

空撮ハイビジョン映像を利用した 被害建物の自動抽出の試み

長谷川 弘忠¹・青木 久²・山崎 文雄³・関本 泉⁴

¹正会員 理化学研究所 地震防災フロンティア研究センター
(〒673-0433 兵庫県三木市福井字三木山 2465-1)

² 理化学研究所 地震防災フロンティア研究センター (同 上)

³正会員 工博 理化学研究所 地震防災フロンティア研究センター (同 上)

⁴ NHK衛星放送局 (〒150-8001 東京都渋谷区神南 2-2-1)

1995 年兵庫県南部地震後に撮影された空撮ハイビジョン映像を用いて、木造被害建物の自動抽出に関する検討を行った。画像解析による被害抽出では、衛星画像であれば地震前後の 2 時期の差を取ることで可能である。しかし、空撮映像では実用上それが困難であると考えられることから、地震後の映像のみを利用した被害建物抽出を行った。本検討では空撮映像を画像ファイルに変換した上で、色情報、エッジ情報に着目した画像解析により被害建物の特徴を定量化した。この被害建物の特徴を検討地域全体に適用し、被害建物分布を抽出した結果、倒壊のような大きな被害建物の自動抽出が可能であることが確認された。

Key Words : *Aerial High Definition Television Images, Image Processing, Building Damage, the 1995 Kobe Earthquake, Automatic Damage Detection*

1. はじめに

震災直後の被害情報の早期把握は、救命、救急活動において極めて重要である。広域な被害状況の把握手法として、宇宙や上空からのリモートセンシング技術の利用が考えられる。この中で、ヘリコプターからの映像情報は、個々の建物を比較的容易に、素早く観測可能である。この空撮映像を利用して、建物一棟ごとの被害分布の把握が可能となれば、発災直後の混乱期において非常に有効な情報となりうる。

これまでに筆者らは、空撮ハイビジョン映像を利用した目視による建物被害判読の可能性について報告を行ってきた^{1),2)}。この結果、比較的大きな被害を受けた建物の被害判読が可能であることがわかった。しかし、目視判読による広域的な被害の把握は、多大な時間を要するため、画像解析技術などを利用した自動被害判読手法の開発が急務である。画像解析による被害抽出では、人工衛

星からの画像の利用による地震前後の 2 時期の差をとることが考えられる³⁾。しかし空撮映像では、経済性などの理由から、実用上それは困難である。本検討では、地震後の空撮映像を利用し、画像上での木造被害建物の特徴を定量化する。さらに、この結果を用いて被害建物分布の抽出を試みる。

2. 空撮映像および対象領域

本検討で使用した空撮映像は、NHK が兵庫県南部地震の直後から、図-1 に示すように、高度 300m、撮影角度 30~45 度（鉛直方向を基準）を保持しつつ、被災地全域を撮影した膨大な記録の一部である。本映像はヘリコプター搭載ハイビジョン空撮システムにより撮影されたもので、従来の NTSC 方式の画像と比べ、高画質で詳細な情報の取得が可能であった。本検討では、この映像の 1 コマを画像ファイルに変換し使用した。使用した画像の

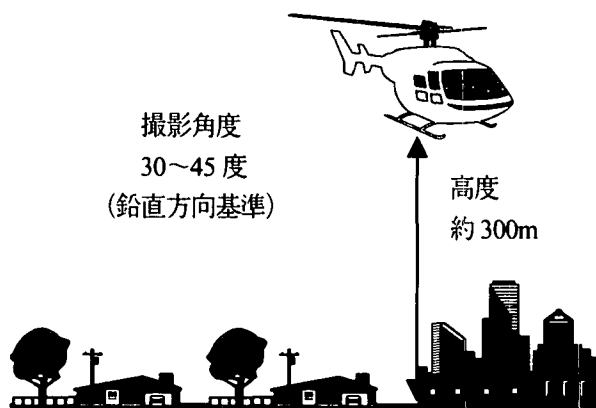


図-1 空撮映像の撮影方法

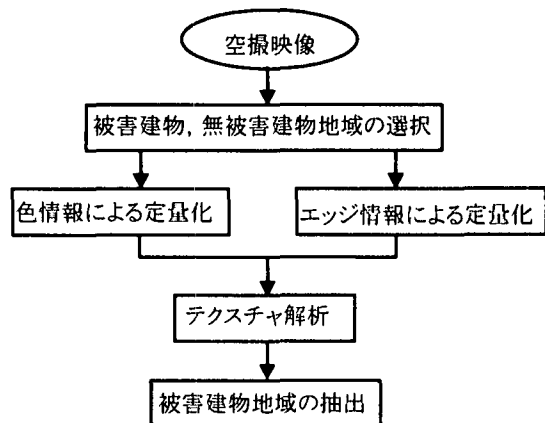


図-4 検討フロー



図-2 本検討で使用した空撮画像

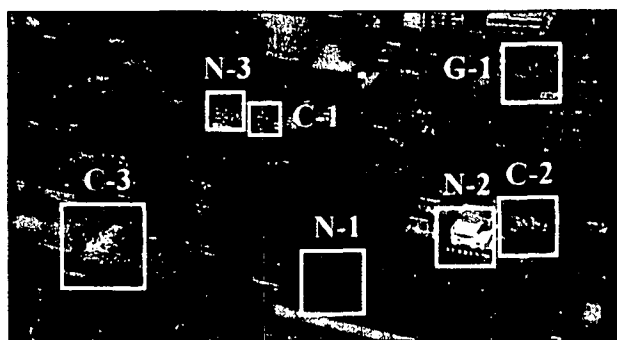


図-5 選択地域と抽出画素

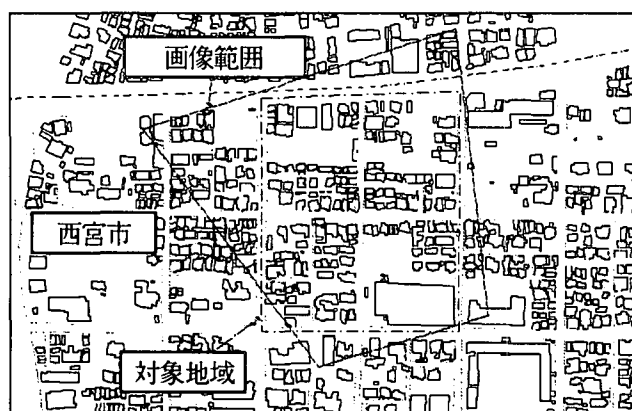


図-3 空撮画像の撮影範囲と対象地域

撮影日は、地震の10日後（1995年1月27日）で、画像に映る被害建物の一部には、既にブルーシートによる防水対策が施されていた。図-2に空撮画像を示す。画像の地上分解能は、画面下部（手前）で9cm/pixel、画面上部（奥）で17cm/pixelである。

対象地域は、震災により甚大な被害が発生した地域で、図-3に示す兵庫県西宮市の一部地域（200m×230m、約4,600m²）である。

表-1 選択した建物の特徴

No	建物の状態	画素数	備考
C-1	倒壊（瓦礫化）	2,758	木造建物
C-2	倒壊（瓦礫化）	7,951	木造建物
C-3	倒壊（瓦礫化）	15,321	木造建物
N-1	被害無し	10,000	体育館の屋根（濃緑色）
N-2	被害無し	14,695	屋根・壁面とも白基調
N-3	被害無し	7,649	建物形状が複雑、茶系の屋根
G-1	グラウンド	5,400	公園のグラウンド（土）

3. 画像上での地震被害建物の定量化

空撮映像を利用した木造建物の目視被害判読では、大きな被害を受けた建物の瓦や葺土、木材などの混在状況、あるいは倒壊建物でみられる瓦礫状態が、被害判読上の大きな目安となった。本検討では、これらの特徴に着目し、被害建物の定量化を行うこととした。図-4に検討フローを示す。

まず、代表的な被害建物と特徴の異なる無被害建物を、表-1に示すとおり選択した。抽出画素を図-5に示す。被害建物は、目視被害判読により確認された倒壊建物から、さらに、無被害建物は、建物被害地上調査データ^{4),5)}に基

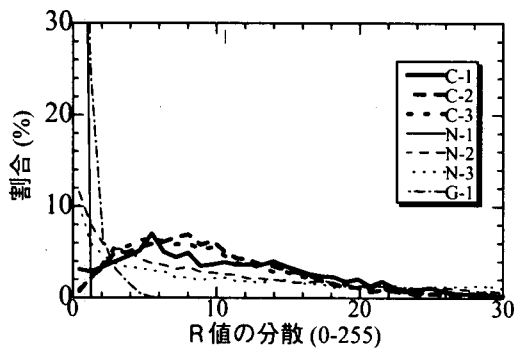


図-6 選択地域におけるR値の分散の相対頻度分布

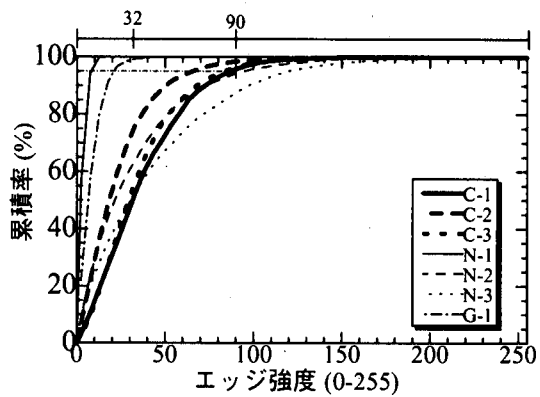


図-8 選択地域におけるエッジ強度の相対頻度累積分布

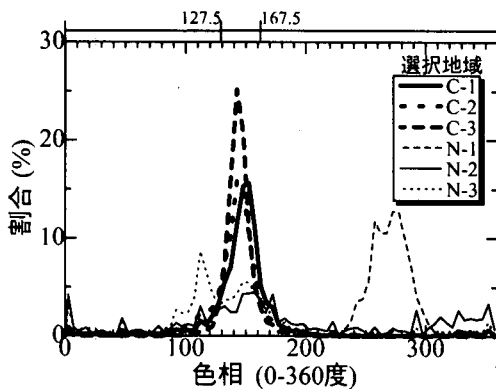


図-7 選択地域における色相の相対頻度分布

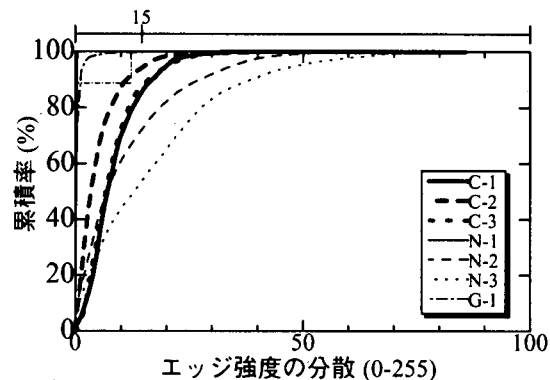


図-9 選択地域におけるエッジ強度の分散の相対頻度累積分布

づく被害無しと判定された建物から選択した。なお公園のグラウンドについても、無被害地域として選択した。本検討では、これらの選択地域において、被害を特徴づける指標および、その閾値を検討し、得られた結果をもとに、画像全体から被害建物地域の抽出を行うこととした。

被害建物の特徴は、色情報とエッジ情報をもとに、瓦礫状態を評価するテクスチャ解析を用いて定量化を試みた。

(1) 色情報による定量化

検討に先立ち、画像情報を出来るだけ有効に利用するために、線形変換法による濃度変換を行った。また、太陽のあたり方の違いによる影響を除去するために、比演算処理を行った。

色情報による定量化では、画像の RGB 値、及び HIS 値のそれぞれの値、及びこれらの平均、分散、歪度、尖度について検討を行った。平均等は、隣接した建物の情報が混合しないように、7×7画素の領域（窓）のテクスチャ解析により求めた。また各指標の計算結果の最大値と最小値を 255、0 として、1 バイトに割当てた。

RGB 値をもとにした検討では、まず、各指標について相対頻度とその累積分布、および R-G、R-B、G-B の

2 次元ヒストグラム作成し、各地域の分布を比較した。図-6 に、R 値の分散の相対頻度分布を示す。これより、R 値の分散は、比較的均一な色調をもつ体育館の屋根 (N-1) とグラウンド (G-1) を、特徴づける指標ではあるが、本検討の目的である地震被害建物 (C-1, C-2, C-3) を特徴づける指標とはならない。RGB 値に着目した検討では、全ての指標において、これと同様の結論を得た。

次に、HIS 値の検討結果を示す。色相の相対頻度分布 (図-7) から、倒壊建物は、127.5-167.5 度の領域に集中していることが確認された。この領域は、赤～黄色の領域であり、目視被害判読結果において被害建物が茶褐色を呈する事実と調和的である。しかしながら、無被害地域のグラウンドでも同様な結果がみられている。また、明度、彩度については地震被害建物の特徴づける結果は得られなかった。

以上の結果、色情報による定量化においては、色相 (127.5-167.5 度) が、被害建物の特徴を表す有効な指標であると判断された。

(2) エッジ情報による定量化

エッジ情報による定量化では、エッジ強度に着目し、エッジ強度値、及びこれらの平均、分散、最頻度につい

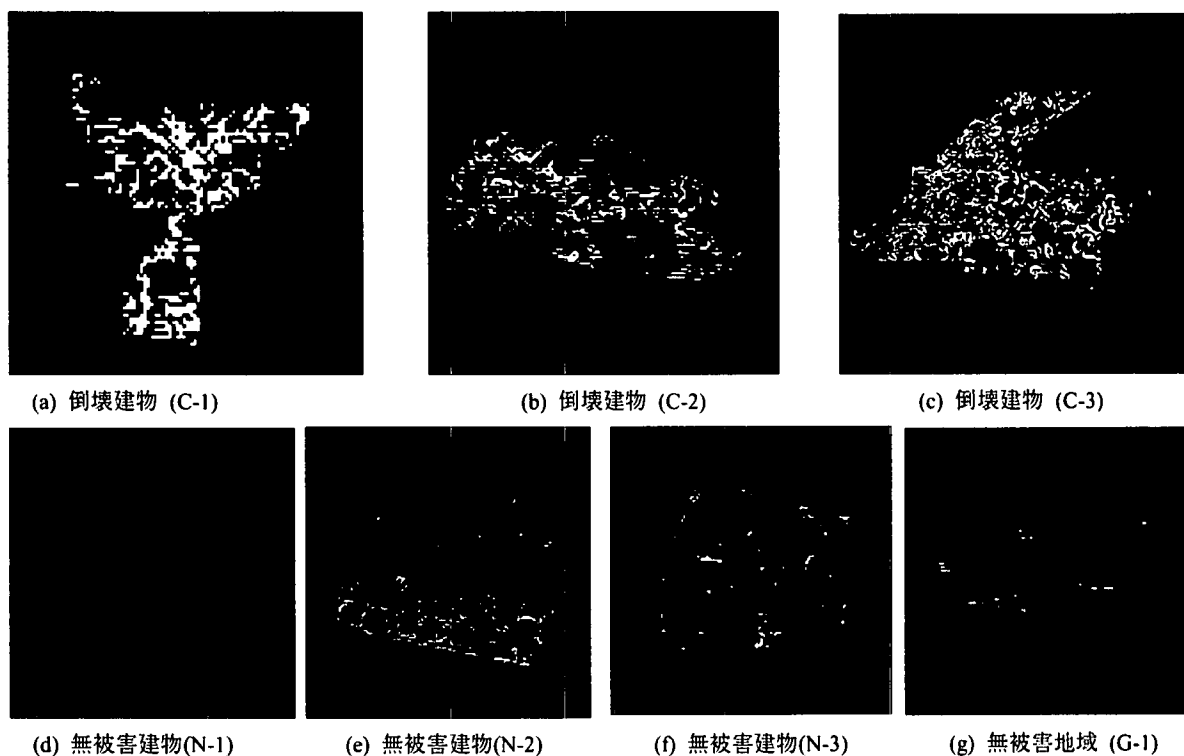


図-10 被害建物に存在する画素の抽出結果

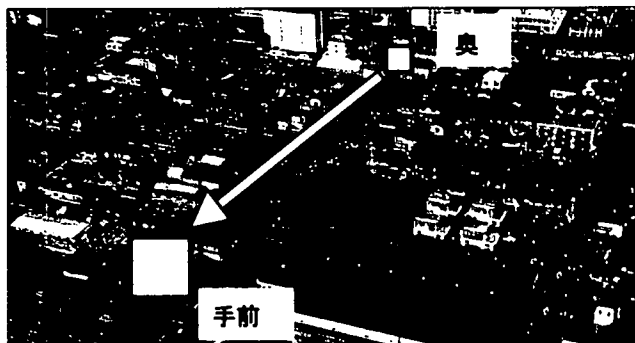
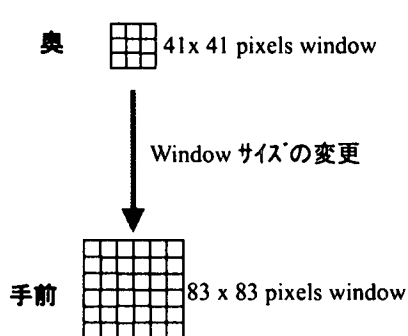


図-11 テクスチャ解析における局所領域の考え方

て検討を行った。エッジ強度は、一般的に用いられる、 3×3 画素の1次微分演算（グラディエント）を用いて算出した。

図-8に、エッジ強度の相対頻度累積分布を示す。無被害建物（N-1）とグラウンド（G-1）では、エッジ強度が0-32の範囲で、ほぼすべてが分布している。これは、均一な色調のグラウンドでは濃度差が小さい領域が多いためである。また被害建物は、その強度の95%以上が0-90の範囲で分布している。このため、91以上の値を示すエッジ画素は、主に無被害建物で顕著にみられる明瞭な輪郭部分と考えられる。

エッジ強度の分散に着目すると、その相対頻度の累積分布（図-9）から、倒壊建物では、0-15の範囲にほぼすべて（95%以上）が分布している。また、無被害建物

（N-2,N-3）では、これよりも大きな分散値が多く存在する。無被害建物の輪郭は、視認性が高く、濃度差が大きい。このため、エッジ強度値も高い。加えてその周辺部は、濃度差が小さい領域が多いことから、建物の輪郭付近の分散が大きくなったものと考えられる。以上の結果、エッジ情報による定量化においては、エッジ強度値（32-90）、エッジ強度の分散（0-15）が、被害建物の特徴を表す、有効な指標であると判断された。

被害建物の特徴づける指標として選択した色相、エッジ強度、エッジ強度の分散、およびこれらの閾値に基づき、被害建物に存在する画素を、各選択地域から抽出した。図-10に、各選択地域での抽出結果を示す。不完全ではあるが、倒壊建物に、より多くの画素が抽出されており、定量化された指標の有効性が確認された。

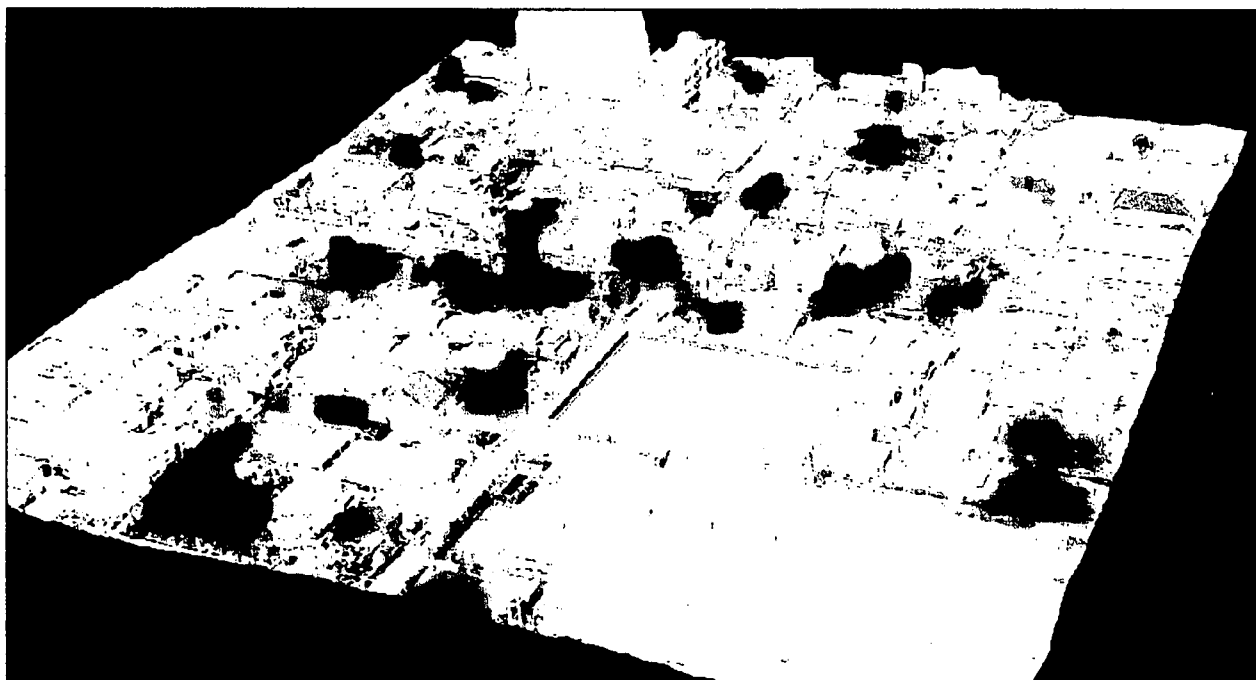


図-12 画像解析による被害建物抽出結果

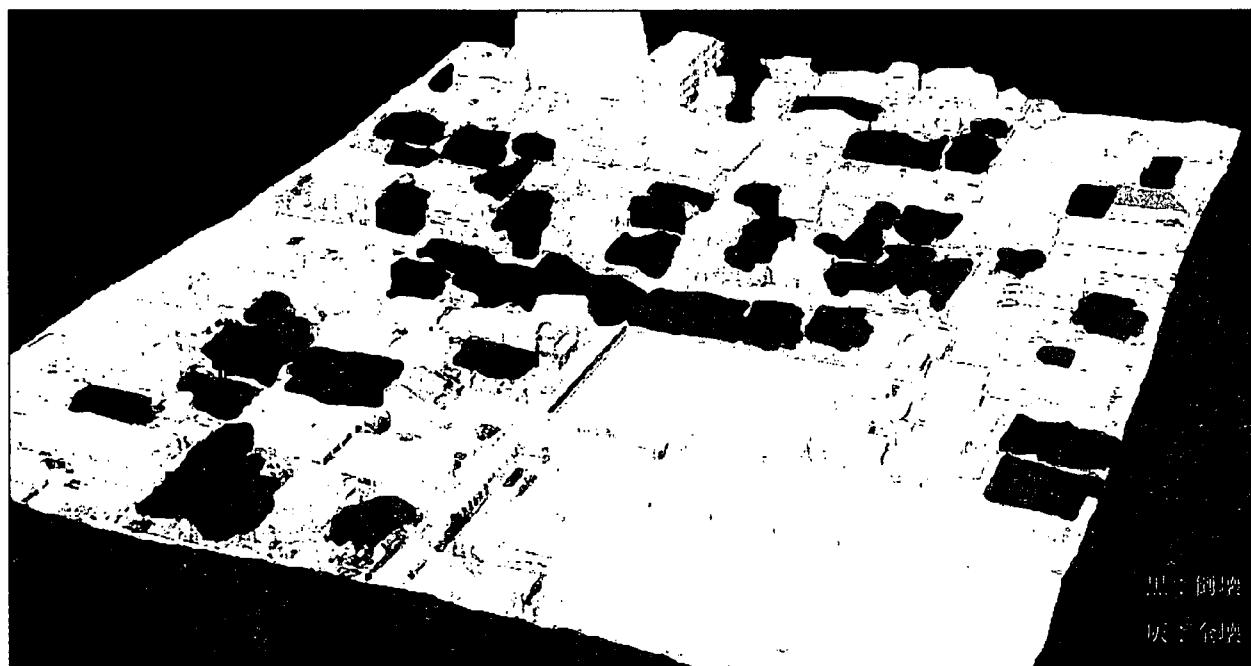


図-13 建物被害地上調査データ、空撮画像目視判読結果に基づく全壊、倒壊建物の分布

4. 被害建物地域の抽出

点情報である抽出画素に対して、テクスチャ解析による空間的情報の変換処理を行い⁶⁾、被害建物地域の抽出を試みた。抽出画素の密度が高い領域は倒壊建物地域と考えられることから、テクスチャ解析の特徴量として「局所

領域における抽出画素の割合」を求めた。局所領域は、画像上で最も小さな建物（ 31×31 画素）の大きさとした。ただし、斜め上方から撮られた画像であることから、建物一棟の大きさが、画像上部と下部で異なる。このため、分解能を考慮して、図-11に示すように、局所領域を画像上部から下部にかけて、 31×31 画素から 62×62 画素へと線形的に変化させた。図-12に、被害建物地域として抽出

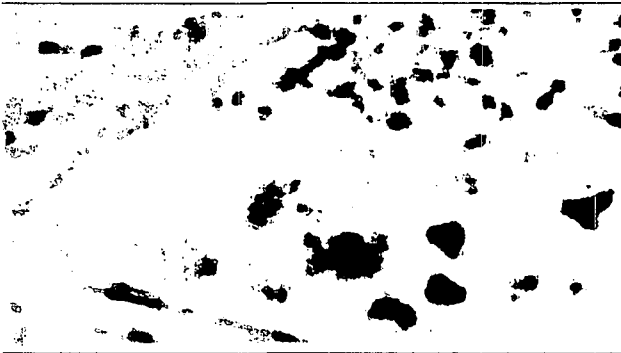


図-14 画像解析による被害建物抽出結果（地域1）



図-16 画像解析による被害建物抽出結果（地域2）

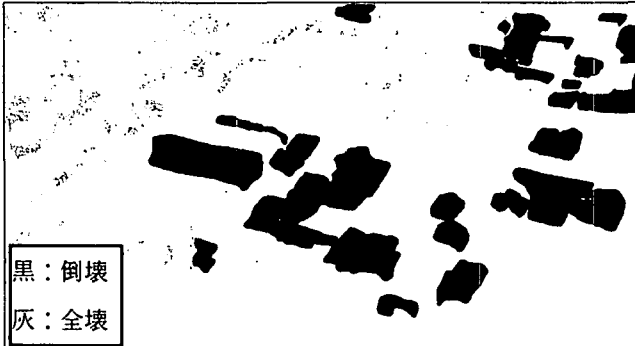


図-15 建物被害地上調査データ、空撮画像目視判読に基づく被害建物の分布（地域1）



図-17 建物被害地上調査データ、空撮画像目視判読に基づく被害建物の分布（地域2）

された結果を黒着色で示す。また、図-13に建物被害地上調査データ及び目視被害判読結果に基づく全壊、倒壊建物の分布を示す。両結果の比較により、ほぼすべての倒壊建物と、全壊建物の一部が、本手法により抽出可能であることが確認された。

次に、先の検討地域と近接する西宮市の2つの地域を撮影した画像から、同様の手法、指標に基づき、被害抽出を試みた。これらの抽出結果と、2つの地域の実被害分布を、図-14～図-17に示す。これらの結果においても、倒壊建物については、ほぼ抽出可能であることが確認された。しかし、鉄道の軌道のバラストや、緑地と地面の境界部においても、被害画素が抽出されている。これは、本検討の抽出手法の限界を示しており、抽出指標の追加、あるいはGISデータから建物領域の特定を行うなどにより、被害抽出結果を更に選別する必要がある。

5. まとめ

1995年兵庫県南部地震後に撮影された空撮ハイビジョン画像を用いて、画像解析により被害建物の定量化を行った。その結果、色相、エッジ強度、エッジ強度の分散により被害建物の特徴づけた。さらに、これらの特徴をもとに、テキストチャ解析により、画像全体から被害建物地域を抽出したところ、倒壊建物をほぼ抽出可能であることを確認した。ただし、軌道のバラスト部などにお

いても、被害地域として抽出された。このため、今後の検討では、抽出精度の向上、あるいはGISを併用した抽出結果の再選別手法の開発が必要である。また、非木造建物の被害抽出手法についても検討の必要がある。

参考文献

- 1) 長谷川弘忠, 山崎文雄, 松岡昌志, 関本泉: 空撮ハイビジョン映像を用いた兵庫県南部地震の建物被害把握の試み, 第3回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集, pp. 427-430, 1998.
- 2) Hasegawa, H., Yamazaki, F., Matsuoka, M. and Sekimoto, I.: Extraction of building damage due to earthquake using aerial television images, Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering (CD-ROM), 2000.
- 3) 青木久, 松岡昌志, 山崎文雄: 兵庫県南部地震における人工衛星 SAR 画像の特徴, 第三回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集, pp. 423-426, 1998.
- 4) 震災復興都市づくり特別委員会: 阪神・淡路大震災被害実態緊急調査 被災度別建物分布状況図集 (説明書), 1995.
- 5) 建設省建築研究所: 阪神・淡路大震災復興計画策定支援システムに係る数値化データ, 1996.
- 6) 高木幹雄, 下田陽久: 画像解析ハンドブック, 東海大学出版会, 1991.