

# 水と地盤

—地質調査技士講習会における陶野郁雄氏のご講演から—

技術委員会

地質調査技士の資格を取得してから、5年毎に実施される登録更新講習会が実施されました。講習会は、テキストにそった講習と協会独自企画の講習会です。当協会の独自企画として、国立環境研究所の陶野氏による講演を依頼しました。

日 時：平成11年11月4日（木）～5日（金）  
演 題：水と地盤

講 師：環境庁国立環境研究所

陶 野 郁 雄 氏

## 講師略歴

1941年	東京都文京区で生まれる
1966年	山形大学文理学部理学科卒業
1967年	文部教官 東京工業大学工学部建築学科助手
	東京工業大学大学院総合理工学研究科助手
	東京工業大学工学部建築学科助教授
1981年	総理府技官 国立公害研究所水質土壌環境部地盤沈下研究室長
1990年	国立環境研究所水土壌環境部地下環境研究室長 現在に至る（工学博士）

## 「水と地盤」講演の要旨

### 1. 地盤の基本的性質

地盤とは、地球の表面を構成している地殻のうち、表層から人間が利用しているか、利用する可能性のある深さまでの地層のことという。地盤のうち、固結した岩石からなる地層を岩盤、未固結な堆積物からなる地層を土質地盤ということが普通である。

### 2. 土と堆積物

堆積物とは、岩石が崩壊して作られた碎屑物・生物の遺骸・火山噴出物などが水中か陸上で物理的化学的に沈殿し、堆積したもののことである。つまり、風化作用や浸食作用によって生成された粘土・砂・礫などが河川や海流によって運ばれ、海や湖の底に沈んでたまたものを堆積物と呼んでいる。堆積物は通常、常温・常圧下で生成されるが、その堆積物が続成作用によって再び石化し、固化することを固結といい、いまだ固結していない堆積物のことを未固結堆積物という。

土は学問分野によって見方が少し異なるが、未固結な堆積物に対して的一般的な名前といえる。一方、固結した堆積物のことを一般に

岩または岩石と呼んでいる。したがって、土は岩石の崩壊や有機物の分解などによって生成された未固結な物質であり、地殻の表層部を構成している物質の中で、硬い岩石を除いた物質に対して付けられた名前といえる。ただし、古典的な地質学では、未固結な堆積物に対しても、堆積岩と称することが普通であったが、現在の第四紀地質学では、未固結な堆積物は、堆積岩の中に含めなくなっている。

土の成因を土質工学的に分類すると、無機質土と有機質土に大別することができ、堆積学的に分類すると、定積土と運積土とに大別することができる。無機質土は、岩石が物理的化学的作用を受けて生じた土であり、土の大半は無機質土である。有機質土は、植物が腐植してきたもののように、生物の遺骸が生物化学的作用を受けて生じた土であるか、あるいはそれを多量に含んでいる土のことである。定積土は、岩石や生物の遺骸が存在していた場所で生じた土のことである。運積土は、水や空気によって運ばれてから堆積した土のことであり、土の大半は運積土である。運積土の中には、崖錐堆積物のように斜面が崩落して生じた崩積土、地すべりによって生じた地すべり崩土、主に火山灰が積もってできた火山性堆積土、砂丘のように風によって運搬されてできた風積土、河流や海流によつて運搬されてできた沖積土などがある。

### 3. 地下水

地表面より下に存在している水を地下水

(ground water) と呼んでいる。言い替えれば、地下水は地盤内の土粒子の間隙に存在している水のことである。したがって、地下水は自然のままではほとんど見ることができない水である。ただし、鍾乳洞の中を流れる水のように、岩盤内の亀裂や空洞に存在している水も地下水の範疇に入るので、地下水を実際に見ることができる場合もある。通常、地下水下面の土の間隙は水で飽和されているので飽和水であるといえる。

また、地下水は、成因・深度・賦存形態・被圧の有無・循環の程度などいろいろな方法で分類することができる。このうち、地盤沈下の要因に関する場合のように工学的な意味合いを持たせるときには、被圧の有無による分類、すなわち不圧地下水・被圧地下水という分類が最も一般的である。

#### 3-1 不圧地下水

地表面下のそれほど深くないところで水面をもっている地下水のことを不圧地下水と呼んでいる。不圧地下水の水面は、大抵の場合、地盤の間隙を介して河川水や湖沼水などの地表水と通じている。この地下水は、地表水と同様に、水面が大気と接し、重力の作用によって流れしており、押さえつけられていないことから不圧地下水と名付けられたようである。

また、不圧地下水は、重力の作用によって自由に移動できることから、自由地下水とも呼ばれている。

### 3-2 被圧地下水

粘土層のような透水性の悪い地層の下に、砂礫のように透水性がよくてしかも間隙が完全に水に満たされている地層がある場合、透水性のよい地層の間隙に存在する地下水を被圧地下水と呼んでいる。このような地盤に井戸を掘ると地下水が噴き上げてくることがある。この地下水は、押さえつけられて被圧されていることから被圧地下水と名付けられたようである。被圧地下水は、その地層の中では地下水を見ることができなく、地表から貫通させた井戸の中でしか見ることができない地下水である。

被圧地下水は、加圧層と呼ばれる難透水層によって遮断された地下水で、一定の圧力水頭をもっており、揚水などによる外界からの力がかからない限り水頭は一定の圧力を保っている。

### 3-3 帯水層と難帶水層

土質地盤は、地層を構成する土粒子と土粒子間に存在する間隙とによって構成されている。地下水面上にある地層中の間隙は、水によって満たされており、しかも、土粒子間の間隙を連続してつながっている。

地盤を構成する地層の中で透水性がよく、地下水が循環しやすい地層を帶水層、その逆の性質を有する地層を難透水層と呼んでいる。また、帶水層を貯留層、難帶水層を加圧層と呼ぶこともある。

### 4. 土の力学的性質

土は固相（土粒子）・液相（水）・気相（空気）の3相からなっているが、地下水面上の土は気相を含まないのが普通である。また、土の骨格や気相の圧縮率は、固相や液相のそれと比較してけた違いに高い。したがって、気相を含まない地下水面上の土が圧縮するということは、土の骨格が圧縮するといつても過言ではない。

地下水面上の粘土（飽和粘土）層が圧縮して起こる体積変化のほとんどは、間隙水が移動することによって生じる。この体積変化は骨格構造の単純な圧縮だけではなく、土粒子自体が移動することによっても生じる。このような圧縮のことを圧密という。つまり、圧密現象とは、透水性のわるい粘土が外力を受けて間隙水を少しづつ絞り出しながら長い時間かけて体積を減らしていく現象である。

### 5. 地盤沈下

地盤沈下（Land subsidence）とは、文字どおり地盤が沈下する現象のことをいう。つまり、地表面の標高が低下することである。ほかにも地表面の標高が低下するときに用いられる言葉として陥没がある。一般的には陥没はきわめて短時間に地盤が沈下する地盤の破壊的現象の際に用いられるのに対して、地盤沈下は比較的ゆっくりと長い時間かけて地盤が沈下する非破壊的現象に対して用いられる。力学的には陥没は地盤のせん断破壊の現

象、地盤沈下は地盤の圧縮・圧密的現象であるといえる。

地盤が沈下する理由としては、自然現象によるものと人為的な現象に大別することができる。自然現象としては、造盆地運動などの地殻変動によることが多く、大地震の際にしばしば生じる地盤沈下もこの範疇に入る。人為的な現象としては、建設構造物や盛土の重さによって地盤に新たな荷重が加わる場合と、地下水を採取するなどして地盤内の有効応力が変化（増大）する場合がある。建設構造物や盛土による地盤沈下は、建設構造物や盛土の直下で著しく、その影響範囲は建設構造物や盛土の近傍に限られ、地層の収縮も地表面近くで著しく、あまり深いところまでは影響を及ぼさないのが普通である。これに対し、地下水の採取による地盤沈下は、揚水によって地下水圧が低下したところで生じるため、広範囲にわたって影響を及ぼすことになり、地層の収縮も地下水を採取した帶水層の一つ下の（深い）帶水層から地表面まで生じるのが普通である。このように一口に地盤沈下といっても、建設構造物や盛土の重さによるものと地下水採取によるものとでは、地表面における広がりや深さ方向の広がりが極端に異なっている。

一つの揚水井戸でも広範囲にわたって影響を及ぼすのに、さらに複数の揚水井戸が互いに影響を及ぼし合うことになると極めて広範囲にわたって影響を及ぼすことになる。この

ように広範囲にわたって生じる地盤沈下を広域地盤沈下といい、狭義の地盤沈下はこの広域地盤沈下をさしている。

## 5-1 地盤沈下の特徴

地盤沈下は、その進行速度が比較的緩慢であり、発見が遅れやすく、しかも一旦地盤沈下が生じると、ほとんど回復が不可能である特徴を有している。

地盤沈下は、非常にゆっくりと長時間にわたって進行していくため、建物が多少抜け上がっても、排水不良があっても気を止める人は少なく、発見が遅れがちとなる。しかし一旦地盤沈下が生じると、ほとんど回復が不可能であるという特徴を有している。ただ、海に囲まれたイタリアのヴェニス市のように、1cmの沈下でも大問題になるところもあれば、内陸盆地のように10cm沈下してもそれほど問題にしないところもあり、地盤沈下の問題は沈下量だけで推し量られない面もある。

地盤沈下は、適宜災害防止対策を行うことができるので、災害に至らないことが多い。地盤沈下災害は、地震・集中豪雨などに伴って複合的に生じることが普通であり、時には大災害に変身することもある。特に、地震や台風などの集中豪雨に見舞われると、地盤沈下地域では大災害となることがあり、しかも、地盤沈下を生じていない地域と被害の程度に著しい差が生じる。

## 5－2 地盤沈下の原因

地盤沈下は、主に地下水の過剰な揚水によって地下水位が低下することに起因して、地盤が圧縮・圧密されるために生じる現象である。

被圧地下水を過剰に採取すると、砂・礫層（帶水層）の水圧が低下（地下水位が低下）し、砂・礫層を挟む上下の粘土層（難透水層）の間隙水が砂・礫層に排出され、粘土層が収縮することによって、地盤沈下が生じる。

## 6 複合災害

地震災害・火山災害など単独で取り扱える災害でも、その規模が大きくなるに従って、個別の取り扱いでは不十分となり、総合的に考えていく視点が必要となる。

一つの災害事象が別の災害事象の発生誘因となって災害が拡大していく場合、一次災害の拡大要因となる場合、複数の災害事象が同時に発生する場合、一つの災害事象から二次災害・三次災害へと発展する場合などを総称して「複合災害」と呼んでいるが、これらの事例を整理することは総合的な災害予測を考えるために重要である。

別の災害発生誘因となる場合として、火山活動に伴う地震災害、火山活動に伴う津波災害、地震による地盤沈下、人工的な原因による誘発地震、海面上昇による相対的な地盤沈下などである。

一次災害の拡大要因となる場合として、降雨後の地震災害、地震後の降雨災害、地盤沈下地域の降雨災害、地盤沈下地域の地震災害、

地震による火山性堆積層の崩壊、流氷による津波災害、火山活動による泥流災害・火山火災、湖岸・海岸・海底での噴火災害などがある。

二次災害・三次災害へと発展していく場合として、地震火災、地震水害、火山噴出物の上層大気への注入、火山泥流・土石流、火山灰・火山ガスの影響、火山活動の地下水への影響などがある。

また、積雪・凍結時の地震あるいは地震火災中の降雨のように、複数の防災事象が同時に発生したため災害が低減される場合もある。

## 7 ゆれる大地すべる大地…地盤の災害

我が国ほど様々な自然災害が数多く発生する国は他にはないようである。記憶に残る災害がいくつも発生しているが、それでも20世紀は我が国災害史上最も大災害が少なかった世紀といえそうである。特に、1950年から1990年にかけて災害が非常に少なく、このことが第二次世界大戦後の急速な復興、経済発展に繋がったといえる。

自然災害による人的物的損失を防ぐには、予知と防災対策が両輪となる。完全に予知ができる日が来れば、それまでに避難することなどにより人的な防災対策はいらなくなるかも知れない。でも、その日が何時になるか今のところ分からぬ。21世紀を生きる若者に期待しよう。防災をより発展させるためには、最新の地球科学的知見を的確に地盤工学に反映させていかなければならぬ。