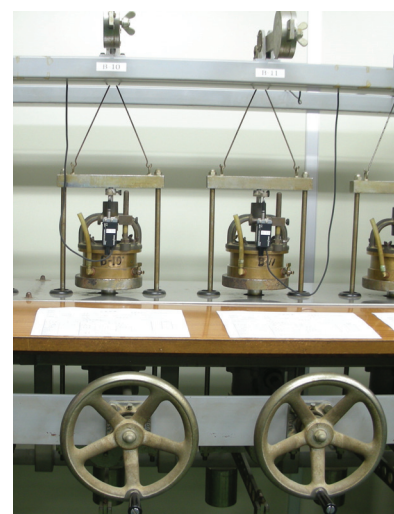
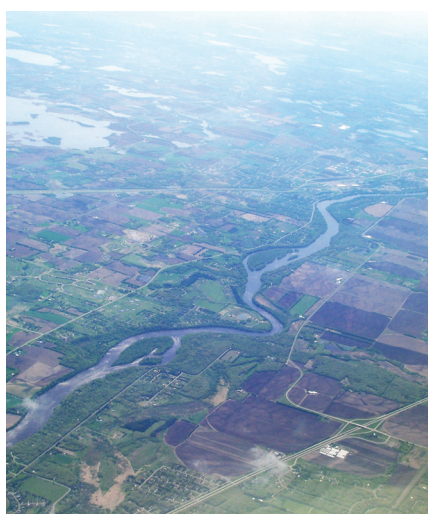


高校生のための地盤の基礎知識

— 茨城版 —



公益社団法人 地盤工学会

関東支部 茨城県グループ

まえがき

日本は地震、火山、風水害など自然災害の多い国です。毎年のように何らかの自然災害が日本のどこかで起きていますが、特に 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震においては、甚大な津波災害が発生し、原子力発電所の重大事故につながりました。このような国で、自然災害から国民の安全を守るための知識・技術が重要であることは、言うまでもありません。

私たちは地面の上に住んでいるので、そこで起こる多くの自然災害は、当然ながら地面(地盤)に関係しています。地震は、大規模な地面の動き(プレート運動)が原因となって発生し、地震波は地面を伝わって広がり、柔らかい表層地盤で増幅します。強い地震動が原因で発生する斜面崩壊や液状化、土や岩で作ったダムや堤防の破壊は、地盤材料の破壊現象です。火山から噴出する材料も地盤材料であり、火砕流や火山灰による災害などを引き起こします。そして、台風などの豪雨時に発生する斜面崩壊や土石流は、毎年のように被害をもたらしています。

このような自然災害を減らすためには、土や地盤の性質を良く知らなければなりません。地盤は自然が作ったもので、場所によって性質が異なるため、その調査が重要になります。一方で、どうやって地盤が形成されたかの歴史を調べることで、ある程度地盤の性質を予測することもできます。更に、そのような地盤の上に、どうやって安全に建物を建てるかも知らなければなりません。

通常、そのような土・地盤の性質に関する詳しい勉強は、大学の、それも土木工学などの限られた学科に入った学生だけがやることになっています。けれども、自然災害から身を守るための知識は、もっと広く知られている必要があるのではないのでしょうか？

この冊子は、複雑で専門的な教科書ではなく、高校生程度の知識があれば理解できる、土と地盤と建物に関する基本的な考え方をまとめたものです。しかも、単なる「お話」ではなく、きちんとした「工学」の知識、実際に役立つ知識ということを意識して作りました。各章は 10～20 ページ程度なので、気軽に読める分量ですが、内容は濃いものになっています。ここでの知識をベースとすれば、より高度な専門書や実務書にもスムーズに入っていくことができるはずです。また、実生活で直面する地盤の問題にも役立つ内容ともなっています。

本冊子をきっかけとして、土・地盤に対して興味を持っていただければ幸いです。

目次

第1編 地盤調査の基本的な考え方

松島 亘志 (筑波大学)

| | |
|---------------------|-----|
| 1. はじめに ～地盤工学と地盤調査～ | 1-1 |
| 2. 地盤工学の概要 | 1-2 |
| 3. 地盤調査の概要 | 1-5 |
| 4. 地形・地質との関わり | 1-6 |
| 5. おわりに | 1-9 |

第2編 茨城県の地形・地質

伴 夏男 (基礎地盤コンサルタンツ(株))

| | |
|--------------------------|------|
| 1. はじめに ～茨城県の地域的背景～ | 2-1 |
| 2. 茨城県の地形区分と地質概要 | 2-1 |
| 3. 茨城県のおいたち | 2-3 |
| 4. 茨城県の地質 | 2-8 |
| 5. 茨城県の地震活動 | 2-15 |
| 6. おわりに ～地域の土木地質に関わる諸問題～ | 2-18 |

第3編 建築編 (高層ビルから戸建て住宅まで)

松本 政文 (株式会社 総合地盤研究所)

| | |
|-----------------|------|
| 1. はじめに ～本編の目標～ | 3-1 |
| 2. 地盤調査の必要性 | 3-2 |
| 3. 建築物の分類 | 3-6 |
| 4. 地盤調査の計画 | 3-10 |
| 5. 地盤調査の適用 | 3-15 |

第1編 地盤調査の基本的な考え方

1. はじめに ～地盤工学と地盤調査～

私達は地面の上で生活している。地面は、私達の様々な生活基盤(家、学校、道路、鉄道、堤防など)を支えている。正確に言えば、地面とは深さ方向に広がっている「地盤」の表面であり、いろいろな構造物を支えているのは「地盤」である。

例えば、新しいビルを建てようとする場合、その場所の地盤が十分「強く」ないと建物はズブズブと沈んでしまう。だから、事前に地盤の強さを測り、もしも表層部分の強さが十分でなければ、もっと深いところにある強い地盤まで杭を打つなど、作り方を工夫して建物を支えなければならない。

このように、私達の生活の安全を確保するために必要な、地盤に関する知識を体系化した学問を「**地盤工学**」と呼ぶ。

地盤工学の歴史は、人類が自らの住居を造りはじめた頃までさかのぼることができる。洪水を防いだり、農地に水を引いたり、橋や道路、鉄道を造ったりと、人間が住み良い環境を作っていく過程で、地盤工学は、はじめは経験的に、近代になってからは科学的に築き上げられてきた。例えば、地面に建物を建てたとき、その下の地盤のそれぞれの場所に、どのくらいの力がかかるのか、という問題は、実はとても難しい数学と力学を必要とする。現在の様々な構造物の設計基準(構造物を安全に作るためのルール)は、そのような知識・技術の積み重ねの上に作られている。

ただ、高度に技術の発達した現代においても、「地盤工学」の予測精度は、車や建物自体の強さの予測精度に比べて大きく劣っており、毎年のように豪雨による斜面災害や地震による道路の崩壊などが発生している。道路などは壊れたら直せばよい、という考え方もあるが、どこが壊れるかを予測できなければ、重要度に応じた効率的な建設計画を立てるこ

とはできない。

「地盤工学」の予測精度が上がらない最も大きな原因は、「**地盤が空間的に不均質である**」ことによる。地盤は鉄やコンクリートなどの人工材料と異なり、**自然の材料**であり、その強さは場所によって、また深さ方向にも大きく異なる。それに加えて、地盤は土や岩などと水、空気が混ざった材料であり、粘土と砂で性質が大きく異なったり、大雨によって土中の水分量が増加すると強さが低下するなど、複雑な振る舞いをする。そのために、「構造物を作ったときに本当に安全か」「この斜面はどのくらいの雨で崩れるか」といった問いに、高い精度で答えることができない。

このような地盤材料の不均質さゆえ、ある場所で建設工事が行われるときには、必ず「**地盤調査**」が行われる。それも、地表面だけの調査では不十分で、穴を掘って(ボーリングと呼ばれる)、深さごとの地盤の強さを調査しなければならない。ただ、ボーリング調査には時間と費用がかかり、得られる情報も限られることから、地盤の材料の性質とその強さを完全に調査することは難しい。



図-1.1.1 ニューヨークのマンハッタン地区 ここに超高層ビルが早くから建てられたのは、地盤が強固な岩盤だったため。東京でも新宿などの山の手は地盤がよいが、上野などの下町は地盤が弱いため最近になるまで超高層ビルは建てられなかった。

そこで、地盤調査は、その場所の**地形や地質**といった情報とセットで判断することが必要となる。つまり、その場所の地盤の成り立ち(どのようにしてできたか)がわかっているならば、限られた地盤調査の結果から、材料の種類やその分布、強さなどをより正確に予測することができる。例えば、地盤はいくつもの層(地層)からできているが、それぞれの地層は、それができた年代や材料の構成が異なっている。ただ、同じ地層であれば、その部分の性質は似通っていることが予想される。また、平野部の傾斜のゆるい河川沿いの地盤は、比較的最近堆積した柔らかい地盤である、などの地形の類似性を利用することもできる。このような情報を地盤調査の結果と合わせて考えることによって、地盤調査の結果を補い、より精度の高い評価を行うことができる。

以上のことから、本編では地盤工学の概要をまず説明し、その後地盤調査法の考え方、そして、地形・地質情報の概要とそれがどのように使われるかを簡単に解説することにする。

2. 地盤工学の概要

2-1. 地盤材料

地盤工学は、地盤の元となっている材料を分類することから始まる。地盤の表層の多くは、土粒子が互いに固結していない状態で存在しており、それを「**土**」と呼ぶ。そのような土粒子が100万年以上もの長い時間をかけて固結すると堆積岩となり、それが広く連続していると「**岩盤**」と呼ばれるようになるが、地盤の強さ、という工学上の問題を考える時には、多くの場合、未固結の「**土**」が対象となる¹。

土の分類は、そこに含まれる土粒子の大きさが基本となる(図-1.2.1を参照)。一般には0.075mmを境

に**粗粒分**と**細粒分**に分ける。これは

(1)粒子が0.075mmより小さくなると、粒子と粒子の間に働く付着力²が無視できなくなり、土がバラバラになりにくくなる。

(2)粒子が小さくなると、水を通しにくくなるということから、土の性質が大きく変わるからである。いわゆる「**粘土**」は固まりで、「**砂**」はさらさらであるが、これが細粒分の多い土と粗粒分の多い土の違いと考えればよい。なお、粒径75mm以上の粒子を石分として区別するのは、主にふるいや力学試験装置の大きさの制約による。

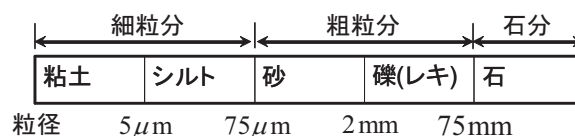


図-1.2.1 土の粒径区分とその呼び名

2-2. 水の通しやすさ(透水性)

土粒子が小さいと、土粒子と土粒子のすき間も小さく、水も通りにくい。これは細いチューブほど、チューブの壁と水との摩擦で水が通りにくくなるのと同じ事である。また、土がゆるづめか密づめかによっても、通りやすさが変わる。

水が通りにくいと、見かけの粘着力(粘り気)が現れる。粘土が塊(かたまり)となって安定に見えるのは、粘土の中の水が動きにくく、表面から空気が入っていかないからである。粘土の塊を水中に長時間放っておくと、徐々に粒子が分散していき、塊でなくなる。この分散状態に至るまでに必要な時間が、水の通りやすさ(透水性)を大雑把に表す。砂は適度に水を加えると塊になるが、これは水が粒子と粒子の接触点にくっついて、表面張力を発揮するからで

¹ あるいは、風化して亀裂の多く入った岩盤が対象となる場合もある。

² 付着力の原因は、ファンデルワールス力や静電気力、あるいは粒子間の接触点に部分的に水分が存在することによる付着力(液架橋付着力)などがある。

ある(液架橋付着力)。このような砂の団子を水に浸すと、あっという間に分散してしまう。

土木建設工事で地面を掘るときにも、同じような現象が現れる。砂地盤を掘り進めると、ある角度以上では穴の壁は崩れてしまうが、粘土地盤の場合には、穴の壁は崩れず、垂直に掘り進むことができる。ただ、それを長期間放置しておくやがて崩れてしまう。このような問題を長期安定問題と呼ぶ。

砂地盤では、粘土地盤に比べると、水を通しやすいが、地震などの短時間の現象では、やはり数 m の地盤中を水が抜けるのに時間がかかるため、いわゆる「**液状化現象**」が発生する(図-1.2.2 を参照)。

ダムや河川堤防の建設、あるいはトンネルの掘削工事などでは、浸透破壊現象も問題となる。これは、地盤中を水が流れるときに水から地盤が受ける力によって、土が水と共に吹き出してきて、ダムや堤防が壊れる現象である。

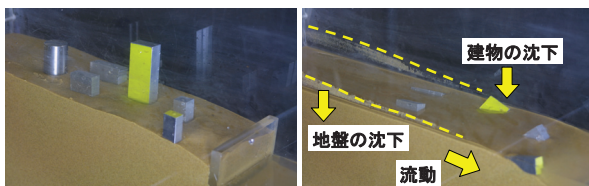


図-1.2.2 上 液状化は実験室で簡単に再現することができる。水中で緩く堆積させた地盤模型の表面に建物模型を置き、振動を加えると、地盤が液状化して建物がズブズブ沈む。海岸線沿いで堤防が地震で破壊されていると、広い地域で、土砂が海側に流動する。

下 液状化で傾いた建物

2-3. 粘土の圧密

粘土鉱物同士は、表面の原子配列が規則的であるため、特別な電気化学的な斥力が作用している。そのため、粘土地盤は間隙の量が砂地盤に比べて大きいことが多い。そのような地盤上に構造物を作ると、その構造物の重みで粘土地盤は圧縮する。しかし、前節で説明したように粘土の中を水が移動するには時間がかかるため、この圧縮は数年ないしは数十年という長い時間をかけてゆっくりと進行する。これを粘土の「**圧密現象**」と呼ぶ。埋め立て地の造成などで発生するほか、地下水の汲み上げによっても「圧密」による地盤沈下が発生する。これは汲み上げによって地下水位が下がり、地下水面から上に出

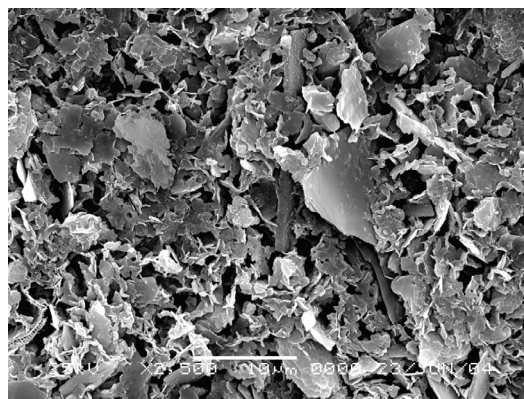


図-1.2.3 粘土の電子顕微鏡写真。薄い板状の結晶が複雑に入り組んでいるのがわかる。

てしまった地盤の重みのうち、それまで浮力によって支えられてきた分までを下の地盤が受け持たなければならなくなるためである。

河川や海底で堆積した粘土の上に、別の新しい地層が堆積した場合、または上述のように地下水が低下した場合、その粘土地盤は圧密される。その後、侵食によって上の地層が削られたり、地下水位が上昇した場合には、粘土地盤に加わっていた力が解放され、地盤は逆に膨張する。しかし、この膨張量は、圧密量に比べて極めて小さく、地盤は元の状態には

戻らない。これは、図-1.2.3 のような複雑な粘土粒子の堆積構造が圧密によって変化し、それが元に戻らないからである。その粘土を再度圧密させると、以前圧密された時の最大荷重までは粘土はほとんど圧縮せず、それ以降、急に大きく収縮する。つまり、自然の粘土地盤を取り出して、圧密させる実験をすれば、その粘土地盤が過去に受けた最大の荷重を知ることができる。

このように、以前大きな圧密を受けており、その時の荷重までは大きな圧縮が生じない粘土を「**過圧密粘土**」、そうでなく現在受けている荷重がこれまで受けた最大荷重であるような粘土を「**正規圧密粘土**」と呼んで区別する。これは、その地盤に構造物を建設したときの沈下具合が異なるからである。

2-4. 土の強さ

前節の圧密現象では、圧縮と共に土は密に詰まってくるのでどんどん硬くなり、長い時間かかるものの、最終的には沈下は止まる。一方、構造物を作ったと

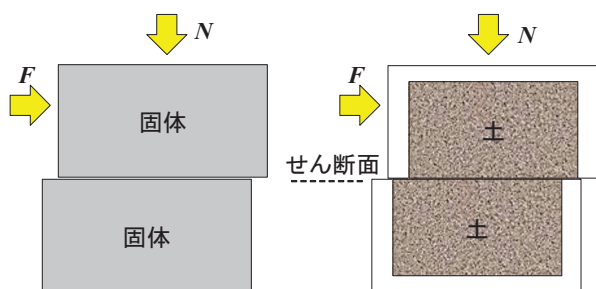


図-1.2.4 固体同士を拘束力 N で押しつけた状態で横に滑らせようとするとき、滑り出す時の力 F は N に比例する。これはいわゆる摩擦の問題で、比例定数 μ は静止摩擦係数と呼ばれる ($F = \mu N$)。

砂を容器につめて同様の実験を行った場合にも、 F と N の比例関係は観測される。地盤工学では $F = N \tan \phi$ と書き、 ϕ を砂のせん断抵抗角または内部摩擦角と呼ぶ。つまり、上記の μ が $\tan \phi$ に対応している。

粘土の場合には、拘束圧を 0 にしても、滑り抵抗が発生する。これは粘土粒子間の付着力に起因する抵抗で粘着力 c と呼ぶ。上記の摩擦の式と合わせて $F = cA + N \tan \phi$ となる (A はせん断面の面積)。

き、短時間に下の地盤が「滑って」破壊に至る場合がある。これは斜面が降雨時に一気に滑り落ちるのと同じ現象で「滑り破壊」あるいは「せん断破壊」と呼ばれる。この特徴は、地盤中に「せん断面」が発生し、その面を境に、上にある土塊が移動するものである。土塊を動かす駆動力は、新たに建設した構造物の自重であったり、斜面なら土塊の重さそのものであったりする。

砂地盤に形成されるせん断面では、いわゆる「**摩擦の法則**」が成り立っており、滑りに必要な力は、せん断面に垂直な方向に土塊を押しつける力(拘束圧)に比例する(図-1.2.4 参照)。この比例係数(摩擦係数) μ を、 $\mu = \tan \phi$ の角度で表し、 ϕ をせん断抵抗角あるいは内部摩擦角と呼ぶ。大雑把に言えば、砂で作った模型地盤を傾けていき、地盤が滑り出す角度(安息角と呼ぶ)が、このせん断抵抗角に相当する。砂粒子が角張っているほど、また地盤が密になっているほどせん断抵抗角は大きくなる。

粘土地盤の場合、水が十分抜け出せるほどゆっくりと構造物を建設すればほとんど砂地盤と変わらない振る舞いをする(ただしせん断抵抗角は砂地盤に比べて一般に小さい)が、実際にはそのような建設工事は不可能である。短時間で上からの荷重が増加した場合、水が十分に抜けないことから、荷重は水圧によって受け持たれる。一方、滑りを発生させようとする力(せん断力)に対して水が抵抗できる摩擦力は、土の抵抗力に比べて格段に小さい。そのため、結局、土が受ける拘束圧は変化せず、せん断力のみが大きくなる。これにより、建設直後がもっとも滑りやすくなり、時間が経過し、水が抜けるほど安定になる。このような問題を短期安定問題と呼ぶ。

2-5. 地盤の破壊

前節のような滑り破壊は、滑り面が地盤の中を貫通

して発生する。それがどこを通るかの計算はそれほど簡単ではない。仮想的な滑り面の位置はいろいろと設定できるが、その位置によって、その滑りが発生するときの抵抗が変わる。そして実際は、その抵抗が最も小さいような滑り面の位置で破壊が発生することになる。もっとも簡単な解析方法は、滑り面を円弧と仮定して、上の滑る土塊を短冊状に分割してそれぞれの底面に作用する垂直力とせん断力の和が限界値に達している、という仮定から計算す

る方法であり、分割法と呼ばれる。2次元の場合には、コンピュータがなかった時代から図解で計算されていた。現在は、コンピュータを用いてもっと複雑な計算から地盤の破壊の限界値を求めることも可能となっている(図-1.2.5 参照)。

3.. 地盤調査の概要

地盤を構成する材料(粘土、砂、礫)の種類や、間隙の量、またその結果としての地盤の透水性、圧縮性、せん断強度などの情報は、さまざまな構造物を作る

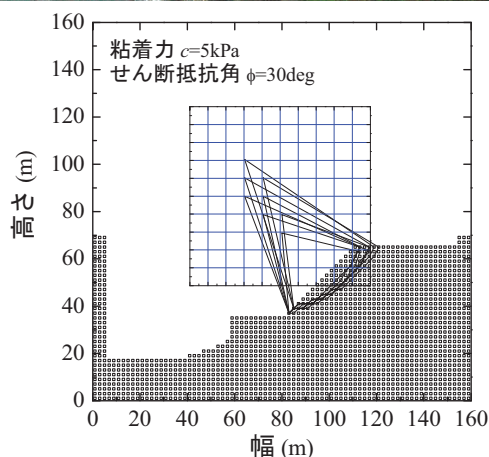


図-1.2.5 上:新潟県中越沖地震(2007)において、JR 青海川駅付近で発生した斜面崩壊事例(写真:朝日航洋(株))
下:上記の斜面の円弧滑り解析の例。様々な位置と半径の円弧を設定して地盤の滑り抵抗を計算し、より抵抗の少ない円弧に沿って滑りが発生すると考える。地盤に与える物性値は、せん断抵抗角 ϕ および、主に水の抜けにくさによって生じる見かけの粘着力 c 。 ϕ が大きく c が小さいときには、砂山のように表層で滑る。逆に c が大きいと、斜面の深いところで滑る。



図-1.3.1 標準貫入試験の様子(写真左上)と用いるハンマー(右上)、2つ割りのサンプラー(中)と得られた土質試料の例(下)

際に必要となるものである。ただ、前述のように地盤材料は自然の材料であり、場所や深さによって性質が大きく異なる。従って、建設工事が行われる際には、その場所の地盤の性質を調べる地盤調査が必ず行われる。

広域に地盤の物性の「変化」を調べ、地層構造や断面などを推定する際には、反射法探査など、穴を掘らない物理探査法が用いられることもあるが、構造物を作るための地盤調査では、たいていの場合、地盤に穴を掘り(ボーリング)、試料を採取したり(サンプリング)、貫入抵抗により地盤の強さを計測することが行われる。我が国で最も広く行われている調査法は**標準貫入試験(JIS A 1219)**と呼ばれるもので、直径6~13cm程度の穴を掘りながら、1m程度の深さごとに、所定のサイズのサンプラー(金属の円筒。後で試料を採取できるように2つ割りのピースからできている)をハンマー(質量63.5kg±0.5kg)の落下衝撃によって貫入していく試験である。そこで得られるN値という数値は、サンプラーを30cm貫入させるのに必要な落下回数である(図-1.3.1参照)。

貫入後、サンプラーを引き上げて、円筒の中に詰まった試料を観察することで砂か粘土かなどの材料情報を得ることができる。また、サンプラー内に薄い円筒管を入れておくことで試料の乱れを防ぎ、密度を計測することも行われている。ただし、採取した試料を用いて実験室で載荷試験をしても、採取時の乱れの影響が出過ぎて適切な評価はできない。そのような乱れの少ない試料を採取するには、特殊なサンプラーを必要とする。

また、実験室で採取試料の力学試験を行うことは、多くの時間と労力を必要とすることから、通常は上述のN値から地盤のせん断強さなどを推定することが行われている。

標準貫入試験は、衝撃による貫入試験であること

から、粘土地盤では地盤から水が抜ける時間のない条件(非排水条件)でのせん断強度と関係している。

一方、砂質土の場合には、深くなって上の土から押しつける力(上載圧)が大きいほどN値は大きくなるため、N値からせん断抵抗角を求める際には、その補正が必要となる。

更に、標準貫入試験のサンプラーは外径51mm、内径35mmであるため、大きい礫を含む地盤では、先端が礫に当たって、それを破碎しながら貫入するときに非常に大きなN値となるなど、地盤の平均的な性質を適切に表せない場合もある。

4. 地形・地質との関わり

地盤調査によって得られる情報には限りがあるため、通常は地形や地質の情報を合わせて、より精度の高い推定を行う。そもそも、地盤の性質が場所によって異なるのは、その地盤がいつ、どのようにしてできたかが、異なるからである。このような地盤の成り立ちを調べるのが地形学・地質学である。

4-1. 基盤岩の成り立ち

地球の表層部分(地殻)は、いくつものプレートに分かれており、それらが下部のマントルの動きに合わせて様々な方向にゆっくりと移動している。日本の周辺では、海洋プレート(太平洋プレート)が大陸プレート(ユーラシアプレート)に近づくように動いており、その境界部では海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込んでいる。この接触部において、海洋プレート表面の土砂がはぎ取られたものが陸側に幾層にも重なり合ってきた堆積物を**付加体**と呼ぶ。現在、日本の基盤岩(地盤表層の軟らかい堆積層を除いた、硬い岩盤)の多くは付加体でできたものと考えられており、プレート境界に近い太平洋岸ほど新しく、日本海側ほど古い岩盤となっている。

また、付加体は海洋プレートと大陸プレートに挟まれて圧縮され、絨毯が折り畳まれるように一部が隆起する。このような運動が日本列島の地層構造を複雑にしていると考えられている。

4-2. 侵食・運搬・堆積作用

隆起した岩盤は、風化や浸食を受け、川の水と一緒に運搬され、河川敷や海底に堆積する。その際、小さい土粒子ほど遠くまで運ばれるので、上流側から順に、礫層、砂層、粘土層というように、同じ種類の粒子がまとまって堆積して層を作る。このような作用を**分級作用**と呼ぶ。

粘土粒子の場合には、2-3 節で述べたように、特別な電気化学的な斥力が作用するが、この斥力は、陽イオン濃度が高い海水中では小さくなるため、接近した2粒子の面と端部に引張り力が作用して、すき間の大きい構造を作る。従って、海でできた粘土(海成粘土)の地盤に構造物を作ると大きな圧密が生じる場合が多い。

一般に堆積した時代が新しいほど、その地層は軟らかい。これは、年月と共に上の地層に圧縮されて密に詰まったり、粒子と粒子の間にある水から新たに結晶が析出して粒子間に充填されるなどの年代効果による。

ヒト属(ホモ属)が現れた 258 万年前以降の地質年代を第四紀と呼ぶが、この時期に堆積した土砂は未固結のことが多い。第四紀のうち、最も最近の亜氷期が終わる 1.17 万年前までを更新世、それ以降を完新世と呼ぶ。

一方、最終氷期の約 1.8 万年前には、氷河が形成され海水が減少したため、海面は現在より 100m～140m も低かったと言われている。海面が低いと海岸線が海側に移動し、陸地はより侵食傾向となる。そのようにしてそれ以前に堆積していた土砂を侵

食していた状態から、徐々に気温と海面が上昇し、海岸近くの陸地であった部分が海に沈み、新しい地層が形成される状態に変化した。そのため、1.8 万年前以前と以降の地層では堆積年代の開き(**不整合**)があることが多く、そのことから、前者を**洪積層**、後者を**沖積層**と呼んで、地質年代と分けて分類することが多い。沖積層は新しい地層であるため、特に軟弱で、土木建設工事を行う際には注意が必要となる。

なお、完新世での海面上昇は約 6000 年前にピークに達したが、そのころの海水面は現在より 3～5m 高かったと言われている。これを、その時代にちなんで縄文海進と呼ぶ。その後、海水面はやや低下傾向になり、現在に至っている。

河川勾配が緩やかになる扇状地や平野部でも土砂は堆積傾向となる。したがって、現在あるいは旧河道沿いの地層は新しく、軟弱なことが多い。砂層が緩く堆積したところでは液状化が発生する危険

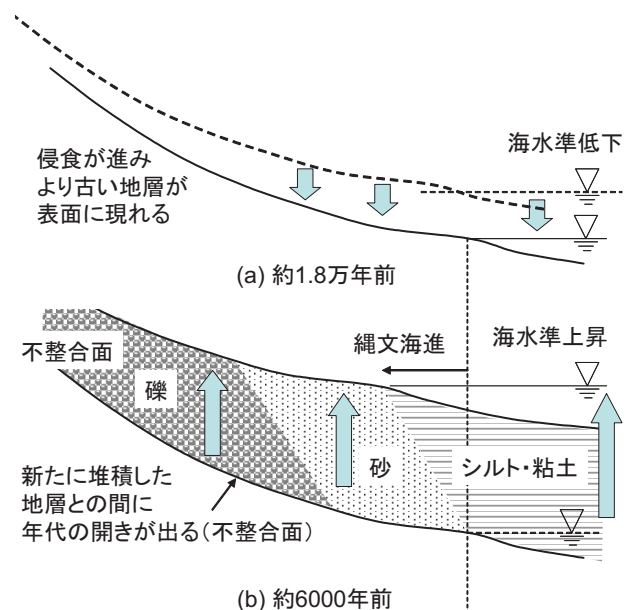


図-1.4.2 地盤の形成には地殻運動による地面の隆起・沈降と、気候変動による海面の上昇・低下が影響を及ぼす。海に近くなれば水の流れる速度が遅くなり、土砂は堆積する。速度が速いところでは小さい土粒子は堆積できないため、海から陸へ向かうにつれて堆積している粒子は粗くなる。(分級作用)

性があるため、土木工事には注意が必要である。

4-3. 火山と火山砕屑物

我が国には多くの火山がある。火山は地下のマグマが地表に噴出してできる。マグマはプレートが沈み込む場所で高い圧力・温度と水の存在によって地盤が液体状になったものと考えられている。マグマは地盤の圧力や浮力で上昇するが、地殻の硬い層に達するとそれ以上上昇できなくなり、マグマだまりを作る。更に圧力が高まって硬い層を突き破って噴出すると、マグマは急冷され、玄武岩や安山岩、流紋岩といった**火山岩**を作る。更に、噴煙と共に巻き上げられた様々な大きさの粒子(砕屑物)が、小さいものほど遠くまで運ばれて堆積する。つまり、ここでも分級作用が働く。関東地方を広く被う関東ローム(いわゆる赤土)は、東京や神奈川などの西の方は富士山や箱根の火山起源の火山灰(粘土のような細かい粒子)が堆積したもので、北関東は那須岳や赤城山からの火山灰である。火山に近いほど粒子が粗く、堆積層厚も大きい。

また、水中で堆積した火山灰は、沈降速度が小さいこと、水によって急冷されることなどから、空气中で堆積したものに比べて軟弱であることが多い。



図-1.4.1 勾配の緩やかな自然河川の周辺は、洪水時の氾濫によって堆積した軟弱地盤(氾濫源)が分布する。洪水によって河川の位置は変化するため、大きな平野を作る場合もある。

なお、関東ロームは約2万年より前の噴火による火山灰が陸で堆積したものであり、鉄分の酸化によって赤くなっている。一方、関東ロームの上に薄く広がる黒土(いわゆる黒ボク)は、同じ関東ロームが生態(植物)の作用により表土化したものである。黒色をしているのは有機質の炭素が原因である。

一方、マグマが地下から噴き出せずに、ゆっくりと冷えて固まると、はんれい岩や閃緑岩、花崗岩などになる。これが前述のプレート圧力によって徐々に隆起し、上にあった地層が侵食されて地表に出てくる場合もある。特に花崗岩は「御影石」とも呼ばれ、石材として用いられる。御影石の主な山地は六甲山、福島県伊達市、茨城県桜川市などである。

はんれい岩は硬く風化に強いのにに対し、花崗岩は節理からの水の侵入による粘土鉱物化や鉱物の膨張率の違いなどから風化が進みやすい。花崗岩が風化して粒状化したものをマサ土と呼ぶ。六甲山地の山麓には広くマサ土が堆積している。マサ化が進んだ斜面では崩壊や土石流が発生しやすいため、注意が必要となる。

4-4. 断層

プレートの水平方向圧力により、地殻にひずみが溜まり、それに耐えられなくなると地殻は破壊して地震が発生する。これは、プレートとプレートの境界で発生するプレート境界地震とは異なり、内陸地震と呼ばれる。1995年の兵庫県南部地震は典型的な内陸地震である。

このような地盤の破壊によって生じる地層の食い違いを断層と呼ぶ。断層は地表まで到達して、はっきりした断層面を示す場合や、表層の未固結地盤でずれが拡散して、明確に断層面が見られない場合もある。プレートの圧縮方向と日本列島の位置関係から、東北から北陸にかけては逆断層(上下のずれ

で、上盤側が持ち上がる断層)が多く、西日本では横ずれ断層が多いと言われている。

一度断層が形成されたところはまわりに比べて弱い面になることから、繰り返し地震を起こしてずれることが多い。このような繰り返しによるずれの蓄積で山地ができたり、既にあった山地の尾根と谷線がおおきくずれたりしている地形もある。特に、比較的新しい地層を横切っている断層は、最近まで動いていた活断層であり、再び地震を起こす危険性があるため、注意が必要である。

5. おわりに

以上、述べてきたように、建設工事を安全に、しかも効率的に行うためには、地盤に関わる様々な知識や技術が必要となる。そこには、高校までで学ぶ数学や物理、地学といった基礎知識から、大学以降で学ぶ、より専門的な知識、そして、いまだ研究の途中であるような高度な知識・技術も含んでいる。繰り返しになるが、地盤材料は自然の材料であり、その地盤が今そこにあるのは、過去何万年にもわたる自然の営みの結果である。これを完全に把握できるものと考え、それを自在に制御しようというのは不遜な考えであろう。自然を少しでも理解し、その中で私達が安全に暮らしていけるように知恵を絞る、すなわち「自然とともに生きる」という謙虚な考え方が重要だろう。

参考文献：より深く学ぶために

- 1) 安田進, 山田恭央, 片田敏行: 大学土木 土質力学, オーム社, 1997.
- 2) 事例で学ぶ地質の話 ー地盤工学技術者のための地質入門ー, 地盤工学会, 2005.
- 3) 松本良, 浦辺徹郎, 田近英一: 惑星地球の進化、放送大学教材 1660802-1-0711, 2007.

4) 内田悦生, 高木秀雄編著: 地球・環境・資源 地球と人類の共生をめざして, 共立出版, 2008.

平野の大半は、標高 20~40mほどの平らな洪積台地で、千葉県に広がる下総台地と合わせて「常総台地」と呼ばれている。この台地はさらに山地・河川等により細区分され、行政区画名称にちなんで、それぞれ那珂・東茨城・鹿島・行方・新治・稲敷・真壁・結城・猿島台地などと呼ばれている。この台地よりも一段低いところに広がる平野は沖積低地と呼ばれ、時代的には最も新しく形成された地形である。沖積低地は、利根川と鬼怒川・小貝川周辺に最も広く、桜川、涸沼川、那珂川、久慈川周辺にも分布している。

これらの広大な平野は、関東平野の約4分の1にもなり、関東地方でも最大の農業地として利用されているのをはじめ、住宅や商・工業地域の発達に役立っている。

また、那珂川、久慈川、霞ヶ浦に代表される河川・

湖沼の占める面積は県総面積の8%にもなり、水の豊富さは関東随一となっている。

茨城県の海岸は、南部では鹿島灘に面する比較的単調な砂浜海岸が続き、中央部の大洗～那珂湊付近では、巨大爬虫類が闊歩した白亜紀時代の岩石が露出している。北部では、北茨城の五浦海岸を中心にした海岸段丘や海食崖と呼ばれる地形が発達し、景観美に富んだ海岸線を形成している。

茨城県に分布する主な地層とその対比を表-2.2.1に示す。

山地は日本最古ともいわれる変成岩類や古生代～中生代の地質と花崗岩類の古い岩石から構成され、火山は存在しない。特に稲田石で有名な笠間・真壁付近に産する花崗岩類は質・量ともに優れ、商品としての需要も高い。また特殊な地質としては高萩～北茨城の常磐炭田地質、日立の鉾床地質がある。

表-2.2.1 茨城県に分布する主な地層とその対比¹⁾

| 地域 | | 八溝山地とその周辺 | | | | 阿武隈山地とその周辺 | | | 県南西部の台地と低地 | | | |
|-------------|------|---|-------|-------|--------|------------|----------|---------|------------|----------|---------|--|
| 地質時代 | | 大子～山方 | 山方～太田 | 緒川～大宮 | 御前山～水戸 | 筑波 | 磯原～日立 | 日立 | 大洗 那珂湊 | | | |
| 新 生 代 | 第四紀 | 沖積層(完新統) | | | | | 沖積層(完新統) | | | 沖積層(完新統) | | |
| | | 関東火山灰層 | | | | | 関東火山灰層 | | | 関東火山灰層 | | |
| | | | | | | | 茨城粘土層 | | | 常総粘土層 | | |
| | | | | | | | 見和層 | | | 成田層 | | |
| | | | | | | | 初崎層 | | | 敷層 | | |
| | | | | | | | 離山層 | | | | | |
| | | | | | | | 阿字ヶ浦層 | | | | | |
| | | | | | | | 日立層 | | | | | |
| | | | | | | | 磯崎層 | | | | | |
| | | | | | | | 多賀層 | | | 殿山層 | | |
| | 第三紀 | 上部 | 久米層 | | | | | | | | | |
| | | | 源氏川層 | | | | | 瓜蓮層 | | | 水戸層・飯富層 | |
| | | | 瑞竜層 | | | | | 荒屋層・坂地層 | | | 那珂西層 | |
| | | | 大門層 | | | | | 那珂層 | | | 根本層 | |
| | | 中部 | 小生瀬層 | | | | | 玉川層 | | | 石塚層 | |
| | | | 百代田層 | | | | | 男体山集塊岩 | | | 勝見沢層 | |
| | | | 滝倉層 | | | | | 世喜層 | | | | |
| | | | 浅川層 | | | | | 七ツ金属 | | | 桜本層 | |
| | 下部 | 浅川層 | | | | | 田代層 | | | 小貝野層 | | |
| | | 金ヶ沢層 | | | | | 西ノ内層 | | | 国長層 | | |
| 栃原凝灰岩層 | | | | | 保内礫岩層 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 中生代 | 白亜紀 | 八溝火成活動 | | | | | 筑波火成活動 | | | 阿武隈火成活動 | | |
| | | | | | | | | | | 那珂湊層 | | |
| | ジュラ紀 | 八溝層群 | | | | | | | | 大洗層 | | |
| | | <ul style="list-style-type: none"> 鳥山層 鷲ノ子層 八溝山層 鷄足山層 国見山層 | | | | | | | | | | |
| | 三疊紀 | ? | | | | | 笠間層群 | | | 筑波変成岩類 | | |
| | | | | | | | | | | 日立古生層 | | |
| 古生代 | | | | | | | | | 西堂平変成岩類 | | | |
| | | | | | | | | | 竹貫・御所変成岩類 | | | |
| 先カンブリア代 | | | | | | | | | | | | |

洪積台地は、一般に「あかつち」と呼ばれる関東ローム層（関東火山灰層）が広くその表層部を覆い、その下には火山灰質粘土を主体とする常総粘土層、砂質土を主体とする成田層へと続くのが一般的な地層構成であるが、場所により砂礫層を間に挟む場合もある。茨城県に分布する関東ローム層は比較的新しい時代に堆積したもので、東京付近の立川・武蔵野ロームと対比され、主に浅間山・赤城山から飛来したものだといわれている。また、成田層という名称は同時代に堆積した地層の総称として用いられることが多く、例えば水戸付近では成田層に対比される地層を見和層と呼んでいる。

一方、低地ではやわらかい粘土を主体とするいわゆる軟弱層が堆積している。これらは主として、今から1万年以上も前に流れていた河川の浸食によりできた谷が海水位の上昇に伴い埋積されたもので、深さ40m以上に達するところもある。



図-2.3.1 本州中央部の新第三系地質構造図²⁾

3. 茨城県のおいたち

茨城県の大地についての特色はその地質構造にある。久慈川は直線的に北上して福島県の棚倉地方に延びているが、ここには棚倉構造線という大地質構造帯があり、著しく破砕された地質が分布していて、棚倉破砕帯と呼ばれている（図-2.3.1 参照）。また、鬼怒川水系や那珂川は八溝山系の栃木県側に入ると、一斉に北の方にその流路を向けている。これは、鬼怒川地溝帯と呼ばれる地質構造によるものである。

前述したように、常総台地は幾つかの台地に分割されていて、東側の鹿島台地では標高+40m程度を示すが、内陸側の行方・新治・稲敷・結城・猿島の各台地は西方向にその高度を下げ、古河付近では標高+15m程度となる。これは、関東構造盆地と呼ばれる地殻変動によるものと考えられている。

表-2.3.1 には地質時代の区分と主なできごとを示した。この中で茨城県の地質に関連することを以下に述べる。

3-1 最古の变成岩類（阿武隈山地）

阿武隈山地に分布する御齊所・竹貫变成岩類は日

表-2.3.1 地質時代の区分と主なできごと¹⁾

| 地質時代 | | 絶対年代 単位 100万年 | 日本 | 茨城県 | |
|-------------|--------|---------------------|-----------------|--|-------------|
| 新 生 代 | 第四紀 | 1.17 万年 | 島弧変動 | 縄文海進 | |
| | 更新世 | 2.58 | | 下末吉海進 | |
| | 新第三紀 | 鮮新世 | 6 | グリーンタフ変動 | びょう風ヶ浦海進 |
| | | 中新世 | 26 | | 久米海進 |
| | 古第三紀 | 漸新世 | 37 | | 海底火山活動、多賀海進 |
| | | 始新世 | 53 | | 棚倉破砕帯の活動 |
| 暁新世 | | 64 | 四万十地向斜 日高地向斜 | 常盤地方の海進 | |
| 白亜紀 | | 136 | | 那珂湊白亜系の堆積 阿武隈・八溝・筑波の火成活動 八溝山地古期岩類の堆積 | |
| 中生代 | ジュラ紀 | 190 | | | |
| | 三疊紀 | 225 | 本州造山運動 | | |
| | 二疊紀 | 280 | | 茨波周辺古生層の堆積 | |
| 古 生 代 | 石炭紀 | 345 | 本州地向斜 | 日立古生層の堆積 | |
| | デボン紀 | 395 | | | |
| | シルル紀 | 440 | | | |
| | オルドビス紀 | 500 | | | |
| | カンブリア紀 | 570 | 飛驒大陸時代 | | |
| 先カンブリア代 | | | | 御齊所・竹貫变成岩類 西堂平变成岩類 | |

本最古とも言われる岩石である。中生代に花崗岩の貫入を受けて変成岩となっており、やや不明な点もあるが、先カンブリア代の堆積岩が原石と考えられている。

3-2 古生代～中生代

中生代三畳紀には本州造山運動が起こり、茨城県では八溝山地の中生代地質が形成される海の時代である。ただしその堆積岩は沿岸性のもので、恐らく阿武隈山地辺りが供給地と考えられ、茨城県にも陸地があった可能性がある。関東地方では、この時代の中生層について未だ不明な部分があり、八溝山系は地質の鍵を握る地質ともいえる。

3-3 中生代白亜紀

白亜紀に入り、阿武隈、八溝、筑波の花崗岩貫入があり、茨城県山地の骨格ができあがる。この花崗岩の貫入で古い地質は、接触変性や広域変成作用を受ける。

この時代、茨城県では大洗、那珂湊、久慈川沿いに海進があり、恐らくこの頃棚倉破碎帯の活動が始まったためと考えられている。

3-4 新生代古第三紀（常磐炭田地層の堆積）

この時代、日本列島の大部分はアジア大陸につながる陸地であったが、茨城県から福島県の常磐地方に海進があり、常磐炭田地質の古第三紀層が堆積している。この時代の気候は高温多湿の熱帯ないし亜熱帯性で陸地に植物が豊富に繁茂しており、石炭のもととなった。

3-5 新生代新第三紀（グリーンタフ時代）

新第三紀中新世は地殻変動の激しい時代であり、中生代～古第三紀にアジア大陸とつづいていた陸地は日本海側から大きく沈み込み、海底火山の大活動が起こる。“グリーンタフ”というのは、この時代の海底火山の噴出物層をさすが、この“グリーンタフの海”には礫・砂・泥も堆積した。火山活動の

ため温泉も豊富で、この海の堆積岩は熱水作用を受けて変色し、緑色を帯びるものが多いことから、この地質区をグリーンタフ地域と呼んでいる（図-2.3.2 参照）。

グリーンタフ地域は主に東北の日本海側に分布するが、フォッサマグナに沿って伊豆の方にも分布している。栃木県の大谷石はこのグリーンタフである。茨城県も、那珂川沿い、久慈山地、さらに那珂湊、磯原の方にも分布しており、筑波・八溝山系・阿武隈山地の陸地ではほとんどグリーンタフの海が進入していたようである。

3-6 棚倉破碎帯の活動と茨城県山地の陸化

茨城県において新第三紀中新世の特記すべきことは、棚倉構造線で著しい破碎運動が起こったことである。

棚倉構造線は中生代に既に地溝帯として活動を始めていたが、グリーンタフ変動期には激しい断層群として活動し、棚倉破碎帯を形成した。そこには活発な火山活動もあり、袋田や男体山付近の集塊岩

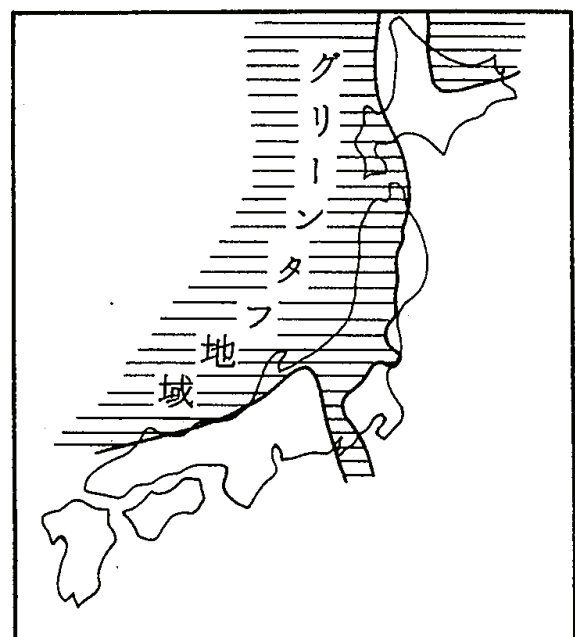


図-2.3.2 グリーンタフ地域¹⁾

を堆積した。棚倉破砕帯の活動と共に八溝山系の隆起が始まり、八溝・鷲ノ子・鶏足山塊は陸化した。一方、阿武隈山地や筑波の山地も隆起・陸化し、激しい浸食を受けた。

3-7 多賀海進・久米海進

中新世の後期でも茨城県の山地の隆起運動は続き、この時期にグリーンタフの海も陸化して久慈山地を作り上げた。こうして茨城県には海がほとんどなくなった。

しかし中新世の末期になると、再び太平洋側に海進が始まる。これが多賀海進である。この海進は、太平洋岸から常陸太田、水戸、城里から栃木県にも及ぶ台地の基盤、すなわち多賀層を堆積させた(図-2.3.3参照)。

中新世の終わりと共に多賀海は海退し、鮮新世に入ると小規模な久米海進が始まる。これは常陸太田付近までの海で久米層を堆積させるが、その後少し海退して鮮新世中～末期には日立方面のみに鮮新統地層が分布する。

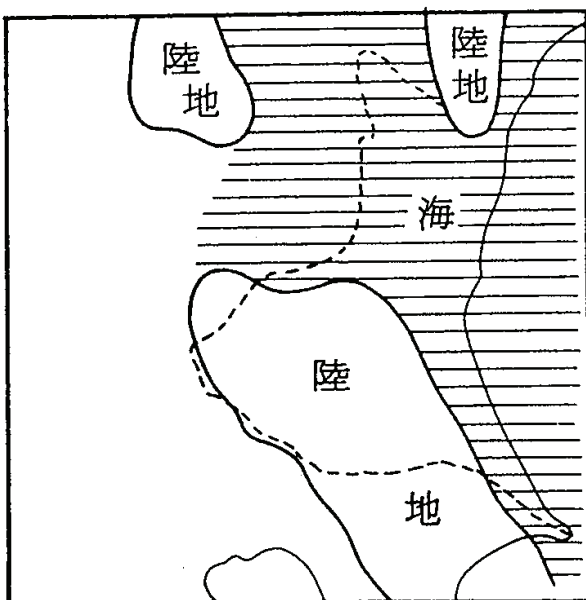


図-2.3.3 中新世末期の海進

以上が新生代新第三紀までの変動で、茨城県の大体の地形を形成した時代であるといえる。

以降、平野部ではほぼ現在の地表面地形となる、第四紀層の形成について述べる。

3-8 新生代第四紀(氷河期と関東平野の形成)

第四紀は、氷河期と人類の出現で特徴付けられる地質時代である。

この時代は、地殻運動は比較的緩やかな造陸(隆起)運動と造盆地(沈降)運動があり、氷河期と間氷期の海進・海退の歴史となる。

関東平野の地形発達で重要なのは段丘面であり、この段丘面が盆状に変形していることから関東構造盆地という造盆地運動が考えられている。

関東構造盆地の基盤となる地質は、上総層群という新第三紀鮮新世から第四紀初期の堆積岩で、この層の分布面から関東平野の地形発達が考えられている。上総層群は、茨城県では多賀海進、久米海進時に形成された地質に相当する。

(1) 下末吉海進(洪積台地の形成)

常総台地は、下末吉面という段丘面で、成田層、見和層等の地層が段丘崖で露頭している。これらの地層はミンデル・リス間氷期の下末吉海進時に堆積しており、下末吉海は関東平野の奥地にまで及んでいた(、図-2.3.4、図-2.3.5参照)。

下末吉海進の前には、ギュンツ・ミンデル間氷期に屏風ヶ浦海進があり、地蔵堂層、藪層が堆積している。

間氷期の終わりとともに海退が始まるが、その頃箱根火山が噴火し、火山灰が浅くなった下末吉海に水中堆積し、常総粘土層として成田層の上位に成層した。

(2) 武蔵野面の時代と関東ローム層

小海進を挟んでビュルム氷期を迎えると、下末吉面は完全な陸地となる。この海退は現在の海水準よ

り 130m も海水面が下がり、大陸棚が陸化した程であった。この海退で陸地は大いに浸食作用を受け、現在の大河川は深い谷となった。また武蔵野では、奥多摩の山から多摩川の大扇状地として砂礫を堆積し、武蔵野段丘面が形成されている。

この時期には、赤城山や富士山、箱根山、榛名山、那須岳等の火山活動も活発化し、噴出した火山灰がいわゆる関東ローム層として地上に降り積もった。この関東ローム層は茨城県にも飛来し、ほぼすべての大地の表面に降下・堆積した。

(3) 縄文の大海進（沖積低地の形成）

ビュルム氷期が現在の間氷期に向かい始めると、小規模な海進・海退を繰り返しながら、やがて縄文の大海進の時代を迎え、沖積層堆積の最盛期となる。

この時代の海の広がりや、図-2.3.6 に示す貝塚の分布から想定されている。

茨城では、霞ヶ浦・下妻あたりまで海成の沖積層が堆積しており、藤代や河内では深さ 40～50m の厚さに達している。

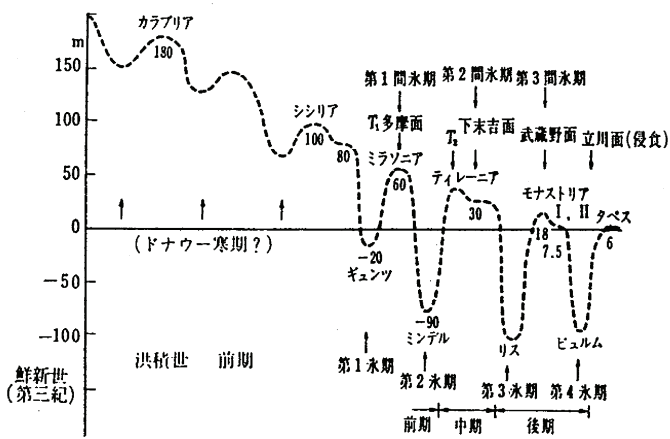


図-2.3.4 更新世における海水面の変動³⁾

約 6,000 年前のピーク後、縄文海は緩やかに海退し、現在の沖積低地が形成された。沖積低地には、河川の氾濫の度に、自然堤防や後背湿地、三日月湖、湖沼、砂丘等現在の平野地形ができあがる。茨城県の湖沼は、溺れ谷が堰き止められてできたものである。

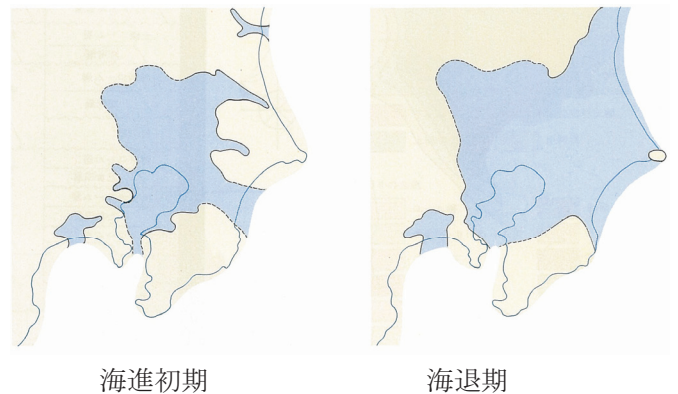


図-2.3.5 下末吉海進時の古東京湾²⁾

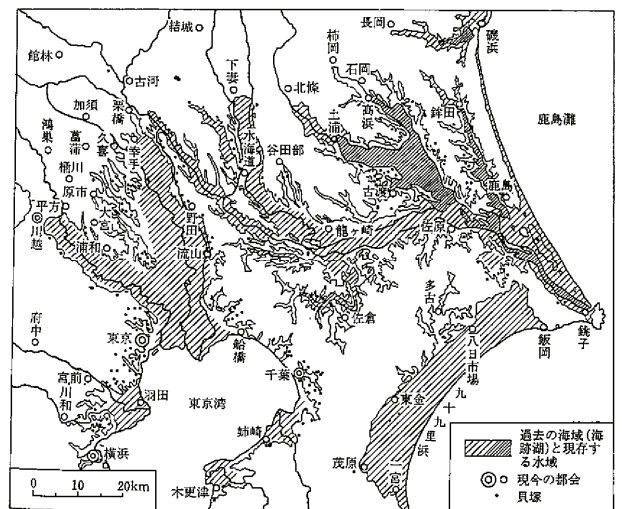


図-2.3.6 貝塚の分布からみた縄文海進時の関東地方⁴⁾

ここで、氷期～間氷期の海退～海進による、沖積低地のいわゆる軟弱層の形成過程について解説する（図-2.3.7 参照）。

今から約1万年以上も前の地球では、海面は今の高さより100m近く低い所にあった。したがって、陸地は今の陸地よりも広く、川はもっと深いところを流れていたことになる。この川が地面を削ってできた谷の深さは、今の海面より40mも低いところがあった。海面がこのような低くなっていたのは、前述したように、氷河期に地球上の水が凍り、今の南極大陸のような氷の大陸がいたるところに存在していたためである。やがて地球の温暖化が始まり、氷が解けると同時に海面が上昇した（縄文海進）。この時の海の範囲は今よりももっと広く、奥東京湾

と呼ばれた昔の東京湾は、現在の埼玉県にまでおよんでいた（前記図-2.3.6）。海面の上昇とともに、地面につくられた谷には海や川から運ばれた土砂が堆積してゆく。こうしてできあがったのが、低地に分布する軟弱層と呼ばれる地層である。もちろん、軟弱層以外の地層も同様な水の変動等により形成されるが、軟弱層は地球年令に比べると1万年程度という時間しか経過していないため、非常に軟らかい地層となっている。

下図の⑥現在に示すように、沖積低地であっても、沖積層の下位には洪積層が伏在している場合がある。またこの場合、この伏在洪積層は下図の①以前に形成された台地を構成する洪積層よりも時代的に新しい堆積層である。

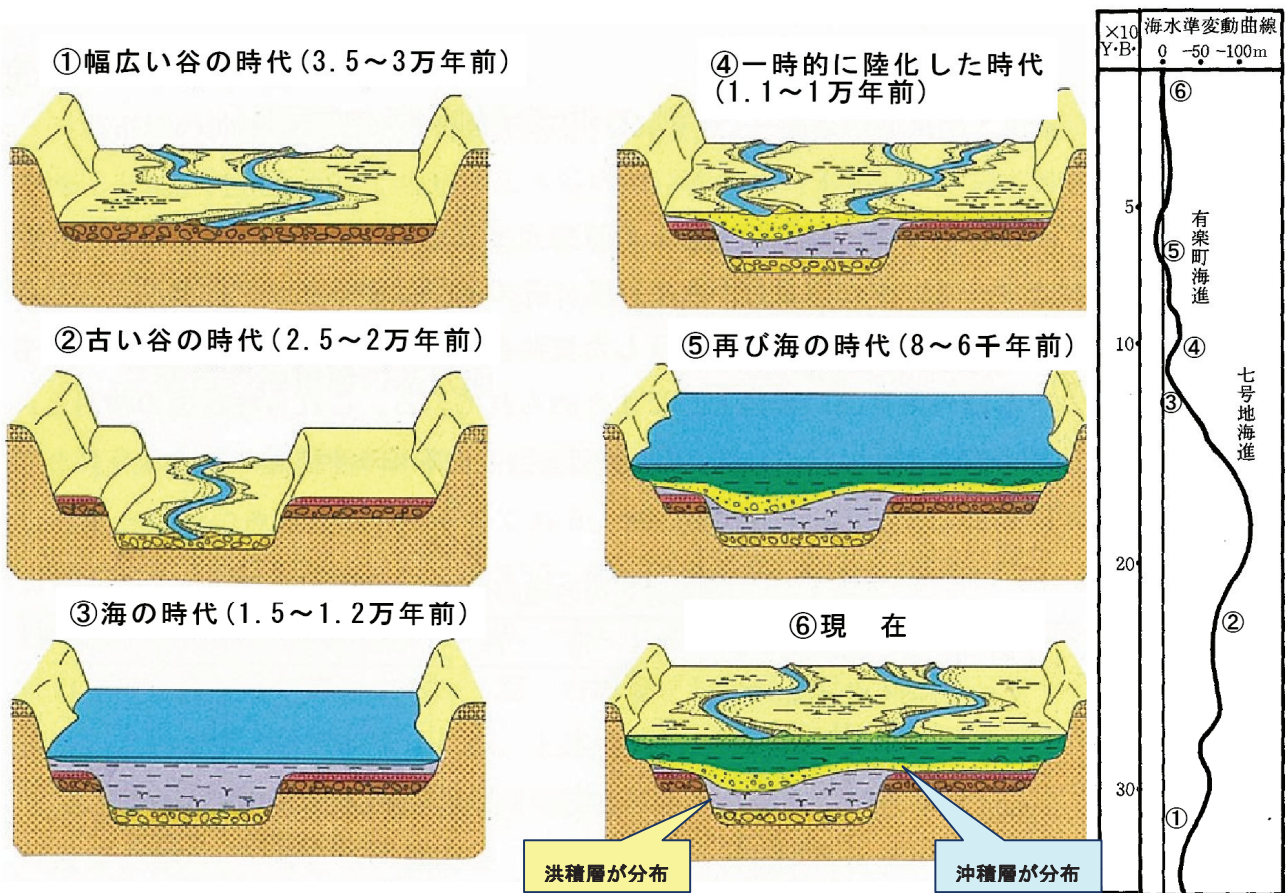


図-2.3.7 軟弱層の形成過程⁵⁾

4. 茨城県の地質

4-1 茨城をとりまく広域的な地質

図-2.4.1には南東北・北関東・信越地方の地質図を示した。

茨城県付近には赤・ピンク、薄紫、黄色で着色されたエリアと無色のエリアがみられる。各エリアの地層区分は以下のとおりである。

- ・ 赤：■、ピンク：■（花崗岩類の分布域）
- ・ 薄紫：■（中・古生代の古い堆積岩や変成岩からなる地層分布域）
- ・ 黄色：■（古・新第三紀の岩石からなる地層分布域）

無色：□（第四紀の新しい地層が分布し、まだ岩になっていない土砂堆積物が分布する地域）

大きな目で見れば、古い地層は東北地方や北関東の地層とつながりがあること、および第四紀層の分布範囲が広いことがわかる。

茶色：■は第四紀火山を示している。茨城県内に第四紀火山はないが、長野・群馬・栃木には火山が多くあり、これらの火山からの噴出物が偏西風により運ばれて堆積したものが県内のローム層の起源となっている。

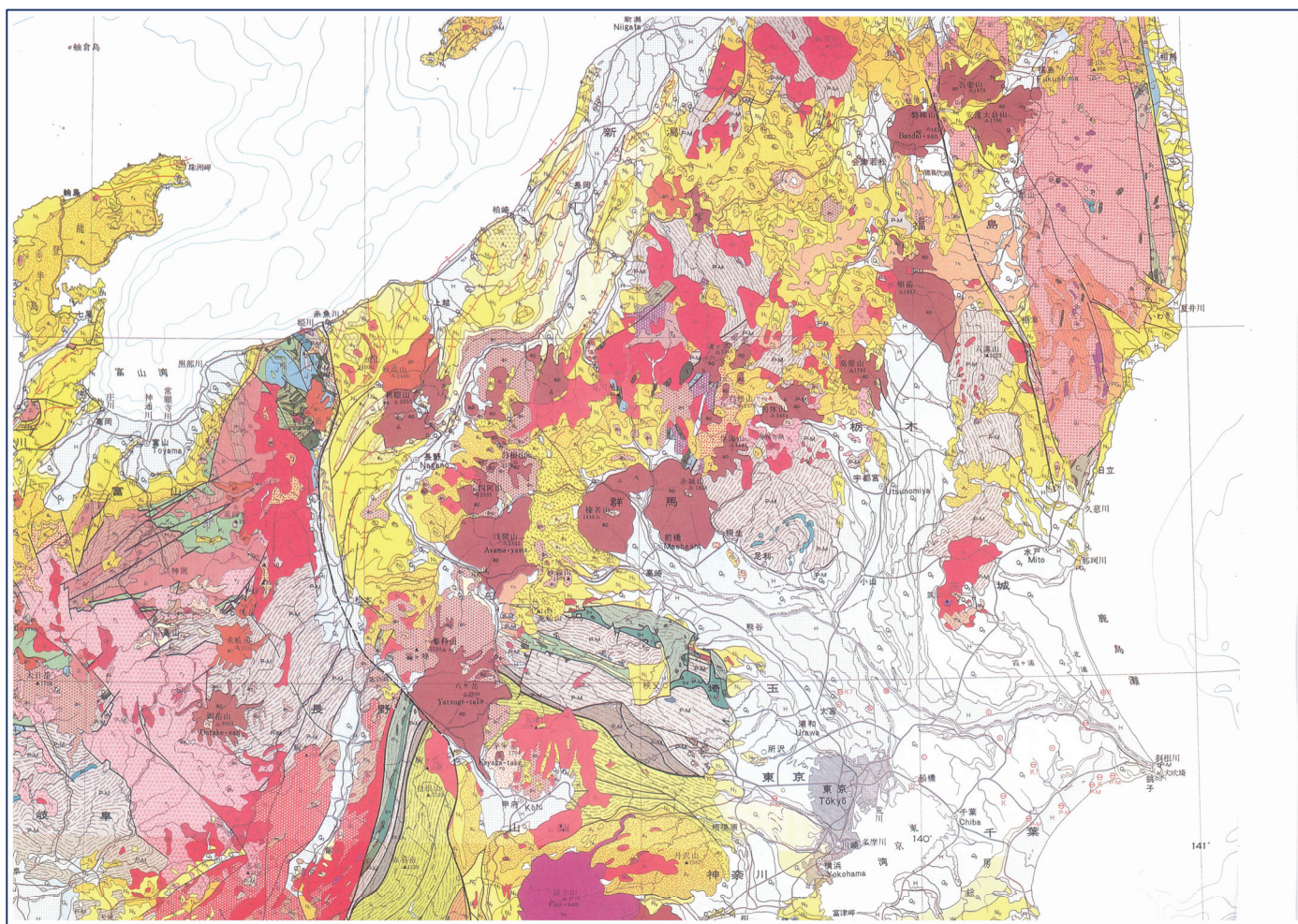


図-2.4.1 南東北・北関東・信越地方の地質図⁶⁾

4-2 茨城県の代表的な地質

図-2.4.2に茨城県の地質図を示す。

茨城県は数億年前から現在まで様々な時代の地層から構成されている。

県北の八溝山地、阿武隈山地周辺の地層は新生代新第三紀～先カンブリア代までの幅広い時代の岩盤が分布し、岩盤層が海まで達しているところでは砂浜が少なく、海食崖となっている。

また、茨城県の2/3程度は200万年前以降に堆積した比較的新しい地層である第四紀層から構成されている。茨城県内で見られる第四紀層は土砂の層が主体であり、主に平野部に堆積している地層である。ただし山間部の河床や段丘面にも河床礫や段丘礫として第四紀層が堆積している。洪積層の上面には関東ローム層が分布している。

ここでは茨城県に分布する代表的な地質を紹介する。

(1) 八溝山系の地質

八溝山系は、大子～馬頭線、那珂川の御前山でそれぞれ、北より八溝、鷲ノ子、鶏足の山塊に分割されているが、その地質は類似した地層配列で、山塊別に方向性が異なっている（図-2.4.3参照）。

これらの山地の地質は中～古生界地質で、褶曲構造の山脈が構造線で折れ曲がってできている。

この山系には、福島県境に八溝花崗岩、笠間付近の花崗岩、馬頭の班劬岩、女体山の花崗岩等、火成岩が分布している他、八溝山地の各地に玢岩の岩脈が頻繁にみられる。しかし八溝層群は非変性地質で、この地質には花崗岩類の貫入による変成作用は及んでいないため、さらに古い火成岩類と考えられている。

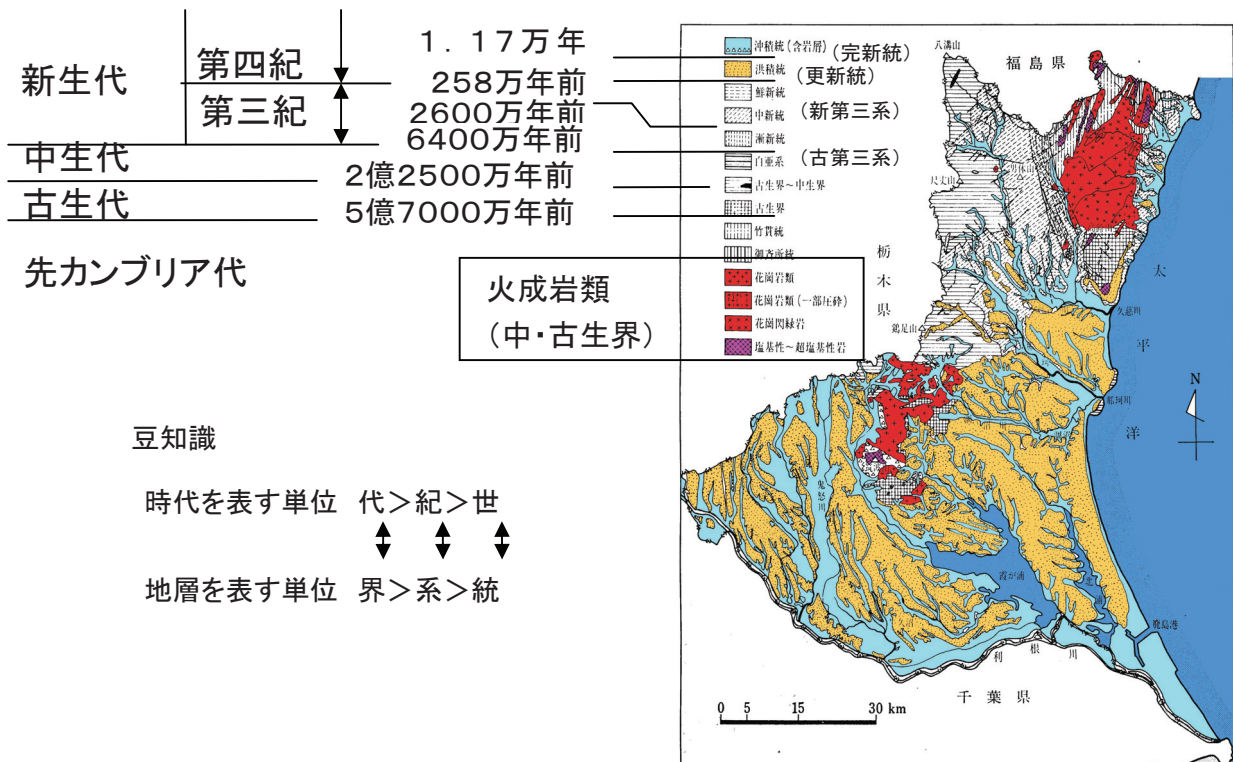


図-2.4.2 茨城県の地質図¹⁾

(2) 筑波山塊の地質

筑波山塊は八溝山系の山塊であるが、その地質は花崗岩と接触変成岩で、八溝層群地質とは大きく異なる。

筑波山（標高 876m）は、山頂付近に班斂岩が分布し、椎尾～柿岡以南に筑波型花崗岩の山塊としてそびえている。真壁の足尾山、加波山、吾国山、稲田、笠間にかかる広域に石材山地として有名な稲田型花崗岩が分布し、旧岩瀬町に上城山型花崗岩が分布する（図-2.4.4 参照）。

稲田花崗岩は細粒ないし中粒の黒雲母花崗岩で、筑波型花崗岩に貫入しており、上城山型花崗岩は稲

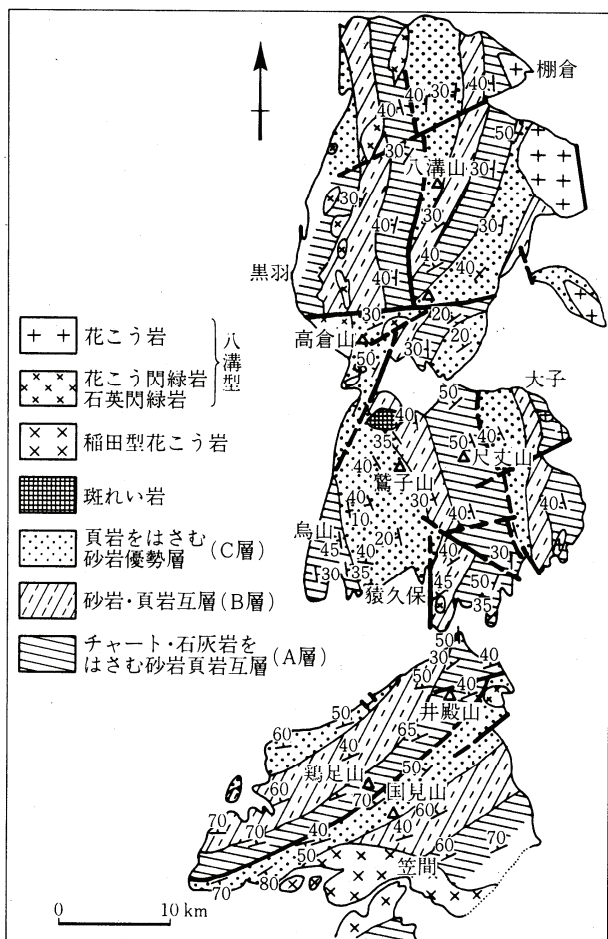


図-2.4.3 八溝山地の地質図⁷⁾

田花崗岩に貫入しているが、八溝型花崗岩とともに、その貫入活動は時期的には大差ないことが同位体年令から判明している。

(3) 那珂湊付近の白亜紀層等

大洗から那珂湊の海岸には岩礁をつくり白亜紀層が分布している（図-2.4.5 参照）。

《大洗層》

礫岩が主体で、砂岩・シルト岩を挟み、シルト岩からは植物化石を産する。この植物化石は、シュロの仲間や双子植物が多く、また中生代の地層でなければ入っていない化石も含まれ、白亜紀層と考えられている。

《那珂湊層群》

那珂湊から平磯、磯崎にかけての海岸には、アンモナイト化石が含まれる白亜紀層が分布している。

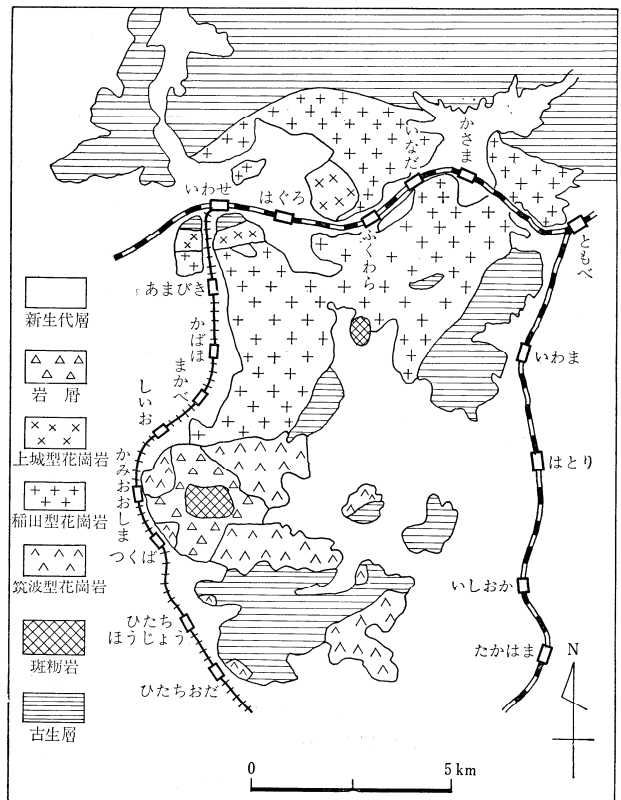


図-2.4.4 筑波山塊花崗岩の分布図¹⁾

那珂湊港付近の層は、青緑色の無層理砂岩で下部には細礫が含まれ、大洗層に似た層相を示す。磯合から磯崎では、全体的に礫岩、砂岩、シルト岩の乱堆積互層で構成され、砂岩は級化層理、葉理、ソールマーク等がみられ、シルト岩にはスランプ構造がみられ、石灰ノジュールや化石が含まれる。礫岩は大部分酸性火山岩類で、粘板岩、チャート、砂岩等、中～古生層、まれに花崗岩礫も含まれている。

《磯崎層・水戸層》

那珂湊海岸から、勝田、水戸の台地の基盤ともなっている凝灰岩質泥岩層で、海岸付近では東に10°傾斜するが、内陸に従い緩くなり、水戸付近ではほぼ水平層となっている。

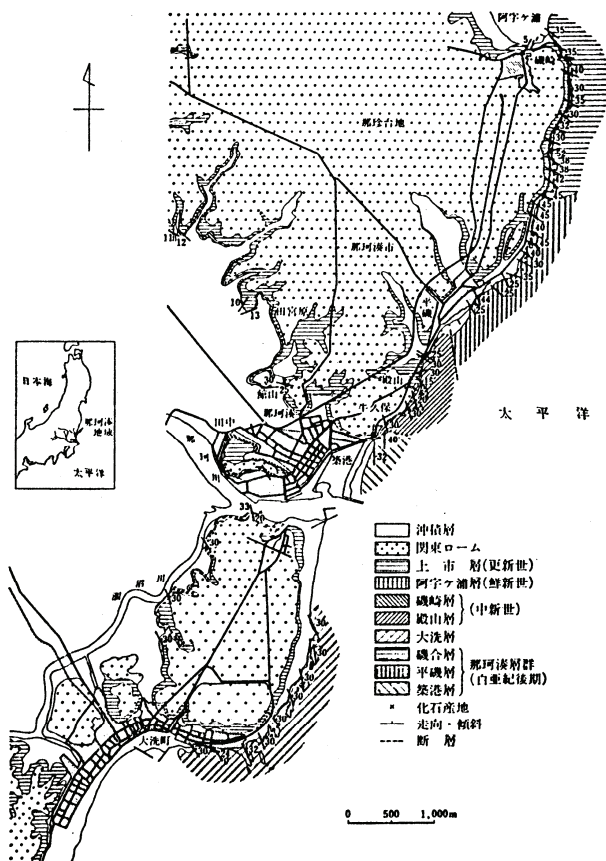


図-2.4.5 那珂湊付近の地質図⁸⁾

(層序は改訂したもの)

(4) 五浦海岸、平潟港の地質

五浦海岸は海岸段丘、海食台、海食崖の発達する風光明媚な地形を形成しており、地質は新第三紀中新統の亀ノ尾層と多賀層群である。

《亀ノ尾層》

葉状、板状層理の細かに入る頁岩層で、砂岩を互層状に挟むところもある。全体に凝灰質で、大津港付近では美しい層理の層灰岩（凝灰質頁岩）がみられる。この層はほとんど水平層である。風化すると灰白色を呈し、板状に剥がれやすく、急崖では崩壊対策が施されている。

《多賀層群》

長浜の凹地で、亀ノ尾層を不整合に覆っている（図-2.4.6 参照）。凝灰質な砂質泥岩層で、均質・塊状を呈する。

この層は多賀海進時の堆積物で、日立、多賀から水戸、常陸太田、常陸大宮方面まで堆積している。

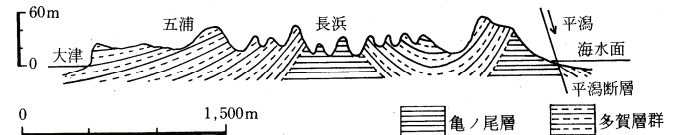


図-2.4.6 長浜付近の地質断面概念図⁹⁾

(5) 台地部の地質

茨城県に分布する洪積台地は、前述したように河川、山地等により幾つかに細区分されているが、その基本的な地層構成は同じである。ここでは水戸市を載せる東茨城台地についてその地層構成を説明する。

図-2.4.7に東茨城台地東側の模式断面図を示す。基本的な地層構成は上位より、関東ローム層、茨城粘土層、見和層が堆積しており、その下位に新第三紀中新統の水戸層（あるいは多賀層）が基盤層として堆積している。また台地主部よりも一段低い面には段丘面が形成され、ローム層の下には上市段丘礫層が堆積している。

《関東ローム層》

最終氷期であるビュルム氷期の活発な火山活動により、主に現在の浅間山・赤城山から飛来し、降下・堆積した火山灰層である。東京地方の立川・武蔵野ロームに対比され、ほとんどの台地表層を覆っている。

土の構造は綿毛構造と呼ばれ、非常に多孔質で保水性に富んでいるため、古くから農耕土として利用されている。また、土の強度もある程度兼ね備えて

おり、通常は2階建て程度の住宅であれば直接支持することができる。

《茨城粘土層》

常総粘土層とも呼ばれる、火山灰が汽水域で堆積した、水成火山灰質粘性土層である。この火山灰は上位の関東ローム層よりも古く、東京地方の下末吉ロームに対比される。

粘性が非常に強く、色は淡褐色～淡青灰色とところにより様々である。また土壌が酸性を帯びているため植生は悪く、宅地等の表層土としては適さない。

《上市段丘礫層》

那珂川や久慈川等の大河川では河岸段丘が発達しており、段丘礫層が堆積している。水戸付近の那珂川沿岸には上市段丘礫層が堆積している。

中層程度の構造物であれば支持層として期待できるが、通常は見和層の砂礫層よりは締りが悪く強度は低い。

《見和層》

台地の主部を構成する砂質土～礫質土層で、堆積環境により上・中・下の3層に区分される(図-2.4.8参照)。

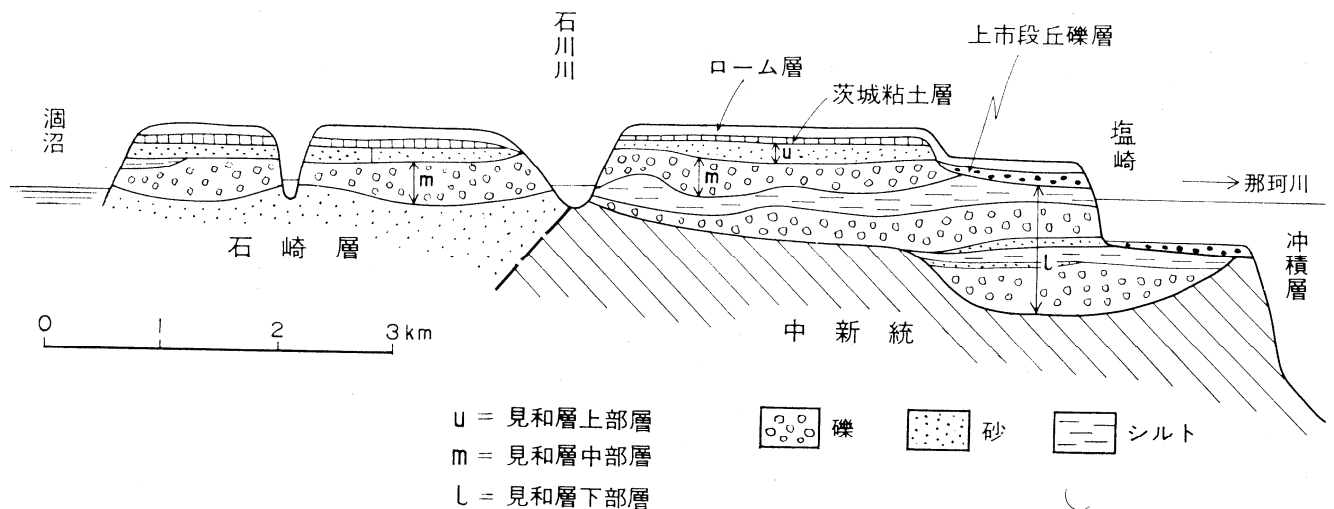


図-2.4.7 東茨城台地の模式断面図 (概ねの断面位置は図-2.4.8の赤線部)¹⁰⁾

上部層は見和層の主体を成す海成層で、その基底面は極めて平坦であり、この地層が下末吉海進のゆっくりした海面上昇に伴って形成された波食台の上に堆積した地層であることを示している。

中位程度の締りの砂質土層であり、ところによりパイプ状の生痕化石がみられる。

中部層は水戸から大洗南方にかけての一部のみに堆積する地層で、下末吉海進の途中における一時的な海面低下に際して形成された、凹地を埋める地層

とみられる。礫質土を主体とする。

下部層は、那珂台地地域も含めて、主として第三系よりなる基盤層に刻み込まれた幾筋かの細長い凹地を埋めた地層であり、下末吉海進初期の急速な海面上昇に伴う旧河谷の埋積層とみられる。

最大約 40m の層厚をもち、礫質土層およびシルト層を主体としている。

《石崎層》

東茨城台地南側で、見和層の下位に堆積する地層である。粒子均一な細粒砂を主体とし、よく締まっている。

(6) 低地部の地質

図-2.4.9 には平野部の微地形区分断面図例を示した。このように、低地部では河川による運搬・氾濫により自然堤防・後背湿地等が形成される。

図-2.4.10 には小貝川低地の地質断面図を示した。この低地は縄文海の跡であり、沖積層は河内町付近では標高40mにまで達している。そのうち、上部5m程度は陸化してからの自然堤防や後背湿地の陸成層で、それ以深は貝殻を含む海成のシルトを含む堆積物である。利根川をはじめとする同水系の鬼怒川、小貝川、桜川が開析した沖積谷には随所に埋没段丘が形成されており、桜川谷の飯田、虫掛付近には埋没ロームの堆積がある。

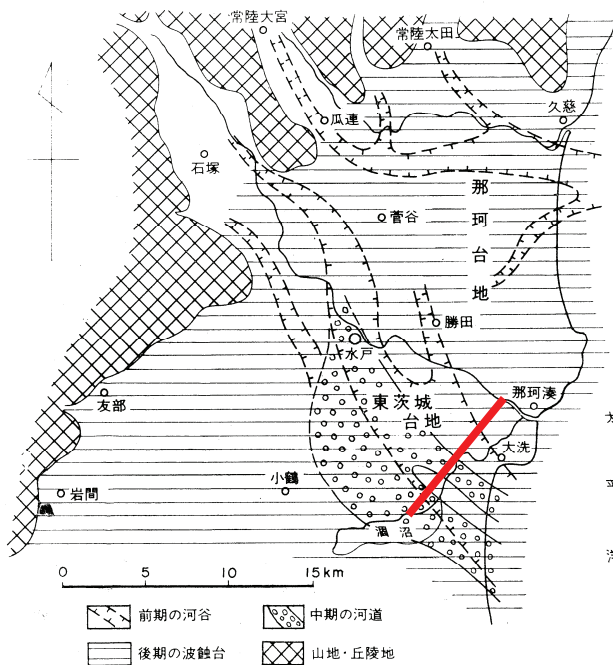


図-2.4.8 見和層堆積期の古地理¹⁰⁾

(赤線部は図-2.4.7の概略断面位置)

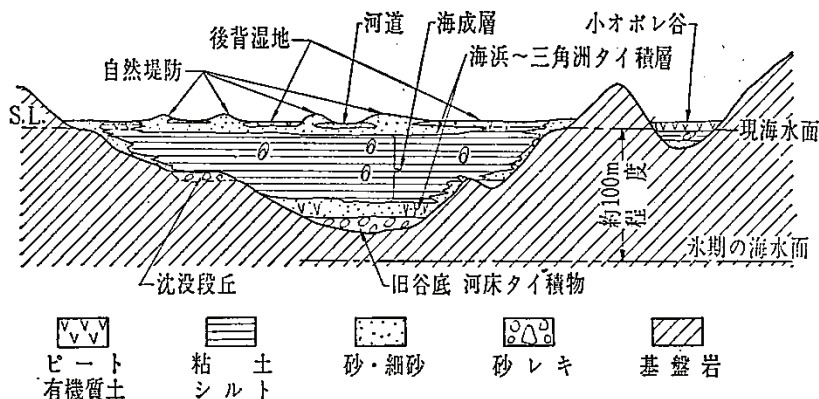


図-2.4.9 平野における微地形区分模式断面図例¹¹⁾

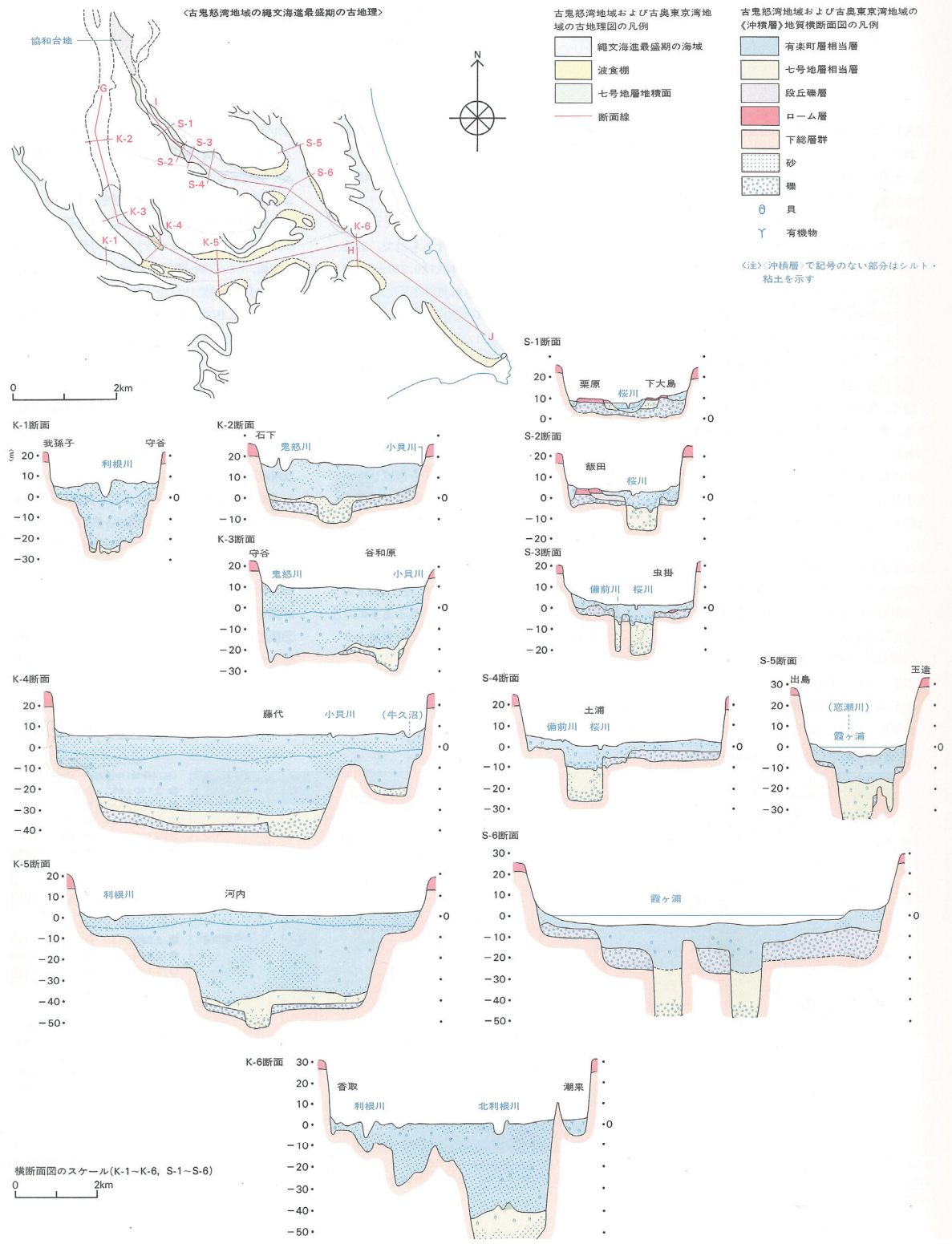


図-2.4.10 小貝川低地の地質断面図¹²⁾

5. 茨城県の地震活動

茨城県の東側海域には、太平洋プレートがユーラシアプレートの下に潜り込む日本海溝があり、いわゆるプレート性地震の発生に常にさらされている状態であるといえる。しかし、最近頻繁に災害をもたらしている地震の多くは内陸性のいわゆる断層性地震である。

ここでは、平成23年3月11日に発生した東日本大震災以前の茨城県内の活断層や過去の地震発生状況について紹介する。

5-1 茨城県周辺の活断層

「日本の活断層分布図」(図-2.5.1 参照)による

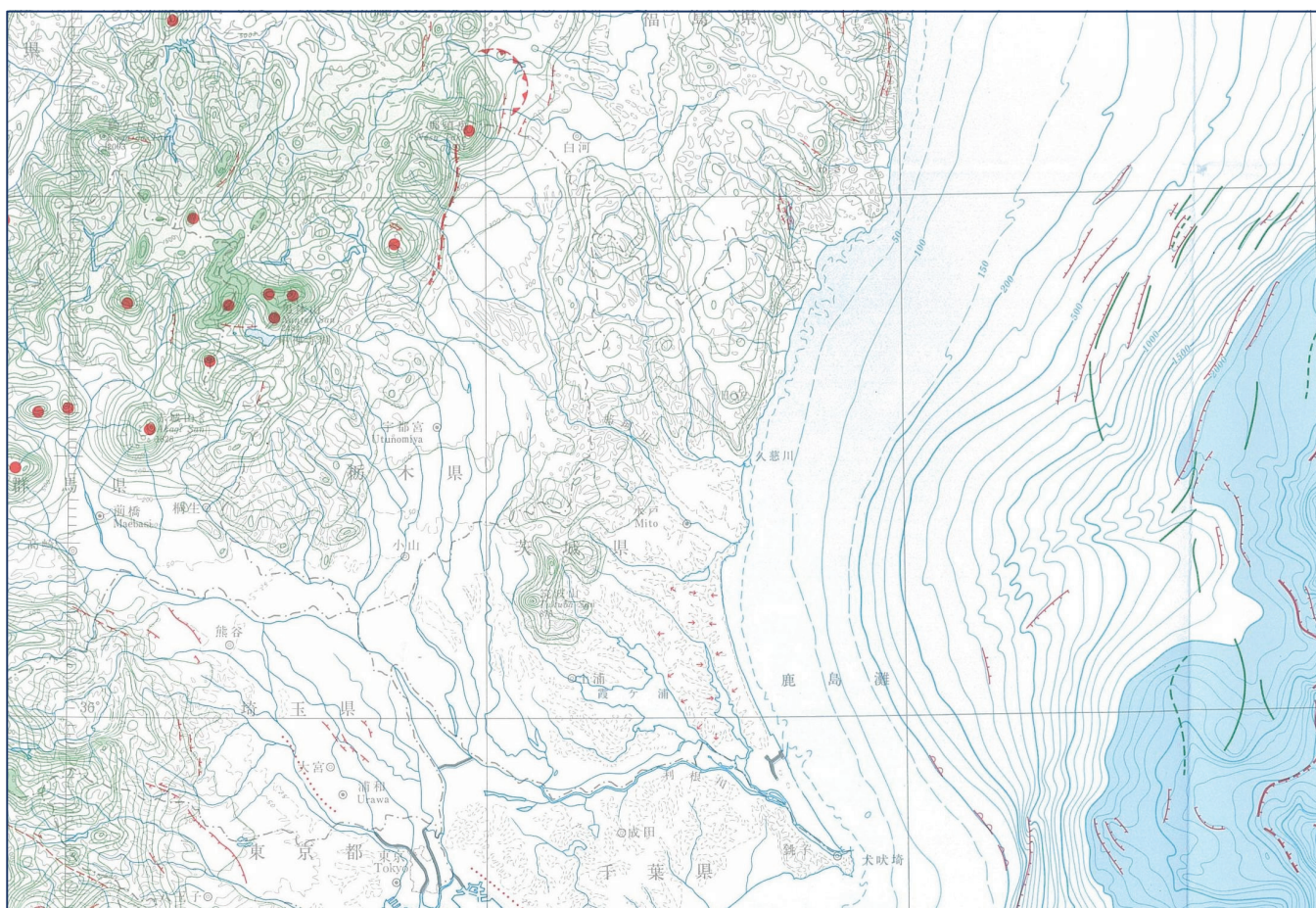


図-2.5.1 茨城県周辺の活断層分布図 (東日本大震災以前) ¹³⁾

と、茨城県内には确实度の高い活断層 (确实度Ⅰ、Ⅱ) は記述されていない。ただし、北茨城市に隣接するいわき市には确实度のやや高い活断層 (确实度Ⅱ) があるとされる。

なお、活断層と疑われる地形的特徴のある場所 (确实度Ⅲ) は旧水府村や高萩市、筑波山北部にあるとされるが、これらは組織地形や河食崖である可能性も考えられ确实度は低いとされる。海洋には多くの断層があると推定されている。なお、陸域は厚い土砂の堆積物があるため、土砂の下に未発見の活断層がないとはいえない。

5-2 茨城県周辺の地震活動

図-2.5.2に茨城県周辺の地震活動分布を示した。茨城県周辺では、海域、陸域とも地震が発生しており、玉造や稲敷では19世紀末から20世紀初頭にM7クラスの地震が発生している。

日立ではM6.5ながら30km以浅の比較的浅い震度で地震が発生している。

際に、

- ・利根川河口に近い稲敷、潮来、鹿嶋付近、
- ・取手、水海道、下妻、境付近、
- ・石岡付近、

では液状化が発生した履歴が認められている。

勿論、東日本大震災の際には、潮来、鹿嶋、神栖地域で多くの液状化が発生し、甚大な被害をもたらしたことは記憶に新しい。

5-3 茨城県周辺の液状化履歴

茨城県では、記録に残る地震では過去にあまり大きな被災を体験していない。図-2.5.3に、東日本大震災以前の茨城県周辺の液状化履歴分布を示した。これによれば、1987年の千葉県東方沖地震の

47 水戸

調査者：早川唯弘・松田時彦／早川唯弘・松田時彦
使用空中写真：KT-67-10 Y / KT-67-10 Y-5 / KT-67-10 Y-6 / KT-67-10 Y-7 / KT-75-14 Y / KT-76-3 Y

凡 例

- 陸上活断層**
- 活断層であることが確実なもの (確実度I)
 - - - 活断層であると推定されるもの (確実度II)
 - - - 活断層の疑のあるリニアメント (確実度III)
- 短線は概すれの低下側を、矢印は概すれの向きを示す。
- 伏在断層
 - ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 地震断層
 - × 露頭 ☆ レンチ調査地点
- 活 傾 動**
- 地形面の傾き下る方向
- 地 震**
- 1884年まで 1885年～1987年
- M7.0以上
 - M6.0～6.9
 - M5.9以下
- 記号に添えた数字は発生年月日とマグニチュード。太線は深さ30km以上の震央を示す。



図-2.5.2 茨城県周辺の地震活動分布図（東日本大震災以前）¹³⁾

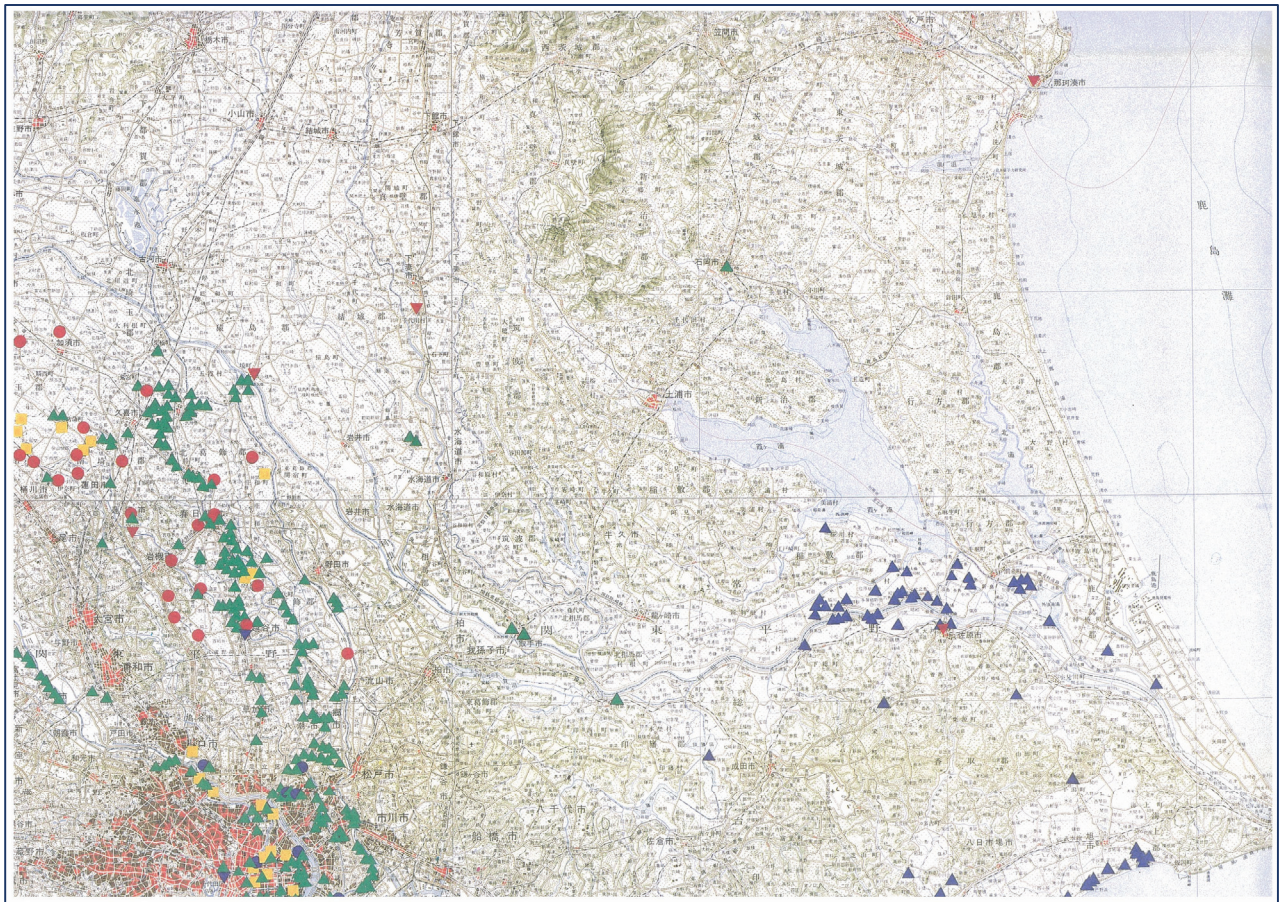


図-2.5.3 茨城県周辺の液状化履歴分布図（東日本大震災以前）¹⁴⁾

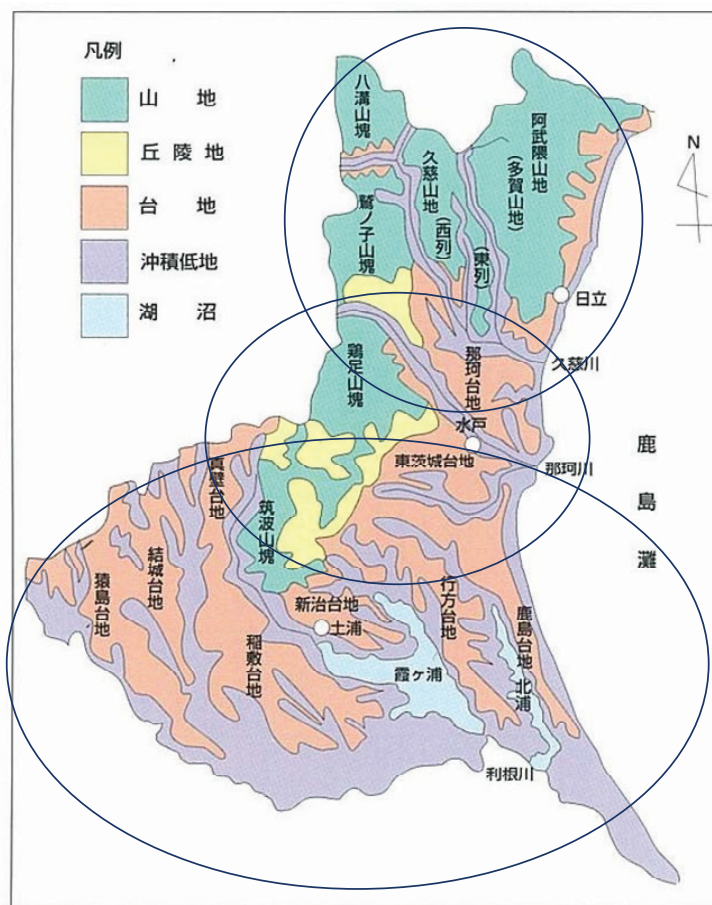
6. おわりに ～地域の土木地質に関わる諸問題～

本編では、茨城県の地形・地質概要、おいたち、代表的な地質等について述べてきた。それぞれの地域において地質・地形的な特質があり、それゆえの諸問題がある。山間部には急崖・急傾斜があり、落石あるいは斜面崩壊等の発生が懸念される。平野部では、現在も広域地盤沈下が継続している地域もある。また首都圏のベッドタウン化に伴い、大規模な開発・造成が必要とされた結果、可住地の拡大は沖積低地へとおよび、色々な地盤対策が必要とされている。

茨城県土のインフラ整備を行うにあたっては、これらの地形・地質の地域特性を踏まえた上で対処す

ることが必要である。図-2.6.1には、茨城県を3つの大きな地域に区分して、それぞれの土木地質に関わる諸問題を簡単に整理してみた。これからの土木には、新規事業よりもむしろインフラ整備のメンテナンス、長寿命化が必要とされている。近年は、膨大な地盤情報がデータベース化され、また低コスト、高品質を目指した建設技術の開発も盛んである。

土木技術者は、今後ともこれらの情報・土木技術等を駆使し、安心・安全な生活を送ることが出来る県土整備の担い手となることが期待されている。



県北：

急傾斜地が多く、斜面防災が重要。海岸付近には軟弱層も分布し、基盤岩の不陸があるため支持層分布、地盤掘削などで問題が生じることも

県央：

軟弱層の分布と岩盤の分布が重なる地域。県北、県南両地域の問題が混在する。

県南、県西、鹿行：

河川が多く、軟弱地盤が広く厚く分布。構造物の支持層や盛土、地盤掘削時など沈下、安定、湧水、盤膨れ、地震時の液状化など様々な問題が発生しやすい。治水対策の重要も高く、堤防の整備や浸透対策などの課題もある。

台地と低地の境界における地層の不陸が原因となる問題も生じやすい。

急激な人口増加地域もありインフラ整備に伴って地盤の問題が顕在化することが多い。

図-2.6.1 地域の土木地質に関わる諸問題¹⁾

参考文献

- 1) コロナ社：茨城県 地学のガイド (1977)
- 2) クボタ：アーバンクボタ No. 18 関東堆積盆地 (1980)
- 3) 貝塚 爽平：東京の自然史 (1964)
- 4) 東木 龍七：貝塚分布の地形学的考察 (1926)
- 5) 遠藤 邦彦：変動する地球とその環境 (力武常次編), 地球社 (1988)
- 6) 朝倉書店：日本地質図体系 関東地方 (1989)
- 7) 共立出版：日本の地質 関東地方 (1986)
- 8) Saito, T. : The Upper Cretaceous System of Ibaraki and Fukushima Prefectures, Japan. Part 1.
Bull. Fac. Arts Sci. Ibaraki Univ. Nat. Sci, 12 (1961)
- 9) 築地書館：茨城の地質をめぐって (1979)
- 10) 地質調査所：地域地質研究報告 磯浜地域の地質 (1975)
- 11) 土質工学会：軟弱地盤の調査・設計・施工法 (1966)
- 12) クボタ：アーバンクボタ No. 21 最終氷期以降の関東平野 (1983)
- 13) (財)東京大学出版会：日本の活断層(1991)
- 14) 東海大学出版会：日本の地盤液状化地点分布図 (1991)

第3編 建築編（高層ビルから戸建て住宅まで）

1. はじめに ～本編の目標～

ここでは住宅やビルなどの「**建物=人が住んだり物を収めたりするために造られた”建築物”**」の地盤調査について述べる。

地盤調査は、建築物の設計・施工に先だって行われる。このため地盤調査を行うにあたっては、計画地の地形・地質および地盤によるリスク（災害）を想定し、計画建築物に対して支持力、沈下および地盤リスク（地震等）の安全性を確認できる調査項目を選定する必要がある。

地盤調査の手法は簡易（安価）なものから高度（高価）なものまで様々な方法があり、建築物の規模や重要性、建てられる場所の地形・地質に適した調査手法により、設計に必要となる十分な地盤情報（地層構成、地盤のせん断強度や沈下特性）を得ることが重要である。

最近の建築物の設計では、「性能設計＝必要とされる安全性を保証する設計」や「経済設計＝対費用効果を考慮した設計」など、安全性と経済性のバランスが求められており、地盤調査もこのような設計の考え方に基づく必要がある。

更に耐震偽装問題以降叫ばれているコンプライアンス（法律遵守）確立のためには、適用される地盤調査や支持力算定法等が法律、規準および関連文献等に適合している必要もある。

そこで本編では、建築物（高層ビルから戸建て住宅まで）の地盤調査に際して必要となる、下記の4項目について理解することを目標とする。

(1) 地盤調査の必要性：2章

- 地盤調査の特徴と目的
- 土の性質による必要性
- 地盤調査を疎かにすると発生する障害

(2) 建築物の分類（地盤調査の視点から）：3章

- 構造・規模・基礎形式による分類

(3) 地盤調査の計画：4章

- 支持地盤と基礎形式の関係
- 地形・地質・地盤災害リスクの把握
- 茨城県の地形・地質と調査計画
- 適用すべき法律・基準・文献等

(4) 地盤調査の適用：5章

- 建築物の規模と適用される地盤調査
- 地盤調査とコスト
- 茨城県内の建築物事例



写真-3.1.1 ピサの斜塔

イタリア（ピサ市）にある世界で最も有名な傾斜している建築物（高さ55m）

長期に安全な建築物を構築するには、事前に的確な地盤調査を実施し、十分な支持力を有し、沈下を引き起こさない地層を支持地盤として基礎を設計・施工する必要がある。

2. 地盤調査の必要性

2-1 地盤調査の特徴と目的

(1) 地盤調査とは

地盤調査とは、**地質学**を土台として”地層”の構成や特徴を調査し、更に、地層を構成する”土や岩盤”の物理・力学・動的(地震時)特性等について**地盤工学**を適用して明確にすることである。

【地盤調査に必要な知識】

- 地質学 → 地形・地質・地層層序の判定区分
- 地盤工学 → 支持地盤の特定
 - 地下水のあり方
 - 土の物理特性評価 (分類等)
 - 強度特性、圧縮性の評価
 - 支持力・沈下等の解析・評価
 - 耐震基盤、動的特性の評価
 - 地震時の動的解析・評価

(2) 地盤調査の目的

地盤調査の主目的は、建築物の基礎設計に必要なとなる、**建物を安全に支持できる地層(十分な支持力を有し、沈下の心配が無く、地震時も安定した地層)を確認すること**である。

目的達成のために、一般には下記の項目を調査する。

【目的達成のために必要な調査項目】

- 1) 地形・地質・地層層序区分
- 2) 地盤支持力→基礎地盤の特性(土質・強度特性)
 - 地下水位の状況
- 3) 沈下特性→地盤の変形係数と圧密沈下曲線
- 4) 地震時の地盤特性→動的変形特性、液状化強度

表-3.2.1 地層区分と土質定数値の一覧表の作成例

| 地層区分 | | | | 機械ボーリング 標準貫入試験結果 | | 土質定数値 | | | | | | |
|---------------------------------|------------------|-------|--------------|---------------------|---------------|--------------|--|------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----|------|
| 地質時代 | 地層名 | | 記号 | 主要構成土質 | 実測N値 (平均値) | 設計N値 | 単位体積重量 γ_t (kN/m^3) | 粘着力 C (kN/m^2) | せん断抵抗角 ϕ (度) | 変形係数 E (MN/m^2) | | |
| 新 生 代 ・ 第 四 紀 | 完 新 世 | 沖積層 | 粘性土部 | Ac | 有機質シルト | 0~2 (1.0) | 1 | 15.0 | 6.0 | 0 | 0.7 | |
| | | | | 更 | 関東ローム層 | ローム | 3~4 (3.5) | 4 | 14.0 | 40.0 | 0 | 2.8 |
| | 茨城粘土層 | 凝灰質粘土 | 1~2 (1.5) | | 2 | 14.0 | 20.0 | 0 | 1.4 | | | |
| | 新 洪 積 層 | 洪積 | 粘性土部 | Dc | 粘土 | 5~8 (7.0) | 7 | 16.0 | 70.0 | 0 | 4.9 | |
| | | | | 砂質土部 | Ds | 細砂 | 20~35 (22.0) | 22 | 18.0 | 0.0 | 36 | 15.4 |
| | | | | | Dg | 砂礫 | 30~50以上 (40.0) | 40 | 20.0 | 0.0 | 43 | 28.0 |
| 『地質学』を主体とした部分 | | | | 『地盤工学』を主体とした部分 | | | | | | | | |

機械ボーリングと標準貫入試験による地盤調査結果から、地質学と地盤工学を駆使して作成した調査結果の一部である。地層区分は調査位置の地形や土質判定結果から地質図等を参考として層序区分、地層名、地層記号を決定する。土質定数値は標準貫入試験による実測N値から設計N値を設定し、設計N値を用いた土質定数値の算定式 ($C=6\sim 10N$ 、 $\phi=15+\sqrt{20N}$ 、 $E=0.7N$) や室内土質試験結果より、建築物基礎の設計に必要な単位体積重量 (γ_t)、粘着力(C)、内部摩擦角(ϕ)、変形係数(E)等を設定する。

2-2 土の性質による地盤調査の必要性

建築物に使用する鋼材やコンクリートは、人工的な材料であり、土に比べその性質は均質である。

これに対し建築物を支える地層（基礎地盤）は、**自然が作り上げた不均質な”土や岩盤”**から成る材料であり、形成過程が同じ地層であっても、場所により層厚や地下水のあり方は変化しており、また地盤を構成する土粒子の粒径や含水量の違いなどにより性質も変化（バラツキが生じる）する。

以上のような土の性質を考慮すると、建築物の地盤調査では**“建築物ごとの調査**（場所ごとの地層構成・地下水条件の変化に対応）”、**“調査データの蓄積**（数多くの調査結果を集積して、同一地層における土の性質のバラツキに対応）”が必要となる。

2-3 地盤調査をおろそかにすると発生する障害

(1) 地盤に起因する障害の特徴

- ①地盤調査を実施せずに建築物を建てると、**支持力不足、不同沈下、基礎破壊、ライフラインの切断、建物倒壊等**の障害が生じる可能性がある。
- ②発生した障害の**復旧には、多大な費用が必要**となる。
 - 通常、復旧費用は設計に必要となる地盤調査費に比べ多額となる。
 - 建築物の建て直しとなる可能性もある。
- ③発生する障害（火災、住宅倒壊）によっては、**「人命」に関わる重大な事故**につながる。
- ④地盤調査を実施しても、不適切、不十分な調査であれば、上記①～③と同じような障害が発生する。

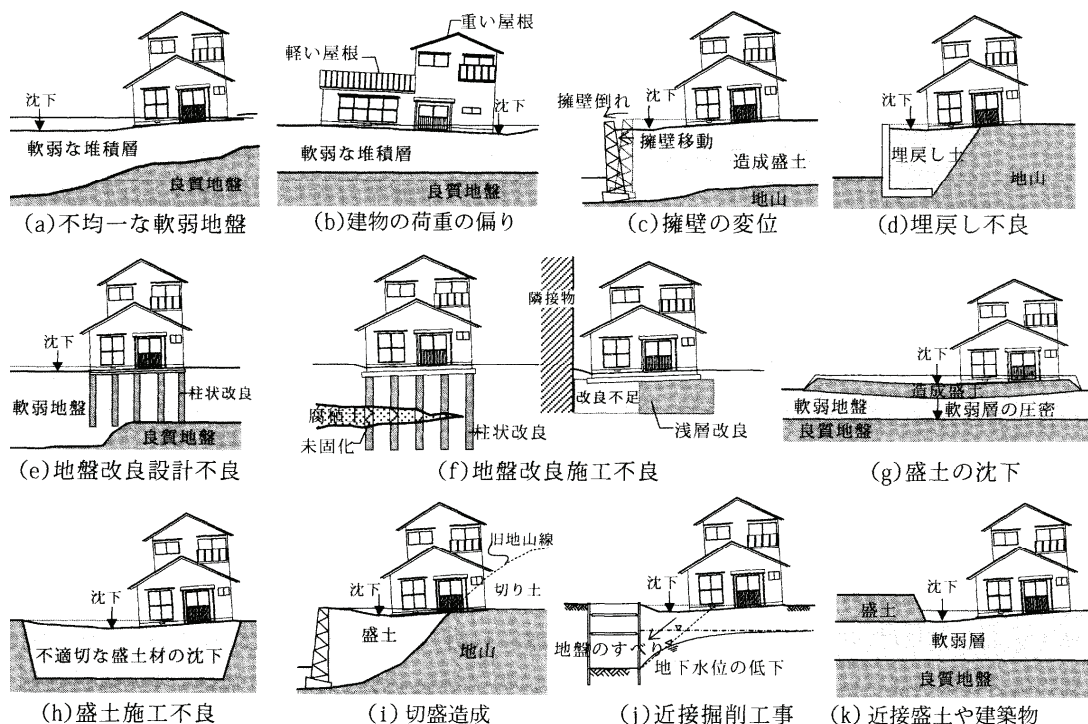


図-3.2.1 不同沈下の原因例¹⁾

軟弱地盤や不良地盤の分布、不適切な基礎施工および近接工事等により建物に不同沈下が発生する。事前の地盤調査や沈下量の解析・評価をせずに支持力のみを考慮して建築物を建てると、建物完成後に不同沈下が生じ、建物やライフラインに重大な損傷が生じる可能性がある。その復旧には多大な労力と費用が掛かる。

(2) 支持力不足による障害

- ・建物はその荷重を支えることが可能な、良好な地盤(支持地盤)に支持させる必要がある。地盤の支持力が建物の荷重を下回る場合には、地盤はせん断破壊を引き起こし建物は不安定化する。

(3) 沈下による障害

地盤沈下では「**不同沈下**」と「**圧密沈下**」が問題となる。

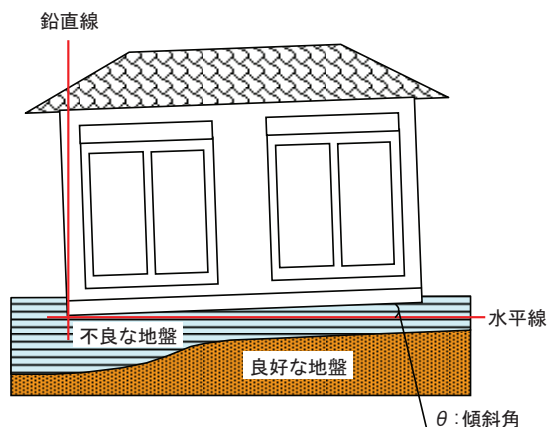
① 不同沈下の発生による障害：図-3.2.2 参照

- ・不同沈下は建物が均等に沈下するのではなく、一方向(傾斜角タイプ)または部分的(変形角タイプ)に沈下する現象である。
- ・傾斜角タイプの沈下は建物が一方向に傾くため、床面の傾斜が問題となるが、建物の損傷は少なく、基礎地盤の補強程度で復旧可能なケースが多い。
- ・変形角タイプの沈下は、一部の不良地盤が局部的に沈下するため、基礎や建物本体に亀裂が生じるなど影響が大きく、復旧が困難な場合には建て替えが必要となることもある。

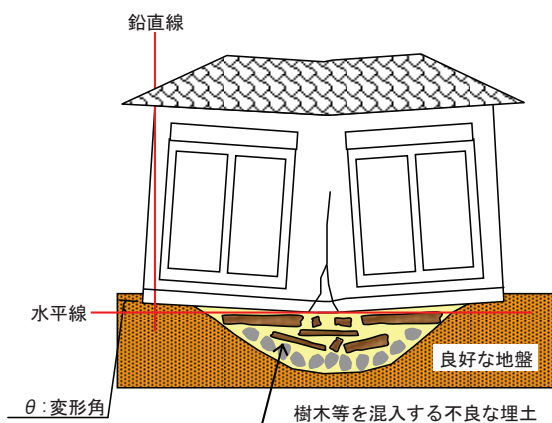
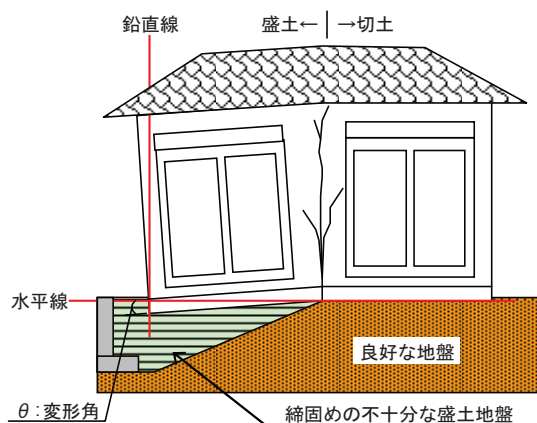
② 圧密沈下の発生による障害：図-3.2.4 参照

- ・圧密沈下は地盤が長期間にわたり沈下する現象である。
- ・圧密沈下では建物と周辺地盤の沈下量が違うことから、建物とライフラインである上・下水道管やガス管の接続部が徐々に変形し、やがて破断してしまう。
- ・圧密沈下の特性からライフラインの破断には建物建設後長期間(数年～数十年の場合もある)を要し、ある日突然水漏れやガス漏れが発生する。
- ・ライフラインの切断により、水道や下水道の使用ができなくなり、ガス漏れでは人命に関わる火災やガス爆発が発生する可能性

もある。



(a) 一方向に傾斜する不同沈下(傾斜角タイプ)



(b) 局部的に傾斜する不同沈下(変形角タイプ)

図-3.2.2 戸建て住宅の不同沈下による損傷

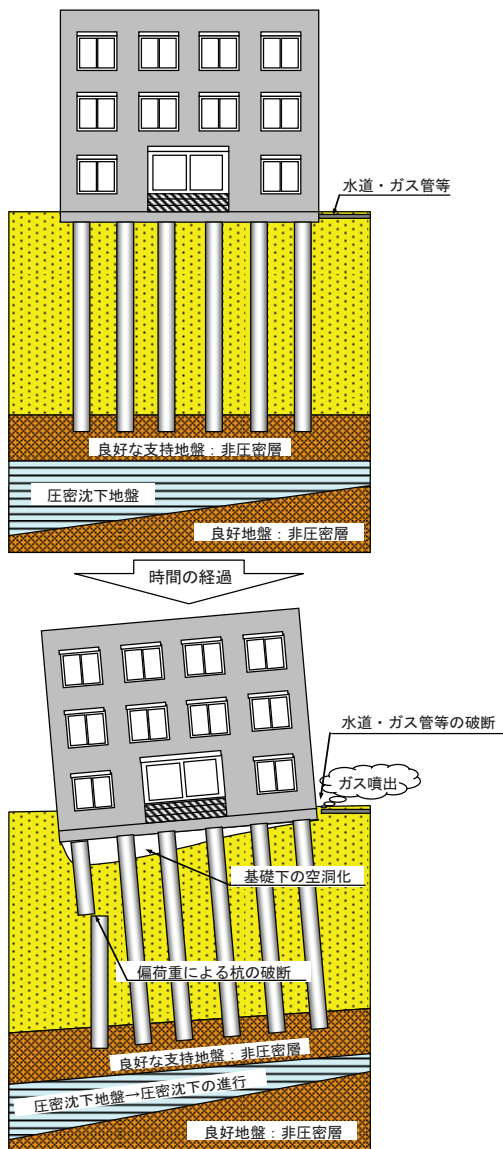


図-3.2.3 圧密沈下現象 良好な支持地盤の下方に圧密沈下を引き起こす地層が分布するかどうかを見極めるには、地質学の知識に基づいた適切な調査深度の設定が必要となる。

(4) 地震による障害

地震時には「**建物の揺れ**」と「**地盤の液状化**」が問題となる。

①建物の揺れによる障害：写真-3.2.1 参照

- ・大きな地震では地表面を大きく横方向に揺らす力が発生し、この横揺れにより建物が変形したり倒壊したりすることになる。

②液状化の発生による障害：写真-3.2.2 参照

- ・地震時の液状化現象は、地震時に砂地盤が支持力を失い、その一例として地下水とともに地上に砂が吹き上げる現象がある。
- ・液状化により地盤は支持力を失い、建物は不同沈下や倒壊する可能性がある。



写真-3.2.1 2008年岩手・宮城内陸地震²⁾



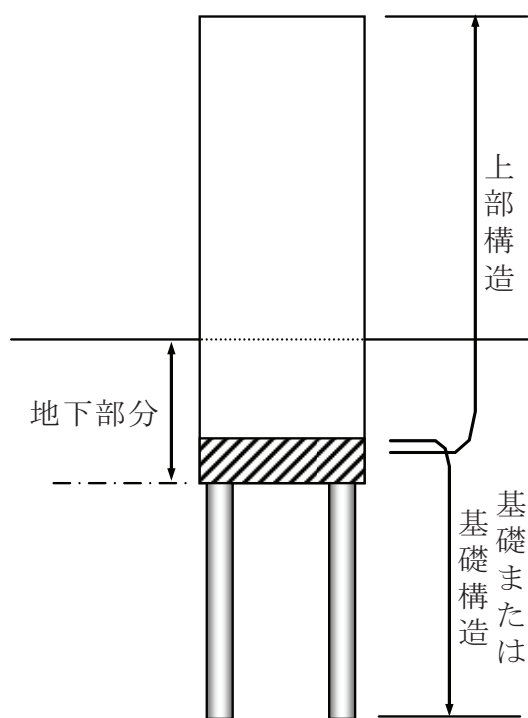
写真-3.2.2 2007年新潟県中越沖地震²⁾

地震時に地盤が液状化するかどうかの判定は、機械ボーリングによる標準貫入試験結果（N値）と標準貫入試験により採取される攪乱試料の室内土質試験（粒度試験）結果から、簡易判定が可能となっている。

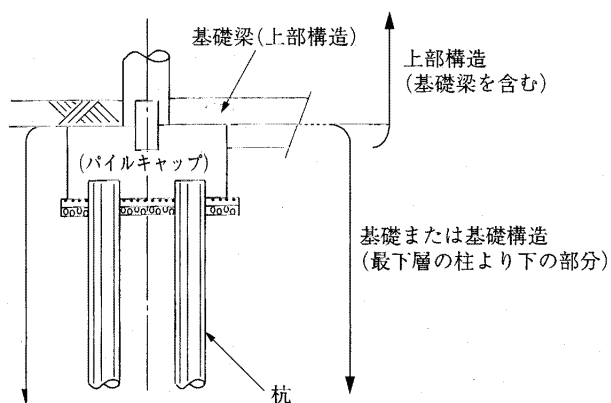
3. 建築物の分類

3-1 上部構造と下部構造の関係・区分

建物の構造は、図-3.3.1 に示すように建物本体部分である上部構造と、これより下の主に地中部に隠れた下部構造（基礎構造）に区分される。



(a) 建物全体



(b) 杭基礎の場合の上部構造と基礎³⁾

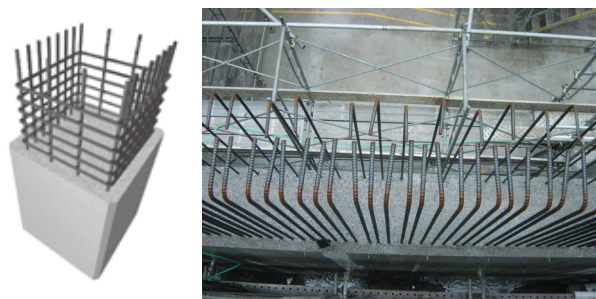
図-3.3.1 建物の基本構造と基礎の名称

3-2 上部構造による区分

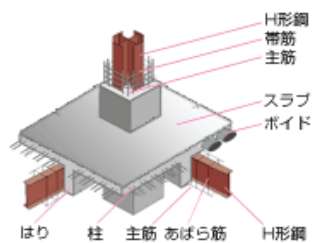
- ①木造
- ②鉄骨造 (S造)
- ③鉄筋コンクリート造 (RC造)
→ReinforcedConcrete
(鉄筋で補強されたコンクリートの略)
- ④鉄骨+鉄筋コンクリート造 (SRC造)



(a) 木造



(b) RC造



(c) SRC造

図-3.3.2 建物の上部構造の区分

3-3 建物の規模による区分

- ①低層：1～2 階（一般住宅等）
- ②中層：3～5 階
- ③高層：6 階以上
- ④超高層：高層のうち 60m 以上のもの

（図-3.3.3 参照）



図-3.3.3 日本の超高層建築物－東京スカイツリー

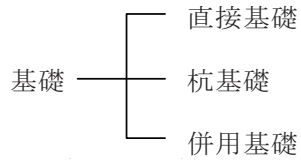
世界一を目指すのは遠い昔から変わらぬ人類の挑戦である。

現在建設中の東京スカイツリーは、竣工時には高さ 634m の日本一の超高層建築物、且つ世界一の自立式電波塔となる。

また、中東ドバイに建設された超高層ビル「ブルジュ・ハリファ（828m）」は、これまで世界一であった台湾の「台北 101（509m）」を遙かに凌ぐ高さとなった。

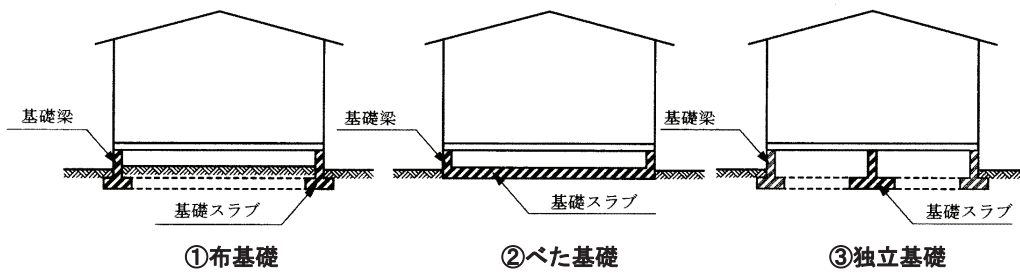
このような高いビルの建設が可能になった背景には、コンピュータを駆使した高度な調査・解析技術の飛躍的な進歩がある。

3-4 基礎形式による区分 (4-1 章参照)



建築物の基礎形式は、大きく「直接基礎 (図-3.3.4)」と「杭基礎 (図-3.3.5①)」に区分される。また、支持地盤や設計条件 (一部低層や高層部がある等) によっては、両形式を組み合わせた「併用基礎 (図-3.3.5②)」を採用する場合もある。

上記の基礎形式の概要図と一般的な調査方法を図-3.3.4～図-3.3.5 として以下に示す。

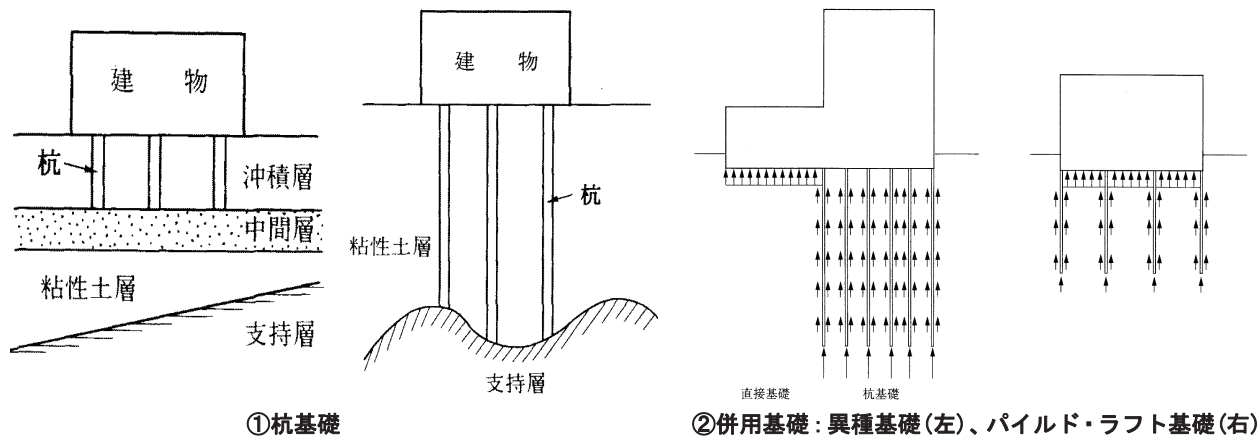


スウェーデン式サウンディング試験
(自走型：半自動式)



平板載荷試験：測定装置

図-3.3.4 直接基礎¹⁾ (戸建て住宅：低層建築物) と一般的な調査方法の写真



機械ボーリング



標準貫入試験



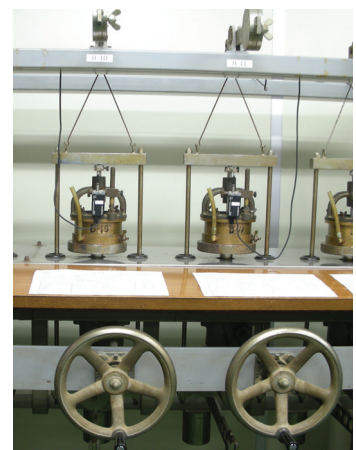
三軸圧縮試験：UU
室内土質試験（力学試験）



三軸供試体：試験前



三軸供試体：試験後



圧密試験
室内土質試験（力学試験）

図-3.3.5 杭基礎³⁾、併用基礎³⁾と一般的な地盤調査方法の写真

4. 地盤調査の計画

4-1 支持地盤と基礎形式の関係

地盤調査前に計画・設計される建築物の基礎形式は、建物がどのような地盤上に建てられるのかにより図-4.1.1のように変化する。

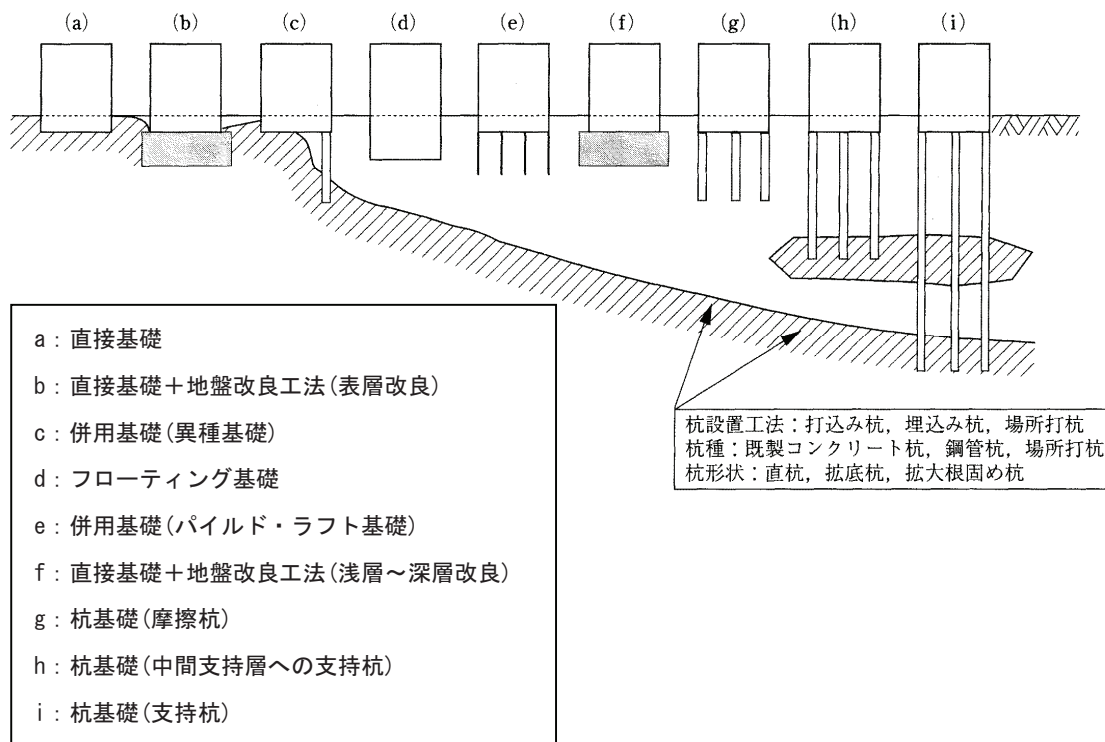


図-3.4.1 支持地盤の深度と適用可能な基礎形式³⁾

基本的には、支持地盤と基礎形式の関係は下記のとおりである。

- 直接基礎：支持地盤が基礎底面から浅い位置にある場合に採用される。
- 杭基礎：支持地盤が基礎底面から深い位置にある場合に採用される。
- 併用基礎：支持地盤が基礎底面から著しく深い場合や敷地内で浅い部分と深い部分に跨っている場合、一部低層や高層建築部があるなど、地盤条件や設計条件が特殊な場合に採用される。

地盤調査の計画にあたっては、以上の支持地盤条件と基礎形式の基本的な関係を十分理解して臨む必要がある。

特に地盤調査結果から「併用基礎」を提案する場合には、提案する基礎形式によっては設計や施工管理が複雑となり、経済設計とならない場合があることに留意する必要がある。

原則としては一つの建築物は、同一の支持地盤に一種類の基礎形式で支持されることが望ましい。

4-2 地形・地質・地盤災害リスクの把握

調査段階では、建物建設場所の地層構成や支持地盤の状況は不明であり、調査結果を基に当初計画された基礎形式が変更される可能性もある。

そこで地盤調査にあたっては、次のよう方法で建物が建設される場所の地形・地質を判断し、地層構成や支持地盤状況および地盤災害リスクを想定して、必要となる地盤調査を計画する必要がある。

(1) 既存資料調査の実施

既存資料調査は、近隣のボーリング調査結果や地質関係の文献より地層構成を想定する作業である。

- 1) 簡単な方法 1 → 市町村の建築課で近隣の地盤調査データを閲覧
- 2) 簡単な方法 2 → 国・県・市などが公表している地盤調査データをインターネットで閲覧(国土地盤情報検索サイト等) 茨城県は Geo-Station で閲覧可能(H22/4/1)となった。
- 3) 専門的方法 → 地質図・地質文献などを収集し検討する。
 - ・地質図
(産業技術総合研究所)
 - ・土地条件図
(国土地理院)

(2) 現地踏査の実施

現地踏査とは、現地の地形や近隣構造物の状況を見聞きし、地質構成、支持地盤の分布深度および地盤災害リスクを想定する作業である。

現地踏査には専門家の視点が必要である。

① 地形を区分する

現地の地形を知ること、地層構成や地盤災害リスクの想定にとって重要な要件であり、山地、丘陵地、洪積台地、沖積低地、造成地等を見極め、調査計画に反映する。

地形区分による構成地盤の特徴、基礎形式の関係は、以下に示すとおりである。

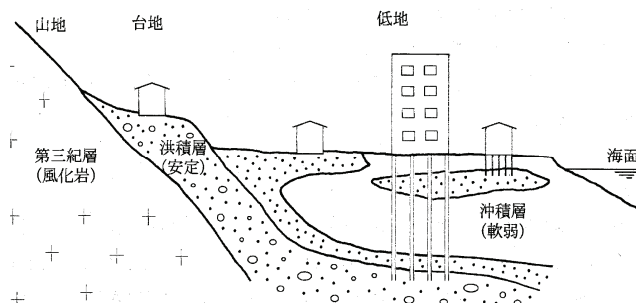


図-3.4.2 地形区分、地層構成と基礎形式¹⁾
安全な建築物を構築するには、的確な地盤調査結果を基に、十分な支持力を有し、沈下を引き起こさない良好な地盤に支持される基礎形式とする必要がある。

1) 山地・丘陵地・台地の場合

- 構成地層は「洪積層」以前の安定した地層と判断される。
- 洪積層以前の地層は、大きな支持力を発揮し、圧密沈下の懸念は少ない。
- 地震時に液状化する可能性は少ない。
- 地盤調査は、支持地盤確認のための調査項目を主体として計画する。
- 低層建築物や支持地盤が地表面下の浅い位置にあると想定される場合には、基礎形式として直接基礎を前提として地盤調査を計画する。

2) 沖積低地、造成地の場合

- 支持力不足、圧密沈下および地震時の液状化が懸念される「沖積層」の分布が想定される。
- 地盤調査の計画にあたっては、支持地盤確認の他に、圧密沈下や液状化の検討に対処できる調査項目を含めて計画する必要がある。
- 支持地盤は地表面下の深い位置に分布することが多く、杭基礎を前提として地

盤調査を計画する。

②周辺構造物の異常の有無を確認する

周辺の構造物（建物・擁壁・道路・水路等）を目視により調査し、沈下、変形、亀裂等の異常の有無を確認する。

周辺の構造物に異常が確認された場合には、下記のような対応を行い、調査計画に反映する。

- 1) 可能であれば、昔から住んでいる周辺の住民に、旧地形や造成当時の状況を聞いて、問題となる地形・地質を抽出する。
- 2) 地盤調査の計画にあたっては、支持地盤確認の他に、地盤沈下や液状化の検討に対処できる調査項目を含めて計画する必要が生じる。

③土砂災害や問題地形の有無を確認する

土砂災害地形（崖地、崩壊地形）や地形の変化（切土と盛土、低地と台地の境界）等、地盤災害リスクが懸念される地形形状の有無を確認する。

地盤災害リスクが懸念される地形が確認された場合には、下記のような対応が必要となる。

1)土砂災害発生時に影響を受ける場合

- 建築物や人命が大ききリスクにさらされることから、「この場所には建物を建てるべきではない」、「建築物計画位置の変更」を提言することも必要である。
- 地盤調査計画にあたっては、建物の支持地盤調査の他に、災害防止策を検討するために必要となる地盤調査項目を含めて計画する必要がある。
- 地盤調査は広範囲・高レベル・高額となる可能性があり、調査の必要な場所が敷地外に及ぶこともある。
- 地盤調査計画では、地滑り、斜面对策等の専門技術者との連携も必要である。

2)地形の変化部にあたる場合

- 切土と盛土や低地と台地の境界（地形の変化）は、旧地形図、造成図および周辺住民からの聞き取りにより明確にする。
- 地盤調査計画にあたっては、調査箇所を各地形面ごとに配置し、特に盛土や低地部については支持地盤確認の他に、地盤沈下や液状化の検討に対処できる調査項目を含めて計画する必要がある。

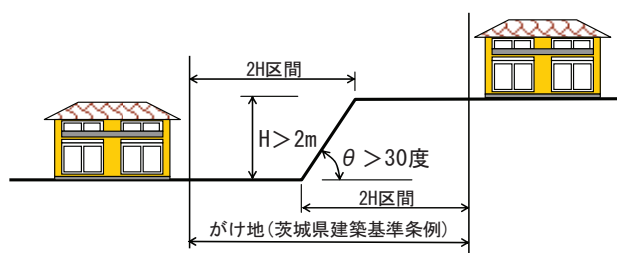


図-3.4.3 地形変遷と地盤リスク
(茨城県建築基準条例：第5条)

建築基準法（4-4 項参照）では法律それ自体の規制とともに、建築基準法に基づく地方自治体ごとの条例による制限があり、その一つの例が県や市が定める「がけ地条例」です。茨城県ではがけ地の近くの建築物には制限が設けられ、がけの高さの2倍以内の地域での建物の建築には土質の確認や擁壁の設置が求められています。

4-3 茨城県の地形・地質と調査計画

(1) 沖積低地と沖積層

①茨城県の沖積低地を構成する沖積層は、一般に軟弱で低強度、高圧縮性を示すため、建築物の基礎地盤としては支持力不足、大きな沈下の発生、地震時の液状化が問題となる**やっかいな地層**である。

②久慈川・那珂川・利根川・小貝川等の大河川流域と河口付近および太平洋沿岸部では、軟弱な沖積層の層厚が20m以上と極めて厚く分布することも珍しくない。

③沖積層を支持地盤とする場合には、軽量の低層建築物でも支持力不足や沈下が問題となる。

④良好な支持地盤は地表面下の深い位置に分布することが多く、基礎形式としては「杭基礎」の採用が多い。

→ 低層：小口径鋼管杭、改良杭

→ 中層以上：打込み杭、埋込み杭
場所打杭等

⑤沖積層の砂質土層は地震時には液状化する可能性が高い。

⑥地盤調査の計画にあたっては、支持地盤を確認するために地表面下の深い位置（20～50m以上）までの調査が必要となる場合が多く、圧密沈下や地震時の液状化の判定に対処できる調査項目を含めて計画する必要がある。

(2) 洪積台地と洪積層

①茨城県の洪積台地を構成する洪積層は、一般には高強度、低圧縮性を示すため、圧密沈下や地震時の液状化の可能性の低い**安定した地層**である。

②低層建築物では地表面を覆う関東ローム層を支持地盤とする「直接基礎」、中層～超高層建築物では深部の洪積層を支持地盤とする「杭基礎」を採用することが多い。

④台地縁辺は傾斜地や崖地または沖積低地との地形の境界となることから、土砂災害や不同沈下等の地盤リスクへの配慮が必要となる場合もある。

⑤地盤調査の計画は、支持地盤を確認するための調査項目が主体となることが多い。

⑥茨城県南地域の高層建築物の調査では、地表面下の深い位置（20～50m）までの支持地盤調査が必要となることが多い。

(3) 山地・丘陵地と洪積層、基盤岩層

①県西部と県北部に主に分布する。

②地表面より**安定した洪積層や岩盤が分布**することが多く、「直接基礎」の採用が多い。

③急傾斜地や崖地となる部分が多く、土砂災害リスクについて、注意深く現地踏査を行う必要がある。

④傾斜地では斜面上方と下方で支持地盤の分布深度等が大きく変化している場合があり、調査地点の選定に十分留意する必要がある。

⑤地盤調査の計画は、支持地盤を確認するための調査項目が主体となることが多い。

⑥山地内や他の地形面との境界では、**急傾斜地や急崖地となる部分も多く、地盤災害リスクが懸念される**。このような場所では、広範囲な調査も視野に入れて調査計画を策定する必要がある。

【補足】

地質分野では沖積や洪積の表現は旧来のものとなりつつあり、沖積を完新世、洪積を更新世と地質年代にあわせた表現とする方向にある。

4-4 適用すべき法律・規準・文献等

建築物の地盤調査計画にあたり、適用すべき法律・規格・文献等の代表的なものは下記のとおりである。

(1) 法律・告示

①法律：建築基準法、同施行令

→ **地盤の許容応力度及び基礎杭の許容支持力は、国土交通大臣の定める方法によって地盤調査を行い、その結果に基づき定めなければならない。(建築基準法施行令第93条)**

②告示：国土交通省告示

1)第1113号（適用すべき支持力算定式を表示）

$$q_a = 30 + 0.6 N_{sw} \dots\dots\dots \text{式-3.4.1}$$

【記号】 q_a ：長期許容応力 (kN/m²)

N_{sw} ：スウェーデン式サウンディング試験による、地表面下0.5m～2.5mまでの間における、 $W_{sw}=1\text{kN}$ の荷重で貫入が止まった後、回転により貫入させた時の貫入量1mあたりの半回転数（最大値150回）。

2)第1347号（適用可能な基礎形式を表示）
：図3.4.4参照

(2) 規格・指針・解説

①日本工業規格（JIS）

→ 試験機材の規格と試験方法

②建築基礎構造設計指針（日本建築学会）

③建築基礎設計のための地盤調査計画指針（日本建築学会）

④地盤調査の方法と解説（地盤工学会）

⑤地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会）

⑥茨城県宅地開発関係資料集（茨城県建築士会）

⑦茨城県宅地品質管理マニュアル（茨城県）

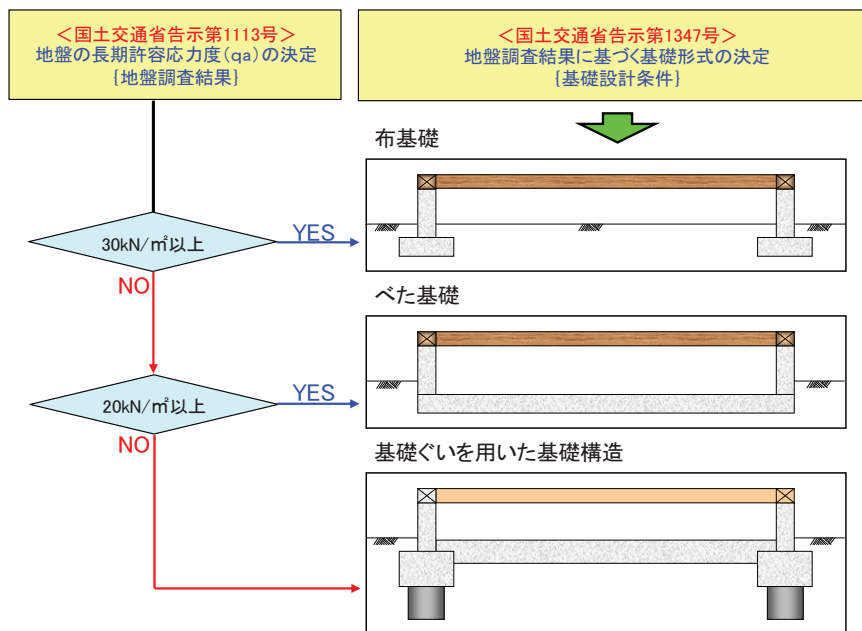


図-3.4.4 国土交通省告示に示される許容支持力と基礎形式の関係

5. 地盤調査の適用

5-1 一般的な地盤調査方法

地盤調査の適用にあたり、一般的に実施されている調査項目を理解することは重要である。

建築物に対する一般的な地盤調査としては下記の方法が上げられる。

- ①スウェーデン式サウンディング試験
- ②平板載荷試験
- ③機械ボーリング+標準貫入試験
- ④オートマチックラムサウンディング
- ⑤ (三成分) コーン貫入試験
- ⑥表面波探査
- ⑦ベーン試験
- ⑧室内土質試験 (実施には通常、機械ボーリングによる乱れの少ない試料採取が必要である)

このうち4-4項の「国土交通省告示：第1113号」では、①、②、③、⑤、⑦、⑧の調査方法による、地盤の許容応力度の算定方法を示している。

ここでは建築物の規模ごとに、適用可能な一般的な地盤調査項目として「国土交通省告示：第1113号」において地盤の許容応力度の算定方法が示されている上記①、②、③、⑧および地震時に対する調査項目を示し、その特徴・目的・調査位置・留意点およびデータの着眼点等について以下に示す。

5-2 建築物の規模による一般的な調査項目

(1)低層建築物の調査 (例：2階建て木造住宅等)

低層建築物は建築規模 (建設面積や荷重規模) が小さいことから、下記に示すような簡易で安価な調査方法を選定することが多い。

- ①スウェーデン式サウンディング試験
(許容支持力 $q_a=120\text{kN/m}^2$ 以下)
- ②平板載荷試験 ($q_a=50\sim 100\text{kN/m}^2$ 程度)

(2)中層建築物の調査

(例：3～5階建てマンション等)

中層建築物の調査では荷重規模が大きくなり、良好な支持地盤が地表面下の深い位置となることが多い。このため、深部までの地層構成と地盤の硬軟 (N値で判断) を確認するために、標準貫入試験併用の機械ボーリングを実施する機会が多い。

また、基礎形式として杭基礎を採用することも多く、そのような条件では支持地盤より上位の地層による杭周面摩擦力や地盤の水平耐力を求めするための付帯調査も考慮する必要がある。

- ①平板載荷試験
- ②機械ボーリング+標準貫入試験
- ③付帯調査
 - 1)孔内水平載荷試験 (杭の水平耐力)
 - 2)サンプリング
 - 3)室内土質試験

(3)高層建築・超高層建築物の調査

(例：70階296mの横浜ランドマークタワー等)

高層・超高層建築物では、中層建築物で行う調査項目の他に、下記に示すような地震時の挙動を解析するために必要となる動的試験等の高度な地盤調査を実施する必要がある。

- ①孔内検層 (PS・密度・キャリパー検層等)
- ②常時微動測定
- ③室内土質試験 (動的試験)

以上のように、建築規模ごとに様々な地盤調査方法がある。

適用にあたっては5-3章以降に示す地盤調査の特徴を理解し、調査の目的が達成可能で対費用効果の高い調査項目を選定することが重要である。

5-3 一般的な地盤調査方法の特徴

(1) スウェーデン式サウンディング試験

(以降は「SWS 試験」と略記)

① 特徴

- 1) 難易度・調査費：簡便・安価
- 2) 調査深度：基礎底面より下方 5.0m 程度
(最大 10m 程度まで)

② 調査目的

- 1) 地盤支持力の確認
- 2) 自沈による沈下層の有無の確認
「SWS 試験」では先端にスクリーポイントを取り付けたロッドに荷重 (W_{sw}) を載荷し、その時の自沈量 (貫入量) と自沈収束後のロッドの半回転数 (Na) による貫入量を測定する。

3) 地盤補強の必要性判定

③ 調査位置

- 1) 通常建物形状に合わせて 4 (隅部) ~ 5 (隅部 + 中央部) 箇所を選定し実施する。
- 2) 建物の面積が大きい場合や地形面が変化している場合には箇所数を増やす。

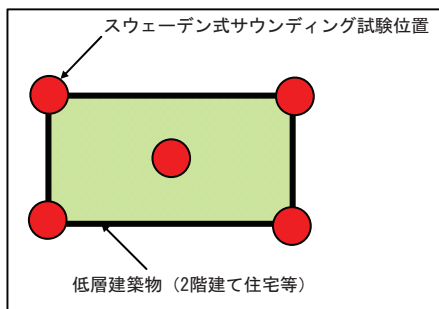


図-3.5.1 基本的な SWS 試験位置

④ 留意点

- 1) 簡便で安価な調査なので、できる限り調査地点を多くする。
- 2) 得られるデータは限定的であり、多くのことは分からないというスタンスが必要である。

⑤ データの着目点

- 1) 基礎下 2m 区間 (GL-0.50~-2.50m)
 - ・ $W_{sw} \leq 1kN$ での自沈層の有無
- 2) 基礎下 2m~5m 区間 (GL-2.50~-5.50m)
 - ・ $W_{sw} \leq 500N$ (0.5kN) での自沈層の有無
- 3) 上記 2 項目に該当する場合には、基礎補強を提案するか、変形や沈下の可能性について確認する必要がある。

⑥ データシートの読み方

SWS 試験のデータシートは、図-3.5.2 に示すように自沈と回転貫入の状況に着目し、**問題となる自沈層**がある場合には⑤-3)に示すような対応が必要となる。

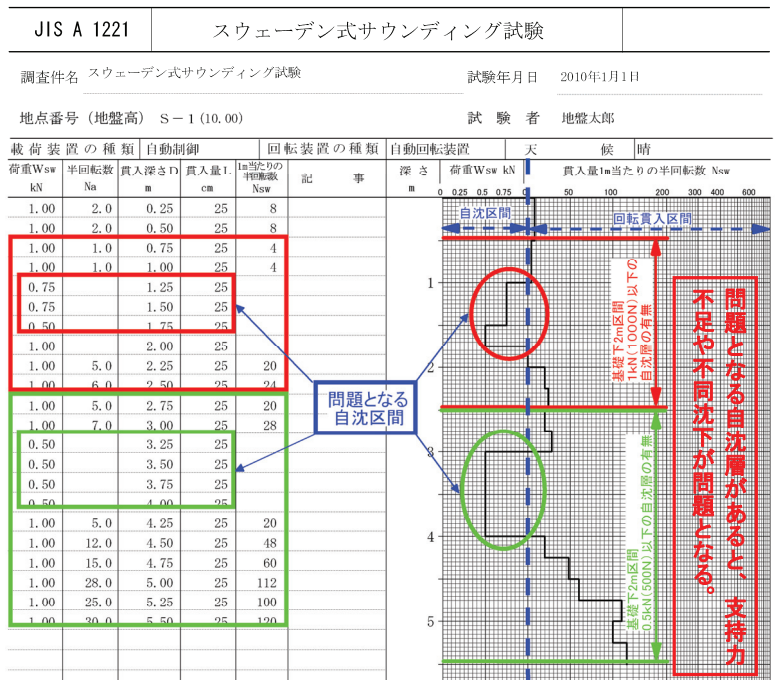


図-3.5.2 スウェーデン式サウンディング試験データシートの見方

(2)平板載荷試験

①特徴

- 1)難易度・調査費：中程度・高価
- 2)調査深度：基礎底面直下(1m程度)の地盤

②調査目的：極限および許容支持力の確認

③調査位置

- 1)通常建物中央部または最大荷重載荷位置
- 2)建物の面積が大きい場合や地形面が変化している場合には箇所数を増やす。

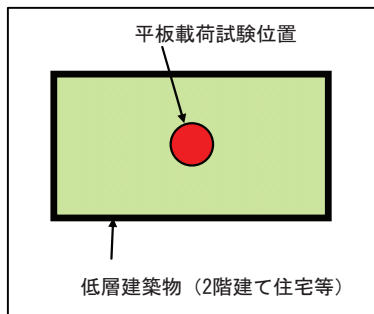


図-3.5.3 基本的な平板載荷試験位置

④留意点

- 1)載荷版（直径 30cm）が小さいことから、基礎直下の地盤（1.00m 程度下方まで）に対する調査であり、これより深い位置の支持力や沈下層の有無は分からない。

⑤データの着目点

- 1)極限支持力（ Q_d ）の確定
 - a.「荷重～沈下曲線（図-3.5.4）」において、沈下の増加が多くなり、沈下が直線的に増大し始めた時の載荷圧力。
 - b.「 $\log p$ ～沈下量曲線（図-3.5.5）」が、沈下軸にほぼ平行になる載荷圧力。
 - c.沈下量が載荷板幅（30cm）の10%（3cm）に達したときの載荷圧力。
 - d.沈下量が30mmの範囲において、上記いずれの状況も認めたい場合には、試験最大載荷圧力を便宜的に極限支持力として扱う。

⑥データシートの読み方

平板載荷試験のデータシートは、図-3.5.4～図-3.5.5 に示すように荷重と自沈量の関係で

示され、⑤の条件に従って「極限支持力： Q_d 」を判定する。

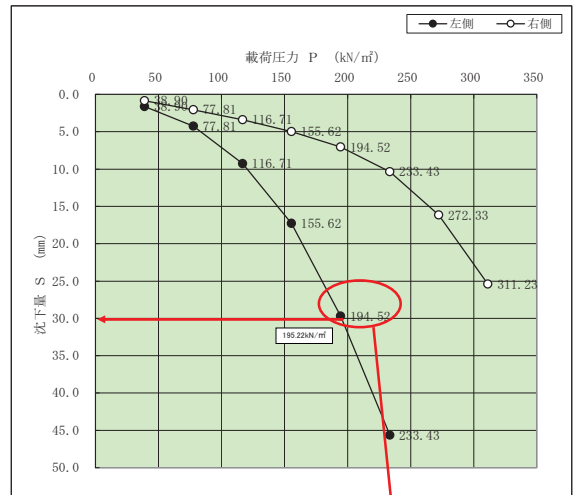


図-3.5.4 平板載荷試験結果：荷重～沈下曲線

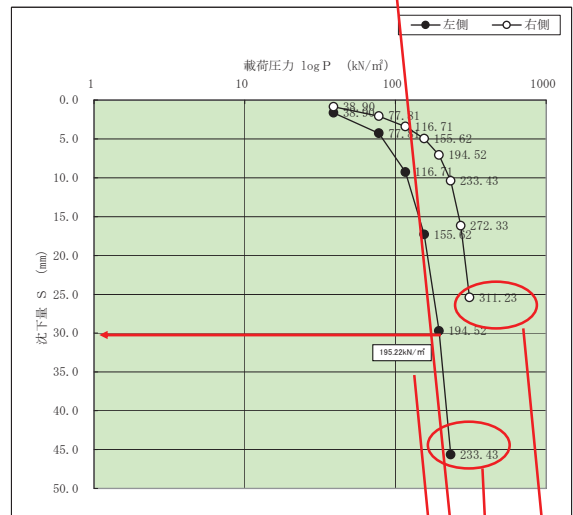


図-3.5.5 平板載荷試験結果：Log P～沈下量曲線

表-3.5.1 極限支持力の検討結果

| 荷重～沈下（量）曲線による判定区分 （荷重～沈下曲線参照） | 載荷圧力 P (kN/m ²) | |
|--|--------------------------------|--------|
| | 左側 | 右側 |
| ① 「荷重～沈下曲線（図-3.5.4）」において、沈下の増加が多くなり、沈下が直線的に増大し始めた時の載荷圧力。 | 194.52 | — |
| ② 「 $\log p$ ～沈下量曲線（図-3.5.5）」が、沈下軸にほぼ平行になる載荷圧力。 | 233.43 | 311.23 |
| ③ 沈下量が載荷板幅（30cm）の10%（3cm）に達したときの載荷圧力。 | 195.22 | — |
| ④ 沈下量が30mmの範囲において、①または②のいずれの状況も認めたい場合には、試験最大載荷圧力を便宜的に極限支持力として扱う。 | — | 311.23 |
| 最小値（極限支持力： q_d ） | 194.52 | 311.23 |

各条件の最小載荷圧力を極限支持力（ Q_d ）とする。

(3)機械ボーリング+標準貫入試験+付帯調査

①特徴

- 1)難易度・調査費：高度・高価
- 2)調査深度：無制限(通常 80~100m)
- 3)標準貫入試験は日本工業規格 (JIS A 1219) に規定される。
- 4)サンプリング(乱れの少ない試料採取)では、採取地層の土質や硬さ (N値) によって、適用可能なサンプリング方法を選択する必要がある。

②調査目的

1)機械ボーリング

- a.原位置試験、サンプリングのための試験孔を削孔する手段。
- b. (自然) 地下水位の確認。

2)標準貫入試験 (JIS A 1219)

- a.地層のN値確認
- b.支持層特定
- c.N値による液状化判定
- d.液状化判定のための粒度試験用試料採取

3)孔内水平載荷試験

- a.地盤の横方向変形係数の確認

4)サンプリング：乱れの少ない試料採取

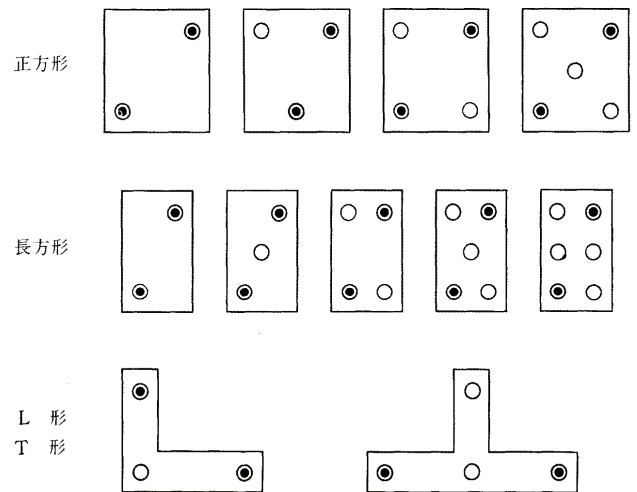
- a.室内土質試験試料の採取
(力学試験や湿潤密度試験で、乱れの少ない試料のサンプリングが必ず必要となる)

5)室内土質試験

- a.土質分類
- b.密度、含水比、粒度特性等の物理特性を確認し、力学試験結果の妥当性を判断する指標とする。
- c.設計に必要となる単位体積重量、せん断強度 (粘着力や内部摩擦角)、動的特性等の設計定数値の設定を行う。

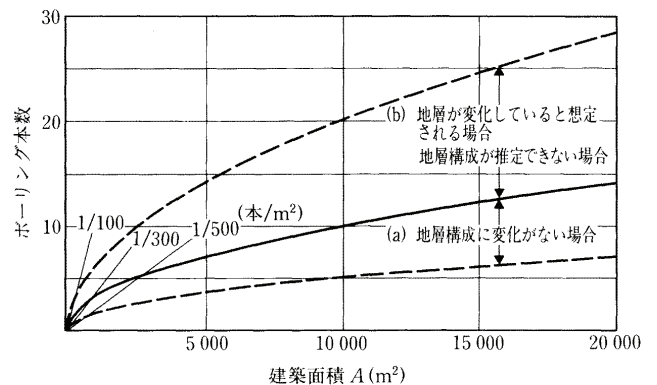
③実施位置と箇所数

- 1)通常建物形状に合わせて1箇所 (中央部) 以上実施する。(図-3.5.6 : a)
- 2)建物の面積や地形面の変化を考慮して、箇所数を増加する。(図-3.5.6 : b)
- 3)複数箇所実施する場合には、建物の形状や地形条件を考慮したうえで、**地層確認のための「パイロットボーリング」と付帯調査も実施する「(試験) ボーリング」**に分けて配置すると経済的な調査計画となる。



[注] ●：敷地内のパイロットボーリング
○：敷地内のボーリングによる調査

(a) 建物の形状とボーリング調査位置



(b) ボーリング本数と建築面積

図-3.5.6 ボーリング調査位置と数量⁴⁾

④留意点

- 1)調査技術、調査コストともに低層建築物の場合に比べ各段に上昇するので、十分な事前調査（既存資料調査や現地踏査）に基づいた無駄のない調査計画の策定が必要である。
- 2)支持地盤の確定のためには、機械ボーリングと標準貫入試験により、下記に示すような良好なN値の地層を十分な層厚で確認する必要がある。
 - ・ 砂質土・礫質土層
N値：30～50 以上
層厚：5～8m 以上
 - ・ 粘性土層
N値：20 以上
層厚：5m 以上
 - ・ 岩盤
N値：50 以上(風化程度も考慮)
層厚：3m 以上
- 3)超高層建築物では標準貫入試験によるN値以外に、岩盤の直接せん断試験等の特殊な調査を必要とする場合もある。



写真-3.5.1 横浜ランドマークタワー
我が国初の超高層ビルである霞ヶ関三井ビル(高さ147m)が誕生して以来、数多くの超高層ビルが生み出された。超高層ビルは年々高さを増し、1993年(H5年)に完成した横浜のランドマークタワーは、霞ヶ関三井ビルの2倍を上回る高さ296m(70階、現在日本一)に達している。

⑤データシート（ボーリング柱状図）の読み方

機械ボーリング+標準貫入試験+付帯調査では、調査結果を集積したデータシートとして次頁の図-3.5.7に示すような「ボーリング柱状図」を作成する。

ボーリング柱状図では地層の分布、構成土質およびN値の状況を確認し、計画される建築物の支持地盤と適用可能な基礎形式を選定する。

なお、支持地盤より上位の地層や支持地盤下に沈下の懸念される地層がある場合にはサンプリングや室内土質試験等、支持地盤としての有効性を確認できる調査項目の提案を行う事が重要である。

5-4 地盤調査項目と対費用効果

建築物の地盤調査では、建物規模に応じた良好な支持地盤を確実に確認できる調査項目を選定し適用する必要がある。

ただし、地盤調査項目の選定にあたっては、調査の必要性と対費用効果を十分に考慮する必要があり、低層建築物に対して高層建築物で行うような高度な調査は通常不要であり、逆に高層建築物を建てるのに低層建築物程度の調査項目ではデータ不足のために設計が困難となる。

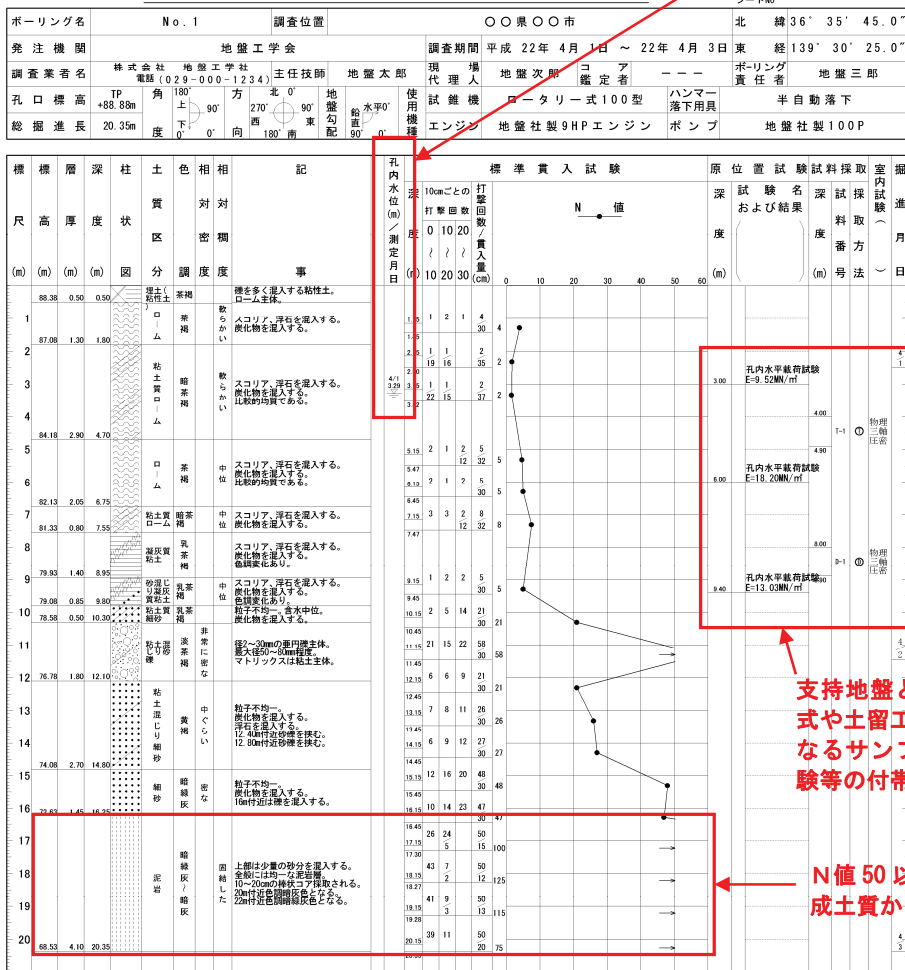
建築物の規模と一般的な地盤調査の項目（技術レベル）や数量（コスト）の関係は次頁の図-3.5.8に示すとおりであり、建築物の重要性が高く、規模が大きいほど調査方法（技術レベル）は高度化し、調査数量や調査費（コスト）は増大する。

建築物の調査にあたっては、次頁の図-3.5.8に示すような構造物規模と地盤調査の技術レベル、調査コストの関係を十分理解しておく必要がある。

ボーリング柱状図

調査名 中層及び高層建築物地盤調査業務

地下水位は重要な設計条件であるが、調査者は周辺の地形・地質状況から自然地下水位の妥当性を評価する必要がある。



支持地盤と上位層の状況から基礎形式や土留工の有無等を想定し、必要となるサンプリングや孔内水平載荷試験等の付帯調査を計画する。

N値 50 以上の連続性、層厚および構成土質から支持地盤を選択する。

図-3.5.7 中層建築物のボーリング柱状図：土質調査用

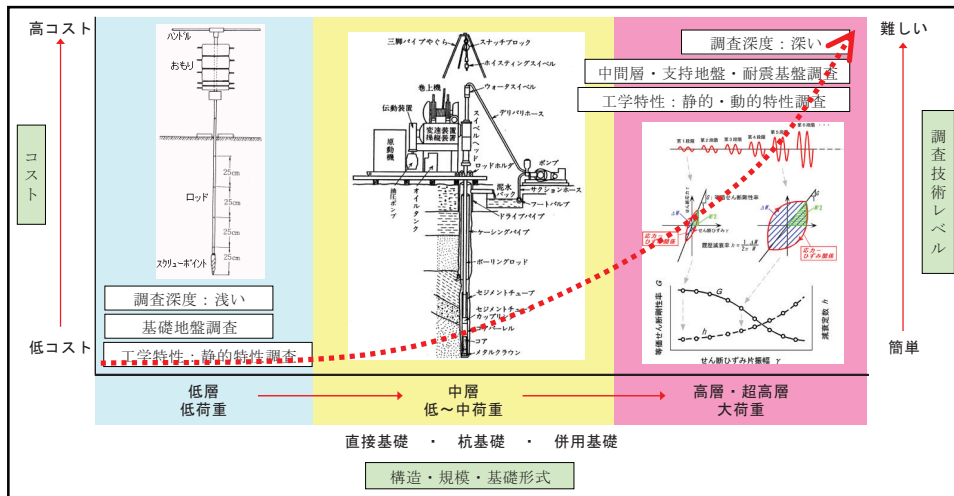


図-3.5.8 構造物規模と地盤調査の技術レベル、調査コストの関係

5-5 茨城県内の建築物事例

茨城県内の建築物事例として、水戸市内の同一地形面（洪積台地）上に建設された、一般の住宅（低層建築物：2階建住宅）と茨城県庁（超高層建築物：本庁部）を例にとって、建築物の上部構造と規模、選定された支持地盤、下部構造（基礎形式）および調査項目・数量・調査費用等を下記に示す。

(1) 一般住宅：低層建築物（図-3.5.9 参照）

- ①構造：鉄骨造（S造）
- ②規模：地上2階（高さ9.00m）
- ③建築面積76.32 m²
- ④支持地盤深度：GL-0.50m
（関東ローム層：火山灰）
- ⑤基礎構造：直接基礎（べた基礎）
B×L=8.40m×10.20m
- ⑥耐震性能：耐震構造+制震構造
→ 兵庫県南部地震対応
- ⑦調査内容：スウェーデン式サウンディング試験
→ L=5.5m×4箇所=22.0m
- ⑧調査費用：約10万円

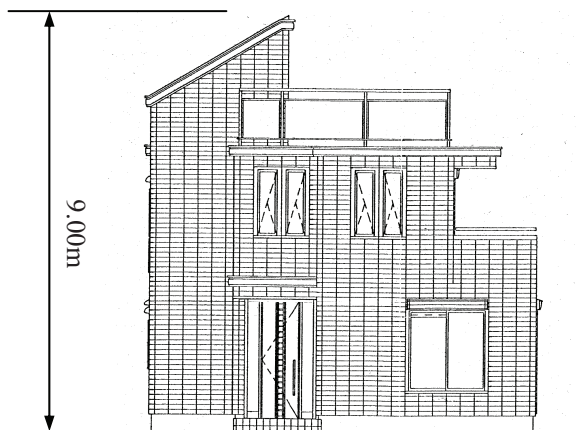


図-3.5.9 一般住宅：低層建築

(2) 茨城県庁：超高層建築物（写真-3.5.2 参照）

- ①構造：鉄骨造（S造）
- ②規模：高層部地上25階・地下2階（高さ116m）
- ③建築面積6,800 m²
- ④支持地盤深度：GL-27m程度以深
（洪積層：砂礫）
- ⑤基礎構造：杭基礎（場所打ちコンクリート杭）
杭径 D=3.0~4.1m
杭長 L=20.5m
- ⑥耐震性能：耐震構造（建設後耐震補強も実施）
→ 兵庫県南部地震対応
- ⑦調査内容：機械ボーリング22箇所（延べ892m）
標準貫入試験 852回
サンプリング 20本
室内土質試験 物理・力学・動的変形試験 1式
孔内水平載荷試験 24箇所
常時微動調査 3点
PS検層 57~62m
- ⑧調査費用：約6,000万円（付帯建物調査を含む）



写真-3.5.2 茨城県庁⁵⁾

参考文献

- 1) 社団法人 日本建築学会編集：小規模建築物基礎設計指針(2005)
- 2) 公益社団法人 地盤工学会：ホームページ
- 3) 社団法人 日本建築学会編集：建築基礎構造設計指針
- 4) 社団法人 日本建築学会編集：地盤調査計画指針
- 5) 茨城県：ホームページ

あとがき

本冊子は、公益社団法人地盤工学会の関東支部茨城県グループの諸活動を通じて芽生えた、「小中学校で地学を学んだあと、生活に直結する地盤について学ぶ機会がないのでは」という問題意識から企画されたものです。文明の高度化とともに、一般の人々は、地盤に関する知識がなくても生活ができるようになっていきます。しかし、自宅を建てる際の土地の選び方や、家の構造形式の選択、自然災害時の行動、自治体の社会資本整備に対する住民の合意形成などの折りに、地盤に関する基礎知識はとても大事になってきます。高校程度の知識を前提に、過度に専門的にならず、実際の生活に必要な事柄について学べるような教材を、というのが本冊子の出発点となっています。

執筆担当者がそれぞれ忙しく、なかなか完成しない状況の中で、東日本大震災が起きました。茨城県でも津波や液状化などの甚大な被害を受けました。そのような状況からの復興や今後の備えに、本冊子の重要性は高まっていると感じています。

元地盤工学会会長の太田秀樹先生、現地盤工学会長の末岡徹先生、筑波大学教授の山田恭央先生には、原稿に丁寧に目を通していただき、内容や文章表現などについて有益なご助言をいただきました。また、筑波大学地盤工学研究室の学生諸君には、わかりやすさの観点から文章をチェックしてもらいました。ここに記して、感謝の意を表したいと思います。

平成 25 年 9 月 17 日

伴・松本・松島

発行：公益社団法人 地盤工学会
関東支部 茨城県グループ
〒112-0011 東京都文京区千石 4-38-2JGS 会館内
TEL：03-3946-8670
FAX：03-3946-8699
E-mail：jgskantou@jiban.or.jp