

平成 7 年兵庫県南部地震による神戸市・芦屋市・
西宮市における家屋の被害分布

遠藤秀典*・村田泰章**・卜部厚志***

ENDO Hidenori, MURATA Yasuaki and URABE Atsushi (1996) Distribution of damaged houses caused by the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake in Kobe, Ashiya and Nishinomiya cities, Hyogo Pref., Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.47(2/3), p.67-77, 8 figs.

Abstract : The 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake caused very severe damage in the coastal plain between the Rokko mountains and Osaka Bay. This paper reports the distribution of the damage investigated in an area from Kobe city to Nishinomiya city. The outline of the damaged area was delineated from the many air photographs taken immediately after the main shock. The distribution and characteristics of the seismic damage were also inspected in a field survey. In addition, distribution maps were made, showing the extent of the damage in low-level structures, mainly wooden houses, based on data obtained from the house-to-house survey carried out by the Special Committee of Revival of City Construction (1995).

The distribution of the damaged low-level structures suggests as follows. 1) Areas with a higher damage rate are distributed in the narrow zone which is separated near to the JR Kobe station. The direction of the damaged zone is changed at this area, and bends into an east-west orientation near to the Ishiya river. 2) This zone lies between the boundary areas where the damage rate of the low-level structures increases steeply. 3) It is recognized that the affected boundaries in which the damage rates change sharply lie on a straight line or a segment. These characteristic lines are clear, particularly in the northern boundary which is parallel to the strike direction of the damaged zone. It is found that the straight segments where the damage rate changes sharply are oblique to the strike direction of the damaged zone.

要 旨

平成 7 年兵庫県南部地震は、六甲山地と大阪湾の間の平地に著しい被害をもたらした。この被害分布について、神戸市から西宮市に至る地域を対象に検討した。まず地

震発生直後に撮影された空中写真を判読し、被害分布の概要を把握した。また、現地において被害の分布及び被害状況を調査した。さらに震災復興都市づくり特別委員会 (1995) の戸別の被害分布資料をもとに、主に木造家屋からなる低層建物の被害率の分布図を作成した。これ

* 環境地質部

** 地質情報センター

*** 環境地質部, (現 香川大学)

Keywords : geologic hazard, earthquake hazard, 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, Kobe, Ashiya, Nishinomiya, Hyogo

らの検討結果から、今回の地震による家屋の被害分布の特徴として次の点を指摘できる。1) 被害率が高い範囲が全体として帯状に分布する。この帯状の地帯は神戸駅付近で途切れている。また帯状に分布する方向は、この両側でやや異なっていると同時に、石屋川付近でさらに東西方向に折れ曲がっている。2) この帯状の地帯は低層建物の被害率が急に高くなる境界に挟まれている。3) 被害率が急に高くなる境界が直線状あるいは線上の位置に並んでいるように認められる。この特徴は、被害集中地帯の北側の境界で特に明瞭であり、それぞれの地域において被害集中地帯が延びる方向に平行に認められる。また、被害率が急変する直線状の部分が、被害集中地帯の延びと斜交する方向にも認められる。

1. はじめに

平成 7 年兵庫県南部地震は、淡路島とともに神戸市側の地域にも甚大な被害をもたらした。その被害分布について検討するため、地震直後に撮影された空中写真を判読し、概要を把握した。その結果、六甲山地と大阪湾岸との間の平地の中に被害が集中していることが明らかになった。このため、神戸市から西宮市に至る地域の平地を主な対象に、1995 年 2 月初旬から 3 月にかけて被害分布及び被害状況の現地調査を行った。一方、今回の地震による構築物被害は極めて多数にのぼる。一般家屋、中・高層の建物、あるいは高架の道路など種々の構築物の被害のうち、被害数が最も多い家屋の被害について、震災復興都市づくり特別委員会 (1995) の戸別の被害分布資料から 2 階建て以下の比較的小さな低層建物を選び、被害率の分布図を作成し検討した。

これらの検討結果から、今回の地震による家屋の被害分布には、被害の分布境界が明瞭で、その境界が直線的に認められる場合があるなどの特徴が明らかになった。それらの特徴的な分布を生じさせた要因を明らかにすることが、今回の地震による著しい被害の原因を明らかにする大きな鍵になると考えられる。

本稿では、特に低層建物の被害率分布図の作成について詳しく述べ、神戸市須磨区から西宮市までの平地における平成 7 年兵庫県南部地震による家屋の被害分布の特徴を指摘する。

2. 空中写真判読による被害分布の概要

1995 年 1 月 17 日早朝に発生した兵庫県南部地震の被害分布について、1 月 18 日に撮影された空中写真 (垂直写真、縮尺 5,000 分の 1、中日本航空機撮影) を立体視し、判読できる被害について 1 万分の 1 地形図に記入した。

その結果をまとめた被害分布の概要図を第 1 図に示す。なお、本図の斜面災害の分布は、釜井ほか (1996) による現地調査結果に基づく。また、地質は藤田・笠間 (1982, 1983) 及び藤田・前田 (1984) に基づく。

本図では、家屋の被害が集中した地区が六甲山地と大阪湾との平地の中に主に分布し、全体として帯状になっていることが示されている。また、空中写真で判読できる中層建物や高架などの顕著な被害もこの帯状の範囲やその延長上に、主に分布していることが示されている。

また、本図では、地面が泥水で覆われるなど顕著な液状化が海岸付近の埋立地に分布するとともに、丘陵を中心として斜面災害が生じていることが示されている。

3. 低層建物の被害率分布図

3.1 低層建物の被害率の算出

一般的な家屋の被害分布について詳しく検討するため、100 m メッシュの被害率の分布図を作成した。

被害率の算出には、震災復興都市づくり特別委員会 (1995) による戸別の被害分布図 (縮尺 5,000 分の 1) を用いた。本資料では建物の種類が明示されていないため、2 階建て以下で比較的小さな建物を選んだ。本稿では、それらを低層建物と呼んでいる。それらの大部分は、木造の家屋である。

これらの建物が、100 m メッシュの各区画において、10 戸以上認められる場合、その中心付近の 10 戸以上をサンプリングし、本資料で 4 段階 (C: 全壊, B: 中程度, A: 軽微, 外見上の被害なし) に区分されている各戸数から、次式により被害率を求めた。サンプル戸数は、外見上の被害なしを含む 4 段階の戸数の和である。

$$\text{被害率} = (\text{C 戸数} \times 100 + \text{B 戸数} \times 50 + \text{A 戸数} \times 25) / \text{サンプル戸数}$$

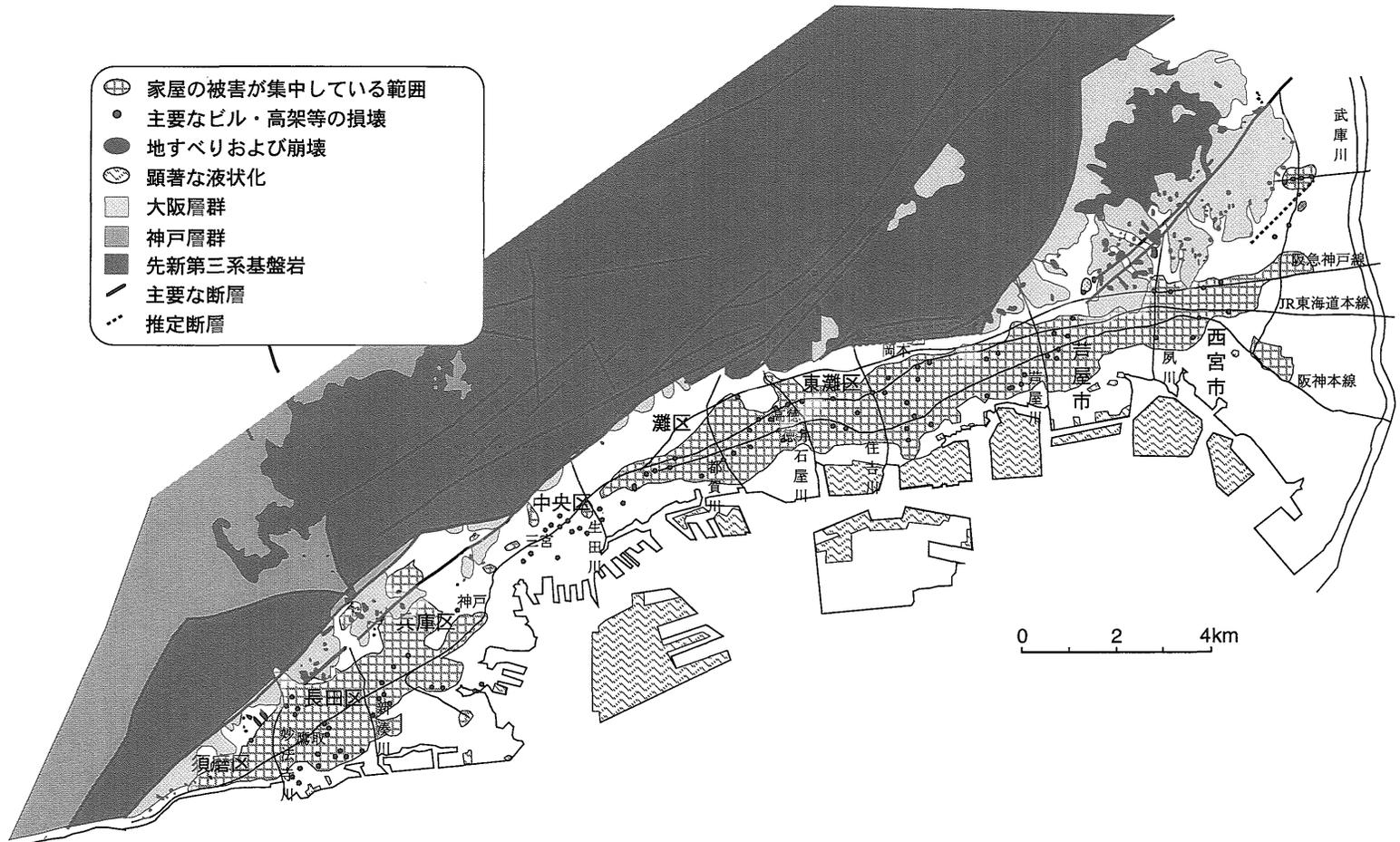
読み取ったメッシュの総数は 2,310 (23.1 km²) にのぼる。

なお、火災による被害が著しい範囲は、被害率の算出区画から除外している。建物の階数は、本資料の基図に 3 階以上の階数が明示されている場合にはそれに、明確でない場合は国土地理院発行の 1 万分の 1 地形図の区分に基づいている。

10 段階に区分した被害率のメッシュ分布図を第 2 図に示す。

3.2 低層建物の被害率の等値線図の作成方法

得られたメッシュデータ (第 2 図) において、低層建物が少ない、もしくは大規模な火災が発生した部分では、



神戸市・芦屋市・西宮市における家屋の被害分布 (藤藤 ほか)

第1図 空中写真判読による被害分布の概要図。

地すべり・崩壊の分布は釜井ほか (1996) の現地調査結果に基づく。地質区分及び断層の分布は、藤田・笠間 (1982, 1983) 及び藤田・前田 (1984) の地質図に基づく。

被害率の読み取りができない。このような部分を周囲のデータで補完するとともに、被害率の分布の全体的な傾向を把握するため、等値線図を作成した。

各メッシュの被害率を、そのメッシュの中心点における値と仮定して点データを作成し、スプライン曲面(Inoue, 1986)を当てはめた。点データにスプラインのような曲面を当てはめ、データの補完を行う際に問題になるのは、曲面の滑らかさと当てはめた結果の残差をいかに調整するかということである。曲面を滑らかにしすぎると、データの持つ情報が失われるし、データに曲面をぴったり合わせようとすると、ノイズによって図が乱れ、データの情報が読み取りにくくなる。

地球物理学の分野では、この両者に関係する値を主観によらず、ABIC (赤池のベイズ型情報量基準)を用いて決定することが最近多くなっている。ABICは、当てはめる曲面が滑らかになれば小さくなり、また、当てはめた結果の残差が少なくなっても小さくなる一つの量で、どちらがより貢献するかは、データによって決まる。ABICが最も小さくなるように、曲面の滑らかさと当てはめた結果の残差に関する値を調整することによって、最適なデータの平滑化を行うことができる。

第3図は、ABICが最小になるように計算された結果である。本図におけるコンター間隔は10であり、被害率分布の構造をより詳しくみるためにコンター間隔を5にしたものを第4図に示す。

第2図と第3図及び第4図を比較すると、第2図のメッシュデータが示す全体的な傾向がこれらのコンター図に反映されている。一方、これらのコンター図が、メッシュデータが示す全体的な傾向を損なっていないことが分かる。

4. 低層建物の被害率分布図とその他の被害分布図との比較

上記の被害率の分布図と空中写真判読結果及びこれまでにまとめられている被害分布図との関係について検討する。被害率の分布図については、全体的な傾向を示している第3図及び第4図のコンター図について検討する。

第1図で家屋被害の集中した地区が認められる範囲は、第4図の被害率50の等値線とほぼ一致し、25から60の等値線の間に分布する。異なっている点として、神戸市中央区の三宮周辺において、第1図では家屋の被害が集中した範囲が途切れているのに対し、第3・4図では被害率が高い範囲が分布している。この付近は中高層の建物が多く、一般の家屋が少ない地域になっている。低層建物の被害程度から、被害率が高い地域であることが示

されている。なお本地区は非木造の鉄筋コンクリートや鉄骨造の建物の被害が著しい。それらの被害分布の一部が第1図に示されている。また、東灘区の岡本付近において、第1図では被害が集中した狭い地区が認められるが、被害率分布図には示されていない。本地区が被害率分布図作成に用いた資料(震災復興都市づくり特別委員会, 1995)の被害調査範囲外となっていることによる(第2図参照)。

石川(1995)は木造家屋及び鉄筋コンクリート造の建物の全壊率等から震度階の区分を行い、その分布を示している。その分布図において、震度7としている範囲は、第3・4図の被害率50以上の範囲とおおむね一致する。また、被害集中地帯の全体的な帯状の分布の中で、第3・4図の被害率が比較的低い部分は、石川(1995)の震度7の分布境界が示すやや被害が小さい範囲と対応する。

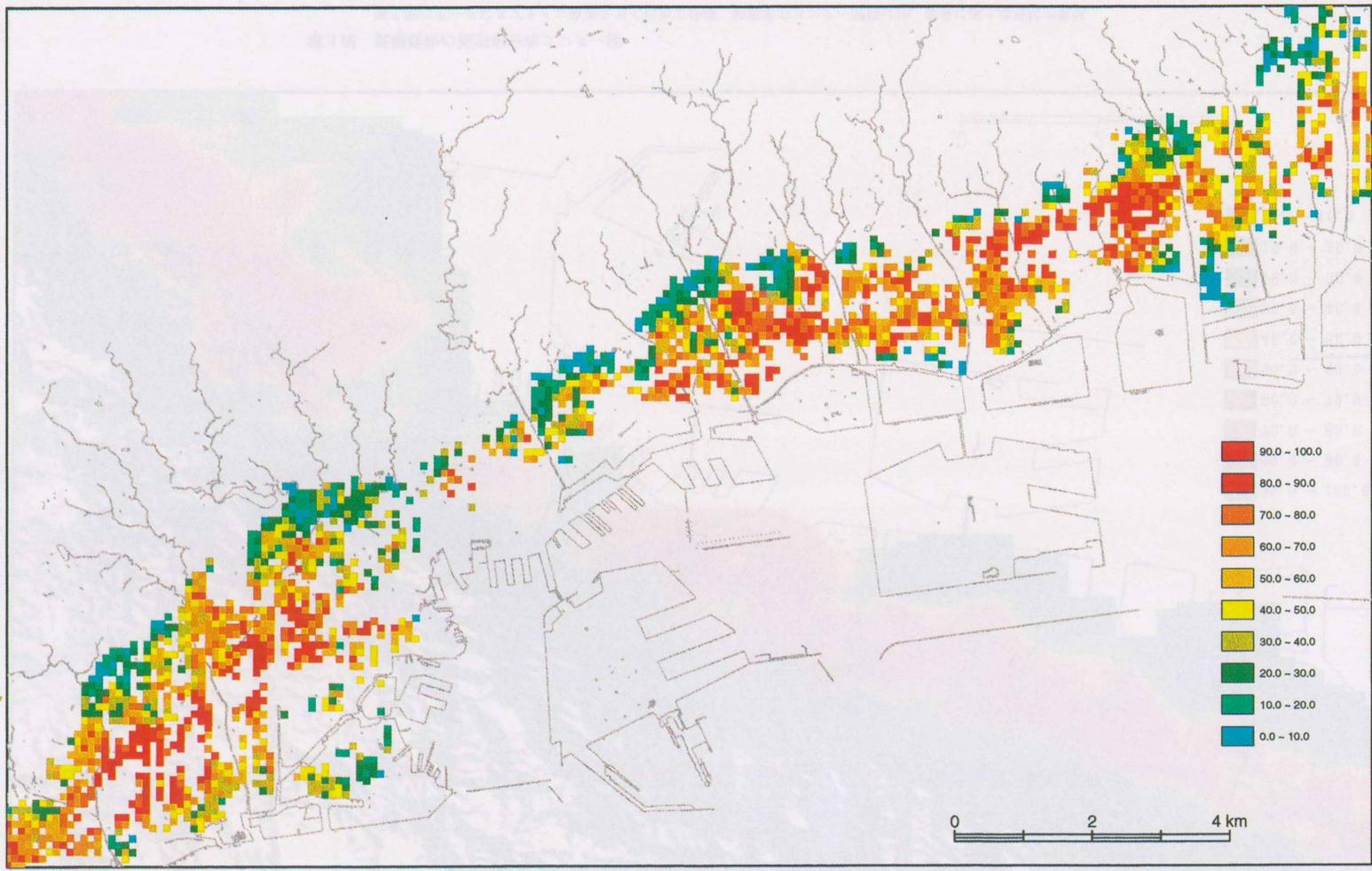
異なっているのは、実際には建物が少ない部分、例えば長田区の鷹取駅北西側などである。第3・4図では被害率が高い範囲となっているが、石川(1995)では震度6の範囲としやや低くなっている。第3・4図では、調査範囲の中で測点がない部分は内挿して等値線が描かれていることによる。また、被害率分布図に岡本付近の被害が示されていない点については、先に述べたとおりである。一方、石川(1995)が超震度7とした範囲はおおむね被害率75以上の範囲になっているが、一部の地区で分布範囲が異なっている。石川(1995)では、鉄筋コンクリート造等の中・高層建物の被害を含めて被害分布をまとめていることが関係していると考えられる。

また、今回の被害の分布について、嶋本ほか(1995)が「震災の帯」と呼んだ被害集中地帯の分布図も、本稿の被害率分布図が示す被害の全体的な分布傾向とよく一致している。

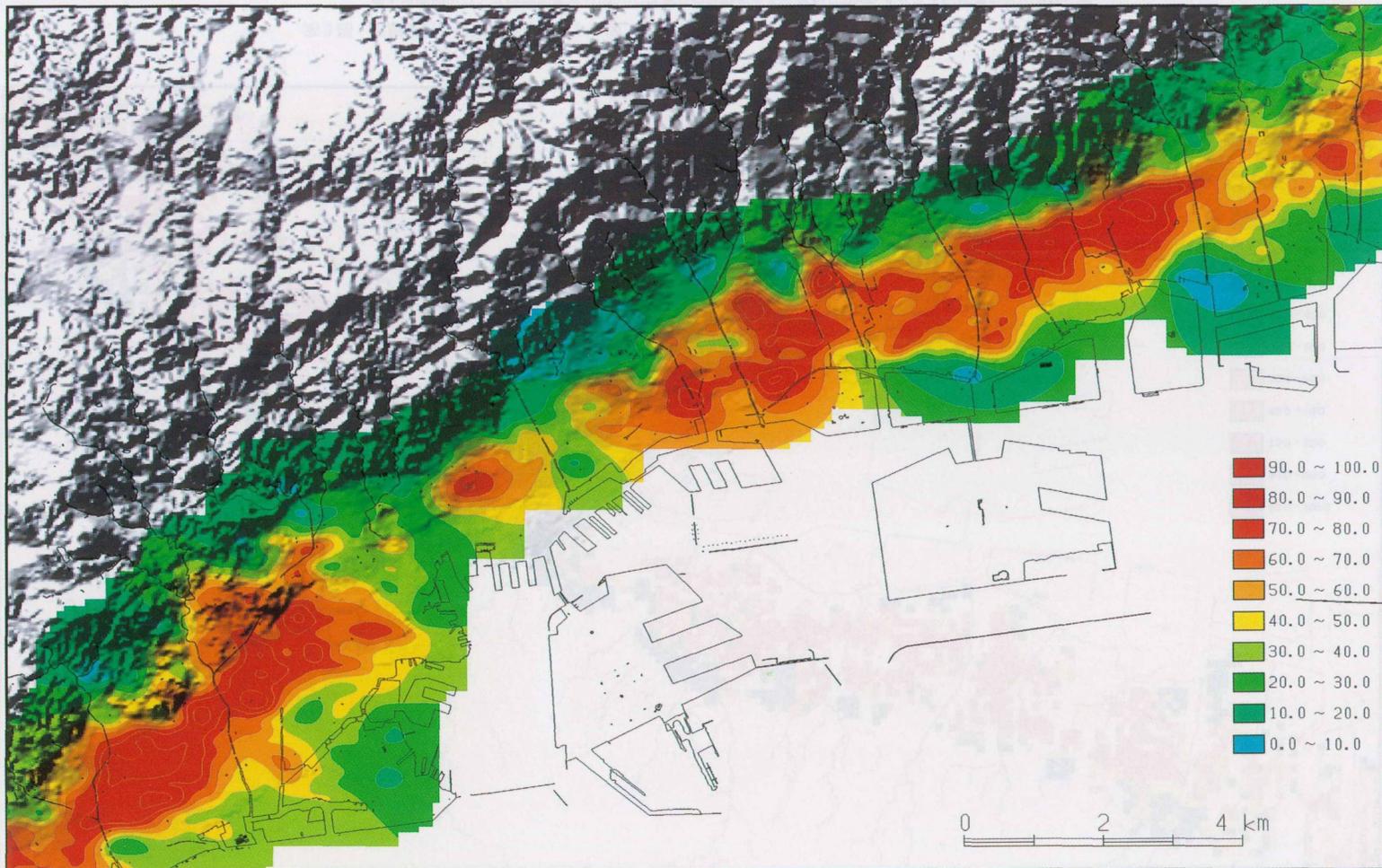
したがって、第3図・第4図の被害率分布図は、異なった調査方法による被害分布調査結果とも良く対応し、平地における家屋の被害分布をほぼ示していると考えられる。

地震の被害の調査では、対象とする建物、方法、基準などによって、被害分布の傾向が異なってくることが考えられる。また、その結果を取りまとめる際の地区ごとの被害程度のまとめ方、例えば全壊した建物だけのみか、軽微な被害を含めるかによっても異なる。さらにそれらの被害区分の境界の設定方法を建物が少ないような場所を含めてどのようにするかによっても、被害の分布図が異なってくることが考えられる。

しかし、被害の著しい範囲の分布は、いずれも良く似た結果になっている。その理由として、今回の地震によ

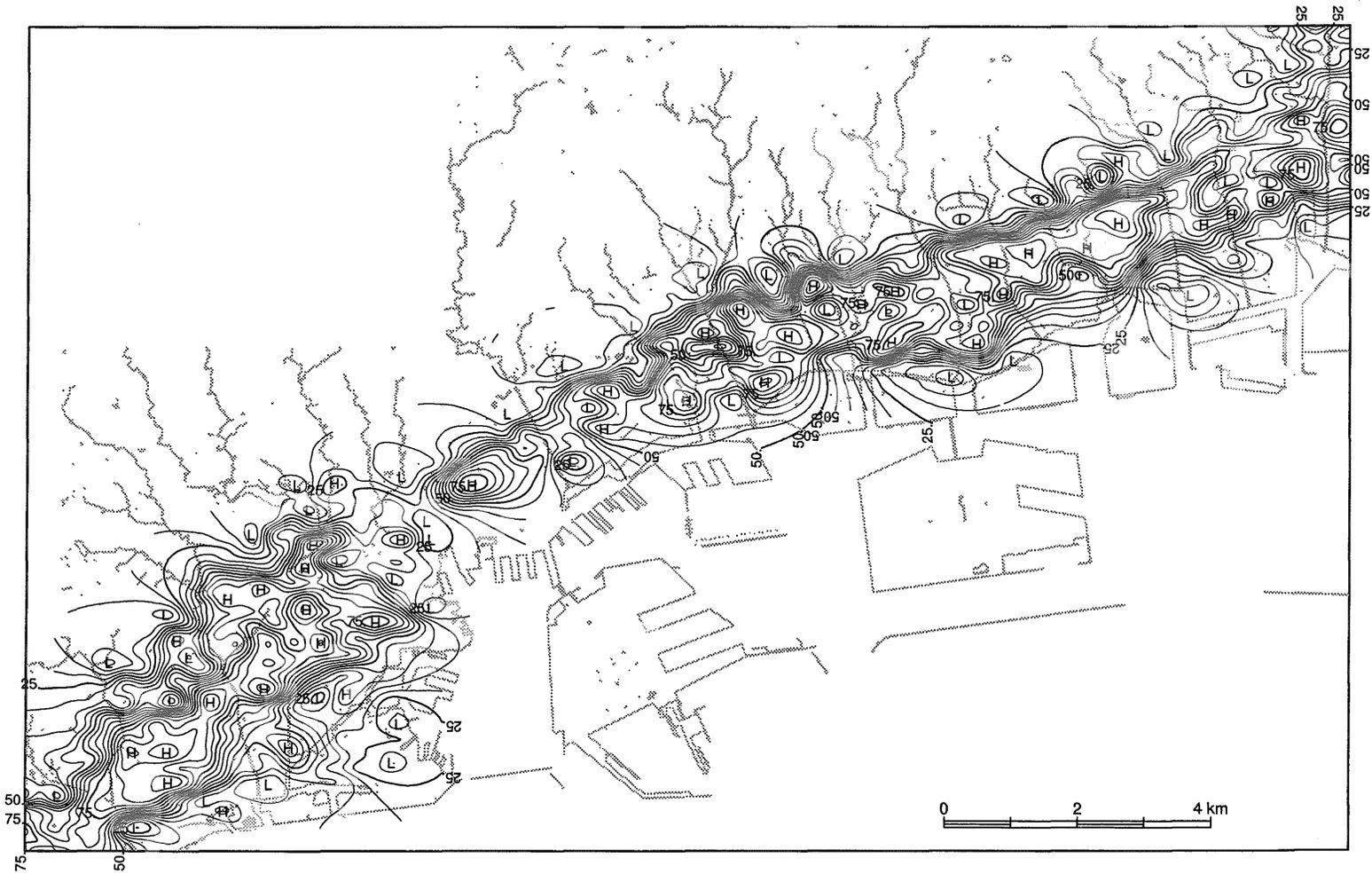


第2図 低層建物の被害率分布メッシュ図。
震災復興都市づくり特別委員会(1995)の被害分布資料をもとに求めた100mメッシュの被害率を10段階に色分けして示す。



第3図 低層建物の被害率分布コンター図

第2図のデータにスプライン曲面を当てはめて作成。被害率のコンター間隔は10、背景に国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)を用いた地形陰影図を示す。遠藤ほか(1995e)に加筆。



第4図 低層建物の被害率分布コンター図

第2図のデータにスプライン曲面を当てはめて作成。被害率のコンター間隔は5。

る被害の著しい範囲の境界は、後述するように被害率が急に大きくなるような比較的顕著な境界になっていることに基づいていると考えられる。

なお、第3・4図の被害率分布図では、建物が少ない範囲についても数値的に内挿して作図しており、被害の分布傾向を比較的客観的に示している。また、中程度や軽微な被害を含めて被害率を求めており、被害程度が比較的小さな地域の被害分布状況についても把握できるものとしている。

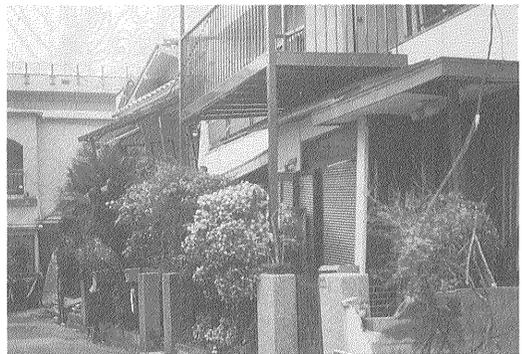
5. 被害集中地帯の家屋の被害状況と被害の直接的な要因

現地で調査した結果では、第4図において被害率が75以上に達するような範囲では、築後20-30年以上の家屋がほぼ潰れてしまうような大きな被害となっている(第5図、第6図)。また、築後10年に満たないような家屋も、全体に歪んで全壊(主要構造部の被害額の「その住宅全



第6図 木造家屋の被害状況。

2階建ての家屋の1階部分が潰れる被害も多い。この写真では、いずれの木造家屋も1階部分が潰れた状態になっている。



第7図 木造家屋の被害状況。

被害集中地帯の中では比較的新しい家屋も大きな被害を被っている。手前の家屋は全体が歪んでいる。また奥の家屋は大きく傾いている。これらはいずれも全壊の被害である。



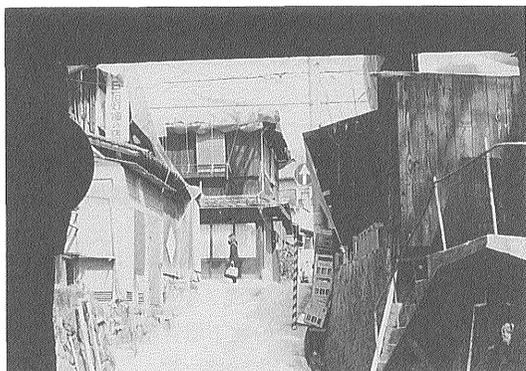
第5図 木造家屋の被害状況。

被害集中地帯の中では、比較的古い木造家屋の多くが倒壊した。この場所では、道路の両側の家屋が倒壊し、道路をふさぐような状態になっている。

体の時価」に対する比率が50%以上程度)になる場合が多く認められる(第7図)。一方、この地域に隣接する被害率が25程度以下の地域では、多くの家屋の被害が軽微である。また、築後20-30年あるいはかなり古い家屋でも外見から大きな被害が認められない場合も少なくない(第8図)。

地震災害による建物の被害には、建物の構造、固有周期、基礎形式あるいは強度などが関係する。本稿の低層建物の被害率算出では耐震性が異なる新旧の家屋が含まれている。その様な問題があるにもかかわらず、第3・4図の被害率の分布は、今回の地震による家屋の被害分布をほぼ反映していると考えられる。

そのような結果となった理由の一つとして、低層建物の被害率が高い範囲では、極めて著しい被害状況になっていることを指摘できる。先に述べたように、被害が著



第8図 木造家屋の被害状況。被害集中地帯周辺の被害率が低い範囲では、古い家屋でも大きな被害を被っていないことがある。芦屋市における阪急神戸線のガード下（写真手前の黒い影）から山側を撮影したこの付近では比較的古い家屋が多く、屋根がシートで覆われているが、外見上の被害は軽微である。

しい範囲では、強度が弱い比較的古い家屋の多くが「全潰」（1階建ての屋根が落ちている、あるいは2階建ての1階部分が潰れているような状況）になっている。一方、強度の大きな家屋の多くが、「全潰」に至らないまでも、修理費が時価の半分以上になる全壊の被害を被っている。近年の地震災害に対して一般的に行われている家屋の被害区分では、これらは一括して全壊に区分される。家屋の強度等の違いが一般的な被害区分に反映されない程に、著しい被害が生じていることを指摘できる。

被害集中地帯における家屋の被害の直接的な要因については、柱の損傷や、家屋全体の歪みが著しく、基礎からよりも上部構造から被害を生じているものが大部分であり、主に震動による被害と推定できる。

一部には、液状化や斜面災害による被害が含まれている。被害集中地帯の中で地盤の変状が著しく、液状化が生じている可能性がある地区として、例えば石屋川沿いでは徳井町や高德町付近がある。しかし、これらの地区は、被害集中地帯の全体的な分布範囲からすると限られた範囲であり、またこれらの地域においても家屋の上部構造の被害が著しく、震動が大きかったと推定できる。

一方、斜面災害による被害が含まれる地域として、長田区及び兵庫区の会下山断層付近より北西側、芦屋市及び西宮市の北部の大阪層群が露出する丘陵地帯がある（第1図参照）。これらの地域では斜面災害が多く生じていることが明らかになっており（釜井ほか、1996）、それらによる被害が含まれている。しかし、これらの地域においても、被害率が50以上になるような範囲では、斜面災害

の発生した場所周辺でも家屋の被害が著しく、震動による被害も大きかったと推定できる。

6. 低層建物の被害率分布の特徴

第3図・第4図の被害率分布図に基づくと、木造の家屋を主とする低層建物の被害率の分布には次のような特徴が認められる。なお、主な地名及び河川名は第1図に示す。

第1に、被害率が高い範囲が帯状に分布していることである。この帯状の部分はJR神戸駅周辺で途切れている。また帯状に分布する方向はこの両側でやや異なり、さらに石屋川付近で東西方向に折れ曲がっている。

第2に、この帯状の地帯は被害率が急に高くなる境界に挟まれている点である。このような特徴は、第4図において等値線が密に分布する部分として示されている。被害集中地帯はこの境界に挟まれた範囲とすることができ。

第3に、この被害率が急に高くなる境界が直線状あるいは線上の位置に並んでいるように認められることである。この特徴は、被害集中地帯の北側の境界で特に明瞭であり、それぞれの地域において被害集中地帯が延びる方向と平行に認められる。芦屋市東部から神戸市東灘区石屋川付近にかけては、被害集中地帯の北側の境界は直線状に示されている。都賀川東側から三宮西方にかけては、被害集中地帯の境界がほぼ線上の位置を北限として分布する。長田区から兵庫区に至る範囲では被害率が急に変化する場所は、特に兵庫区付近で、北側に2箇所認められる。被害率70前後を含む等値線が密になっている部分と、被害率35前後を含む部分である。後者は、かなり入り組んだ形状をなしている。これらのうち、被害率70前後を含む北側の部分及び被害集中地帯の南側の境界は直線的に分布することが示されている。

一方、被害率が急変する直線状の部分は、被害集中地帯の延びと斜交する方向にも認められる。石屋川より東側では、南側の境界に認められ、南西―北東方向の芦屋川を通るもの及び住吉川の東側に認められる。また、兵庫区において被害集中地帯が途切れる境界付近では、被害率50を含む等値線が西北西―東南東方向に密に分布する。なお、その南側では被害率の高い部分が幅広く分布している。このほかにも被害集中地帯の中に、被害率がやや低い部分が斜交して直線状に分布している場合が認められる。これらについては、被害率を求めた測点の配置にも関係しており、さらに詳しい検討が必要である。

7. おわりに

今回の地震による被害分布には、多くの謎がある。被害集中地帯でなぜ甚大な被害になったのかという点とともに、その著しい被害に比べて周りの被害がなぜ小さいのか。表層の堆積物が六甲山地から供給され、扇状地や自然堤防など、それぞれ異なった地形が主に南北方向に分布しているのに対し、それらを横断するように被害集中地帯が分布する。また、扇状地は、日本の平野の中では比較的地盤が良い場所とされてきたところである。なぜ、そのような場所でも甚大な被害になったのか。

これらの謎を解く大きな鍵が、本稿で述べた被害集中地帯の分布が示す特徴の中にあると考えている。被害集中地帯の被害は主に震動による被害であり、その分布の特徴は家屋などを破壊した震動の分布と密接に関係していると考えられる。

それらに関する地下地質条件の分布について具体的に明らかにすることが必要であり、これまでに行った調査の結果についてその概要を報告してきた(遠藤ほか, 1995 a, b, c, d, e, f; 村田ほか, 1995)。また、それらの詳しい内容については本特集号で報告している(遠藤ほか, 1996 a, b; 村田ほか, 1996; 牧野ほか, 1996)。現在、地下地質や震動の伝播に関するさらに詳しい調査を実施しており、被害要因についてはそれらの調査結果に基づいて改めて検討したい。一方、本稿では主に木造家屋を対象とする低層建物の被害分布について検討した。比較的大きな鉄筋コンクリート造等の非木造建物の被害分布は、これらの被害分布と必ずしも一致しない場合も認められる(遠藤ほか, 1995 d など)。今後それらを含めた被害の分布と要因についても検討する必要がある。

謝辞：被害分布資料の利用とその処理結果の公表については、震災復興都市づくり特別委員会の許可を得ました。記して深く感謝いたします。

文 献

遠藤秀典・渡辺史郎・牧野雅彦・村田泰章・渡辺和明・
ト部厚志(1995 a) 兵庫県南部地震による阪神
地域の被害と伏在断層の分布, 日本応用地質学
会「阪神大震災」中間報告会予稿集, p.55-71.

————(1995 b) 阪神地域の地下地質構造と
被害分布, 日本地質学会シンポジウム「阪神・
淡路大震災と地質環境」論文集, p.219-224.

————(1995 c) 阪神側地域における地下地
質構造, 被害分布及び地震後の変動について,
1995年構造地質研究会夏の例会講演要旨集,
p.13-22.

————(1995 d) 兵庫県南部地震による阪神地域の被害
と伏在断層, 日本第四紀学会講演要旨集,
p.4-7.

ト部厚志(1995 e) 平成7年兵庫県南部地震に
よる被害集中地帯の地下地質構造, 地質学雑
誌, vol.101, no.10, p.31-32.

————(1995 f) 兵庫県神戸市及び芦屋市に
おける伏在断層と基盤構造, 物理探査,
vol.48, p.439-450.

ト部厚志・阿蘇弘生・
是石康則・江尻寿延(1996 a) 兵庫県芦屋市に
おける芦屋川測線の反射法弾性波探査, 地調月
報, vol.47, p.79-94.

————・横田 裕・野田利一・
香川敏幸(1996 b) 兵庫県神戸市における脇浜
第2測線の反射法弾性波探査, 地調月報,
vol.47, p.95-108.

藤田和夫・笠間太郎(1982) 大阪西北部地域の地質, 地
域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調
査所, 112 p.

————(1983) 神戸地域の地質, 地域地質
研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所,
115 p.

————・前田保夫(1984) 須磨地域の地質, 地域地質
研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所,
101 p.

Inoue, H. (1986) A least-squares smooth fitting for
irregularly spaced data : Finite-element
approach using the cubic B-spline basis,
Geophysics, vol.51, p.2051-2066.

石川浩次(1995) 神戸の地形・地質・地盤と構築物の帯
状, 島状被害, 日本応用地質学会「阪神大震災」
中間報告会予稿集, p.72-104.

釜井俊孝・鈴木清文・磯部一洋(1996) 平成7年兵庫県
南部地震による都市域の斜面変動, 地調月報,
vol.47, p.175-200.

牧野雅彦・村田泰章・遠藤秀典・渡辺和明・渡辺史郎・
ト部厚志(1996) 神戸市・芦屋市・西宮市にお

- ける精密重力探査(2)—基盤構造—, 地調月報, vol.47, p.133-164.
- 村田泰章・牧野雅彦・遠藤秀典・渡辺和明・渡辺史郎・ト部厚志(1995) 重力探査法による神戸市及び芦屋市の活断層調査法, 物理探査学会第93回講演会論文集, p.135-139.
- (1996) 神戸市・芦屋市・西宮市における精密重力探査(1)—重力異常と伏在断層—, 地調月報, vol.47, p.109-132.
- 嶋本利彦・堤 昭人・大友幸子・川本英子(1995) 神戸市・芦屋市・西宮市における地震被害と推定地震断層, 日本第四紀学会・第四紀研究連絡委員会「1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会」記録, p.41-42.
- 震災復興都市づくり特別委員会(1995) 阪神・淡路大震災被害実態緊急調査被災度別建物分布状況図集(縮尺5000分の1), 120 p.
- (受付:1995年11月30日;受理:1996年1月30日)