

相互に関連する社会基盤の被災・復旧を通じた機能的ー貫性に関する分析

名古屋工業大学大学院

久保田 憲

名古屋工業大学大学院

正会員

秀島 栄三

1. はじめに

特定重要港湾では多様な港湾機能および関連機能が集積し、大規模災害に遭うと相互に関連する各機能の麻痺が連鎖して港湾全体、さらに後背圏に及んで重大な機能不全に陥る危険性がある。

1959年の伊勢湾台風で甚大な被害を受けた名古屋港では今後も伊勢湾台風と同等またはそれ以上のものが来襲する可能性が十分にあり、これを想定した社会基盤のマネジメント戦略の立案が進められている^{注1)}。港湾を利用する各企業はそれぞれ事業継続計画 (BCP)、事業継続マネジメント (BCM) の策定に着手している。しかし社会基盤の複合的かつ広域的な機能不全は企業単体で対処できるものではない。地域経済を支える産業の観点から、社会基盤の防災性能向上はもちろんのこと、被災後の回復可能性を明らかにする方法論が必要と考える。そこで本研究では相互に関連する社会基盤の回復可能性を、被災、復旧のプロセスを通じて機能的に一貫性を保てることとして捉え、グラフ理論を用いてこれを分析するための枠組みを構築する。

2. 社会基盤の相互的連関

被災、復旧のプロセスを通じた社会基盤の機能的ー貫性を説明するためにまず港湾地区及び周辺社会基盤の相互連関を把握する必要がある。社会基盤の連関の仕方には次の3種類があると言える。

1) 物理(または地理)空間上の物理的連関

ex. 航路と道路が港で繋がっている

2) 物理空間上の機能的連関

ex. 道路に隣接する倉庫に物品が運ばれる

3) 社会空間上の機能的連関

ex. 港湾利用者は税関を利用する

本稿では特に上記3)に焦点を当てることとする。

3. 連関の記述と分析の方法

連関の構造はグラフ理論で言うノード(点)とリン

ク(線)で構成される二部グラフで示される。図1に岸壁、道路、倉庫と、物品の移動、人間の移動、物品の保管に関する例を示す。各社会基盤とそれぞれが有する特性をノードで表し、社会基盤が当該の特性を有することをリンクで繋ぐことで表わす。

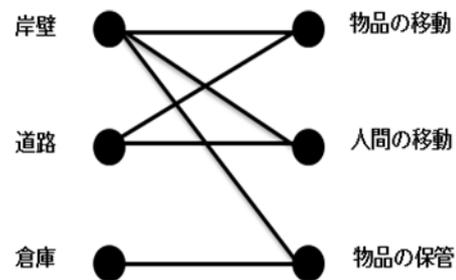


図1 設備と特性の連関 (例)

図1のような連関の構造は1または0の値を要素とする行列に置き換えられ、数学的に解析することができる。ここで、設備を行に、設備特性を列にとった接続行列、設備を縦軸と横軸にとった隣接行列をそれぞれ図2、図3に示す。

	物品の移動	人間の移動	物品の保管
岸壁	1	1	1
道路a	1	1	0
道路b	1	0	0
倉庫	0	0	0

図2 連関を示す接続行列 (例)

	岸壁	道路a	道路b
岸壁	1	1	1
道路a	1	1	0
道路b	1	0	0

図3 連関を示す隣接行列 (例)

分析法1 社会基盤システムの包括的弱さの分析

列に並べた社会基盤やその一部が、行に並べた社会基盤の特性において災害に対する弱さを有するならば要素に1を与え、有さないならば0を与えて接

続行列 A を作成する。その転置行列を A^T とする。
 $F=A \cdot A^T$ を求めることで社会基盤システムが包括的にどの程度の、どのような弱さを持つかを示すことができる。

分析法 2 情報伝達の完全性の分析

行と列に並べた社会基盤またはその一部の相互間において情報伝達が可能ならば要素に 1 を与え、可能でないならば 0 を与えることで隣接行列 B を作成する。これにその 2 階関係 B^2 、3 階関係 B^3 を足し合わせる。このとき 2 階、3 階の関係の影響力を示す係数として B^2 に k_2 ($0 \leq k_2 \leq 1$) を、 B^3 に k_3 をそれぞれ掛ける。これより $G=B+k_2B^2+k_3B^3$ を求める。行列 G によって港湾地区の社会基盤相互間の情報伝達の完全性を把握することができる。

分析法 3 機能的ー貫性の分析

企業の BCP あるいは BCM は、社会基盤の回復可能性に影響を受ける。回復可能性を被災、復旧のプロセスを通じた機能的ー貫性として捉える。一貫性は平常すなわち被災前の状態から災害に遭い、復旧により再び初期状態に戻れることで保証される。これはグラフ理論における可達性(reachability)により定式化できる。復旧過程を有向グラフで表わしたとき、被災後の状態から初期状態までの過程において有向道が存在すれば可達性が保持されると言える。

システムの状態は行列 $S_i(i=0, \dots, n)$ によって、状態の遷移は行列 T^i によって表現することができるものとする。その関係性を下記の式で示す。

$$S_i=S_0 + T^i \tag{1}$$

遷移を表わす行列 T^i が可達性を保持するならば諸機能は一貫して維持されている。これを式(2)で示す。

$$T^i=S_i - S_0 \tag{2}$$

4. プロトタイプモデル

機能的ー貫性を詳しく説明するためプロトタイプモデルを用いて分析を行う。

初期状態 S_0 の行列を図 4 に示す。

	物品の移動	人間の移動	物品の保管
岸壁	1	1	1
道路a	1	1	0
道路b	1	0	0
倉庫	0	0	0

図 4 初期状態 S_0

災害発生後の状態 S_i の行列を図 5 に示す。

	物品の移動	人間の移動	物品の保管
岸壁	0	1	0
道路a	1	1	0
道路b	1	0	0
倉庫	0	0	0

図 5 災害発生後の状態 S_i

S_0 、 S_i よりその遷移を表わす行列 T^i を求める。これを図 6 に示す。

	物品の移動	人間の移動	物品の保管
岸壁	1	0	1
道路a	0	0	0
道路b	0	0	0
倉庫	0	0	0

図 6 遷移行列 T^i

これは可達性を保持する。この場合、初期状態まで復旧するには 2 つの作業が必要である。複数の作業を同時に処理することができず、作業を順序的に処理することが必要ならば i は 1 とはならない。

5. おわりに

本稿では複数の社会基盤の機能連関を記述し、復旧を通じて考慮すべき諸機能の再現、確保を機能的ー貫性の考え方に基づいて分析する方法を提案した。今後は実在事例に適用した記述および分析を行いたい。また、定量的視点を考慮に入れる、データ欠落を補完する等の方法について課題が残されている。

謝辞：本研究は平成 20-22 年度文部科学省連携融合事業「地震に強いまちづくりのための減災技術の開発と評価」の下で行った研究の成果を含んでいる。記して謝意を表す。

注 1：国土交通省中部地方整備局東海ネーデルランド高潮・洪水地域協議会で検討が進められてきた。