対して対策がなされており、100cm程度の浸水深で支障をきたすようなことはなく、利用者側施設が機能停止し始める浸水深においても機能を維持することができる。
- 利用者側施設（コンセント、受変電設備）及び供給側施設の一つである路上開閉器（地中線で配電する場合に路上等に設置され、電流の「入」「切」を制御する設備）は、100cm以下の浸水深から機能が停止し始める。
- 利用者側施設のコンセントが浸水した場合には、漏電遮断器（漏電ブレーカ）が作動し、戸建て住宅においては家屋全体が停電し、集合住宅においては浸水したフロア全体が停電する。
- 受変電設備、路上開閉器といった配電系統が浸水した場合には、変電所の「保護リレー」（事故発生区

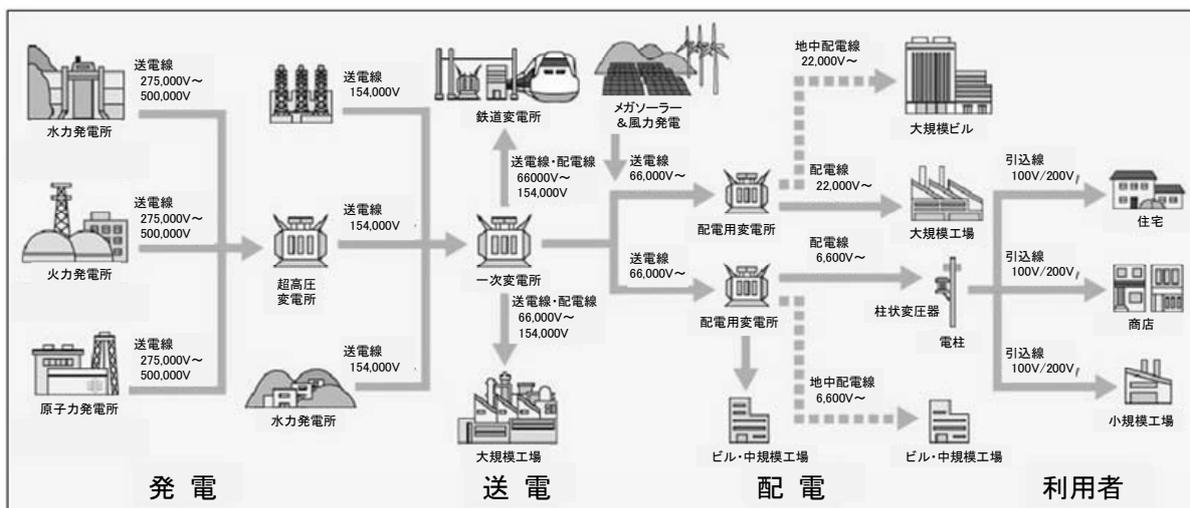


図-1 電力設備の概要⁷⁾

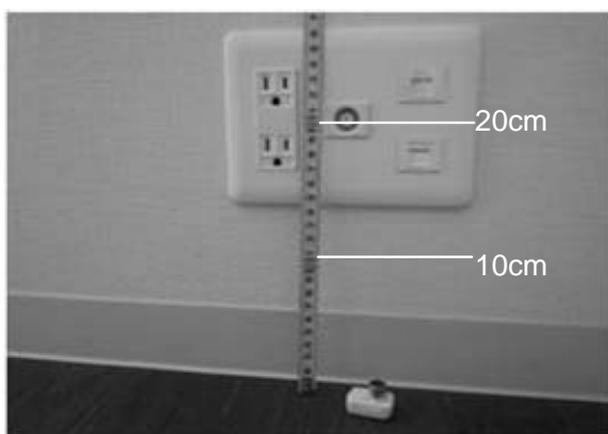


図-2 コンセント位置図

間を迅速・確実に遮断・表示して他の安定状態にある設備を保護する装置)が動作し、一時的にその配電系統から供給されているエリアが停電するものの、遠隔操作もしくは現地作業による切り替え等により、停電範囲は浸水区域程度に限定される。

以上を踏まえ、浸水による電力停止の推計方法を次のように設定した。

供給側施設からのアプローチでは、施設の全体像の把握に多大な労力を要するのに加え、計算にあたりバックアップ・システムを考慮した複数の条件設定が必要になる。また、供給側施設はそのほとんどにおいて100cm程度までの浸水深に対しては耐水対策がなされているため、供給側施設よりも利用者側施設の方が低い浸水深で先に支障が出始めると考えられる。これらのことから、利用者側施設からのアプローチをとることとし、計算メッシュ毎の戸建て住宅と集合住宅との違い、階数の違いを変数にして、停電による影響人口を算出する。

(2) 戸建て住宅の電力が停止する浸水深の設定

戸建て住宅においては、コンセントが浸水した場合、家屋の漏電ブレーカが動作し、当該住宅全体が停電する

ことになる。

そこで、コンセントが浸水する一般的な浸水深を設定する。建築基準法施行令第22条第1項により、居室の床の高さは45cm以上とすると定められており、一般的な戸建て住宅における床高は50cm程度と考えられる⁸⁾。さらに電気事業者からの聞き取りによると、コンセントの高さは床から20cm程度が標準的であると考えられる。

したがって、戸建て住宅においては70cm以上の浸水深で電力が使用できなくなるものと設定する。

(3) 集合住宅の電力が停止する浸水深の設定

戸建て住宅と同様に集合住宅においても70cmの浸水深で1階のコンセントが浸水するため、1階部分は停電することとなる。しかし、集合住宅においては、1階にある世帯のコンセントに浸水したとしても、漏電ブレーカは世帯毎に設置されているため、他の階の世帯には影響を及ぼさない。

一方、集合住宅では、受変電設備（6,600V等の高压で受電した電気を使用に適した電圧まで降下させる設備）が、棟毎に地上または屋上に設置されている。

また、変電所から集合住宅への配電形態は架空線による場合と、地中線による場合がある。さらに、地中線により配電されている場合は、地上に路上開閉器が設置されている。

電力事業者への聞き取りによると、地上に設置されている受変電設備及び路上開閉器はともに概ね100cm程度の浸水深で機能停止し、その場合には棟全体が停電する事態が発生するということが確認できた。

よって、地上に受変電設備を設置している場合、または地中線により配電されている場合は、ともに浸水深が100cm以上で集合住宅全体の電力が利用できなくなるものと設定する。

以上のことから、受変電設備の設置場所（地上または屋上）、配電形態（架空線または地中線）の組み合わせ

浸水深100cm以上の場合の停電の考え方

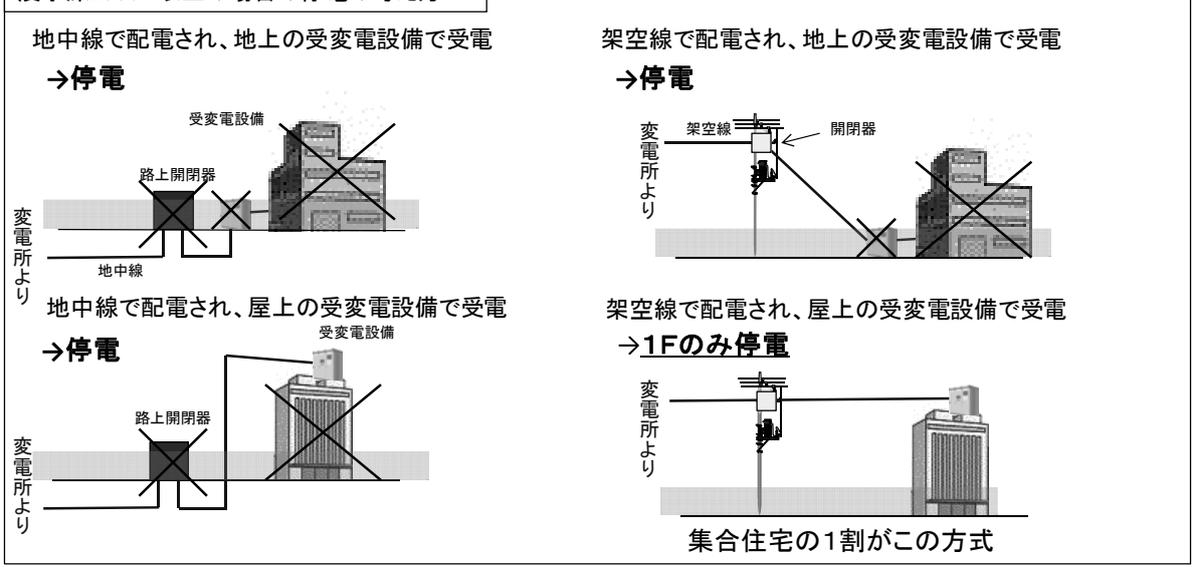


図-3 浸水深に応じた電力停止の概念図



図-4 受変電設備



図-5 路上開閉器

4通りのうち「受変電設備が屋上に設置され」、かつ「架空線から配電される」場合のみ、浸水深が100cm以上であっても、2階以上の世帯は浸水の影響を受けずに電力を使用できることになる。

まず、集合住宅の受変電設備が屋上に設置されている割合について、電力事業者に調査依頼したところ、「大都市部」（埼玉県浦和地区を代表地点として調査）で約3割、「その他地域」（栃木県黒磯地区を代表地点として調査）で約1割という結果であった。

次に、架空線から配電される割合についても調査を依頼したが、詳細なデータが存在せず、改めての調査も困難とのことであった。しかし、地中線の配電形態をとるのは「大都市部」の中心地域が大部分を占めることが確認できた。

そこで、「大都市部」においては2/3程度が地中線で配電され、「その他地域」では全て架空線で配電されていると仮定した。この仮定により、浸水深100cm以上であっても2階以上の世帯が浸水の影響を受けない集合住宅の割合は、「大都市部」、「その他地域」ともに1割となる。すなわち、全国どの地域であっても浸水深100cm以上で集合住宅全体が停電する割合は9割となり、

簡便に推計することが可能となる。

(4) 停電による影響人口の算定式

前項の考えに基づき、浸水シミュレーションにおける計算メッシュ単位で停電による影響人口を算出する式を立案する。計算の簡便化のため、利用者側施設が浸水したことによる停電範囲は、浸水シミュレーションにおける計算メッシュを超えることはないと考え、計算メッシュ毎に求められた浸水深と停電による影響人口との関係を設定する。

- ・浸水深70～100cmの計算メッシュにおける影響人口

$$I = \sum P \times \{ \alpha + (1 - \alpha) \times 1/f \} \quad (1)$$

- ・浸水深100cm以上の計算メッシュにおける影響人口

$$I = \sum P \times \{ \alpha + (1 - \alpha) \times (1/f + (1 - 1/f) \times \beta) \} \quad (2)$$

ここで、

- I : 影響を受ける居住人口
- P : 当該浸水深に居住する計算メッシュ内人口
- f : 当該メッシュにおける集合住宅の平均階数
- α : 全住宅に対する戸建て住宅（長屋を含む）の棟数割合
- β : 浸水深100cm以上で棟全体が停電となる集合住宅の棟数割合（前述の考察から9割と設定）

式(1)については、戸建て住宅は浸水深70cm以上で全て停電するが、それ以外の住宅形式すなわち集合住宅については1階部分のみが停電することを示している。

式(2)については、浸水深100cm以上の場合、集合住宅において2階以上の階も全て停電する条件である β

都市ガスの供給システム

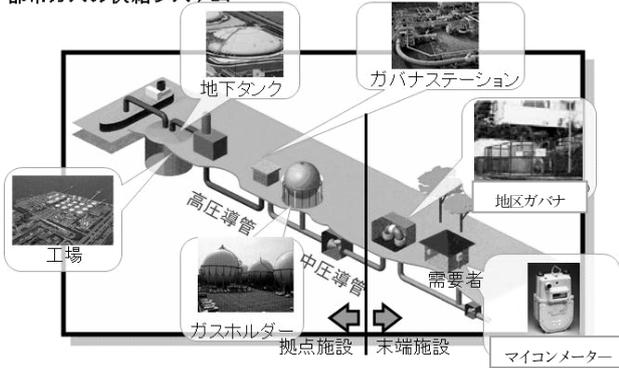


図-6 都市ガスの共有システム¹⁰⁾

(9割)を示した項が、式(1)に加わっている。両式の関係を図で示したのが図-3である。

なお、 α と f は総務省統計局「住宅・土地統計調査」⁹⁾の「第5表 住宅の建て方(4区分)、構造(5区分)、階数(9区分)、建築の時期(13区分)別住宅数—全国」を用いるものとするが、市町村等の資料があれば、それを活用することも考えられる。

3. 「ガス停止による影響人口」の算出手法

(1) 基本的な考え方

電力と同様に、「ガス停止による影響」の代表的な指標として、浸水によりガスが使用不能となる住宅の居住者数を推計することを考える。

都市ガス供給システムは図-6のとおりとなっており、電力と同様に多数の施設を経由して供給されている。ガスが利用できなくなる要因としては、タンク等の供給側施設の浸水によるものと、住宅の利用者側施設の浸水によるものと考えられる。

供給側施設と利用者側施設の浸水による影響を把握するために、ガス事業者への聞き取りを行い、停止条件の設定を行った。確認できた事項は次のとおりである。

- 都市ガスの供給施設のうちタンクや地下の導管等は水密構造となっていることに加え、ガスそのものを圧力で送る仕組みのため、浸水や停電の影響を受けにくい。
- 供給側施設の中でも地区ガバナ(利用者へ送るガスの圧力を調整する設備)は大気圧を基準にガス圧を調整する施設であり、浸水による影響を受けやすい。
- 地区ガバナは浸水深200cm程度で大気圧を検知する機能に支障を来し始め、適切な圧力で安全にガスを供給することができなくなる。
- 地区ガバナは、1基あたり2,000~3,000戸をカバーしている。
- 利用者側施設では、マイコンメーター(ガス使用量を計測するとともに、ガス漏れ、地震発生時などの



図-7 地上100cm程度にあるガスのマイコンメーター

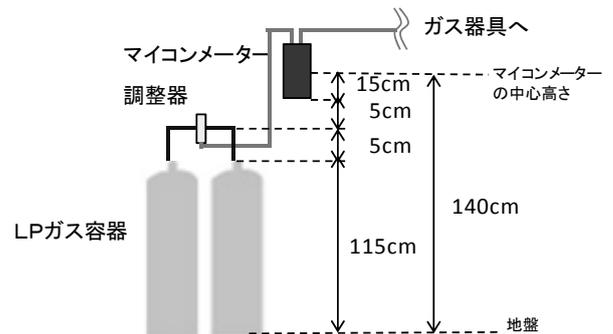


図-8 LPガスのマイコンメーター¹¹⁾

緊急時に自動的に供給を遮断する安全装置を備えたガスメーター)が浸水すると、ガスの使用ができなくなる。

- マイコンメーターの平均的な設置位置は、都市ガスでは地上から100cm程度、LPガスでは地上から140cm程度の高さである。
 - ガスコンロの上10cm程度まで浸水すると、ガスコンロのガス噴出口より家庭用のガス管に水が入り、ガスの圧力が減少する。水はガス管から容易には抜けず、復旧にはさらに時間を要する。
 - マイコンメーターはバッテリーで作動しているので、停電が原因となってガスが遮断されることはない。
- 以上を踏まえ、浸水による都市ガスの停止の推計方法を次のように設定した。

浸水により供給に支障が生じる施設は、地区ガバナとマイコンメーターとを設定する。地区ガバナについては、個々の位置とカバーエリアを把握することには多大な労力を要するため、地区ガバナは計算メッシュ毎に存在し、そのカバーエリアについても計算メッシュと同一であると仮定し、計算メッシュ毎に地区ガバナの浸水による影響人口を算出することとする。マイコンメーターの浸水については、計算メッシュ毎の戸建て・集合住宅の違い、階数より影響人口を算出する。また、聞き取り結果から停電によりガスが停止することはないことがわかってい

るため、停電との被害とは独立して推計を行うものとする。

(2) 都市ガスが停止する浸水深の設定

浸水深200cm未満では、地区ガバナは浸水しないが、図-7に示したとおり、地上100cm程度にある都市ガスのマイコンメーターが浸水するため、戸建て住宅全体と集合住宅の1階が使用不能となるものと設定する。

浸水深200cm以上となると、地区ガバナも浸水するため、戸建て、集合住宅ともに使用不能となるものと設定する。

(3) LPガスが停止する浸水深の設定

図-8に示したとおり、LPガスのマイコンメーターは140cm前後の高さに設置されていることが一般的である。したがって、浸水深140cm以上となると、戸建て、集合住宅ともに使用不能となるものと設定する。

(4) ガス停止による影響人口の算定式

以上を基に、浸水シミュレーションにおける計算メッシュ単位でガス停止による影響人口を算出する式を設定する。計算メッシュ毎に求められた浸水深とガス停止による影響人口との関係を設定する。

a) 都市ガス

・浸水深100～200cmの計算メッシュにおける影響人口

$$I = \sum P \times \{ \alpha + (1 - \alpha) \times 1 / f \} \quad (3)$$

・浸水深200cm以上の計算メッシュにおける影響人口

$$I = \sum P \quad (4)$$

b) LPガス

・浸水深140cm以上の計算メッシュにおける影響人口

$$I = \sum P \quad (5)$$

変数については電力と同じである。

式(3)については、集合住宅における1階部分と戸建て住宅の都市ガスが、浸水深100cm以上で停止することを示している。

式(4)については、浸水深200cm以上の場合、全ての住宅で都市ガスが停止することを示している。

式(5)については、浸水深140cm以上の場合、全ての住宅でLPガスが停止することを示している。

4. 結論

(1) 電力、ガスの浸水に対する脆弱性の把握

電力、ガス事業者への聞き取りを実施することで、それに基づき供給源から利用者に至るまでのネットワークを構成する施設を把握するとともに、それらの各施設の

浸水に対する脆弱性を分析し、供給源に近い供給施設よりも利用者側施設や末端部の供給施設の方が、より浅い浸水深で機能停止することを明らかにした。

(2) ライフライン（電力・ガス）の停止による影響についての簡易な推計手法の開発

聞き取り等で明らかとなった浸水に対する脆弱性を基に、利用者側施設の浸水深をライフライン停止の閾値として設定することで、複雑な供給ネットワークの影響を排除でき、浸水シミュレーションから算出される浸水深だけで影響人口を推計できる方法を開発した。

開発した算出手法を用いることで、これまで事業評価において便益に計上されていない項目についても、河川事業の効果として定量的に評価することが可能となった。

さらに、この手法により、浸水後にライフラインが使用できなくなる地域が明らかとなるため、優先的に浸水対策や避難策を講じるべき地域の抽出が可能となった。

謝辞：本研究の実施にあたっては、多くのライフライン事業者のご担当の方々に資料提供等の御協力をいただくとともに、「河川事業の評価手法に関する研究会」の小林座長をはじめとする委員の先生方から助言をいただいた。ここに記して深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) The Brookings Institution: Katrina Index, 2006.
- 2) Federal Financial Institutions Examination Council : Lessons Learned From Hurricane Katrina, 2006.
- 3) 木村秀治, 石川良文, 片田敏孝, 浅野和広, 佐藤尚: 都市型水害における事業所被害の構造的特質に関する研究: 土木学会論文集D, Vol.63 No.2, 88-100, 2007.
- 4) 泰康範, 目黒公郎: 2000年東海豪雨における電力供給量の変動と浸水被害の関係, 土木学会第57回年次学術講演会, 2002.
- 5) 中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」, 2010.
- 6) 河川事業の評価に関する研究会 第5回資料2-3, 2013.
- 7) 東京電力HP:
http://www.tepco.co.jp/solution/power_equipment/generation/index-j.html (2013年4月4日アクセス)
- 8) 住宅金融公庫監修・豊かな住生活を考える会著: 図解日本の住宅がわかる本, pp119, 141, PHP研究所, 1994.
- 9) 総務省統計局: 住宅・土地統計調査.
<http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/kekka.htm>.
- 10) 中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」第4回資料3, 2007.
- 11) 経済産業省原子力安全・保安院, 高圧ガス保安協会: 液化石油ガス設備工事施工管理マニュアル(設備工事管理者編).

(2013. 4. 4受付)