

# 特集 構造物を支える地盤と基礎

Grounds and Foundations Supporting Structures

鈴木 紀雄  
Norio Suzuki

## I. はじめに

「砂上の楼閣」という言葉がある。「基礎がしっかりしていないために崩れやすい物事」の例えとして使われるが、実際に、基礎と地盤が適切に作られていない構造物を長く維持することはできない。

また、地盤は構造物を支えるだけでなく、その上で人が活動するところでもある。人の健康に害を及ぼす有害物質を含む地盤では、その悪影響を取り除くことが必要である。

この特集では、前半で建物や橋梁などの地上構造物を支える地盤と基礎に関する技術を概観するとともに当社独自の技術を挙げ、後半でそれらの技術の概要を紹介する。

土木分野では、トンネル、地下空洞、埋め立て、盛り土・埋め土など地盤自体を相手とした工事が幅広く行われているが、あまりに対象範囲が広がるので、本特集では「地上構造物を支える地盤と基礎」に限定した。しかし、トンネルなどの構造物は社会を支える重要なインフラであり、また、我が国の複雑な地盤に対処するため多くの技術開発が行われている分野なので、別の機会に取り上げたいと考えている。

## II. 我が国の地盤構成

日本の国土は総面積の約7割を占める山地と、それ以外の平坦～緩傾斜地で構成されている。山地は新生代第四紀(258万年以前から現代まで)より古い時代に形成された硬い地盤が多い。

これに対して、都市が発達している平坦～緩傾斜地は第四紀に形成された地盤で、そこに総人口の半数が生活している。日本の平野は河川が運んだ土砂が堆積してできた「堆積平野」である。堆積平野は、「台地」と「沖積低地」で構成されており、関東平野の場合、Fig.1のように全体の6割が武蔵野台地、大宮台地、常総台地などの台地である。これらの台地は、平野周辺の火山から飛来した火山灰が積もった、粘土質の関東ロームに覆われている。

一般に台地は安定した地盤と言える。一方、沖積低地は堆積してからの経過時間が短く、軟弱な場所が多い。

## III. 地盤の調査と試験

### 1. 物理・力学的特性の調査

(1) 原位置調査(建設地で行う調査)

#### a. ボーリングと標準貫入試験

「地盤調査」と聞くと、「ボーリング」が頭に浮かぶ人は多いだろう。ボーリング調査は、ロッド(鋼棒)の先端に刃が

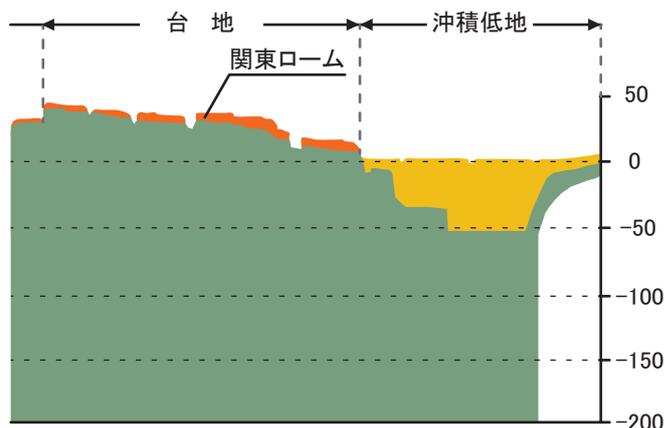


Fig.1 関東平野の断面イメージ  
(Image of the Section of Kanto Plain)

付いた中空鋼管を取り付け、地盤にねじ込んで土の試料を採取するものであるが、Photo 1のような「標準貫入試験」と呼ばれる試験と組み合わせて行われるのが一般的である。

標準貫入試験は、1m程度の深さごとに、「ボーリングロッド」と呼ばれる鋼棒の先端に質量63.5kgの錘を76±1cmの高さから自由落下させ、衝撃力でボーリングロッド先端に取り付けた「標準貫入試験用サンプラー」という中空鋼管を地盤に打ち込む試験である。サンプラーを30cm打ち込むのに必要な落下回数を「N値」と呼び、地盤の支持能力の基本情報



Photo 1 標準貫入試験の様子  
(Standard Penetration Test)

(出典:「高校生のための地盤の基礎知識-茨城版-」<sup>1)</sup>  
地盤工学会関東支部茨城県グループ)

報として、地盤の力学的性質を表す様々な指標値と関係づけられている。

b. その他の調査

基礎の設計では、既存文献調査などの事前調査で把握した地盤条件や設計条件を考慮して最適な基礎形式や施工方法を選び、それに応じて必要な情報を得るために様々な地盤調査を行う。その一つに「サウンディング試験」がある。これはロッドに付けた抵抗体を地盤中に挿入し、これを貫入、回転、引き抜いて、その際の抵抗から地盤の性状を調査する試験で多くの方法がある（標準貫入試験もその一種である）が、硬質層への適用に課題があるものが多い。当社では、硬質層を含めた各種の地盤を高速に調査できる「MWD 検層」（特集01；この番号は、後半に掲載した当社の技術概要の番号を表す）を開発し、この装置を搭載した地盤調査車「GEO EXPLORER/miniGeo」（特集02）を活用して、Fig.2のような複雑な地盤を詳細・正確に把握している。

また、少し目的が異なるが、加速度センサを内蔵した球体を自然落下させ、地面に衝突したときの加速度波形から地盤の締め固まり具合などを把握する「トリクレーター」（特集03）を開発し、基礎地盤の支持力評価や道路、鉄道、フィルダムなどの施工管理に活用している。

(2) 室内土質試験

原位置で採取した土の試料を用い、試験装置を使って土の性質を把握する。

a. 圧縮試験

土は土中で周囲からの拘束を受けている。この状態を再現するために、Photo 2 のように試料の側方からも圧縮力を加えながら鉛直方向の圧縮力を加える試験を「三軸圧縮試験」と呼び、強度特性や変形特性を把握できる。

b. 圧密試験

軟弱な粘土が長時間圧縮されると、粒子間の水（間隙水）がゆっくり絞り出されて体積が減少する「圧密」という現象が生じ、長い場合は10年以上にわたって続く。この現象により生じる地盤沈下（圧密沈下）は、設計で考慮すべき重要な項目である。試験では、圧密挙動を定量的に把握するため、試料に圧縮力を加え続けて変形を測定する。

c. 動的変形試験

土は、せん断ひずみ度 $\gamma$ の大きさによってせん断剛性Gや減衰定数hが変化するので、設計や解析にはG- $\gamma$ 関係とh- $\gamma$ 関係が必要になる。この関係を把握するために、繰返し三軸圧縮試験や繰返しねじり試験を行う。

(3) 液状化の評価

a. 液状化とは

一般に地表面から20m程度より浅い沖積低地で、粒径がほぼ同じ砂で構成され、砂粒子の間隙が完全に地下水で満たされている地盤（飽和地盤）は、通常は砂粒子同士の摩擦力で強度を保っているが、地震時に繰返し揺すられると間隙水の圧力が高くなって砂同士の結合が切れてしまうため、液体状になってしまう（Fig.3）。

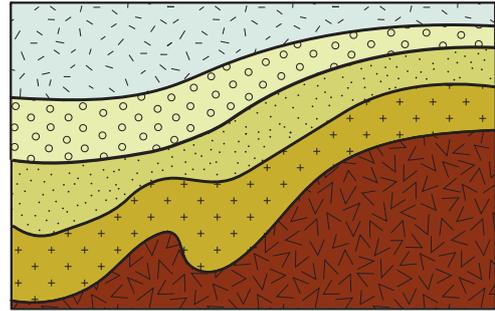


Fig.2 複雑な地盤のイメージ  
(Image of Complicated Ground)

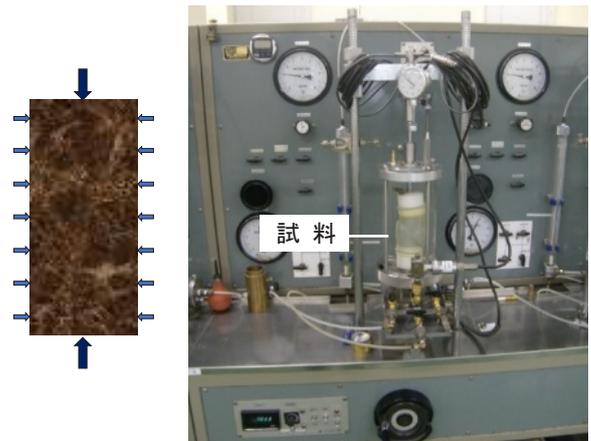


Photo 2 三軸圧縮試験装置  
(Triaxial Compression Testing Machine)

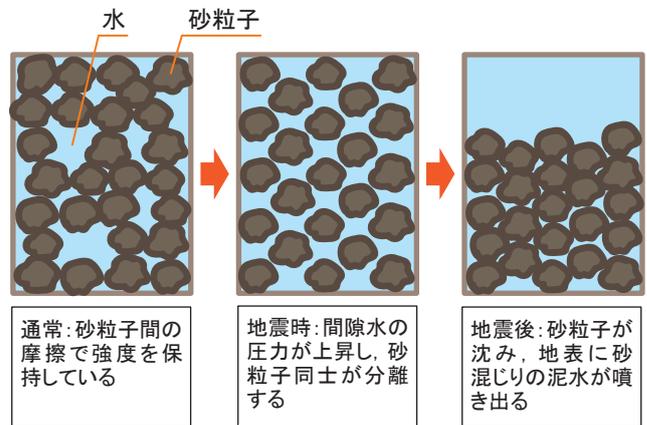


Fig.3 液状化のメカニズム  
(Mechanism of Liquefaction)

大規模な液状化が起ると、構造物自身はほとんど無傷のまま傾いたり転倒したりする。また、地下に埋められた軽量のインフラが浮き上がることでライフラインに大きな支障が生じたり、地中の水が噴き出すために地盤が沈下したりする。

地盤が傾斜している場合や、地盤を拘束していた護岸が損傷を受けた場合に、液状化した地盤が水平方向に移動する「側方流動」という現象が生じることがあり、構造物の基礎や地中のインフラなどに大きな被害をもたらすことがある。

## b. 液状化発生の評価

一般的に用いられる方法は、地盤中のある深さの N 値や粒径から求めた「液状化抵抗比」と、その地点に加わる鉛直応力や地表面の設計用水平加速度などから求めた「繰返しせん断応力比」の比率である「 $F_L$  値」を算定し、これが 1 以下であれば液状化の可能性があると判定する手法である。

側方流動の可能性や流動量の予測には、地盤剛性の低下を考慮して計算する手法のほか、変位や応力を直接計算できるコンピュータプログラムが開発されている。

## 2. 地盤の汚染調査と対策

### (1) 土壌汚染対策法に定められた汚染物質

自然環境や人の健康・生活に害を及ぼす量の有害物質が土壌に含まれている状態を「土壌汚染」と呼ぶ。これらの汚染物質は、その土地で操業する（操業した）有害物質を取り扱う工場などから漏れ出したものと、もともとその土壌に含まれていた自然由来のものがある。

土壌汚染の状況把握や土壌汚染による人の健康被害の防止を目的として、2003年に「土壌汚染対策法」<sup>2)</sup>が施行された（2010年に大幅改定）。この法律では、

①汚染された地下水の摂取などによるリスク

②汚染物質を直接摂取することによるリスク

の 2 つを人体に対するリスクと考え、リスクの高い 26 の汚染物質を「特定有害物質」と定義している。これらは、

①第 1 種特定有害物質（VOC）

②第 2 種特定有害物質（重金属）

③第 3 種特定有害物質（農薬・PCB）

に分類され、全特定有害物質に対する「土壌溶出量基準」（土壌に含まれる有害物質が溶け出し、地下水などから飲用に入り込んで間接摂取しても問題ないレベルとしての基準）と、重金属に対する「土壌含有量基準」（土壌に含まれる有害物質を経口又は皮膚より直接摂取しても問題ないレベルとしての基準）が設定されている。

また、人の健康には関わらないとして土壌汚染対策法の対象になっていないが、鉱油類（地下資源由来の炭化水素化合物もしくは不純物を含んだ混合物）を含む土壌により、油臭や油膜によって生活環境保全上の支障が生じる「油汚染」が問題となっており、環境省から「油汚染対策ガイドライン」<sup>3)</sup>が出されている。

### (2) 土壌汚染調査

土壌汚染対策法によれば、

①有害物質使用特定施設を廃止するとき

②3,000m<sup>2</sup>以上の土地の形質変更の届出の際に、土壌汚染のおそれがあると都道府県知事等が認めるとき

③土壌汚染により健康被害を生ずるおそれがあると都道府県知事等が認めるとき

の 3 ケースでは必ず土壌汚染調査をしなければならない。また、これ以外のケースでも土地の所有者などが自主的に調査しても構わないし、独自の条例を定めている自治体もある。調査は、環境大臣が指定した「指定調査機関」に依頼しな

ければならない。

調査項目は、ガス、土壌溶出量、土壌含有量の 3 つである。調査は対象とする土地に関する過去の資料を分析する「地歴調査」から始まり、100m<sup>2</sup>に 1 ヶ所という均等な頻度で土壌試料を採取したり、現地で測定したりする。どの項目を調査しなければならないか、どのような手法を使わなければならないかが、汚染物質ごとに厳密に規定されている。

### (3) 土壌汚染対策

汚染部分の土壌を汚染されていない土壌と入れ替えて完全に汚染を除去することも行われるが、高コストであり、除去した汚染土壌の処理が必要になる。このため、土壌汚染対策は、汚染を完全に除去するのではなく、許容できる範囲に低減することを目標としている。

浄化効果を予測できれば、より効果的な対策を施すことができる。当社は、汚染された地下水を汲み上げて浄化するときの汚染の拡散や減少状況を解析的に予測し（特集 04）、汲上げ用井戸の配置計画などに活用している。

#### a. 第 1 種特定有害物質（VOC）対策

3 つに分類された有害物質のうち、第 1 種特定有害物質（VOC）には、

①生石灰と水の反応による発熱や燃料を燃やした熱で有害物質を気化させて回収する

②鉄粉、酸化剤溶液、微生物などにより有害物質を分解する

③粒子間隙のガスを真空ポンプで地上に吸引し処理するといった方法がある。当社では、井戸から薬剤を注入し、ポンプで地下水を循環させて広範囲を浄化できる手法（特集 05）や、高圧噴流で浄化剤と汚染土壌を攪拌する「ジェットブレード工法」（特集 06）を開発し、より効果的な分解効果が得られるよう活用している。

#### b. 第 2 種特定有害物質（重金属）対策

重金属が土壌から溶け出して地下水に入ることを抑制する対策と、有害物質を含む土壌に直接接触することを防ぐ対策がある。

①不溶化：酸化マグネシウム系などの薬剤で溶出量を減らす

②固化：セメントなどで固める

③吸着層工法：吸着層の上に汚染土を積み上げ、吸着層に汚染物質を吸着させる

④還元不溶化：微生物の作用で地盤を還元し、重金属を不溶化する

①、②の方法では、土地の利用用途の変更などによって環境が変わると効果が低減する恐れがあるが、当社では、広範囲の環境条件下で効果を保持できる新しい不溶化材（特集 07）を開発している。また、鉄粉に吸着しやすいという重金属の性質を利用して集めたのち、鉄粉の磁性を使って超電導磁石により鉛やヒ素などを分離回収する方法（特集 08）を開発し、2016 年度エンジニアリング功労者賞を受賞した。ほかに、吸着層として利用できる「KAT Beads」（特集 09）を開発し適

用している。

#### c. 第3種特定有害物質（農薬・PCB）対策

第3種特定有害物質のうち農薬は、土壤中で分解が比較的速く進むとされており、汚染例は少ない。

一方、PCBは毒性が強く安定性が高いので処理が難しいが、薬液や加熱によって土壤中から抽出し、アルカリ剤、熱、光によって塩素とそれ以外の物質に分解する技術が確立されている。

#### d. 油汚染対策

油汚染対策ガイドラインには、大人が立った状態で利用する土地（工場など）では、盛土、舗装、シートなどで地表への油臭遮断や油膜の遮蔽を基本とし、児童公園など人が地表の土壤に直接接触することが想定される場合には、油を含んだ土壤の浄化が基本とされている。第1種特定有害物質（VOC）対策の多くが使用できる。当社では、微細な気泡を使って油を土粒子から引き離す方法と、微生物を使って油を分解する方法（特集10）を開発している。

### IV. 基礎の計画

#### 1. 基礎の種類

まず、構造物で用いられる基礎を概観する。建築で用いられる主な基礎は、Fig.4に示す直接基礎、杭基礎、パイルドラフト基礎に大別され、支持構造物の重量が大きい場合に地中連続壁が用いられることがある。土木構造物の基礎は道路、鉄道や護岸のように線状構造物である場合が多く、前述の基礎のほかに、鋼管矢板基礎、シートパイル基礎、ケーソン基礎など多種類に及ぶ。それぞれの基礎は、形状や施工法によってさらに細かく分類できるが、ここでは省略する。

なお、一つの構造物の全ての基礎を同一種にする必要はなく、地盤や構造物重量が部位によって異なれば、その部位に適した基礎を使い分けることも少なくない。

##### （1）直接基礎

十分な支持力を持つ地層が地表近くにある時、その地層を少し掘り下げたのち、構造物をそのまま設置する基礎である。

建築では、中小ビルの地盤としては粘性土ならばN値が5以上、大型ビルの地盤としてはN値が50以上の砂質土が望まれる。新宿や霞が関では、N値が70以上ある「東京礫層」が地下10~20mにあるので、これらの地区の超高層ビル群は東京礫層を支持層とする直接基礎を用いている。

##### （2）杭基礎

直接基礎では構造物を支持できない場合、杭で支持する。杭は、支持する機構によって

- ①「支持杭」：構造物を支持できる強度を持つ地層（支持層）まで届かせて、主に杭先端で構造物の重量を支える
- ②「摩擦杭」：適切な支持層がないときに、杭と周囲の地盤との摩擦力を利用して構造物を支える

に大別される。また、作り方によって次のように分類される。

- ①「場所打ち杭」：直径が杭と同じ孔を必要深さまで掘ったのち、組み立てた鉄筋籠（円状に配置した杭長方向の鉄筋

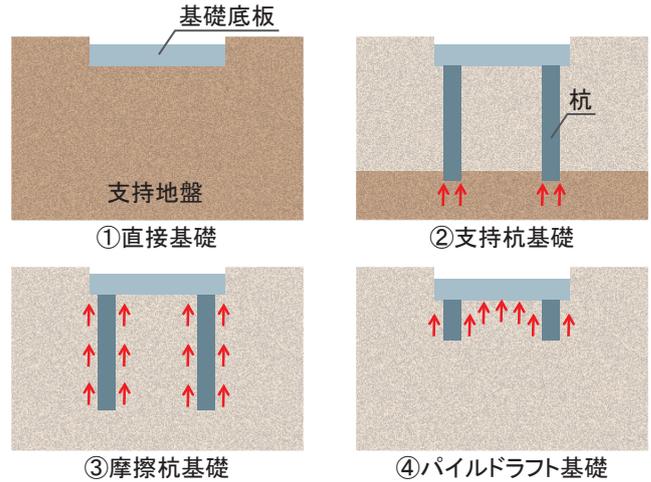


Fig.4 基礎の種類  
(Type of Foundation)

を、円形に加工した水平方向の鉄筋で拘束して構成した円柱形の籠）を差し込み、そこにコンクリートを充填する工法である。支持力が大きい大口径の杭を作ることができる  
②「既成コンクリート杭」：工場で作成した杭体を現場に搬入して、掘削しておいた孔に挿入する。近年では大口径のものも製作されるようになってきているほか、種類も増加している

##### （3）パイルドラフト基礎

「パイル」は「杭」、「ラフト」は「いかだ」の意味で、直接基礎と杭基礎（摩擦杭）を併用した基礎である。ある程度の沈下を許せば支持力は直接基礎だけで負担できるが、沈下や不同沈下が大きくなる場合に使用されることが多い。

#### 2. 設計の考え方

基礎には、常時、上部構造物の重量を支えるとともに、地震のときは水平力に抵抗する機能が求められる。

設計者は上部構造物の重量や形状、地盤構成、さらにはコストや工期、周辺への影響を配慮に入れ、発注者や施工者と協議しながら最適な基礎を選択・設計する。この際、地盤分野の専門家のアドバイスを受けることも少なくない。

建築基準法施行令では「基礎は建築物に作用する荷重及び外力を安全に地盤に伝え、かつ、地盤の沈下または変形に対して構造耐力上安全なものとしなければならない」とされているが、地震に関しては「中程度の地震に対して損傷を受けないことを検証する」よう述べられているに過ぎない。これは、上部構造に対して

- ①供用中に受ける可能性がある「稀な地震」に対する設計
  - ②数百年に一度起こり得る「ごく稀な地震」に対する設計の2段階の設計を要求していることと整合性に欠けている。
- 一方、日本建築学会「建築基礎構造設計指針2001」では、①常時荷重に対して「使用限界」（これを超える変形を受けると上部構造に若干の損傷が生じる、あるいは日常生活に支障をきたす）以下  
②稀な地震に対して「損傷限界」（これを超える変形を受け

ると基礎を再使用するためには何らかの補修・補強が必要となり、基礎の変形により上部構造も補修や補強が必要な状態になる) 以下

③ごく稀な地震に対して「終局限界」(これを超える変形を受けると、地盤や基礎、さらには基礎の変形により上部構造が修復不能な状態になる) 以下

と性能を明確にした設計が指向されている。基礎の設計法に関しては、今後も議論が進められていくものと考えられる。

土木分野では、道路、鉄道といった構造物ごとに異なる法律が規定されており基礎の設計基準も異なっている。しかし、いずれも基本的な設計の考え方は建築基礎構造設計指針と同様であり、基礎を含む構造物全体に対する要求性能である安全性、使用性、復旧性(建築の終局、使用、損傷に相当する)に対し、基礎の性能項目を Table 1 のように設定している。

Table 1 土木構造物の基礎の要求性能  
(Fundamental Performance Requirements of Structures and Factors of Civil Structure Foundation)

構造物の要求性能		基礎の性能項目	
安全性	地震時, 地震時以外	基礎の安定	支持地盤の破壊
			水平安定・回転安定
	基礎部材等の破壊		
使用性	長期支持性能	基礎の 残留変位	鉛直方向・水平方向・ 回転方向
	短期支持性能		残留変位(鉛直・水平傾斜)
復旧性	安定レベル	基礎の 残留変位	基礎部材等の損傷

### 3. 設計で考慮する事象と対策

設計で考慮する主要な事象と対策を以下に示す。

#### (1) 地盤や基礎の沈下

沈下には、荷重が加わるのとほぼ同時に生じる「即時沈下」と、先に述べた軟弱な粘土層で生じる「圧密沈下」がある。均一に沈下すれば構造物自体への影響は小さいが、構造物の部位によって沈下量が異なる「不同沈下」が生じれば、構造物が傾いたり、部材に予想しない力が作用したりすることになる。

このような沈下が生じる敷地に構造物を建設する場合、N値が大きい地層があれば、そこを支持層とする杭基礎にするのが基本である。

また、地盤を固化する地盤改良も対策として考えられる。

このほか、工期に余裕がある場合は、建設される構造物の重量以上の土を事前に盛って荷重を加え、圧密を進めておく「プレローディング工法」が採用されることもある。このとき、地盤に多数の縦穴(バーチカルドレーン)を開けて水を排水すると圧密速度は一層上がる。

#### (2) 地震

##### a. 地震時に基礎に加わる力

地震時、基礎には、Fig.5のように、

##### ①地上構造物部分の揺れによる水平力

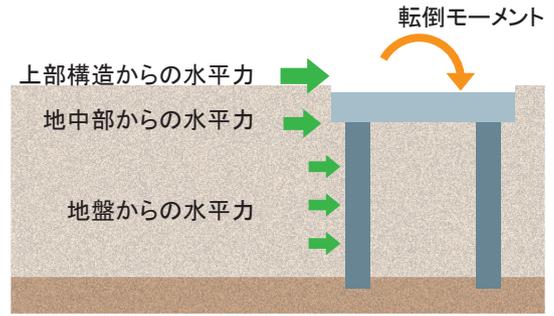


Fig.5 地震時、基礎に作用する力  
(Forces Acting on Foundation during Earthquake)



Photo 3 転倒モーメントにより傾いた幅が狭い建物  
軟弱地盤に直接基礎を設置したことが原因  
(1999年 トルコ・イズミット地震)  
(Leaning Slender Buildings due to Overturning Moment)

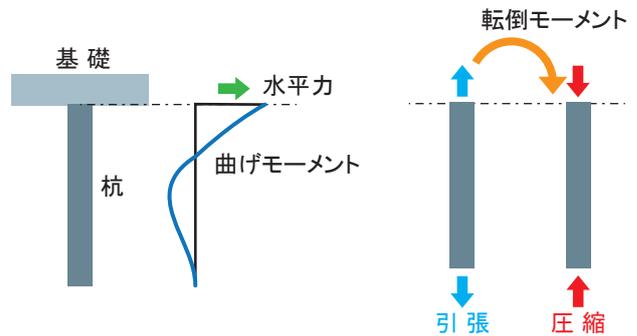


Fig.6 地震時、杭に生じるモーメントと軸力  
(Moment and Axial Forces Acting on Pile during Earthquake)

②基礎を含む構造物の地下部分や杭が揺れることによる水平力

③地盤の揺れによる水平力、地盤からの反力が作用する。さらに、軟弱な地盤では、液状化や側方流動の力が作用することがある。

また、基礎を水平軸周りに回転させようとする力(転倒モーメント)が作用するが、この力は構造物の幅に対する高さが大きくなるほど、また構造物が高いほど大きくなる(Photo 3)。

##### b. 杭の曲げと圧縮、引張り

杭は細長い部材のため、曲げる力(曲げモーメント)が支配的となる。曲げモーメントは杭長に沿って Fig.6 のように変化するが、通常の杭では杭頭(基礎との結合部近傍)で最大となる。また、構造物外周部の杭には、転倒モーメントの

ため軸方向の圧縮力や引張り力が同時に作用する。杭はこれらの力によって損傷を受けないように設計される。

杭頭と基礎は剛接されるのが一般的であるが、ある程度自由に互いに回転できるように接合すると、杭頭の曲げモーメントを小さくできる。当社ではこの性質を使った（杭頭半固定／杭頭半剛接）工法（特集 11）を開発している。

#### c. 液状化

液状化を防ぐ対策は、大きく 4 つに分類される。

①地盤を締め、粒子同士の間隙を小さくする方法：代表的なものに「サンドコンパクション工法」(Fig.7)がある。

この工法は、地盤中に多数の締め固めた砂杭を造成して、砂杭の圧入効果により地盤全体の相対密度を高め、粒子同士が押し付けあう力を増大させるものである

②緩い地盤にセメント系の固結材を混ぜ合わせて固い地盤にする方法：いろいろな工法が考えられているが、当社のグループ会社が開発した「ジェットクリート工法」(特集 12)は、セメントミルク（セメントを水で溶いたもの）を高圧で地中に噴射しながら元の地盤と攪拌して円柱状の固化体を作る工法で、改良径と強度を任意に設定できるという特長を持つ。また、当社がグループ会社と共同開発した「カーベックス工法」(特集 13)は、構造物から離れた位置で地盤に斜めに挿入したパイプの向きを途中で水平方向に変えることにより、既存構造物直下にパイプ先端を到達させ、これを通じて薬液を注入することで、これまで難しかった既存構造物直下の地盤固化を可能とした

③地下水位を低下させる方法：改良する部分を遮水壁で囲んでおき、その中の水を排水する

④地中に壁を作り、地盤のせん断変形を小さくして液状化を抑制する方法：壁はセメントなどの改良材を地中に供給し、軟弱土と改良材を強制的に混合攪拌して構築する

これらの地盤自体を改良する方法ではなく、杭基礎を採用して、液状化する層より深い位置にある支持層で構造物を支える方法も多用される。

#### 4. 地盤－基礎－構造物の連成解析

##### (1) 静的解析

異種基礎を同時に使ったり沈下が問題になったりするとき、基礎の設計に際して正確な沈下解析が必要である。当社では、基礎と地盤の連成効果を考慮した沈下解析手法（特集 14）を開発し、パイルドラフト基礎の設計などに活用している。

##### (2) 動的解析

地震時、杭基礎やパイルドラフト基礎には、上部構造物の揺れによる杭頭部に作用する力と地盤から受ける力が作用する。これらの力は互いに影響を及ぼしあう（相互作用）ので、挙動を正確に計算するには、構造物－杭－地盤を一体としてモデル化し地震応答解析を行う必要がある。当社関連会社では連成解析手法（特集 15）を開発し、国立研究開発法人 防災科学技術研究所の大型振動台を使って行った連成モデル実験のシミュレーション解析を通じて妥当性を検証している。

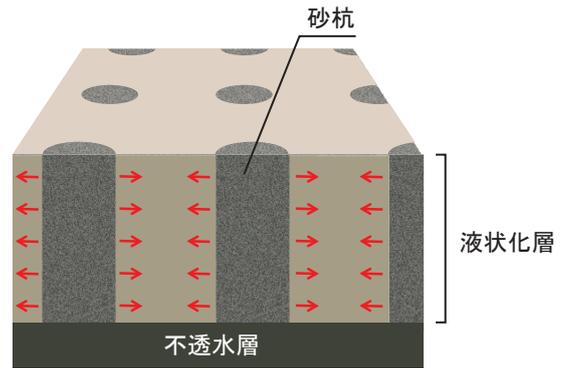


Fig.7 サンドコンパクション工法  
(Sand Compaction Pile Method)

## V. 基礎の施工

### 1. 地盤の掘削

掘削は基礎を作るためだけでなく、建物の地下階など構造物の地下部分を建設するためにも行われる、地下工事の中でも重要な部分である。

掘削部分と周辺との境界は崩落する危険性がある。そこで、掘削面の安定を保つために「山留め」（土留め）を設ける。山留めには鋼矢板（鋼製の板状の杭）や H 形鋼（間に板を挟み込む）を鉛直に打ち込む方法や、土にセメントを混ぜて固化する方法がある。このほかに、掘削境界線に連続した孔をあけ、そこに液体状のセメントミルクを流し込み周囲の土壌と攪拌することで連続壁「SMW」を作り、その後、地盤を掘削する方法が使われる。工事後、この壁を構造物の地下外壁として利用することも行われている。

これで不十分な場合には、「腹起し」と呼ばれる水平材で鉛直材を抑え、腹起し間に「切梁」と呼ぶ梁をかけ渡す。掘削深さが大きくなると、切梁を 2 段、3 段と増加させる（Photo 4）。

切梁は掘削部分の空間を縦横に横切るため、大型重機の稼働の妨げになることから、これを使わない山留め工法が求められてきた。当社では、山留め材の頂部を、周辺地盤に作ったコンクリート造スラブや周辺地盤に挿入した鉛直部材と結



Photo 4 地盤の掘削  
(Excavating Work)

合した切梁を必要としない工法（特集 16）を開発し、これまでも多くの現場で適用している。

掘削工事では、存在していた大量の土を取り除くことになるので、隣接地域の地盤や構造物への影響をゼロにするわけにはいかない。例えば、近くを地下鉄のトンネルが通っている場合、工事によるトンネル・軌道の移動は、管理者により数 mm から十数 mm 以内と定められている。事前に十分な検討を行い、周辺地盤の動きが最小になるように計画し、モニタリングして状況を把握しながら工事を進めている。

## 2. 杭の施工

特に、都市部での建設工事では、基礎工事に限らず騒音や振動といった周辺への悪影響を抑制することが重要である。

場所打ち杭は、ドリルなどで所定の深さまで孔をあけたのちに鉄筋籠を挿入し、コンクリートを打設して製作するが、騒音、振動は比較的小さい。

以前、既成杭では、高く持ち上げたハンマーを自由落下させて杭頭に衝撃を与え地盤中に打ち込む工法が用いられていたが、騒音や振動あるいは煙や油といった問題から今ではほとんど用いられず、場所打ち杭のようにドリルなどを使って必要な径の孔を必要な深さまで作り、そこに杭体を差し入れる工法が主流である。

場所打ち杭では、杭の能力を発揮させるには、孔の途中で土が崩れないようにすることと、土の掘りくず（スライム）を孔底に残さないことが必要である。杭孔の崩落に対しては全長に渡る鋼管を入れたり、「安定液」と呼ばれる液体を満たしたりする工夫がなされている。スライムは掘削終了後にバケツですくい上げたのち、ポンプで安定液と一緒に吸い上げる処理方法が使われる（Fig.8）。

特に、土木工事では、現場の上を道路や鉄道高架橋が走っているなど十分な空間がない場合がある。このようなケースに対応するため、当社では、コンパクトで従来工法とほぼ同等の性能を持つ「BCH」工法（特集 17）や伸縮可能な鉄筋籠を使う「ストランド場所打ち工法」（特集 18）を開発した。

## VI. 基礎の解体・再利用

### 1. 基礎の解体

都市部では空地に新しい構造物を建設することはほとんどなく、一旦、既存の構造物を解体してから建設に取り掛かる。

通常、地下部分は狭隘なため大型の重機を入れることができず、上部構造の解体が終わるまで解体に着手できない。また、基礎部材は大型の鉄筋コンクリート造なので、上部構造の解体に用いられる破砕機（コンクリート部材をかみ砕く、はさみ状の器具）で挟むことができない。このため、基礎は大型ブレーカ（油圧や空気圧で稼働するノミ）を用いて衝撃力で解体せざるを得ず、騒音、振動、粉塵が長時間にわたり継続する。解決策として当社では、少量の爆薬を用いて鉄筋コンクリート部材を小型重機で容易に搬出できる大きさのブロックに分割する「鹿島マイクロブラスティング工法」（特集 19）を開発している。

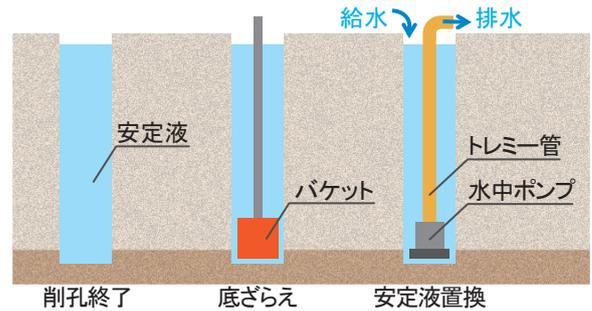


Fig.8 スライムの除去  
(Removal of Slime)

### 2. 既存杭の解体

杭径が大きい杭は、基礎と同様に破砕機で壊すことができないので、杭を残したまま地盤だけを掘削し、ある程度杭が突き出た形になったら大型ブレーカで破壊する。この作業を所定の深さまで繰り返すため、騒音、振動、粉塵が多く発生する。当社では、前述の「鹿島マイクロブラスティング工法」を応用して杭をブロックに分割しておき、地盤掘削と同時に解体を進める「パイル MB 工法」（特集 20）を開発し、環境への悪影響を抑制した効率的な杭の解体を可能としている。

### 3. 既存基礎・杭の再利用

ビルの建替えの時、省資源や工期の短縮のために、既存構造物の地下躯体や杭を再利用することが望ましいとされている。既存地下部分が建替え後よりも大きければ、既存壁を山留めとして利用することもできる。

既存杭を再利用するには、現在の性状を正しく把握することが重要である。このため、既存杭から抜き出したコンクリートの圧縮試験、中性化深さの調査、目視で主筋に腐食が認められた時には主筋を取り出して引張り試験を行う。目視できない土中の損傷の有無は、杭頭に衝撃を与えて、衝撃波が杭先端あるいは杭中間の損傷部で跳ね返ってくるまでの時間で判断する。また、鉛直、水平支持力と変形性能を現場で確認する。

健全性を確認できても、古い杭は水平抵抗力が低いいため補助的に鉛直荷重のみを支える役割を担わせ、地震などの水平力は新設杭で負担するように設計している。

## VII. おわりに

12 世紀に高さ 100m の鐘楼として着工されたピサの斜塔は、地盤の不均一性が原因となり、10.5m の高さまで工事が進んだときに南側に傾き始めた。2 度の工事中断を挟んで 14 世紀に高さ 55m の塔として竣工したのちも傾きは増加し続け倒壊の危険性が高まったが、20 世紀末に北側の地盤を掘削するという方法で傾きが若干戻り安定化した。「砂上の楼閣」として消え去る一歩手前で踏みとどまったわけである。

しかし、実際に鐘を鳴らすと振動で傾きが増えることが懸念され、録音した鐘の音を流しているそうである。その点では、本来の役割を果たしていない構造物と言えよう。構造物

は何らかの目的をもって構築されるものであり、その機能を維持していくには、地盤と基礎をしっかり作ることの重要性を斜塔は示している。

さらに、ピサで斜塔が作り始められた時代に比べ、私たちははるかに多くの物質を作り出し、恩恵を被る一方で汚染に悩まされている。健全な地盤と基礎に支えられた構造物を作り、大地の上で生活する私たちの健康を守るために、建設会社が果たすべき役割は大きい。

ここまで、構造的に堅固で、健康に不安がない地盤・基礎を作るための情報を述べてきた。ここからは、当社が開発した技術を紹介する。

#### 参考文献

- 1) 地盤工学会関東支部茨城県グループ；高校生のための地盤の基礎知識－茨城版－，(公社)地盤工学会関東支部茨城県グループ，2013.
- 2) 環境省 水・大気環境局 土壤環境課 土壤環境課；土壤汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン（改訂第2版），環境省，2016.
- 3) 土壤環境センター；環境省の油汚染対策ガイドライン，化学工業日報社，2006.
- 4) 日本建築学会；建築基礎構造設計指針，日本建築学会，2001.



Photo 5 ピサの斜塔  
(Tower of Pisa)