

## 臨海平野部の 地盤沈下について

小 鯛 桂 一

大都市周辺において地盤沈下が起こるたびに 新聞紙上などですぐ話題になるが 最近ではそれも慢性化したせいも真新しいニュースとして 驚きの念で受けとれないきらいもある。新たな工場用地の対象として発展し続けているデルタなど臨海部低地のうちで 地盤沈下を起こす幾つかの条件をすでに持っていて 将来新たに問題となるであろう地域も幾つかあると思われるので これらについて考えてみることにしよう。

地盤沈下といっても これは自然的なものと人工的なものに区別できるが 前者のうち地殻運動に関連した沈降は 一般にかなり長期的なもので 数10年といった期間でみればごくわずかな量にすぎなくて 短期間で急激に沈降が起こるものとして大地震のさいの地向斜的沈降が関係する場合もあるが 今回は この問題にふれないで後者(人工的)として石炭の採掘などに関する鉱害によって地盤が陥没・沈下を生じる場合(夕張・筑豊・常磐などの例)も その被害が鉱区範囲内にとどまるのが普通であるが 臨海部の大都市など厚い第四系地層からなる地区で起こる地盤沈下は 多くの工場が多量の地下水を汲み上げるために起こるものといわれており ここには工場だけではなく 国民総人口の大多数が生活しているということ そしてひとたびここに豪雨や津波がおそった場合の被害を考えると その予防対策が重要な問題になることはいうまでもない。

過剰揚水による地下水位の低下のために起こる地盤沈下は 土質力学的にいうと多くの場合一次圧密現象であり 従来テルツァギが地層中の過剰水圧の増減によって説明し うち出した微分方程式を引き継いできており この式を構成する粘土の圧縮性( $m_v$ )と透水性( $k$ )が一定という仮定が普通粘土の場合は $k$ と $m_v$ がいずれも圧密中に減少し その比の変動は $k \cdot m_v$ 自体の変動に比べて小さく 密度 $\gamma_m$ ≡一定とすれば圧密係数 $C_v = k/m_v$ ≡一定で事実上の不都合はないが 軟弱粘土の場合は $C_v$ が圧密中に著しく変わるのでこれを無視できないことが解かり 最近では全ての場合を包含できる新しい基本的な指導原理として 圧縮歪( $\epsilon$ )自体をもとにした単純式  $\partial \epsilon / \partial t = C_v \partial^2 \epsilon / \partial z^2$   $d\epsilon/dz = v_0/C_v$  から発展

させた理論式を用いるようになってきた。そして圧縮歪の圧密による変化として $C_v$ 値の変化が3倍あるいは $1/3$ 程度以下のときは 平均の $C_v$ 値を用いて $C_v$ ≡一定と仮定して計算した結果と比べて時定数( $T$ ) 圧密度( $U$ )曲線の形がいくらか変わるぐらいで  $T_{90}$ の時点ではあまり影響がなく これを無視しても事実上さしつかえない。粘土層厚さの変化が10%程度以下のときもこれを無視できるので 単純式をそのまま適用しても問題がないことが解っている。しかし $C_v$ が一定でない場合で $k$ の減り方より $m_v$ の減り方が激しいとき( $C_v$ 増)は圧密度はやや大きくなるし またこの逆の場合も定性的にはいえる。

一般に大都市で起きている地下水汲み上げに原因する地盤沈下について解析する場合は すでに自重と上載荷重による圧密を終えた粘土層が その下部帯水層水位の低下によって圧密されるケースになるが 実際には自重の影響や層厚変化の影響などは無視できる程度に少なくなるので これらを考えない計算式で処理して十分であるともいわれている。このような地域を平面的・立体的にみるために排水効果から実験的に調べたところでは対象範囲外にも広く影響が現われており 範囲内でも端に近い方は逆に外からの影響で圧密量が減っている結果が発表されている。実際の地盤沈下を地質構造的に考えた場合 その範囲は地下水系と大きな関連性をもつものと思われるが 地下水流の上流において地下水の使用が盛んであれば 必然的に下流域において水位が低下し そこでは地下水が使用されていなくても沈下が起こることになる。この問題に関しては地質学的にまだ幾つかの疑問も提起されており今後の研究課題でもある。また他の研究例として宮部直己氏が東京における深さの異なる観測井を近接して設置した場所で 地層の局部的収縮について行なった研究結果は 最上部層の地層の収縮は著しく減少し 多くの場合対数曲線的に減少しているのに対して 深層部で収縮が依然として進行していることがわかり 最上部地層の減退はその下部の帯水層における水の枯渇に関連しており 深層部における収縮の進行はその下部の帯水層の水圧がまだ十分高く その増減の影響が深層部の収縮量変化に直ちに反映し得る状態にあるからであると考えられていて 臨海部低地の深層部が多くの場合地質的に洪積層であるために 洪積層の沈下量が予想以上に大きいといわれる由縁でもある。

以上のように 臨海部低地における沈下の見透しは大勢として地下水位の見透しということにもなるが 各地域の沈下量の違いは主として地質の相違を解明して初め

て説明可能であり 結局 地質構造にまで論及すべき問題になる。

地質調査所では 昭和35年度から42年度までに 25地区の臨海工業地帯において地下構造調査を実施したがこれに伴う深度100~200m級のボーリングが1調査地区に1~3井 合計45井を 地質柱状・地盤強度・土質試験値・揚水試験等一環した基本データを得るために掘さくした。このうちの土質試験結果から 礫・砂の層の間にある粘土を主とした土質に対して間隙比( $e$ )を算出できるが 圧密に関する粘土のいろいろな性質はその粘土の骨組みの状態によって異なり この場合体積比( $1+e$ )によって定まるから その性質上すべて圧縮歪( $\epsilon$ )の関数として表わせるので 土質的にその地域の沈下度合いを予測するのに都合がよい。一方各地下構造調査ボーリング井で深部の新帯水層(おもに洪積砂礫層)の開発をおもな目的として実施した揚水試験と同じストレーナー部を対象としてその後自己水位計による水位観測を2年間にわたって実施している。これらの井水位観測データを種々勘査した結果 年間における水位変動は 夏高冬低型の周期性・夏低冬高の周期性・非周期性の3種に大別され その他 日・週・月間の変動についても各地点によって特徴をもっていて 一般に臨海平野部の被圧性常水位変動は おおむね潮汐・揚水・気象(おもに気圧)の各変動に影響されていて とくに中国・四国・九州地方では大きい潮汐振幅のために その影響も顕著であることがわかった。しかし帯水層が海との接触面で難透水性であったり 遮閉していたりする地域では 海水重力が弾性的にのみ作用するために水位変動に与える潮汐影響度の大小が海水浸入度と比例するとは限らない。

一般に水位変動におよぼす各因子の影響度は 地下構造形態・港湾形態・帯水層の透水性・水位観測地点から海岸までの距離等の条件によって異なってくるものと考えられる。著者は「水位観測結果に基づく本邦臨海部被圧面地下水井の水理学的考察」の報文中において各地区の特徴を考えながら 井水位と潮汐の調和常数値比較・井水位の非調和解析・井水位低下量の統計的解析などの方法によって平均水位低下量・帯水層構造・潮汐 夏季過剰揚水および気圧の各影響度などについて検討した結果を報告している。このように現段階である程度の臨海部井水位の解明はなされたが 理論上そうであるが実際上もその水位低下量と地盤沈下を結びつけて考えた場合に 水位の変動速度に比べて沈下速度の方が早く起こり また水位低下の際の沈下量に比べて水位上昇の際の地盤上昇量は桁はずれに小さく 一たん圧密をうけた

地層はほとんど回復しないのが普通である。

25地区の臨海部工業地帯における水位観測結果に基づいて検討した結果では 現在あまり帯水層の海水浸入がなくて 平均静水位が海水準に比べてかなり低い地区・地点として 新潟東港地区・東駿河湾地区の吉原地点・衣浦地区の半田と碧南地点・豊橋地区・伊勢湾北部地区・桑名四日市地区・東播地区の加古川地点・有明長州地区などが挙げられる この中にはすでに沈下を生じている地区・地点も含まれている。一般に臨海部の地盤沈下地帯の平均静水位は 海水準に比べてかなり低く帯水層中に海水の浸入をあまり受けていないという点をとくに留意すべきであるが 同一地域でも海寄りでは海水の浸入があつて 内陸寄りでは認められない場合もあり 土質性状の差や水位差などと合わせて 平面的に検討することが必要であると考えている。この他に 地域的にみて現在ではまだ平均静水位が高く 揚水試験結果から水質・水量ともに良好なところは 将来さらに揚水量の増大が予想され それに伴う水位低下も考えられるが 多少とも帯水層中に海水浸入をきたしている地域では 過剰揚水に伴って  $Cl^-$  濃度が増大し(海水が地下水中に浸入する場合 地層そのものに吸着される成分があつたり地下水と混って稀釈されてしまつたり あるいはまたイオン交換を行なつたりして少しづつその化学成分が変わってくるが いままでの地下水に比較してとりわけ顕著に  $Cl^-$  成分が増加する) 海水の浸入度を増大させ水質が劣化するために 揚水使用目的が冷却水程度に限られてくるので その量も漸減するであろうし 対象帯水層の透水性が極端に悪くない限り水位の人為的低下はあまり生じないものと思われる。

現在すでに地盤沈下が生じている地域などでは その防止と地下水の保全を兼ねた対策として 地下水の使用を規制し その代わりに工業用水道を敷設する方法や 帯水層に他の水を注入して地下水位の低下を防止する方法などが 研究実施されていて かなりの効果を挙げているところもあるが 今後新たに地盤沈下が予想される地域の沈下機構について 地質構造的に考えようとする場合に まだ疑問の点も少なくないので さらに具体的な解明のための研究を行なっていくと同時に この地域の監視を強化していく必要があるものと思っている。

(筆者は応用地質部)

## 文 献

- 小綱桂一(1968): 水位観測結果に基づく本邦臨海部被圧面地下水井の水理学的考察 地質調査所月報 第10巻第7号
- 三笠正人(1963): 軟弱粘土の圧密(新圧密理論とその応用) 鹿島研究所出版会
- 宮部直己(1967): 土層の局部的収縮の研究(東京の地盤沈下に関連して) 東京都土木技術研究所報告 第44号
- 広野卓蔵(1953): 地盤沈下について 地学雑誌 62-4
- 藤田延男(1960): 地盤沈下と地下水開発 理工図書