

地震時緊急路網のシステム信頼性評価に関する基礎的研究

Study on System Reliability Evaluation of Earthquake Emergency Road Networks

* **
木俣 昇 , 石橋 聡

By Noboru KIMATA and Satoshi ISHIBASHI

The reliability of earthquake-emergency-road-network is a probability that fire engine or ambulance car can reach from its base to every points in its responsible service area through the network. It can be defined as Source to All Terminal Reliability, $R_s(G)$. In this paper, we propose using Overall Reliability, $R_o(G)$, as its practical measure based on :

- i) $R_o(G)$ is equivalent to $R_s(G)$ if all roads can be used in bidirected way,
- ii) Some decomposition method is applicable to calculate $R_o(G)$ if G is a bi-connected graph and the amount of calculation can be reduced to reasonable level.

We demonstrate that this method is workable to networks of practical size and the gap between $R_s(G)$ and $R_o(G)$ is less than 20%. We also discuss this method is useful to determine the responsible area of each base.

1. まえがき

地震災害の規模は、都市の耐震・不燃化等の事前対策の実現度と、地震直後の救急や消火などの緊急活動の適否によって規定される。現在、多くの都市には、このような救急や消防活動のためのシステムが、既にかなり整備されている。しかし、それらは平常時のシステムであって、地震のような複合災害時に対応する形にはなっていない。特に、緊急車両が現場に到着するための緊急路網の信頼性については、十分な検討がなされているとはいえない。

1985年のメキシコ大地震や、コロンビアの噴火災害が示唆しているように、人命の損傷に関しては、特にこのシステムの整備は重要である。わが国でも、宮城県沖地震のとき、延べ109台の消防車が、そし

* 正会員 工博 金沢大学助教授 工学部基礎

工学教室(〒920 金沢市小立野 2-40-20)

** 学生員 金沢大学大学院工学研究科

て、救急車が26回出動したが、その多くは地震直後の交通渋滞に巻き込まれ、救急活動に支障をきたしたとされている。幸いにもこの時には大事には到らなかったが、これらの活動の基地となるべき防災拠点と、それを取り巻く緊急路網の整備計画は、地震対策研究にとって重要な課題であると考えられる。

この問題は、いわゆるライフライン系の信頼性研究として近年盛んに試みられている系列に属する。そこでは、ガスや水道管といった地中埋設管網から道路網まで、また、そのレベルも、構成要素の信頼性からシステムとしての信頼性まで、幅広い研究がなされている。

緊急路網の整備計画は、同時多発型の災害に対処するために、各防災拠点(基地)の責任地区を明確にし、災害時に、緊急車両が基地から責任地区の全ての現場地点に到達出来る信頼性を確保することを目的とする。この問題でも、構成要素である各道路の地震時信頼性と、それらによって構成されるシス

テムとしての信頼性の研究が必要となる。前者については、著者らは、その一つの評価法を提案し、避難路を対象として場合の適用結果を報告している³⁾。緊急車両路についても、同様の手続きで一応評価することができる。後者については、特定の地点間ではなく、全ての地点に対する信頼性として評価する必要がある。そこで、本論文では、緊急路網を、まず基地を”ソース (Source)”とし責任地区内の各主要交差点を”ターミナル (Terminal)”とする有向グラフ (digraph)によってモデル化し、そのシステム信頼性を、この有向グラフのS A T信頼性 (Source to All Terminal Reliability)として定義し、その実用的評価法の提案を試みる。

即ち、このS A T信頼性計算は、有向グラフである緊急路網の1-型部分グラフの列挙法が基本となる。従って、”莫大な数の問題”を当然抱えており、実用化のためには何らかの工夫が必要になる。この場合、通常は厳密解に対する近似解法の研究という形が取られるが、本論文では、

1) S A T信頼性と全点信頼性 (Overall Reliability)は、緊急路網の全ての構成道路に双方向使用を認める場合には同値になる。

2) 緊急路網が2-連結グラフという条件を持つならば、その全点信頼性の計算には分割法を利用することができ、計算量の増大化を抑制できる。

ということを根拠に、実用的な評価法として、全点信頼性の使用の可能性と問題点について検討する。

2. 緊急路網のシステム信頼性の定義

2.1 緊急路網のモデル化とシステム信頼性の定義

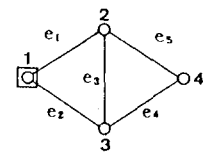
防災拠点は、災害直後の活動の中心となるもので、救急車や消防車の基地であるとともに、二次避難のための広域避難場所としての機能も持つ。それは、ある特定の地点に対して機能するのではなく、ある範囲の地域全体に対して責任を負うべきものである。緊急路網は、このことを可能にするための決定的な基盤の一つである。ここでは、図1の(1)に示すような簡単な道路網によってカバーされる地区を想定し、ノード1を防災拠点 (基地)として緊急路網のモデル化について考察を進める。

緊急車両には、災害時に、基地から図1の(1)

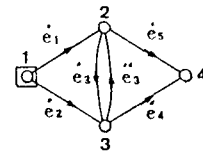
の道路網 (G)を使用して、全てのノード (主要交差点)に対して出動できることが要求される。道路そのものは、通常は双方向に使用可能である。しかし、緊急路としては、極端な速回りとなる道路の使用は望ましくない。このように考えた場合には、緊急路網では道路の双方向使用が制限されることになる。図1の(2)は、ノード2と3を結ぶ道路のみに双方向使用を認め、ノード2と3に対しては、ノード4を経由しての経路は使用しないとした制限を設けた場合の緊急路網のモデル化案の例である。これには各道路に方向性が付与されており、有向グラフとなる。そこで、図1の(1)のGと区別するために、 G_a と表現しておく。

この考え方に対して、災害時であることを考えれば、どのようにしてでも現場に到着することが必要であり、極端な速回りという問題は責任地区の設定のところで検討すべきもので、使用可能な経路は全て含むべきであるという考え方も成立する。図1の(3)は、このような考え方による場合のモデル化案の例である。この場合は、図1の(1)のGの対称グラフ (symmetric graph)から、基地に向かうアークを除去したものとなっているので G_s と表示しておく。

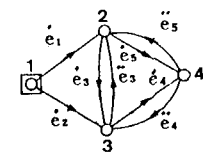
上では緊急路網について二つの考え方を示したが、



(1) 防災拠点と道路網, G



(2) 緊急路網-1, G_a



(3) 緊急路網-2, G_s

図1 防災拠点システムのモデル図

いずれにしても基地から現場に向かう形での方向性のある有向グラフとしてモデル化される。そして、緊急車両は、この方向性に従って経路を探り、現場に向かうことになる（ここでいう道路の方向性は、往路についてである）。緊急路網の整備計画の目的は、責任地域の全ての現場へ緊急車両が到達できることを保証することにある。そこで、著者は、責任地区をカバーする緊急路網のシステム信頼性を、基地を”ソース”とし、主要交差点を”ターミナル”とする有向グラフのS A T信頼性によって定義する。

ここで、緊急路網を構成する道路が連結であるとは、緊急車両が通行可能な状態を意味する。この評価法については、1. で若干触れたが、ここでは所与として議論を進める。

2.2 S A T信頼性の計算法

著者は、緊急路網は、図1の(2)ないしは(3)のような有向グラフとしてモデル化されるとした。この何れのグラフにおいても、基地に対応するノード1は、そこへ向かうアークがない。換言すれば、入力次数 (in-degree) が零となっている。緊急路網には、緊急車両が、ここを出発して、何れのノードにも到着できる経路を常に確保しておくことが要請される。例えば、図1の(3)の場合、図2に示すような経路の少なくとも一つが確保されていれば、緊急車両は何れの地点にも到達することができる。

図2に示した経路(グラフ)の中で、最初の8つものは、何れも入力次数が0となるノードを唯一つ持ち、他のノードは全て入力次数が1となる有向グラフとなっている。このようなグラフを根付き木 (rooted tree) という。そして、全てのアークがそのどれかの根付き木に含まれる有向グラフをt-型グラフというが、図1の(2)ないしは(3)でモデル化される緊急路網は、この条件を満たすもので、t-型グラフとなっている。

t-型グラフのS A T信頼性、即ち、ソースである基地からターミナルである全ての交差点に到達できる確率は、そのグラフのサイクルを有しない、t-型部分グラフ (acyclic t-subgraph)、 $G_{a, i}$ と、そのトポロジカルな特性、即ち、 $G_{a, i}$ のアークとノードの数、 b_i と n_i を用いて、次式によっ

て求められる。

$$R_s (G_d) = \sum (-1)^{b_i - n_i + 1} P_r \{G_{a, i}\} \dots (1)$$

ここで、 $P_r \{G_{a, i}\}$ は、サイクルを有しないt-型部分グラフ $G_{a, i}$ に含まれる全てのアークが連結されている確率である。

図2は、図1の(3)に対応するサイクルを有しない全てのt-型部分グラフを示したもので、式(1)を適用すれば、そのS A T信頼性は、次式のように求まる。

$$R_s (G_s) = P_1 P_2 P_4 + P_1 P_2 P_5 + P_1 P_3 P_4 + P_1 P_3 P_5 + P_1 P_4 P_5 + P_2 P_3 P_4 + P_2 P_3 P_5 + P_2 P_4 P_5 - 2P_1 P_2 P_3 P_4 - 2P_1 P_2 P_3 P_5 - 3P_1 P_2 P_4 P_5 - 2P_1 P_3 P_4 P_5 - 2P_2 P_3 P_4 P_5 + 4P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 \dots (2)$$

また、図1の(2)のS A T信頼性も、それが図1の(3)の部分グラフであるので、この図の一部

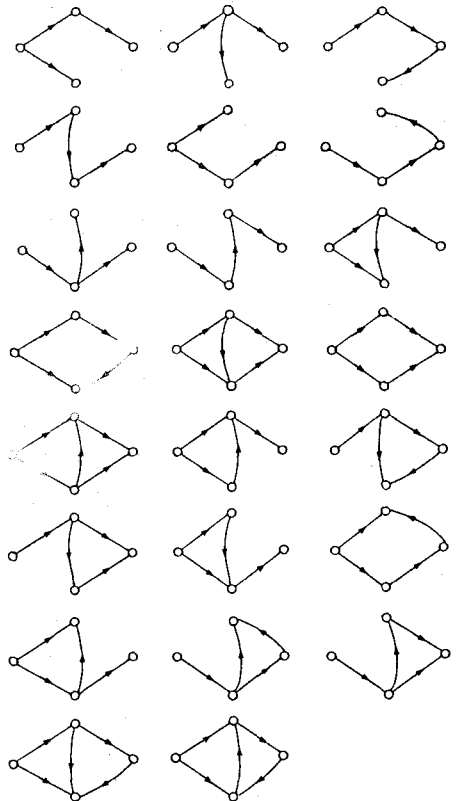


図2 非サイクリックt-型部分グラフ一覧

を用いて簡単に求めることが出来る。その結果が、次式である。

$$R_s(G_d) = P_1P_2P_4 + P_1P_2P_5 + P_1P_3P_4 + P_1P_3P_5 + P_2P_3P_4 + P_2P_3P_5 - 2P_1P_2P_3P_4 - 2P_1P_2P_3P_5 - P_1P_2P_4P_5 - P_1P_3P_4P_5 - P_2P_3P_4P_5 + 2P_1P_2P_3P_4P_5 \dots (3)$$

ここで、 P_i は、アーク e_i の連結確率である。このように、緊急路網が、道路網 (G) の有向グラフとしてモデル化されるとすれば、その対称グラフから作成されるモデル案、 G_s に対して、SAT 信頼性計算のための図を用意しておけば、その部分グラフである他の緊急路網案の信頼性計算も全て可能になる。

上では、その基本的な手順を示したが、 G_s のサイクルを有しない全ての t -型部分グラフを抽出するアルゴリズムも開発されている。しかし、この方法では、莫大な量の計算が必要となる。ちなみに、ノードが 6 個、アークが 9 本のときに、このようなグラフの数は 39 個であるが、アークが 16 本のときには 479 個になる。ノードが 8 個で、アークが 22 本のときには、一挙に 3795 個に増大するという結果も報告されている。従って、実用性という点からは、やはり何らかの工夫が望ましい。

3. 緊急路網のシステム信頼性評価の実用的方法

上で見たように、アーク数は、道路の双方向性使用が制約されるとすれば、確かに減少する。問題はノードの数である。ノード数が増えれば、当然アーク数も増えるし、それらが重なって抽出されるグラフ数が急増するからである。このノード数の問題を解決するためには、分割法の適用が望ましい。

図 1 の (1) の無向グラフ (undirected graph) G の全点信頼性 (Overall Reliability) $R_o(G)$ とは、全てのノードの間に常に連結する経路が存在する確率を意味する。Satyanarayana⁵⁾ らは、無向グラフ G の全点信頼性 $R_o(G)$ とその対称有向グラフ G_s の SAT 信頼性 $R_s(G_s)$ との間には、

$$R_o(G) = R_s(G_s) \dots (4)$$

となる関係が成立することを証明している。このことは、図 1 のモデル化との関連でいえば、緊急路網

を構成する全ての道路に双方向使用を認める場合には、全点信頼性は SAT 信頼性と同値となることを意味している。即ち、特殊な場合の評価測度となっている。そこで、緊急路網のシステム信頼性の実用的評価測度の一つとして、この全点信頼性を取り上げ、どのような場合に有効な分割計算法が適用できるか、SAT 信頼性との乖離度はどの程度か、について以下検討してみる。

3.1 2-連結なグラフの全点信頼性計算法

グラフ G の連結度は、 G を非連結にするのに除去しなければならない点の数で定義される。いま、対象道路網のグラフを G とし、その連結度が 2 とすれば、これには、それを除去すれば非連結となるような 2 つのノード、 i, j が少なくとも 1 組は存在する。Z. Khalil⁴⁾ は、このノードを利用すれば、 G の全点信頼性は、それより規模の小さいグラフの全点信頼性を用いて計算することができるとして、次のような 2 種類の分割公式を提示している：

i, j を、それらの間のリンクと共に除去すれば G が非連結となるノードとする。第一の方法 [分割法 (I)] は、共通部分はノード i, j のみで、その和が G となるような G の部分グラフ G_1, G_2 への分割である。この場合には、

- i) \bar{G}_1, \bar{G}_2 を、グラフ G_1, G_2 において、ノード i, j を合体 (coalesion) して得られるグラフ、
- ii) $R(G_1) \sim R(\bar{G}_2)$ を、それぞれ $G_1 \sim \bar{G}_2$ の 4 つのグラフに対応する全点信頼性とすれば、 G の全点信頼性 $R_o(G)$ は、

$$R_o(G) = R(G_1)R(\bar{G}_2) + R(G_2)R(\bar{G}_1) - R(G_1)R(G_2) \dots (5)$$

によって求められる。

第二の方法 [分割法 (II)] は、共通部分はノード i, j と、それらを結びリンク e で、その和が G となる G の部分グラフ G_1, G_2 への分割で、

- iii) \dot{G}_1, \dot{G}_2 を、グラフ G_1, G_2 において、リンク e を除去 (deletion) して得られるグラフ
- iv) $R(G_1) \sim R(\dot{G}_2)$ を、それぞれ $G_1 \sim \dot{G}_2$ の 4 つのグラフに対応する全点信頼性、 P_e をリンク e の信頼性とすれば、 G の全点信頼性は、

$$R_o(G) = (R(G_1)R(G_2) - (1 - P_o)R(\bar{G}_1)R(\bar{G}_2)) / P_o \dots (6)$$

によって求められる。

このように、緊急路網の連結度、 $\kappa(G)$ が2の場合には、その信頼性は、 G のノード数、 n より小さいノード数の4つのグラフの全点信頼性を用いて求めることができる。さらに、これらのグラフが2-連結であれば、その全点信頼性計算にも同様の分割法が適用できる。信頼性計算では、計算量は 2^n に比例することを考えれば、このことは、大幅な計算量の軽減に当たる。

図1の(1)の G は2-連結なグラフの一つである。これに両方法を適用するとすれば、図3の(1)、(2)に示すような G の分解となる。各グラフの全点信頼性を、式(5)、(6)に代入すれば、

$$R_o(G) = (P_1P_2 + P_1P_3 + P_2P_3 - 2P_1P_2P_3)(P_4 + P_5 - P_4P_5) + P_4P_5(P_1 + P_2 - P_1P_2) - P_4P_5(P_1P_2 + P_1P_3 + P_2P_3 - 2P_1P_2P_3) \dots (7)$$

$$R_o(G) = ((P_1P_2 + P_1P_3 + P_2P_3 - 2P_1P_2P_3)(P_3P_4 + P_3P_5 + P_4P_5 - 2P_3P_4P_5) - (1 - P_3)(P_1P_2)(P_4P_5)) / P_3 \dots (8)$$

と求まる。式(7)を整理すれば、式(2)に示した G_s のSAT信頼性式と同じものとなることも容易に確認できる。また、この二つの式が同じ信頼性値を与えることも確かめられる。ちなみに、 $P_1=0.9, P_2=0.7, P_3=0.9, P_4=0.8, P_5=0.3$ とすれば、 G の全点信頼性値は、両式ともに、 $R_o(G) = 0.813$ を与える。

この二つの分割法を比較すれば、後者の方が計算が簡便である。しかし、対象とするグラフによっては、そのような分割が出来ない場合がある。例えば、本研究事例や”田の字型”を基本とするネットワークに対しては、そうである。しかし、この二つをうまく使い分ければ、”田の字型”を基本とする大きなネットワークを始めとして、かなりの緊急路網に対して計算可能となる。この計算法の基本フローを図4に示す。その適用性については、別の機会に報告するとして、次に、SAT信頼性に対する近似度について検討する。

3.2 評価測度法としての基本特性分析

一般に実用化の研究では、厳密解に対する近似解と言う形がとられるが、著者は、上では緊急路網に対応する無向グラフ(G)の全点信頼性、 $R_o(G)$ という別の測度の利用を示唆した。この他にも、川上²⁾が行っているように、基地(i)と交差点(j)間の2点間信頼性(Source to Terminal Reliability), R_{ij} を全て求め、その信頼性ベクトル、 R_1 を特徴付ける測度を使用することも考えられる。ここでは、このような方法の可能性を、計画情報というプラグマテックな観点から検討する。この場合、

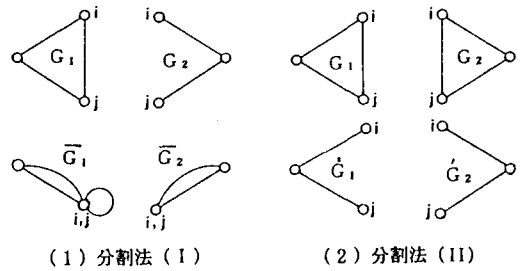


図3 分割法による計算例

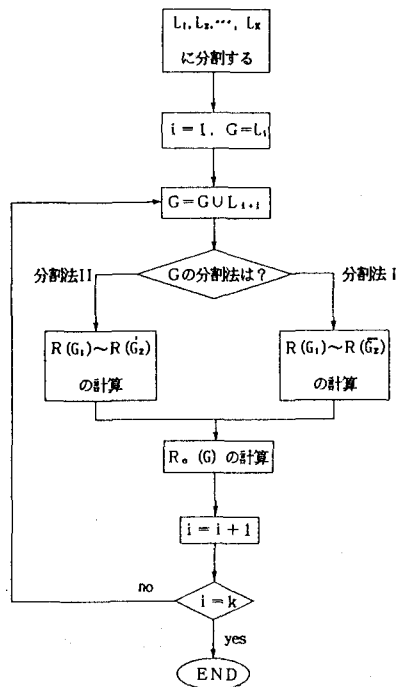


図4 全点信頼性の分割計算法の基本フロー

われわれの定義を採用すれば、緊急路網に対応する有向グラフ、 G_d のSAT信頼性、 $R_s(G_d)$ が議論の基準となる。

まず、3.1 で述べたように、評価測度、 $R_o(G)$ は、 G が2-連結であれば、実用的な分割法が使用できる。そして、緊急路網が、有向グラフ G_d の特別な場合である G_s となると、即ち、緊急路網を構成する全ての道路に双方向使用を認める場合には、求めたいSAT信頼性、 $R_s(G_d)$ そのものと一致する。また、 G_d と G_s との関係より分かるように、一般に、 $R_s(G_d)$ より大きく、その乖離の度合いは、道路の双方向使用の制限の度合いが強いほど大きくなる、といった特徴を持つ。

信頼性ベクトル、 R_1 の方も、ミニマル・カット法やモンテカルロ法を始めとする幾つもの計算法が研究されている。それには、厳密解のみならず、有効な近似解の研究も含まれている。例えば、若林・飯田⁶⁾ は、その近似解法を図1の(1)と同じブリッジ型のネットワークを用いて検討している。この測度の計画情報としての最大の魅力は、上限値・下限値を与える式を持つ所にある。しかし、いずれにしても、システムとしての評価を行うためには、ベクトルを何で特徴付けるかが問題となる。ここでは、最小値、 $\min R_1$ を使用するとして、次に、図1の(2)の緊急路網を対象として、この2つの測度の近似度ないしは乖離度に関する数値実験を試みる。

まず、各道路の連結確率、 P_i が同一の場合の計算結果を図5に示す。横軸は、各道路の連結確率、 P_i ($i=1\sim 5$ で共通) である。縦軸は、2つの測度とSAT信頼性、 $R_s(G_d)$ との乖離度である。このグラフから分かるように、緊急路網を構成する各道路の信頼性、 P_i が0.7以上であれば、両者の $R_s(G_d)$ との乖離度は、共に10%前後と比較的小さい。しかし、 P_i が0.5以下になると、 $R_o(G)$ の方は20%以下を維持しているのに対して、 $\min R_1$ の方は急速に乖離していくことが分かる。また、道路の信頼性 P_i の大小にかかわらず、

$$R_o(G) < \min R_1$$

となっていることも分かり、近似度の面では、 $R_o(G)$ の使用の方が望ましいといえる。

次に、 $R_o(G)$ の信頼性評価測度としてのシステム特性について検討する。図6の(1)、(2)は、

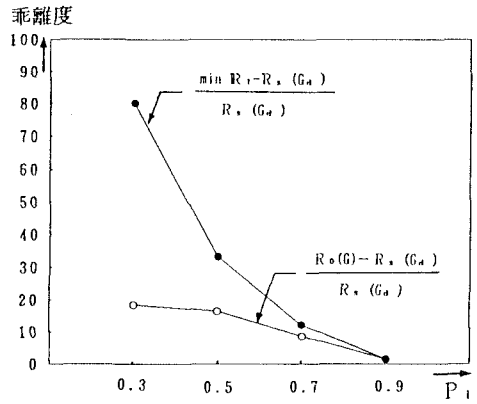
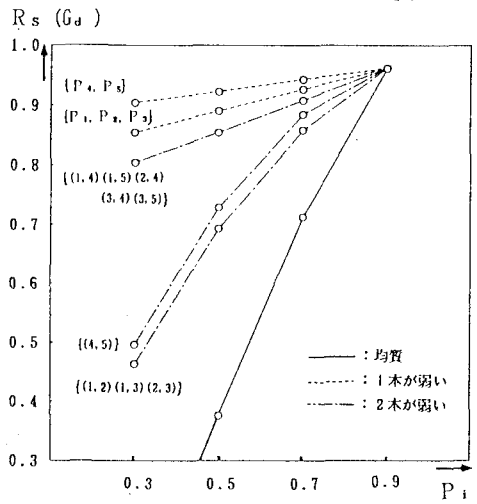
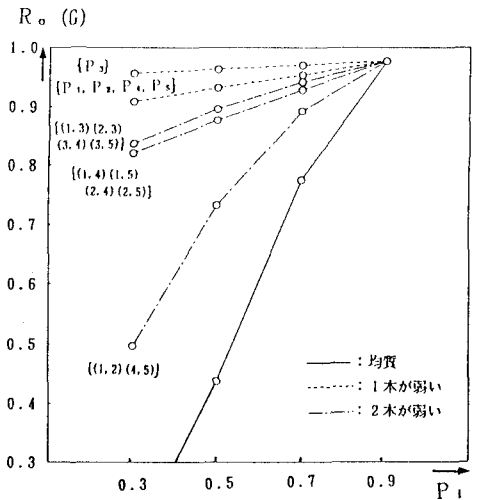


図5 $R_s(G_d)$ との乖離度



(1) SAT信頼性の特性グラフ



(2) 全点信頼性の特性グラフ

図6 信頼性の特性比較

図1の(1)の構成道路の信頼性に差がある場合を含む、色々な場合のSAT信頼性と全点信頼性の計算結果を示したものである。これらの図より、まず、均質な道路の場合には、両者は、構成道路の信頼性の変化に対して同一傾向を示すとともに、常に

$$R_o(G) > R_s(G_d)$$

となっていることが分かる。次に、システム信頼性の低下に大きく影響する道路について見れば、 $R_o(G)$ に関しては、 $\{e_1, e_2\}$ と $\{e_4, e_5\}$ の組み合わせが重要で、 e_3 はそれほど重要なものとはなっていない。一方、 $R_s(G_d)$ では、 e_3 も、 e_1 または e_2 と組み合わせさせた場合には、大きな影響力を持つ事が分かる。これらより、 $R_s(G_d)$ の方が $R_o(G)$ よりシステム性が強いと推測される。全点信頼性を評価測度として使用するに際しては、この点にも注意しなければならないだろう。

4. システム信頼性の計算事例

4.1 対象地域の緊急路網の概要

金沢市は、二つの河川に挟まれた部分を中心に発展してきた城下町で、木造市街地が散在している。地震は比較的少ないが、1799年には震度6以上の直下型地震が発生しており、油断はできない。著者らは、金沢市の中央から南部に広がる図7に示すような地域に対して、本モデルの適用研究を試みた。

まず、消防車と救急車の到着時間は、平常時には、

5分と3分以内とされている。ここでは、地震時でも機能しうることと、広域避難場所としても使えるという条件で、2つの基地を想定した。次に、主要交差点としては、その地点から具体的な現場に到るということを考慮して、ある程度均質に分散するように選定した。最後に、緊急路については、10m以上の道路を基本として、主要交差点へのアプローチ性を考慮して選定した。

2つの基地(A, B)の責任地区については、上の数値を考慮して、約2kmの図の点線のような領域を設定した。この場合、川向こうの3地点が両方に含まれてくる。この帰属については、両地区での緊急路網のシステム信頼性の評価結果に基づいて再検討する。緊急路網を構成する各道路の信頼性については、1. で述べたように、著者らが地震時避難路の安全性評価として行った結果³⁾を使用して、まず、各構成道路の信頼性を、安全・中程度安全・危険に3分類し、さらに、交通量、橋梁特性をより詳しく検討して、0.9, 0.7, および0.5の3段階の数値として表したものを一応ここでは使用する。

4.2 システム信頼性計算と評価結果の考察

図7の基地A, Bを中心とす2つの緊急路網は、それぞれ3.1で述べた2-連結なグラフとなっている。従って、基本的には、式(5)あるいは(6)によって、その全点信頼性の計算ができる。ここでは、地区Aの緊急路網のシステム信頼性の計算のた

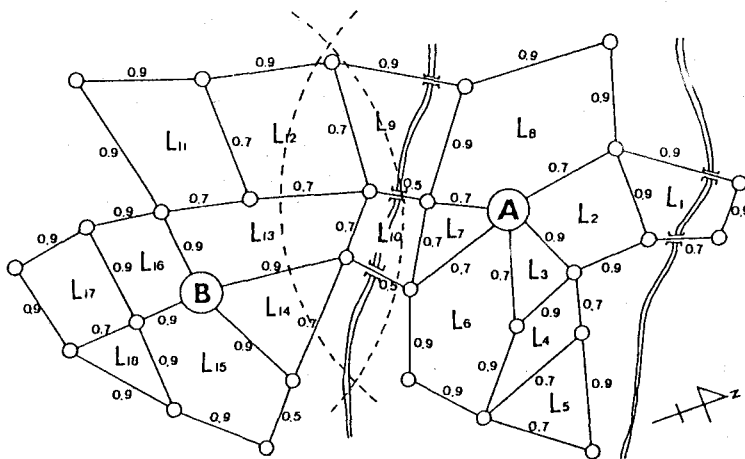


図7 対象地域の緊急路網の構造

表1 信頼性計算値

A地区		B地区	
領域	信頼性	領域	信頼性
~L ₂	0.862	~L ₁₂	0.765
~L ₃	0.857	~L ₁₃	0.799
~L ₄	0.756	~L ₁₄	0.797
~L ₅	0.792	~L ₁₅	0.688
~L ₆	0.782	~L ₁₆	0.718
~L ₇	0.741	~L ₁₇	0.678
~L ₈	0.673	~L ₁₈	0.752
~L ₉	0.541		
~L ₁₀	0.523		

めの具体的な手続きについて説明する。

まず、図4のフローに従って、地区Aの緊急路網を、図7のように $L_1 \sim L_{10}$ のサブ・グラフに分割する。そして、 L_1 と L_2 より成るグラフを G として、その全点信頼性の計算を行う。この場合には、 $G_1 = L_1$ 、 $G_2 = L_2$ とおけば、分割法(II)が使用できる。従ってグラフの変形は必要なく、 $R(G)$ は、0.862と求まる。以下同様に図4のフローを適用すれば良い。 L_5 までは分割法(II)が使用でき、同様の処理となるが、 L_6 の追加の段階では、分割法(I)の使用が必要となり、図3の(1)に示した合体(coalescion)という変形操作と、それによって生成されたグラフの全点信頼性の計算が必要となる。最終的な地区Aの緊急路網のシステム信頼性は、0.523と算定される。全く同様に、地区Bのシステム信頼性は、0.752となる。

このアルゴリズムでは、表1に示すように、サブグラフの追加毎にシステム信頼性が求まる。上で問題になった川向こうの3地点の帰属については、この特徴を利用して議論できる。即ち、これらの地点を含む場合の地区Aの緊急路網の信頼性は、0.523となるが、これらを含まない場合、即ち責任地区が $L_1 \sim L_6$ の場合には0.673となる。一方、地区Bについては、これらの地点を含む場合でもその信頼性は0.752となっており、これらの地点は地区Bに入れるのが妥当といえる。

また、責任地区が広がるとシステム信頼性は、一般には低下すると考えられるが、表1によれば逆に向上する場合があることが分かる。このような特徴をうまく活用すれば、この方法は、基地の配置と各基地の責任地区の合理的決定に関しても有効であると思われる。

5. あとがき

本論文では、地震直後の緊急活動の対策として、防災拠点とそれを取り巻く緊急路網の整備計画について考察した。そして、まず、緊急路網のシステム信頼性が、基地をソースとし主要交差点をターミナルとするSAT信頼性によって定義されること示した。次に、このSAT信頼性の計算法が経路の列挙法であり、“莫大な数の問題”に直面するため、そ

の工夫として、分割法が使用できる全点信頼性の利用の可能性を検討した。そして、

- 1) 緊急路網を構成する全ての道路に双方向使用を認めるならば、それはSAT信頼性に一致する。
- 2) 緊急路網が2-連結なグラフであれば、効果的な分割法が使用できる。
- 3) 全点信頼性の方がSAT信頼性より常に大きくなるが、その乖離度は20%以内と推測される。ことなどを明らかにした。また、金沢市を対象として、この方法が現実の緊急路網に対しても適用可能であることを示すとともに、防災拠点基地の数と配置の計画に必要となる、各基地の責任領域の決定にも有効であることを示唆した。

今後の課題としては、

- 4) 分割法のより計算機向きのアルゴリズムの開発と、計算可能なネットワークの範囲の検討
- 5) SAT信頼性との乖離度のより一般的な測度の検討

や、本論文では所与とした緊急車両路としての道路の信頼性の評価を含むトータル・システムについての研究などである。

参考文献

- 1) Fenves S. J., K. H. Law : Expected Flow in a Transportation, Proc. 2nd U. S. Natl. Conf. Earthquake Eng. 673-682, 1979.
- 2) 川上英二 : 道路交通システムの機能上の耐震性の一評価方法, 土木学会論文報告集, 327, 1-12, 1982.
- 3) 木俣昇 : I S M法に支援された大震時避難路の安全性評価システムに関する基礎的研究, JORSJ, 8-1, 31-50, 1985.
- 4) Khalil Z. : On the Reliability of Biconnected Networks, Microelec. Reliab. 23-1, 71-77, 1983.
- 5) Satyanarayana A., J. N. Hagstrom : A New Algorithm for the Reliability Analysis of Multi-terminal Networks, IEEE Tras. R-30-4, 325-334, 1981.
- 6) 若林拓史, 飯田恭敬 : 交通ネットワーク信頼性解析への信頼性グラフ理論適用の考え方, 土木計画学研究講演集, 10, 125-132, 1987.