

第6章 データベースの地震被害予測への適用

6.1 はじめに

この章ではデータベースの地震被害予測への適用として、4つの例について解説する。データベースを適用できる分野はいくつか考えられるが、ここではひとつの区の面積に相当する十数 km^2 程度の地域での地震被害の事例研究と、東京の低地全域を対象とした被害予測をとりあつかった。地震被害想定の方法には東京都全域といった広い地域を対象として、地域内の被害をマクロに想定する方法だけでなく、最近では住民の生活に密着した生活圏を対象領域としてよりミクロな想定をおこなう手法も提案されている^{9,1)}。この章でとりあつかう2種類の対象地域の選びかたは、この2つの流れにそれぞれ対応している。

比較的せまい地域を対象とした例では、過去の地震被害が地形や地質の情報を組合せることによって、どの程度説明できるかの考察を試みる。ここでは生活圏程度の広さを対象とする緻密な被害予測にも、このデータベースが適用できるかどうかを検討するとともに、結果として得られた地震被害と地形・地質との関係を広域の被害予測にも利用することを目的としている。

対象地域は台東区付近および千代田区とその周辺であり、対象とする被害事例は、いずれも関東地震(1923)によるものである。台東区付近では関東地震の際に水道の漏水被害が集中して発生している。この地域では家屋の被害も顕著であったことが報告されており、なんらかの地盤要因が作用したことをうかがわせるものである。

千代田区とその周辺でも、広範囲に家屋被害が発生している。被害の分布域はすべて中小河川の河谷底にあたっている。このような場所はすでに関東地震当時でも、地震に弱い地盤であることが一般にも認識されていたようである。この地域については、河谷底に特有な地盤条件のうち、どのような因子が広範囲にわたる家屋被害を発生させたのかを検討した。

広域にわたる地震被害予測にデータベースを適用した例としては、低地を対象

とした地盤の液化化予測と、地震時の地盤危険度分類図の作成について解説を加える。第5章でも述べたように、東京低地の液化化予測のうちメッシュ判定法による予測図の作成では、パーソナル・コンピュータに移植したデータベースを利用して判定作業をおこなった。予測結果はすでに公表されていることから、ここでは実際に予測をおこなった際のデータベースの利用法を中心に概説する。

もうひとつの適用例である地震時の地盤危険度分類図は、入力されている地形・地質の情報を計算機上で重ね合わせて作成したものである。危険度分類図の区分（凡例）としては、地震時に危険度が高い、あるいは危険度が低いと考えられる区分を地形・地質の情報から選ぶとともに、危険性があると評価された程度は重ね合わせの順位として表現されている。重ね合わせで選択した地形・地質の区分は、4章で述べた液化化の解析結果と、台東区付近および千代田区とその周辺での事例の結果をもとに判断した。

この危険度分類図では、危険度は点数などの定量値では表現されていないが、地形・地質図の区分を直接読取ることができる図となっている。また、土地条件図や旧判の地形図から読取られる過去の水系や湿地、沼沢地などの情報は、従来の危険度判定で利用されている地震動の最大加速度や液化化などの予測とは別の角度から、地盤の危険度評価ができる可能性がある。このため、ここで提案した危険度分類図を最大加速度や液化化の予測結果と合せて利用することによって、さまざまな目的の被害予測にたいしても有用な情報をあたえることができると考えた。

6.2 関東地震での水道管の漏水被害にあたえた地形・地質の影響 — 台東区付近を例にとって —

6.2.1 概説

関東地震（1923）による東京市内での水道管の被害については、綿密な調査結果が土木学会の震害調査報告^{6・23}として残されている。久保ら（1975）^{6・23}はこの調査結果をもとに、配水管の管体破損・継手抜けの被害と表層地盤との関係を定量的に解析している。この解析結果によると、被害は台地と河谷底にまたがる地域に多く発生しており、被害率が高い地盤グループでは平均震害の2倍程度の被害率になるとしている。

この節では土木学会の報告書に「付図第五十 水道鉄管漏水破損修繕調査図」として載せられている地図をもとに、配水管の漏水被害にあたえる地形・地質の影響を考察した。漏水は管体破損や継手抜けといった断水に直接結びつく被害ではないが、漏水地点が多いために水圧の低下をもたらす、場合によっては水道水の供給不能にいたることもある。また、その復旧には多額の経費と労力、時間を要するという、ライフライン施設被害の典型的なものでもある。関東地震では復旧作業によって、道路交通にも支障をきたしたことが報告されている^{6・23}。

漏水した地点の分布は管体破損・継手抜けの被害の分布とおなじように、台地と低地の境界付近や台地をきざむ中小河川の河谷底に多く発生している。しかし、低地のなかにも漏水の被害が多発した地域がみられ、なんらかの地盤条件のちがいが被害要因として作用したことをうかがわせる。対象地域としては低地のなかでも漏水被害の集中している台東区付近を選び、どのような地形・地質の条件がこの地域での被害の集中をもたらしたのかについて、定性的な解析をおこなった。データベースには、地質調査所^{6・43}による関東地震での家屋被害についての調査結果も「関東地震の家屋被害分布図」として入力されていることから、家屋被害についても、あわせて考察をくわえる。

6.2.2 台東区付近での配水管の漏水被害と家屋被害

(1) 被害資料の検討

水道鉄管漏水破損修繕調査図のうち台東区付近の部分を図 6・1 に示す。この地図の縮尺は特に表記されていないが、ほぼ 1 : 30,000 であり、5 か所の継手での漏水被害が 1 つの点として表示されている。

この図から、当時の浅草区北部から不忍池にいたる地域と、隅田川の対岸にある須崎町では、周辺にくらべて漏水被害が多発していたことが理解される。しかし、この地図に表示されている被害は、地震の 7 か月後までの調査結果であり、漏水の修理が完全におわった時点でのものではないという問題がある。報告書にも、「焼失区域の漏水箇所は当時大半未調査」と書かれていることから、この地図によって被害率の分布を判断してよいかどうかを、まず検討しなければならない。

関東地震での焼失戸数は旧東京市内の総戸数の 71%^{6・5)}、焼失面積は全市内面積の 42.9%^{6・6)} にも達している。焼失区域には、この報告で対象とする台東区付近だけでなく、日比谷公園の南側や皇居の西側の地域など、漏水被害が多発した地域もふくまれている。このことから、地震後 7 か月の時点では焼失区域の大半が未調査であったという記述は、やや正確さにかけてと推定される。

漏水地点の発見と修理は、当初は路面などに表われた部分を修理していたが、11月 2 日以降は連続した継手の掘削調査と修理がおこなわれた^{6・7)}。地震の 9 か月後にまとめられた「震害水道鉄管漏水修繕工事施工調査表」^{6・2)} によると、調査された配水管延長は 689,475m、継手の数は 259,923 個であり、このうち 33% の継手で漏水、38% で滲出がみられ、異状のない継手は 29% であった。この結果から配水管延長あたりの漏水率を求めると、全管種の平均では 125 箇所/km、復旧のための施工延長が 10km 以上のもののうち、もっとも漏水率の高い 100mm 管では 131 箇所/km となる。関東地震当時の配水管延長は約 980km であったことから、この時点での調査率は約 70% まで達成されていたことになる。

関東地震による配水管の補修は、最終的に昭和 4 年 (1929) 3 月に完了した。東京都水道史^{6・8)} によると、この間に引上げられた鉄管の延長は 20,589m、漏水

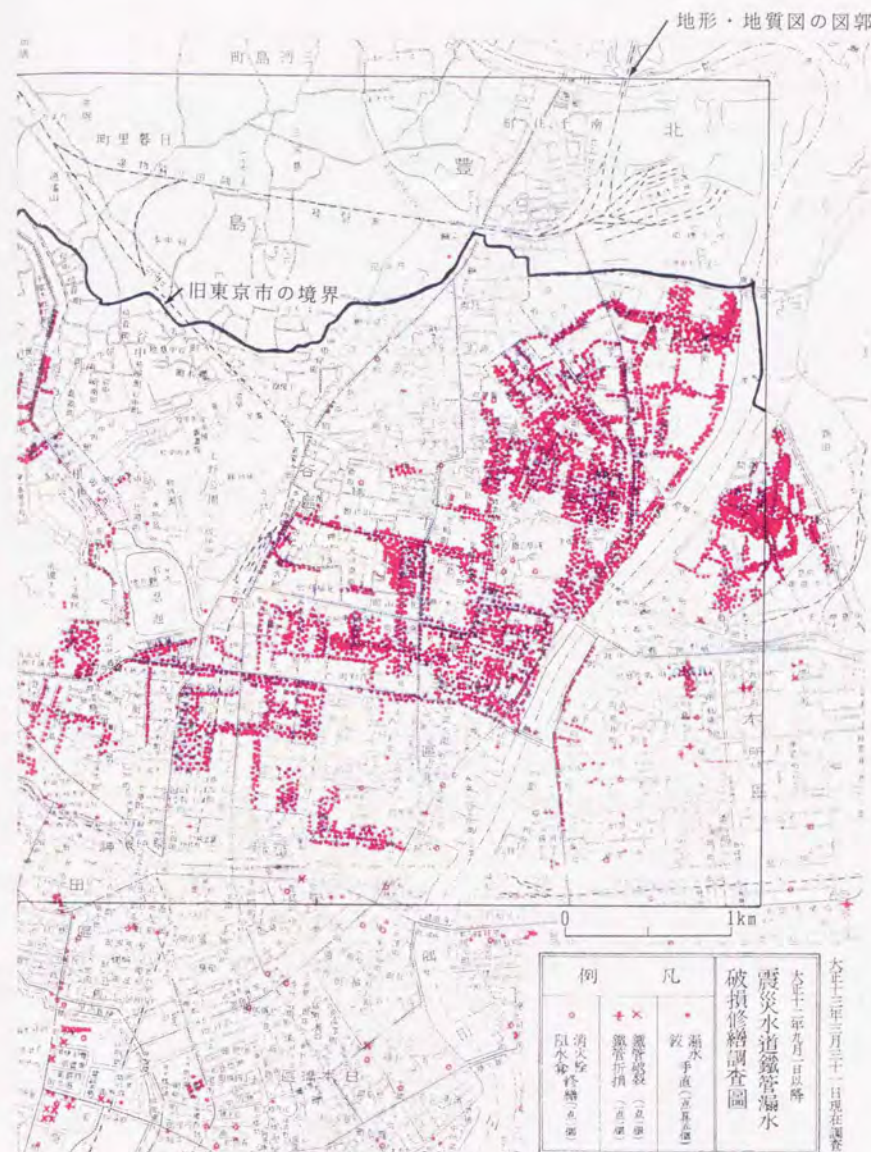


図 6・1 関東地震 (1923) での配水管の漏水被害箇所
(大正十二年関東地震被害報告書^{6・2)} による)

が調査された延長は 652kmに達した（東京都水道史による補修完了までの鉄管引上げ延長と調査延長の和は 673kmとなり、土木学会報告の大正13年 5月での調査延長 689kmよりも短くなっている）、漏水が確認された継手数は 102,765個、補修された継手数は 101,560個であり、これから計算される調査延長あたりの漏水率は153箇所/kmとなる。

配水管延長あたりの漏水率を153箇所/kmとすると、地図上の被害地点の数としては 30.6点/kmとなる。台東区付近での点の密度は少ないところでも 70点/km程度であり、平均的な漏水率から計算される点の密度にくらべて、かなり高いものである。

（2） 配水管の分布と配管系統の検討

関東地震当時の東京市の配水管延長は、およそ 980kmであったとされている。このうち約 760kmは明治41年（1908）までに敷設された配水管であり、約 220kmはその後、新たに拡張された配水管であった^{6・2)}。当時の水道普及率は70%程度であったことから、配水管の分布密度は市内の区域によって、かなりばらつきのあったことが想像される。また、地域によっては埋設されている配水管の口径も異なっていたことが考えられる。関東地震での漏水の被害率については、管径の大きいもののほうが被害率は小さかったことが指摘されている^{6・3)}。

対象地域の配水管が被圧されていたかどうか、漏水の発生に影響することが考えられる。当時の配水系統は高地給水と低地給水の2系統に分かれており、低地給水は自然流下によって、高地給水では海面上 70mの水頭に相当する圧力を加えて給水されていた^{6・8)}。台地にはさまれた河谷底で漏水が多発した原因のひとつとして、被圧された系統での水圧は谷の部分でもっとも高くなることが指摘されている^{6・7)}。台東区付近での漏水の発生が、これらの人為的な要因による可能性もあることから、当時の配水管の分布と配水系統について検討した。

関東地震当時にもっとも状況がちかい配水管の位置図としては、大正9年（1920）の「東京市水道鉄管敷設之図」^{6・9)}が残されている。この地図の縮尺は1:15,000であり、配水管の径が線の太さで3区分されているとともに、6インチ（150mm）以上の管についてはその径も記入されている。このほか、量水器と阻

水弁、高地消火栓と低地消火栓の位置も記入されている。

当時の配水管の分布は日本橋区と京橋区でもっとも密に配置されており、浅草区や牛込区の2倍程度となっている。一方、本所区の東側や深川区では、かなりあらい配置となっている。台東区付近での配水管の分布は市内の平均的なものであり、特に密度の高い地域ではない。台東区付近では径の細い配水管が特に多く敷設されてはいないことも、この図から読取ることができる。一方、須崎町ではすべて4インチ（100mm）管とおもわれる表示のないものであることから、今回の解析からは除外した。また、高地消火栓と低地消火栓の分布によると、不忍池より東側はすべて自由流下の系統に属しており、台東区付近での漏水には被圧による影響はふくまれていない。配水管の敷設年次については、該当する資料は見当らなかった。

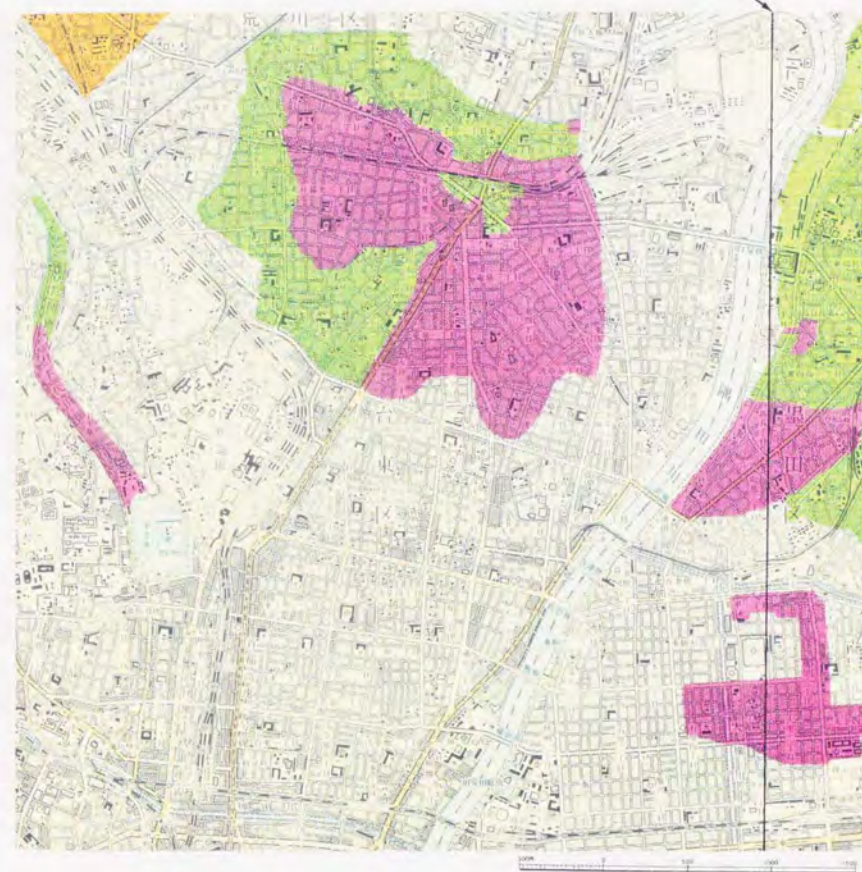
（3） 家屋被害との比較

関東地震での家屋の被害は、図 6・2 にみられるように、千束四丁目付近で漏水が多発した地域と重なり、より西側に広く分布している。西側の地域のうち、東日暮里三丁目付近より北には、当時の東京市の配水管は敷設されていなかった。一方、三ノ輪一丁目から入谷一丁目にかけての地域では、家屋被害は発生しているものの、漏水はほとんど記録されていない。

台東区付近は安政江戸地震（1855）でも多くの家屋被害が発生したことが知られている。安政江戸地震で倒壊率が約80%と推定される地域は、関東地震で家屋被害の程度が大きな地域のうち、昭和通りの東側に分布する部分とかなりよく一致している^{6・10）}。

6. 2. 3 地盤の液状化との関係

水道やガスなどの地中埋設管は、地盤の液状化によって被害を受けやすいことが知られている。たとえば、新潟地震（1964）による新潟市水道の配水管では、管路付属器具をふくめた被害率は液状化地域で13.6箇所/kmなのに対して、軽被害地域では2.5箇所/kmであった。当時の復旧の状態を考えると、液状化地域



- 被害の程度が大きな地域（1）
- 被害の程度がやや大きな地域（1）
- 被害の程度が大きな地域（2）

図 6・2 関東地震（1923）の家屋被害分布図（台東区付近）
（商工省地質調査所：関東地震調査報告^{6・4）}による）

「この地図は国土院発行の2万5千分の1地形図（東京首都）を使用したものである。」

と地盤の比較的良好な地域では、水道管の平均被害率に小さく見積もっても約5倍の差があったと報告されている^{8・11)}。

関東地震による液状化などの地盤被害の分布図（関東地震地盤被害分類図）を、図 6・3に示す。この図は既往の文献と約 300名の地震体験者にたいする面接調査の結果をまとめたものである。この図によると、きわめて小さな区域で軽度の液状化が発生していただいで、むしろ地盤災害が発生していなかった地域のほうが広く分布している。

台東区付近には液状化があまり発生していなかったことは、図 6・4の液状化指数 P_L の分布からも理解される。表示されている P_L 値の計算条件は、6・4で述べる東京低地の液状化予測の場合と同じである。一般に液状化による被害が大きくなるとされている P_L 値が15以上のボーリング地点は、漏水が多発した地域と家屋被害の大きかった地域には15点ほどしかみあたらない。また、 P_L 値が15以上となるボーリング地点の周辺には、15以下となる点も多数みられる。

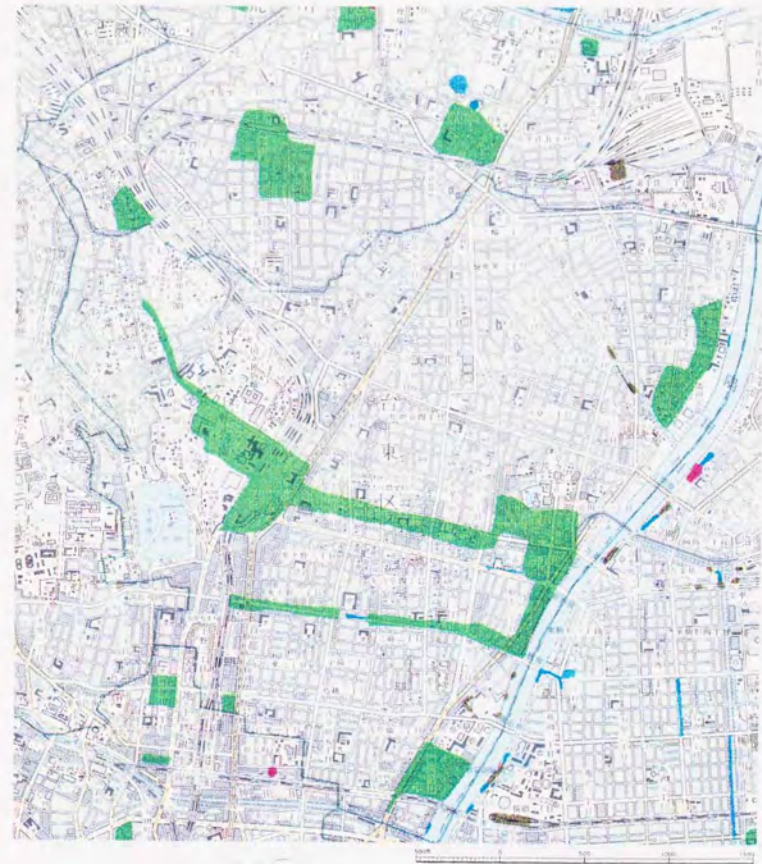
これら2つの結果から、関東地震のときに台東区周辺で発生した多数の漏水被害は、そのほとんどが地盤の液状化によるものではないと結論することができる。同様に、家屋被害についても、液状化はほとんど寄与していないと考えることができる。

6. 2. 4 地質との関係

（1） 沖積層の層厚分布

沖積層を主体とした軟弱な地層の基底深度図（沖積層基底等深線図）を図 6・5に示す。低地では地表面の標高は平均的な海水面とほぼ等しいことから、この図の等深線の深度は沖積層の層厚とほぼ同一であると考えてさしつかえない。また、沖積層の下位には締った洪積層が分布しており、等深線の間隔は軟弱層の層厚の変化を表わしているとみることができる。

沖積層の層厚が急変する部分では地震時の相対変位は大きくなり、配水管の継手での漏水箇所も多くなると考えられる。このような地層の急変部の典型的な例は台地と低地の境界部にみられ、関東地震でも多数の漏水地点のあったことが報



- 激しい液状化が生じた地域
 地点を確定できる
 地点は確定できないが地域までは確定できる
 地域としておおよそ確定できる
 軽度の液状化が生じた地域
 地点を確定できる
 地点は確定できないが地域までは確定できる
 地域としておおよそ確定できる
 井水の変化・地割れした地域
 地点を確定できる
 地点は確定できないが地域までは確定できる
 地域としておおよそ確定できる
 地盤災害が発生していなかったことが確認された地域

図 6・3 関東地震（1923）での地盤被害分類図（台東区付近）

「この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図（東京首都）を使用したものである。」

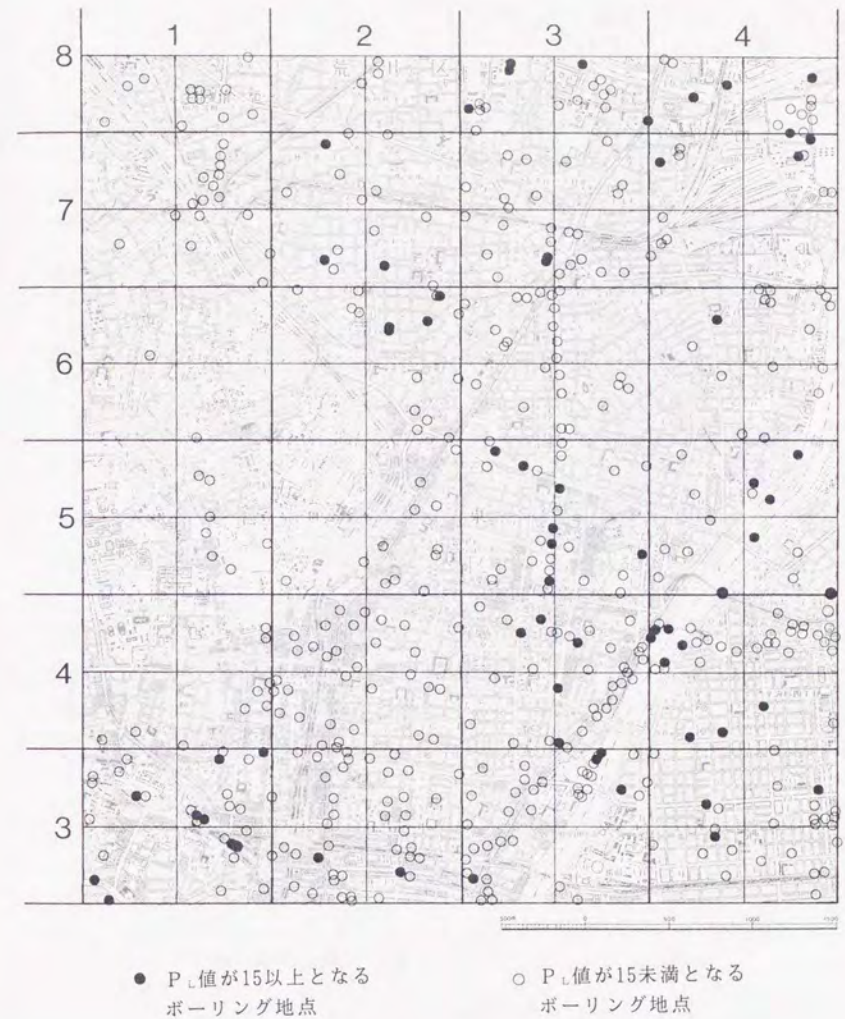
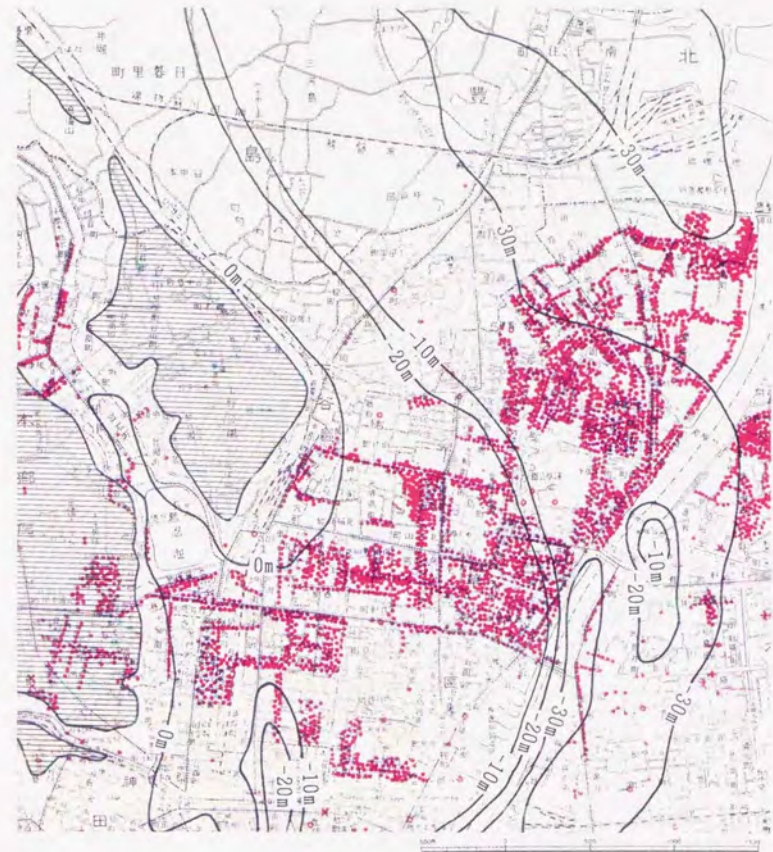


図 6・4 液状化指数 P_L の分布 (台東区付近)

「この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図(東京首都)を使用したものである。」



沖積層基底等深線の標高 (T.P.)
 漏水地点 (1 点が 5 か所の漏水を示す)
 台地

図 6・5 沖積層の基底等深線図と漏水被害箇所 (台東区付近)

告書の地図に示されている。図 6・5に示した漏水地点のうち、不忍池の西側の台地にまたがる部分の被害も、この例にふくまれる。

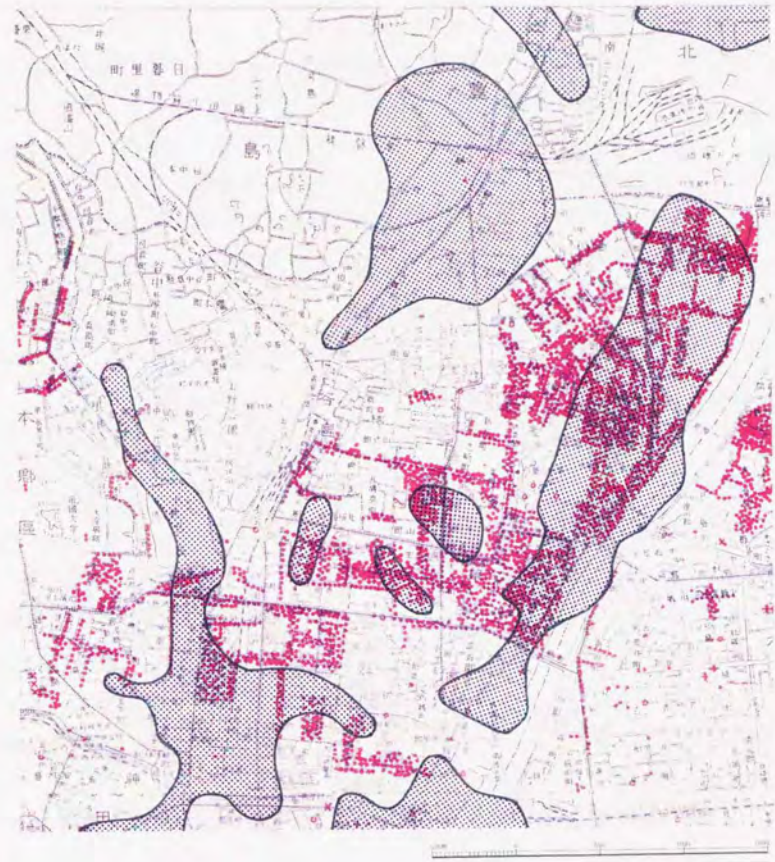
台東区付近での沖積層の特徴は、低地のなかでも層厚の変化が著しい点にある。吾妻橋三丁目の付近には洪積層の小丘が独立して分布しており、沖積層の層厚は10m以下となっている。駒形橋付近から南には-30mの埋没谷が分布しており、この埋没谷の西側には駒形一丁目付近からふたたび沖積層の層厚が10m以下の地域が広がっている。地盤の卓越周期としては、300mほどの距離のあいだで約0.7秒（沖積層の層厚が30mの地域）から約0.3秒（沖積層の層厚が10mの地域）に変化していることになる（図 2・7参照）。

関東地震で漏水した継手の多かった地域のうち、浅草寺から南側の一部の地域では沖積層の層厚は大きく変化しており、このため地震時の相対変位も大きかったことが考えられる。しかし、図 6・5にみられるように、漏水が多発した地域のほとんどは、沖積層の層厚に特に大きな変化のない地域に分布している。一部の地域では沖積層層厚の急変によって地盤の相対変位が大きくなり、これが被害に結びついた可能性を完全に否定することはできないが、台東区付近での漏水被害のほとんどは、沖積層の層厚の変化によって説明することには無理があると考えられる。同様に家屋被害についても、被害分布を規定するような沖積層の層厚分布あるいは層厚の変化は、見出すことができない。

（2） 沖積層中の礫層の分布

沖積層中の礫層のうち、その上面が地表面から5m位浅に堆積する礫層の分布する地域（礫層分布図）を、図 6・6に示す。沖積層中に分布する礫層の層厚は1mから5m程度と薄いため、構造物の基礎地盤とすることはできないが、液状化などの地震時の地盤被害を抑制する働きはあると考えられる。この地域ではほとんど液状化が発生していないのは、この礫層の分布とも関係していると推定される。

台東区付近での礫層は図 6・6にみられるように、漏水被害が多発した地域と一部重なりながら、その周囲をかこむような分布を示している。礫層が堆積している部分とそうでない地域の境界部は、表層地盤としては不連続であることから、この境界部では地震時の相対変位が大きくなっていた可能性も考えられる。この





 地表面下5m以内に礫層が分布する地域
 漏水地点（1点が5か所の漏水を示す）

図 6.6 礫層分布図と漏水被害箇所（台東区付近）

地域のほか芝区の低地部でも、漏水地点と礫層の分布は比較的よい一致を示している。しかし、いままでの地震被害ではこのような事例が報告されていないことと、この礫層がどの程度の相対変位を生じさせるかが不明であることから、礫層の分布と漏水地点との関係は、ひとつの可能性を示しているにすぎないと考えた。台東区付近では家屋被害と礫層とが比較的よく重なる地域もあり、沖積層の層厚からだけでは推定できない地震被害の複雑さをみせている。

6.2.5 地形との関係

(1) 土地条件図

国土地理院の昭和45年(1970)版の土地条件図^{9.12)}を図6.7に示す。台東区付近の地形は大部分が盛土地に分類されており、地震被害に結びつきやすい湿地や沼地、池は、現在では浅草寺の庭園や公園をのぞいて、みつけることができない。また、旧水面上の盛土地と埋土地に区分される地域も、東日暮里三丁目付近と隅田川駅付近のせまい範囲に分布するのみである。盛土の下位の自然地盤は、そのほとんどが三角州・海岸平野に区分される。

低地の微高地のうち自然堤防は図の西北部に、また、砂(礫)州・砂(礫)堆は根岸二丁目から三ノ輪一丁目にかけて分布している。砂(礫)州・砂(礫)堆の分布と家屋被害分布図の「被害の程度がやや大きな地域」とは比較的よい一致がみられる。「被害の程度がやや大きな地域」の周辺には「被害の程度の大きな地域」が分布しており、砂(礫)堆・砂(礫)州によって被害が抑制された可能性も考えられるが、明確ではない。

(2) 水系の変化

大正14年(1925)の水系図を図6.8に、明治42年(1909)の水系図を図6.9に示す。大正14年の時点では台東区付近はすでに市街化されており、昭和通りぞいの地域などに池が点在しているのみである。これにたいして、明治42年の水系図からは、台東区の北部に数多くの池や湿地が分布していたことがみられる。これ










- | | |
|--|---|
|  自然堤防 |  凹地・浅い谷 |
|  砂(礫)堆・砂(礫)州 |  台地・段丘+平坦化地+台地斜面 |
|  盛土地 |  河川、水涯線および水面 |
|  旧水面上の盛土地+埋土地 | |

図 6・7 土地条件図(台東区付近)

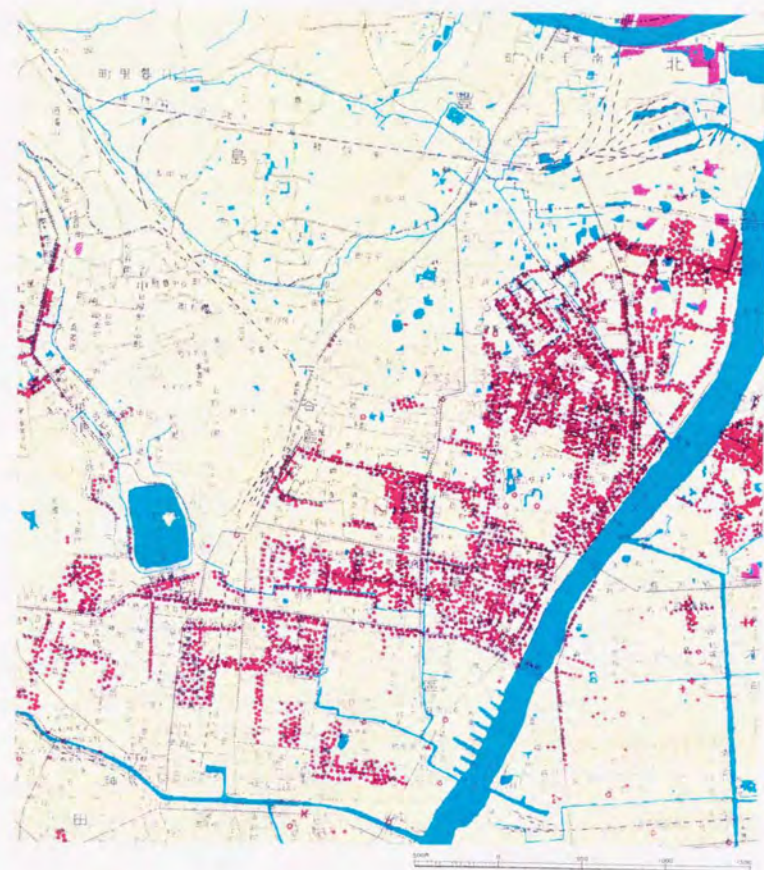
「この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図(東京首都)を使用したものである。」



水域
 湿地
 水系外の地域

図 6・8 大正14年（1925）版地形図による水系図（台東区付近）

「この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図（東京首都）を使用したものである。」



水域
 湿地
 水系外の地域

・ 漏水地点（1点が5か所の漏水を示す）

図 6・9 明治42年（1909）版地形図による水系図と漏水被害箇所（台東区付近）

らの池や湿地は、大正12年（1923）の関東地震当時には、そのほとんどが埋められていたと考えられる。

過去に水域や湿地であった場所は、いうまでもなく地震時にも被害の発生しやすいところであると判断される。特に明治42年に水系や湿地であった地域は、関東地震までに長くても14年ほどしか経過しておらず、被害を多発させる原因となったと考えられる。漏水が多発した地域の北部は、水系や湿地が埋められた場所の多い地域に属している。また、家屋被害が大きかった地域にも、明治42年には池であったところが点在している。しかし、水系や湿地であった場所が、漏水と家屋被害の大きかった地域すべてにわたって分布しているわけではない。

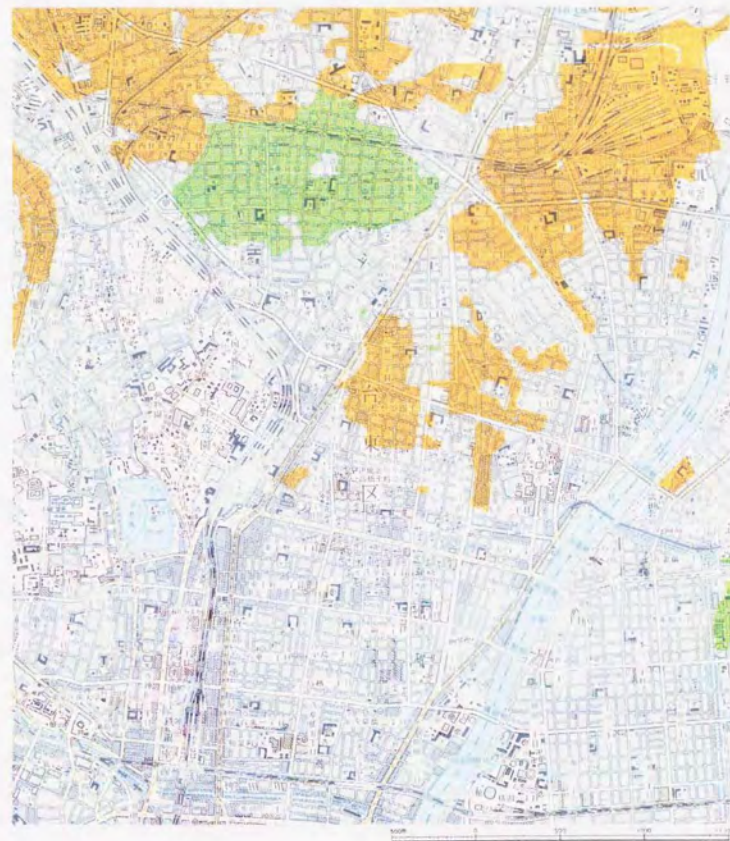
（3） 過去の土地利用

明治13年（1880）の迅速測図^{6・13}から読取られた当時の土地利用の図（湿地・水田分布図）を、図 6・10 に示す。

東日暮里三丁目の周辺には水田が分布しており、家屋被害の大きかった地域とよい一致がみられる。旧版地形図の図式^{6・14}では、水田は一年中水のある田として区分されており、湿地にかなりちかい性質の地域であったと考えられる。この地域は明治42年（1909）の旧版地形図^{6・15}でも大部分が田に区分されており（明治42年図式には水田と乾田の区分はない^{6・16}）、関東地震に比較的ちかい時期に埋立てられ、宅地化された地域である。

東日暮里三丁目周辺の水田の中央には空白域がみられるが、この場所は池であったことが原図から読取ることができる。この池は土地条件図では旧水面上の盛土地に区分されている。迅速測図にはこのほか、いくつかの池が昭和通りぞいなどにみられるが、明治42年の水系図にくらべてその数はかなり少ない。増加した池は明治13年から明治42年の間に人工的につくられたものであり、この地域は開発に際して盛土を必要とするほど低湿地であったと考えることができる。

東日暮里三丁目付近は、もともと水はけの悪い水田であった場所が新しく宅地化された地域であり、この地盤条件が家屋被害をもたらしたものと判断される。



- 水田
- 乾田
- その他の地域（都市化した地域
と畑，水面をふくむ）

図 6・10 旧版地形図による湿地・水田分布図（台東区付近）
明治13年（1880）

「この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図（東京首部）を使用したものである。」

(4) 江戸期の水系図

正井泰夫(1980)^{6・17)}によって復元された江戸時代の水系図(江戸期の水系図)を、図6・11に示す。1460年ころの台東区付近には湿地や沼沢地が広く分布しており、すくなくとも1632年までは土地利用にほとんど変化がなかったことが、当時の絵図にみられる^{6・18)}。これらの湿地や沼沢地は礫層の分布域に囲まれる区域に分布しており、礫層による微高地と隅田川ぞいに分布する洪積層の小丘との後背湿地として形成されたものと考えられる。

関東地震のときに漏水が多くみられた地域は、隅田川にそった部分をのぞいて、1460年ころの沼沢地(千束池)とかなりよく一致している。明治42年の水系図では、昭和通りぞいの地域や日本堤二丁目、馬場一丁目の付近にも池や湿地が分布しており、江戸期の水系図に示される湿地や沼沢地の周辺部にも低湿地帯が広がっていたことをうかがわせる。

1460年ころの沼沢地(千束池)の南部には、明暦3年(1657)ころにはすでに数多くの寺社が存在していたことは、当時の絵図である「江戸大絵図」^{6・19)}から知ることができる。城下町計画では城を中心に武士、町人を順次周辺に居住させ、もっとも外側に寺社地を配置するのが原則であり、江戸でもこのような配置がおこなわれていた^{6・18)}結果である。これらの広大な寺社地のかなりの部分は、土地の人工的な改変をうけずに残されていたと考えられる。

沼沢地の南部は安政6年(1859)の「分間江戸大絵図完」^{6・19)}でも、大部分の地域が寺社地となっている。また、明治13年(1880)の迅速測図^{6・13)}の寺社地には、広い空地が認められる。これらのことから、沼沢地の南部には19世紀後半まで土地改変が加えられなかった場所もかなりあったと考えられ、地盤としてはかならずしも地震に強いものではなかったと想像される。

1460年ころの沼沢地(千束池)北部のランドマークである日本堤(浅草から三ノ輪に至る現在の馬道通り)は、元和6年(1620)に隅田川の出水を防ぐ目的で建設された。新吉原は明暦2年(1656)にここに移され、日本堤は新吉原への通り道となった^{6・20)}。明暦3年(1657)ころの「江戸大絵図」では、この地域は新吉原をのぞいて、そのほとんどは田となっている。また、安政6年(1859)の「分間江戸大絵図完」では、新吉原や寺とこれを取りまく広い田が分布している。

沼沢地の北部は明治13年(1880)の迅速測図でも乾田として利用されている地域がみられ、池として残存した場所も認められる。その後の都市化にともない、この地域は住宅あるいは工場用地として改変されていったが、このためには低湿地に盛土をおこなう必要があった。盛土材料は周辺の土地を掘削することによってまかなわれたため、その跡は池として明治42年ころまで残されていた。これらの池の大部分は大正14年の水系図ではすでに埋められており、関東地震当時には乾田であった地域とともに宅地などに利用されていたと考えられる。

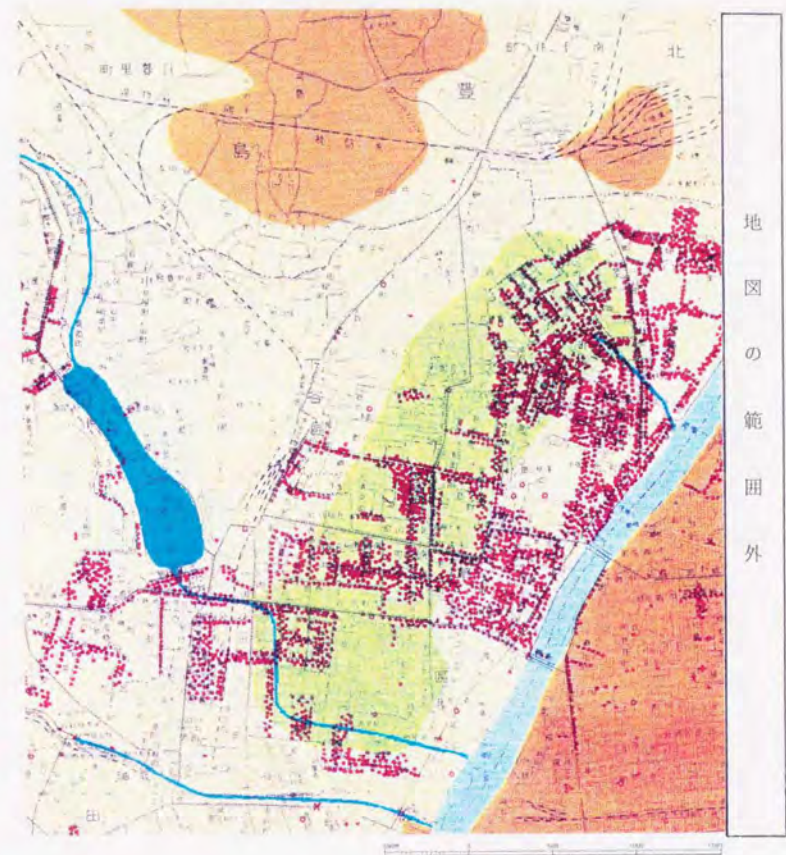
関東地震で漏水が多発した地域のうち、およそ半分程度は1460年ころの沼沢地(千束池)と重なっている。この沼沢地の分布域には、明治初期まで盛土などの人工改変をあまりうけなかった地域がかなりふくまれている。関東地震のときに台東区付近でみられた漏水被害の多くは、このような地域で発生したものと推定される。

これにたいして、隅田川にそった地域は1460年ころの沼沢地とは一致していない。この地域は寛永9年(1632)の絵図^{6・18)}では、周辺よりも高い土地の表記がある。また、明暦3年(1657)の絵図では、すでに町屋が発達しているのがみられる。今戸二丁目から南の隅田川にそった地域は、過去に低湿地であったことはないと考えられ、この地域に多発した漏水被害の原因は、江戸期水系図からも説明することができない。

家屋被害の大きかった地域のうち東日暮里三丁目付近は1460年ころの湿地に、千束四丁目付近は1460年ころの沼沢地に重なっている(図6・12参照)。このうち、東日暮里三丁目付近の湿地は、明治13年(1880)に水田が分布していた地域とほぼ一致している。また、東日暮里三丁目付近の湿地と千束四丁目付近の沼沢地にはさまれる部分には、明治42年(1909)の時点でも池の分布がみられ、この部分にも低湿地が広がっていたことを想像することができる。

このことから、関東地震で家屋被害の大きかった地域は、古くからの湿地や沼沢地が長いあいだ水田などに利用されたのち、市街化した地域にあたるものと考えられる。台東区付近のうち、北部の地域での人工改変と市街化は、関東地震の時点でみればかなり新しいものであり、これが家屋の被害を大きくした可能性もある。

過去の湿地や沼沢地ではアシやマコモなどが腐敗せずに堆積し、腐植土層を形









- | | | | |
|---|-------------|---|-----------------------|
|  | 1469年ころの水系 |  | 隅田川 |
|  | 1469年ころの沼沢地 |  | その他の地域(1460年ころの完全な陸地) |
|  | 1469年ころの湿地 |  | 漏水地点(1点が5か所の漏水を示す) |

図6・11 江戸期水系図と漏水被害箇所(台東区付近)
(正井泰夫:都市環境としての大江戸の水系と海岸^{6・17)}, 1980による)

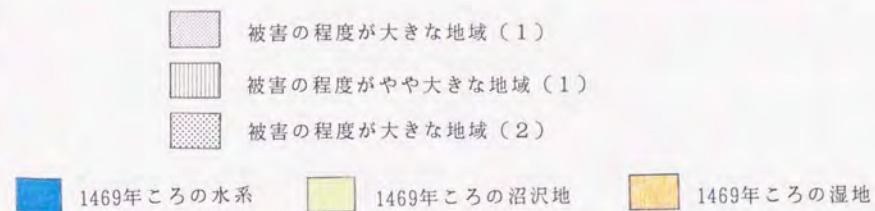
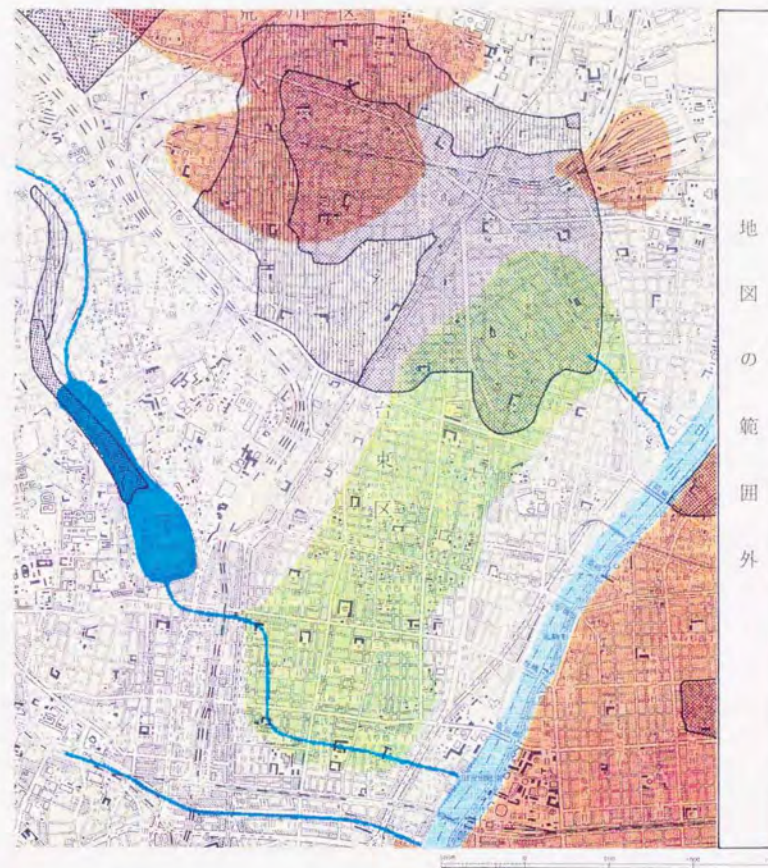


図 6・12 江戸期の水系図と家屋被害分布(台東区付近)

(正井泰夫:都市環境としての大江戸の水系と海岸^{6・17}), 1980による)

「この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図(東京首都)を使用したものである。」

成していることが多い。この腐植土層は地震波を増幅することから、このような地盤では地震被害が多く発生すると考えられている。台東区付近のボーリング資料から、腐植土層が確認された位置を図 6・13 に示す。この図からも理解されるように、江戸時代に湿地や沼沢地であった地域には、腐植土層が堆積している場所はほとんどみつけることができない。湿地や沼沢地に堆積することが多い腐植土層は、この地域にはほとんど分布していないことから、地震被害は低湿地に堆積していた、やわらかい表層の土質に起因するものと考えられる。

6. 2. 6 結論

関東地震での水道配水管の漏水被害と家屋被害を対象として、地形・地質の条件がどのように影響していたかについての定性的な解析を試みた。

被害の考察をおこなうにあたって、地震後 7 か月たった時点での調査結果を漏水被害地点の基礎資料とすることの妥当性を検討した。台東区付近での漏水地点数は調査延長あたりの平均漏水率 153 箇所/km よりもはるかに多いことから、この地域では多くの漏水被害が発生していたと判断される。また、大正 9 年 (1920) の配管図から、対象地域はすべて自由流下の配管系統に属しており、鉄管の口径も特に細いものが敷設されてはいないことが確認された。

過去の地震では地盤の液状化によって、埋設管は大きな被害をうけている。しかし、関東地震地盤被害分類図によると対象地域にほとんど液状化は発生しておらず、ボーリング資料から計算される液状化指数 P_L 値の分布からも、対象地域の地盤が広い範囲にわたって液状化する可能性は低いことが確認された。

地質の情報としては、対象地域内に沖積層の層厚の変化が著しい場所のある点が注目される。駒形橋付近では沖積層の層厚が大きく変化しており、地盤の卓越周期も 300m ほどの距離のあいだで約 0.7 秒から約 0.3 秒に急変している。沖積層の層厚の変化が地震時の相対変位を大きくし、漏水被害をもたらした可能性も一部の地域については考えられるが、沖積層の層厚変化だけからすべての漏水と家屋の被害を説明することはできない。

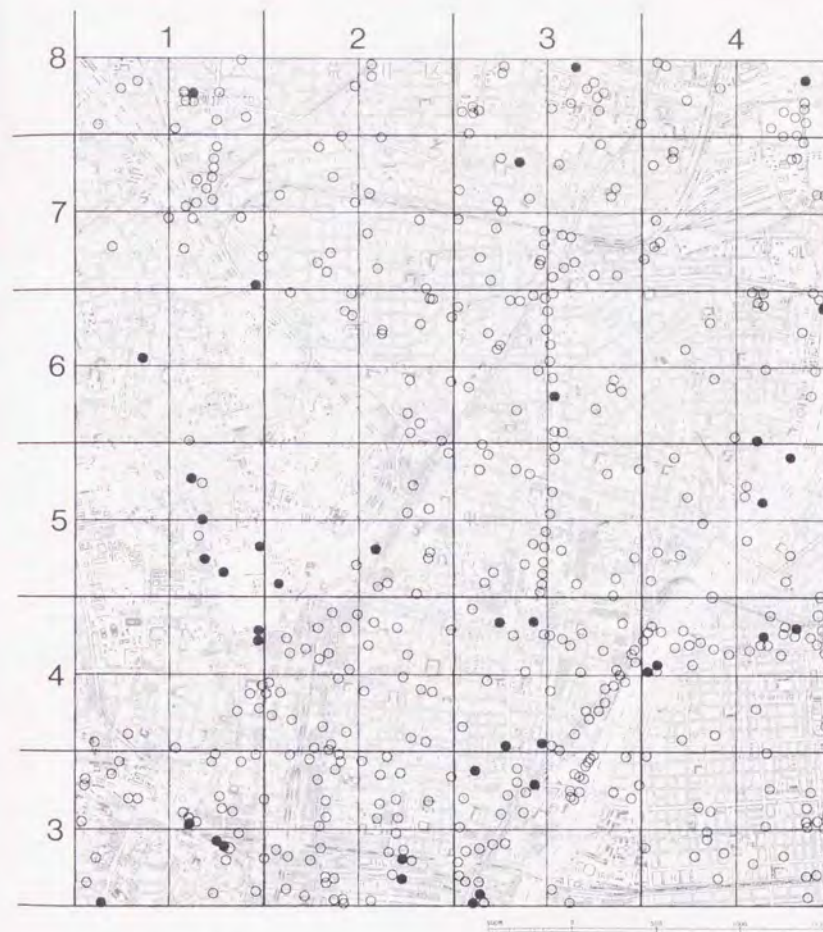
地形の情報としては、江戸期の水系図が漏水と家屋被害の分布域にもっともよく一致しており、古くからの低湿地で漏水や家屋被害が発生したのと考えられ

る、この一致は江戸時代の絵図や明治初期の旧判地形図戸の比較から、1460年代の自然地形が直接、関東地震での被害に影響をあたえたというよりも、古くからの沼沢地が関東地震に近い時点まで、人工的な改変をあまりうけなかった結果であると考えられる。明治42年の水系図には、江戸期の水系図の湿地や沼沢地の周辺部にも池や湿地がみられ、低湿地帯はより広い範囲に分布していたことが推測される。湿地や沼沢地に堆積することが多い腐植土層は、この地域にはほとんど分布していないことから、地震被害は低湿地に堆積していた、やわらかい表層の土質に起因するものと考えられる。

この地域で発生した水道管の漏水と家屋の被害は、そのほとんどが液状化に起因するものではなかった。また、地盤の卓越周期のちがいによっても、すべての被害を説明することはできなかった。地震波を増幅させると考えられる軟弱な腐植土層も、この地域のボーリング資料からはほとんど確認されていない。このことは、現在の地震被害想定で地盤危険度を判定する指標となっている、液状化や地表での地震動の最大加速度の予測だけでは、この地域の危険度を過小に評価することを意味している。

この節で地震被害を規定したと結論づけた過去の沼沢地の分布は、被害予測のための情報としては定性的なものであり、その評価にはあいまいな部分もふくまれている。また、液状化や最大加速度のように、その結果生じる被害の程度を明確に予測することもむずかしい情報である。過去の沼沢地は盛土したのちの時間経過によって安定化していくと考えられることから、関東地震当時とおなじ危険度が現在もこの地域にあるとは、かならずしも判断することができない。しかし、被害想定では危険と判断される情報をのこらず考慮に入れる必要があることから、過去の水系や沼沢地といった定性的な情報も、地震防災上重要な情報であると考えられる。また、被害の程度は明確ではないものの、その分布域はかなり正確にとらえられることから、被害予測にも十分応用できる情報である。

関東地震での漏水と家屋被害が多発した地域のうち、半分程度の面積については地形・地質との関連をみつけることができた。しかし、漏水被害が多くにられた地域のうちには、隅田川ぞいなどのように地形・地質の影響を見出すことができなかった場所も残されている。これらは実際の地震被害の複雑さをうかがわせるものであり、今後の研究課題としたい。



● 腐植土が確認されたボーリング地点 ○ 腐植土が確認されなかったボーリング地点

図 6.13 腐植土層が確認されたボーリングの位置（台東区付近）

「この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図（東京首都）を使用したものである。」

6.3 関東地震での家屋被害にあたえた地形・地質の影響

—千代田区とその周辺を例にとって—

6.3.1 概説

関東地震での家屋被害の分布には、地形の影響を強くうけた地域がみられた。地形のちがいによる被害程度の相違は、台地と、台地を刻む中小河川の河谷底が入組んだ地域で、もっとも顕著にみられたようである。たとえば、大崎順彦は「地震と建築」^{6・21)}の中で、西健元教授の体験記として次のような記載を引用している。

「森川町（現在の文京区本郷六丁目、東大正門前）はほとんど著しい被害は見えない。ところが田町（文京区西片一丁目）の方へ下ると、だいぶ瓦の落ちたのや、家の傾いたのがある。柳町（文京区小石川三丁目）にはいると、また被害が少ない。なるほど地盤によるのだなと。しかしこれほどまでに違うものかと、つくづく思いながら久堅町にはいると…」^{6・22)}（括弧内の町名は大崎による）。

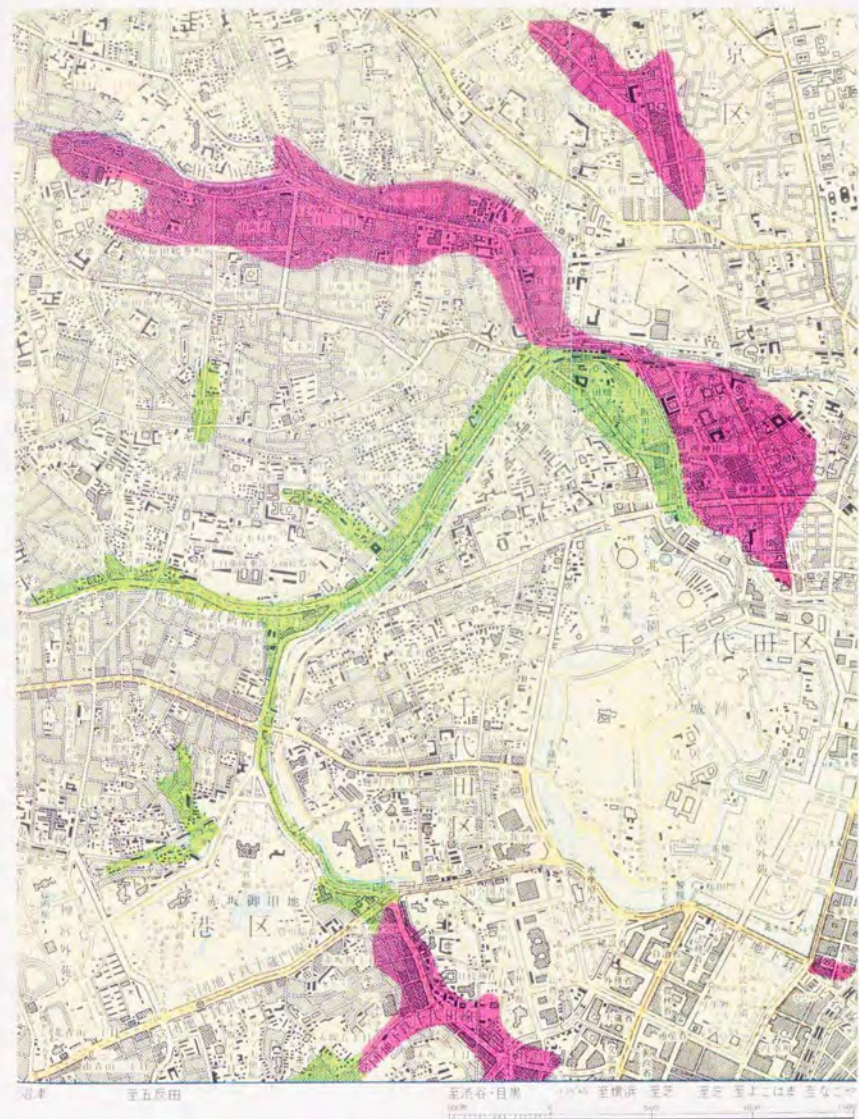
この節では体験記にでてくる文京区西片一丁目から皇居周辺にいたる地域での、家屋被害と地形・地質との関連を考察する。

6.3.2 千代田区とその周辺での家屋被害分布

関東地震での家屋被害は図 6・14 にみられるように、千代田区とその周辺では広範囲に分布している。被害の程度が大きな地域は文京区西片一丁目から小石川三丁目にかけての地域のほかにも、神田川ぞいに広く分布している。また、赤坂見付から国会議事堂前にかけての地域でも、大きな家屋被害が発生している。

被害の程度がやや大きな地域は、飯田橋三丁目付近で被害程度の大きな地域に接し、外堀ぞいに赤坂見付まで達している。外堀ぞいの被害地域には市谷左内町や靖国通りぞいに分岐する地域がみられるほか、新宿区若葉三丁目と市谷柳町にも被害地域が分布している。

関東地震当時の家屋の分布は、大正5年（1916）から6年（1917）に測図された1：25,000地形図^{6・16)}あるいは大正14年（1925）の1：10,000地形図^{6・15)}



- 被害の程度が大きな地域（1）
- 被害の程度がやや大きな地域（1）

図 6・14 関東地震（1923）の家屋被害分布図（千代田区とその周辺）

〔この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図（東京首都、東京西部）を使用したものである。〕

から読取ることができる。外堀の内側の地域のうち、皇居の西側では建物の密度はいくぶん粗くなっており、特に永田町や霞ヶ関には広い空地がみられる。これらの地域は家屋被害があまり発生しなかった地域に属している。また、赤坂離宮や明治神宮外苑、後楽園、現在は東部方面総監部となっている士官学校などでも、被害はみられていない。しかし、この地域は全体的にはすでに市街化していたことから、市街化の程度が家屋被害の分布に強い影響をあたえたとは、考えることができない。

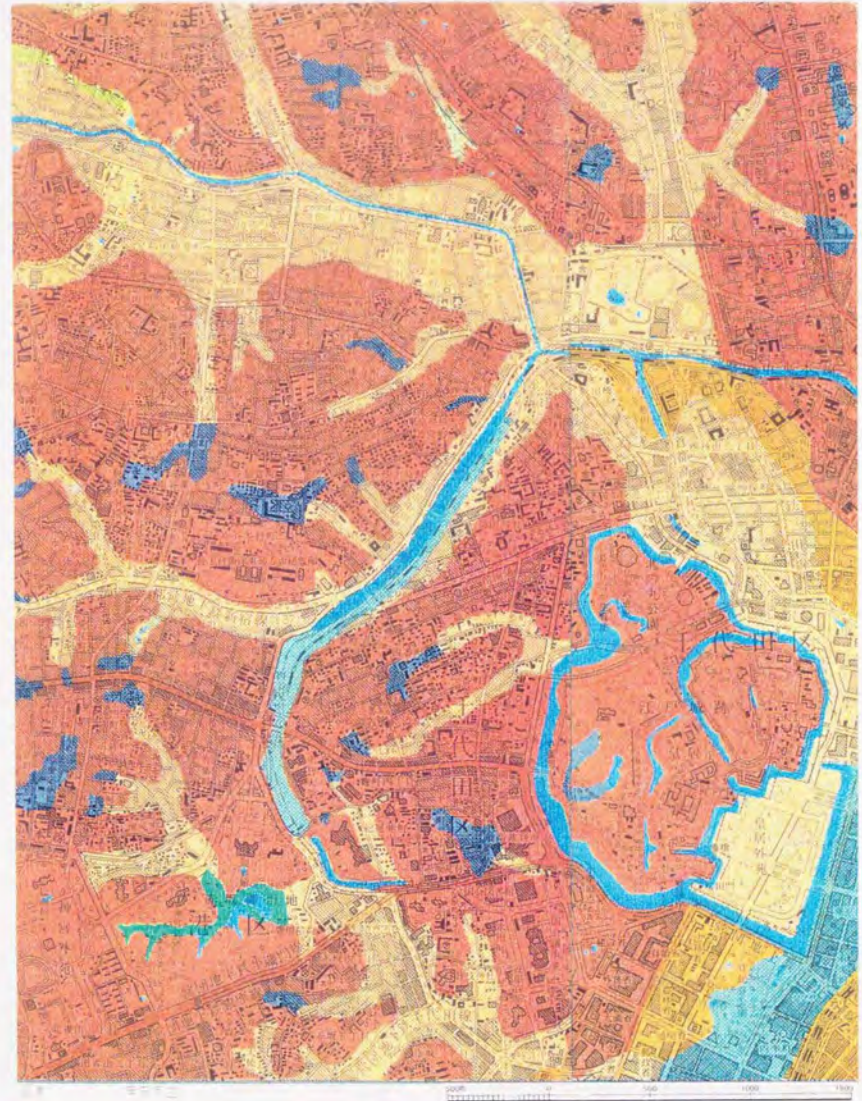
千代田区とその周辺に分布する家屋被害地域には系統的なまとまりが認められることから、被害の発生に結びつく強い因子が働いたことが予想される。

6.3.3 地形との関係

対象地域の土地条件図を図 6・15 に示す。家屋被害のあった場所のほとんどは盛土地に区分される地域にふくまれており、部分的に凹地・浅い谷にも被害地域が分布している。この地図の範囲では、盛土地は皇居外苑をのぞいて、すべて中小河川の河谷底が人工的に盛土された地域にあたっている。人工改変をうけていない場所は赤坂御用地の一部にみることができ、土地条件図では「谷底平野」に区分されている。このことから、凹地・浅い谷をふくめた河谷底の地盤が、関東地震での家屋被害と密接に関係していると考えられることができる。

この地域は都心部に近接しているため早い時期に都市化しており、盛土もかなり古い時代のものであると考えられる。図 6・16 にみられるように、明治13年(1880)の迅速測図^{6・13)}では、文京区小石川三丁目町付近や新宿区早稲田弦巻町から山吹町にかけた地域などには水田が残されているものの、大部分の地域ではすでに市街化が完了している。特に外堀の内側では、水田や乾田はまったく存在していない。

図 6・17 に示す江戸期の水系図からは、現在の神田川とほぼ同じ位置に1460年代にも神田川の流路が認められる。神田川ぞいには山吹町付近の白鳥池や水道橋付近の大池といった沼沢地が分布している(図 2・2参照)。山吹町は明治13年(1880)の時点では水田として利用されており、この時代まで低湿地として残されていた。












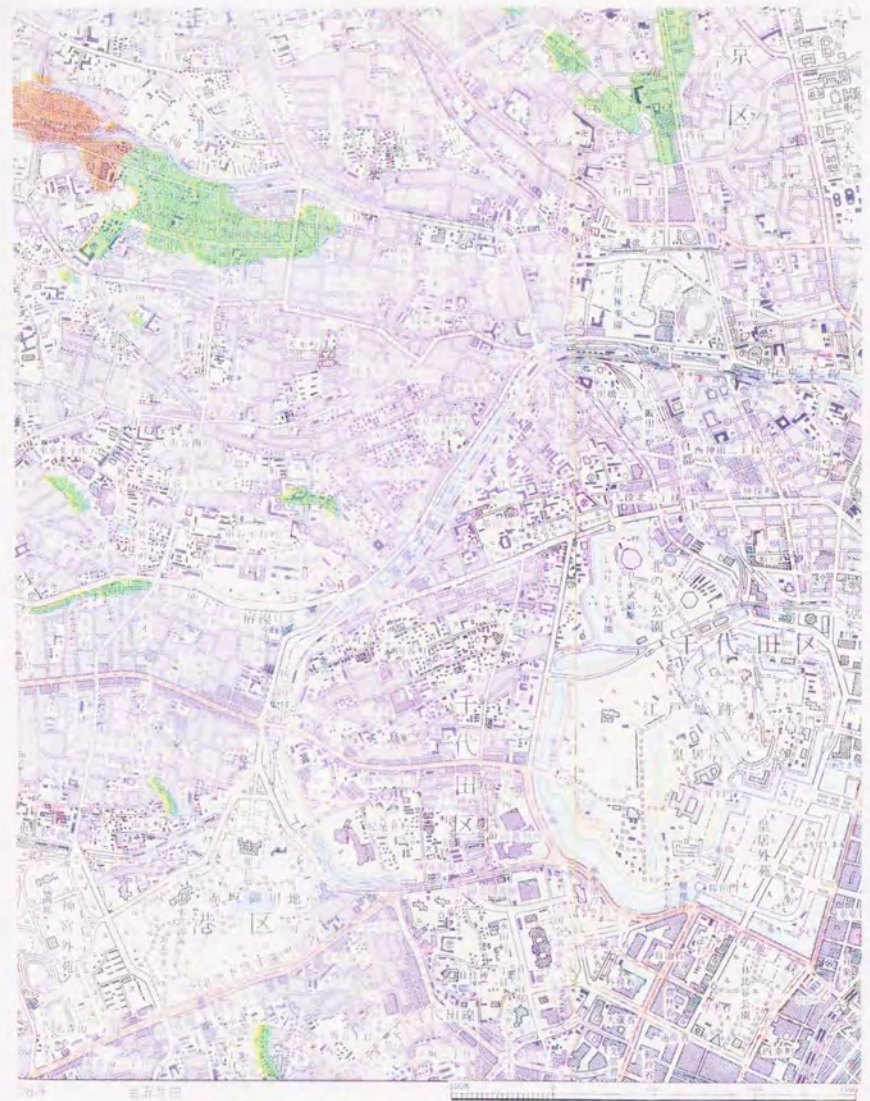
- | | | |
|---|--|--|
|  河川、水涯線および水面 |  旧水面上の盛土地+埋土地 |  盛土地 |
|  砂(礫)州・砂(礫)堆 |  凹地・浅い谷 |  谷底平野 |
|  台地・段丘+平坦化地+台地斜面 |  高い盛土地 |  麓斜面 |

図 6・15 土地条件図(千代田区とその周辺)

「この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図(東京首都、東京西部)を使用したものである。」



- 水田
- 乾田
- その他の地域（都市化した地域
と畑、水面をふくむ）

図 6-16 旧版地形図による湿地・水田分布図（千代田区とその周辺）

「この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図（東京首都、東京西部）を使用したものである。」








- | | | | |
|---|-------------|---|-------------------------|
|  | 1460年ころの水系 |  | 1460年ころから1632年までに陸化した地域 |
|  | 1460年ころの沼沢地 |  | その他の地域(1460年ころの完全な陸地) |
|  | 1460年ころの湿地 | | |

図 6・17 江戸期の水系図(千代田区とその周辺)

(正井泰夫：都市環境としての大江戸の水系と海岸^{9・17}，1980による)

「この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図(東京首都，東京西部)を使用したものである。」

神田川から北にのびる千川（現在は暗渠となっている谷端川）は、明治42年（1909）の水系図では細い流路として残存しているが、大正14年（1925）の水系図ではすでに一部が暗渠となっている。また、外堀から新宿区坂町にのびる河川は、その一部が用水路として明治・大正の水系図に残されているだけである。江戸期の水系図にみられる沼沢地や外堀をふくめた河川は、家屋被害とかなりよい一致が認められる。

江戸期の水系図の南端には、溜池が大きな池として分布している。溜池は江戸時代を通じて、かたちを変えながらも外堀の一部として存在したことは、江戸時代の絵図から知ることができる^{6.18)}。溜池は明治9年（1876）ごろからしだいに埋立てられ、姿を消していく。池の跡は明治13年の迅速測図では「牧場あるいは草地」として、明治17年の1:5,000東京図では「湿地」として痕跡をとどめているが、明治42年の地形図ではすでに消失しており、市街化している^{6.19)}。溜池の跡地では、大きな家屋被害が発生している。

6.3.4 地質との関係

中小河川によって台地が開析された河谷底の地盤では、堆積している沖積層は腐食質粘土や泥炭、ローム質の粘土が主体となっている。このうち腐植土や泥炭は沼沢地に繁殖した水草類が堆積したもので、未分解のまま堆積したのから分解して黒泥状のものまでふくまれる。特に中小河川が低地に流れ出す出口付近では、谷口を砂州や自然堤防によってふさがれて沼沢地化しやすいことから、腐植土や泥炭が厚く堆積している場所が多い。ローム質の粘土は台地を構成している関東ロームが侵食をうけ、再堆積したものである。

河谷底に堆積する沖積層は、標準貫入試験のN値が0から1ときわめて軟弱である。その層厚は5から10mのところが多く、上流部では薄くなっている。また、低地への出口付近には層厚が10mをこえる地域もみられ、低地の沖積層である有楽町層に漸移していると考えられている^{6.23)}。

中小河川の侵食力は大河川にくらべるとかなり小さく、河谷底に砂層が堆積する地域は23区内にはあまりみられない。このため、地盤の液状化が発生する可能性は、一般的にそれほど高くない。しかし、一部には関東ローム層の下位に分

布する東京層や礫層が侵食され、再堆積した砂層が分布しているところがある。また、中小河川の低地への出口付近では、砂層である有楽町層上部が堆積している部分もあり、このような場所では液状化の発生する可能性がある。

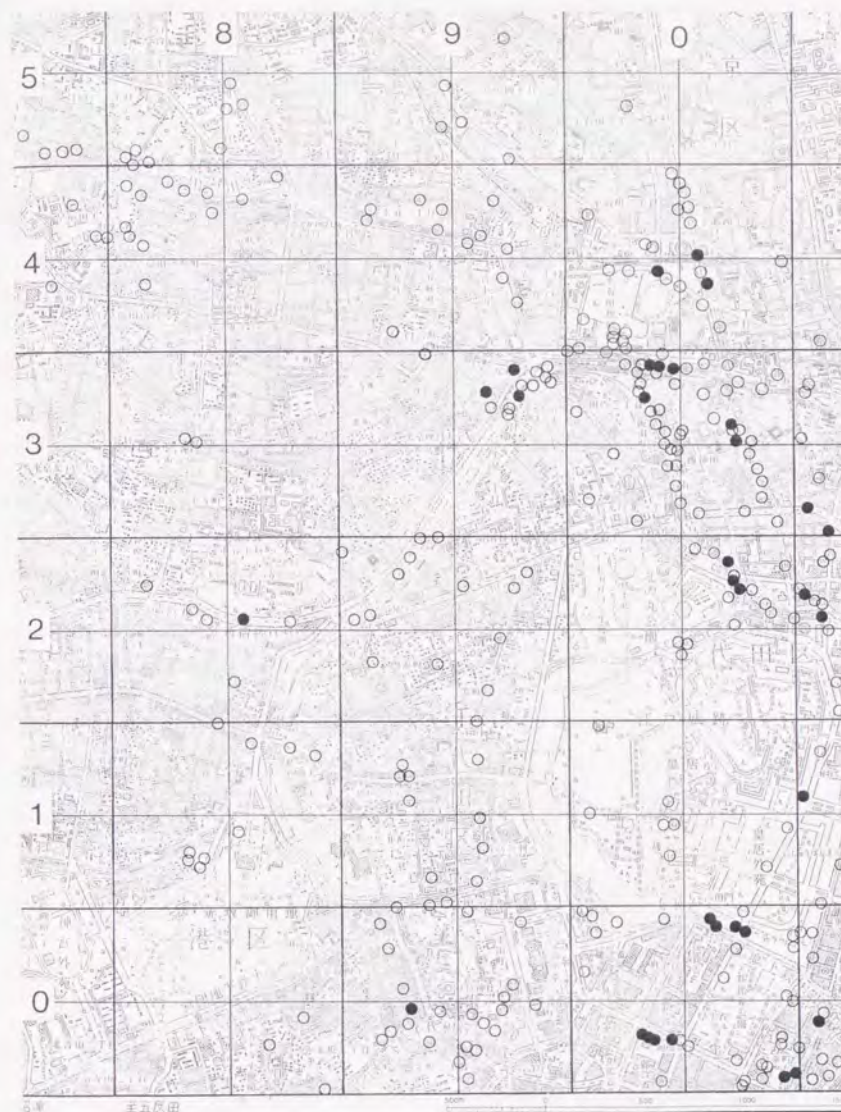
ボーリング資料から解析された液状化指数 (P_L) の分布を、図 6・18 に示す。 P_L 値の計算は、6・4 で述べる低地の液状化予測の場合と同じ条件を設定している。 P_L 値が 15 以上となるボーリング地点は、神田川および日本橋川の低地への出口付近と、日比谷公園の周辺に分布している。家屋被害がみられた地域とは神田川ぞいの部分で一部が重なるものの、それほどよい一致は認められない。

関東地震地盤被害分類図では、外堀ぞいに軽度の液状化が発生した地域と、井水の変化・地割れが発生した地域が点在している。また、井水の変化・地割れが発生した地域は赤坂見付付近と西神田三丁目付近にもみられる。しかし、いずれの被害地点もその面積はきわめてせまく、激しい液状化が広範囲に発生した形跡は認められない。

以上のことから、液状化によって家屋被害が発生した可能性はまったくないとはいえないものの、液状化の影響はごく限られた地域だけであると判断される。

河谷底に堆積する沖積層は層厚としては 10m 程度であり、層厚だけからでは家屋被害が多かったことを説明することはできない。河谷底の地盤で問題となるのは、層厚よりも腐植土や泥炭の存在であると考えられる。腐植土層や泥炭層は地震波の伝播速度がおそく、このため地震波の増幅率が粘土層やシルト層にくらべて大きくなると考えられている。また、その強度もきわめて軟弱であることから、地震時には局所的な沈下などの地盤災害が発生しやすい。

ボーリング柱状図から腐植土が確認された地点を、図 6・19 に示す。この図からも明らかなように、腐植土が確認された地点と家屋被害が発生した地域とはよい一致がみられる。腐植土が確認された地点は江戸期の水系図の「溜池」や沼沢地、神田川などの河川ぞいの地域とも一致している。このことから、千代田区とそれに発生した家屋被害は、古い時代から水の貯まりやすい地形のところに堆積した腐植土層や軟弱層の存在が、その主因であると判断される。



● P_L 値が 15 以上となる
ボーリング地点

○ P_L 値が 15 未満となる
ボーリング地点

図 6・18 液状化指数 P_L の分布 (千代田区とその周辺)

「この地図は国土地理院発行の 2 万 5 千分の 1 地形図 (東京首都、東京西部) を使用したものである。」

6. 3. 5 結論

千代田区とその周辺は、関東地震の際に広範囲にわたる家屋被害がみられた地域のひとつである。この地域での家屋被害の分布には系統的なまとまりが認められ、被害の発生に結びつく地形あるいは地質的な因子が強く働いたとが予想された。

ボーリング資料による液状化解析の結果からは、対象地域の一部には地盤の液状化によって被害が発生する可能性がある場所もみられる。しかし、関東地震地盤被害分類図では、この地域に広範な液状化が発生した痕跡は認められない。また、液状化しやすい地域と家屋被害の分布域とは、部分的な一致しかみられないことから、液状化が家屋被害にあたえた影響はごく限られた地域に限定されると判断される。

家屋被害が発生した地域は、ボーリング資料から腐植土層が確認された地点とよく一致している。また、江戸期の水系図での「溜池」や沼沢地、河川の位置とも重なりが認められることから、古い時代からの池や湿地などに堆積した腐植土によって、広範囲の家屋被害が励起されたものと考えられる。

家屋被害が発生した地域は、すべて神田川などの中小河川が台地を開析した河谷底に分布している。家屋被害が河谷底に集中していることは、関東地震の当時からすでに認識されており、地質調査所の被害報告^{0.4)}にも家屋被害とともに台地と河谷底の境界が図示されている。家屋被害があまり発生しなかった台地と河谷底での被害のコントラストは、両者が接近しているだけに明瞭に認められたものと考えられる。

千代田区とその周辺の地域は市街化した時期が古いことから、旧版の地形図によっても土地の人工改変を十分にとらえることはできなかった。しかし、家屋被害の発生した場所は河谷底に限定されており、地震被害の予測という点だけに限ってみれば、現在の地形分類図である土地条件図から十分に予測が可能である。

木造家屋の構造は、関東地震当時に比べると格段に耐震化されており、最近の被害地震では震動によって家屋が完全に倒壊する例はほとんどみられない。しかし、軟弱な腐植土層が分布する地域では地震時に土地の陥没や沈下も発生しやすいことから、液状化の可能性のある地域と同程度の危険度はあると判断される。

6.4 パソコンによる支援システムの液状化予測への応用

6.4.1 概説

第5章でも述べたように、パソコンによる支援システムを広域の地震被害予測に適用した例に東京低地の液状化予測図がある。この節では、支援システムの機能を直接利用して作成された、メッシュ判定法による予測図^(6.24)の作成過程について概説する。予測図の対象地域は、新しい埋立地をのぞいた東京の低地全域と周辺の台地域であり、この地域は1679個の4次メッシュ（1辺がほぼ500mのメッシュ）に分割されている。

対象とする地震の規模は関東地震（1923）と同程度の地震とした。震源の位置は特に設定しなかったが、震央距離はほぼ関東地震とおなじであると想定した。このため、対象地域内の基盤での地震動の強さには、地域差がないと仮定している。

液状化予測の作業は、図 6.20 のフローにしたがって実施した。メッシュごとの液状判定はボーリング情報にもとづく判定と、地図情報による判定を個別におこない、この2種類の判定結果を組合せることによって、最終的な判定値を決定している。各情報から決められる判定値としては、液状化の可能性の評価だけでなく、液状化判定の確からしさを示す指標として確度の評価もおこなった。

ボーリング情報にもとづく判定では、簡易法による液状化解析結果をもとに判定値を求めた。判定値には液状化指数（ P_L ）だけでなく、液状化抵抗率（ F_L ）も砂層の層厚と組合せて評価にとりいれている。この2つの判定値を1つにまとめて、ボーリング地点での判定結果とした。

地図情報としては6種類の地図から判定をおこなったのち、地図情報での判定値として1つの値に集約した。この作業は「地図による判定値を集約するテーブル」を利用しておこなわれるが、集約の方法は判定者にまかされている。このため、あらかじめ数十のメッシュについて試行をおこない、集約法のルーチンを決定した。

ボーリング情報にもとづく判定と地図情報による判定の組合せは、液状化の可能性の判定値だけでなく確度の判定値も評価にいられて、最終的な液状化危険度と

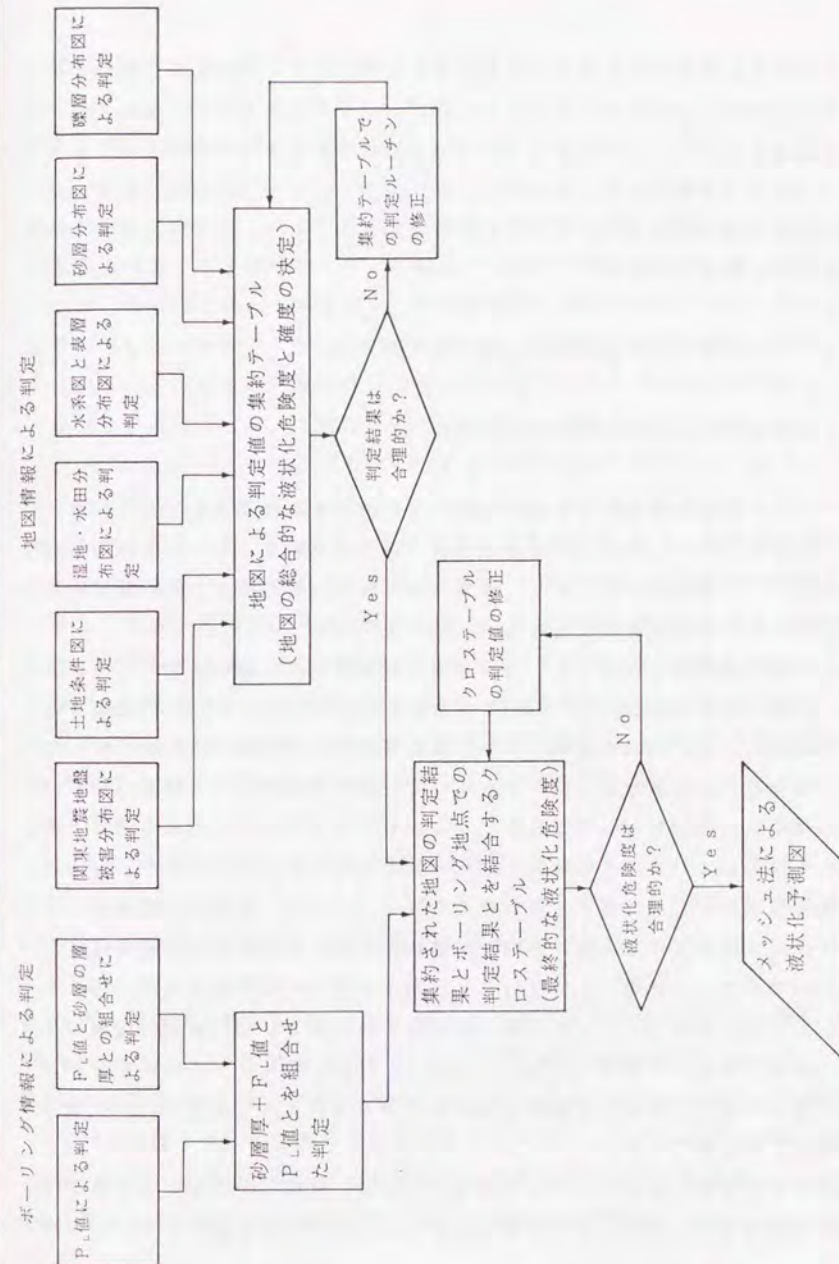


図 6.20 メッシュ判定法による液状化予測図を作成するフロー

してまとめた。確度の判定値は情報を集約する過程だけに利用し、最終的な液状化の危険度では、液状化の可能性だけを表示した。この組合せは「集約された地図の判定結果とボーリング地点での判定結果を結合するクロステーブル」によってパソコン上で自動的におこなわれる。クロステーブルでの判定値の組合せは、地図の集約の場合と同様にあらかじめ試行錯誤をおこない、もっとも妥当であると考えられる値を採用した。

6. 4. 2 ボーリング資料にもとづく液状化判定

(1) 簡易法による液状化解析の設定条件

ボーリング柱状図情報による液状化の判定に使用する簡易式としては、液状化解析プログラムにメニューとして登録されている5つの式から、土木技術研究所の提案式^(6.25)を採用した。また、地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数も、東京低地での解析結果から得られた0.025を使用した^(6.25)。

液状化解析の設定条件のうち、沖積層基底等深線図から読み込まれる地表加速度は、基盤での最大加速度を170galとしたときの値を採用した。この地表最大加速度は208galから278galの範囲にあり、基底等深線図の深度が浅くなるに当たって、地表最大加速度も高い値となっている。基底等深線図での深度区分が0m以上の地域には、0mから10mの区分とともに、もっとも高い地表最大加速度である278galを設定している。この地域には台地と河谷低がふくまれており、台地での地表最大加速度としては高すぎると考えられる。しかし、液状化の可能性があるのは河谷低の地盤だけであり、台地には液状化解析の対象となる砂質地盤は人工的なものをのぞいて分布していないこと、および過去の地震被害は河谷低に多く発生していることから、もっとも高い地表最大加速度とした。地盤の地震応答解析は、基盤での最大加速度が100galと150gal、200galの3ケースだけを計算しているため、基盤での最大加速度が170galのときの地表最大加速度は、この値を補間することで求めている。

地下水位分布図によって決められる地下水位は、液状化予測としては安全側の評価となるように、地下水位分布図の区分よりも浅い水位を設定した。この地下

水位はもっとも浅い区分では地表から0.7m、もっとも深い区分でも2.5mとした。

(2) 解析結果にもとづく判定

液状化の判定としては、パソコンの画面に表示される P_L 値だけでなく、 F_L 値の結果についても評価に加えた。 F_L 値による判定は、表4.4に示した砂層の層厚と F_L 値の組合せから液状化の可能性を検討した出力図を利用したものであり、砂層が厚く浅い深度で F_L 値が小さいボーリング地点ほど液状化しやすいと判定している。この判定のランクは「液状化の可能性大」と「液状化の可能性中」、「液状化の可能性小」、「液状化の可能性なし」の4ランクとした。

P_L 値による判定では、 P_L 値が15以上を「液状化の可能性大」、5以上15未満を「液状化の可能性いくらかあり」、5未満を「液状化の可能性なし」の3段階のランクを設定した。 P_L 値による判定と、砂層厚と F_L 値による判定が終了したのち、両者を組合せた判定をおこなった。このランクは「液状化の可能性は大きい」と「液状化の可能性がいくらかある」、「液状化の可能性はない」の3ランクとし、これに「ボーリング情報からは判定できない」を加えた。

確度についてはメッシュ内のボーリング地点の数と散布状態から評価し、もっとも確度の高いAからもっとも低いEまでの5段階に区分した。この評価項目は P_L 値による判定と F_L 値による判定でともに共通している。

6. 4. 3 地図情報にもとづく液状化判定

(1) 地図情報による液状化危険度の評価

液状化の危険度判定に先立って、第4章で述べた「地図の重ね合わせによる面積集計」と「入力した地図の区分による液状化解析結果の出力」によって、地図の区分ごとの液状化程度の評価をおこなった。地図の重ね合わせによる面積集計では関東地震での地盤被害分類図を判定基準におき、土地条件図と湿地・水田分布図、明治と昭和の水系図、砂層分布図、家屋被害分布図の各区分にふくまれる液状化の発生・非発生の面積から液状化の程度を求めた。

表 6-1 液状化の発生と地形・地質の区分

液状化しやすい 地形・地質の区分	関東地震液状化履歴図と各地図との面積 比から求められた結果	各地図の区分と P_L 値のヒストグラムか ら求められた結果
やや液状化しやすい 地形・地質の区分	頻水地形，旧水面上の盛土地・埋土地， 干拓地，湿地，沖積層の砂層が10m以上 の地域，過去に乾田であった地域	河川・水垂線・水面，旧河道*，緩扇状 地
やや液状化しやすい 地形・地質の区分	三角州，氾濫平野，自然堤防	三角州，旧水面上の盛土地・埋土地，旧 水面上の古い盛土地，頻水地形，過去に 乾田であった地域
やや液状化しやすい 地形・地質の区分	砂(礫)州・砂(礫)堆， 旧河道*，凹地・浅い谷*，谷底平野*， 麓斜面*，緩扇状地	干拓地，砂(礫)州・砂(礫)堆，高い盛土 地，深度5m以内に礫層のある地域， 凹地・浅い谷*，谷底平野*
液状化しにくい 地形・地質の区分	台地(段丘と平坦化地，台地斜面を含む)	台地(段丘と平坦化地，台地斜面を含む)

* 液状化予測の対象領域にないところから，谷底平野，麓斜面，緩扇状地の面積は小さく， P_L 値の計算結果もすくなくない。これは， P_L 値の精度が低いものではない。

入力した地図の区分による液状化解析結果の出力では，解析値として液状化指数(P_L)を採用し，土地条件図と土地分類図，江戸期水系図，湿地・水田分布図，明治水系図，礫層分布図，砂層分布図，家屋被害分布図の P_L 値の分布から液状化の程度を判断した。解析結果の一部は4，2，3と4，4，4に示したが，個々の結果については文献 6-26を参照していただきたい。

これらの結果から，表 6-1に示す地形・地質の区分で，液状化発生の程度を求めることができた。地図の重ね合わせから得られた結果と P_L 値から求めた結果には，地図の区分によっては相反するものもみられる。旧河道や緩扇状地のように分布面積の小さい地形分類では，その領域にふくまれる液状化発生の情報やボーリングデータも少なく，誤差が表われたと考えられる。このほか湿地と三角州ではランクの入れ替わりがみられるが，全体的には整合する結果が得られた。

(2) 液状化危険度評価にもとづく判定

判定に利用した地図情報の種類と，液状化のランクを表 6-2に示す。対象とする地震被害が地盤の液状化であることから，過去の地震での被害の情報としては関東地震地盤被害分類図を選んだ。地形・地質の情報としては土地条件図と砂層分布図，湿地水田分布図，礫層分布図を使用している。また，明治・大正・昭和の水系図と表層分布図の重ね合わせから，過去の水系が砂質土によって埋土されている地点も判定に加えた。

液状化のランクとしては「液状化の可能性は大きい」と「液状化の可能性がいくらかある」，「液状化の可能性はない」の3ランクとし，これに「地図情報からは判定できない」を加えた。地図ごとの液状化の判定のうち可能性のランクは，メッシュ内にふくまれる各地図の区分から表 6-2のランクにしたがって決定した。

確度については，基本的には可能性のランクを決定した地図の区分がメッシュ内にしめる面積から決定した。ただし，水系図と表層分布図による判定と，湿地・水田分布図による判定では，もともと液状化の発生にたいする寄与度に不明な点もあるので，メッシュ内の面積が広くても確度をさげている。確度の分類はA(確度が高い)からE(確度が低い)までの5段階である。

上記の6種類の地図での判定がおわった段階で，地図情報による液状化可能性

表 6・2 地図情報の区分と液状化のランク

液状化のランク	地図情報の区分
ランク 2 液状化の可能性は大きい	関東地震地盤被害分類図：激しい液状化が生じた地域 (コード：2,3,4) 軽度の液状化が発生した地域 (コード：5,6,7)
	土地条件図：河川・水涯線および水面(4), 頻水地形(5), 旧河道(12), 干拓地(3), 旧水面上の盛土地・埋土地(6)
	砂層分布図：砂層の層厚が10m以上(15)
	水系図と表層分布図：過去の水域(4)と湿地(7), 海(5)が, 表層分布図の「すべて砂質土」によって埋土されている。 湿地・水田分布図：湿地(7)
ランク 3 液状化の可能性が いくらかある	土地条件図：旧水面上の高い盛土地(10), 谷底平野(7), 凹地・浅い谷(14), 氾濫平野(2), 三角州(9), 海岸平野(19), 凹陥地(20), 自然堤防(8), 緩扇状地(18), 盛土地(11), 高い盛土地(15), 麓斜面(17)
	水系図と表層分布図：過去の水域(4)と湿地(7), 海(5)が, 表層分布図の「一部砂質土」によって埋土されている。
ランク 4 液状化の可能性はない	関東地震地盤被害分類図：地盤災害の非発生が確認された地域(11)
	土地条件図：台地・段丘・平坦化地・台地斜面(16) 砂(礫)堆・砂(礫)州(13)
	礫層分布図：礫層が深度5m以内に分布する(2)
ランク 5 判定できない	砂層分布図：砂層の層厚が10m未満(11,12,13,14,0,1)
	礫層分布図：礫層が深度5m以内に存在しない(0,1)
	水系図と表層分布図：過去の水域(4)と湿地(7), 海(5)は, 表層分布図の「すべて砂質土」あるいは「一部砂質土」によって埋土されていない。
	湿地・水田分布図：湿地以外の地域(6,8,1,0)

() 内は地図の区分コードを示す。

のランクと確度を集約した。液状化可能性のランクとしては、各地図の判定結果から「液状化の可能性は大きい」、「液状化の可能性はない」、「液状化の可能性がいくらかある」の順に検索をおこない、決定した。確度についてはAからC(確度の高いグループ)とDからE(確度の低いグループ)に2分し、それぞれの個数から確度の高いグループの数が多きほど確度を高く評価している。

6. 4. 4 クロステーブルによる総合判定値の決定と予測結果

(1) クロステーブルによる総合判定値の決定

メッシュごとの液状化の可能性は、ボーリング地点での判定値と地図情報での判定値を組合せ、総合的な判定値として求めた。この組合せは総合判定クロステーブルの設定値にしたがっておこなった。判定のランクは「液状化が発生しやすい地域」と「液状化の発生が少ない地域」、「液状化の発生がほとんどない地域」の3ランクである。

クロステーブルの設定値は、はじめに代表的な数十のメッシュを選んでいくつかの組合せを作り、結果の妥当性を検討したのち決定した。その後、実際に判定作業をすすめるなかで、部分的な修正をくわえて最終的な設定値とした。今回の液状化予測でのクロステーブルの設定値は、図 5・13 に示したものと同一である。

クロステーブルの設定にあたっては、ボーリング地点での判定と地図情報での判定に差がある場合には、確度の高い方のランクから総合判定値を決定するようにした。また、両者のランクがともに「液状化の可能性が大きい」と判断されていても確度が低い場合には、中間のランクである「液状化の発生が少ない地域」とした。この予測図は地盤の液状化を対象としていることから、ボーリング地点での液状化判定は地図情報による判定にくらべて、やや高い評価をあたえている。

(2) 関東地震で液状化が発生した地域と判定結果の比較

関東地震(1923)では東京低地の多くの地点で地盤の液状化が発生していたことが、面接調査をはじめとする液状化履歴調査によって知られている(9・27)。関

東地震地盤被害分類図では、激しい液状化が発生した地域の面積は 14.77km^2 、軽度の液状化が発生した地域の面積は 4.31km^2 となっている。このほか、 3.68km^2 の地域で井水の変化や地割れが確認されている。ここでは、関東地震地盤被害分類図で液状化が広範囲に発生したとされている地域から3地域を選び、この節で述べた判定結果との比較をおこなう。

対象とした地域は図 6-24 に示す(A)足立区大谷田の周辺と(B)大田区大森の周辺、(C)江東区北砂と東砂周辺の地域である。なお、6.4.3でも述べたように、地図情報にもとづく液状化判定では関東地震地盤被害分類図の区分も判定項目にふくまれている。しかし、ここでは関東地震での液状化の発生と判定結果の比較を目的としていることから、地図情報にもとづく判定から関東地震地盤被害分類図の項目をはずしている。

(A)足立区大谷田の周辺では、図 6-21 にみられるように、地点としては確定できないものの、激しい液状化が広い範囲にわたって発生している。ボーリング資料から計算された液状化指数では、 P_L 値が15以上となる地点が広く分布しており、5未満の地点はきわめて少ない。ボーリング資料による判定では、ほとんどのメッシュで「液状化の可能性は大きい」となっている。

地図の情報のうち土地条件図では、この地域は低地の一般面と自然堤防、盛土地に区分されている。また、昭和期には小河川などの水系がかなり密に分布しているだけでなく、盛土材料も砂と粘性土によって構成されていることから、地図による判定は「液状化の可能性がいくらかある」となった。

最終的な液状化の判定結果は図 6-21 の下段にみられるように、主にボーリング資料による判定にしたがい、ほとんどのメッシュで「液状化が発生しやすい地域」(パソコンによる出力では「危険」)となっており、関東地震での液状化の発生と一致する結果が得られた。

(B)大田区大森の周辺では激しい液状化と軽度の液状化が発生しているだけでなく、液状化などの地盤災害が発生していなかったことが確認された地域も隣接している(図 6-22 参照)。液状化指数(P_L)の分布は、液状化が発生している東半分の領域では5以上の地点が多く、15以上の値を示す地点も分布しているのに対して、西半分の領域では5未満の地点が多く分布する。地図の情報としては、東半分の領域は旧水面上の盛土地であり、その多くが昭和期以降の埋立地

であるのに対して、西半分の領域は盛土地あるいは自然堤防に区分されている。また、北西の一部には、沖積層中の礫層も分布している。

最終的な液状化の判定結果では、関東地震で液状化が発生した地域の半分程度は「液状化が発生しやすい地域」(パソコンによる出力では「危険」)と判断された。対象地域の北西部には、ボーリング資料による判定と礫層の分布から「液状化の発生がほとんどない地域」(パソコンによる出力では「安全」)と判定されたメッシュもみられるが、地盤災害が発生していなかったことが確認された地域とは一致していない。液状化が発生していた地域の一部と地盤災害が発生していなかったことが確認された地域は、判定結果では「液状化の発生が少ない地域」(パソコンによる出力では「やや危険」)となっているが、全体的な予測結果としてはほぼ妥当な判定であると考えられる。

関東地震で液状化が発生した地域の大部分は、ボーリング資料による判定からでも液状化の発生を予測できるものであった。しかし、一部には(C)江東区北砂と東砂周辺の例に示すように、両者の結果が大きく異なる地域もみられた。

(C)江東区北砂と東砂周辺の地域では、図 6-23 に示すように、激しい液状化が発生した地域が広範囲に分布している。液状化が発生したという情報の精度もかなり高く、「地域まで確定できる」領域が広く分布するとともに、「地点まで確定できる」場所も点在している。

液状化指数(P_L)の分布は、図 6-23 にみられるように大部分が5未満の値となっている。このため、ボーリング資料による判定では46-06-00と46-07-01のメッシュで「液状化の可能性は大きい」と判断されたほかは、「液状化の可能性がいくらかある」と「液状化の可能性はない」メッシュとなっている。これにたいして、地図の情報ではこの地域がすべて旧水面上の盛土地に区分されていることから、「液状化の可能性は大きい」と判断した。

最終的な判定では、ボーリング資料による判定で「液状化の可能性は大きい」(パソコンによる出力では「危険」)と判断されたメッシュ以外はすべて「液状化の発生が少ない地域」(パソコンによる出力では「やや危険」)となっており、関東地震での液状化の発生とは一致しない結果となっている。



- 激しい液状化が生じた地域
 地点を確定できる
 地域まではおおよそ確定できる
 軽度の液状化が生じた地域
 地点を確定できる
 地域まではおおよそ確定できる
 井水の変化・地割れした地域
 地点を確定できる
 地域まではおおよそ確定できる
 地盤災害が発生していなかった
 ことが確認された地域



20. 柱状図位置と背景図

- 凡例
 ・ PL値5未満の地点
 ・ PL値5以上15未満の地点
 ・ PL値15以上の地点
 PL値100以上の地点
 — 市区町村界, 4次メッシュ区画
 — 鉄道
 — 道路

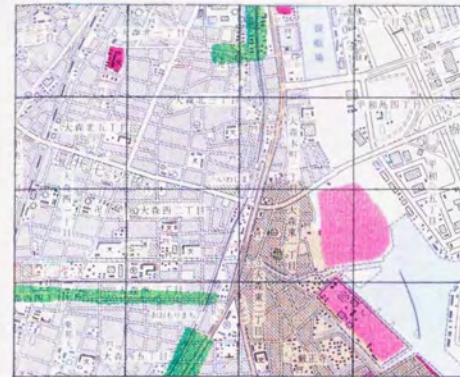
統計量は2kmメッシュ内で計算
 PL値100以上は計算の対象外



25. 液状化総合判定結果図
 (500mメッシュ)

- 凡例
 ■ 非常に危険
 ■ 危険
 ■ やや危険
 ■ 安全
 ■ 判定できず
 ■ 領域外

図 6・21 関東地震での液状化発生地点と液状化予測結果
 (A) 足立区大谷田周辺の地域



- 激しい液状化が生じた地域
- 地点を確定できる
 - 地域までは確定できる
 - 地域としておおよそ確定できる
- 軽度の液状化が生じた地域
- 地点を確定できる
 - 地域までは確定できる
 - 地域としておおよそ確定できる
- 井水の変化・地割れした地域
- 地点を確定できる
 - 地域までは確定できる
 - 地域としておおよそ確定できる
- 地盤災害が発生していなかったことが確認された地域

メッシュ：25-88-11

ハート：イグニッション

20. 柱状図位置と背景図



- 凡例
- PL値5未満の地点
 - PL値5以上15未満の地点
 - PL値15以上の地点
 - PL値100以上の地点
 - 市区町村界、4次メッシュ区画
 - 鉄道
 - 道路

統計量は2kmメッシュ内で計算

メッシュ：25-88-00

ハート：イグニッション

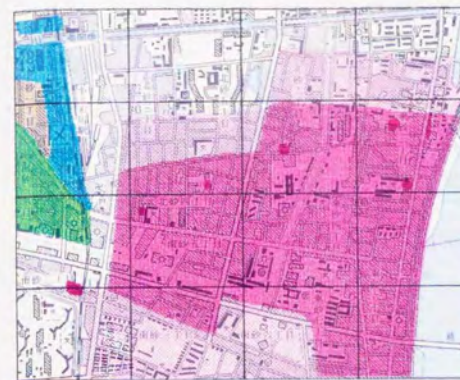
25. 液状化総合判定結果図 (500mメッシュ)



- 凡例
- 非常に危険
 - 危険
 - やや危険
 - 安全
 - 判定できず
 - 補域外

図 6.22 関東地震での液状化発生日点と液状化予測結果

(B) 大田区大森周辺の地域



- 激しい液状化が生じた地域
 地点を確定できる
 地域までは確定できる
 地域としておおよそ確定できる
 軽度の液状化が生じた地域
 地点を確定できる
 地域までは確定できる
 地域としておおよそ確定できる
 井水の変化・地割れした地域
 地点を確定できる
 地域までは確定できる
 地域としておおよそ確定できる
 地盤災害が発生していなかった
 ことが確認された地域

メッシュコード: 46-06-11 ハトコビ: インクヱット



20. 柱状図位置と背景図

- 凡例
 ・ PL値5未満の地点
 ・ PL値5以上15未満の地点
 ・ PL値15以上の地点
 PL値100以上の地点
 — 市区町村界、4次メッシュ区画
 — 鉄道
 — 道路

統計量は2kmメッシュ内で計算

メッシュコード: 46-06-00

ハトコビ: インクヱット

25. 液状化総合判定結果図 (500mメッシュ)



- 凡例
 非常に危険
 危険
 やや危険
 安全
 判定できず
 領域外

図 6.23 関東地震での液状化発生地点と液状化予測結果

(C) 江東区北砂と東砂周辺の地域

(3) 予測結果

メッシュ判定法による液状化の予測結果^{9・24)}を図 6・24 に示す。判定結果のうち「液状化が発生しやすい地域」と評価されたメッシュは 322 (19%)、「液状化の発生が少ない地域」は 818 (49%)、「液状化の発生がほとんどない地域」は 538 (32%) となっている。

液状化の発生しやすい地域は低地全域にみられるが、特に低地の東北部と大田区では液状化しやすい地域が多い。また、液状化がほとんど発生しないと判断された地域は、台地およびその周辺部に分布している。

6. 4. 5 結論

この節ではパソコンによる支援システムの応用例として、東京低地での液状化予測での具体的な適用法を示した。

被害予測でもっとも重要なのは、結果にいたるまでのプロセスの合理性と、予測結果が多くのひとに合意されるバランスをもっていることである。液状化予測の場合、たとえば P_L 値だけから判断をくだすとすれば、その判定基準は単純であり、プロセスの合理性の条件も満足される。しかし、もともと予測作業では、利用できそうな情報をできるかぎり集め、結果に影響をおよぼすと推定される要因をもれなく評価に加えることも、基本原則のひとつである。また、さまざまな情報を判定にとり入れることで、ひとびとに合意されるバランスも、確保できるようになると考えられる。

地形や地質の情報をもとに液状化を評価しようとする時、その判定には主観的な部分もふくまざるを得なくなる。判定に主観的な部分をふくみながら、結果までのプロセスに合理性をもたせるためには、判定の過程をできるだけ明文化しておく必要がある。支援システムに情報の表示だけでなく、判定結果の集約の機能をもたせたことで、判断過程の明文化もある程度可能になったと考えている。

支援システムには、このほか判定結果の保存の機能も設けている。これによって、液状化の予測結果だけでなく判定の過程も保存されており、あるメッシュがなぜ液状化の危険性が大きい、あるいは小さいと判断されたかも、簡単に確認す

ることができるようになっている。被害予測では予測結果が重要視されるのは当然であるが、予測結果だけが一人歩きしてしまうことも多い。この原因のひとつに、予測の過程がおもてに表われにくいという点があることから、予測の過程を検索できるようにしておくことにも意味があると考えられる。

パソコンによる支援システムを広域の被害予測に応用した例は、今のところ東京低地の液状化予測だけであり、問題点のフィードバックも完全におこなわれたわけではない。しかし、情報の表示と検索、判定結果の集約と保存の基本的機能についてはほぼ満足できるものであった。この液状化予測図で対象とした地域はメッシュ数で1679個とかなり広い面積であったが、支援システムを導入することで比較的短時間のうちに予測作業を完了することができた。

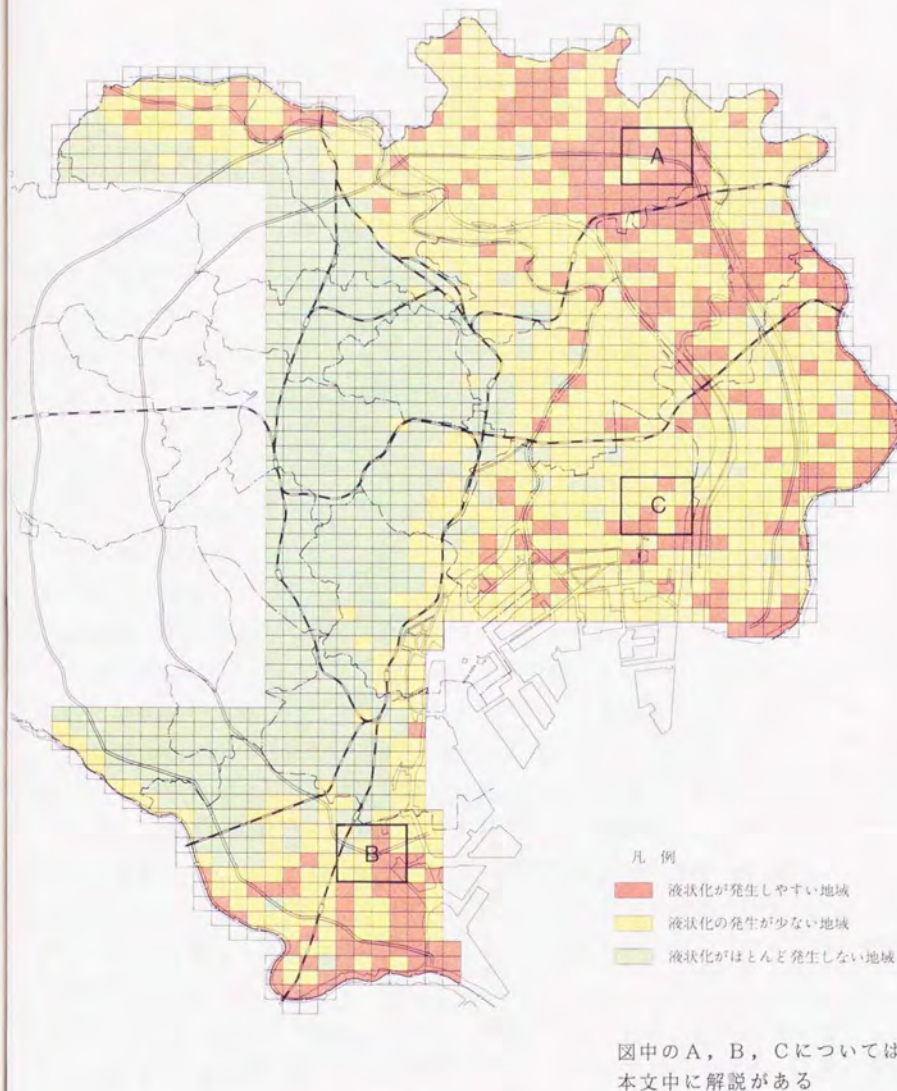


図 6・24 メッシュ判定法による液状化予測図^(6・24)

6. 5 地震時の地盤危険度分類図の作成

6. 5. 1 概説

この節では地形図や地質図の情報を総合的に評価することにより、地震時の地盤危険度分類図を作成した例について、ややくわしい説明をおこなう。この危険度分類図は磁気データ化された地形・地質の情報を、計算機上で重ね合わせることによって作成されたものであり、4. 2. 4の「地図の重ね合せによる出力」の項で述べた方法にしている。

危険度分類図の作成に使用するデータは、表層付近の地質と地形に関する情報であることから、地震被害としては地盤の液状化や沈下、変形、表層近くの腐植土層によって励起される大きな地震動による被害を考えている。また、対象とする構造物としては、これらの地盤変状によって被害をうけやすい、木造家屋や埋設管などを想定している。

分類図の作成にあたっては、まず磁気データ化された地形・地質図の区分から、地震時に被害が発生する可能性のある区分を抽出しなければならない。同時に地震時には被害が発生しにくいと考えられる区分も、抽出する必要がある。このうち、地盤の液状化については、表 6.1の結果が4. 2. 3と4. 4. 4で述べた集計によって求められている。液状化が発生しやすい地形としては、旧版地形図の湿地や水系、土地条件図の頻水地形や旧水面上の盛土地など、水に関係のふかい地形となっている。また、砂層が厚く堆積する地域でも液状化は発生しやすい。一方、液状化が発生しにくい地形としては、台地や砂（礫）州・砂（礫）堆があげられる。表層近くに礫層が分布する地域でも、液状化が発生しにくい傾向が認められている。

この章の2節と3節で調べた例から、関東地震での家屋被害や配水管の漏水被害が発生しやすい地形も、過去の水系や湿地、水田など、水に関係のふかい地形となっている。このことから、地震時に危険となる地形の区分としては、主に液状化が発生しやすい因子を選べば十分であると判断し、表 6.3に示す地形・地質の区分を選択した。中小河川の河谷底については、液状化はあまり発生しないが家屋被害をうける可能性が高いことから、危険性がやや高い地域に加えた。

表 6・3 地盤危険度分類図が対象とする地震被害と地形・地質図の区分

	地盤の液化化による木造家屋や埋設管の被害と地形・地質の区分	土地の陥没や沈下、地震動などによる木造家屋や埋設管の被害と地形・地質の区分
被害が発生しやすい地域	頻水地形、旧水面上の盛土地・埋土地、河川・水涯線・および水面、旧河道、湿地干拓地、砂層の厚さが10m以上の地域 過去の水系と湿地、海が砂質土によって埋土されている地域	過去の水系と湿地、頻水地形、旧河道、旧水面上の盛土地・埋土地、湿地
やや被害が発生しやすい地域	過去に乾田であった地域、低地の一般面、低地の微高地、旧水面上の高い盛土地、過去の水系と湿地、海が一部砂質土によって埋土されている地域	過去に水田であった地域 中小河川の河谷底
やや被害が発生しにくい地域	砂（礫）州・砂（礫）堆 深度5m以内に礫層が分布する地域	砂（礫）州・砂（礫）堆
被害が発生しにくい地域	台地	台地

計算機上で地図を重ね合わせる場合、順位が下位の情報は、より上位の情報によって消されてしまう。このため、選択した地形・地質の区分について、おのこの危険度の程度にしたがった重ね合わせの順位を決めなければならない。この順位としては、危険度が高いと判断される区分を上位におくとともに、おなじ危険度の重なる場合は、面積のせまい区分を優先させた。

地図を重ね合わせる上で、対象領域である低地全域をおおっていない地図のとりあつかいが問題となった。江戸期の水系図は危険度判定をおこなう際に重要な判断材料となるが、対象面積が限られていることから除外した。明治と大正の水系図も対象領域すべてをカバーしていないが、つぎの節で述べるように、東京の都市としての発展段階からみて十分に利用できると判断されたことから採用している。

6・5・2 明治期以降の水系の変遷

明治以前の東京には、現在では都心部となっている地域にも池や沼沢地が広がっていたことは、江戸期の水系図など、当時の絵図面から知ることができる。池や沼沢地の多くは明治初期まで残されており、明治13～14年（1880～1881）の迅速測図^{6・13}からは数多くの池や小川が分布していたことを読取ることができる。また、東京の北部や隅田川の東側には、広範囲に水田耕作が営まれていた。

これらの池や小川は、現在では公園などをのぞいて、ほとんど見出すことができなくなっている。水田も足立区や葛飾区、江戸川区にはいくぶん残されているものの、その他の23区内では見つけ出すのもむずかしくなっている^{6・28}。いうまでもなく、この変化は東京の市街地の拡大にともなって、盛土による人工改変がおこなわれた結果である。しかし、池や沼沢地、小川などの市街地化は、時代が下がるにしたがって単調にすすめられたものではないことが、明治と大正、昭和期の水系図を比較することによって知ることができる。

墨田区付近での明治と大正、昭和期の水系図を図6・25に示す。この地域は明治42年（1909）には農業用水とみられる小川が密に分布するとともに、いくつかの池もみられる。これが大正14年（1925）の段階では小川の密度には大きな変化はみられないものの、池の数は明らかな増大が認められる。このような池は人工

的に掘られたものであり、宅地や工場などを建設する際に必要な盛土材料を採取した跡であるものが多い^(5・17)。この地域では昭和12年(1937)には池の大部分が埋められているとともに、小川の多くも消滅している。

図 6・26 には足立区南西部での水系の変遷を示した。荒川放水路は明治42年の時点では建設されていないが、現在の荒川の北側には梅田七丁目に池があるほかは用水路と思われる小川がいくつかみられるだけである。大正14年の水系図でも、用水路の数がいくぶん増えているほかは、特に大きな変化は認められない。しかし、昭和12年の時点では、荒川の北側には小さな池が数多く分布しているのがみられる。これらの池も、そのほとんどは宅地や工場の敷地を得るために盛土されたときにできた人工の池であると考えられる。このような人工の池が第Ⅱ次大戦以前までは多摩川流域にもみられたことは、たとえば当時の風物をしるしたエッセイ^(6・20)などからも知ることができる。

墨田区付近や足立区南西部での水系の変遷の例からみて、池などの水系がもっとも多く分布する時期はその地域の都市化がはじまった時点にほぼ一致すると考えてよいであろう。明治と大正、昭和の水系図の原図である1万分の1地形図の領域は、その当時都市化がはじまった地域の周辺までふくまれている。低地の周辺部では明治と大正の水系図が欠けているが、この地域が都市化によって池などの水系がもっとも数多く掘削された時期は、昭和初期であると推測される。昭和12年の水系図は低地全域が対象域となっていることから、池などの水系がもっとも密に分布したときの地図としては、周辺部での明治と大正の水系図の欠落はあまり問題とはならないと判断した。

水系図にみられる池の大部分が人工的に作られたものであり、低湿地を盛土する必要から宅地や工場の予定地の周辺を掘削した結果できたものであった。このことから、過去に池が集中していた地域には被害予測上、2つの危険性を指摘することができる。ひとつは池自体の存在であり、過去に池であった場所が埋められてたところでは、平常時の不等沈下だけでなく地震時にも地盤変状が発生しやすいと判断される。もうひとつは、この地域は過去に盛土を必要とするほど低湿地であったという点である。池が集中していた場所はその周辺をふくめて、江戸時代の大きな池や沼沢地であった可能性があり、地震時には危険性の高い地域であると考えられる。



図 6・25 水系の変遷(墨田区付近)

「この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図(東京首都)を使用したものである。」

明治42年 (1909)



大正14年 (1925)



昭和12年 (1937)



■ 水域 ■ 湿地 □ 水系外の地域

図 6・26 水系の変遷 (足立区南西部)

「この地図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図(草加)を使用したものである。」

6.5.3 地図の重ね合わせによる危険度分類図の出力

危険度分類図を作成するにあたって設定した地震危険度の程度と、地形・地質の区分を表 6.4 に示す。危険度の区分は「危険性が高いと考えられる地域」と「危険性がやや高いと考えられる地域」、「危険性が判断できない地域」、「危険性がやや低いと考えられる地域」、「危険性が低いと考えられる地域」の5分類である。この判定では地形・地質の区分から、危険性が高いグループと低いグループを選択しているため、「危険性が判断できない地域」には両者に属さない地域が該当している。この地域には古くからの市街地や村落、過去の畑地からなっており、土地条件としては自然堤防や砂（礫）州・砂（礫）堆などの低地の微高地が多くふくまれている。「危険性が判断できない地域」は危険度としては危険性が高いグループと低いグループの中間に位置すると考えられる。

前述したように、計算機上で地図を重ね合わせる場合には、優先順位が下位の情報は、より上位の情報によって消されてしまうという欠点がある。このため、表 6.4 の分類から、地震時に危険性のあると考えられる地形・地質の区分を危険因子、危険性が低いと考えられる区分を安全因子として区別するとともに、重ね合わせの順位を決定した。重ね合わせの順位としては、より危険度が高いと判断される因子を上位におくとともに、面積が小さく下位の情報を打消す部分のせまい因子を上位に選んだ。

危険度分類図を出力するときの、各地図の重ね合わせの順位を図 6.27 に示す。もっとも影響度が高い危険因子としては、明治と大正、昭和の水系図から水域と湿地を選んだ。また、湿地・水田分布図からも湿地を危険因子として選択し、2番目の優先順位をあたえた。過去の水系や湿地は危険度が高いと判断されるだけでなく、その分布域も小さな面積の場所が点在しており、より下位の情報を打消す部分もせまいことからもっとも高い優先順位とした。

土地条件図からは河川・水涯線・水面のグループと、頻水地形、旧河道、旧水面上の盛土地・埋土地、干拓地のグループを危険因子に、台地と砂（礫）州・砂（礫）堆を安全因子に選び、優先順位を3番とした。これより優先順位の低い情報としては、礫層分布図から礫層が分布する地域を安全因子に、砂層分布図から砂層厚が10m 以上堆積する地域を危険因子とした。また、湿地水田分布図の水田

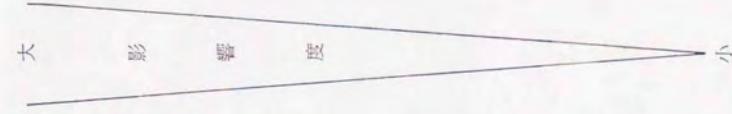
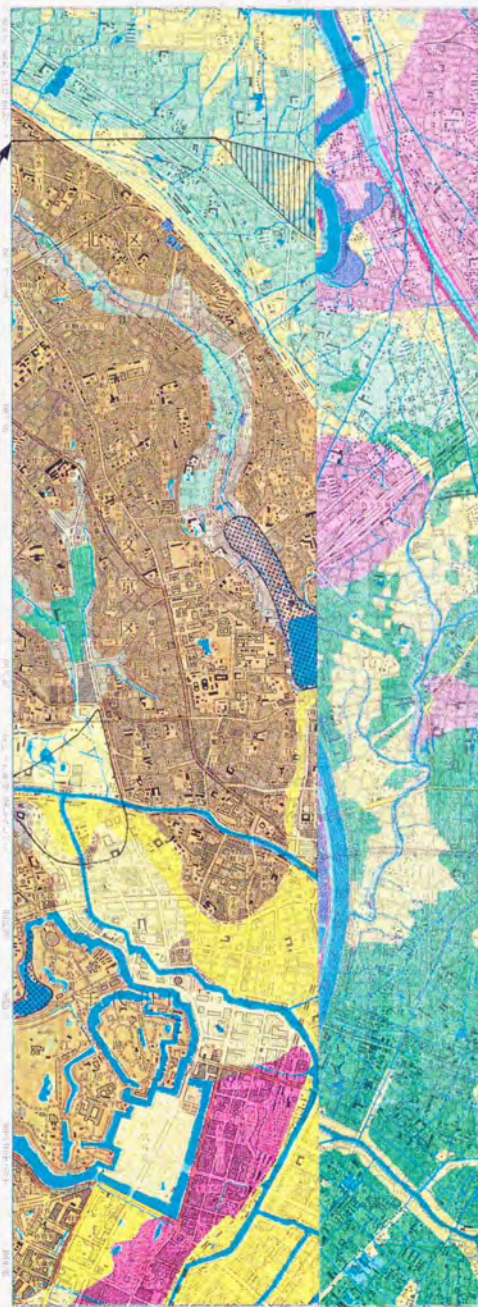





図 6・27 地震による地盤の危険度分類図を出力するための地図情報の重ね合わせ

江戸期の水系図の範囲

東京西館



江戸期の水系図の凡例

-  1460年ころの沼沢地
 1460年ころの湿地
 1460年ころの水系
 (池のみ)

1. 竹野と山崎の「アムステルダム」(『文藝春秋』1997年10月号)と、山崎と竹野の「アムステルダム」(『文芸春秋』1997年11月号)。
2. 原稿に「アム」の部分を「アムステルダム」に訂正した。
3. 河津の文庫本は「アムステルダム」の誤脱。
4. 河津版の原稿には「アム」。
5. 河津版の「アム」は「アムステルダム」の誤脱。
6. 河津版の「アム」は「アムステルダム」の誤脱。

1. 调查方法：(1) 问卷调查法
 2. 访谈法：(2) 访谈法
 3. 观察法：(3) 观察法
 4. 实验法：(4) 实验法
 5. 文献法：(5) 文献法
 6. 其他方法：(6) 其他方法

4,25,000 東京首部

中国科学院南京地质古生物研究所 南京 210087
中国地质大学(北京) 国土资源部地质研究所 北京 100083

6. 5. 4 既存の地盤被害予測図との比較

この危険度分類図が対象としている東京低地については、すでにいくつかの地震被害想定が公表されている。ここでは、既存の被害想定から東京都都市計画局（1984）^{6.30}と東京都防災会議（1991）^{6.31}の2つの報告を選び、今回作成した危険度分類図と比較した。

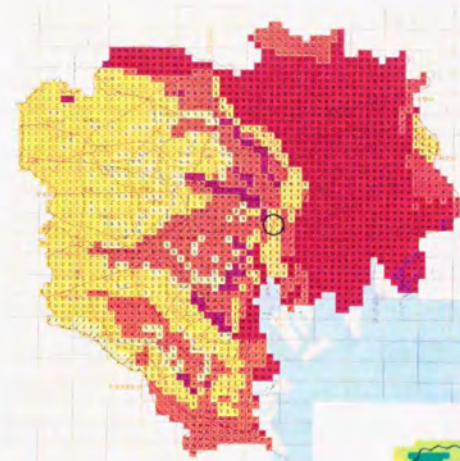
地震時の地盤挙動の評価項目としては、地表での地震動の最大加速度と液状化の2つが、いずれの報告書でも選択されている。このうち、最大加速度の分布は、洪積層あるいはそれ位深の地層が地震基盤に設定されており、かなり深い地盤までを対象とした評価となっている。また、液状化では浅層に分布する軟弱な砂層の存在が対象となっている。

これにたいして、今回作成した危険度分類図の評価項目には、砂層と礫層の存在もふくまれているが、そのほかは土地条件図や旧版の地形図から読取られる表層付近の情報である。液状化の発生とは関連のある項目がかなりふくまれているが、地震動の最大加速度とは直接の関連はない。このため、危険度分類図と既存の報告との比較は、ある地域がそれぞれの程度の危険度として評価されているかを調べることを目的としており、方法の優劣を比較するものではない。

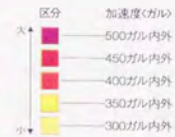
図 6.29 にみられるように、都市計画局の被害想定では、低地のほとんどは台地にくらべて最大加速度の高い地域となっているのにたいして、防災会議の報告では低地と台地の最大加速度にちがいは認められない。これは地震時の土の応力とひずみの関係をどのように評価したかのちがいであり、防災会議の報告では土の非線形性を考慮しているのにたいして、都市計画局の報告では非線形性は考慮されていない。

低地にくらべて台地を安全側に評価している点では、都市計画局の報告と危険度分類図は一致する。都市計画局の報告では足立区の北部で加速度をやや低く想定しているが、この地域には旧河道と旧水面上の盛土地が分布することから、危険度分類図では危険度の高い地域としている。防災会議の報告では低地と台地の加速度を同等に評価しており、危険度分類図とは一致しない。

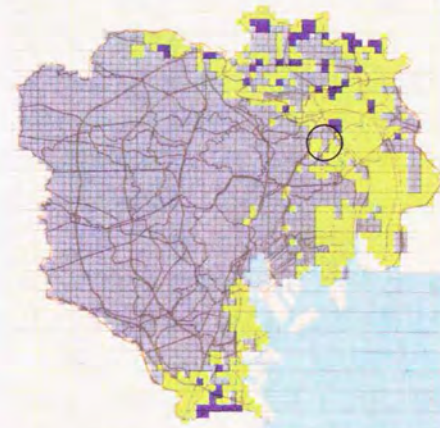
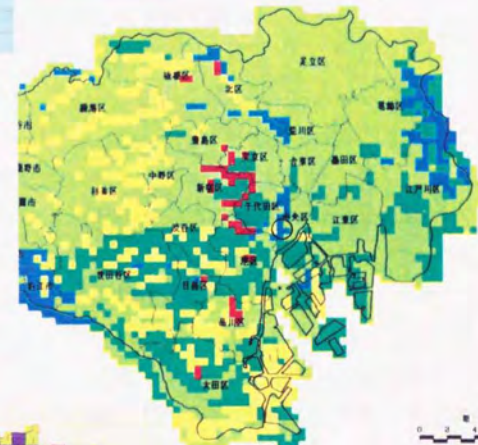
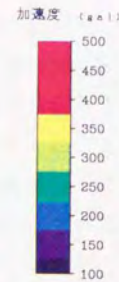
台地を刻む中小河川の河谷低については、3者とも危険側に評価しており、一致している。また、東京駅の東側には砂（礫）州・砂（礫）堆が分布することか



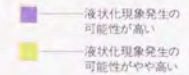
東京都都市計画局の報告^{6.30}による
最大加速度分布
(○は本文参照)



東京都防災会議の報告^{6.31}による
最大加速度分布
(○は本文参照)



東京都都市計画局の報告^{6.30}による
液状化分布



(○は本文参照)

図 6.29 既存の地震被害予測による地表での最大加速度と液状化の分布

ら、危険度分類図では比較的安全な地域としており、2つの報告での加速度が低い地域（図中の○）と一致がみられる。

前述したように、危険度分類図には液状化と関連のある項目がかなりふくまれているが、場所によっては危険度のことなる部分もみられる。都市計画局の液状化危険度図には、墨田区に液状化の可能性が低い地域（図中の○）がみられるが、危険度分類図からは、この地域には過去に池や湿地が数多く分布していたことを読取ることができる。図には示していないが、防災会議の液状化判定結果^{*)}でもこの地域は液状化の可能性がやや低いと判定されており、砂層のうすい場所では液状化の判定結果と危険度分類図とはことなる評価をあたえる。

6.5.5 結論

磁気データ化された地形・地質の情報を、計算機上で重ね合わせることで、地震時の地盤危険度分類図を作成した。危険度分類図の区分は、地震時に危険あるいは安全と考えられる因子を地形・地質の情報から選ぶとともに、各因子の危険性または安全性の評価は、重ね合わせの順位として表現している。

この危険度分類図は、地震時の地盤の危険度を定量的に評価した分類図ではないという欠点がある。しかし、地形・地質図の区分（凡例）をほぼそのまま再現していることから、利用者は各々の目的にしたがって地盤の危険度を判断することができる分類図となっている。

既存の地震被害想定では、地盤の危険度は地表での地震動の最大加速度と液状化の可能性によって評価されている。土地条件図や旧版の地形図から読取られる過去の水系や湿地、水田、乾田などの情報は、地域によっては、地震動の最大加速度や液状化の想定結果とはことなる危険度をあたえる。今回作成した危険度分類図は、最大加速度や液状化の危険性とは別の角度から、地盤の危険度評価をおこなうことができる可能性があり、最大加速度や液状化の予測結果と合せて利用することで、地震被害の想定をより現実的なものにできると考えられる。

*) 防災会議の液状化判定結果は、6.4で述べた「東京低地の液状化予測」の結果をもとに作成された。

6. 6 まとめ

この章ではデータベースの適用について、4つの応用例を示した。はじめの2例は、おおよそひとつの区の面積に相当する十数km²程度の地域を対象としたものである。ここでは、第1にこのデータベースが生活圏といったミクロな被害予測にも適用できるかを検討するとともに、第2に地形や地質の情報を組合せることによって、過去の地震被害の原因となった地形・地質の条件をみつけたすことを試みた。対象とした地域のうち台東区付近では、関東地震の際に配水管の漏水被害が数多く発生しているとともに、家屋の被害も顕著であった。また、千代田区とその周辺では、関東地震で広範囲に家屋被害が発生している。

第1の点については、対象域をせまく限定することによって、データベースに収録されている情報をかなり子細に検討できたと考えている。また、磁気データ化された地図の情報は、町丁目程度の範囲でも地盤地質や地形の変化を表現していることから、このデータベースは生活圏といったミクロな予測にも十分に利用できると判断した。

第2の点については、台東区付近の例では、被害の大きかった地域は江戸期の水系図の沼沢地にもっともよく一致しており、古くからの低湿地で漏水や家屋被害が発生したものであるという結果がえられた。この地域は江戸時代から都市化されていたため、被害と結びつく地形の情報は1400年代にまでさかのぼる過去のものであった。

江戸時代にはさまざまな絵図が作られているが、湿地や沼沢地などの自然地形を表現した絵図で現在の地形とも照合できるものは、正井による1400年代の地形図^{6.17)}以外にはみあたらなかった。しかし、1600年代と1800年代の絵図との比較から、被害地域と一致する沼沢地は1800年代までは人工改変があまり加えられていなかった可能性があり、古くからの沼沢地が比較的新しい時代に都市化した地域で被害が多発したのと考えられる。沼沢地の痕跡は明治時代の地形図にも池として残されていたが、現在の地形図からはほとんど判読することができない情報であった。

もうひとつの対象地域である千代田区とその周辺では、家屋被害が発生した地域はすべて中小河川の河谷底に分布するとともに、ボーリング資料から腐植土層

が確認された地点ともよく一致している。被害地域は江戸期の水系図での「溜池」や沼沢地、河川の位置とも重なりが認められることから、古い時代からの池や湿地などに堆積した腐植土によって、広範囲の家屋被害が励起されたものと考えられる。

この2つの事例研究から得られた結論は、関東地震での埋設管あるいは木造家屋の被害は、過去の沼沢地や中小河川の河谷底といった低湿地に発生しやすいというものであった。特に、台東区付近の被害例は、地表での地震動の最大加速度や液状化といった、現在の地震被害想定で地盤の危険度指標となっている被害項目からは予測できない被害であった。過去の水系や湿地、沼沢地、河谷底などの情報は定性的なものではあるが、地盤被害予測にも有用な情報も多くふくまれている。旧判地形図から読取られる水系や沼沢地、あるいは河谷底などの情報は、液状化や地震動の最大加速度とともに地盤被害予測に応用すべき情報であると考えられることから、ここで得られた結果は、6.5で解説した地震時の地盤危険度分布図の作成に生かされている。

後半の2例は、広域の地震被害予測にこのデータベースを適用した事例である。

6.4ではメッシュ判定法による東京低地の液状化予測図の作成過程について概説した。この予測の作業では、第5章で述べたパソコンによる液状化予測の支援システムを利用している。予測図の対象地域は、新しい埋立地をのぞいた東京の低地全域と周辺の台地域であり、1679個の4次メッシュに分割されている。

液状判定はボーリング情報にもとづく判定と、地図情報による判定をメッシュごとにおこない、この2種類の判定結果を組合せることによって、最終的な判定値を決定した。各情報から決められる判定値としては、液状化の可能性の評価だけでなく、液状化判定の確からしさを示す指標として確度の評価もおこなった。

判定の過程では、判定条件の設定と結果とのあいだで、何度かフィードバックをおこなう必要があったが、支援システムに判定の集約と保存の機能をもたせることによって、比較的短時間で正確に作業をおこなうことができた。

6.5では、地震時の地盤危険度分類図の作成にデータベースを利用した例を示した。この危険度分類図は、入力されている地形・地質の情報から地震時に危険あるいは安全と考えられる区分を選び、計算機上で重ね合わせて作成したものである。この危険度分類図は、地震時の地盤の危険度を定量的に評価したもので

はないが、地形・地質図の区分（凡例）をほぼそのまま再現していることから、さまざまな目的の被害予測にたいしても有用な情報をあたえるものと考えられる。

既存の地震被害想定では、地盤の危険度は地表での地震動の最大加速度と、液状化の可能性によって判定されている。最大加速度や液状化は地震時の危険度を定量的に評価することができるが、過去の地震での被害経験など定性的な評価をとりいれにくい傾向もある。地震動の最大加速度の予測では、低地と台地での危険度をほぼ同等に評価している報告もあり、過去の地震被害の経験とはかならずしも一致しない点がみられる。また、液状化の予測図では、当然のことながら軟弱な砂層のうすい地域での危険度は低く評価されるが、このような地域の一部には、過去の水系や沼沢地など、地震時に被害が発生しやすい場所も分布している。

ここで提案した危険度分類図では危険度評価は定性的なものであるが、被害経験などもとりいれやすい形となっており、最大加速度や液状化の予測結果と組合せて利用することで、想定結果をより現実的なものにできると考えられる。

参考文献

- 6・1) 片山恒雄ほか：地域特性を考慮した地震被害想定に関する研究，地震保険調査研究30，損害保険料率算定会，1991.
- 6・2) 土木学会：大正十二年関東大地震震害調査報告，第2巻，1984年の復刻版による，1927.
- 6・3) 久保慶三郎，片山恒雄，佐藤暢彦：地下埋設管震害の定量的解析，第4回日本地震工学シンポジウム論文集，PP. 655-662，1975.
- 6・4) 商工省地質調査所：関東地震調査報告，地質調査所特別報告，第1号，第2号，丸善株式会社，1925.
- 6・5) 中村清二：第地震ニヨル東京火災調査報告，震災予防調査会報告，第100号（戊），p. 98，岩波書店，1925.
- 6・6) 井上一之：帝都大火災誌，文献 6・5とおなじ，p. 144，1925.
- 6・7) 緒方惟一：関東害地震ニ因レル東京大火災，文献 6・5とおなじ，pp. 60-67，1925.
- 6・8) 東京都水道局：東京水道史，1953.
- 6・9) 大正9年東京市水道鉄管敷設之図，東京都水道記念館の資料による，1920.
- 6・10) 東京都防災会議：東京区部における地震被害の想定に関する報告書，p. 140，1878.
- 6・11) 片山恒雄：埋設管路の震害例の定量的調査，地盤の動特性および地下構造物の動的挙動に関する研究，自然災害特別研究成果，No. A-55-2，p. 87，1980.
- 6・12) 建設省国土地理院：土地条件図，東京東北部，1970.
- 6・13) 参謀本部陸軍部測量局：第一軍管地方迅速測図，東京近傍，大日本測量（株）資料調査部複製，（測図は1880～1881）.
- 6・14) 日本国際地図学会編：地形図図式変遷表，「地形図図式の変遷」付表，地図，Vol. 2，No. 2，1964.

- 6・15) 明治・大正・昭和 東京一万分一地形図集成：柏書房，1983.
- 6・16) 山口恵一郎ほか：日本図誌体系，関東Ⅰ，付図，朝倉書店，1972.
- 6・17) 正井泰夫：都市環境としての大江戸の水系と海岸，筑波大学地球科学系，人文地理学研究Ⅳ，pp. 89-95，1980.
- 6・18) 内藤 晶：江戸と江戸城，鹿島出版会，1966.
- 6・19) 地図資料編纂会：5千分の1 江戸-東京市街地図集成，柏書房，1988.
- 6・20) 竹内理三：角川日本地名大事典，13 東京都，角川書店，1978.
- 6・21) 大崎順彦：地震と建築，岩波書店，p. 117，1983.
- 6・22) 西 健：避難記，東京大学工学部ニュース No.126 を出典として，文献6・21に引用されたもの.
- 6・23) 東京都土木技術研究所：東京都総合地盤図Ⅰ，技報堂出版，p. 5，1977.
- 6・24) 東京都土木技術研究所：東京低地の液状化予測，第6章 液状化予測図の作成，土質工学会，1987.
- 6・25) 東京都土木技術研究所：東京低地の液状化予測，第4章 土質試験結果に基づく液状化解析，文献6・24と同じ.
- 6・26) 東京都土木技術研究所：東京低地の液状化予測，第5章 液状化判定の支援システムと解析結果，文献6・24とおなじ.
- 6・27) 東京都土木技術研究所：東京低地の液状化予測，第3章 関東地震の履歴調査，文献6・24とおなじ.
- 6・28) 東京都総務局統計部：第40回東京都統計年鑑（昭和63年），p. 121，1990.
- 6・29) 小関智弘：大森界隈職人往来，pp. 41-45，朝日新聞社，1984.
- 6・30) 東京都都市計画局：地震に関する地域危険度測定調査報告（区部第2回），第2章 地盤の諸性状，1984.
- 6・31) 東京都防災会議：東京における地震被害の想定に関する調査研究，第2編 第1章 地震・地盤・津波，1991

図表リスト

- 図 6・1 関東地震（1923）での配水管の漏水被害箇所
（大正十二年関東地震被害報告書^{6・21}による）
- 図 6・2 関東地震（1923）の家屋被害分布図（台東区付近）
（商工省地質調査所：関東地震調査報告^{6・41}による）
- 図 6・3 関東地震（1923）での地盤被害分類図（台東区付近）
- 図 6・4 液状化指数 P_L の分布（台東区付近）
- 図 6・5 沖積層の基底等深線図と漏水被害箇所（台東区付近）
- 図 6・6 礫層分布図と漏水被害箇所（台東区付近）
- 図 6・7 土地条件図（台東区付近）
- 図 6・8 大正14年（1925）版地形図による水系図（台東区付近）
- 図 6・9 明治42年（1909）版地形図による水系図と漏水被害箇所（台東区付近）
- 図 6・10 旧版地形図による湿地・水田分布図（台東区付近）
明治13年（1880）
- 図 6・11 江戸期の水系図と漏水被害箇所（台東区付近）
（正井泰夫：都市環境としての大江戸の水系と海岸^{6・173}，1980による）
- 図 6・12 江戸期の水系図と家屋被害分布
（正井泰夫：都市環境としての大江戸の水系と海岸^{6・173}，1980による）
- 図 6・13 腐植土層が確認されたボーリングの位置（台東区付近）
- 図 6・14 関東地震（1923）の家屋被害分布図（千代田区とその周辺）
- 図 6・15 土地条件図（千代田区とその周辺）
- 図 6・16 旧版地形図による湿地・水田分布図（千代田区とその周辺）
明治13年～14年（1880～1881）
- 図 6・17 江戸期の水系図（千代田区とその周辺）
（正井泰夫：都市環境としての大江戸の水系と海岸^{6・173}，1980による）
- 図 6・18 液状化指数 P_L の分布（千代田区とその周辺）

図 6-19 腐植土層が確認されたボーリングの位置（千代田区とその周辺）

図 6-20 メッシュ判定法による液状化予測図を作成するフロー

図 6-21 関東地震での液状化発生地点と液状化予測結果

（A）足立区大谷田周辺の地域

図 6-22 関東地震での液状化発生地点と液状化予測結果

（B）大田区大森周辺の地域

図 6-23 関東地震での液状化発生地点と液状化予測結果

（C）江東区北砂と東砂周辺の地域

図 6-24 メッシュ判定法による液状化予測図^{6.24)}

図 6-25 水系の変遷（墨田区付近）

図 6-26 水系の変遷（足立区南西部）

図 6-27 地震による地盤の危険度分類図を出力するための地図情報の重ね合わせ

図 6-28 地震による地盤の危険度分類図（東京首都）

図 6-29 既存の地震被害予測による地表での最大加速度と液状化の分布

表 6-1 液状化の発生と地形・地質の区分

表 6-2 地図情報の区分と液状化のランク

表 6-3 地盤危険度分類図が対象とする地震被害と地形・地質の区分

表 6-4 地震時の地盤危険度の分類

第7章 おわりに

7.1 この論文のまとめ

地震後の避難や復旧計画，あるいは都市を耐震化するための都市計画などを立案する上での基礎資料に，自治体などが作成する地震被害想定がある．地震被害想定は地震による人的，物的被害やライフラインの機能損失などの算定を目的とするが，想定にあたっては，どこの地域で，どのようなタイプの構造物被害が発生しやすいかを予測しなければならない．地震による構造物の被害にはさまざまな因子が関係しているが，構造物が立地する地盤の影響は重要な要因のひとつであることから，一般に地震被害想定は地盤の危険度評価からはじめられる．

この論文は地震時の地盤災害予測を目的としたデータベースの作成と，その応用について述べたものである．データベースの対象地域は東京の低地部であり，収録されたデータは地形と地質，ボーリング柱状図，過去の地震被害の4種類の情報である．

地盤にかかわる情報のデータベース化の第1の目的は，地震被害想定省力化にある．東京都などの自治体を実施する地震被害想定は，いままでのところ5年ないし10年おきに見直しがおこなわれている．これは都市の構造や社会基盤の整備状況がこの間に変化すると考えられるためであり，地震対策事業の推進によって，地震危険度がどの程度低下したかについても，あわせて評価されている．地形や地質といった基本的な情報は時間とともに変化する部分が少ないことから，この情報をデータベース化することによって，地震被害想定作業はかなり軽減されることになる．

データベース化の第2の目的は，地盤災害予測にできるだけ生にちかい情報をとりいれることである．従来の被害予測では，地盤の情報は判定の単位であるメッシュごとに，代表的なタイプとして分類される例が多くみられる．地盤の複雑さを考えると，地形や地質といった基礎的な情報の段階でデータの集約化をおこなうのは有利な方法ではない．また，最近では住民の生活に密着した“生活圏”

を対象とした地震被害予測の必要性も指摘されている。このため、データベース化にあたっては、地図として表現されている情報は、できるだけ原図にちかいかたちで入力している。

第3の目的は、対象地域をできるだけ多くの面からみられるようにする点にある。地震被害の発生した場所は、現場の状況を見ると予測できた被害が多いという指摘も、地震被害を調査した人々から多くある。このため、データベースでは地形の情報をいくつかとりいれている。また、対象とする東京低地は江戸時代から開発がすすめられていたことから、旧判の地形図や江戸時代の絵図の復元図も採用した。

第1章の序論では地盤にかかわるデータベースの必要性和、その全体像について概説した。また、大阪をはじめとする日本の主要な5都市では、すでに公表されているデータの集積度から考えて、この論文で提案するデータベースがこれらの都市でも十分に作成が可能であることを示した。

第2章では地震時の地盤被害を予測する上で必要となる、さまざまな情報の収集と選択について述べた。入力する情報の選択はデータベースの能力を規定することから、このシステムを開発するにあたって重要な鍵をにぎるものである。最終的に選択され、データベースに入力された情報は、以下の地図やデータ類である。

- ① 地形の情報として土地条件図と土地分類図、明治初期の湿地・水田分布図、明治42年(1909)と大正14年(1917)、昭和12年(1937)の水系図、江戸期の水系図
- ② 地質の情報として沖積層基底等深線図と砂層分布図、地下水位分布図、礫層分布図、表層分布図
- ③ 過去の地震被害の情報として関東地震家屋被害分布図と関東地震地盤被害分類図
- ④ ボーリング資料の情報として約12,300本の地質柱状図と土質試験結果
- ⑤ 既存の地震被害想定の情報として液状化危険メッシュ図
- ⑥ 地図の位置関係を知るための情報として国土数値情報から行政界と道路・鉄道

このうち、地図のかたちで表現されている地形と地質、過去の地震被害の情報

については、地図の凡例の中から地震被害と関連があると考えられるものを選び出し、コードをあたえた。

第3章では、選択した各種のデータを数値ファイル化する上での、技術的な方法について述べた。選択した情報のうち、地図として表現されている情報については、図形処理の方法とデータ構造の選択がシステム設計での鍵となる。また、ボーリング資料の数値ファイル化では、文字や数字で表現されている情報のコード化が問題となった。

数値ファイル化をおこなうにあたって、入力したデータを管理するためのメッシュ系をあらかじめ決定しておく必要があった。メッシュ系はデータベース・システムの基本となるものであり、この選択には基図の縮尺や図郭といった情報の入出力の形式も関連している。メッシュ系としては、国土数値情報などで採用されている標準地域メッシュ系を選択することにした。

地図情報を数値ファイル化する方法としては、ディジタイザー入力とスキャナー入力の2つがある。形成される磁気データもディジタイザー入力ではベクトル情報、スキャナー入力ではラスター情報とデータ構造に大きなちがいがあることから、入力しようとする地図の性格や情報の利用法によって入力方法を選択する必要があった。2つの入力法を比較した結果、ボーリング位置など点の情報はディジタイザー入力に、その他の地図の情報は小河川など線の情報もふくめてスキャナー入力とした。

入力した旧版の地形図では縮尺や図郭の切りかたが、現在の地形図とは異なっているものがみられた。このため、国土地理院発行の現在の1:25,000地形図を基準にして、計算機上ですべての地図の縮尺を等しくするとともに、地図の図郭も同一になるようにデータを編集した。

ボーリング柱状図情報のうち、ボーリング位置については入力したのち標準地域メッシュにしたがって編集し、ボーリング番号をあたえた。ボーリング柱状図に記載されている土質名などは数字コードに変換し、物理試験結果とともに入力した。

第4章では数値化されたファイルをもとに、地震時の地盤被害予測に利用できる基礎情報を出力するための、いくつかの計算機処理について述べた。

入力した地図情報については、地図の凡例(区分)ごとに面積を集計し、基礎

資料として出力した。また、地図の重ね合わせによる面積集計では、一方の地図に関東地震での被害分布図をおくことによって、家屋被害や液状化がどのような地形・地質の区分の場所で発生しやすいかを評価することができる。計算例として関東地震での家屋被害分布図と江戸期の水系図との重ね合せと、地盤被害分類図と砂層分布図の重ね合せの結果を示した。

地図情報ファイルとボーリング柱状図ファイルは、柱状図の座標位置をもとに計算機上で結合することができる。この操作によって、ボーリング柱状図にはその調査地点での地形・地質の区分や関東地震での被害の情報が付加される。

地図情報とボーリング情報のファイルを組合せた運用のうち、液状化の計算では地表最大加速度は沖積層基底等深線図から、地下水位は地下水位分布図から個々のボーリング地点での値を入力した。また、解析結果の出力では液状化指数(P_L)の値だけでなく、液状化抵抗率(F_L)の値についても砂層の層厚と組合せて出力し、液状化の危険度評価をおこなう上での基礎資料とした。

計算された P_L 値と F_L 値については、入力した地図の区分ごとに頻度分布を集計することで、各区分での液状化の可能性を評価することができる。適用例としては、関東地震での家屋被害分布図と P_L 値の関係を示し、考察を加えた。

第5章ではパーソナル・コンピュータを利用した液状化予測のための支援システムの設計について述べた。

パソコンによる支援システムには、情報の表示と判定結果の集約の2つの機能をもたせた。情報の表示では、入力したすべての地図とボーリング情報ファイルをもとに計算された液状化指数(P_L)値を、対話形式で検索することができるようにプログラム化した。判定結果を集約する機能としては、地図と P_L 値の判定値をクロステーブルを介して結合し、最終的な判定結果を得られるように設計した。システムに情報の表示機能だけでなく、判定結果の入力と集約の機能ももたせることによって、大量のメッシュについても比較的短時間で判定がくだせるようになった。

磁気データ化した情報をパソコンに移植したことで得られた長所のひとつは、データを手軽に持運べることである。また、すべてのデータをフロッピーに収めることができるため、データの保存や複写もかなり容易になっている。

第8章ではデータベースの適用について、4つの応用例を示した。はじめの2

例は、おおそひとつの区の面積に相当する十数 km^2 程度の地域を対象としたものである。ここでは、第1にこのデータベースが生活圏といったミクロな被害予測にも適用できるかを検討するとともに、第2に地形や地質の情報を組合せることによって、過去の地震被害の原因となった地形・地質の条件をみつけだすことを試みた。対象とした地域のうち台東区付近では、関東地震の際に配水管の漏水被害が数多く発生しているとともに、家屋の被害も顕著であった。また、千代田区とその周辺では、関東地震で広範囲に家屋被害が発生している。

第1の点については、対象域をせまく限定することによって、データベースに収録されている情報をかなり子細に検討できたと考えている。また、磁気データ化された地図の情報は、町丁目程度の範囲でも地盤地質や地形の変化を表現していることから、このデータベースは生活圏といったミクロな予測にも十分に利用できるものであった。

第2の点についての結論は、関東地震での埋設管あるいは木造家屋の被害は、過去の沼沢地や中小河川の河谷底といった低湿地に発生しやすいというものであった。特に、台東区付近の被害例は、地表での地震動の最大加速度や液状化といった、現在の地震被害想定で地盤の危険度指標となっている調査項目からは予測できない被害であった。過去の水系や湿地、沼沢地、河谷底などの情報は定性的なものではあるが、地盤被害と関連のふかい情報も多くふくまれていることから、地盤被害予測にも応用すべき情報であることを指摘した。

後半の2例は、広域の地震被害予測にこのデータベースを適用した事例である。

ここではまず、メッシュ判定法による東京低地の液状化予測図の作成過程について概説した。この予測の作業では、第5章で述べたパソコンによる液状化予測の支援システムを利用している。予測図の対象地域は、新しい埋立地をのぞいた東京の低地全域と周辺の台地域であり、1679個の4次メッシュに分割されている。

判定の過程では、判定条件の設定と結果とのあいだで、何度かフィードバックをおこなう必要があったが、支援システムに判定の集約と保存の機能をもたせることによって、比較的短時間で正確に作業をおこなうことができた。

第2の例では、データベースを利用した地震時の地盤危険度分類図の作成について述べた。この危険度分類図は、入力されている地形・地質の情報から地震時に危険あるいは安全と考えられる区分を選び、計算機上で重ね合わせて作成した

ものである。この危険度分類図は、地震時の地盤の危険度を定量的に評価したものではないが、地形・地質図の区分（凡例）をほぼそのまま再現していることから、さまざまな目的の被害予測にたいしても有用な情報をあたえるものと考えられる。

既存の地震被害想定では、地盤の危険度は地表での地震動の最大加速度と、液状化の可能性によって判定されている。最大加速度や液状化は地震時の危険度を定量的に評価することができるが、過去の地震での被害経験など定性的な評価をとりいれにくい傾向もある。地震動の最大加速度の予測では、低地と台地での危険度をほぼ同等に評価している報告もあり、過去の地震被害の経験とはかならずしも一致しない点が見られる。また、液状化の予測図では、当然のことながら軟弱な砂層のうすい地域での危険度は低く評価されるが、このような地域の一部には、過去の水系や沼沢地など、地震時に被害が発生しやすい場所も分布している。

ここで提案した危険度分類図では危険度評価は定性的なものであるが、被害経験などもとりいれやすい形となっており、最大加速度や液状化の予測結果と組合せて利用することで、想定結果をより現実的なものにできると考えられる。

7. 2 データベース作成での反省点と、これからの展望

この節では地盤にかかわるデータベースを作成する上での問題点の指摘とその解決法について概説する。問題点のいくつかは未解決の反省点であり、今後の課題として残されている。

データベースを作成する上で最初に選択しなければならないのが、データを管理するためのメッシュ系である。地盤の危険度評価をメッシュ単位におこなう場合には、データ管理のメッシュが評価の基本単位となる。このデータベースでは、メッシュ系として標準地域メッシュを選択するとともに、最小のメッシュ単位としては約500m×500mのメッシュ（2分の1地域メッシュあるいは4次メッシュ）とした。標準地域メッシュを選択した結果、入力される情報の位置はすべて経緯度座標系によって管理されている。

このデータベースは東京低地の液状化予測に応用され、そのうち、予測結果は

東京都防災会議の被害想定（1991）にも転載された。しかし、防災会議の被害想定では、メッシュ系として平面直角座標にもとづく500m×500mのメッシュ系を採用したため、予測結果をそのまま利用することはできなかった。メッシュ系の変更ではなんらかの補間をしなければならないことから、情報の精度が低下することは避けられない。このように、選択されたメッシュ系は予測結果の利用形態にも影響をあたえることから、データベースの作成にあたっては、メッシュ系と座標系の決定はきわめて重要である。

入力したデータのうち、地形の情報は地形分類図や旧版地形図から読取られる情報であり、ある地域がもともとどのような自然条件にあり、その後どのような人工改変が加えられたかを知ることができる。地形の分類は地震被害を直接対象としたものではないが、過去の地震での経験などから、被害との関連が明らかな分類もふくまれている。

地形の情報のうち、その像をとらえるのがもっとも困難なのは、人工的な改変がおこなわれる前の自然地形の情報である。東京の都心部の土地には、江戸時代の初期からさまざまな改変の手が加えられているため、近代的な測量によって作成された明治期の地形図だけでは、自然地形を完全なカタチで理解することができなかった。江戸時代初期の湿地や沼沢地の分布については、正井泰夫（1980）による1460年ころの地形の復元図があることから、この図を「江戸期の水系図」として入力した。

6章でも述べたように、関東地震で被害が発生した地域には、1460年代の湿地や沼沢地とその分布が一致する例もみられた。この一致は、1460年代の地形が直接、関東地震での被害に影響したというよりも、1460年代の自然地形が関東地震に近い時点まで、人工的な改変をあまりうけなかった結果と考えられる。15世紀の自然地形がその後どのように人工改変をうけたかは、江戸時代の絵図からも読取ることができる。しかし、これらの絵図を現在の地形と照合できるカタチに復元した地図はみあたらなかった。このため、15世紀の自然地形から明治初期の旧版地形図のあいだは、埋立てによる海岸線の変化をのぞいて、データベースの地図情報では欠落した時間として残されている。

旧版地形図の入力では、地形や土地利用の区分の選択が問題となった。入力する区分をふやすほど当時の地形をより明確に表示することができるが、入力のた

めの労力と経費も増大する。このデータベースでは1:10,000地形図からは水系と湿地、海を、1:20,000迅速測図からは水田と乾田を入力している。過去の地震被害と地形・地質との関連を調べるのにデータベースを利用した例では、畑や市街地などの情報も判断材料として利用できる場合があった。

旧版地図の入力上の問題点としては、このほかに地図の縮尺と図郭が現在の地形図とは異なっていることがあげられる。しかし、この問題は地図を磁気データ化する過程で、容易に修正することができた。

地質の情報としては、沖積層の層厚分布図（沖積層基底等深線図）がもっとも基本的な情報となる。このほか、おもに液化化を予測するための情報として、軟弱な砂層（有楽町層上部）の層厚分布図と地下水位分布図、礫層分布図、表層分布図を入力した。これらの地質図によって、低地部での洪積層（更新統）以浅の地層構造は、ほぼ立体的にとらえることができる。有楽町層上部の下位に堆積する軟弱なシルト・粘土質の地層（有楽町層下部）の層厚は、七号地層をふくめた厚さとして、沖積層基底等深線図の深度から砂層分布図の層厚を引くことによって求められる。

七号地層は独立した地層単元としては、入力されていない。この地層は粘性土と砂質土の互層からなり、N値も有楽町層より高いことから、地盤の地震応答をより精度をあげて区分するときには、この層の層厚も入力する必要がある。また、最近では地表の最大加速度を推定する際に、地震基盤として洪積層より深い第三紀の地層を選ぶ例もみられており、場合によってはこれらの地層を入力する必要があることも考えられる。

台地部については、地質の情報は入力されていないが、地形区分から洪積層である関東ローム層が分布する台地と、沖積層が堆積する河谷底に区分されている。台地部での地盤被害を予測する上では、腐植土層の存在がもっとも問題となる。第6章でも述べたように、腐植土層の分布と家屋被害の発生とは、きわめてよい相関が認められることから、この地層の分布域と層厚は、今後入力していく必要がある。

地質図の選択にあたっては、地層の連続性を重視するとともに、できるだけ原図の区分に忠実なかたちで入力するように努めた。沖積層基底等深線図を例にとると、地表での応答計算をおこなうときの地震基盤として採用するには、粘性土

層ではN値が25以上、砂質土層では50以上であることが望ましい。このような基盤深度図をボーリング柱状図のN値から作成することも可能ではあるが、このときの基盤は地質区分ではいくつかの地層にまたがることになる。この場合、沖積層基底等深線図がもっていた海退期の地表面という地層の連続性は無視されているため、ボーリング資料の少ない地域での精度はかなり低いものとなる。沖積層基底等深線図では、基盤である洪積層の一部に粘性土層のN値が10~20、砂質土層では30~50の地域もふくまれるが、地層の連続性が保障されていることから、この図によって地震基盤を設定した。同様に、軟弱な砂層の層厚分布図としては、ひとつの地質単元である有楽町層上部の層厚図を採用している。

被害予測で重要な指標となる地表での最大加速度は、沖積層の層厚に比例すると考えられるが、採用する応答解析法によってその値は大きく変化する。また、想定する地震の規模や震源距離によっても最大加速度は異なることから、沖積層基底等深線図の区分は層厚のままで入力している。各区分での地表最大加速度が必要な場合には、層厚区分と最大加速度を結合するテーブルを介して、最大加速度を設定できるようにした。

ボーリング柱状図の情報からは、液化化指数などの工学的な指標を定量的に求めることができるだけでなく、被害予測に必要な地質図も作成することができる。このため、ボーリング資料の磁気データ化にあたっては、できるだけ原資料を忠実に表現するコードを設定して入力した。コードの読取りと入力は人手によることから、エラーの発生が予想された。このため、入力データに冗長性をもたせるとともに、エラーを検出するプログラムを作成してチェックをおこなったが、最終的な校正は手作業による必要があった。

ボーリング柱状図の情報は、地震時の地盤危険度を定量的に評価することができるという利点がある。特に、想定する地震動の大きさといった設定条件の変化にも対応することができる点で、地形あるいは地質の情報よりもすぐれている。このデータベースはいまのところ、液化化の解析だけを対象としているが、今後は液化化以外の地盤の強度指標を計算する簡易的な手法の開発とともに、そのシステム的な運用が必要になると考えられる。

過去の地震被害の情報としては、関東地震での家屋被害と、同じく関東地震での液化化などの地盤被害の図を採用した。実際に地震被害が発生したという情報

は被害予測に直接利用できるだけでなく、地形や地質の情報と重ね合わせることで、どのような地形・地質の区分が地震被害と関連しているかを知ることができる。このような解析に地震被害の分布図を利用する場合には、被害のあった地域だけでなく、被害のなかった地域も対照領域として入力しておく必要がある。

地震による構造物の被害と地盤との関連は、さまざまな角度から研究されているとはいえ、いまだに未解決の問題も残されている。このため、対象とする地震被害が過去のものであっても、ある地域に実際に被害が発生したという情報は、その地域の地震被害を想定する上できわめて有用である。

データベースの今後の展望としては、地盤のデータだけでなく、被害予測の対象となる構造物のデータもデータベースに追加していくことが考えられる。データベースに収録されたデータについては相互に属性の検索が可能になることから、例えば道路網や橋梁の位置を入力することで、道路や橋梁に地盤の属性を付加することができる。このような部分にもデータベースを利用することで、いままで人手によっておこなわれていた複雑な作業を簡素化できるだけでなく、付加されるデータも正確で質の高いものにすることができる。

最終的には、地震時の被害想定で必要とされるデータをすべてデータベースに登録しておき、被害想定をデータベース上でおこなうことも可能である。一度このようなデータベースを作成しておけば、都市構造の変化にともなう被害想定の変更はその部分のデータだけを再入力することですみ、被害想定にかかる作業量もかなり軽減できると考えられる。

はじめに述べたように、地震被害想定とは、対象の細分化と分析によって解を求める一般の工学的な問題とは基本的に異なり、既存の知識や解析手法を総合化して解を求めていく問題であり、そのプロセスが重要となる。また、予測結果はかならずしも唯一の解があるわけではない。被害想定に関連する情報をすべてデータベース化することにより、危険度判定にもデルファイ法などの意志決定の手法が適用できるようになるとともに、判定のプロセスも外部からでも理解しやすいようになり、予測結果もさらに豊かなものになっていくことが期待できると考えられる。

謝 辞

この論文をまとめるにあたってご指導とご助言をいただいた、東京大学生産技術研究所の片山恒雄教授に感謝いたします。先生には、この論文で対象としたデータベースの基本構想の段階から、さまざまなご意見を賜りました。特に開発当初は、いったいこのようなデータベースが本当に地震被害予測に役に立つのかどうか、かなり不安がありました。この時期に、先生はたびたび励ましのお言葉をかけてくださいました。

本論文のデータベースは、東京低地の液状化予測の一部として企画・作成されたものです。研究および発表の機会をあたえていただいた東京都土木技術研究所の石井 求所長と、遠藤 毅地象部長に感謝いたします。

データベースの作成では、液状化予測のプロジェクトのメンバーであった草野 郁、阿部 博、中山俊雄の各氏に多大な協力をいただきました。特に、阿部 博氏にはデータベースの作成期間中、たびかさなる討議と助言をいただきました。

データベースの作成では、さまざまな分野の方々からのご協力をいただいています。地図情報の磁気データ化にあたっては、梅本 猛氏をはじめとする社会調査研究所の方々にご助力いただきました。また、土地条件図などの地理情報については板垣、鈴木の両氏をはじめとする国土地理院の方々に、旧版地形図の情報については日本地図センターの大森八四郎氏にお教えいただきました。記して感謝いたします。

資 料 1

平面直角座標系と経緯度座標系の変換公式

資料 1 平面直角座標系と経緯度系の変換公式

(1) 平面直角座標系から経緯度系への変換

$$\phi = \phi_1 - (\tan \phi_1 / 2 R_1 N_1) (y / m_0)^2 \rho + (\tan \phi_1 / 24 R_1 N_1^3) (5 + 3 \tan^2 \phi_1 + \eta_1^2 - 9 \eta_1^2 \tan^2 \phi_1 - 4 \eta_1^4) (y / m_0)^4 \rho \dots (1)$$

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta \lambda$$

$$\Delta \lambda = (1 / N_1 \cos \phi_1) (y / m_0) \rho - [(1 + 2 \tan^2 \phi_1 + \eta_1^2) / (6 N_1^3 \cos \phi_1)] (y / m_0)^3 \rho + [(5 + 28 \tan^2 \phi_1 + 24 \tan^4 \phi_1) / (120 N_1^5 \cos \phi_1)] (y / m_0)^5 \rho \dots (2)$$

x : 平面直角座標で与えられたx座標 (真北を正にとる)

y : 平面直角座標で与えられたy座標 (真東を正にとる)

ϕ : 求める緯度

ϕ_0 : 座標系の原点の緯度

ϕ_1 : 観測地点から基準子午線に下ろした垂線の足の緯度

$\Delta \lambda$: $\lambda - \lambda_0$ (東方を正にとる)

λ : 求める経度

λ_0 : 座標系の原点の経度

ρ : 1 ラジアン の角度, $\rho = 57.29577951^\circ$

m_0 : 座標の原点での増大率, $m_0 = 0.9999$

R_1 : ϕ_1 での子午線曲率半径, $R_1 = C / (1 + \eta_1^2)^{3/2}$

N_1 : ϕ_1 での卯酉 (ぼうゆう) 線曲率半径, $N_1 = C / (1 + \eta_1^2)^{1/2}$

C : 極曲率半径, $C = a (1 + \delta)^{1/2}$

a : 半長軸, $a = 6,377,397.155\text{m}$

$\delta = e'^2 = 0.0067192188$

e : 第1離心率, $e = (2f - f^2)^{1/2}$, $e^2 = 0.0066743722$

e' : 第2離心率, $e' = (2/f - 1)^{1/2} / (1/f - 1)$

f : 扁平度, $f = 1/299.152813$

$\eta_1^2 = \delta \cos^2 \phi_1$

観測地点から基準子午線に下ろした垂線の足の緯度 ϕ_1 は

$$\phi_1 = (A_1 \theta + A_2 \sin 2\theta + A_3 \sin 4\theta + A_4 \theta \cos 2\theta + A_5 \sin 6\theta + A_6 \theta \cos 4\theta + A_7 \theta^2 \sin 2\theta + A_8 \sin 2\theta \cos 4\theta + A_9 \sin 8\theta + A_{10} \theta \cos 6\theta + A_{11} \theta \sin 2\theta \sin 4\theta + A_{12} \theta^2 \sin 4\theta + A_{13} \theta^2 \cos 2\theta + A_{14} \sin 6\theta \cos 2\theta) \cdot \rho \dots (3)$$

$$A_1 = 1.00167348290$$

$$A_2 = 0.00251126928$$

$$A_3 = 0.00000367878$$

$$A_4 = 0.00000840515$$

$$A_5 = 0.00000001134$$

$$A_6 = 0.00000002462$$

$$A_7 = -0.00000001407$$

$$A_8 = -0.00000000792$$

$$A_9 = 0.00000000001$$

$$A_{10} = 0.00000000007$$

$$A_{11} = -0.00000000005$$

$$A_{12} = -0.00000000008$$

$$A_{13} = -0.00000000002$$

$$A_{14} = 0.00000000002$$

ここで θ は

$$\theta = M/a, \quad M = S_0 + x/m_0$$

赤道から座標系の原点 ϕ_0 までの子午線弧長 S_0 は

$$S_0 = a (1 - e^2) \left[A \phi_0 - (B/2) \sin 2 \phi_0 + (C/4) \sin 4 \phi_0 - (D/6) \sin 6 \phi_0 \right. \\ \left. + (E/8) \sin 8 \phi_0 - (F/10) \sin 10 \phi_0 \right] \dots\dots\dots (4)$$

A = 1.0050 3730 6045 577	D = 0.0000 0002 0633 350
B = 0.0050 4784 9237 900	E = 0.0000 0000 0038 862
C = 0.0000 1056 3786 882	F = 0.0000 0000 0000 071

(2) 経緯度系から平面直角座標系への変換

$$x = m_0 \left[(S - S_0) + (N/2) \sin \phi \cos \phi (\Delta \lambda / \rho)^2 \right. \\ \left. + (N/24) \sin \phi \cos^3 \phi (5 - \tan^2 \phi + 9 \eta^2 + 4 \eta^4) (\Delta \lambda / \rho)^4 \right. \\ \left. + (N/720) \sin \phi \cos^5 \phi (61 - 58 \tan^2 \phi + \tan^4 \phi) (\Delta \lambda / \rho)^6 \right] \dots\dots\dots (5)$$

$$y = m_0 \left[N \cos \phi (\Delta \lambda / \rho) + (N/6) \cos^3 \phi (1 - \tan^2 \phi + \eta^2) (\Delta \lambda / \rho)^3 \right. \\ \left. + (N/120) \cos^5 \phi (5 - 18 \tan^2 \phi + \tan^4 \phi) (\Delta \lambda / \rho)^5 \right] \dots\dots\dots (6)$$

ϕ : 与えられた緯度
 ϕ_0 : 座標系の原点の緯度
 $\Delta \lambda$: $\lambda - \lambda_0$ (東方を正にとる)
 λ : 与えられた経度
 λ_0 : 座標系の原点の経度
 x : 求める x 座標 (真北を正にとる)
 y : 求める y 座標 (真東を正にとる)
 N : ϕ での卯酉線曲率半径, $N = C / (1 + \eta^2)^{1/2}$
 $\eta^2 = \delta \cos^2 \phi$
 S_0 : 赤道から座標系の原点 ϕ_0 までの子午線弧長
 S : 赤道から ϕ までの子午線弧長で (4) 式に ϕ を代入して求める

追記

日本の測量法では第11条(測量の基準)第1項に定められた次のベッセル楕円体の値を用いて基本測量と公共測量をおこなわなければならないとされている。

長半径 $a = 6,377,397.155\text{m}$
 扁平度 $f = 1/299.1528\ 13$

この資料の計算式の定数は上記の値に基づいたものであり、国際的な基準である測地基準系1967と等ポテンシャル楕円体にもとづく定数とはことなる。測地基準系1967に準拠した定数では

長半径 $a = 6,378,160\text{m}$ (定義)
 扁平度 $f = 1/298.2471\ 6742\ 7$

となる。

参考文献

- 1) 「現代測量学」出版委員会：現代測量学・第1巻 測量の数学的基礎，日本測量協会，pp. 27-32, 49-50, 99-102, 1981
- 2) 「現代測量学」出版委員会：現代測量学・第3巻 一般測量，日本測量協会，p. 53, 1981
- 2) 建設省大臣官房技術調査室監修：建設省公共測量作業規定，日本測量協会，1985

資 料 2

パーソナルコンピュータによるデータベースでの地図の区分と表示

付表 1 パソコンでの土地分類図の凡例

土地分類図の凡例	パソコンでの凡例	色表示
台地	台地	黄
台地斜面	台地斜面	白(黒)
河谷底	河谷底	マゼンタ
氾濫平野(自然堤防と河川, 旧河道, 盛土地などをふくむ)	氾濫平野 1 氾濫平野 2	青 シアン
三角州, 海岸平野(自然堤防と河川, 砂礫州, 盛土地, 埋立地, 海などをふくむ)	三角州	緑
対象地域外	その他, 都外	黒(白)

()内の色表示はハードコピーの反転色を示す

付表 2 パソコンでの旧版地図の水系図の凡例

水系図の凡例	パソコンでの凡例	色表示
水域	水域	青
湿地	湿地	マゼンタ
砂州	砂州	黄
海	海	シアン
水系外の地域	その他, 都外	黒(白)

()内の色表示はハードコピーの反転色を示す

付表 3 パソコンでの湿地・水田分布図の凡例

湿地・水田分布図の凡例	パソコンでの凡例	色表示
水田	水田	緑
乾田	乾田	黄
湿地	湿地	マゼンタ
その他の地域（都市化した地域と畑、水面をふくむ）	その他、都外	黒(白)

()内の色表示はハードコピーの反転色を示す

付表 4 パソコンでの江戸期の水系図の凡例

江戸期の水系図の凡例	パソコンでの凡例	色表示
1460年頃の水系	1460年頃の水系	青
1460年頃の沼沢地	1460年頃の沼沢地	黄
1460年頃の湿地	1460年頃の湿地	マゼンタ
1460年頃から1632年までに陸化した地域	1632年までに陸化	赤
1632年から1670年までに陸化した地域	1670年までに陸化	黒(白)
隅田川と東京湾	隅田川及び東京湾	シアン
その他の地域（1460年頃の完全な陸地）	1460年頃の陸地	緑
対象地域外	その他、都外	白(黒)

()内の色表示はハードコピーの反転色を示す

付表 5 パソコンでの沖積層基底等深線図の凡例

沖積層基底等深線図の凡例	パソコンでの凡例	色表示
0m以上の地域（台地をふくむ）	その他、都外	黒(白)
0mから-10mまでの地域	0～-10m	白(黒)
-10mから-20mまでの地域	-10～-20m	黄
-20mから-30mまでの地域	-20～-30m	緑
-30mから-40mまでの地域	-30～-40m	シアン
-40mから-50mまでの地域	-40～-50m	青
-50mから-60mまでの地域	-50～-60m	赤
-60m位深の地域	-60m位深	マゼンタ
海など深度区分がない地域	その他、都外	黒(白)

()内の色表示はハードコピーの反転色を示す

付表 6 パソコンでの砂層分布図の凡例

砂層分布図の凡例	パソコンでの凡例	色表示
0mから4mまでの地域	0～4m	青
4mから6mまでの地域	4～6m	黄
6mから8mまでの地域	6～8m	緑
8mから10mまでの地域	8～10m	マゼンタ
10m以上堆積している地域	10m以上	赤
その他の地域（台地、海をふくむ）	台地、その他	黒(白)

()内の色表示はハードコピーの反転色を示す

付表 7 パソコンでの地下水位分布図の凡例

地下水位分布図の凡例	パソコンでの凡例	色表示
水面（海と大きな河川）	0 m（水面）	シアン
0m以上1.0m未満の地域	0.7 m	黄
1.0m以上2.0m未満の地域	1.5 m	青
2.0m以上3.0m未満の地域	2.0 m	緑
3.0m以上4.0m未満の地域	2.5 m	赤
4.0m以上の地域	2.5 m	赤
その他の地域（台地をふくむ）	5.0 m（台地）	マゼンタ
対象地域外	領域外	黒（白）

（）内の色表示はハードコピーの反転色を示す

付表 8 パソコンでの礫層分布図の凡例

礫層分布の区分	パソコンでの凡例	色表示
地表面下5m以内に礫層が分布する	れき層有り	マゼンタ
その他の地域（礫層が分布しない地域と海、台地をふくむ）	その他、領域外	黒（白）
対象地域外	その他、領域外	黒（白）

付表 9 パソコンでの表層分布図の凡例

表層分布図の凡例	パソコンでの凡例	色表示
表土または盛土の素材がすべて砂質土である	表土盛土、砂系	赤
表土または盛土の素材の一部が砂質土である	表土盛土、砂＋粘土系	黄
その他の地域（表土または盛土の素材が砂質土以外の地域と、海、台地をふくむ）	その他、領域外	黒（白）
対象地域外	その他、領域外	黒（白）

（）内の色表示はハードコピーの反転色を示す

付表 10 パソコンでの関東地震家屋被害分布図の凡例

関東地震家屋被害分布図の凡例	パソコンでの凡例	色表示
原図の縮尺が3万分の1の地域		
被害の程度が大きな地域（1）	被害大（その1）	マゼンタ
被害の程度が大きな地域（2）	被害大（その2）	シアン
被害の程度がやや大きな地域（1）	被害やや大	黄
原図の縮尺が10万分の1の地域		
被害の程度が大きな地域（3）	被害大（その1）	マゼンタ
被害の程度がやや大きな地域（2）	被害やや大	黄
土地が陥没した地域	土地の陥没	青
その他の地域 （被害が顕著でなかった地域と海をふくむ）	その他、都外	黒（白）
対象地域外	その他、都外	黒（白）

（）内の色表示はハードコピーの反転色を示す

付表 11 パソコンでの関東地震地盤被害分類図の区分

関東地震地盤被害分類図の凡例	パソコンでの凡例	色表示
激しい液状化が生じた地域		
地点を確定できる	液状化強地点確定	マゼンタ
地点は確定できないが地域までは確定できる	液状化強地点確定	マゼンタ
地域としておおそ確定できる	液状化強地域不明瞭	白(黒)
軽度の液状化が生じた地域		
地点を確定できる	液状化弱地点確定	赤
地点は確定できないが地域までは確定できる	液状化弱地点確定	赤
地域としておおそ確定できる	液状化弱地域不明瞭	黄
井水の変化・地割れした地域		
地点を確定できる	地割れ地点確定	青
地点は確定できないが地域までは確定できる	地割れ地点確定	青
地域としておおそ確定できる	地割れ地域不明瞭	シアン
地盤災害の非発生が確認された地域	液状化無し	緑
その他の地域(判断を保留した地域と未調査地域、台地、海をふくむ)	不明、都外	黒(白)
対象地域外	不明、都外	黒(白)

()内の色表示はハードコピーの反転色を示す

