

消防研究報 49

平成7年度

〔グラビア〕

- 少量水による市街地火災の延焼防止技術に係わる火災実験

〔特集：阪神・淡路大震災〕

- 阪神・淡路大震災特集号の発刊にあたって
- 地震及び地震動の特徴
- 1995年兵庫県南部地震後10日間の出火状況
- 防火水槽・井戸の被害
- 火災の発生状況と焼け止まり状況について
- 石油タンクの座屈変形

〔研究紹介〕

- 平成5年8月6日鹿児島豪雨災害時の鹿児島市民の災害情報入手方法に関するアンケート調査結果
- 移動体通信技術の現状と消防用携帯無線機について
- 地下利用の特殊空間内における火災性状に関する研究

〔消防研究所の研究活動〕

- 「消防研究所報告」通巻第79号（1995年3月）
通巻第80号（1995年9月）掲載論文の概要
- 消防研究所「研究懇話会」要旨

東京都三鷹市中原三丁目十四番一号
消防研究所資料室

消 研 輯 報

49号

目 次

〔グラビア〕

- 少量水による市街地火災の延焼防止技術に係わる火災実験 …………… 1

〔特集：阪神・淡路大震災〕

- 阪神・淡路大震災特集号の発刊にあたって……………次郎丸誠男 …… 3
- 地震及び地震動の特徴……………座間信作 …… 5
- 1995年兵庫県南部地震後10日間の出火状況
……………鈴木恵子・松原美之 ……21
- 防火水槽・井戸の被害……………吉原 浩 ……31
- 火災の発生状況と焼け止まり状況について……………関沢 愛 ……35
- 石油タンクの座屈変形……………山田 實・西 晴樹・亀井浅道 ……45

〔研究紹介〕

- 平成5年8月6日鹿児島豪雨災害時の鹿児島市民の災害情報入手方法
に関するアンケート調査結果……………寒河江幸平・吉原 浩 ……51
- 移動体通信技術の現状と消防用携帯無線機について
……………細川直史・田村裕之・松原美之 ……57
- 地下利用の特殊空間内における火災性状に関する研究
……………山田常圭・斎藤 直・関沢 愛・箭内英治
渡辺勇市・宮崎早苗 ……63

〔消防研究所の研究活動〕

- 「消防研究所報告」通巻第79号（1995年3月）
通巻第80号（1995年9月）掲載論文の概要 ……………73
- 消防研究所「研究懇話会」要旨 ……………77

〔付録〕

- 火災場所地図（1995年兵庫県南部地震後10日間の出火状況） ……………85

阪神・淡路大震災特集号の発刊にあたって

平成7年1月17日早朝の兵庫県南部地震では、死者6,000人以上、建物被害20万棟以上にもおよぶ甚大な被害をもたらした。死者数だけを見ても大正12年9月1日に発生した関東大震災に次ぐ大きな被害であり、しかもその範囲も兵庫県南部から大阪府南西部までにおよんでおり、また、はじめて適用された震度7を記録した地域も幅1km、長さ20kmにもおよぶ結果であった。

今回の大地震では、建物被害、橋梁被害、鉄道被害、ライフラインの被害など地震動そのものによる被害のほか、火災による人的物的被害も多く発生したところである。地震発生後の10日間に阪神・淡路地区では340件の火災が発生しており、これらの火災の中には焼失面積が小さいうちに消火できたものもあるが、多くの火災の場合、道路の寸断や車両の輻輳、多数の要救助者の発生に伴う消防職員の不足、消火栓の破損等による水利の不足などにより、結果として大規模な火災となり被害も甚大となっている。

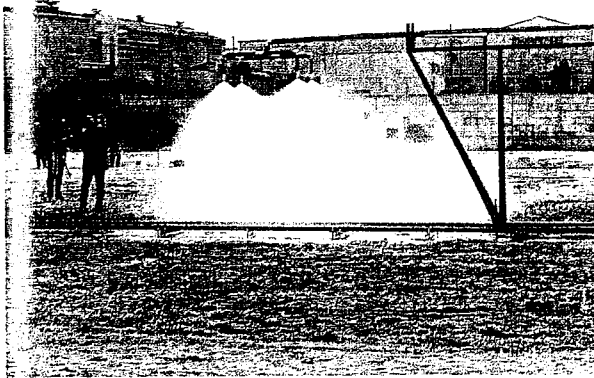
わが国は地震の多い国であり、いつどこで地震が発生してもおかしくないと言われており、国民がひとしく地震に備えることが求められているところである。阪神・淡路大震災のちょうど1年前のほぼ同時刻にアメリカのノースリッジ地震が発生した。両者はいずれも都市直下型地震であるなど共通する点も多くあるが、ただ被害の大きさや初期対応には大きな差が認められるところである。今回の大地震や過去の震災で得られた多くの教訓を今後の震災対策に活かしてこそ、被害にあわれた人達に報いることができるのではなかろうか。

消防研究所では、地震発生後直ちに研究者を現地に派遣し調査、研究を実施し、火災の発生状況や焼け止まり線の状況、防火水槽や井戸の被害状況、石油タンクの被害状況などについての貴重な資料を入手するとともに、これらの資料を分析しているところであり、これまでに整理できたものについてまとめて報告するものである。消防研究所としては今後も資料の分析を継続するとともに、今回の調査研究の成果を震災対策に活かせるように工夫していきたいと思っているところである。

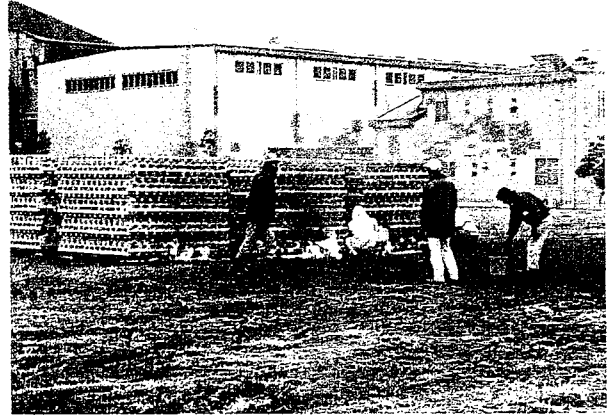
消防研究所長 次郎丸 誠 男

少量水による市街地火災の延焼防止技術に係わる火災実験

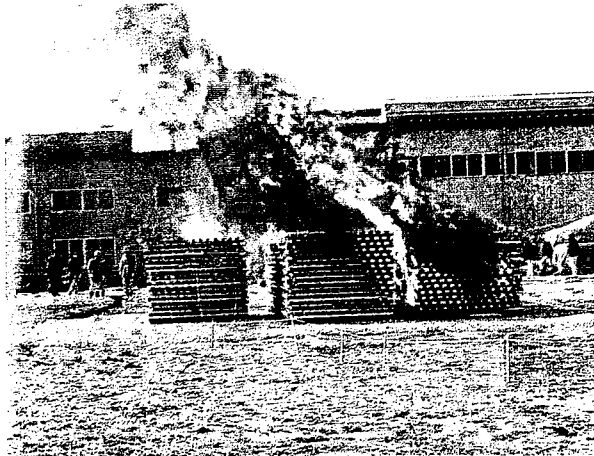
消防庁消防研究所は、消防2機関（神戸市消防局、東京消防庁）と企業8社と共同して平成8年3月上旬に、標記の火災実験を実施した（於：神戸市西区川重防災グラウンド）



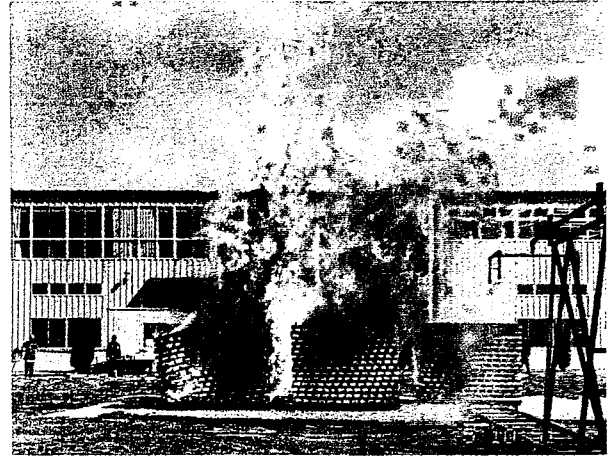
Ⓐ



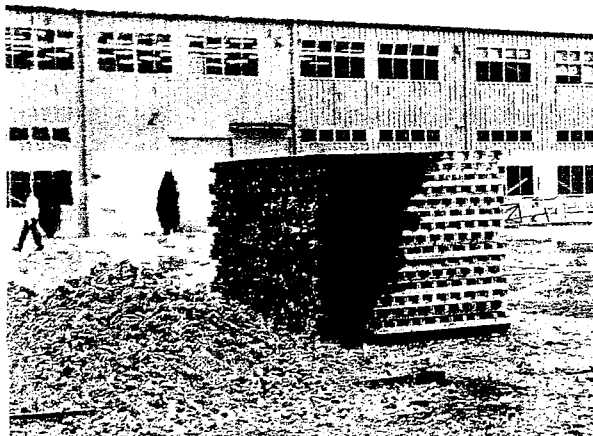
Ⓑ



Ⓒ



Ⓓ



Ⓔ

- Ⓐ 固定散水装置による散水の予備テスト
- Ⓑ 点火の様子
- Ⓒ 延焼拡大の様子
- Ⓓ 消火後の再燃状況（右端のクリブ）
- Ⓔ 燃焼終了後の延焼阻止状況

地震及び地震動の特徴

座間信作

1. はじめに

ここでは、地震後約1年間になされた多くの地震関連研究の中から、地震現象そのものに係わる論文等についてレビューを行う。但し、十分な文献調査を行えたとは言えず、ある断面を見るにすぎないことを最初におことわりし、ご了承願いたい。

2. 地震及び被害の概要

1995年1月17日05時46分、淡路島北部（北緯34度36分、東経135度03分、深さ14km）を震源とするマグニチュード7.2の地震が発生した¹⁾。この地震により、神戸、洲本で震度6を観測したほか、京都、彦根、豊岡で震度5を観測する等広域にわたって強い地震動を受けた。また、気象庁による現地調査で、神戸市垂水区、須磨区、中央区、兵庫区、灘区、東灘区の各区や芦屋市、西宮市等における幅約2km、延長約30kmの地域、宝塚市、淡路島北淡町、一宮町、津名町の一部が震度7と見られている。

この地震は、1948年福井地震と同様都市直下で発生したいわゆる「直下型地震」で、神戸市を中心に甚大な被害をもたらした。この地震により、死者・行方不明6,310名、負傷者43,177名の人的被害のほか、全壊家屋100,302棟、道路被害9,448箇所、橋梁被害323箇所、水道断水、ガス供給停止、停電、電話不通、鉄道被害等ライフラインに多大な被害が生じ（1995年12月27日現在、自治省消防庁）、福井地震の被害（死者3,769名、

負傷者22,203名、全壊家屋36,184戸）をはるかに上回る戦後最悪の震災となった。特に、人的被害の約9割がその原因とされている木造家屋、RC建物等の潰滅的倒壊、耐震上安全とされていた高速道路、新幹線等の高架橋及び地下鉄の被害は極めて衝撃的であった（写真1～3）。また近年の耐火構造物等の増加、防火教育の普及等により、地震時の同時多発・延焼火災はもはや無いのではという期待がもろくも崩れ落ち、神戸では当日火災が109件も発生し、最終的には延べ焼失面積819,223m²という甚大な被害が生じた（12月22日神戸市消防局発表資料）。

3. 地震前の現象

3.1 地殻変動



写真1 木造建物の被害状況

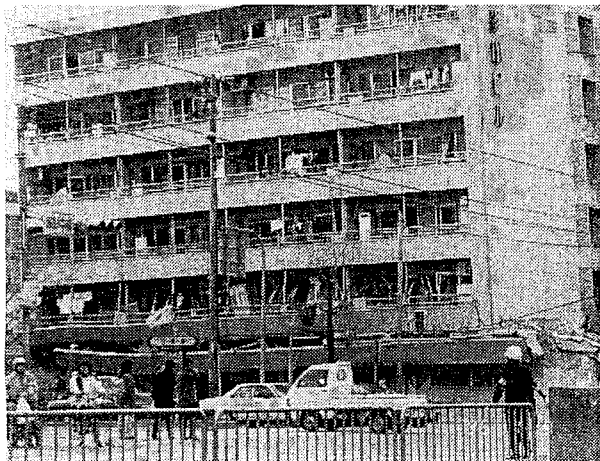


写真2 RC建物の被害状況



写真3 高速道路の倒壊

神戸市の新神戸トンネル内において、兵庫県南部地震の震源域の真上にある六甲高尾観測室での伸びの歪み速度が、1994年10月頃から大きくなっていった。また山崎、阿武山、天カ瀬では1994年6月頃から変化が現れ、それまでの縮みから伸びに変化しており、逢坂山では縮みの傾向がより大きくなっていった。このような変化は雨量の影響による変動と比較して、その様相が全く異なっていることから、異常変動と考えられている²⁾。一方、国土地理院(1995)³⁾による大阪府箕面-鳥取県東伯間の1994年10月からのGPSによる地殻変動日変化に異常は認められない。また、震源に最も近い六甲鶴甲(震央距離約25km)の伸縮計記録にも顕著な直前変動は認められていない²⁾。

3.2 地震活動

近畿地方に影響を及ぼす地震としては、駿河湾から四国の沖合いまでを震源域とする海溝型の巨大地震が先ず挙げられる。特に南海地震は西南日本の内陸の地震活動と密接な関係があるとされている。南海地震で史料として残っているのは、1605年慶長の地震(M7.9)、1707年宝永地震(M8.4)、1854年安政南海地震(M8.4)、1946年南海地震(M8.1)などで100年から150年程度の間隔で発生している。このような南海トラフ沿いに起こる海溝型の巨大地震と西南日本の内陸の地震との関係を見ると、南海地震の50年程前から内陸の地震活動が平均して2~3倍活発になり、南海地震後約10年間は更にその3倍程度活発になっている⁴⁾。昭和の例で言えば、1927年北丹後地震(M7.3)、1943年鳥取地震(M7.2)が1946年南海地震の前に発生しており、1948年福井地震(M7.2)等が地震後10年以内に起こった地震となる。次の南海地震が昭和のその100年後だとすると、西南日本内陸では現時点で活動期に入ることが想定され、そこに今回の地震が発生した。

茂木(1995)⁵⁾は、今回の震源域とその周辺では1965年頃からM4以上の地震が起こっていなかったことから、第2種空白域が出現したものとしている。一方、安藤・他(1995)⁶⁾は、震源域付近の最近の19年間の微小地震分布から、神戸側では地震前1~2年、淡路島側では4~6年間地震活動が殆ど認められず、第2種空白域が形成されたとしている。茂木(1995)と安藤・他では、第2種空白域出現に時間的な差異があるが、これは解析に用いた地震の規模の下限の取り方の違いによるものと思われる。

近畿地方の兵庫県南部地震前1年間の活動には極めて特徴的なものがある。安藤・他(1995)⁶⁾によれば、図1中の丹波地域では京都に20年ぶりに震度4をもた

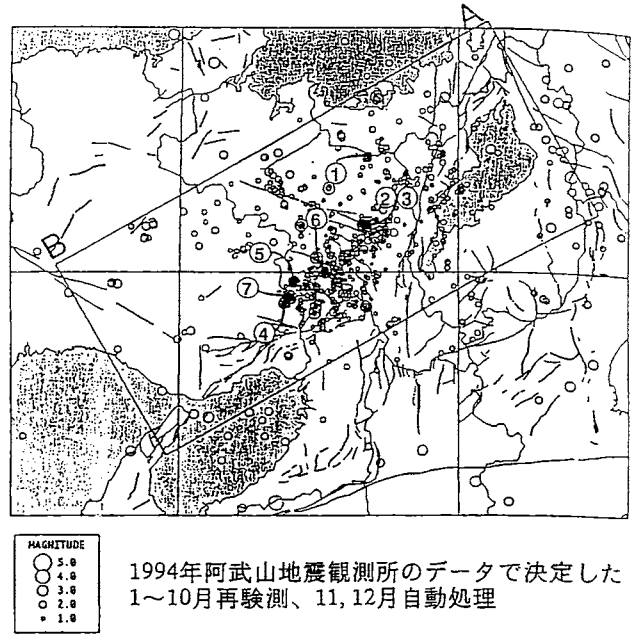


図1 1994年中の丹波地方の地震分布(安藤・他、1995)

らした1994年6月28日の地震(③)、7月末(④)及び11月(⑦)の兵庫県猪名付近の群発地震などが発生し、顕著な地震活動は兵庫県南部地震の震源の方へ移動しているように見えるとしている。

本震の約11時間前の1月16日18時28分、本震の位置と殆ど同じ明石海峡にM3.6の地震が発生した。更に、18時49分、18時55分、23時49分にそれぞれM2.5、1.5、2.1の地震が殆ど同じ所に発生した。前震と本震のメカニズムは全く同じ横ずれ断層のメカニズムをもっていった⁷⁾。前田(1995)⁸⁾は、これらの地震が発生した時点で、地震が続発したという事実だけに基づいて、本震の発生がどの程度予測できたか検討した結果、その予測は極めて困難であったとしている。

3.3 地球電磁気的变化

藤縄・高橋(1995)⁹⁾はボアホールを用いたアンテナを用いて、茨城県波崎町におけるVLF帯(1~9kHz)の地中電界変動の連続観測を行っている。これによると1月16日の日中には殆どなかったパルスが16日22時頃から増大し、地震直前にピークに達して、その後減少していた。

大志万(1995)¹⁰⁾は岡山県美作、滋賀県北西部の平良での地電位観測結果から、地電位変化が地震発生の約8秒前から同時に見られたことを報告している。また、京都大学が京都府中郡峰山町で行っていた地磁気観測結果から、P波が到達する約10秒前から変化が見られ、約30秒間続いたことが報告されている¹¹⁾。継続時間は異なるものの、開始時間は地電位変化のそれと

ほぼ一致する。山田・尾池 (1995)¹²⁾ は宇治市においてLF帯 (163kHz)、VLF帯 (1~10kHz) のスパイク状電磁波ノイズの観測を行っている。それによれば、電磁波ノイズ数が本震直前の1月17日5時を境に急激に増加していた。

3.4 発光現象

北伊豆地震や松代地震などでは、地震に伴って空が雷の時のように光ったという報告がなされている。兵庫県南部地震でも多くの証言がなされている。佃 (1995)¹³⁾ は、ヒアリング調査を行い、観察した位置、光の見えた方向、形や拡がり方、光の色、発生時刻と継続時間などをまとめている。

発光源体の大きさは直径数km程度以内で神戸市の西部や六甲山周辺に多い。いずれの証言でも光源の高度は比較的低く、高度200m以下のものが幾つかある。形状は稲妻、山形、扇型、水平型に大別された。色は赤っぽいものが30%、青っぽいものが22%、その他、白っぽいもの、不明のものであった。明るさは、蛍光灯の光程度とされている。また多くの人が地震動を感じる前に地鳴りを聞いていて、ほぼ同時に発光したケースが多いとしている。

榎本・他 (1995)¹⁴⁾ は、野島断層平林地区の断層において、花崗岩の風化で生じた粘土層の中に黒く変色した領域を発見した。また、この付近で自然放射線 (ガンマ線) の強度を測定したところ、断層面から5m離れた地点でのその最大2倍近い強度が得られた。この付近では発光現象も認められていることから、地震前に地表付近の岩石破壊によってガンマ線が放出され、放電現象が起こったものと推定している。

3.5 地下水の変化

大地震や群発地震に伴った、井戸の水位や温度の変化、温泉の湧出量、温度の変化、化学成分の変化に関する報告が多くなされているが、兵庫県南部地震においても幾つかの事例が報告されている。

小泉・他 (1995)¹⁵⁾ によれば、地震前の異常として神戸側の震源域周辺での水位・湧水量・ラドン濃度の増加が目立つ。脇田・他 (1995)¹⁶⁾ は六甲山中に源を持つ地下水が詰められ販売されたボトルを集め、化学分析を行った結果、塩素イオン濃度が図2のように1994年8月頃から増え続け、3月上旬にピークとなってその後減少に転じていることを示した。京都大学六甲高尾観測室での湧水量変化の観測結果¹⁷⁾ を見ると、1994年11月頃から増加し始め、地震時は約6.5 l/sと著しく増加し、その後徐々に減少し6月には地震以前のレベルに戻っている。また、西宮市における地下水中のラドン濃度の連続観測結果においても、同様の変

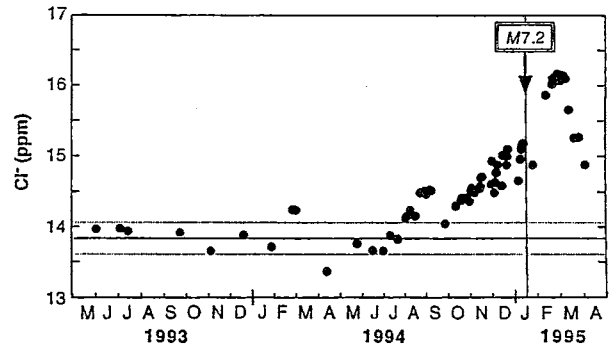


図2 六甲山を源とする地下水中に含まれる塩素イオン濃度の変化 (脇田・他、1995)

化が認められた。即ち1994年12月頃から増加し、1995年1月8日ピークとなって約3日間高いレベルを保持していたが、その後急速に減少し、1月16日夕方には前年10月頃のレベルに戻り再び増加し始めたところに兵庫県南部地震が発生した¹⁸⁾。

以上の他、岐阜県白狐温泉でのガス湧出量、化学組成の地震前後の変化¹⁹⁾、鳥取県湯谷温泉の水温変化²⁰⁾等が報告されている。また、弘原 (1995)²¹⁾ は住民からの情報をまとめ、井戸水の増減、水温変化などが多数あったとしている。尚その中では、科学的根拠が明らかではないが、雲・大気などの異常、犬・ネズミなどの動物行動の異常、電波障害等3000ケースの異常現象の報告がなされている。

4. 地震に伴う現象

4.1 地殻変動

国土地理院 (1995)³⁾ は地震に伴う地殻変動を把握するため、三角測量および姫路-大阪間の水準測量を行った。図3は水準測量による上下変動で、数値の単位はcmである。この図には活断層も表示されていて、須磨断層 (図5参照) を挟んで不連続が認められ、西側18cmの隆起、東側7cm (いずれも最大値) の沈降を示している。従って須磨断層が地震断層の一部であること、淡路島の地表に現れた野島断層の延長上ではないことが分かる。また、測定路線は甲陽断層を横切るが、上下変動に大きな不連続がないことから、甲陽断層とその延長部は動かなかったと判断されている²²⁾。この図で大文字の数値はGPS大学連合²³⁾ による、GPSを用いた上下変動の値を示していて、観測精度が1~5cm程度ではあるものの、両者はよい一致を示している。

図4は国土地理院³⁾ によるGPSを用いた観測から得られた水平変動をベクトル表示したもので、右横ずれ運動を示す結果となっている。水平変動結果からも、

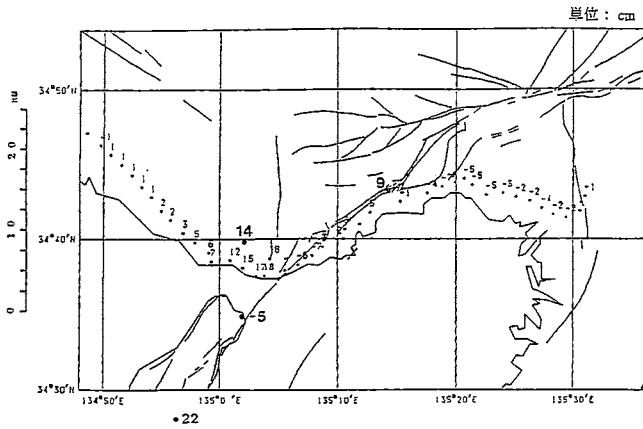


図3 姫路—大阪間の水準測量結果 (国土地理院、1995) とGPS による上下変動 (大文字数値は田部井・他、1995による)

野島断層が神戸側にまで伸びてはいないことがわかる。田部井・他 (1995)²³⁾の結果もこの図に太線で示されており、結果は整合的である。その中で淡路島北部のデータはほぼ西に動いていることを示している、これは淡路島の野島断層と神戸側の須磨断層のギャップに関連するものと思われる。実際工事中の明石海峡大橋の橋脚が変位しており、明石海峡でこのギャップを埋める右横ずれ断層運動があったことが推定されている²²⁾。また、上下変動からは明らかではなかった六甲断層系の動きが水平変動から明らかとなり、この地震で動いたことが示された。断層の変位量は1 m20-30cm程度と推定されている²²⁾。

村上・他 (1995)²⁴⁾は、地球資源衛星1号「ふよう1号」の合成開口レーダーを用いて地殻変動を検出した。これは地震前後 (1992年9月—1995年2月) の地表と衛星間の距離の変化の分布を表現したもので、神戸側の右ずれ変位、明石から垂水にかけての隆起、野島断層の変位など広範囲の地殻変動がみてとれる。



写真4 右横ずれを起こした野島断層

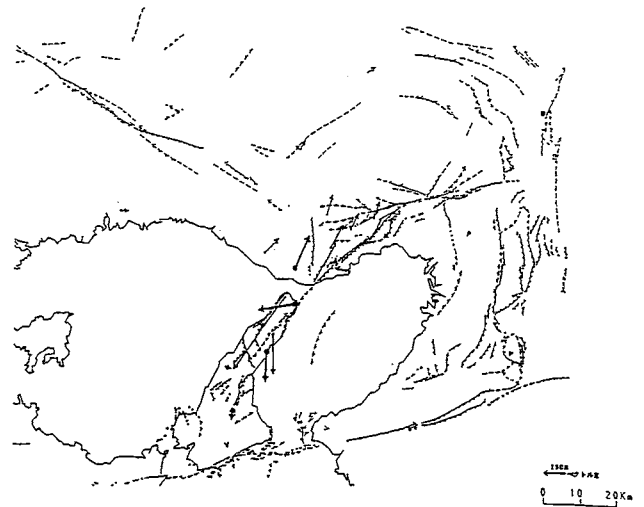


図4 震源域及びその周辺の三角測量結果 (国土地理院、1995) とGPS による水平変動 (太ベクトルは田部井・他、1995による)

4.2 地表地震断層

震源域付近の活断層²⁵⁾を嶋本・他 (1995)²⁶⁾による神戸側の「震災の帯」と共に図5に示す。これらの活断層のうち、淡路島北西部で野島断層及び水越撓曲の北端部に沿って約11kmの地震断層が地表に現れた (写真4)。しかし、神戸から芦屋、西宮にかけての神戸側では明瞭な地震断層は見つかっていない。

野島断層は活断層研究会 (1991)²⁵⁾によれば、北東—南西方向に伸びる長さ7 kmの確実度 I、活動度 B級の活断層とされている。今回の地震で地表に現れた地震断層は、概ね東側隆起の逆断層成分を含む右横ずれ断層であった。地震断層全域にわたる調査を行った栗田・他 (1995)²⁷⁾によれば、地震断層は淡路島北

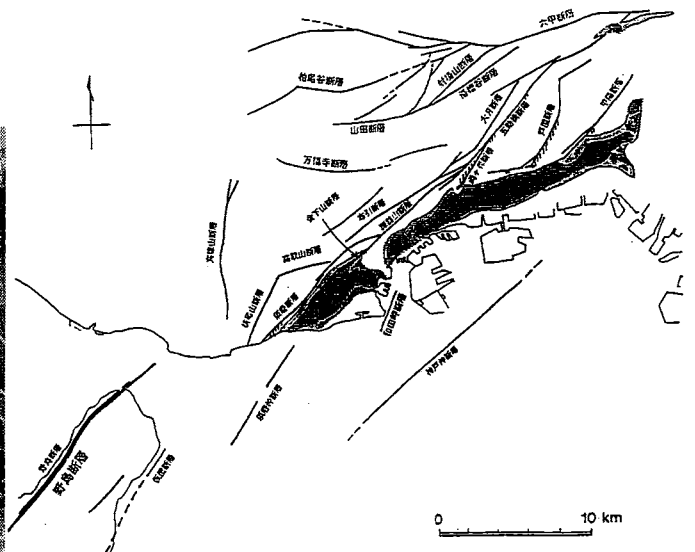


図5 震源付近の活断層 (活断層研究会、1991) と震災の帯 (嶋本・他、1995)

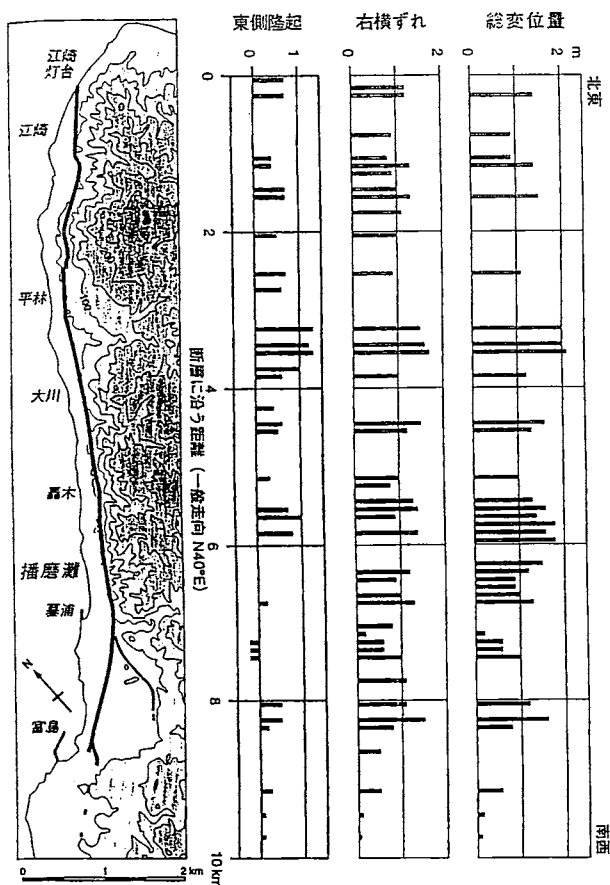


図6 地表に現れた野島断層と変位置 (粟田・他、1995)

端部の江崎灯台付近に約1.4m (右横ずれ1.2m、東側隆起0.7m) の変位を伴って現れ、ここから南西へ約7 kmの野島墓浦までほぼ途切れることなく連続する。この区間での変位置は1-2 m、最大変位は野島平林の2.1m (右横ずれ1.7m、東側隆起1.3m) であった。野島墓浦で2本に分岐し、一つは最大0.6mの変位をもって南へ約1 km延び、もう一つは最大変位1.6mで南西に約3 km延び、水越撓曲北端部に達している。これらの結果を図6に示す。この図から分かるように変位置は場所によって異なっており、中央部で大きく末端部で小さくなっている。中田・他 (1995)²⁸⁾、太田・他 (1995)²⁹⁾ も同様の変位置分布を得ている。

野島断層と神戸側の須磨断層との不連続性に関連して、岩瀬・他 (1995)³⁰⁾ は震源域付近の海域の音波探査を行い、明石海峡付近の断層が今回の地震で動いた可能性が高いとしている。

4.3 余震活動

図7に京都大学防災研究所⁶⁾ が決定した1月19日から1月27日までの余震分布を示す。余震はほぼ線状に並び、淡路島から西宮北部まで約60kmにわたっている。神戸側では活断層に沿っては発生していない。また、本震の規模M7.2の割には目下の所最大余震のM

余震分布図 (手動再験測)

1/19 16:00 ~ 1/27 23:59

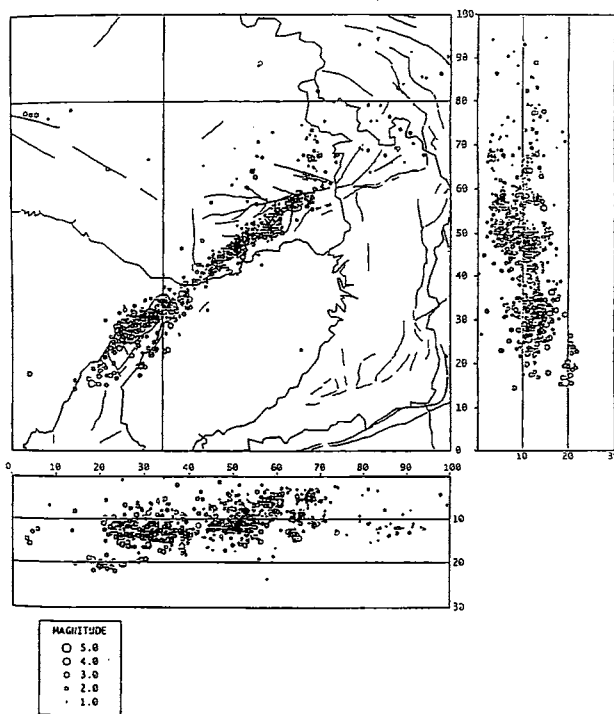


図7 余震分布図 (安藤・他、1995)

が4.9と非常に小さい。

余震数の時間的変化は時間と共に減少したが、減少の仕方は1993年北海道南西沖地震等と比べ急激に減少している⁶⁾。余震数の時間変化は改良大森公式に従うことが分かっている。これは余震数が時間のべき乗に比例するというもので、これを用いて余震の発生を予測することが可能となる。さらに公式から期待する余震数の推移とはずれて、活動が低下するとその後比較的大きな余震が発生するということが明らかになっている。松浦 (1995)³¹⁾ はこの事を今回の余震に対してリアルタイム処理することによって、1月25日本震の断層北東端で発生したM4.7の余震の前の静穏化を抽出することに成功した。

本震発生後短時間の余震活動は、本震で破壊した領域をほぼ表すとされている。根本・他 (1995)³²⁾ は10時間以内の余震分布から次の特徴を挙げている。

- ・余震分布は本震の震央から北東方向へ約25km、南西方向に約20kmの範囲にあって、北東部では宝塚市には至らず、南西部では一宮町に及んでいない。

- ・本震震央付近の明石海峡とそのすぐ北東側では余震数が少ない。

- ・本震震央から北東方向の余震数は、南西方向のそれの約2倍であり、本震直後の余震数は明らかに北東側で多い。

4.4 斜面崩壊

奥西 (1995)³³⁾によれば兵庫県南部地震による六甲山地の斜面崩壊は (1) スランピング (未固結な堆積物が水底斜面をすべり下る現象) を伴う円弧すべり、(2) 表層すべり、(3) 土砂崩落、(4) 落石の4つに大別される。

スランピングを伴ったものは7箇所、仁川百合野町、宝塚ゴルフ場、西岡本、鶴甲団地の老人ホーム脇などがこれに入る。特に仁川で起こった斜面崩壊では34名が犠牲となった。

(2) については、過去の豪雨による斜面崩壊跡地で多く起こっていて、六甲山地南面の比較的標高の低い部分に見られる。人工的な盛土斜面を除けば、風化層が比較的厚いか風化した岩が地表に露出しているところに相当する。

(3) の土砂崩落は最も多く発生しており、風化層の比較的浅い六甲山地の北東端に集中している。

(4) の類型の中で30m³以上のものは4箇所のみである。このような大きな落石はいったん滑落するとなかなか止まらず長い距離を移動する。中にはケーブルカーの軌道に飛び込んだり、自動車を押しつぶしたものがあがるが、幸い人的被害はなかった。

空中写真で区別できる斜面崩壊数は317で、従来のMから推定される崩壊数と比べて一桁以上小さい。一方、1km²メッシュあたりの崩壊数は最大21で、地震による斜面崩壊の頻度としてはかなり多い (奥西、1995)。

4.5 液状化

石原・安田 (1995)³⁴⁾は航空写真によって噴砂の発生が明瞭な地点を抽出した。これらの地点の多くは1960年以降に沖合いに造成された埋め立て地に集中している。液状化の影響は、平坦地においては地盤沈下、

沿岸地域では側方流動によって港湾施設、埋設物、橋脚の被害となって現れた。

主な液状化地点の噴砂資料の粒度分布は、非常に多様な粒土特性を示している。自然地盤での噴砂は均等粒度の細粒砂から中粒砂から主になっている。また、甚大な被害のあったポートアイランドでは、液状化しにくいと考えられていたまさ土が液状化した。

ポートアイランドの中心部では広範囲に20-50cmの沈下が生じた。また護岸においては岸壁ケーソンが2-3m海側に押し出され、鉛直方向には約2m沈下した。図8はこの影響による護岸背後地盤の水平変位を護岸からの距離に対してプロットしたもので、50m内側に入っても10cm程度の変位が生じていることが分かる。

5. 地震のメカニズム

5.1 テクトニクス

近畿地方の浅い地震の殆どは同じ東西圧縮力によって発生しており、今回の地震もこの地域に働く広域応力によって発生したとものと考えられている³⁵⁾。また、このような東西圧縮の広域応力場からすると、この地域の南に位置する南海トラフから北西へ沈み込んでいるフィリピン海プレートに応力場の原因を求めることはできない。

この東西圧縮は太平洋プレートのほぼ西に潜り込むことによるものとする考えがある一方で、石橋 (1995)³⁶⁾はそれは緯度的関係から見て説明が困難として、アムールプレート (一般に言うユーラシアプレートに相当する) が東に進んでいるという説を唱えている。

5.2 震源過程

兵庫県南部地震は東西圧縮という広域応力場が働く中で起こったことは、P波の押し引き分布から得られたメカニズム解で示されたとおりであり、また実際の地表に現れた野島断層を見てもその走向がほぼ北東-南西方向にあって、かつ右横ずれ断層であったことから明らかである。一方、地震記録や地殻変動のデータを用いて、断層の破壊過程が詳しく調べられている。

芝崎・吉田 (1995)³⁷⁾は洲本の高感度記録に基づいて震源時間関数を求め、破壊の始まりのプロセスを推定している。それによれば、モーメントマグニチュード4.3程度の破壊が先ず起こり非常にゆっくり成長し、約0.6秒後に主破壊が始まったとしている。また、初期破壊の領域 (破壊核) は700~800mと推定されている。

その後の主破壊については、遠地実体波の波形を用いた解析、近地強震計記録を用いた解析、強震計記録と地殻変動データを用いた解析、及び強震計記録、地

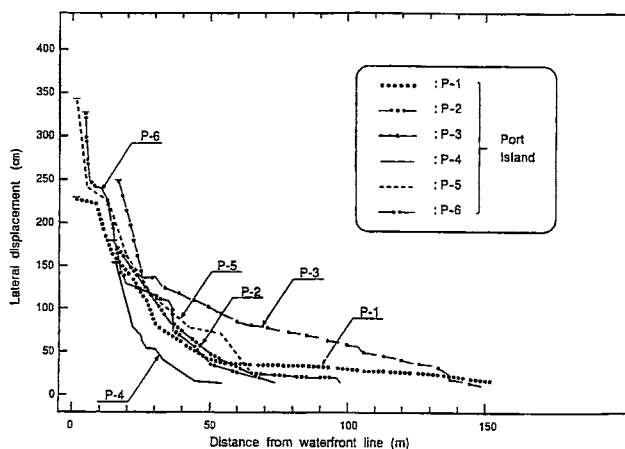


図8 ポートアイランド (P) における水平変位と護岸からの距離との関係 (石原、1995)

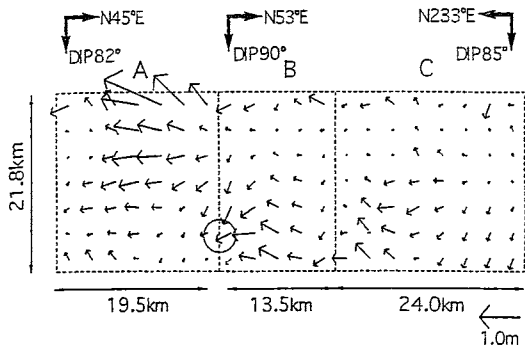


図9 震源近傍の強震記録から得られた断層面上のすべりベクトル (関口・他、1995)

殻変動データと遠地実体波の波形を用いた解析とがなされている³⁸⁻⁴⁴⁾。

図9は関口・他(1995)³⁹⁾の震源近傍と周辺の強震計記録を用いたインバージョン解析の結果で、海側の断層面の格子点の動きを示したものである。これから、大局的には右ずれ断層運動であること、淡路島のごく地表に近いところに大きな滑りがあること(野島断層が動いたことと調和的)、明石海峡、神戸のやや深いところで大きな滑りがあることなどが分かる。これらは他の解析結果とほぼ共通するものである。また、震度7の領域の直下に伏在断層がある可能性が指摘されていたが、これらの解析結果はこれを否定し、次節で述べる地下構造の影響による地震波の集中によって震度7の帯状の領域が現れるとする説を支持する。

6. 地震動

6.1 最大地動

最近、関西地震観測研究協議会、建設省、鉄道機関、電力会社、ガス会社などが独自に強震計を設置してきたため、今回の地震ではかなりの記録が得られた^{45, 46)}。

これによれば、得られた中で最大の加速度は神戸市葺合における833gal、最大の速度は神戸大学の55cm/sである。但し、加速度記録を積分して求めた速度では、JR鷹取駅の138cm/sが最大となっている。その他、神戸海洋気象台で818gal、神戸本山で40cm/sを超えるなど極めて大きな地震動となっている。これらは地震断層に極めて近い地点の値であるが、西宮で792gal、宝塚で694galなどやや離れた地点でも大きな値を示している。淀川沿いでも200gal以上の最大加速度が京都の方まで観測されている。これらの一部を地図上にプロットしたものを図10に示す⁴⁷⁾。

上下動については、JR西明石、鷹取、宝塚、新大阪駅でそれぞれ319gal、290gal、410gal、188galとなっ

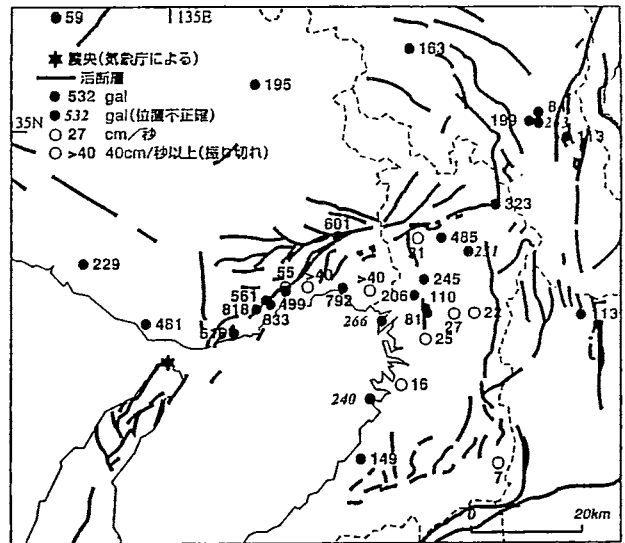


図10 最大地動の分布 (頼瀬、1995)

ているほか⁴⁸⁾、神戸海洋気象台では332galとなっている。また、ポートアイランドでは556galという値も報告されており⁴⁹⁾、極めて大きな上下動が各地であったと考えられる。

6.2 最大地動の距離減衰

最大加速度データの距離減衰⁵⁰⁾を図11に示す。距離は断層からの最短距離としている。また、この図には従来から得られている距離減衰に関する経験式⁵¹⁾から予測される最大加速度が比較のため描かれている。断層の位置がまだ確定されたわけではないが、予測式との対応はかなりよい。このことは、最大加速度に関し

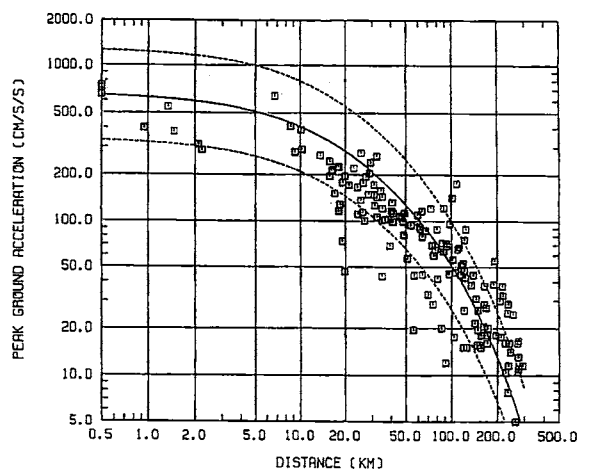


図11 最大加速度と距離減衰式との比較 (福島・渡辺、1995)

横軸は断層面からの最短距離。観測値(四角)は水平2成分の平均値。実線、破線は福島・田中(1992)によるモーメントマグニチュード6.9に対する値と標準偏差。

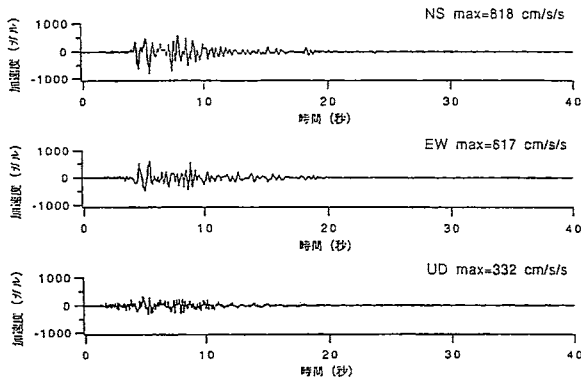


図12a 神戸海洋気象台における本震の加速度波形

ては、従来の地震と大きく異なる地震ではなく平均的なものであることが分かる。また、最大速度についても福島・翠川 (1995)⁵²⁾ による距離減衰式からの予測値と概ね一致していることから、最大速度に関しても平均的な地震であったということが言える。

6.3 上下動と水平動最大振幅比

上下動最大加速度は水平動の概ね1/2となっていて、これも従来から指摘されているとおりとなっている。ただし、最大加速度が100galを超えるあたりから、両者が同じくらいになっている。上下・水平動加速度比の距離との関係を見ると、距離が小さくなるにつれ比は大きくなる傾向にあり、1を超えところもある。これらの場所は、その殆どが埋め立て地であって、川瀬・他 (1995)⁴⁹⁾ が指摘するように、軟弱な埋め立て地では土の非線形化によって水平加速度が小さくなったことがその原因と考えられている。埋め立て地盤などの軟弱な地盤のデータを除くと距離が小さくなると比が大きくなるという傾向はあまり見られなくなる。

最大速度については全て水平動の方が大きく、回歸直線も水平動の1/2の線を下回っている。これは、最大速度となる波の周期が加速度のそれよりも長周期側にあるため、地盤の非線形化の影響を受け難かったためと考えられている⁵⁰⁾。

6.4 主な地震記録とスペクトル

・神戸海洋気象台

気象庁では各官署に87型電磁式強震計と呼ばれる強震計を設置している。今回の地震では、神戸海洋気象台で気象庁の記録としては1993年釧路沖地震の釧路地方気象台の922galに次ぐ818gal (NS成分) という大加速度を記録している。図12aはその加速度波形を示したものである。神戸海洋気象台は、会下山断層の直上にあるが、震度7の範囲には入っておらず、気象台庁舎自体は大きな損傷を受けたものの倒壊には至っていない。

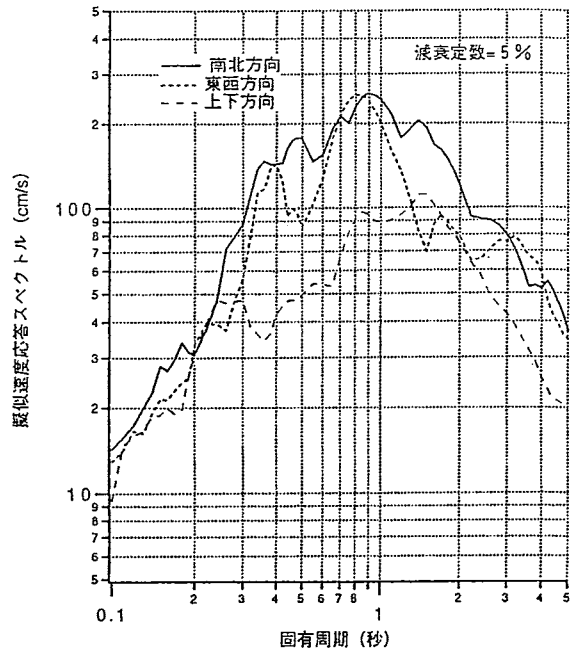


図12b 神戸海洋気象台における本震記録の疑似速度応答スペクトル (減衰5%)

また気象台周辺も甚大な被害はあまり見られない。

主要動継続時間は数秒程度で非常に短く、また2つの主な波群がみとれる。減衰5%の速度応答スペクトル (図12b)のNS成分では周期0.9秒で250cm/s、EW成分の周期0.8秒でも同程度のレベルを示している。また、NS成分の1.5秒付近でも200cm/sとなっていて、高層ビルの耐震設計レベルの倍の強さとなっている。上下成分でも周期1~1.5秒で約100cm/sもある。

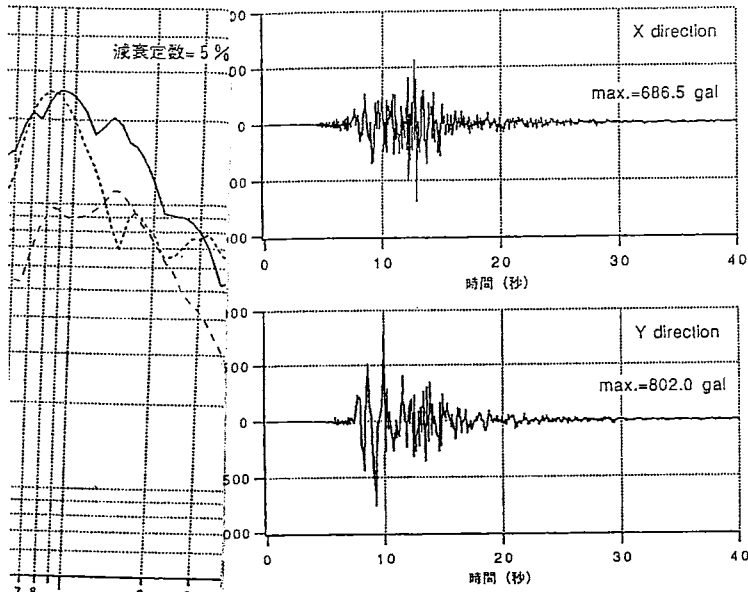
・葺合

今回の兵庫県南部地震で最も大きな加速度を記録したのは大阪ガス葺合営業所の地震計で、水平2方向の合成値833galとなっている (図13a)。この加速度波形を積分して得られた速度波形の最大振幅は121cm/sで、次に示すJR鷹取のそれと並んで日本での観測史上最大級のものである。この地点は震度7のいわゆる「震災の帯」の中にあるものの、比較的被害が軽微な地域に属している⁵³⁾。加速度波形は神戸海洋気象台のそれに比べ、やや短周期成分が多く認められる。

Y方向 (方向不明) の速度応答スペクトル (図13b) は、周期1.1~1.2秒で350cm/sと極めて大きなレベルとなっている。一方、これと直交するX方向では130cm/sしかなく方位依存性が強い。海洋気象台のスペクトルに比べ0.8秒以上で大きく上回った値となっている。

・JR鷹取駅

中村 (1995)⁴⁸⁾ によれば、加速度記録は図14aのよ



3a 大阪ガス葺合営業所における本震の加速度波形 (大阪ガス提供データに基づく)

期 (秒)
ける本震記録の疑似
5%)

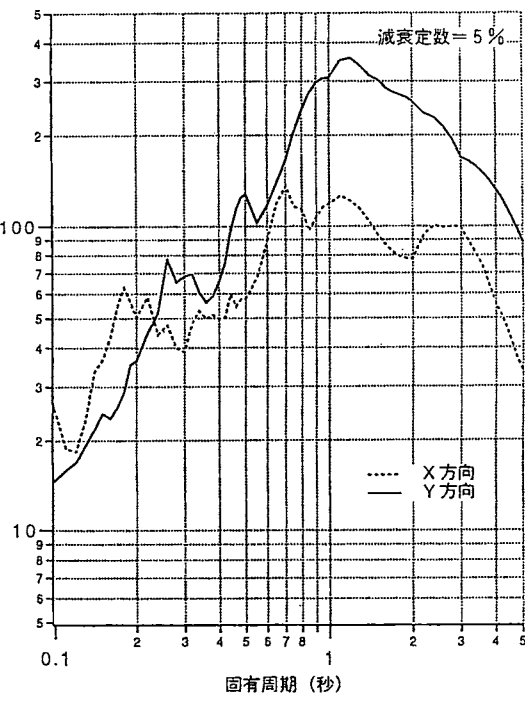
あまり見られない。
非常に短く、また
5%の速度応答ス
用0.9秒で250cm/s、
レベルを示してい
200cm/sとなってい
の強さとなってい
1100cm/sもある。

きな加速度を記録
計で、水平2方向
)。この加速度波
大振幅は121cm/s
で日本での観測史
度7のいわゆる

交的被害が軽微な
神戸海洋気象台の
認められる。

スペクトル (図1

極めて大きなレ
直交するX方向で
。また6秒当たり
みれるパルスは、
。海洋気象台の
イクリックモビリ
という現象が起
こっているこ
く上回った値と
を示すと考えら
れている。この
現象は、広義の
意味では液状化
に分類されるが
、通常の液状化
現象がゆるめ
の砂質土で起
こるのに対して
、密度の高い砂
質土では破局的
な液状化は起
こらず、有限な
歪み振幅を持
つせん断変形が
繰り返されるこ
とによって発生
する。



3b 大阪ガス葺合営業所における本震記録の減衰5%疑似速度応答スペクトル (大阪ガス提供データに基づく)

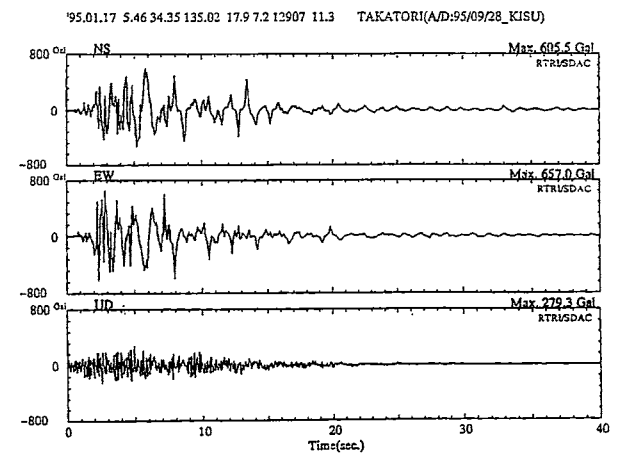


図14a JR鷹取駅における本震の加速度記録 (中村、1995)

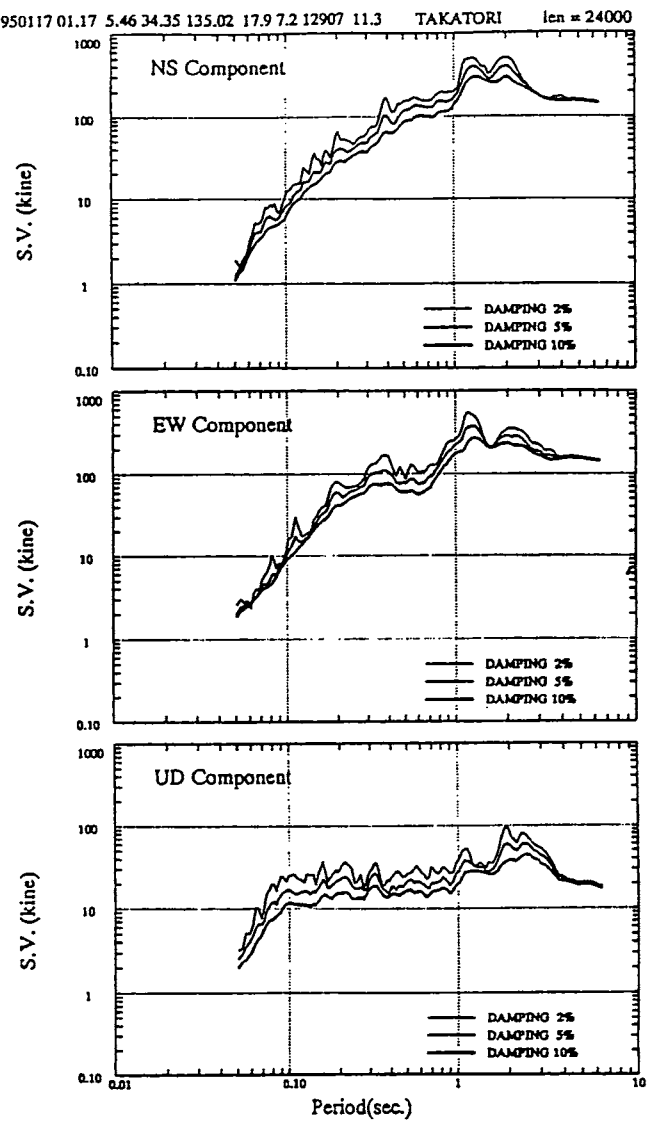


図14b JR鷹取駅における本震記録の速度応答スペクトル (中村、1995)

つせん断変形が繰り返されることによって発生する。

速度応答スペクトル (図14b) は約1.3、2秒で400cm/s程度となっており、最大レベルとなっている。

6.5 埋め立て地盤での地震動

おびただしい量の噴砂が見られ、50cm～数mにも及ぶ沈下を示した神戸市ポートアイランドで地震記録が得られた。図15aは地中83mと地表での加速度記録である。地中のNS成分では678galで、地中としては非常に大きな加速度を示している。一方、地表のNS成分では340galと小さくなり、かつ周期が著しく増大している。また、上下成分の最大加速度は186galから556galへと地表付近で増幅されている。

液状化が発生した場合には水平動の振幅が地表で小さく、周期が延びるという現象が生じると考えられている。川瀬・他 (1995) ⁴⁹⁾ によれば、液状化を考慮した地盤応答解析によって観測波形を良くシミュレートできたことから、少なくとも表層10数mにおいて液状化が生じ、そのため地表の加速度振幅を著しく低減させたと思われる。以前から液状化によって震源域の最大加速度レベルが頭打ちになることは指摘されていたが、地中より地表の方が小さくなるのが記録から実証されたのは初めてで、また液状化が強震動となるのを押さえ、それ故埋め立て地域での構造物の被害を防いだ可能性が高い事が指摘されている。埋め立て地に

ある危険物施設の被害が意外と少なかったことも、このような地震動強さの低減によるものと考えられる。一方、速度波形は、加速度に比べ長周期域が卓越するため、上述のような地盤の液状化の影響は受け難く、地表の方が地中よりも最大振幅は大きくなっている。

図15bはこれらのフーリエスペクトルであるが、地表では0.4-1.0Hzで増幅しているが、2 Hz以上では減衰している。この2 Hz以上での減衰が地表での最大加速度の減少に寄与していると考えられる。

6.6 被害集中域での地震動

岩田・他 (1995) ⁵⁴⁾ はいわゆる「震災の帯」の中の本震時の地震動を推定するため、六甲山麓から海岸付近に至る神戸市東灘区で余震観測を行った。その結果によれば、基盤と思われる六甲山麓の観測点に比べ、被害の大きかった沖積層上の観測点で最大加速度で約3～20倍、スペクトルでは2～3 Hzにおいて約5～20倍 (水平成分) という大きな増幅を示した。

工藤・他 (1995) ⁵⁵⁾ も同様の主旨で、神戸市西部地区 (垂水、須磨、長田) において余震観測を行った。その結果、北の丘陵部の観測点を基準とすると、最も被害の甚大であった川西通り、JR新長田駅付近で最大加速度及び速度が約2倍となり、スペクトル比では、川西通りでは1 Hz付近を除き平均的に約2倍、木造家屋に最も影響が大きいと考えられている1.5～3 Hzで3倍程度大きくなっている。

松島・他 (1995) ⁵⁶⁾ は岩田・他 (1995) ⁵⁴⁾ の余震記録から地盤特性を推定し、神戸大学の本震記録を用いて、神戸市東灘区の震災の帯内の本震時地動を推定した。その結果、最大加速度、速度は630～1000gal、130～137cm/sの範囲にあることを示した。

また、川瀬・林 (1995) ⁵⁷⁾ は、神戸海洋気象台の本震

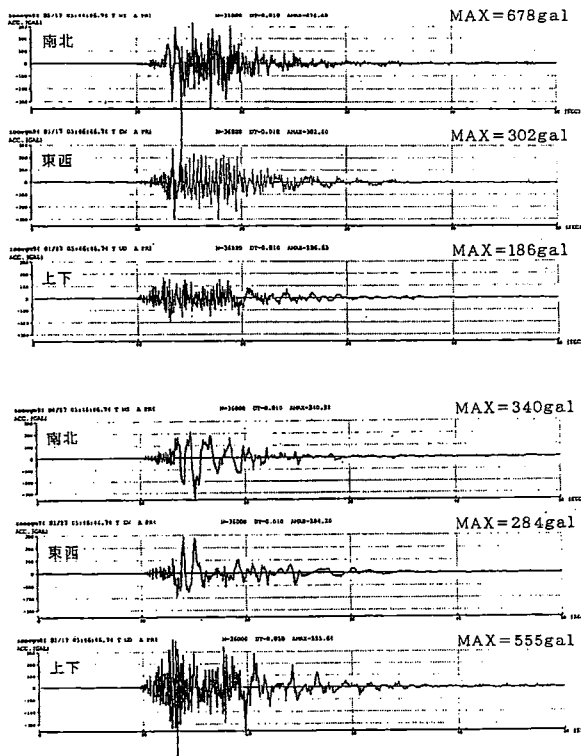


図15a ポートアイランドにおける本震の地中及び地表の加速度記録 (川瀬・他、1995)
上段：地中-83m 下段：地表

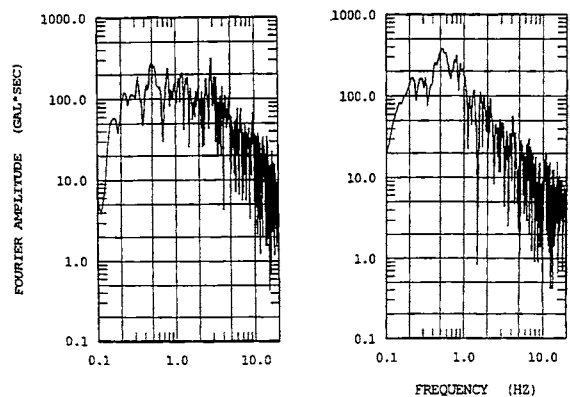


図15b ポートアイランドにおける本震の地中及び地表の加速度フーリエスペクトル (川瀬・他、1995)

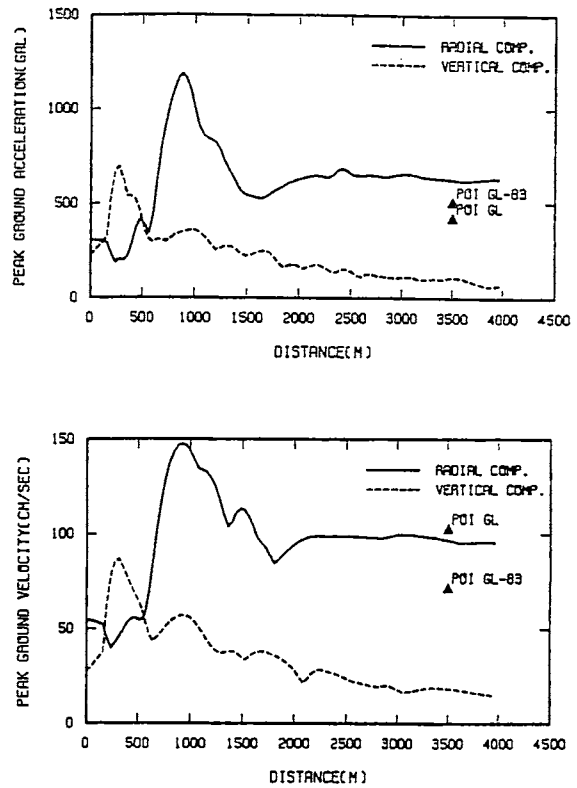
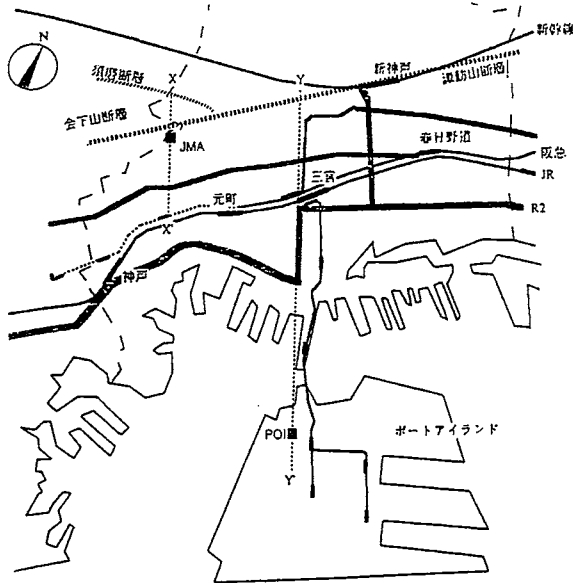


図16 三宮付近の本震時地動の推定結果 (川瀬・林, 1995)

左：推定対象域 (Y-Y) 右上：断層からの距離に対する推定最大加速度 (実線：水平成分 破線：上下成分) 右下：断層からの距離に対する推定最大速度 (実線：水平成分 破線：上下成分)

記録を基盤まで戻し、更にそれを入射波として被害の大きかった三宮付近の本震時地動を推定している。それによれば、最大加速度、速度のパターンは被害率とよく対応し、最も大きい所では、1200gal、150cm/s、ここを挟んで幅600mの南北方向の領域は800gal、120cm/s以上となっている (図16)。源栄・永野 (1995)⁵⁸⁾ も同様の試みを行い、やはり同じような結果を得ている。今後詳細な地盤調査が行われ、これらの推定の更なる検討が行われるものと思われる。

6.7 他の地震との比較

図17aは、兵庫県南部地震による神戸海洋気象台の南北成分、釧路地震による釧路気象台の東西成分及び三陸はるか沖地震の八戸測候所の南北成分の加速度記録を比較したものである。最大加速度は釧路での919galが最も大きく振動継続時間も長いにも拘わらず、被害は兵庫県南部地震の方がはるかに大きい。速度で見ると最大振幅はそれぞれ92、59、27cm/sとなっており、最大加速度より最大速度の方が被害との相関が高いという従来からの指摘を支持する。

応答スペクトルを比較すると図17bのようになり、周期0.3秒付近では釧路の地震動が極めて大きなパワーを持っている。一方、木造家屋や中低層ビルにもつ

とも影響すると考えられる周期0.5-2秒付近では神戸の地震動が圧倒的に他に比べて大きく、このことが甚大な被害をもたらしたものと考えられる。

6.8 長周期地震動と石油タンクのスロッシング

この地震におけるやや長周期地震動の影響を見るた

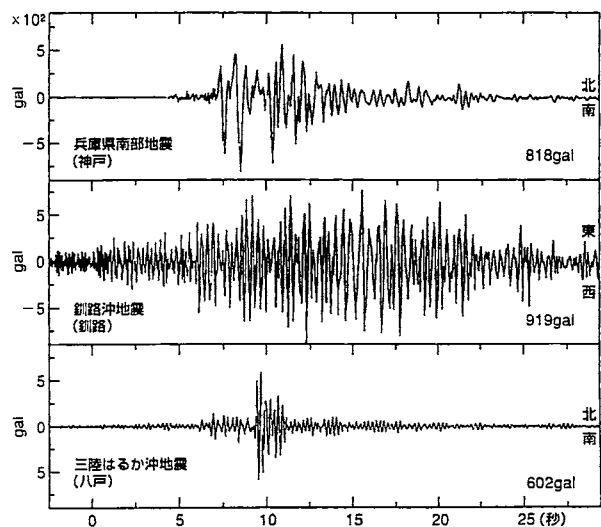


図17a 兵庫県南部、釧路沖、三陸はるか沖地震の加速度記録の比較

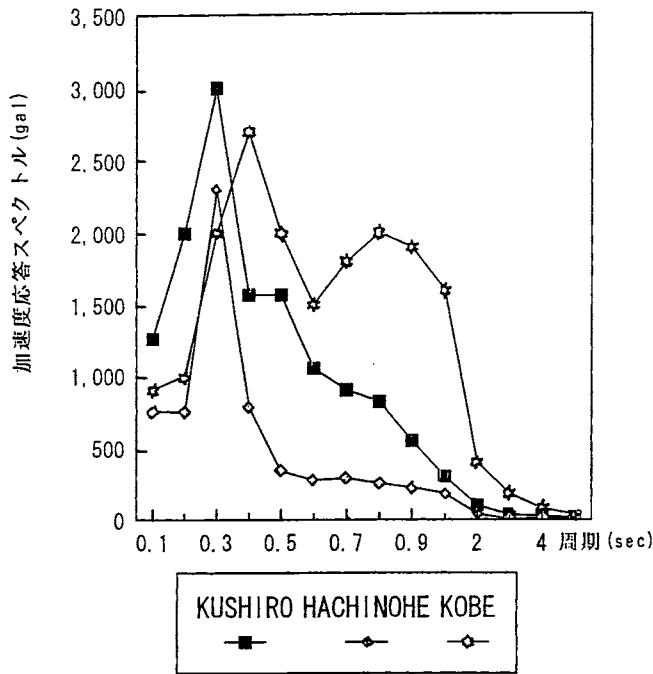


図17b 兵庫県南部、釧路沖、三陸はるか沖地震の加速度応答スペクトルの比較

めに石油タンクのスロッシング状況をアンケートにより調査した。

図18に調査対象地点を、これらの地点でのスロッシング上昇量をまとめて図19に示す。比較的大きな上昇量はスロッシング固有周期が2~6秒程度の範囲のタンクで見られる。座間(1995)⁵⁹⁾は大阪の長周期地震動特性を把握する目的で、大阪管区气象台に永久保存されている地震記録を収集し、震源地別に整理している。そこでは、観測スペクトルの標準的スペクトルに対する偏差を増幅度として抽出することを試みている。これを用いれば、任意の地震に対するスペクトルを推定することが可能となる。そこで、兵庫県南部地

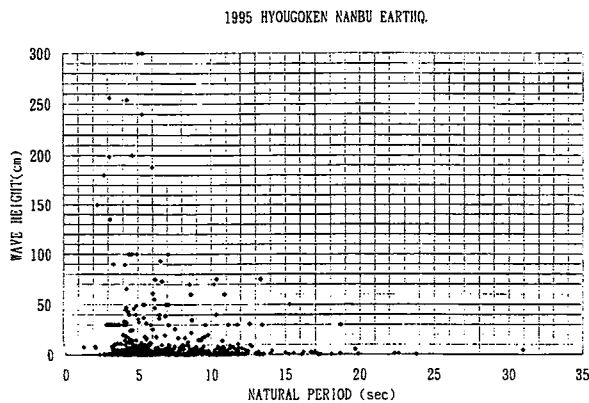


図19 全調査地点のスロッシング上昇量

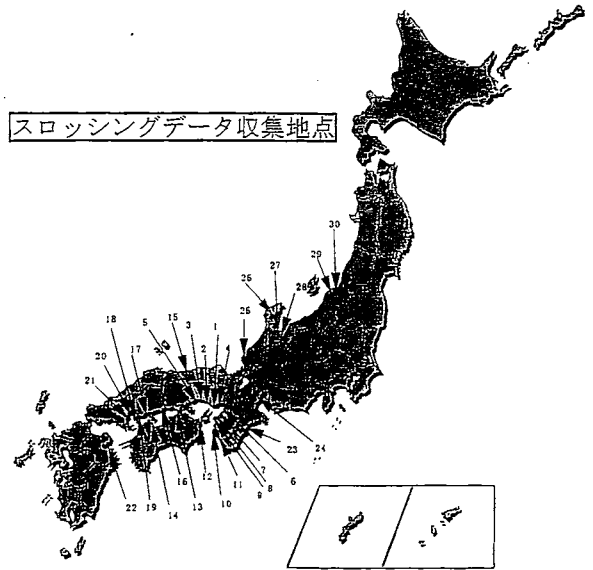


図18 兵庫県南部地震による石油タンクのスロッシング状況調査地点

震に対する大阪でのスペクトルを予測し、実際に観測された記録及びスロッシング状況との比較を試みた。

図19から大阪のデータを取り出してみると図20のようになり、周期5.7秒付近で2.5m以上の上昇量となったタンクが4基あるのを除けば概ね1m以下となっている。この上昇量と地震時のタンクの諸元からスペクトルを求め、推定値及び大阪管区气象台での87型強震

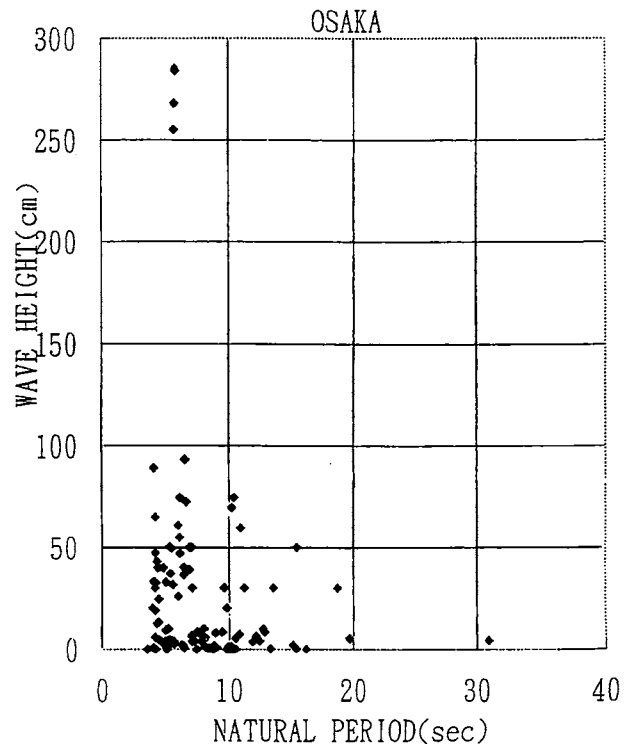


図20 大阪におけるスロッシング上昇量

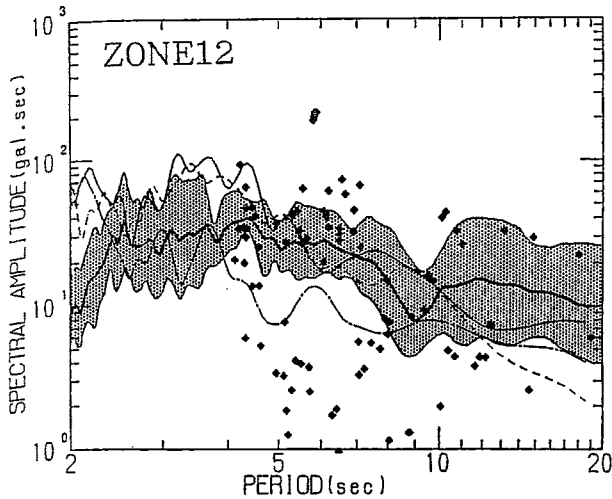


図21 加速度スペクトルの比較

- ◆ : スロッシング上昇量からの推定値
- 細線: 87型強震計記録からの計算値
- 実線: 増幅度特性に基づく予測値
- 網掛け部分は標準偏差を示す。

計記録のスペクトルとを比較した(図21)。この図で、◆はスロッシングデータから、細線は87型強震計記録から得たスペクトルで、太実線は近畿・中国地方を震源とする地震に対する増幅度特性を用いて予測したもので、網掛け部分はその標準偏差を示す。強震記録から得られるスペクトルと予測値とを比較すると、周期5秒以下で予測値はやや過小評価している。これは増幅度を求める際に用いた地震が兵庫県南部地震の震源付近にないことに起因するものと考えられる。

スロッシングデータからの周期約6秒のスペクトル値がかけ離れて大きくなっているが、これは上述のタンクのもので、気象台から30kmも離れた地区にあることから地震動特性はかなり異なると推測される。これらのデータを除けば、スロッシング上昇量の測定誤差もあることから、概ね期待される範囲にある。また、新潟についても予測値と観測値とが良く一致していることから、今回の地震による長周期地震動も短周期地震動と同様に特に大きいものではなかった可能性がある。

7. おわりに

地震後約1年間に発表された論文等をレビューしてきたが、地震現象、特に地震動としては特異な地震ではなかったとの印象が強い。しかし、想定範囲といえども観測された地震動は極めて強く、それが大都市を直撃したことが大災害をもたらした。このような強震動は決して希でないことが、最近の強震観測網の整備

によって明らかになってきており、今後の地震対策にこの事を十分に反映させることが肝要である。消防としても、将来襲うであろう大地震による強震動を予測し、それによる被害を想定した上で地震時の消防活動を合理的に行えるような体制を組むことが必要であろう。

参考文献

- 1) 気象庁地震火山部: 1995年1月地震火山概況、1995
- 2) 古澤 保・他: 地殻変動連続観測による兵庫県南部地震前の地殻変動、日本地震学会講演予稿集、A58、1995
- 3) 国土地理院: 近畿地方の地殻変動、地震予知連絡会報、54、1995
- 4) 島崎邦彦: 内陸の地震と活断層、東京大学地震研究所広報、10、1995
- 5) 茂木清夫: 西日本の活発化と兵庫県南部地震の震源域の静穏化、日本地震学会講演予稿集、A07、1995
- 6) 安藤雅孝・他: 1995年1月17日兵庫県南部地震(M7.2)観測結果速報、平成7年兵庫県南部地震とその被害に関する調査研究 平成6年度文部省科学研究費研究成果報告書、1995
- 7) 気象庁: “災害時地震・津波速報 1995年兵庫県南部地震”、1995
- 8) 前田憲二: 兵庫県南部地震は直前の前震活動だけでどの程度予測できたか、日本地震学会講演予稿集A54、1995
- 9) 藤縄幸雄・高橋耕三: Electromagnetic radiation at the time of great Kuril Islands Earthquake of 1994、日本地震学会講演予稿集、A62、1995
- 10) 大志万直人: 1995年兵庫県南部地震に関する電磁気変化、月刊地球、号外13、164、1995
- 11) 京都大学理学部付属地磁気世界資料解析センター、1995
- 12) 山田聡治・尾池和夫: 1995年兵庫県南部地震前後に観測された電磁波異常、地球惑星関連学会、ポスターセッション資料、1995
- 13) 佃 為成: 兵庫県南部地震に伴った発光現象、日本地震学会講演予稿集、B76、1995
- 14) 榎本祐而・他: 野島平林地区断層変質粘土の物理科学調査、地球惑星関連学会、ポスターセッション資料、1995
- 15) 小泉尚而・他: 兵庫県南部地震前後における地下水・温泉水の異常の分布、地球惑星関連学会、ポスターセッション資料、1995

- 16) 脇田 宏・他：兵庫県南部地震前の地下水化学組成の変化、日本地震学会講演予稿集、A65、1995
- 17) 藤森邦夫・他：六甲高雄観測室における兵庫県南部地震に関連する湧水量変化、日本地震学会講演予稿集、A68、1995
- 18) 佐伯雄司・他：1995年兵庫県南部地震の西宮における地下水ラドン濃度の変動、月刊地球、号外13、194、1995
- 19) 伊藤貴盛・他：兵庫県南部地震による温泉ガスの変動、日本地震学会講演予稿集、C72、1995
- 20) 北川有一・他：兵庫県南部地震前後での鳥取県湯谷温泉の水温の潮汐成分の振幅の変化について、日本地震学会講演予稿集、C73、1995、
- 21) 弘原海清編著：阪神淡路大震災前兆証言1519!、東京出版、1995
- 22) 多田 堯・他：1995年兵庫県南部地震の測地学的断層モデル、月刊地球、号外13、136、1995b
- 23) 田部井隆雄・他：1995年兵庫県南部地震にともなう地震時の地殻変動、一GPS大学連合による観測結果、地球惑星科学関連学会、ポスターセッション資料、1995
- 24) 村上 亮・他：JERS-1SARによる兵庫県南部地震の地殻変動検出、日本地震学会講演予稿集、A59、1995
- 25) 活断層研究会：“新編日本の活断層”、東京大学出版会、1991
- 26) 嶋本利彦：神戸市・芦屋市・西宮市における地震被害と推定地震断層、1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会記録、日本第四期学会、41、1995
- 27) 粟田泰夫・他：1995年兵庫県南部地震に伴う地震断層と地盤被害、1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会記録、日本第四期学会、55、1995
- 28) 中田 高・他：兵庫県南部地震で淡路島に現れた地震断層、1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会記録、日本第四期学会、27、1995
- 29) 太田陽子・他：1995年1月17日兵庫県南部地震の際に出現した野島地震断層と被害状況、1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会記録、日本第四期学会、37、1995
- 30) 岩淵 洋・他：兵庫県南部地震震源域付近海域の緊急調査、1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会記録、日本第四期学会、39、1995
- 31) 松浦律子：大森公式から一世紀、地震ジャーナル、19、33、1995
- 32) 根本泰雄・他：1995年兵庫県南部地震発生10時間以内の余震分布、日本地震学会講演予稿集、A34、1995
- 33) 奥西一夫：六甲山地の斜面崩壊災害、平成7年兵庫県南部地震とその被害に関する調査研究、平成6年度文部省科学研究費研究成果報告書、202、1995
- 34) 石原研而・安田 進：臨海地域の地盤災害、阪神大震災震害調査緊急報告会資料、土木学会、13、1995
- 35) 石川有三：データで見る近畿地方の地震、科学朝日、増刊、6、1995
- 36) 石橋克彦：1995年兵庫県南部地震のテクトニックな意味と広域地震活動：アムールプレート東縁変動帯という新視座、日本地震学会講演予稿集、A73、1995
- 37) 芝崎文一郎・吉田康宏：1995年兵庫県南部地震の余震のメカニズム、日本地震学会講演予稿集、A73、1995
- 38) 菊池正幸：遠地実体波による震源のメカニズム、月刊地球号外13、47、1995
- 39) 関口春子・他：強震動記録の波形インバージョンによる兵庫県南部地震の破壊域と破壊過程、日本地震学会講演予稿集、A75、1995
- 40) 井出 哲・他：1995年兵庫県南部地震の震源過程1、2、日本地震学会講演予稿集、A77、1995
- 41) 堀川晴央・他：強震記録と測地データから見た兵庫県南部地震の震源過程、日本地震学会講演予稿集、P42、1995
- 42) 吉田真吾・他：強震計記録、遠地実体波、地殻変動データの同時インバージョンによる兵庫県南部地震の震源過程、日本地震学会講演予稿集、A76、1995
- 43) Kamae, K. and K. Irikura: A fault rupture model of the 1995 Hyogoken Nanbu earthquake ($M_{jma}=7.2$) estimated by the empirical Green's function method, J. Natural Disaster Science, 16, No.2. 31, 1995
- 44) Kakehi, Y., K. Irikura, and M. Hoshiba: Estimation of high frequency wave radiation area on the fault plane of the 1995 Hyogoken-nanbu earthquake by the envelope inversion of acceleration seismograms, submitted to the J. Phys. Earth. 1995
- 45) 建設省建築研究所：兵庫県南部地震被害調査中間報告書、1995
- 46) 防災科学研究所：強震速報No.46 1995年1月17日平成7年(1995年)兵庫県南部地震、1995
- 47) 瀧瀬一起：大規模被害の元凶は主要動の周期?、科学朝日、11、1995
- 48) 中村 豊：1995年兵庫県南部地震の地震動記録波形と分析、JR地震情報No.23c、1995

- 49) 川瀬 博・他：神戸市ポートアイランドにおけるボアホール観測記録の非線形地盤応答シミュレーション、ORI研究報告94-95、1995
- 50) 福島美光・渡辺孝英：兵庫県南部地震とNorthridge地震で観測された最大振幅の距離減衰特性と上下／水平振幅比、日本地震学会講演予稿集、A105、1995
- 51) 福島義光・田中貞二：新しいデータベースを用いた最大加速度の距離減衰式の改訂、地震学会講演予稿集、2、116、1992
- 52) 福島義光・翠川三郎：地震動強さを評価する経験式の大地震・断層近傍への適用性の検討、日本建築学会構造系論文報告集、475、27、1995
- 53) 中央開発(株)：1995年兵庫県南部地震阪神大震災災害調査報告書、1995
- 54) 岩田知孝・他：地震被害域における1995年兵庫県南部地震余震の増幅特性—神戸市東灘区におけるアレイ強震観測から—、日本地震学会講演予稿集、A102、1995
- 55) 工藤一嘉・他：兵庫県南部地震の強震動と地盤による影響—神戸市西部地区における余震観測と詳細被害調査—、日本地震学会講演予稿集、A99、1995
- 56) 松島信一・他：1995年兵庫県南部地震の余震観測データに基づく神戸市東灘区の地盤増幅特性、日本地震学会講演予稿集、A103、1995
- 57) 川瀬 博・林 康裕：兵庫県南部地震の際の神戸气象台での強震記録を用いた基盤波の逆算と三宮地区における本震地動評価、日本地震学会講演予稿集、A98、1995
- 58) 源栄正人・永野正行：不整形地下構造を考慮した兵庫県南部地震における神戸市の地震動増幅特性解析、日本地震学会講演予稿集、A101、1995
- 59) 座間信作：気象庁強震計記録に基づく大阪でのやや長周期地震動特性、消防研究所報告、76、8-21、1995

1995年兵庫県南部地震後10日間の出火状況

鈴木恵子、松原美之

1. はじめに

平成7年1月17日阪神地方を襲った兵庫県南部地震後に発生した火災について、消防本部が把握している情報を収集・整理した。今回の震災においては、地震直後のみでなく、地震後数日を経た後にも火災の発生があった点が特徴的であった。現在、今回の地震時に発生した火災について、その発生の状況、出火原因の分析、火災拡大の状況をはじめとした多面的な解析・検討が実施されている。しかし、地震直後の火災については混乱した状況の中で火災が拡大したなどの理由により出火原因の特定が困難なものが多い一方、地震後時間が経って発生した火災にあっては、出火原因自体は比較的明確であっても、そもそも地震が無ければ発生しなかった火災ではあるが、はたして地震による火災と言い得るのかどうか曖昧な火災が含まれることとなり、「地震による火災」であるか否かの境界線が、未だ必ずしも明解となっているとは言えない。そのため、今回の震災時に発生した火災の解析・検討の基礎となるべき火災の全体像については、現在までのところまとまった情報が与えられていない。

そうした状況にかんがみ、消防研究所では阪神間を中心とする周辺23消防本部から1月17日より26日までの10日間に発生した全火災に関する情報の提供をお願いし、その結果の集約と整理を実施した。

2. 調査の対象と方法

調査の対象地域は図1に示す消防本部の管轄地域とした。先にも述べたように、現時点では、ある火災が地震に起因するものか否かの最終的な判定は困難であると判断し、各消防本部が把握している地震後10日間に発生した全ての火災を対象とした。「一の火災」の範囲については、原則として、消防本部の特定した結果に従った。火災場所は、報告された火災住所をもとに、住宅地図上で可能な限り位置の特定を行い、5万分の1地形図上に転記した。位置の特定が不可能であった一部の火災については、消防本部に5万分の1地形図等を送り、位置の特定をお願いした。

3. 出火の状況

表1に1995年兵庫県南部地震後10日間の全火災を示す。また、図2に対象地域と、火災場所を示した地図(図3-1~図3-14、図4)*の配置を示す。特に、火災件数が多い神戸市内の一部については縮尺を拡大して示した(図4)。火災場所の番号は表1に示す全火災のリストの番号と対応している。神戸市消防局以外の消防本部管内の火災については消防本部名の最初の漢字1字とその本部内での火災発生時刻順の通し番号を組み合わせて表記した。神戸市消防局管内の火災については消防署名称の最初の漢字1文字とその署内での火災発生時刻順の通し番号を組み合わせて表記している。ただし、西宮市消防局と神戸市西消防署がいずれも、「西」で重複することから、前者を「宮〇×」後者を「西〇×」とし、区別した。

図5は面積1,400m²以上の延焼火災について、その継続時間を示したものである。

4. まとめ

今回の震災時に発生した火災は、その件数一つをとっても近年経験したことのない大きなものである。また、火災原因の解明や、延焼など火災の状況についても、今後のより一層の究明の努力を必要としている。今後のそうした活動に資することを目的とし、これまでに収集した火災に関する情報を整理し、ここに掲載することとした。震災後の多忙な時期から、各消防機関の方々には種々の御協力をいただいたことを最後に記して、謝意を表したい。

*図3-1~14、図4は本誌付録として巻末に添付した。

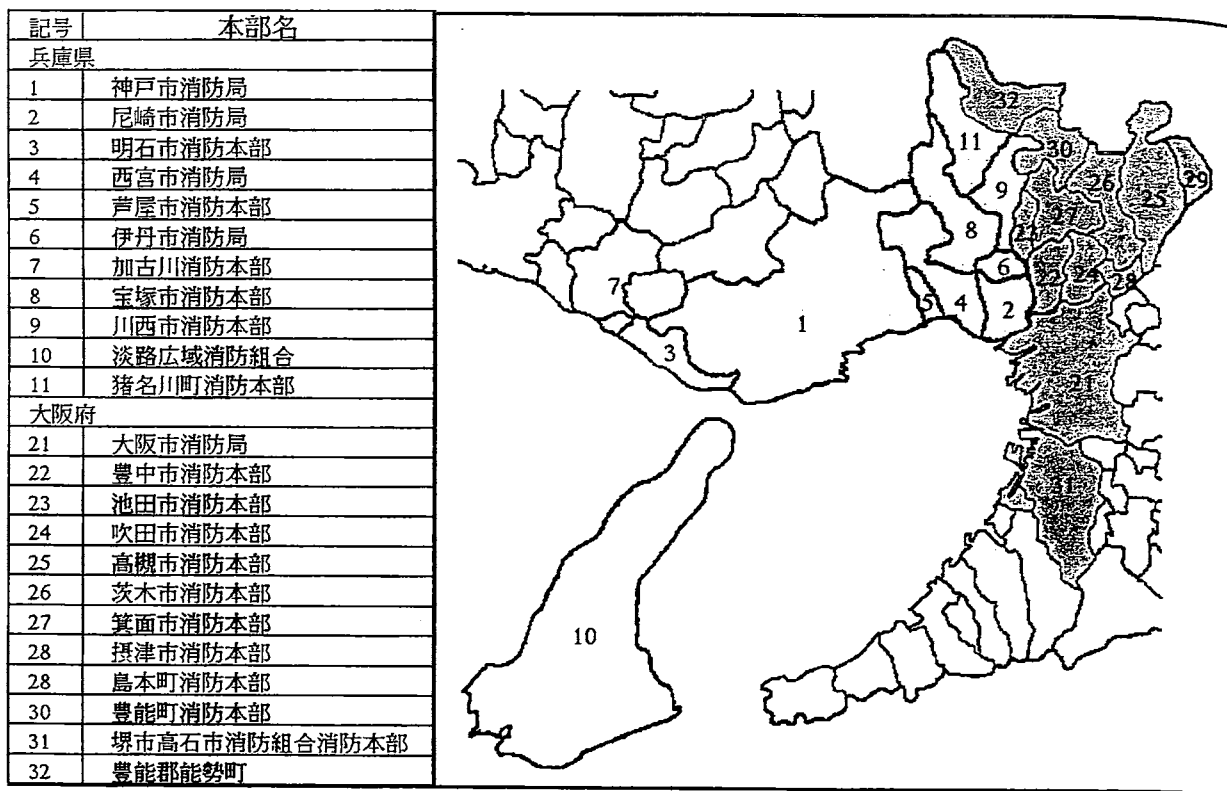


図1 調査対象消防本部

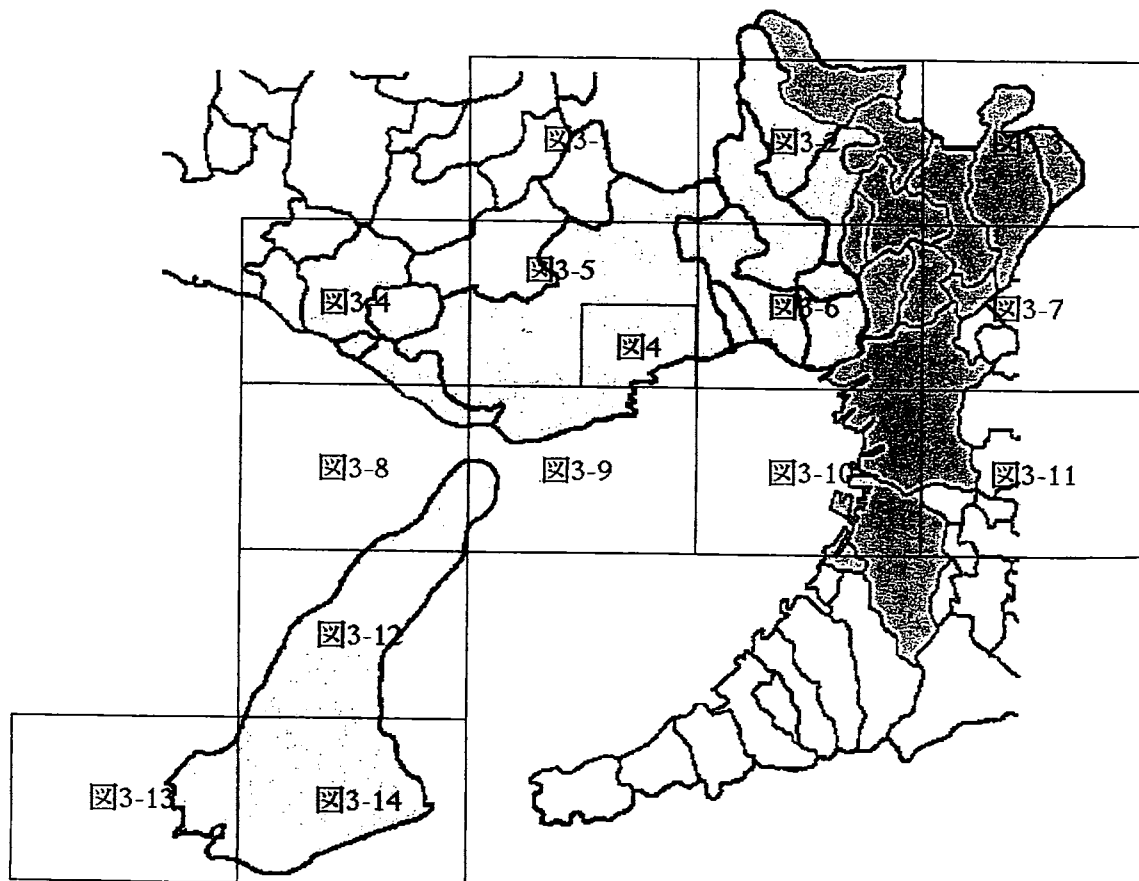


図2 調査対象地域と火災場所地図の配置

表1 1995年兵庫県南部地震後10日間の火災

管轄 No	管轄 内 No.	発生時刻	発知時刻	鎮圧時刻	鎮火時刻	火災場所	種別	焼損面積 (㎡)	焼損面積 面積 (㎡)	焼損(その他)	全焼 (棟)	半焼 (棟)	部分 焼 (棟)	ほや 焼 (棟)	罹災 世帯 数(世 数)	罹災 人員 数(人)	死 亡 (人)	負 傷 (人)	出火源	発知方法	地区の通称名
1	東灘	1/17 5:46	1/17 5:50	1/17 20:00	1/17 22:00	青木6	建物	9970			102		1		86	225			不明		青木駅前
2	東灘	1/17 5:46	2/13 17:00	1/17 6:30	1/17 6:30	北青木2	建物												配電用変圧器		
3	東灘	1/17 5:46	3/10 14:00	1/17 不明	1/17 10:00	御影塚町1	建物	706			1								石油ストーブ		
4	東灘	1/17 5:48	1/17 5:50	1/17 10:00	1/17 10:00	御影町御家	建物	765											不明		御影町御家
5	東灘	1/17 5:49	1/17 5:51	1/17 不明	1/17 不明	本庄町1	建物	3524			39	2							不明		本庄町1
6	東灘	1/17 5:50	1/17 5:50	1/17 14:00	1/17 15:00	魚崎南町8	建物	3260			30		6						不明		魚崎南町8
7	東灘	1/17 5:50	1/17 6:15	1/17 13:10	1/17 13:10	本山南町4	建物	72			31	5							不明		
8	東灘	1/17 5:50	1/17 6:50	1/17 12:00	1/17 12:00	御影石町3	建物	4973											不明		御影石町3
9	東灘	1/17 5:51	1/17 6:50	1/17 12:00	1/17 12:00	住吉本町2	建物	363											不明		
10	東灘	1/17 6:00	1/17 23:30	1/18 3:00	1/18 4:00	岡本8	建物	323											不明		
11	東灘	1/17 7:00	1/17 7:51	1/17 16:40	1/17 16:40	住吉本町2	建物	800			10								不明		住吉本町2
12	東灘	1/17 8:00	1/17 8:50	1/17 11:15	1/17 11:30	御影塚町4	建物	486			4								不明		
13	東灘	1/17 8:00	1/17 8:40	1/17 15:30	1/17 16:00	住吉山手2	建物	242											不明		
14	東灘	1/17 8:50	2/21 9:20	1/17 9:30	1/17 9:30	御影塚町4	建物	22											不明		
15	東灘	1/17 13:20	1/17 13:25	1/17 15:40	1/17 15:40	本庄町3	建物	100											不明		
16	東灘	1/17 14:00	1/17 14:05	1/18 10:00	1/19 10:00	魚崎北町5-6	建物	6510			85	5							不明		魚崎北町5-6
17	東灘	1/17 19:00	2/25 12:00	1/17 不明	1/17 19:20	深江北町3	建物	9											不明		
18	東灘	1/18 19:05	1/18 19:45	1/19 3:30	1/19 8:55	本山中町2	建物	1596			14	1							不明		
19	東灘	1/18 19:15	1/18 19:35	1/18 20:36	1/18 20:36	深江南町1	建物	17											不明		
20	東灘	1/19 1:55	1/19 3:26	1/19 6:00	1/19 12:00	本山中町4	建物	688			5								不明		
21	東灘	1/19 9:00	1/19 9:30	1/21 13:00	1/21 16:00	住吉本町1	建物	3493			1								不明		
22	東灘	1/19 11:05	1/19 11:07	1/19 12:30	1/19 12:30	魚崎北町8	建物	129											不明		
23	東灘	1/19 15:00	1/19 15:05	1/19 15:20	1/19 15:30	深江本町2	建物	42											不明		
24	東灘	1/20 18:35	1/20 19:00	1/20 19:10	1/20 19:10	深江南町2	建物												不明		
25	東灘	1/23 7:20	1/23 7:25	1/23 不明	1/23 14:30	深江北町3	建物												不明		
26	東灘	1/23 11:30	1/23 11:52	1/23 12:20	1/23 12:20	岡本2	建物	50											不明		
27	東灘	1/25 13:23	1/25 13:28	1/25 13:40	1/25 13:40	岡本2	建物												不明		
28	東灘	1/25 17:35	1/25 17:40	1/25 17:50	1/25 17:50	森北町1	建物												不明		
29	灘	1/17 5:50	1/17 5:50	1/17 15:30	1/18 12:00	六甲町1-2	建物	29160			170	1	31						不明		六甲町1-2
30	灘	1/17 5:50	1/17 5:50	1/17 17:00	1/17 17:00	琵琶町1	建物	9744			85		9						不明		琵琶町1
31	灘	1/17 5:50	1/17 5:50	1/17 8:00	1/17 8:00	上河原通4	建物	230			2		4						不明		
32	灘	1/17 5:50	1/17 5:50	1/17 12:30	1/17 14:30	灘北通5	建物	450			3								不明		
33	灘	1/17 5:50	1/17 9:00	1/17 19:00	1/17 19:00	新在家北町2	建物	1953			21		4						不明		新在家北町2
34	灘	1/17 5:50	1/18 10:00	1/17 12:00	1/17 12:00	灘南通6	建物	205											不明		
35	灘	1/17 5:50	1/17 11:10	1/18 12:00	1/18 12:00	大石南町3	建物	2819			16		4						不明		大石南町3
36	灘	1/17 5:50	1/17 12:50	1/17 14:30	1/17 17:00	中郷町4	建物	3850			19	1							不明		中郷町4
37	灘	1/17 5:50	1/17 13:00	1/18 5:00	1/18 5:00	新在家南町3	建物	372			2		1						不明		
38	灘	1/17 5:50	1/17 11:00	1/17 7:00	1/17 7:00	永手町5	建物	1											不明		
39	灘	1/17 5:50	1/17 23:16	1/17 19:00	1/17 19:00	鳥帽子町1	建物	1016			1								不明		
40	灘	1/17 5:50	1/17 11:00	1/17 17:00	1/17 20:00	大石南町2	建物	1234			6		1						不明		
41	灘	1/17 5:50	1/17 17:00	1/17 15:00	1/17 19:00	永手町1	建物	185			3		4						不明		
42	灘	1/17 8:00	1/17 8:10	1/20 17:00	1/20 17:00	篠原南町2,神前町4	建物	8596			85		17						不明		神前住宅前 鹿の下の通3
43	灘	1/17 8:30	1/17 9:07	1/17 14:00	1/20 12:00	鹿の下の通3	建物	3675			36		6						不明		
44	灘	1/17 10:00	1/17 10:00	1/17 15:00	1/17 17:00	六甲町2	建物	1164			6								不明		
45	灘	1/17 14:00	1/17 16:02	1/18 3:00	1/18 4:00	下河原4	建物	31			6		6						不明		
46	灘	1/18 0:00	1/18 0:45	1/18 3:00	1/18 4:00	原田通2	建物	457											不明		

Total No	管轄内 No.	管轄	発生時刻	発知時刻	鎮圧時刻	鎮火時刻	火災場所	種別	焼損面積 (㎡)	焼損面積 (㎡)	焼損 (その他)	全焼 (棟)	半焼 (棟)	部分焼 (棟)	ぼや (棟)	罹災世帯数 (世帯)	罹災人員数 (人)	死亡 (人)	負傷 (人)	出火源	覚知方法	地区の通称名
47	19	灘	1/18 7:43	1/18 7:44	1/18 9:00	1/18 9:30	桜ヶ丘15	建物	68					1		10	29			不明		
48	20	灘	1/20 3:14	1/20 3:14	1/20 5:00	1/20 5:00	深田町3	建物	1					1		1	1			電子レンジ		
49	21	灘	1/21 2:10	1/21 2:16	1/21 2:30	1/21 2:30	福住町1	建物	3					1		1	1			放火		
50	22	灘	1/26 22:05	1/26 23:10	1/27 3:00	1/27 3:00	岩屋中町1	その他	80											不明		
51	1	灘合	1/17 5:46	1/17 5:52	1/17 12:30	1/17 18:00	日暮通1	建物	2024				22		4	59	89	15		不明		日暮通1
52	2	灘合	1/17 5:46	1/17 5:52	1/17 8:30	1/17 17:00	脇浜町2	その他												不明		
53	3	灘合	1/17 5:46	1/17 5:52	1/17 14:00	1/17 14:00	香菱通6	その他										4		不明		
54	4	灘合	1/17 5:46	1/17 5:52	1/17 10:00	1/17 10:00	脇浜町1	その他												焼却炉		
55	5	灘合	1/17 5:46	1/17 9:30	1/17 14:00	1/17 17:00	脇浜町2	建物	470			2		1		18	19	3		不明		
56	6	灘合	1/17 6:30	1/17 6:40	1/17 23:30	1/17 23:30	宮本通5	建物	2702			16	6			45	77	1		不明		宮本通5
57	7	灘合	1/17 6:30	1/30 7:30	1/17 7:30	1/17 8:00	宮本通4	建物	40					1						不明		
58	8	灘合	1/17 7:20	1/27 11:00	1/17 8:20	1/17 9:00	生田町1	建物	10					1						不明		
59	9	灘合	1/17 8:00	1/17 9:00	1/17 9:30	1/17 9:40	御幸通6	その他												不明		
60	10	灘合	1/17 9:30	1/17 9:40	1/17 10:30	1/17 10:30	八幡町1	建物	45					1		1	1			不明		
61	11	灘合	1/17 13:30	1/17 13:45	1/17 17:50	1/17 17:50	二宮町1	建物	1576			9	1			24	34			不明		
62	12	灘合	1/17 19:00	1/17 20:00	1/17 22:00	1/17 23:40	生田町1	建物	28					1		4	7	1		不明		
63	13	灘合	1/18 0:45	1/18 0:55	1/18 2:30	1/18 10:00	大日通6	建物	1012			6	1		1	28	68			不明		大日通6
64	14	灘合	1/18 2:20	1/18 2:25	1/18 4:50	1/18 5:10	磯辺通1	建物	35					1						不明		
65	15	灘合	1/19 10:46	1/19 10:51	1/19 11:10	1/19 11:20	東雲通1	建物	40			1		2		2	5			不明		
66	16	灘合	1/21 7:15	1/21 7:18	1/21 7:30	1/21 7:45	籠池通4	車両			ペンタ台	1	1							自動車内配線		
67	17	灘合	1/22 8:35	1/22 8:39	1/22 9:30	1/22 10:00	東雲通4	建物	116			1		1		7	14			熱帯魚器具コード		
68	18	灘合	1/22 11:10	1/22 11:16	1/22 11:40	1/22 11:40	日暮通1	建物			若干									放火		
69	19	灘合	1/25 21:22	1/25 21:22	1/25 21:30	1/25 21:30	坂口通1	車両			原付自転車1台											
70	1	生田	1/17 5:50	1/17 6:05	1/17 9:10	1/17 10:30	中山手通1	建物	149			1				2	4			石油ストーブ		
71	2	生田	1/17 6:00	1/17 6:30	1/17 13:00	1/17 13:00	海岸通12	建物	133					1						薬品の化学反応		
72	3	生田	1/17 6:00	1/29 16:00	1/17 20:00	1/17 20:00	東町116	建物	30					1						備科技工ハンドピース		
73	4	生田	1/17 7:00	1/17 7:30	1/17 11:30	1/17 11:30	山本通3	建物	152					1		7	16			熱帯魚用ヒーター		
74	5	生田	1/17 11:00	1/17 11:20	1/17 12:30	1/17 12:30	中山手通4	建物	30					1		1	1			ビデオデッキのコード		
75	6	生田	1/17 15:00	1/17 15:30	1/17 17:30	1/17 17:30	中山手4	建物	25					1		1	2			電気スタンド		
76	7	生田	1/19 7:00	1/19 7:30	1/19 10:30	1/19 13:00	三宮町2	建物	1391			7	7			1	4			不明		
77	8	生田	1/20 0:35	1/20 0:30	1/20 0:40	1/20 0:40	中町通4	車両			ペンツ後部座席									ライター		
78	9	生田	1/20 1:55	1/20 2:00	1/20 2:12	1/20 2:12	東川崎町1	その他			ゴミ若干									ローソク		
79	10	生田	1/20 17:50	1/20 18:00	1/20 18:10	1/20 18:10	下山手2	建物			電気ストーブ1台			1						電気ストーブ		
80	11	生田	1/21 12:28	1/21 12:32	1/21 12:45	1/21 12:45	中山手通7	建物			印刷機1機									印刷機のコード		
81	1	水上	1/17 7:00	2/6 11:00	1/17 7:10	1/17 7:10	港島中町2	建物	1					1		1	3			電気ストーブ		
82	2	水上	1/17 8:15	1/17 8:20	1/17 8:28	1/17 8:28	港島中町3	建物	0							1	2			電気ストーブ		
83	3	水上	1/18 2:00	1/18 2:13	1/18 2:40	1/18 2:40	港島中町3	建物	85					1		16	49			電気スタンド		
84	4	水上	1/19 1:20	1/19 1:36	1/19 14:00	1/19 16:00	港島中町8	建物	3600			1								不明		
85	5	水上	1/23 9:50	1/23 10:05	1/23 12:00	1/23 12:00	港島中町8	建物	5273			43		2		87	162	25		不明		中運通6
86	兵庫	1/17 5:48	1/17 6:00	1/17 18:00	1/18 不明	中運通6	建物							1		1	1			不明		
87	兵庫	1/17 5:49	1/17 5:55	1/17 17:30	1/17 18:00	吉田町1	建物	435			木製浴槽の一部	6			2					風呂かまど		
88	兵庫	1/17 5:50	1/17 17:30	1/17 18:00	1/17 19:40	塚本通5	建物	11500						2						風呂ポイラー		塚本通5
89	兵庫	1/17 5:50	1/17 5:55	1/18 5:00	1/20 3:00	湊川町1-2	建物	658				146	2	1	12	111	217	8		不明		湊川町2
90	兵庫	1/17 5:50	1/17 6:00	1/17 11:00	1/18 7:00	荒田町3	建物	94787				4		3		21	24	8		不明		荒田町3
91	兵庫	1/17 5:52	1/17 5:52	1/18 3:00	1/24 9:30	松本通3-6~7, 大井通3, 会下山町2	建物				643	5	18	34	1,021	1,764	40			不明		会下山南
92	兵庫	1/17 5:55	1/17 6:00	1/17 6:20	1/17 6:20	鶴越町6	建物				排水パイプ8m				1					風呂かまど		
93	兵庫	1/17 5:55	1/17 6:00	1/17 21:00	1/18 12:00	下沢通2	建物	4492				15	6	1		108	391	10		ガスコンロ		下沢通2
94	兵庫	1/17 5:56	1/17 6:00	1/17 13:00	1/17 19:00	笠松町5	建物	2190				26				18	75	3		不明		
95	兵庫	1/17 6:00	1/17 6:05	1/17 10:30	1/17 12:00	樽川町10-	建物	236				1				7	12	1		不明		
96	兵庫	1/17 6:00	1/17 9:30	1/17 11:30	1/17 15:00	門口町4-	建物	1247				2	1			12	22	2		不明		
97	兵庫	1/17 8:00	1/17 10:00	1/17 15:00	1/17 17:00	塚本通2	建物	351						1		11	29	1		不明		

1995年1月17日 11:30 1247 建物 1 不明
 1995年1月17日 17:00 351 建物 5 不明

Total No	管轄内 No.	発生時刻	覚知時刻	鎮圧時刻	鎮火時刻	火災場所	種別	焼損面積 (㎡)	焼損 (その他)	全焼 (棟)	半焼 (棟)	部分焼 (棟)	ぼや (棟)	罹災世帯数 (世帯)	罹災人員数 (人)	死亡 (人)	負傷 (人)	出火原因	覚知方法	地区の通称名	
96	兵庫	1/17 8:00	1/17 9:30	1/17 11:30	1/17 15:00	門口町4-4	建物	1247													
97	兵庫	1/17 8:00	1/17 10:00	1/17 15:00	1/17 17:00	榑本通2	建物	351													
98	兵庫	1/17 8:00	2/15 13:00	1/17 8:10	1/17 8:10	渡川町6	建物	1					1	1	24	7		電気ストーブ		上沢通8	
99	兵庫	1/17 9:00	1/17 9:20	1/17 15:00	1/17 17:00	上沢通8	建物	3027		18				18	24			七輪ごんろ			
100	兵庫	1/17 9:00	1/20 10:00	1/17 9:20	1/17 9:30	荒田町3	建物	20			1			1	3			電気ストーブ			
101	兵庫	1/17 9:40	1/17 10:30	1/17 12:30	1/17 13:00	渡川町5	建物	61				1		1	2			不明			
102	兵庫	1/17 22:57	1/17 23:07	1/18 0:07	1/18 0:37	中瀬通7	その他	38										不明			
103	兵庫	1/18 1:30	1/18 2:00	1/18 2:40	1/18 3:00	東柳原町2	建物	47				1		1	2			不明			
104	兵庫	1/18 9:30	1/18 10:03	1/18 17:30	1/18 23:00	渡川町1	建物	2092		16				22	22	1		不明			
105	兵庫	20/18 11:15	1/18 12:00	1/18 16:00	1/18 16:30	荒田町1	建物	236	壁体3	1				6				放水			
106	兵庫	21/18 19:25	1/18 19:30	1/18 19:35	1/18 19:35	渡川町7	建物	20						1	2			コンセント			
107	兵庫	21/19 11:30	1/19 12:15	1/19 12:18	1/19 12:18	松原通4	建物							1	1			不明			
108	兵庫	23/19 17:40	1/19 17:56	1/19 18:20	1/19 18:20	芦原通1	車両		4、トラクタの荷物									残り火			
109	兵庫	24/19 22:50	1/19 22:53	1/20 3:00	1/20 7:00	三川口町2	建物	1098		8	3			18	28			不明			
110	兵庫	25/122 4:10	1/22 4:22	1/22 5:21	1/22 6:00	矢部町5	建物	151		3	1			5	9	2		不明			
111	兵庫	26/123 14:30	1/23 14:37	1/23 15:00	1/23 15:20	下沢通6	建物	40		1	5			6	16			不明			
112	兵庫	27/124 14:40	1/24 14:45	1/24 14:52	1/24 14:55	中瀬通6	建物	1							3			屋内配線の短絡			
113	兵庫	28/125 14:14	1/25 14:19	1/25 15:09	1/25 16:13	金平町1	建物	224		2	2			7	12			不明			
114	北	1/17 17:20	1/17 17:26	1/17 18:30	1/17 19:30	西大池2	建物	54		1	1			2	2			家庭用ガスコンロ			
115	北	1/24 20:02	1/24 20:09	1/24 20:20	1/24 20:20	八多町2	建物	1						1	2			石油ストーブ			
116	豊田	1/17 5:47	1/17 5:49	1/17 10:00		大澤通2・3、御船通2・3・4	建物	15114		229	3			339	762	8		不明		御船通	
117	長田	2/17 5:47	1/17 5:49	1/17 23:00		川西通1、大澤通1	建物	3133		12				10	20			不明		川西通1	
118	長田	3/17 5:47	1/17 5:49	1/18 不明		若松町3・4、大橋町3・4	建物	75840		434	2			474	861	8		不明		新喜田駅前	
119	長田	4/17 5:47	1/17 6:00	1/17 22:00		西代通4、戸崎通3	建物	19882		271	6			200	482	20		不明		西代市場	
(須藤)		1/17 5:47	1/17 6:00	1/18 7:00		大田1・2、戒町1	建物	24137		187	6			212	471	12		不明		西代市場	
120	長田	5/17 5:47	1/17 6:00	1/17 12:00		大塚町2	建物	125						1	3	1		不明			
121	長田	6/17 5:47	1/17 6:00	1/17 19:00		御蔵通5・6、北町3	建物	25509		216	1			8	253	542	27	不明		御蔵通	
122	長田	7/17 5:47	1/17 6:00	1/17 22:00		御蔵通2~4、普原通2~4	建物	57459		744	1			6	585	1539	60	不明		普原市場	
123	長田	8/17 5:47	1/17 6:00	1/18 不明		池澤町2・3、若松町10・11、日吉町5・6、野田町4、大橋町10	建物	89099		991	2			4	765	1805	73	不明		高橋病院	
124	長田	9/17 5:47	1/17 6:20	1/17 18:00		富池町2	建物	1013		11				23	50	2		不明			
125	長田	10/17 5:47	1/17 6:20	1/17 20:00		東原池町7・8	建物	4465		43	3			32	65	2		不明		東原池7	
126	長田	11/17 5:47	1/17 6:25	1/17 21:00		梅ヶ香町2	建物	2305		10	1							不明		梅ヶ香2	
127	長田	12/17 5:50	1/17 8:00			長栄町4	建物	69						1	1			ローソク			
128	長田	13/17 6:46	1/17 9:00	1/17 22:00		日吉町2	建物	3223		54				48	110	1		不明		日吉町2	
129	長田	14/17 9:00	1/17 11:00	1/18 14:20		松野通3・4、水堂通5・6、寺田町1・2、大池町1・2、御蔵通6、千歳町1・2、常盤町1・2	建物	142945		1311				1453	3326	48		不明		水堂西公園	
130	長田	15/17 10:00	1/17 10:10	1/17 21:00		二葉町5・6、久保町5・6、願塚5・6	建物	72295		385				20	434	908	5	不明		神戸子ハート南	
131	長田	16/17 11:30	1/17 12:00	1/17 19:00		細田町4	建物	8724		5	2			1	1			不明			
132	長田	17/18 8:30	1/24 15:00	1/18 18:00		三番町3	建物	176		1				?	?			不明			
133	長田	18/19 5:50	1/19 6:00	1/19 11:00	1/19 13:00	五番町2	建物	781		15				11	20			不明		五番町2	
134	長田	19/19 13:40	1/19 13:15	1/19 13:20	1/19 13:20	四番町3	建物	1						1	4			放水			
135	長田	20/19 19:10	1/19 19:15	1/19 23:30	1/20 1:00	二葉町1	建物	770		9	2			11	?			不明		二葉町1	
136	長田	21/19 22:54	1/19 22:59	1/19 23:20	1/20 不明	宮川町1	建物	80						3	?			不明			
137	長田	21/20 13:18	1/20 13:18	1/20 14:35	1/20 15:00	梅ヶ香町2	建物	38		1				1	3			不明			
138	長田	23/20 18:05	1/20 18:15	1/21 不明	1/21 不明	上池田3	建物	140		1				3	5			不明			
139	長田	24/123 19:42	1/23 19:52	1/23 21:30	1/24 1:30	梅ヶ香町1	建物	772		16				15	36			不明			
140	長田	25/125 19:00	1/25 19:38	1/25 20:00	1/25 20:00	南駒栄町1	その他	157	仮設テント4張ほか					1	1			電気配線の短絡			
141	長田	26/126 22:35	1/26 22:43	1/26 23:16	1/26 23:40	三番町1	建物	48						1	1			不明			
142	西	1/17 5:55	1/17 7:18	1/17 8:30	1/17 8:50	伊川谷町有瀬	建物	77						1	1			不明			
143	西	2/120 11:20	1/20 11:27	1/20 11:38	1/20 11:38	森友5	建物							1	1			不明			
144	須磨	1/17 5:50	1/17 5:51	1/17 6:40	1/17 6:40	中島町3	建物	68		1	1			1	3			不明		石油ストーブ	

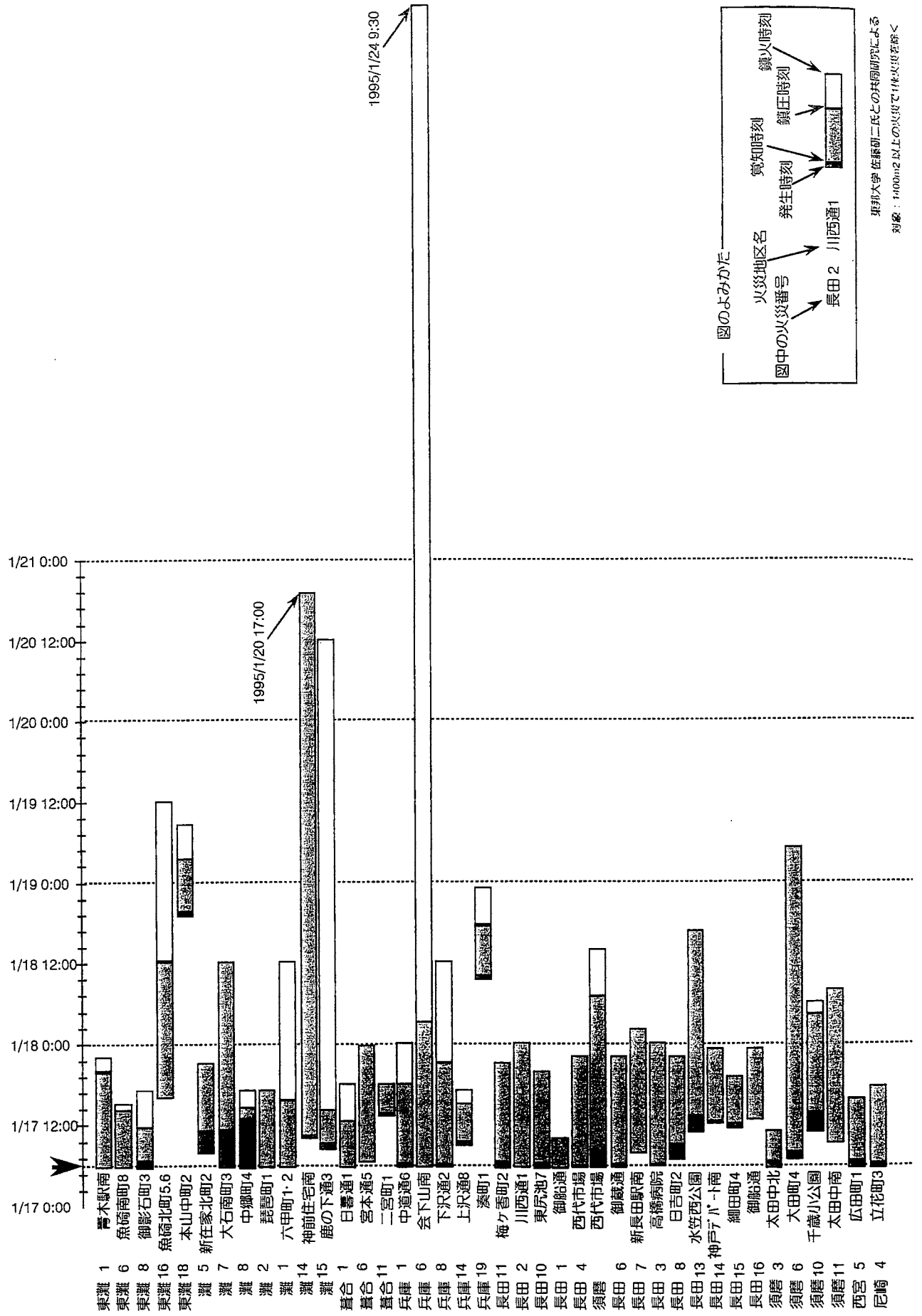


図5 大規模延焼地区の火災の継続時間

図のよみかた
 火災地区名
 火災番号
 長田 2 川西通1
 発生時刻
 鎮圧時刻
 鎮火時刻
 東邦大学 佐藤明二氏との共同研究による
 対象：1400m2以上の火災で1棟火災延焼区

阪神・淡路大震災における防災水槽・井戸の被害

吉原 浩

1. はじめに

地震時において被害の甚大な地域では、水道配水管に接続された消火栓は管路の被害により使用できないことが多い。阪神・淡路大震災においても阪神・淡路地方の広い地域が配水管路の被害などにより消火栓が使用できなくなった。また地震直後から火災がほぼ同時に多発し、防火水槽や井戸、河川や海水等の水利が重要となった。

地震時において、消火栓に比べて地震に強い防火水槽や井戸も被害を受けることがあり、新潟地震^{1,2)}や日本海中部地震³⁾の例があげられる。阪神・淡路大震災でも、防火水槽や防火井戸に被害が発生し消火活動に支障をきたした例があった。今後の地震時の消火活動を考慮した、防火水槽や井戸等の設計や配置計画に役立てるためには、阪神・淡路大震災における防火水槽や井戸の被害状況を調べることが必要である。

防火水槽や井戸の被害は兵庫県内に限られ、大阪府内ではこの地震によると推定される被害は確認されていない。よって、被害が発生していると推定される兵庫県南部の地域（淡路島を除く）の消防本部に協力いただき、公設（消防本部が管理しているもの）の防火水槽・防火井戸について、阪神・淡路大震災当時の設置状況および被害状況について調査を行った。ここでは、資料の得られた消防本部管内における公設の防火水槽及び井戸の被害状況について報告する。

2. 防火水槽・井戸の設置状況

公設の防火水槽の地震当時における設置数および被害状況を表1に示す。神戸市でとくに被害が大であった事が分かる。なお、減水に至らない軽微な被害も多数発生したが、消防本部により地震後の調査精度が異なるため、この報告の対象外とした。また、消防本部によっては、防火水槽として分類されているものの中に、無底水槽といわれるものが含まれている。無底水槽は水槽内に水を貯留するが、図1に示す例のように、底部から地下水が湧出する「井戸」であり、防火水槽とは構造が異なるため井戸に分類した。

3. 防火水槽の被害

(1) 神戸市

防火水槽の諸元が得られた934カ所について、防火水槽の設置場所別減水箇所を図2に、設置年代別の減水・非減水箇所数を図3に示す。道路下に設置されたものに被害が多いこと、設置年不明および1945年以前に設置されたものに被害が集中していることが分かる。漏水した水槽内部の亀裂の発生状況を見ると、水槽の側面に底面に平行な亀裂と垂直な亀裂が発生した例（写真1）、水槽の側面にX状に亀裂が生じた例（写真2）例などせん断破壊したものが多い。設置年

表1 防火水槽（無底水槽を除く）の被害状況

市	設置数	使用不能	減水
神戸市	964*	85**	
西宮市	333	4	2
芦屋市	50	1	0
伊丹市	123	0	0
宝塚市	345	2	12
三木市	311*	1	1
川西市	311*	0	0

* 平成6年4月1日現在

** 減水箇所数（水槽の破損による使用不能箇所を含む）

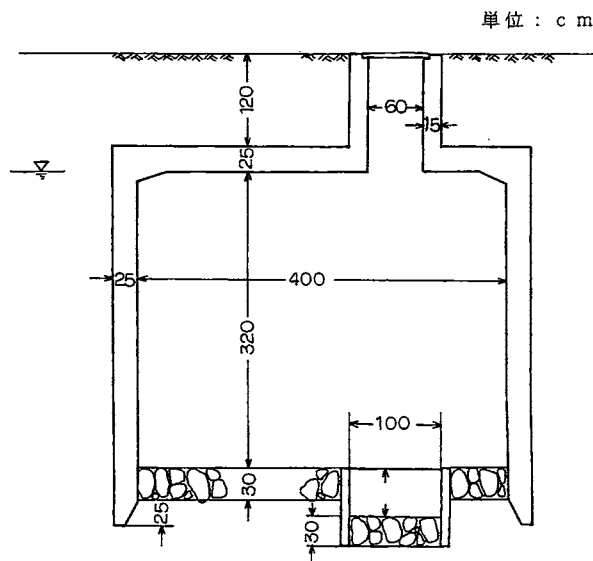


図1 無底水槽断面図（西宮市、40m³の例）

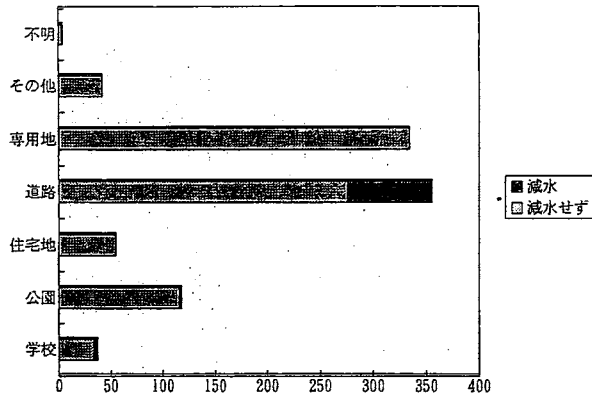


図2 公設防火水槽の設置場所種別減水・非減水箇所数 (神戸市)

不明の防火水槽は第二次世界大戦以前に設置されたと推定されることから、第二次大戦中あるいは以前に、現在と比較して粗悪な材料で製作されたものに被害が集中したものと考えられる。

木造住宅の倒壊率から震度の分布⁴⁾が推定された、六甲山地と臨海埋め立て地との間の市街地の防火水槽430箇所について、減水被害の発生率と震度との関係を図4に示す。震度が大であるほど減水を伴う被害の割合は大であることが分かる。

(2) 西宮市、芦屋市

防火水槽の被害状況と設置年代の関係を図5に示す。両市には1945年以前に設置されたものは少なく、減水したものは、1955年から1964年にかけての期間に設置されたものにやや多い傾向がある。防火水槽の被害と震度との関係(図6)はとくに認められなかった。減水に至らない軽微な被害としては、マンホール、蓋、採水口の破損等があった。

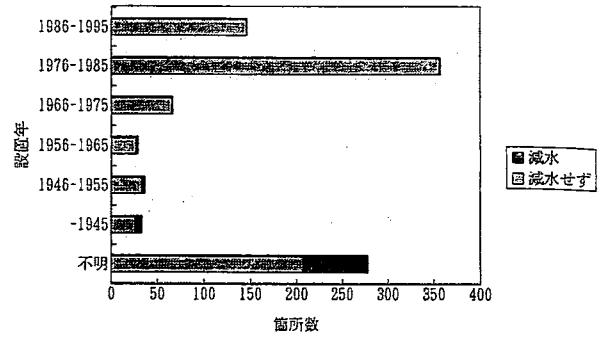


図3 公設防火水槽の設置年代別減水・非減水箇所数 (神戸市)

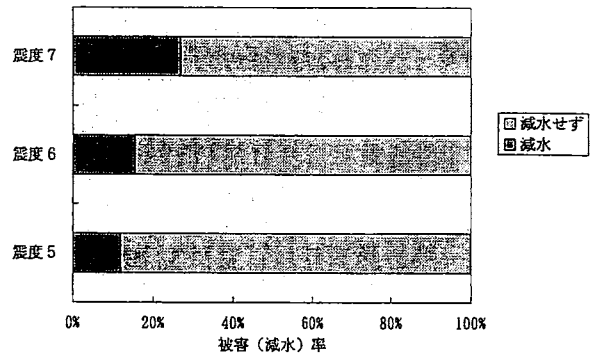


図4 神戸市内の公設防火水槽の被害(減水)率と震度の関係

4. 井戸の被害

今回の調査地域では、地震当時公設の消防用の井戸は西宮市に58箇所(うち31箇所は無底水槽)、芦屋市内に1箇所設置されていて、全体の17%が使用不能と

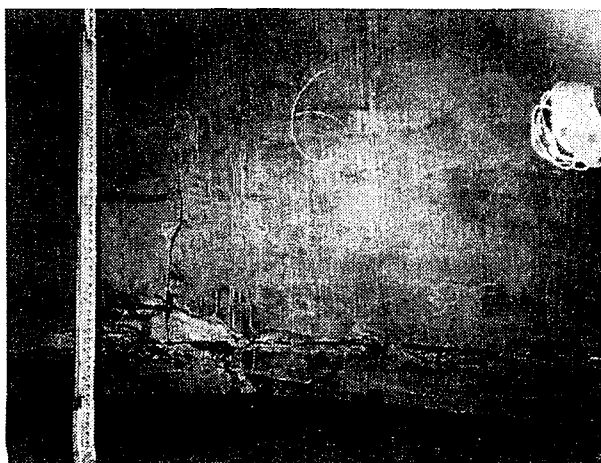


写真1 円筒型コンクリート製水槽の被害例 (神戸市消防局提供)

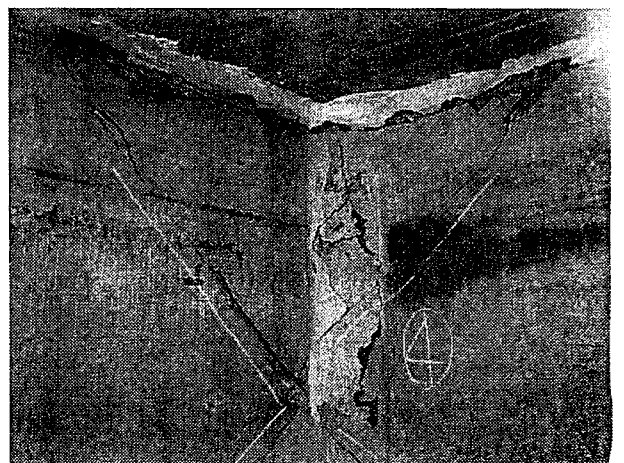


写真2 箱型コンクリート製水槽の被害例 (神戸市消防局提供)

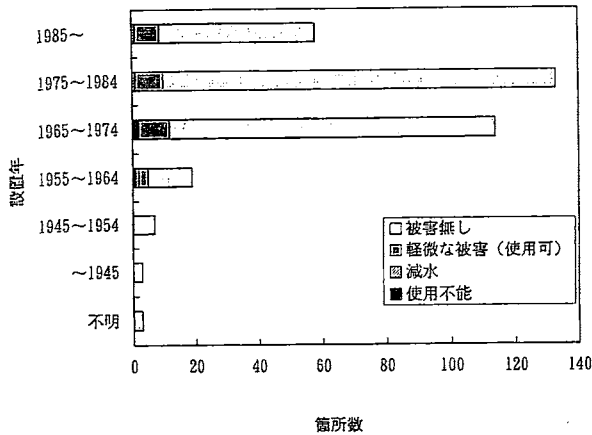


図5 公設防火水槽の設置年代別被害状況 (西宮市、芦屋市)

なった (表2)。神戸市には無底水槽が4ヶ所設置されていたがいずれも被害はなかった。井戸の使用不能となった被害は、液状化により底部から砂が流入し埋没したものが多い。また、湧水が止まったもの、スクリーンが砂で目詰まりしたものもみられた。被害状況と震度との関係を図7に示す。使用不能となった井戸の多くは震度5の地域にあることが分かる。

5. 防火水槽の耐震基準と被害状況

防火水槽を耐震基準により、①国庫補助基準により設置された現場打ち鉄筋コンクリート製のもの、②現場打ち鉄筋コンクリート製または二次製品 (工場て部材を製作し、現場で組立するもの。鋼製またはコンクリート製) の耐震性貯水槽 (国庫補助対象)、③その

表2 西宮・芦屋市内における公設の井戸・無底水槽の被害状況

被害状況	箇所数
使用不能	7(3)
軽微な被害 (利用可能)	1(3)
被害無し	19(26)
合計	27(32)

() は無底水槽

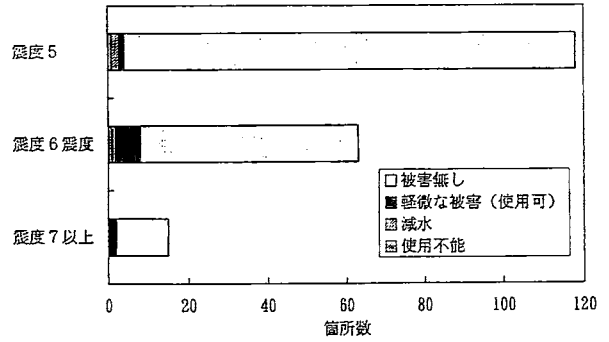


図6 公設防火水槽の震度別被害状況 (西宮市、芦屋市)

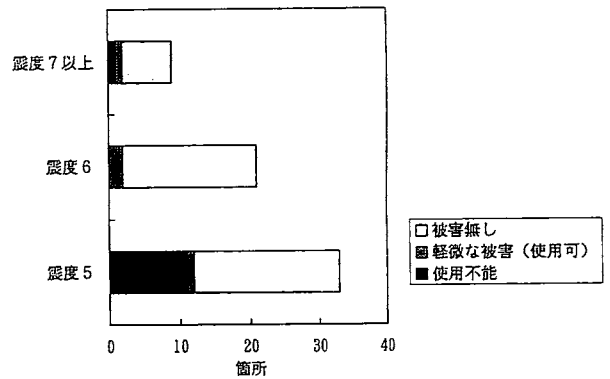


図7 公設井戸の震度別被害状況 (西宮市、芦屋市)

他のもの、に分類出来る。①は、鉄筋量、壁厚及びコンクリートの強度等を規定することにより、耐震性とは称していないが過去の地震でとくに被害を受けていない。②は設計基準が規定されている (設計水平震度0.288等)⁵⁾。

西宮市内の防火水槽について、防火水槽の被害と国庫補助対象、耐震性の有無との関係を表3に示す。ここで耐震性有りとしたものは二次製品の防火水槽で設置業者が「耐震性」と称しているもので、②の基準を満たし国庫補助対象となったものはそのうち2カ所である。その他の防火水槽の耐震性については確認していないが、耐震性と称されているものには減水または使用不能に至るような重大な被害は発生していない。国庫補助によるものでは、耐震性の有無にかかわらず、減水または使用不能に至った被害はなかった。このことから、防火水槽の現行の設計基準は、阪神・淡路大震災における西宮市の設置状況および地震動に対して十分な耐震性を有するのではないかと考えられる。

表3 西宮市内の公設防火水槽の被害と国庫補助の有無、耐震性との関係

国庫補助	国庫補助による		国庫補助以外		合計
	有	無	有	無	
耐震性の有無					
被害状況					
使用不能	0	0	0	4	4
減水	0	0	0	2	2
軽微な被害 (利用可能)	2	4	6	17	29
被害無し	3	19	44	232	298
合 計	5	23	50	255	333

6. おわりに

阪神・淡路大震災における防火水槽・井戸の被害状況について調査したところ、以下のことが分かった。

(1) 神戸市における防火水槽の減水に至る被害は、道路下に設置され、1945年以前あるいは設置年代不明

の古いものに集中している。西宮市の防火水槽は、現行の設計基準あるいはそれに準じたものは減水に至る被害を受けていない。

(2) 井戸は液状化により底部から砂が流入し、埋設した例が多い。

今回の報告では防火水槽の被害と、防火水槽の構造、設置条件との関係の検討が十分とはいえず、今後の課題としたい。

なお、阪神淡路大震災における防火水槽、井戸の被害状況、設置状況に関する資料の入手などにあたり、関係の各消防本部には震災後の御多忙中のところ多大の御協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 消防庁：新潟地震火災に関する研究（1965）
- 2) 吉原 浩：防火水槽・防火井戸の地震被害判別モデル—新潟地震における被害事例の検討—、日本地質学会第101年大会講演要旨（1994）
- 3) 吉原 浩：消防水利の被害と微地形区分—昭和58年日本海中部地震における能代市の例—、消防輯報、No.45、41-44（1991）
- 4) 中央開発株式会社：1995年兵庫県南部地震阪神大震災災害調査報告書（1995.3）
- 5) 消防科学総合センター：消防用設備のしくみとはたらき（消防水利編）（1994.3）

阪神・淡路大震災における火災の発生状況と 焼け止まり状況について

関沢 愛

1. はじめに

1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災は、このちょうど1年前に米国ロサンゼルス市近郊で発生した都市直下型のノースリッジ地震によって得られた幾つかの重要な教訓¹⁾を、苦い思いで再びかみしめる結

果となった。いや、これらの教訓を我が国で活かす間もなく最悪のシナリオが発生してしまったと言うべきかもしれない。これらの2つの都市直下型地震は、被害程度の差こそあれ共通する点が少なくない。火災被害関係についてだけでも、同時多発火災の発生のほか²⁾、消火栓の被害など幾つかの消防活動障害³⁾をあげ

表2.1 地震発生から3日間に発生した火災件数 (神戸市内)

	1月17日					1月17日 合計	1月18日 合計	1月19日 合計	3日間 合計
	~6:00	~7:00	~8:00	~9:00	~24:00				
東灘区	10	1	2	1	3	17	2	4	23
灘区	13	0	1	1	2	17	2	0	19
中央区	8	4	2	1	5	20	3	3	26
兵庫区	11	0	2	1	3	17	4	3	24
長田区	12	1	0	1	3	17	1	4	22
須磨区	4	3	0	4	2	13	2	1	16
垂水区	0	0	0	0	6	6	0	0	6
北区	0	0	0	0	1	1	0	0	1
西区	1	0	0	0	0	1	0	0	1
神戸市合計	59	9	7	9	25	109	14	15	138

表2.2 地震発生から3日間に発生した火災件数 (神戸市以外)

	1月17日					1月17日 合計	1月18日 合計	1月19日 合計	3日間 合計
	~6:00	~7:00	~8:00	~9:00	~24:00				
西宮市	11	11	1	1	10	34	4	3	41
芦屋市	4	4	1	0	0	9	2	2	13
尼崎市	3	2	1	0	2	8	—	—	8
伊丹市	2	2	2	1	0	7	—	—	7
明石市	0	0	0	1	5	6	—	—	6
宝塚市	2	0	0	0	2	4	—	—	4
川西町	1	2	0	0	0	3	—	—	3
淡路市	1	1	0	0	0	2	—	—	2
大阪市	7	4	1	1	2	15	—	—	15
豊中市	2	1	0	1	0	4	1	0	5
その他計	3	1	0	0	0	4	—	—	4
周辺都市計	36	28	6	5	21	96	7	5	108

(注) “—” は、地震火災として件数が、計上されていないことを示す。

ることができる。しかしながら、こうした共通条件の多い中で被害結果に現れた大きな差も指摘しておく必要がある。それは、大規模市街地火災の発生である。ノースリッジ地震ではモービルホームパークなど特殊なケース以外にはそれは発生しておらず、一方、阪神・淡路大震災ではそれが発生した。その大きな理由の一つは、延焼危険の差、すなわち建ぺい率や道路率、道路幅員など市街地条件の彼我の歴然たる差にあると筆者は考えている。今回の阪神・淡路大震災からあらためて提起された都市防火の重要な課題の一つは、防火上脆弱な木造密集地域を抱える都市の延焼防止対策をどう進めるかということである。

ここでは、まず、阪神・淡路大震災における火災の発生状況について述べ、次いで今回の地震直後に消防研究所が行った市街地火災現地調査の結果¹⁾に基づき、市街地火災の延焼焼け止まり状況について報告する。

2. 火災の発生状況

2.1 時系列的にみた火災発生状況

表2.1および表2.2は、それぞれ神戸市内(各区と計)および神戸市外の被災地域の市町における1月17日～19日の時間別火災発生状況を示したものである。神戸市では、地震発生当日に109件の火災が発生した。翌2日間は、14件、15件であったが、それ以降は一桁

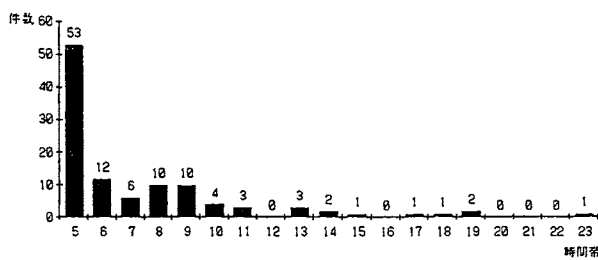


図2.1 17日中に発生した神戸市内の火災の時間帯別発生状況 (神戸市消防局調)

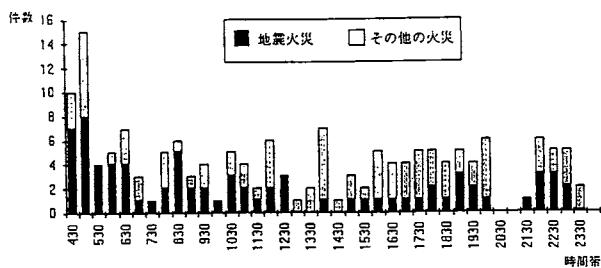


図2.2 ノースリッジ地震のとき地震当日中にロサンゼルス市消防局管内で発生した火災の時間帯別発生状況¹⁾

台と徐々に漸減し、地震後10日間の出火件数の合計は175件となっている。しかし、1万m²を越す大規模火災11件は全て17日中に発生しており、また地震直後6時までの間に59件の火災(うち約40件が炎上火災)が発生するという地震後同時多発火災の様相を呈した。

図2.1は、地震発生当日の1月17日中に神戸市内で発生した火災の1時間刻みの時間帯別発生状況である。図2.1の中で5時台は地震発生時刻の5時46分以降の14分間のものである。この図から明らかなように、17日に発生した火災の半数は地震直後の5時台に集中している。しかし、17日中をとってみても残りの約半数は6時台以降に発生しており、しかも数時間以上経過してからも少しずつ発生している。実は、このような火災発生状況は、図2.2に示すノースリッジ地震の際におけるロサンゼルス市消防局管内での時間帯別火災発生状況¹⁾ときわめてよく似ている。

このような火災の発生パターンについて、ロサンゼルス市消防局は、地震火災の第一波は主にガス漏れに起因する同時多発的の火災であり、そして第二波として地震発生以降散発的に発生した火災は、損壊していた家屋などで電力供給の再開とともに発生した電氣的火災(electricalと表現)と説明している²⁾。

阪神・淡路大震災に伴う火災の原因については、ガス漏れと電気の通電再開に伴う出火がかなりあったという事実^{6,7)}を、近代都市型の地震時出火の新たな傾向として、ノースリッジ地震時の火災発生パターンとの共通性とともに注目しておく必要がある。

さて、図2.3は、表2.1と表2.2から19日までの火災件数が記録されている神戸市(各区)、芦屋市、西宮市について、地震後の時間経過ごとに火災の発生時間帯を、17日の「直後～6時」、「6時～9時」、「9時～24時」、および「18日～19日」の4つに分けて火災件数の内訳比率をグラフにして示したものである。地震直後における同時多発火災の集中度は、神戸市の灘区(68%)、長田区(55%)で特に高く、ついで大阪市、

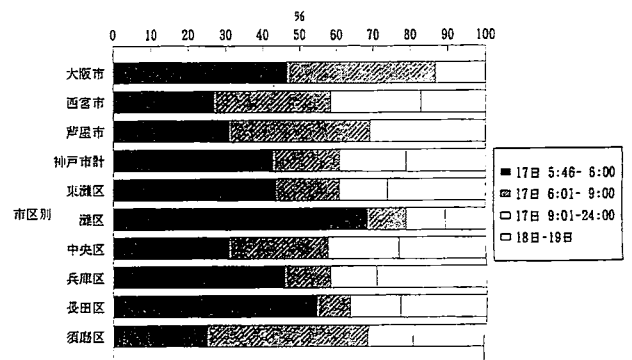


図2.3 地震後の時間経過別の火災発生状況

兵庫区、東灘区が40%以上と高い比率を示している。しかしながら、午前9時までに発生した火災の割合で見ると、大阪市(87%)、灘区(79%)を除くと、どこもほぼ60~70%となっており、地震後3時間程度のうちに大半の火災が発生していることがわかる。

2.2 火災発生 の地域別分布

図2.4は、1月19日までに阪神地域で発生した火災の地域別分布状況を示したものである。神戸市内における火災をみると、大規模延焼火災の集中した長田区以外でもほぼ均一に発生していることがわかる。実は、今回の火災は、図2.5⁸⁾に示した長田区周辺における震度分布と焼失区域の関係にみられるように家屋被害とはほぼ比例して、震度6以上、とりわけ震度7以上地域に多く発生している。この事実から、長田区など特定の地域で大規模延焼火災が多発したのは、単に出火点が多かったためではなく、それらの地域における木造率、道路率や道路幅員などの要因の影響、すなわち延焼危険性の高さの故であることが推察できる。

図2.6⁹⁾および図2.7は、集計単位としてはやや大きい。神戸市内の被災地域各区と西宮市、芦屋市について、阪神・淡路大震災における平均火災規模(火災1件当たりの平均焼損棟数)と、それぞれ平均木造率および平均隣棟間隔との関係を示したものである。これをみると、それぞれ右上がり、および右下がりの傾向がみられ上の推察を裏づけている。そして、長田区

は、木造率および隣棟間隔のどちらの指標についても、延焼危険上不利な条件にあったことがわかる。

2.3 規模別にみた火災発生状況

表2.3は、神戸市と神戸市周辺の被災地域の市・町・区別の延焼規模別にみた建物火災発生状況(地震直後から19日の間)である。また、図2.8は、表2.3から、神戸市、芦屋市、西宮市、大阪市について、火災発生件数の規模別内訳をグラフにして表したものである。

これらをみると、焼損面積10,000m²以上の大規模火災11件は、神戸市須磨区東部・長田区・兵庫区に集中していることがわかる。また、焼損面積1,000m²以上という規模でみると、該当する火災52件のうち50件は神戸市内で発生している。さらに、焼損棟数では97.6%、焼損面積では98.1%が神戸市に集中している。また、神戸市内だけでみると、東灘区から須磨区にかけての震度7に相当する被害を受けた一帯では、3日間の出火件数は20件前後とほぼ同じであるが、焼損被害は長田区に集中していることがわかる。(図2.9参照)

一方、地震直後から19日までに発生した建物火災件数(焼損面積不明分を除く)は、表2.3に示した範囲内では合計240件である。そのうち神戸市内で137件、神戸市以外では103件となっており、神戸市以外でも相当数の火災が発生していたことがわかる。地域別の火災被害(延焼程度)の大きさを測る指標として、火災1件当たりの平均焼損棟数をみると、明らかな違い

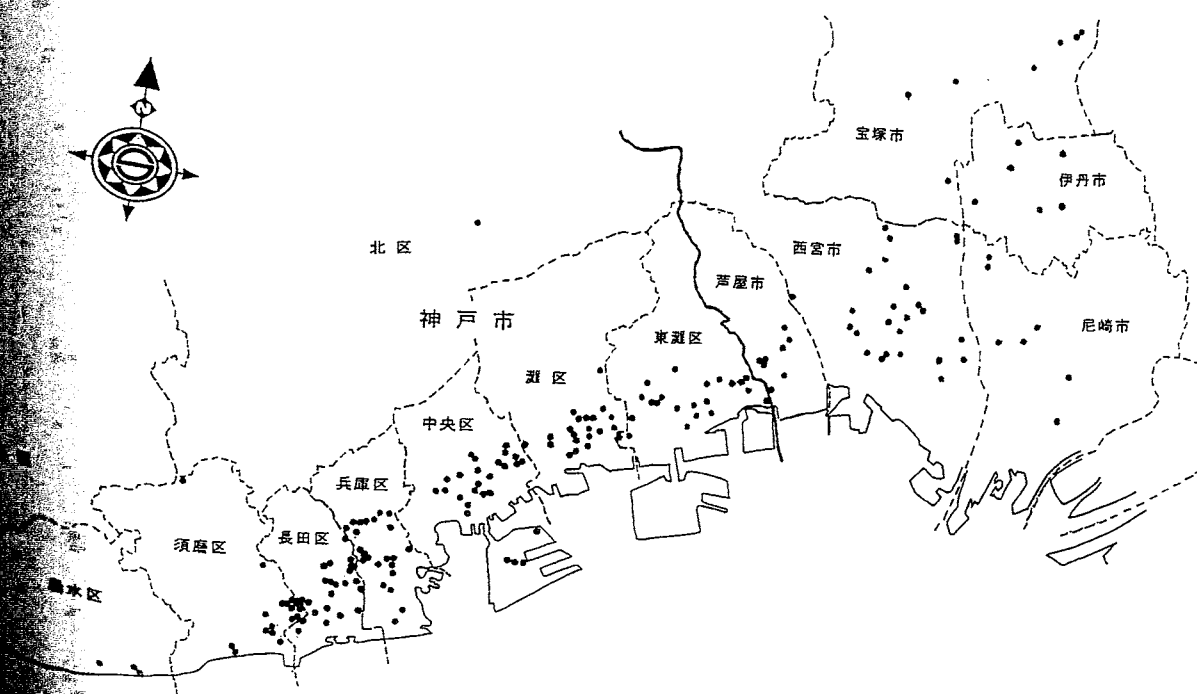


図2.4 阪神地域における出火点の分布⁸⁾ (地震発生後から1月19日までの火災)

*出火点位置は神戸市内については神戸市消防局、また、神戸市外については神戸大学室崎研究室の資料による

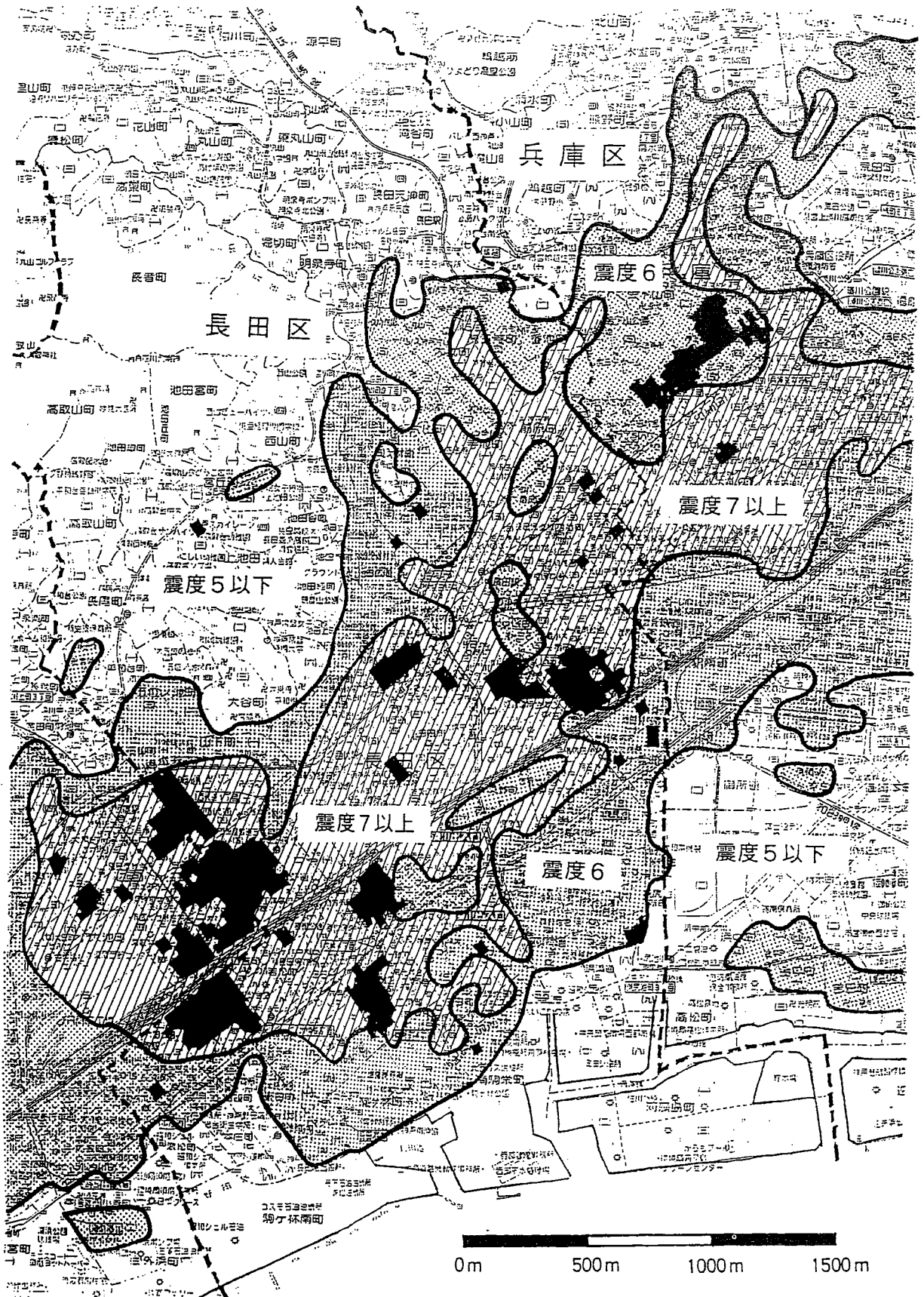


図2.5 長田区周辺における震度分布と焼失区域の関係⁸⁾

※1 震度分布は、中央開発（株）調べ⁹⁾による。

※2 黒く塗りつぶした部分は、焼失区域を示す。

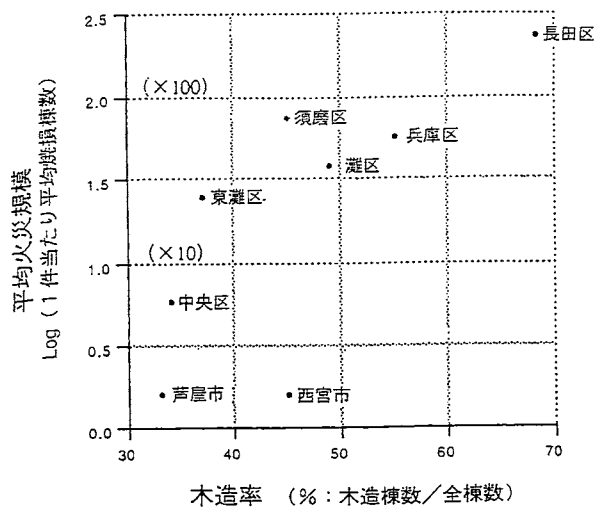


図2.6 火災1件当たり平均焼損棟数と木造率¹⁰⁾

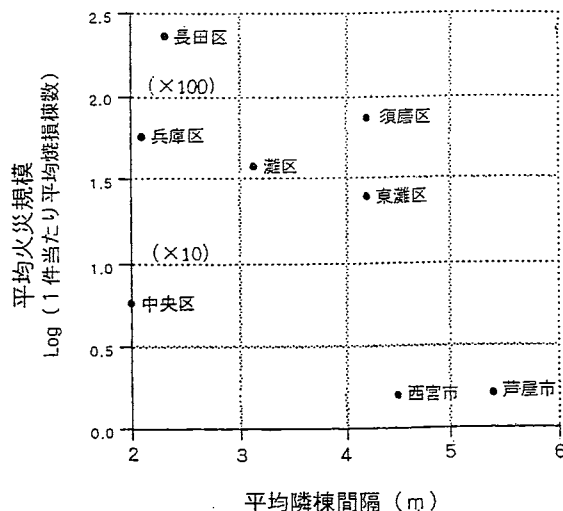


図2.7 火災1件当たり平均焼損棟数と平均隣棟間隔

表2.3 延焼規模別でみた建物火災件数と割合

	大規模火災A 10,000m ² 以上 (%)	大規模火災B 1,000~10,000m ² (%)	類焼火災 1,000m ² 未満 (%)	単体火災 の区域数 (%)	合計 火災件数	総焼損棟数 (棟)	総焼損面積 (m ²)	1件当たり 平均 焼損棟数
東灘区	0 (0.0)	6 (26.1)	5 (21.7)	12 (52.2)	23	367	38,090	16.0
灘区	1 (5.3)	8 (42.1)	6 (31.6)	4 (21.1)	19	559	65,210	29.4
中央区	0 (0.0)	5 (19.2)	2 (7.7)	19 (73.1)	26	107	13,584	4.1
兵庫区	2 (8.7)	7 (30.4)	4 (17.4)	10 (43.5)	23	1,038	127,771	45.1
長田区	7 (31.8)	8 (36.4)	2 (9.1)	5 (22.7)	22	4,814	522,548	218.8
須磨区	1 (6.3)	5 (31.3)	4 (25.0)	6 (37.5)	16	432	49,796	27.0
垂水区	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	6 (100)	6	6	59	1.0
北区	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (100)	0 (0.0)	1	2	54	2.0
西区	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (100)	1	1	77	1.0
神戸市計	11 (8.0)	39 (28.5)	24 (17.5)	63 (46.0)	137	7,326	817,189	53.5
西宮市	0 (0.0)	1 (2.6)	12 (31.6)	25 (65.8)	38	90	7,663	2.4
芦屋市	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (30.8)	9 (69.2)	13	23	3,645	1.8
尼崎市	0 (0.0)	1 (12.5)	1 (12.5)	6 (75.0)	8	15	2,572	1.9
伊丹市	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	7 (100)	7	7	41	1.0
明石市	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	6 (100)	6	6	30	1.0
宝塚市	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (33.3)	2 (66.7)	3	4	183	1.3
川西町	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (100)	3	3	23	1.0
淡路町	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (100)	2	2	26	1.0
大阪市	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (13.3)	13 (86.7)	15	19	1,636	1.3
豊中市	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (100)	4	4	111	1.0
その他計	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (100)	4	4	77	1.0
合計	11 (4.6)	41 (17.1)	44 (18.3)	144 (60.0)	240	7,504	833,196	31.3

(注) 地震直後から19日中までに発生した建物火災に限る。(焼損面積不明を除く)

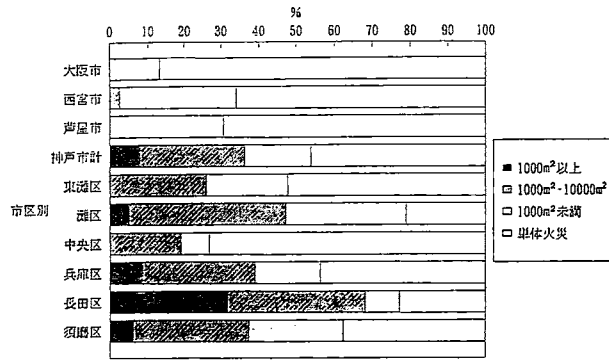


図2.8 延焼規模別の火災件数の内訳比率

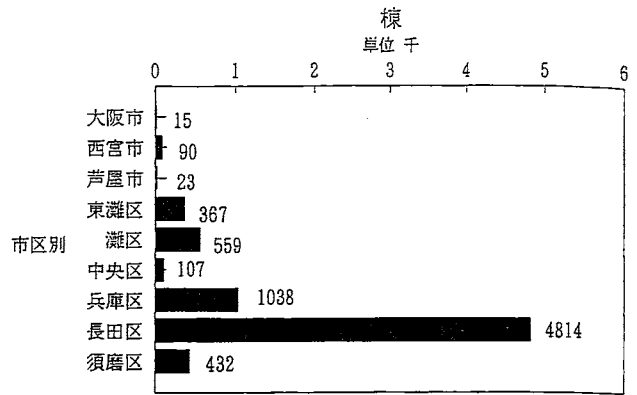


図2.9 地域別にみた焼損棟数の比較

が現れている。神戸市以外の都市や、神戸市内でも震度7の被害を受けなかった垂水区、北区、西区などでは、ほとんどが1件～2件の範囲であり小規模に留まっているのに対して、神戸市内の東灘区から須磨区の一帯は中央区を除き軒並みに大規模の延焼被害を被っている。この違いを説明する一つの理由としては、地震動による被害程度が考えられ、震度7の被害を受けていない地域では総じて火災は小規模で済んでいる。従って、地震動の被害程度が火災被害規模に与える影響には、例えば震度7前後の被害などある閾値のようなものがあるかもしれない。

しかしながら、上記の地域別平均焼損面積の違いは、単に震度の大きさの要因だけで説明できるものではない。なぜなら、西宮市や芦屋市は、火災被害規模の大きかった地域と同様の震度7の被害を受けていたのであり、また人口規模を考慮した出火率でも同様の程度で決して少なかったわけではないからである。

従って、神戸市のこうした地域で、火災による焼損被害が大きかった理由の解明は、単に出火件数の多さや地震動による被害程度だけでなく、木造率や建ぺい率などの市街地特性による影響や、初動時の消防力など多角的な視野からの分析の必要性を物語っている。

3. 市街地火災の延焼焼け止まり状況

3.1 延焼焼け止まり調査の概要

消防研究所は、1995年1月26日～1月31日の6日間にわたって、市街地延焼火災が多く発生した長田区を中心に表3.1に示す合計21箇所の大規模延焼火災の焼け止まりに関する実態調査を行った。この調査は、被害地の現状が保存されている間に、大規模市街地火災の延焼範囲、および延焼拡大あるいは抑止の要因を把握するために必要な情報を調査し保存することを目的として実施したものである。調査は、火災地区ごとに各班に分かれて、延焼焼け止まり状況の目視観察のほか、ヒアリング調査、写真撮影、ビデオ撮影を行うこ

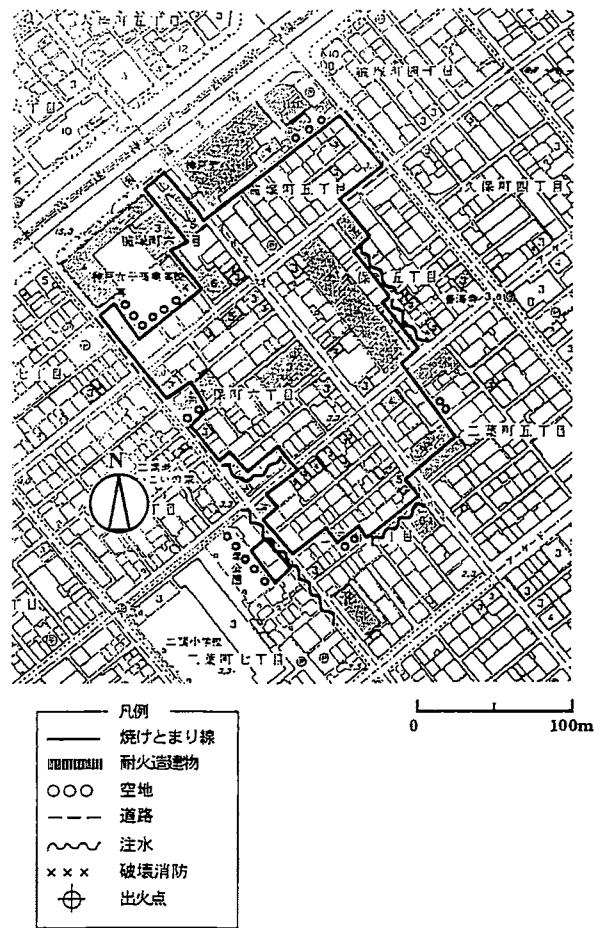


図3.1 神戸デパート南地区火災の焼け止まり線と焼け止まり要因

とにより行った。調査対象21地区における焼け止まり線と主な焼け止まり要因の調査結果は、図3.1にその一例（神戸デパート南地区）を示すように、各々の地図上（原図は1/2500縮尺）に表した。紙幅の制約上、その地区についてはここに示すことができないが、詳しくは報告書を参照されたい。なお、ここでは、この報告書の内容に基づき焼け止まり要因の概要について紹介したい。



写真3-1 焼失した小街区を取り囲むように立つ耐火造建物群。しかし、開口部（特に一階部分）の有無や大きさ、防火性能（網入りガラスとそうでないもの）によって、延焼したものとそうでないものとに分かれている。中央に並ぶほぼ同規模の2棟の3階建て鉄骨造建物は、その窓開口部が右側は線入りガラスであり破られ延焼し、左側は網入りガラスによって延焼を免れている。

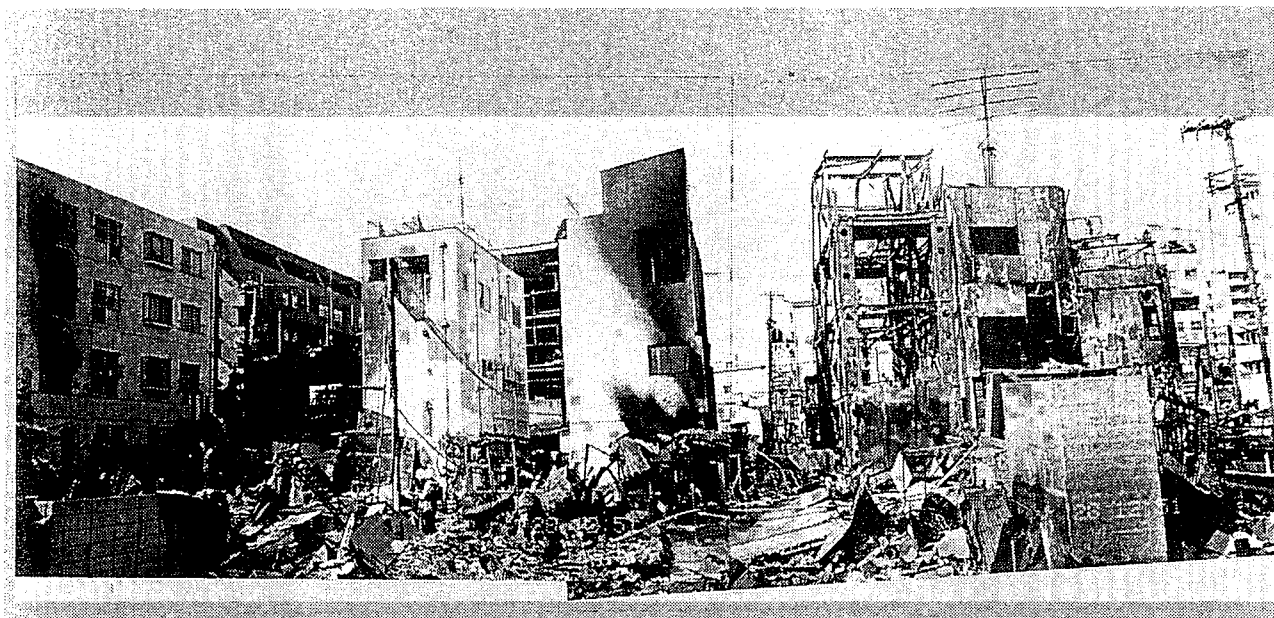


写真3-2 耐火造であっても外壁の崩落したもの、開口部が大きく破損しやすかったものは延焼し、開口部が小さく網入りガラスであったものは延焼を免れている。

3.2 焼け止まり要因の考察

延焼地区で観察された多くの事実に基づき、延焼焼け止まりの要因として考えられるものを、「建築物、都市計画的な面」および「消防活動など人為的な面」から、整理した結果を以下のように示す。

3.2.1 焼け止まり要因（建築物、都市計画的な面）の考察

①耐火造建物で隣接建物に面する外壁に開口部がほとんどないもの、また開口部があっても延焼の恐れあ

る部分には設けてないものについては、延焼を免れ延焼阻止に役立っている。なお、耐火造建物の開口部が網入りガラスの建物は延焼を免れている例が多い。（写真3.1）

②耐火造建物でも隣接建物に面する外壁に大きな開口部があるもの、また開口部が網入りガラスで防護されていないもの、さらに、建物変形によって開口部や外壁が破損し穴が空いたものは、その耐火性能が機能せず延焼してしまっている。（写真3.2）

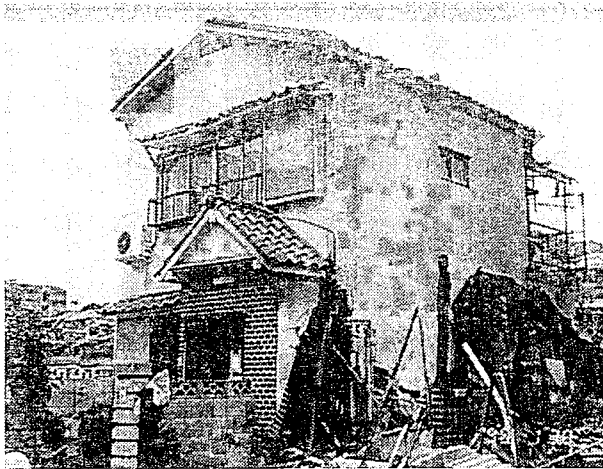


写真3-3 木造家屋のモルタル外壁は、地震動による剥離やひび割れがなければ立派に延焼阻止の効果を持つことを示す典型例。右側の隣接建物は全焼しているが、中央の家屋は無事だった。

③上記のような耐火造建物や空き地などが道路沿いに連続している部分は、延焼阻止線として機能している。一方耐火造物でも、木造建物地域内に独立して建っているような場合、また耐火造建物や空地などが道路沿いに連続しておらず歯抜けのようになっている部分は、有効な延焼阻止帯として機能していない場合があり、建物単体だけではなく集団として対策を考える必要がある。

④防火木造であっても、モルタル壁等の外壁仕上げ材が剥離していないものでも、隣接建物に面する外壁面がない、もしくは小さくて網入りガラスによって防護されているものは延焼を免れていた、延焼阻止に役だっているものがある。(写真3.3)

⑤ガソリンスタンドの隣地境界の防火壁など背の高い不燃の塀や、崖は延焼阻止に役立っている。

⑥幅員の広い道路、学校の校庭、公園、駐車場、敷地内空地は、延焼阻止に役立っている。

3.2.2 延焼焼け止まり要因(消防活動など人為的な面)の考察

①木造密集街区内の狭い道路(2~3m)や、隣接した木造家屋の間でも、消防隊の放水により延焼阻止が行われた箇所がある。なお、海水の長距離中継送水が開始されるまでの間に利用された水利の多くは公設消火栓ではなく、防火水槽、学校のプール、企業等の貯水槽、河川からの取水である。(写真3.4)

②道路や、道路沿いの連続する耐火造建物を活動拠点として利用し、消防隊の放水により延焼阻止が行われている。

③ガソリンスタンドや避難場所となっていた学校などの重要防ぎょ対象物に対して、消防隊が集中的に消

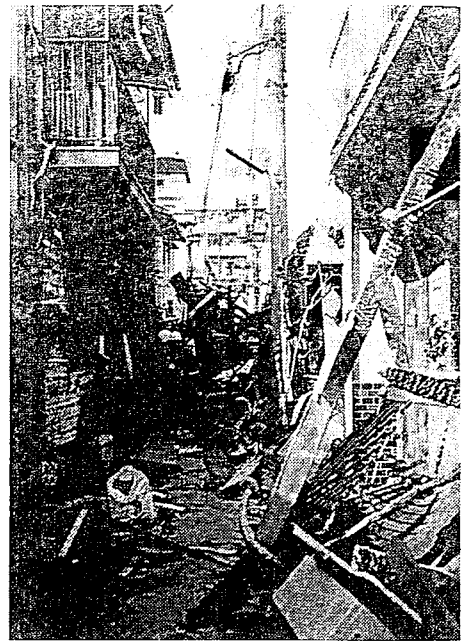


写真3-4 狭い街路(2.5m)をはさむ両側は木造家屋が並んでいるが、この街路で焼け止まり(→公設消防隊による放水)

火活動を行い、延焼を阻止した例がある。ガソリンスタンドの場合は、隣地境界の防火壁の効果と相俟って延焼阻止がなされたと思われる。

④バケツリレーや消化器散布をはじめとして、道路上の廃材の撤去、家屋の破壊、トタン板の延焼建物の対向壁面へのたてかけ等、地域住民の活動によって、延焼阻止がなされた例が幾つもあった。

⑤消防活動障害には、消火栓が使用できなかったことほかに、道路上へ家屋倒壊による通行障害や交通渋滞による消防車の走行障害が多くあった。

3.3 焼け止まり線における焼け止まり要因別比率

3.3.1 焼け止まり要因別比率

表3.1は、調査した全ての延焼地区について、現時点で推定される範囲の延長距離とその内訳比率を示したものである。

なお、延焼焼け止まりの最終段階においては、どの地区でも消防隊が火災鎮圧あるいは鎮火のための消防活動を行っていることは間違いないが、ここで述べる焼け止まり要因とは、延焼焼け止まりに主として寄与した要因のことを指しており、例えば、道路、空地、耐火造建物などがなければ消防活動単独では延焼阻止が困難とされる場合は、こうした物理的要因を主要因と考えた。また、現地での視察結果や住民の証言などから、明らかに消防活動が行われ延焼阻止に寄与しているケース、あるいは積極的な活動がなければ、延焼阻止できなかったと思われるケースは、たとえ道路など他の要因が重なっていても消防活動を主要因としている。

表31 焼け止まり線における焼け止まり要因別にみた延長距離とその内訳比率

地区名	焼け止まり要因		道路、鉄道		空地		耐火造、防火壁等		放水等消防活動		合計	
	延長(m)	比率(%)	延長(m)	比率(%)	延長(m)	比率(%)	延長(m)	比率(%)	延長(m)	比率(%)	延長(m)	比率(%)
1) 太田中学校北	110	31.4	145	41.4	30	8.6	65	18.6	350	100.0		
2) 太田中学校南	165	38.8	75	17.6	55	12.9	130	30.6	425	100.0		
3) 太田4丁目	55	48.9	25	22.2	33	28.9	0	0.0	113	100.0		
4) 横綱ビル	25	12.3	25	12.3	87	43.2	65	32.1	203	100.0		
5) 千歳小公園周辺	298	46.9	58	9.1	142	22.4	138	21.7	635	100.0		
6) 高橋病院周辺	812	64.6	298	23.7	124	9.9	23	1.8	1,258	100.0		
7) 西代市場周辺	280	23.4	295	24.7	337	28.2	282	23.6	1,195	100.0		
8) 水笠西公園周辺	985	42.0	539	23.0	626	26.7	195	8.3	2,345	100.0		
9) 日吉町2丁目	143	58.8	82	34.0	17	7.2	0	0.0	243	100.0		
10) 新長田駅南	625	59.1	119	11.3	262	24.8	50	4.7	1,058	100.0		
11) 神戸デパート南	262	24.3	170	15.7	365	33.8	283	26.2	1,080	100.0		
12) 細田町4丁目	117	39.8	97	33.0	50	16.9	30	10.1	295	100.0		
13) 御船通2・3・4丁目	480	71.1	0	0.0	90	13.3	105	15.5	675	100.0		
14) 川西通1丁目	135	49.0	43	15.5	48	17.3	50	18.2	275	100.0		
15) 御蔵通5・6丁目	234	24.1	242	24.9	370	38.0	124	12.8	973	100.0		
16) 菅原市場周辺	528	40.0	442	33.5	350	26.5	0	0.0	1,320	100.0		
17) 東尻池7丁目	197	61.7	37	11.7	0	0.0	85	26.6	320	100.0		
18) 会下山南	642	23.4	942	34.3	686	25.0	472	17.2	2,745	100.0		
19) 中道通6丁目	178	58.7	40	13.2	53	17.4	32	10.7	303	100.0		
20) 魚崎北町5・6丁目	170	35.8	93	19.5	123	25.8	90	18.9	475	100.0		
21) 青木駅南	235	49.2	38	7.9	107	22.5	97	20.4	478	100.0		
以上の地区の総計	6,676	39.9	3,805	22.7	3,955	23.6	2,316	13.8	16,752*	100.0		

*この欄の延長合計は、各要因別の延長総計欄の合計である。

従って、ここで要因別比率は必ずどれかの要因一つを主要因として選んだ上でカウントしたものであることを断っておきたい。実際には、幾つかの要因が複合して総合的に効果をもたらしたのもや、今回の報告までには分析整理するまでには至らなかったが、風速とりわけ風向きの変化がもたらした効果などもあると考えられ、これらについても今後さらに詳細に検討した上で、最終的な結果を求める必要がある。

表3.1から、まず21地区の総計からみた全体的な傾向を述べると、焼け止まり要因として、総じて大きなウェイトを占めている「道路、鉄道」（これらは主に道路）は全体平均40%である。次いで、「空地」、「耐火造、防火壁」（耐火造が主）がほぼともに23%前後となっている。これらの物理的な要因、あるいは自然焼け止まり要因を合わせると全体の86%である。今回の調査対象地区は、いずれも大規模な延焼地区であり、その意味ではこれらの多くは消防力が劣勢となった条件下で延焼拡大したものであり、延焼は何らかの自然

焼け止まり線のところまで拡大し、やがてその勢いを弱めたという経過を辿っていると考えられることから、この結果は当然ともいえる。一方、「放水等消防活動」（これらは主に公設消防による放水で一部住民によるバケツリレーなどの消火活動がある）は、14%程度であるが、先に述べたこの主要因の定義や、21地区全体での消防活動阻止線の総延長距離2,316mということを見ると、決して小さな数値ではないともいえる。

図3.2は、21地区の大規模火災地区をその焼け止まりの周囲延長距離により、500m未満、500m～1000m、1000m以上と、3つのグループに規模別に分けたときの、焼け止まり要因別内訳比率の違いをみたものである。

この図から、ひとつ指摘できる特徴は、延焼規模が大きくなるにつれて「消防活動」要因の比率が減少する傾向であり、延焼が大規模になればなるほど消防活動による延焼の抑制・阻止が困難になることを示唆し

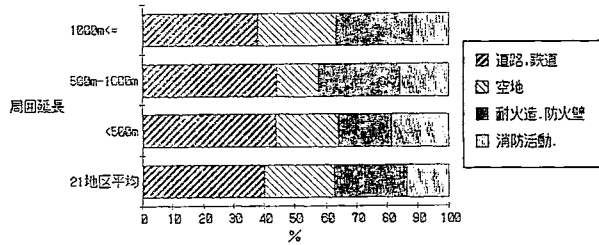


図3-2 街区火災規模別の焼け止まり要因別比率の内訳

ている。

次に、特徴のある地区をみると、まず比較的規模の大きい地区で、かつ「耐火造、防火壁等」の比率が高い【神戸デパート南】地区は、大きな耐火造建物が多い地区であり、しかもこれらの耐火造建物がうまく連続していたことが効を奏している。(図3.1) また、「空地」の比率が高い地区の例として【菅原市場周辺】地区を挙げることができるが、この地区では菅原通り公園、御蔵通り公園という2つの公園のほか、駐車場の存在が大きな役割を果たしている。

3.3.2 過去の大火事例との比較

以上の結果を、過去の大火を伴った震災事例で、焼け止まり要因別比率の求められている関東大地震時の結果¹¹⁾ (外周総延長59.6km) と比較すると、人為的要因の消防活動は15.1%で、奇しくも今回の調査結果の14%と類似した数値であった。また、1923年当時は現在ほど耐火造建物や防火木造が多くなかったためか、要因分類の中には耐火造建物等の項目がなく、道路(27%)を含めた空地が全体の72.5%を占めていた。最近の大火事例として酒田市大火(1976年)は平常時大火ではあるが、その延焼焼け止まり線¹²⁾ 総延長に占める耐火造建物の比率は16.7%であった。これらの事実から、今回の調査にみられる「耐火造、防火壁等」の24%という比率は決して低い値ではなく、延焼阻止要因としての耐火造建物の役割が無視できないことを物語っている。また、未だに狭隘なものが少なくないとはいえ関東大地震時と比較すれば広がっている道路等の比率が今回40%あるといを事実も、延焼遮断帯としての道路の役割をさらに位置づける上で重要である。

4. おわりに

もし、阪神・淡路大震災時の神戸市においてみられたように、現有の消防力を上回る同時多発火災が発生した場合、初期段階で消火できなかった火災が市街地延焼火災となって成長拡大していくことは、今後も起こり得る事態である。問題は、こうした延焼火災の拡大をいかに最小限に食い止めるかということである

が、その解決を消防力にのみ求めても自ずと限界がある。一旦、市街地火災として成長した火災は消防力だけではなかなか延焼阻止できないのである。例えば、昭和51年に発生した酒田市大火では、延べ217台の消防ポンプ車が出動したが、その延焼は自然焼け止まり線である新井田川という大きな河川に至るまでは止まらなかったのである。

このように、市街地延焼火災の局限化のためには、消防力の整備と相俟って、また消防力が有効に機能することを助ける意味でも、道路の拡幅や沿道の不燃化による延焼遮断帯の構築、公園、緑地、遊歩道などの計画的配置、消防車走行可能道路と組み合わせた防火水槽の設置など、多角的な都市計画的対策が切実に求められているといえよう。

参考文献

- 1) ノースリッジ地震政府調査団：ノースリッジ地震政府調査団調査報告書、1994年6月
- 2) 関沢愛：ノースリッジ地震現地調査報告(その1) 一地震の被害概要と火災の発生状況、フェスク、1994年8月(日本消防設備安全センター発行)
- 3) 関沢愛：ノースリッジ地震現地調査報告(その2) 一消防活動の状況、フェスク、1994年9月(日本消防設備安全センター発行)
- 4) 自治省消防庁消防研究所：兵庫県南部地震における神戸市内の市街地火災調査報告(速報)、1995年3月
- 5) Scawthorn, C., et al: "Fire-Related Aspects of the January 17, 1994 Northridge Earthquake", Chapter 8, Spectra, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland CA (in press).
- 6) 坊池道昭：兵庫県南部地震一同時多発火災、その原因は、日本火災学会誌「火災」216号、1995年6月
- 7) 室崎益輝：“被害状況の全体概況”1995年度日本建築学会大会防火部門研究協議会資料「兵庫県南部地震時の火災被害から何を学ぶか」、1995年8月
- 8) 関沢愛：阪神・淡路大震災における火災の発生状況と焼け止まりの状況、日本火災会誌「火災」217号1995年8月号
- 9) 中央開発株式会社：1995年兵庫県南部地震調査報告書、1995年3月
- 10) 鹿島技術研究所ほか：平成7年兵庫県南部地震被害調査報告書(第二報)1995年3月
- 11) 東京消防庁：街区火災防ぎょに関する研究報告書、1996年3月
- 12) 自治省消防庁消防研究所：酒田市大火の延焼状況に関する調査報告書、1977年10月

石油タンクの座屈変形

山田 實、西 晴樹、亀井浅道

1. はじめに

神戸市南部の臨海地域は、石油タンクを主体とした危険物施設が多数設置されている特別防災区域である。兵庫県南部地震において、この臨海特別防災区域に近い带状領域の震度は、気象庁の現地調査によると7と見られている。新潟地震や宮城県沖地震の例を見るまでもなく地震により石油タンクに破損を生ずると、貯油の大量流出に至る可能性がある。しかし、このような大きな地震にもかかわらず今回の地震では大量流出被害の発生はなかった。

消防研究所では、兵庫県南部地震による危険物施設の被害状況を把握するため、地震直後に震源地に比較的近い3箇所の石油コンビナート等特別防災区域（神戸、尼崎、堺泉北）を対象に2回の現地調査を行った。1回目（平成7年1月24～26日）は危険物保安技術協会に同行して、また2回目（平成7年2月3～7日）は

消防庁危険物規制課調査団に加わって調査した。これらの調査結果は、各機関から報告されている^{1, 2)}。当研究所でも、写真を中心とした「兵庫県南部地震による危険物施設の被害調査報告書」³⁾をまとめた。ここでは、この被害調査報告書の石油タンクの座屈変形に関する部分の概要とその後の調査によって明らかになったことも加えて紹介する。

2. 地震による座屈変形事例^{4, 5)}

今回の地震による事例も含めて表1に国内外で発生したタンクの座屈変形事例を示す。国外では、Mt.Diablo地震（アメリカGreenville地震）で、約100基のステンレス製ワインタンク（容量は40～200kℓ程度で、最下段側板板厚は2mmである）に座屈が発生している。それらの座屈モードは、 $H/D < 1.5$ のタンクでは象の脚座屈、 $H/D > 1.5$ ではダイヤモンド型座屈に分けられることが報告されている。

表1 過去の地質による主な座屈事例

地震名 (年月日)	M	タンク諸元	座屈モード	備考
Alaska地震 (1964.3.27)	8.5	$D = 6 \sim 15, H/D > 1$	E. F. B.	6基の鋼製燃料タンク ⁴⁾
San Fernando地震 (1971.2.9)	6.5	$D = 16.5, H/D = 0.73$ $D = 16, H/D = 0.7$ $D = 20, H/D = 0.5$	E. F. B.	鋼製円筒型水槽 ⁴⁾ 鋼製円筒型貯槽 ⁵⁾ "
Mt. Diablo地震 (1980.1.24)	5.5	$1.5 > H/D$ $1.5 < H/D < 2$	E. F. B. D. P.	約100基のステンレス製ワインタンク ⁶⁾
Loma Prieta地震 (1989.10.17)	7.1	$D = 6.6, H/D = 1.77$ $D = 8.5, H/D = 1$	E. F. B. E. F. B.	石油タンク ⁴⁾ ステンレス製食酢タンク ⁴⁾
釧路沖地震 (1993.1.15)	7.8	$D = 10.7, H/D = 1.14$ $D = 19.4, H/D = 0.94$	E. F. B. E. F. B.	アスファルトタンク (1,035kℓ) ⁷⁾ 重油タンク (5,000kℓ) ⁷⁾
三陸はるか沖地震 (1994.12.28)	7.5	$D = 9.7, H/D = 0.98$	E. F. B.	アスファルトタンク (800kℓ) ⁸⁾
兵庫県南部地震 (1995.1.17)	7.2	$D = 9.7, H/D > 1.3$ $D = 9.7, H/D > 1.3$ $1.03 < H/D < 1.21$	D. P.) E. F. B.) E. F. B.	アルコールタンク (990kℓ) ³⁾ (第二段目側板) 水タンク (最下段) 3基

M: マグニチュード、D: 直径 (m)、H: 高さ (m)

E. F. B. : 象の脚座屈、D. P. : ダイヤモンド型座屈

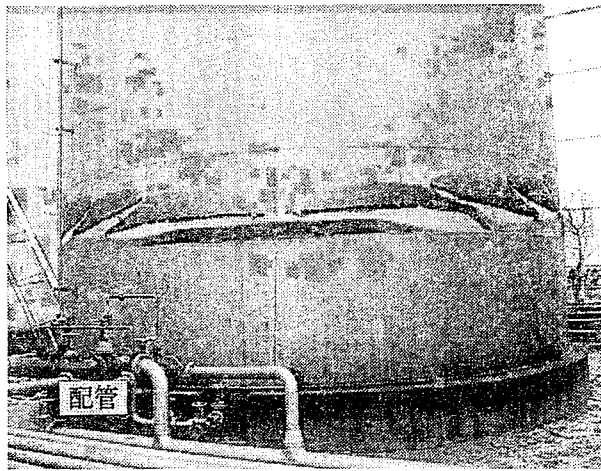


写真1 第2段目の側板に発生したダイヤモンド型座屈 (TK108 容量 990kℓ)

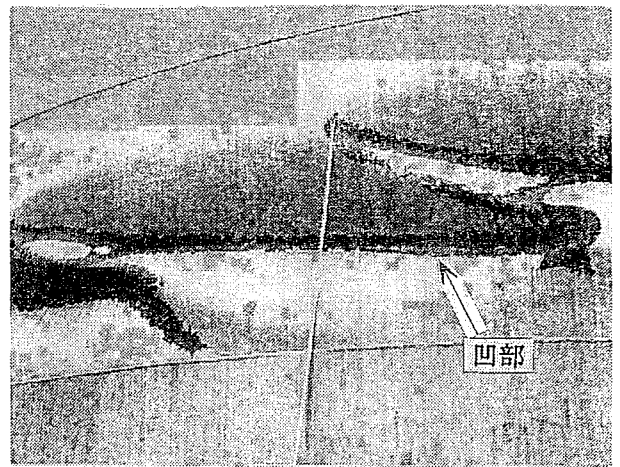


写真2 座屈変形部の状況 (TK108)

国内では、これまで座屈事例の報告は少なかったが、1993年から連続して地震による座屈変形が発生している。1993年釧路沖地震及び1994年三陸はるか沖地震でアスファルトタンク等に象の脚座屈が発生していることが報告されている^{7,8)}。さらに、今回の兵庫県南部地震では、水タンクも含め合計7基のタンクが座屈し、そのうち2基のタンクに国内では初めてと思われるダイヤモンド型座屈が発生している。

3. 阪神・淡路大震災における石油タンクの座屈変形状況

3.1 ダイヤモンド型座屈

容量が1000kℓ未満の屋外貯蔵タンク（以下、非特定タンクという）の側板に発生したダイヤモンド型座屈

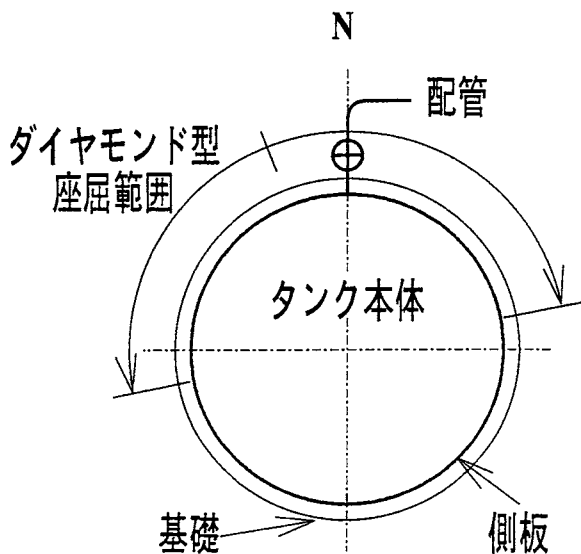


図1 TK108の座屈変形範囲 (ダイヤモンド型)

屈変形を写真1に示す。タンク左下に見える配管取付位置がタンク中心からみてほぼ北方向にあたる。座屈は、第2段目の側板にトランプの「ダイヤモンド」状の窪みが円周方向に連続して生じており、図1に示すように配管取付位置よりやや西側、すなわち北北西方向を中心として左右対称な変形を呈している。

座屈変形の一部を拡大したものを写真2に示す。黒い線状に見える所がダイヤモンドの対角線で、座屈の凹みが最も深い部分である。なお、このタンクの座屈変形部からの内容物の漏洩はなかった。

3.2 象の脚座屈

上述のタンクと同じ事業所内で象の脚座屈を生じたタンクを写真3に示す。このタンクも非特定タンクで、座屈変形が第2段目の側板に発生している。図2に示すように象の脚座屈の一部（写真3ではタンクナンバーが書かれている箇所）にダイヤモンド型座屈と思われる変形が確認されている。さらに、写真3の上方の

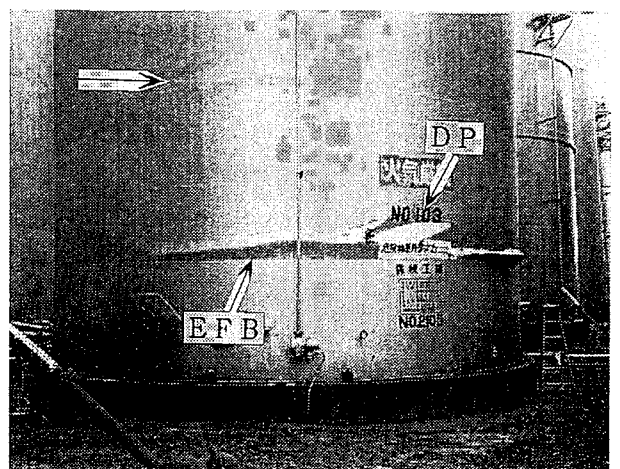


写真3 第2段目の側板に発生した象の脚座屈
DP: ダイヤモンド型 EFB: 象の脚
(TK103 容量 990kℓ)

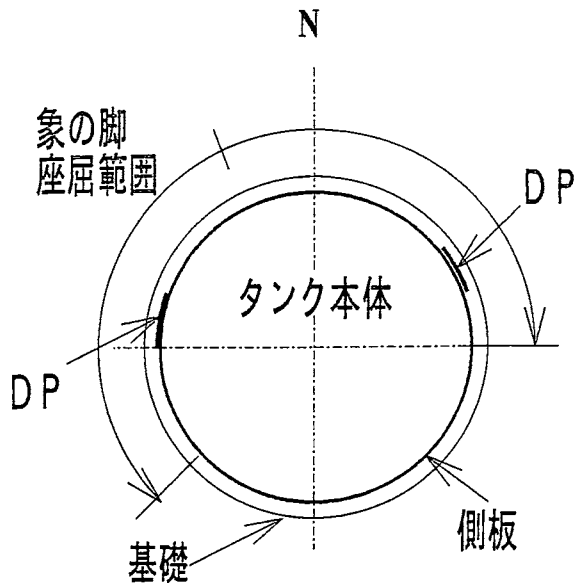


図2 TK103の座屈変形範囲 (象の脚)

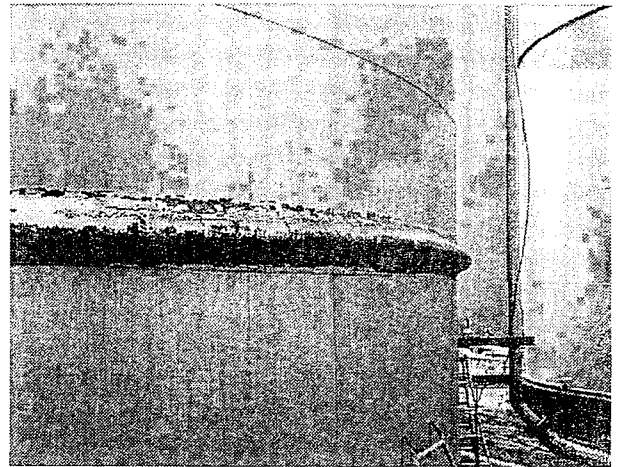


写真4 座屈変形部の状況 (TK103)

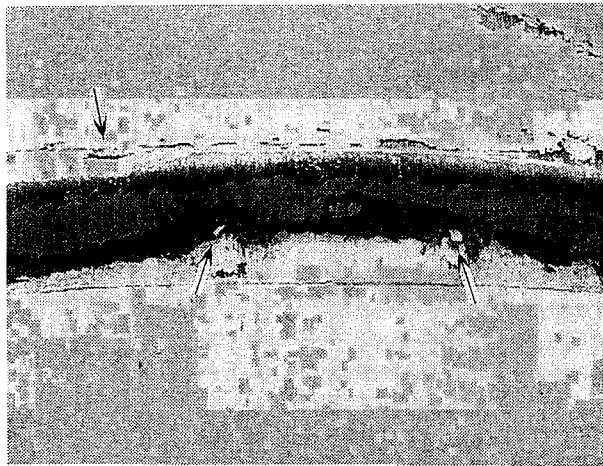


写真5 座屈変形部に生じた貫通口

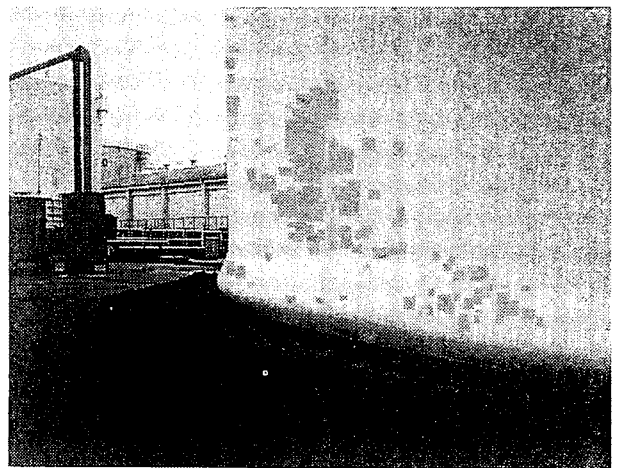


写真6 水タンクの象の脚座屈
(容量: 1,145kℓ)

第4段目の側板にもわずかであるが座屈変形が認められる (写真3の矢印参照)。

象の脚の座屈変形部分の拡大を写真4に示す。変形部分の上下間隔が30cm、張り出しが側板から20cm程度であり、つぎに示す水タンクの座屈に比べて変形が局部的である。

座屈の張り出し部に写真5に見られるような腐食による貫通穴が3ヵ所生じており、少量の内容物が漏洩している。

写真6は、水タンク低部近傍に発生した典型的な象の脚座屈である。容量800kℓの水タンクの座屈断面を写真7に示す。このような水タンクの座屈が神戸市内で3基発生しており、3基とも座屈変形部にき裂が生じ、写真8に示す破口部から貯水が全て流出している。

3.3 座屈したタンクの諸元

今回の地震で座屈したタンクの諸元を表2に示す。

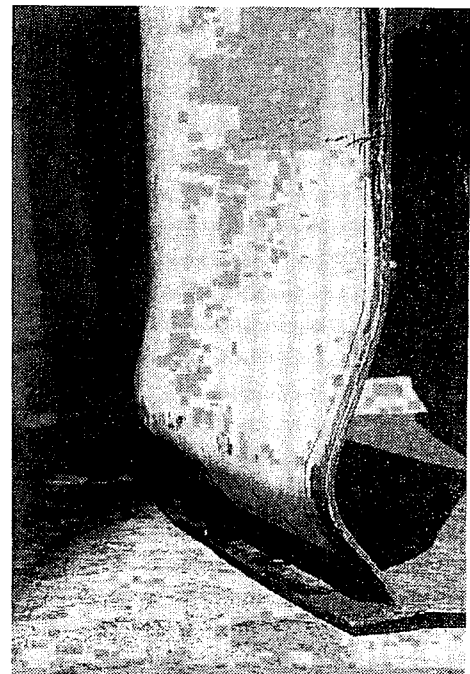


写真7 象の脚座屈の断面 (容量800kℓ)



写真8 水タンク底部の破口部

神戸東地区における座屈タンクのほとんどが非特定タンクでほぼ満液状態にあったことがわかる。

表1に掲げた国内外の座屈事例では、ほとんどがタンク側板の最下段で発生していることが報告されている。しかし、今回の地震による神戸東地区の4基のタンクは、第2段目の側板に座屈変形が発生しており、そのうち3基(TK103、TK105、TK108)は、同じ事業所内であつほぼ同一諸元でありながら、座屈モードが異なっているという現象が起こっている。

以下では、地震時にタンク側板に生じる圧縮応力の

評価を消防法⁹⁾あるいはJISの設計指針^{10、11)}に従って行い、上述のタンク側板の第2段目に、また水タンクの最下段側板にそれぞれ座屈が生じる可能性を検討する。それに建築学会の容器構造設計指針・同解説¹²⁾を参考に座屈モードについて簡単な考察を試みる。

4. 座屈応力の検討

4.1 側板に生じる圧縮応力

(1) TK103タンク

JISB8501^{10、11)}に従って、地震動によってタンク側板の各段に発生する圧縮応力を求めた。その計算結果を表3に示す。なお、地震動により生じる応力は、設計用修正震度法によって算出し、また、許容圧縮応力 σ_{ka} は消防法($\sigma_{ka}=0.4Et/\gamma D$, $\gamma=1.5$)⁹⁾により求めた。

表3の第1段と第2段の板厚は実測値で、その他の段の板厚は、設計板圧から第1段及び第2段での腐食量0.7mmを引いた値とした。表の()内の値は、腐食代を含む設計板圧で計算した結果である。

第2段と第4段の圧縮応力が、許容圧縮応力を上回っており、この位置では、設計時の安全率が確保されていないことになる。写真3の第4段目でも小さな座屈変形が発生しているのがわかる。

設計板厚による計算結果では、許容圧縮応力を越え

表2 座屈したタンクの諸元

諸元	神戸東地区				神戸西地区		
	TK103	TK105	TK108	TK1	給水タンク	散水タンク	給水タンク
完成年	1973	1973	1973	1973	不明	不明	不明
新・旧法	旧	旧	旧	旧	-	-	-
許可容量 (kl)	990	990	990	1,378	800	1,145	2,000
屋根形式	CRT	CRT	CRT	CRT	CRT	CRT	CRT
油種	エチルアルコール	エチルアルコール	エチルアルコール	植物油	水	水	水
タンク内径 (mm)	9,670	9,670	9,670	11,620	9,670	10,640	13,540
タンク高さ (mm)	15,225	15,225	15,225	13,700	11,420	13,700	15,105
底板板厚 (mm)	9	9	9	8	6	6	6
底板材質	SS400	SS400	SS400	SS400	SS400	SS400	SS400
側板最下段板厚 (mm)	9	9	9	8	6	7	8
同上材質	SS400	SS400	SS400	SS400	SS400	SS400	SS400
許可液面高さ (mm)	14,400	14,430	14,470	13,567	-	-	-
地震時液面高さ (mm)	12,910	13,207	13,317	11,480	10,893*	12,878*	13,890*
内容物の漏洩	少量	無	無	無	全	全	全
座屈モード	E. F. B.	D. P.	D. P.	E. F. B.	E. F. B.	E. F. B.	E. F. B.
座屈発生位置 (側板)	第2段	第2段	第2段	第2段	最下段	最下段	最下段

E. F. B. : 象の脚座屈 (Elephant's Foot Bulge) D. P. : ダイヤモンド型座屈 (Diamond Pattern)

* : 容量から逆算 (地震時満水として)

表3 側板に生じる圧縮応力 (TK103)

段数	1	2	3	4	5	6	7	8
板厚 (mm)	8.3	5.3	5.3	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
(設計板厚)	(9.0)	(6.0)	(6.0)	(4.5)	(4.5)	(4.5)	(4.5)	(4.5)
[仮想板厚]	[8.3]	[7.3]	[6.3]	[5.3]	[4.3]	[3.8]	[3.8]	[3.8]
圧縮応力 σ_{c1}	2.86	3.47	2.62	2.63	1.78	1.10	0.59	0.24
(kgf/mm ²)	(2.59)	(3.00)	(2.27)	(2.18)	(1.47)	(0.92)	(0.49)	(0.21)
[2.76]	[2.43]	[2.12]	[1.82]	[1.51]	[1.06]	[0.57]	[0.23]	
許容圧縮応力 σ_{ka}	4.81	3.07	←	2.20	←	←	←	←
(kgf/mm ²)	(5.21)	(3.47)	(←)	(2.61)	(←)	(←)	(←)	(←)
[4.81]	[4.23]	[3.65]	[3.07]	[2.49]	[2.20]	[←]	[←]	
σ_{c1}/σ_{ka}	0.59	1.13	0.85	1.20	0.81	0.5	0.27	0.11
(0.50)	(0.86)	(0.65)	(0.84)	(0.56)	(0.35)	(0.19)	(0.08)	
[0.58]	[0.57]	[0.58]	[0.59]	[0.61]	[0.48]	[0.27]	[0.11]	

表4 側側板に生じる圧縮応力 (給水タンク 容量2000Kℓ)

段数	1	2	3	4	5	6	7	8
設計板厚 (mm)	8.3	8.0	8.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
圧縮応力 σ_{c1} (kgf/mm ²)	4.14	3.29	2.54	2.53	1.80	1.19	0.71	0.36
許容圧縮応力 σ_{ka}	3.31	←	←	2.48	←	←	←	←
σ_{c1}/σ_{ka}	1.25	0.99	0.77	1.02	0.73	0.48	0.29	0.15

る値は発生していないが、第2段と第4段の値 (σ_{c1}/σ_{ka}) は、他の段に比べて1に近いことが明らかである。これは、板厚が、第2段では第1段の67%、第4段では第3段の75%と急に薄くなっているためである。この板厚変化点における座屈現象は、高速道路の円形鋼橋脚にも発生していることが報告されている¹³⁾。

このような板厚の急激な変化を避け、第1段から9、8、7、6、5mmとすれば、たとえ0.7mmの腐食減肉が生じても側板各段に発生する圧縮応力 ([] 内の値) は、許容圧縮応力の60%程度に押さえることができる。

(2) 2000kℓ給水タンク

地震動によってタンク側板の格段に発生する圧縮応力を求めた結果を表4に示す。

水タンクは、一般に規制対象の石油タンクに比べて板厚が薄いため、側板最下段で座屈が発生しやすいことがわかる。第4段での圧縮応力が許容圧縮応力を上回っているが、座屈変形の有無は確認されていない。

4.2 座屈モード

容器構造設計指針・同解説¹²⁾によれば、内圧を受ける円筒殻の座屈の特徴は、内圧が座屈拘束する効果を

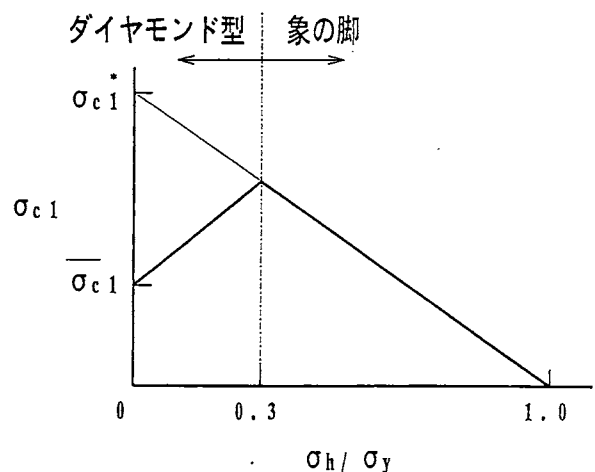


図3 座屈応力に及ぼす内圧の影響

σ_{c1} : 軸圧縮力なし、曲げ荷重を受ける円筒殻の座屈応力

σ_{c1}^* : 内圧がない場合の座屈応力

σ_{c1} : 軸対称モードにおける圧縮応力

もつことと、内圧が殻板の降伏を助長し、象の脚座屈の促進因子となることであると記されている。さらに内圧の効果は、内圧による周方向引っ張り応力 σ_h と

表5 座屈モードと内圧

タンク (容量kl)	TK103 (990)	TK105 (990)	TK108 (990)	給水タンク (2000)	給水タンク (800)	散水タンク (1145)
座屈モード	E. F. B.	D. P.	D. P.	E. F. B.	E. F. B.	E. F. B.
σ_h/σ_y	0.39	0.40	0.40	0.62	0.45	0.50

E. F. B. : 象の脚座屈、D. P. : ダイヤモンド型座屈

降伏応力 σ_y の比 σ_h/σ_y で代表することができ、図3に示すように、 $\sigma_h/\sigma_y=0.3$ を境にして、 $\sigma_h/\sigma_y < 0.3$ ではダイヤモンド型座屈が生じ、 $\sigma_h/\sigma_y > 0.3$ では、円筒基部に象の脚座屈が生じると説明されている。

表5にそれぞれのタンクにおける σ_h/σ_y を示した。TK103、TK105、TK108の値は、ほぼ0.4で図3によれば象の脚座屈モードが発生する領域であるが、これらのタンクの座屈モードに関しては、明確な対応関係が得られなかった。

5. おわりに

兵庫県南部地震により座屈した非特定タンクに対して、特定屋外貯蔵タンク（容量が1000kl以上の屋外貯蔵タンク）に適用されている消防法、JISの設計指針及び容器構造設計指針を用いてタンク側板に生じる圧縮応力あるいは座屈モードの検討を試みた。

その結果、座屈が第2段目の側板に発生したのは、板厚の急激な変化と腐食減肉による圧縮応力の増大に起因することがわかった。また、板厚を適切に配慮する事により圧縮応力を軽減できることがわかった。座屈モードと内圧に関しては、明確な対応関係は得られず、今後の研究成果が望まれる。

危険物施設は今日までいくつかの大地震を経験し、その度に被害が調査・解析され、種々の対策が講じられてきた。その結果、わが国における容量が1000kl以上のタンクの安全性はかなりの水準にあることは関係者の一致して認めるところであろう。今回の地震において、いわゆる新法タンクでは、ほとんど被害の発生は認められなかった。これも地震被害を教訓とした安全対策が多分に寄与した結果と考えられる。

しかし、容量が1000kl未満のタンクに関してみると座屈変形を含め今回の地震は新たな教訓を残したと言えよう。

最後に、本調査に際して、神戸市消防局及び各事業

所の方々には多大なるご協力を頂いた。ここに記して感謝したい。

参考資料

- 1) 阪神・淡路大震災に係わる屋外タンク貯蔵所の被害状況現地調査結果報告書、消防庁危険物規制課：平成7年4月
- 2) KHKだより、危険物保安技術協会：特集号(1995.6)
- 3) 兵庫県南部地震による危険物施設の被害調査報告書、消防研究所：平成7年5月
- 4) 河野和間：地震による鋼製円筒形石油貯槽の座屈変形について、KHKだより、27, pp.33-35 (1990)
- 5) 藤井俊二：円筒型液体貯蔵タンクの地震荷重による座屈応力の研究、「石油貯槽技術基準と安全性」、技術セミナー、日本高圧力技術協会、pp.77-89 (1985)
- 6) A.Niwa and R.W. Clough, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 10, pp.107-122 (1982)
- 7) 危険物保安技術協会 土木審査部 タンク審査部：釧路沖地震における屋外タンクの耐震性に関する検討について、KHKだより、40, pp.30-52 (1944)
- 8) 消防庁特殊災害室：平成6年三陸はるか沖地震について、KHKだより 特集号, pp.77-84 (1995)
- 9) 消防危第44号通達、昭和58年4月28日
- 10) JISB8501「鋼製石油貯槽の構造（全溶接製）」— 1985、参考 鋼製石油貯槽の耐震設計指針、pp.72-78
- 11) 鶴戸口英善 編集：改訂版 JIS石油貯槽—解釈と計算例一、日本規格協会、(1987)
- 12) 容器構造設計指針・同解説、日本建築学会：丸善、p.70 (1990)
- 13) 渡邊英一、その他：鋼橋の被害と耐震製、土木学会誌、pp.54-62 (1995,7)

平成5年8月6日鹿児島豪雨災害時の鹿児島市民の災害情報 入手方法に関するアンケート調査結果

寒河江幸平、吉原 浩

1. はじめに

台風や梅雨前線に伴う豪雨により、土砂災害が同時に多発した場合には、崖崩れ、土石流、倒木、浸水等による交通渋滞や放置車両等の交通障害も発生することがある。このような交通障害の同時多発は、避難路の選定や消防車両等の走行に著しい影響を与える。

近年の豪雨災害としては昭和57年の長崎水害、昭和58年の山陰水害等があげられる。これらの水害では、昨今の車社会の進展とともに、水害による車の被害、放置車両による交通渋滞が問題であることが指摘された。

長崎水害においては、被災した車の運転手等に車の被災状況のアンケート調査を実施し、災害発生時に運転者がとった行動として、路上にそのままいたというのが半数以上であった等の結果が得られている¹⁾。この災害を契機に自動車の耐水性に関する実験が行われた²⁾。

平成5年8月6日の鹿児島豪雨災害において、町内の自主防災組織の会長を通じて、被災した人を対象にして災害情報の入手方法や避難の有無に関するアンケート調査が行われ、避難した人々の避難の決め手になった理由等について検討が行われた^{3), 4), 5)}。また、豪雨災害時において交通機能がどのような被害を受けたか等の調査結果が報告されている^{6), 7)}。しかし、豪雨災害時に一般住民がどのように行動したか、消防車両はどのように活動したか等は調査されていない。

筆者等は、豪雨災害時における交通障害の発生予測に関する研究の一環として、平成5年8月6日鹿児島豪雨災害の事例について、二つのアンケート調査を行った。一つは、一般住民が豪雨災害時において、災害情報をどのように入手し、どのように行動したか、さらには交通障害に遭遇してどのように対応したかを知るために、鹿児島市民を対象とした郵送によるアンケート調査である。筆者らの調査は、交通障害に出会った住民の行動、また必要とした災害情報等を知ることが目的としたものであり、無作為に住民を抽出して行ったものである。もう一つは、同時多発災害時の交通

障害が消防車両の出場に及ぼした影響についてである。

ここでは災害時において、一般住民にどのようにして災害情報が伝わったかを主に報告する。また、アンケートでは自由記入形式による、意見や行政への要望等を151名から回答を得た。その概要をもあわせて報告する。

2. 災害の概要

鹿児島地方は、5月17日の梅雨入りから、梅雨明けとされた7月9日までの雨量は平年の梅雨期の2倍強であり、その後7月27日に台風5号、7月28日から7月29日にかけて台風6号が接近し、また7月31日から8月2日にかけて県中央部で集中豪雨、8月6日には、停滞していた前線の影響で、鹿児島市付近で豪雨となった。さらに8月9日に台風7号、9月13日に台風13号が接近し、それぞれ被害を出した。

8月6日の豪雨に関しては、前日の8月5日の18時20分に大雨雷波浪洪水注意報が出され、同日22時10分に大雨雷波浪洪水警報に変更された。5日から降っていた雨が、6日の夕方16時頃から鹿児島市の中央部から北部にかけて記録的な大雨となった。降雨量の変化を図1に示す。降雨のピーク時の時間雨量は60mm以上であった。

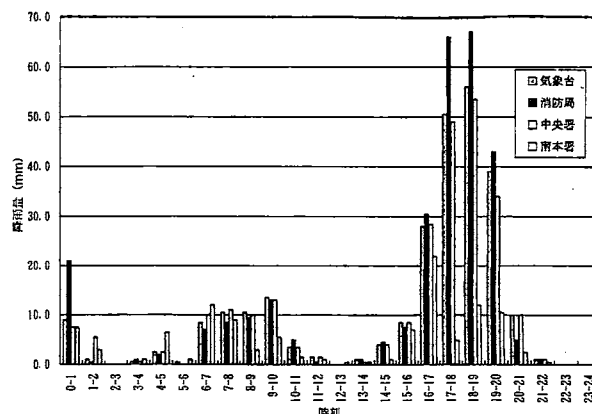


図1 平成5年8月6日の鹿児島市内の時間別降雨量

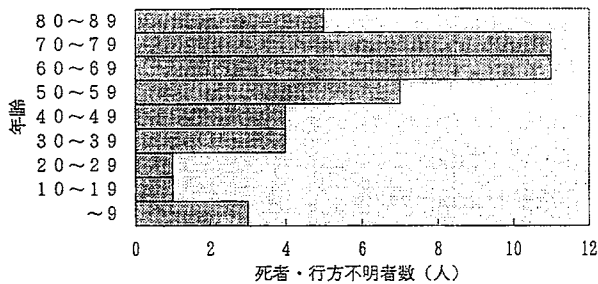


図2 年齢別死者・行方不明者数

この豪雨で、鹿児島市内で死者47人、行方不明者1人、負傷者74人、家屋全半壊465棟、一部損壊365棟、床上床下浸水10、489棟の被害が発生した¹⁰⁾。死者・行方不明者の一覧¹¹⁾をもとに、年齢別の死者・行方不明者発生数を図2に示した。高齢者の割合が高かった。さらに、「年齢別・死者・行方不明者」の「全死者・行方不明者」に対する割合と、「日本の年齢別人口構成比」¹²⁾との比(図3)を見ると、10代、20代は小さく、50代から増加、60代以上では著しく高くなっている。この災害では高齢者の方が災害を受けた割合が高いことが分かる。なお、鹿児島県外の人(2名)が死亡しているため全国平均の年齢別人口構成比を用いた。

3. アンケート調査方法

アンケート調査対象とする住民は、鹿児島市内の各町丁毎の世帯数に比例するように標本を選ぶ、世帯数に関する比例抽出法により選んだ。アンケート送付先は、鹿児島市内の各町丁毎に割り振られた標本数の世帯を、住宅地図帳より番地、号を乱数をもって無作為に抽出し、建物に氏名が記されている宛先に郵送した。

この方法では、集合住宅1戸と個人住宅1戸が、同じ確率で選択することとなるため、一戸建て住宅への割り振りが多くなり、集合住宅に住む世帯は少なくなった。鹿児島市内の世帯数は、平成6年4月1日現在約21万世帯あり、集合住宅に居住されている世帯は、住宅地図帳から無作為抽出法より推定すると、約6万5千世帯とみなせる。よって一戸建て住宅と集合住宅の世帯数の比率は5対2であるが、アンケート送付先のそれらの比率はおおよそ9対1となった。

送付数は1,000で、平成6年8月上旬に送付し、9月10日を回答期限とした。

アンケート内容は、災害当日(平成5年8月6日)いつ、どこで、何で災害を知ったか等災害情報の入手状況に関すること。災害情報にもとづき、どのように行動したか、崖崩れ、浸水等に出会ったときはどう対

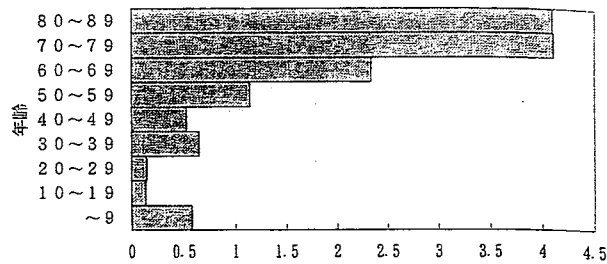


図3 「年齢別死者・行方不明者」の「全死者・行方不明者」に対する割合の「日本全人口の年齢別人口構成比」に対する比

応したか等の災害時の状況に関すること。年令、職業等回答者自身に関することの大きく三つに分かれている。

回答数は381で、回答率は38.1%であった。

4. アンケート結果

4.1 回答者の特徴

年令別では40才以上の中高年者が多かった。

性別では、無記入をのぞけば、男性の方が約73%と圧倒的に多かった。

職業別では、全日の勤め人が48%、無職が19%、自営業者が14%、無職の主婦が9.4%等であった。

4.2 災害当日の災害情報入手状況等について

「災害当日浸水や崖崩れ等が多発していることを最初に知った時刻は何時何十分頃でしたか」との質問への回答を図4に示す。雨が強く降り出した午後5時から7時頃までに災害発生を知った人が多かった。5時以前でも、わずかながら災害が発生しはじめたことを知っていた人もいた。また、当日午後8時以降ま

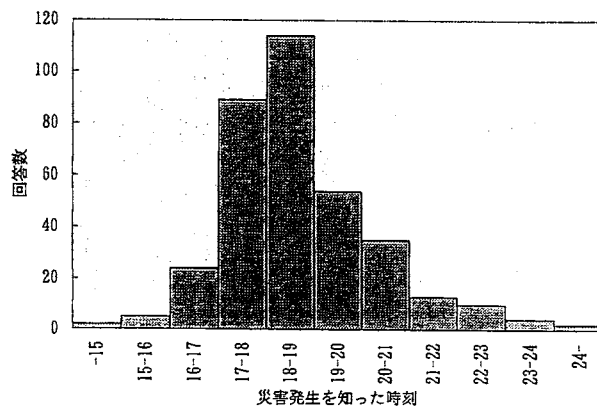


図4 豪雨災害当日(平成5年8月6日)において浸水やがけくずれ等の災害が発生していることを知った時刻

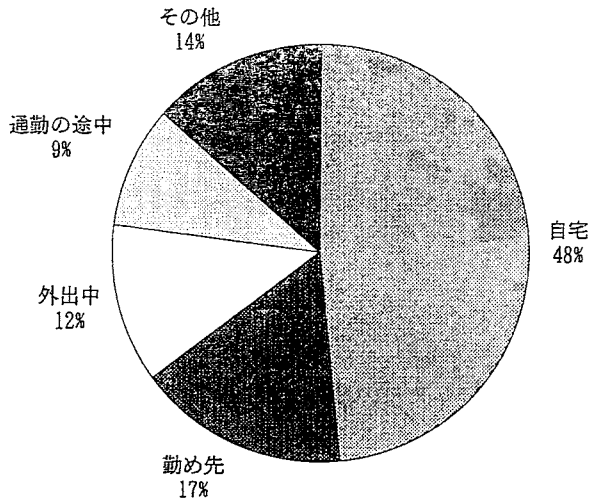


図5 浸水・崖崩れ等の災害が多発していることを知った場所

で災害発生を知らなかった人、降雨の少なかった鹿児島市南部の人では、翌日まで知らなかった例もある。

「災害発生を知ったときどこにいましたか」の質問の回答は、図5に示すように、自宅が最も多く48%であった。次いで勤め先、通勤の途中、外出中等であった。

「災害発生を何で知りましたか」の質問に対する回答は、図6に示したようにテレビが多く、テレビが情報入手の主たるものであることを示している。以下、外を見て分かった、ラジオの順である。電話も若干あり、家族、親戚、知人等からの安否確認の際に知ったものと思われる。消防・警察等の広報車、または防災無線で知った人もいるが、その数は少ない。浸水や崖崩れ等の災害を受け、はじめて災害発生を知った方もあった。

「大変な災害が発生していそうなことを知った後、災害の様子や家族の安否をどのようにして知ろうとしたか」

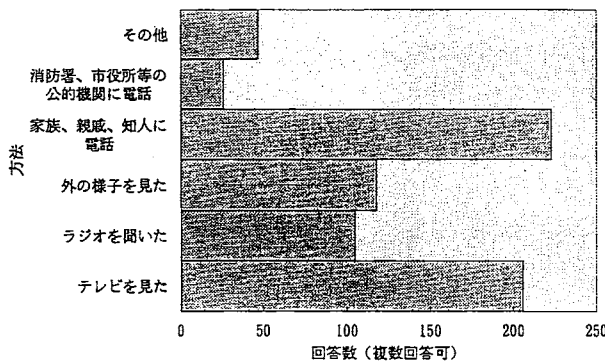


図7 災害発生を知った後に災害の様子や家族の安否を知ろうとした方法

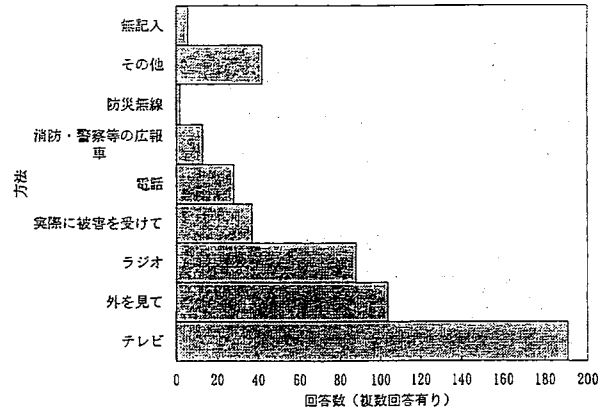


図6 浸水・崖崩れ等が多発していることを最初に知った方法

さいましたか」の質問については、「家族、親戚、知人に電話をかけた」、「テレビを見た」との回答が多かった（図7）。電話をかけた人で、結果的につながった人は約30%で、電話が輻輳していたことを示す（図8）。その他、ラジオを聞いたり、外の様子を見た人も多い。消防署、市役所など公的機関に電話をかけた人は少なく、わずか381人中26人で、かけてつながったのは、その内6人であった（図9）。

4.3 災害時の状況について

「災害発生を知った後、どのようにされましたか」の問いについての回答を図10に示す。そのまま翌日まで自宅にとどまった人が多く、帰宅しそのまま翌日までいた人、崖崩れや浸水のため危険を感じ、出勤（外出）を途中であきらめ自宅へ引き返し翌日までいた人を合わせること、この問いに関する回答者全体に対して60%であった。避難したと答えられた人もいた。避難しようとしたが、崖崩れや浸水のため危険を感じ、途中であきらめ引き返した人も若干ある。

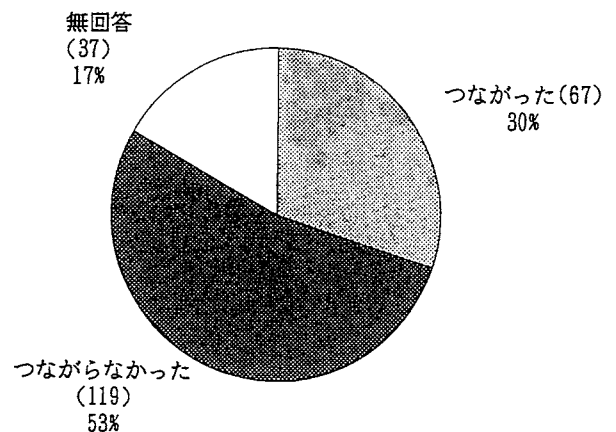


図8 災害時に家族、親戚、知人にかけた電話のつながり状況

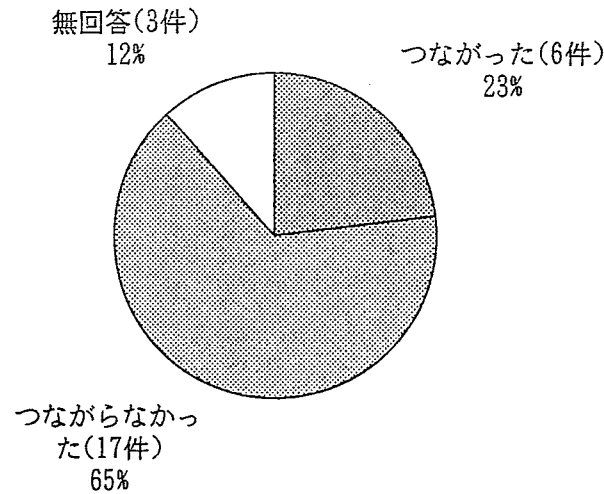


図9 災害時に消防、警察等の公的機関にかけた電話のつながり状況

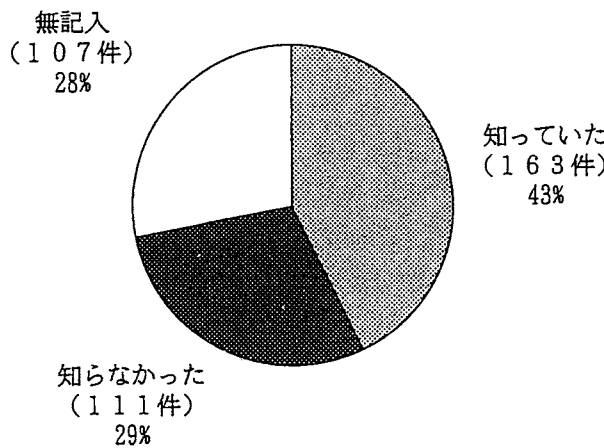


図11 災害時における指定されている避難地を知っていたか

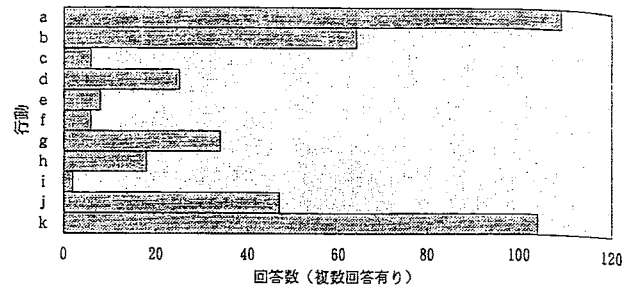
「災害時の指定されている避難先を知っていましたか」との質問についての回答は、図11に示すように、知っていると答えた人が多い。

「外出、帰宅、出勤、避難した方にお聞きします。行こう（帰ろう）とした場所へ行くにはふだんの場合、どの位の時間がかかりますか」という設問に対して、図12に示すような結果を得た。所要時間はほとんどが1時間以内であった。

上の設問の対象者で、「災害当日実際にはどのくらいの時間がかかりましたか」の質問に対する回答を図13に示す。1時間以内という人の割合が減り、1時間以上という人がほとんどで、中には12時間以上という人もいた。

4.4 自由記入欄への意見等

自由記入欄や余白等に152名の方々からの意見等を得た。災害時の状況に関するもの49、主に救急救助、救援に関するもの12、災害時の情報不足となった事に



- 凡例
- a そのまま翌日まで自宅にとどまった
 - b 帰宅し、そのまま翌日までいた
 - c 出勤し、そのまま翌日までいた
 - d 危険が予想されたため帰宅をあきらめ、その場所で翌日までいた
 - e がけくずれや浸水のため危険を感じ、帰宅を途中であきらめ勤め先（外出先）へ引き返し、翌日までいた
 - f がけくずれや浸水のため危険を感じ、出勤（外出）を途中であきらめ自宅へ引き返し、翌日までいた
 - g 通常と違う経路で出勤（外出、帰宅）した
 - h 避難した
 - i がけくずれや浸水のため危険を感じ、避難を途中であきらめ引き返した
 - j その他
 - k 無記入

図10 災害発生を知った後にとった行動

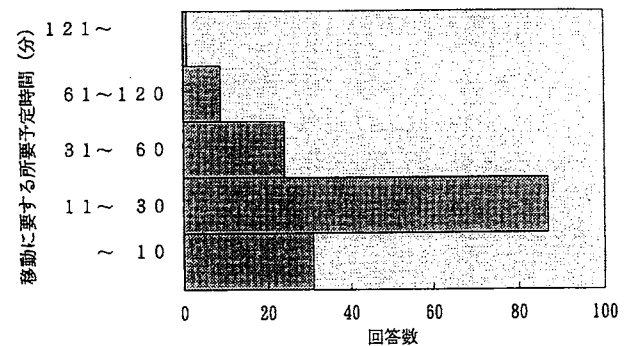


図12 災害当日、移動しようとした場所への通常時の所要時間

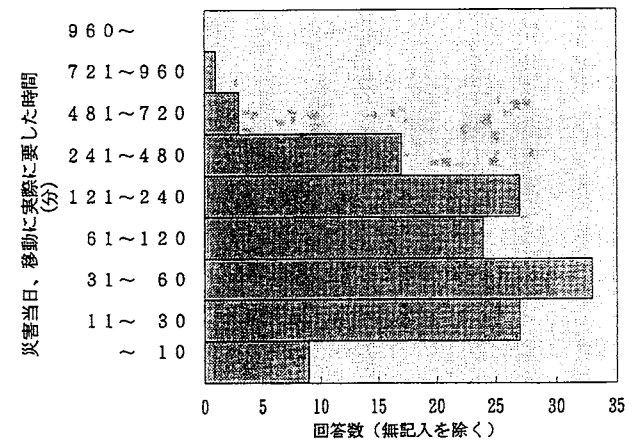


図13 災害当日、移動に実際に要した所要時間

関するもの38、今後の防災対策に関するもの29、その他24であった。

それらのうち、特に災害情報の伝達に関するもので、

これまでに述べたものと重複せずに著者らにとって参考となった意見の一部を以下に紹介する(以下「」は回答の要約を示す)。

災害情報の伝達に関しては「浸水状況をテレビ、ラジオで知らせてほしい。」「道路情報が災害の現場にいてもわからなかった。」「災害の発生状況や通行可能なルートを知らせて欲しい。」等、テレビやラジオを通じて、もっと早く、的確な情報が欲しいとの意見が多かった。

消防車による広報に関して、「もっと消防車による広報を」との意見がある一方で、「自宅にいて、広報車が来て何か言っていたが、風雨の音のため何を言っているのか分からなかった。」との指摘があった。

ラジオやテレビが見たり聞いたり出来ない場所では情報が伝わらない事がある例として、「バスの中になぜ渋滞しているのか分からなかった。」「デパートの店内にいて災害が起きていることがわからなかった。店内放送で知らせてほしい。」というものがあつた。

また、今後の防災対策に関連するものとして、「避難場所の周知徹底」、「適切な避難場所の選定(指示された場所は遠く、かつ今回の災害で浸水したところである)」など、避難場所に関するもの、「浸水地域を標識等で示して欲しい」、「危険地域を図示して欲しい」など、危険な場所を示す事が地域住民や通過交通者に役立つのではないかと意見があつた。

5. おわりに

平成5年8月6日の鹿児島豪雨災害時において、一般住民がいつ、どこで、何で災害情報を入手したか、またそれらの情報にもとづいてどのように対応したか等について、一般住民へのアンケート調査を行った。

回答者は中高年の方が多く、必ずしも鹿児島市民全体の行動、意見を反映しているとはいえないし、また、災害後約1年を経過した時点での調査であつたため、住民の記憶が時間的な点に関する面であいまいになつてしまったこと、質問内容がわかりづらかつたことなど反省すべき点が多かつたが、今回のアンケート調査から以下のことがわかつた。(1) 災害情報は、テレビ、ラジオを通じて知つた人が多く、これらのメディアによる的確な道路情報、浸水等の被害情報の提供が最も重要である。

(2) バスの車中、店内等災害時の外出先等での住民に対するテレビ、ラジオを通じての災害情報伝達が難しい例があつた。広報車による広報は、水害時には風雨のため聞こえにくく、他の手段との併用が望ましいことがわかつた。

(3) 避難先、避難経過の水害時の安全性の検討ならびに周知徹底、浸水地域や危険地域を示してほしいとの要望があつた。

(4) 災害の発生を知つた後、災害の様子や家族の安否を、家族、親戚、知人に電話をかけたり、テレビを見たりして確かめようとした人が多かつたが、電話が輻輳し、電話をかけた人ではつながらなかつた人の割合が高かつた。

参考文献

- 1) 高橋和雄：長崎水害における自動車被害、予防時報、136pp.30~35 (1984)
- 2) 高橋和雄、高橋裕：クルマ社会と水害、九州大学出版会 (1987)
- 3) 高橋和雄、阿比留勝吾：平成5年8月豪雨による鹿児島災害時の市民の対応、自然災害西部地区部会報・論文集18号、pp.65~71 (1994)
- 4) 高橋和雄、阿比留勝吾：平成5年8月豪雨による鹿児島災害時の自主防災組織の対応、自然災害西部地区部会報・論文集18号、pp.72~82 (1994)
- 5) 高橋和雄、阿比留勝吾：平成5年8月豪雨による鹿児島水害における情報伝達および避難に関する調査、自然災害西部地区部会報・論文集第17号、pp.56~65 (1994)
- 6) 藤本廣、北村良介、大山英一：1993年鹿児島豪雨災害による鹿児島市を中心とした交通機能災害に関する研究、自然災害西部地区部会報・論文集第18号、pp.57~64 (1994)
- 7) 岩松暉編：平成5年8月豪雨による鹿児島災害の調査研究成果報告書、文部省科学研究費突発災害調査研究成果、自然災害総合研究班、(1994)
- 8) 寒河江幸平、吉原浩：豪雨災害による交通障害多発時の交通現象—そのⅠ 住民の対応—、平成7年度日本火災学会研究発表会概要集、pp.196~199 (1995)
- 9) 吉原浩、寒河江幸平：豪雨災害による交通障害多発時の交通現象—そのⅡ 消防隊の出場への影響—、平成7年度日本火災学会研究発表会概要集、pp.200~203 (1995)
- 10) 日本消防協会地震等防災対策委員会：豪雨災害事例、平成5年度地震等防災対策の調査報告書〈災害調査編〉第3編、(1994)
- 11) 南日本新聞社：報道写真集'93夏鹿児島風水害、(1993)
- 12) (財) 矢野恒太郎記念会編：1993日本国勢図会、国勢社 (1993)

移動体通信技術の現状と消防用携帯無線機について

細川直史、田村裕之、松原美之

1. はじめに

従来から消防無線の問題点としては通常業務における混信と同時多発災害における周波数の不足が指摘されていた。特に今回の阪神・淡路大震災には多数の応援部隊の同時無線使用による通信の障害がマスコミ等によりクローズアップされている。一方では最近の紙面をにぎわしているように、携帯電話等の移動体通信の領域では技術革新が著しい。これらには限られた周波数を輻輳無しに有効に利用する技術が多く用いられている。本文では、そういった技術を消防無線に生かせないかという主旨から、現在の無線システムの概要と抱えている問題、特に震災時などにクローズアップされた課題の分析、移動体通信の現状の紹介、移動体通信技術を反映させた消防用無線システムの提案を行う。

2. 消防無線の現状と問題点

即時的にしかも広範囲に情報の伝達が可能な無線システムは、消防・救急活動を行う上で欠くことができないものとなっており、その活動目的にあわせて様々な消防用無線システムが各消防本部に導入されている。本章では、現在運用されている消防無線と地震時における携帯無線の問題点について述べる。

2.1 消防用無線の概要

消防無線は業務用無線やアマチュア無線と同様に、電波法に基づいて無線局としての免許状が交付されて運用されており、割り当てられている周波数（チャンネル）は、交信の目的、範囲によって、以下の3つに分けることができる¹⁾。

(1) 全国共通波

他の都道府県における消防活動及び救急活動を支援するために全国の市町村で使用する周波数。

(2) 県内共通波

他の市町村における消防活動及び救急活動を支援するために県内の市町村で使用する周波数。

(3) 市町村波

各市町村において、消防活動及び救急活動を実施するために使用する周波数。

各消防本部における通常の業務による交信は市町村

波で行われ、隣接する消防本部の消防隊とは県内共通波または全国共通波で行われる。市町村波については全ての消防本部に対して固有の周波数が割り当てられるのではなく、近隣の消防本部と交信しないような配慮のもと、限られた数の周波数が重複して各消防本部に割り当てられているのが現状である。割り当てられる市町村波の数は、その消防本部の管轄の人口や面積等によって異なるが、割り当てられた周波数は以下（図1参照）に示すような無線システムとして運用されている。

(1) 消防無線

主にポンプ車、はしご車、救助工作車等の消防車と消防本部及び消防車相互を結び、出場指令、出場途上の報告、現場報告及び応援要請などを行う。無線設備は150MHz帯を用いたFM方式で、一つの周波数で送信と受信を交互に行う単信方式である。

(2) 救急無線

救急車と消防本部を結び、出場指令、出場途上の報告、現場報告及び応援要請などを行う。無線設備は150MHz帯を用いたFM方式で、搬送する患者の容体や応急手当の連絡が容易に行えるように、送信と受信に異なる周波数を使用し電話と同じ同時通話が可能な複信方式である。なお、東京消防庁ではMCA（Multi Channel Access）方式の救急無線を導入している。

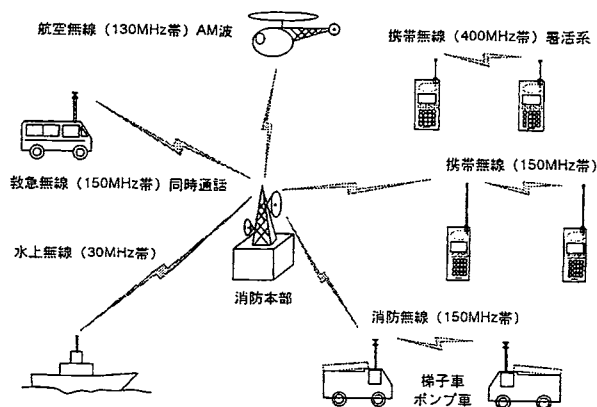


図1 現在利用されている主な消防用無線

表1 150MHz帯携帯無線機と400MHz帯携帯無線機の比較

項目	150MHz帯携帯無線機	400MHz帯携帯無線機
無線局の種別	携帯局 陸上、海上若しくは上空の1若しくは2以上にわたり携帯して移動中、またはその特定しない地点に停止運用する無線局	携帯局 陸上を移動中、又はその特定しない地点に停止運用する無線局
通信の相手方	免許人所属の携帯局、あるいは携帯基地局 消防本部と通信を行うためには消防基地局が携帯基地局としての2重免許が必要	免許人所属の陸上移動局 400MHz帯携帯無線機を携行した陸上の消防職員 ヘリコプターに搭載しての使用は不可
平坦地における通話可能範囲	3,000~4,000m	2,500~3,000m
地下街における通話可能範囲	100~150m	150MHz帯の2倍

(3) 携帯無線

携帯無線機は、火災等の災害活動現場に、指揮者及び消防隊員が相互に指揮命令や情報を伝達する手段として使用され、150MHz帯携帯無線機と400MHz帯携帯無線機の2種類がある。表1に150MHz帯携帯無線機と400MHz帯携帯無線機の比較を示す。150MHz帯は平坦地における通話可能範囲が広く消防本部と直接通信には400MHz帯より向いている。400MHz帯はヘリコプターとの通信ができないが、地下街や市街地での通信範囲が150MHz帯より広く、現場活動での使用に適した携帯無線機である。

(4) 航空無線：消防用ヘリコプターには消防無線の他に、管制塔や消防本部とヘリ運航に関する連絡を行う航空無線機（130MHz帯、AM波、単信方式）、ヘリコプターテレビ伝送システム等が搭載されている。

(5) 水上無線

消防艇が河川や港湾内で溺れている人の救助や、船舶火災及び河川港湾に面する建物の火災の消火などの活動に利用し、31.01MHzの周波数を利用している。

2.2 震災時における無線の問題点

先程述べた消防無線の主端数の割り当て原則からいって、同じ周波数を使用する消防本部が存在することになる。そのため、地形や使用条件によっては通常業務においても他本部との混信の可能性があるといわれている。また、阪神・淡路大震災の際に、消防本部におけるほとんどすべての部隊が火災鎮圧と救助のために一斉に出場し、現場部隊内同士や各署への無線連絡

が通常時より遥かに増大したことから、無線が輻輳状態におちいつている。その上、全国から応援が駆けつけ、通信手段として共通で使用できる周波数が全国共通波や県内共通波等と限られていることからたちまち輻輳が起り、情報収集や部隊運用に支障をきたした。神戸市の延焼火災鎮圧のために海水を複数のポンプで送水を行ったが、全国共通波が輻輳したこと、携帯無線機が行き渡っていなかったことからポンプの連携操作に支障をきたしたことは周知の事実である。今回の震災は、大規模震災時の消防活動を円滑に行う上で、無線システムの重要性を改めて認識させ、無線の輻輳は地震防災上解決しなければならない問題だということを提起したといえる。これら無線の輻輳の対策として考えられるものとして以下のことが挙げられる。

- (1) 情報収集系統、指揮命令系統、活動命令系統等の無線回線の円滑な運用方法について予め明確にする。
- (2) 災害のレベルに応じた無線統制を行い、無線通話における連絡事項の重要度によるランク付け等を行う。無線通話を簡略化し、できるだけ回線をふさがないようにとりきめる。
- (3) 全国的な応援体制取り決め、全国的な呼称（略称）の取り決め等、無線交信要領を整備する。
- (4) 全国共通波等の共通で使用できる周波数を増やす。
- (5) 輻輳の少ない新しい無線システムを導入する。

(1) から (3) に関しては現行の無線システムにおいて可能な限りの有効利用を図ろうというものであるが、震災時における無線の通話量増大に対応するには、かなりの改善は望めるもののこれだけでは充分と

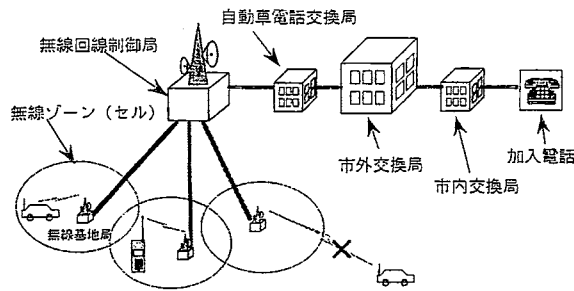


図2 携帯・自動車電話システムの概要

はいえない。(4)は電波行政上消防に対して特別に多くの周波数を割り当ててもらい運用することであり、輻輳対策には最も効果的な方法と考えられる。現在、全国共通波については阪神大震災以後は2波を増波され3波体制となっているが、3波体制になっても地震時における同時多発災害に対応できるとは言い難い現状である。一方では、大規模震災時に輻輳しないほどの多くの周波数を消防無線だけに割り当てることは事実上不可能であるという現状がある。そこで、新しい無線システムを導入するという(5)は、近年の移動体通信技術の飛躍的な進歩を考慮すると、将来的には有効な輻輳対策といえる。

輻輳以外の問題として、阪神・淡路大震災の際、充電式バッテリーを使用していた携帯無線機の多くが電池切れでほぼ同時に使用不能に陥り、情報の伝達に支障をきたしている。また、これまでの携帯無線機は送信と受信をボタンを押すことで切り換えるプレストーク方式であるが、この方式は手がふさがることが多い現場活動での使用に向いているとは言い難い。これまで当たり前のように使用されてきた携帯無線機の基本機能や操作性を根本的に改良していくことも必要であると思われる。

3. 移動体通信技術の現状

近年、わが国では情報通信ネットワークが質及び量の両面にわたってめざましく拡大・高度化し、情報化が急速に進展している²⁾。特に、移動通信分野では、携帯・自動車電話、PHS(Personal Handyphone System)等多様な移動通信システムが実用化され、利用車の数が急激に増大している。これら移動通信システムには限られた周波数帯を混乱なしに有効に利用するための技術が用いられている。本章では、これら移動体無線技術の現状について、セル方式、デジタル方式、PHS等の重要なキーワードの説明を通して簡単に紹介する。

3.1 セル方式

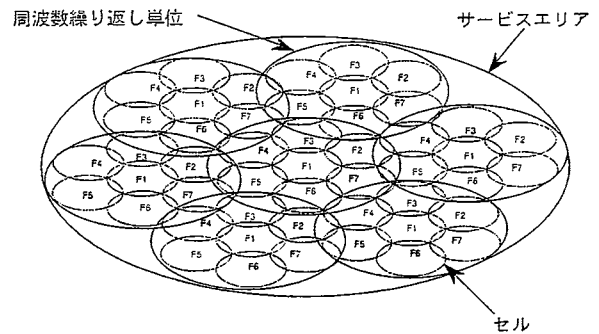


図3 セル方式による周波数の繰り返し利用 (7セル繰り返し)

携帯・自動車電話の概要を図2に示す。最大の特徴は、回線収容能力を高めるために、小ゾーン方式を取り入れている点である³⁾。小ゾーン方式とは一つの大きな基地局を設けてそれで広範囲をカバーするのではなく、小規模の基地局を多数設けて、それらの連携により広範囲をカバーする方法である。一つ一つの基地局がカバーする範囲がセルと呼ばれていることから、この方式はセル方式とも呼ばれている。サービスエリア内の各移動電話機は最寄りの無線基地局にアクセスし空いている周波数(チャンネル)を割り当ててもらって通話を行う。もし移動電話機がセルの外へ出た場合は、それまでアクセスしていた無線基地局とは通信できなくなる。そのため携帯・自動車電話は通話中の移動を検出し接続先無線基地局を自動で切り換えるハンドオーバーと呼ばれる機能を備えている。

図3はセル方式による周波数の繰り返し利用の概念を図にしたもので、F1からF7の周波数をそれぞれ利用する7つのセルを1かたまりとしたものが繰り返し配置されている。セル内では電波が届くが、同じ周波数を使用する他のセルまでは電波が届かない無線機を使用すれば、周波数の数は同じ7つでも、同時に通話できる回線数はセル化しない場合と比較しておよそ7倍(各電話機が均等に分散した場合)になり、はるかに多くの回線が利用できることになる。このセル方式はセルの半径を小さくすればするほど回線数が増加するが、その分多くの無線基地局を配置する必要があり多くの設備投資が必要となる。現在NTTの携帯・自動車電話におけるひとつひとつのセルは半径2kmから数km程度である。

3.2 デジタル方式

デジタル方式は音声そのものを直接変調して無線波として送るのではなく、音声をいったん記号化して(0と1の2進化)通信を行う方式で、以下のメリットがある⁴⁾。

- (1) 信号が届きさえすれば、電波状況などによって音質が変化することはない。
- (2) 何らかの原因で通信内容の一部が欠けてしまった場合でも補正を加え内容を復元することが可能である。
- (3) 音声をいったん記号化することから秘話性が高い。
- (4) 記号化した音声データは圧縮が可能で周波数の利用効率がよい。
- (5) コンピュータ等他の情報機器とダイレクトに接続可能である。
- (6) ほとんどの構成部品をLSI化することができるため、小型化が可能である。

携帯電話では800MHz帯と1.5GHz帯で、PHSでは1.9GHz帯のデジタル方式が採用されている。

3.3 PHS (Personal Handyhone System)

PHSはデジタル方式のコードレス電話としての機能に加えて、屋外や公共の施設などでは電気通信事業者が設置する基地局を介して公衆電話(通信)網にアクセスできることから、簡易的な携帯電話として利用可能である⁵⁾。移動端末の出力は最大で10mw、セルの半径は数百m程度と、携帯・自動車電話と比較して非常に小さいセルを採用し、デジタル方式と併せて周波数利用効率が非常に高いシステムである。しかし、ハンドオーバー機能(電話機の移動とともにアクセスする無線基地局を切り換える機能)は携帯・自動車電話ほど高度なものではなく、自動車や鉄道での移動中の使用には対応していない。

4. 携帯無線の将来像について

先ほど述べたように震災時では、現行の消防無線の方式では輻輳が避けられないと考えられることから、新しい消防無線システムを構築することは重要課題である。混信・輻輳のない新しい消防無線システムの構築を行う上で、現行の移動体通信システムを参考にすることは技術的にも予算的にも現実的な方法である。本章では携帯・自動車電話やPHSのシステムを参考にした将来の消防無線の形態についてあり得べきシステムについて提案したい。

消防無線における重要な役割の一つに消火や救助の際の指揮者からの指揮命令や隊員からの報告等の活動現場における意志伝達があげられる。これは部隊運用を円滑に行うためにはかなり頻繁に使用することになり、もし、出力の高い無線機でこれを行うと一つの部隊が広い地域で周波数を占有し、同時多発災害が起こり多くの部隊が出場する場合には無線の輻輳が起こり

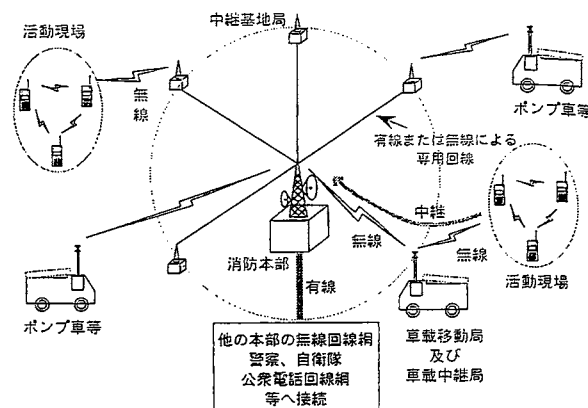


図4 移動体通信技術を応用した消防無線の一形態

情報伝達に支障をきたすことになる。つまり、遠くまで電波がとどく無線ほど輻輳が起こりやすくなることになる。現場活動での意志伝達に使用でき、しかも他の離れた本部との通話が可能で、輻輳が起こらない無線システムが理想である。そこで、無線機の出力を抑えたセル(小ゾーン)方式とデジタル方式を採用し、輻輳対策と周波数の有効利用を行う。

新しい消防無線システムの構成を図4に示す。システムは回線全般の制御を行う中央基地局、固定の基地局、車載移動基地局、車載無線機、各隊員が携行する携帯無線機からなる。通話の形態には、(1)現場の指揮命令システムに用いる小エリア通話、(2)消防本部から各署、署から各部隊長へなどの比較的大エリア通話の2通りとする。

(1) 小エリア通話

携帯無線機間の通話で現場の指揮命令システムに用いる。従来の携帯型無線機とほぼ同じで、3者間以上の同時通話が可能で、PHSの子機間通話にあたる通話形態である。

(2) 大エリア通話

消防本部から各署、署から各部隊長へなどの主に個から個への通話に用いる。これは携帯電話やPHSの通常通話とほぼ同じで、電話番号にあたるIDを各無線機は持っている、話したい相手局のIDをプッシュすることで、無線機は小エリア内の基地局又は車載移動基地局にアクセスし、空いているチャンネルを自動的に見つけて通話を可能とする。

通常の無線機を現場活動使用する場合のメリットとして、指揮隊長からの通信は携帯無線機を持つ全ての隊員が傍受可能で部隊内のコンセンサスがとり易いことが挙げられる。そこで(1)小エリアにおける3者間以上の同時通話は是非必要である。横浜市などの大

きな消防局では150MHz帯の消防波の他に400MHz帯の無線波の割り当てがあり、通信司令室と各署間等では消防波を使用し、現場での部隊運用は署活系無線を利用していることから、このような無線運用携帯は消防活動を円滑に行うために実用的であると考えられる。新しいシステムは以下の新しい機能を具備することが可能となる。

- (1) 消防車両に車載中継局の機能を持たせ、近くに中継基地局がない場合でも車両近傍で活動する隊員の無線網へのアクセスを確保する機能。
- (2) 指令センターからの一斉指令通話機能、または、グループを限った一斉指令する機能。
- (3) 全国の消防の呼び出し番号 (ID) を、無線機内のメモリーに記憶する機能。
- (4) 警察、自衛隊、公衆電話回線へも直接アクセスできる機能。

このような無線システムを実用化するにあたっては

- (1) 移動体通信サービス会社の回線の一部を専用回線として利用する
- (2) 独自の移動体通信網を構築を行う

の2通りが考えられる。(1)は現行の携帯電話を改良したものを消防に展開し、携帯電話システム内に専用回線を消防用に設定するもので、中継局の設置等のコストの面からみて現実的な方法である。しかし、現行の移動体通信のサービスエリアが限られていることや基地局等施設の耐震性の問題が考えられる。(2)は中継局の設置などに多くの初期投資が必要であるが、消防無線の独自性や耐震性を考慮したシステム作りが可能である。

5. おわりに

今回述べた様なデジタル無線システムの整備は、無線の輻輳対策のみならず、車両動態管理システム (Automatic Vehicle Monitoring System) の機能高度化や、災害時の情報伝達を行う防災情報システムとのリンクという観点から将来的には必ず必要になると考えられる。一方、そういったシステムの高機能化が進んだ場合、地震災害に対して脆弱になり、いざという時には役に立たないという声がある。確かに現在の消防指令システムでも情報は指令センターに集約されるようになっており、指令センターが被災してシステムが停止した場合は消防活動に混乱をきたす恐れがある。しかし、今日のように高度化・過密化した都市において消防活動を円滑に行うためには無線等の情報システムは欠くことができなくなっているのが現状である。大規模地震時において役立つ信頼性の高いシステムを構築するためには、通信方式や運用方法の改善とともに、指令センター及び各施設の耐震性の強化を図ることも必要である。

参考文献

- (1) 消防防災情報通信ハンドブック：自治省消防庁 防災課 監修
- (2) 移動通信システムガイド95：郵政省電気通信局 電波部移動通信課 監修
- (3) 小特集パーソナル移動通信：電子情報通信学会 誌78巻2号
- (4) 内山雪路：デジタル移動通信方式
- (5) 特集/PHSの新展開：エレクトロニクス1995年 5月号

地下利用の特殊空間内における火災性状に関する研究

山田常圭, 齊藤 直, 関沢 愛,
 箭内英治, 渡部勇市, 宮崎早苗

1. はじめに

消防研究所では、平成2年度から平成5年度までの4年間、「地下利用の特殊空間内における火災性状に関する研究」を行ってきた。本研究を行うきっかけは、バブル経済により地価が高騰した都心地域で、地下の長大な道路、鉄道の建設等の都市基盤を整備するため、都市空間の高度利用化を進めようとする社会的な動きにあったといっても過言でない。また、この4年間にバブル経済の崩壊があり地下空間利用の構想の多くは消え失せたが、地下空間利用に対する社会的ニーズがなくなったわけではない。当面地下空間利用に関しては、地下交通施設・地下駐車場等の開発実現性の高いものを中心に、超高層化と同様の都市開発手段の一つの可能性として、具体的な提案が今後とも引き続きなされる趨勢にあると考えてよい。

本研究は、こうした地下の特殊空間内における火災性状、具体的には可燃物の燃焼速度、煙伝播性状等を模型実験により把握し、また将来的にはコンピュータシュミレーション等により実大規模での地下の特殊空間内における火災性状の予測を行い、火災時の人命安全確保・消防活動等の対策を樹立していく上で必要な基礎資料を得ることを目的として行われたものである。

研究の詳細については、消防研究所資料第21号『地下利用の特殊空間内における火災性状に関する研究報告書』¹⁾で既に発表しているが、この資料は研究データの資料集的色彩が濃く、一般の人が読むには多少骨が折れると思われる。それ故、本文では、この一連の研究によって何が判り、何が課題として残っているかを簡単に概括して紹介したい。

2. 研究経緯：何故に地下の特殊空間としてトンネル空間を対象としたのか？

冒頭にも述べたように、我が国において、大深度地下空間の開発利用が提唱されるに至った背景には、首都圏を中心に国際化、情報化による都市機能が集中し、その結果、大都市におけるビル建設や都市開発の需要

が増加し、土地不足、あるいは地価高騰を招いたことが挙げられる。昭和63(1988)年6月には「総合土地対策要綱」が閣議決定され、地下利用技術の開発促進、大深度地下の公的利用に関する制度創設への法案準備等についての方針が示された。その結果、それまで殆ど未開発の場所であった大深度地下空間の開発利用が各方面からにわかに注目されるようになり、開発利用可能性に関する調査研究報告あるいは開発構想といったものが百花擡乱のごとく出現した。例えば、表1²⁾に示されたようなものが現存する、または今後出現する可能性がある地下利用施設として挙げられている。地下空間の開発利用が求められるようになった理由を整理してみると、次のような事項が挙げられる。

- ① 都市部における土地不足、地下高騰の問題を回避しながら、都市交通、物流システムなど、インフラストラクチャーの整備が行える。
- ② 「私権」の制約があり、開発に際してその調整に多大な時間とコストの伴う地上に対して、大深度地下空間は「私権」の及ばない場所として注目される。
- ③ 地上空間の過度な都市開発による都市景観の阻害を避けることができる。
- ④ 例えば、備蓄施設、エネルギー等物流システムなど、都市施設によっては、環境上、または防災上、地下空間が都合のよい場合もある。

これらの地下空間利用に関する動向を概括してみると、居住空間的なものは少なく、無人を前提とした産業施設が多い。また、1地点に単独で計画される拠点型施設よりも大深度地下空間における開発の自由度を意識したネットワーク型施設が多く、構造的には管状のものが中心となっている。中でも留意する必要があるのは、既に地下鉄や地下道路トンネルなど類似施設が現存し、事業化の観点からも実現性の高い大深度を利用した長大地下自動車道路、地下鉄道等の建設構想である。これらは、いずれも不特定多数の者が利用する施設であると同時に、火災等の事故の発生可能性も比較的高いものであり、その防災技術、防災対策の検討が早急に必要なものといえる。

表1 今後新たに予想される都市部における地下利用施設²⁾

分類		一部地区で導入例あり	将来の可能性あり
交通	軌道（含駅舎）	新交通システム	
物流	一般物流		物流トンネル、物流ステーション（荷さばき、ストック）、新物流システム（パイプ、ベルト、カプセル）
	廃棄物共同溝	廃棄物処理管路 供給管共同溝 （含むCAB、共同管路）	廃棄物処理施設 深層（基幹）共同溝
用排水	用水	中水道、地下排水池、貯水槽 （飲料、防火）	地下中水道プラント
	排水（含雨水）	地下ポンプ場	地下雨水貯留施設、地下水人工かん養施設、地下下水処理場
エネルギー	電力	地下変電所（超高圧、配電用）	地下発電所（小型分散型）
	石油 熱供給 （地域冷暖房）	石油パイプライン 導管、地域冷暖房地下プラント	地下備熱槽（熱水貯蔵、岩体蓄熱）
情報・通信		ニューメディアネットワーク （CATV、VAN、その他）	地下情報センター（コンピュータ、コントロール、データバンク）
防災	避難施設		地下避難通路、地下避難場所
生産・貯蔵	貯蔵		食品貯蔵庫（冷蔵・冷凍庫）
文化施設等	文化施設		図書館、美術館、博物館、ホール、教会
	体育施設		体育館、プール、アイススケート場
業務住居等			地下業務施設

本研究で、地下利用の特殊空間に関する多種多様の構想の中から研究対象として先ずトンネル形状構造物を選択したのは、こうした理由による。また、形状が比較的単純明快であり実験や解析の上で条件的に有利であること、種々の地下空間における火災現象の基本問題を内包していると考えられること、既に海底トンネルなど地下空間を利用した長大トンネルが現存し形状の特性や防災対策の現状を踏まえて考察することが可能であること等、実際に研究を進めていく上で好都合であったことも理由として挙げられる。

さて、具体的研究内容紹介の前に、地下及び一般トンネル内の火災に関する既往の研究状況について少々触れてみたい。トンネルの既往の防災研究は、便宜上、道路トンネル、鉄道、坑道トンネル、と大きく分けられ、各々の分野で研究が行われてきていた。どのような研究が行われてきたかは技術資料中に述べられているので省略し、ここでは研究内容というより性格について述べるにとどめたい。

我が国のトンネル状空間での火災研究において目立つのは、実大トンネルでの実験である。例えば道路ト

ンネルでは、1983年の中国縦貫自動車道加計東トンネル³⁾、建設省土木研究所での一連の実験⁴⁾が有名であるし、鉄道では、北陸トンネル火災後の1974年の宮古線猿峠トンネルでの車両実験⁵⁾等が挙げられる。実大実験におけるデータの蓄積はかなり豊富であるが、こうした実験研究は事故の原因解明や、特定の防災対策の効果確認実験といったコンサルト的な意図を持って行われ、火災現象の解明、モデル化等基礎的研究から、知識を体系化し普遍的な防火安全対策に活かしていくとする姿勢はあまり見受けられない。

一方、坑道火災に関しては現象等で興味ある研究が多く行われている。燃焼物も多く燃焼形態も多岐にわたることから、この種の研究の中では燃焼理論に裏付けられた基礎研究も少なくない。残念なことに、こうした研究の多くが「固体燃料で内張りされた換気ダクト内で伝播するような燃料過剰な火災」であり、後述するように燃料過剰な火災とはなりにくい長大トンネルでの火災に単純に適用することには制約があるように思われる。

このように、現在のトンネル防火安全対策は経験的

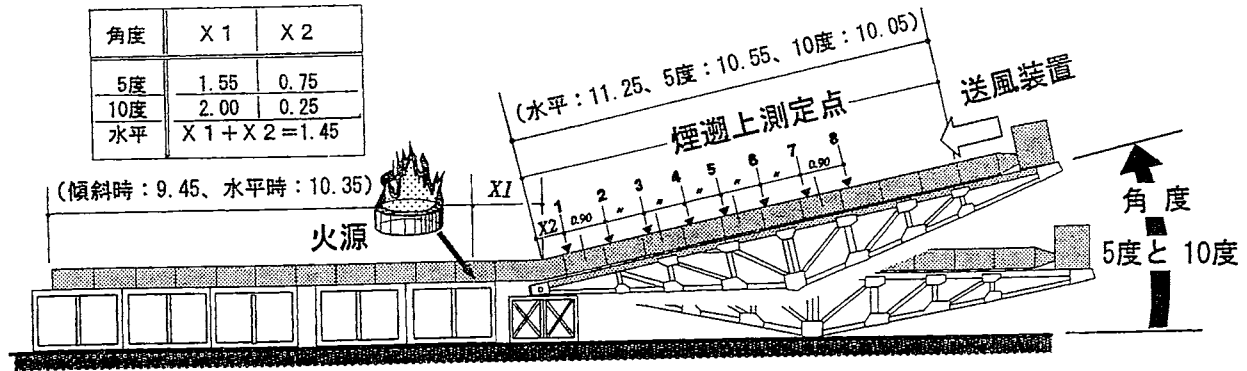


図1 トンネル模型の概要図

に支えられてきた技術を基盤としており、科学的体系的な防火安全設計法が確立されているとは言い難い状況にあると考えられる。本研究はこうした状況に鑑み、将来体系的な地下空間防火安全対策を構築していく上で不可欠となるトンネル内での火災性状の基礎的な現象の解明を第1義の目的に据え、まず手始めとして、トンネル内での火災性状に影響を及ぼしそうなパラメータをいくつか選び、系統的にそれらの影響の度合いを実験的に把握することから研究を始めた。

3. 研究概要

3.1 実験概要

本研究では、主として実大の約1/20の縮尺の通称「地下空間模型」を用いた実験研究を中心に行った。この地下空間模型内の火災性状、具体的には火源発熱速度等の燃焼性状、煙層の形成・遡上等の煙伝播性状への、火源規模・換気風速・トンネルの傾斜角等の影

響を明らかにするために、系統的に実験を行った。

本研究に使用した地下空間模型は、図1に示すような全長21.6m、断面が0.3m×0.3mで、約半分を60°迄の任意の角度に傾斜させられる構造である。火源の燃料には主としてメタノールの液体燃料を用い、模型のほぼ真中に設置した。また、縦流式の換気が行えるよう端部には送風装置が設置されている。主な測定項目は、燃焼速度、模型内の温度・風速分布、ガス濃度分布であり、また目視等によって煙の伝播状況も観測された。今回実施した実験条件の項目と設定範囲を表2に示す。

3.2. 結果概要

3.2.1. トンネル内部での燃焼に関連して

トンネル内部は閉鎖的な空間のイメージが強く、火災時には空気不足になり多量の煙が出て、避難・消防活動が難渋しそうな感じがする。過去の筆者らが行った現地調査においても、火災の時には送風によって火

表2 実験条件一覧表

実験区分	燃料	トンネル長(m)	トンネル斜度(°)	燃料口径(m)	平均断面風速(m/s)
A	メタノール	9.9	0	0.25	UHO, 0.08~0.82
B-1	〃	21.6	0	0.10	UHO, 0.08~0.39
B-2	〃	〃	0	0.15	UHO, 0.08~0.43
B-3	〃	〃	0	0.20	UHO, 0.08~0.52
B-4	〃	〃	0	0.25	UHO, 0.08~1.0
C-1	〃	〃	5	0.15	UHO, HC, UC, 0.09~0.69
C-2	〃	〃	5	0.25	UHO, HC, UC, 0.17~0.69
D-1	〃	〃	10	0.15	UHO, 0.17~0.52
D-2	〃	〃	10	0.25	UHO, HC, 0.26~0.69
E	〃	〃	0	0.15	0.43~1.3

UHO : トンネル模型の両端開放

HC : トンネル模型の水平路端閉鎖

UC : トンネル模型の斜路端閉鎖

勢をあおることになるから、いったんは送風を差し控えるという回答が多かった⁶⁾。一体、火災発生時、トンネル内部での火災性状は、どのようなものになるのであろうか。限られた実験ではあるが、得られた結果をもとに類推を交え以下解説する。

トンネル内は閉鎖空間？

従来の実大規模の道路トンネル内火災実験では、火源として大型バス1台分の火災規模が標準的に使用されてきた。この火災規模は発熱速度が10MW、およそ面積4m²のガソリンが燃えた場合に相当するといわれている。一方、筆者らの実験の内、最も火源面積が大きい直径がトンネル幅程度の大きさを持つ円形プール規模の火災は、二車線道路トンネルを例にとると、路面の幅を7mと仮定して面積約40m²のガソリン火災となる。単純に発熱速度が面積に比例すると仮定すると、これは大型バス火災の10倍の火災規模となる。この点からすれば、筆者らはかなり大規模火災を想定した模型実験を行ったといつてよい。これは研究の主旨から、単に火災発生直後の避難のみならず、消防隊が到達する時点での火源が十分成長したような場合も念頭に入れていたことによる。

燃料と空気の供給を制御できる場合、燃焼状態を決定する基本的な量の一つは、完全燃焼する空燃比を基準($\phi = 1$)として求められる空気量と燃料量の比、すなわち化学量論比である。ここで、実大の道路トンネルの例として、断面の面積が60m²（概ね関越トンネルの断面積に相当する）、内部の換気風速が平均5m/秒である場合について考えてみる。この場合換気量は300m³/秒となり、この換気量に含まれる酸素全量を使って燃料が完全燃焼すると、発熱量は最大1,080MWにもなる。ただし、この計算では、大気圧下、温度25℃、酸素1kg当たりの発熱量が13.5MJであるとした。

一方、直径7mのガソリンプール火災の発熱量は、前に述べたようにバス1台の火災の10倍、100MWである。この発熱量をもってしても、先に想定した換気量下での発熱量の10%にも満たない。また、10MW相当のバスを燃やすには、先の条件ではトンネル内断面の平均換気風速が僅か5cm/秒程度で良いことになる。つまり、そこそこの換気がありさえすれば、トンネル内での火災では非常に特殊な場合を除き、火災を継続させるのに十分すぎるほどの空気があると考えてよいと推察される。模型実験においても（メタノールで2.5~50kW、n-ヘプタンで25~100kW）化学量論的には、殆どすべての場合空気不足にはならなかった。また換気のない場合には一見空気の流入がないように

思われがちであるが、多くの場合トンネル内は二層流となり、床面近くの下層部から新鮮空気が多量に流入する。実際、送風しない実験でも空気不足という状況にはならず、一酸化炭素の発生も殆ど観測されなかった。ただ、非常に長いトンネルの場合には、途中迄流れていった煙が再び下部の空気に巻き込まれ、それによって新鮮空気の流入が少なくなるおそれはあるが、今回の限られた長さの模型実験では明らかにすることはできなかった。

火災時に送風すべきか否か？

1960年のトンネル火災実験報告書⁷⁾によると、メタノールを燃料とした燃焼速度は、風速を大きくすると増大するとの結果が報告されている。また、坑道火災の実験でも送風すれば燃焼速度が増大する。図2は、筆者らの実験における各種燃焼容器径での換気風速と点火40分後の燃焼速度の関係を示したものであり、これらの報告とは違った結果がみられる。図中の黒印は、40分時点でも依然温度上昇を示したものである。この結果によると、トンネル内換気風速が速いほど燃焼速度が小さくなり自由空間での燃焼に近くなる。一般に、火源規模が大きい程その傾向は強い。これは、こうした空間での燃焼が火災形状や天井をはじめとする周壁の熱環境に非常に依存していることを示している。風がない場合、炎が火源直近の天井をなめ、天井温度を上昇させ、それによって天井からの火源域の熱の再放射が大きくなり、火勢が強くなる、そして、それによって更に炎が大きくなり…、といった具合に、加速度的に燃焼拡大が生ずることが判る。それ故、火源近傍

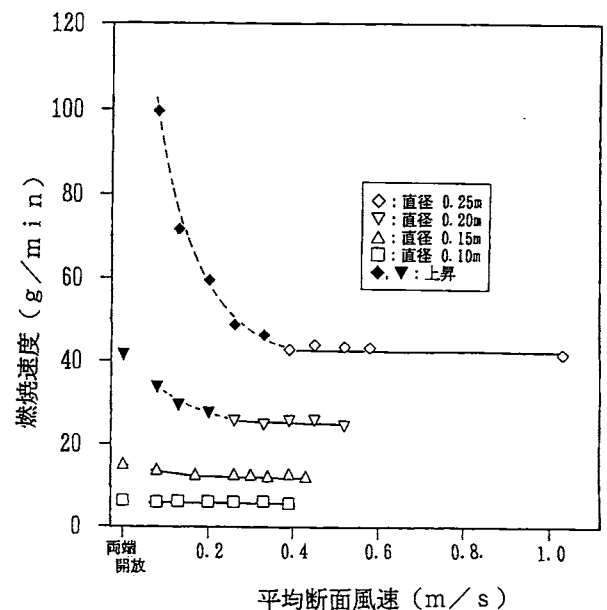


図2 換気風速と燃焼速度の関係

に二次着火物がなければ送風して炎を押し倒し、同時に熱の排出を促進した方が、火勢制御という観点からは望ましいように考えられる。もっとも、これは予め火源に十分空気が供給され周囲からの熱の再放射の影響が顕著にあらわれる液体のような場合であって、そうでない場合、例えば木材クリブのような固体には送風と共に短期的には火勢を増大するのは言う迄もない。

さて、多くのトンネルにおいては断面積が大きいいため、比較的少ない換気でも火源に十分な空気が到達する。坑道火災のような固体の燃焼はともかく、筆者らの実験と同様に液体燃料を用いた前掲の実験結果⁷⁾との食い違いはどうして起きたのか。この詳細な検討は行っていないが、おそらく既往の実験では筆者らのそれに比べて実験時間が短く、周囲の壁がコンクリートで熱容量が大きいいため、周囲の温度が燃焼速度に十分に寄与するほど上がらなかったこと、および燃焼容器の縁(フリーボード)、形状の差によるもの等、と推察している。

3.2.2 トンネル内の煙の動きに関して

トンネル内の煙は、避難、救助活動に大きな影響を及ぼすため、その挙動を予測することは防災上非常に重要である。本実験研究中、この煙の挙動に関しては、主として火源風下での煙層の形成状況及び風上側への煙の遡上状況の把握が中心的課題となった。

風下側での避難・救助は可能か?

模型内の風速を速くしていくと、風下側の煙は天井に沿って高温層が形成される明確な二層流から、やがて、一様に混合した流れに変わっていく。大雑把に言って、火源の発熱速度が大きく換気風速が弱いと二層流が、その逆では混合流となる。

火源風下側での避難・消防活動は煙に巻かれるため通常考えられないが、万一このような状況下におかれた場合、煙層の形成の有無が問題になってくる。図3は実験での火源の発熱速度とトンネル内の換気を各々無次元化してX,Y座標にとり、煙層の形成状況を示したものである。なお図中のQは発熱速度(kW)、 C_p は空気の定圧比熱(kJ/kgK)、 T, ρ は各々気体の絶対温度(K)、密度(kg/m³)、Dは火源直径(m)、Vは換気風速(m/秒)、Hはトンネル天井高さ(m)、添字 ∞ は周囲雰囲気である。この図から、発熱速度が大きくなれば安定した二層流が形成されやすく、混合させるには換気風速を高め設定する必要があることが判る。

さて、風下に避難した人々に危害を及ぼさないための方策としては、2つの方法が考えられる。1つは、送風を止め高温の煙を天井に沿って流し、避難する人

がいる床に近い部分に煙が降下しないようにすること、もう一つは、混合は承知の上で十分に送風し火源からの燃焼生成物を十分に希釈してやることである。

本実験では断熱性のよい材料を躯体に使用しているため、失熱が比較的少なく二層流を形成させるのに良い条件であるが、現実のトンネルでは壁体が十分に冷えているため、早晚、高温層も降下してくると考えられる。その意味では前者はあまり推奨できる方法ではない。

では希釈する際にはどの程度の送風をすればよいであろうか? 建物火災の煙対策では、火災室の燃焼生成物の1/100希釈ということがよく言われる。これは、火災室の一酸化炭素濃度が数%であると仮定し、希釈後、避難者が暴露されるおそれのある濃度を数百ppmにとどめるための一つの目安であると考えてよい。パス1台分の発熱速度10MWの火災を例にとりて考える。簡単のためメタノール燃焼で考えると、発生する燃焼生成物は常温で0.35m³/秒、熱で膨脹したとしても1m³/秒内外である。これを体積で100倍希釈するのに必要な空気は100m³/秒。トンネルの断面積が60m²程度であるとすると、約1.6m/秒程度流せば1/100希釈は達成されることになる。この程度の流れで混合流が形成されるかは多少疑わしいが、少なくとも一様な混合流となるような換気の場合には、100倍程度の希釈は火源からそこそこ離れた場所において確保されているとみても良く、数字の上では避難・消防活動はかろうじて成立する。もっともこの希釈の根拠は、生理的な面からであって、見透かし距離の低減等による心理的な側面は入っていない。致命的にならないが、視界のきかない場所を数km~数10km歩くことは現実的

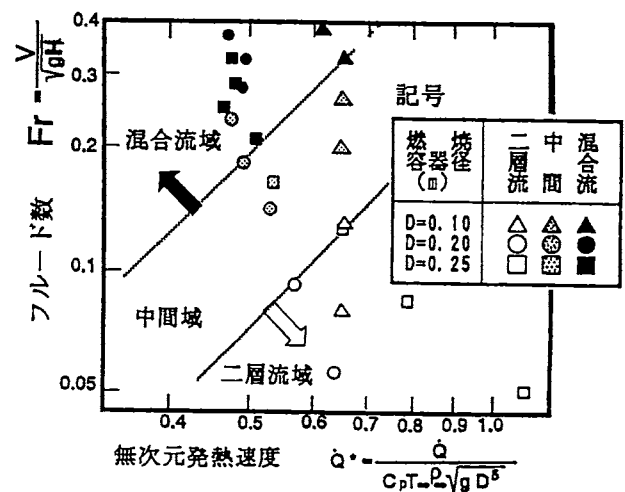


図3 発熱速度・換気速度の無次元数と煙層形成状況

ではなく、いずれにしても、風下側での避難・救助は不可能ではないが、常にリスクを伴うことになる。

煙の伝播速度とそのメカニズム

「煙と避難する歩行速度とどちらが速いですか？」といった質問を火災現象に疎い人から質問を受けることがある。煙の伝播速度については、過去に多くの研究が行われてきており、特に天井の高さに比べ煙の層厚が薄い場合については、水平および斜路の流れは工学的に利用できる程度では、ほぼ定式化されているとあってよい。煙の流れを支配する力として重要なのは、浮力つまり周囲との密度差 (Δ) と流れてくる煙の慣性力としての流量 (M) である。この両者が判れば火源から比較的近い静止空気中での煙の伝播速度あるいは煙層の厚さは概ね簡単な式で与えられる。こうした条件を抜きにして煙の流れる速さは語ることはできないのである。また、火災時にトンネルを流れるような浮力性流れでは、殆どの場合、煙の進行と共に速度が落ち煙層の厚みが増すという現象が見られる。この理由として天井面からの失熱による浮力の減衰と粘性の影響が考えられている。この失熱を伴う場合の流れはかなり複雑であるが、失熱の影響が少なく、空気の巻き込みが少ない場合には、火源から発生する煙の浮力と慣性力が釣り合いほぼ等速度になり、その後、粘性の影響により減速することが判っている。実験的には、後者の浮力と粘性が釣り合う場合、煙層の先端の到達距離 (x) と時間 (t) の関係は次式で表されることが判っている。

$$x/H \propto (g \Delta M^3)^{1/5} t^{4/5}$$

ここで、 $\Delta = (\rho - \rho_\infty) / \rho_\infty$ 、 x は煙の先端到達距

離 (m)、 M は煙の流路幅あたりの流量 ($m^3/秒 \cdot m$)、 t は時間 (秒)、他は前出と同じである。

今回行った斜路部での煙の遡上についての、遡上到達点と到達時間の関係を両対数で示したのが図4である。これによると、換気風速が低く煙層の流れが速い、つまり煙層の厚さが厚くなる場合、煙の到達距離が時間の0.8乗に近く、ほぼ粘性と慣性力のバランスによって遡上が生じていることが推察される。

ところが、トンネルの高さに対して煙層の厚さが大きくなると話は非常に難しくなる。換気風速が速く、遡上が緩やかに生じる場合がこれに該当する。例えば火源直径0.25m、換気風速0.52m/秒の場合、火源風上6.9m地点から7.8m間の90cmの遡上に十数分（平均遡上速度1.1mm/秒）要している。写真1は、火源風上側へ遡上する煙層先端近傍の状況である。このように煙層厚が大きくなる場合、傾斜下層部への空気の流れが速く、速度勾配が非常に大きくなるため、界面での

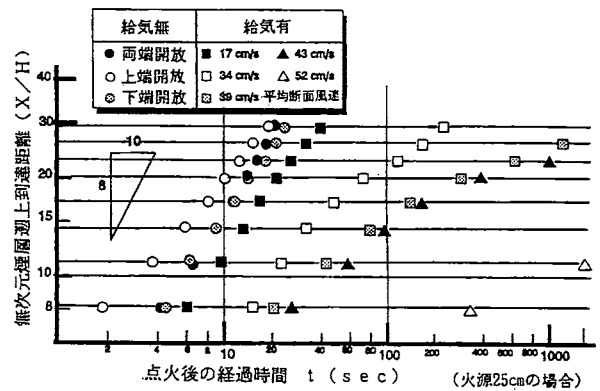


図4 煙層の遡上距離と時間の関係

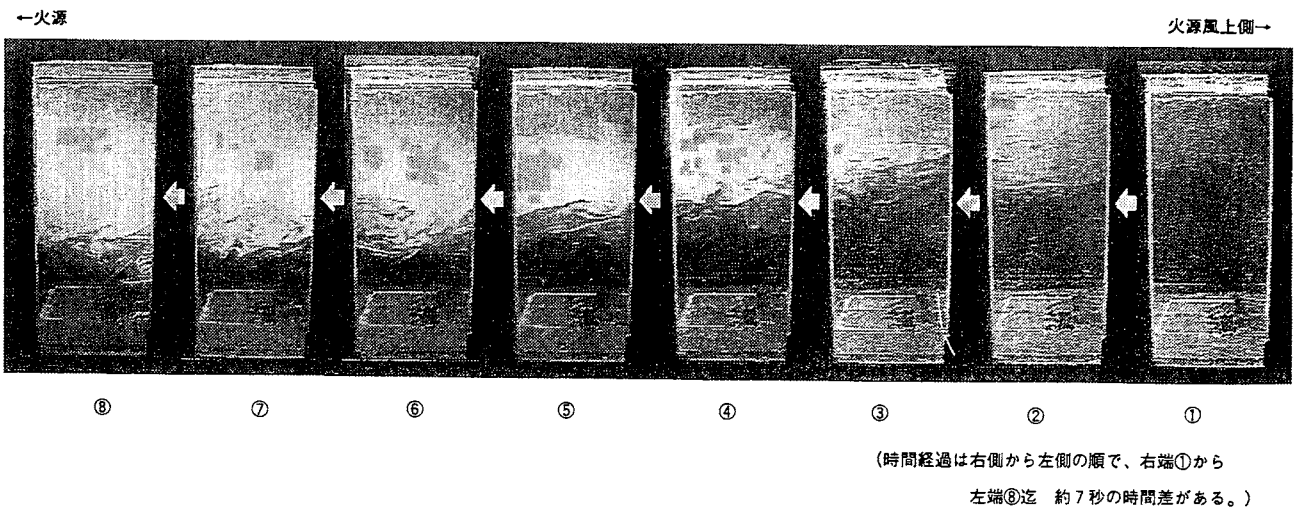
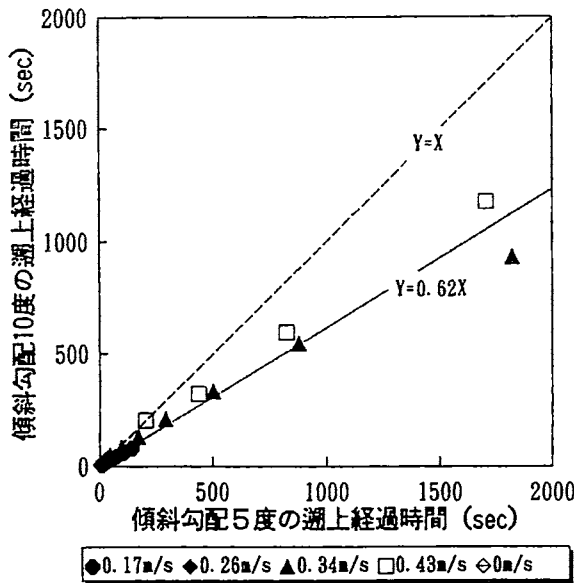
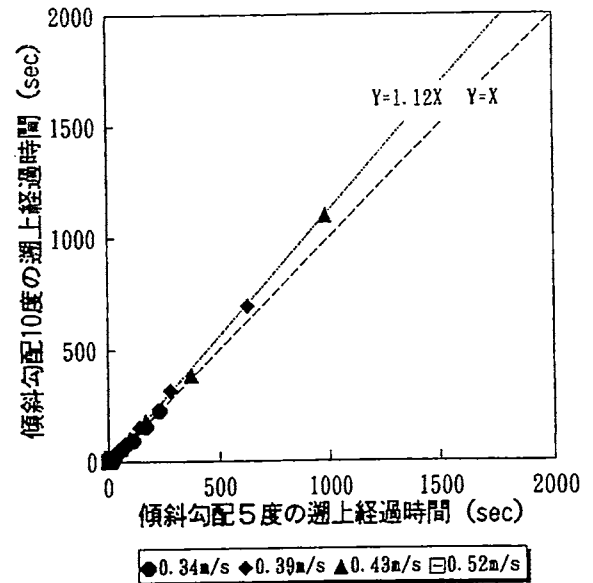


写真1 天井に沿って上方へ遡上する煙層先端近傍の状況
(火源風上約7m位置の観測窓におけるレーザーライトシートでの煙層の可視化、条件：傾斜勾配 5度、火源直径 0.15m、両端開放)



(a) 火源直径 15 cmφの場合



(b) 火源直径 25 cmφの場合

図5 異なった傾斜勾配での各測定点における煙層到達時間の比較

混合も極めて大きくなる。

この場合の現象はかなり複雑である。図5は同一換気風速下における、トンネルの勾配が5°と10°の時の煙の先端が同一の測定点を通過する時間をプロットしたものである。本実験は換気が斜路上部から下方へ吹き込まれているような条件であるが、浮力効果から推測して、トンネルの勾配の傾きが大きいくほど、風上に向かっての伝播速度が速いように考えられる。確かに、火源直径が15cmの場合6割強速くなる。ところが、25cmとなると、同じかむしろ10°の方が遅い傾向にある。単なる実験の誤差とは考えにくく、斜路における混合の度合い、あるいは開放端部の静圧差がこうした煙の伝播速度に影響を及ぼしていると思われる。こうした乱流境界層の混合に関わる問題は、現時点においても先端基礎科学の分野の大きな課題でもあり、今後こうした分野での研究成果を活用し現象の理解を深めていくことが必要である。

煙の遡上を阻止するためには？

送風して煙の伝播を阻止することは、避難・消防活動の対策としてしばしば行われることである。どの程度の風を送れば良いか諸説があり定まったものがない。少なくとも火勢が強くと、煙が多量に発生し温度が高ければ、より送風しなければ煙の遡上を阻止できないであろうことは見当がつく。図6は、発熱量に依存する風速パラメータと遡上阻止に必要な風速を同一次元で書いたものであり、ほぼ予想した結果となってい

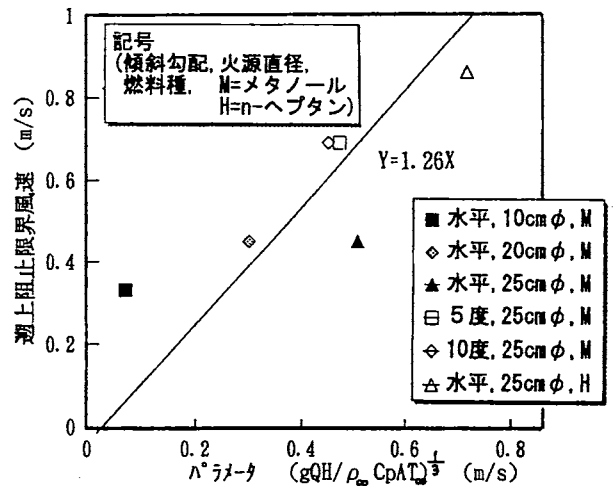


図6 火源規模と煙層遡上阻止限界風速の関係

る。しかしながら既往の実大実験では、経験的に風上への煙遡上阻止に最低限必要な限界風速は火源にあまり依存せず、毎秒数mあればほぼ遡上阻止できるといった事例も報告されている。また数値シミュレーションを用いた理論的な研究では、火源が大きくなってもあまり風速は変わらないという説もある。本実験は縮尺1/20程度の模型であり、発熱量・風速共、その絶対値は小さいので、このように直線的な結果になったのかもしれない。真偽のほどは、今後の課題として残されている。

一方、風上へ煙が遡上し、やがて対向する換気風と均衡して途中で停止する場合、同一傾斜角・火源面積

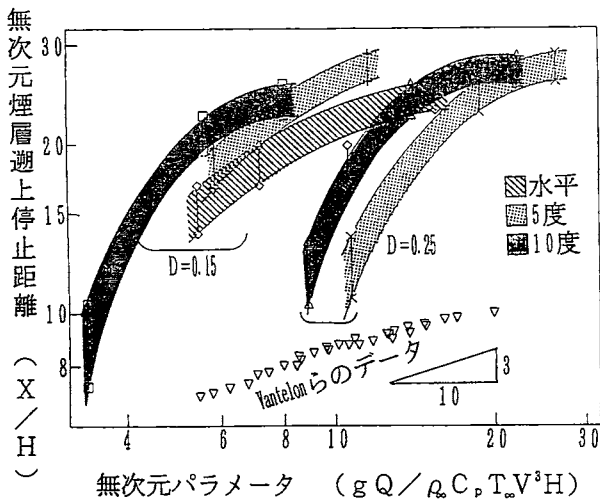


図7 煙層遡上停止点と無次元パラメータの関係

条件下での火源からの煙層遡上停止点は、換気風速が早くなると短くなり、一般常識からも合理的な結果が実験で得られている。仏のトンネル研究所での研究グループ⁸⁾は、直径0.30mパイレックス製半円型地下空間模型とレーザー光による可視化による煙の遡上の実験研究を行い、遡上到達距離とトンネル内の平均断面風速の間には、次の関係式が成り立つことを示している。

$$L/H \propto (gQ / \rho \infty C_p T \infty V^3 H)^n$$

ここで、Lは煙の遡上風上への到達距離(m)、nは実験定数で0.3である。

この風速と火源の発熱量が煙層停止距離に及ぼす影響について、前記の無次元数をもとに一般化をはかった結果を図7に示す。この図から、煙層の遡上の先端

が、高さの20倍以上と火源から離れている場合において、10°前後の傾斜がある場合においても概ね水平の場合と同一の式の取扱いができる。つまり、トンネルの高さで無次元化された煙層遡上停止距離は、無次元パラメータの約0.3乗に漸近して1つの式で表現できると期待できる。しかしながら、火源近傍で遡上停止する場合には、火源の規模を無視しえないと考えられ、この火源の代表長さを考慮した定式化が今後必要になると考えられる。また、ここではトンネル勾配による浮力の影響を考慮しておらず、その影響を含めた定式化が今後の検討課題として残されている。

3.3 フィールドモデルによる熱気流シミュレーションの試行

3.3.1 シミュレーション概要

本研究での主要な部分は上述してきた実験研究にあるが、これと平行して俗にフィールドモデルと呼ばれる熱流体数値シミュレーションによる火災性状、特に熱気流の伝播性状の予測も行った。研究の目的からすれば、最終的には実大規模での火災性状の予測が必要となる。しかしながら、経済的・時間的にも、模型実験と同一条件となるような実大実験をすることは困難であり、模型実験で得られた知見や既往の理論をもとに現象をモデル化し、実大規模での現象を予測できれば工学的な安全対策への道が開かれる。

こうした観点から、本研究では既往の汎用熱流体解析ソフトプログラムを利用し、予測手法としての適用の可能性を探るため、まずは模型実験結果をどの程度再現し得るか、試行的に計算を行った。その結果の一部を以下に紹介する。

表3 シミュレーション計算のための主な設定条件

計算対象の空間形状	<ul style="list-style-type: none"> ・長さ20m、高さ0.3mの二次元 ・セルサイズ：[高さ方向] 等間隔30セル [長さ方向] 等間隔100セル
境界条件	<ul style="list-style-type: none"> ・天井、床：断熱壁 ・境界層：対数則（デフォルト値） ・開口部：[出口] 圧力境界条件（大気） [入口] 風速（0.1m/s～1.0m/s）
乱流モデル等	<ul style="list-style-type: none"> ・乱流モデル：k-εモデル ・浮力効果及び圧縮性：“WEAK COMPRESSIBLE FLOW”を指定し、密度は理想気体の状態方程式から計算。 ・輸送方程式：“HEAT TRANSFER”指定で計算。 ・非定常計算：TIME STEP=0.6s、200STEP
熱源	火源面積にかかわらず、0.10mφ、0.15mφ、0.25mφ、のメタノールを燃焼した際に発生する熱量を0.2m×0.1m四角のメッシュに均等に与えた。

シミュレーションの対象としたトンネル形状は、前掲の実験模型にほぼ近い長さ20m、高さ0.3mの2次元トンネルである。このほぼ中央にメタノール火源に相当する熱源を置き、換気風速を変えて火災気流のシミュレーションを行った。なお、計算ではこの空間を各々物理的に均一とみなし得る小さな空間領域(セル)に分割する必要があるが、今回は高さ方向に30、長さ方向に100の計3000の領域に分割した。火源はトンネルのほぼ中央に0.2m×0.2mの四角の熱源を置き、上下の壁は断熱壁とした。用いた熱流体解析コードは、元英国原子力公社で開発されたHarwell FLOW3Dを用い、また使用したコンピュータはHewlett Packard HP9000モデル730である。今回実施した計算条件及び計算時に設定する主要なオプションパラメータは表3の通りである。

3.3.2 シミュレーションの結果と考察

シミュレーションの一例として、0.10mφ相当のメタノール発熱量、換気風速0.2m/秒とした時の各時間ステップでの熱気流のベクトル図を図8に示す。トンネル出口付近では外気の流入が生じ、また、火源によって熱せられた熱気流が風上側へ遡上している様子を見ることができる。この結果は、これまで行ってきた

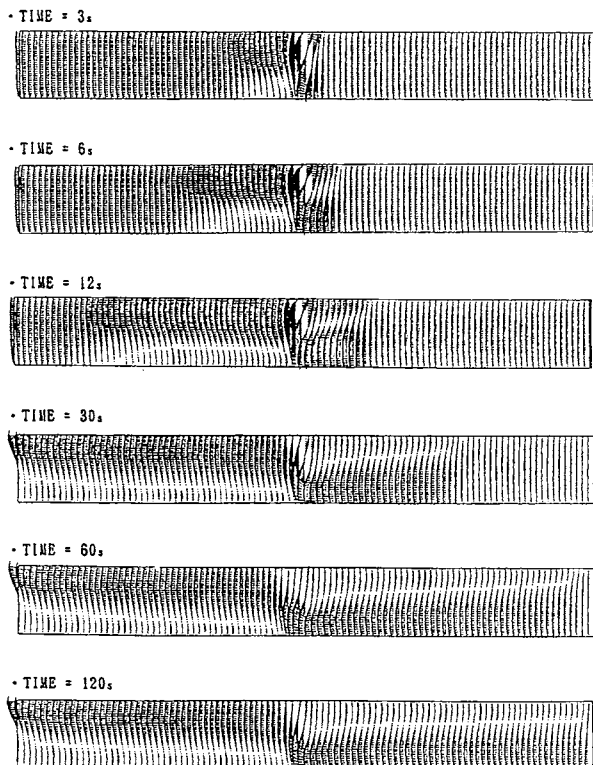


図8 2次元水平トンネル内部における風速分布計算例
(条件: 火源直径 0.10m(2.3kw 相当)、換気風速 0.2m/秒)

トンネル模型実験での目視及びビデオ観察による火源風下側の空気の流入状況、火源風上側での煙の遡上状況の様子を定性的に再現している。

また、詳細については省略するが、火源風上への遡上を阻止する限界換気風速についても概ね実験結果を再現する結果となった。しかしながら、遡上が生じる場合の停止距離、温度分布は、実験とかなり隔たりがある。その最も大きな原因の一つに、周壁の熱的境界条件として計算では断熱と仮定したことが挙げられよう。一方遡上阻止の限界風速予測値が実験値と概ね一致を見たのは単なる偶然ではなく、遡上条件が火源近傍のみで定まり、失熱の影響を受けにくい現象であったことによると推測している。

また計算にあたっては、計算時ステップ、メッシュの設定についても、十分な吟味を行っていないため、対象とした3000セル、時間200ステップの計算でも、約1日半の計算を要した。今後、収束解を得るための境界条件、メッシュの設定技法等の改良が必要とされる。またそれ以前に、予測手法として用いる乱流モデルの妥当性や適用範囲の吟味等、まだ検討すべき課題は山積しており、工学的なツールとして用いられるにはここしばらく時間を要すると思われる。

4. 結語

本文第2章で、現在のトンネルの安全対策では科学的に裏打ちされた体系的な設計法が見当たらないと述べたが、実は、この地下空間に携わってきた4年間の間に、地下空間研究、特にトンネルの火災安全に関わる研究環境は、欧州を中心として急速に変化してきている。英仏海峡トンネルに関連した研究成果が発表され始めたということもあるが、'94年6月の英国、10月のスウェーデン等と頻繁にトンネル火災に関する研究シンポジウムが行われているし、また、'95年4月には、スペインでトンネル火災安全国際会議が開かれた。

現在こうした研究の中核をなすのが、西欧多国間で共同して進められつつあるユーレカ計画(EUREKA EU499 FIRETUNプロジェクト)⁹⁾と呼ばれるものである。ヨーロッパにおいては、英仏海峡トンネルをはじめ、アルパイン横断鉄道トンネルや、ジブラルタルトンネル等、延長距離50km程度の大規模プロジェクトが進行中である。その他建設中のものも含めると、全ヨーロッパの交通トンネル網は、西暦2000年迄には1万kmを越える勢いで増えつつあるという。ユーレカ計画はこうした事態に鑑み、1991年、ドイツを主体に、北欧3ヶ国、オーストラリア、イギリス、フラン

ス、イタリア、スイスの計9ヶ国が共同して、科学的、体系的な防火安全設計手法をめざしトンネルの火災研究を始めたものである。

我が国の深層地下長大トンネルをはじめとする地下空間の火災研究は、バブル経済の副産物で生まれた研究課題という感がなきにしもあらずであったが、時代の流れとしては時宣を得たものであったと考えられる。また欧州の動きにみられるように、火災研究においても、建物といった単体の火災安全にとどまらず、都市の機能の安全といったより社会資産としての都市基盤施設の安全に視点が移りつつある。こうした観点から、トンネルをはじめとする地下空間の防災安全の研究は、単に一時的なバブル研究にとどめてはいけな、今後の重要な研究課題であると考えているが、いかなるものであろうか。

参考文献

- 1) 消防研究所「地下利用の特殊空間内における火災性状に関する研究報告書」、消防研究所資料第21号（平成6年3月）
- 2) 都市みらい推進機構「都市地下空間活用研究NO.1」（1988.3）
- 3) 吉田「道路トンネル内における自動車火災に関する実験について」火災145 Vol.33 No.4（1983）
- 4) 水谷他「トンネル内自動車火災実験」トンネルと地下13.2,47（1982）
- 5) 鍛田「トンネル内列車火災とその対策について（その2）」火災150 Vol.34 No.3（1984）
- 6) 山田他「長大トンネルの消防火災対策の調査報告」消研輯報第46号（1992）
- 7) 日本科学防火協会トンネル防火設備実験委員会「名神高速道路トンネル内防火設備に関する実験報告書」（1960.7）
- 8) J.P.Vantelon et al. “Investigation of Fire Induced Smoke Movement in Tunnels and Stations : An Application to the Paris Metro” , Fire Safety Science Proc.of the 3rd International Symposium（1991）
- 9) A.Haack “Introduction to the EUREKA-EU 499 FIRETUN Project” , Proc. of the International Conference on Fire Tunnels, Sweden（1994.10）

消防研究所の研究活動

『消防研究所報告』掲載論文の概要

消防研究所で行った研究成果の一部は、『消防研究所報告』として刊行され、国内・国外の学界、研究機関、都道府県、消防学校、大きな都市の消防本部等に頒布しております。研究の詳細についての御希望や御意見等がございましたら、消防研究所まで御連絡下さい。

遺伝的アルゴリズムによる適応デジタルフィルタの構造決定法について

細川直史、座間信作

適応型ノイズキャンセラーとして信号処理の分野で発達してきた適応デジタルフィルタを応用する場合、フィルタの構造を表すフィルタ係数の個数である次数と、フィルタ係数の修正量であるステップ幅を適切な値に決定する必要がある。これらの値の決定に関してはある程度の数学的規範はあるものの、決定的な方法は提案されておらず経験的に与えているのが現状であった。本報告では、これらのパラメーターの最適決定に遺伝的アルゴリズムを利用した新しい手法を提案し、時系列同定問題にこの手法を適用したところ、ADFを高精度で動作させる次数及びステップ幅の組み合わせを求める上で本手法が有効であることが示された。

石油タンクの隅肉溶接部近傍の弾塑性解析

—その2 歪み分布—

西 晴樹、亀井浅道、山田 實

石油タンクの破壊は多くの場合、側板とアニュラープレートとの溶接継手部で発生している。この部位の破損には使用される材料の塑性変形挙動が大きく関与している。本報は、アニュラープレートに側板との開き角が増加する方向に曲げ変形を加えた場合及び1サイクルの繰り返し曲げ変形を加えた場合の2通りについて、溶接止端部での弾塑性歪みの挙動を有限要素法を用いて数値解析的に調べたものである。解析の結果、溶接止端部の弾塑性歪みの挙動はアニュラープレートが受けた変形の履歴と溶接止端部の形状に大きく影響されることが明らかになった。

ハロン代替候補物質の消火性能と実用性評価

井上康史、斎藤 直、佐宗祐子、尾川義雄

成層圏オゾン層の保護を目的に1994年1月1日からハロン消火剤の生産が禁止され、ハロン代替の消火剤

候補物質が提案されている。これらの物質を実用とする場合の問題点を検討するため、FC3-1-10、HFC-227ea、及びHFC-23の3種類のハロン代替候補物質の消火性能を、カップバーナー装置でヘプタン、エチルアルコール及びトルエンに対する消炎濃度を測定して評価し、他の文献値と比較した。消炎濃度の大きさは、全ての燃料で、HFC-23>HFC-227ea>FC3-1-10の順であり、消火性能はFC3-1-10が最も大きかった。

実用性評価の試みとして、測定したハロン代替候補物質の消炎濃度から、全域放出消火装置に関する米国防火協会のNFPA2001基準に従い防護区画単位体積当たり必要な消火剤量を求めた。消火剤量の大きさの順序はFC3-1-10>HFC-227ea>HFC-23となり、重量基準の消火性能は消炎濃度による消火性能と逆の結果となった。これは消炎濃度を重量パーセントで表わすと本来の消炎濃度の大きさの順と逆になるためである。ハロン1301との消火剤量の比は、消炎濃度の高いエチルアルコールの方がヘプタンより大きくなる。この原因は、ハロン1301の設計濃度が両燃料共に最低基準の5%であるのに対し、ハロン代替候補物質の場合は消炎濃度の1.2倍としたため、実用の際に注意が必要である。

気象庁強震計記録に基づく大阪でのやや長周期地震動特性

座間信作

大阪管区気象台の強震計記録を用い、やや長周期帯域(周期2~20秒)の地震動特性を地震地体構造区分毎に求めた。加速度スペクトルの一次ピーク周期を卓越周期とすると、北海道東方沖を震源とする地震を除き、周期3~5秒に卓越周期があることが分かった。また、加速度スペクトルの観測値と半経験式との比から求めた増幅度から判断すると、大阪はこの帯域では揺れにくいことが示された。更に各地体構造区分内に発生するであろう最大規模の地震に対する予測加速度スペクトルは、現行の石油タンクのスロッシング上昇量に対す

る規定値より下回ることが判明した。

住宅火災危険からみた一人暮らし高齢者の居住実態 —中野区・江戸川区・三鷹市内での住まい方調査—

鈴木恵子、関沢 愛

一人暮らし高齢者の住宅火災危険が高いことに着目し、統計的に主たる出火場所である居室を中心に一人暮らしの高齢者の住まい方調査を中野区、江戸川区、三鷹市内で行った。その結果、

- ① 居室の片付き具合と経済状態は相関関係がある可能性が高い。
- ② 防火対策は収入によって制約されている可能性が高い。
- ③ 経済困窮が認められる場合でも身の回りの世話をする人がある場合には、防火対策がとられている例がある。
- ④ 調査対象者は、自身の火災危険、特に出火危険を認めたがらない傾向にあるが、近親者やホームヘルパーなどの強い信頼関係にある人の勧める防火対策は抵抗なく受け入れられている。

等の知見を得た。

ノイズ環境下の放送音声の明瞭度

稲垣 實、松原美之

屋外防災スピーカーから放送された音波は競合することによりその明瞭度が低下することが知られているが、環境ノイズもまた明瞭度を低下させる要因である。従来の放送方法と新しい時間差放送の両方法についてノイズ環境のもとでの放送音声の伝播シミュレーションを行い、聴取地域での明瞭度を調べた。シミュレーションはホーン・スピーカーの特性を理想化する等により単純化したもので明瞭度の評価はSTI法で行った。その結果、環境ノイズのレベルの高低にかかわらず、時間差放送は従来の放送方法よりも明瞭度に関して有利な放送方法であることが示された。

住宅火災の感知・消火に関する実験的研究

—木材クリブ火源の場合—

関沢 愛、竹元昭夫、河関大祐、箭内英治、鈴木恵子

一般住宅の居室を模擬した面積8畳間相当、高さ2.4mの室内に発炎火災を想定して約20kg木材クリブ火源を置き、開口条件や火源位置を変えて室内のガス濃度、煙濃度、温度等を測定するとともに、各種感知方法別の火災感知実験および住宅用スプリンクラーによる消火実験を行った。

スプリンクラー作動までの木材燃焼量は、最大で約1kgであった。この程度の木材クリブの燃焼には火災

室内の空気量だけで十分であり、換気支配型の燃焼とはならなかった。また、この条件下では住宅用スプリンクラーは十分燃焼を抑制する効果があることが確認できた。スプリンクラーによる室内空気の攪拌により、スプリンクラー作動直前より、作動後の方が煙濃度やCO濃度が増加する実験例もみられた。また、スプリンクラーヘッドの近くに小さいものでも障害物があると散水に大きな影響を与えることが分かった。

火災感知に関しては、差動式熱感知器、定温式熱感知器、光電式煙感知器、火災性状把握システムのいずれの感知方式でも、スプリンクラーの作動より早く感知することが分かった。

特殊小型はしご車模型の試作

—起伏・旋回・伸縮・スライド等の機構について—

西 晴樹、亀井浅道、山田 實、天野久徳

近年、消防活動のより一層の機動化のために、中低層階建物の火災に対してもはしご付消防自動車の活用が求められている。筆者らは従来の大型はしご付消防自動車では活動が困難な、狭隘な道路に面し、架線や街路樹等による架梯障害が存在する中低層階建物の火災において円滑に部署でき、かつ障害物を回避して架梯可能な特殊小型はしご車を考案し、その模型を試作した。本報告は、この特殊小型はしご車模型の機構、構造及び性能について述べたものである。性能試験の結果、試作した模型は想定した障害物を回避し、中低層階への架梯が行えることが明らかになった。

赤リン難燃剤含有合成樹脂燃焼時のホスフィン等の毒性

那波英文、守川時生、小林 強

赤リン難燃剤含有合成樹脂の燃焼時のホスフィン等有毒ガス発生特性について、水平石英管状炉を用いて炉の温度、空燃比を変化させて実験を行い調べた。合成樹脂としてナイロン、エチレン-酢酸ビニルコポリマー、ポリ塩化ビニルおよび低密度ポリエチレンを用いて実験を行った。この結果、赤リンから生じるホスフィン量は微量であり、火災時の代表的有毒ガスであるCO、HCNおよびHClとを比べて毒性として充分小さかった。

各種液体燃料に対する新ハロン消火剤の消炎濃度

酒井竜太、斎藤 直、佐宗祐子、尾川義雄、井上康史

5種類の液体燃料に対し、ハロン代替の新消火剤であるHFC-23、HFC-227ea及びFC-3-1-10の消炎濃度をFRI(消防研究所)カップバーナー装置により測定し

た。また、窒素、二酸化炭素及びハロン1301の消炎濃度も測定し、新消火剤の消炎濃度と比較した。メタノールを除く4種類の燃料についてFC-3-1-10はハロン1301の約1.5倍、HFC-227eaは約2倍、HFC-23約4倍消炎濃度が高かった。メタノールに対するハロン1301の消炎濃度が他の燃料の場合と比較して特に高いのに対し、新消火剤はエタノールとメタノールの消炎濃度間に顕著な差はなかった。

カップバーナー火炎が消炎するときの断熱火炎温度を化学平衡計算により求めた。すすを多く発生する燃

料の断熱火炎温度は、すすの発生が少ない燃料の場合より高く計算された。これは、すすの発生が多い燃料の拡散火炎ほど燃料過剰な位置に火炎が形成されるはずであるにもかかわらず、化学量論組成となる位置に形成されると仮定して計算したためである。

新消火剤による消炎時の断熱火炎温度は、全ての燃料に対してハロン1301を添加した場合より200~400K低く、不活性ガスによる消炎時の火炎温度に近い値となった。このことは、新消火剤の消火作用の主な要因が不活性ガスと同様の熱的効果であることを示している。

消防研究所「研究懇話会」要旨

〔平成7年1月31日〕

自己反応性物質の自己加速分解温度 (SADT) に関する研究—SADTの実測値と熱分析装置 (C80D) を用いた算定値との比較—：於 玉華、長谷川和俊

自己反応性物質の包装品に対する自己加速分解温度 (SADT) を決定する方法として、まず等温熱流束反応熱量計 (C80D) によって化学反応速度パラメータを決定し、つぎにセミョーノフ・モデルに基づいた理論式から評価できることを提案した。

この方法は、US等温貯蔵試験およびジュワー瓶蓄熱貯蔵試験が長時間を要すること、安全性を確保するのが難しいことなどの欠点を有するが、これらを克服したものである。12種類の自己反応性物質に対するSADTを決定した。その結果、これらの値は、US、SADT試験結果と良い一致を見た、ジュワー瓶蓄熱貯蔵試験結果とは良い相関があった。この提案した方法は、加速度熱量計 (ARC) によってえられるデータを用いてSADTを評価する方法に比べて、より精度の高い結果を与えることが判った。

茅葺屋根等を有する文化財建造物の火災対策に関する研究—茅葺屋根、桧皮葺屋根及び柿葺屋根の火災特性と火災感知—：田村裕之、高橋 哲、山下邦博

建造物の屋根模型に1畳ほどの実際の植物性の材料を使った屋根を試料として乗せ、送風しながら炭火により着火させ火災実験を行った。その結果、火災特性としては、①茅葺の場合発炎し難いが1度炎が出ると急速に拡大する。②桧皮葺の場合燻焼が継続し下方へ延焼する傾向がある、③柿葺の場合屋根裏方向へ燻焼が進み焼け抜けた後発炎しながら拡大する、というように屋根材により傾向が異なることが分かった。また、煙感知器、炎検出器、炎感知器、光ファイバー分布温度計等を設置して適した火災感知方法を探った結果、①茅葺には煙感知器や炎検出器、②桧皮葺には炎検出器、③柿葺には炎検出器や煙感知器、というように屋根の種類により適した感知方法が違うことが分かった。

〔平成7年3月13日〕

平成5年8月6日鹿児島豪雨災害における交通障害多発時の交通現象—住民の行動及び消防活動への影響—：寒河江幸平、吉原 浩

同時多発災害がもたらした各種の交通障害が、住民の行動や消防隊の出場・移動に及ぼす影響を知ることが目的として、平成5年8月6日鹿児島豪雨災害の事例についてアンケート調査を行った。結果は以下のとおり。

交通障害に出会った住民は、①自家用車に乗っていて交通障害に出会った方が多く、その後迂回したり引き返す方が多いこと、②交通障害に出会った場所でそのまま様子を見る時間は多くても1時間以内であること、③迂回したり引き返す場合は、浸水していない道路、幹線を選ぶことが分かった。

また、消防隊の出場・移動は通常時と比較して④消防隊は通行可能な道路を求めて迂回するため、より広い地域を通行すること、⑤降雨量が大の時間帯は、崖崩れや道路冠水等により、現場に到着できない割合が増加すること、⑥現場への駆け付け時間の増加は、迂回による移動距離の増加よりも移動速度の減少が主な原因であることが分かった。

新ハロン消火剤の消火性能と毒性の評価：斎藤 直、佐宗祐子、尾川義雄、廖 赤虹、酒井竜太、大津敬久

オゾン層保護のため、1994年1月1日からハロン消火剤の生産が国際的に廃止された。このため、ハロンに変わりうる新しい消火剤が急ぎょ開発され、一部市販されるに至っている。これらの候補物質を消火剤として適正に利用するための消火性能及び毒性に関するデータを提供することを目的として、消防研究所は93年度に「ハロン代替物質の毒性評価に関する研究委員会」を、また、94年度には「ハロン代替物質の消火性能評価に関する研

究委員会」を設立した。両委員会は、全域放出型消火設備の技術基準が参照すべき新消火剤の消火性能と毒性を得ることを目標として、その収集方法を検討した。これら2つの研究委員会で行われた考察の道筋と、得られた結論について説明した。

はしご自動車の振動解析—振動特性に及ぼすはしご長さ効果—：天野久徳、亀井淺道、山田 實、西 晴樹

はしご付き消防自動車のはしごには、はしごの操作時に振動が残ることがある。また、要救助者が建物からはしごへ乗り移るときにも、はしごには振動が発生する。これらの振動は救助作業を遅らせるばかりでなく、はしごに乗っている要救助者や消防吏員にとって危険要素の一つといえる。しかし、はしごの振動を抑制する有効な方策は確立されてはいない。はしごが伸縮することによって、はしごの固有振動数が大きく変化してしまうことが制振を難しくしている一つの要因である。そこで、はしご長さを変化させた時における、固有周波数の変化を実験的に明らかにした。

実験には全伸長約10mの模型はしごを用いた。模型はしごを水平架梯し、先端にかけた荷重を除荷する事によって鉛直面内振動を励起し、はしごの先端の加速度を計測した。測定結果を、ARモデルを用いて周波数解析を行った。解析結果より、水平架梯状態におけるはしごの一次モードの周波数とはしご長さの関係を示す実験式を求めた。

[平成7年4月10日]

地下施設の堅坑による自然排煙について：渡部勇市、松島早苗、山田常圭

最近、深層地下駐車場等の地下施設が増加する傾向にある。地下施設の火災では、外気と接する窓がないため濃煙・熱気が充満し易く、消防隊員が人命救助、消火活動等のために地下施設内へ進入できない恐れがある。そのため、消防活動上から地下施設での適切な排煙対策が求められている。

その一環として、今回、火災室における堅シャフトによる自然排煙効果を評価するための予測式の妥当性を調べるために、従来の二層ゾーンモデルから求めた予測式と小型模型による火災実験のデータと比較検討した。その結果、火災室の排煙口より下にある煙層の厚みが薄い場合は、煙と同時に煙層より下の空気を排煙口で吸入するため、排煙口の煙捕集率を新たに二層ゾーンモデルに導入する必要があることが判った。

CO及びHCN混合ガスの動物への影響：守川時生、那波英文、梶原正弘、岡田健夫、佐藤喜宣

火災による死因の大きな一つは発生するガスによる中毒であり、中毒ガスの主なものはCOの他にHCNも含まれていることが筆者らの過去の火災実験研究から分かっている。CO、HCNの純ガスを空気に種々の割合で混合したものをウサギにばく露させ、血液分析の結果から両ガスの致死への影響の検討を試みた。ばく露致死のCOHb及びCN⁻の水準は単独ガスへのばく露の場合より低く、両ガスの毒性は独立的ではなく複合的に作用することを示唆するものであった。しかし、動物実験の結果にばらつきが大きいいため、相互作用の一般的な傾向を知るにはさらにデータを積み上げる必要があるだろう。

[平成7年5月22日]

ファジイ推論による火災判断機構について—遺伝的アルゴリズムによるメンバシップ関数の生成—：細川 直史

感知器からのデータを基に火災の発生を知らせる自動火災報知設備は、火災以外の要因に対しても動作する場合がある。この問題を解決するために、消防研究所は熱・煙・COセンサーを組み込んだ三素子センサーとファジイ推論により火災・非火災を判別する火災性状把握システムの開発を行ってきた。発表では遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm) を用いて、過去に計測されたセンサーデータを基にファジイ推論のために必要なメンバシップ関数を生成する手法について述べた。

炭化水素火災からの部分放射熱：古積 博、岩田雄策、D. Evans、D. Madrzykowski

炭化水素（ヘプタン及び原油）火災の部分ごとの放射発散度の放射発散度をIRカメラ及びスリットのついた広角放射計を使って測定した。その結果、火災の放射発散度は均一ではなく、火炎低部から大部分の放射熱が発せられていることが判った。特に原油のように大量の煙を生成する燃料の場合、容器が大きくなると生成する煙の

ために火炎低部以外は火炎はほとんど見ることが出来ず、放射熱もほとんど発しないこと、また、火炎中部付近に数秒毎に現れる火炎輝部の放射発散度は小さいことを示した。

円筒内での旋回火災気流に関する研究：佐藤晃由

大規模火災において発生する火災旋回気流（火災旋風）に関する実規模実験は困難であるため、大規模数値シミュレーションによる現象把握を目的として、模型実験とそれに対する数値シミュレーションを行った。模型実験では、回転円筒スクリーンやスリットを有する静止垂直円筒の中心に燃焼炎を置き、旋回炎を発生させる方法があるが、ここでは後者の方法を用いた。実験及び数値シミュレーションのいずれの場合にも、火災発生後、火災気流は定常的に旋回を開始するまで、円筒中心軸上からある角度をもって、こまの首振り運動を行い、しだいに中心軸上に集束し旋回を行うこと、また、灯油、木材クリブ等の燃料のいずれでも外気中での燃焼に比べて、著しく炎の長さが長くなるなどの現象を把握した。

窓から噴出する火災気流の隣接建物付近における流動性状：佐藤晃由

都市内密集住宅地では隣接する建物へ延焼する危険性の多い住宅地域が少ないため、隣接建物間の延焼火災性状を把握することを目的とし、建物の窓からの火災気流の噴出性状に対する模型実験及び数値計算シミュレーションを行った。ここでは主として、隣接する2階建て住宅の建物間距離や火災室開口部の形状等をパラメーターとし、隣接家屋の窓及び軒先付近での火災気流の性状を調べ、火災室開口部の形状と建物間距離に対する延焼危険性に関する基礎的データを得た。

誤注油によるカートリッジタンク式石油ストーブの火災発生機構：邦波英文、松原美之

灯油用ストーブにガソリンを誤注油した場合、カートリッジタンク式石油ストーブ固有の理由で火災となることもあることが報告されているが、明確にされていない部分が残されている。本研究ではガソリンを注油したカートリッジタンク式ストーブを用いて燃焼実験を行い、液温、液面高さなどの測定を行うとともに、実験に用いたガソリンの飽和蒸気圧の測定を実施し、溢流にいたる条件と飽和蒸気圧の関係について考察を加えた。

気相部が常に均一で燃料蒸気圧がその温度での飽和蒸気圧に一致するという仮定からは、溢流量の予測を正確にはできなかった。一方で、ガソリンの飽和蒸気圧は、微量な高揮発性物質の存在のため液相と気相の容積比率によって変化し、ガソリンを長期間、気密性の良くない容器中で保管した場合には、その蒸気圧が新鮮な状態のものとは異なった値となる可能性があることがわかった。

住宅火災の感知・消火に関する研究

その4 住宅用スプリンクラーの作動時間と消火性能：竹元昭夫、箭内英治、河関大祐、鈴木恵子、関沢 愛

ここでは、第1段階として、8畳間相当の容積内で木材クリブを燃焼させ、市販されているヒューズメタル式のスプリンクラーについて、部屋の開口条件、火源の位置等変えて、スプリンクラーの作動時間、消火性能及び散水分布について調べた。その結果、次のことが明らかになった。

- 1) 外気の影響を直接受けない構造の部屋においては、開口条件はスプリンクラーの作動時間に影響を与えない。
- 2) 部屋の中央部分より離れて設けた消火条件の悪い位置のスプリンクラーヘッドでも火災の抑制効果が確認できた。
- 3) スプリンクラーヘッド近傍の障害物は小さなものであっても散水に大きな影響を与える。

住宅火災の感知・消火に関する研究—その2 煙およびガス濃度の変化—：関沢 愛、鈴木恵子、竹元昭夫、箭内英治、河関大祐、

一般住宅の居室を模擬した部屋（約8畳間に相当）においてクリブを火源として初期の住宅火災を再現し、室内の煙濃度、ガス濃度、温度等を測定するとともに、スプリンクラーによる消火実験を行った。

火災室における煙およびガスの濃度については、天井面、壁面付近の分布、またその時間変化などを測定し、住宅の初期火災時およびスプリンクラー作動時の室内環境について検討した。

実験の結果、天井面における煙濃度はスプリンクラー作動直前には60%/m³~80%/m³に達しているが、スプ

リンクラー作動後は散水による室内空気の攪拌や水滴による光の遮蔽により、さらに煙濃度が増加して作動後約2分でほぼ100%/mに達することがわかった。

[平成7年5月23日]

窒素、アルゴン、炭酸ガス及びその混合物の消炎濃度とピーク濃度：尾川義雄、斎藤 直、佐宗祐子、廖 赤虹、大津敬久、酒井電太

窒素、アルゴン、炭酸ガスとそれらの混合物の消火性能の関係を調べるため、n-ヘプタンに対する消炎濃度をカップバーナー装置で、不活性ガスを添加したメタン及びプロパン-空気混合気の燃焼限界を管状火炎バーナー装置で測定した。混合ガスの消炎濃度と燃焼限界は、各不活性ガスの混合比とそれぞれの消炎濃度及び燃焼限界の結果から精度良く推定できることを示した。消炎時の断熱火炎温度を平衡計算で求めた。不活性ガスを添加した場合、消炎時の断熱火炎温度は、ガスの種類によらず一致した。不活性ガスの消炎に与える希釈効果は、その種類によらず同じであり、ガスの混合による相互作用は見られない。このことから、不活性ガス混合物の消炎濃度と燃焼限界の推定方法が、妥当であることを示した。

平成5年8月6日鹿児島豪雨災害における交通障害多発時の交通現象—その1 住民の対応—：寒河江幸平、吉原 浩

豪雨災害時には、崖崩れ、浸水やそれらにより交通渋滞、放置車両等の交通障害が発生する。そこで、平成5年8月6日の鹿児島豪雨災害時における交通現象を知るため、鹿児島市民を対象として災害当日の行動に関するアンケート調査を行った。調査内容は、災害情報入手に関すること、交通障害に出会ったときの行動に関することである。送付数1000に対し、381の回答が得られた。回答者は40歳以上、会社勤務または無職、男性の方が多かった。災害情報はテレビで、かつ自宅で知った方が多かったこと、交通障害に出会った方は、回答者の約3分の1で浸水していない道路や幹線道路等に進路を変えられた方が多かったこと、自家用車に乗っていた方75人中11人が車をおいて徒歩に変えたり、避難した等の結果を得た。また災害の概要についても述べた。

住宅火災の感知・消火に関する研究

その1 実験条件及び温度を主体にした火災性状：箭内英治、竹元昭夫、河関大祐、鈴木恵子、関沢 愛

室内各所の天井面付近温度、垂直温度分布等について測定し、住居の初期火災時及び住宅用スプリンクラー消火時の室内環境について調べた。その結果、次のようなことがわかった。

- 1) SP作動までの木材クリブの燃焼量は最大で初期重量の5%未満(1kg)であり、この燃焼量を燃やすのに室内に元々ある空気量で十分足りる量である。
- 2) 火源中心からSP設置位置までの水平距離が大きくなればSPが作動するまでの時間が長くなることを実験的に示した。
- 3) 室内の垂直温度分布から、壁際にSPや住宅用火災警報器を設置する場合は、天井面下0.2m~0.4m付近の位置に設置するのがよい。

粉末状合成高分子物質の燃焼性試験方法に関する研究：岩田雄策、箭内英治

合成樹脂類は、多くの場合、粉末状およびペースト状の形態で貯蔵され、流通している。現在、合成樹脂類の燃焼試験方法としては、JISK7201に規定されている酸素指数法が用いられている。この試験方法は棒および繊維状態にある試料に対して規定されており、粉末等の合成樹脂類の燃焼性を原体のままで測定することは困難で、その適用に問題が生じる。

このため、粉末状試料に対して保持が可能な従来の酸素指数測定装置を改良した試料保持法を考案し、種々の粉末状合成高分子物質に対して燃焼性試験をすると共に評価を行った。

その結果、粉末状試料の熱的性状に依らず統一的な測定方法で酸素指数の測定が可能となり、粉末状合成高分子物質の燃焼性が評価できることが判った。

屋外防災スピーカーの明瞭度評価システム：松原美之、稲垣 實

屋外防災スピーカーの配置及び各スピーカーの指向特性を入力情報として、明瞭度が音声競合により低下する度合い、STI値に基づく明瞭度分布として地図上に表示することのできるシステムを作成した。

燃焼限界に及ぼす管状火炎バーナーの管径及び伸張率の影響：廖 赤虹、斎藤 直、佐宗祐子、尾川義雄

管状火炎バーナーの直径と得られる燃焼限界との対応関係を明らかにする目的で、内径の異なる3種類のバーナーを用い、伸張率を変化させて、窒素、または炭酸ガスを添加したメタン-空気混合気の燃焼限界及びピーク濃度を測定した。見かけの火炎伸張率が大きくなると、火炎からバーナーへの熱損失が小さくなり、伸張率が消炎を支配する主な要因となるので、バーナーの内径に関係なく同じ測定結果が得られる。火炎伸張率の小さい領域では、火炎からバーナーへの熱損失が大きくなり、放熱が消炎を支配する主な要因となるので、バーナーの内径の変化による伝熱条件の変化も測定結果に反映してくる。

各種液体燃料に対する新ハロン消火剤の消炎濃度：斎藤 直、佐宗祐子、尾川義雄、酒井竜太、井上康史

5種類の液体燃料に対し、3種類のハロン代替の新消火剤、ハロン1301、窒素、及び二酸化炭素の消炎濃度をFRIカップバーナーで測定し、各消火剤の消炎濃度を相互に比較した。新消火剤はハロン1301と異なり、メタノールとエタノールに対する消炎濃度に大きな差は認められなかった。カップバーナー火炎の消炎条件で断熱火炎温度を平衡計算で求めた。新消火剤を添加した場合の断熱火炎温度は、ハロン1301を加えた場合より低く、窒素、炭酸ガスを添加した場合に同等であった。このことから、新消火剤の消火作用は、窒素、二酸化炭素と同じ熱効果によると推定した。

[平成7年6月19日]

気象庁強震計記録に基づく大阪でのやや長周期地震動特性：座間 信作

大阪管区気象台の強震計記録を用い、やや長周期帯域（周期2～20秒）の地震動特性を地震地体構造区分毎に求めた。加速度スペクトルの一次ピーク周期を卓越周期とすると、北海道東方沖を震源とする地震を除き、周期3～5秒に卓越周期があることが分かった。また、加速度スペクトルの観測値と半経験式との比から求めた増幅度から判断すると、大阪はこの帯域では揺れにくく、石油タンクのスロッシングによる溢流の危険性は少ないことが分かった。更に、兵庫県南部地震について増幅度から推定される大阪でのスロッシング上昇量と実測値とを比較したところ、両者は概ね合致するという結果を得た。

植物材料で葺かれた屋根をもつ文化財建造物の火災特性と延焼防止対策：山下邦博、高橋 哲、田村裕之

茅葺、桧皮葺屋根を有する文化財建造物の実火災をそれぞれ2例ずつ調査し、火災の特性と消防活動上の問題を明かにした。茅葺屋根の火災で、火が内部に進入すると屋根の内外から放水しても消火が困難で、最終的には茅を抜きとって火災の再燃防止を図った。桧皮葺屋根の火災では、屋根が燃え抜けると燃焼落下物が床に落下してそこから火災が急激に拡大することが分かった。何れの火災も感知器が作動するよりも建造物の周囲にいた人が火災を発見しており、火災の早期発見が大切な課題であることが確かめられた。

[平成7年7月10日]

住宅火災危険からみた一人暮らし高齢者の居住実態について—中野区・江戸川区・三鷹市内での住まい方調査—

一：鈴木恵子

高齢者の住宅火災による死者発生率は、同居者がある場合に比べ一人暮らしの方が、また女性より男性の方が高いことを統計的に示した。また、一人暮らし高齢者の住まい方調査を行い、その結果、いくつかの危険な事例を得るとともに、住宅内の防火策は収入によって制約されている可能性が高く、経済困窮が認められる場合でも身の回りの世話をしている人がいる場合には、防火対策がとられている例がある。調査対象者は自身の出火危険を認めながらない傾向にあったが、近親者やホームヘルパーなど強い信頼関係にある人が勧める防火対策は抵抗無く受け入れられている場合が多い、等の知見を得た。

石油タンク側板の座屈—耐震強度の検討—：西 晴樹

兵庫県南部地震により阪神地区の危険物施設に多数の被害が発生した。特に容量1000キロリットル未満の非特定屋外タンクにおいてはタンク本体の沈下や座屈などによる側板の変形が発生している。消防法においては屋外タンクの容量によって異なる地震動の慣性力の計算法が採用されている。本報告では、消防法に定める特定屋外タンクに適用される耐震設計指針（修正震度法）を用いて、非特定屋外タンクの側板の地震時における座屈強度の検討を行った。

修正震度法による座屈強度の計算結果と実際のタンクの座屈発生位置には極めて良好な一致が見られた。

〔平成7年9月11日〕

阪神・淡路大震災における芦屋・西宮市内の防火水槽、防火井戸の被害状況：吉原 浩

阪神・淡路大震災において、芦屋市内及び西宮市内の公設の防火水槽、防火井戸の被害状況について調査した。その結果は以下のとおり。

- (1) 防火水槽は、マンホールの破損等の軽微な被害は多く発生したが、水槽の亀裂により 使用不能または減水したものは両市合計で7箇所（全体の2%）と少ない。
- (2) 防火井戸（無底水槽を含む）の被害は、地盤の液状化により底部から砂が流入したものが多く、使用不能となったものが両市合計で12箇所（全体の約19%）発生しており、設置箇所の液状化の影響について考慮する必要がある。
- (3) 防火水槽の被害箇所は、六甲山地周縁の中位段丘及び低位段丘に比較的多い傾向があり、国家補助基準で設計されたものには減水以上の被害は無かった。また、震度と被害の相関は、防火水槽、防火井戸とも認められなかった。

改良型密閉式圧力容器試験法による自己反応性物質の熱分解特性に関する研究：劉 雄民、長谷川和俊

改良型密閉式圧力容器試験法（MCPVT）は、従来の圧力試験法（PVT）の種々の欠点を克服するものとして開発された試験法である。本試験法を用いて数々の自己反応性物質についてそれらの熱分解特性を定量的に測定し、従来法の結果との比較検討を行って、本試験法の合理性を裏付け、併せて、本試験法の特典を示した。つまり、試験の簡便性、結果の再現性および定量性が良いことならびに活性化エネルギーが容易に求まること、熱分解開始温度が他の厳密な方法にほぼ一致して求まることなどである。

〔平成7年10月9日〕

石油タンクの火災性状に関する研究—NISTとの共同研究の成果を中心として—：古積 博

石油タンクの火災性状、特に、火災からの放射熱、火災から生成する煙の量と煙粒子の形状、大きさについての、米国NISTとの間での共同研究について報告をした。最大で、一辺15mの容器での実験で、いわゆる煙による火災からの放射熱の遮へいについて論じた。容器直径3m以上においては、火災への無次元空気量は減らず、また、無次元煙生成量は増加しない。しかし、無次元放射熱量は急激に減少することが明らかにした。また、煙生成、放射熱の放出と燃料性状との関係について明らかにした。

原油環境中における石油タンク材料の高サイクル疲労強度：山田 實、亀井浅道、西 晴樹

石油タンク材料の疲労強度に及ぼす原油の影響に関する実験報告は、原油中に含まれる引火性物質や硫化水素の存在が実験環境や人体へ悪影響を及ぼすため比較的少ない。しかし、原油の多くが大型タンクに貯蔵されており、タンクの保安全管理面からみても原油に含まれる腐食性物質がタンク材料の力学的挙動に及ぼす影響を明らかにしておく必要がある。

本報では、大型原油タンクの構造部材である高張力鋼（HT60）の原油環境中における高サイクル疲労強度実験を行った。その結果、原油中の疲労寿命は、大気中より長くなった。これは、使用した原油の硫化水素濃度が低いこと及び原油の粘性が疲労き裂伝播速度を大気中に比較して減速する方向に作用したためであることが明らかになった。

[平成7年11月13日]

火災時の吹き抜け空間上端開口からの換気量に関する実験研究—外気流入を阻止するための給気・圧力条件について—：山田常圭

頂部に開口を有する吹き抜け空間の相似模型を用いて火災実験を行い、吹き抜け底部から給気した場合の外気の流入状況を調べた。その結果、開口部での内外差圧、流量にかかわる二つの無次元数で、境界条件が示せること、また、両者を関係づける既往の理論式と実測値は良く一致した点について報告した。

1993年鹿児島豪雨災害時における交通渋滞成長モデルの検討：寒河江幸平、吉原 浩

豪雨災害時には、崖崩れ、浸水やそれらによる交通渋滞、放置車両等の交通障害が発生し、消防自動車等の緊急自動車の走行に影響を与える。そこで、鹿児島豪雨災害時における交通障害、特に交通渋滞について、その成長を交通流理論を用いて分析した。交通流理論には各種あるが、渋滞を分析するには、衝撃波の伝播理論が適用できるので、流体力学理論が最適である。流体力学理論には、基礎方程式のパラメータによって、Greenberg、Greenshieldsのモデルなどのモデルがある。国道10号線で、交通量データよりモデルの適合性を調べ、実際の渋滞成長速度と比較すると、Greenbergのモデルが最も適していることがわかった。ただし、鹿児島市内の道路に上記のモデルを適用するには、道路ネットワークが複雑すぎるし、交通流データも不足している。よって、第一近似ではあるが、交通量を飽和密度で割って得られる速度を渋滞成長速度として、鹿児島市を走る国道3号、10号、225号線について渋滞成長の計算例を示した。

[平成7年12月12日]

事故原因における“人的要因”に関する考察：松原美之

事故原因としての“人的要因”と“物的要因”を背反的にとらえるのではなく、対象施設の設計から製作、供用にいたる各段階でどのような種類の“人的要因”がどのようにして事故原因として働いたかに着目し整理する方法を提案した。あわせて、危険物施設における実際の事例に対して、提案した分析方法で分析を加えた結果を報告した。

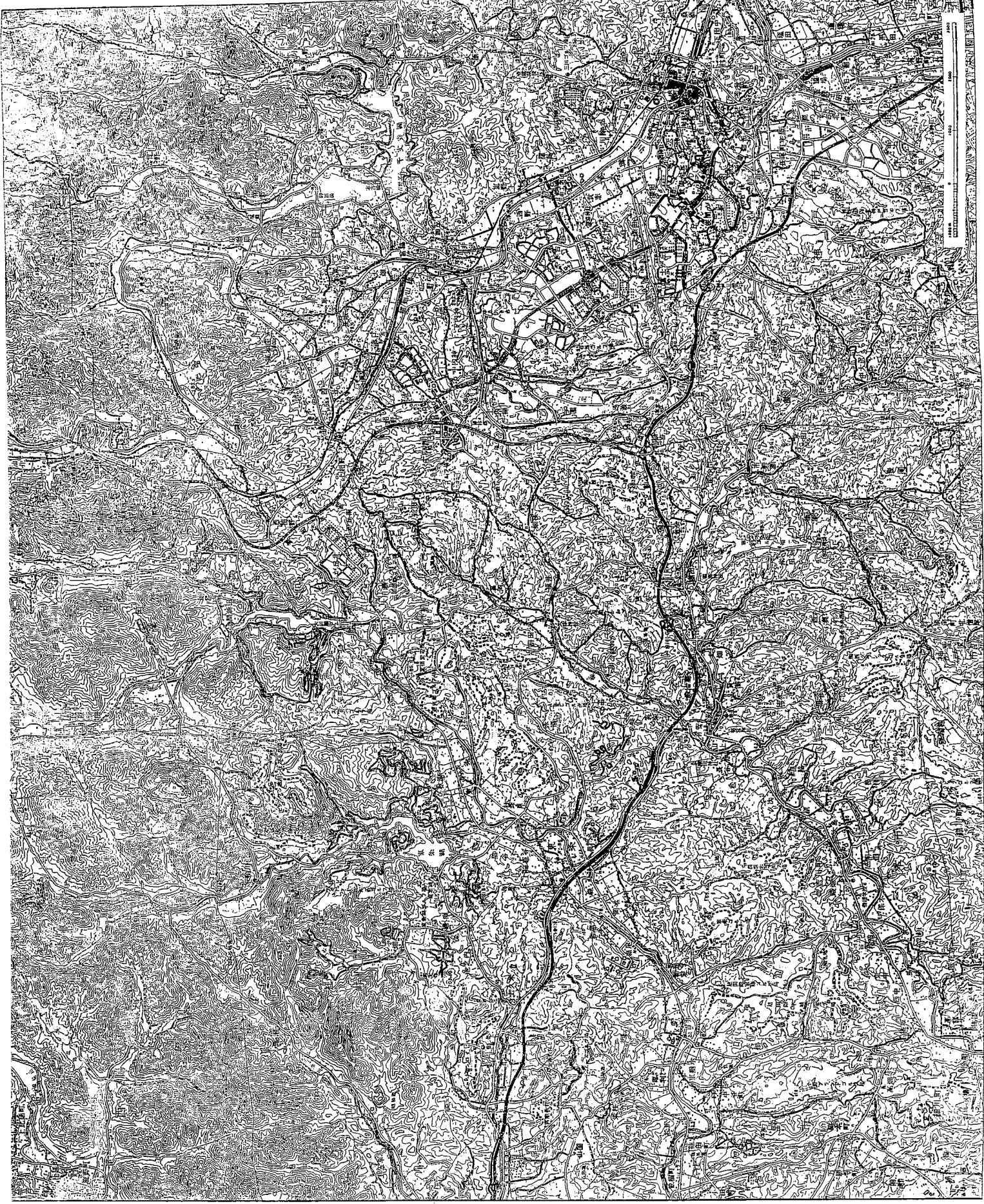
朝霞市ごみ処理施設爆発火災の原因について：長谷川和俊、古積 博

平成7年3月7日(火)、埼玉県朝霞市のごみ処理施設において爆発火災事故が発生した。この事故について、その原因を明らかにし、安全対策を策定した。ごみ破砕機から振分コンベア、破砕ごみ供給機および破砕ごみコンベアを経て、ガスシール機を介して、焼却炉までの経路に紙の粉の粉じん雲が形成されていた。焼却炉内の火がガスシール機を通過して逆火したため、この経路内で粉じん爆発が生じ、施設に被害をもたらしたことを明らかにした。安全対策としては、ごみ破砕機を炉の直近に設置するのが最善策であるが、その他の対策についても述べた。

付 録

〔火災場所地図〕

※次ページからの地図の内容に関しては、本文21ページからの
「1995年兵庫県南部地震後10日間の出火状況」を参照してください。



1995年広島県南部地震後
10日間の出火状況
(鈴木・松原)
図3-1 火災場所地図



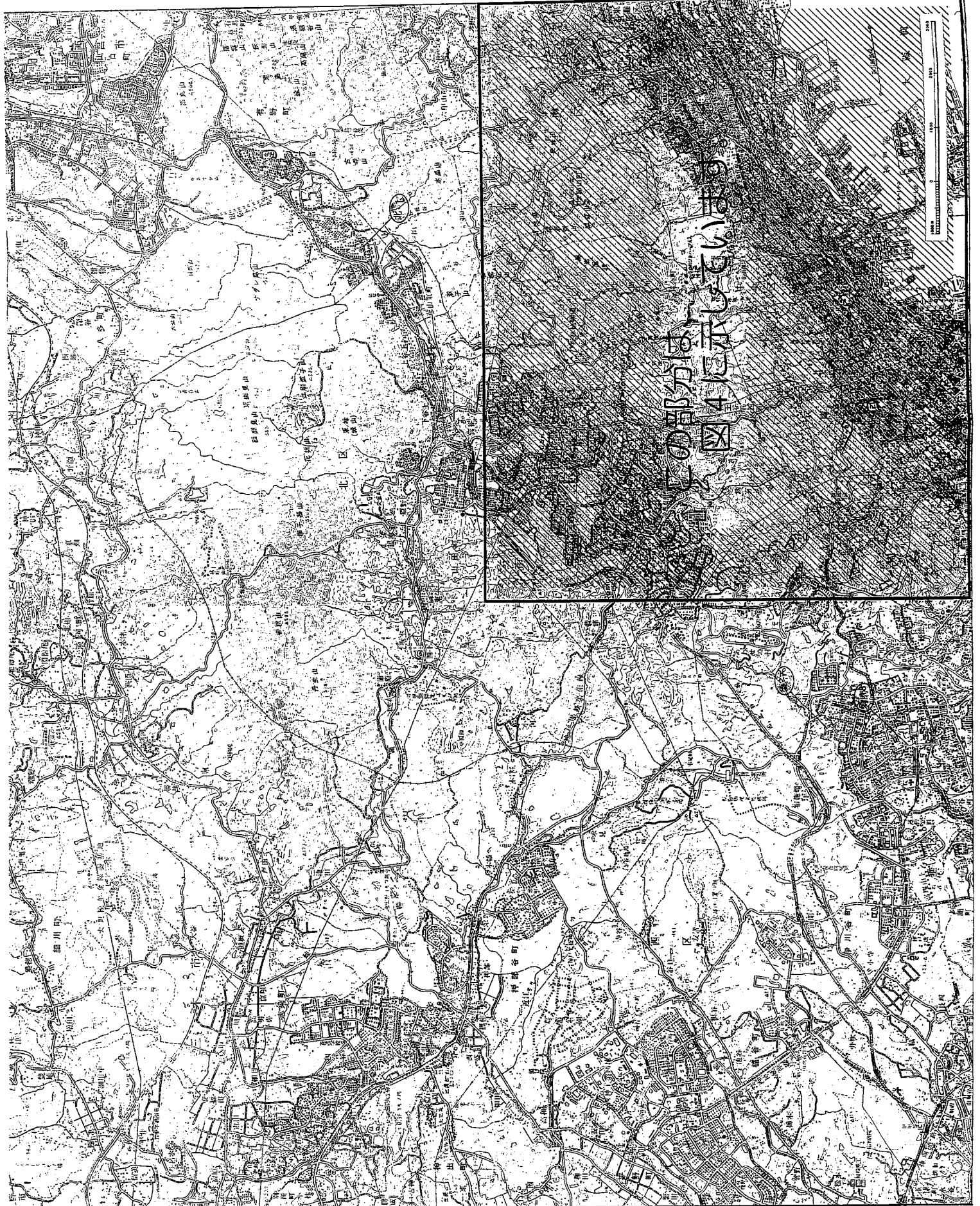
1995年兵庫県南部地震後
10日間の出火状況
(絵本・松原)
図3-2 火災場所地図



1995年兵庫県南部地震後
10日間の出火状況
(鈴木・萩原)
図3-3 火災場所地図



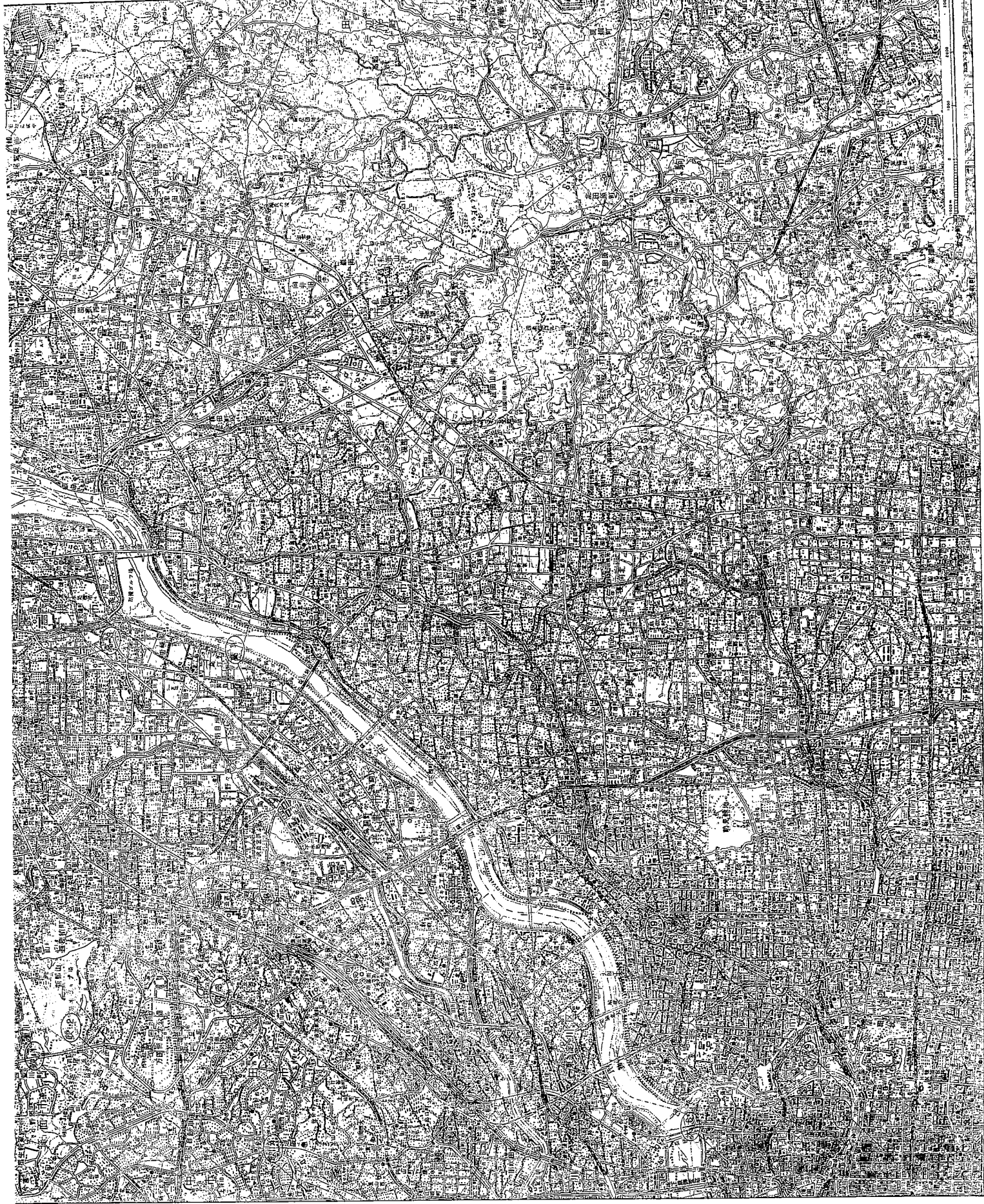
1995年兵庫県神戸市震災後
10日間の出火状況
(鈴木・松原)
図3-4 火災場所地図



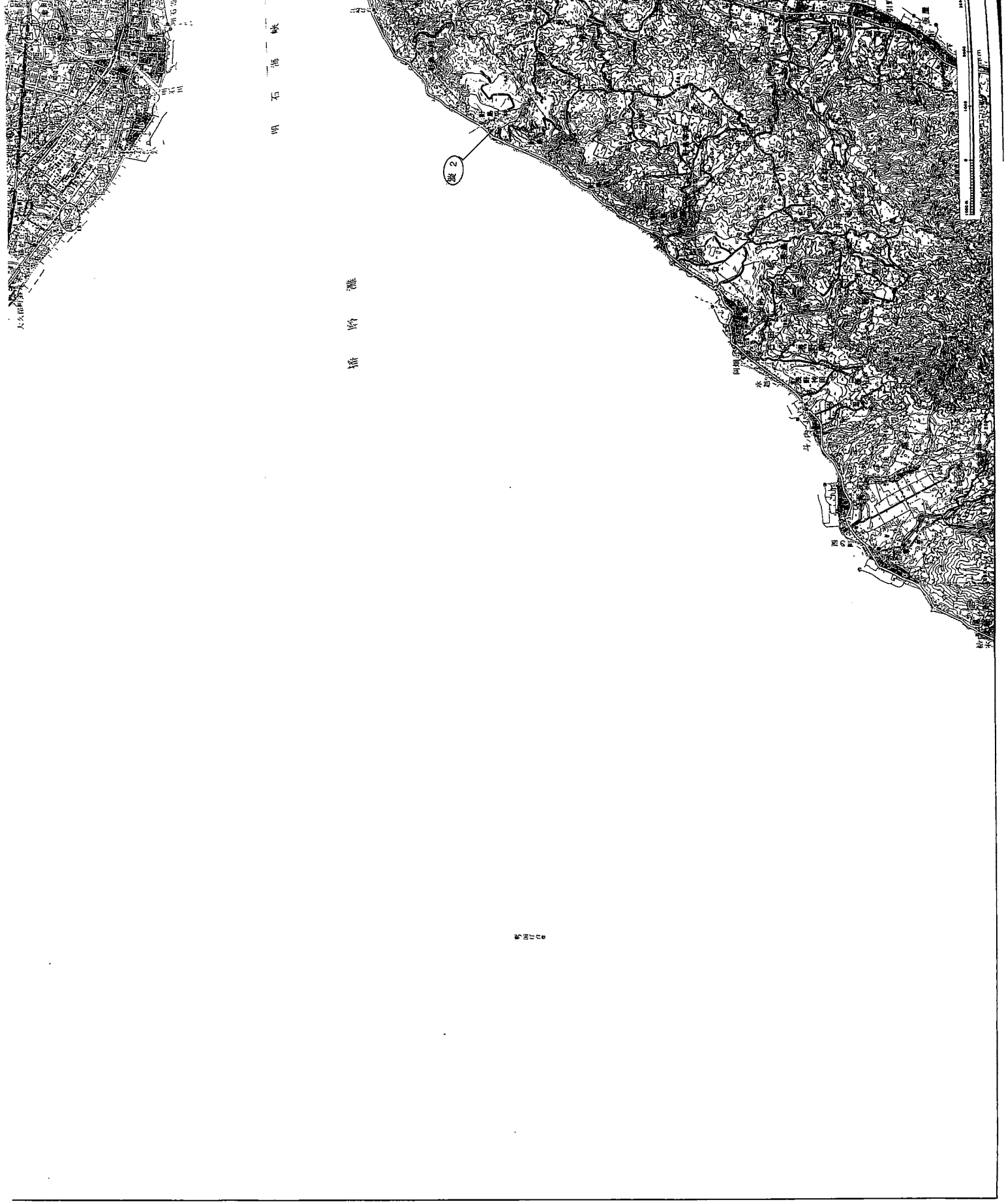
1945年広島県南部地震後
10日間の出火状況
(鈴木・松原)
図3-5 火災場所地図



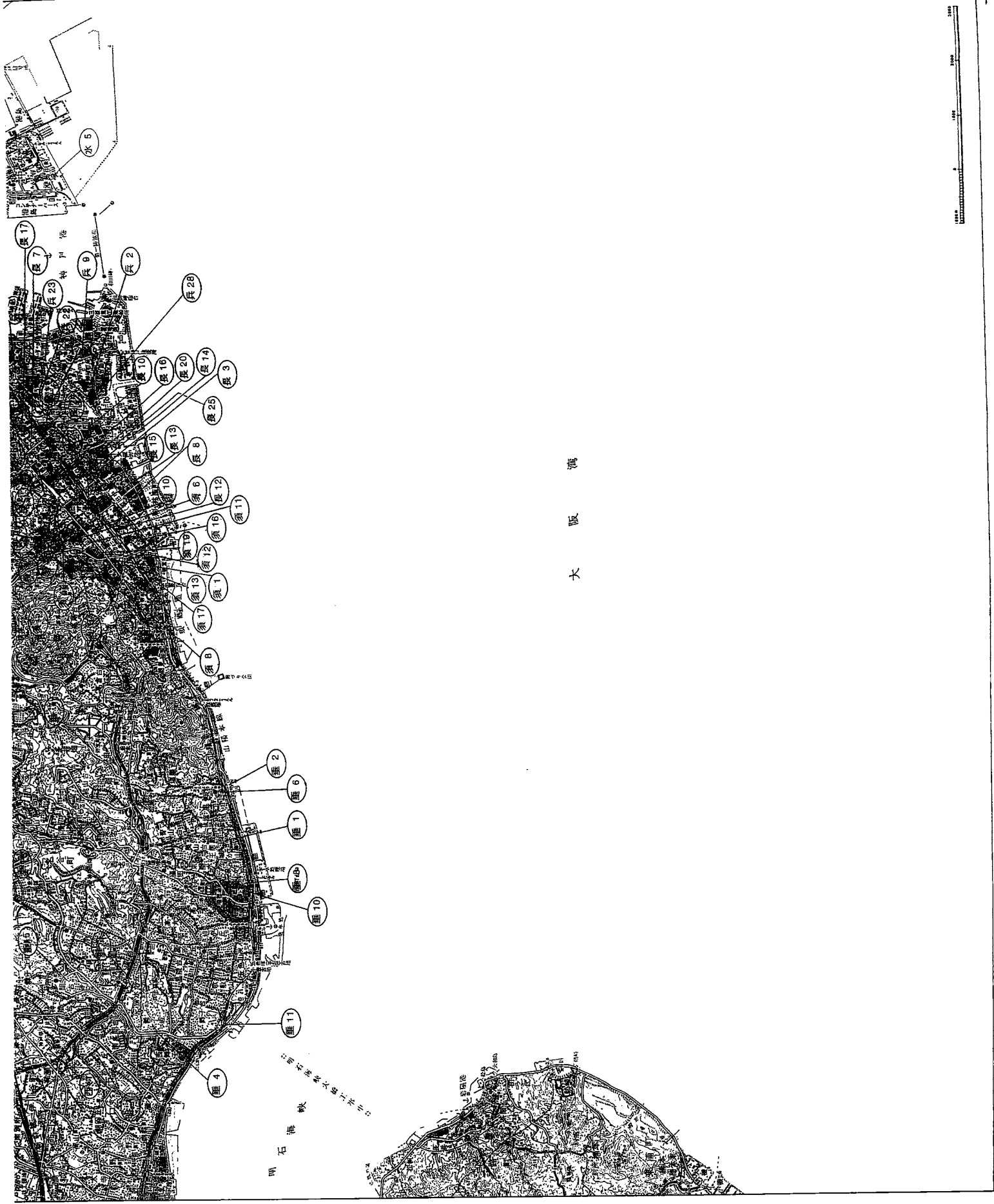
1995年兵庫県南部地震後
 10日間の出火状況
 (鈴木・松原)
 図3-6 火災場所地図



1995年兵庫県南部地震後
10日間の出火状況
(神戸・松原)
図3-7 火災場所地図

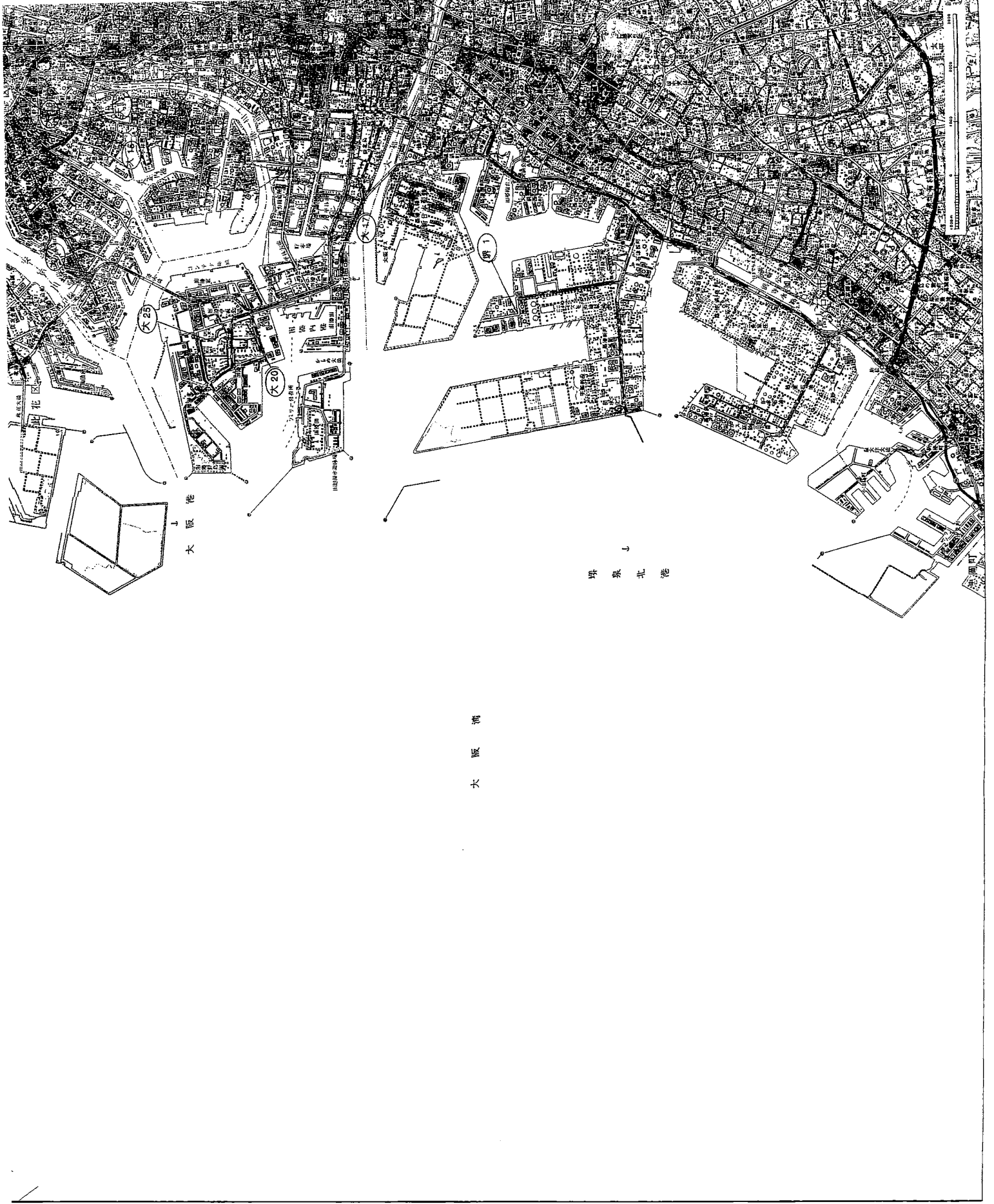


1995年兵庫県南部地震後
10日間の出火状況
(鈴木・松原)
図3-8 火災場所地図



大 阪 湾

1995年兵庫県南部地震後
10日間の出火状況
(鈴木・松原)
図3-9 火災場所地図



大阪湾

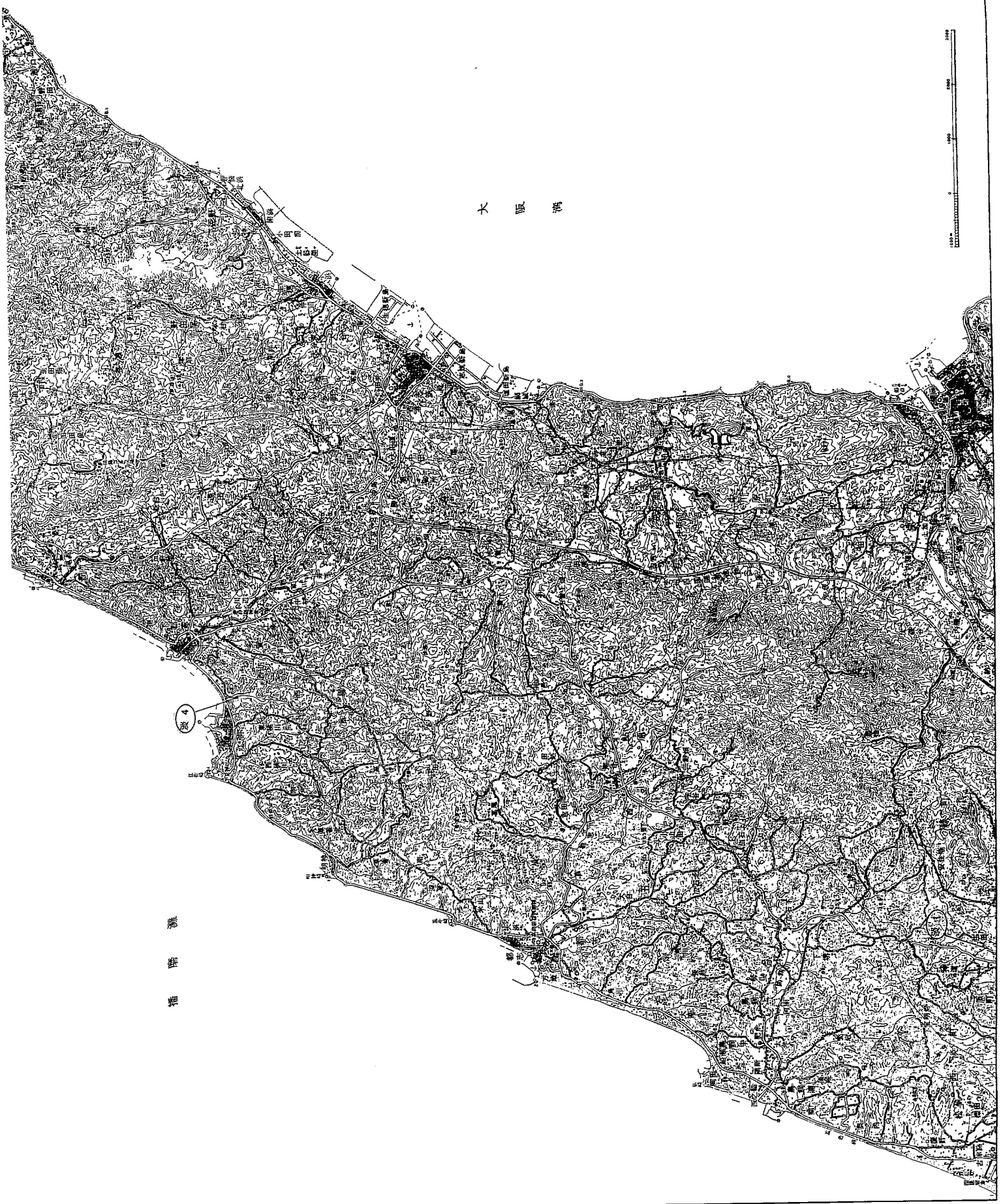
北九州港

大阪港

1995年兵庫県南部地震後
10日間の出火状況
(鈴木・松原)
図3-10 火災場所地図



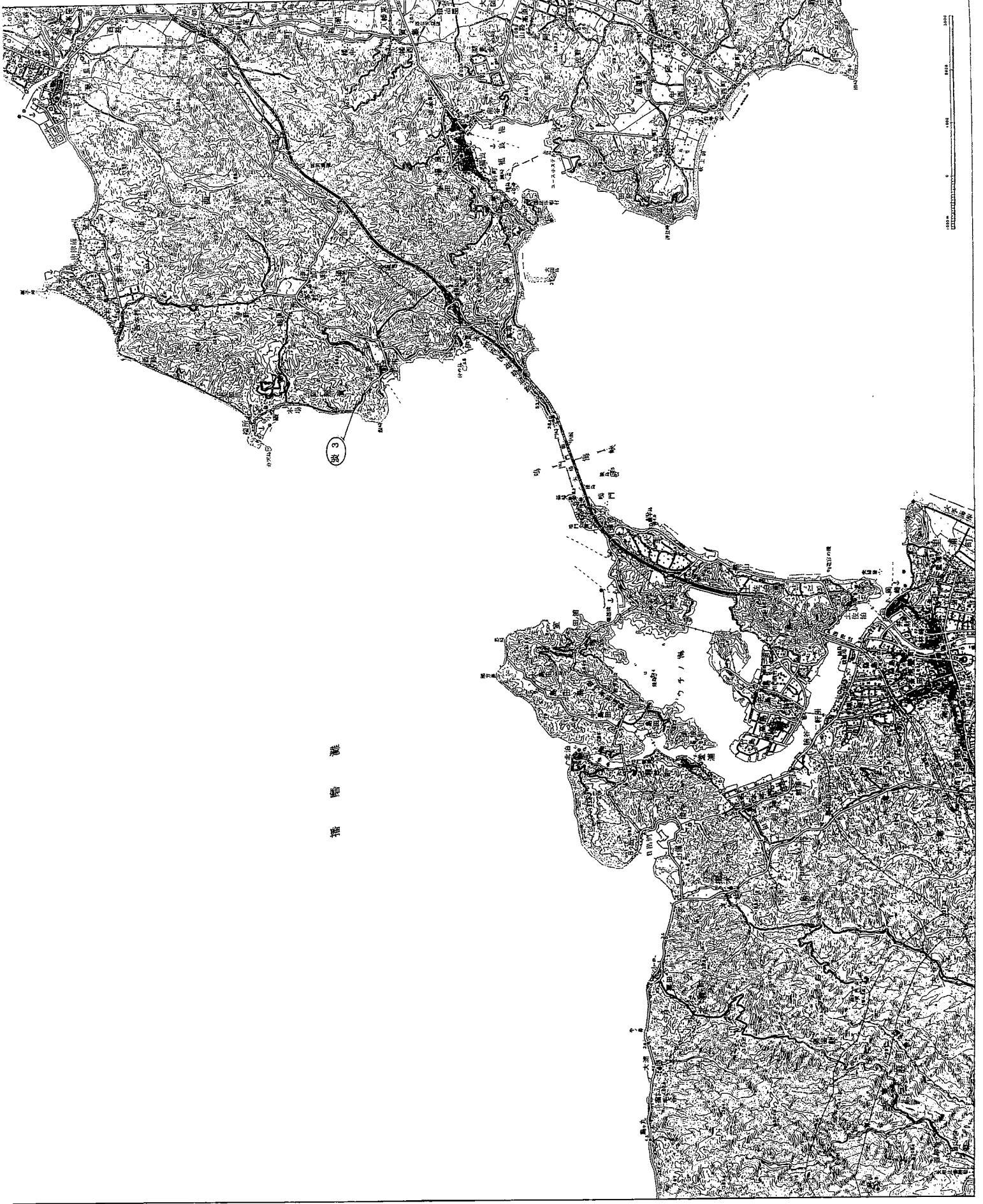
1995年兵庫県南部地震後
10日間の出火状況
(熊本・松原)
図3-11 火災場所地図



播磨灘

大阪湾

1995年兵庫県南部地震後
 10日間の出火状況
 (鈴木・松原)
 図3-12 火災場所地図



瀬 野 港

1995年兵庫県南部地震後
10日間の出火状況
(熊本・松原)
図3-13 火災場所地図

紀伊
半島
海
峽

山
良
瀬
戸



1995年兵庫県南部地震後
10日間の出火状況
(新木・松原)
図3-14 火災場所地図



1995年兵庫県南部地震後
10日間の田火状況
(神戸・松原)
図4 火災場所地図
(部分拡大)

消 研 輯 報 第 49 号

平 成 8 年 3 月 印 刷

編 集 者 兼
発 行 者

自 治 省 消 防 庁 消 防 研 究 所

東 京 都 三 鷹 市 中 原 3 丁 目 14-1
電 話 武 蔵 野 三 鷹 (0422)44局8331