土木学会第 62 回年次学術講演会（平成 19 年 9 月）

施設閉鎖・道路閉塞に伴う不完全情報下での迂回距離に関する理論解析

大成建設東京支店　正会員　○平井　啓一
香川大学工学部　フェロー会員　　野田　茂

1．はじめに

都市化の急速な進展に伴い，インフラストラクチャーはますます複雑なネットワークを構成してきた．冗長化によって信頼性は高まってきたが，一方で脆弱性が目立つ．このことから，社会構造の相互依存性に起因した災害影響波及メカニズムを解明することは，安全・安心な社会システム構築に資するインフラ防護策を検討する上で，極めて重要である．このため，道路網を含めた複雑ネットワークの頑健性・耐障害性・耐攻撃性に関する新たな評価手法が提案され，有用な分析結果が示されてきた[1), 2)]．既往の研究では，施設と道路網を個別に評価しているため，同時破壊に伴う相乗効果，都市全体に及ぼす損失の大きさを算定できない．そこで本研究では，施設配置ならびに道路網の連結機能を同時に評価する手法を提案する．ここでは，現実の複雑なネットワークを忠実に再現するのではなく，規則的な格子状道路網モデルを対象に，ネットワークの基本的な性質を解明する．

2．格子状道路網モデル

ここでは，無限に広がる格子状の都市を想定し，格子状道路網の交差点に施設を規則的に配置する．利用者は日常的にこの道路網上を利用しており，格子状の任意地点を出発し，出発点から最短経路距離にある最寄りの施設位置を認知している状況下で道路網上を移動する．この条件下で，**図−1** に示すように施設が 1 箇所閉鎖，道路が 1 箇所閉塞ならびに施設閉鎖と道路閉塞が同時に発生したときの総迂回距離を導出する．

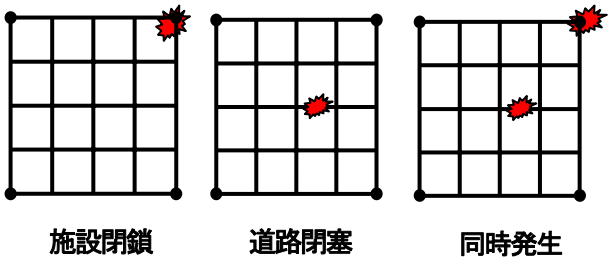
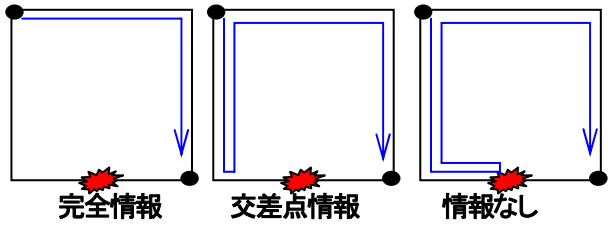


図 - 1　格子状道路網モデル

3．不完全情報下での総迂回距離

本研究では，施設の閉鎖情報，道路の閉塞情報の有無が迂回距離の変化に及ぼす影響を比較検討する．このため，完全情報，交差点情報，情報なしの 3 種類の情報提供下における移動に注目し，**図−2** に示すように総迂回距離を導出する．なお，ここでは道路網上で施設閉鎖ならびに道路閉塞に伴い利用可能な施設までの最短経路距離の増分を迂回距離と呼ぶ．総迂回距離は水平方向リンクと垂直方向リンクの迂回距離を積分したものを各リンクの本数だけ足し上げることで得られる．

完全情報においては最初から別の経路を選択することが可能である．交差点情報や情報なしの場合にはまず最短経路に沿って移動し，情報が得られた地点から代替経路を選択する．情報なしの場合には，閉鎖地点から一度引き返さなければならず，大きな迂回を強いられる．



図−2　不完全情報下での迂回

図 - 3 に道路閉塞時における迂回モデル（情報なし）の例を示す．道路閉塞地点は施設間を結ぶ水平リンク上に存在している．利用者は道路網上の任意点 s を出発し，最短経路距離の左側の施設に向けて移動を開始するが，道路閉塞位置を認知していないため，一度閉塞地点に立ち寄り，そこから利用可能な施設に向けて迂回を開始する．

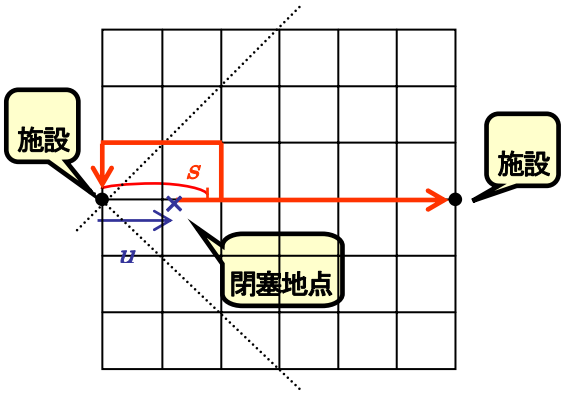
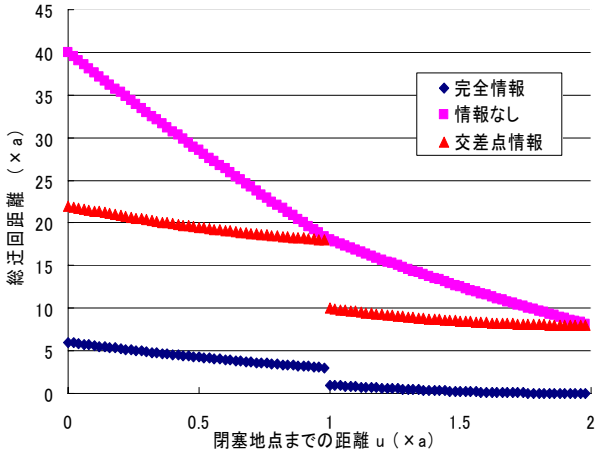


図 - 3　情報なしの場合の道路閉塞時における迂回の例

キーワード：道路網，迂回距離，ネットワーク，被害情報提供
連絡先：〒761-0396 香川県高松市林町 2217 - 20，Tel & Fax：087-864-2153

道路が一箇所閉塞したときの閉塞地点までの水平方向距離 u と総迂回距離の関係（施設間隔 4a）を**図－4** に示す．ここでは完全情報，情報なし，交差点情報の 3 パターンに関する総迂回距離をプロットした．

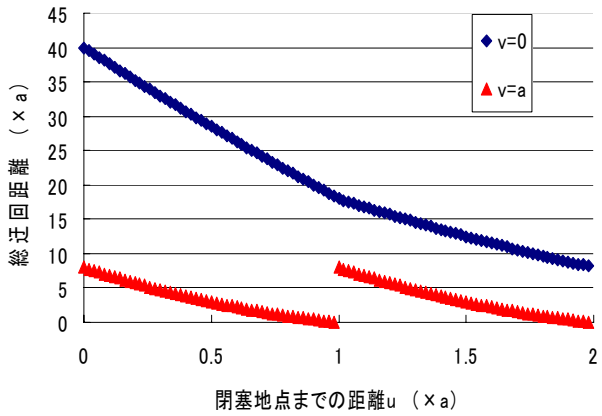


図－4　水平リンク上の道路閉塞時における総迂回距離

閉塞地点までの水平方向距離 u が大きくなると，3 パターンとも総迂回距離が減少していることがわかる．道路閉塞情報の提供に伴い総迂回距離の低減効果が読みとれる．交差点付近で道路閉塞が発生すると，大きな迂回が強いられることが特徴である．

道路閉塞地点が施設間を結ぶ水平リンク上に存在する場合の結果が**図－3，4** であった．実際には道路閉塞は施設間を結ぶリンク上で発生する場合だけでなく，別のリンク上でも発生する．そこでそのような場合を想定し，道路が一箇所閉塞したときの閉塞地点までの距離 v（上下方向成分）v と総迂回距離の関係を**図－5** に示す．ここでは情報なしの場合における総迂回距離（施設間隔 4a）を v＝0，v=a についてプロットした．

v＝0 のときのグラフは**図－4** の情報なしにおける総迂回距離と同一である．閉塞地点までの距離 u（水平方向成分）



図－5　道路閉塞時における総迂回距離

u が大きくなると，閉塞地点までの距離 v（上下方向成分）が v＝0，v=a の場合とも，迂回距離が減少している．v=a の場合には，v=0 のときに比べ総迂回距離が少なく，迂回距離が u=a で上にジャンプしていることから，施設間を結ぶリンク上で道路閉塞が発生した場合には機能的に大きな被害をもたらすことがわかる．

道路閉塞時だけでなく，施設閉鎖，施設閉鎖と道路閉塞の同時発生時における総迂回距離についても情報提供効果を比較したところ，以下の知見が得られた．

○施設閉鎖の場合

・施設間隔が大きくなるほど，総迂回距離が急速に増大する．

・情報提供，特に完全情報の効果が顕著である．

○道路閉塞の場合

・施設閉鎖の場合に比べ，総迂回距離は小さい．

・施設間リンク上の被害が総迂回距離に及ぼす影響は大きい．

○施設閉鎖・道路閉塞の同時発生の場合

・この場合の総迂回距離は，施設閉鎖と道路閉塞のそれを単純和した値よりも大きい．

・情報提供の効果がより一層明確になる．

４．おわりに

本研究では，格子状道路網上に施設が格子状に配置され，施設利用のために道路網上を移動する状況を考え，施設が閉鎖されたとき，ならびに道路網が閉塞されたときの総迂回距離を理論的に導いた．施設と道路網を一体として考えることで，完全情報下，不完全情報下における施設閉鎖と道路閉塞の基本的関係を定量的に検討した．道路網が有する基本的な性質を解明できるとともに，カーナビゲーションシステム等を用いたリアルタイムの情報提供，交差点での道路情報板による情報提供効果を理論解析により証明できたと言える．被害の発生位置によって迂回距離が大きく変化することは，都市計画の策定に当たって有用な情報を提供できたものと考えられる．

参考文献

1)　宮川雅至：移動距離に着目した不確実性に対する施設配置および道路網の頑健性，筑波大学博士学位論文，2005 年 3 月．

2)　朴亨斌，能島暢呂，杉戸真太，佐藤慶昇：：重要インフラ防護(CIP) のための複雑ネットワークの耐障害性・耐攻撃性の評価について，第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集，2006 年 11 月．