航空写真を用いた街路閉塞調査とその要因分析

成行義文[1]・福井佑一郎[2]・谷元雅哉[2]・平尾潔[3]・笹田修司[4]

[1]徳島大学工学部助教授　（〒770-8506 徳島市南常三島町2-1）
E-mail:nariyuki@ce.tokushima-u.ac.jp
[2]徳島大学大学院工学研究科博士前期課程　（〒770-8506 徳島市南常三島町2-1）
[3]徳島大学工学部教授　（〒770-8506 徳島市南常三島町2-1）
E-mail:cvsteng@ce.tokushima-u.ac.jp
[4]阿南工業高等専門学校講師　（〒774-0017 徳島県阿南市見能林町青木265）
E-mail:sasada@anan-nct.ac.jp

本研究は，1995年兵庫県南部地震時の神戸市長田区ならびに東灘区の街路閉塞状況を，航空写真を用いて調査し，その要因について検討したものである．隣接する交差点間の街路を，車道を共有する左右２つのサブリンクで表し，各サブリンクごとに，住宅地図，航空写真および災害現況図等から，閉塞の有無とともに，車道・歩道幅員，沿道建物数，リンクの方向・長さ，沿道建物全壊率，沿道建物道路側倒壊率を読み取った．両地区とも，沿道建物の道路側倒壊率は約36%，また道路側倒壊数と道路反対側倒壊数の比は5弱であった．また全壊率の代わりに道路側倒壊率を用いた場合，両地区の街路閉塞の判別的中率はともに向上し90%弱となった．さらに，リンクの角度・長さ及び沿道建物数等の判別分析への寄与度は極めて小さいことが分かった．

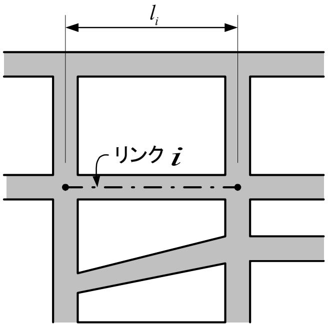
Key Words : *sreet-blockade, The 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, Kobe City, aerial photographs, dscriminant analysis*

１．はじめに

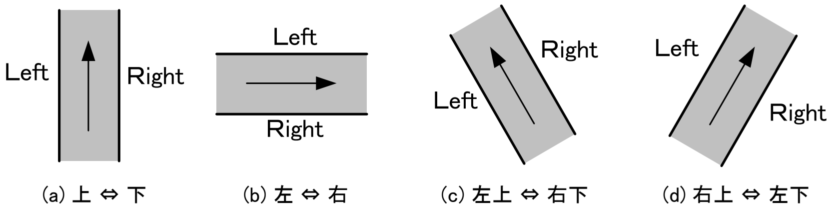
1995 年兵庫県南部地震により，神戸市およびその近隣地域において街路閉塞が多数発生し，震後の避難・救援・応急復旧活動等の大きな妨げとなった．間接的な被害である街路閉塞は，阪神・淡路大震災以前にはあまり大きな問題としては検討されてこなかったが，この地震以降，災害時における道路網のネットワーク機能の確保が地域防災計画を策定する上での重要な検討課題の一つとしてクローズアップされ，大地震時の街路閉塞の要因分析と予測手法に関する研究が盛んに行われている[1)~6)]．

家田ら[1)]は，兵庫県南部地震直後の航空写真を用いて街路閉塞の発生状況を長田区を始めとする神戸市内の７箇所において厳密に調査し，街路・歩道幅員ならびに沿道建造物の種別とその被災程度が，地震後の通過可能幅員に大きく影響したと分析している．また彼らは，ガレキ幅の確率分布を仮定して街路リンクの閉塞確率を求めている[2)]．塚口・李燕ら[3), 4)]は，同様に兵庫県南部地震直後の航空写真を用いて灘区六甲地区からハーバーウェイに至る範囲の街路閉塞状況を調査し，震度階，木造家屋延長率および街路幅員等を要因として数量化理論Ⅱ類によるモデル化を行っている．高橋ら[5)]は，震度階と街路幅員を説明変数とした簡易的な街路閉塞状況の予測モデルを提案し，六甲道における予測結果と家田らによる実測状況[1)]との比較より判別的中率（74.4%）を求め，塚口ら[3)]の数量化理論Ⅱ類による精緻なモデルを用いた場合の的中率（78.8%）と大差ないことを示している．また著者ら[6)]も航空写真を用いて神戸市長田区の街路閉塞状況を調査するとともに，車道・歩道幅員ならびに沿道建物全壊率等を説明変数として，街路閉塞の判別分析を行い，比較的良好な判別的中率（86%）を得ている．

しかしながら，これらの研究ではすべて，着目する街路区間を左右の区別のない１つのリンクとして取り扱っているため，実質的には街路閉塞に大きく関与していると考えられる各サイドの沿道特性（歩道の有無，建物数等）ならびに被害特性（建物全壊数，建物全壊率等）の影響を個々に考慮することはできない．また，閉塞現象の調査結果を踏まえて，その予測手法を導くためには，街路両側の沿道・被害特性をそれぞれ調査・分析し，それらの理解に基づいて予測法を構築する方がより柔軟で一般性のある手法を導くことができると考えられる．

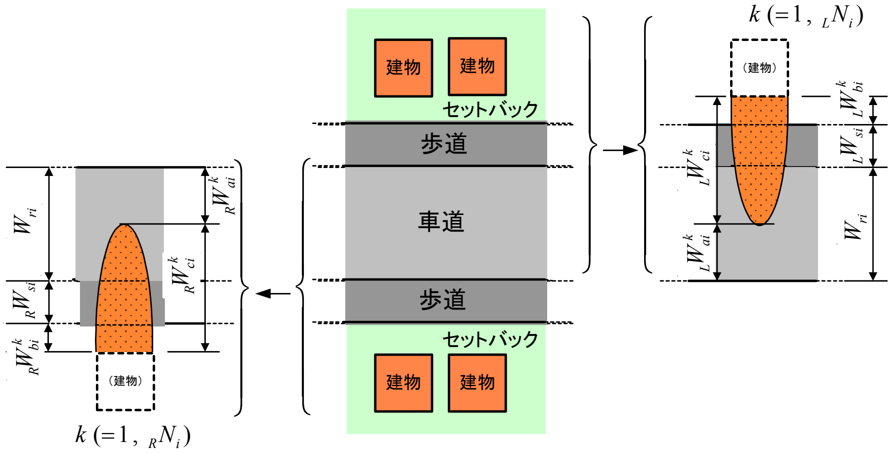


図–1　リンクの定義



（矢印は各リンクの左右を決める際の便宜的な進行方向を表す．）

図–3　リンクの左右の定義



リンク i の右側サブリンク（R_i）　　リンク i　　リンク i の左側サブリンク（L_i）

図–2　サブリンクの街路・沿道属性と建物倒壊長

以上のような観点より，本研究では神戸市長田区ならびに東灘区の各リンクを，車道を共有する左右１個ずつのサブリンクに分解し，各サブリンクの街路属性，沿道属性ならびに被害特性を航空写真，住宅地図ならびに災害現況図等を用いて調査した．なお，街路閉塞が直接的には沿道建物の道路側への倒壊によりもたらされることより，ここでは，従来の沿道建物全壊率に加え，沿道建物道路側倒壊率ならびに倒壊長等についても調査・分析を行なった．さらに，マハラノビスの距離に基づく街路閉塞の判別分析を行い，各説明変数の判別的中率への寄与度に関しても検討を行なった．

２．街路・沿道属性及び建物倒壊状況の調査方法

本研究では，前述のように1995年兵庫県南部地震時の神戸市長田区ならびに東灘区における「一般木造家屋（以下, 木造家屋と言う）の倒壊による街路閉塞」に的を絞って調査・検討を行った．調査に際して，**図–1**に示すように，各街路の隣接交差点間を１つのリンクと定義するとともに，一般にリンクの左右で，沿道属性ならびに被害状況等が異なることを勘案して，**図–2**に示すように，1つのリンク i を車道を共有する左右２つのサブリンク（L_i, R_i）に分割し，各サブリンクの街路属性，沿道属性ならびに沿道建物の倒壊状況等を調査した．**図–2**中の各記号は以下の諸量を表している．

W_{ri}　：車道幅員(m)
$_{L}W_{Si}$, $_{R}W_{Si}$　：各サイドの歩道幅員(m)
$_{L}N_i$, $_{R}N_i$　：各サイドの沿道建物数
k　：各サイドの k番目の建物
$_{L}W^k_{bi}$, $_{R}W^k_{bi}$　：各ｻｲﾄﾞにおける建物kのｾｯﾄﾊﾞｯｸ長(m)
$_{L}W^k_{Ci}$, $_{R}W^k_{Ci}$　：各ｻｲﾄﾞにおける建物kの道路側倒壊長(m)
$_{L}W^k_{ai}$, $_{R}W^k_{ai}$　：各ｻｲﾄﾞにおける建物kの倒壊による残存車道幅員(m)

図–2中の左側ならびに右側のサブリンク（L_i, R_i）の決め方は便宜的に**図–3**に示すようなルールに基づいている．すなわち各リンクの左右は，**図–3**中に示すような矢印の方向に向かって決定される．

調査には，住宅地図[7]，災害現況図[8]ならびに兵庫県南部地震発生後3日以内に撮影された航空写真[9]を用いた．以下に，各サブリンクの街路属性，沿道属性ならびに閉塞状況の調査方法を簡単に述べる．

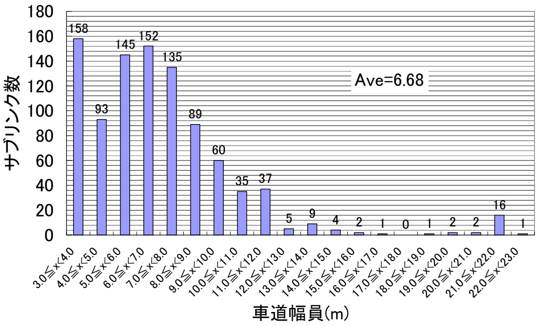


図-4　車道幅員の頻度分布(長田区)

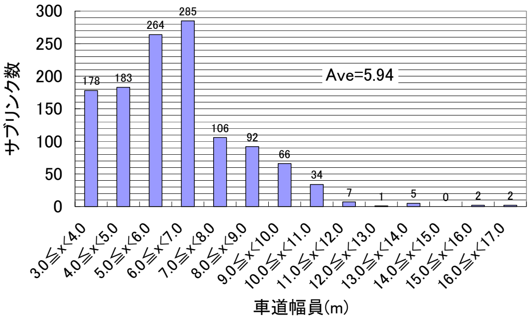


図-5　車道幅員の頻度分布(東灘区)

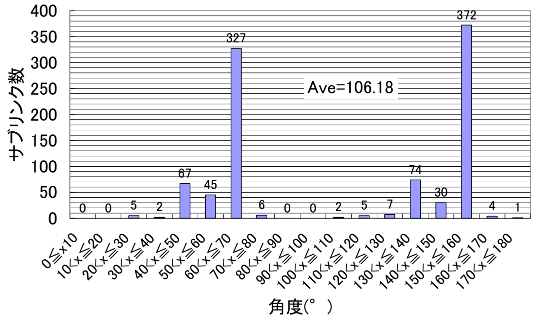


図-6　サブリンク角度の頻度分布(長田区)

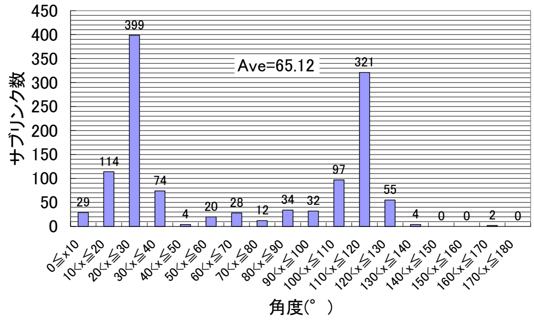


図-7　サブリンク角度の頻度分布(東灘区)

(1) 街路属性の調査方法

街路属性として，「車道幅員 W_{ri}」，「リンク長 l_i」ならびに「リンクと断層垂線との角度 θ_i」の３つを考え，これらを各リンク毎に住宅地図から目視により読み取った.

(2) 沿道属性の調査方法

沿道属性として，「歩道幅員 ${}_LW_{Si}$，${}_RW_{Si}$」ならびに「沿道建物数 ${}_LN_i$，${}_RN_i$」を考え，各サブリンクのこれらを住宅地図と航空写真を併用して求めた.「セットバック長 ${}_LW_{bi}^k$，${}_RW_{bi}^k$」も沿道属性の１つであるが，調査対象とした長田区ならびに東灘区においては，ほとんどの沿道建物が歩道あるいは車道に隣接しているため，ここでは調査のロードを考慮して調査項目から割愛した．また，調査対象とした建物は，前述のように，街路閉塞に関係の深い木造家屋[10)]であり，建物種別は航空写真より２名の調査者が判断した.

(3) 建物倒壊状況の調査方法

各サブリンクにおける「建物倒壊数」，「道路側建物倒壊数」，「最大道路側建物倒壊長」ならびに「最小残存車道幅員」等，建物被害ならびに街路閉塞に関係すると思われる諸量を被害現況図および住宅地図等を参考にしながら，航空写真より読み取った．また航空写真の立体視には簡易実体鏡を用いた.

３．調査結果とその分析

前述のように，調査はサブリンク毎に行ない，より一般性のある知見を得るため，街路・沿道属性ならびに被害状況等の分析もサブリンクに着目して実施した.

(1) 分析の対象としたサブリンク

本研究では，地震時の建物倒壊に伴う瓦礫等により街路の一部が使用不可になった場合でも，大型の車両が比較的無理なく通行でき，かつその場での円滑な救援・救出活動が可能な最小残存車道幅員を3mと設定した．したがって，沿道建物倒壊の有無に関わらず，必ず閉塞と判定される車道幅員3m未満のリンクは以下の分析対象から除いた．さらに，沿道建物が存在しないサブリンクも，建物倒壊に起因する閉塞が生じないため，分析対象から外した．その結果，分析対象サブリンク数は長田区では 947個，また東灘区では1225個となった.

(2) 街路属性

a)　車道幅員の頻度分布

図-4および**図-5**は長田区および東灘区におけるサブリンクの車道幅員の頻度分布をそれぞれ示したものである．長田区では3～ 8m，また東灘区では3～7mの車道幅員を有するサブリンクがともに7割強を占め，また平均で東灘区の方が0.74mだけ車道が狭いことがわかる.

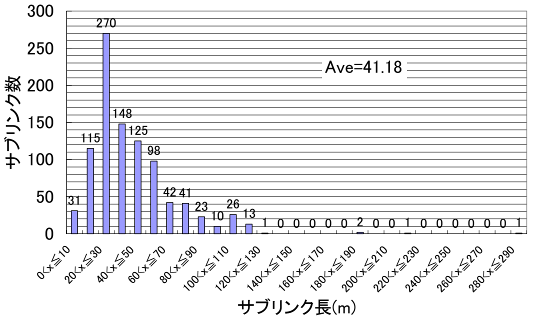


図-8　サブリンク長の頻度分布(長田区)

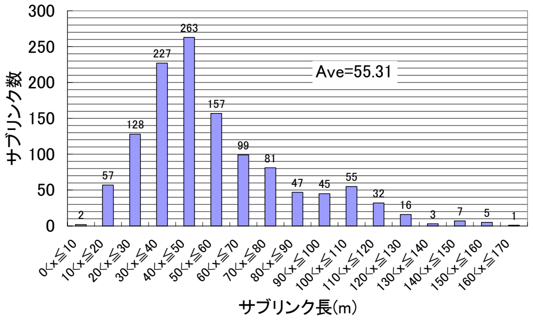


図-9　サブリンク長の頻度分布(東灘区)

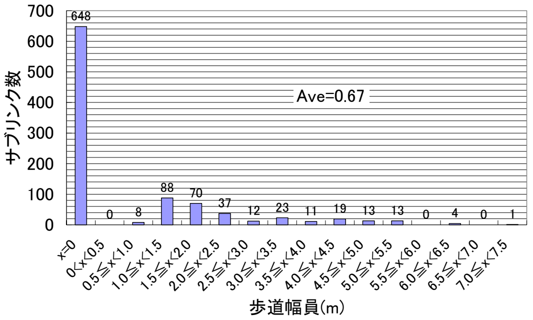


図-10　歩道幅員の頻度分布(長田区)

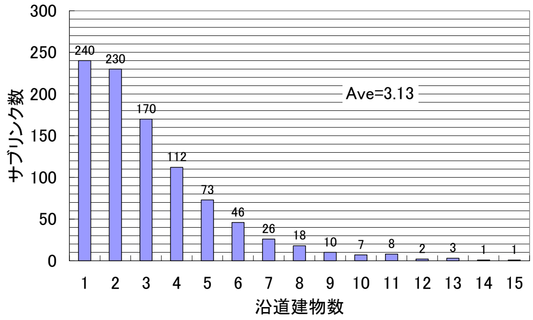


図-11　沿道建物数の頻度分布(長田区)

b)　**サブリンクと断層垂線との角度の頻度分布**

一般に同一地点でも，方向によって地震動は若干異なる．したがって，リンクの向きによって沿道の被害特性が異なる可能性も否定できない．**図-6**および**図-7**（ともに前項参照）は長田区および東灘区におけるサブリンクと断層垂線との角度の頻度分布をそれぞれ示したものである．いずれの区も卓越する２つの角度が存在し，それらの差は約90°であり，さらにその他の角度の頻度が相対的にかなり小さいことより，街路が比較的格子状に張り巡らされていることがわかる．

c)　**サブリンク長の頻度分布**

図-8および**図-9**は長田区および東灘区におけるサブリンク長の頻度分布をそれぞれ示したものである．長田区の場合，20～30m長のサブリンク数が突出しているが，東灘区の場合，40～50m長のサブリンク数が最大となっている．サブリンク長の平均は長田区より東灘区の方が約14mほど長くなっている．

(3) 沿道属性

a)　**歩道幅員**

図-10は長田区における各サブリンクの歩道幅員の頻度分布を示したものである．図よりわかるように無歩道(x=0)のサブリンクが約68%となっている．図は示していないが，東灘区では無歩道(x=0)のサブリンクは約78%であった．また，長田区では幅員1.0～3.5mの歩道を有するサブリンクが，全歩道有サブリンク中79%であり，また東灘区では84%であった．

b)　**沿道建物数**

図-11は長田区における各サブリンクの沿道建物数の頻度分布を示したものである．東灘区の図は示していないがいずれの区も沿道建物数の増大に伴い，サブリンク数は急激に減少する傾向を示している．また，沿道建物数の平均値はともに3軒強であった（長田区：3.13，東灘区：3.39）．

(4) 被害特性

a)　**沿道建物全壊数**

図-12および**図-13**は長田区および東灘区におけるサブリンクの沿道建物全壊数の頻度分布をそれぞれ示したものである．両区とも全壊建物数の増大に伴い，サブリンク数は急激に減少する傾向を示している．また，全壊した建物がなかったサブリンクは長田区では約59%，東灘区では約37%であり，東灘区の方が全壊建物を有するサブリンクの数・割合とも多いことがわかる．

b)　**沿道建物全壊率**

図-14および**図-15**は長田区および東灘区におけるサブリンクの沿道建物全壊率の頻度分布をそれぞれ示したものである．両区とも全壊率100%のサブリンク数が，全壊率0%の場合に次いで卓越しており，中間では全壊率50～60%で小さなピークが存在することがわかる．ちなみに全壊率100%のサブリンクの割合は，長田区で22%，東灘区で24%であった．

c)　**残存車道幅員**

図-16および**図-17**は長田区および東灘区におけるサブ

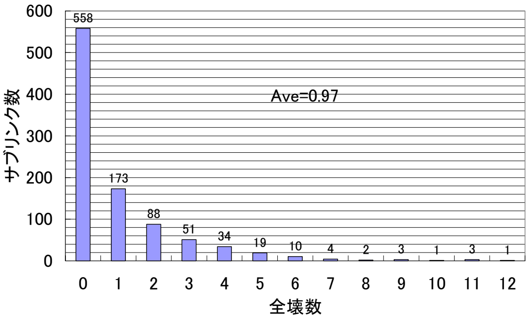


図-12　沿道建物全壊数の頻度分布(長田区)

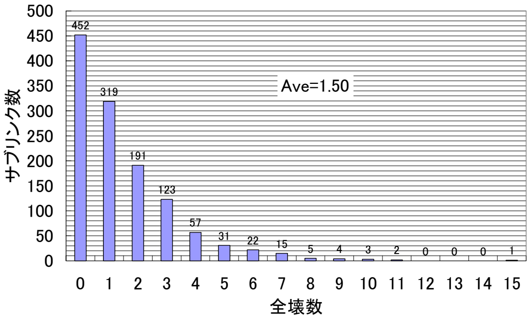


図-13　沿道建物全壊数の頻度分布(東灘区)

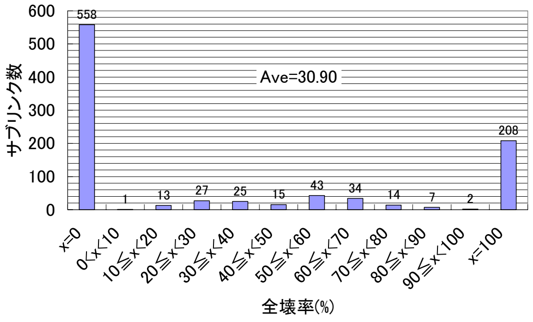


図-14　沿道建物全壊率の頻度分布(長田区)

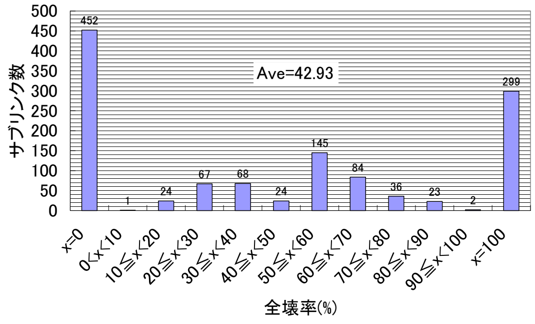


図-15　沿道建物全壊率の頻度分布(東灘区)

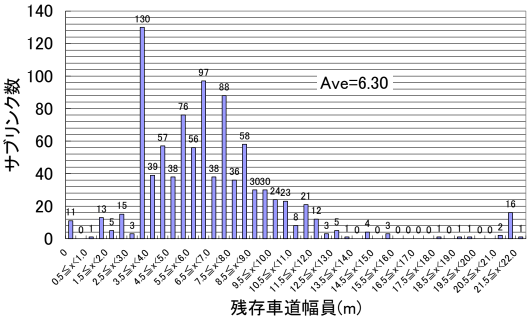


図-16　残存車道幅員の頻度分布(長田区)

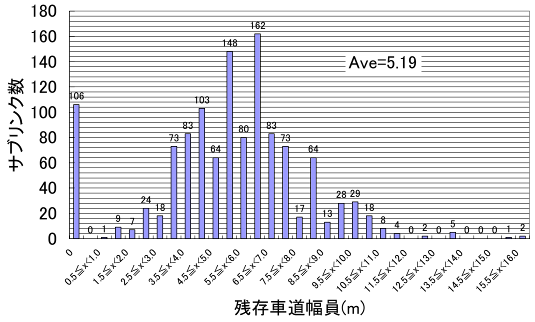


図-17　残存車道幅員の頻度分布(東灘区)

リンクの残存車道幅員の頻度分布をそれぞれ示したものである．これらの図と前出の**図-4**および**図-5**との比較より，実質的な車道幅員の平均が，長田区では約0.38m（5.7%），東灘区では約0.75m（12.6%）減少していることがわかる．

３．(1)で述べたように，『残存車道幅員＜3m』のサブリンクを閉塞とした場合，長田区では48個(5.1%)，また東灘区では165個(13.5%)のサブリンクが閉塞有と判定される．しかし，閉塞無と判定された残存車道幅員3.0～3.5mのサブリンクが長田区の場合130個（13.7%），東灘区の場合73個（6.0%）もあることは留意すべきである．

d) 沿道建物道路側倒壊数ならびに倒壊率

図-18および**図-19**は長田区および東灘区における倒壊建物の倒壊方向の頻度分布をそれぞれ示したものである．これらの図より，両地区とも，「道路側」，「元の位置」および「道路反対側」への建物倒壊率が，それぞれ約36%，56%および8%であり，また「道路側への倒壊数」（長田区：332，東灘区：651）が「道路反対側への倒壊数」（長田区：68，東灘区：141）の5倍弱となっていることが分かる．街路閉塞は建物の道路側への倒壊により引き起こされることを勘案すると，建物の道路側倒壊率は街路閉塞の重要な要因であると考えられるが，これが地区によってほとんど差がないということは注目すべきことである．また，建物の道路側への倒壊数が道路反対側への倒壊数に比べ格段に多いということは，家屋が一般に玄関側に倒壊し易い構造となっているためと考えられる．

e)　各サブリンクの建物全壊率と最大倒壊長との関係

図-20は長田区における各サブリンクの沿道建物全壊率と最大建物倒壊長との関係を示したものである．ここに，リンク i の２つのサブリンク（L_i, R_i）の最大建物倒壊長（${}_LW_{Ci}, {}_RW_{Ci}$）は式(1), (2)のようである．

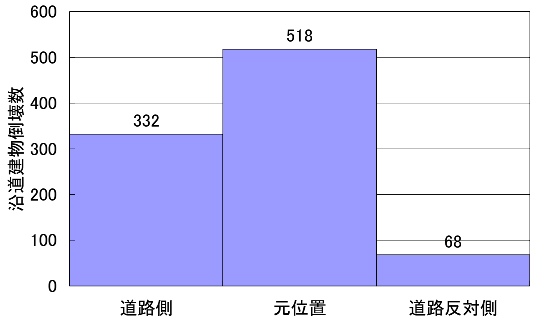


図-18　沿道建物倒壊方向の頻度分布(長田区)

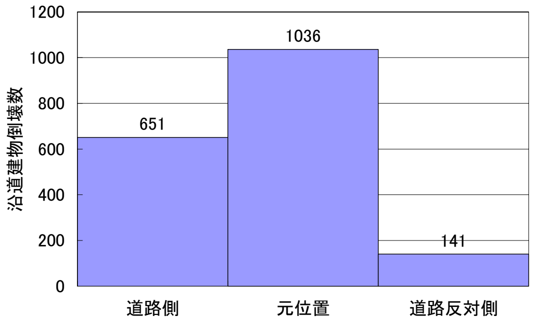


図-19　沿道建物倒壊方向の頻度分布(東灘区)

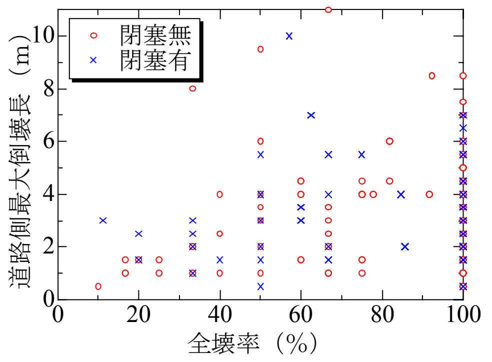


図-20　全壊率ー道路側倒壊長関係(長田区)

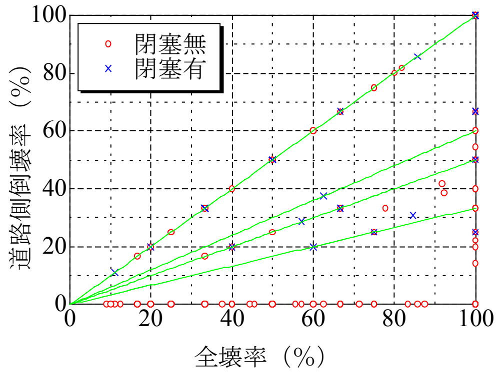


図-21　全壊率ー道路側倒壊率関係(長田区)

$$_{L}W_{Ci} = \max\{{}_{L}W_{Ci}^{k}, k=1, {}_{L}N_{i}\} \quad (1)$$

$$_{R}W_{Ci} = \max\{{}_{R}W_{Ci}^{k}, k=1, {}_{R}N_{i}\} \quad (2)$$

図-20より，沿道建物全壊率の増大に伴い，最大建物倒壊長の上限が大きくなっているのがわかる．

f）各サブリンクの全壊率と道路側倒壊率との関係

図-21は長田区における各サブリンクの建物全壊率と道路側倒壊率との関係を示したものである．図中，道路側倒壊建物数と全壊建物数の比(p)が等しいサブリンクに対応する点は，当然原点を通る直線 $y=px$ $(0 \leqq p \leqq 1)$ 上に存在する（一部図中に緑線で表示）．

g）　一対のサブリンクの道路側最大倒壊長の関係

図-22は長田区における一対のサブリンク（L_i, R_i）の各道路側最大倒壊長の関係を示したものである．図中，x および y 軸上以外（第１象限）の点が，左右両方から建物が倒壊した各リンクに対応している．このようなリンクは，**図-22**より分かるように長田区では22個であり，また図は示していないが東灘区では64個であった．建物が道路側に倒壊したリンクの総数は，長田区の場合164個（**図-22**参照），また東灘区の場合318個であるので，両サイドから道路側に建物が倒壊したリンクの割合は，長田区で約13%，また東灘区で約20%である．

４．街路閉塞の判別分析

街路閉塞の予測手法を導くための基礎的な検討として，サブリンクの閉塞の有無を目的変数に，またサブ

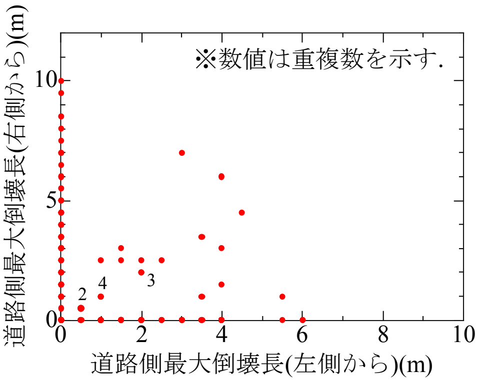


図-22　道路側最大倒壊長(左右から)(長田区)

リンクの車道幅員，歩道幅員，沿道建物数，角度，リンク長ならびに沿道建物全壊率を説明変数にとって，多変量解析の一手法である判別分析[11]を行った．判別分析には，「線型判別関数による判別分析」と「マハラノビスの距離による判別分析」の２通りの手法があるが，本研究の場合，第１群（閉塞有）と第２群（閉塞無）の分散共分散行列が相等しくないため，後者の判別分析手法を用いることとした．マハラノビスの距離とは，ユークリッドの距離の値にすべての点のばらつきを考慮して算出されるものと解釈される．マハラノビスの距離による判別は，当該サンプルから各群の重心（平均）までの距離をそれぞれ求め，近い方の群に所属すると判定する方法である．$D_{Li(j)}$を「サブリンク L_i のデータの重心から第 j 群の重心(j=1,2) までのマ

表－1　街路閉塞の有無の判別分析結果（建物全壊率考慮）

	長田区 （全947サブリンク）	予測群 閉塞有 （第1群）	 閉塞無 （第2群）	計
実測群	閉塞有（第1群）	29	19	48
	閉塞無（第2群）	85	814	899
	判別的中率(%)	25.4%	97.7%	89.0%

	東灘区 （全1225サブリンク）	予測群 閉塞有 （第1群）	 閉塞無 （第2群）	計
実測群	閉塞有（第1群）	107	58	165
	閉塞無（第2群）	206	854	1060
	判別的中率(%)	34.2%	93.6%	78.4%

表－2　説明変数の判別分析への寄与度

	無視する説明変数	全体考慮	車道無視	歩道無視	建物数無視	角度無視	リンク長無視	全壊率無視
長田区	判別的中数（全947サブリンク）	843	779	828	855	833	828	772
	判別的中率	89.0%	82.3%	87.4%	90.3%	88.0%	87.4%	81.5%

	無視する説明変数	全体考慮	車道無視	歩道無視	建物数無視	角度無視	リンク長無視	全壊率無視
東灘区	判別的中数（全1225サブリンク）	961	908	945	973	964	965	810
	判別的中率	78.4%	74.1%	77.1%	79.4%	78.7%	78.8%	66.1%

表－3　街路閉塞の有無の判別分析結果（道路側建物倒壊率考慮）

	長田区 （全947サブリンク）	予測群 閉塞有 （第1群）	 閉塞無 （第2群）	計
実測群	閉塞有（第1群）	33	15	48
	閉塞無（第2群）	87	812	899
	判別的中率(%)	27.5%	98.2%	89.2%

	東灘区 （全1225サブリンク）	予測群 閉塞有 （第1群）	 閉塞無 （第2群）	計
実測群	閉塞有（第1群）	129	36	165
	閉塞無（第2群）	102	958	1060
	判別的中率(%)	55.8%	96.4%	88.7%

ハラノビスの距離」とすると，閉塞の有無の判別基準は次のように表される．

- $D_{Li(1)} < D_{Li(2)}$ の場合：サブリンク L_i は閉塞する．
- $D_{Li(1)} > D_{Li(2)}$ の場合：サブリンク L_i は閉塞しない．
- $D_{Li(1)} = D_{Li(2)}$ の場合：どちらともいえない．

リンク i のサブリンク L_i および R_i のいずれか一方でも閉塞有と判別されれば，リンク i は自ずと閉塞有と判定されることになる．

表-1 は，長田区および東灘区におけるサブリンク閉塞の有無の判別的中率を示したものである．**表-1** よりわかるように，判別的中率は長田区では 89.0%，また東灘区では 78.4%であり，比較的良好な精度であると思われる．若干対象リンクの選定に差異はあるが，従来のリンク単位のデータに基づき，同様に長田区の街路閉塞の判別分析を行なった文献 6)では，その判別的中率は約 86%であり，本研究のようにサブリンクを用いた方が若干精度が良いことが分かる．

次に各説明変数の判別分析の精度への寄与度を検討するために，それらの変数を 1 個ずつ無視した場合の判別分析を行い，その判別的中率を示したのが**表-2** である．**表-2** より，両地区とも沿道建物全壊率，車道幅員および歩道幅員の順に寄与度が高いことがわかる．また，その他の説明変数の寄与度は相対的に低く，中には無視した方が判別的中率が高い場合も見られる．これらのことより，説明変数として車道幅員，歩道幅員ならびに沿道建物全壊率を用いて判別分析を行えば，実質的には十分であることが分かる．

表-3 は，説明変数として「全壊率」の代わりに「道路側倒壊率」を用いた場合の，長田区および東灘区におけるサブリンク閉塞の有無の判別的中率を示したものである．この場合の判別的中率はそれぞれ 89.2%ならびに 88.7%と，「全壊率」を用いた場合より共に向上しており，特に東灘区における向上が著しいことが分かる．なお両地区における判別的中率が約 90%という高いレベルで均衡していることは興味深い．また，**表-1** と**表-3** の比較より，閉塞有サブリンクを閉塞無と誤判別する割合が，道路側建物倒壊率を用いた場合には，長田区で 9% (19/48 →15/48)，東灘区で 13% (58/165 → 36/165) 程度減少しているのが分かる．このことは，道路閉塞予測の際に道路側建物倒壊率を説明変数の一つとして考慮することが，危機管理の観点から重要であることを示唆している．

5．おわりに

大規模地震時の木造建物倒壊による街路閉塞の予測手法を導くための基礎的研究として，兵庫県南部地震時の神戸市長田区と東灘区の街路・沿道特性および閉塞状況を航空写真等より，左右の沿道特性を個々に考慮し得るサブリンクを単位として調査し，各属性（車道・歩道幅員，方向，沿道建物数）ならびに被害特性（沿道建物全壊率，沿道建物道路側倒壊率，残存車道幅員）の頻度分布を求めた．さらに，それらの属性ならびに特性パラメータを説明変数として，マハラノビスの距離に基づく街路閉塞の判別分析を行った．

以下に本研究により得られた知見を列挙する．

1) 住宅地図，航空写真ならびに被害現況図から，神戸市長田区および東灘区の街路・沿道特性ならびに街路閉塞状況等が把握された．
2) 全壊建物を有するサブリンクは長田区で約 40%，東灘区で約 60%であり，また全壊率 100%のサブリンクは長田区で 22%，東灘区で 24%であった．
3) 両地区とも，全壊した沿道建物の道路側倒壊率は約 36%であり，また道路側への倒壊数は道路反対側への倒壊数の 5 倍弱であった．これは一般木造家屋が玄関側へ倒壊し易い構造となっているためと考えられる．
4) 全壊率の増大に伴い，最大建物倒壊長の上限は大きくなる傾向がある．
5) 道路側に建物が倒壊したリンクの内，両サイドから道路側に建物が倒壊したリンクの割合は，長田区で約 13%，東灘区で約 20%であった．
6) マハラノビスの距離に基づく判別分析の結果，「全壊率」を用いた場合の判別的中率は，長田区ならびに東灘区でそれぞれ 89.0%ならびに 78.4%であった．従来のリンクを用いた場合の長田区における判別的中率は 86%であり [6]，サブリンクを用いることにより精度が向上することがわかった．
7) 「全壊率」の代わりに「道路側倒壊率」を用いた場合，長田区ならびに東灘区における判別的中率はそれぞれ 89.2%ならびに 88.7%であった．両区の判別的中率が高いレベルで均衡していることは興味深い．また閉塞有サブリンクを閉塞無と誤判別する割合が,「道路側建物倒壊率」を用いた場合には，長田区で 9%，東灘区で 13%程度減少した．このことは「道路側建物倒壊率」が危機管理の観点から極めて重要なパラメータであることを示唆している．
8) サブリンクと断層垂線との角度，リンク長ならびに沿道建物数の判別的中率への寄与度は極めて小さい．

謝辞：本研究の一部は，平成 15 年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)(課題番号：15560405)の助成を受けて実施したものである．ここに記して，感謝の意を表する．

参考文献

1) 家田仁・上西周子・猪股隆行・鈴木忠徳：阪神大震災における「街路閉塞現象」に着目した道路網の機能的障害とその影響, 土木学会論文集，No. 576／Ⅳ－37，pp. 69-82，1997.
2) 家田仁・望月拓郎・上西周子：街路閉塞現象による機能的障害と地区の危険度評価法，土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集，pp. 433-440，1997.
3) 塚口博司，戸谷哲男，中辻清惠：阪神･淡路大震災における道路閉塞状況に関する研究，土木計画学研究委員会 阪神･淡路大震災調査研究論文集，pp. 377-388，1997.
4) 李燕，塚口博司：到達可能ノード率による街路網防災性評価について，土木計画学研究委員会 阪神･淡路大震災調査研究論文集，pp. 407-414，1997.
5) 高橋宏直，赤倉康寛，中本隆，吉村藤謙：兵庫県南部地震による被害を踏まえた街路閉塞シミュレーションに関する研究，第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp. 3131-3136，1998.
6) 成行義文・平尾潔・三木隆弘・谷元雅哉：1995 年兵庫県南部地震による神戸市長田区の街路閉塞の判別分析, 第 11 回日本地震工学ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集, pp. 2137-2142, 2002.
7) ゼンリン：ゼンリン住宅地図'94（神戸市長田区）
8) 震災復興都市づくり特別委員会：阪神･淡路大震災被害実態緊急調査／被災度別建物分布状況集，日本都市計画学会関西支部，1995.
9) アジア航測（株）：阪神･淡路大震災 航空写真集，1995.
10) 鹿島建設：平成 7 年兵庫県南部地震被害調査報告書（第一報），pp. 72-79，1995.
11) 菅民郎：多変量解析の実践 上，現代数学社，1993.

(2003. 6. 30 受付)

AN INVESTIGATION OF STREET-BLOCKADE USING AERIAL PHOTOGRAPHS AND ANALYSIS OF DEPENDENT FACTORS

Yoshifumi NARIYUKI, Yuichiro FUKUI, Masaya TANIMOTO, Kiyoshi HIRAO and Shuji SASADA

A lot of streets in Kobe City were blocked by collapsed houses etc. at the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake. Street-blockade obstructed the emergency activities such as refuge, rescue, fire-fighting and relief. As a basic study to establish an estimation method for street-blockade due to strong earthquakes, we investigated blockade condition of each street in Nagata Ward and Higashinada Ward of Kobe City using aerial photographs and carried out discriminant analysis of street-blockades based on Mahalanobis' distance. It was found that the accuracy of discriminant analysis of street-blockade was satisfactory and the percentage of collapsed houses, street and sidewalk widths contributed very much to this accuracy.