

災害時における相互依存性を考慮したライフラインの機能回復予測手法の基礎的検討*

Investigation on Lifeline Recovery Time Estimation during Natural Disaster with Consideration of Interdependency*

梶谷義雄**・細村洋介***・吉田郁政****

By Yoshio KAJITANI**・Yosuke HOSOMURA***・Ikumasa YOSHIDA****

1. はじめに

わが国は環太平洋地震帯に位置し、地殻変動が激しく、世界的に見ても地震活動が活発な地域である。実際、1994年～2003年に世界で発生したマグニチュード6.0以上の地震960回のうち、22.9%の220回が日本で発生している。今後も東海地震や首都直下地震等の大型の地震が高い確率で発生することが、専門家から指摘されており、地震に対しての準備がますます必要になってくるものと考えられる。

地震を含めた各種災害への対応として、近年では、企業のBCP（事業継続計画）の策定が進められつつある。これは、サプライチェーンの途絶をはじめとする各種被災状況下において、各企業が取りうる行動をあらかじめ想定したものであり、災害時の意思決定の混乱をできる限り避けることが一つの大きな目的となる。しかし、このような想定も、電力、水道、ガス等の各種社会基盤に発生する機能支障の回復状況に大きく依存し、その不確実性が、BCPの効果を測定するうえで障害となっている。

そこで、本研究では、地震災害時におけるライフラインの復旧問題を対象とするが、この際、各ライフラインは相互に依存関係にあるため、ある地点の被害や修復活動がほかの社会基盤に与える影響が大きいという問題に着目する。例えば、道路地中部に埋設されている水道管を修復するためには、アクセスする道路が確保されている必要があったり、あるいは近傍の道路被害修復作業と修繕タイミングをずらしたりのような工夫が必要となる。本研究では、この種の相互依存の問題に対応するために、道路と上水道の機能回復の問題を一例として取り上げる。さらに、道路の機能的な復旧や水道復旧にも大きな影響を及ぼす家屋の被害を含めた被災地域の小規模な区画を対象に、ライフラインの機能回復日数や、家屋等の建物

*キーワード：防災計画、ライフライン計画・設計

**正員，工博，電力中央研究所地震工学領域

(千葉県我孫子市我孫子1646,

TEL04-7182-1181, FAX04-7184-2941)

***非会員，埼玉県吉見町立吉見中学校

***正員，工博，東京都市大学都市工学科

が安全に撤去されるまでにかかる日数等に与える各社会基盤の相互作用の影響について考察を行う。

2. モデルの概要

(1) 相互依存性を考慮したライフラインの機能回復モデルの概要

ライフライン間の相互依存性に関する研究は、これまでも数多くの蓄積がある^{2,3)}。概念的には確立しつつあると考えられるが、対象とする問題が複雑であるため、実証的な研究としては、部分的な検討に留まっている。

以下では、本研究におけるモデルの概要を示す。基本的には、災害後の社会基盤の回復期における、複数の主体（建物・水道管・道路の修繕作業班）間の相互依存性を考慮する。特に、各主体の作業活動が空間的に重なる結果生じる物理的な制約を対象としている。具体的には、以下の2点が対象となる。一点目として、各主体の被害箇所が重なった場合、一方の主体が作業中の場合に、他の主体が作業を行うことができない事象を考慮する。二点目は、各主体の作業中に通行障害が発生する事象を考慮する。この結果、各主体の作業は、他の主体の作業状態に依存し、これらを考慮しない場合と比較して、作業時間がより大きくなることが予想される。

上記の概念を本研究では、エージェントベースモデルによって検討する。エージェントベースモデルは、各主体（エージェント）の個々の行動ルールや機能ルールを設定し、それらの相互作用をシミュレーションによって明らかにするモデルと解釈できる。本研究のように複数の主体が、比較的近いルールに則って行動する場合に適用性が高いと考えられる。

本研究で実施する各主体の行動ルールを図1に示す。まず、各主体はそれぞれ被害情報データベース $\Phi(\mathbf{R}, \mathbf{X})$ を有し、それに基づき作業を実施しているものと想定する。ここで、 \mathbf{R} は道路の被害情報、 \mathbf{X} は作業対象とする構造物の被害情報とする。初期の被害情報データベースは、予測に基づく不確実性の高いもの $\Phi(\mathbf{R}_0, \mathbf{X}_0)$ を有していると考えられる。次いで、被害箇所へ移動するが、

通行不能地点や新たな被害箇所を発見すると被害情報データベースを更新する。目的地 g に到着し、他インフラやその他作業班が作業を実施中の場合は、作業終了予定時間 r_g のみを入手し、被害情報データベースの R を更新後、再度別の被害箇所の探索、または移動を行う。

修繕作業に入ると、作業が終了するまでその地点に留まり、他の作業班の通行は不能となる。一地点の作業が終了した段階において、その他の被害箇所があれば、その被害箇所に移動し、被害情報未定箇所があれば、その地点まで移動して情報を収集することとなる。この作業を被害箇所および被害情報未定箇所がなくなるまで、繰り返すこととなる。なお、通信被害の状況などに応じて、被害情報データベースは、他の作業班との共有も可能であり、被害情報データベースの共有が可能と考えた場合は、より効率的な作業が実施可能となる。

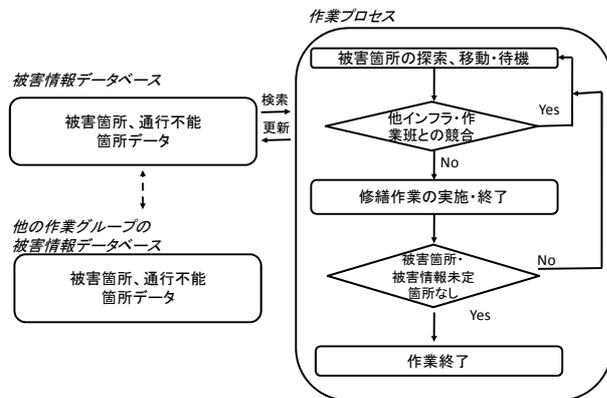


図1 作業ルールの概要

基本的な移動方式としては、被害情報データベースを基に、各主体が最短経路探索を行う。また、予測外の通行不能地点が発生した場合は、その地点から再度、最短経路探索を行うことになる。

(2) 各作業チームの移動・作業時間に関するパラメータの設定

各作業部隊の作業能力の設定は、過去の地震のデータや今後起こりうる首都直下地震のデータ、のデータを参考にし、設定を行った。また、対象とする地域は幅員4m以下の狭小な道路が多く、家屋の密集している地域を想定する。資材の運搬に必要な交通手段として、軽トラックやショベルカーを想定するが、移動は被災時であるため、迅速な行動は不可能と仮定し、速度は約10(km/h)と設定した。また、24時間体制(8時間交代)の作業や移動を考慮する。

a) 建物の安全確認及びガレキ撤去に関する設定⁵⁾

被災後、直ちに取組まなければならないことは、家屋の持ち主や地域住民に対して危険度の判定である。これは、応急危険度判定士が、[危険]=立ち入り禁止、[要注意]=立ち入り注意、[安全]=立ち入り可能の3つに分類を行う作業である。さらに判定後、危険であると判定され建物に対しさらに細かく、解体すべきか、補修を行うべきかの判定を建築構造技術者などの専門家による判定(調査)を行うが、今回は、1棟の調査を行う人数や調査時間に幅があり短時間であるため、それらの作業を「建物の危険度判定」とし、1つにまとめた。

移動は、近くに車を止めての作業が主であるため、徒歩での移動(速度は約4.0km/h)とした。過去の地震時のデータより、作業能力は内部立ち入り調査と外観目視調査を主な作業と考え、内部立ち入り調査の割合を増やした結果、1班が1棟の調査にかかる時間は約1時間であると設定した。

「建物の危険度判定」終了後、被害家屋の撤去作業を行う。また本研究では、解体後の再建は対象外とし、水道管や道路の復旧時間と相互的な影響が生じるガレキの撤去を対象とした。兵庫県南部地震での、神戸市における家屋の解体に伴うガレキの量は、全体処理対象家屋61850棟、処理家屋60761棟(処理率98.2%)、ガレキ量598300tであった。これにより1棟のガレキ量は、98.5t/棟となる。この量は、対象とする地域で利用可能な2tトラック約50台分の交通量が発生するものとする。2tトラック1台分の解体撤去作業時間は、3時間と設定し、1棟150時間(約6日間)かかるものとした。

b) 水道管ならびに道路の修繕作業に関する設定

市街地での作業は、主に配水管の修繕が対象となる。本研究では、首都直下地震の被害想定¹⁾を参考に、1班あたりの必要人員は、職員2人、作業員16人、作業能力は、1箇所の復旧に2日(1班)と想定した。また、これに伴う作業車が4台発生するものと設定した。道路の修繕作業についても、既往の事例から1か所の修繕に3日要するものと仮定した⁶⁾。作業車両としても、4台程度必要とする。実際には、道路自体の亀裂や崩壊だけでなく、沿道建築物の落下、塀等の崩壊、電柱・立木の傾斜崩壊の影響による被害モードなど、詳細な検討が必要となる。

3. 地域を設定したテストシミュレーション

(1) モデル地域

まず、モデルとする地域の設定を行う。前章でも述べたように、本研究では、入り組んだ道路が多いような密集氏が地域を対象としている。このような地域のひとつとして、首都直下地震が仮に発生した場合、多くの建物

の倒壊が予想されている荒川周辺の東京都荒川区北千住駅周辺をモデルとした⁷⁾。1500m×1500mの範囲の道路をデータベース化した。ノード数は213、リンク数は726である。被害箇所については、家屋、上水道、道路についてそれぞれ、4箇所、8箇所、12箇所の3パターンを設定した。

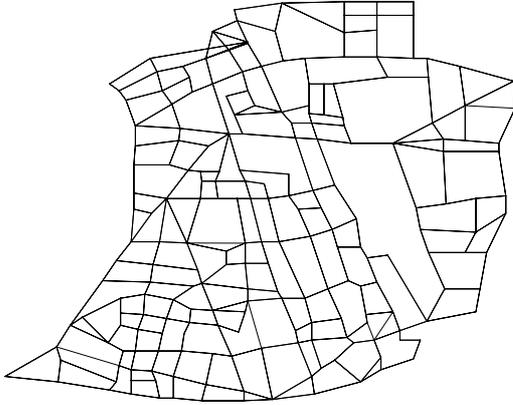


図2 対象とするネットワーク

(2) 分析結果と考察

分析結果を図3に示す。建築物、水道管、道路ともに4箇所(軒)、8箇所、12箇所の順に移動・待機時間が増加していることが分かる。増加傾向は指数的であり、被害状況が大きければ大きいほど、移動・待機時間に時間を要し、各ライフラインの機能回復時間も大きくなることを示している。被害箇所の設定場所にも依存するが、水道管の修繕時間が最も小さく、ついで道路、建築物の順に移動・待機時間が長くなっている。これは、道路と水道管の被害箇所が重なっている場合、水道管の修繕を先に実施するアルゴリズムが採用されていることの影響を受けているものと考えられる。被災した建築物は、道路の復旧後に撤去する必要がある場所も発生するため、移動・待機時間は長くなっている。

また、機能回復時間全体(建築物は撤去時間)に占める移動・待機時間の割合は、本検討では数%程度と非常に小さくなった。これは、各修繕作業主体の事務所からの移動時間等を考慮していないことも影響しており、また、比較的被害規模を小さく設定したことも影響しているものと考えられる。さらに、一般交通の状況などを考慮すれば、迂回の必要性などのユーザーコスト全体の増加は非常に大きくなることが予想される。

4. まとめ

本研究では、災害後の複数のライフライン主体間の相互依存性に着目し、機能回復予測の基本モデルについて検討を行った。特に、各ライフライン関係者の移動・

修繕作業が空間的に重なり、迂回や待機などの制約が発生する状況を対象として、各作業主体(エージェント)の行動ルールについて検討を行った。阪神大震災等の既往災害の資料を参考に修繕作業に関するパラメータの設定を行い、実際の地域を対象に本モデルの適用を行った。路地を含めた市街化地域の1区画においてシミュレーションを実施した結果、被害や各作業班の作業状況によっては、その他作業班への交通制限の影響が発生するため、機能障害時間は増加する傾向等が確認できた。異なる作業チーム間の情報の共有の問題などいくつかの課題が残されているが、これら課題を検討することで施設管理者間の協調を考慮した最適な防災戦略の提案に繋げていくことが重要と考えられる。

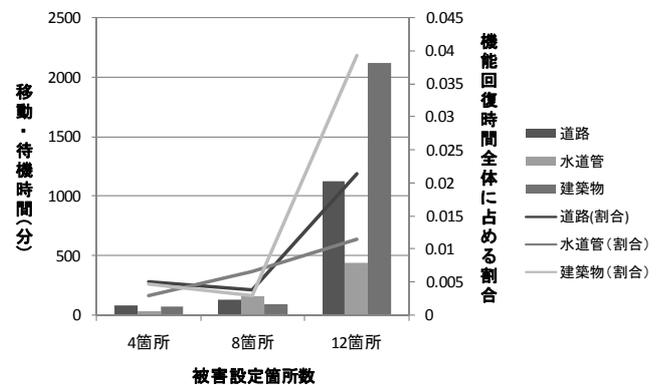


図3 テストシミュレーション結果(撤去・修繕箇所が各主体とも4, 8, 12箇所の場合の移動時間)

参考文献

- 1) 内閣府：事業継続ガイドライン第一版—我が国企業の減災と災害対応の向上のために、2005。
- 2) 星谷勝, 大野春雄：震災時ライフラインの相互影響を考慮した復旧過程の機能評価法, 土木学会論文集第386号/I-8, pp.387-396, 1987。
- 3) 能島暢呂, 亀田弘行：地震時のシステム間相互連関を考慮したライフライン系のリスク評価法, 土木学会論文集, No.507, I-30, pp.231-241, 1995。
- 4) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災報告, 丸善(株), 1997。
- 5) 応急危険度判定協議会ホームページ：<http://www.kenchiku-bosai.or.jp/Jimukyoku/Oukyu/Oukyu.htm>, 2008.12.26
- 6) 日本道路協会：道路震災対策便覧(震災復旧編)平成18年度改訂版, 2007。
- 7) 中林一樹：東京における地震災害の様相と震災対策の展開, 地学雑誌 Journal of Geography, 110(6), pp.938-949, 2001。