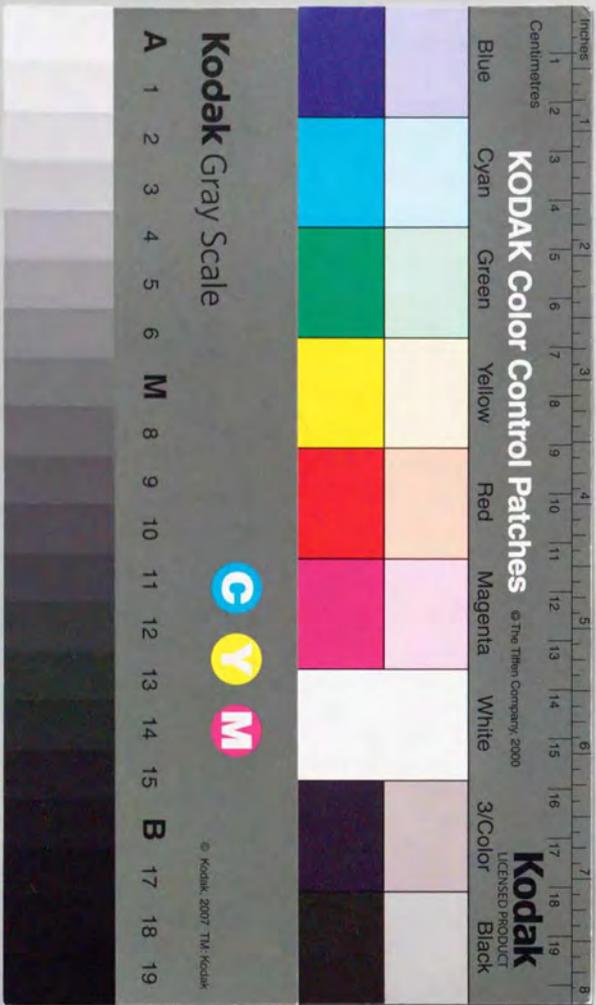


地図／ボーリング情報のデータベース化と
その地震被害予測への応用

Geological and geographical Database for
Assessing Earthquake Disaster

小川 好



①

地図／ボーリング情報のデータベース化と
その地震被害予測への応用

Geological and geographical Database for
Assessing Earthquake Disaster

小川 好

目次

第1章 序論

1.1	はじめに	1
1.2	データベース・システムの必要性	3
1.3	東京以外の都市でのデータベース作成の可能性	4
1.4	データベース開発の基本的な構成	7
	参考文献	11
	図表リスト	12

第2章 地震時の地盤災害予測にかかわる情報の収集と選択

2.1	はじめに	13
2.2	地形図の情報	13
2.2.1	地形図から得られる情報	13
2.2.2	地形分類図による現在の地形と自然地形	14
(1)	地形分類図の収集と選択	14
(2)	土地条件図	16
(3)	土地分類図	20
2.2.3	旧版地形図による過去の地形	22
(1)	旧版地形図の収集	22

(2) 旧版地形図による過去の土地利用	24
(3) 旧版地形図による水系の変化	26
2.2.4 江戸時代の地図による過去の地形	29
(1) 江戸時代の地図と地形の変遷	29
(2) 江戸期水系図	29
2.3 地質図の情報	33
2.3.1 地質図から得られる情報	33
2.3.2 対象地域の地盤構成	34
2.3.3 軟弱な沖積層の層厚	36
(1) 沖積層基底等深線図	36
(2) 沖積層基底等深線図と地盤の卓越周期の推定	38
(3) 沖積層基底等深線図と地表最大加速度の推定	41
2.3.4 液状化の可能性がある砂層の層厚と地下水位	43
(1) 砂層分布図	43
(2) 地下水位分布図	45
2.3.5 沖積層の礫層と表層の土質	47
(1) 礫層分布図	47
(2) 表層分布図	47
2.4 過去の地震被害の情報	49
2.4.1 過去の地震被害から得られる情報	49
2.4.2 関東地震での家屋被害	50
(1) 家屋被害についての調査結果の選択	50
(2) 関東地震家屋被害分布図	52
2.4.3 関東地震での地盤被害	55
2.5 ボーリング資料の情報	57
2.5.1 ボーリング資料から得られる情報	57
2.5.2 ボーリング資料の収集と整理	57
2.6 既存の地震被害予測図の利用	59
2.7 国土数値情報の利用	60
2.8 まとめ	61

参考文献	62
図表リスト	65

第3章 地図／ボーリング情報の数値ファイル化

3.1 はじめに	67
3.2 座標系とメッシュ系	68
3.2.1 概説	68
3.2.2 経緯度座標系にもとづく標準地域メッシュ系	71
3.2.3 平面直角座標系にもとづくメッシュ系	73
3.2.4 座標系とメッシュ系の決定	76
3.3 地図の入力法とデータの構造	77
3.3.1 概説	77
3.3.2 デジタイザー入力とベクトル情報	78
3.3.3 スキャナー入力とラスター情報	83
3.3.4 入力法の決定	85
3.4 地図情報の数値ファイル化	88
3.4.1 概説	88
3.4.2 地図情報の数値化	89
3.4.3 地図の縮尺と図郭の統一	94
3.4.4 数値化された地図情報の精度	96
3.5 ボーリング情報の数値ファイル化	97
3.5.1 概説	97
3.5.2 ボーリング資料の編集と位置の数値化	99
3.5.3 ボーリング柱状図と土質試験結果の数値化	104
(1) 土質名コードと記事のコード	104
(2) ボーリング柱状図と土質試験結果のコーディング	106
3.5.4 数値化されたデータのエラー検出と修正	112

3.5.5 数値化されたボーリング情報の信頼性	116
3.6 まとめ	116
参考文献	118
図表リスト	119
第4章 地盤にかかわる基礎情報の出力と重ね合わせ	
4.1 概説	121
4.2 地図情報ファイルの出力と面積集計	122
4.2.1 同一縮尺での地図の出力	122
4.2.2 地図の区分による面積集計	124
4.2.3 地図の重ね合わせによる面積集計	125
4.2.4 地図の重ね合わせによる出力	129
4.3 ボーリング情報ファイルによる基礎情報の出力	130
4.3.1 ボーリング柱状図台帳の出力	130
4.3.2 地質図作成のための基礎データの出力	133
4.3.3 土質試験結果の頻度分布の出力	137
4.4 地図情報とボーリング情報の結合と液状化解析	137
4.4.1 地図情報ファイルとボーリング情報ファイルの結合	137
4.4.2 ボーリング地点での液状化解析	138
4.4.3 液状化解析結果のボーリング地点での出力	141
4.4.4 入力した地図の区分による液状化解析結果の出力	143
4.5 まとめ	149
参考文献	150
図表リスト	151

第5章 パソコンによるデータベース・システムの設計

5.1 はじめに	153
5.2 パソコンによる支援システムと東京低地の液状化予測	154
5.3 パソコンによるシステムの仕様とデータ変換	154
5.3.1 パソコンによるシステムの仕様	154
5.3.2 パソコンに表示するためのデータ変換	156
5.4 情報の表示と判定値の入力	158
5.4.1 ボーリング地点での液状化解析結果の表示と判定値の入力	158
5.4.2 地図の表示と判定値の入力	163
5.5 判定値の集約と予測結果の決定	183
5.5.1 概説	183
5.5.2 地図による判定値の集約	185
5.5.3 クロステーブルでの予測結果の決定	189
5.5.4 予測結果のファイル化と表示	189
5.6 まとめ	193
参考文献	194
図表リスト	195

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	197
6.2 関東地震での水道管の漏水被害にあてた地形・地質の影響	199
- 台東区付近を例にとって -	
6.2.1 概説	199
6.2.2 台東区付近での配水管の漏水被害と家屋被害	200
(1) 被害資料の検討	200
(2) 配水管の分布と配管系統の検討	203

(3) 家屋被害との比較	204
6.2.3 地盤の液状化との関係	204
6.2.4 地質との関係	207
(1) 沖積層の層厚分布	207
(2) 沖積層中の礫層の分布	215
6.2.5 地形との関係	219
(1) 土地条件図	219
(2) 水系の変化	219
(3) 過去の土地利用	227
(4) 江戸期の水系図	231
6.2.6 結論	237
6.3 関東地震での家屋被害にあたえた地形・地質の影響	241
-千代田区とその周辺を例にとって-	
6.3.1 概説	241
6.3.2 千代田区とその周辺での家屋被害分布	241
6.3.3 地形との関係	245
6.3.4 地質との関係	253
6.3.5 結論	259
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	260
6.4.1 概説	260
6.4.2 ボーリング資料にもとづく液状化判定	262
(1) 簡易法による液状化解析の設定条件	262
(2) 解析結果にもとづく判定	263
6.4.3 地図情報にもとづく液状化判定	263
(1) 地図情報による液状化危険度の評価	263
(2) 液状化危険度評価にもとづく判定	265
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	267
(1) クロステーブルによる総合判定値の決定	267
(2) 関東地震で液状化が発生した地域と判定結果の比較	267
(3) 予測結果	277

6.4.5 結論	277
6.5 地震時の地盤危険度分類図の作成	281
6.5.1 概説	281
6.5.2 明治期以降の水系の変遷	283
6.5.3 地図の重ね合わせによる危険度分類図の出力	289
6.5.4 既存の地盤被害予測図との比較	297
6.5.5 結論	301
6.6 まとめ	302
参考文献	305
図表リスト	307

第7章 おわりに

7.1 この論文のまとめ	309
7.2 データベース作成での反省点と、これからの展望	314

謝 辞

- 資料 1 平面直角座標系と経緯度座標系の変換公式
 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

1.1 はじめに

地震によって発生する建造物の被害には、さまざまな因子が関係している。これらの因子のうち、建造物が立地する地盤が被害に大きな影響をあたえることは、関東地震（1923）をはじめとする多くの被害地震の経験から、一般にもよく知られた事実となっている。このため、地震時の地盤挙動、あるいは液状化をふくめた地盤破壊についての研究が精力的にすすめられ、解析と予測の方法も格段の進歩をとげている。最近ではコンピュータ利用技術の普及とも相まって、きわめて緻密な解析も可能となっている。

一方、実際の地震被害を調査した人々から、次のようなコメントを聞くこともしばしばある。「地盤被害の発生した場所というのは、現場にいったら見ると、なるほどここなら被害がおきるだろうと理解できるところが多い。このような地点は、かならずしも緻密な解析をしなくても、あらかじめ特定できるのではないだろうか」

地震時の地盤被害の予測に、このような実際の被害地では理解できるような情報を、何とかとりいれることはできないだろうかというのが、このデータベースを開発した動機である。ある地域を特徴づける情報としては、第1に自然地形があげられるであろう。その土地は形態や成り立ち、性質などから地形区分することができ、地震時の挙動もそれぞれ異なっていると考えることができる。都市化のすすんだ地域では、埋立や盛土などによる人工改変の記録も重要な情報となる。このデータベース・システムが調査対象としている東京の低地は、江戸時代には池や小川などめぐまれた水環境にあったが、現在ではそのほとんどが埋立られている。

地盤の被害予測では、軟弱な地層の厚さや地下水位、ゆるく堆積した砂層の層厚といった地質の情報も重要な指標となる。地盤の卓越周期や地表面での地震動の最大加速度といった、地震被害を強く規定する因子は、軟弱な沖積層の層厚と

深く関係することが知られている。また、ゆるく堆積した砂層の層厚と地下水位の分布からは、地震時の顕著な地盤被害のひとつである液状化の発生についても、かなり正確に予測することができる。

過去の地震での地盤や構造物の被害記録も、被害予測をおこなう上で価値のある判断材料となる。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、いまだに解明されていない部分も残されている。このため、対象とする地震が過去のものであっても、ある地域に実際に被害があった、あるいはなかったという情報は、その地域の地震危険度を判断するときには説得力のある情報であると考えられる。

ボーリング調査をもとにした地盤の危険度判定法による結果も、重要な情報である。ボーリング資料からは地盤の卓越周期や地表面での最大加速度、液状化の程度などを定量的に推定することができる。また、ボーリング資料をもとに、地盤をモデル化していくつかの地盤区分に分類したり、地質図を作成することもできる。

これらの情報をできるだけ多く収集して、使いやすいかたちに整理することができれば、地震による被害を比較的簡単に予測できるとともに、予測結果にたいしても多方面からの検討を加えられるようになる。そのようなデータベースは、おそらく「地震被害の現場での感覚」をも、いくぶんかは代弁することができるであろう。

この論文は上に述べたような考えを実現化する試みとして作成されたデータベース・システムの開発過程と、その地震被害予測への応用について考察したものである。収録されている情報は、地形図や地質図、過去の地震での被害分布図、ボーリング資料とその解析値などである。最近のコンピュータ・グラフィック技術の急速な進歩によって、地図として表現された情報についても比較的容易に磁気データ化することができるようになってきている。このため、このデータベース・システムでは、地図の情報はできるだけ原図にちかいかたちで入力することにした。また、パーソナル・コンピュータが広く普及していることから、このディスプレイ上でデータの検索や表示をおこない、データベース化された情報をどこでも利用できるように配慮した。

1.2 データベース・システムの必要性

地形や地質、過去の地震被害、ボーリング資料などの情報は、地震時の地盤災害を予測する上で基本となるものであり、これらの情報はいままでもおこなわれた地震被害予測でももちろん利用されている。しかし、これらの予測の多くは判断のための資料を手作業によって整理しており、被害予測のための基礎的な情報の電算化やデータベース化は、ボーリング資料をのぞいてあまりすすんでいない。特に、地形や地質、過去の地震被害の情報のように地図として表わされた情報については、その磁気データ化がむずかしかったことから、作成が試みられた例は少ないようである。このため、被害想定作業が終了するとともに、収集・整理された原資料は蓄積されることなく散逸してしまいうことが多い。

自治体などが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災害の危険性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。また、被害地震の発生によって新たな地震災害が注目されるようになった場合にも、被害想定は見直されることがある。このように、同一の地域について何度か地震被害を予測する場合でも、地形や地質といった基本的な情報が蓄積されていないために、再び基礎的なデータの収集から始めるケースもみられる。

地震時の被害予測は電力やガス、上下水道などの企業体にとっても、重要な調査となっている。もちろん、対象とする構造物にはそれぞれ特有の性質があり、被害の影響も異なっていることから、対象とする被害や想定する地震動の強さ、予測結果の表現法などに違いはみられる。しかし、予測上必要とされる情報のうち地形や地質といった基本的な情報は、ほとんど共通したデータであると考えてよいであろう。

このように、地形や地質、過去の地震被害、ボーリング資料など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。

基本的な情報をデータベース化することは、被害予測の方法にも影響をあたえ

る可能性がある。被害予測の作業は、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いくプロセスが重要となる性質の問題である。また、最終的な予測結果はかならずしも1つだけではなく、複数の解がありうる。このような意味から、被害予測では結果にいたるまでのプロセスの合理性と、一般のひとつと結果が合意されるためのバランスが確保されていなければならない。

被害予測に使用する情報をデータベース化しておくことによって、判定結果にいたる過程は、外部からでもかなり理解しやすいかたちで提示することができると思われる。また、予測結果は判定者の地震被害観によっても差異がでることから、パーソナル・コンピュータ上のデータベースを利用したディスカッションやデルファイ法による被害予測も可能になるであろう。

1.3 東京以外の都市でのデータベース作成の可能性

この論文で対象としている東京は、古くから日本の政治・経済の中心であったことから、地盤に関する情報も数多く蓄積されている。地形の情報としては土地条件図などの地形分類図が用意されているほか、旧版の地形図も明治初期にまでさかのぼる地図が残されている。また、表層地質図などの地質の情報やボーリング資料についても、豊富にとりそろえられている。このような点では、東京は地盤についてのデータベースを作成する上での条件が、きわめて恵まれた地域であると考えられることができる。

しかし、このような条件はかならずしも東京にだけあてはまるものではない。表1・1は東京のほか横浜や川崎、大阪、京都、名古屋、仙台といった主要な都市で入手できる、地形・地質やボーリング資料の情報を示したものである。地形分類図のうち国土地理院が発行している1:25,000土地条件図は、これらの都市のすべてについて、すでに作成されている。また、国土庁と各自治体が協力して実施している土地分類調査は東京と横浜、川崎をのぞいてすでに完了しており、その成果である1:50,000地形分類図などが公表されている。

近代的な測量法による最初の地形図は、関東平野を対象として明治13年(1880)

表 1・1 日本の各都市で入手できる地図/ボーリング情報

地形分類図	東京	横浜	川崎	大阪	京都	名古屋	仙台
1:25,000土地条件図 国土地理院	○	○	○	○	○	○	○
1:50,000地形分類図 国土庁等の土地分類調査	1	1	1	○	○	○	○
1:20,000迅速測図 准正式図 地形図で もつともふ るが、経緯 度の記載は ない	明治13~14年 (1880~1881) 測図	明治15年測図 (1882)	明治14年測図 (1881)	明治18~19年 (1885~1886) 測図	明治22年測図 (1889)	明治24~31年 (1891~1898) 測図	明治38年測図 (1905)
1:20,000正式図 経緯度の記載のあるも つともふる 地形図	明治36~42年 (1903~1909) 測図	明治36~39年 (1903~1906) 測図	明治39年測図 (1906)	明治41~42年 (1908~1909) 測図	明治42年測図 (1909)	昭和12年測図 (1937)	昭和28年測図 (1953)
1:10,000地形図 経緯度の記載のある大縮 尺の地図	明治42年測図 (1909)	大正11年測図 (1922)	大正11年測図 (1922)	大正10年測図 (1921)	昭和13年測図 (1938)	昭和12年測図 (1937)	昭和28年測図 (1953)
地質図 沖積層の厚分布図など の表層地質図 ボーリング資料	東京部地盤地 質図1・5) 東京都総合地 盤図1・4)	横浜市軟弱地 盤層調査報告 書1・6)	川崎市環状地 質調査報告 書1・6)	大阪地盤図 1・9) 新編大阪地 盤図1・10)	京都市防災会 議の報告書 (文献1・11) (文献1・12)	名古屋地盤図 1・13) 最新名古屋地 盤図1・14)	宮城県地震地 盤図1・15)

から明治19年(1886)にわたって測量された地図であり^{1.1)}、「第一軍管地方迅速測図」とよばれている。この地形図から横浜では明治15年(1882)の地形を、川崎では明治14年(1881)の地形を読取ることができる。京阪神地域の地形図は明治17年(1884)から明治23年(1890)にかけて測量された「准正式地形図」として残されている^{1.1)}。大阪の測図は明治18~19年(1885~1886)、京都の測図は明治22年(1889)である。これらの地形図は正規の三角点によらない簡易な図根点測量によって測図されたもので、正確な経緯度は求められていない。このため、地図全体としては地域的なゆがみが認められるものの、細部にわたる表現は正確であり、1:20,000の縮尺で当時の地形を知ることのできる地図である。名古屋と仙台については、この種の地形図は作成されていない。

正規の三角点をもとに測量された最初の地形図は「正式二万分の一地形図」とよばれる地図で、宮城県松島・塩釜付近から西に九州までの地域が測図されている。この地図の図郭は経度6分、緯度4分に分割して展開されているとともに、図郭の四隅にはグリニッジを基準とした経緯度が表示されている^{1.1)}。表1.1に示した都市では名古屋がもっとも早く明治24~31年(1891~1898)に測図され、明治42年(1909)までには7都市すべての測図が完了している。

過去の地形のうち、小川や池といった小さな水系の変化を対象とするには、より大縮尺の旧版地形図が必要になる。この種の大縮尺の地図としては1:10,000地形図が過去にも作成されている。横浜と川崎、大阪では大正10~11年(1921~1922)、京都と名古屋では昭和12~13年(1937~1938)測図の地形図を利用することができる。仙台で1:10,000地形図が作成されたのは昭和28年(1953)と比較的新しいものの、都市改変が急激にすすめられた高度成長期以前の地形を知ることのできる地図である。このほか、都市の中心部だけを対象とした地図としては、明治時代の市街図が「明治大正 日本都市地図集成」^{1.2)}として復刻されている。

地質の情報としては7都市すべてについて、地盤図や地質調査報告書が自治体あるいは学会によってまとめられている。地盤の比較的浅い部分の地質図のうち、地震時の地盤の挙動ともっとも関係のふかい軟弱層の層厚分布図は、これらの地盤図や報告書にのせられている。また、都市によっては地盤の液状化と関係のある軟弱な砂層の分布図や、地震被害の発生しやすい腐植土の分布図なども作成さ

れている。

地質の情報のうち、原資料であるボーリング柱状図については、印刷して公表されている都市とそうでない都市がみられるものの、資料の収集自体はすでに実施されている。東京と大阪、名古屋の地盤図では、数千本のボーリング柱状図が資料集として掲載されており、一般にも利用できるようになっている。その他の都市でも、地質断面図あるいは報告書に代表的なボーリング柱状図がのせられている。いずれの都市でも、地盤図や地質報告書を作成する過程で数多くのボーリング柱状図が収集・整理されていることから、地震危険度の予測にボーリング柱状図を利用できる体制は、すべての都市で整備されていると考えられる。

このように、日本の代表的な6都市では、東京の場合とほぼ同程度の水準で地盤に関する情報を入手できることから、この論文であつかう地震時の地盤被害予測を目的としたデータベースは、東京以外の主要な都市でも十分に作成が可能であると考えてよいであろう。

1.4 データベース開発の基本的な構成

このデータベース・システムが対象とする領域は、図1.1示すように東京の低地とその周辺部である。この地域には千代田区と中央区、港区、文京区、台東区、墨田区、江東区、品川区、大田区、北区、荒川区、足立区、葛飾区、江戸川区の14区と、世田谷区と目黒区、渋谷区、新宿区、豊島区、板橋区の一部がふくまれる。対象地域の陸地は全体でおよそ400km²の面積があり、このうち中小河川の河谷底(谷底平野)をふくめた低地の面積は約310km²となっている。

このデータベース・システムの開発は、図1.2に示す4つの段階にしたがってすすめた。第1段階は基本的な情報の収集と選択をおこなう部分であり、システムの骨格をここで決定した。情報の収集と選択されたデータの内容については、第2章で述べる。

第2段階では、選択された各種のデータを数値ファイル化するとともに、計算機に入力されたデータを管理するためのメッシュ系を決定した。選択された情報のうち、地図として表現されている情報については、図形処理の方法と変換された



図 1-1 データベース・システムの対象領域

「この地図は国土地理院発行の20万分の1地勢図（東京）を使用したものである。」

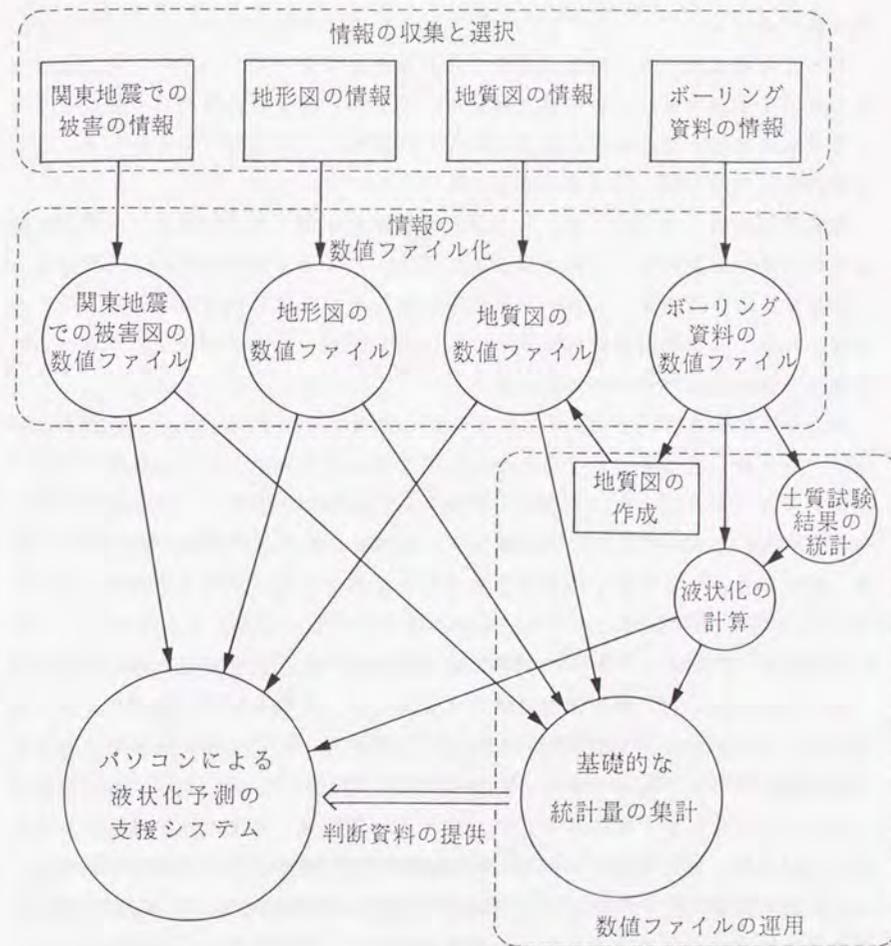


図 1-2 データベース・システムの構成

データの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をどのようにコード化するかが問題となった。

入力した地図のうち、基図が旧版の地形図であるものについては、縮尺だけでなく地図の図郭も現在の地形図とは異なっている。このような地図の縮尺と図郭を現在の地形図と同一のかたちに変換する作業も、この段階でおこなった。これらの作業については、第3章で概説する。

被害予測をおこなう上では、入力された地図の分類ごとの面積や、土質試験結果の統計量が必要になる。第3段階としては、このような計算機による処理をおこなった。この段階では、ボーリング資料にもとづく簡易的な液状化解析と、地質図を作成するための基礎的なデータも出力している。第4章では、これらの計算機を使用した処理について述べる。

第4段階であるパーソナル・コンピュータによるデータベース・システムの構築については、第5章でとりあつかう。パソコンによるデータベースは地震時の地盤災害のうち、特に液状化予測を目的としていることから、「液状化予測の支援システム」と名づけた。この支援システムは、入力された情報を対話形式で検索・表示できるとともに、液状化予測の判定結果の入力と集約もできるように設計している¹⁾¹⁶⁾¹⁾¹⁷⁾。

データベース・システムの実用例としては、パソコンによる液状化予測の支援システムを利用した、東京低地の液状化予測について概説する。液状化予測の結果についてはすでに公表されている¹⁾¹⁸⁾ことから、ここでは予測をおこなう上での支援システムの利用法を中心に解説する。データベース・システムの応用例としてはこのほかに、比較的せまい地域での地震被害と地盤との関係についての評価を試みた。地震被害としては、関東地震での台東区付近の水道管の被害と、同じく関東地震での千代田区とその周辺の家屋被害を対象とした。関東地震での水道管の被害については土木学会の調査報告書¹⁾¹⁸⁾にくわしい被害箇所の分布図がのせられており、台東区付近には被害が集中している地域がみられる。また、家屋被害については地質調査所の被害調査結果¹⁾¹⁹⁾があり、千代田区とその周辺では地形と相関が高いと思われる被害分布を示している。これらの結果については、第6章で述べる。

また、この章では液状化予測の結果と2つの被害事例の検討をもとに、対象地域の地盤について地震危険度分布図の作成を試みた。この危険度分布図は、入力された情報を計算機上で重ね合わせることで作成した。

参考文献

- 1.1) 測量・地図百年史編集委員会：測量・地図百年史，日本測量協会，pp. 305-315，1970.
- 1.2) 明治大正 日本都市地図集成，柏書房，1986.
- 1.3) 東京都土木技術研究所：東京都地盤地質図（23区内），東京都地質図集2，1969.
- 1.4) 東京都土木技術研究所：東京都総合地盤図I，技報堂出版，1977.
- 1.5) 横浜市公害研究所：横浜市軟弱地盤層調査報告書 一軟弱地盤構造と地盤沈下特性一，1988.
- 1.6) 川崎市公害局水質課：川崎市環境地質図調査報告書，1981.
- 1.7) 神奈川県：神奈川県地盤地質調査報告書 一神奈川県地震対策基礎資料一 1971.
- 1.8) 神奈川県：神奈川県地震被害想定調査報告書（地盤地質），1985
- 1.9) 日本建築学会近畿支部，土質工学会関西支部：大阪地盤図，コロナ社，1966.
- 1.10) 土質工学会関西支部，関西地質調査業協会：新編 大阪地盤図，コロナ社 1987.
- 1.11) 小堀鐸二：京都市の地盤について（地盤図とその考察），京都市防災会議，1978.

- 1-12) 吉川宗治：地盤地質図のうち，地形分類図，地盤型区分図及び危険地形地盤図の作成に関する調査研究，京都市防災会議，1981.
- 1-13) 日本建築学会東海支部，土質工学会中部支部，名古屋地盤調査研究会：名古屋地盤図，コロナ社，1969.
- 1-14) 土質工学会中部支部，名古屋地盤図出版会，最新名古屋地盤図，1988.
- 1-15) 宮城県：宮城県地震地盤図，1985.
- 1-16) 東京都土木技術研究所：東京低地の液状化予測，土質工学会，1987.
- 1-17) Ogawa, Y., Abe, H., Kusano, K. and Nakayama, T.: Computer Aided System for Assessing Liquefaction Potential in Tokyo Lowland, Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. VII, pp. 593-598, 1988.
- 1-18) 土木学会：大正十二年関東大地震震害調査報告，1984年の復刻版による，雄松堂出版，1927.
- 1-19) 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.

図表リスト

図 1-1 データベース・システムの対象領域

図 1-2 データベース・システムの構成

表 1-1 日本の各都市で入手できる地図／ボーリング情報

第2章 地震時の地盤災害予測にかかわる情報の収集と選択

2.1 はじめに

この章ではデータベース・システムに入力される情報の収集と選択について，その具体的な過程の説明と問題点の検討をおこなう。入力される情報としては，地形と地質，過去の地震被害，ボーリング資料の4種類に分類される。

対象とする地域の主要な部分が低地であることから，地形の情報としては河川によって形成された微地形や旧版地形図から読取られる過去の水面などが，その情報として選択される。また，地質の情報としては，沖積層を主体とした地表から-60m程度までの表層地質が対象となる。過去の地震被害の情報としては，液状化などの地盤被害と，広い地域について記録が残されている家屋の被害を対象とした。

地震の被害予測をおこなう上では，できるだけ多くの資料を参照することが望ましいが，データベースとしての使いやすさや計算機の記憶容量，磁気データ化する経費などから，ある程度制限されたものにならざるをえない。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。

2.2 地形図の情報

2.2.1 地形図から得られる情報

地形図から得られる情報は，ある地域がもともとどのような自然条件にあったかという自然地形の情報と，その土地が埋立や盛土などによって人工的にどのように変化してきたかという人工改変の情報に分けられる。

自然地形を人工改変地をふくめて区分した地図としては，国土地理院が発行し

国土庁・東京都からは縮尺1:200,000の土地分類図^{2・5)}が発行されている。国土庁では土地分類基本調査の一環として、縮尺1:50,000の地形分類図の整備も進められているが、東京の低地部については現在のところ作成されていない。このほか、東京都土木技術研究所からも1:25,000の地形分類図が発行されているが^{2・6)}、この地図のうち低地の部分については、昭和36年版洪水地形分類図をもとに作成されたものである。

これらの地形分類図を収集し、入力する地図を選択した。国土庁の地形分類図は1:200,000と小縮尺であり、分類されている地形区分も比較的すくないことから、対象からはずした。また、土木技術研究所の地形分類図は低地については二次資料であり、分類も統合されていることから除外した。

国土地理院の地形分類図は、表2・1にみられるように対象地域や地形区分に多少のちがいはあるものの、基本的にはおなじ分類法にしたがっている。洪水地形分類図では台地の一部に未調査地域があるが、土地条件図はこのシステムの対象域をすべてカバーしている。人工改変地に区分される地域が現状にもっともちがいが、最新の昭和55年版を採用することも考えられるが、地震被害は水面を埋立てた場所に発生しやすいことを考慮して、「旧水面上の盛土地」と「旧水面上の高い盛土地」の区分がある昭和45年版土地条件図を選んだ。

(2) 土地条件図

昭和45年版土地条件図の地形分類の単位とその性質を、「1:25,000土地条件図の見方と使い方^{2・1)}」をもとにまとめたのが表2・2である。地形分類は表層ちかくの土質とも密接な関係があり、三角州はおもにシルトや粘土から、氾濫平野と海岸平野はおもに細砂やシルトからなっている。また、自然堤防は砂やシルトによって構成されている。地震被害との関係としては、形成時期が新しく、地盤の液状化をのぞくと細かい構成物質からなる地形面ほど被害が大きいう傾向がある。沖積低地の中でも三角州は地震の被害をうけやすく、特に埋立てによる盛土地や旧河道の盛土地では被害が著しい。また、旧河道では隆起や陥没といった、液状化にともなう地盤変形も発生しやすい。これにたいして、おなじ沖積低地でも扇状地や緩扇状地など砂礫質からなる地域では地震被害は少なく、洪積台

表2・2 土地条件図(昭和45年版)での微地形分類(その1)

(国土地理院:「1:25,000土地条件図の見方と使い方」^{2・1)}, 1970による)

低地の一般面	
谷底平野	山地・丘陵地あるいは台地を刻む河川の堆積作用で形成された平坦地であり、両側を高地によってはさまれている。
氾濫平野	河川の堆積作用によって形成された広くひらけた平坦地であり、構成物質は細砂とシルトが主となっている。地図上では帯状の自然堤防の間や前面に、やや低く面状に広がっている。氾濫平野は大都市の近くをのぞくと一般に水田として利用されている。
海岸平野	過去の浅海底堆積面が海退によって陸化した地形で、主として砂やシルト質から構成されている。
三角州	河川の河口部付近にひろがり、主としてシルトや粘土などの細粒物質からなる堆積地帯で、河川が作られた地形が弱く、河川洪水による被害も大きい。氾濫平野に比べて、河川が作られた地形が弱く、河川洪水による被害も大きい。
後背低地	通常は自然堤防や砂(礫)堆積作用により、河川の堆積作用が主として行われ、地盤条件は、氾濫平野や沼田などよりも悪く、内陸部でもっとも低い位置にある。土地条件図では、自然堤防や砂(礫)堆積作用により、河川の堆積作用が主として行われ、地盤条件は、氾濫平野や沼田などよりも悪く、内陸部でもっとも低い位置にある。
旧河道	過去の河川流路の跡で、土地条件図では、原形を比較的良好と見做している。一般に、氾濫平野や三角州の表面より、旧河道では、原形を比較的良好と見做している。一般に、氾濫平野や三角州の表面より、旧河道では、原形を比較的良好と見做している。
人工地形	
平坦化地	山地・丘陵地、台地などの斜面を、主として切取りによって整地した平坦地あるいは緩傾斜地であり、都市近郊に多くみられる宅地道成地やゴルフ場などがこれに相当する。
高い盛土地	とくに高潮や洪水の対策上、いちじるしく高く盛土された土地で、一般面との比高がほぼ2m以上の盛土地を示している。
盛土地	主として低地に土を盛って造成された土地で、原則として0.5m~2m以内の盛土地を表示している。しかし、市街地では一般に多少とも盛土がおこなわれていて原地形が不明瞭となっており、0.5mの基準に達していない土地も盛土地として表示されている場合がある。
旧水面上の高い盛土地	沼沢地や旧河道、干拓地、海などの水面に、一般の低地面より2m以上土を盛って造成された土地を表示している。
旧水面上の盛土地	沼沢地や旧河道、干拓地、海などの水面に、一般の低地面より0.5m~2m以内の盛土された土地を表示している。したがって、低い埋立地などはこの区分にふくまれる。
埋土地	沼沢地や池沼、河川敷などが、低地の一般面とほぼ同じ高さまで埋立てられた土地で、地盤条件は周辺の一般面より劣るのが普通である。
干拓地	潮沙平野や内陸水面を干して陸地化した土地で、塩田をふくむ。海岸沿いの干拓地では0m以下の地域が多くみられる。
凹陷地	土地条件図では砂利採取跡や溜池跡など、主として水のたまっていない人工的な凹地を示している。
水部	
河川	原則として常時水が流れている部分で、幅7.5m以上を二条線、2m~7.5mを一条線で表わしている。
水際線および水面	平均の状態での水陸の境界線および河川、湖沼、海部、貯水池などの表面を示す。

表 2.2 土地条件図（昭和45年版）での微地形分類（その2）

（国土地理院：「1：25,000土地条件図の見方と使い方」^{2.11}，1970による）

頻水地形	
頻水地形には天井川の部分、高水敷、低水敷、浜、湿地、落堀、潮汐平地などが含まれる。これらは堤外地として計画された土地、湿性土、水陸の中間帯などで、出水あるいは水位変化によって冠水するか、あるいは地下水面が高く絶えず水に浸っているような土地である。	
低地の微高地	
扇状地	山麓部にある主として砂礫質の物質からなる扇状の堆積面で、傾斜はほぼ3°～15°未満である。谷底平野にあるものでも似た形状であったが扇状地的であるものは扇状地に区分してある。
緩扇状地	山麓部や扇状地の縁辺部にあり、傾斜は3°以下と比較的ゆるやかな堆積面で砂やシルト質によって構成されている。扇状地を開析した河川によって新しく形成される場合もあり、下流部は自然堤防などに遷移する。
自然堤防	洪水時に河川によって運ばれた砂やシルトが一般より0.5m～1m以上高いのが普通である。流路沿いや周辺に堆積した微高地である。扇状地や緩扇状地より下流部が発達している。洪水にたいして比較的安全である。この多量の土砂が、平野であるが、その末端部で堤防を形成した河川の規模に比べて、とくに三角州や河口部で、長く帯状の土砂の堆積物（洪水堆積物）も、自然堤防にたどり着き、古い集落が発達している。
砂（礫）堆・砂（礫）州	旧海岸線に沿って波浪によりできた砂礫質の微高地で、一般面より0.5m以上数メートル程度高いのが普通である。日本の沖積平野にはは、過去の海進時に形成された砂（礫）堆・砂（礫）州が、低地内部にとりこまれている例が多くみられる。洪水にたいして比較的安全であり、高潮や津波にたいしては、古い集落が発達していることが多い。
凹地・浅い谷	
台地・丘陵、低地の微高地などの表面に、細流や地下水の働きによってできた凹地や浅い谷で、地表より0.5mから数メートル程度までのものが表示されている。	
台地・段丘	
一般に低地よりも形成時期が古く主として洪積世の堆積物からなる。低地とは崖あるいは斜面で境され、海拔高が大きく、地盤のよいのが普通である。	
斜面	
山地・丘陵地または台地縁など起伏の大きな地域で、人工改変度が小さい斜面を水平断面形（等高線の形）と傾斜（等高線の間隔）との組合せによって分類している。	
山麓堆積地形	
麓斜面	主として匍行、雨洗により斜面の下方に生じた岩屑、風化土などの緩やかな堆積面で表面傾斜はほぼ15°以下である。
崖壁	主として雨洗、崩落により斜面の下方に生じた岩屑の相対的に急な堆積面で、表面傾斜はほぼ15°以上である。
土石流堆	集中豪雨などに伴って発生した山崩れによる土砂が、斜面、とくに谷型斜面にそって流下してできた堆積面である。

表 2.3 選択された土地条件図の微地形区分

土地条件図の微地形区分	コード	面積 (km ²)
旧河道	12	1.33
河川、水涯線および水面	4	(159.42)
旧水面上の盛土地+埋土地	6	38.03
旧水面上の高い盛土地	10	24.28
干拓地	3	2.15
頻水地形 (高水敷+低水敷・浜+湿地+落堀+潮汐平野)	5	19.63
凹地・浅い谷	14	4.88
谷底平野	7	0.40
氾濫平野	2	5.18
三角州	9	16.86
自然堤防	8	35.82
砂（礫）堆・砂（礫）州	13	7.92
盛土地	11	152.40
高い盛土地	15	0.90
台地・段丘+平坦化地+台地斜面	16	93.75
麓斜面	17	0.25
緩扇状地	18	0.41
海岸平野	19	0.02
凹陷地	20	0.18
対象地域外	1	—

注) 河川、水涯線および水面には海がふくまれるため、この区分の面積には地形的な意味はない。

地では被害はいちじるしく減少することが過去の記録から知られている^{2.11)}。

昭和45年版の土地条件図の性格としては、このほか

- ① 地形分類は基本的には明治時代の地形図をもとに作成されているが、東京東北部のうちの北の部分は米軍の情報を使用している。
- ② 自然堤防は明治時代の地図では畑として利用されていた。また、自然堤防に1m以上の盛土があれば盛土地に分類されている。
- ③ 河成堆積物だけを分類しており、埋土の種類は区分していない。

などがある^{2.7)}。

昭和45年版の土地条件図では地形は57分類に区分されている。内訳は低地の一般面が6分類、低地の微高地が6分類、凹地・浅い谷が1分類、頻水地形が6分類、水部が1分類、人工地形が12分類、山麓堆積地形が3分類、台地・段丘が5分類、斜面が9分類、変形地が7分類、主要分水界が1分類となっている。

磁気データ化にあたっては、低地での地震被害と関係があると考えられる地形区分を中心に、19分類にまとめた。選択された微地形区分とその面積、入力コードを表2.3に示す(地図の入力コードについては第3章で述べる)。統合した地形分類の大部分は斜面の形や角度、台地・段丘面の高さなどによって区分されているものである(表2.3中の+は統合した地形分類を示している)。また、変形地や農業用平坦化地、後背低地などのように、対象地域内に存在しない19の地形分類も除外した。

(3) 土地分類図

このデータベースが対象としている地域のうち、38%の面積は土地条件図では「盛土地」や「旧水面上の盛土地」などの人工改変地となっている。このような地域では盛土される前の自然地形は三角州や氾濫平野、谷底平野(河谷低)などであり、もとの自然地形が地震時の地盤被害にも影響をあたえることが考えられる。特に、中小河川が形成する谷底平野(河谷低)では、平野への出口付近など過去に沼沢地であった場所には腐植土の堆積した地域があり、おなじ盛土地でも低地の一般面にくらべて地盤被害が大きくなることが予想される。

「土地分類図」は人工的な改変が加えられる以前の自然地形を表示する目的で、

表 2.4 土地分類図の区分と特徴

(東京都土木技術研究所：東京都地盤地質図(23区内)^{2.6)}、1969による)

土地分類の区分	特 徴	コード
台 地	山の手の高台を形成している地形。表層地質は黒色腐植土(黒土)から成り、その下位にローム層が分布している。	6
台地斜面	台地の周囲や河谷壁を形成している傾斜地。表層地質としては緩斜面では黒色腐植土(黒土)、急斜面ではロームが分布する。盛土や切り土など人工改変を多くうけている。	5
河 谷 底	台地をきざむ河谷の谷底にある平坦面。表層地質は泥炭や腐植土、粘土から成り、盛土されていることが多い。	4
氾濫平野	現在の河流の沖積作用がおよぶ地域で、おもに都内北部の荒川と南部の多摩川流域に分布する低地面。表層地質は主として粘土から成る。入力図では低地の微高地である自然堤防と現河川、過去の河川流路跡である旧河道、盛土地なども含んでいる。	2 3
三角州 海岸平野	低地の一般面。三角州は河川河口部の堆積地形地域であり、海岸平野は浅海底の堆積面が隆起してできた地域である。表層地質は主として軟らかい粘土から成り、一部に砂や砂礫が分布している。入力図では自然堤防と河川、砂礫州のほか、盛土地や埋立地、海などを含んでいる。	1
対象地域外		7

地形分類図^{2.0)}をもとに洪水地形分類図^{2.2)}、土地条件図^{2.3)}を参考にして作成した。入力した土地分類図の区分と地形の特徴を表 2.4 に示す。

人工改変以前の自然地形を厳密に復元することはもともと不可能であることから、盛土に分類されている地域での氾濫平野と三角州・海岸平野の境界は、既存の地形分類図から推定した。また、土地条件図では自然堤防に1m以上の盛土があれば盛土地に分類されているが、微高地である自然堤防上に盛土した地域はあまり広がらないと考えられることから、自然堤防や砂礫州などの分類も無視した。この分類図は、低地についてはあくまで一応の目安をあたえるものであり、土地条件図を補完する地形図として作成している。台地と台地斜面、河谷低の分類は地図の等高線をもとに区分されており、低地での分類よりも精度は高い。

2.2.3 旧版地形図による過去の地形

(1) 旧版地形図の収集

東京の低地とその周辺を対象として作成された旧版地形図としては、表 2.5 に示す種類のもものが発行されている。最初の地形図は縮尺1:20,000の「第一軍管地方迅速測図」^{2.0)}であり、明治13~14年(1880~1881)に参謀本部陸軍部測量局によって測図されている。明治16~17年(1883~1884)には縮尺1:5,000という大縮尺の地形図^{2.9, 2.10)}が、測量局によって皇居を中心とした東西約7.5km、南北約7kmの範囲について作成されている。縮尺1:5,000の地形図^{2.11)}は明治20年(1887)にも内務省地理局によって測図されている。この地図の対象範囲は測量局の地図より約2.3倍広く、現在の千代田区と中央区、港区の全部と、文京区、台東区、江東区、品川区、新宿区の大部分がその範囲にはいつている。当時は近代的な精密測量の基礎となる三角点や水準点の整備ははじめられたばかりであり、正規の三角点に準拠した地形図を作成することができなかった。このため、これら3つの地図は作業地域ごとの簡易な図根点測量にもとづいて作図されており^{2.12)}、座標の絶対的な位置はあたえられていない。

座標の緯度・経度が測量されている最初の地図は明治36~42年(1903~1909)

表 2.5 旧版地形図の種類と測図(修正)年次

測図(修正)年次	縮尺	基準点	測量機関	備考
明治13年~14年 (1880~1881)	1:20,000	各地域ごとの図根点	参謀本部陸軍部測量局	「第一軍管地方迅速測図」関東一円の地域が測図されている。図郭の緯経度は記入されていない。
明治16年~17年 (1883~1884)	1:5,000	各地域ごとの図根点	参謀本部陸軍部測量局	「五千分一東京図」皇居を中心に東西約7.5km、南北約7kmの区域が測図されている。図郭の緯経度は記入されていない。
明治36年~42年 (1903~1909)	1:20,000	正規の三角点	陸地測量部	「正式二万分の一地形図」地図に記入されている経度は現在の値とは10秒4ずれている。
明治42年(1909)	1:10,000	正規の三角点	陸地測量部	東京の中心部が測図されており周辺部は欠けている。地図に記入されている経度は現在の値とは10秒4ずれている。
明治45年(1912)頃 (編集)	1:50,000	正規の三角点	陸地測量部	2万分の1測図を縮図して編集した地図。図郭の経度には、現在の地図とのずれ(10秒4)が書き加えられている。
大正5年~6年 (1916~1917)	1:25,000	正規の三角点	陸地測量部	東京は大正5年、東京周辺は大正6年に測図された。図郭の経度には、現在の地図とのずれが書き加えられている。
大正14年(1925) (修正)	1:10,000	正規の三角点	陸地測量部	地図の範囲は明治42年の1万分の1地形図と同じである。図郭の経度は書き加えられている。
昭和12年(1937)	1:10,000	正規の三角点	内務省	東京の区部全域が測図されている。軍事的に重要な施設ではカムフラージュがみられる。一部空中写真も併用している。図郭の経度は書き加えられている。

に測図されたものであり、「正式二万分の一地形図」^{2.13)}とよばれている。大縮尺の地図としては、1:10,000の地形図^{2.14)}が明治42年(1909)と大正14年(1917)、昭和12年(1937)に作成されている。現在発行されている地形図と同縮尺の1:50,000地形図^{2.15)}は、明治45年(1912)頃に1:20,000測図を編集して作成されている^{2.12)}。また、1:25,000地形図^{2.16)}は大正5~6年(1916~1917)に測図されている。1:50,000と1:25,000地形図はその後、修正あるいは補測された地図が数年おきに発行されている。

旧版地形図を利用するときには注意しなければならない項目として、地図の四隅に表記されている経度のずれがある。これは日本経緯度原点である旧東京天文台の経度を大正7年(1918)に改正した^{2.12)}ためであり、現在の地形図にくらべて東方へ10秒4(1:25,000地形図上では約1cm)のずれとなって表われている。地図の図郭は昭和初期まで改正されなかったため、旧版地形図の四隅には、現在の地形図の経度に10秒4を加えた数値が表記されている。経度の改正以前の地形図でも大部分は複製した段階で経度が修正されているが、地図によっては修正されていないものもある。いずれの旧版地形図も、現在の地形図と重ね合わせるときには図郭を移動させなければならない。

(2) 旧版地形図による過去の土地利用

都市化がすすむ以前の土地利用の形態は、表層の土質とも関係のあることが知られている。過去に水田であったところは泥質な地盤であるのにたいして、古くから畑地や宅地となっている場所は砂質な地盤であることが多い。また、乾田として利用されていたところは、泥質と砂質な地盤が混在している地域であると考えられている^{2.17)}。過去の土地利用を知る目的で、地形図としてはもっとも古い明治13~14年(1880~1881)測図の1:20,000第一軍管地方迅速測図から、水田と田、湿地の領域を「湿地・水田分布図」として入力した。

湿地・水田分布図の区分と入力コード、各区分の面積を表2.6に示す。旧版地形図の図式^{2.18)}によれば、「水田」は四季を通じて水のある田で蓮田、葦田をふくむみ、「田」は冬季には水が涸れて歩ける田、「深田」は泥が深くひざまでぬかる田となっている。現在の図式では田は細分化されていないが、昭和30年

(1955)図式^{2.19)}では田は「水田」と「乾田」、「沼田」に分類されていることから、区別しやすいように迅速測図の「田」は「乾田」として区分した。なお、迅速測図には「深田」あるいは「沼田」の分類はない。また、水田と田の区分にはかならずしも厳密でない地域もみられ、「川口町」と「松戸駅」、「二子村」と「登戸村」の地図の境界で区分が異なっている部分がある。

迅速測図は作業地域ごとの簡易な図根点測量によって作成されており、細部の相対的な位置は正確であるが経緯度による絶対的な位置は測量されていない。中小河川や池など小さな面積の地形は位置のずれが問題となるので、水面は分類項目からはずした。土地利用のうち畑と集落も分類していないが、低地については土地条件図の自然堤防の位置からかなり推定できると考えた。水面や畑、集落、都市化した地域は「その他の地域」に区分されている。

表 2.6 旧版地形図による湿地・水田分布図の区分

土地利用の区分	コード	面積 (km ²)
水田	6	77.95
乾田	8	55.43
湿地	7	14.5
その他の地域(都市化した地域と畑、水面をふくむ)	1	(428.98)
対象地域外	0	-

注) その他の地域には海がふくまれているため、この区分の面積には地形的な意味はない。

湿地・水田分布図の磁気データ化にあたって、迅速測図には経緯度表記のないことが障害となった。このため、迅速測図上に表 2・6の区分にしたがって色わけしたのち、迅速測図と同縮尺で経緯度が測量されている正式二万分の一地形図に地図上の目標物を参考にして目視で複写し、入力原因とした。湿地・水田分布図はこのデータベースの対象域をすべてカバーしている。

(3) 旧版地形図による水系の変化

小川や池といった小さな水面までふくめて湿地や海が時代の変遷によってどのように変化したかを知るには、できるだけ大縮尺で経緯度が測量されている地形図を利用することが望ましい。このため、明治42年(1909)と大正14年(1917)、昭和12年(1937)に作成された1:10,000の地形図から、水系に関連する地形を選んで入力した。

図 2・1にみられるように、昭和12年(1937)の地形図はこのデータベースの対象地域をすべてカバーしているが、明治42年(1909)と大正14年(1917)の地図は荒川以西の都心部だけが測図されている。

水系に関連する地形としては、水域と湿地、砂州、海を選び、これ以外の地形分類は「水系外の地域」として一括した(表 2・7参照)。水域と海は地形図では区分されていないため、河口または運河の出口を境界とした。昭和12年(1937)の地形図は軍事保護法にもとづく改描図であり、浄水場や軍事基地などの重要施設は適当な「絵」に描きかえられている(2・20)。大正期の地図とくらべて明らかに改描されていると考えられる場所については、水系外の地域に区分した。

水域の面積は大正期のほうが明治期よりも広がっているが、増加した面積の大部分は荒川放水路の建設によるものである。水系図の入力を企画した当初は、小川や池は時代がさがるにしたがって埋立てられ、数がへっていくものと考えていたが、実際には大正期や昭和初期に池の数が増加した地域も多くみられる。これらの池や小河川、用水はその後埋められており、現在の地形図では公園などをのぞき、ほとんどみつげることができない。明治後期から昭和初期にいたる間の水系の変遷については、6・5・2で概説する。



図 2・1 明治42年(1909)と大正14(1925), 昭和12年(1937)の1万分の1地形図の領域

「この地図は国土地理院発行の20万分の1地勢図(東京)を使用したものである。」

表 2.7 旧版地形図による水系図の区分

(1) 明治42(1909)年の水系図

水系の区分	コード	面積 (km ²)
水域	4	15.70
湿地	7	2.68
砂州	8	2.96
海	5	40.39
水系外の地域	1	350.88
対象地域外	0	-

(2) 大正14(1925)年の水系図

水系の区分	コード	面積 (km ²)
水域	4	16.96
湿地	7	2.42
砂州	8	1.79
海	5	39.52
水系外の地域	1	351.91
対象地域外	0	-

(3) 昭和12(1937)年の水系図

水系の区分	コード	面積 (km ²)
水域	4	33.18
湿地	7	7.01
砂州	8	4.03
海	5	46.36
水系外の地域	1	473.24
対象地域外	0	-

2.2.4 江戸時代の地図による過去の地形

(1) 江戸時代の地図と地形の変遷

東京では近代的な測量が実施された明治13~14年(1880~1881)以前に、すでに大規模な人工改変がおこなわれていた。江戸の都市発達史と各時代の地図については、内藤 晶(1966)の「江戸と江戸城」にくわしく述べられている^{2・21)}。

これによると、徳川家康が入国した天正18年(1590)当時の江戸の海岸線は現在の田町・日比谷・霞ヶ関・新橋の位置にあり、日比谷入江が城下ふかく入りこんでいた。このころのおおまかな地形を知る手がかりとしては、江戸図としては最古(1460年頃)の「長祿年間江戸図」がある。この地図によれば低地には大きな池や沼沢地がひろがっており、現在の溜池や不忍池などは当時の大池のなごりとして残されたものである。

江戸幕府によって江戸は急速に近世城下町としての発展をみせた。道三堀や小名木川の開削がおこなわれ、元和6年(1620)には神田台の掘削などによって外堀が完成するとともに、この土によって日比谷入江が埋立てられた。このころの地形は寛永9年(1632)の「武州豊島郡江戸庄図」にみることができる。

江戸時代の実測による最初の地図は寛文10年(1670)に公刊された「江戸大絵図」である。この地図はオランダから伝えられた「町見(ちょうけん)術」とよばれる平板測量によって1:3,250の縮尺で測図されており、この時代までの埋立による海岸線の変化を読取ることができる。また、江戸末期までの埋立地は「嘉永2(1849)~慶応元年(1865)尾張屋板・近吾堂板江戸切絵図」から知ることができる。

(2) 江戸期の水系図

江戸時代の地図を現在の地形図にちかいかたちに復元した地図として、正井泰夫(1980)の「江戸の地形と水系(1460年頃;確認ずみのみ)と海岸線^{2・22)}」がある(図 2.2参照)。この地図は「嘉永慶応・江戸切絵図」を第一軍管地方迅速測図に移しかえた復元図を基図としており^{2・23)}、現在の地形図にも複写しや

そのまま補間した地下水位などの情報の信頼性は、やや低くなると考えられる。また、ボーリング資料の少ない地域では、すべての情報について信頼性は低くなる。

2.3.2 対象地域の地盤構成

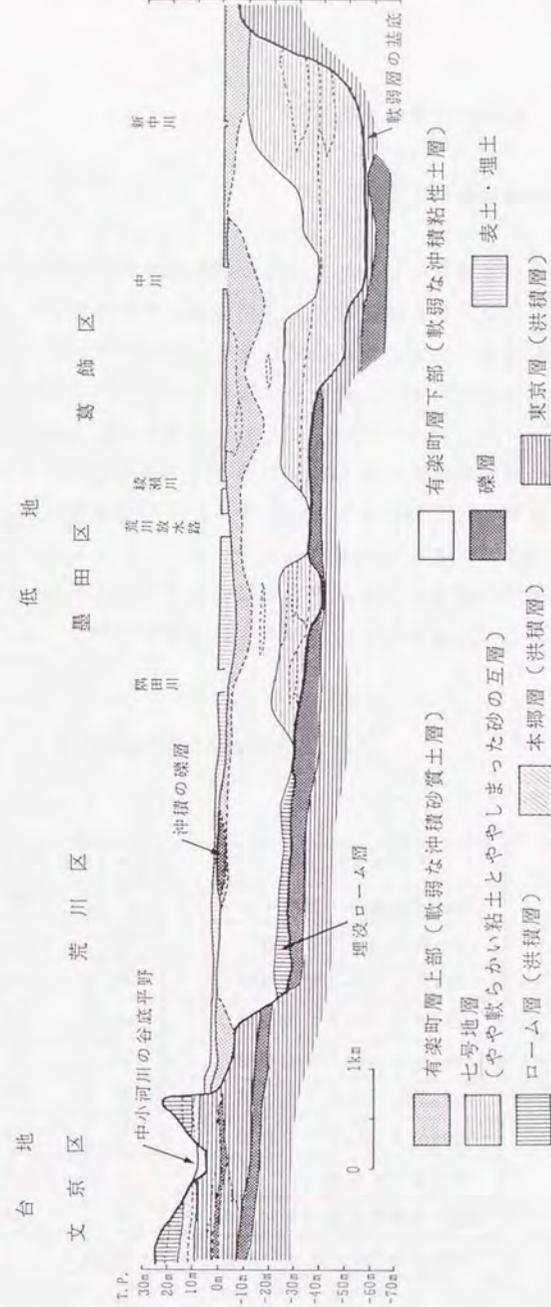
東京区部のおおまかな地盤は、図 2.4 の模式図にみられるような地層から構成されている^{2.0, 2.26}。表土の下には有楽町層とよばれる沖積層が下町低地と多摩川河口付近に分布している。有楽町層の層厚は地域によって10m~40mと変化し、主に砂質土からなる上部と、粘性土から構成される下部に2分される。有楽町層上部の層厚は5m~10m、N値は5~10と砂層としては強度が低いことから、地震時には液状化が発生しやすい地層である。この地層中には、ところによって礫層が分布している。有楽町層下部はN値0~2のやわらかい粘土・シルトから構成されている。

有楽町層の下位には、砂と粘土の互層または砂質粘土からなる七号地層が堆積している。この地層は時代区分からは洪積層（更新統）に属するが、N値は砂層では10~30、粘土では5~10と、沖積層にちかい強度を示す。

有楽町層あるいは七号地層の下位には埋没段丘礫層や東京層が、さらにその下位には東京礫層が分布している。これらの洪積層は締った砂や硬い粘土（東京層のN値は砂層では30~50、粘土層では10~20）、砂礫から構成されている。埋没段丘礫層の上位には層厚2~3mの埋没ローム層が堆積している。この層も洪積層に属するが、N値は4~6とよわく粘土分含有量が多い。

山の手台地の地盤は立川ローム層や武蔵野ローム層、立川礫層などの洪積層からなっており、軟弱な粘土や腐植土が堆積する河谷底をのぞくと、地震にたいしてもかなり強い地盤である。

低地に分布する地層のうち七号地層と埋没ローム層はかなり軟弱であることから、沖積層の基底深度としては厳密な地質学的区分で沖積層と洪積層をわけると、七号地層と埋没ローム層を沖積層に編入して、下位の洪積層と区別するほうが合理的であると判断した。また、液状化しやすい砂層の厚さとしては、有楽町層上部を対象とした。



注) 断面図の位置は図 2.5 に記入されている。

図 2.4 東京区部の低地と台地の代表的な地質構造
(東京都土木技術研究所：東京都地盤地質図(23区内)^{2.0}, 1969による)

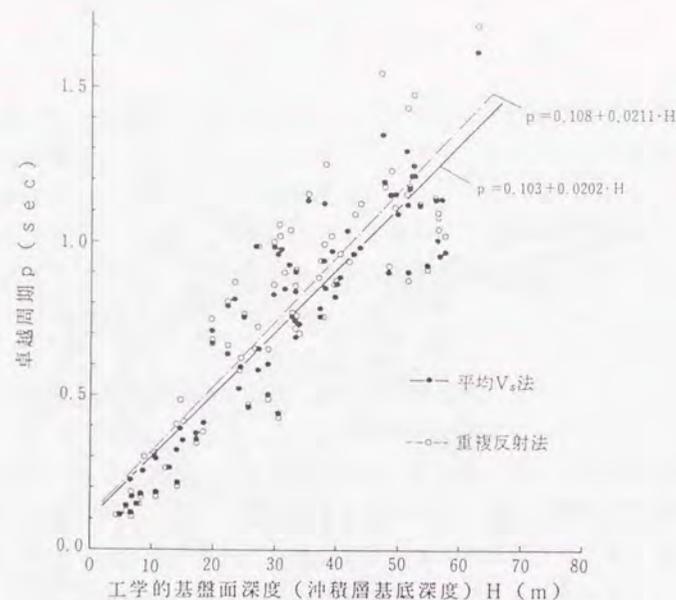


図 2.7 沖積層の基底深度 (H) と地盤の卓越周期 (p) との関係

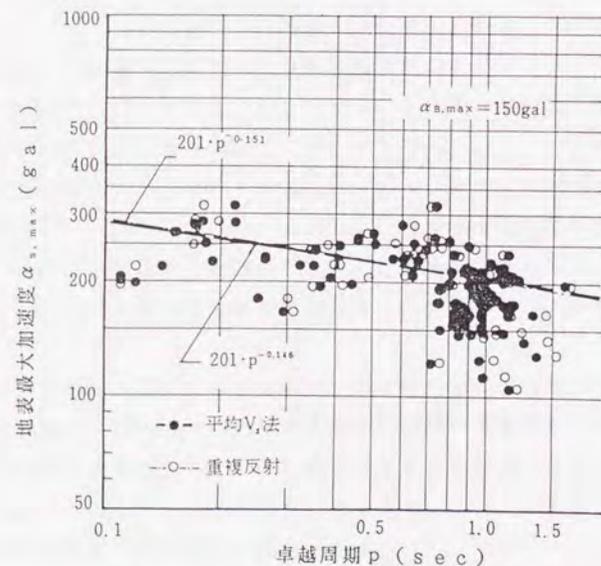


図 2.8 地盤の卓越周期 (p) と地表最大加速度 ($\alpha_{s,max}$) との関係

(3) 沖積層基底等深線図と地表最大加速度の推定

地盤の卓越周期の推定と同様の仮定にもとづき、78地点のボーリング資料について SHAKE^{2.30)}による非線形応答解析をおこない、地表最大加速度を推定した。剛性率と減衰比のひずみ依存性の曲線は、都内で採取された131個の非排水中空ねじり試験結果をもとに作成された44の平均曲線から、解析条件にちかいものを選んだ。入力地震波形としては、運輸省によって青森県八戸港で観測された十勝沖地震(1968)の記録^{2.31)}(八戸N-S)を、基盤面への入射波に変換したデータ^{2.32)}を採用した。入射最大加速度は開放基盤で100galと150gal、200galの3種類であり、基盤のS波速度は450m/sec、単位体積重量は2.10tf/m³とした。

図2.8に入射最大加速度を150galとしたときの地表最大加速度と地盤の卓越周期の関係を示す。データにはかなりのばらつきがあるものの、地表最大加速度と卓越周期とは両対数軸上で1次の回帰式によって近似できると仮定した。同様の回帰式を入射最大加速度が100galと200galの場合についても計算し、図2.7の地盤の卓越周期と工学的基盤面までの深度との回帰式と組合せて地表最大加速度を計算した。

表2.10に沖積層基底等深線図の各深度区分について推定された地表最大加速度を示す。深度区分のうち台地をふくむ0m以上の領域は地盤が低地から台地に変化する部分であり、この方法では推定できないことから、0mから-10mまでの地域での推定値とおなじ値を設定した。また、海など深度区分がない地域については、平均的な深度区分である-20mから-30mまでの地域での値とした。この推定では3種類の入力加速度レベルすべてについて、沖積層の層厚が厚くなるにしたがって地表最大加速度は低下するという結果が得られた。

沖積層基底等深線図は低地部だけを対象としており、台地と台地を刻む谷の河谷底は一括して「台地」に区分されている。河谷底には腐植土などの軟弱な沖積層がうすく堆積しており、ここでの地表最大加速度はかなり高くなることが予想される。河谷底の分布域は土地分類図にその区分があることから、河谷底での地表最大加速度を設定するときには土地分類図が利用できる。この場合、地表最大加速度の数値自体は、応答計算などから新たに推定する必要がある。

表 2-10 沖積層基底等深線図の区分と地表最大加速度

深度の区分 (計算上の深度)	地表面最大加速度		
	100gal入力*	150gal入力*	200gal入力*
0m以上の地域(台地をふくむ)	183gal	253gal	317gal
0mから-10mまでの地域 (-5m)	183gal	253gal	317gal
-10mから-20mまでの地域 (-15m)	167gal	229gal	285gal
-20mから-30mまでの地域 (-25m)	159gal	216gal	267gal
-30mから-40mまでの地域 (-35m)	153gal	207gal	256gal
-40mから-50mまでの地域 (-45m)	149gal	201gal	247gal
-50mから-60mまでの地域 (-55m)	145gal	195gal	240gal
-60m位深の地域 (-65m)	142gal	191gal	234gal
海など深度区分がない地域 (-25m)	159gal	216gal	267gal

*) 入射波の最大加速度は開放基盤での値であり、入射波自体の最大加速度はこの値の半分となる。

2.3.4 液状化の可能性がある砂層の層厚と地下水位

(1) 砂層分布図

液状化の可能性がある砂層としては有楽町層上部を対象とし、有楽町層上部層厚分布図^{2.3.3)}を「砂層分布図」として入力した。有楽町層上部の層中にはシルト層などがはさまれている場合があり、上部層の層厚がすべて砂層から構成されているわけではないが、軟弱な砂層の層厚が地質学的な連続性をもって表現されていることから、この地質図を選んだ。有楽町層上部の出現深度は、この層の上位に堆積する人工的な表土層の層厚とほぼ等しく、都心部では地表から-2.5m程度なのにたいして周辺部では浅くなり、約-1.5mから-0.5mとなっている。入力のための原図は手書きのものであり、縮尺は1:25,000である。

砂層分布図の層厚区分とその面積、入力コードを表2-11に示す。層厚の区分のうち、「その他の地域」は有楽町層上部が堆積していない台地と海がその大部分をしめるが、一部に新しい埋立地もふくまれている。台地には人工的な盛土以外に、軟弱な砂質層は分布していない。

有楽町層上部の層厚が8m以上と厚く堆積している地域は、図2-9にみられるように台東区と荒川区南部、墨田区、葛飾区にまたがる地域と江東区から江戸川区南部の地域、大田区南部の多摩川ぞいの地域などに分布している。有楽町層上部が8m以上堆積する地域の面積は63.7km³であり、東京低地の面積の約2割は液状化の可能性がある砂層が厚く堆積した地域にある。

表 2-11 砂層分布図の区分

層厚の区分	コード	面積(km ²)
0mから4mまでの地域	1 1	48.58
4mから6mまでの地域	1 2	92.21
6mから8mまでの地域	1 3	93.30
8mから10mまでの地域	1 4	56.00
10m以上堆積している地域	1 5	7.66
その他の地域(台地, 海をふくむ)	1	(266.07)
対象地域外	0	-

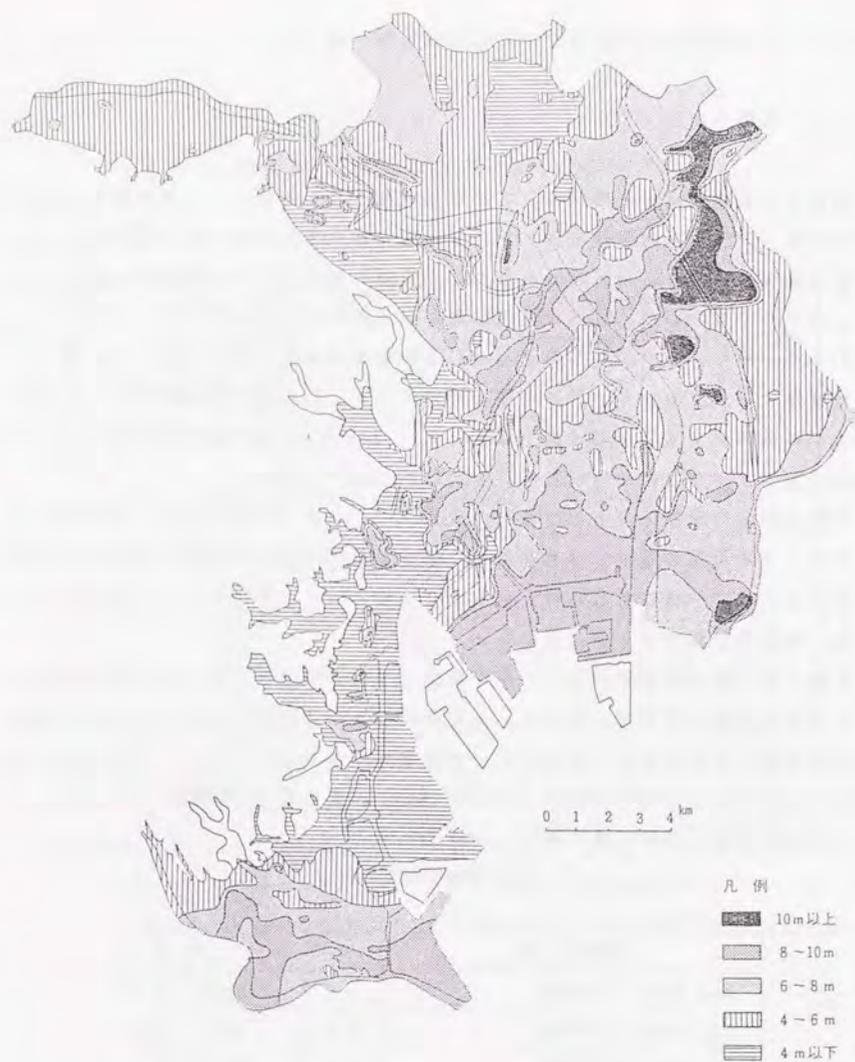


図 2.9 有楽町層上部層厚分布図 (砂層分布図) ^{2.33)}

(2) 地下水位分布図

地下水位は液状化をはじめとして地震時の地盤災害に大きな影響をあたえる。しかし、東京では盛土や多くの地下構造物が建設された結果、地下水の水文域が大きく変化したため、地下水位の分布はきわめて複雑になっている^{2.33)}。

地下水位の情報としては、収集した1万本以上のボーリング資料の孔内水位をもとに作成された地下水面図^{2.33)}を「地下水位分布図」として入力した。この地下水面図の作成では、磁気データ化したボーリング資料から、調査地点での地下水位を計算機によって出力した図を作業原図としている。地質図作成のための基礎データ出力の方法については、4.3.2で述べる。

入力のための原図は手書きのものであり、縮尺は1:25,000である。地下水位分布図の深度区分は「水面(海と大きな河川)」と「0m以上1.0m未満の地域」、「1.0m以上2.0m未満の地域」、「2.0m以上3.0m未満の地域」、「3.0m以上4.0m未満の地域」、「4.0m以上の地域」、「その他の地域(台地をふくむ)」の7区分である。

低地の地下水位は図 2.10 にみられるように都心部では深く、周辺では浅くなるような分布となっている。この地下水位の分布は、あとで述べる盛土の層厚の分布と、ほぼ同様の傾向を示している。荒川の東側には孔内水位が0mから1m未満の地域が広がっている。

地下水位の分布は時代によってかなり変化している地域もみられる。東京及横浜地質調査報告書^{2.24)}には関東地震後の地下水位が「土壌水滲出面図」としてのせられている。この図によると、当時の下谷区や浅草区、隅田川の東側などに、地下水位が地上から0mから1mの地域が分布しているが、現在の水位はこれよりかなり深くなっている。これにたいして、当時から地下水位の低かった都心部では、現在も同様の傾向がみられている。

地下水位は降雨の影響を強くうけるため、季節によっても変化する。低地の8か所で約1年半の間観測した結果によれば、水位の変動幅は0.4mから1.6mとなっている^{2.33)}。地下水位分布図に示されている地下水位は平均的な値であることから、液状化などの計算では表示されているランクよりやや高めに水位を設定する必要がある。

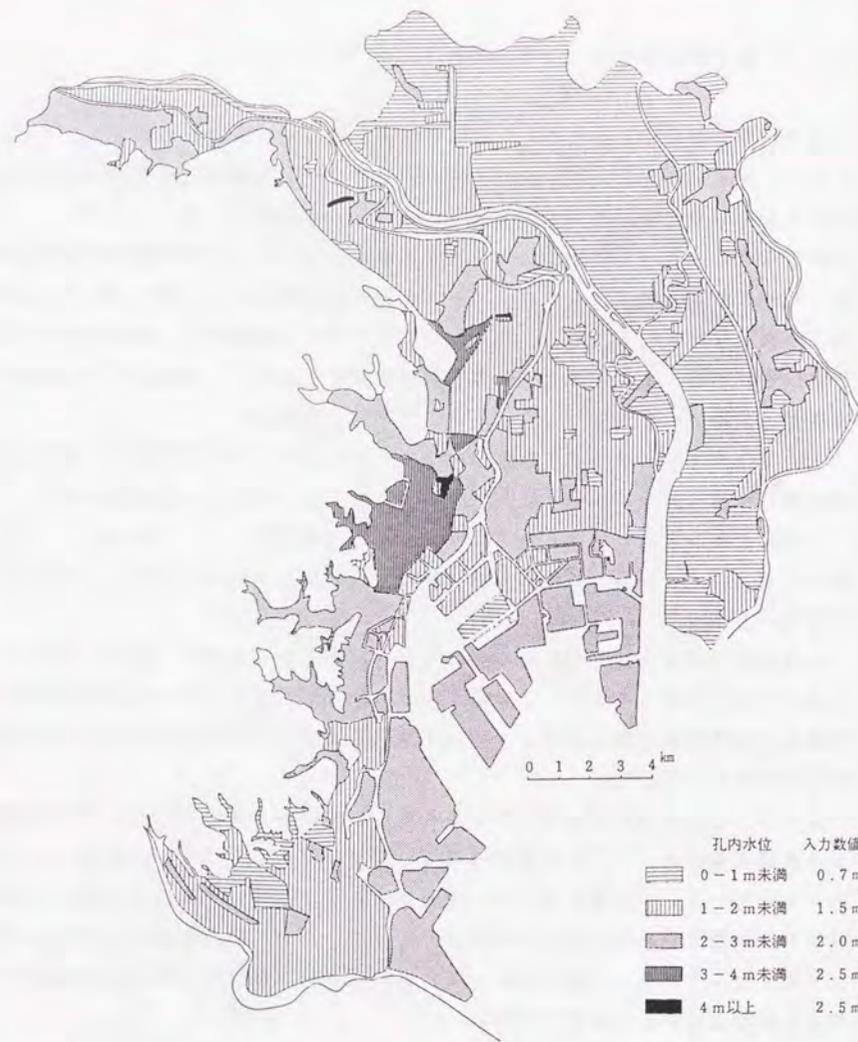


図 2.10 入力地下水面図^{2.33)}

2.3.5 沖積層の礫層と表層の土質

(1) 礫層分布図

東京の低地部の地表ちかくには、礫層が局部的に分布している地域がある。この沖積層の礫層は上面の深度から2層に区分することができ、ひとつは上面が地表面下0mから5mにあり、他のひとつは上面が5m位深に分布する^{2.34)}。いずれの礫層も層厚が1mから5mと薄いため構造物の基礎とすることはできないが、地表面ちかくにある礫層は地震時の地盤災害、特に液状化の抑制要因にはなると考えられる。

礫層が地表面下5m以内に堆積する地域について、収集したボーリング資料をもとに作成された分布図^{2.33)}を「礫層分布図」として入力した。この分布図の作成にあたっては地下水面図の場合と同様に、計算機によって出力した作業原図を使用した。入力原図は手書きの図であり、縮尺は1:25,000である。礫層分布図の区分は「地表面下5m以内に礫層が分布する地域」と「その他の地域」であり、「その他の地域」には礫層が分布しない地域と台地、海がふくまれている。

礫層の分布する地域は図 2.11 にみられるように、大部分が台地の周辺部であり、その一部は土地条件図の「砂(礫)州・砂(礫)堆」の分布域と重なっている。

(2) 表層分布図

東京の低地は江戸時代の土地改変や関東地震の復興事業としての盛土^{*)}など、いく世代にわたって人工的な改良が加えられてきている。このため、層厚にちが

*) 震災復興事業による盛土は、当時の本所区と深川区について実施されている。一般の宅地は標高8尺(2.4m)、幹線街路などの沿線の宅地では標高10尺(3m)となるまで盛土された。使用された土砂は市と復興局の工事にともなう残土であった^{2.35)}。



図 2.11 沖積層中に礫層が分布する地域 (2.33)

いはあるものの、基本的には低地全域が農耕土あるいは盛土などの人工的な表土におおわれていると考えられる。表土の平均的な層厚は、都心部と埋立地の一部では2.5m程度ともっとも厚く、周辺部にむかうにしたがい0.5m程度とうすくなる分布を示している (2.33)。

表土はその土質によって、地盤の液状化にたいして2つの相反した働きをする。表土が粘性土やロームなど液状化しない土によって構成されていれば、表土の存在は地盤の液状化を抑制すると考えられる。反対に砂質土からなる表土では、地下水位によっては表土自体も液状化して地盤全体の液状化を促進する可能性がある。

表土の土質は液状化に大きな影響をあたえるが、その土質は粘性土や砂質土、瓦礫などの人工物と多岐にわたっている。表土の分布を、素材の土質だけでなく層厚までふくめて領域としてとらえることが困難であったため、土質だけをボーリング地点を中心とした約100mの円で表現し、「表層分布図」として入力した。入力にあたっては計算機上で磁気データ化されたボーリング資料を検索・分類し、地図ファイル上に土質区分に対応する円を直接書込む方法をとっている。このため、表層分布図の入力原図は作成していない。

表層分布図の区分は「表土または盛土の素材がすべて砂質土」と「表土または盛土の素材の一部が砂質土」、「その他の地域」の3区分である。「その他の地域」には表土や盛土の素材が粘性土である地域と台地、海がふくまれる。また、表土と盛土の層厚については、特に入力していない。

2.4 過去の地震被害の情報

2.4.1 過去の地震被害から得られる情報

過去に東京に被害をあたえた地震のうち、被害記録が比較的よくのこされている地震としては安政の江戸地震(1855)と東京地震(1894)、関東地震(1923)がある。安政地震については被害をしるした古文書が佐山 守によって綿密に調べられており、安政江戸地震災害誌 (2.30)としてまとめられている。東京地震に

ついでに被害報告書としては地震其他地異彙報^{2.37)}があり、このなかには液状化によると思われる地盤被害の記載もいくつかみられる。関東地震については、その被害がきわめて大きかったこと、および日本の地震学がこの当時すでに高い水準に達していたことから、震災予防調査会^{2.38)}や土木学会^{2.39)}、地質調査所^{2.40)}などの調査報告をはじめとして、多くの被害調査結果が報告されている。

これらの文献を収集して検討した結果、被害が対象地域全域にわたって資料も数多くあることと、被害のあった場所を現在の位置として確定しやすいことから、過去の地震被害の情報としては関東地震を対象にした。入力する被害の項目としては木造家屋の被害と液状化などの地盤災害の2つを選んだ。木造家屋はその耐震構造が現在と当時とはかなり異なっているものの、被害データの数が多いため地域的な分布としてとらえることができる。また、家屋被害は地盤との関連が強いことも知られている^{2.41)}。

液状化などの地盤被害が過去の地震で実際に発生したという情報は、被害予測をおこなう上でもっとも信頼性が高いと考えられる。このため、地形・地質など他の情報から被害地域を推定するときの指標ともなる情報であるが、この情報自体は定量化するのがむづかしい性質のものである。地形・地質の情報との関連を解析することを考えると、過去に地盤被害が発生した地域の情報とともに、確実に地盤被害がなかった地域という情報が重要になる。また、得られる情報は過去のものであることから、地震後に盛土などの人工改変が加えられている場所では、土地条件図などと組合せて被害発生の可能性を評価する必要がある。

2.4.2 関東地震での家屋被害

(1) 家屋被害についての調査結果の選択

関東地震での家屋被害の調査報告書としては松澤武雄(1925)^{2.42)}による緻密な調査結果がよく知られている。この報告書の木造建物被害表には、被害のあった府県については各府県庁からの報告にもとづく市町村別の被害率が、旧東京市については各警察署の報告をもとにした、町別の全壊と半壊の家屋数のがのせら

れている。旧東京市内については全壊・半壊の家屋数と、被害の程度を3区分した被害分布図が縮尺1:20,000の地図として作成されている。松澤は旧東京市内では地震前の建物数が不明であること、および場所によって建物の様式や新旧に著しい違いがあるとして、この地域の被害率は示していない。

旧東京府と東京市の家屋被害を、実地調査と警察署の報告をもとにまとめたものとしては、このほか北沢五郎(1926)^{2.43)}の報告書がある。この報告書には大正10年(1921)の東京市統計年表の総家屋数にもとづいて算定されされた、旧市内の区別の木造家屋の被害率がのせられている。

関東地震での家屋被害の報告としては、地質調査所^{2.40)}による実地調査の結果も残されている。この報告には家屋の被害だけでなく、地盤の陥没や亀裂、石燈籠などが倒れた向きについても記載があり、被害のようすは地図として表示されている。この地図では家屋被害は「被害程度大ナル地域」と「被害程度稍大ナル地域」とに区分されており、判断基準は定性的であるものの、被害地域の範囲は細かく表現されている。対象となっている家屋の大部分は木造家屋であるが、レンガ造や鉄筋コンクリート造の建物などもふくまれている。

松澤による旧東京市内の全壊・半壊数から町別に被害率を算定したものとしては、殿内啓司ら(1982)の報告^{2.44)}がある。この報告では被害率の算定にあたって、母数である町ごとの建物総数のかわりに、大正9年(1920)の東京市勢統計原表の世帯数を用いている。

松澤や北沢、殿内らの研究は家屋被害が定量的に求められているという点については貴重な調査結果であるが、被害地域の分布を把握するというこのデータベース・システムの目的からは、やや問題がある。松澤と北沢の被害率は単位となっている市町村の面積が大きいため、地形・地質などの自然要因との関連がみつけにくいという点がある。殿内らは被害率を町別という小さな区画ごとに算定しているが、関東地震前の家屋総数として総世帯数を母数として代用しているための誤差が、区画が小さいために被害率に影響している部分もみられる^{*)}。今

*) 殿内らの報告^{2.44)}によれば、世帯数を母数として被害率を求めると、大手町一丁目や銭瓶町一丁目などでは被害率が100%をこえてしまう。

村明恒（1925）²⁰⁴⁰も指摘しているように、当時すでに東京や横浜の市内には集合住宅がかなりあり、この地域での被害率の精度は場所によってはあまり高くない可能性がある。

これらの報告書を検討した結果、被害の区分は定性的であるが被害地域の範囲は細かく表示されていることから、関東地震での家屋被害の情報としては地質調査書の調査結果を選んだ。

（2） 関東地震家屋被害分布図

関東地震での家屋の被害としては、地質調査書の調査報告書第一号²⁰⁴⁰に第一版としてのせられている付図から家屋被害と土地の陥没を選び、「関東地震家屋被害分布図」として入力した。

付図第一版のうち東京についての部分は4枚の地図にわかれており、東京北東部は井原敬之助、東京南東部は木村六郎、東京西部は佐藤戈止、東京府東部は赤木健によって調査された結果である。地図の範囲は図2・12にみられるように、旧東京市内と現在の品川区、大田区、杉並区と世田谷区の一部をおおっている。原図の縮尺は旧東京市については1：30,000、その他の東京府は1：100,000である。

家屋被害の凡例は東京南東部では「倒壊家屋ノ多キ区域」の1分類のみとなっているなど、地図によって表現が多少異なっているが、「被害の程度が大きな地域」と「被害の程度がやや大きな地域」に2区分した。東京府東部の地図には多摩川河口付近に「土地ノ陥没箇所」と表示された地域があることから、この地域を「土地の陥没した地域」として区分に加えた。家屋や土地の被害が図に示されていない地域と海を「その他の地域」として区分し、表2・12に示す4区分を入力対象とした。

地図の入力にあたっては入力図を原図の縮尺にしたがって2種類とし、関東地震当時の1：25,000地形図に目視で複写した。原図の境界は同縮尺の原図については目視で接合し、縮尺のちがう部分については入力後、計算機上で接合した。このため、表2・12の区分は原図の縮尺によって2種類にわかれている。原図のうち東京西部の地図の一部には、他の被害地域とは分布形態が異なる大きな面積



図 2-12 関東地震（1923）での家屋被害分布図の領域

「この地図は国土地理院発行の20万分の1地勢図（東京）を使用したものである。」

表 2-12 関東地震での家屋被害分布図の区分

家屋被害の程度と原図の区分	コード	面積 (km ²)
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)	9	11.39
被害の程度が大きな地域(2)	2	4.06
被害の程度がやや大きな地域(1)	6	5.45
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)	15	3.12
被害の程度がやや大きな地域(2)	14	4.04
土地が陥没した地域	16	4.64
その他の地域 (被害が顕著でなかった地域と海をふくむ)	1, 8 10	(384.71)
対象地域外	0	-

注) その他の地域には海がふくまれているため、この区分の面積には被害分類上の意味はない。

の地域があるため、この地域は「被害の程度が大きな地域(2)」として特に区分した。

この調査結果によると、入力した地図の範囲内で家屋に顕著な被害のあった地域の面積は約18.6 km²、被害がやや大きかった地域の面積は9.5km²となっている。また、液状化に起因するとおもわれる地盤の大規模な陥没は、多摩川河口付近の約4.6km²の地域で観察されている。

2.4.3 関東地震での地盤被害

関東地震での液状化をはじめとした地盤被害の情報としては、関東地震液状化履歴図^{2.46, 2.47})を「関東地震地盤被害分類図」として入力した。この履歴図は震災予防調査会^{2.38})や土木学会^{2.39})、地質調査所^{2.40})などの既往の文献から液状化に起因すると考えられる記述を抽出するとともに、関東地震の体験者約300名に面接調査をおこない、作成されたものである。液状化履歴図によると、関東地震で液状化した地域は江戸川や中川・旧中川・荒川河口、古隅田川(足立と葛飾の区境)、新河岸川下流・隅田川上流、多摩川の河川ぞいの地域と埋立地に、そのほとんどが分布している。

地盤被害分類図の区分としては、液状化の程度を激しい液状化と軽度の液状化に2分するとともに、調査によって得られている情報の確かさで確定とほぼ確定、おおよそ確定できるに3分し、液状化の発生した地域を6区分した。井水のごりや変化、地割れが発生した地域は一括して分類することとし、液状化の場合と同様に情報の確かさに3区分した。液状化や地割れなどが発生しなかったことが確認された地域については、「地盤災害の非発生が確認された地域」として区分した。このほか、判断を保留した地域と未調査地域、台地、海などを「その他の地域」として、表 2-13 に示す合計11の区分に分類した。入力のための原図は手書きのものであり、縮尺は1:25,000である。

この調査結果によると、激しい液状化が発生したとされる地域の面積は確度の3ランクの合計で約14.8 km²、軽度の液状化が発生した地域は約4.3km²となっている。また、地盤災害がなかったことが確認された地域の面積は約20.9km²である。

2.13 関東地震での地盤被害分類図の区分

液状化程度と範囲の区分	コード	面積 (km ²)
激しい液状化が生じた地域		
地点を確定できる	2	0.84
地点は確定できないが地域までは確定できる	3	6.93
地域としておおよそ確定できる	4	7.00
軽度の液状化が生じた地域		
地点を確定できる	5	0.31
地点は確定できないが地域までは確定できる	6	1.55
地域としておおよそ確定できる	7	2.45
井水の変化・地割れした地域		
地点を確定できる	8	0.30
地点は確定できないが地域までは確定できる	9	2.12
地域としておおよそ確定できる	10	1.26
地盤災害の非発生が確認された地域	11	20.91
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)	1	(520.16)
対象地域外	0	—

注) その他の地域には海がふくまれるため, この区分の面積には被害分類上の意味はない。

2.5 ボーリング資料の情報

2.5.1 ボーリング資料から得られる情報

ボーリング資料から得られる情報は2種類に大別される。ひとつはボーリング資料から工学的な判断によって得ることができる地盤の強度指標であり, 簡易解析法から求められる液状化抵抗率 (FL) や液状化指数 (PL) などがこれにあたる。もうひとつは, 多数のボーリング資料から地質学的な判断によって作成される表層地質図であり, すでに述べたように地層を構成する土質やその層厚, 地下水位などについて知ることができる。

広域の被害予測をおこなう場合, 新たに数多くのボーリング調査をおこなうことはほとんど不可能である。このため, いままでに行なわれていた既存のボーリング資料を収集して利用する方法が, 一般にとられる。

液状化抵抗率 (FL) や液状化指数 (PL) などの地盤の強度指標は定量値であたえられることから, 他の地域で過去に発生した地震被害との比較が可能である。欠点としては, 解析にあたって標準貫入試験のN値や平均粒径, 細粒含有率など多くのパラメータを使用することがあげられる。一般のボーリング資料ではこれらのパラメータが欠落しているものも多く, 土質名などをキーにして代表値を代入して補う必要がある。情報の信頼性としては, このほかにボーリング資料の数とその分布が問題となる。対象地域全般にわたって均等に分布するようにボーリング資料を収集することは困難であることから, 資料の少ない地域では情報の信頼性は当然低くなる。また, 1本のボーリング資料が, どの程度の広さまでを代表しているかという点も, 解析値からだけでは判断できない。

2.5.2 ボーリング資料の収集と整理

ボーリング資料は調査された地点での情報を示すものであることから, 平面的な広がりをもつ対象地域内で一定の精度を保つためには, 地層などの変化を的確にとらえるだけの本数と質の高いものでなくてはならない。このため, ボーリング資料の収集にあたっては, できるだけ多くの資料を集めるとともに, 資料の極

端に少ない地域をなくするように努力した。収集する資料の密度としては500m四方の中に最低でも1本のボーリング柱状図があることを目標にした。資料の質を保つために、ボーリング資料は調査機関のわかっているものを中心に収集するとともに、整理の段階で資料をチェックし、調査深度の浅いものや標準貫入試験結果の少ないものを排除した。

ボーリング資料の収集・整理をおこなう上で最も注意しなければならないのが、資料の重複である。資料の重複はボーリング・データを使った統計解析の結果を不正確なものにするだけでなく、地盤の危険度判定でも誤った結論に導く危険性がある。資料が重複していると液状化指数などは近接した2地点でおなじ値をあたえることになり、その点での解析値にはかなりの信頼性があると判断されてしまう。重複して集められたボーリング資料を整理の段階で発見するには、多大の労力を必要とする。資料を数値化したのち、計算機を使用して重複した資料を検出することも考えられるが、コーディングの段階で判断に個人差が入ることなどから、「同一のボーリング柱状図」という認識にはある程度の幅をもたせる必要があり、プログラム作成はむずかしくなる。また、演算時間もかかることから、合理的ではないと判断した。

表 2.14 ボーリング資料の収集区分

収集区分	帰属先	コード	本数
1	下水道局	G	約 6,500本
2	水道局 住宅局 その他	T	約 700本
		T	約 900本
		T	約 1,000本
3	土木技術研究所 建設局 交通局 板橋区	D	約 2,400本
		K, L	約 600本
		L	約 100本
		L	約 100本
合計			約12,300本

このような条件を満たしながら比較的短い時間で資料を収集・整理する方法として、収集する資料をその帰属先（調査機関）によって3つのグループに分け、平行して作業をおこなうことにした。表 2.14 に収集区分と帰属先、収集したボーリング資料の本数を示す。収集区分1は東京都下水道局の資料だけを対象としており、帰属先がこれ以外の資料は排除されている。この資料は本数が6500本と多いことと、下水道局ではボーリング位置図や柱状図資料の整理が進められていたことから、ひとつの収集区分とした。収集区分2は水道局と住宅局、その他からなるが、「その他」には建築物を建てる時の調査資料だけを集め、東京都が調査した資料はのぞかれている。水道局と住宅局の資料も、それぞれ帰属先以外のものは排除した。

収集区分3の帰属先からは、収集区分1と2ではボーリング資料が不足している地域を補うための資料を集めた。収集区分3のうち板橋区の資料は板橋区地盤図^{2.48)}に、土木技術研究所の資料は東京都総合地盤図I^{2.20)}を作成したときの基礎資料によっている。この2つには地盤図という性格から、もともと資料の少ない都市周辺部のデータが比較的多く収録されているが、さまざまな帰属先のもものが混在している。このため、収集区分1と2のボーリング位置図ができたのち、位置が重ならない資料だけを選択した。土木技術研究所のデータでは元資料から帰属先が重複していないことを確認できたが、板橋区地盤図では帰属先がわからなかったため、周辺のボーリング資料と照合して重複しないようにした。収集区分3にふくまれる建設局と交通局の資料についても、同様の方法で土木技術研究所あるいは板橋区のデータと重複しないようチェックした。

このような方法で収集・整理されたボーリング資料の本数は、合計で約12,300本となった。

2.6 既存の地震被害予測図の利用

このデータベース・システムが対象としている東京の低地部については、今までにもいくつかの地震被害想定がおこなわれている。入力する地震被害予測としては、このなかから、地震時の地盤被害として顕著なものひとつである液状化を対象とした。液状化の予測図としては東京都防災会議の「東京区部における地

震災害の想定に関する報告書」のメッシュ別液状化危険度図（図4-8）^{2.49)}を選び、「液状化危険メッシュ図（東京都防災会議の報告）」として入力した。

原報告書の予測図で判定の単位となっているメッシュは、このデータベースのメッシュ系とは体系が異なっている。このため、ボーリング地点での液状化判定を表示した図（原報告書の図4-7）からボーリング地点と判定結果を入力したのうち、計算機上でこのシステムのメッシュ単位ごとに再度判定をおこなった。ボーリング地点と判定結果の入力にあたっては、報告書の図よりも縮尺の大きな1:50,000の原図を防災会議から借用して、入力原図とした。

メッシュ単位での液状化危険度の判定法については、防災会議が多摩地区での液状化予測に使用した方法^{2.50)}にしたがった。この方法はメッシュ内のボーリング地点のうち、「液状化の可能性が大きい」と判断された地点数と、「液状化の可能性が少しはある」地点数の2分の1を加えた数がメッシュ内の地点数にしめる比率から、メッシュの危険度を判定するものである。この比率が3分の2以上となるメッシュを危険性A（液状化の可能性が大きい）、3分の2と3分の1のあいだにあるメッシュを危険性B（液状化の可能性が少しある）、3分の1以下では危険度C（液状化の可能性はほとんどない）としている。

2.7 国土数値情報の利用

国土地理院では昭和49年（1974）度から国土数値情報の整備をすすめている。国土数値情報は地図に表現されている内容をデジタル化したものであり、海岸線や河川流路、行政界、道路・鉄道などについては位置の情報が、地形や土地分類についてはメッシュ単位の情報が収録されている^{2.51)}。これらの情報は磁気テープに収められており、一般にも公開されている。

国土数値情報からは行政界と道路・鉄道を入力し、この情報を地図の背景図として利用した。国土数値情報にはこのほか、地形や地質のファイルにも地震時の地盤被害を推定する上で有用な情報があるが、公開されているファイルのメッシュが約1km×1kmとやや大きいことなどから、今回は入力しなかった。

国土地理院から借用して入力したファイルは、行政界位置（DNSG-FL-E）と道路（KS-225）・鉄道（KS-240）である。

2.8 まとめ

この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。最終的に選択され、データベース・システム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、地形および地質の情報は、地震による地盤被害との関連という見地からは定性的なものであるが、対象とした地域のすべてについて情報があたえられているという長所がある。過去の地震被害の情報は、被害予測をおこなう上で確度は高いが、対象地域全体について情報を得ることがむずかしいという欠点がある。ボーリング資料にもとづく解析値は定量値であたえられる情報であり、過去の地震での地盤被害との関係も求められているが、ひとつのボーリング資料がどの程度の広さを代表しているかを判断することがむずかしい情報である。

このように、収集した4種類の情報は被害予測という観点からはそれぞれ長所と短所をもっているが、その長所と短所は相補的な関係にあるのが理解される。このため、これら4種類の情報を組合せて利用することによって、より確度の高い予測結果を得ることができると考えられる。

データベースを作成する過程では、磁気データ化するための経費などの制約から、入力する情報の種類と凡例（区分）を選択する必要があった。地形の情報の

うち旧版地形図では、地図の縮尺あるいは精度と入力する凡例(区分)の関係に留意した。近代的な地図としてはもっとも古い明治13年~14年(1880~1881)の迅速測図は、経緯度が記載されていないことから、おおまかな土地利用である水田と乾田、湿地を入力した。また、小河川や小さな池といった小面積の水系の変化をとらえるためには、縮尺が1:10,000の地形図を利用した。

地質の情報の選択にあたっては、地質学的な地層の連続性を重視した。沖積層基底等深線図は地盤の卓越周期の計算や地表での最大加速度の予測に利用されるが、この図に示される基盤は応答解析での地震基盤としてはN値のやや低い地域もふくまれている。ボーリング柱状図のN値だけから地震基盤を選び、作図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ることから、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。同様に、軟弱な砂層の層厚図としては有楽町層上部の層厚図のほかに、砂層の層厚だけを足し合わせた図も作成されていたが、この図では砂層厚の分布がボーリング地点に強く依存しているのが認められたため、採用しなかった。

関東地震での家屋被害の分布図としては、このデータベースで採用した地質調査書の報告書^{2.40)}のほかにも、震災予防調査会の報告書^{2.42, 2.43)}が残されている。震災予防調査会の報告では、行政区ごとに定量的な被害率が算定されているという利点がある。しかし、地形や地質と地震被害との関連を調べる場合には、統計の母集団である行政区の面積が大きすぎるといった問題があった。このため、被害の程度は定性的な分類でも、被害地域が詳細に記載されている地質調査書の報告を採用した。

参考文献

- 2.1) 建設省国土地理院：1:25,000土地条件図の見方と使い方，1970。
- 2.2) 建設省国土地理院：東京周辺の水害危険地帯，東京東北部，東京東南部，

東京西北部，東京西南部，1961。

- 2.3) 建設省国土地理院：土地条件図，東京東北部，東京東南部，東京西北部，東京西南部，1970。
- 2.4) 建設省国土地理院：土地条件図，東京東北部，東京東南部，東京西北部，東京西南部，1980,1981。
- 2.5) 国土庁土地局，東京都：土地分類図(13) (東京都)，1976。
- 2.6) 東京都土木技術研究所：東京都地盤地質図(23区内)，東京都地質図集2，1969。
- 2.7) 土地条件図の磁気データ化に際して，成作者である国土地理院の板垣地理第一課長と鈴木係長(当時)への質問の解答記録による，1985。
- 2.8) 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)。
- 2.9) 清水靖夫：五千分一東京図，地図センターニュース，1983-6, No. -129, pp. 15-18, 1983。
- 2.10) 参謀本部陸軍部測量局：五千分壹東京図，大日本測量(株)資料調査部複製，(測図は1883~1884)。
- 2.11) 内務省地理局：東京五千分壹実測図，大日本測量(株)資料調査部複製，(測図は1887)。
- 2.12) 測量・地図百年史編集委員会：測量・地図百年史，日本測量協会，1970。
- 2.13) 陸地測量部：正式二万分の一地形図，国土地理院の旧版地形図複写による，(測図は1906~1909)。
- 2.14) 明治・大正・昭和 東京一万分一地形図集成：柏書房，1983。
- 2.15) 国土地理院の旧版地形図複写による1:50,000地形図。
- 2.16) 国土地理院の旧版地形図複写による1:25,000地形図。
- 2.17) 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，第2編 第2章 地盤の地質学的性質，p. 79, 1978。
- 2.18) 日本国際地図学会篇：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。
- 2.19) 山口恵一郎ほか：日本図誌体系，関東I，付図，朝倉書店，1972
- 2.20) 文献 2.19と同じ，p. 36。

- 2-21) 内藤 晶：江戸と江戸城，鹿島出版会，1966.
- 2-22) 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.
- 2-23) 正井泰夫：徒歩交通百万都市としての大江戸，筑波大学地球科学系，人文地理学研究Ⅲ，pp. 95-100，1979.
- 2-24) 復興局建築部：東京及横浜地質調査報告書，1929.
- 2-25) 東京地盤調査研究会：東京地盤図，技報堂，1959.
- 2-26) 東京都土木技術研究所：東京都総合地盤図Ⅰ，技報堂出版，1977.
- 2-27) 東京都土木技術研究所，荒川流域地盤高図，1976.
- 2-28) 中山俊雄，星野 務，石井 求：東京の“沖積層”の研究（その1），昭和48年度土木技術研究所年報，pp. 147-181，1974.
- 2-29) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，p.34，1990.
- 2-30) Schnabel, P. B., Lysmer, J. and Seed, H. B.: SHAKE A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Site, EERC 72-12, University of California, Berkeley, 1972.
- 2-31) Tsuchida, H., Kurata, E. and Sudo, K.: Strong-Motion Earthquake Records on the 1968 Tokachi-Oki Earthquake and Its Aftershocks, Technical Note of the Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, No. 80, 1969.
- 2-32) 高速道調査会：耐震設計に関する調査研究，1979.
- 2-33) 東京都土木技術研究所：東京低地の液状化予測 第2章 低地の地形・地質・地下水，土質工学会，1987.
- 2-34) 徳善 温，中山俊雄ほか：東京の“沖積層”の堆積学的性質について，昭和50年度東京都土木技術研究所年報，pp. 221-236，1976.
- 2-35) 日本統計普及会編纂：帝都復興事業大観，第十章 区劃整理，pp. 24-26，1930.
- 2-36) 佐山 守：安政江戸地震災害誌，東京都，1973.
- 2-37) 震災予防調査会：地震其他地異象報，震災予防調査会報告，3，1895.
- 2-38) 震災予防調査会：震災予防調査会報告，第100号，関東地震調査報文，岩波書店，1925.

- 2-39) 土木学会：大正十二年関東大地震震害調査報告，1984年の復刻版による，雄松堂出版，1927.
- 2-40) 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.
- 2-41) 河角 廣：東京の震害分布と地盤に就いて，建築雑誌，Vol. 66, No. 773, 1951.
- 2-42) 松澤武雄：木造建築物ニヨル震害分布調査報告書，震災予防調査会報告，第100号（甲），pp. 163-260，岩波書店，1925.
- 2-43) 北沢五郎：木造被害調査報告，震災予防調査会報告，第100号（丙）上，pp. 1-53，岩波書店，1926.
- 2-44) 殿内啓司，金子史夫，今井常雄：1923年関東大地震における地盤による建物被害の差異について，応用地質調査事務所年報，No. 4, pp. 19-82, 1982.
- 2-45) 今村明恒：関東大地震調査報告，文献2-42と同じ，p. 33，1925.
- 2-46) 東京都土木技術研究所：東京低地の液状化予測，第3章 関東地震の液状化履歴調査，土質工学会，1987.
- 2-47) 草野 郁：関東地震における東京低地の液状化履歴，土木学会論文集，第406号／Ⅲ-11, pp. 213-222, 1989.
- 2-48) 東京都板橋区建築部建築課：板橋区地盤図，1984.
- 2-49) 東京都防災会議：東京区部における地震災害の想定に関する報告書，第2編 第4章 地盤の液状化現象，p. 115，1978.
- 2-50) 石原研而：多摩地区における地震災害の想定に関する報告書，第1編 第4章 地盤の液状化現象，東京都防災会議，pp. 45-52，1985.
- 2-51) 建設省国土地理院：国土数値情報の概要，1983.

図表リスト

- 図 2-1 明治42年（1909）と大正14年（1917），昭和12年（1937）の1万分の1地形図の領域