

## 地盤沈下と地下水

(大阪の地盤沈下にまつわる当時の研究)

和 達 清 夫\*

### 1. 沈下の初期と当時の状勢

今日、地盤沈下は、その主原因が地下水に関係する人為的現象であると、一般に考えられるようになった。そして地盤沈下といえは、地表に近い地層が収縮する人為的現象のことを意味し、地球物理でいうところの自然現象である地殻変動とは、はっきり区別している。その地盤沈下なる現象について、当初より今日までの経過を、筆者らの関係してきた面を中心として以下に略述する。

地盤沈下現象が強く注目され始めたのは、東京では大正12年の関東大震災直後、大阪では昭和3年の丹後大地震前後であり、思えばそれは日本の工業の発展期にあっていた。水準測量結果から地盤沈下が東京に、そして大阪に顕著に起こっている事実が報告され、それを、ある地震学者が大地震の前兆と懸念し、精密な水準測量が反復実施され調査が進められたが、それは一方で住民の不安を高めることとなり社会問題となった。

そもそも、沈下現象はそれ自身災害である。土木・建築に対する悪影響はもとより、地面が低下することは浸水・排水に問題を与え、とくに昭和9年の室戸台風による高潮は、西大阪の低地に当時すでに相当進行していた地盤沈下が、その被害を増大させた。わが国では台風にもなると大災害が高潮によってしばしば起こることから、地盤沈下対策は防災上きわめて重要となり、この方面からも沈下現象の機構と原因の解明が強く要求されることとなった。

### 2. 沈下原因諸論と地下水説の提唱

地盤沈下は地表面に近い浅い地層内に起こる現象であることは、サク(鑿)井管や基礎の深い建造物の浮上現象から、昭和10年頃には見当がつけられ、大地震とは一応切り離して考えてよいことはわかった。東京においては宮部博士などにより本現象の研究が行なわれていた。筆者らは、昭和11年室戸台風を契機として、大阪に日本学術振興会により災害科学研究所が創設されるにあたり、同所第1部(地球物理関係担当、当時の中央気象台

大阪支台内に設置)の所員として赴任するや、地盤沈下現象を重要研究題目としてとり上げ、研究を開始した。

その頃関係学者から出された原因説はいろいろあり、(1)地塊運動説、(2)土層の自重による圧密作用、(3)地表の重構造物や埋立などによる作用、(4)埋立土自身の緊縮、(5)地下噴気圧低減、(6)雨水浸透の減少、(7)帯水層中砂のくみ揚げ、(8)交通機関または地震の振動による緊迫など、そして、(8)地下水位降下による(i)電解質増加、(ii)浮力減少、(iii)圧密加速などが、単独または複合作用としてあげられた。

筆者らは、まずその実態を知るために、今日広く設置されている沈下計(沈下および地下水位観測井)の第1号とも称すべき装置を、昭和13年5月、港区天保山に二重管式深さ35mのものを考案、設置し観測を始めた。また大阪市土木部が九條小公園内に設置した100, 200, 600尺の3本のサク井管について大阪市の観測に協力し、これらの観測値を毎年行なわれる詳細な大阪市付近の水準測量結果と合わせて研究資料とした。そして研究結果を昭和14年2月“西大阪の地盤沈下について”(第1報)<sup>1)</sup>によって発表した。この論文の中に、地盤沈下は、地下水位低下による表層の圧密加速現象とする説をたて、これを主原因と見るべきことを述べた。結びの対策論において“それにはまず地下水の降下を防ぐことが急務である。すなわち地下水の使用の禁止実行である。これは特別水道制度によって可能性を有する”。と述べている。近年ようやく工業水道が施設され、使用されるようになったが、その間30余年地盤沈下は(戦時中をのぞき)進行を続けたことを付言したい。

当時の西大阪の地盤沈下は、激しいところで明治以来の積算沈下量は約1.2m、年間沈下量10~14cmで、東京の状態と似ていた。筆者らの研究は、さらに同題目による第2報および第3報<sup>2)</sup>をもって報告し、地盤沈下

1) 広野卓蔵・和達清夫“西大阪の地盤沈下について、第1報”，1939年2月。  
2) 日本学術振興会・災害科学研究所報告第2号1~57ページ。和達清夫“同上、第2報”，1940年9月、同上第3号1~41ページ。和達清夫・広野卓蔵“同上、第3報”，1942年9月、同上1~33ページ。

\* 埼玉大学学長・理博

はその主原因が地下水の過剰くみ揚げによる地層の収縮であり、人為的現象であることを観測値および理論によって結論した。

### 3. 地下水主原因論について

現在からみれば、わかりきったことになぜそれだけの努力と慎重さが必要であったかということは、一つには前述の大地震説もあったことであるし、たとえそれを否定しても、多くの関係者のそれぞれの説もあり、また多種の原因の複合による複雑な現象として議論される状態にあったからである。筆者らは、現象はたとえ多種の原因が預るにせよ、機構を究明し、それをひき起こす基本的な原因を求めの方針をとった。そしてその意味の主原因を決定するにあたっての第一の根拠は地盤沈下と地下水位との間にあるきわめて顕著な相関を見出したことにある。

筆者が測定結果より導いた地盤沈下と地下水位との関係を示す基本式(第2報)は、

$$-\frac{dH}{dt} = k(p_0 - p) \quad (1)$$

ここで左辺は地盤沈下速度であり、 $p_0$ は標準地下水位、 $p$ は現在の地下水位、そして $k$ は常数である。すなわち、地盤沈下曲線と地下水位曲線とを並べて比較した場合、一見その間の関係は見出し難いが、地盤速度(たとえば5日ごとの沈下量)と地下水位を比較するときは、きわめて明らかに顕著な平行性のあることに着目し、その観点から標準水位(その水位があれば、地盤沈下は起こらない)が導入されたのである。これは大阪および東京双方における測定結果についてよくあてはまり、これを本現象の基本式とし、また一方、地盤沈下の機構の解釈の根拠としたのである。その機構については、筆者らは第3報において理論的に取り扱い、テルツァーギ氏のこの方面の理論を拡張した形によって示した。すなわち地盤沈下と地下水位との動力学的な関係を、

$$\left(E' + \sigma' \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{\partial S_h}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_0^h w dx \quad (2)$$

の形によって示した。ここで $E'$ は圧密弾性係数、 $\sigma'$ は粘性係数ともいふべき土質による係数、 $S_h$ は地表面沈下量、 $x$ は深さで $x=h$ は地表面をあらわすものである。この式は前式(1)の観点から、テルツァーギ氏の式に粘性の項をソウ入したもので、われわれが問題にしている地盤沈下現象を扱う場合は、これが大きな役割をなしている。

実験室によって得られた土質に関する数値をもって、この式が実際の沈下現象を表現していること、また逆に沈下現象から $\sigma'$ を求めた。そして地盤沈下現象を扱う場合は、これが大きな役割をなしている。

土質に関する実験室によって得られた数値を用いて、

この式が実際の沈下現象をよく表現していること、そして $\sigma'$ の値は沈下現象から求めた。そして地盤沈下はある程度進行したものは、後に地下水位が標準水位以上に増加しても、沈下は停止するが、隆起はきわめてわずしか起こり得ないであろうことを述べた。

なお、昨年の地盤沈下国際シンポジウムにおいて、米国の学者は、簡単に、地盤沈下空間とくみ揚げ水(または石油)量との比を目安として論じていたが、これは前掲(2)の実験式に含まれている。なお地層の性質は非常に多種であり従来わが国では $\sigma'$ が重要な役目をする実例が多かったが、 $\sigma'$ が小さい土質の場合においては、(1)式を一般化した実験式が成り立つであろうことを付言する。

### 4. その後の経過

上述の筆者らの地下水位低下による圧密加速説は、それが発表された頃は、いろいろ議論があつて学界や一般から容易に受け入れられなかった。また一方筆者らも、地下水位低下主原因説、すなわちこれは地盤沈下は人為的原因によって起こった現象であることを十分に立証するためには、実際にどれだけ、どのように地下水がくみ揚げられているかを知る必要があつた。当時それを、とくに諸工場等から求めることは非常に困難であり、筆者らは単に間接的に見当をつけることに努力した。いま思えば、この時代にもっとその方面の調査に力を入れるべきことが反省されるが、この問題は現在においても、必ずしも容易であるとはいひ難いであろう。

それよりも、この時代に、わが国は次第に戦時状態に入りつつあつたので、地盤沈下の問題は一般からそれほど関心を持たれないままに過ぎた。そして戦争は終り社会活動はいちじるしく衰え、地下水の使用もほとんどない状態で、ここに一時的な地盤沈下停止という時期がきた。

戦後の水準測量において、地盤沈下は東京・大阪ともに停止し、ところによってはわずかに隆起を示すものさえあることが見出され、一方地下水位は相当に増加していることがわかった。この事は筆者らの説を裏付けるものであり、ここで始めて地下水主原因論は一般に認められることとなった。

その後わが国の復興はめざましく、工業は戦前をはるかにりょうがして発展するとともに地盤沈下は再びさかんに起こり出し、その激しさは戦前以上のものとなった。そして東京・大阪ともに沈下区域は拡大し、新しい地域にも沈下現象が起こるようになり、一方では新潟地域における天然ガス採取にともなう急激な地盤沈下が生じたことなど、そして現在においては、その対策として地下水くみ揚げ規制や工業用水道の設備がなされ、それが効

果を示しつつあること、また地下へ水を人工注入する実験が行なわれるなど、当局もその対策に積極的に取り組みつつあることについてはよくご存じのところと思う。

## 5. おわりに

以上地盤沈下に関する今日までの経過を回顧し、今や国内はもとより、国際的にも本現象が協力して研究され対策が真剣に講ぜられるようになったことを思い、まことに感慨に耐えぬものがある。

始め大地震予知問題として、そしてつぎに高潮被害防止のため、そして土木建築等の問題として、防災の立場から筆者らは研究を始めた。しかし自然現象を研究対象として来た地球物理学分野の者として、この現象そのものが人為的原因によって起こされたものであることは突

きとめたが、その扱いはやはり地球物理的といえよう。対策などの関連についてさらに深く立ち入ってはいない。そうした研究の進め方については、少なくとも当時としてはそうであったとして、今日にしてみれば、もっと実際に、効果的に一日も早く防災の実を結ぶような努力が考えられるかも知れない。地下水に関する資料についても、土質等についても関係工学方面との接触や協力において、もっと積極さが必要ではなかったかと反省される。

今日、境界領域における研究において、そして一方研究者の社会的責任について論ぜられていることを思うとき、またこの地盤沈下問題が重要な公害問題の一つに取り上げられ、国際的にも研究が発展しつつある現状を思うとき、筆者らは、深い感慨と反省とを覚えることを付記し、本文を終わることとする。(1970.6.10)

## → 新刊紹介

### The Geology of Western Europe (西部ヨーロッパの地質)

著者 M.G. Rutten

国立ユトレヒト大学地質学教授 発行 ELSEVIER PUBLISHING COMPANY 定価 7,000 円

ヨーロッパは地質的にみた場合、東部が比較的単調な構造であるのに対して、西部は非常に複雑な構造を有している。また地質学が生まれ、発展してきた所でもあって、北欧のスカンジナビア半島における世界最古の大陸であるフェノスカンジア楯状地を核として発展してきたヨーロッパの地史は、そのまま地球の歴史の標準であり著名な地質上の模式地、構造の典型がいたる所にある。

本書は著者が客員教授として、米国ミシガン大学でヨーロッパの地質に関する講義を受け持ったことから、アメリカ的地質学とヨーロッパ的地質学の質的な違いを肌で感じた結果、執筆されたものであるという。著者は序文の中で、その経緯を述べているが、旧大陸は新大陸とくらべて2世紀も遅れてしまったと極論をはいている。つまり、伝統ある地質学の本家は新進のアメリカに先を越されたが、そうなるのが当然だったと反省し、新大陸の見方の必要性も説いている(それが何であるのかという観点に立つ、記載的、岩石学的なアプローチのしかたであるが)。

本書の意図した所は、前記の反省にたって、西部ヨーロッパの地質の全体像を描こうということと、本書によって紹介された地質学上の問題点について、興味があり、もっと突っ込んだ研究をしようとする人のために、関係論文、主要文献を数多く収録してあることである。

本文だけでも400ページを越す大冊ではあるが、西部ヨーロッパの詳細な地質的紹介には、とてもこのページ

数では十分とはいえないであろうことは、著者も意識していて、要領よく焦点をあわせてまとめあげているようである。

全部で18章からなり、第1章は序説として地域の大区分を試み次章以下への導入部としている。全体的には地質時代の古い地域から新しい地域へと論を進めている。第2~3章、北部ヨーロッパ、ここでは先カンブリア系の岩石からなるフェノスカンジアたて(楯)状地と、これを核として発展したカレドニア造山地域について述べられ、造山輪廻論、縁海タイ積物の特性、スカンジナビアの後氷期における隆起運動等に言及している。

第4~7章ヘルシニアン・ヨーロッパ、ここでは古生代に生成した地層からなる地域を紹介し、各地質時代の地層の地域的特性、特異な構造を記載している。

第8章はフランスの中央地塊の大底盤について構造論と問題点を紹介。

第9~16章は、紙数の約1/2を割いて、ヨーロッパアルプスの全ぼうを詳細に紹介し、本書の主要な部分を占めている。地質術語の由来についても学ぶ所が多いであろう。第17章は低地について、割合に簡単に記載してある。

第18章は新期の火山に関する総論である。

本書が上し(梓)されたのは1966年であり、その後1968年に行なわれたプラハでの第23回国際会議のために準備された重要文献名が追録されている。(工藤浩記)