

空中三角測量による地震断層変位の検出

許, 華杞 / Kyo, Kaki / 大嶋, 太市 / 佐藤, 裕 / Sato, Hiroshi / Oshima, Taichi

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

19

(開始ページ / Start Page)

85

(終了ページ / End Page)

92

(発行年 / Year)

1983-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004090>

空中三角測量による地震断層変位の検出

許 華 杞・大 嶋 太 市・佐 藤 裕

Detection of Fault Movement Based on Earthquake by Aerial-Triangulation Method

Kaki KYO, Taichi ŌSHIMA and Hiroshi SATO

Abstract

After preliminary research on measurement of earthquake fault displacement in the Izu Peninsula by aero-triangulation, a formal experimental study for checking the accuracy and reliability using aero-triangulation technique for the measurement of fault displacement in relation to ground triangulation has been carried out in Tsugaru District. The result shows that we can determine relative fault displacement with the accuracy of +10 cm when special ground marks are placed and 20 cm when natural objects are used on the aerophotographs at scale about 1 : 8000.

§1. 緒 論

地震断層の変位量は地震の最も重要な基本的パラメータの一つである。この変移量を知る直接的方法是地上測量で、最も信頼できる結果を与える。しかし、最近は、社会的条件の変化によって、震源域の測地網の改測、特に三角網の改測が困難になりつつあり。また、測地網の改測が行われても、その成果が得られるまでに多くの日数を要するという問題もある。したがって、筆者らは最近発達の著しい、航空写真測量の技術を用いて、従来の地上測量に代って、地震断層の大きさを測定する研究をした。佐藤裕と垣下精三は1978年1月14日に伊豆大島近海地震(M:7)について測定をして、満足すべき成果を得た。

今回、われわれは空中三角測量による地震断層の変位測定の限界を知るために、津軽地方の断層で対空標識を設置して、モデル実験を行ったので、その結果を報告する。

§2. 空中三角測量による、伊豆大島近海地震の断層変位測定実験

1978年1月14日に発生した、伊豆大島近海地震の主断層は、SHIMAZAKI ら^{*)}によると伊豆半

* 土木工学科

** 弘前大学理学部

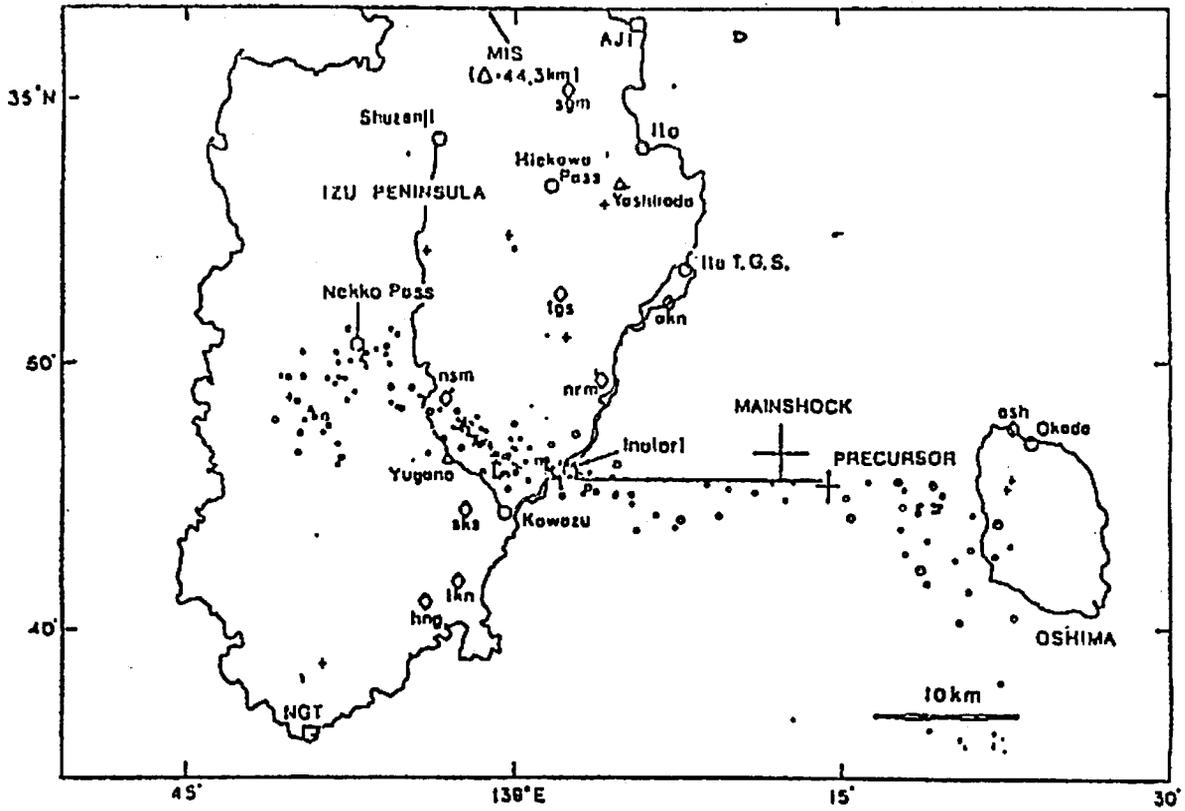


Fig. 1 伊豆大島近海地震の地震断層 (Shimazaki ら1978による)

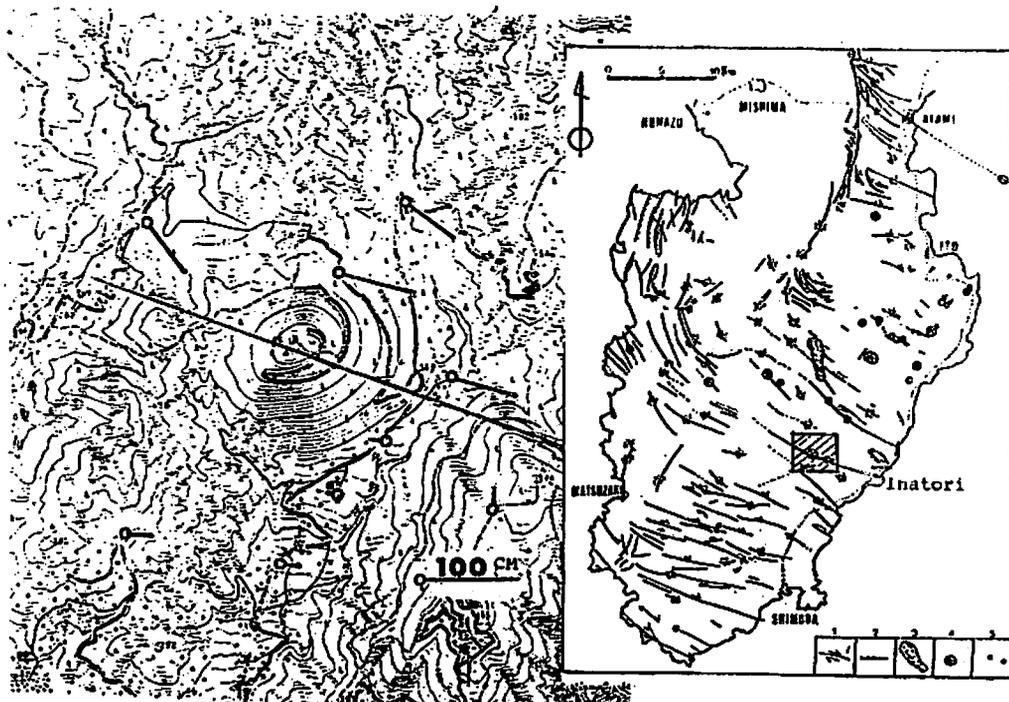


Fig. 2 空中三角測量による鉢山付近

島東岸の稲取と伊豆大島西方の間の海底は東西に走る、長さ約 17km の右横ずれの海底断層と推定されているが (Fig. 1), 余震分布や地殻変動から、稲取から天城峠にかけて北西に伸びる陸上断層の存在も推定されている。

地上における調査³⁾によれば、稲取から北北西の方向、大峯山にかけて、長さ約 3 km, 最大

撮影コースと対空標識接置位置

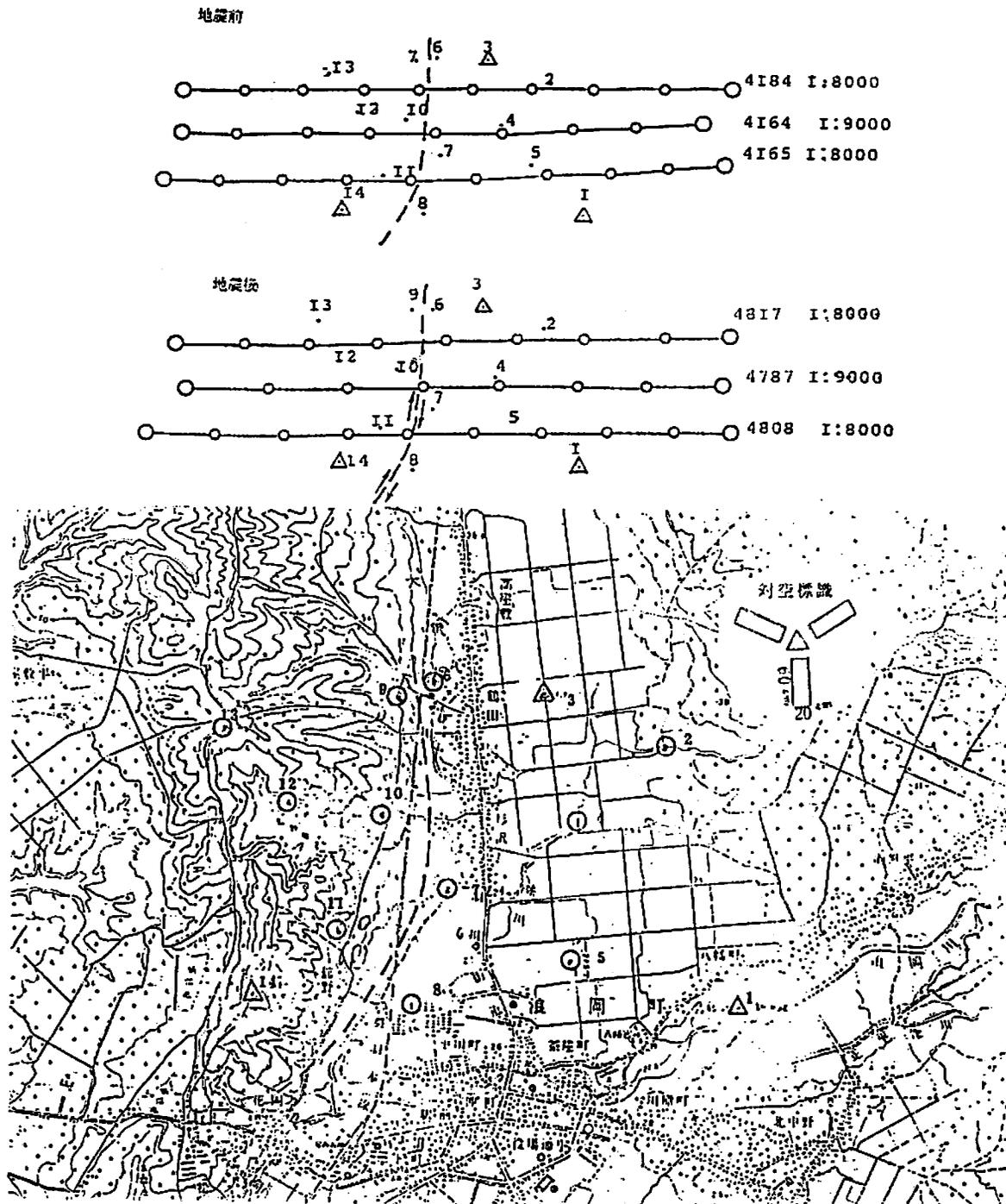


Fig. 3 撮影コースと対空標識接置位置

変位量約1mの断層のトレースが報告されているが、地震学的、測地学的に推定される陸上断層の位置では、根木の田に約10cmの変位が見い出されているだけで、断層の存在が見い出されていなかった。(Fig. 2)

そこで、陸上で断層のトレースが見い出されていない稲取から鉢山にかけての断層について、測定を行った。用いたのは1/16000のカラー空中写真で、対空標識と標定点がないため、写真上で明瞭に選定できる道路の交点、小地上物体を測定し、対地標定は、地形図上の位置から略標定を行った後、全体として地震前後の座標差が最小になるように、調整を行った。測定の結果は(Fig. 3)に示すとおりである。図から分かるように、鉢山の頂上をほぼ北西—南東と通る線を境に、北側で70~80cmの断層変位が明らかになった。この変位量は、測地測量による地殻変動のデータから推定される断層モデルの変位量と、量的にはほぼ一致する。

京都大学防災研究所は、7線サーベイ等から、鉢山付近の断層の位置を推定しているが、今回の測定による地震断層の位置は、彼等の結果と良く一致している。

§3. 対空標識を用いたモデル実験

伊豆大島海地震の断層についての実験により、空中三角測量によって、十分に地震断層を検出し得ることが判明できた。そこで青森県の浪岡町付近に、仮想の地震断層を設定して、対空標識を用いて、モデル実験を行い、ほぼ理想的状態での空中三角測量の精度に関する実験を行った。

実験の方法は、次のとおりである。

- 1) 浪岡付近の活断層を調査し、活断層の周辺に14点の対空標識を設置する。
- 2) 断層の相対変位量だけでなく、絶対変位を求めるため、実験地域内14点の対空標識の内の3点は三角点である。
- 3) 撮影は1/9000 1コースと1/8000 2コースの白黒写真で、断層の走向に直角に撮影した。
- 4) 1回目の撮影の後、対空標識に想定地震による仮想変位を与え、再び撮影を行う。その場合、2点の三角点は不動とする。
- 5) 対空標識の移動前と移動後の空中写真と用いて、空中三角測量を行い、12点の対空標識の水平座標を比較して、空中三角測量による、変位量を求めて、地上で測定した標識の移動量と比較して、誤差を求める。
- 6) 更に、写真上で明瞭に識別できる地上物体、例えば、道路の角などを、2度の撮影によって、その位置を求める。この場合、対象物は移動していないので、その差が自然物体を利用した時の誤差の目安となる。

§4. 観測の結果と測定の精度

異なった、航空写真縮尺を利用して、2つの独立な解析を行った。縮尺1/9000 1コースの航

空写真を使って、東北測量会社で解析を行った。点刻器は Wild PUG 型を使い、又 JENA ZISS のステレオコンパレータで座標を読みとり。空中三角測量の解析を行った。縮尺 1/8000 2 コースの写真は国際航業で測定し、お互い独立に測定した。結果は図 (Fig. 4) に示す。2つの結果を見るとよく一致していることが見られる。図の実線は空中三角測量の結果、又破線は地上測量の移動量で、断層の東側を見ると、2つの結果も空中三角測量の結果は地上測量に比較して小さく、又断層の西側は反対に大きく、系統的な誤差があることが分かる。No. 3 は四等三角点で、田の畦道にあり、精度が良くないこと、又対空標識に用いた三角点の数の不足などが対地標定の誤差の原因となったと思われる。

表 1 は、空中三角測量による対空標識の変位量と地上で直接測定した実際の変位量を示めたもので、その差は、絶対誤差を示し、対地標定の誤差に起因する系統誤差を含んでいる。表から、この場合の精度は、±25~30cmであることが分かる。

表 1 移動量の比較

東北測量 国際航業
写真縮尺 1:9000 写真縮尺 1:8000

No.	地上測量の結果	空三の結果	誤差	空三の結果	誤差
1	m	m	m	m	m
2	0.50	0.20	0.30	0.27	0.23
3	0.65	0.36	0.29	0.39	0.26
4	0.86	0.56	0.30	0.78	0.08
5	0.60	0.45	0.15	0.52	0.08
6	0.95	0.65	0.30	0.61	0.34
7	1.90	0.62	0.28	0.76	0.14
8	1.00	0.90	0.10	0.80	0.20
9	1.00	1.40	0.40	1.41	0.41
10	1.03	1.35	0.32	1.37	0.34
11	0.83	0.96	0.13	0.88	0.05
12	0.70	1.00	0.30	1.01	0.31
13	0.50	1.20	0.70	0.87	0.37
14					
		平均 29.8cm		平均 23.4cm	

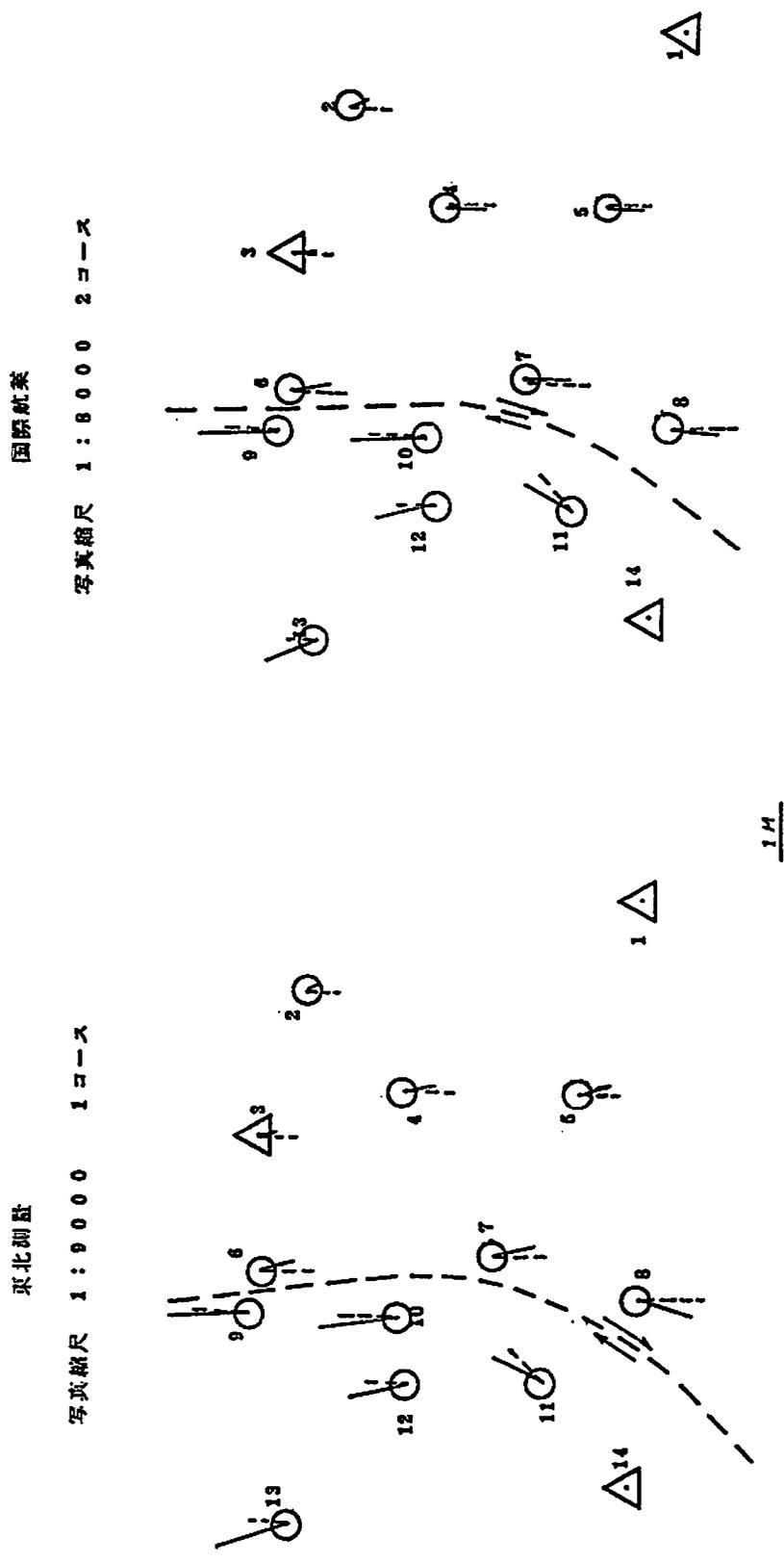
地震学で重要なのは、断層のスリップの大きさ、すなわち、両側の変位の和である。この和を相対変位とすれば、相対変位では、少なくとも、断層の近くでは系統誤差が消去される。

表 2 は、断層に近い標定点、No. 9 と 6, No.10 と 7, No.11 と 8 を用いて計算した相対変位の誤差である。この場合は、系統誤差が消去されて、相対変位の精度は ±10cm 程度となった。

表 2 相対変位の精度

No.	東北測量結果の比較	国際航業結果の比較
9, 6	10cm	7cm
10, 7	5	20
11, 8	3	15

平均 10cm



点線は実測による移動量

実線は空中三角測量による移動量

Fig. 4 モデル実験による空中三角測量と実変位の比較

表3は、対空標識でなく、自然物を用いて測定した場合の誤差で、±20~25cmの値が得られている。このことは、1/8000~1/9000の白黒の写真及び自然目標を利用して、この程度の精度で断層変位が得られることを示す。

三等三角測量で10cm程度と推定されるので、そこで今回の実験した断層面の相対変位の測定精度は、ほぼ三等三角測量に匹敵するといえよう。ただし、地上三角測量は、広い地域でも、誤差の累積はそれ程大きくならないのに対し、空中三角では、モデル数が多くなると、急激に系統誤差が増大するので断層面からの距離が大きくなるにしたがって、急速に誤差が大きくなるという欠点がある。

以上の実験により空中三角測量による断層変位の検出精度は（白黒写真を使用し、縮尺は1/8000~1/10000）次のとおりある。

- 1) 地震前後も対空標識なし、震前の即撮影写真を利用し、震後は新撮影した時、30~40cm程度の精度で検出されよう。
- 2) 地震前は対空標識なし、即撮影写真に刺針して、地震後は対空標識を設置して新撮影すると、20~30cm程の精度で推定される。
- 3) 地震前後も、対空標識を設置して、撮影した写真を利用すると10~20cmの精度が期待される。

§5. 結 語

伊豆半島における実験及び、今回のモデル実験から、空中三角測量による方法は、地震断層の変位の調査に充分有効であることが判明した。

すなわち、

- 1) 対空標識がなくても、自然地物を測定して、地震断層の変位を±20cm程度の精度で検出できる。
- 2) 空中三角による方法は、成果を得るのが早く地上測量に比較して経費が非常に安いという長所がある。反面、断層から離れた点では、精度が悪くなるので、断層の傾角、深さの推定には使えないという欠点もある。
- 3) 三角測量がほとんど不可能に近い平野部でとくに有効である。

表3 自然地物による空中三角測量の精度

No.	dx	dy	ds
1	0.32	-0.14	0.35
2	0.26	0.15	0.30
3	0.46	-0.01	0.46
4	0.15	-0.32	0.35
5	0.11	-0.14	0.18
6	0.18	0.06	0.19
7	0.23	-0.04	0.23
8	0.10	0.17	0.20
9	0.01	-0.09	0.09
10	0.03	0.15	0.15
11	-0.05	0.22	0.23
13	-0.14	0.09	0.17
14	-0.04	0.01	0.04

平均 0.23m

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

4) 将来、大地震の発生が予測される活断層が見い出された場合、あらかじめ、対空標識を設置しておき、地震後に再撮影することが可能である。この場合、断層の相対変位量は10cmの精度が期待される。

参考文献

- 1) 佐藤 裕, 垣下精三: 空中三角測量による地震断層変位の測定(1), 測地学会誌, 27 (1981), 183-191.
- 2) Shimazaki, K. and P. Sommervill: Summary of the static and dynamic parameters of the Izu-Oshima Kinkai Earthquake. *Bull. Earthque. Res. Inst.*, 53, (1978), 613-628.
- 3) 村井 勇, 松田時彦, 中村一明: 1978年伊豆大島近海地震に伴なり, 稲取附近の地震断層, 地震研究所彙報, 53 (1978), 1025-1068.
- 4) 京都大学防災研究所: 伊豆大島に伴なった地震断層における γ 線サーベイ。地震予知連絡会会報, 23 (1980), 63-66.