

地盤と地震災害

中台 寿／森 一紀

昨年六月の宮城県沖地震で、仙台市の緑が丘を初め郊外地域が旧市街地に比べて大きな地震災害を受けたことはまだ記憶にあたらしい。

旧市街地と郊外地域の地盤構成に大きな差異があることからみて、これは、地震災害がその地盤状況によって大きな影響を受けることを示している。ここでは主として、旧計画局防災技術部が昭和五十一年度に行った「地震と地盤及び建物に関する調査」の中から、特に地盤と地震災害に関連の深い事項について、以下述べることにする。

一——横浜市の地形、地盤構成の概要

本市の地形は、樹枝状に分岐する丘陵地と、この丘陵地を開析して東京湾に流れこむ鶴見川、帷子川、大岡川及び相模湾に流れこむ柏尾川、境川によって形成された沖積低地からできている。

丘陵地（標高二〇〇呎以上の地域）と沖積地（埋立地を含む）の比はおよそ一対一で、最高地は標高一五六・八四呎、最低地はマイナス一・四二呎となっており、起伏に富んだ地形である。

丘陵地を細分すると、標高一〇〇—一三〇呎の地質学上多摩Ⅰ面とよばれる丘陵地が、本市の南端付近、円海山の南一帯にひろがっている。標高六〇—一〇〇呎の多摩Ⅱ面とよばれる

- 一——横浜の地形、地盤構成の概要
- 二——地震災害予測のための基礎の整理

作成

三——地震予想被害

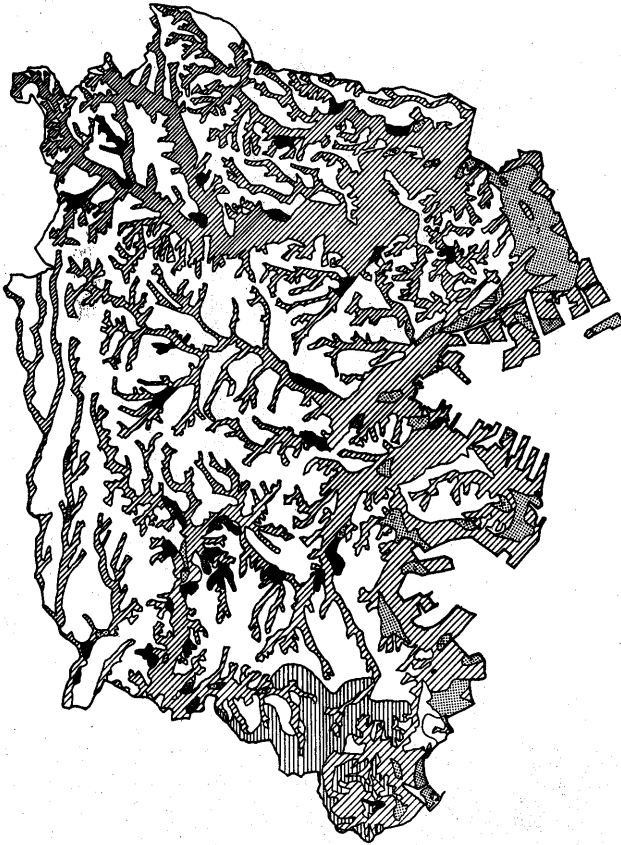
四——崖崩壊の危険について

丘陵地は、本市北西部から南東部にかけて大きな分布をしている。また、標高三〇—五〇呎の下末吉面とよばれる台地は、多摩Ⅱ面の東側の下末吉台地及び西側の相模野台地である。

これらの丘陵地の表面は、横浜南部の一部を除いて、厚い降下火山灰（関東ローム層）によって覆われており、その厚さは、最大三〇呎に達するところがある。

沖積低地は、高度二〇呎以下の沖積地と臨海部の埋立地とからなっている。本市には大規模な河流氾濫原や海岸平野が少ないため、沖積層の分布は比較的限られており、一般に丘陵地や台地の縁辺部では薄く、臨海部に近づくほど厚くなっている。

図一 表層土質図



土質	地震波(S波)速度(m/sec)	ゆれの比較
腐植土	90	1.7
粘土・シルト・粘性土(埋立地・沖積地)	100	1.5
火山灰質粘性土(関東ローム)	150	(標準) 1.0
砂・砂質土(埋立地・沖積地)	170	0.9
礫	300	0.5
砂岩・泥岩(三浦層群)	300-	0.5以下

注) ゆれの比較: 関東ローム層を1とした場合の各質のゆれ具合の比較をいう

沖積層の厚さは、基盤の三浦層群の起伏によって支配されるが、〇―五〇級の範囲で変化している。

各河川の流域別にみると、帷子川の河口付近で最も厚く、五〇級に達し、鶴見川、大岡川付近では最大四〇級程度になる。

また、沖積層の層相は一般に、上部砂層、中部泥層、下部砂層の三層に分けることができ。上部砂層、下部砂層とも層厚は数級以下で、N値も一〇以下のものが多い。中部泥層はかなり厚いシルト、粘土からなり、N値も五以

下の極めて軟弱な地層である。

本市の埋立は江戸初期から進められており、現在、その面積は三二平方キロを超えている。埋立地としては、主として水深五―一〇級の所が選ばれている。

二 地震災害予測のための基礎資料の整理、作成

大地震時の災害は、第一次災害としての地震及び被害が最も大きいといわれる第二次災害と

しての火災、爆発、水害等の災害がある。第二次災害としての地震は、その後に発生する第二次災害の直接的な原因ともなり得ることから、この地震発生メカニズムの解明と被害予測をすることが必要である。

これは従来経験的なもので行ってきたが、この調査ではそれをさらに一歩進めて、科学的に、地震工学的に検討し、より適確な数値を把握しようと試みた。そのためにまず、本市域の地盤構成を適確に把握する必要があるため、次のような基礎資料を整理、作成した。

① 地盤構成の把握

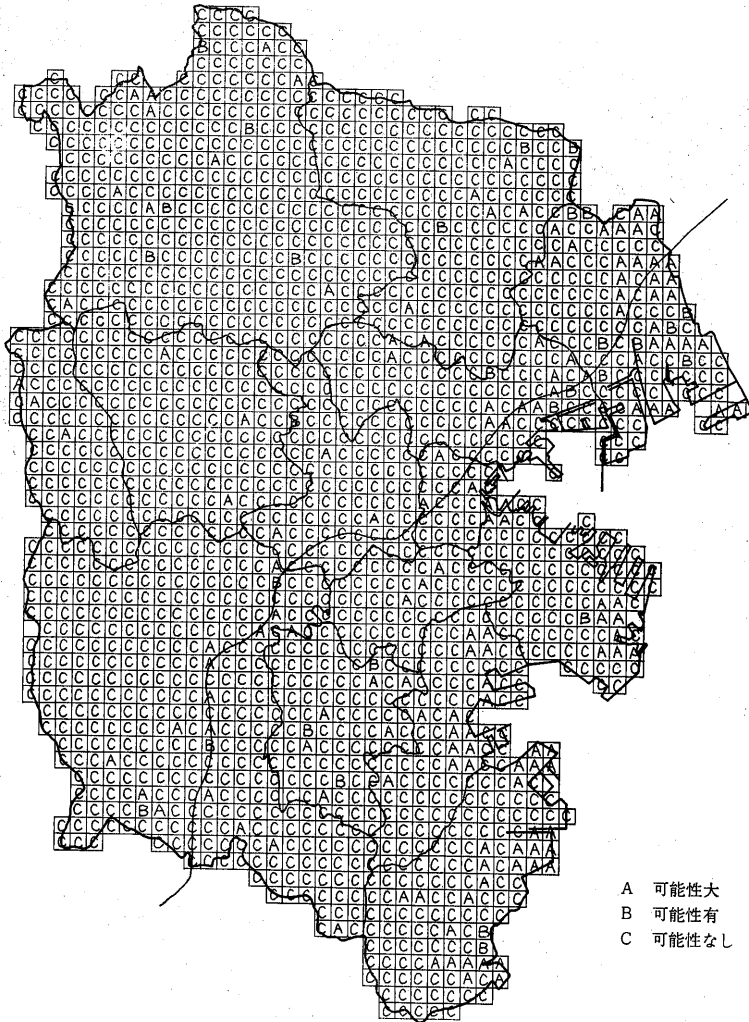
④ メッシュの採用

この調査では、全市域を本市の統一メッシュにより「たて」「よこ」をそれぞれ五〇〇級毎に区分し、それを最小単位として地盤構成を設定した。すなわち、全市域を南北方向六二行、東西方向四五列に五〇〇級ごとに分割し、一、七九七箇のメッシュを作成し、これを単位として各種資料を整理、作成するとともに、地盤振動解析及び建物振動解析を行った。

④ 横浜市内土質柱状図集の作成

まず、市内の地盤構成がどうなっているかを知らるために、市域内及びその周辺にある約一〇、〇〇〇本のボーリングデータを収集し、その代

図一 2 液状化危険度分類図



表的なもの二、一三九本を整理し、収録した横浜市内土質柱状図集を作成した。この中には、土質柱状図、N値、地下水位及び V_{P2} ^{注2}、 V_{S3} ^{注3}等が記入されている。

⑦土質断面図の作成

上記柱状図集をもとに、他の土質調査資料を参考にしながら、東西方向四五本、南北方向六二本の区画線毎の土質断面の变化状態が一目で

見られる土質断面図を作成した。

⑧振動解析用土質柱状図の作成

上記の横浜市内土質柱状図集、土質断面図及び各種土質資料を参考にしながら、市内一、七九七箇のメッシュすべてについて、今後振動解析の基本資料とすべく、各メッシュの土質を代表する一メッシュ一点の土質柱状図を作成し、土質ファイルを作成した。

⑨表層土質図の作成

上記資料をもとに、全市域の表層土質図を作成した(図一1)。

これは、地表の振動は表層土質による影響が大きく、S波速度と地盤の振幅増幅度はほぼ逆比例することに着目して、地盤のS波速度の比較から、その地盤の振幅増幅度、すなわち、各種地盤の関東ローム層に対しての相対的な「ゆれ」の大きさの比が、一目でわかるようにしたものである。

これによれば、粘土、シルト、粘性土などでは、関東ローム層に対して、一・五倍のゆれがあることがわかる。

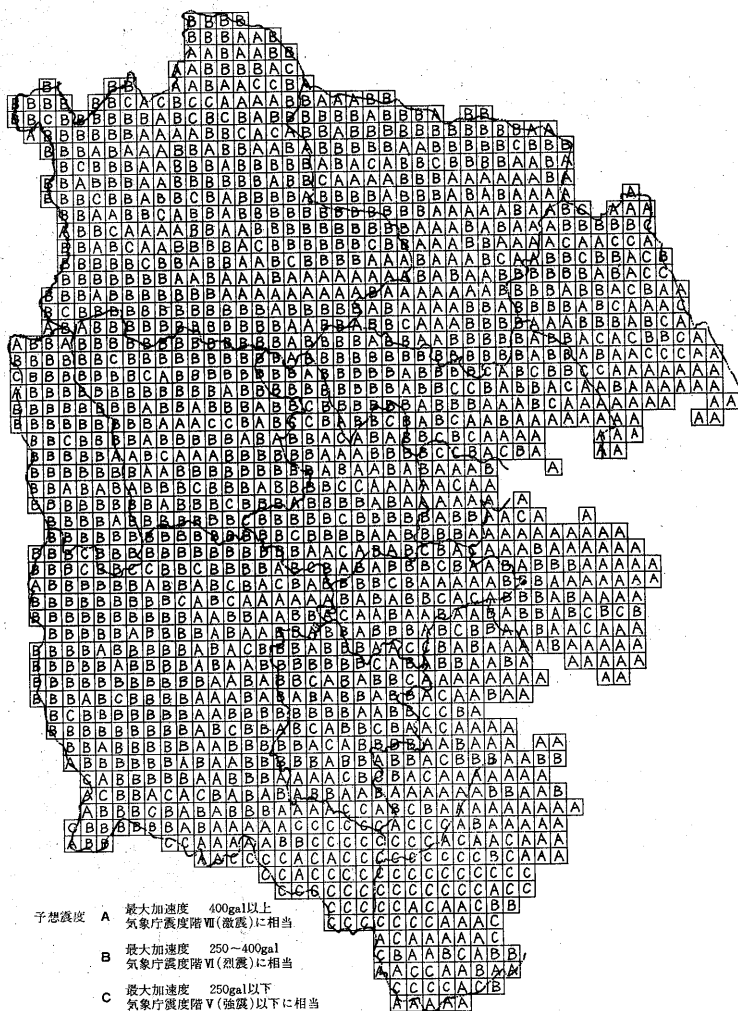
- ⑩沖積層基底等深線図の作成
関連基礎資料として作成した。
- ⑪関東ローム層等厚線図の作成
関連基礎資料として作成した。

⑫地震の想定

地震予知がまだ定量的に十分把握することができない現況下で、災害予測をすることは大変困難な作業ではあるが、ここでは、一九二三年の関東大地震と同規模の地震を想定して、各種の振動解析ならびに被害を算出することとした。

ア、発生日時 九月一日正午

図-3 予想震度分布図



予想震度
 A 最大加速度 400gal以上
 気象庁震度階Ⅶ(激震)に相当
 B 最大加速度 250—400gal
 気象庁震度階Ⅵ(烈震)に相当
 C 最大加速度 250gal以下
 気象庁震度階Ⅴ(強震)以下に相当

⑦地震時における地盤の液状化現象に関する基本的考え方

昭和三十九年に発生した新潟地震(M7.5)は、新潟、秋田、山形の各県に多大の被害をもたらした。新潟地震の特徴は、地盤と震害との相関関係が大きいことであったが、特に埋立地、旧河道の砂層の液状化による被害が著しかった。これ以来、地震時の液状化現象が注目さ

れるようになった。地盤の液状化現象の予測に関する研究は、一九三〇年代後半から多くの研究成果が発表されているが、未だ明確な予測手法は確立されていない。

①液状化判定基準及び液状化危険度分類図の作成

液状化に関する明確な予測手法は確立されているわけではないが、ここでは各種土質資料をもとに、各メッシュの地盤条件を、次の七種の判定基準から液状化危険度について判定し、液状化危険度分類図を作成した(図-2)。

〈液状化判定基準〉

- ア、砂層が地表より連続しているか
 - イ、液状化しない表層が三層以上あるか
 - ウ、その砂層の水が飽和しているか、どうか
 - エ、その砂層が地表から二〇層以上、下にあるか、どうか
 - オ、砂の粒径範囲がどのような範囲になっているか
 - カ、その砂層のN値はどの位か
 - キ、過去に液状化した既往症があったのか、なかったのか
 - ク、なお、液状化する表層とは砂層をいい、液状化しない表層とは粘土、シルト、ローム、礫、腐植土、固結泥岩、固結砂岩等をさす。
- その結果を次の三段階に区分した。

三 地震災害予測

- イ、震源地 相模湾中央
- ウ、規模 マグニチュード 七・九
- エ、気象条件 晴、東の風、風速四・二毎秒

①液状化危険度分類図の作成

- A 液状化の可能性 大
- B 液状化の可能性 あり
- C 液状化の可能性 なし

Aと判定された地域は、主として鶴見川、恩田川、早瀬川、鳥山川、帷子川、今井川、大岡川、日野川、笹下川、宮川、待従川、境川、和泉川、柏尾川、阿久和川等の河川沿いの沖積地及び鶴見、神奈川、西、中、磯子、金沢の臨海埋立地で顕著に現われているのが特徴で、全市域の約八・五パーセントにあたっている。

②—予想震度分布図の作成

⑦地震時における地盤の予想震度の基本的考え方

地下深所で発生した地震波は、主に地表のごく浅い部分の土質的特性によって変形を受け、地盤振動の際、違いとなってあらわれることが、最近の研究によって明らかになりつつある。すなわち、ある地盤の表層土質のS波速度と地盤の振幅増幅度はほぼ逆比例し、振幅増幅と最大加速度はほぼ比例関係にあるので、ある標準地盤を考えて、その標準地盤での最大加速度及びS波速度 V_{SA} がわかっている、求めようとする地盤の表層土質のS波速度がわかれば、次に示すような関係式が成り立つことから、その地盤の最大加速度が計算で求められる。

$$\alpha_B = \frac{V_{SA}}{V_{SB}} \cdot \alpha_A$$

α_B : 求めようとする地盤の最大加速度(ガル) ただし、

V_{SA} : 標準地盤の表層土質のS波速度(毎秒)

V_{SB} : 求めようとする地盤の表層土質のS波速度(毎秒)

(毎秒)

α_A : 標準地盤の最大加速度(ガル)

この考え方を各メッシュ毎の地盤に適用して、その最大加速度を求めた。この式の中で標準地盤とは、表層土質のS波速度が、一五〇毎秒であるような地盤をさし、具体的には関東ロームがこれにあたる。また、表層土質とは、表層より五層以内で最大を占める土質をさしている。

①予想震度分布図の作成

メッシュ毎に算出した最大加速度に基づいて、本市内の予想震度をA、B、Cの三ランクに分類して予想震度分布図を作成した(図3)。その概略を以下に示す。

- ア、予想震度Aの地域〔最大加速度四〇〇ガル以上・気象庁震度階の七(激震)に相当〕

主として臨海埋立地、沖積地及び谷底平野等の腐植土や極めて軟弱な砂、粘土、シルト等の地質で構成されている地盤の地域で、全地域の約三五パーセントを占めている。

- イ、予想震度Bの地域〔最大加速度二五〇—四〇〇ガル・気象庁震度階の六(烈震)に相当〕

市域南部を除く大部分の丘陵地及びその周辺地域のロームが比較的厚く堆積している地盤の地域で、全市域の約五二パーセントを占める。

- ウ、予想震度Cの地域〔最大加速度二五〇ガル以下・気象庁震度階の五(強震)に相当〕

主として市域南部の円海山付近を中心とした丘陵地、沖積地や谷底平野の比較的硬い地盤(固結砂岩、泥岩や礫層)の地域で、全市域の約一三パーセントである。

③—建物の災害予測

⑦地震時における建物の振動特性の解析に関する基本的考え方

地震時における建物の振動は、建物の特性だけでなく、大別すると次の三つの特性により規定される。

すなわち地震動そのものの特性、建物が建っている地盤の特性及び地盤建物連成系効果による特性がそれである。従って、ある地域における地震被害推定を想定した応答解析をする場合、これら全ての特性を考慮することが望ましい。

ここでは、地盤の特性を反映して地表面に想定した地震波を建物の基部に入力して応答解析を行った。

④地震時における建物の被害予測に関する基本的考え方

建物の被害予測をする場合、まず考えねばならないのは、将来、起こり得る被害地震の発震日時、発生場所、規模、発震機構等であり、次に、これに対してある地域の建物の被害推定をするというのが一般的に考えられる方法である。

ところが、地震の発生に関しては、適確に予知し得る段階に達していないし、建物支持地盤の崩壊過程、地盤建物連成系の諸現象等についても不明な点が多い。

そこで現在の段階において最も信頼性の高い方法というのは、過去における横浜市の地震被害分布を手がかりにして推定する方法である。また、他の地域に起った過去の被害地震の調査結果、例えば、壁率と建物被害とは高い相関性を持つとか、建物被害は局地的な地形の影響を受けやすいとかの条件を考慮することである。

従って、建物の被害予測に関しては、前項で示した方法により、地盤別、建物別の地震危険度を算出し、実際の調査資料に基づく危険を合わせ考えて、各地域ごとの被害想定を行う解析

手法とした。

⑤建物の振動特性の解析

ある地域の地盤特性を反映した地震波を想定し、この地震波を耐震性能を持つ建物基部に入力して応答解析をした。この場合、重要な問題は地震波の想定と地震時における建物の動力学的特性をどうするかということであるが、これに対しては次のように考えた。

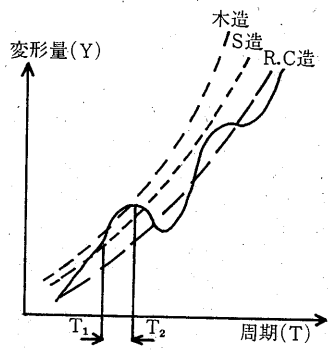
(ア)入力地震波の作成

建物の耐震性能を検定する場合の一例として、過去の記録地震を用いて応答解析をするという方法がよくとられるが、この方法は、その地盤特性を反映したものではないとともに、地震の非再現性、不確定性を考えると、適当な方法とは考えられないので、ここでは、市内の一、七九七箇の全メッシュについてレスポンス解析を行い、その結果に基づいて市内の地盤を一〇種のタイプに分類し、それらの地盤特性を反映した関東大地震と同規模の人工地震波を作成し、これを入力地震波とした。

(イ)建物の動力学的特性

建物の耐震性能は、構造種別(木造、R・C造、S造)建物の固有周期等によってきまる。ここでは建物の動力学的特性を、構造種別によらず一つの特徴的な弾性応答に近似するものと考えた。すると建物の特性は、周期、減衰、振動

図-4 建物のレスポンス・スペクトラム図



の型によって規定され、各メッシュごとに求めることができる。

⑥建物の災害予測結果

建物の災害予測をする場合は、弾性応答計算をして求められた応答量と被害との関係を、実験、実測資料に基づき、ここでは次のように規定して被害予測をすることとした。

ある敷地地盤において、建物のレスポンス・スペクトラムが図-4のように求められたとする。图中破線で示された変形量を、木造、R・C造、S造のそれぞれある被害(全壊、半壊など)限界を示す変形量だとすれば、この図から、この敷地地盤に建つ木造建物のうち、周期(T)が「 T_1 」の範囲内にあるようなものは、ある被害をうけるものとした。

以上かなり大胆な仮定を設けて近似的にはあるが本市の災害予測を行った。その結果、建

物の降伏震度、耐力、減衰等の点で、中低層の建物に厳しく、高層建物を甘く評価してはいるものの、一般に中低層といわれる建物は、かなり被害を受けることが予測された。

四——崖崩壊の危険について

①—地震と崖崩れ

一般に崖崩れは台風や集中豪雨などの風水害によって生じやすい。しかし、過去の例からもわかるように、地震によっても大規模な崖崩れや山崩れ等が起きることが知られている。地震時の崖崩れは、豪雨型のそれに比較して規模も一般に大きい。これは地表から浅い層だけが崩れるのではなく、岩質、構造によっては基盤岩までも破壊され、崩壊するためであると考えられている。また、地震の前後に豪雨があれば、被害は相乗的に増加することとなる。地震時には斜面の急緩にかかわらず崖崩れが生じることが知られている。

関東大地震の時には、崖崩れや山崩れが無数とあってよいほど各地で起ったが、本市内では七三カ所の崖崩れが発生し、これにより一〇六棟が埋没あるいは倒壊の被害を受けている。当時と比べて本市域は著しく拡大し、都市化が進んでいる。ことに近年、丘陵地への宅地造成の

進行は目をみはるものがあり、それだけに地震時には崩壊する可能性が強いので、日常から十分な安全対策が必要である。

②—崖の分布

本市は大都市には珍らしい丘陵性の都市であり、丘陵末端部の大部分は崖状の地形を呈しているところから、市内いたる所に崖が存在する。傾斜角三〇度以上、高さ三層以上の崖だけでも市内に六、五〇〇カ所以上ある。

その中、県知事が指定する急傾斜地崩壊危険区域は一五二カ所あり、建築局長が設定する崖崩れ危険地域は、A・B・C合せて三三二カ所ある。

③—崖の危険度について

崖の危険度についてであるが、急傾斜地崩壊危険区域の指定基準は、傾斜角が三〇度以上、高さが五層以上の崖で、崩壊により危害が生ずる恐れがある人家が五戸以上ある区域、または、官公署、学校、病院、旅館等に危害が生ずる恐れがある区域と定められ、崩壊防止工事の実施基準としては、高さ一〇層をこえる自然崖で、崩壊により被害を受ける家屋が二〇戸以上密集している地域と定められ、南区、中区、磯子区、保土ヶ谷区、金沢区に多い。

また、崖崩れ危険区域設定基準は次のように定められている。

これは主としてその対象は宅地崖で、崖崩れにより人命、家屋等に被害を及ぼすと予想される崖の風水害による危険度分類で、崖の判断基準は、傾斜角三〇度以上、高さ三層以上の急傾斜地としている。その危険度はA・B・Cの三段階で、次の条件で分類している。

A 日雨量が一〇〇ミリ以下または連続雨量が一五〇ミリ以下の降雨により、直接家屋または人畜に被害をおよぼすおそれのある区域

B 日雨量が一〇〇ミリ以上一五〇ミリ以下または連続雨量が一五〇ミリ以上二〇〇ミリ以下の降雨により、直接家屋または人畜に被害をおよぼすおそれのある区域

C 日雨量が一五〇ミリをこえまたは連続雨量が二〇〇ミリをこえる降雨により、直接家屋または人畜に被害をおよぼすおそれのあるもの

この条件で分類すると、A区域は七カ所、B区域は四十六カ所、C区域は二七九カ所となっている。

危険度の高いものは、神奈川区、西区、保土ヶ谷区、中区、南区及び磯子区等の市街地に近

い丘陵縁に多い。また、鶴見区、金沢区、港北区及び戸塚区等は住宅地域に多く分布している。

これは、人口増加に伴い、古い宅地造成地では丘陵地を宅地として改変し、崖を簡易な擁壁によって土留をするといった無理な造成を行った所もあるためと思われる。

これらの危険区域内住民の安全確保を図るため、危険区域ごとに情報伝達、避難対策、救助対策等を具体的に定め、警戒避難体制を整備し、万全を図っている。

以上のように、地盤と地震災害については、既に文頭でもふれたように「地震と地盤及び建物に関する調査」の結果をもとにして述べてきたが、紙数の都合で、説明が必ずしも十分でない

かった面もあるので、その詳細については災害対策室へ照会されたい。

〈中台〓総務局災害対策室参事／森〓同主査〉

注1 地盤が軟弱であるか、どうかを判定する方法

の一つとしてN値がある。標準試験用サンプレをボーリングの過程においてロッドの下端にとりつけ、標準ハンマ(重量六三・五kg)により、落下高七五cmで打ち込み、サンプレーを三〇cm打ち込むのに要する打撃数N(回)を測定し、サンプレーに入った土質試料から、土層の種類、性質および強度を判定することができ。そしてこの打撃数をN値とよび、一般に軟粘土は $N < 10$ となり、 $N > 30$ となると打ち込み困難となる。

注2 地震の際、最初に到着する振幅の小さい波を

P波という。この波は、岩石の体積の変化の反発に伴い生ずる縦波(粗密波)で、音波のように媒質の振動方向が、波の進行方向と一致し、粗密の状態変化が伝わる。P波の速度をここで V_p で表わした。

注3

地震の際、P波に続いて到着する振幅の大きな波をS波という。この波は、岩石の変形の反発に伴い生ずる横波(ねじれ波)で、光波のように、媒質の振動方向が波の進行方向に直角で、ねじれの状態変化が伝わる。ある地点でのS波による地震動の継続時間は、たいてい一分前後であり、地震震害は、主としてこの波によってひき起される。