

衛星画像を用いた影の変化による建物倒壊把握

Detection of building collapse from the shadow lengths in optical satellite images

○岩崎 洋志¹・山崎 文雄²
Yoji Iwasaki and Fumio Yamazaki

Abstract : Visual interpretation of optical satellite images is widely used to detect building damage. However, some type of damage, such as mid-story collapse, may be overlooked since only upper surfaces of buildings can be seen from vertical images. In this paper, the collapse was detected from the difference of the building heights, calculated from the shadow lengths before and after an earthquake. As a result, story-collapses were properly identified from the measurement of shadow lengths.

Keywords : Optical satellite image, building collapse, shadow length, sun angle, look angle.

1. 研究の背景と目的

地震などの災害時には正確な情報収集が困難となり、国や自治体の対応が遅れ被害の拡大を招くことがある。このような事態を防ぐためにも、災害時には早急で正確な状況把握が必要である。しかし、災害発生時は交通ネットワークが麻痺し、早期に現地へ立ち入ることが困難となる可能性がある。また被害が広域にわたる場合には、情報収集に時間を要する。このような問題の解決策として、周期性、広域性といった衛星リモートセンシング技術の利点の活用が考えられる。災害時の衛星による緊急撮影により、正確に被害状況を把握することで緊急対応に役立てることが期待され、多くの研究がなされている。

近年では解像度 50cm 程度の高解像度衛星センサも登場し、画像から建物の詳細な形状を把握することも可能になった。得られた画像の解析による災害状況把握の精度向上も見込まれ、緊急対応における活用が期待されている。しかし、ほぼ直下視の衛星画像を用いた被害判読では、建物の上面しか見ることができず、中間層崩壊などの被害パターンは把握が困難なことが多い。

以上の背景より、本研究では建物により生じる日影を計測し建物高さを求め、地震前後の高さの差を利用することで、倒壊などの形状変化をもたらすような大被害の把握を目的とする。

2. 使用データ

本研究では、2003 年 5 月 21 日に発生したアルジェリア地震において建物倒壊が多数発生したブーメルデス市を対象として、地震前後の 2 時期の画像を用いて建物高さの変化計測を行う。この検討には、地震前後ともに高解像度衛星 QuickBird による画像を用いた。Table 1 に画像の諸元を示す。

3. 影の計測による建物高さの算出

衛星画像上で表される建物や日影は、衛星センサの位置や首振りの角度によって見え方が大きく変わってくる。

本研究では、画像上に投影された建物の頂点からその頂点に対応する影の先端までの長さを計測し、太陽、衛星、建物の位置関係、および太陽と衛星センサの高度と方位角を用いて、実際の建物高さを算出する。Fig. 1 は衛星と太陽の位置関係を 3 次元的に表したものである。3 次元での建物の Top が 2 次元衛星画像上の I 点に対応し、B 点、S 点がそれぞれ Base, Shadow に対応することが分かる¹⁾。以上より Fig. 1 における L_{is} をそれぞれ 3 回ずつ測り、その平均値を(1)式¹⁾に用いることで建物高さ H を算出する。

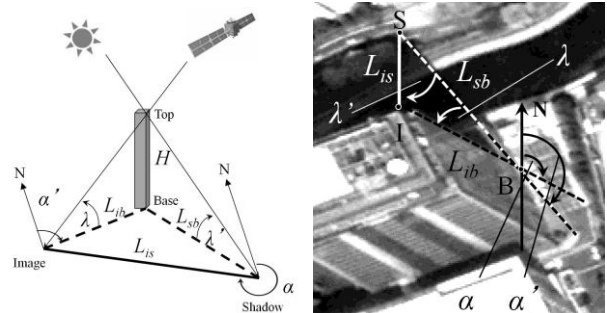


Fig.1 Position of the sun, satellite, building, and shadow

$$H = \frac{L_{is}}{\sqrt{\frac{1}{\tan^2 \lambda'} + \frac{1}{\tan^2 \lambda} - \frac{2 \cdot \cos(\alpha - \alpha')}{\tan \lambda' \cdot \tan \lambda}}} \quad (1)$$

Table 1 Parameters of the images used in the analysis

	Before the EQ	After the EQ
Time and date	2002/04/22 10:38	2003/05/23 10:36
Satellite El λ	78.5°	64.2°
Satellite Az α	352.6°	276.2°
Sun El λ'	61.3°	68.2°
Sun Az α'	144.2°	133.2°

4. 建物倒壊の推定結果

ブーメルデス市のとくに建物被害が多く出た地域に対し建物の影長さの測定を行った。本手法による被害推定の結果を検証するに当たり、Meslem ら²⁾の現地調査デー

¹学生会員 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻

²正会員 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻

(所在地 〒263-8522 千葉県千葉市弥生町1-33)

(連絡先 Tel: 043-290-3528 E-mail: yoji_ufqf@yahoo.co.jp)

タと目視判読結果を用いた。倒壊の判別には地震前後の画像でそれぞれ最大 1pixel の誤差が出ると考え、高さに換算すると地震前画像で 0.73m, 地震後画像で 0.84m の誤差, 計 1.57m の誤差が生じる可能性があることがわかった。そこで倒壊を判別する閾値として 2m を用い、それ以上の差 (建物高さの減少) が出た場合を本研究では倒壊と判定することとした。Fig. 2 に推定結果を示す。

丸で囲った建物では, EMS-98³⁾に基づく現地調査で倒壊を示す Grade 5 であったが, 目視判読で Grade 4 と判読されていた。本研究の建物高さ変化からは Grade 5 の倒壊であると判断され, 目視判読の見逃しを把握することができた。しかし, 周囲に木, 車などの障害物がある場合には, 影長さの計測が困難であるという問題点も明らかになった。

5. 影計測を反映させた目視判読結果の精度

Table 2 に影計測を行った範囲についての目視判読結果と, これに影計測結果を加味したもののエラー・マトリックスを示す。これらを比較すると, Grade 5 におけるプロデューサー精度は 100% となったが, ユーザー精度は 93.8% から 90.0% に減少する結果となった。これは, Fig. 4 の建物で周囲の建物の瓦礫が影の範囲を被ってしまい, 瓦礫の厚さ分, 影が短く計測されたためと考えられる。サンプルの数が少ないため一概には言えないが, 提案する手法は, 本事例のように建物倒壊が含まれる場合における被害抽出の精度向上に役立つと考えられる。

6. まとめと今後の展望

本研究では, 衛星画像上の建物の影の長さより建物の高さを推定し, その地震前後の変化によって倒壊などの大被害の把握を試みた。2003 年アルジェリア地震を対象に, 現地調査結果と被害の目視判読で差異の生じた建物に関して, 本手法により中間層崩壊等が検出できるか検討した。その結果一部の建物では, 倒壊の見逃しを高さ測定より確認することができた。しかし, 建物の密集した地域や周囲に障害物がある場合, 計測ができないという問題も明らかになった。

今後の課題としては, 地面の傾斜などを考慮することで, 精度の向上を図っていきたい。また今回, 手で計測した影の長さを画像解析で求めることにより, 時間を短縮するとともに, より有用性のある被害把握手法としていきたいと考えている。

参考文献

- 1) X. Huang and L. K. Kwoh: 3D Building Reconstruction and Visualization for Single High Resolution Satellite Image, IGARSS, pp. 5009-5012, 2007.
- 2) A. Meslem, F. Yamazaki, Y. Maruyama : Evaluation of Buildings Quality and Soil Condition in Boumerdes City Using Damage Data Following the 2003 Algeria Earthquake, Proceedings of the 9th International Conference on Structural Safety and Reliability, CD-ROM, pp. 3152-3159, 2009.
- 3) European Seismological Commission, 1998. European Macroseismic Scale 1998.

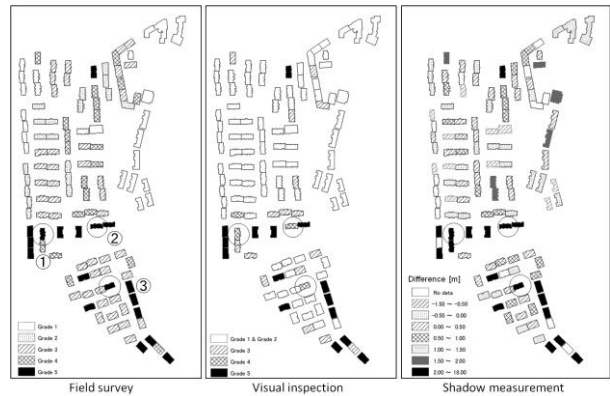


Fig.2 Comparison between the results from field survey, visual inspection, and shadow measurement

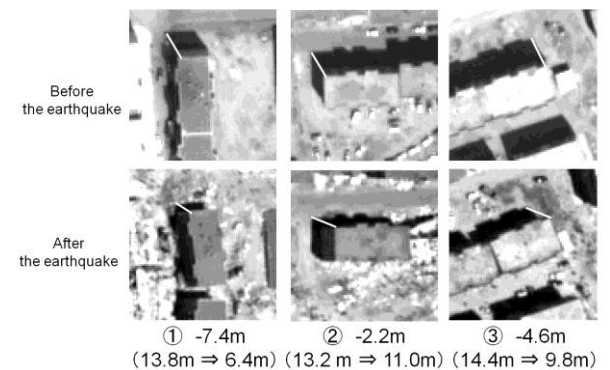


Fig. 3 Comparison of building height before and after the EQ (Grade 4 by visual inspection)

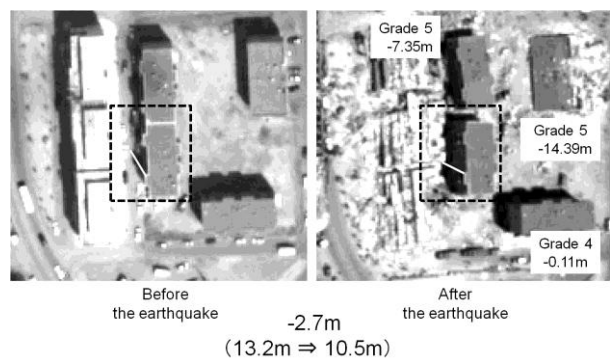


Fig. 4 An example of mistake in shadow measurement

Table 2 Error matrix
Only the visual inspection

Field survey \ Visual inspection	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5	Total	User's Accuracy [%]
Grade 1,2	23	18	36	13	0	90	45.6
Grade 3	0	1	7	8	0	16	43.8
Grade 4	0	0	1	0	3	4	0.0
Grade 5	0	0	0	0	15	16	93.8
Total	23	19	44	21	18	126	
Producer's Accuracy [%]	100.0	94.7	15.9	0.0	83.3	Overall Accuracy [%]	50.0

Visual inspection + Shadow measurement				User's Accuracy [%]
Field survey \ Visual inspection	Grade 4	Grade 5	Total	
Grade 1,2	13	0	90	45.6
Grade 3	7	0	15	46.7
Grade 4	0	0	1	0.0
Grade 5	1	18	20	90.0
Total	21	18	126	
Producer's Accuracy [%]	0.0	100.0	Overall Accuracy [%]	52.4