

# 地盤図

## —地盤と震害—

京都大学防災研究所長

柴田 徹

### 1. 地盤図の今昔

建築物や土木構造物を建設するに当って、予定地点の地盤の状態や性質を調べることの重要性は、今日では疑う余地が無い。しかしわが国でボーリングやその他の地盤調査を行い、各種の土質試験を日常業務として実施するようになったのは、おそらく昭和20年代の後半からであろう。その時期は、日本に標準貫入試験（N値）が北米からとり入れられた頃とほぼ同じとみられる。

各地で地盤の調査資料がふえてくると、それらを1個所に集めて相互に活用できる利便をはかると共に、地質学や土質工学の立場から詳しい検討を加え、統一した地盤図を集大成して公けにすべきである、との気運が高まってきた。大崎博士によれば、昭和32年12月には、

「強力な調査機構を設け、これによって全国各都市地域について地盤の構成およびその性状を明確に示す図面と説明書を作成すること」

そして、

「地盤に関する各種資料を確実に保管し、一般にこれが広く活用されるよう措置を講ずること」

という2点が第一次岸内閣の閣議で了解され、建設大臣が関係閣僚の協力を要請した、という記録が残っているそうである。

昭和35年には、建設省に都市地盤調査委員会が設けられた。そして臨海都市とその周辺部に重点を置いた地盤図が、「全国都市地盤シリーズ」という書名で続々と発刊された。学会や協会の動きも次第に活発となり、最近のものでは、例えば日本建築学会中国支部が中心となった「鳥取県地盤図（昭56）」「岡山県臨海地帯地盤図（昭60）」「島根県地盤図（昭61）」などを挙げるができる。

上に紹介した「全国都市地盤シリーズ」や県単位の地盤図のほか、特筆すべきは、日本建築学会や土質工学会が主導して、大都市における独自の地盤図を公けにしたことである。これには「東京地盤図（昭34）」、「大阪地盤図（昭41）」、「名古屋地盤図（昭45）」などが例に挙げられる。ただ残念なことに、これらは発刊後に間もなく売り切れてしまい、絶版の状態が続いていたという。しかし20～30年を経過した今日、夥しい量の新しい資料を加えて「新編大阪地盤図（昭62）」、「最新名古屋地盤図（昭63）」が装いも新たに出版された。いずれも精選された資料の豊富さは、

世界に類をみない成果品であると、高い評価の声が聞かれる。

都市地盤図は、一般に解説編と資料編より成っている。解説編では、都市地盤の地質構成、土木・建築構造物を支える基礎地盤としての工学的性質、地震で揺れる場合の動的特性、あるいは自然災害と地盤との係わりなどが詳しく述べてある。また資料編には、代表的なボーリング柱状図、軟弱層の厚さ、地質断面図、地下水位や卓越周期の分布、液状化予測図などを掲載している。従って地盤図は都市計画・土地利用計画・防災対策・構造物の建設計画等に対して、極めて広範囲の目的に活用できる性質を備えたものである。

現在は高度情報社会といわれる。地盤情報に関しても例外でなく、そのデータベース化の研究・開発は、昭和40年代の中頃から始められた。いち早くこの問題に取り組んだのは、防災に係わる行政機関（例えば科学技術庁）であった。これは、地域の防災対策をたてる上で、多量の地盤情報データを処理する必要に迫られ、データのコンピュータ化を図ったものである。爾来20年、最近の話題としては、建設省が支援して（財）日本建設総合情報センター（略称ジャシック）を設立し、全国規模で地盤情報をデータベース化する動きがある。

## 2. 建物の震害（その1）

大地震によって構造物が被る震害の様相が、地盤の性質を強く反映するものであることは、わが国では昔からの常識になっていた。ところが岡本博士によれば、今からおよそ30年前に開催された第1回世界地震工学会議のときに、日本以外の国の代表者達は、このこ

とに気付いていなかったそうである。しかし現在では、すべての国で地盤の重要性を認識し、公的な耐震規定を設けている20数カ国のうち、6割以上が何らかの形で地盤条件の影響を規定にとり入れているといわれる。

日本で震害予測が現在の形式で行われるようになった契機は、ひとつには昭和39年の新潟地震があった。その後、十勝沖地震（昭43）、宮城県沖地震（昭53）などの被害地震が発生するなかで、昭和53年には東海地震の予知を前提とした「大規模地震対策特別措置法」が制定された。そして対策強化地域内の自治体を中心にして、地震被害の予測が活発に行われてきている。

これらの予測に際して、地震動は地盤内を伝播し、かつ地震動を受ける構造物も地盤上や地盤中にあることから、地盤性状の的確な把握は最も基本となるものである。

以下に、地盤と震害との複雑な係わりについて、具体例をあげてみよう。

図1は、関東地震（大正12.9.1）における東京の建物被害を調べた結果である。図では東京の下町（軟弱地盤）から山の手地区（硬い地盤）までを横軸にとり、縦軸は、各地区での建物の被害率を示している。これを見ると分かるように、木造家屋の被害は下町に大

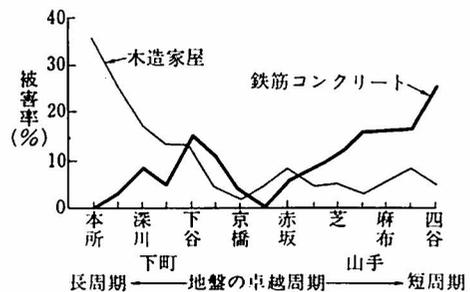


図1 関東地震における東京の建物被害（大崎らによる）

大きく、山の手で小さい。これと対照的に、鉄筋コンクリート造については、むしろ下町で少なく、山の手で大きな被害を示す傾向にある。

何故このようなことが起こるのか。それには、地盤の卓越周期と建物の固有周期との関係を理解する必要がある。詳しいことは後で述べるが、大まかにいえば、下町の軟弱地盤は山の手の手硬い地盤に比べて地盤の卓越周期が長い。また木造家屋は、鉄筋コンクリート造に比べて、その固有周期は長い。

このように、地盤の卓越周期と建物の固有周期の関係から、下町においては、固有周期の長い木造家屋が、山の手においては固有周期の短い鉄筋コンクリート造が共振的に揺れやすくなり、そのために特徴ある被害パターンを発生させたものと考えられる。

昭和58年の日本海中部地震（マグニチュード7.7）の際には、震源から300kmも離れた新潟市において、大型原油タンクがスロッシングによる被害を受けた。これも、地盤とタンクの共振作用による事例といわれている。

### 3. 建物の震害（その2）

わが国の大都市を形成する地盤には、大抵の場合、軟弱な沖積層が堆積している。軟弱層は、その上に建つ構造物に対して悪い影響を与えるが、ここでは地震による木造家屋の被害に注目してみる。

木造家屋の震害と地盤条件との関連性について、これまで明らかにされたところによると、硬い地盤よりも軟弱地盤の方が不利であり、軟弱層が厚いほど被害率も大きくなるという特徴がある。一例として図2は、濃尾地震（明治24）と東南海地震（昭19）における住家被害率と沖積層厚の関係をもとめたもの

である。図より、沖積層が厚くなるほど被害率がふえる傾向を読みとることができる。

何故このような特徴が現われるのだろうか。それには少なくとも2つの原因が考えられる。すなわち①軟弱地盤上の家屋は不同沈下による損傷を生じやすく、②軟弱地盤は地震動の周期範囲が広いことである。以下②の原因について説明を加えよう。

図3は、地盤の常時微動\*を測定した結果を整理して求めた周期～頻度曲線の典型例である。つまり微動測定の記録から、それをある周期間隔でグループ化して横軸に、各周期グループに属する度数を縦軸にとって描いた

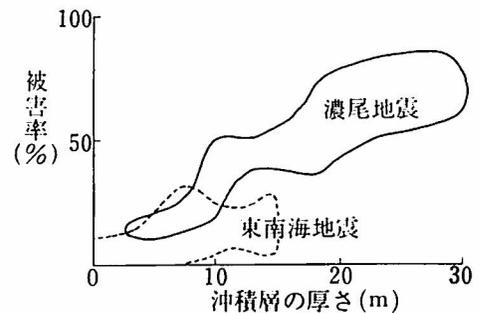


図2 住家被害率と沖積層厚さ（飯田による）

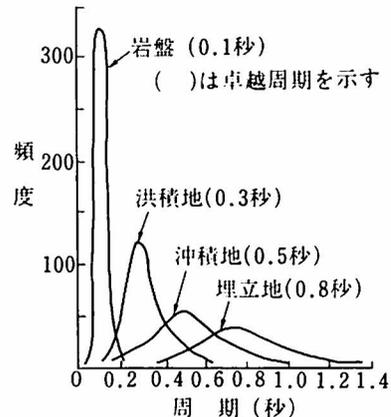


図3 地盤の卓越周期（金井による）

\* 地盤は常時、波浪・風・機械振動・交通振動などを振動源とする数ミクロン程度の振動を生じている。この微動の中で、特に周期が1～2秒以下のものを常時微動という。

曲線を示している。図で最頻度（ピーク）に対応する周期が地盤の卓越周期であり、その値は地盤が軟弱になるにつれて長周期側へ移行する。また同時に、軟弱になるほど曲線の描く山の裾野が広がっていることに気付かれるであろう。

木造家屋の固有周期は、微動時を対象にすれば0.3～0.4秒程度で、沖積地の卓越周期（0.5秒）より僅かに短い。しかし地震動を受けて建物に損傷を生じると、その固有周期が長くなるためと、軟弱地盤の周期幅が広いために、やがて卓越周期と一致して共振現象を起こし、建物は大きな破壊力を受けることになるのである。

#### 4. 液状化の話

液状化の予測法や手順については、あとで専門家が解説されることでもあるので、筆者の拙稿は少し肩の凝らない話で締めくくことにしたい。

地震の時などに、水をたっぷり含んだ砂層が揺られて隙間の<sup>空隙</sup>水圧が高まり、粒子が浮遊したようになる現象は、液状化とか、クイック・サンドとか呼ばれている。これらは学術用語であるが、「砂の女」を書いた小説家・安部公房の手にかかると、「人食い砂」という面白い表現になる。砂がドロドロの液体状になり、人間や動物がその中にはまり込んで、もがけばもがくほど沈んでいく地獄絵の様相を表し得て妙である。

昭和39年に新潟地方を襲った地震では、地盤が液状化したために、4階建て鉄筋コンクリートの県営アパート群が倒れたり、信濃川にかかる昭和大橋がぐずれ落ちるという前代未聞の事態に、世界中の学者が注目した。爾

来、十勝沖（昭43）、宮城県沖（昭53）、日本海中部（昭58）、千葉県東方沖（昭62）の各地震で液状化の洗礼を受けることになる。因みに日本海中部地震では、秋田県内だけで液状化による被害総額は1,500億円に達したとみられている。

新潟地震は昭和39年の初夏に起った。当時の地元紙には、タクシー運転手の

「ちょうどあのときに昭和大橋の上を走っていた。ハンドルの手ごたえが常と違うので、バンクしたと思い車を止めてふと後をふり向いたところ、いま通ってきたばかりの橋が消えてない！身震いがしばらく止まらなかった」とか、

「信濃川の川底から、巨大なサボテンのように泥水の柱が林立しているのを目撃した」とかの記事が残っている。泥水が地上に噴き出す——これこそ液状化の証拠なのであるが、校庭、滑走路、田岡といわず地震のあとには、至るところで噴火口のような大小の砂山をみることができる。

われわれは、地震そのものから逃れられぬ宿命を負っているとしても、液状化の危険性をもった地盤をあらかじめ調べあげ、都市の液状化危険図を作っておく。こうすれば、建物や橋の基礎、水道・ガス管などのライフ・ライン系に対して補強対策を重点的に講じられるはずである。

新しい「大阪地盤図」や「名古屋地盤図」には、それぞれ液状化予測図が記載してあり、また「東京低地の液状化予測（昭62、東京都土木技術研究所）」や「宮城県地震地盤図（昭60、宮城県）」なども刊行されている。これらを、都市防災計画の立案に是非とも活用していただきたいと願うものである。