

土質基礎の回顧と点描・補遺

5. 地盤沈下研究の回顧

和 達 清 夫*

1. 関東大地震に始まる土地の沈下問題

なんといっても関東大地震は大事件であった。日本の地震学も地震工学もこの地震を契機として、新しい発展に向かった。東京大学に大正14年地震研究所が設立されたのもこのためである。

地震研究所の当時の談話会が創立の意気に燃えて末広所長をはじめ、長岡・今村・寺田・山崎・物部・内田の諸先生とそれに続く多くの地震学者、地震工学者がそれぞれに研究を発表し、討議された情景は今も眼に浮かぶ。

さて、大地震とともに顕著な土地の隆起沈降および水平移動が生ずることは、内陸地帯に断層の食い違いが出現したり、その前後に行なわれた陸地測量によって知られていた。特に海岸地域においては、海水面との関係において著しい土地の隆起沈降が明りょうに認められたことは、古来その例ははなはだ多い。今村明恒博士は、関東大地震後、つぎは関西の大地震に注意する必要があると、よく語っておられたが、こうした土地の動きには大きな関心を持たれた。その中でも、大地震勃発の以前に、震央に近い地域に土地が隆起沈降を示すことを重視し、大地震の直前に起こるものと、何年も前から起こっているものとに分け、後者を慢性的地殻変動と呼び、熱心に研究された。地震予知の研究はその後大いに発達し、今日に到ったが、地殻変動を最も重要な手がかりと考えることは、このころからずっと引き継がれている。大地震の直前に起こった地殻変動として今村博士がよく例に出されたのは、明治5年の島根県浜田の地震のときの話で、大地震の起こる20分ばかり前に、潮がずっと沖合いに引いて200mばかり沖にある小島の根元の岩に、人びとがあわびを採りに出かけた。そのときの海面降下は2mほどであったといわれる。

さて、このようなことから、昭和のはじめに水準測量によって、東京・大阪などの大都市において著しい土地の沈降が起こっていることが見いだされた。それは、すなわち後に、地盤沈下と呼ばれて大きな問題となった現象の始まりといえるが、関東そして北丹後の大地震の恐怖さめやらぬ時期であっただけに、大地震の前兆かと世人の強い関心となり、また学者の注目を引いたことは想像に難くないと

思う。

2. 東京における地盤沈下の初期状況

東京市には関東大地震前後、昭和6年ころまでに約60の水準点があった。それが地震前には1892年以来8回、そして、地震後にはただちに水準測量がなされた。その後は水準点数もずっと増加され、ひん繁に再測量が行なわれた。この初期の時代においては、宮部直巳博士のまとめられた報文（震研彙報第10号、1932）によれば、年間沈下量はいわゆる下町の低地に大きく現われ、特に江東の地域ではけたはずれに大きく、その値は4~5cmから10cmにも及んでいた。宮部博士は同年、この江東地域の示す異常な沈下について、その分布は第三紀層の表面の形と密接に関係し、その谷にあたっているところに沈下の激しい地帯のあることを指摘された。そして、この現象は関東大地震後顕著に現われ始めたことにも言及している。こうした沈下の原因については、埋土による荷重など、地層に外力が加わることなどを示唆しているのみで、昭和16年に出た同博士の著書においてもなお断定は控えられている。なお、故宮部博士は私とは高等学校以来の友人であるが、生涯を地盤沈下の研究に打ちこまれた実に篤学の人であった。

私には東京の地盤沈下について、今も忘れることのできない思い出がある。昭和10年ころと思うが、当時の東京市では土木局が主催する地盤沈下の会合がしばしばあり、宮部さんや私はよくこれに出席した。その会合では計画課長であった石川栄耀技師が、地盤沈下問題に非常に熱意をもって、主役といった感じで、いつも氏独特の洒脱な歯切れのよい調子で説明をしたり、意見をたたかわせておられたのが印象に深い。そのころ荒川の小松川橋であったと思うが、架橋にあたって橋脚の土台のところを掘ったところ、激しい勢いでメタンガスが噴き出すというできごとがあった。石川さんはそれを見に行こうと宮部さんと私とを誘われたので、私たちはある日の午後、そこに見学に出かけた。このことは、昭和6~7年ころにメタンガスが深川区猿江裏町のある豆腐屋で噴出し、それが地震と何か関係があるのではないかと騒がれたことがあり、宮部博士もこれを地盤沈下と関連しているのではないかと興味を持ち、このことが自分の沈下研究の端緒となったと著書に書いておられ

* 理博 埼玉大学名誉教授 日本学士院長

講座

た。そんなことで石川さんは、地盤沈下調査の一環として私達を案内したのであるが、私達たちがその現場にいくと、たしかに橋台の地下からメタンガスは赤い炎をあげて盛んに噴き出していた。しかし、私にとってはメタンガスよりもむしろ、そのあとで案内された江東地域に起こっている地盤沈下風景が強い感銘を与えたのである。それは私がおのあと長く地盤沈下研究に意欲を燃やす原動力となったといえる。

江東の、ある揚水ポンプで、コンクリートの円筒の井戸側は 30 cm ばかり地上から浮き上がり宙づりになっている。この異様な光景は、それからあとで見た十間川や小名木川で橋の下に水面がすれすれになっている有様、またその橋の中央部は下から突き上げられたようにき裂のできていることなどとともに強く胸に残った。もうこの光景によって、現象は地表面に近いごく表層の問題であること、すなわち地表面の地層の収縮であり、大地震と関係の深い地殻変動ではないことが、いわずとも明らかであると思った。

同じ思いは宮部さんにも石川さんにもあったに相違ない。しかし、地盤沈下の機構や原因がまだはっきりつかめていないときであり、問題は大きいし、ことに世間は大地震の前ぶれではないかと心配していることもあり、きっぱりと断言することは控えている様子であった。

私はその後間もなく大阪に転任となり、東京の地盤沈下ともしばらくの別れとなった。しかし、事実は大阪に来て、東京以上に激しい地盤沈下に直面し、大阪の防災上重大問題であることから、私はその研究に懸命に取り組まねばならないことになった。

なお、ここで、昭和10年に郷土史研究家の菊地山哉氏が「沈み行く東京」なる一書を出して、東京の地盤沈下現象を古記録と地下の地質を照合し、意見を述べて当局の地盤沈下対策を要望したことを付言したい。この時期にこの問題をこれだけ詳しく論じ世の注意を促した点、特にチュウ積土の緊縮が原因であると主張されている点に敬意を表する。

3. 大阪における地盤沈下の初期状況

私は昭和11年9月に中央气象台より大阪支台に赴任し、以来7年間大阪で働くことになった。私の転任の一つの理由は、当時、日本学術振興会は、昭和9年の室戸台風による関西大風水害にかんがみ、特にそのとき畏きあたりより多額の御内帑金の下賜があって、大阪に災害科学研究所を設立し、防災科学の研究を推進することになったことである。この災害科学研究所の第一部は中央气象台大阪支台に置かれ、第二部は大阪大学に置かれ、最初の期間は学術振興会で運営され、以後は両者に委譲された。所長は大阪大学総長楠本博士がなられ、第一部は地球物理関係で、部長に私があたり、第二部は防災工学関係で、部長に当時の大阪大学の工学部長鈴教授があたられた。

さて、私は大阪に赴任して、本職として大阪支台長としての日常業務があり、兼職として災害科学研究所の研究に対する責任があった。当時の大阪支台は、生野区勝山通り御勝山の前にある大阪測候所の構内にあったが、同構内に災害科学研究所の第一部の建物が新築された。

气象台大阪支台の一つの大きな仕事は台風や高潮に関する業務的なものであるが、災害科学研究所としても最重要の研究はそれらの防災に関してであった。私は大阪に来て、まず室戸台風の被害を調べ、ここで私が強く感じたのは室戸台風による西大阪の大きな高潮災害が、あれほど悲惨な結果を招いた原因の一つは、そのときまでにその地域ですでに起こっていた地盤沈下によることである。東京江東の場合でも同様のことのあることは知っていたが、これほどまでに地盤沈下が高潮に対して重大な役割をしているのかと、改めて認識した。当時すでに大阪で地盤沈下現象は問題になっていたが、それは大地震の恐れにもつながっている。したがって大阪の防災科学において地盤沈下の現象を解明することは重要なことであり、研究所としても真剣にこれと取り組むべきであると感じた。

何よりも心強かったのは、東京でいっしょに働き、ずっと地盤沈下を共に研究してきた広野卓蔵博士が私といっしょに大阪へ赴任したことであった。当時、学校を出て間もない広野さんは理論にすぐれ、地盤沈下の本場である本所育ちという縁もあり、ここで二人が協力できたのは幸せであった。

大阪の土地の沈降が問題になり、市当局の測量が始まったのは、今村博士の関西大地震襲来の注意に端を発している。今村博士は、昭和8年従来陸地測量部の水準点によってなされた測量から、西大阪方面の低地の土地の沈降を知り、研究中の京阪地方の地塊運動との関連において、ことの重大性を指摘された。そして同博士による大阪市への委嘱によって、市内の稠密な水準点網による測量が昭和9年より市当局によって開始され、以来毎年行なわれた。その水準点は当初99点であり、その後次第に増設され数年後には200点以上となった。そして、基準面には毛馬の O. P. が採用された。

昭和11、12年ごろの測量結果を見て私の驚いたことは、上町台地を境として西大阪一帯の低地の、大正、港、此花、西淀川の諸区にわたり、年間沈下量 10 cm を越える地区がかなり広く存在し、中には 20 cm を越える地点もあるという激しさであった。それは決して東京に劣るものではなく、むしろそれを上まわるものである。

大阪の地盤沈下は、明治時代より徐々に起こり、大正ごろになってやや速度を増し、昭和4年ごろから激激にその激しさを加えている。東京に比べて沈下の傾向はよく似ているが、東京における激化は大正10~12年ごろに始まり、大阪のほうは少し遅れて昭和4~5年ごろに始まったことである。このことは実に、東京は関東大地震（大正12年）、

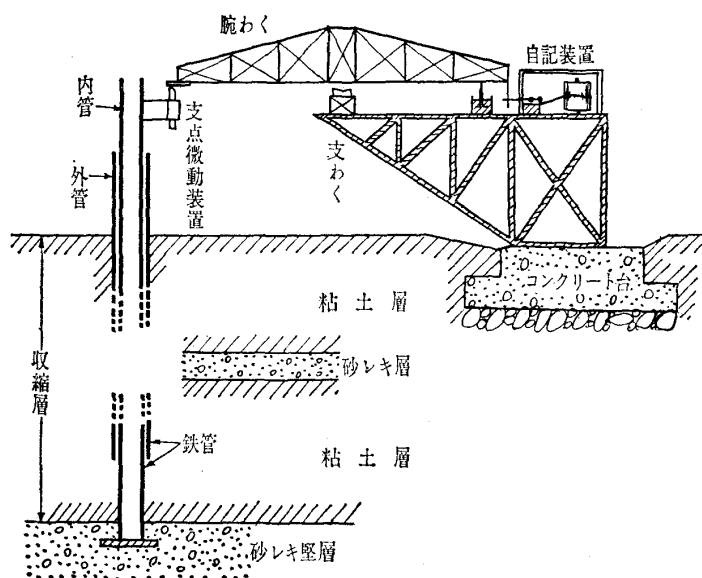
大阪は北丹後地震（昭和3年）と時期的に合って、大地震との関連を思わせ、世人の憂慮となったのである。今日考えて見れば、大地震がこの時期にそれぞれの地域の近くに起こった皮肉な偶然ともいえる。沈下現象は地下水圧低下主要原因説によれば、両地域における工業の隆盛に伴って起きたわけである。しかし、大地震があつて、そのあと発展した工業が地盤沈下を起こさせたことにおいて、偶然とのみ言い得ないものがあり、後に戦争で壊滅した工業が戦後再び急激に隆盛となり、戦前をしのぐ地盤沈下を招来させたことと思ひ合わせて感慨深い。

4. 大阪の地盤沈下（沈下と地下水位の連続測定）

地盤沈下現象は大地震の勃発とは直接に関係ないことは私は確信していた。しかし、これを世間に発表するためにも、地盤沈下が地表層の問題であり、その機構を精確な測定資料に基づいて解明する必要がある。第一に地盤沈下を引き起こす地層の収縮は、どの深さの地層で起こっているかを確かめること、そしてそのための連続記録をとることであつた。宮部博士は昭和11年に東京江東地区で、35mの鉄管を基盤層に5m埋まるように立て、これにより表層の地盤の収縮を測定しておられた。そして付近の地表面とこの鉄管頭部との間の沈下の相対量から、地盤沈下の大部分をこの30m以浅の地表層の収縮が受け持っていることを確かめ、また自記装置をつけて観測することも始めておられた。私はこれと同じ原理に立って、乏しい予算であるが可能な限りの精確さで、地表層が受け持つ地盤沈下の状態を連続観測しようと試みた。すなわち、図のような沈下測定装置を設計し機械一式は、研究所内の小工場で作した。そして、天保山にある旧測候所構内にコアボーリングをし、鉄管を立て、沈下測定装置第1号を設置する一方、土質を調べた。鉄管は120尺（約36m）の深さの砂レキ層にさし込み、モルタルにて固定された。特に、鉄管を二重管として内部鉄管と土層との間の摩擦を防ぐ工夫がなされた。そして、鉄管頭部と地表面との間の沈下の相対量、すなわち120尺以浅の地表層の収縮量をペン書きで自記させた。

観測開始は昭和13年5月13日であつたが、機械を設置して3日目に自記機械の様子を見たときの感激を私は今も忘れない。ペンはあざやかに紫色インキで下降線を描き、潮汐による起伏をその中に示しているのである。こうして私たちはその後連続観測を続け、1年余後に地盤沈下は、この場所では120尺の深さまで53%を受け持っていることを知った。地下水圧については、この鉄管内の水位測定を定期的に行なつたが、鉄管の太さの関係で自記装置をつけなかつた。それでも、これらの観測から地下水位が地盤沈下と非常に密接な関係を示していることは確かめられた。

このころ大阪市当局は、すでに九条小公園に3本の鉄管を地下にそう入していた。これらは沈下量と地下水位を測る目的で設備され、その底部の深さはそれぞれ103, 204



図一 大阪築港天保山に設置した地盤沈下測定機

埋設鉄管は内管と外管とあり、内管は下部が堅い砂レキ層に達しており、その層より上の地層の収縮を測るために用いられ、外管は内管と周囲の土質との間の摩擦を避けるために用いられたもので、その下部は内管より1mあまり上の粘土層中にある。自記装置を載せる台と鉄管とは3mぐらい離れている。（岩波書店刊「地球と人」第17図より）

（約62m）、580尺（約176m）であつた。そして、まず沈下量測定に用いられ、毎年水準測量の際に頭部の沈下量が測られ、その結果は、前者は天保山のものと同一ような結果を示し、580尺のものは全沈下量の90%以上がその深さより浅い地層の収縮であることを示した。私たちは、これらの鉄管に沈下自記装置を設ける必要を痛感し、研究所が協力して、まず580尺鉄管に天保山のものと同一沈下測定装置をつけ、その観測は昭和14年1月から開始された。一方、これら3本の鉄管には市当局によって地下水位を測定する自記装置がつけられ、昭和13年夏ころから観測が開始された。このようにして、沈下と地下水位双方の連続記録が得られたことは、地盤沈下現象の機構の究明の基礎を与えたものとして高く評価されるべきであり、ここに当時の大阪市土木部に、そして別所計画課長、角田技師らのその間の多大の努力に感謝したい。

前記のように、大阪における地盤沈下は、大地震に関連する地殻変動が通常年間2~5mmのものであるのに対して、けた違いに大きい土地の沈降であること、したがって地震活動とは直接関係ないことは明らかになった。そして、この収縮する地層は、東京で当時調べられていたものより深い、それでも地下200m以浅の地層の収縮が沈下のほとんどを受け持っていることがわかった。

5. 大阪の地盤沈下（沈下の機構と地下水説）

地盤沈下と地下水位については、このようにして連続記録が得られ、測定資料はある程度集積された。地盤沈下の機構を解明すべき機は熟してきたのである。

講座

当時は地盤沈下現象の原因について多くの学者・研究者によって種々の説が出された。すなわち、地塊運動、土地の自重による圧密、重建築、埋立てによる圧密、可塑性変形、地下噴気圧低減、電解質増加、地下水位降下による影響、雨水浸透の減少、砂のくみ上げ、交通機関や地震の振動による緊迫など、そしてこれらの複合としてである。この中のいくつかは、地表層の収縮ということが確認されて消えたが、なお複合現象と一般に考えられ、決定的な結論は出なかった。

そのころ、大阪で、北沢博士の沈下問題の講演があったが、その講演では降水量との関係が主として話され、私には納得しがたかったことを記憶する。宮部博士は、以上あげた荷重説その他の諸原因説を列挙され、その複合を考えておられたらしい。いずれにせよ、地盤沈下という現象が、防災をはじめ社会各方面に重大な関係を持ち、1日も早い対策が望まれているのであるから、そのためにもなんとか早く原因を解明することは私たちに課せられた任務であった。私は地盤沈下と地下水位の連続観測がすでに1年半ほど得られたので、それらをいろいろとこね返して考えた。そして、地盤沈下に対して、沈下速度という量が重要なことに気づいた。

沈下量は年々増加するが、その中で沈下速度は季節的にも、その他の原因によっても細かい変化をしている。私はまず5日間の沈下量を沈下速度としてとりあげ、1年半の期間中の変化のグラフを描き、それを地下水位の変化曲線と対比してみた。そして、できあがった図を見たときの喜びは今も忘れない。そこには実に驚くべき平行性が見られたのである。どうしてこのような鮮やかな相関に気がつかなかったかとわれながら思い、東京の地盤沈下についてこの種の報文を再検討した。そして北沢博士の丸の内の地盤沈下および地下水位を調べた報文の中に、雨量測定値を対比させた図があり、地盤沈下のほうは沈下量が図示されていた。これは沈下速度となっていないので両者の関係がよく見えない。同博士は、水位は降水量とほぼ一致し、夏期に著しく下降するのはさく泉のくみ出し量が増加するためとして、沈下量と対照しだいたい的一致を見出すと述べておられる。私はその図の沈下曲線から、そのコウ配を測って半月単位の沈下速度を求め、地下水位変化曲線と対比させたところ、果たして大阪の場合と同様、一見して明らかかな平行性を見ることができた。この調査のお蔭で私はいっそう確信を深めることができ、同博士に感謝した次第である。

これで、地盤沈下現象の主演は地下水位の低下にあり、両者の間に強い、そして簡単な関係のあることがわかった。しかも地下水位は正月の休みの間は工場が休むと顕著に上昇を見せるが、これと呼応して明りょうに地盤沈下もその速度を弱めること、またその年の2月には、石炭事情から大阪では節電が行なわれ、ために操業を休止した工場が多

かったが、その期間にも同様のことがたしかに認められることなどからも疑う余地はない。私は地下水原因説に確信を得て、両者の関係を

$$-\frac{dH}{dt} = k(p_0 - p)$$

の式で表わした。すなわち H は地表面高、したがって左辺は地盤沈下速度、 p は現在の地下水圧、 p_0 は標準地下水圧、 k は比例の定数である。水位が p_0 まで回復すれば地盤沈下は一応止まることとなり、この p_0 は場所によって異なるが、だいたい深さ10数mである。

この式はその後ずっと、多くの地盤沈下の研究において基本の式として扱われるようになった。そしてこれは、粘土層から水がしぼり出され、その層が収縮する機構を示すものとして、理論的に導くことができた。私たちはテルツァーギの理論をもとにしたが、それは後に精密に石井靖丸博士らによって論ぜられた。もっとも地盤沈下は地下水や石油をくみあげる操作があまりに急激大量である場合は、機構が異なり式の形も変わる。しかしともかくも、私たちはこの初期の時代に、こうして結論された地下水主原因説、すなわち地盤沈下現象は人為的現象であること、そして地下水を急に多量にくみあげることから生ずるといった意見を発表し、加えてある程度対策をも示唆した。ただ当時の事情のもとでは各工場ですべて地下水をくみあげているかという資料は、残念ながらほとんど得ることはできず、この問題をもう一つ突っこむことができなかった。この揚水量については、公害問題が真剣に論ぜられる近年までなかなか正確な数字が得られなかったことから推察願えると思う。

6. 地下水主原因説について

地下水主原因説をはっきり提出したのは昭和14年2月、災害科学研究所報告第2号によってであり、この関係の報文は和達・広野「西大阪の地盤沈下の第1報」を初めとし、第2報（昭和15年9月）、第3報（昭和17年9月）である。しかしそのころから次第に戦時状態が進み、世はこうした問題を顧みる余裕もなくなった。戦争は次第に苛烈の度を加え、ついに終戦となり、そのあとは国土は荒廃し、人々は悲惨な生活に苦しんだ。窮乏の毎日にすき腹をかかえ、焼野原となった東京の町を歩くと、頭上には青空が、川の水は澄み大きな魚が泳いでいた。人工は亡び、自然は立ち戻ったのである。そしてこのとき行なわれた水準測量は、あれほど激しかった東京の地盤沈下がとまり、ところによっては、わずかの隆起を示したのである。敗戦という大きな犠牲のもとに、私が望んでいた大がかりの実験が行なわれ、地下水説が実証されたことを悲しく思った。

しかし、この地盤沈下の休止、そして鈍化と見られる状態はせいぜい6～7年のことであった。戦後の荒廃からわが国は徐々に復興をはじめ、工業が再び盛んになるにつれ

て、地盤沈下も再び起こってきた。東京でも大阪でも昭和25年にはその兆しが見え、30年には相当の勢いを示し、35年ころまでに戦前の激しさに劣らぬ、いな、それをしのぐ地盤沈下を示すようになり、そして沈下区域も新しい方面に広がり年ごとに激しさを加えてきた。そしてここきて、地盤沈下の対策が真剣に考えられる世となった。社会は公害問題を真剣に考えねばならない時代になったのである。

思えば、私たちの地下水主原因説の提出、そして地下水過剰くみ上げをやめることが、沈下対策上必要であるという意見は長い間学界にも関係者にも真剣に取り上げられなかった。地下水説を信じない人も多かった。しかし、戦後再び地盤沈下の激化を見るに及んで、ようやく、この地下水説が受け入れられるようになった。何よりも敗戦による高価な実験の結果である。

私は終戦後まもなく、江東の区役所で、天然ガスをこの地域で採取することの可否について公聴会が開かれたことを思い出す。それに私は官部さんや北沢さんと出席した。地質調査所の方々も見えていた。そこで私どもは、天然ガス採取もそれが1,000mほども深いところからの揚水であるとはいえ、ガス採取はとりもおさず多量の地下水をくみあげることになるのであるから、大量採取による地盤沈下を起こす危険性は十分であると述べ、その実施に反対した。ある専門家たちは、地層構造の見地から、また深い所からであるということから、それは地盤沈下を起こさないという見解で、天然ガス採取は差しつかえなからうという意見であった。しかし、結局東京都は都内では天然ガス採取は行なわないことに決断されたが、私はほんとはよかったですと思っている。そのことは、その後昭和32年ごろから新潟市付近の天然ガス採取による地盤沈下問題がやかましく起こり、そのあげく今日までに再三のガス採取に対する規制が行なわれて、地盤沈下を防いできたことを思うとき、感一層のものがある。

なお、私たちは昭和14年以来しばしば地下水使用制限や、特別水道制度を実施すべきことを提言してきたが、大阪においては、戦後昭和34年以来工業用地下水くみあげ規制を行ない、順次その指定地域を拡大していった。そして、一方工業用水道を建設し、昭和38年より沈下激甚地区に給水を始め、次第にその地域を広げた。私は工業用水道による給水が行なわれて、わずか1年で給水地域の地盤沈下が明らかに激減の傾向を示したことを報告会にて聞き、深い感慨を覚えたことを記憶している。この機会に、必要と認めればじん速積極的に防災対策を実行される大阪市に敬意を表したい。いうまでもなく、東京都においても、昭和40年にまず江東地区に工業用水道が完成し、順次他地区に広げている。こうして地盤対策はようやく軌道にのり進展を見せていることは、まことに喜ばしい。

7. 地盤沈下問題を回顧して

以上は私が関係してきた地盤沈下の初期の経過であるが、事実はそれからいろいろなことが起こった。その中でも新潟市付近の地盤沈下問題は大きなできごとといえる。ここでは昭和33~34年には、最大年間50cmほどの沈下が起こり、一晩寝ているうちに1mm土地が沈むとまで言われた。このときには、資源調査会にこの問題に対する委員会ができ熱論が展開された。私は同じ考えの人たちとともに、天然ガスの採取は地下約600mの深さからとはいえ、地下水を多量に揚水する点で、これまでの東京・大阪と同種の現象と見なすべきであると主張した。しかし、地質関係やボーリング関係の方々多くは、まだ調査が不十分で結論できないとこれに賛成しなかった。そのため結論が出るのに2年ほどかかった。私は新潟の地盤沈下は、天然ガス採取が盛んになるのに伴って激化したもので、昔から長い間そんなことは起こっていない。近代社会の進展に伴って起こった人工的現象であることは明らかであり、それほど厳密な再調査をするより早く対策を考えるべきであると思った。しかしそのころは、科学者の中にもさらに詳しい調査が必要であると力説する人たちがかなりあり、中には本当に地盤が沈下しているのかと水準測量の結果を否定する極端な論さえ出た。しかし、厳密な観測や試験を行なった結果、多量のガス採取、すなわち地下水くみ上げが主原因であることが認められ、ついに同地域の地下水総合規制対策がとられるようになり、今日に及んでいる。

また昭和34年の伊勢湾台風は伊勢湾沿岸地域に大高潮を起こしたが、このときの大きな被害に対して、すでに起こっている地盤沈下が問題となった。その後、同地域で激しさを加える沈下に対し、規制が行なわれ、また工業用水道が設けられ今日にいたっている。現在、地盤沈下地域は全国に及んでいるとあってよく、首都圏南部、阪神、中京、新潟、佐賀をはじめ各所に起こっており、最近では七尾市で問題となり注目をひいた。この状況に対し、地盤沈下は現在公害対策基本法に公害の一つとして取り上げられ、着々対策が講ぜられていることは喜びにたえないが、さらに完全に行なわれることを望みたい。地下水は公水として扱われるべきであるという論も出ているが、ともあれ本問題は根本的に単に地下水だけでなく地表水と合わせて、わが国の水問題の一環として対策が確立されるべきと思う。

わが国の地盤沈下の研究は、多くの研究者の努力で、今日外国にも誇り得るほどに進み、実際の対策に大きく寄与している。それらの方々の業績をこそ讃えるべきであるのに、本稿は私のかかわりあったことを主として述べたので、自分のことを回顧し書き連ねる結果となり恐縮にたえない。以下若干感想を加えるが、これとともにお許し願う。

私は自然現象を物理的に解明し、特に災害の予防に関する調査を任務としていた。地盤沈下は高潮災害の予防と関

講座

連し、私の研究テーマとなったが、調べていくとまさに人為的現象であることがわかった。当時の地球物理学に携わる者の気風として、あまり人為的な現象に踏みこむことは、社会問題と関連し、純粋な科学者のとるべき道でないように思いがちであった。今思えば、単に沈下現象の機構や原因のみにとどまらず、さらに社会的な資料により災害防止の実際に役立つよう、一層の努力をすべきであったという反省を持っている。

なお、地盤沈下のように種々の原因が複合して起こっている場合、その最も大きな役割をしているのはどの因子であるかを突きとめることの意義をも痛感した。自分のことで恐縮ながら、諸説の多い中で、ただ地下水のみを取り上げ力説することは、対策上の問題として、確信はあったが勇気のいることであった。それも長い間認められなかったのである。今日のように公害問題が強く取り上げられる以前においては、信ずることを主張し、またこれを厳密に裏づける資料を得ることが困難であったにせよ、また当局に

申し出ても耳を傾けられなかったにせよ、防災のためもっと熱意をこめるべきであったと思う。

今日、地盤沈下問題は昔と異なり、深い所の地下水揚水も行なわれ、沈下区域も広がり、各地に起こり、今まで低地の軟弱地盤に起こるものとされていたのが、比較的地盤のよいと思われる地域にまで及ぶようになった。しかし一方、この方面を研究する学者も増え、すぐれた研究が続々発表されていることは心強い。また、当局も、一般も、その現象を理解し、対策に努力している姿勢となり喜びにたえない。

8. 終わりに

この機会に本問題に対し、直接、間接に研究や調査を助けてくださった多くの方々には心からお礼申し上げ、特に、終始、協力者であった広野卓蔵博士、そして大阪の災害科学研究所の当時の所員の方々に深く感謝の意を表したい。

(原稿受理 1976. 3. 8)

技術手帳

地 殻 応 力 と 断 層 系

よじ 藤 田 至 則*

地殻応力: 地球内部では、その深さを問わず、その部分の土ないしは岩石には、重力、人為的な工作の結果、またはいろいろな要因による構造運動などによって、複雑な応力が発生する。これを地殻応力 (Stress in the crust) と呼ぶ。それは固体地球の外皮の部分にあたる地殻内部に発生する応力のことであるが、その意味を、地球内部のマントルや核にまで拡大して考えてもさしつかえない。

また、岩盤力学の分野でいう地圧 (rock pressure) と同義語と考えてよく、そこには対象のスケールの違いがあるにすぎない。

一次応力: 土や岩盤の内部には、重力による応力状態が存在している。この場合、三つの主応力はすべて圧縮応力で、引張り応力のない三軸圧縮応力状態にある。したがって、ある深さにある土や岩石には、その上位にある土や岩石の比重とその深さの積値 (単位は kg/cm^2) で表わされる垂直方向 (z 軸) の圧縮応力がかかっているはずである。また、そこに人為的な工作による、あるいは、構造運動による応力が加わらないとすれば、その場合の水平方向 (x, y

z 軸) のヒズミはゼロであり、この場合、土や岩石のポアソン比がわかれば、水平方向の圧縮応力の大きさが簡単に決まる。こうした計算からわかることであるが、それによれば、重力下における応力状態のもとでは、岩石には多少のヒズミ変形は生じるが、それは無視できる程度のもので考えてもよく、ゼロとおいてさしつかえないといわれている。このように、地殻内に存在する重力による応力を一次応力 (primitive stress) と呼んでいる。

二次応力: 一次応力下にある地殻内部の土や岩石の周辺に、人為的な工作を加えたり、何らかの要因による構造運動が加わったりすると、それまでの応力状態が乱れて、新しい応力状態が現われる。これを二次応力 (induced stress) と呼ぶ。

岩盤力学の分野では、人為的な工作を加えたために生じる二次応力のことを付加応力 (additional stress) とも呼んでいる。たとえば、トンネルや坑道といった土や岩盤の中に空間をつくと付加応力が発生し、新しい圧縮応力だけでなく、しばしば引張り応力をもたらす。周知のように、岩石は圧縮強度に比べると引張り強度は格段に小さいので、

* 理博 東京教育大学助教授 理学部