

Voxler[®]を使用した河川堤防の物理探査結果の3次元可視化

金子 誠¹・高橋 亨¹

¹深田地質研究所

3D visualization of geophysical data on a river embankment using Voxler[®]

KANEKO Makoto¹ and TAKAHASHI Toru¹

¹Fukada Geological Institute

要旨：近年、河川堤防の詳細調査に3次元物理探査が適用され始めている。そこで、河川堤防における物理探査結果をわかりやすく表現するために、3次元データ表示ソフトVoxler[®]を使用して3次元可視化をおこなった。本稿では、物理探査結果表示に一般的に使われるパネルダイアグラムやブロック図の3次元表示のほか、等値面図や断面図作成のための操作手順および表示例を示す。

キーワード：Voxler, 物理探査, 河川堤防, 3次元可視化

Abstract: In recent years, 3D geophysical exploration has begun to be applied to detailed investigation of river embankment. In order to present geophysical data on river embankment clearly, we performed 3D visualization of them using Voxler[®], a 3D imaging software. This paper describes its operating procedures with some examples of 3D images such as block diagram, panel diagrams, isosurface views and cross-sectional views commonly used in presenting geophysical data.

Keywords: Voxler, geophysical exploration, river embankment, 3D visualization

1. はじめに

近年、河川堤防の詳細調査に3次元物理探査が適用され始めている（高橋ほか、2012）。そこで、河川堤防の物理探査結果を表現するために、3次元データ表示ソフトVoxler[®]（ヴォクスラー）を使用して実際に探査で取得された地震探査および電気探査結果の3次元可視化をおこなった。

Voxler[®]はGolden Software, Inc.が販売する3次元可視化ソフトである。汎用性が高くさまざまな分野での利用実績があり、物理探査分野でも使われることが多い。マニュアルは英語版のみであるが、WebページからPDFをダウンロードして購入することができる（Golden Software Inc., 2012）。しかし、操作方法は、コマンドの多さやそのオプシ

ョンが多く複雑なため、やや扱いにくい。そのため、ソフトの一連の操作をすばやく行うには習熟が必要である。そこで最新バージョンのVoxler[®] 3で物理探査結果を表示するためのコマンドを整理して、よく使う表示方法と操作手順をまとめた。

具体的には、最初に、1) アウトフレームの作成手順として地形・測点・軸の表示方法を、次に、2) 物理探査データの加工方法を示す。最後に、3) 3次元表示方法として、物理探査の結果表示で一般的に使用されるブロック図・パネルダイアグラム・断面図などを図化するための操作手順と表示例を紹介する。なお、基本操作（ワークスペースの利用、データの読み込み、保存、出力）方法は、HULINKS Inc.のホームページから日本語版チュートリアルを参照できる（HULINKS, 2012）。

2. 表示データの概要

3次元表示に用いた物理探査データは、実際の河川堤防（高さ3m、幅15m）で取得された電気探査による比抵抗データおよび屈折法地震探査によるS波速度である（村田ほか，2013）（図1）。探査測線長は縦断94m、横断14mで、受振器および電極の間隔はX軸方向2m、Y軸方向に2mである。

本稿では、このうち測線70~94m、深度3~-3mのS波速度、比抵抗、地形および受振点（縦断X、横断Y、標高Z）を記録したエクセル形式のデータを使用し3次元可視化を行った。

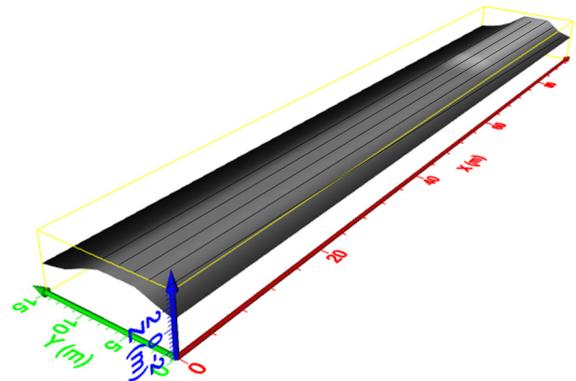


図1 測線配置図

3. 地形・測点・軸の表示方法

図2に示す地形・測点・軸の作図方法を以下にそれぞれ示す。

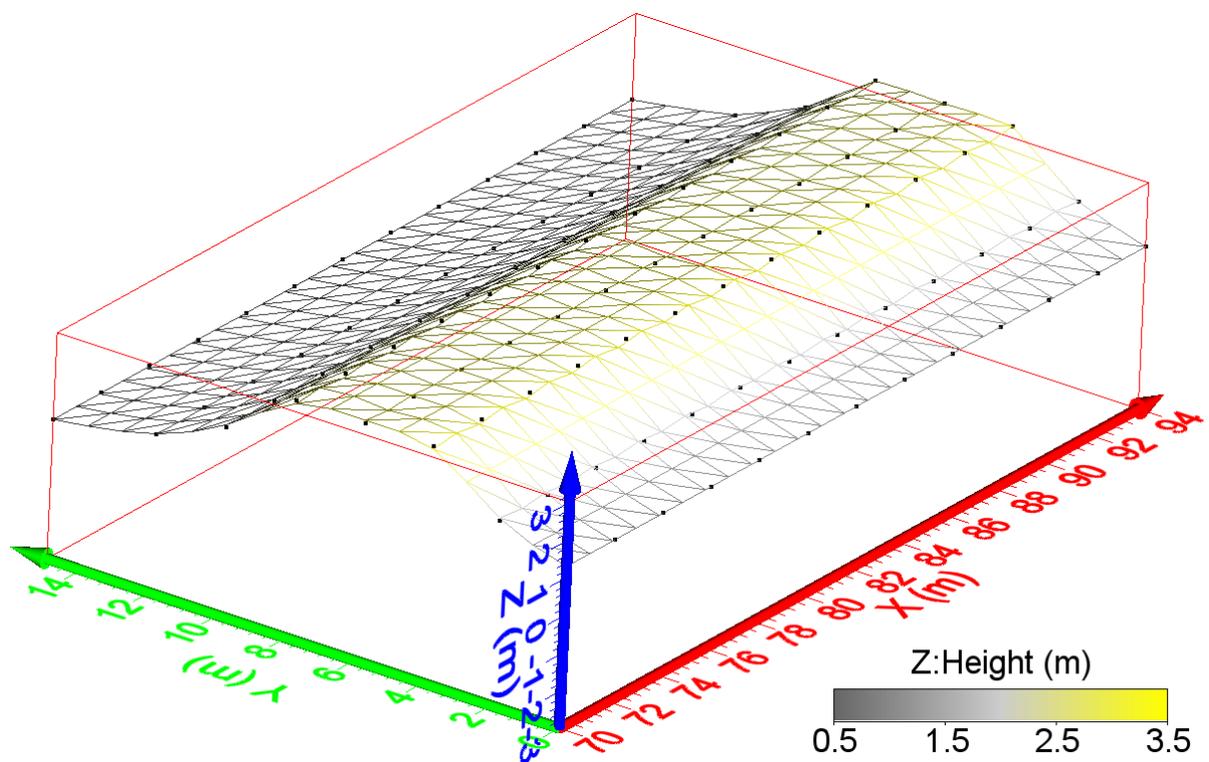


図2 地形と測点及び座標軸の表示

3.1 地形の表示方法

地表面の表示にはハイト・フィールドモジュールを使用する。操作手順は、まず、データを取り込み、次に、地形の表示のためにプロパティを変更して描画を調整する。ここでは、地形データは面データをグリッドファイルとして使用する。その際、地形データの切り出しには、3D 地表マップ作成ソフト Surfer (Golden Software, Inc.) を使用してグリッドファイルで保存し直して利用した。

3.1.1 地形データの取り込み

Surfer のグリッドデータ (XYZ) を取り込む場合、Z 値は Voxler® の C 値として取り込まれるため Voxler® の Z 値は 0 となる。地形の標高を Z 値として与えるためには、自由座標系格子 (Curvilinear Lattice : LAT) に変換する必要がある。そこで、インポートオプションで Import as curvilinear lattice を選択する (図 3)。このオプションは Surfer のグリッドファイル (.grd) を開く (File - Open - Open) 際に自動で表示される。操作完了は、プロパティ (Property Manager - General - Dataset type) の Curvilinear lattice の表示で確認できる。

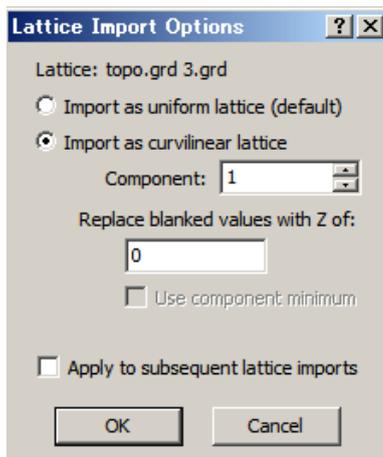


図 3 Lattice Import Options の選択画面

3.1.2 ハイト・フィールドによる地形の作成

グリッドファイルからハイト・フィールドを作成するためには、ハイト・フィールドモジュール (Module manager - Computational - Height Field) を使用する。ハイト・フィールドのレンダリングウインドウ (Property Manager - General - Rendering) では、表示形式 (Draw Style), 透過度 (Opacity), 色 (Color Map) を指定することができる。凡例を表示する場合は、Legend (Property Manager - Rendering) から指定する。ここでは、それぞれ Lines, 1, Yellow Jacket を設定した (図 4)。

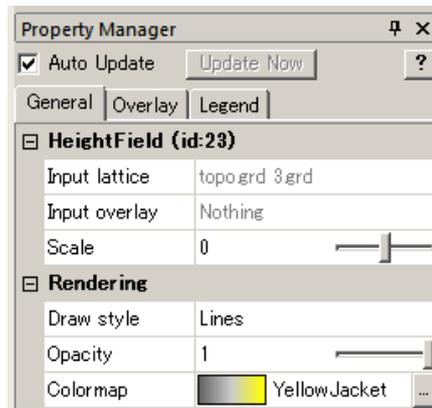


図 4 ハイト・フィールドの設定画面

3.2 探査測点の表示方法

探査測点は、XYZ 形式のデータをインポートしてスキャッタープロットから作成する。

3.2.1 探査測点データ取り込み

テキストファイルを開く (File - Open - Open) とオプション (Data Import Options) が自動で開くので、元データの形式 (Field Format), 区切り文字 (Delimiters), 引用符 (Text Qualifiers)などを指定しファイルを取り込む。ここでは、Field Format は Delimited, Delimiters は Space, Start import at row は 1, Skip Leading spaces にチェックを入れた (図

5). 読み込んだファイルは、ネットワークマネージャに取り込まれ自動的に表示される。

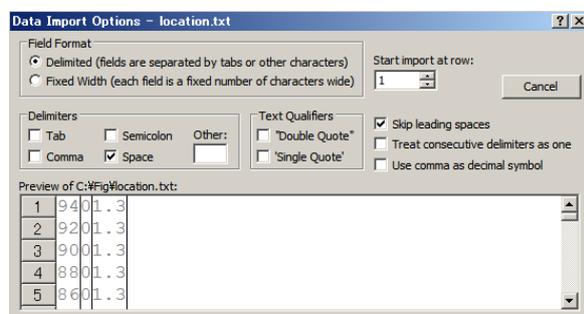


図5 探査測点のインポート画面

3.2.2 散布図を使った探査測点の作成

探査測点の表示は、スキャッタープロットモジュール (Module manager -Graphic Output - Scatter Plot) を使用する。スキャッタープロットのレンダリングウィンドウ (Property Manager - General - Rendering) では、シンボルマーク (Symbol)、サイズ (Size)、線表示 (line)、表示色 (Color) を指定することができる (図6)。

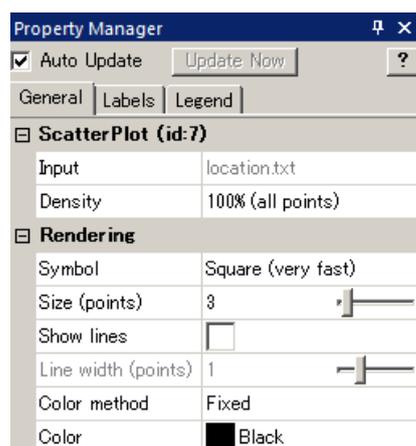


図6 散布図の設定画面

3.3 軸の表示方法

XYZ 軸の表示は、アクシスモジュール (Module manager -Graphic Output - Axes) を使用する。プロパティマネージャでは、フォントの調整、各軸のタイトル (Title)、文字の向き (Flip text)、目盛間隔 (Ticks per label)、軸の最大値 (Axis maximum)、最小値 (Axis minimum)、交点位置 (Cross X axis)、色 (Color)、ラベルの表示範囲 (Label minimum, Label maximum)などを指定できる (図7)。

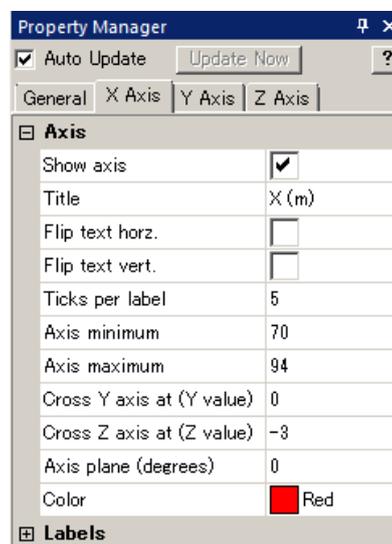


図7 軸モジュールの設定画面

4. 物理探査結果 3次元データの編集

電気探査結果と屈折法地震探査結果のデータからそれぞれ3次元データを表示用のデータに編集する方法を示す。操作手順は、最初に、探査データ (位置情報 (XYZ) とデータ (C) の入ったエクセルファイル形式) を Voxler®に取り込み、グリッドファイルを作成する。次に、グリッドファイルを堤防形状に加工する。ここでは、主に電気探査結果での編集を例に操作手順を示す。

4.1 3次元探査データの取り込み

エクセルファイルを開く (File - Open - Open) とオプション (XLSX Import Options) が自動で表示されるので、使用するエクセルシートを選択する。次に、カラム選択オプション (Select Data Columns) から、使用する行と列のデータを指定する (図 8)。オプションでは、ポイント (Import as Points) を選択し、ヘッダーがある場合、"Use header row" にチェックを入れる。下段にあるポイントオプション (Points) には、XYZC で使用する列をそれぞれ選択する。読み込んだファイルは、ネットワークマネージャに取り込まれ自動的に表示される。ここでは、XYZC の C に比抵抗データを取り込んだ。

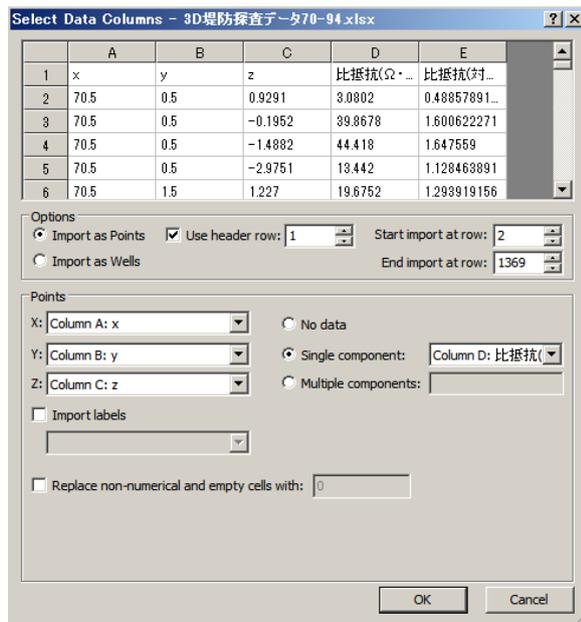


図 8 探査データ (比抵抗) のインポート画面

4.2 グリッドファイルの作成

グリッドファイルは、グリッドモジュール (グリッター) (Module manager - Computational - Gridder) を使用する。このグリッターは入力したポイントデータを直角等間隔格子として出力する。内部での処理方法は、データの最大最小の間を格

子状に等間隔のラインを引き、そのラインの交点 (ノード) の値を補間で求めている。そのため、出力データは必ず立方体となる。

作成方法は、まず、グリッターのプロパティから格子の範囲 (Geometry - XYZ Limits) と格子の間隔 (Geometry - Spacing) を指定する。ここでは、グリッドの座標を 0.5 m 間隔で統一するため X, Y, Z ともに 0.5 を入力した (図 9)。

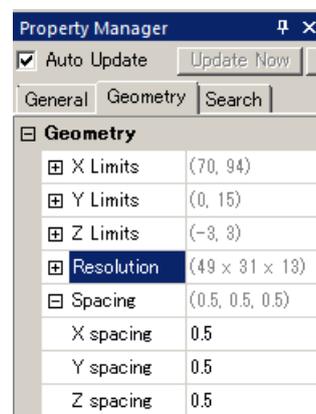


図 9 グリッターのジオメトリ設定画面

4.3 グリッド手法の設定

Voxler® のグリッド手法は、Inverse Distance Method (逆距離加重法), Data Metric Method (データメトリック法), Local Polynomial Method (部分多項式法) がある。このうち Inverse Distance Method は加重平均による補完法で、異方性プロパティやパワーパラメータ、スムーズパラメータを設定することによってデータを補完する一般的な手法である。ここでは、Voxler® の Inverse Distance Method を使用し異方性を設定する。

グリッドパラメータの設定はプロパティ (Property Manager - General) から行う。ここでは、河川堤防と基礎地盤を水平構造と仮定して、Z 軸 (高さ) 方向の重み付けを小さくしたものを利用し、異方性プロパティ (General - Anisotropy) を

Anisotropic に、パワーパラメータ (General - Power) を 4、スムーズパラメータ (重みの分散) (General - Smooth) を 2 に設定した (図 10)。またサーチタイプ (Property Manager - Search - Search type) も Anisotropic を指定した。

全てのプロパティの設定後、グリiddingを実行 (General - Action - Begin Gridding) してグリッドモジュールを作成する (図 11)。

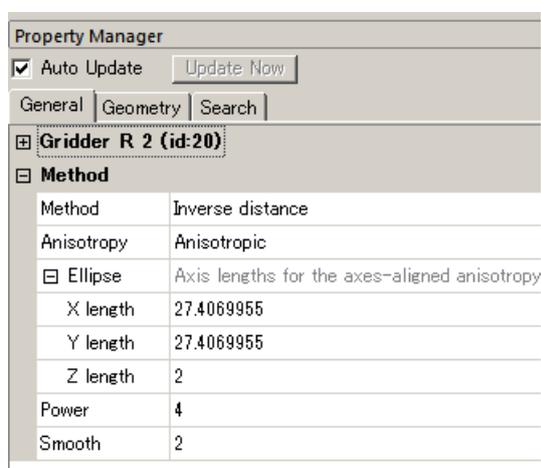


図 10 グリッターの一般設定画面

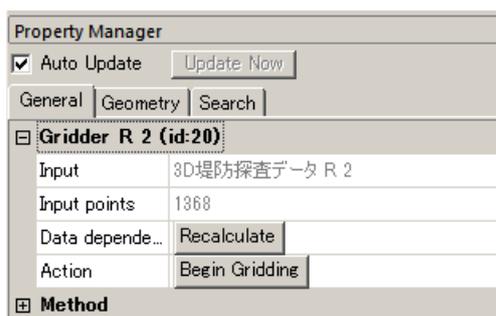


図 11 グリッターの実行画面 (Begin Gridding)

4.4 堤防形状への加工

立方体のグリッドデータの不要部分を非表示にするため、グリッドモジュールは平面データと組み合わせて Math モジュールで演算する。ただし、この平面データ (topo.grd) はグリッド化した

ものを使用する必要がある。

操作方法は、まず、作成したグリッドモジュールと平面データモジュールの2つのモジュールを Math モジュール (Module manager - Computational - Math) へ接続する (図 12)。接続の際、グリッドファイルは、A (Connect Input Lattice A (File name)) に、平面データは B (Connect Input Lattice B (File name)) を選択する。

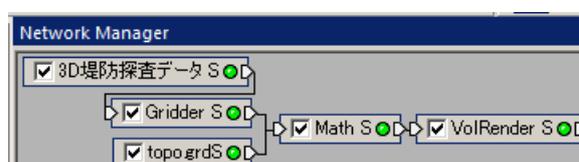


図 12 ネットワークマネージャ画面 (S 波速度)

次に、接続した Math モジュールの数式欄 (Property Manager - General - Output Components - Expression) に” IF $z > B, -1, A$ ” と入力する (図 13)。ここで、 z は A の z 値、 B は B の C 値、 A は 3D レンダリングのグリッドデータ (lattice データ) である。また、地形情報 (Property Manager - Geometry - Calculate from input) には入力情報を引き継ぐためにチェックを入れておく。

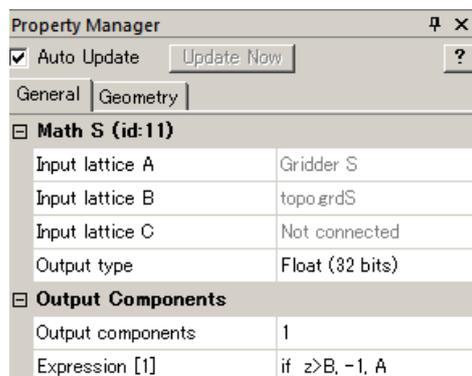


図 13 Math モジュールの一般設定画面

5. 物理探査結果の 3 次元表示例

物理探査結果の 3 次元可視化として、ブロック図、パネルダイアグラム、等値面図、任意断面図の表示方法を以下にそれぞれ示す。

5.1. ブロック図

ブロック図はボリュームレンダリングモジュール (Module manager - Graphics Output - VolRender) で作成する。操作方法は、まず、Math モジュールを入力値 (Property Manager - General - Input) としてボリュームレンダリングモジュールに接続する。その後、プロパティマネージャでレンダリング方法を指定する (図 14)。レンダリングウインドウ (Property Manager - General - Rendering) では、表示方法 (Render method)、合成方法 (Composition)、補間方法 (Interpolation) などを指定することができる。ここでは、それぞれ 3D textures, Alpha blending, Nearest neighbor を選択した。

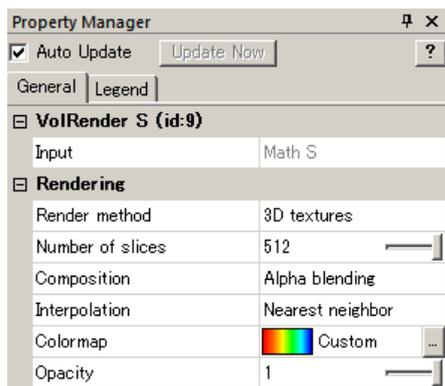


図 14 ボリュームレンダリングの一般設定画面

5.1.1 モデルの表示色と透明度の作成

カラーマップは色指定編集機能 (Property Manager - General - Rendering - Color map - ...) を使用して編集する (図 15)。その際、透過度の設定

と色の配置はデータの最大値・最小値を参考に決定する。ここでは、Color Mapping は、比抵抗で Rainbow を、S 波速度で Rainbow Reverse を基に表示色を作成した。

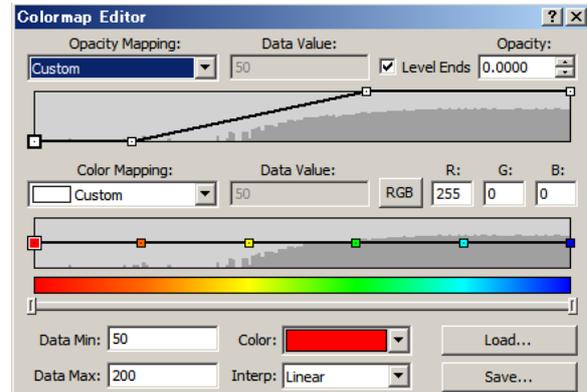


図 15 色指定編集機能画面

5.1.2 凡例の作成

凡例 (Property Manager - Legend) は、凡例表示位置 (Legend)、タイトル (Title)、ラベル (Labels)、などを指定することができる (図 16)。比抵抗のラベル (Property Manager - Labels) には、カスタムラベルを使用し、ここでは、“-1:0.1 0:”” 1:10 2:”” 3:1000 4:”” 5:100000” と入力した。

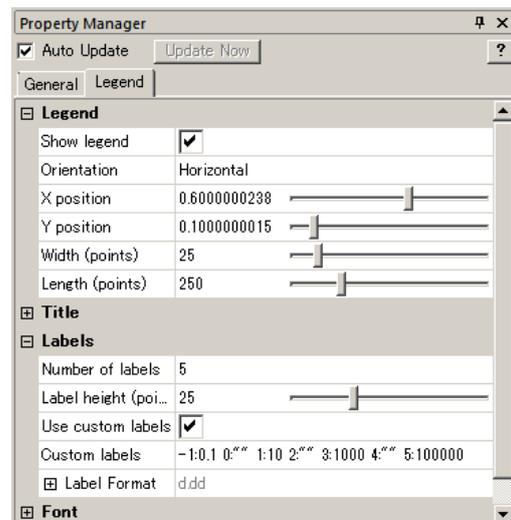


図 16 凡例の設定画面

5.1.3 ブロック図の描画

上記で作成したモジュールのすべてにチェックマークを入れると、図面がビューアウインドウに

表示される。図 17 に比抵抗分布図、図 18 に S 波速度分布図の表示例を示す。

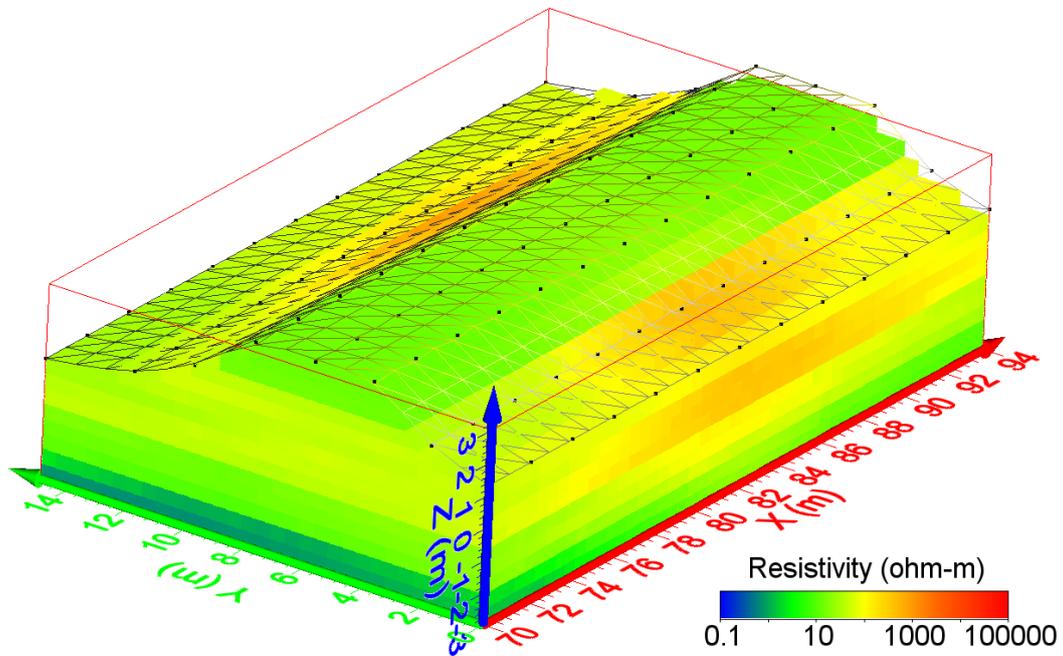


図 17 比抵抗分布のブロック図

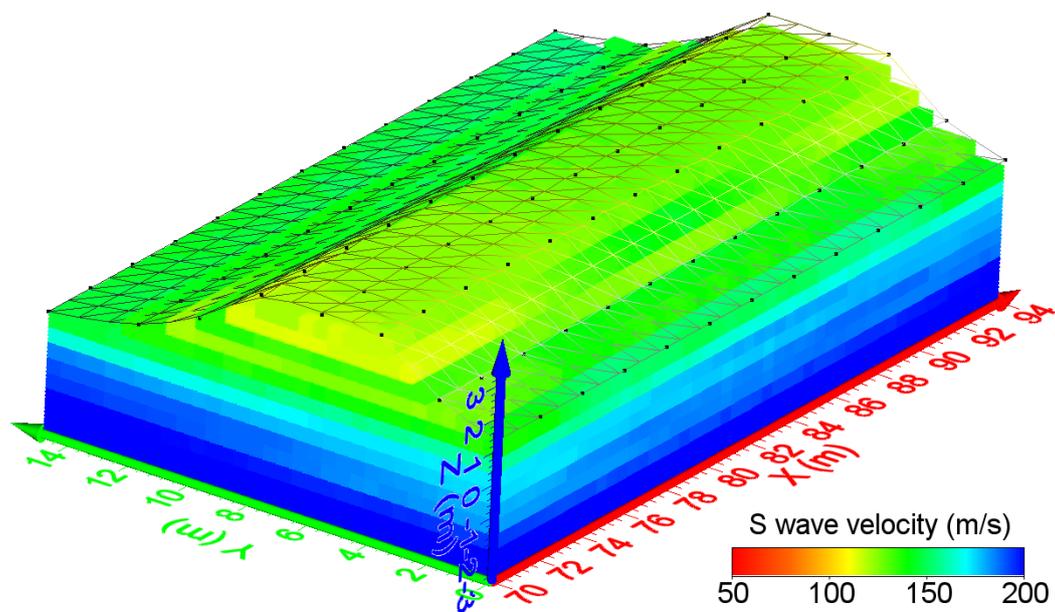


図 18 S 波速度分布のブロック図

5.2. パネルダイアグラム

パネルダイアグラムはオブリークイメージモジュール (Module manager - Graphics Output - ObliqueImage) で作成する。

操作方法は、まず、Math モジュールを入力値 (Property Manager - General - Input) としてオブリークイメージモジュールを断面の数だけ作成し接続する (図 19)。

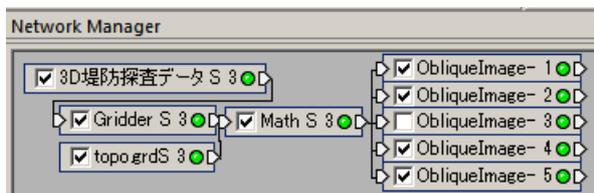


図 19 パネルダイアグラムのネットワークマネージャ

その後、プロパティマネージャでレンダリング方法をそれぞれ指定する。断面位置は、(Property Manager - Cutting Plane) から、方向 (Orientation), オフセット (Offset from center) を指定する (図 20)。ここでは、YZ と XZ 断面を 2 断面ずつ配置した。ちなみに、最下段にある Show dragger にチェックを入れると画面にドラッガーが表示されるので、断面位置をマウスの操作によって、直接指定できる。

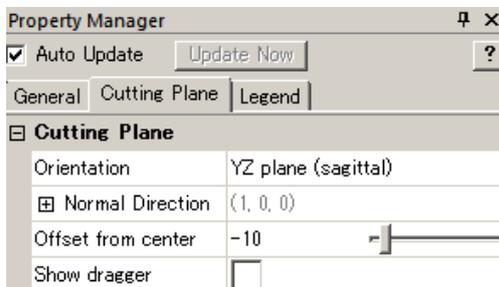


図 20 オブリークイメージの断面位置設定画面

オブリークイメージのレンダリングウィンドウ (Property Manager - General - Rendering) では、解像度 (Resolution), 補間 (Interpolate), 採光 (Lighting), 透明度 (Opacity) などを指定することができる (図 21)。ここでは、それぞれ Medium, 補間あり, 採光なし, 0.8 を選択した。カラーマップと凡例はブロック図と同様に設定した。

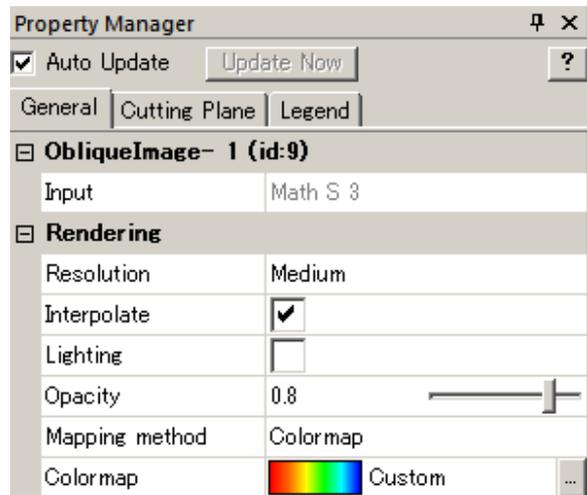


図 21 オブリークイメージの一般設定画面

図 22 に S 波速度分布のパネルダイアグラム描画例を示す。

5.3 等値面図 (境界面図)

等値面図はアイソサーフェスモジュール (Module manager - Graphics Output - Isosurface) で作成する。ここでは、堤体と基礎地盤の境界面を表示する。

操作方法は、まず、Math モジュールを入力値 (Property Manager - General - Input) としてアイソサーフェスモジュールに接続する (図 23)。その後、プロパティマネージャでレンダリング方法をそれぞれ指定する。

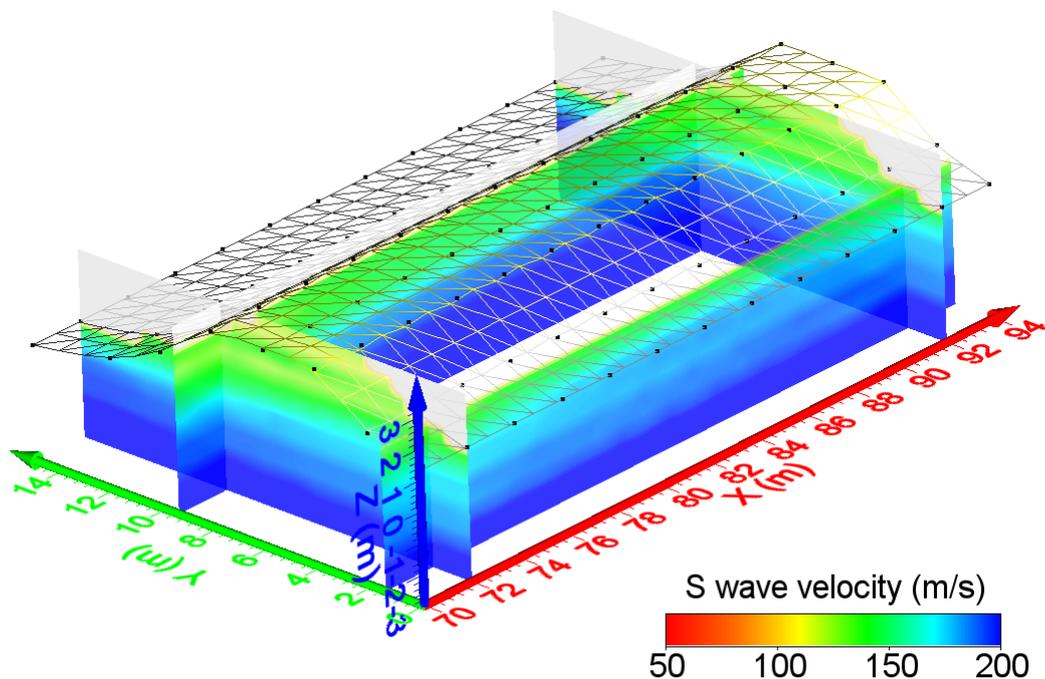


図 22 S波速度分布のパネルダイアグラム

isovalue を選択した (図 24).

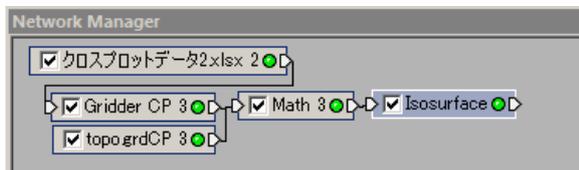


図 23 等値面図のネットワークマネージャ

アイソサーフェスのプロパティ (Property Manager - General - Isosurface - Isovalue) では、等値面の数値を指定する。ここでは、クロスプロットで得られた第1領域および第2領域の境界値である1を入力した。

アイソサーフェスのレンダリングウィンドウ (Property Manager - General - Rendering) では、描画方法 (Draw style), 描画の範囲 (Side(s) to draw), 着色法 (Color method)などを指定することができる。ここでは、それぞれ Shaded, Back only, By

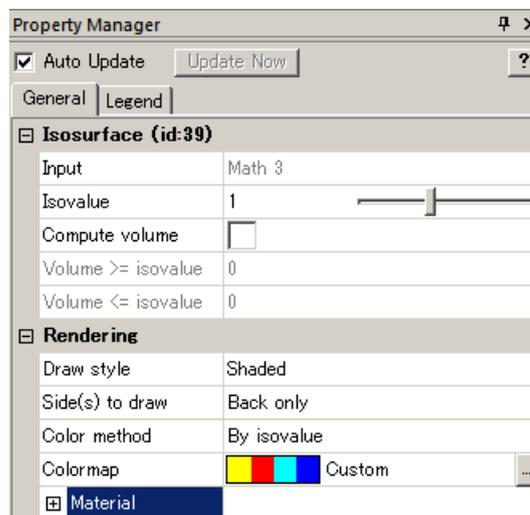


図 24 アイソサーフェスの一般設定画面

図 25 にアイソサーフェスを使用して作成した第1領域と第2領域との境界面図の描画例を示す。

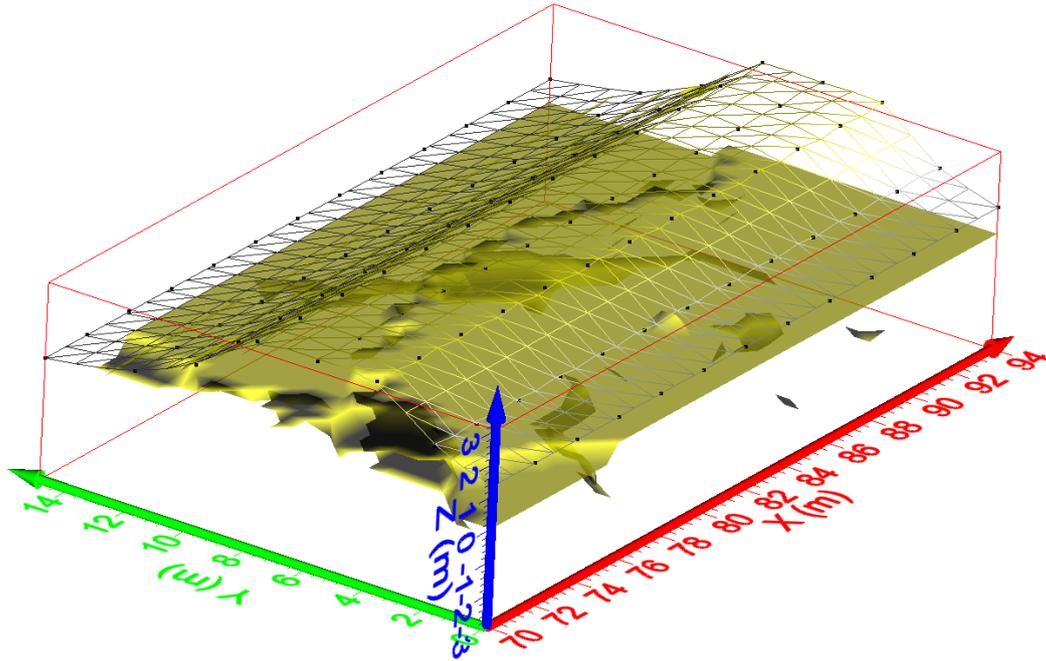


図 25 第 1 領域と第 2 領域の境界面図

5.4 任意断面の表示

堤体を斜めに切った断面などのような任意断面の表示はスライスモジュール (Module manager - Computational - Slice) で作成する。

操作方法は、まず、スライスモジュールを入力値 (Property Manager - General - Input) としてボリュームレンダリングモジュールに接続する (図 26)。その後、プロパティマネージャでレンダリング方法と断面位置をそれぞれ指定する。

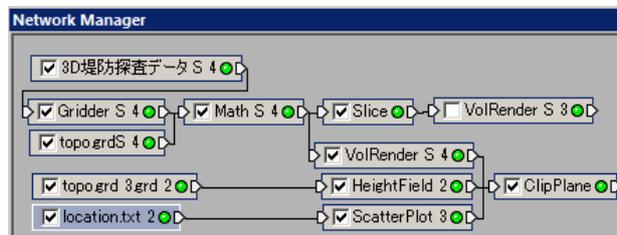


図 26 任意断面のネットワークマネージャ

一般プロパティ (Property Manager - General) では、補間の有無 (Interpolate)、解像度 (XY resolution)、境界線の有無 (Show border)、境界線の太さ (Border width (point)) などを指定することができる。ここでは、それぞれ補間なし、 $X=128 \cdot Y=128$ 、境界線あり、1.5 を選択した (図 27)。

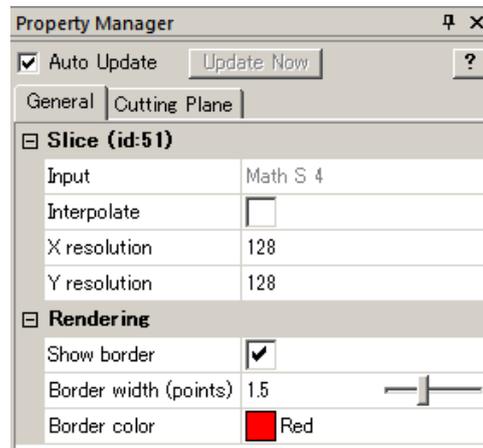


図 27 スライスモジュールの一般設定画面

断面プロパティ (Property Manager - Cutting Plane) では、断面の方向 (Normal Direction), 中心からのオフセット距離 (Offset from center), を指定することができる。ここでは、それぞれ、 $X=0.6 \cdot Y=0.4 \cdot Z=0$, 0 を入力した (図 28)。

図 29 にスライスを使用して作成した任意断面の描画例を示す。

5.5 3次元表示を残した任意断面図の表示

堤体の一部を表示したまま任意断面を表示する場合は、クリッププレーンモジュール (Module manager -Graphic Output - Clip Plane) で作成する。その場合、非表示にするボリュームレンダリングと地形および測点を入力値としてクリッププレーンモジュールに接続する (図 26)。その後、プロパティ (Property Manager - General) で断面位置を指定する。

クリッププレーンの一般プロパティ (Property

Manager - General) では、断面の方向 (Normal Direction), 中心からのオフセット距離 (Offset from center), クリップ位置の反転の有無 (Swap clip direction) を指定することができる。ここでは、それぞれ、 $X=0.6 \cdot Y=0.4 \cdot Z=0$, 0, 反転なしを入力した (図 30)。

図 31 にクリッププレーンを使用して作成した3次元表示を残した任意断面の描画例を示す。

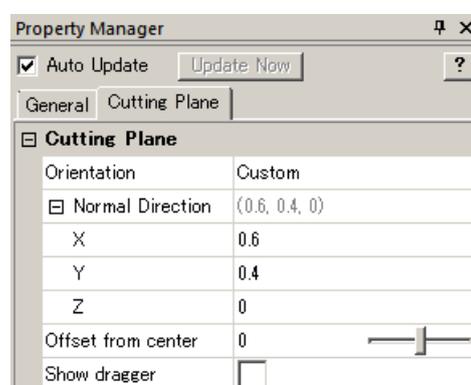


図 28 スライスモジュールの断面位置設定画面

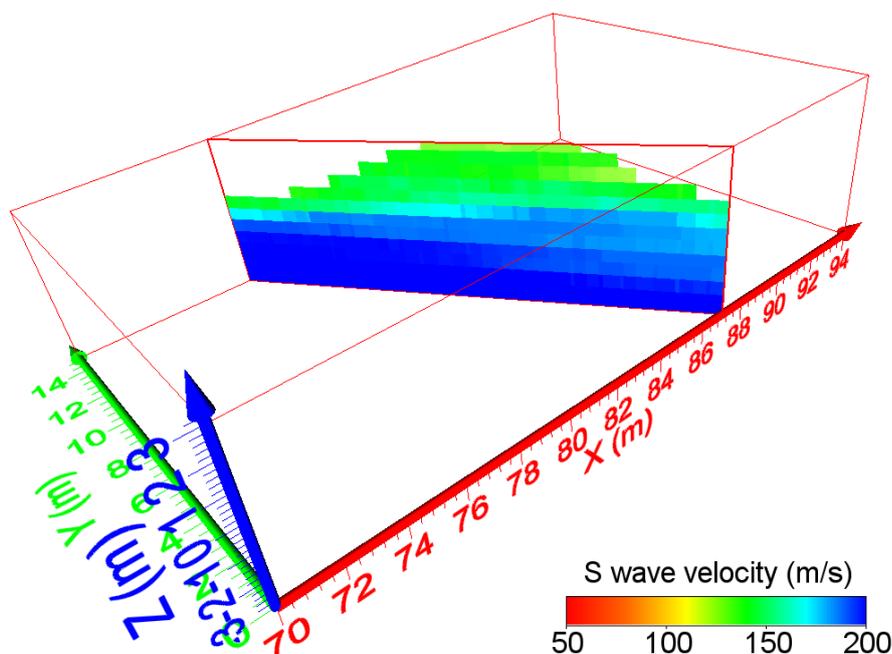


図 29 S波速度分布の任意の断面図

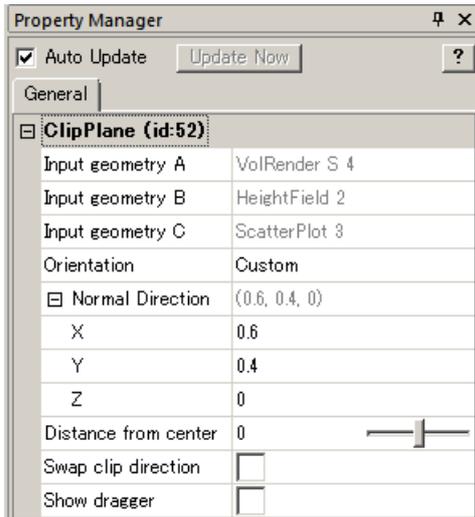


図 30 クリッププレーンモジュールの設定画面

6. おわりに

河川堤防を対象とした物理探査によって取得した 3 次元データを用いて、3 次元物理探査結果表示に使われるブロック図、パネルダイアグラムな

どの Voxler®による作成手順と表示例を紹介した。これらの基本操作を基に、今後、Voxler®を使ってボーリングデータの表示、GIS ソフトと連携して地図上に立体表示、モニタリングデータを取得し 4 次元データとしてアニメーション表示、ロックフィジックスによる解析（金子・高橋，2008）を使用した結果表示に利用するなど、様々な用途での利用が考えられる。

謝辞

表示例に使用した探査データは、国土交通省の平成 23・24 年度の建設技術研究開発助成を受けて実施した研究で取得されたデータである。同研究の共同研究者である京都大学の松岡俊文教授、サンコーコンサルタント株式会社の相澤隆生氏、西尾英貴氏、ならびに解析データを提供いただいた村田和則氏には記して感謝する。

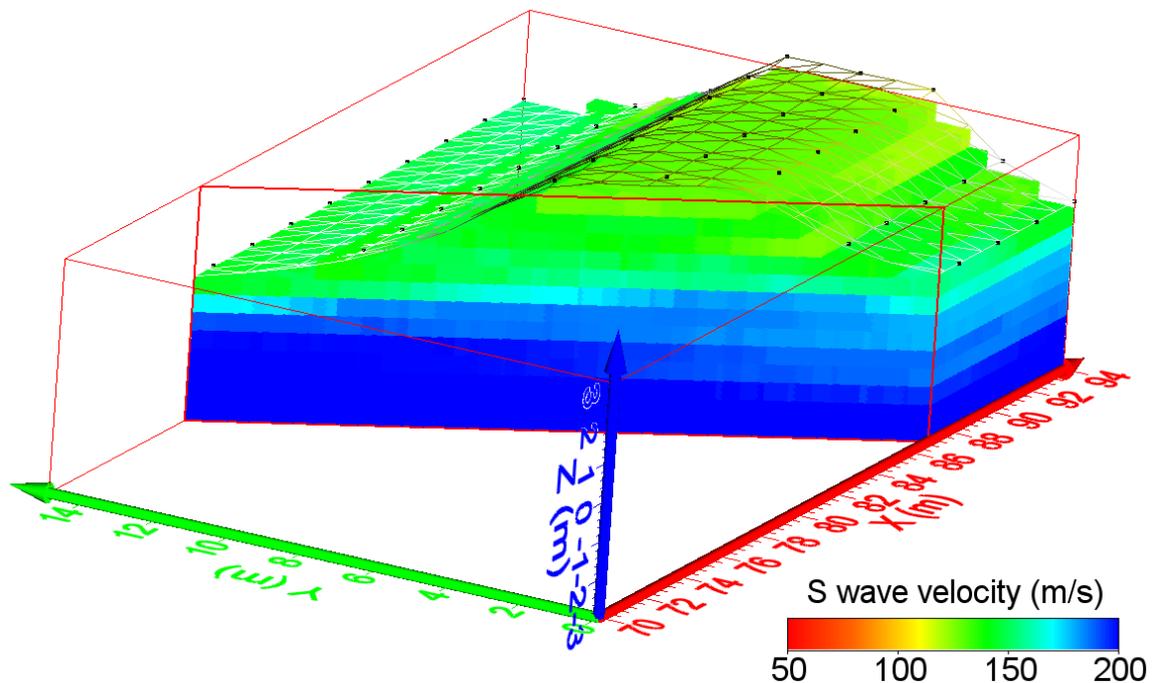


図 31 S 波速度分布の任意の斜め横断面図

参考文献

- Golden Software, Inc. (2012) : Voxler[®] User's Guide, 585p.
- HULINKS (2012) : Voxler 1 チュートリアル. Voxler テクニカルサポート, <http://www.hulinks.co.jp/support/voxler/tutorial.html> (2013 年 9 月 25 日参照)
- 金子 誠・高橋 亨 (2008) : ロックフィジックス デジタルライブラリー, 深田地質研究所年報, 9, 161-167.
- 村田和則・相澤隆生・西尾英貴・高橋 亨・松岡俊文 (2013) : 被災堤防緊急対応のための 3 次元可視化, 全地連「技術フォーラム 2013」長野, 27.
- 高橋 亨・相澤隆生・西尾英貴・松岡俊文 (2012) : 被災堤防緊急対応のための 3 次元可視化ツール及び対策設計支援システムの開発－研究開発の全体計画と 2011 年度成果の概要－, 物理探査学会第 127 回学術講演会講演論文集.