航空写真による地震災害調査の可能性と限界*

松 野 久 也**

Capabilities and Limitation of Aerial Photographs in Uses for Earthquake Damages Investigations

by *Kyuya Matsuno*

Geological Survey of Japan

Although there were several earthquakes which caused serious damages in some portions of our country since Kwanto Earthquake, Niigata Earthquake was the first case in which aerial photographs have been used for earthquake damage investigations systematically and extensively.

Author here discussed capabilities and limitations of them in uses for damage investigations briefly. This note is provided based upon a lecture which was presented to the symposium on "Earthquake Damages and Aerial Photographs" at Institute of Industrial Science, Tokyo University, on 10th July, 1965.

はじめに これまでに関東大震災をはじめとして、大きな被害をもたらした地震がいくつかあるが、航空写真がその災害調査に組織的にしかも広範囲に利用されたのは、新潟地震が、おそらく初めてのケースであろう。そしてその発生（昭和39年6月16日午後1時1分）から1年余を経た今日「地震災害と航空写真」と題してこのシンポジウムが開かれるはこびとなったのである。

このシンポジウムの目的は、どこにあるのであろうか？ 当面の目的は「地震災害調査のための航空写真の利用法の体系化」にあるが、その真の目的は「地震災害予防対策実施に必要な資料が、航空写真からどれだけ得られるかを検討する」ことにあると私は考えている。

新潟地震災害の特徴

新潟地震における災害の一つの大きな特徴は、沖積平野に著しい被害をもたらしたことにある。その被害をみると、耐震構造物である鉄筋コンクリート建造物が、基礎から傾いたり、倒れたり、また沈下しているが、その建造物自体にはほとんど損傷がないことである。さらに、地盤の流動化現象による地割れ・土地の局所的隆起および沈下・噴砂または噴水など普通の地

盤にはみられない地表変化を生じていることである。また、防潮堤の破損に伴う海水の侵入・地下水の噴出によって、低地帯に広い侵水地域を生じたのである。これらばかりでなく、石油工場の石油タンクの爆発・火災という、これまでに例のなかった被害にまで発展したのである。

このような被害状況は、沖積平野という地盤の性質に起因するものである。すなわち、未固結軟弱なしかも含水率の高い沖積層という地盤条件と、海面とほとんど高さの差のない地形的条件に対する考慮の不足がものがたっている。新潟地震による災害の「地盤災害」といわれる理由は、実はここにあるのである。

沖積平野におけるこのような被害は、今後の都市計画や産業施設の建設に当って、地盤と基礎構造との関係について再検討の必要なことを、まざまざと示したのである。関東・大阪・濃尾など、わが国の大きな沖積平野は、多くの人口が集中し、活潑な生産と消費活動の場となっており、ひとたび、このような平野に地震の被害がおよんだ場合、一体どうなるであろうか？ まことに慄然とさせられるものがある。

ところが、このような沖積平野の地質に関する資料は、山地部のそれに較べて非常に少いのである。そもそも沖積層は、地球上最後の氷期が終わったときから、現在までの僅か10,000年の間に堆積したものであって45.5億年と云う地球の歴史からみると、その歴史は部

※ 昭和40年7月10日地震災害と航空写真のシンポジウムに於いて講演

※※ 通商産業省地質調査所
写真測量Vol. 4, No.3 1965年

厚い本の最後の1ページにも充たないほど短い。したがって、より古い時期の地層にくらべて、その厚さも極めて薄く、その堆積物も未固結の状態にある。この冲積層が、純粹地質学の分野で、研究の対象として、活潑にとりあげられるようになったのは、ごく最近、しかも土木工学の分野の要求によってであると云ってもいいすぎではない位である。

このように冲積層に関する研究がいちじるしくおこなわれていることは、従来の古い時代の岩石や地層を対象とする地質調査技術が、この調査研究に全く役にたっていないことによるのである。新潟地震はこのような盲点をついたのである。

さて、昨年来、航空写真を利用して、地震発生と同時に各方面で地震災害の調査研究が実施されているが、その結果、①何ができたか？ ②何が可能であろうか？ 後の討論の素材として、当学会第7部会を代表して、総括的に述べることにする。

地形・地質と地震災害との関係

本題に入るまえに、蛇足ではあるが、冲積層について、その要点を述べておく。

一般的にみて、日本の冲積層は、下部層、中部層および上部層にわけることができる。下部層は、最後の氷期（海面降下時※）に続く冲積海進（海面上昇）期初期の堆積物であって、主として河成礫層からなる。これは海面降下時における谷底や河道に堆積した洪積層の礫とは区別し難い。その上位の中部層は、海面上昇時の堆積物であって、比較的層相の安定した海成層からなる。ごく大雑把にみて、下層部の深さは、現在の海水準から25～30m以深60～80mの深さまでであって、それより浅いところから中部層ということになる。

冲積海進は、今から約5,000年前（縄文時代）に極盛に達し、海水面は現在のそれより約2m高かったのである。上部層は、中部の海成層を覆って、冲積平野の表層部を構成している。この上部層は、現在の海面までの海退期から、現在の海面停滞期にかけて、主として河川的作用によって堆積した陸成層からなる。上部層は、その堆積した場所の条件、そこに働いた河川的作用に応じて、層相に著しい変化がある。

因みに、新潟平野の場合について数字をあげると、地表から深さ約15mまでが上部層で、場所によって内容が異っている。その下約40mまでが中部層で、全体として、層相の安定した海成の細粒砂からなる。これが新潟地方における基礎工事に対象となる地層であって、これに入るとN値も20以上になる。それから深い

ところが下部層ということになるが、これについては今のところ考える必要ないので省略する。

地形と地震災害

日本の多くの冲積平野の表層部は、上述のように主として、河川の堆積作用によって形作られたものである。もちろん、海に面したところでは、沿岸における波や風の作用も、この形成に加わっている。一見平坦にみえる冲積平野も、実は様々な変化に富んでいるのである。そこには扇状地があり、自然堤防および後背湿地があり、海岸線には平行に砂丘が発達し、その背後には潮干帯湿地がある。また、古い河の蛇行跡である三日月湖が埋められた低湿地もある。これらは、それぞれ特徴ある微地形単元を作っており、これと種々の被害および地表変化の分布との間に驚くべき一致が認められる（国土地理院 1965）。

このような相関関係—各微地形単元を形成した河川的作用の差に従って、その構成物質に違いがでることを考えてみると、当然のことである—は、このような微地形区分図が、地震災害防止対策上、重要な資料となることを示している。

上述のような微地形単元の区分図を作ることは、冲積平野が一見平坦にみえるほど地形的特徴がはっきりしないだけに地上踏査では非常に困難な作業である。しかし、航空写真を利用することによって、室内において迅速かつ正確に、各単元を識別することができ、かつ、識別された単元は、写真測量によって、その形および大きさを正確に計測し、かつ図上に正確にプロットすることができる。

冲積平野における微地形単元は、前に述べた通り、ほとんどが堆積性作用によって形作られたものであって、それぞれが存在する場所と形態が、写真上でこれを識別するため有力な手がかりとなる。そのほか写真の階調・肌理・土地利用のパターンも、識別上重要な手がかりとなる。最近の写真測量によって改測され国土地理院発行の1/25,000地形図は、平野部において最小1.25mの補助等高線が入っており、土地利用の区分も註記によっており、堆積単元に対応する微地形区分の識別に必要な資料をかなりの程度まで提供して呉れるものである。しかし、残念ながら、新潟付近のものは未だ発行されていない。

微地形区分図が地震災害防止対策実施上、有力な資料となり得ることについて述べたが、最近の自然改造の力と速度との著しい増加によって、これらの微地形は次々と消滅しつつある。この点、ある一定の時点で地表の資料を提供して呉れる古い写真の価値を忘れるわけにはゆかない。

※ 現在より約80～100m低かったと推定される。

地質と地形

前の項において微地形単元の構成物質は、それぞれを形作った河川的作用によって決まることについて触れた。したがって、微地形単元の特徴から、逆にその構成物質の性質を推定することができる。これに関して、黒田和男（1964）は、写真上で識別区分した微地形単元と試錐資料との対比を行なった結果「沖積平野における写真上で識別した地表の形態区分は、地表面下5mの深さ以内の地質区分と一致する」ことを明らかにし、沖積平野の表層部の地質調査に航空写真判読が有効な手段となることを実証した。

地震被害調査

新潟地震災害で、その被害調査に航空写真が果たした役割は非常に大きい。航空写真判読法が、他の方法に比べて、もっとも優れた点は、写真の客観的な記録性と、その記録の厳密な同時性にある。

したがって、侵水範囲、火災の範囲など、刻々変化する被害状況を一定の時点で記録することができる。また、建造物の被害状況、例えば地割れ・局所的な土地の隆起および沈降・噴水および噴砂などの地表変化を同時に余すところなく記録する。これら無数の被災建造物および地表変化の調査を地上で実施することは極めて困難なことであり、しかも、復旧作業上邪魔になる被災建造物は、調査の進まないうちに撤去されるであろうし、また風雨・侵水など自然の影響によっても容易に消滅する。したがって、災害調査用の写真は震災後、出来るだけ早く撮影することが望ましい。この点、国際航業株式会社で、地震発生と同時に撮影した写真ならびにアヂヤ航測株式会社および東洋航空事業株式会社が翌日撮影した写真は貴重な資料である。

これら写真上に記録された侵水・火災の範囲、建造物の傾き、陥没量、地割れの巾・長さ・方向および分布などは、如何なる時にでも写真測量の手法を応用して、正確に測定しかつ図上にその正しい位置をプロットすることができる。

侵水被害

地震被害調査の冒頭において述べたように、ある時点における侵水による被害範囲を把握することが出来るばかりでなく、その原因の確認もきわめて容易である。前もって精度の高い地形図ができていところでは、侵水深度の把握も容易であろう。さらに、一定時間間隔をもって撮影すれば、侵水あるいは退水の平均速度も評価することができ、カメロン効果によって、局所的な水の流れの方向や速度を知ることが可能であ

り、これによって、早急に排水対策が樹てられるであろう。

これに関して、新潟平野のような平坦地では、斜写真が非常に有効であると考えられ、侵水地域の識別には、赤外フィルムが効果的なことは、既に伊勢湾台風で実証済みである。（Maruyasu & Nishio 1960）。

火災被害

火災による被災範囲の把握に航空写真が偉力を発揮することは、すでに述べた通りである。石油工場の石油の流出は、侵水と相俟って火災被害を著しく拡大するおそれがある。流出し水面あるいは海面に拡がる石油の範囲の把握は、火災防止対策上必要と考えられ、今後一考を要する問題の一つではなからうか？

地表変化

今回の地震災害によってあらわれた地表変化には、地割れ・噴砂および噴水・局所的な土地の隆起および沈下・断層または落差のある地割れなどがある。これらは地盤条件に関係があるものであり、これに建造物や構築物による影響が加わって生じたものもある。

これらを写真上で識別できるか否かは、まず第1に写真の縮尺および観測機器の性能に、第2に写真のトーンのコントラストに支配される。したがって、判読の対象によって、写真の縮尺および観測機器を決定しなければならない。また、使用感光材料（パナクロマチックフィルム、赤外フィルムまたはカラー写真）および使用フィルターの組合せについても同様なことが云える。

これらの地表変化の分布をみると、国土地理院をはじめとして、各機関および各研究者の成果から、地表の微地形単元、いいかえると表層部の堆積単元と密接な関係がある。しかも、地盤条件によって、地表変化の型も異っている。すなわち、2〜3の例をあげると自然堤防や砂丘とその背後の後背湿地との接合部に、接合線にはほぼ平行な地割れを生じ、後背湿地中では局所的な土地の隆起および沈下あるいは噴砂および噴水が顕著である。

この事実から、上述のような地表変化は、直接にはごく表層部の沖積層上部層の性質に原因があるように考えられる。また、建造物や構築物の周囲では、その輪廓に平行な地割れがみとめられ、明らかに、これらがその形成に影響することを示している。

地割れは、中には巾1〜3mにおよぶものもあるが、一般には数10cm以下である。その延長は数mから数10mにわたっている。噴砂および噴水は、やや広域にわたって地盤が沈下したところに優勢であって、径30cm

に達する噴出孔をもち、噴出した砂を高き数10cmの火山錐のような形で堆積させている。局所的な土地の沈降は、マンホールや井戸枠の抜け上りからみて、数10cmに達するものがある。このほか局所的な隆起および沈降に伴って、小さな押出しが認められるが、その移動量は数以下のものが多い。

以上のように、地表変化はその規模が小さいものが多い。したがって、これらの識別には出来る限り、大縮尺の写真少くとも1/10,000以上が望ましい。しかし、撮影能率の点から1/20,000縮尺位で撮影し、必要に応じて引伸して使用するのも一方法であろう。また市街地におけるこれらの地表変化の識別には、建造物の影になって死角となる部分を出来るだけ少くするために、普通角レンズを使用して、重複度を充分にとって撮影しなければならない。逆に平地で障碍物のないところでは、広角レンズで撮影された写真がいろいろな面で有利なことは云うまでもない。

感光材料については、水に関係したものは赤外フィルムが有効であって、耕地中雨で消えた地割れの識別には、これが有効である。武田裕幸(1963)は、地割れの識別にはパンクロマチックフィルムが有効なことで、同じ感光材料を用いても、撮影日時によって識別精度に差があることを指摘している。これらの点、今後検討が必要である。

建造物の傾斜および沈下量の測定

地震によって傾いた建造物の傾斜を測定するために航空写真が利用された(東洋航空事業株式会社1965)。通常、建造物、構造物の傾斜あるいは変形量の測定には、地上立体写真測量法が応用される。しかし地上立体写真測量を実施するためには、写距離に対して適当な長さの撮影基線が必要であり、これは建物が密集する市街地では極めて困難なことである。また、多数の建造物を適当な方向から一つ一つ撮影することは、不可能に近く、空中写真測量を応用する以外に方法はない。

東洋航空事業株式会社で行なわれた測定には、昭和39年6月22日に撮影された縮尺約1/2,500の写真が使用された。この写真を標定するための図根点の増設には、昭和年月日に撮影された縮尺1/1,8000の写真が用いられている。空中三角測量および点の座標の測定にはオートグラフA7が、計算にはHIPAC108が用いられた。

その結果400に近い数の建物の傾斜が測定されたのであるが、測定精度を向上させるためには、地上基準点とくに標高基準点を各モデル毎に設置し、モデルの絶対標定の精度を上げる必要があり、また、大きい縮

尺の広角写真を使用した方がよい。

測定された傾斜について、統計的解析が行なわれているが、建物の地上高と傾斜の関係、建物の辺長とその方向の傾斜角との関係、長短辺長と最大傾斜角との関係、最大傾斜線方向の分布などについて述べられているが、地盤条件と建物の傾斜方向との関係について追求することが肝要と思われる。

建造物の傾きのほかに、その沈下量あるいは抜け上り量を測定することもできる。このためには、地震前の建造物の高さが、写真上で識別できる地上点との関係においてわかっていなければならない。

むすび 以上、総括的に航空写真による地震災害調査の可能性について述べたが、結論としていえることは、多くの可能性をもつ反面、いくつかの限界もある。しかし限界については、これを技術的に克服できる見通しが充分あるものもある。

今回の航空写真による地震災害調査に関するいろいろな成果をみて、一般的に云えることは、事実の蒐集(fact gathering)に終っている感がある。「見えた」、「測定した」、「図上にプロットした」だけに終らずに、その資料について地形学、地質学、堆積学、土質工学など専門的立場からの検討が必要である。

実証された事実は判読の鍵である。判読資料と実際との対比が強く望まれる理由はここにあるのである。

最後に、本稿をとりまとめるに当たって資料をはじめとして多大の御援助をいただいた諸機関、諸学兄に対して厚く御礼申上げる。提供していただいた資料ならびに参考とした文献を附記しておく。

資料および文献

- Maruyasu, T. Nishio, M. ; On the Study and Application of Infrared Aerial Photography, Rep. Inst. Indust. Sci., Univ. Tokyo, Vol.10, No. 1, 1960
 小林 国夫：第四紀(上)，地学団体研究会，1962
 西田彰一・茅原一也：新潟地震の地盤災害について，天然ガス鉱業会，1964
 須貝貫二他：新潟地震を予察して，地質ニュース，No. 120 1964
 黒田 和男：新潟市周辺表層地質，写真測量，No. 3，1964
 武田裕幸・今村遼平：航空写真による新潟地震の災害調査，写真測量，No. 3，1964
 東洋航空事業株式会社：新潟地震による建造物の変状を空中写真を用いて調査する方法に関する報告(謄写)，1964
 アジャ航測株式会社西尾研究室：航空写真による新潟地震災害判読図(一，二)，1965
 国際航業株式会社：新潟市周辺地震災害図(末公表)。
 国土地理院：新潟地震災害報告書，1965