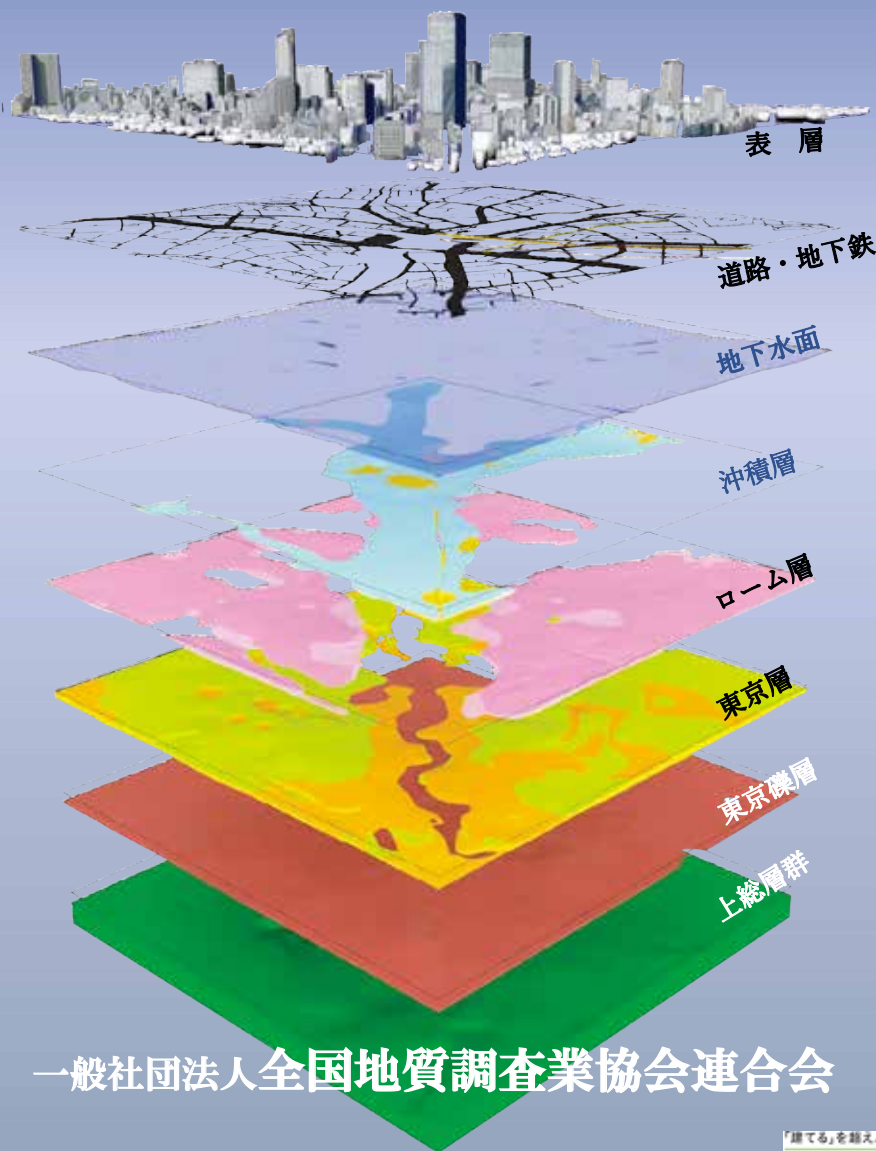


JGCA

# 3次元で地下と地上を見よう



一般社団法人全国地質調査業協会連合会

「建てる」を踏え、未来を生みだす。

東急建設

# はじめに

立体的なものを平面で示しても、なかなかイメージが湧きません。例えば、図面に書かれた物から実物をすぐにイメージすることは、簡単ではありません。特に複雑な構造物であれば、なおさらです。そのため、最初から立体表示ができるようにデータをそろえ、いろいろな角度からコンピューター上で表示できるようになれば、実物に近いように表現ができるため、とてもわかりやすい情報が提供できることとなります。

このような3次元の特徴を生かして、最近では建設分野においても、3次元表示が活用されるようになってきました。例えば、高層ビル、道路、橋、トンネル、河川施設などの設計を、3次元で行うことも増えてきています。

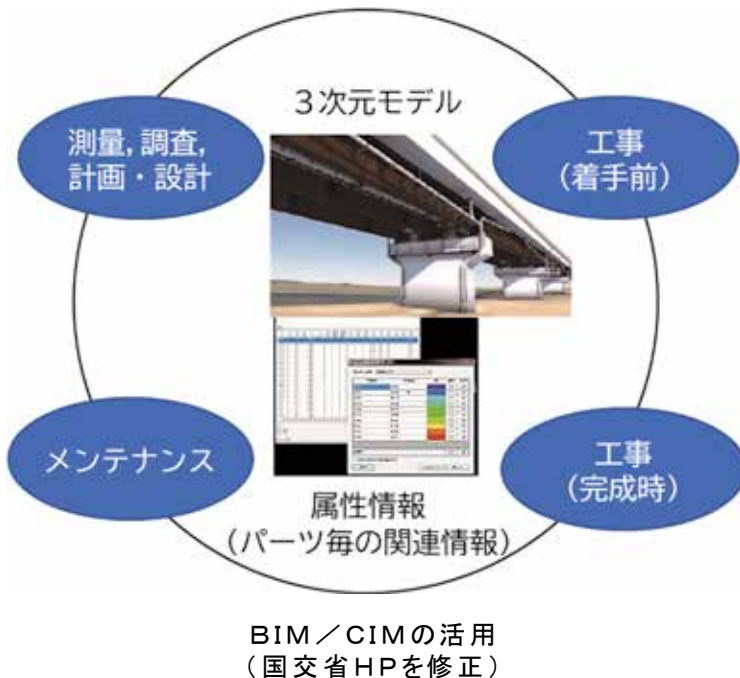


3次元のイメージ

また、国土交通省では、土木構造物を造る際に、測量・調査・設計のような早い段階から3次元モデルを取り入れ、その後の工事やメンテナンス段階においてもそのモデルを展させながら関係者で共有しようという試みが始まっています。これはBIM/CIM（ビルド・シミュレーション）と呼ばれるもので、建設全体の効率化や高度化をねらったものです。

一方、3次元モデルを作成するうえで、構造物を支える地盤を無視することはできません。ところが、地表面や構造物の形状に比べて目に見えない地下の状態を調べて3次元モデルを作ることは簡単なことではありません。

この小冊子では、このような地下を対象とした3次元地質モデルの概要や、その使い方などについて紹介します。



# 1. 3次元モデルとは

## ● 3次元モデルとは何か

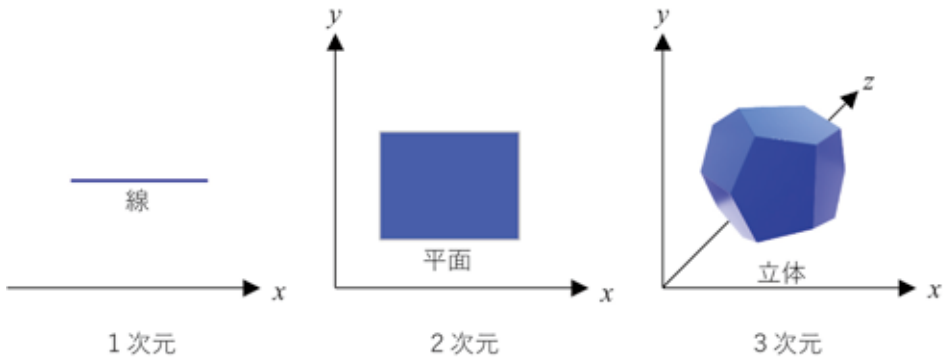
はじめに、3次元って何なのかを考えてみましょう。

通常、1次元〜3次元という数字で表すのは、下の図のように座標軸がいくつあるかを意味しているからです。つまり3次元は、3つの軸の座標で表現される空間的な広がりを表すものです。そして、3次元モデルというのは、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ の3次元で表現された、立体的な形状モデルのことを言います。

なお、まれに4次元という表現を聞くことがあります。これは3次元の位置情報に時間軸を新たに加えたものですが、やや特殊なので今回は省略します。

## ● なぜ3次元モデルを使うのか

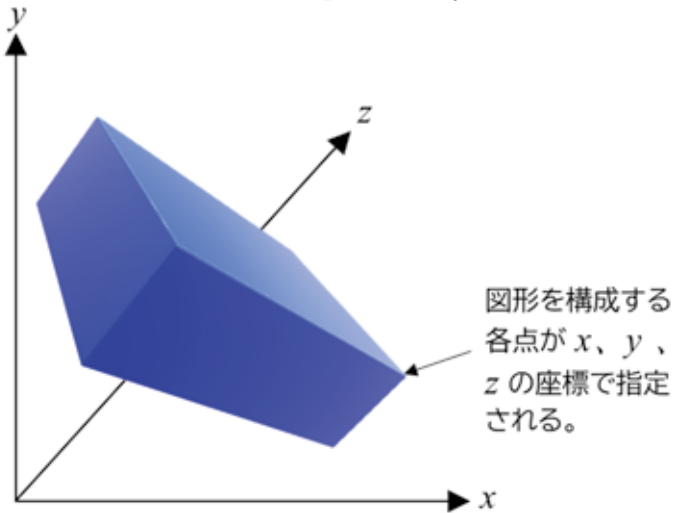
3次元モデルが使われるのは、一般的に次のようなメリ



1次元、2次元、3次元

ットがあるからです。

- ① 直感的に形状の把握はあくが可能である
  - ② 関係者へのビジュアルな提案ができる
  - ③ 構造物の寸法や掘削した土の量などの計算ができる
  - ④ 計画している構造物と既にある構造物や地盤との関係をチェックできる
  - ⑤ デジタル環境で構造物の完成イメージを角度や大きさを変えて見ることができる
- 一方、デメリットもないわけではありません。
- 例えば、次のようなものが挙げられます。
- ① 3次元モデルの作成に慣れた人が少ない
  - ② 関係者がすべて3次元に対応できていないければ、効率が低下する
  - ③ データが大きくなり取扱いにくい



3次元モデルのイメージ

ただし、このようなデメリットは、教育やソフト・パソコンの性能向上により解決できるものです。

### ● 3次元地質モデルとは

3次元地質モデルは、地表面下の地盤を対象とした3次元モデルで、地盤モデルや土質・地質モデルという言い方もあります。これは、ボーリング調査結果などに基づき、様々な情報を地質学的な解釈を加えて総合的に表現した3次元モデルで、通常、地形の3次元モデルと併せて表示されます。このモデルには、地質の違いを示す地層境界や、断層のような特異な地質構造、あるいは地下水面などが示されます。

3次元地質モデルは、以前から2次元で表現しにくい場合に用いられてきましたが、最近、BIM/CIM（下図参照）が建設分野で進展し始めた



BIM/CIM とは

ことがきつかけとなり、その活用が進みました。BIM／CIMにおいて利用する場合、単に地質構造を3次元化するだけでなく、以後の工程に役立つ情報（危険箇所など）をひもづけて示すことも行われています。

3次元地質モデルが、橋やビルなど通常の構造物の3次元モデルとは、次の点で大きく異なります。

① 3次元で図化するうえで情報量に限りがあるため、地質専門家のサポートが不可欠である

② 複雑な地質構造では、3次元表示により新たな気づきを得られることがある

③ 現場に特有の地質リスク情報をひもづけることで、設計・工事・メンテナンスに有効となる



地質リスクとは、構造物を建設するとき、地質、地盤、地下水などに関する情報のばらつきや不足などが、工事中の事故やトラブルに及ぼす影響のこと。  
地質リスクの要因を調べて分析して評価することが、安全で確実な工事につながるのじゃ。

日本の国土はせい弱なので、地すべり・地盤沈下・地盤陥没など、地盤に関係するリスクがいっぱいあります

地質リスクとは



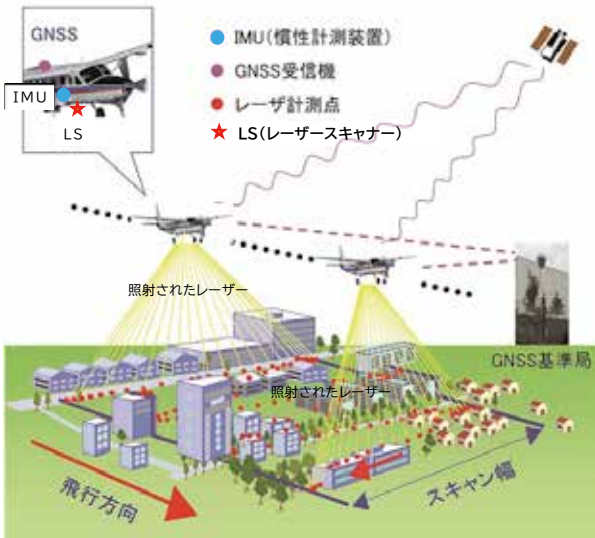
## 2. 地表や土木構造物の3次元化

皆さんが山や谷を眺めると、立体的に見えると思います。これは、私たちが自然に地形を3次元として認識しているからです。一方、地図は紙やディスプレイの平面に山や谷を2次元で表現したもので、高さについては等高線として表しています。このため、3次元で見るより地形を理解しにくいことがあります。

ここでは、地表や土木構造物を3次元で表現する方法について紹介します。

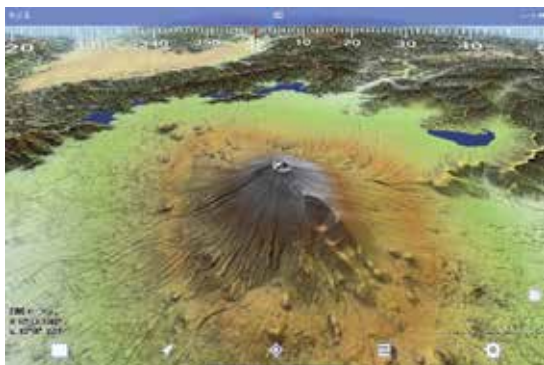
### ● 地表の3次元化

かつて地図は、航空写真や地上測量をもとに作成していました。最近では飛行機やドローンに多数のレーザーを照射できるレーザースカナー（以下LS）を搭載し、

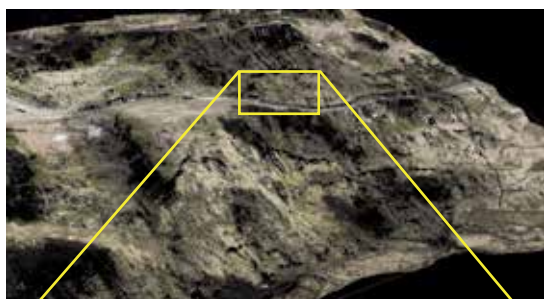


レーザースカナーを用いた測量  
(国土地理院 HP 一部加筆)





DEMを用いて作成した富士山周辺の3次元地形モデル(APP「スーパー地形」で作成)



上: ドローンで取得した斜面の点群データの表示例

下: 拡大するとスキャンした点のデータから構成されていることがわかる

地表面の  $x$ 、 $y$ 、 $z$  の座標を計測し、そこから5m四方に1点の標高データを整備しています。このようにして作成されたデータを、DEM(数値標高モデル)と呼びます。現在では全国の7割の面積をカバーしており、誰でもこのDEMを国土地理院などから入手でき、広い範囲の地表面を3次元モデルとして表示することができます。

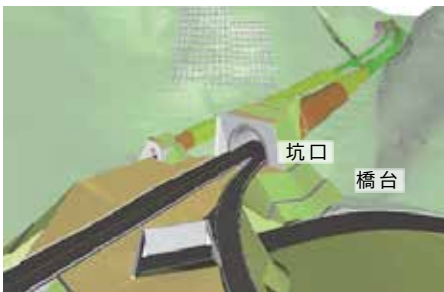
LSで計測したままのデータを、点群データと呼んでいます。点群データは膨大なデータから構成されているので性能の高いパソコンで処理し、3次元モデルを作成します。BI

M/CIMの普及に伴って、土木や建築などの現場で活用されるようになっていきます。特に、斜面災害が発生したときなどは素早い対応が必要になり、LSを用いて作成した地形図や3次元モデルは、復旧作業などで重要な役割を果たしています。

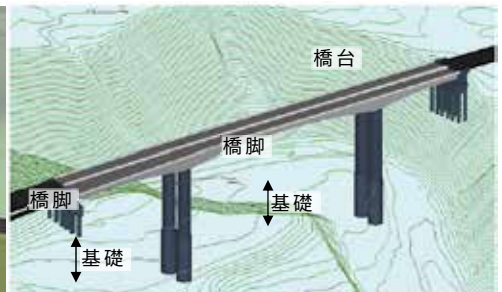
点群データは、私たちの日常生活にも利用されつつあります。LSを搭載した専用の自動車で、道路周辺の点群データを取得しています。そのデータを用いて、自動運転に必要な3次元地図などが作成されています。

### ● 土木構造物の3次元化

私たちの身の回りには、橋やダムなどの土木構造物があり、生活を支えています。これらの構造物を造るためには、まず設計図を作成します。これまでは2次元CADを用いて設計していましたが、最近では3次元CADが用いられます。3次元CADによる設計のメリットは、その形状をイメ



3Dモデル化したトンネル(国交省BIM/CIM事例集 一部加筆)



3Dモデル化した橋梁(国交省BIM/CIM活用ガイドライン(案) 一部加筆)

ージしやすく、工事をする上での問題点のチェックがしやすくなります。

前ページの橋梁きょうりょうの例では、DEMや点群データから作成した地形に3次元CADで作成した橋梁を合成し、橋台や橋脚の基礎の形状や、周辺の地形との景観などが理解しやすくなっています。

また、3次元化した構造物をドローンで撮影した空中写真に合成することも可能です。

このように、3次元の地表モデルと土木構造物の3次元モデルを組み合わせることで、により、工事関係者だけでなく、利用する私たちも完成後の状況をイメージすることができま



ドローンにより撮影した斜め写真



合成写真

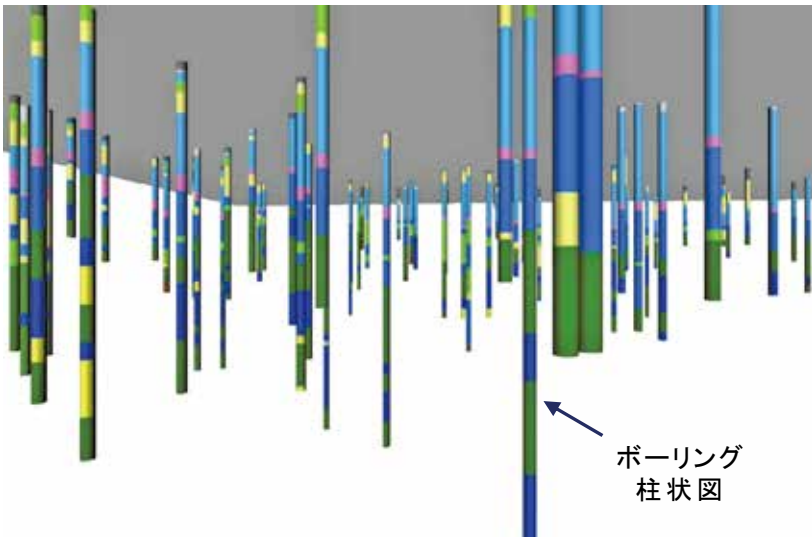
ドローンで撮影した空中写真に3Dモデル化した砂防ダムを合成した説明用資料  
(国交省 BIM/CIM 活用ガイドライン(案))

### 3. 3次元地質モデルの種類

地下の情報を3次元化して可視化することはとても重要ですが、見えない情報を見えるようにすることは、とても難しいことです。特に、地質情報をモデル化する過程では、地質の解釈が必要なので、地質の専門技術者が関わるものがとても重要になります。ここでは、3次元地質モデルの種類と特徴について、いくつか紹介します。

#### ● ボーリングモデル

ボーリングモデルは、ボーリング調査で明らかになった、調査地点のボーリングデータ（下図では柱状図）を並べて作成したモデルです。色の違いが土の種類の違いなどを表し、おおよ



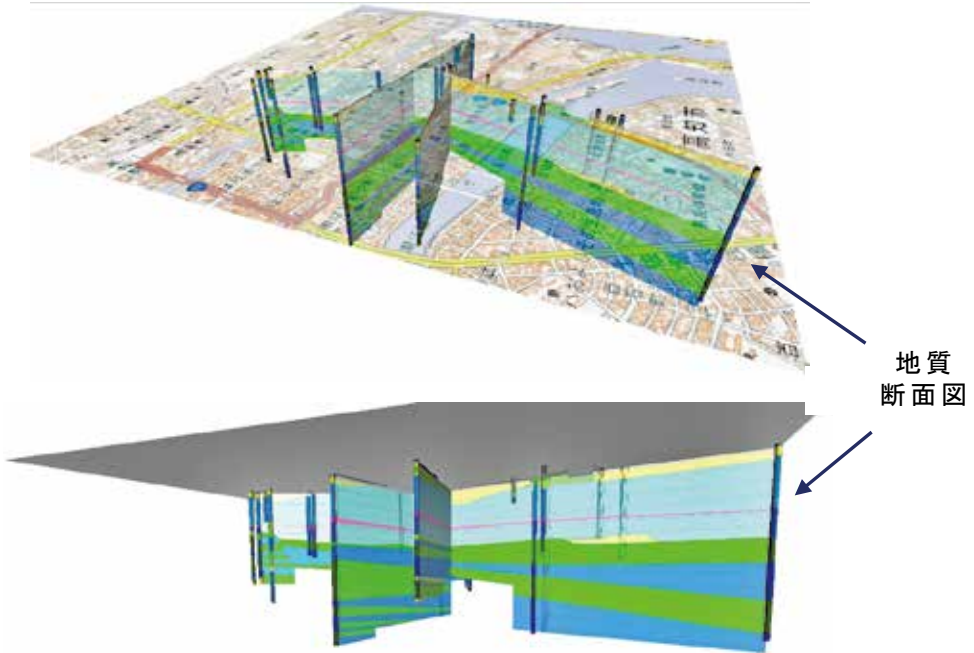
ボーリングモデルの例（全地連 HP）

その地層状況をイメージできます。  
最も簡易なモデルですが、以降に紹介するモデルの基本となるものです。

### ● 準3次元地質モデル

準3次元地質モデルは、2次元で作成した地質の平面図や断面図を、3次元の地形図などに貼<sup>は</sup>りつけて作成したモデルです。下の図は、平面図上の断面線に沿って、2次元で作成した地質断面図を配置したモデルです。

ボーリングモデルに比べると、3次元的な広がりイメージすることができると思えます。ただし、断面線がない部分の地質の分布は、よくわかりにくいこととなります。



準3次元地質断面モデルの例(全地連HP)



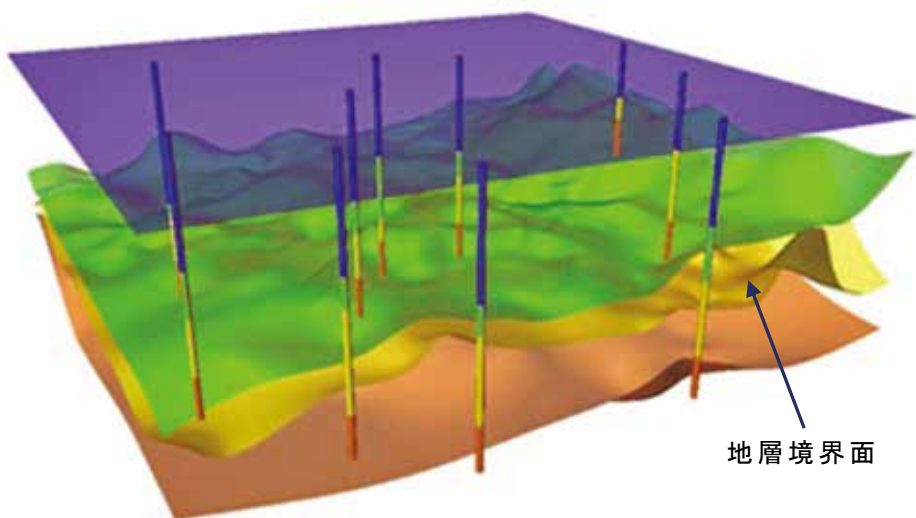
## ● 3次元地質モデル

### ・サーフェスモデル

3次元地質モデルのうち、サーフェスモデルは、地質調査で作成したボーリング柱状図、地質平面図、地質断面図等の様々なデータを基に作成したモデルです。下の図に示すように、色を変えた分布面が地層の境界を表しているので、地層の3次元分布がともわからりやすく捉え<sup>とら</sup>えられるモデルです。このモデルの中に、これから建設する構造物を組み込むことで、設計・工事・メンテナンスにおける問題点などを知ることができます。

### ・ボクセルモデル

ボクセルモデルは、地層を細かいボクセル（立方体）の集合体として表現したモデルです。

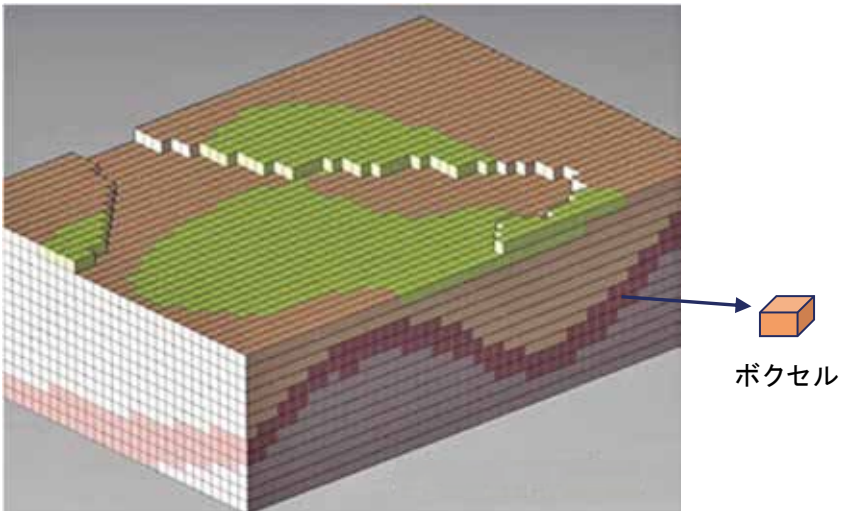


サーフェスモデルの例（全地連 HP）

一つずつのボクセルの中には、地層情報はじめ様々な情報が与えられています。とても詳細で手間のかかるモデルですが、設計・工事・メンテナンスにおける詳細な検討をするときに用いられます。

3次元地質モデルは、基本となるボーリング柱状図の密度の差により、精度が異なります。前ページに示したサーフェスモデルのボーリング柱状図の分布を見ると、柱状図が多い部分と少ない部分があるので、モデルの取扱いには注意が必要です。

このように、3次元地質モデルを作成するためには、地質の専門技術者の関わりのもとに、目的に合った適切なボーリング調査を行うことが重要となります。



ボクセルモデルの例(全地連 HP)

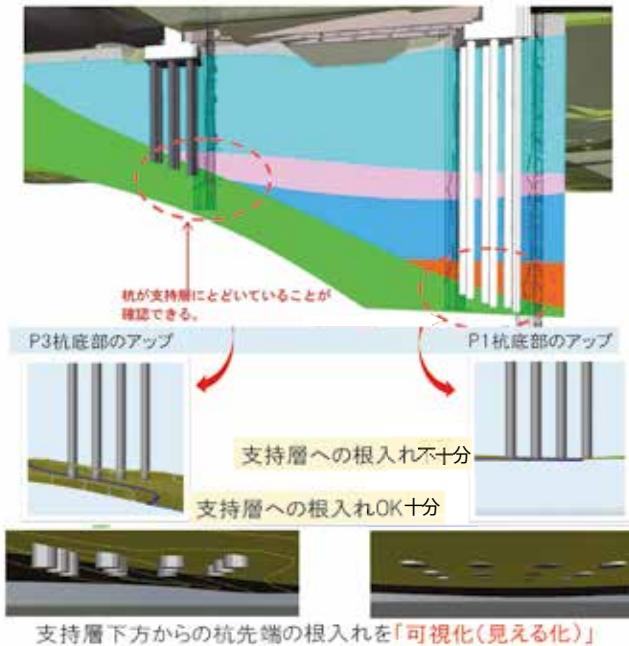


## 4. 3次元地質モデルの利用

3次元地質モデルにより見えない地下を可視化して、ダムやトンネルなどの構造物と基礎地盤との位置関係が安全かどうか、地下水の深さや地質や地盤の問題の抽出など、様々なモデルを利用して地下の地質を把握し、リスクの見落としを防ぐことができます。

### ●杭基礎深度の確認

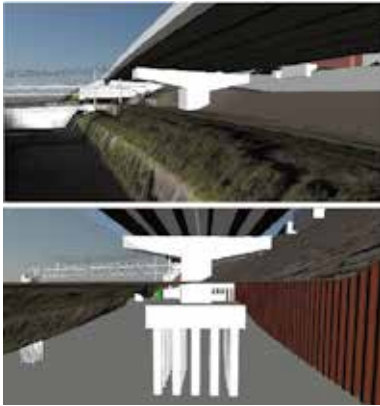
マンションの杭が支持層に届いておらず、建て直すことになった事故がありました。3次元地質モデルを用いることにより、地下におけるビルや橋などを支える杭とそれを打込む硬い地層（支持層）の位置関係や根入れを直接確認でき、安全な



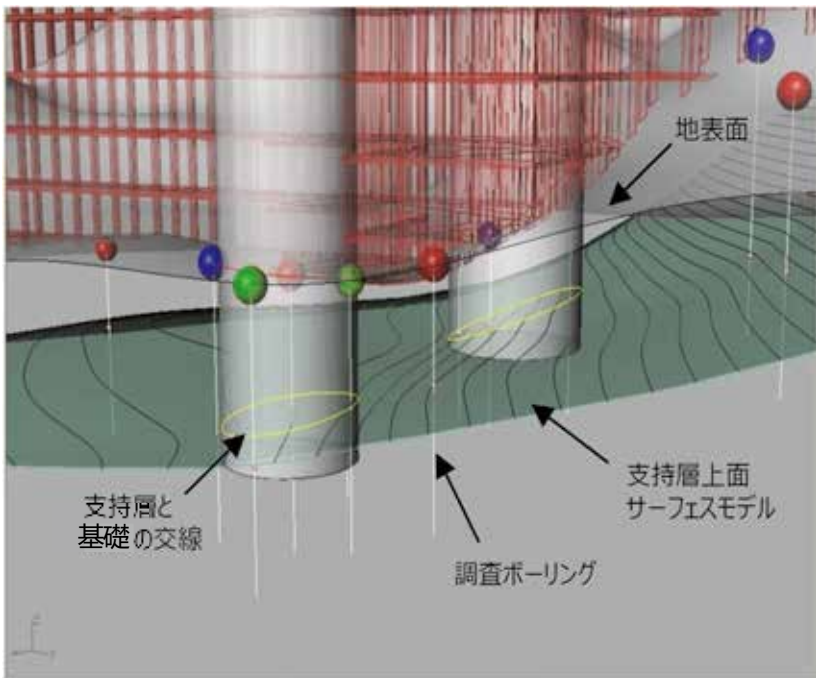
杭と支持層根入れの確認（長谷川ほか 第11回地質リスク事例研究発表会 一部編集）

構造物を建設することができます。

杭などの地下の構造物を可視化し、支持層などの地質との関係を重ねることで、そのような見落としを防ぎ、より安全・安心な基礎であることを確認することができます。



橋梁下部工の杭基礎モデル  
(国交省 BIM/CIM 活用ガイドイン(案))



橋梁基礎と支持層の関係(3次元地質解析マニュアル)

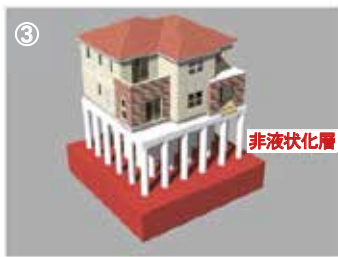
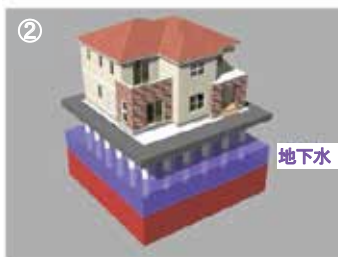
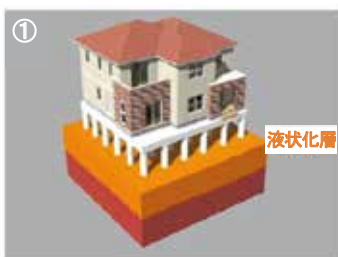
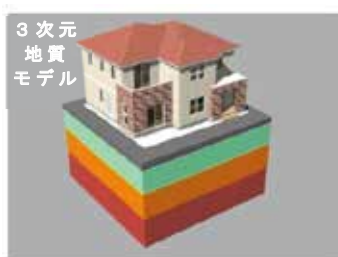
## ● 宅地に潜む危険を知る

一般の人が、宅地の地下にどのような危険が潜んでいるかを知ることが、簡単ではありません。しかし、下の図のように宅地の地下を3次元地質モデルで表すと、一般の人でも、どのような危険が潜んでいるのかを理解しやすくなります。図の①～③について説明します。

① 液状化層が建物の真下にあることがわかる

② さらに、液状化層が地下水に浸つていて、地震時に液状化が起こる危険性が高いことがわかる

③ 一方、建物をささえる杭が非液状化層まで入っており、地震時に液状化の影響を受けにくいことがわかる



宅地における地盤の危険性が見える化したモデル  
(3次元地質解析マニュアル 一部加筆)

一般の人が、宅地の地下にどのような危険が潜んでいるかを知ることが、簡単ではあり

## ●都市の地下がまるごとわかる

産業技術総合研究所では、大量の地質調査データを用いて東京都の都心部の地下

数十mまでを立体的に見ることができ

る3次元地質モデルをつくりました。

下の図は、今より海面が100m以上

低下した約2万年前の地形です。最

も深いところでは、標高マイナス80m

に達します。今では、この深さから地

表面まで、やわらかい新しい地層が埋

めています。このモデルを使って、地震

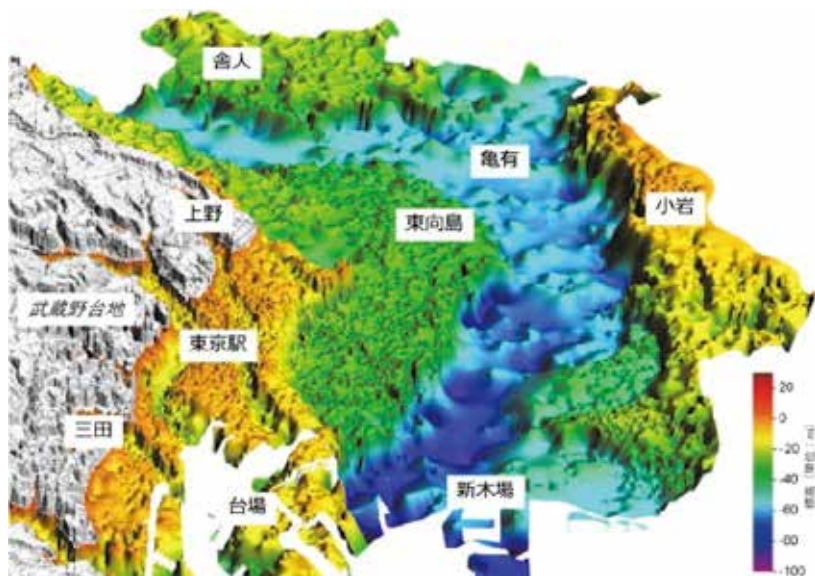
による影響を予測したり、まちづくり

に活用したりできるようになりました。

この情報は、ウェブサイトで

画面<sup>だけ</sup>上で誰でも簡単に閲覧すること

ができます。



東京下町低地のやわらかい地層を除いた地形  
(産業技術総合研究所 HP)

## ●河川構造物に利用

堤防などの河川構造物は、杭を使わないうで地盤の上に直接造ることが多いため、地盤との関係が特に大事になります。そのため、河川における3次元地質モデルは、河川構造物の設計や工事のためにとでも役立ちます。また、構造物ができた後のメンテナンスにも使えます。洪水など

で河川構造物が被

害を受けた場合に

は、その被害の状況

を3次元地質モデ

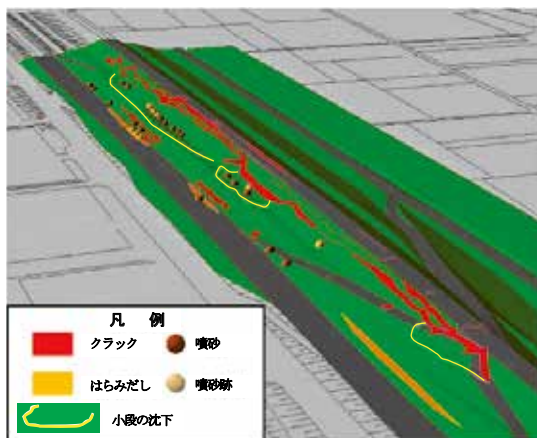
ルに重ねること

で、被災原因を考

えたり、復旧方法を考

えたりすることに役

立ちます。



堤防の被害状況の表示  
(3次元地質解析マニュアル)



河川における3次元地質モデルの利用  
(荒川調節池工事事務所 HP に加筆)

## ●ダムの地質の検討

ダムを建設する場合には、ボーリングなどの地質調査を数多く行い、たくさんの断面図を作成し、

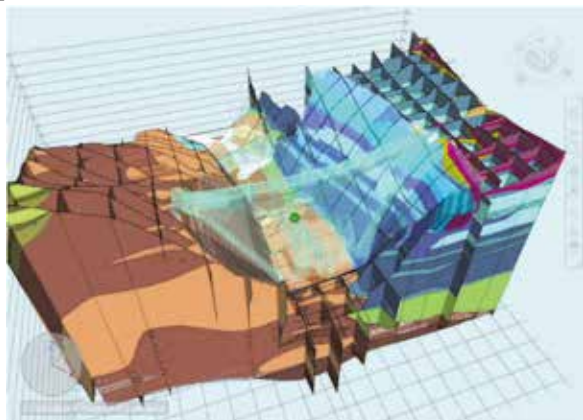
3次元的な地層の分布を確かめる必要があります。

3次元地質モデルを用いることにより、ダム基礎となる硬い地質がどのように分布しているか、下流側へ水が漏れるような割れ目や断層などの弱い地質構造がダムの下にないかなどを確かめることができます。

## ●トンネル工事などによる地下水への影響検討

トンネルや切土工事を行った場合、地下水が流出し、湧き水や沢水が枯れたり、川の流量や下流部への地下水の供給が減ってしまい、農業用水や井戸水などの環境へ大きな影響を及ぼしてしまうことがあります。

3次元地質モデルを用いて、トンネルの掘削面にどのような地質が出現するか、トンネルにかかる地下水の圧力がどのくらいかを想定することで、工事に際し対策を検討する



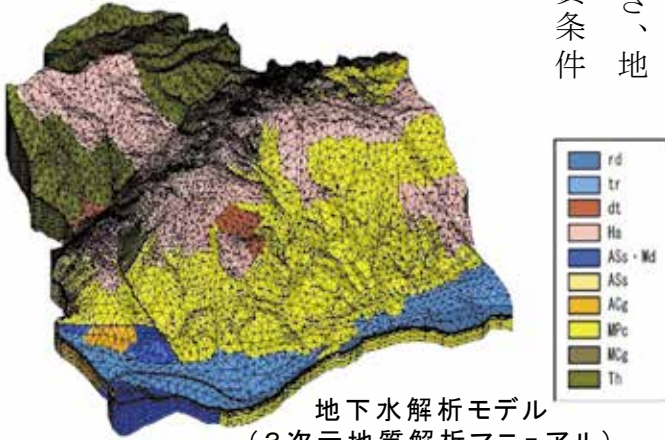
ダム基礎の地質分布の準3次元地質モデル  
(ダム技術 No.377)



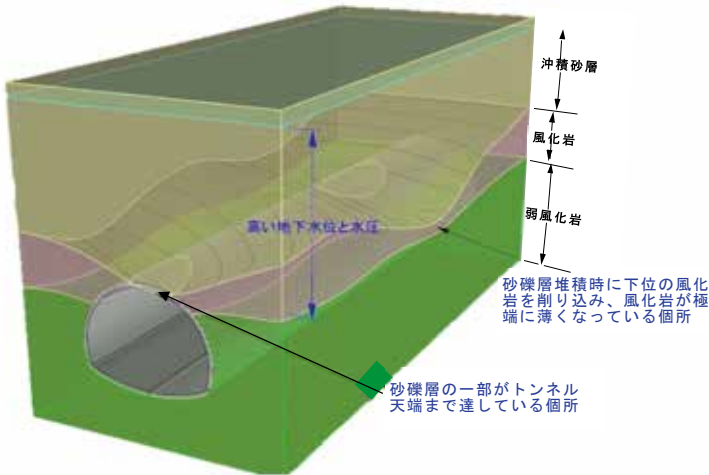
ことが可能になります。

3次元地質モデルにより地下水の流れを解析する場合、降った雨の地中への浸み込みやすさや、地中での地下水の流れやすさ、地質構造などの地質条件が重要です。

3次元的な地質のモデル化の正確さが、工事による地下水への影響評価の鍵となるため、地質技術者による専門的な知識が重要となります。



地下水解析モデル  
(3次元地質解析マニュアル)



トンネルの3次元地質モデル(3次元地質解析マニュアル)



## ●地すべりの効果的な対策の検討

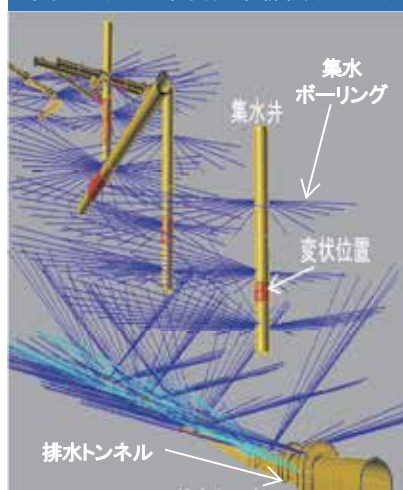
地すべりが発生した場合には、地すべりを止めるために末端への対策工(アンカー工や押え盛土など)を行ってすべりの動きを食い止めるほか、地すべりブロックの中の地下水を排水トンネルや集水ボーリングなどにより排水することで、地すべりを止める対策を行います。

地すべりブロックの3次元地質モデルを用いることにより、地すべりの動いている範囲を正確に把握し最適な対策工が配置できるほか、集水井や排水トンネルなどの配置パターンを立体的に計画することができ、より安全で効率的な対策を取ることが可能となります。

地すべりブロックと対策工の配置重ね合わせ



集水ボーリング・集水井配置詳細図(3次元)



地すべりブロックの3次元モデルと集水孔配置計画  
(「地質と調査」139号, 2014 一部加筆)

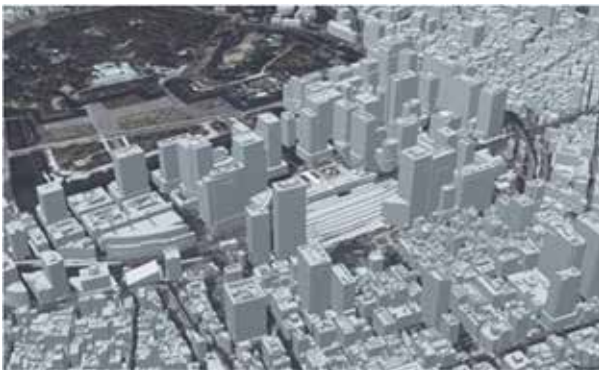
## 5. これからの3次元活用

3次元地質モデルについて、その概要や多方面における活用方法などを述べてきました。これからは、デジタル技術のますますの進展により、多くの分野で3次元モデルが当たり前のように使われる時代になると思います。

最後に、特に注目すべき活用技術について紹介します。

### ● デジタルツイン

デジタルツインという技術は、建設分野においては、現実空間である建設現場で得られた情報に基づき、3次元モデルによる仮想空間を再現するものです。この仮想空間に現場で測定された変位や荷重のモニタリングデータを重ねることで、計画どおりに工事が進展しているか、あるいは既に完成した構造物のメンテナンスにおいて計測データから分析して異常な兆候が出てないかを3次元モデル上に表示することで、安全性の確認や危険箇所の早期



都市のデジタルツイン  
(国交省 PLATEAU システムより)

発見に役立ちます。

最近では、都市まるごとを3次元空間に再現し、いろいろな災害シミュレーションを行い防災などに役立てることまで行われています。地盤情報も入るので、地盤の液状化など、地盤に関連した災害予測なども可能となります。

## ●メタバース

インターネット上にある仮想空間のことを言いますが、複数の人がVR（バーチャル・リアリティ）技術を活用して疑似的に入り込んでやり取りができる点に特徴があります。現実空間とリンクすることで、例えば展示会に仮想的に参加して説明を聞いたり、品物の購入<sup>（こうにゅう）</sup>までできる機能もあります。

近い将来には、災害現場の現実空間と3次元地質モデルを重ね合わせ、複数の専門家が、災害のメカニズムや対策を議論しあうような場面も出現するかもしれません。



建設工事におけるメタバースの利用  
（国交省九州地方整備局）

## 用語の解説

CAD (キャド)	コンピューターを用いた設計ソフト
LS(レーザースキャナー)	スキャナーからレーザーを発射し対象物との間の距離や角度を求めて、対象物の3次元座標を取得する装置
UAV	無人航空機でドローンとも呼ばれる
VR	バーチャル・リアリティ (仮想現実)。コンピューター上で作成されたデジタルで再現された見かけの空間
アンカー	物を固定するために岩盤などに打ち込まれた金属の棒
押え盛土	斜面のすべり破壊を抑えるために、斜面の横に土を盛ったもの
切土・盛土	地盤をカットしたのが切土で、土を盛って締め固めたものが盛土
集水井	斜面の地すべりを防止するため、その原因となる地下水を集めて排除するための井戸
支持層	建物を支えるのに適した十分な硬さを持つ地層
地すべり	斜面が地下水の影響と重力によってゆっくりと斜面下方に移動する現象のこと
地盤の液状化	地震の揺れによって地盤が液体のようにドロドロになってしまう現象のこと
地層	崖などで縞模様のように見えるもので、土が長い時間をかけて堆積したり、火山灰が積もって固まったもの
地質構造	地球上に形成された、あるいは地殻変動などによって生じた様々な岩石や地層の形態や構造などの総称
地質断面図	地下の鉛直断面に、地表の地質やボーリングなどのデータに基づき地質構造を描いたもの
柱状図	ボーリング調査の結果を表したもので、深さ方向に土や岩の種類や色、ボーリングの孔内で実施された試験結果などを示したもの
点群データ	位置座標 $(x,y,z)$ と色情報をもつ点の集まり
土性図	土質試験から得られた土の物性を深さ方向の分布として描いたもの
排水トンネル	地すべりの原因となる地下水を排除するためのトンネルで、その内部から水抜きのパイプが設置される
ボーリング調査	地盤に細い穴を掘って地盤の状況や地層境界の深さなどを調べる方法で、結果を図示したのが柱状図である
水抜きボーリング	地すべりの原因となる地下水を排除するためのボーリングのこと

## 地形・地表などを3次元化できるサイト・アプリの紹介

代表的なサイト・アプリ				
地理院地図 (電子国土 Web) 	<a href="https://maps.gsi.go.jp/help/intro/index.html">https://maps.gsi.go.jp/help/intro/index.html</a> 地形図・写真・標高・地形分類・災害情報など、国土地理院がそろえた日本の国土の様子を発信するウェブ地図です。地形図を3Dで見ることもできます。			
産業技術総合研究所(都市域の地質地盤図) 	<a href="https://gbank.gsj.jp/urbangeol/">https://gbank.gsj.jp/urbangeol/</a> ボーリングデータ等をもとに都市域の地層の分布を3次元解析し作成した地質図です。地層の3次元の分布形態を平面図・断面図・立体図で表示します。千葉県北部、東京都区部が公開されています。			
PLATEAU (プラトー) 	<a href="https://www.mlit.go.jp/plateau/">https://www.mlit.go.jp/plateau/</a> 国土交通省が進める3D都市モデル整備・活用・オープンデータ化のプロジェクトです。都市活動のプラットフォームデータとして3D都市モデルを整備し、オープンデータとして公開しています。			
赤色立体地図 	<a href="https://www.rrim.jp">https://www.rrim.jp</a> 数値標高データ(DEM)から、傾斜量を赤色の彩度で、尾根谷度を明度にして調製した地形の立体表現手法です。「プラタモリ」などで活用されています。他にも類似の地形表示アプリがあります。			
カシ米尔 3D 	<a href="https://www.kashmir3d.com/">https://www.kashmir3d.com/</a> Windows 用の3D地図ナビゲータです。地図ブラウザ機能を基本に、風景CG作成機能、GPSデータビューワ・編集機能、ムービー作成機能、山岳展望機能などの多彩な機能を搭載しています。			
スーパー地形 	<a href="https://www.kashmir3d.com/online/superdemapp/">https://www.kashmir3d.com/online/superdemapp/</a> カシ米尔3Dの作者が製作したスマホやタブレットで利用できる地図アプリです。Android、iOS版があります。独自に開発した表現方法で地形の起伏が分かりやすくなっています。			
iPhone13pro や iPadPro の LiDAR*を活用できる主な iOS アプリ				
3d Scanner 	Scaniverse 	SiteScape 	EveryPoint 	WIDAR 

\*LiDAR: Light Detection And Ranging(光による検知と測距)

一般社団法人全国地質調査業協会連合会  
JAPAN GEOTECHNICAL CONSULTANTS ASSOCIATION



<https://www.zenchiren.or.jp/>

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TKビル  
TEL (03)3518-8873 FAX (03)3518-8876

北海道地質調査業協会	TEL (011) 251-5766	<a href="http://www.do-geo.com/">http://www.do-geo.com/</a>
東北地質調査業協会	TEL (022) 299-9470	<a href="https://tohoku-geo.ne.jp/">https://tohoku-geo.ne.jp/</a>
北陸地質調査業協会	TEL (025) 225-8360	<a href="http://www.niigata-geo.or.jp/">http://www.niigata-geo.or.jp/</a>
関東地質調査業協会	TEL (03) 3252-2961	<a href="https://www.kanto-geo.or.jp/">https://www.kanto-geo.or.jp/</a>
中部地質調査業協会	TEL (052) 937-4606	<a href="https://www.chubu-geo.org/">https://www.chubu-geo.org/</a>
関西地質調査業協会	TEL (06) 6441-0056	<a href="http://kansai-geo.jp/">http://kansai-geo.jp/</a>
中国地質調査業協会	TEL (082) 221-2666	<a href="http://www.chugoku-geo.or.jp/">http://www.chugoku-geo.or.jp/</a>
四国地質調査業協会	TEL (087) 899-5410	<a href="https://www.shikoku-geo.jp/">https://www.shikoku-geo.jp/</a>
九州地質調査業協会	TEL (092) 471-0059	<a href="http://www.kyuchikyo.net/">http://www.kyuchikyo.net/</a>
沖縄県地質調査業協会	TEL (098) 988-8350	<a href="http://okichikyo.sakura.ne.jp/">http://okichikyo.sakura.ne.jp/</a>

執筆編集：安藤 欽一，岩崎 公俊，小田部 雄二，照屋 純，渡辺 寛  
事務局：土屋 彰義，中川 直

表表紙：渋谷地域の3Dモデル（東急建設株式会社，西山 昭一）

裏表紙：東京・三田地域の3D岩相モデル（国立研究開発法人産業技術総合研究所）

初版 20220928

