



## 火災延焼による人的被害波及と水道消火栓機能

高田至郎<sup>1)</sup>、勤息義弘<sup>2)</sup>、鋤田泰子<sup>3)</sup>

1) 正会員 神戸大学工学部建設学科、教授 工博

e-mail : takada@kobe-u.ac.jp

2) 非会員 神戸大学大学院自然科学研究科、大学院生 工学士

e-mail : 043t117n@y04.kobe-u.ac.jp

3) 正会員 神戸大学工学部建設学科、助手 博士 (工学)

e-mail : kuwata@kobe-u.ac.jp

### 要約

本稿は兵庫県南部地震における水道管被害と火災による人的被害の関連について検討したものである。地震による水道配水管および給水管の被害、また阪神水道企業団からの入水が停止したことにより、多くの消火栓は稼働不能となった。神戸市では、人的被害が発生した火災地域が52地域あり、計529名の人命が火災により亡くなっているが、もし消火栓が稼働していたとすると、6火災地域で32~45名の人命が助かった可能性があることが試算された。

キーワード： 火災、水道、消火栓、兵庫県南部地震

### 1. はじめに

兵庫県南部地震では、約300件の火災が二次災害として発生し、それにより7,500棟を上回る建物が焼損、火災による焼死者は500名以上にのぼった。そして神戸市においては、発生した火災の約半数が焼損面積1,000㎡以上の大規模な火災へと拡大している。

このような火災被害が発生した要因として、地震によるライフラインの構造的破損そして、それに伴う機能損傷が大きく影響していると考えられる。例えば、都市ガスの漏洩・滞留による火災の誘発や電気の復旧による通電火災の発生などといった出火原因となってしまったもの、また、建物・道路の被害による通行障害や水道管の被害による消火栓の稼働不能といった消防活動の妨げとなってしまったものなどが挙げられる。

このように、地震によるライフラインの被害が火災の発生、その後の延焼動態に大きく影響を及ぼしており、その結果、火災による死者が拡大してしまったと言える。すなわち、地震によるライフラインの被害を最小限に留めていれば、大規模な火災の発生を食い止めることができ、多くの人命が助かっていた可能性がある。

これらライフライン被害の中で、火災の大規模化に大きく影響したのが水道施設の被害である。神戸市ではとくに配水管および給水管に大きな被害が発生し、広範囲にわたって断水が発生した。それにより消火栓が稼働不能状態となり、消防水利が不足する事態に陥った。消火栓が使用できなくなった事で、現場に到着した消防隊が混乱した。また、使用できる水量に限界のある防火水槽、プールなどの消防水利の枯渇によって、放水を中断せざるを得ない状況になったこと。海や河川といった自然水利から水を得るために何台もの消防車両が必要となったり、通行する自動車によってホースが破損したりした

ことなど、さまざまな消防活動上の障害を引き起こした。このように、水道施設が被害を受け消火栓に水が来なくなったことで、様々な消防活動の混乱を引き起こし、消防活動の遅れから発生した火災は勢いを増し、結果的に多くの火災地域で広い道路や空き地などこれ以上燃える物がないというところまで延焼拡大していった。

兵庫県南部地震後、地震時の火災について様々な研究が行われてきた。当時の火災の延焼動態、延焼範囲、焼け止まり状況について、種々の機関により調査が行われたが、大規模あるいは詳細に調査を行った機関としては、旧建設省建築研究所、自治省消防庁消防研究所、神戸大学工学部建設学科室崎研究室、東京消防庁の4機関がある。これらの調査機関では、調査内容に微妙に差があるが、おもに住民や地元消防局に対するヒヤリングや分析に基づき出火点や延焼動態、消防活動等を地図上に表している。本研究では、これらの4機関が調査を行った火災区域について、その調査結果を地図上に併記されたものを参考とした<sup>1,2)</sup>。また、神戸市消防局における当時の消防活動の記録から消防活動状況を参考とし<sup>3)</sup>、これらのデータの中から信頼性のあるものを用い、本研究では当時の火災の状況や消防活動状況を見ることとした。

また、旧建設省建築研究所では、市街地状況や地震による被災状況と火災規模との関係についての研究が行われている。この研究では、地域の潜在的な燃えやすさについて説明されている<sup>1)</sup>。

一方、消防水利としての水道の役割という観点から、保野らによって、神戸市板宿低層配水区における実際の消火活動や水道施設の損傷状況、配水池の貯留状況などの記録を検証し、地震直後の火災においても多くの消火栓を機能させる可能性があったことを実証している<sup>4)</sup>。

そこで本研究では、兵庫県南部地震における水道施設の被害と火災の延焼との関連性に着目し、水道管の被害が火災の延焼にどのように影響し、それにより人的被害がどれほど拡大したのかを明らかにすることを目的とする。

## 2. 火災の延焼動態に関わる要因

火災の延焼動態は燃焼力と消防力との相対関係により決まる。

燃焼力、すなわち、ある地域の燃え易さは市街地構造や地震による建物の被害状況などに大きく影響される。また、ケミカル工場などの危険物の存在によっても影響される。

それに対し、消防力に関わる要因として、消防活動を行う消防隊の数が挙げられる。当然のことであるが、消防隊が多ければ多いほど消防力は増す。また、使用する消防水利の状況によっても消防力は影響され、消火栓の水圧状況や防火水槽などの被害状況、また、河川や海といった自然の消防水利からの距離などが挙げられる。その他に、道路被害や交通渋滞等の道路障害状況や市民による初期消防活動の有無なども影響してくる。このように、出火した火災はさまざまな要因により影響を受け、延焼拡大または鎮圧状態に向かう。

兵庫県南部地震後、地震火災に関して種々の研究が行われてきたが、本章ではこれらの研究を参考として火災の延焼動態に関わる要因について考える。本章では、延焼動態に関わる要因の中から、燃焼力を表現するために市街地構造と建築物被害状況の定量的な表現について述べる。

市街地構造から延焼危険性（火災が延焼拡大する危険性）をあらわす指標として、木造建築物の割合（以下、木造率と呼ぶ）や建ぺい率、戦前建築物の割合などが挙げられる。旧建設省建築研究所による研究<sup>1)</sup>によると、市街地構造から地域の延焼危険性を最もよく説明できる指標として、「木造率×建ぺい率」を挙げている。しかし、当時の建ぺい率を「Kobe'90」（固定資産台帳における建築物の構造・用途・規模に関して町丁目単位で集計したもの）<sup>1)</sup>のデータからは算出することができないので、建ぺい率に変わる代替指標として、容積率を用いることとする。容積率とは建築物の総延床面積を宅地面積で除した値である。

神戸市で発生した焼損面積 1,000 m<sup>2</sup>以上となった火災地域に対して、木造率と火災規模との関係、容積率と火災規模との関係をそれぞれ図 1、図 2 に示す。なお、建築物が焼失してしまっていることから

火災区域の建築物の構造的な被災状況については不明であるが、火災区域を含む町丁目字の火災区域以外の部分の建築の被災状況は明らかにされているので、この部分の建築構造に関する被災状況が隣接する火災区域と同程度の被災状況ではなかったのではないかと仮説を設定して、火災区域毎に建築物の被災状況をとりとめたもの<sup>1)</sup>を用いた。

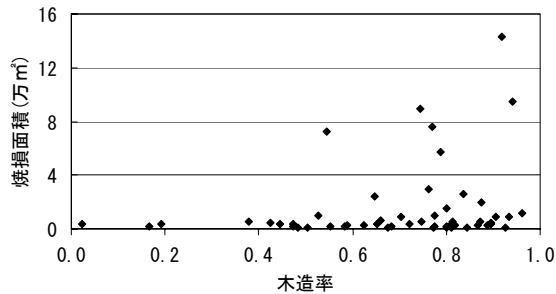


図1 木造率と火災規模との関係

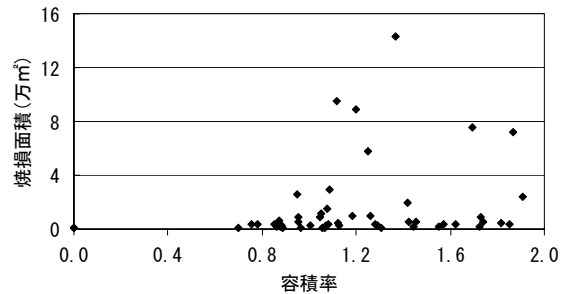


図2 容積率と火災規模との関係

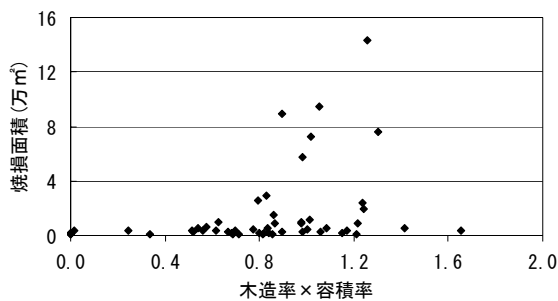


図3 木造率×容積率と火災規模との関係

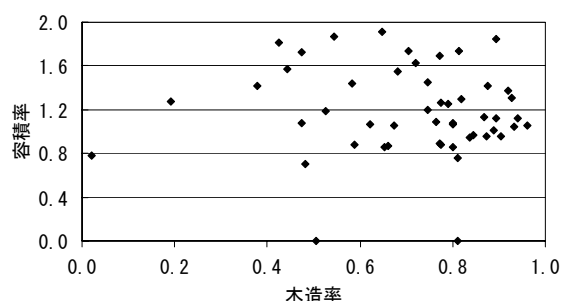


図4 木造率と容積率との関係

図1の木造率と火災規模との関係を見てみると木造率が0.5を超えたあたりから大規模な火災が発生してくることが分かる。また、図2の容積率と火災規模との関係をみてみると容積率が1.0を超えた範囲で大規模な火災が発生していることが分かる。しかし、いずれにしても木造率、容積率が大きいからといって必ずしも大規模な火災に拡大しているわけではなく、値が大きくても小規模な火災で留まっている火災地域も多くある。あくまでも大規模な火災に延焼拡大する可能性が高くなってくると考えるべきである。

次に、この2つの指標を合わせ、木造建築物の密集度合を「木造率×容積率」で表し、これと火災規模との関係を図3に示す。図1、図2と比較して、「木造率×容積率」の指標で表した方が、より火災の延焼拡大の危険性を説明できることが分かる。具体的な値をみると、「木造率×容積率」が0.78を超える区域でしか大規模火災が発生していないことが分かる。すなわち、「木造率×容積率」が0.78を超える地域で火災が発生した場合、延焼拡大し大規模な火災に発展する潜在的な可能性がある。図4は木造率と容積率との関係を表したものであるが、木造率と容積率との間には全く相関はなく、この指標を用いることは問題ない。

次に、建築物の被害状況と地域の延焼危険性との関係について述べる。兵庫県南部地震において、木造家屋の倒壊が火災の延焼拡大に大きく影響したと言われている<sup>1)</sup>。家屋の倒壊には、①人命救助のため消防活動が制約された。②道路側に倒壊し新たな延焼経路をつくった。③木部が露出し、輻射熱・気流・火の粉などの熱的環境に対して着火しやすくなった。④空気の循環が悪く、重量燃焼速度が小さくなり、延焼速度を遅延した、など多様な側面がある。

建築物の被害状況を表す指標としては、全壊率や半壊率、被害率などを用いる場合が多いが、これらの指標よりも、構造的に何らかの被害を受けた（全壊、半壊、軽微な被害を合わせたもの）建築物の割

合（以下、被害割合と呼ぶ）の方が建物被害と火災規模との関係をより明確に説明できることが既往の研究<sup>1)</sup>により知られている。これは地震により軽微な被害しか受けなくても、モルタルの剥落などにより建築物の耐火性が失われることなどが影響していると考えられる。図5に焼損面積1,000㎡以上の火災地域における被害割合と火災規模との関係を示す。ここで、被害割合は(社)日本建築学会近畿支部都市計画部会、(社)日本都市計画学会関西支部、兵庫県都市住宅部計画課による建築物の被災度調査から得られた値<sup>1)</sup>を用いた。本図から、被害割合が0.63を超えた領域でのみ大規模な火災が発生していることが分かる。すなわち、被害割合が0.63を超える地域で火災が発生すれば、延焼拡大し大規模な火災に発展する潜在的な可能性がある。

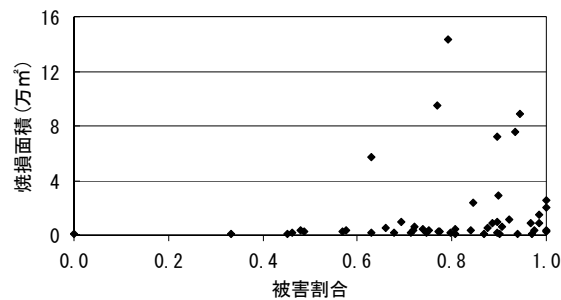


図5 被害割合と火災規模との関係

### 3. 水道管被害による消火栓への影響

兵庫県南部地震では、配水管および給水管に多数の被害が生じ、神戸市全域にわたり断水状態となった。地震直後、多数の火災が発生したわけであるが、ほとんどの地域で、断水により消火栓の水圧が低下し稼働不能状態に至っている。震災時の消防水利を消火栓に依存することは、これまでの地震災害事例からいってもあまり期待できないことであったが、今回の兵庫県南部地震は過去の教訓を極めて深刻な形で再び確認する契機となった<sup>1)</sup>。

当時の配水池の水位変動および入水量、配水量の変動から、地震により多くの水道管が破壊し、そこからの漏水によって配水池から多量の水が配水され、短時間で配水池の水位がゼロとなったことが保野らの研究<sup>4)</sup>により明らかとなっている。さらに、配水池への入水が停止されると当然、配水量もゼロになってしまう。このように、消火栓が使用不能となった原因は地震により多くの水道配水管および給水管が破損してしまったことであるが、配水池と消火栓を結ぶ管に被害が生じなくとも、阪神水道企業団からの入水および配水池からの配水が停止してしまったために消火栓が使用できなくなったケースも多くあった。

そこで本章では、神戸市水道局の資料に基づき、水道管の被害状況や配水池の水位変動などから水道管の被害が消火栓の状態にどのように影響していったのかを詳述する。

#### 3.1 水道管の被害状況

神戸市では、布引、島原、千川の3箇所にダムを築いて水源を確保しているが、供給能力の約1/4しか自己水源で賄うことができないので、残りの3/4を阪神水道企業団から、または兵庫県から受水している。市街地は東西に長く、かつ標高0mから300mを越える丘陵地帯まで広がっているため、119箇所という多くの配水池を有し、層別配水システムを採用している。ポンプ場44箇所、浄水場7箇所を有し、自然流下を原則としている。

配水管の総延長距離は約4,000kmであり、管路の90%近くがダクタイル鋳鉄管(DCIP)であるのが特徴的である<sup>5)</sup>。神戸市での配水管の被害件数は1,757件であり、地区別被害件数では、東部(東灘区・灘区)がもっとも多く、次いで中部(中央区・兵庫区)、西部(長田区・須磨区)の順となっている。ま

た、配水管の被害が多発しているのは東灘区から須磨区にかけての海岸沿いの地域である。配水池の被害としては、会下山低層配水池において接合井の離脱による漏水が発生しており、この配水池は全く機能していない。

### 3.2 地震直後の配水池状況と消火栓への影響

地震直後、ほとんどの配水池で配水量が異常な値を示し、数時間で水位はゼロとなった。

板宿低層配水池を例として地震直後の水位、入水量、配水量の変動を図6に示す。地震直前に10.6mあった水位は、水道管の被害による漏水で配水池から8,400 m<sup>3</sup>/hの流出が見られ、約1時間後の午前6時50分には配水池の水位はゼロとなった。その後、入水した水はそのまま配水され、入水が停止するまでは配水量は一定の値を示している。午前12時には入水が停止しており、その後配水量もゼロとなり、配水区域内に全く水が流れていない状況が長く続いている。

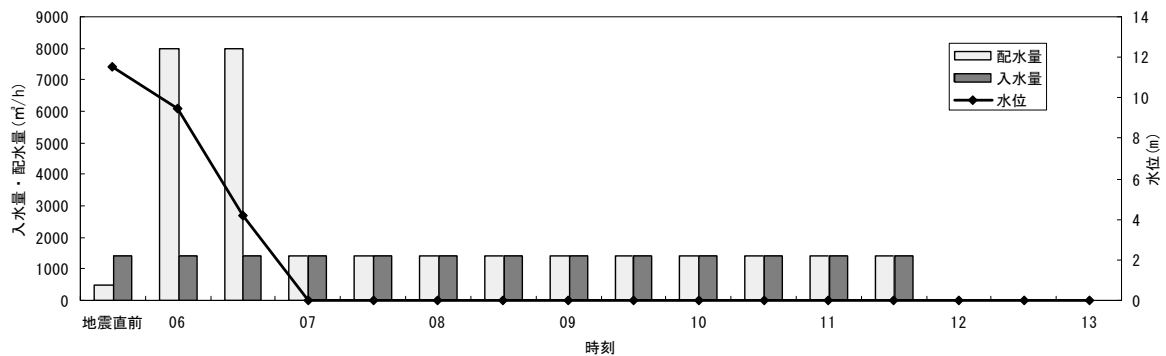


図6 地震直後の板宿低層配水池の水位と入水量、配水量の変動

ここで、このような地震直後の配水池状況とその消火栓への影響を見るために、消防活動の記録から当時の消防隊の消火栓使用状況と配水池の状況、水道管の被害状況などを照らし合わせ、関係を見る。

例として、魚崎南町8丁目で発生した火災を挙げる。この火災は地震直後5時50分に発生した。消防隊1小隊により消防活動が行われたが、結果、36棟、3,260 m<sup>2</sup>が焼損し焼け止まった。消火栓は午前6時から午前8時頃までの2時間使用可能であったが、その後水が出なくなった。この地域に配水を行っている東灘第2低層配水池の地震直後の水位、入水量、配水量の変動を図7に示す。また、東灘第2低層配水池とこの地域とを結ぶ水道管と地震による水道管の被害箇所を図8に示す。

東灘第2低層配水池では地震直前、水位12.9m、入水量1,040 m<sup>3</sup>/hであった。地震による水道配水管および給水管の被害箇所からの漏水によって地震直後、配水池では6,300 m<sup>3</sup>/hと異常な配水量があり、午前7時25分には配水池の水位はゼロとなり配水池は機能を失った。また、午前6時には阪神水道企業団からの入水が停止したことで、7時25分に水位がゼロとなり、それ以降、配水は行われていない。また、水道配水管の被害であるが、この配水池と火災地域とを結ぶ配水管には被害は発生していなかった。一方、この火災地域での消防活動の記録から、午前6時から午前8時の間、消防隊は消火栓を使用し消防活動を行っていたが、その後、水圧が下がり、水が出なくなったことが分かっている。この時間帯に消火栓が使用可能であったことは、配水池からの配水が停止した午前7時25分という時刻と配水池とこの火災地域とが直線距離にして約2km離れていることを合わせて考えれば、十分に説明できることである。

このように、水道管に被害が生じたとしても、配水池から水が供給され続けていれば消火栓が稼働不能状態に陥ることはなく、消防隊は消火栓をも使用し、消防活動を行うことができたと考えられる。

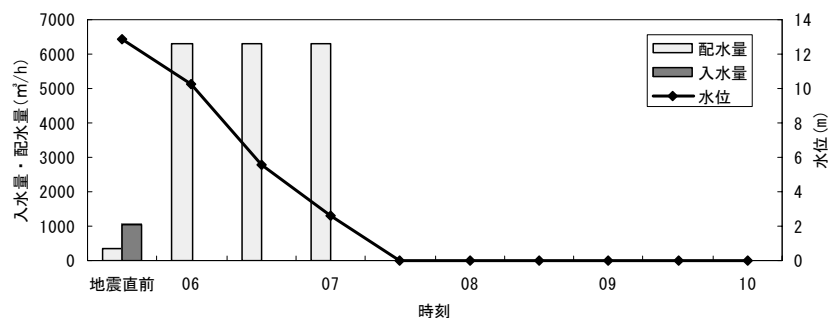


図7 地震直後の東灘第2低層配水池の水位、入水量、配水量の変動

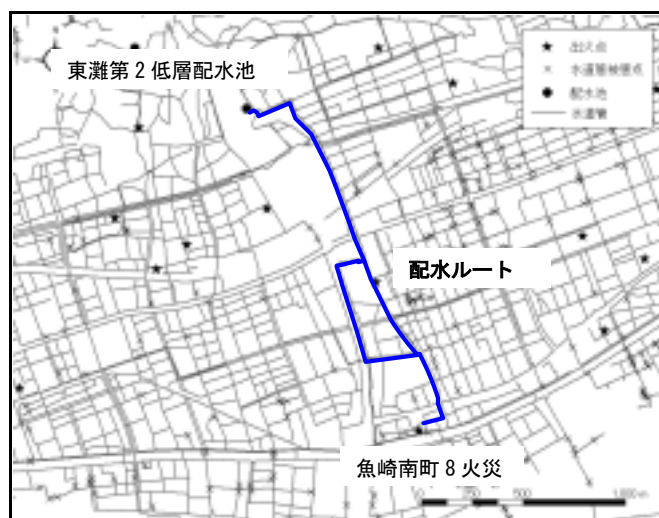


図8 魚崎南町8丁目火災と配水池との位置関係および水道管の被害状況

#### 4. 水道管被害と火災被害との関連性に関する分析

##### 4.1 分析方法

兵庫県南部地震において、神戸市では全出火件数 175 件中 52 件の火災地域で 529 名の方が亡くなっている。この数値は、焼損範囲内で発見された遺体は全て火災による死者であるという仮定のもとに算出されている。これは県の正式な発表においてこのような仮定のもとで算出されているものである。したがって、その範囲内で家屋の倒壊などの火災以外の原因で亡くなった人も含まれている可能性がある。このような仮定に基づき、人的被害が生じた火災地域、また、その火災地域での死傷者数をポイントの大きさにより示したものが図9である。人的被害が生じた火災地域は兵庫区および長田区と灘区東部に多く分布している。

この52の火災地域全てにおいて、水道管の被害が消火栓を稼働不能にし、その結果、どのように火災の延焼動態、人的被害に影響したかについて分析を行う。また最終的に、もし水道管に被害が生じなければどれ程の人命が助かったかということについて明らかにする。分析に用いる要因としては、まず、燃焼力を表す指標として、「木造率×容積率」、「被害割合」を用い、その地域の燃え易さを見ることとする。また、機関による火災の調査結果や消防活動の記録を参考に、活動した消防隊数や使用した消防水利、消防隊が到着した時刻などの情報から当時の消防活動の様子を見るとともに、出火時刻や鎮火時刻などを考慮して、消防活動状況と火災の延焼動態について当時の様子を整理し分析を行う。また、道路被害や交通渋滞等の道路障害状況も消防活動に大きく影響した要因であるが、今回の分析には道路障

害状況は考慮していない。これらの情報を整理し、地図上でデータを用いることができるように、本研究では「ArcGIS」(ESRI 社)を使用し、情報をデータベース化した。水道管路図と被害箇所、出火点、焼損範囲、消防活動を行った場所などを地図上に入力し、それらに関する情報、例えば出火時刻、鎮圧時刻、木造率、被害率などといったデータを関連付けた。それらのデータを基に、各火災地域において分析を行う。

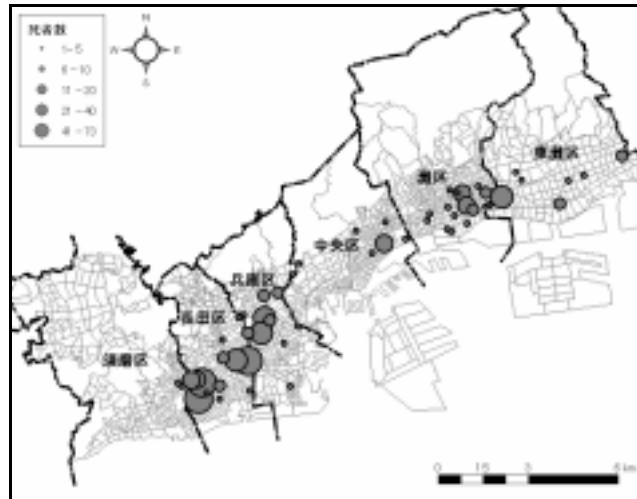


図9 人的被害が生じた火災地域

兵庫県南部地震では地震直後、同時多発的に火災が発生し、その火災発生件数は当時の消防体制を遙かに上回るものであった。よって、消防隊が1隊も来ず、全く消防活動が行われなまま火災が自然に焼け止まった地域が存在するはずである。もちろん、水道が機能すれば、初期消火や住民による消火活動で消火できた可能性もある。しかし、今回はこのような地域では消火栓が使用可能であったとしても、当然火災の延焼動態は変わることはなく、また最終的な焼損範囲も小規模には留めることはできないとした。また、隣家への類焼がなく火災が発生した建物みの焼損で鎮火したが、結果的に死者が出てしまった火災については、消火栓が使用可能であったとしても、亡くなった人が助かった可能性は極めて低いと考え、これら単体火災では消火栓が使用可能であっても人命を助けることはできなかったとした。以上の2パターンに属する火災地域をみると、消防隊が来なかったケースは計5地域あり65名の人が亡くなっている。また、単体火災で鎮火したケースは、計4地域で4名の人が亡くなっている。これら2パターンに属さない火災地域は43地域あり、1地域ずつ詳細に分析を行った。ここで、当時の火災状況や消防活動状況が不明であり、データ不足により分析できなかった火災地域が17地域あり、その火災地域で亡くなった人は延べ40名である。これら2パターンを除く地域に対して、分析を行った結果、人的被害を防ぐことができた可能性のある地域と防ぐことはできなかつたと考えられる地域が存在し、上記の2パターンを含めると表1に示すようなケースに分けることができた。

表1 分析から得られた火災地域のケースの種類

ケース	火災地域の分類	地域数	死者数(名)
1	人的被害を防ぐことができた可能性のある地域	6	95
2	火勢が強く、延焼阻止は不可能であった地域	9	110
3	延焼を阻止できたが人的被害軽減が不可能だった地域	5	20
4	消防隊の到着が遅く延焼を阻止できなかった地域	6	195
5	消防隊が来ず、まったく消防活動が行われなかった地域	5	65
6	単体火災で人的被害が生じた地域	4	4
7	データ不足により分析不可能な地域	17	40
	合計	52	529

## 4.2 人的被害を防ぐことができた可能性のある地域

### 4.2.1 人的被害を防ぐことができた6火災地域

分析の結果、消火栓が使用できていた場合、6火災地域で人的被害を軽減することができたことが知られた(表1、ケース1)。その6地域について分析結果をまとめたものが表2である。6地域で、計死者95名中32~45名の人命が助かった可能性があると試算した。本章ではA火災地域とB火災地域の2地域を例に挙げ、その分析過程を示す。

表2 人的被害が軽減できた火災地域

火災地域	実際の死者数(人)	助かった可能性のある人数(人)
A	8	1~4
B	25	7~12
C	15	2~4
D	40	22
E	5	0~2
F	2	0~1
計	95	32~45

### 4.2.2 A火災地域

灘区A町1丁目および2丁目で発生した火災に対する分析について説明する。この火災地域の状況とこの地域の延焼危険性についてまとめたものを表3に示す。また、火災と消防のようすを時刻歴でまとめたものを図10、この火災地域の出火点および焼損範囲、消防活動が行われた地点などを図11に示した。ここで、図11で示されている焼損範囲は、最終的に焼失してしまった範囲を表しており、消防活動については、放水が行われた地点と使用水利、放水時間、鎮圧させ放水を終えたのか、それとも水がなくなって放水を中止せざるを得なかったのかを示した。この地域では地震直後5時50分にA町1丁目火災が発生、また午前8時30分にA町2丁目火災が発生している。鎮圧したのは17日のおよそ15時から15時30分であり、焼損は延べ208棟、30,324㎡である。また、この火災地域で25名の人が亡くなっている。延焼危険性を示す木造率×容積率、被害割合の値を見てみると、2丁目の木造率×容積率0.71を除く全ての値でしきい値を超えていることが分かる。このことから、この地域は非常に燃え易い地域であったことが予想できる。図11のようにこの火災地域では消防隊2小隊により消防活動が行われており、A町1丁目出火した火災に対して午前6時5分から防火水槽の水が空になる午前10時頃まで、1小隊が放水箇所を変えながら消防活動を行っている(A隊)。また、もう1小隊はA町1丁目の火災に対して防火水槽を使用し午前6時30分から水が空になる午前8時30分まで放水を行っている(B隊)。その後、A町2丁目発生した火災に対して小学校のプールから水を引き、午前8時55分から水がなくなる午前11時まで放水を行った(B隊)。プールの水がなくなったので、再び1丁目の火災に対し防火水槽を使用して午前11時30分から放水を開始し、北側の延焼阻止に成功している(B隊)。ここで注目すべきは、1丁目の火災に対して、午前6時30分から2小隊による消防活動が行われているが、防火水槽の枯渇により午前8時半に1小隊が離脱し、また、もう1小隊も午前10時には消防活動を行うことができなくなったということである。また、その後11時半まで1丁目の火災に対して消防活動は行われておらず、午前11時頃には最終的な焼損の8割程度が焼失している状態であったことが分かっている。そこで、もし消火栓が使用できていたとすると、道路を越えての北側への延焼は阻止できなくとも、消防隊2小隊による放水により道路を越えての2丁目への延焼は阻止できたのではないかと考えられる。ここで、人的被害をどれほど軽減できたかを見るためには、亡くなった人がどの場所で亡くなったかを詳細に見ればよい。しかし、判明しているのはA町1丁目発生し2丁目まで延焼拡大した火災(図10斜線部①)、2丁目発生した火災(図11斜線部②)に対する死者数がそれぞれ20名、5名ということ、火災以外の要因を含むA町1丁目全体、2丁目全体の死者数がそれぞれ13名、25名ということしか判



明していない。したがって、この判明している死者数から人的被害がどれほど軽減できたのかを算出した。まず、A町1丁目の死者13名がすべて火災により亡くなったと仮定すると、 $20 - 13 = 7$ 名は助かったとできる。次に、A町1丁目と2丁目（2丁目から出火した火災で亡くなった死者は除いた）の死者数の割合から  $20 \times (25 - 5) / (13 + 25 - 5) = 12$ 名は助かったとできる。このような仮定に基づき、1丁目で発生した火災による死者20名のうち7～12名の人命が助かった可能性があるとした。

表3 A火災地域の状況

出火場所	灘区	
	A町1	A町2
出火時刻	17日05:50	17日08:30
鎮圧時刻	17日15:30	17日15:00
焼損面積(m <sup>2</sup> )	29,160	1,164
焼損棟数(棟)	202	6
死者(人)	20	5
木造率×容積率	0.83	0.71
被害割合	0.90	0.94

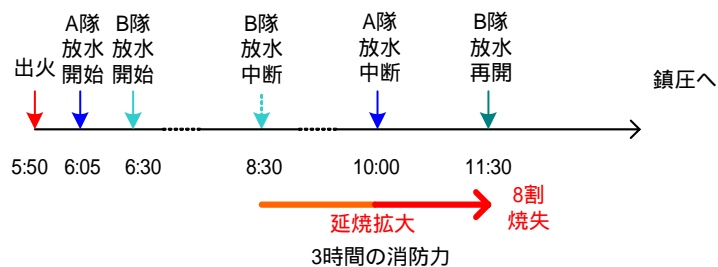


図10 時刻歴でみた火災と消防のようす

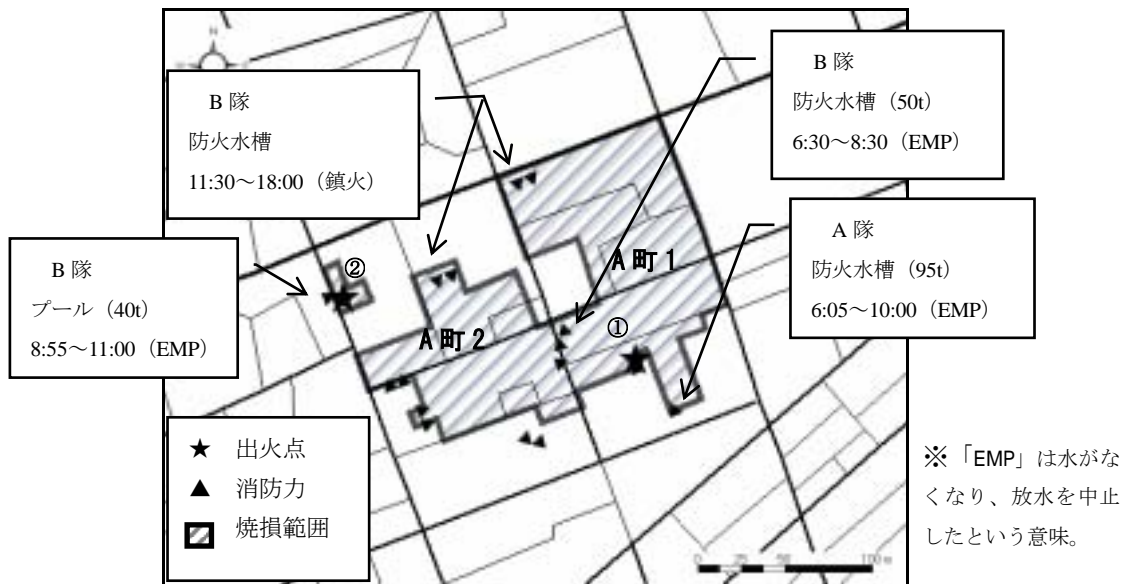


図11 A火災地域の火災状況および消防活動状況

#### 4.2.3 B火災地域

次に、東灘区B町8丁目で発生した火災に対する分析について説明する。この火災地域の状況とこの地域の延焼危険性についてまとめたものを表4に示す。また、火災と消防のようすを時刻歴でまとめたものを図12に、この火災地域の出火点および焼損範囲、消防活動が行われた地点などを図13に示した。

この地域では、地震直後午前5時50分に出火し、3,260 m<sup>2</sup>、36棟の焼損で14時頃鎮圧状態となった。結果、この地域では8名の人々が亡くなっている。この地域の延焼危険性を示す木造率×容積率、被害割合はそれぞれ0.56、0.75であり、木造率×容積率はしきい値0.78を下回っているが被害割合はしきい値0.63よりも大きな値となっている。消防隊は1小隊のみの活動であったことが分かっており、初め消火栓には水圧があり午前6時から放水を開始したが、午前8時には消火栓から水が出なくなった。その後、14時まで消防活動は行われておらず、14時からプールの水を引いてきて放水を行った。鎮圧時刻が14時であるから、プールの水を使用し消防活動を行い始めた時点ではすでに鎮圧状態であったと思われる。そこで、もし消火栓が使用可能であれば、午前8時以降も消火栓を使用して消防活動を行うことができ、図13に示す火災地域中央の南北の道路を延焼阻止線として放水を行うことで、道路を越えての延焼を防ぐことができたのではないかと考えられる。その場合、焼損は6割程度に留めることができ、死者名簿<sup>9)</sup>、建築棟数から算出すると死者8名中1～4名の人命が助かった可能性がある。これは、死者名簿と住宅地図から1名は道路より西側の地域にいたと推測できることと、建築棟数の比から半数の4名という値を算出したものである。

表4 B火災地域の状況

出火場所	東灘区 B町8
出火時刻	17日05:50
鎮圧時刻	17日14:00
焼損面積(m <sup>2</sup> )	3,260
焼損棟数(棟)	36
死者(人)	8
木造率×容積率	0.56
被害割合	0.75

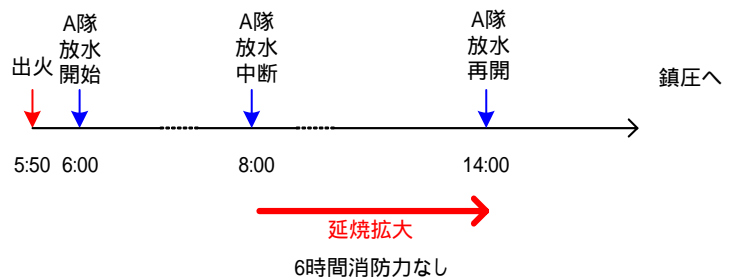


図12 時刻歴でみた火災と消防のようす

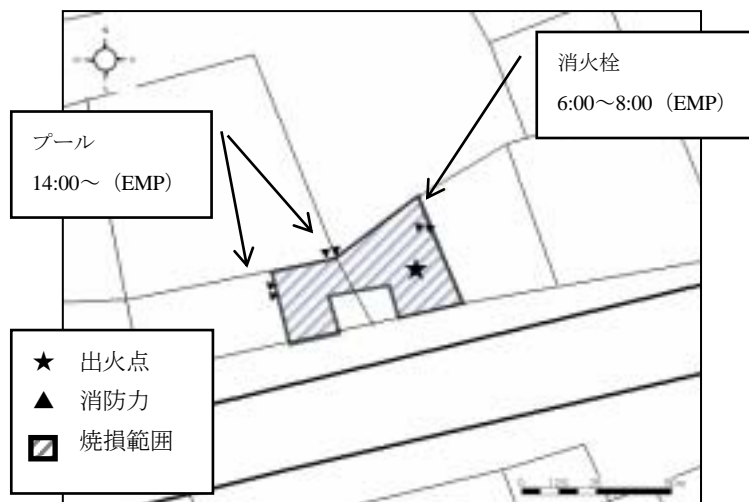


図13 B火災地域の火災状況および消防活動状況

#### 4.3 人的被害を防ぐことができなかつたと考えられる地域

分析の結果、消火栓が使用できていたとしても、人的被害を防ぐことができなかつた地域が存在した。まず、火勢が強く、また活動できる消防隊が少なかったことにより延焼を阻止することは難しいと考えられるケース(表1、ケース2)。次に、延焼を阻止することができたが、それにより人的被害を軽減することはできなかつたと考えられるケース(表1、ケース3)。最後に、消防隊の到着が遅く、延焼を阻止することは難しいと考えられるケース(表1、ケース4)があった。

#### 4.3.1 火勢が強かったケース

43 地域の中で、消火栓が使用可能であったとしても、延焼を阻止し、小規模な火災に留めることは難しかったと考えられる火災地域（表 1、ケース 2）について、G 火災地域を例に挙げ説明する。G 火災地域の状況とこの地域の延焼危険性についてまとめたものを表 5 に示す。また、火災と消防のようすを時刻歴でまとめたものを図 14 に、この火災地域の出火点および焼損範囲、消防活動が行われた地点などを図 15 に示した。この火災は地震直後 5 時 50 分に出火したのだが、およそ 23 時間後の 18 日 5 時になってようやく鎮圧状態に向かっている。焼損は 11,500 m<sup>2</sup>、161 棟と大規模な火災であり、死者は 8 名である。この地域は木造率×容積率が 1.01、被害割合が 0.92 といずれもしきい値を大きく上回っており、木造建築物が密集し、建築物の被害も大きく、非常に燃え易い地域となっている。また、消防活動状況を見ると、詳細な放水時刻は不明であるが、消防隊 1 小隊が出火 2 時間後の 8 時頃に到着し、消火栓が使用できなかったため、防火水槽に部署し、その後プールや河川などの水を使用し、消防活動を行っている。この地域は、延焼拡大する可能性のある地域であり、また消防隊が到着した 8 時頃にはおそらく道路を越えて、北および東方向に延焼拡大していたと推測でき、消防隊 1 小隊のみでは延焼を阻止することは難しいと考えられる。

このように、消火栓が使用可能であったとしても、火勢が強く、また活動できる消防隊が少なかったことにより延焼を阻止することは難しいと考えられる地域は G 火災地域を含み 9 地域あった。

表 5 G 火災地域の状況

出火場所	兵庫区 G町2
出火時刻	17日05:50
鎮圧時刻	18日05:00
焼損面積(m <sup>2</sup> )	11,500
焼損棟数(棟)	161
死者(人)	8
木造率×容積率	1.01
被害割合	0.92

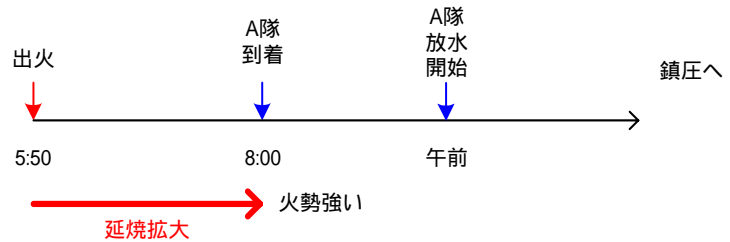


図 14 時刻歴でみた火災と消防のようす

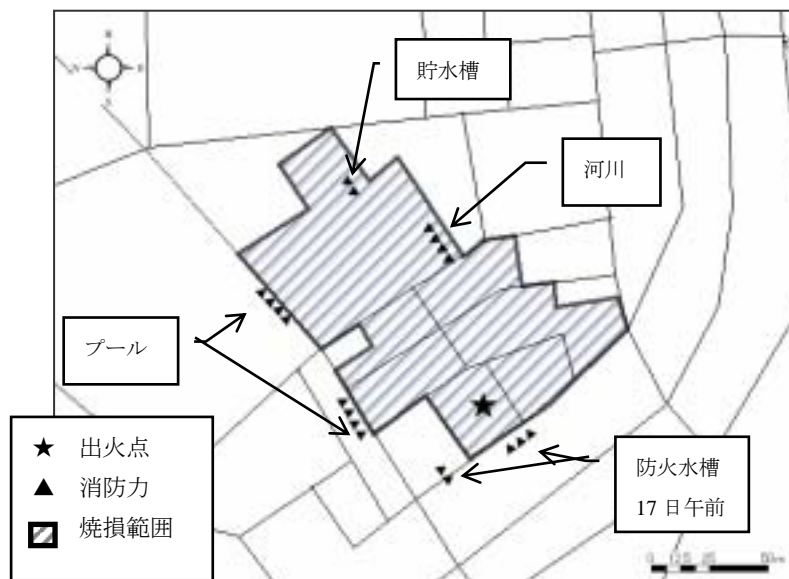


図 15 G 火災地域の火災状況および消防活動状況

#### 4.3.2 延焼を阻止できたが人的被害軽減が不可能だったケース

延焼を阻止することはできたが、それにより人的被害を軽減することはできなかつたと考えられる火災地域（表 1、ケース 3）について説明する。例として、H 火災地域を挙げる。火災の状況とこの地域の延焼危険性についてまとめたものを表 6 に示す。また、火災と消防のようすを時刻歴でまとめたものを図 16 に、この火災地域の出火点および焼損範囲、消防活動が行われた地点などを図 17 に示した。この火災は 17 日の午前 10 時に出火した。その後、72,295 m<sup>2</sup>、405 棟を焼き尽くし 18 日 21 時に鎮圧状態へと向かった。この火災による死者は 5 名である。また、木造率×容積率 1.02、被害割合 0.9 といずれも大きい値を大きく上回っており、非常に燃え易い地域であったことが推測できる。消防活動は、図 14 のように消防隊 2 小隊により午前 12 時 30 分頃から海水、プールの水を使用し、消防活動を行っているが、海水を引いてくるために多くの時間を費やさなければならず、消防隊が到着したのは遅くとも午前 11 時頃ではないかと推測できる。よって、もし消火栓が使用できていたとすれば、より小規模な範囲で鎮火させることができたのではないかと考えられる。具体的には、H 町 5 丁目および 6 丁目の焼損のみで鎮火できたのではないかと考えられる。しかし、この火災地域で亡くなった人は、H 町 5 丁目、6 丁目に集中しており、延焼を阻止できたとしても人命を助けることはできなかつたと考えられる。

このように、延焼を阻止することは可能であったが、人命を助けることはできなかつた火災地域は上述の例を含め 5 地域存在した。これらの火災地域では出火点付近に集中して死者が発生しており、消火栓が使用できていたとしても人的被害を軽減することは難しい。

表 6 H 火災地域の状況

出火場所	長田区 H町5
出火時刻	17日10:00
鎮圧時刻	18日21:00
焼損面積(m <sup>2</sup> )	72,295
焼損棟数(棟)	405
死者(人)	5
木造率×容積率	1.02
被害割合	0.90

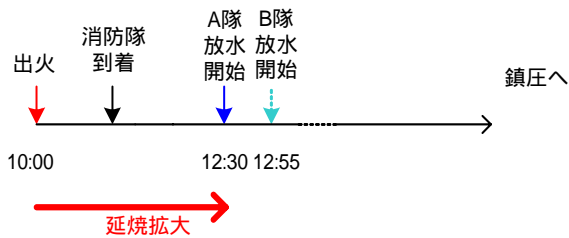


図 16 時刻歴でみた火災と消防のようす

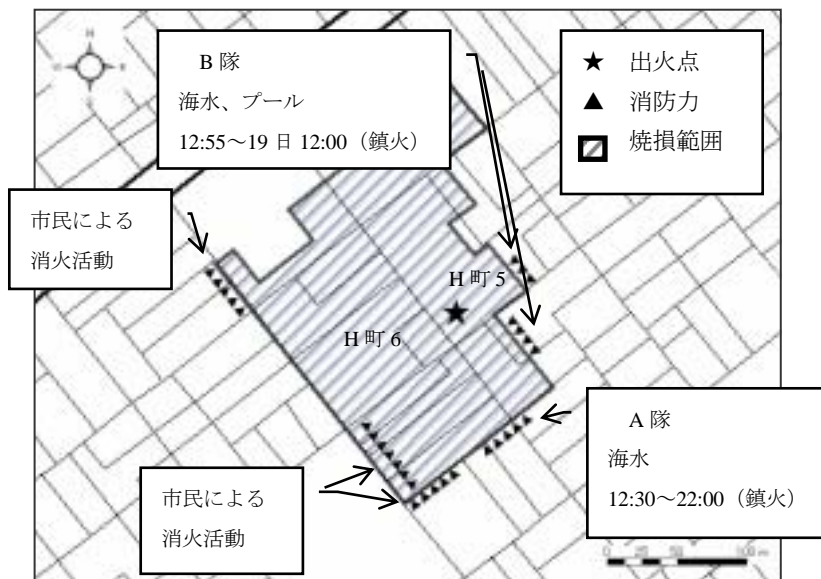


図 17 H 火災地域の火災状況および消防活動状況

#### 4.3.3 消防隊の到着が遅かったケース

消防隊の到着が遅く、到着した時点で広範囲に火災が延焼し、消火栓が使用できたとしても延焼阻止は不可能であったと考えられる地域（表1、ケース4）について説明する。例として、I火災地域を挙げる。I火災地域の状況とこの地域の延焼危険性についてまとめたものを表7に示す。また、火災と消防のようすを時刻歴でまとめたものを図18に、この火災地域の出火点および焼損範囲、消防活動が行われた地点などを図19に示した。

この火災は17日の午前9時に出火した。その後、142,945㎡、1,311棟を焼き尽くし18日14時20分に鎮圧状態へと向かった。この火災による死者は48名である。また、木造率×容積率1.26、被害割合0.79といずれもしきい値を大きく上回っており、非常に燃え易い地域であったことが推測できる。一方、消防隊は17日午前11時30分頃に到着したことが分かっており、消火栓が使用できないため混乱が起き、14時30分まで消防活動は行われていない。もし消火栓が使用可能であれば、到着直後11時30分から消防活動が行うことができている。しかし、その時点で10,000㎡近くが燃えており消防隊1小隊のみでは、延焼の速度を遅らせることぐらいしかできなかったと考えられる。また、死亡者の多くが出火地点の近くで亡くなっていることが分かっており、消火栓が使用可能であっても人命が助かった可能性は低いと考えられる。

このように、消火栓が使用できていたとしても、消防隊の到着が遅く、延焼を阻止することは難しかったと考えられる地域は、I火災地域を含め6地域存在した。

表7 | 火災地域の状況

出火場所	長田区 I町5
出火時刻	17日09:00
鎮圧時刻	18日14:20
焼損面積(㎡)	142,945
焼損棟数(棟)	1,311
死者(人)	48
木造率×容積率	1.26
被害割合	0.79



図18 時刻歴でみた火災と消防のようす

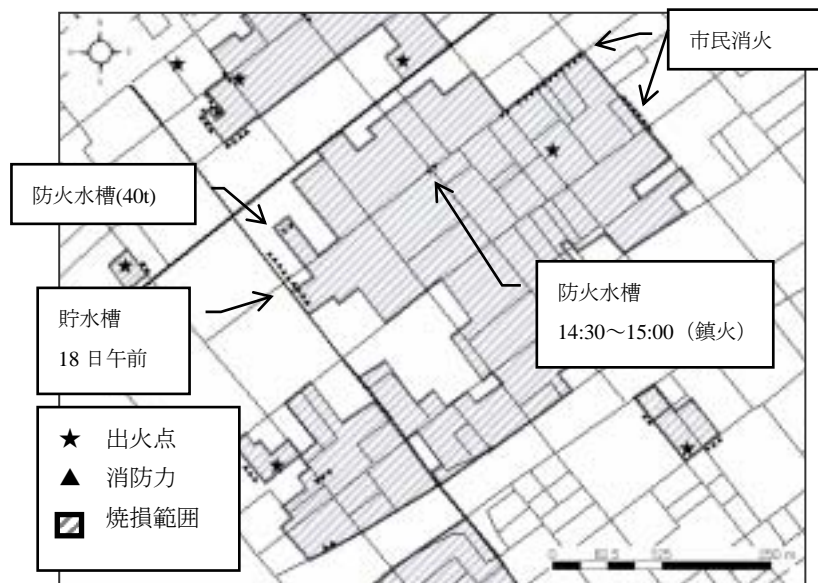


図19 | 火災地域の火災状況および消防活動状況

## 5. まとめ

本研究では、兵庫県南部地震において、水道配水管および給水管の被害による消火栓の稼動不可がどのように火災の延焼動態、人的被害に影響したかについて分析を行った。水道配水管および給水管に被害が生じ、その被害箇所からの流出によりほとんどの配水池において地震後約1時間で水位がゼロとなり、その後入水が停止したことで消火栓へ水が全く来なくなったことが配水池の状況などから見る事ができた。

各火災地域に対する分析では、水道管に被害がなく消火栓が使用可能であったとした場合、消防隊は到着後すぐに消火栓を使用して放水を行うことができ、また防火水槽などのように水が枯渇するということがなく、効率のよい消防活動を行うことができたと考えられ、その結果、人的被害が生じた火災52地域のうち6地域で火災の延焼をより小規模に留め、人的被害を防ぐことができたという推論に至った。そして、焼損範囲内で発見された遺体は全て火災による死者であるという仮定のもと、神戸市における火災による死者529名のうち、それらの火災地域において計32~45名の人命が助かった可能性があることが試算された。

本研究の結果から、地震火災に対して被害を最小限に留めるためには、消防体制の増強と消防水利の確保が重要であると考えられる。可能な限りの消防体制と地震時の火災に対して機能を失うことのない消防水利というものが重要となってくる。地震火災に対してバックアップ的に有効な消防水利である消火栓が使用できなくなることは致命的であり、地震時においても消防水利としての機能を失うことのない水道の構築が、地震時の火災被害を最小限に留める上で重要な課題であると言える。

## 謝辞

本論の作成に当たり、貴重な資料を提示して頂きました神戸市水道局技術部配水課長福田裕繁氏に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 日本火災学会：1995年兵庫県南部地震における火災に関する調査報告書、1996年
- 2) 消防庁：阪神・淡路大震災の記録、第1巻、(株)ぎょうせい、1996年
- 3) 神戸市消防局：阪神・淡路大震災神戸市域における消防活動の記録、(財)神戸市防災安全公社、1995年
- 4) 保野健治郎、早川哲夫：火災と水道、(財)水道技術研究センター、2001年
- 5) 関西ライフライン研究会：ライフライン地震防災シンポジウム 阪神・淡路大震災に学ぶ、1997年 pp.141-146
- 6) 読売新聞社：読売報道写真阪神大震災全記録、1995年、pp.155-191
- 7) 神戸市消防局：神戸市における地震火災の研究、(財)神戸市防災安全公社、東京法令出版株式会社、1996年
- 8) (財)都市防災美化協会、地域安全学会震災調査研究会：地震災害の教訓、1996年、pp.16-22

(受理：2004年11月26日)

(掲載決定：2005年3月22日)

# **Fire Spreading and Casualty due to Outage of Water at Hydrants**

TAKADA Shiro<sup>1)</sup>, GONSOKU Yoshihiro<sup>2)</sup> and KUWATA Yasuko<sup>3)</sup>

1) Member, Professor, Kobe University, Dr. Eng

2) Graduate student, Kobe University

3) Member, Research Associate, Kobe University, Dr. Eng

## **ABSTRACT**

This paper describes the relation between damages of water pipelines and casualty due to fire in the Kobe earthquake. Many fireplugs worked down because water pipelines were damaged and the insertion water from Hanshin Water Supply Authority was stopped. In Kobe city, there were 52 areas where casualty due to fire occurred and 529 people were killed in fire. It was predicted that there was a possibility that 32 - 45 people would survived in 6 areas if water pipelines were no damage and all fireplugs were working.

*Key Words : Fire, Water Pipeline, Fireplug, Kobe Earthquake*