

# 地震・地盤災害の データ・アーカイブス 構築のために

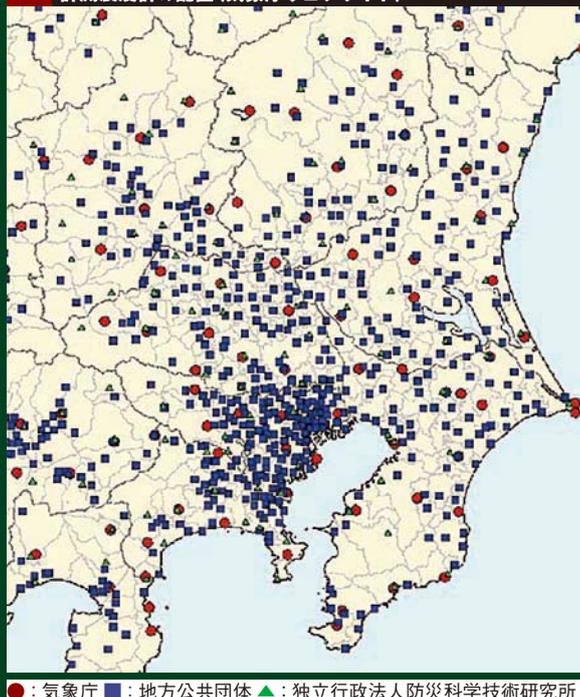
小長井 一男

こながい かずお

東京大学生産技術研究所 教授



図-1 関東地方における気象庁の強震計および地方自治体の計測震度計の配置 (気象庁ウェブサイト)



## 1 | はじめに

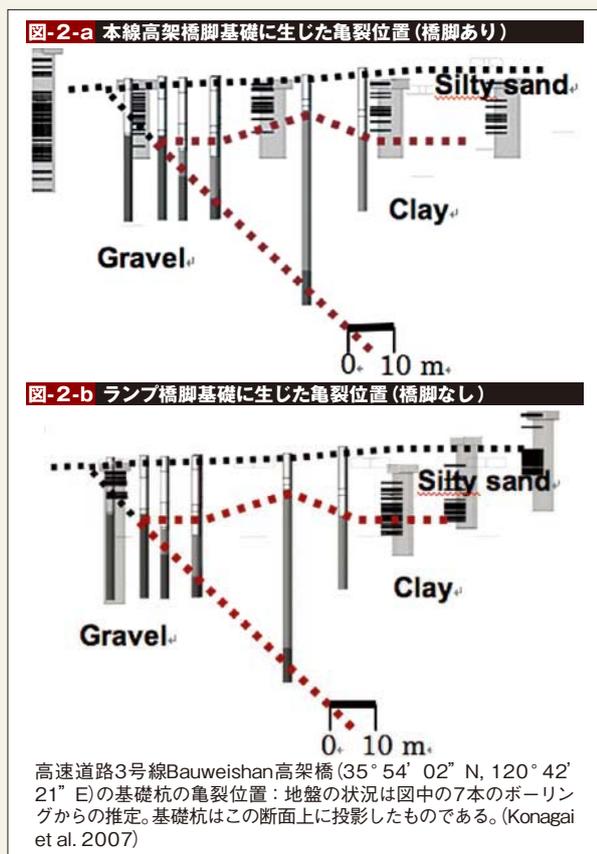
頻発する地震は当該地域に消し去ることのできない災禍を残しながら、一方で時の経過とともに人々はその大事な教訓を容易に忘れがちである。だからこそ地震被害調査は、その教訓を数字や統計などで表現された客観的なデータとして蓄積していく意味で極めて重要である。しかしこれまで幾多の調査に関わってきたわが身を振り返って、多忙を理由に十分な考察を加えないまま、たんなる写真集を残しているに過ぎないことも多いのではと反省すること頻りである。地震は天が与えた“実大規模の貴重な実験”であるが、周到に準備された人工的な実験と異なり、その残したデータを計測し数値化することは極めて難しい。ここでは地形・地盤条件の影響を強く受ける地震動と、地震が引き金になって長期に亘り継続することのある地形変化について、データを遺す試みと課題について述べてみることにする。

## 2 | 地震動分布の推定

わが国には世界に類を見ないほど稠密に地震観測網が張り巡らされている。図-1は関東地方に展開する気象庁地震計と各地方公共団体が管理する計測震度計の分布である。気象庁の地震計は全国で約600地点にのぼる(気象官署約150箇所、都市部約130箇所、郡部約140箇所、津波地震早期検知網の観測点約160箇所、機動観測点約20箇所)。単純に計算してみても1都道府県あたり10地点以上の震度計が設置されていることになる。これに加えて防災科学技術研究所は、兵庫県南部地震の翌年1996年に整備された強震観測網(K-net)の全国1000箇所を越える観測地点からのデータを随時ウェブ上で公開している。だからこそ、技術的な課題はまだあるにはしても、世界に先駆けて緊急地震速報のシステムが整備されるに至ったのである。さらに国土交通省港湾局などが管理する港湾地域強震観測網、国土交通省および建築研究所の強震観測システムなどもある。

一方諸外国の地震被害の調査では強震計が数台しかなく、しかもまともに記録のとれたものはさらに数が限られてしまうことも少なくない。わが国は桁違いに地震情報が充実しているのである。

しかしながらいざ現実の被害の詳細に立ち入ると、微地形や地質、旧地形の影響などで道一つ隔てて被害の



様相が大きく変わり、この稠密な地震観測システムをもってしても被害分布を記述するには未だに“疎ら”の観を否めない。

被害調査は実際の地震が地域に残した貴重な教訓を残すものである以上、計測の困難な地震痕跡から“数値化された”データをどのように得るかのノウハウの蓄積が欠かせない。

### 3 | 最初に強い揺れ、そして変形が追隨する

地震計が密に配置されていた台湾で1999年に起こった集集地震ではおよそ100kmにもおよぶ長さの地震断層(車籠埔断層、Cher-Lung-Pu Fault)が地表に現れ、その上下方向の食い違いは場所によって10mにも達し、ダムや橋梁など多くの社会基盤施設が破壊された。地震発生当時建設中であった高速道路3号線は、この車籠埔断層を4箇所横切っているが、そのうち包頭山(Bauweishan)では高速道路本線の高架部とこれより分岐するランプ部の200本以上の基礎杭が断層の上盤側にあって地盤とともに大きく競りあがった。著者らと台湾大学、(財)台湾管建研究院(Taiwan Construction Research Institute)で実施したボーリング調査によれ

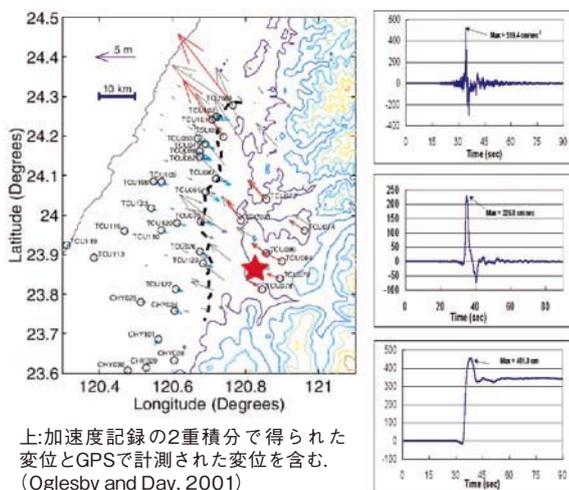
ば上盤側の表面10m前後に建設廃材や盛土を含む硬いシルト質砂層があり、その下に均質な粘土層が楔のように入り込んでいる。下盤側は大半が砂利や玉石が卓越する礫層である。高速道路の杭のうち、あるものは出来上がった橋脚を支え、あるものは何も支えていない状態で上下約1m、水平約2mの断層変位を受けたのである。地震後、各橋脚のコーナー部にある基礎杭からコアが採取され、それらの調査が行われたが、何も支えていなかった杭の亀裂は、上盤表層の硬いシルト質砂層とその下の粘土層の境に主に集中していたのに対し、橋脚を支えていたものは杭頭部に特に集中して亀裂が認められた(図-2-a,b)。杭頭に亀裂が集中したのは橋脚の慣性力によるものと推測され(慣性力相互作用)、橋脚を支えていない杭については地層境界部に集中した地盤ひずみ(キネマティック相互作用)による可能性が大きいと考えられる。もしそうであるのなら、加速度と地盤変形の最大値が現れる順序が大切であろう。図-3はこの地震で5~10mにもおよぶ縦ずれの現れた石岡付近(TCU068)の地震記録である。加速度記録を積分して推定された速度、変位の時刻歴が時間軸をそろえて併記されているが、加速度の最大値がまず最初に現れ、これに遅れて変位の最大値が現れている。ここにもし包頭山のような高架橋が存在していたとすると、まず大きな加速度で杭頭近くに局所的な破壊が起こり塑性ヒンジが形成され、モーメントが伝達されなくなった状態で地盤の大変形に追隨することになるであろう。この破壊のシーケンスは断層近傍の建造物の機能保持を考えるうえで極めて重要になってくる。こうした議論が可能になるのは、断層直近の良質な地震記録が多数得られていることが前提になるが、地震計が密に配置された台湾でさえ、断層から2km以内の上盤上にあった観測点はこの石岡のものを含まれずか2箇所であり、今後の研究が大いに期待されるのである。

### 4 | 長期にわたる地盤変形

この5月12日に四川大地震の1年目の番組が各局で流された。あのときの痛ましい、しかもショッキングな状況を思い浮かべながらも、報道で扱われる震災は急速にその影を薄めている印象を否めない。一方で、地震で傷ついた地盤がその後長期にわたり変形し、その後の復興に少なからぬ影響を与えているであろうことは、新聞の

図-3 タイトル

石岡付近(TCU068)の加速度記録(1999年集集地震): 加速度の最大値519.4cm/s<sup>2</sup>が現れた時刻(34.12s)を遡るように速度の最大値226.0cm/s(34.88s)、変位の最大値4.51m(37.82s)が現れている。



上: 加速度記録の2重積分で得られた変位とGPSで計測された変位を含む。(Oglesby and Day, 2001)

右: TCU068の加速度記録(上段)と積分で得られた速度(中段)、および変位(下段)

表紙を飾ることも、またテレビのヘッドラインに現れることもあまりないように思われる。この地震で最も壊滅的な被害を受けた北川(Beichuan)は9月23日、24日と降り続いた大雨による土石流でその様相を一変させた。

**写真-4-a,b** は土石流発生前(2008年7月27日)と発生後(2009年4月20日)の状況を比較したものである(Konagai, et al. 2009b)。この他、複数のソースからの数百枚に及ぶ写真を比較することで、それぞれの建物の位置でのおおよその土石の堆積厚さを、階高を3.2mとして推定したものの概要を**写真-4-c**に示す。地震のときに南部の市街地西側で発生した斜面崩壊によって谷幅が狭められていた状況で土石流が押し寄せたため、堆積土石の厚さは最大で10m~15mに達している。この北川の住民を20kmほど南の安昌鎮に移転させる決定をしていたのは、結果として適切な判断であったと思われる。

先に紹介した1999年の台湾集集地震でもその揺れの破壊がすさまじかったことは言うまでもないが、土木、砂防の分野の技術者の努力は地震から9年経った今日に至るまでも営々と続いている。台湾では年間平均3.9個の台風が上陸しているが、100kmにもおよぶ断層に沿う地域では多くの斜面が不安定になり、これらが源になって幾多の土石流が発生している。10mにもおよぶ縦ずれの現れた石岡ダムの上流に、この地震で破壊したDongMao橋があり、その復旧工事が進んでいた。まず

ここを通行する車両を迂回させるための仮橋が架設され、そして新たな橋梁の建設が本格的に始まった。

しかし、2004年7月3日の台風で、建設中の新しい橋の橋脚、橋台が仮橋もろとも厚い土石の下に埋もれてしまった。その後仮設された道路も、2005年6月、2005年8月、2006年6月と相次ぐ台風や集中豪雨のたびに流され、その復旧は難渋を極めている(Le, W., 2007)。このあたりの河床は堆積した土砂で4mから8mも上昇した。地震後の国土保全の困難さを浮き彫りにした事例である。

同様の事例は2005年カシミール地震でも確認されている。地震の翌年、モンスーンの大雨で断層に沿った山岳地帯から大量の土石が流れ、ガリハビブラ(Ghari Habibullah)村では6~8mほどの土砂が堆積、村落のみならずここを通過する道路に甚大な被害が出た(**写真-5** Konagai, 2009)。ムザファラバード(Muzaffarabad)というカシミールの中心都市の市内でも沢沿いの家屋の多くが流されてきた土石に埋まり、多くの市民が移転を迫られている。これらの被害が顕在化する前の地震直後、被災地復興のためのドナー会議がイスラマバードで開催され、この決定に基づき、国際協力機構(JICA)が被災地の橋梁復旧や病院の建設、ムザファラバードの復興計画策定に尽力し、日本の貢献は現地でも高く評価された。JICAが提言したMuzaffarabadの復興計画の3つのオプションのひとつは、ムザファラバード市の南の川沿いの段丘地に衛星都市を建設し、これらを道路網で結ぶというものである。このアイデアは3つの中で最も実現性が高いと考えられ、段丘地の安全性についても注意深い調査がなされている。

また、ムザファラバード市内の沢筋の家屋が土石流の恐怖に直面していることもあって、現地でも真剣にこのプランが検討されている。しかし、先に述べた台湾の事例は、段丘上を下刻する河川を横切る道路網の維持管理が将来難しい課題に直面する可能性を示唆している。緊急に支援策を講じることが必要であることは言うまでもないが、地形変動を長期にわたり観測し、その動態を復興戦略に反映する柔軟さも今後併せて求められていくであろう。

## 5 | まとめ

地震の教訓が得がたい背景には、その再現周期が時に



写真-4-a 北川県の市街地南部(旧市街)  
2008年7月27日の状況



写真-4-b 北川県の市街地南部(旧市街)  
2009年4月20日の状況

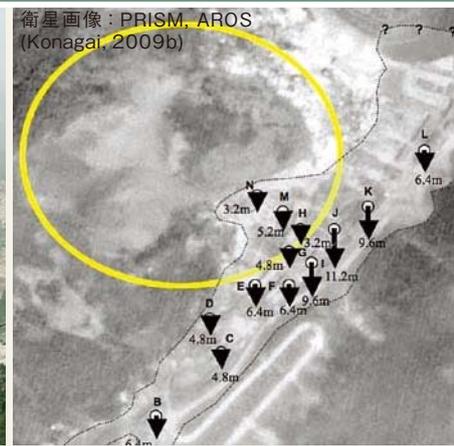


写真-4-c 北川県の市街地南部(1km×1km)での堆積土石の厚さ推定  
衛星画像：PRISM, AROS (Konagai, 2009b)

人の寿命を超えて大きいこと、その間の社会システムの変貌が著しいこと、などがある。しかし復旧や調査が個別の研究・事業主体ごとになされ、被害の全貌と詳細の科学的記録が分断的に行われていたこと、その集積があたかも地震の報道が終焉するがごとく、短期で終わってしまうことも影響していると考え。土木学会では平成17年度から文部科学省振興調整費重点課題研究「活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案」を開始した(文部科学省、2006)。これは2004年中越地震の教訓を他の活褶曲地帯での地震防災に活かすべく膨大なデータの公開アーカイブスを整備するものである。社会基盤施設の被害は、一方で地盤変形の状況を克明に記録する網の目のように張り巡らされた歪みゲージであり、事業主体横断でその記録を集約することで、個別の調査では見えなかった全体像が見えてくる。

また災害復旧の事例を集約することで、長期におよぶ復旧の課題を浮き彫りにすることもできる。この調査の中で小千谷から川口あたりの信濃川の中流域(魚野川との合流部を含む)が0.5mから1.5mほど隆起した状況も明確になってきた。地震の翌年6月28日の集中豪雨で魚野川沿いの農地の冠水被害が起こったが、これにはこの地形変動の影響が少なからず現れたものと考えられる(Konagai et al, 2008)。悲惨な自然災害の報道と社会の関心は時とともに急速に冷めていく。しかし、いったん傷ついた地形が数十年、場合によっては世紀を越えて変化し続け、様々な課題をもたらしていること、営々と続く国土保全、さらに防災の仕組みづくりに多くの優れた技術者が地道な努力を積み上げていることはもっと世の中に知られるべきだと思う。

日ごろから維持管理に努力されている多くの方々に

心より敬意を表したい。これら関係者の講ずる対策が成功すれば、あたりまえのように“何も起こらず”、結果として世の関心を引くことも少ない。世界の被害地震の1割強が発生し、年間降雨量1800mmと世界平均の730mmを越えるわが国にあって、これらの技術者の活躍は目立たないけれども、世界に誇るべきものだと信じている。この技術を高く評価し、世界に発信するとともに、世界の災害の復興や防災にも、培われたノウハウや教訓が活かされるためにも、地震災害のみならずそれに引き続く地形変動の情報が的確に把握されて、こうした技術に理論的な背景を与えることが大きな支えになるものと信じている。弛むことのない挑戦が必要である。

写真撮影時期：2006年11月16日、  
撮影場所：34°25'09.79" N, 73°21'38.02" E



写真-5 パキスタン・ガリハビブラ (Gahri Habibullah) 村に堆積した土石

#### ★参考文献

- 気象庁ウェブサイト、震度観測点 -- 関東 -- :  
[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/intens\\_st/Kanto.html](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/intens_st/Kanto.html)
- K. Konagai, T. Fujita, T. Ikeda and S. Takatsu. (2009). Tectonic deformation buildup in folded mountain terrains in the October 23, 2004, Mid-Niigata Earthquake, Soil dynamics and earthquake engineering, 29(2), 261-267.
- K. Konagai. (2009a). Huge landslides caused by massive earthquakes and long-lasting geotechnical risks, Landslides - Disaster risk reduction --, Kyoji Sassa/ Paolo Canuti eds., Springer, ISBN 978-3-540-69966-8, 159-176.
- Konagai, K., Ishikawa, Y., Tsuchiya, S. and Wang, Fu. (2009b). Geotechnical issues caused by the May 12th 2008, Wenchuan Earthquake, China, Investigation report of the 2008 Wenchuan Earthquake, China, Grant-in-Aid for Special Purposes of 2008, MEXT, No. 20900002, 79-88, 2009b.
- Lee W.F. (2007), personal communication.