日本オペレーションズ・リサーチ学会
2004年春季研究発表会

ネットワークの頂点切断集合を用いた難燃化整備計画問題の解法について

02005020 筑波大学 *阿部 英樹 ABE Hideki
01206770 筑波大学 繁野 麻衣子 SHIGENO Maiko
01014580 筑波大学 糸井川 栄一 ITOIGAWA Eiichi

1 はじめに

わが国において現在なお多く存在している木造密集市街地は，出火した火災が延焼し，また延焼が拡大する危険性をはらんでいる．このような市街地において防火性能を向上させるためには，不燃建物への建て替え，ポケットパークの整備，生活道路の拡幅などの市街地難燃化整備を行うことによって，延焼経路を効果的に遮断することが重要であると考えられる．

文献 [1] では，延焼経路をネットワークとして表し，建物・空地の具体的な配置パターンを考慮したミクロな防火性能の評価を試みている．この中で，市街地防火性能を向上させるためには，延焼経路ネットワークの頂点切断集合にあたる建物を整備することが有効であることを示している．

本稿では，以下に示す難燃化整備計画問題について，点連結度を達成する頂点切断集合を用いた解法を提案する．

2 難燃化整備計画問題

2.1 難燃化整備計画問題の概要

難燃化整備計画問題 [2] は，

i) 整備を行う建物の棟数をできる限り少なくしつつ，

ii) 市街地防火性能をできる限り大きく向上させる

ために整備すべき建物および建物の整備優先順位を求める，多目的問題である．

延焼する危険性がない市街地とするためには，究極的には，すべての建物を整備することが必要となる．しかし，予算などにより，一定の期間内に整備することができる棟数には限りがある．また，建物の所有者の同意が得られるまで，整備を進められなくなる場合もある．

そのため，それぞれの建物が市街地防火性能に影響を与える度合いの大きさを考慮した上で，整備すべき建物とその優先順位を求めることが必要である．

2.2 延焼経路ネットワークの作成

延焼経路ネットワークは，建物から出火があった場合に，延焼が拡大する危険がある範囲を表したグラフであり，以下の手順によって得ることができる．

1) 市街地のすべての建物に頂点を 1 点ずつ与える．

2) あらゆる 2 棟の組み合わせについて，2 棟間の距離が延焼限界距離より小さくなっている建物を辺で結ぶ．

建築面積 $A(\mathrm{m}^2)$ である建物から出火した場合の延焼限界距離を，建物構造別に，以下のように設定した (c.f.[1])．

裸木造 ：$D_A^w = 12 \cdot \left(\frac{\sqrt{A}}{10}\right)^{0.442} = 4.34 \cdot (\sqrt{A})^{0.442}(\mathrm{m})$

防火木造：$D_A^b = 6 \cdot \left(\frac{\sqrt{A}}{10}\right)^{0.322} = 2.86 \cdot (\sqrt{A})^{0.322}(\mathrm{m})$

準耐火造：$D_A^k = 3 \cdot \left(\frac{\sqrt{A}}{10}\right)^{0.181} = 1.98 \cdot (\sqrt{A})^{0.181}(\mathrm{m})$

耐火造 ：$D_A^t = 0(\mathrm{m})$

そして，構造が異なる 2 棟間の延焼限界距離を，それぞれの建物から出火したときの延焼限界距離の平均値 $\bar{D}$ とする．出火した建物から，隣棟間隔が $\bar{D}$ より小さい建物に対して延焼拡大すると考え，$\bar{D}$ より小さい隣棟間隔で連担しているすべての建物が焼失するものとした．

2.3 市街地防火性能を表す指標

市街地防火性能を表す指標として，平均焼失棟数 χ[3] を用いる．延焼経路ネットワークを $G = (V, E)$，G の連結成分を $G_l = (V_l, E_l)$(ただし，$l = 1, \ldots, k$) とおく．G_l に含まれる建物から出火したときに，G_l のすべての建物が焼失するものとすると，G_l のすべての建物について，出火したときの焼失棟数は $|V_l|$ となる．このとき，対象市街地内の 1 棟から出火することを前提とした平均焼失棟数 χ は，

$$\chi = \frac{\sum_{l=1}^{k} |V_l|^2}{|V|}$$

と表される．

いま，難燃化整備計画問題を，延焼経路ネットワーク上において，

i) 頂点数が最小である頂点切断集合のうち，

ii) 平均焼失棟数を最小とするものを選ぶ

問題であると考える．本稿では，このうちの i) を満たす頂点切断集合を求めるアルゴリズムを説明する．

3 アルゴリズムの概要

グラフ $G = (V, E)$ の頂点切断集合を求めるアルゴリズムの概要を以下に示す．このアルゴリズムは，グラフ $G = (V, E)$ の連結成分 $G_l = (V_l, E_l)$ の点連結度 $\kappa(G_l)$ を求める Even のアルゴリズム (c.f.[4]) において，2 頂点間の点連結度が $\kappa(G_l)$ である場合に，頂点切断集合を求める操作を行うものである．

3.1 連結成分の点連結度を求めるアルゴリズム

step1 $k := 1$, $\kappa(G_l) := 0$ とおく．

step2 $V^k := \{v_i | i = 1, ..., k\}$ とおく．

step3 for $i := 1$ to $k - 1$ do
  for $j := i + 1$ to k do
  G_l における $v_i, v_j \in V^k$ 間の点連結度 κ_{v_i,v_j} を求める．
  $\kappa_{v_i,v_j} = \kappa(G_l)$ ならば，頂点切断集合を求める．

step4 $V' = V_l \cup \{w\}$, $E' = E_l \cup \{(w, v_i) | i = 1, ..., k\}$ からなるグラフ $G' = (V', E')$ を与える．

step5 for $i := k + 1$ to $|V|$ do
  G' における w, $v_i \in V - V^k$ 間の点連結度 κ_{w,v_i} を求める．$\kappa_{w,v_i} = \kappa(G_l)$ ならば，頂点切断集合を求める．

step6 $\kappa_0 := \min\{\min_{v_i,v_j \in V^k}\{\kappa_{v_i,v_j}\}, \min_{v_i \in V \setminus V^k}\{\kappa_{w,v_i}\}\}$ とする．$\kappa(G_l) = \kappa_0$ ならば終了．

step7 $\kappa_0 \geq k$ ならば，$k := 2k$ とおく．さもなくば，$\kappa(G_l) := \kappa_0$, $k := \kappa(G_l)$ とおく．step2 へ．

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

3.2 G の頂点切断集合を求めるアルゴリズム

G における s,t 間の点連結度 κ_{st} は，ネットワーク (G'',u)：
$G''=(V'',E'')$
$V''=\{v',v'':v\in V\}$, $(v',v''$ は v の複製を意味する．)
$E''=\{(v_i'',v_j'),(v_j'',v_i'):(v_i,v_j)\in E\}\cup\{(v',v''):v\in V\}$
$u(v_i'',v_j')=\infty:(v_i,v_j)\in E,\quad u(v',v'')=0:v\in V$
における s'',t' 間の最大流量として得られる．このときの最大流 f の補助ネットワーク (G_f'',u_f,s'',t') の強連結成分への分解によって得られる半順序構造より，(G'',u,s'',t') の最小カット全体を得る (c.f.[5])．これらの最小カットが対応する G の頂点集合が，G の $\kappa(G)$-点切断集合となる．

step1 for $i:=1$ to $|V|$ do
 $stack[i]:=-1$, $top[i]:=-1$, $depth[i]:=-1$,
 $label[i]:=-1$ とおく．
step2 $dep:=1$, $sc:=1$ とし，サブルーチン $visit(t')$ へ．

強連結成分を求めるサブルーチン $visit(v)$：

step1 $stack[dep]=v, head[v]:=dep, depth[v]:=dep$,
 $crtdep:=dep, dep:=dep+1$ とおく．
step2 for all $(v,w)\in E''$
 $head[w]<0$ ならば，$visit(w)$ へ．
 $0<head[w]<crtdep$ ならば，step2-1 へ．
 step2-1 $newhead:=head[w], newdep:=depth[v]$ とおく．
 step2-2 for $i:=newhead$ to $newdep$ do
  $head[stack[i]]:=newhead$,
  $depth[stack[i]]:=newdep$ とおく．
step3 $head[v]=crtdep$ ならば，$dep:=head[v]$ とおく．
step4 for $i:=head[v]$ to $depth[v]$ do
 $label[stack[i]]:=sc, stack[i]:=-1$ とおく．
step5 $sc:=sc+1$ とおき，終了．

4 実際の市街地データを用いた計算例

以下では，東京都都市計画局によって整備された「都市計画ディジタルデータ」を用いて延焼経路ネットワーク生成し，その頂点切断集合の導出を試みる．図 1 は，東京都墨田区立花 2 丁目の建物データである．このデータを基に生成した延焼経路ネットワークを図 2 に示す．また，立花 2 丁目の構造別棟数を表 1 に示す．

この延焼経路ネットワークは，7 つの連結成分からなり，このうち頂点数が 3 以上である連結成分は 3 つ存在する．これら 3 つの連結成分は，いずれも点連結度が 1 であり，あわせて 29 点の切断点が存在する．

以上の計算例では切断点が存在しているものの，点連結度が 2 以上であるネットワークに対しても，頂点切断集合を列挙することができる．

5 おわりに

本稿では，ネットワークの頂点切断集合を列挙する方法について説明した．延焼経路ネットワークにおける頂点切断集合は，実際の難燃化整備計画において優先的に整備することが望ましい建物であると考えることができる．これらの建物について，市街地防火性能への影響を考慮した上で，整備優先順位などの具体的な計画を示すことが必要であるといえよう．

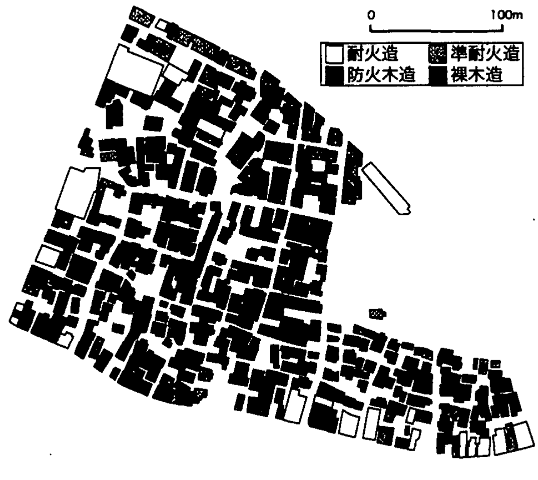

図 1: 立花 2 丁目の建物データ

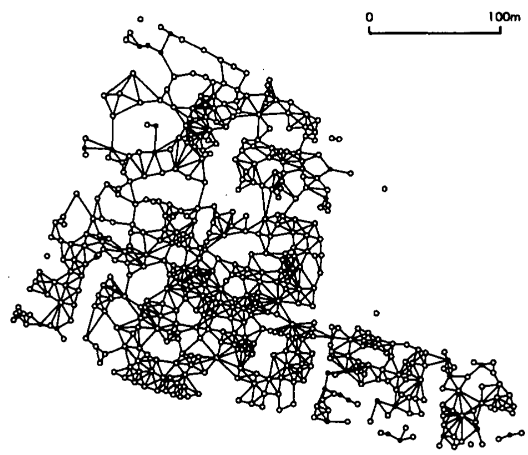

図 2: 図 1 より作成した延焼経路ネットワーク
黒丸：切断点，白丸：その他の頂点，実線：延焼経路

表 1: 立花 2 丁目の構造別棟数

裸木造	防火木造	準耐火造	耐火造	計
36	352	96	21	505

参考文献

[1] 阿部英樹, 糸井川栄一: 延焼経路ネットワークを用いた都市防火対策の評価について, 2002 年日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, 144–145, 2002.

[2] 阿部英樹, 糸井川栄一: 延焼経路ネットワークを用いた市街地防火対策における整備優先順位の最適化, 地域安全学会論文集, 5, 141–148, 2003.

[3] 加藤孝明, 小出治: 市街地延焼からみた市街地整備のための性能基準に関する基礎的考察-不燃領域率による性能基準の一般化-, 日本建築学会計画系論文集, 516, 185–191, 1999.

[4] 滝根哲也, 伊藤大雄, 西尾章治郎: ネットワーク設計理論, 岩波講座 インターネット 5, 岩波書店, 2001.

[5] 伊理正夫, 藤重悟, 大山達雄: グラフ・ネットワーク・マトロイド, 講座・数理計画法 7, 産業図書, 1986.

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．