

空撮ハイビジョン映像を用いた 兵庫県南部地震による建物被害の目視判読

長谷川 弘忠¹・山崎 文雄²・松岡 昌志³

¹正会員 (株)建設企画コンサルタント (〒169-0075 東京都新宿区高田馬場 3-23-1)
(元 理化学研究所 地震防災フロンティア研究センター (〒673-0433 兵庫県三木市福井三木山 2465-1))

²正会員 工博 防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター (同 上)

³博士(工学) 防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター (同 上)

空撮映像から確認可能な被害情報の精度を把握することを目的に、兵庫県南部地震による建物被害について空撮ハイビジョン映像を用いた目視判読を行った。この際、木造、非木造という建物構造の違いが判読結果に与える影響と、判読者の違いが判読結果に与える影響について検討した。結果の検証には、建物1棟ごとの地上調査データと、この調査で撮影された被害写真を利用した。この結果、木造建物の比較的大きな被害の有無については個人差および判読時間の影響を受けず、概ね判読が可能であることが明らかになった。一方、非木造建物の場合は、大きな被害を受けた建物であっても建物全体に変形を及ぼす倒壊あるいは傾斜が少ないことから、木造建物と比べて空撮映像からの被害把握が困難であった。

Key Words: aerial HDTV images, building damage, the 1995 Kobe Earthquake, GIS, ground survey

1. はじめに

災害発生直後の被害情報の早期収集は、効率的な緊急対応を行うために極めて重要である。1995年兵庫県南部地震では、発災直後の被害情報がほとんど得られず、初動体制の遅れが指摘された。この地震の後、全面的に改定された防災基本計画¹⁾においても、「国、地方公共団体は、機動的な情報収集活動を行うために、航空機、巡視船、車両など多様な情報収集手段を活用できる体制を整備するとともに、ヘリコプターテレビジョンシステム、監視カメラ等画像情報の収集・連絡システムの整備を推進するものとする」と定めている。

また、主として兵庫県南部地震以降、緊急対応体制を取るかどうかの初期情報を得るために、地震計ネットワークによる地震動モニタリングと地理情報システム(GIS)で構築されたデータベースに基づいて、早期被害推定を行う、リアルタイム地震防災システムの開発導入^{2,3)}が盛んになってきている。しかし、このようなシステムから得られる結果はあくまで推定でありばらつきも大きい。したがって、なるべく早期に実際の被害の大きな把握を行うことが緊急対応のためには必要である。

この目的のために、上空あるいは宇宙からのリモート

センシングによって被害把握を行うことは有効と考えられる。ヘリコプターや航空機、人工衛星などの様々なプラットフォームから得られる情報は、即時性や広域性、分解能などに違いがある。また、災害対策に必要な情報の質や量も、災害対応を行う機関や時間の経過とともに変化する。リモートセンシングによる被害把握は、各プラットフォームから得られるデータの特性やその能力を踏まえた上で使用することが重要である。

筆者らはヘリコプター^{4,5)}、航空機^{6,7)}、人工衛星^{8,9)}のリモートセンシングによる被害把握に関する研究を行ってきた。本論文はこれの中で空撮映像および航空写真を利用した被害情報の収集に関する一連の研究¹⁰⁾のうち、ヘリコプターからの空撮ハイビジョン映像を利用した建物被害の目視判読についてとりまとめたものである。なお、画像処理による建物被害の自動判読に関する検討^{11,12)}については、別途報告する。

ヘリコプターからの空撮映像は、即時性にとくに優れていることから、報道活動や警察・消防等の情報収集に利用されてきた。兵庫県南部地震や1999年台湾集集地震においても、被害状況の空からの撮影が盛んに行われ、報道等に広く利用された。ヘリコプターからのビデオカメラやスチルカメラによる被害情報収集に関する研究は、

表-1 被害実態緊急調査の建物被害判定基準の抜粋¹⁵⁾

被害ランク	判定基準	判定基準参考例（木構造）
ランクC （全壊／大破）	再使用不可。 住める見込みが非常に少ない。	全面的倒壊、各階の破損、明らかな傾斜、基礎や柱、外壁の著しい破損など。
ランクB （中程度の損傷）	大幅な修理で再使用可能。 大幅な修理で住める可能性有り。	部分的破壊、外壁の破損（大きな亀裂）など。
ランクA （軽微な損傷）	軽微な損傷で使用可能。 少しの修繕で住める可能性あり。	屋根瓦の部分的落下、外壁の僅かなひび割れや落下など。
被害無し	見た目には被害が無い。	
火災被害	火災による被害。	

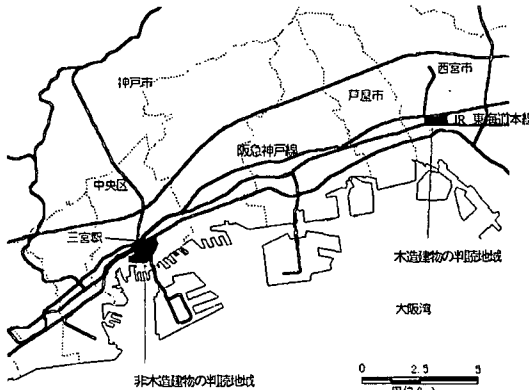


図-1 被害建物の目視判読における対象地域

以前にも行われている。建設省は、総合技術開発プロジェクトとして、道路や河川地震被害をヘリコプターからのビデオ映像などから判読する一連の研究¹³⁾を行い、橋脚や盛土の模擬被害の撮影実験なども行っている。しかし、実映像・画像を用いた建物被害の定量的な把握は行われていない。1999年4月時点で我が国の消防・防災ヘリコプターは、消防機関が計27機、道県が計39機を保有しており、救急搬送や情報収集に使用されている¹⁴⁾。

災害発生後の比較的早い段階で、被害分布図を作成することは重要である。災害の初期段階で、空撮ビデオ映像をもとに被害分布図を作成するためには、自動被害判読技術や地理情報システム上での画像の位置合わせ技術が必要となる。また、この前段として、空撮ビデオ映像から得られる被害情報の限界を予め見極め、どのような建物被害レベルまでを識別可能であるかを確認する必要がある。このような背景のもと、本研究では、空撮ビデオ映像から確認できる建物被害情報の精度を把握することを目的に、兵庫県南部地震の建物被害を上空からハイビジョンカメラで撮影した映像の目視判読を行う。この判読結果を地上調査結果と比較することで、判読精度と確認可能な建物被害レベルを明らかにする。この際、木造、非木造という建物構造の違いが判読結果に与える影響と、判読者の違いが判読結果に与える影響についても調査する。

表-2 兵庫県南部地震災害初動調査の建物被害判定基準¹⁶⁾

被害区分	判定基準
倒壊	建物全体が崩壊、転倒したもの、あるいは図の崩壊したもの。
大破	建物骨組の多くが損傷したり、あるいは大きく傾斜したりして、倒壊の恐れのあるもの。
中破	建物骨組が損傷し、若干の傾斜や残留変形が認められるものの、倒壊の可能性は少ないもの。
小破	建物骨組に僅かな損傷の認められる程度のもの。
軽微	建物躯体は無被害で、外装材などに若干の損傷が認められる程度のもの。
被害無し	被害が認められないもの。

2. 対象地域と空撮映像

(1) 木造建物地域と被害データ

木造建物の被害判読の検証には日本都市計画学会関西支部と日本建築学会近畿支部都市計画部会および兵庫県都市住宅部による被害実態緊急調査の結果¹⁵⁾を用いた。これは、兵庫県南部地震による建物被害の全体像の把握と学術的貢献を目的として実施されたもので、建設省建築研究所により建物1棟ごとに数値地図化されている¹⁶⁾。表-1にこの調査における調査マニュアルからの建物被害判読基準の例を示す。本研究では、この調査を「地上調査1」と称する。

地上調査1では、被災度判読と併せて写真撮影が実施された。この写真は、兵庫県立人と自然の博物館に収蔵されており、最近その一部のデータベース化¹⁷⁾が行われている。本研究ではとくに、倒壊建物の検証データとしてこの地上写真を用いた。

対象地域は、図-1に示す兵庫県西宮市内の一部地域で、東西を国道171号線と夙川、南北をJR東海道本線と阪急神戸線に囲まれた7町（面積約0.37km²）とした。当該地域は、主に住宅地域であり建物の多くが木造である。対象地域における地上調査1に基づく建物被害の内訳をみると、全壊・火災が475棟、半壊が153棟、一部損壊が185棟、被害無しが126棟の計939棟である。

(2) 非木造家屋地域と被害データ

非木造建物の被害判読の検証には、日本建築学会近畿

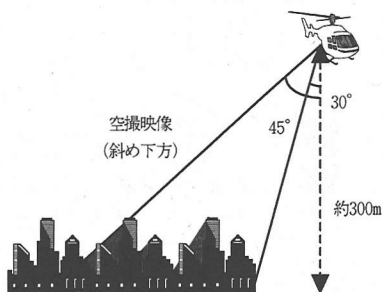


図-2 空撮映像の撮影方法



図-3 撮影方法の例 (木造建物の被害判読地域)

支部のメンバーを中心に実施された日本建築学会兵庫県南部地震災害初動調査の結果¹⁸⁾を用いた。本調査は1995年1月24日～1月26日の3日間にわたって実施された。鉄筋コンクリート造建物と鉄骨造建物については1棟ごとの被害レベルが調査され、概ね表-2に示す基準により判読されている。本研究では、この調査を「地上調査2」と称する。

木造建物と同様に、地上から撮影した地震後の写真を検証データとして利用した。使用した地上写真は筆者らが撮影したものに加えて、地上調査2において撮影されたものも提供を受けた。非木造建物では、空撮映像からの目視被害判読において、被害を正しく判読できない場合の確認に利用した。

対象地域は、図-1に示す神戸市中央区内の18町（面積約0.97km²）とした。当該地域は三宮駅の南側に位置する商業地域であり、建物の大部分が中高層の非木造建物である。対象地域における地上調査2に基づく建物被害の内訳をみると、倒壊が38棟、大破が54棟、中破が52棟、小破が51棟、軽微被害が127棟、被害無しが152棟の計474棟である。

(3) 空撮映像

ヘリコプターからの空撮映像から取得可能な被害情報



図-4 空撮映像の例 (木造建物の被害判読地域)

表-3 目視判読における被害判読の基準

被害区分	判 読 基 準	
	木造建物	非木造建物
倒 壊	建物の形を成さない全面的な倒壊、転倒、大きな傾斜が認められるもの。または層の崩壊したもの。各階の変形が著しいもの。	建物の形を成さない全面的な倒壊、転倒、大きな傾斜が認められるもの。または層の崩壊したもの。建物全体に変形は及ばないが、局所的崩壊が著しいもの。
被害有り	上記以外で建物に何らかの被害が認められるもの。	上記以外で建物に何らかの被害が認められるもの。
被害無し	被害が認められないもの。	被害が認められないもの。

は、飛行高度、撮影角度、撮影倍率や撮影システムによる画像解像度に依存する。また、撮影角度によって得られる情報が異なる。本研究で使用した空撮映像は、NHKが1995年兵庫県南部地震の発生直後から、図-2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、図-3に示すように直線的な飛行を重ねて記録したものである。これは被災地のほぼ全域を撮影した延べ約200時間に及ぶ膨大な記録であり、本研究ではこれらの一部を用いた。

今回用いた映像は広域を撮影することを目的としており、特定の建物を高倍率で撮影していないため、建物個々の詳細な情報は得られにくい反面、斜め下方を撮影していることから建物上部の情報に加え建物側面部の情報の取得が可能である。しかし、画面手前に位置する建物のために、その背後に位置する建物が確認できないなどの問題点もある。なお、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、NTSC方式の従来映像と比較して、高画質で詳細な情報を得ることが可能である。

対象地域の撮影日は、木造建物地域（西宮市内）が地震発生の日10日後（1995.1.27）、非木造建物地域（神戸市中央区）が地震発生の日11日後（1995.1.28）である。本研究では、NHKが所有するUNI-HI形式のマスタータープから、必要な部分を画像ファイルに変換して使用した。本研究で使用する画像ファイル数は、木造建物の被害判読地域の約0.37km²に対し43カット、非木造建物の被害

表-4 目視判読と地上調査1との判読者別の比較集計結果
(木造建物地域)

地上調査被害区分	目視判読被害区分	判読者1	判読者2	判読者3	判読者4	判読者5
全壊 ランクC (473棟)	倒壊	157	219	177	132	186
	被害有り	215	171	184	194	182
	被害無し	90	75	100	115	90
	不明	11	8	12	32	15
火災 (2棟)	倒壊	0	2	1	2	2
	被害有り	1	0	1	0	0
	被害無し	1	0	0	0	0
	不明	0	0	0	0	0
半壊 ランクB (153棟)	倒壊	10	16	13	10	13
	被害有り	83	85	77	76	93
	被害無し	58	52	60	59	39
	不明	2	0	3	8	8
一部損壊 ランクA (185棟)	倒壊	5	12	7	3	10
	被害有り	59	51	63	51	60
	被害無し	118	118	110	123	112
	不明	3	4	5	8	3
被害無し (126棟)	倒壊	4	7	5	4	6
	被害有り	15	15	19	18	27
	被害無し	103	103	100	101	90
	不明	4	1	2	3	3
合計		939	939	939	939	939

表-5 目視判読と地上調査1との比較集計結果
(5名の判読者の平均値、木造建物地域)

地上調査被害区分	目視判読被害区分				合計
	倒壊	被害有り	被害無し	不明	
全壊	174	189	94	16	473
火災	2	0	0	0	2
半壊	12	83	54	4	153
一部損壊	7	57	116	5	185
被害無し	5	19	99	3	126
合計	200	348	363	28	939

判読地域の約0.97km²に対し53カットであった。これらのファイルは、画像サイズが1920×1035 pixelのビットマップ形式で、通常のパソコンでの閲覧と解析が可能である。図-4にハイビジョン画像の例を示す。画像の地上分解能は画像下部で約9cm、画像上部で約17cmである。

3. 被害判読方法と判読基準

被害建物の目視判読は、空撮映像から切り出した画像ファイルをパソコンで表示し、1棟ごとの建物について実施した。判読結果はデータベース化された実被害と比較し、判読精度などの検証を行った。木造建物の被害判読では、判読上の個人差の影響を確認するため、理化学研究所地震防災フロンティア研究センターの研究員である4名の土木、建築の技術者と1名の事務員の合計5名により実施した。被害判読の区分は“倒壊”、“被害有り”、“被害無し”の3段階とし、とくに木造建物の場合には

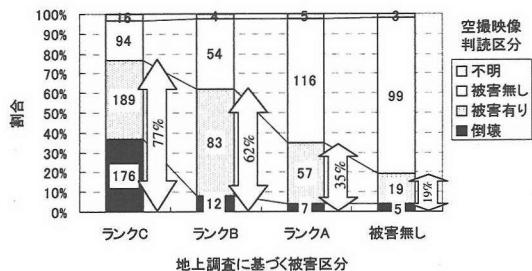


図-5 地上調査1と空撮映像からの目視判読の比較(木造建物)

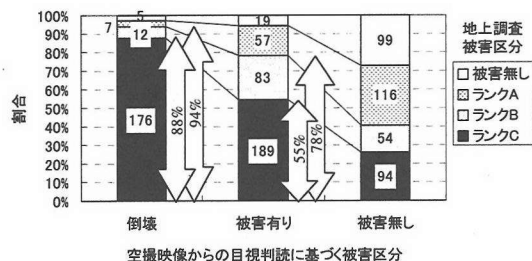


図-6 空撮映像からの目視判読と地上調査1の比較(木造建物)

岡田・高井¹⁹⁾による木造建物の被害パターンを参考とした。表-3に木造建物と非木造建物の目視被害判読における判読基準を示す。また、両判読とも、建物自体の確認が不可能あるいは識別が困難な場合は“不明”とした。

4. 木造建物の被害判読

(1) 判読可能な建物の割合

実被害が明らかな木造建物(939棟)について、5名が目視判読を行ったところ、判読が可能であった建物の割合は95～99%と高く、5名の判読者による平均は97%であった。これより、当該地域の木造の被害建物を目視判読する上では、斜め下方を撮影した映像であっても、建物の死角となる部分が少なく、建物の確認が困難となる割合が低いことが明らかとなった。

(2) 目視判読が可能な建物被害レベルとその精度

目視判読により把握が可能な木造建物の被害レベルとその精度について検討を行った。表-4に地上調査1と目視判読の比較を5名の判読者ごとに示し、その平均値を表-5に示す。図-5、図-6に、地上調査1に基づく被害建物数と空撮映像からの目視判読による被害建物数の関係を示す。ここで、図-5は地上調査に対する目視判読の割合を、また、図-6は目視判読に対する地上調査の割合を示す。

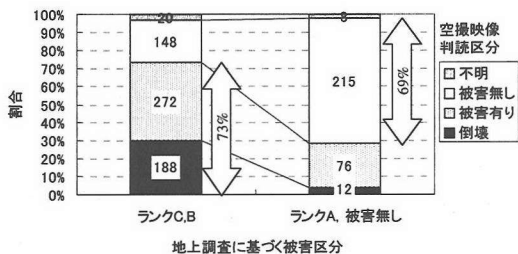


図-7 地上調査1での建物被害の再区分と目視判読の比較 (木造建物)

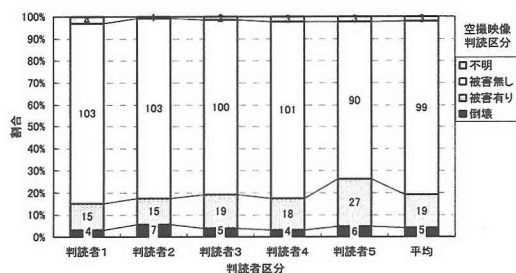


図-10 判読者別の空撮映像を利用した木造建物の目視判読の結果 (地上調査1の“被害無し”について集計)

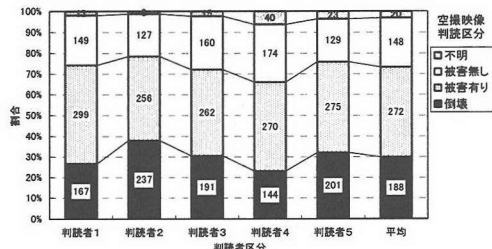


図-8 判読者別の空撮映像を利用した木造建物の目視判読の結果 (地上調査1の“ランクC, B” (火災2棟を含む) について集計)

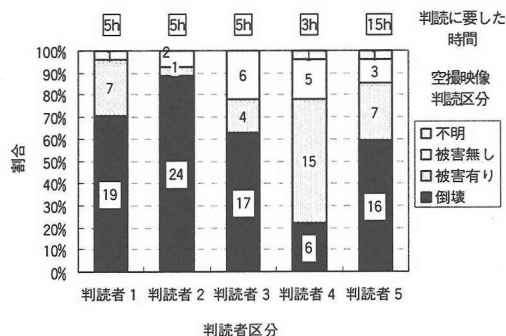


図-11 倒壊建物 (27 棟) に対する判読者別の目視被害判読結果

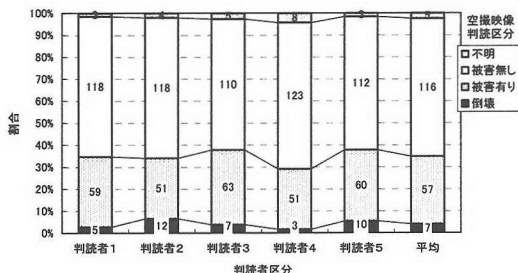


図-9 判読者別の空撮映像を利用した木造建物の目視判読の結果 (地上調査1の“ランクA”について集計)

図-5で地上調査1の“ランクC”に着目すると、目視判読の“倒壊”と“被害有り”の合計が占める割合が77%と高い。同様に“ランクB”に着目すると、この割合は62%となる。しかし、“ランクA”の比較的軽微な被害では、この割合が35%まで低下する。これより、空撮映像による目視判読が可能な被害レベルは、地上調査1に基づく“ランクC”および“ランクB”であり、“ランクA”程度の被害の判読は困難である。また地上調査1の“被害無し”に着目すると、この割合は19%とさらに低く、目視判読での誤判読は少ないとみなせる。

図-6の目視判読の“倒壊”に着目すると、地上調査1の“ランクC”が占める割合が88%と最も高い。ただし、目視判読の“被害有り”においても、地上調査1の“ラ

ンクC”が占める割合が55%と比較的高い。また、目視判読の“倒壊”建物の94%、“被害有り”建物の78%が地上調査1の“ランクC”もしくは“ランクB”被害である。しかし、空撮映像から“被害無し”と判断された建物の大半には、地上調査では被害が判読されている。

以上の結果から明らかなように、目視判読での被害区分を、地上調査1の被害区分にそのまま適用することは困難である。また、空撮映像による判読が可能な被害レベルは、地上調査1に基づく“ランクB”以上の大きな被害である。このため、図-5の地上調査1の被害区分を再集計して図-7に示した。これによると、地上調査1に基づく“ランクC”と“ランクB”被害の合計の73%は、目視において“倒壊”もしくは“被害有り”として判読され、また、地上調査1における“ランクA”と“被害無し”の69%は目視により“被害無し”と判読される。

(3) 目視判読上の個人差の影響

前節の結果について、判読者の違いによる影響を検討する。図-8に地上調査1の“ランクC”と“ランクB”に該当する建物(628 棟)について、判読者ごとの目視判読の結果を示す。目視判読の“倒壊”と“被害有り”の合計が占める割合を判読者ごとにみると、66%～

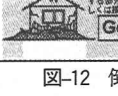
分類	被害の内容
Cd5- Cd5+	 Cd5- Cd5+ 2階の屋根が接地しているか、もしくは2階が崩落しているか。完全に互碰している。
Ud5- Ud5+	 Ud5- Ud5+ 2階が破壊される。もしくは2階が崩落する。1階部分にも破壊がかなり及んでいる。
Gd5+ Sd5+	 Gd5+ Sd5+ 2階部分にも破壊がかなり及んでいる。構造被害・居住空間が著しく損なわれる。状態は1階の屋根が崩壊している。もしくは1階が崩壊している。
Gd5- Sd5-	 Gd5- Sd5- 1階の屋根もしくは1階に相当する部分が崩壊している。もしくは1階が崩壊している。

図-12 倒壊被害の細分類¹⁹⁾

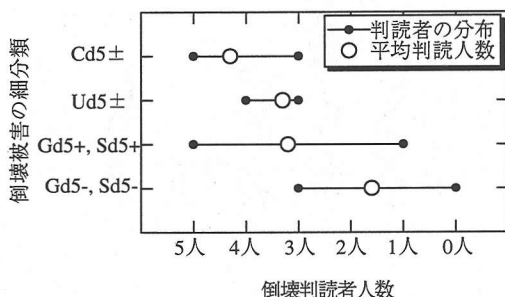


図-13 倒壊被害の細分類別の適正判読者数

79%の均衡した高い判読率であり、個人差の影響をほとんど受けないことが示された。

図-9に地上調査1の“ランクA”の建物(185棟)について、判読者ごとの目視判読の結果を示す。各判読者の被害の判読率は、一様に35%前後と低く“ランクA”程度の被害は判読者によらず困難であることが分かった。

図-10に地上調査1の“被害無し”の建物(126棟)について、判読者ごとの判読結果を示す。各判読者の誤判読率(“倒壊”もしくは“被害有り”としたもの)は、15%~26%と低く、個人差はほとんどないことが示された。

次に、目視の“倒壊”建物の判読精度と個人差の影響について検討した。ただし、地上調査1の被害分類では“ランクC”の定義に幅があり“倒壊”建物の評価が行えない。このため、前述の地上被害写真(55棟)を利用した。

地上写真をもって55棟の木造建物を被害判読基準で分類すると、“倒壊”が27棟、“被害有り”が25棟、“被害無し”が3棟である。これらの写真を利用して、目視の“倒壊”判読の分析を行った。図-11に、地上写真により“倒壊”と確認された建物(27棟)の目視判読結果を示す。これより、“判読者2”にみられるように24棟を適正に倒壊と判読する一方、“判読者4”のように6棟し

表-6 目視判読と地上調査2との比較集計結果

地上調査被害区分	目視判読被害区分				合計
	倒壊	被害有り	被害無し	不明	
倒壊	17	8	4	9	38
大破	12	22	12	8	54
中破	0	14	26	12	52
小破	1	10	21	19	51
軽微	1	11	94	21	127
被害無し	1	1	119	31	152
合計	32	66	276	100	474

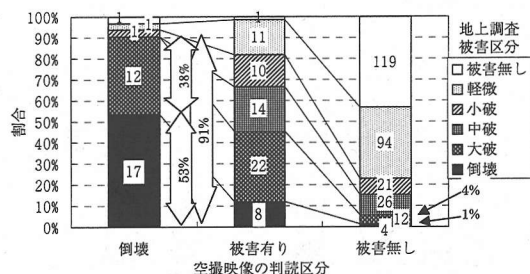


図-14 被害の目視判読と地上調査2の比較(非木造建物)

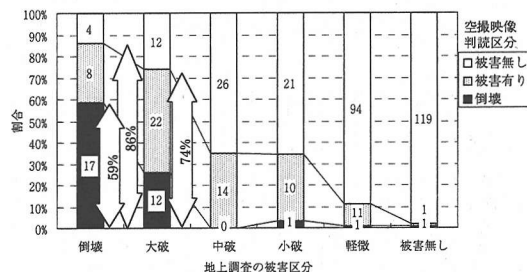
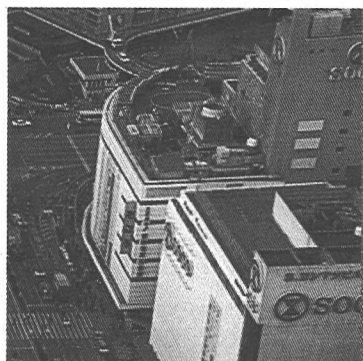


図-15 地上調査2と被害の目視判読の比較(非木造建物)

か判読できない場合もみられる。また、図の上部には対象地域の判読に要した時間を示した。判読時間に着目すると“判読者4”は3時間と比較的短い。倒壊建物の判読には注意深さが必要であることがわかる。ただし、“判読者4”以外でも、倒壊建物の適正な判読精度には差があり、倒壊建物を“被害有り”と誤判読する場合が多い。

そこで、倒壊の中でもその被害内容に着目し、倒壊判読の難易度について検討を行った。図-12は、岡田・高井¹⁹⁾の木造建物の被害パターンから倒壊にほぼ相当するD5分類を抜粋したものである。この図に示す被害分類に従い、判読者1が地上被害写真から、27棟の倒壊建物をさらに細分類した。この細分類別に、倒壊建物を適正に判読した人数を示したものが図-13である。縦軸に示した4つの細分類ごとに、適性に倒壊と判読した人数の分布を実線で示し、分布の平均を白丸で示した。Cd5±の全面的な倒壊では、ほぼすべての判読者が適正に“倒壊”



空撮映像



地上写真

図-16 空撮映像からの目視判読で被害の確認が不可能な建物の例

と判読している。一方、Gd5、Sd5の被害では、適正な判読者数が減少している。これは被災後の映像だけでは、被災前の建物の情報が得られないことが原因と考えられる。例えば、1階部分が層崩壊した2階建ての木造建物の場合、2階部分や屋根が外観上で比較的健全な状態であれば、被害のない1階建ての建物であると認識する場合がある。このため、空撮映像から倒壊建物を目視判読するには、画像上での倒壊判読基準の統一と注意深い判読作業が必要である。

5. 非木造建物の被害判読

(1) 判読可能な建物の割合

対象地域における非木造建物のうち、地上調査により被害区分が明らかな建物は474棟である。本研究では、これらの建物の目視による被害判読に4時間を要した。判読を行ったのは前章の判読者1である。この結果、空撮映像からの被害判読が可能であった建物は374棟(79%)である。これは、木造建物の判読可能率が、5名の判読者の平均で97%であることと比較して非常に低い。当該地区では中高層建物が密集しているため、斜め下方を撮影した映像では、他の建物による死角が多いことが原因のひとつと考えられる。以降の判読精度の検討においては、まず、この判読不可能な建物を除いている。

(2) 目視判読が可能な建物被害レベルとその精度

ここでは、目視判読が可能な建物被害レベルとその精度について検討を行う。表-6に目視判読と地上調査2の比較を示す。図-14に目視判読に対する地上調査2の割合を、図-15に地上調査に対する目視判読の割合をそれぞれ示す。

図-14の目視判読の“倒壊”に着目すると、地上調査2の“倒壊”が53%、“大破”が38%を占め、両被害の合

計で全体の91%を占める。また、目視判読の“被害無し”に着目すると、地上調査2の“倒壊”が1%、“大破”が4%と低く、両被害の合計でも、全体の5%程度である。目視判読の“被害有り”に着目すると、地上調査2の様々な被害レベルが含まれている。

図-15の地上調査2の“倒壊”建物に着目すると、目視判読により適正に倒壊と判読した建物の割合は59%であり、“倒壊”と“被害有り”を合計した割合は86%である。地上調査2の“大破”建物に着目すると、この割合は74%である。地上調査2に基づく“中破”や“小破”あるいは“軽微な被害”では、空撮映像からの被害の判読率がいずれも低いことから、被害の判読が困難であることがわかる。また、地上調査2の“被害無し”に着目すると、目視にて“倒壊”もしくは“被害有り”と判読されたものは2%と極めて低い。

次に、地上被害写真を利用して、地上調査2に基づく“倒壊”や“大破”建物で、目視により“被害無し”と誤判読した建物の確認を行った。図-16に使用した画像例を示す。建物の2階部分が層崩壊したにもかかわらず、空撮映像からでは被害を確認することができない。このように大きな被害であるにもかかわらず被害判読が困難な建物では、撮影方向とは異なる面での被害や建物下部や中間層での被害が多い。この他にも、建物内部の構造部材の破壊なども判読精度を低下させる要因である。

先にも示したとおり、これまでの考察は、判読不可能な21%の建物を除外している。そこで改めて、目視判読が不可能な建物を加えて検討を行うと、地上調査2の“倒壊”は目視により“倒壊”あるいは“被害有り”と判読した割合が66%となる。地上調査2の“大破”に着目すると、目視にて“倒壊”または“被害有り”と判読した割合は63%まで低下する。

非木造建物は木造建物と被害形態が異なり、建物全体に変形を及ぼす倒壊や傾倒は少ない。また本地域は木造

建物地域と比べて中高層建物が多く、斜め下方を撮影した映像では建物の死角となる部分が多い。このため非木造建物の判読率は木造建物のそれより低くなる。

このように、ヘリコプターからの空撮映像で把握できる建物被害は、構造、破壊パターン、地域性などの影響を受けるので、その結果を早期被害把握に用いる際には、充分注意が必要である。また、飛行高度やカメラ・センサの解像度の影響についても、更なる検討が必要である。

6. まとめ

本論文では、空撮ハイビジョン映像から取得できる被害情報の程度を把握するために、1995年兵庫県南部地震による建物1棟ごとの被害について目視により判読した。この際、建物構造の違いと、判読者の違いについて検討を行った。目視判読の結果は、地上調査結果と比較を行うことで、判読精度と確認可能な被害レベルを明らかにした。この結果をまとめると次のとおりである。

空撮ハイビジョン映像を用いた木造建物の被害の目視判読では、地上調査1の“ランクC（全壊、大破）”及び“ランクB（中程度の損傷）”は目視判読によっても“倒壊”もしくは“被害有り”として概ね判読可能である。この際に判読者の個人差の影響はほとんどない。一方、“ランクA（軽微な損傷）”は、判読者によらず判読が困難である。さらに、倒壊建物の判読では、判読時間や判読者の個人特性による影響が大きく、判読者によって判読結果に差が出た。このため、倒壊建物の判読を行うにあたっては、画像上での倒壊判読基準の統一が必要である。

空撮ハイビジョン映像を用いた非木造建物の被害の目視判読では、画像上での死角により確認が不可能な建物を除外すると、地上調査2の“倒壊”や“大破”建物を概ね判読可能である。ただし、“倒壊”建物のみを正しく判読することは困難であり、被害の有無程度のレベルで識別可能である。また、“中破”、“小破”、“軽微な被害”は、判読が困難である。一方、死角により判読が不可能な建物は、対象とする建物の全体の2割を占めた。判読不可能な建物を考慮した場合には、“倒壊”や“大破”の判読率は減少する。非木造建物は木造建物と被害形態が異なり、大きな被害を受けた建物であっても、建物全体に変形を及ぼす倒壊あるいは傾斜は少ない。以上を勘案し、空撮映像を用いた目視判読では、非木造建物は木造建物と比較して被害把握が困難であることが分かった。

斜め下方を撮影した空撮映像では、死角となる部分がある反面、建物側面部の状況から崩層壊などは把握可能である。著者らの既往の研究⁷⁾からも、航空写真（垂直写真）を利用した非木造建物の被害判読でも、写真中央の正投影の部分では被害判読が困難であり、写真の外側

に向けて対象物が放射状に傾いて見える性質を利用することで、被害判読が容易になる。以上を勘案し、非木造建物の被害の目視判読を行う場合、本研究で使った映像（撮影角度：鉛直下方を基準として30～45度）は、長所短所のバランスが調和したものであると判断することができる。

本研究は兵庫県南部地震による被災地域の一部の建物を対象に検討を行ったものである。別途行った台湾集集地震による木造建物の被害の目視判読では、建物構造の違いから判読が困難な場合もあった。今後の課題としては、建物の地域性や破壊パターンが被害判読に与える影響についても検討を行う必要がある。また、飛行高度やカメラ・センサの解像度の影響についても検討が必要である。

謝辞：本研究にあたり「阪神・淡路大震災 被害実態緊急調査」の建物被災度数値化データは、震災復興都市づくり特別委員会、兵庫県、建設省建築研究所より提供頂いた。「被害実態緊急調査」の際に撮影された建物被害写真は、兵庫県立人と自然の博物館より提供頂いた。「日本建築学会：兵庫県南部地震災害初動調査（代表：竹内吉太郎 大阪工業大学教授）」のデジタルデータと建物被害写真は、広島工業大学の岩井哲助教授より提供頂いた。ハイビジョン映像はNHK衛星放送局より提供頂いた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 中央防災会議：防災基本計画，1995。
- 2) 山崎文雄：リアルタイム地震防災システムの現状と展望，土木学会論文集，No.577/I-41，pp.1-16，1997。
- 3) 翠川三郎：リアルタイム地震防災システム，地震ジャーナル，No.28，pp.52-65，（財）地震予知総合研究振興会，1999。
- 4) 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。
- 5) Hasegawa, H., Yamazaki, F., Matsuoka, M. and Sekimoto, I.: Determination of Building Damage due to Earthquakes Using Aerial Television Images, 12th World Conference on Earthquake Engineering, No.1722, CD-ROM., 2000.
- 6) Ogawa, N. and Yamazaki, F.: Photo-Interpretation of Building Damage due to Earthquakes Using Aerial Photographs, 12th World Conference on Earthquake Engineering, No.1906, CD-ROM., 2000.
- 7) 小川直樹，山崎文雄：航空写真を用いた兵庫県南部地震における建物被害の目視判読，地域安全学会論文集，Vol.2，pp.119-128，2000。
- 8) 松岡昌志，山崎文雄，翠川三郎：1995年兵庫県南部地震での被害地域における人工衛星光学センサ画像の特徴，土木学会論文集，No.668/I-54，pp.177-185，2001。
- 9) 青木久，松岡昌志，山崎文雄：兵庫県南部地震の被害地域における人工衛星 SAR 画像の特徴，第3回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集，pp.423-426，1998。

- 10) 長谷川弘忠, 小川直樹, 青木久, 松岡昌志, 山崎文雄: 空撮ハイビジョン映像および航空写真を用いた地震による被害建物の目視および自動判読, EDM テクニカルレポート, No. 5, 理化学研究所地震防災フロンティア研究センター, 2000.
- 11) Hasegawa, H., Aoki, H., Yamazaki, F., Matsuoka, M. and Sekimoto, I.: Automated Detection of Damaged Buildings Using Aerial HDTV Images, *Proceedings of the IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IEEE, CD-ROM, 2000.
- 12) 長谷川弘忠, 青木 久, 山崎文雄, 関本泉: 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, 第 2 回リアルタイム地震防災シンポジウム, 土木学会地震工学委員会, pp. 41-46, 2000.
- 13) 建設省: 災害情報システムの開発報告書 災害情報システム・ガイドライン(案), 1992.
- 14) 消防庁編: 平成 11 年版 消防白書, 1999.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 牧紀男, 呂恒俊, 田中聡, 橋寺晋, 西村明儒, 林春男: 阪神・淡路大震災の建物被害データベース構築に関する研究, 地域安全学会論文報告集, pp. 78-83, 1998.
- 18) 日本建築学会: 1995 年兵庫県南部地震災害調査速報, 1995.
- 19) 岡田成幸, 高井伸雄: 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, No.524, pp.65-72, 1999.

(2000.9.6 受付)

VISUAL DETECTION OF BUILDING DAMAGE DUE TO THE 1995 HYOGOKEN-NANBU EARTHQUAKE USING AERIAL HDTV IMAGES

Hirotada HASEGAWA, Fumio YAMAZAKI and Masashi MATSUOKA

The distribution of building damage due to the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake was interpreted visually using aerial television images taken by high-definition television (HDTV) cameras. Comparing the interpretation results obtained by different people, the accuracy of the interpretation for wooden building damage was inspected. These results were compared with the results of the ground survey. For wooden buildings, severe and moderate damages were mostly recognized in the aerial HDTV images. Almost the same result was obtained, regardless of who performs the determination. The damage level of non-wooden buildings extracted from the aerial images corresponded to collapsed and severe damage in the ground survey. Hence, aerial television images may be used to grasp overall damage distribution of urban areas due to earthquakes at an early stage.