

東京の地盤・地質と土木工事

東京都土木技術研究所地象部地質研究室

主任研究員 青 木

滋

1. 地盤条件の重要性

東京のような過密都市、大都市では、経済の高度成長に伴って人口が集中し、都市交通も驚異的に増大しているが、これによって、住宅やビルの新築・高層化、道路の拡幅・整備、地下鉄の増設、上・下水道の布設、河川の改修など、民間、公共を問わず、活発な建設工事が都市域で行なわれている。

建設工事にあたって、工事個所の地盤の様子を知ることが、築造する構造物の安全性はもとより、施工の工費や工期にも関係する基本的条件の第1であるが、このことは、何も都市域で行なわれる建設工事だけにかぎられたものではない。しかし、昨今、都市土木などに関係した地盤の問題が再び注目されはじめたのは、主として都市という環境条件の中で施工する場合の安全性（工事個所はもとよりその周辺地区の安全性）や構造物の長期的な安全性に対して、地盤の性質が占める役割を無視できなくなってきたためと考えられる。すなわち、密集した家屋に近接した場所や、道路交通量のはげしい場所で工事を施行する場合、都市域以外では、あまり問題にならなかったささいな変化が、周囲の環境や物件に大きく影響し、災害や公害として工事施行に大きな支障をきたす例が増加していることである。このことは、最近の都市土木工事に伴う公害の状況をみても明らかであろう。

工事に伴う公害（災害）には、騒音・振動のほか、地盤の沈下・変形、地下水低下など、地盤や地下水が関与している現象が少なくないし、また、現場の事故例としても沢山の事例がある。

第2に、上記の問題に関連して、天然地盤の良否が都市土木の工事や災害に密接な関係をもってくることはもちろんであるが、既存の市街地の地盤には、自然的な堆積土だけでなく、人為的に生成された土層や異物が含まれており、ある場所では、既存

の地下構造物や埋設物が地盤の主要な構成物を形成するという特徴があることである。このような都市地盤の特殊条件を考慮せずに、都市土木の施工は困難であることはいうまでもない。

第3に、都市土木に関連した地盤の問題には、地盤の変化があげられる。たとえば、東京下町の地盤沈下の例でもわかるように、都市地盤は、地下水の揚水という他の人為的原因によって、自然地盤の圧縮の速度をはるかに上まわる速度で圧縮され、地盤の高さが低下していく。このような緩慢な変化のほか、江戸時代から続いている埋立て・盛土や、宅地造成に伴う切り取り・盛土、戦争中につくられた防空壕はもとより、くり返し行なわれる建設工事における地盤改良・掘削・埋戻しなど、地盤は、同一の条件でとどまることをしない。加えて、関東大震災を経験した東京では、地震による地盤の変化があり、自然的誘因による地盤の急性変化の1例である。したがって、過去における地盤の情報が、必ずしも現在、そのまま利用できるとはかぎらない。

このような都市土木に関与する地盤の問題を考慮し検討することが、都市土木工事の施工上大なり小なり必要となってくるものと考えられる。ここでは、最近の都市土木の現状を考慮しながら、主に、東京の地盤を再検討し、工事にまつわるいくつかの問題点を考察してみたいと思う。

2. 東京の地盤の概況

東京は、山の手とよばれる台地と、下町とよばれる低地にわかれるが、この地形的な違いは、地盤の性質とよく対応している。このことは、はからずも、大正12年の関東大震災で明らかになった。この震災では、木造家屋の倒壊率が山の手で少なく、下町で多かったことが知られており（図-1参照）、その原因追求と震災復興計画策定のため、大規模な地盤調査が行なわれた。復興局建築部による「東京および

図-1 山の手と下町の被害率のちがい

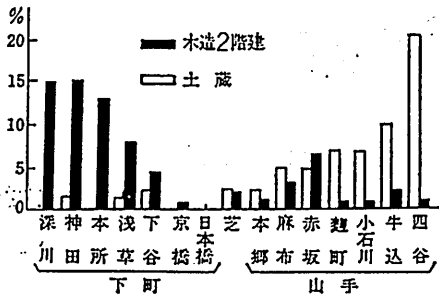
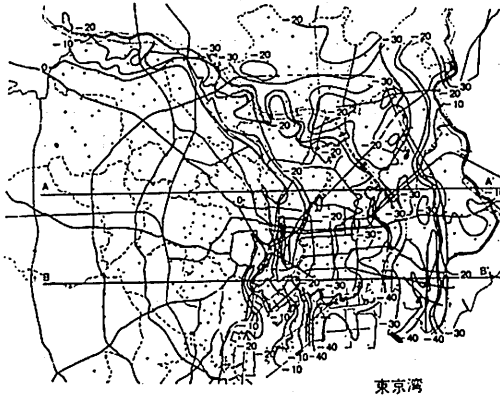


図-2 沖積層の厚さ



横浜の地質調査報告¹⁾」がそれである。

この結果、一見平らに見える下町低地の地下には、陸上の河谷に類似した地下谷が存在し、その谷を埋めて、軟かい沖積粘土層が分布することが明らかになった。この粘土層は、今から約1~2万年前の汎世界的な海面上昇によって陸地に侵入した海に堆積したもので、日本はもとより外国における沖積

低地の地下にも分布する、各種の外的営力に対して圧縮しやすい粘土層で、いわゆる軟弱地盤を構成する代表的な土層である。

東京では、その後の調査資料も加えて検討した結果²⁾³⁾、図-2に示すような分布状態を示しており、江東デルタの東部、旧中川から荒川放水路に沿い、古利根川に沿った地帯に、厚さ40m以上の厚い沖積層が帯状に分布していることがわかってきた。また、下町低地の中心部には、20~30mの沖積層が広く分布し、その上部には、ゆるい砂層が5~10mの厚さで分布している(図-3参照)。

しかし、下町低地でも、隅田川以西の台地に沿った地帯や、江戸川の中川放水路沿いの地帯では、沖積層の厚がうすく、地表下10m位までゆるい砂が分

図-4 家屋倒壊率 (台地の倒壊率は10%内外)

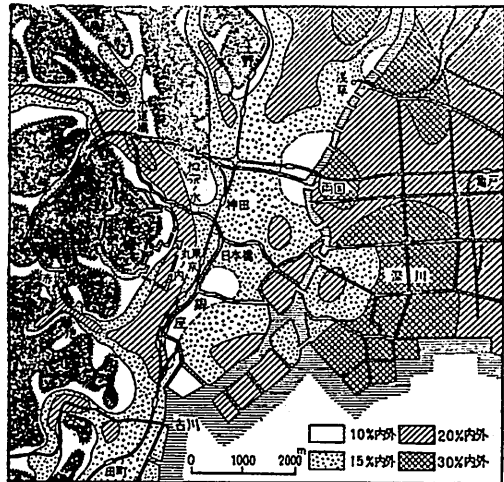
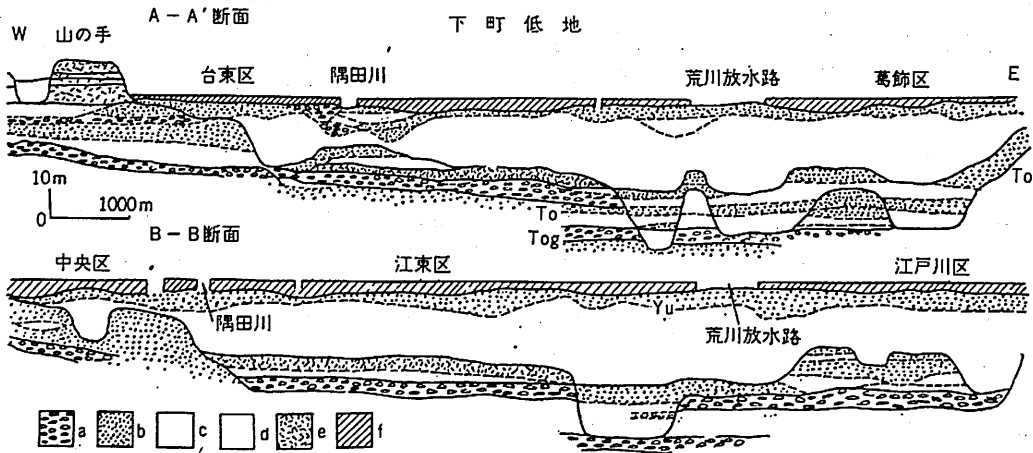


図-3 下町低地の東西断面図 (図-2に断面線を示す)



a: 砂礫, b: 砂, c: 1.5~2m粘土, d: 軟かい粘土, e: ローム, f: 粘土

布し、その下位にしまった砂からなる洪積地盤（東京層）がある。この地帯は、関東大震災のときにも家屋倒壊率が比較的小さく（図-4参照）、特に日本橋、京橋一帯は、江戸時代の頃から発展してきた古い市街地でもあり、下町低地の中では、比較的良質の地盤といえよう。

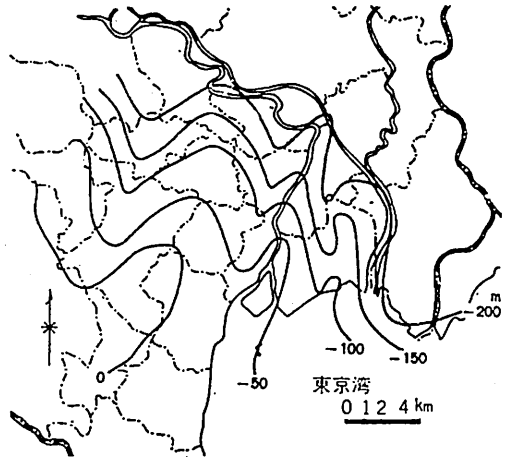
一方、山の手台地では、赤土とか関東ローム層とよばれる洪積世の風化火山灰土層が台地部地盤の主要構成層である。厚さは7～10mあり、N値の低い粘性土だが、火山灰粒子の特殊な結合により、沖積層の粘性土にくらべて強度が大きく、地耐力も20 t/m²は期待できるといわれている。この褐色ローム層の下位には、淡黄色、灰白色を呈するローム質粘性土層が分布することがあり、特に、台地の中でも比較的高位の台地面で、淀橋台、荏原台とよばれる台地に厚い。

山の手台地をきざむ中小河川ぞいの河谷低地には、場所によって厚さや土性が異なるが、およそ厚さ5～10mの黒色腐植質粘土や泥炭の軟弱層が分布し、東京の沖積層の中では、軟弱層の筆頭である。特に圧縮性の著しい泥炭は、谷間の出口または河谷の奥に分布することが多い。

下町低地の沖積層や、台地のローム層の下位には、段丘礫層（武蔵野礫層など）や東京層などとよばれる洪積層が分布し、硬質の地盤として、大きな構造物の支持層として利用されている。図-5には、東京の地下地質の状態を模式的に示したが、軟弱層やローム層の下位にくる礫層にも、多くの種類があることに気がつくだろう。このことは、あとで述べる地下水の賦存状況を考えるときに重要になってくる。

また、洪積層の下位には、東京の基盤層ともいべき第三紀層が分布し、主としてN値50以上のち密

図-6 第三紀層表面の海拔高度



な泥岩（軟岩）より成る。ボーリング柱状図では“土丹”とも記載されていることが多い。この層は、東京では、大田・品川・港・世田谷各区の南部で地表下10～20m位のところに浅く分布するが、北部または東部に向かって深くなり、千葉・埼玉両県との県境附近では、地下200～300m位より以深に分布する（図-6参照）。したがって、この上を被っている洪積層も、この付近で最も厚くなる。

上記の地盤の概況は、工事に関係の深い地表下30～60mまでに分布する浅層地盤の様子であるが、主として、沖積層や洪積層の分布・厚さなどから東京の地盤を大別してみると、図-7に示したようになる⁴⁾。

このほか、工事に関して大事な地盤は、地表下1～5m前後までの土層で河底に堆積しているヘドロもこれに相当する。いわゆる表層地盤である。普通ボーリング柱状図では、表土とか埋土と記載され

図-5 模式地質断面図

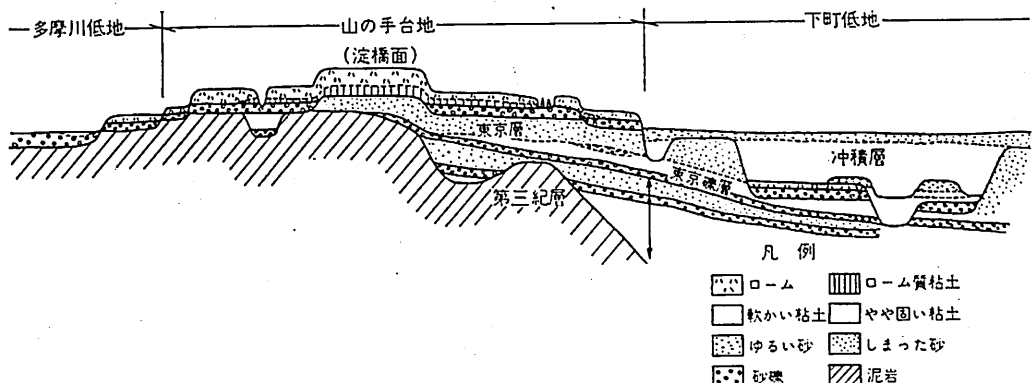


図-7 東京の地盤区分

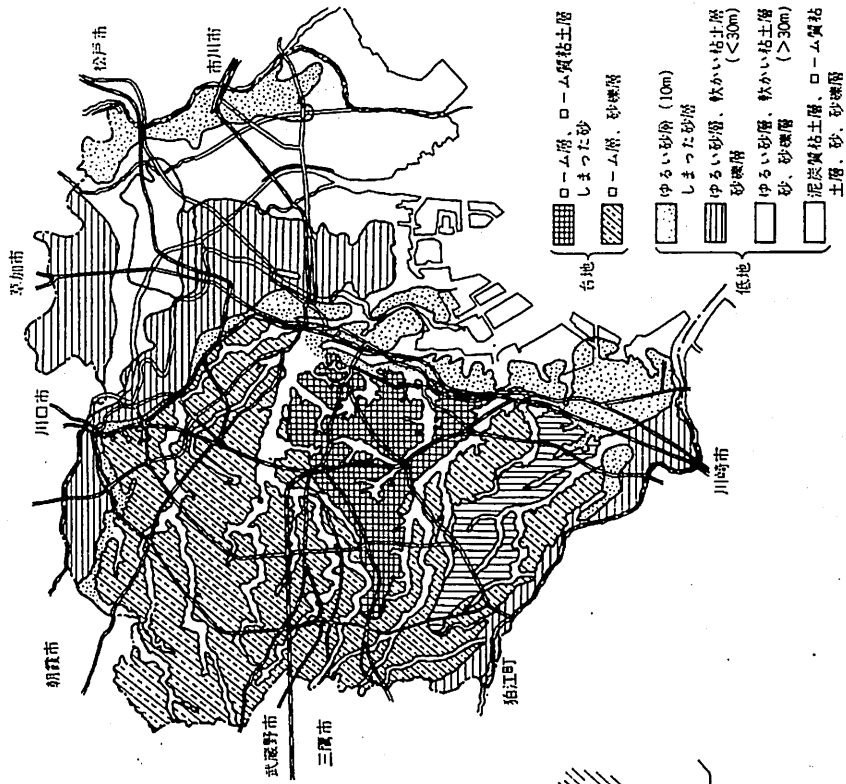


図-8 下町低地の微地形分類

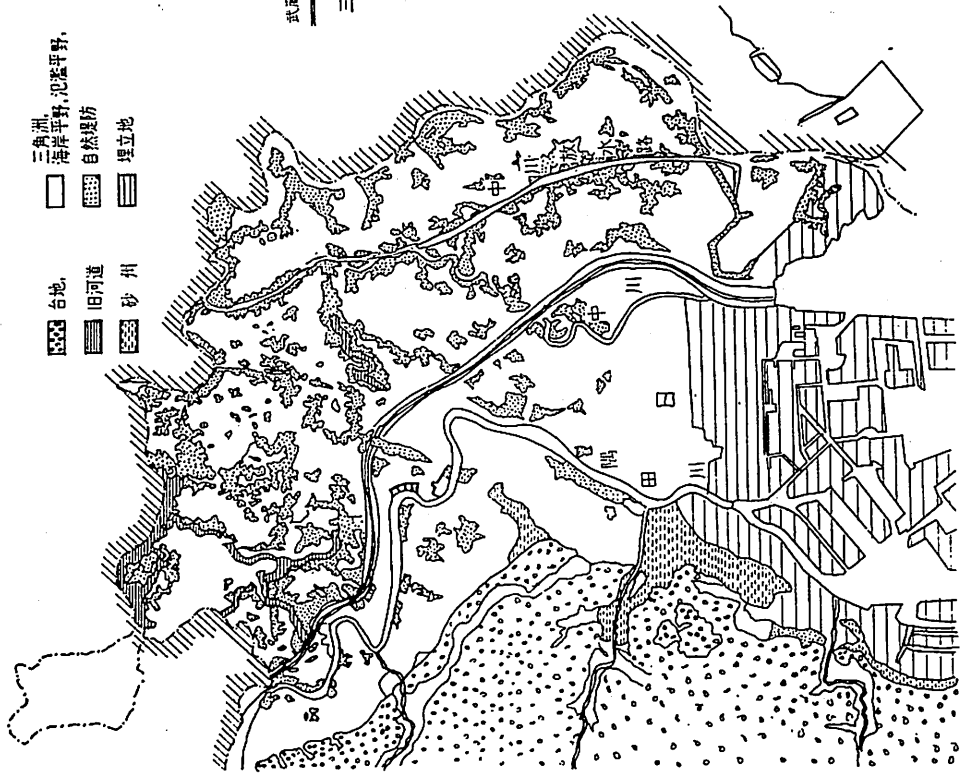


表-1 低地の地形分類と表層地質

地形分類	説	表層地質
三角州 海岸平野	低地の一部を、河川河口部の堆積地形地域(三角州)浸透地の堆積物が隆起してできた地域(海岸平野)	主として軟かい粘土、一部砂、砂礫
低地	現在の河川の平積作用が及ぶ地域。主として都内北部の荒川、南部の多摩川流域に分布する堆積物	主として粘土
旧河道	過去の河川流路の跡、一般の低地面より1m以上低い。	軟かい粘土、ゆるい砂
自然堤防	洪水時、河川の遡進してきた砂、シルトを河川両側に堆積してできた高地。一般の低地面より0.5m~1m高い。	砂、砂質粘土
砂州	波浪によって生じた砂からなる高地。一般の低地面より1m以上高い。都内では中央区、大田区に分布する。	砂、砂まじり砂
埋立地	海面、沼沢地、河川敷の埋立で造成地。小規模のものは消滅した。	砂、雑土

(注)低地における分類表現は、国土地理院による水と地形分類図(昭和39年)

ているが、この表層の土質は、地域的な変化が大きく、しかも、古くから人為的に改変させられているので、詳しい性状はまだよくわかっていない。しかし、地表面の微地形と表層土質との間にはかなりの関係がしられている。そこで特に下町低地の微地形をみると、図-8に示したように、一般の低地面(三角州、海岸平野、氾らん平野)のほか、砂州、自然堤防、旧河道跡などに区分され、それぞれ、表-1に示すような表層地質から構成されている。また、江戸時代から現在にいたる埋立地ではさまざまな雑土が分布しており、なかには、かなり厚い“ゴミ”の堆積もみられる。

山の手台地の表層土は、いわゆる黒土、黒ボクである。また、台地の斜面や河谷底の低地には、盛土がかなり存在し、みかけはローム層に似ているが、地山ロームにくらべて強度は低い。

このような表層地盤は、新潟地震の埋立地での災害をみてもわかるように、地震時、豪雨時などに大きな変化をもたらすことがある。たとえば、山の手崖ぐずれなどは、大部分が、斜面の盛土に関する。また、東京の地下には、埋設物や、地下構造物はもとより、江戸時代や第2次大戦中に掘られた壕が多数存在し、上記の自然的土層に加えて、人工物との複地盤ともいえる特徴をもっている。建設工事などで埋戻しや各種の地盤改良を行なった地域では、上記の天然地盤の性質とは異なった地盤が存在する。

3. 工事による地盤の挙動

工事では地盤の掘削・杭打ち・盛土、地下水の排水など、地盤に対してさまざまな力が加えられる。このような作業に対して地盤は、その特性に対応した挙動や反応を示すはずである。ここでは、工事に

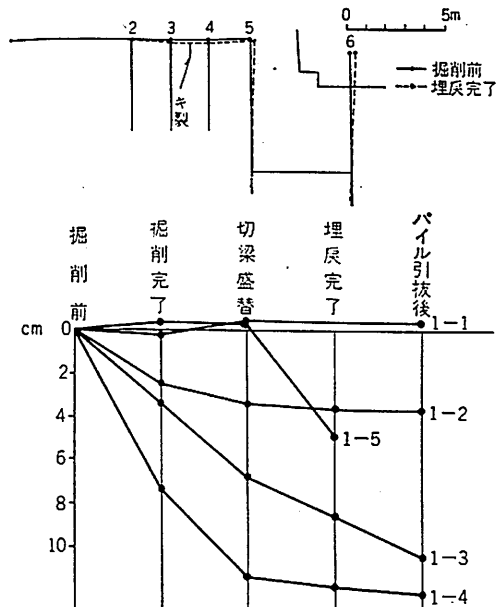
よる地盤の挙動を、主として公害や災害の面からながめてみる。

掘削工事に例をとってみると、地盤の掘削によって土圧が変化し、掘削周辺の地盤の変化が大なり小なり生ずる。この変化が著しく大きくなると、都市では近接地盤上にある建物やビルなどの構造物や地下埋設物などに障害を与えることになり、問題が生ずることになる。このような工事に伴う地盤の沈下や移動は、都市土木で最も注意しなければならない問題の一つである。

地盤の変形の大小は、地盤の性質(素因)と工事の規模、工法(誘因)との相互関係でまってくるが、ごく一般的にみると、このような変形をおこしやすい素因または体質をもつ地盤は、東京では下町低地の沖積粘土層と、山の手台地河谷底の沖積層(特に泥炭質土)である。したがって、これらの土層が分布する地域の工事では、山留工法にたいして十分な注意がはらわれなければならない。

従来、多く用いられているシートパイル山留工法では、掘削の進行に伴って、シートパイルが前傾し、背後地の地盤が移動沈下し、亀裂の発生を生じた例が知られている(図-9参照)。したがって、シートパイルの根入れ深さはもとより、支梁の強度・構造、仮設方法などを検討すると共に、掘削に伴う山留の移動状況や仮ベンチによる周辺地盤の挙動を常時観測することがのぞまれる⁵⁾。この種の資料

図-9 掘削測定個所の山留、地盤の変形例



は、各種地盤の山留工法の検討や被害・事故等の原因究明の基礎資料にもなるものである。なお、場所によっては、天然地盤の性質よりも、埋設物などの複合地盤の性質によって山留工法が決定されることがある。また、近接してある古い構造物には、基礎の不明なものが少なくなく、掘削に伴って思わぬ沈下を生じた例もあり、都市の建設工事では、このような複合地盤的な見方と対策の検討が今後ますます要求されるだろう。

下町の軟弱地盤に対して山の手の地盤は、一般に工事に対しても良好地盤といわれている。特に関東ローンは、垂直に近い自然崖でもわかるように、5m程度の垂直切り取りが可能である。むしろ、ローム層は、法面侵蝕に弱いので、垂直の低い段切りが安定である。深い掘削の場合には、H鋼、まく板の山留がよく使用されているが、ローム地盤の場合には、H鋼打設によって大きな振動や周辺地盤の移動が生じやすい。

一方山の手地盤の掘削で問題になるものには、地盤の一つの要素でもある地下水の問題がある。一般に山の手台地は、地下水位が浅く、且つ流動性の地下水で、ところによっては、多量の湧水量をみることもある。地下水は、ローム層とその下位の段丘砂礫層に浅層地下水(自由地下水)が賦存し、前者を宙水(ちゅうみず)とよぶことがある(図-10参照)。また、下位の洪積層には被圧地下水が賦存し、特に、礫質、砂質の層では、掘削箇所水脈状に湧出することがある。掘削に伴う地下水の処理には、ウェルポイントなどの排水工法が使われるが、このような排水は、揚水により地下水位を低下させるため、周辺地盤の地下水位もそれに伴って低下す

ることになる。この結果、工事箇所周辺で井戸があれば、井戸枯れが発生する。

山の手では、まだ上水道布設が100%になっていない地区が多く、一般家庭では、飲料水などの日常用水に井戸水を使っているところがかかなり多い⁽⁹⁾。また、上水道の布設地区でも、水道と併用していたり、冷房や洗車などに井戸水を使っていることがある。このような地区での井戸枯れは、住民の生活に大きな影響を与えるので、特に山の手では、工事箇所周辺の地下水状況と、井戸利用状況をあらかじめ調査して、工法上の検討を行なうことがのぞましい。

地下水の低下は、井戸枯れだけでなく、影響圏内に軟弱地盤が分布すると、地盤沈下をもたらす。特に河谷底に分布する泥炭質地盤は、水位低下により急激な圧密を生じやすいので、たとえ掘削現場が台地上であっても、河谷に近いところでは、多量の

図-11 製造品出荷額、揚水量、地下水位、年間沈下量の傾向

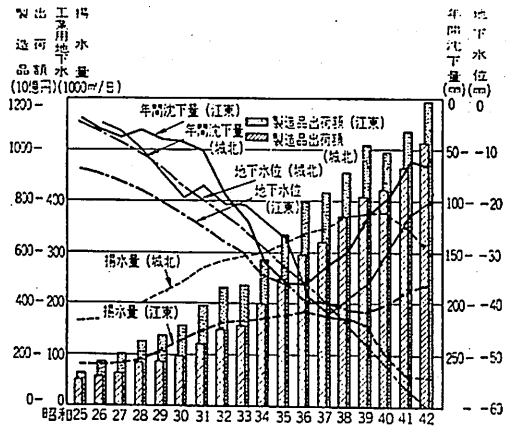
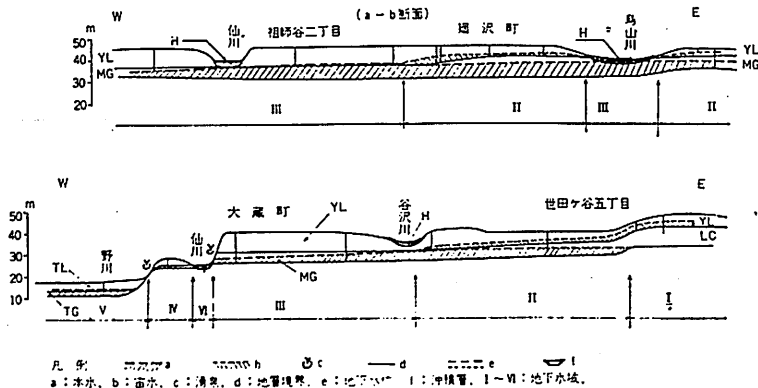


図-10 山の手の地下水分布



凡例 a: 本水、b: 宙水、c: 湧水、d: 地盤境界、e: 地下水位、f: 埋設管、I-VI: 地下水域。

揚水は好ましくない。

下町低地においては、浅井戸が少なく、また被圧地下水帯水層（主として洪積層）の深度が深く、地下水利用状況も山の手のそれと異なるので、排水による地下水位低下が井戸に影響を与えた例は比較的少ないが、やはり、粘土層直下の帯水層の地下水を多量にくみだすことは、粘土層の圧密沈下をまねくことになる。ただし、東京の中央区、千代田区などでは、地下の東京層、特に東京礫層の地下水が、ビル用水の利用などで影響を受け水位が低下し、間隙水がゼロに近いところもある。その結果、圧気ケーソン工事などで空気を送りこむと、還元性のつよい砂礫層が酸化し、そのために空気中の酸素が欠乏して、窒息事故を生じやすい⁷⁾。この例は、地盤を構成している地層の地球化学的性質が工事に伴って変化する一つの反応とみることができる。このような還元性の地層や地下水は、東京の各所の洪積層でも知られているので特に洪積層中の地下工事などでは、地盤の強度や工学的性質のほか、このような酸化・還元条件の検討も必要であろう。

4. 地盤の変化

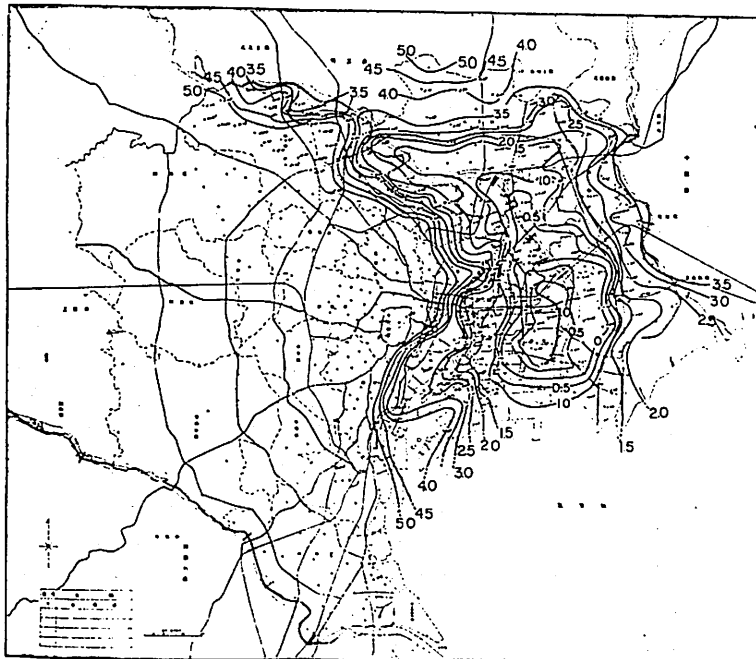
東京の地盤は年々変化している。たとえば地盤沈下のような広域的、慢性的な変化があれば、大地震

時の地盤の変化のように急性的なものもある。また局所的ではあるが、建設工事による地盤の改造・改良も各所で行なわれている。都市土木では、このような変化を考慮しながら、特に構造物自体の安全性などについて検討することが必要である。

地盤沈下は、工場やビルなどで地下水を多量に揚水するという人為的原因によって水位（水圧）が低下し、地層の収縮をひきおこしていることは、よく知られていることである⁸⁾（図-11参照）。地盤表面の変化は、土地の高さを低下させて、いわゆるゼロメートル地帯を出現させた（図-12参照）。このような土地は、海水や河川水の浸水をまねきやすい条件をもつため、その地域の構造物は、浸水条件を考慮する必要がある。また、このような地帯で施工する工事では、特に低地帯に河川水などを流入させない方法を十分検討することが強調される。

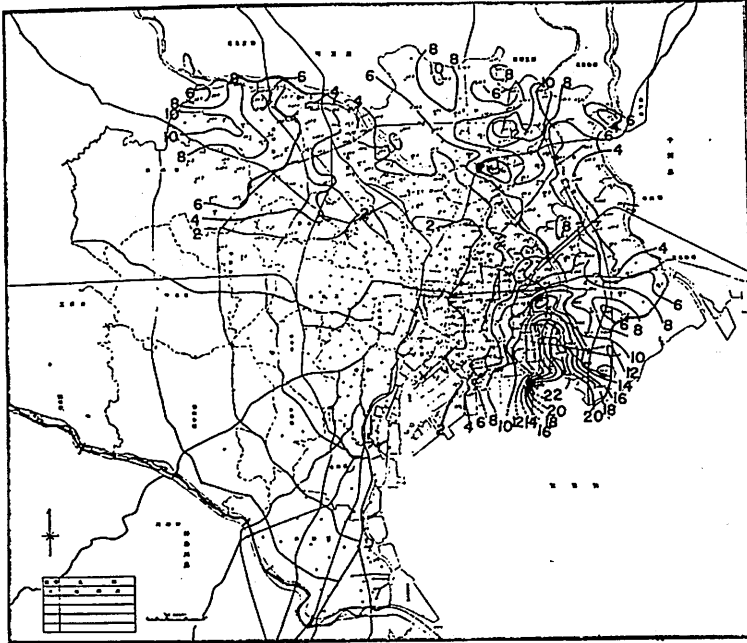
また、地盤沈下は、地域によって沈下量が異なるので（図-13参照）、特に護岸などの連続的な構造物では、不同沈下に対する構造物の破損防止が問題になる。地盤沈下地帯における構造物の沈下には、地盤の沈下量が、構造物の荷重による沈下に加わることは当然である。高潮対策など海水準に対してある高さの護岸天端高を維持しなければならない構造物では、将来沈下量が見込まれている。しかし、地盤沈

図-12 地盤高概況図



（註）土木技術研究所製、
44年2月現在（単位m、
基準面A. P）

図-13 変動量分布ならびに等変動曲線図



(註) 土木技術研究所製，
昭和43～44年（単位cmな
お細字の単位mm）

下の予測には、地盤の土層の構造と厚さのほかには地下水位の変化の予測、すなわち、将来の地下水利用状況の変化の予測という要素が入ってくるので、ある期間に区切って仮定をもうけて計算したり、水準点の沈下傾向から判断したりする方法がとられている。

地盤沈下は、直接的には地層の収縮によって生ずる。下町低地では、今まで、主として沖積層の収縮が沈下の大半を占めてきた。そのために、洪積地盤に基礎をおいたビルなどでは、ビルの抜け上りが生じたり、基礎形式の異なる構造物の間に不同沈下による破損などが生じている。また、摩擦杭などでは、地層の収縮によるネガティブフリクションが問題になる。しかし、最近の沈下では、洪積地盤の沈下が増加しはじめており⁹⁾、構造物そのものには直接の被害が少ないにしても、橋梁、鉄道、護岸などの計画に、大きな影響を与えるものと考えられる。洪積層の沈下については、現在のところ、数値的に予測するうまい方法がまだ案出されていない。

洪積層の地下水は、帯水層の分布から、下町低地の地下だけでなく、山の手台地や北多摩地区、さらに、千葉・埼玉両県にも連続して分布しており、地下水規制地区以外では、住宅団地などの揚水がさかんに行なわれ、広域的な水位低下を生じている。地

盤沈下は、広域的な地下水低下が地盤の構造の差によって、下町低地で大きく、山の手では比較的小さくあらわれているが、地下水低下は、地層の収縮だけでなく、地層の化学的性質にも変化を与えていることは、先に述べた洪積層地盤の工事における酸欠事故などでも明らかである。

都市土木においては、このような広域的な変化の影響にそうぐうする機会が少なくないことを充分認識する必要があるだろう。

つぎに地盤の急性的変化の例として、大地震時の変化を検討してみたい。東京では、関東大震災のときに、下町低地と山の手台地で被害にちがいがでたことはすでに述べたが、この差異は、それぞれの地盤の振動特性のちがいによると考えられてきた。しかし、その後、新潟地震などで、静的には安定した地盤でも、地震時に流動・変形し、構造物に予期しない被害が発生したことから、最近では、動的な地盤の特性を再検討する研究が進められている。

東京では、この種の現象のうち、地盤の流動化、液状化についての記録に乏しいが、山の手台地の河谷の出口付近で重力波が生じた例があるといい* 地盤の構成からみると、ほぼ泥炭質土の分布地に相当する。

*宮部直己博士談

一方、主として木造家屋の倒壊率は、沖積層の厚さと相関し、30mの厚さをこえると急に増加するともいわれている¹⁰⁾。沖積粘土層は、土性からみても液性化しやすい性質をもち、地盤沈下観測井の記録から、地震時に発生した急性沈下が、粘土のテクトロビ一的な変化によるものかもしれないという報告もある¹¹⁾。

地震時における地盤や土層の変化については、今後さらに検討を必要とするが、ごく大ざっぱにみて浅層地盤については、先に述べた軟弱地盤、特に、泥炭質土、沖積層の粘土に問題がありそうで、何らかの急性的な変化を生ずるものと考えられる。また、新潟地震で噴砂、液状化を生じたゆるい砂地盤は東京では、主に埋立て地、下町低地などの表層に分布するが、地下水の賦存状況とも関係するので、現在では、この種の変化が生ずるかどうかも不明である。

なお、もう一つの問題として、上記のような天然地盤の変化のほか、先に述べた人工物との複合地盤の変化の問題がある。都市においては、次第に広がっていくこの種の地盤が、地震時にどのような変化を示し、構造物にはねかえてくるかは、今後の研究課題の一つといえよう。

☆ ☆ ☆

都市土木は、都市という環境条件の中で行なわれる土木工事であり、ほかの地域または環境条件における土木工事とは、ことなつた側面が含まれている。能率よく、且つ経済的な工事を進め、また、急変する都市環境の変化に対応した構造物をつくるための工法の開発や、計画・設計の検討が要求されるだろう。ここではふれなかったが、無騒音・無振動工法などはその例である。もし、安価で、優秀な工法であっても、工事環境に適應できないものは、採

用できない。

このような都市土木に課せられた課題の一つの要素である地盤の問題も、単に構造物をのせる支持力・強度だけでなく、各種工事に対応した地盤の反応という面から再検討する必要がある。工事に伴なう公害や災害防止は、都市土木に課せられた大きな問題であり、そのためにも、地盤の挙動は、地下水も含めて重要である。都市土木のような人為的活動によって変化する都市地盤の挙動を総合的に研究する“都市地盤学”があつても不思議ではない。

そして、都市地盤学も、広い意味の環境工学の1分野であり、このような立場にたつた今後の発展がのぞまれるものである。

参 考 文 献

- 1) 復興局建築部(1929): 東京および横浜の地質調査報告
- 2) 東京都地盤調査委員会(1959): 東京地盤図, 技報堂
- 3) 東京都土木技術研究所(1969): 東京都地盤地質図(23区内), 都土木技研資料 43-5
- 4) 青木滋, 他三名(1970): 東京の地下地質と地盤の区分について, 都土木技研報告46 (投稿中)
- 5) 稲葉佳, 青木滋, 鈴木清美(1968): 市街地の工事にとまなう公害の調査について, 都土木技研報告, 45 53-62
- 6) 東京都土木技術研究所(1965): 杉並区の地下水調査中間報告, 都土木技研資料 41-8, 43-58
- 7) 林久人(196): 地下作業における酸欠乏の原因の研究, 安全工学6-1, 31-38
- 8) 東京都土木技術研究所(1969): 昭和43年の水準測量と地盤沈下, 地下水位の観測成果, 都土木技研資料44-3
- 9) 地盤沈下対策都市協議会(1969): 地盤沈下
- 10) 河角広(1952): 東京, 大阪両都市の震害分布と地盤, 各種災害の危険度分布, 19-28
- 11) 宮部直己, 稲葉佳(1964): 地震に伴なつた急性地盤沈下, 都土木技研報告 42, 9-14
- 12) 池田俊雄(1967): 都市地質学, 土木施工8-11, 220-224