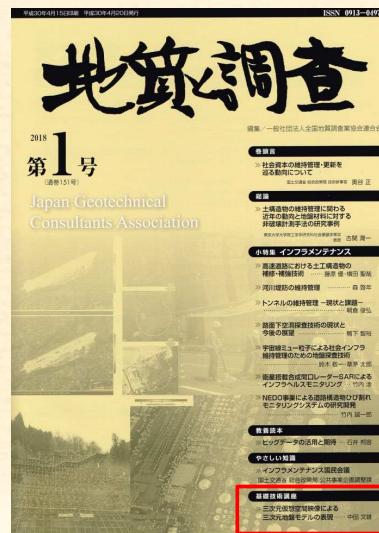


三次元仮想空間映像による 三次元地盤モデルの表現 — 『地質と調査 2018年1号』 基礎技術講座より —

1. はじめに
2. 3DCGによる三次元地盤モデルの表現
3. 三次元地盤モデルの表現例
 - 3.1 テクスチャモデル
 - 3.2 ボーリングモデルと準三次元断面図
 - 3.3 境界面モデル
 - 3.5 杭の打設状況イメージ
 - 3.6 疑似ソリッドモデル
 - 3.7 円筒モデル
4. おわりに

特定非営利活動法人 地質情報整備活用機構
中田 文雄



1. はじめに

【最近の話題】

- ☆2017年12月：シンポジウム「-海洋資源調査産業の創出に向けて-」のパネルディスカッション。 三次元音波探査などの成果を3DVR(Virtual Reality：仮想現実)ゴーグルを使用して、三次元仮想空間映像で表現するプレゼンテーションが実施された。
- ☆2017年3月：国土交通省は『CIM導入ガイドライン(案)』を公開。同案には、一次元、準三次元と三次元の各地盤モデルの定義ほか掲載されている。
- ☆2016年11月：全地連・JACICは『三次元地盤モデル作成の手引き』^{A)}を公開。

A)：(一社)全国地質調査業協会連合会・(一社)日本建設情報総合センター：2016年11月、
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/guide/sanjigen.pdf>

☆3DCADで作成される構造物の三次元形状

★部品メーカーなどから提供された**実寸値**に基づいているため、極めて**正確な位置情報**を持っている。

☆三次元地盤モデル

★ボーリングなどの点群データを入力値とし、コンピュータ演算によって**推定された地層境界面モデル**が基本であり、結果的に**位置情報の精度は(必ずしも)高くない**。

★三次元地盤モデルの形状(寸法)に対して、詳細設計に直接利用する精度を期待することは当面無理。

★三次元地盤モデルは立体パース的な利用方法が最適であろう。

【講演の内容】

☆3DCG(Computer Graphics)技術を用いて、三次元地盤モデルをウェブブラウザの3DVR内に立体映像として表現する方法と、数種類の映像例を紹介したい。

三次元地盤モデルの種類

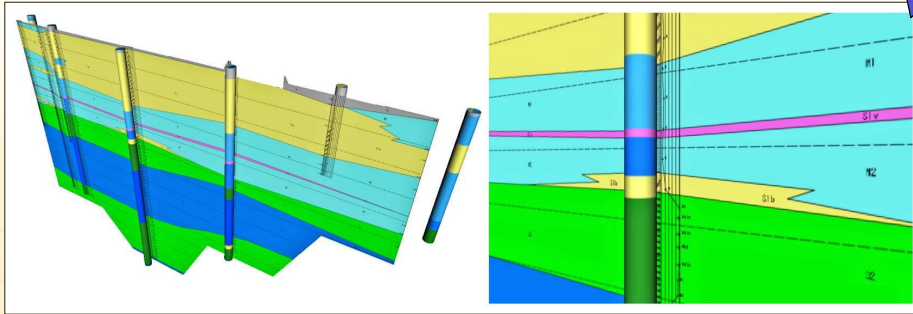
出典A

モデル名称		特記事項
一次元地盤モデル		
ボーリングモデル		ボーリング柱状図から層序等を抽出したモデル
準三次元地盤モデル		
テクスチャモデル		三次元地形表面に地質平面図などを貼り付けたモデル
準三次元断面図		従来手法の地質断面図に空間情報を付与したモデル
三次元地盤モデル		
サーフェスモデル		地層あるいは物性値層による境界モデル
ソリッドモデル	ボックスセルモデル	属性データを、ボックスセルと接点のいずれかに付与
	柱状体モデル	平面的にはセル、深さ方向は地層境界であるモデル
パネルダイアグラム		三次元地盤モデルから作成された任意の断(平)面図

☆三次元の位置情報を持つ地盤モデルを「**三次元地盤モデル**」と呼ぶ(全地連見解)。
 ☆各地盤モデルは、客観的データ(事実データ)に基づいて、地質技術者等が解釈や解析して作成した**イメージモデル**である(推定情報)。

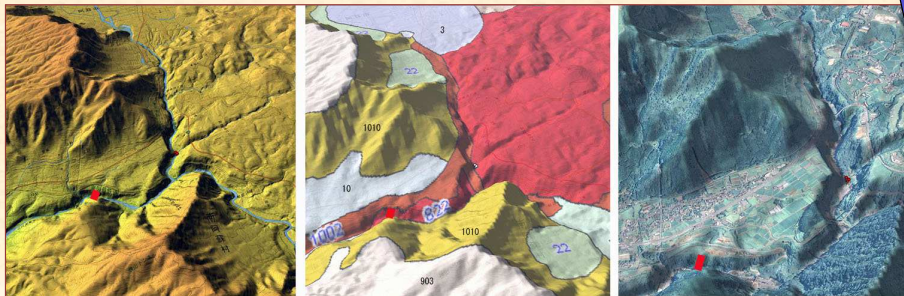
☆ボーリングモデルと準三次元断面図の見本

出典A



☆テクスチャモデル(準三次元地質平面図等)の見本

出典A

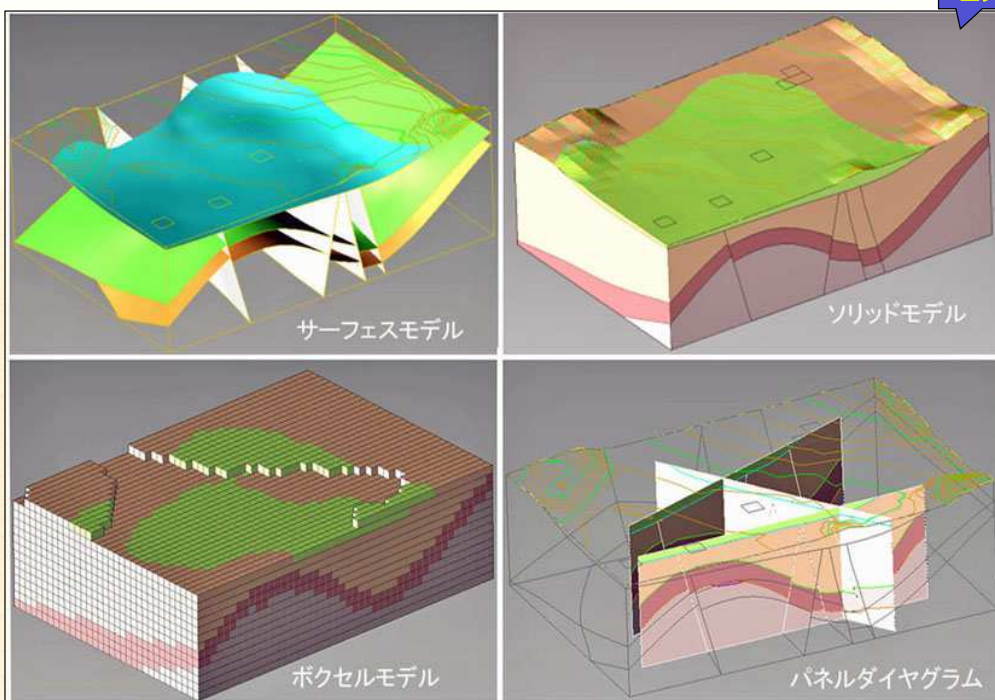


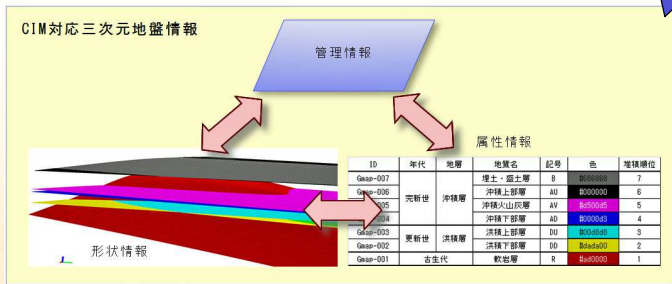
(左)国土地理院色別標高図

(中)産総研シームレス地質図

(右)国土地理院国土基本図

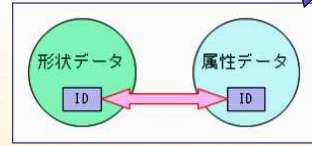
出典A





出典A

出典A



共通ID

出典A

種類	内容
管理データ	<ul style="list-style-type: none"> 形状データと属性データの双方を管理するために使用する。 形状データと属性データを関連づけるための「共通ID」を使用する。 地盤情報データベースを構築する際は、検索用キーワードとして使用する。
形状データ	<ul style="list-style-type: none"> 三次元地盤情報の形(形状)を再現できる三次元座標値を持つ。 座標系は、CAD内のローカル座標系ではなく「平面直角座標系」とする。 高さは「標高(T.P.)」とする。 属性情報と関連づけるためのIDを付与する。
属性データ	<ul style="list-style-type: none"> 個々の形状データの属性を保存する。属性の例は、「地層・岩体区分」, 「岩級区分」, 「土質区分」, 「地盤強度」や「弾性波速度」などである。 形状データと関連づけるためのIDを付与する。

2. 3DCGによる三次元地盤モデルの表現

☆WebGL

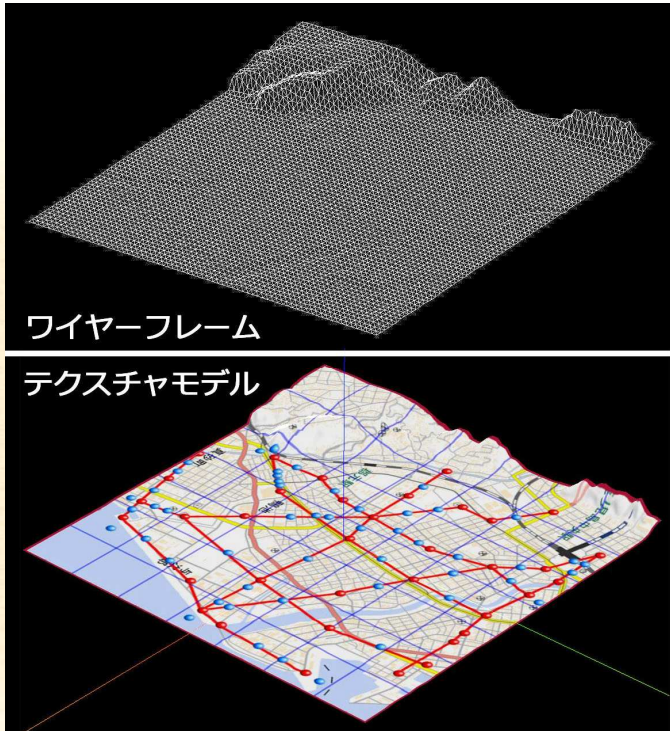
- コンピュータのウェブブラウザで、3DCGを表現するための標準的な規格。
- 最新のPC(のOS：Windows etc)には装備済み。
- 主として、テクスチャモデルの表現が得意。

☆VRML(Virtual Reality Modeling Language：仮想現実モデリング言語)

- テキスト文字のみで、三次元表現できるように設計されたファイルフォーマット。
- VRMLをブラウザで三次元的に表現するためには、プラグインツールをインストールする必要がある。
- かなり質感の良い三次元仮想映像を表現できる。
- 透明を持つ壁面の取り扱いが可能。
- 設計が古いため、インストールできるブラウザが少なくなった。

3.1 テクスチャモデルの表現例

9



テクスチャモデル：

三次元地形表面(ワイヤーフレーム)に地質平面図などを貼り付けたモデル。

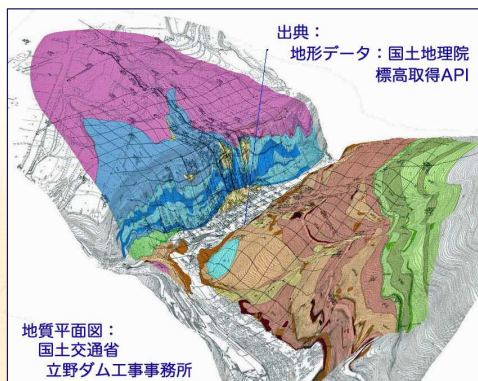
- 地形データ：国土地理院の「標高取得API」を利用すると便利。

⇒全地連「三次元地盤モデル作成支援サイト」に標高取得APIを利用した専用サイトが開設されている。

<https://geonews.zenchiren.or.jp/cim3d/geomodeller/index.html>

3.1 テクスチャモデルの表現例

10

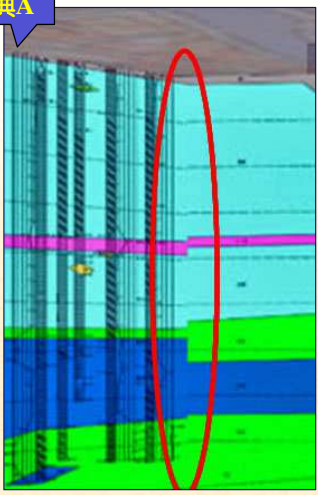


<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>

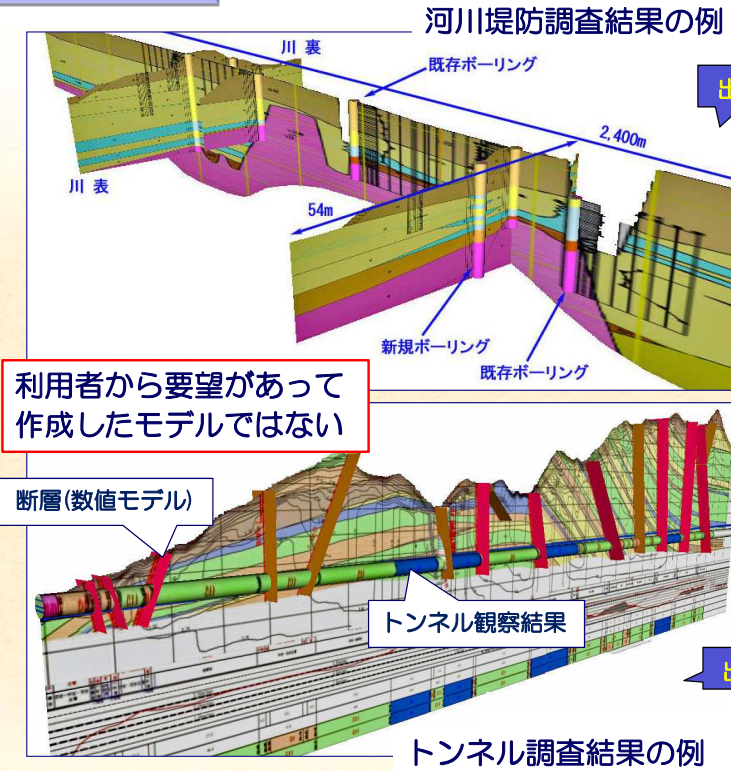


https://www.web-gis.jp/3D_GeoModel_Demo/Texture-Model/Texture-Model.wrl

出典A



本図のメリット：
 ・断面図交点の調和性を確認できる。
 ⇒二つの断面図が調和していない。



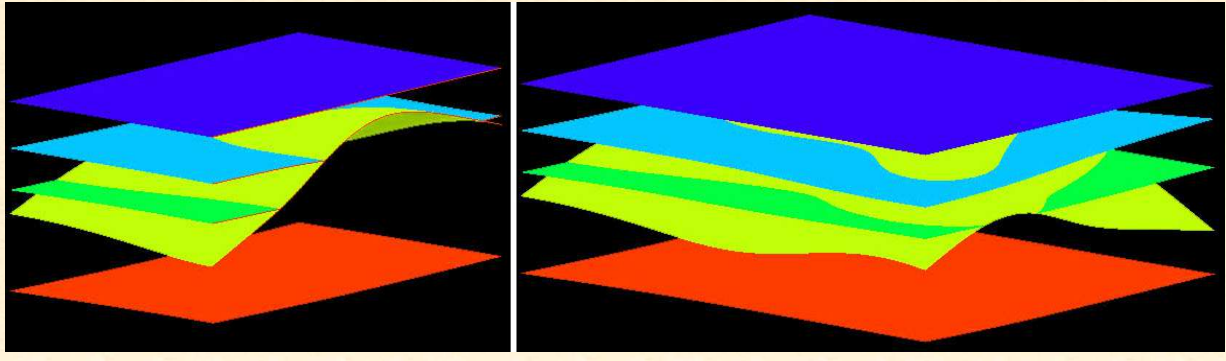
出典A

利用者から要望があって作成したモデルではない

出典A

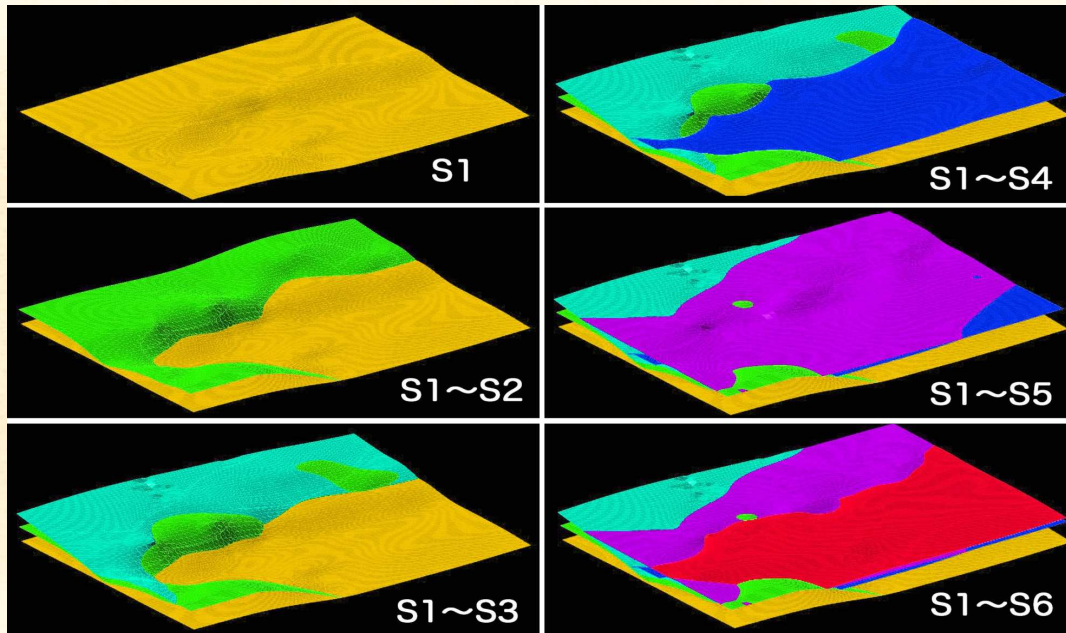
3.3 境界面モデルの表示例

境界面モデル：従来から「サーフェスモデル」と呼ばれている。
 ※CG用語では、サーフェスは表面形状を指すので、あえて使用しない。
 ☆境界面モデルは、地層などの境界面のワイヤーフレームモデルに、地層・岩体区分などの属性を持つテクスチャを貼り付けたモデル。
 ☆ワイヤーフレームの位置情報(X, Y, Z)のうち、標高(Z)はスプライン関数など、面の形状を推定する数式を利用して推定された**推測値**。

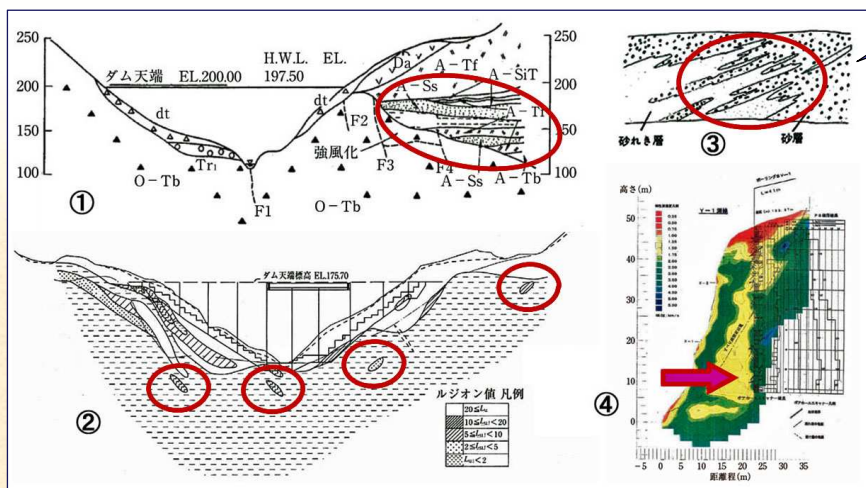


境界面モデルの例

- 地層などの境界面をメッシュやTINで表現する基本的なモデル。
 - 境界面を重ねると、下位の面は全く見えなくなる。
- ⇒二次利用可能なデータとしては満足であっても、視認性に劣り使いにくい。



境界面モデル作成が難しい地質構造の例



出典A

• 3D-CADで直接描画するしかない。

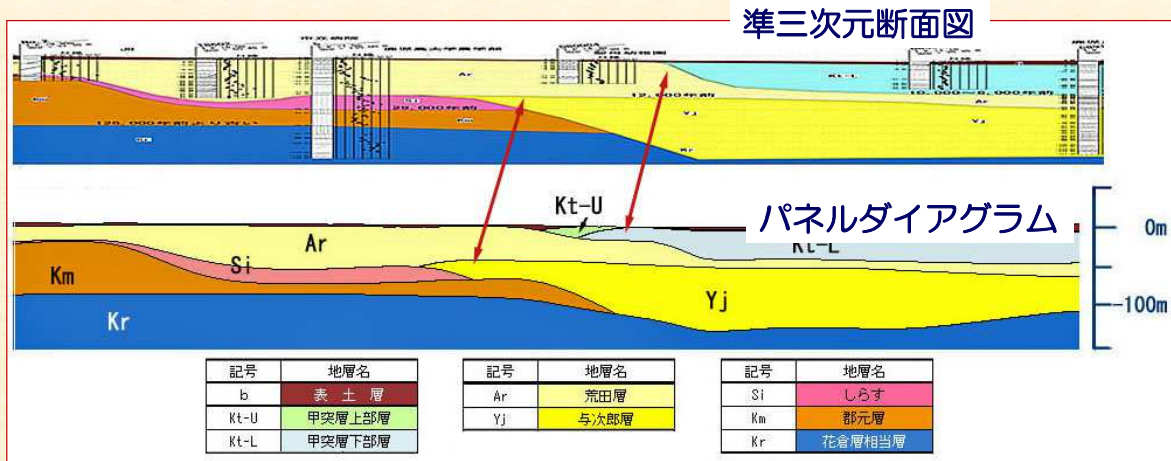
- ① 複雑な値層構造の例：複雑な地層を区分して境界面を推定するためには、極めて多くのボーリングや横坑掘削・観察などが必要。⇒コスト的に現実的ではないだろう。
- ② 閉じた空間の例：閉鎖空間の二次元形状そのものが、地質やダム技術者の推定したモデル。⇒これを三次元に拡張するには、直交断面の調査などが必要である。
- ③ 指交関係(インターフィンガー)：同時期に堆積した2種類の地層が、左右の手の指を重ね合わせたようになっている。⇒地層境界面の数学モデル自体の作成が困難である。
- ④ ブロック状構造：矢印の物理探査結果からサーフェスモデルを作成するのは困難。⇒三次元物理探査結果から、直接ボクセルモデルなどを作成すべき。

3.4 パネルダイアグラムの表示例

17

パネルダイアグラム：三次元地盤モデルから作成された任意の断(平)面図。
☆前述した「準三次元断面図」とは、コンテンツを求めた手段が違うだけで、使用する三次元座標系は全く同じ。

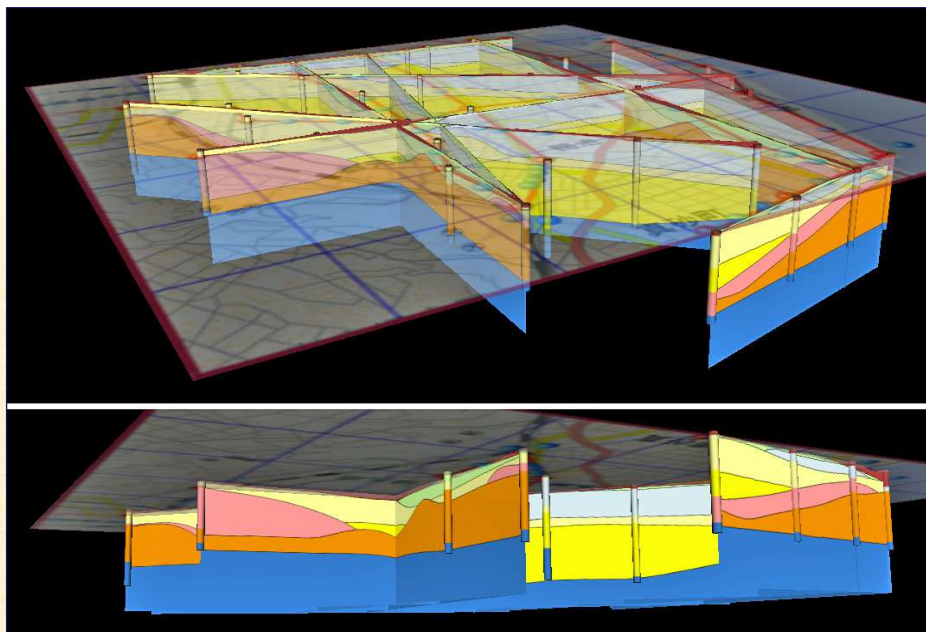
☆CTやMRIの断層映像と同じ仕組み。



準三次元断面図(上)とパネルダイアグラム(下)

3.4 パネルダイアグラムの表示例

18

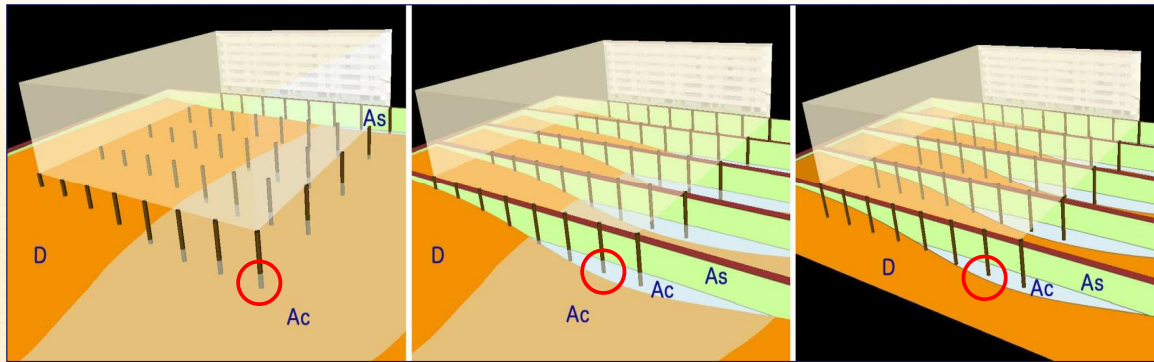


パネルダイアグラムと準三次元断面図との最大の違いは、前者が再利用可能な「データ」であること。⇒詳細は後述。

3.5 杭の打設状況をイメージした例

19

- 複層の境界面モデルでは，下位の面や構造物は見えなくなる。
- ⇒二次利用可能なデータとしては満足であっても，視認性に劣り使いにくい。



境界面モデル

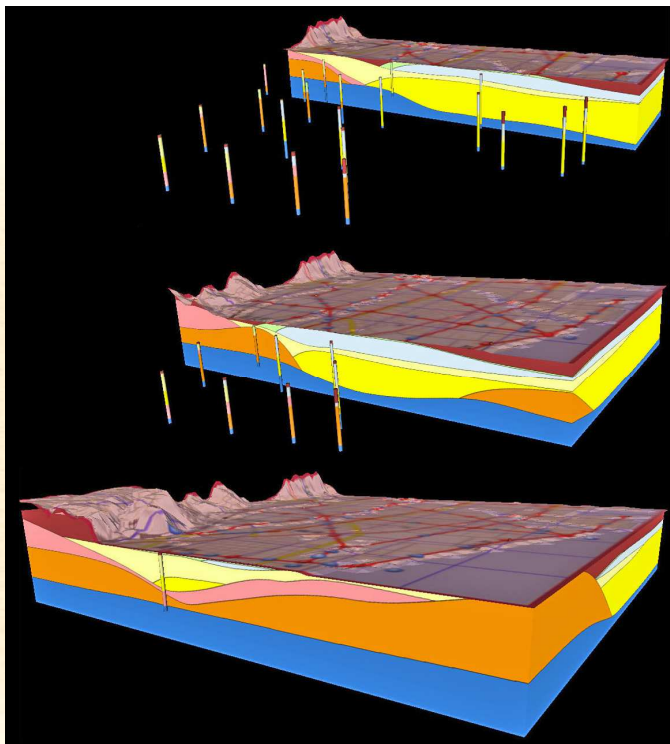
境界面モデル+パネルダイアグラム

パネルダイアグラム

☆境界面モデルは，そのまま完成品として表現するよりも，
二次利用可能なデータとして使用の方が良いと思う。
[パネルダイアグラムや，ボクセルモデルの情報資源として利用する。]

3.6 疑似ソリッドモデルの表現例

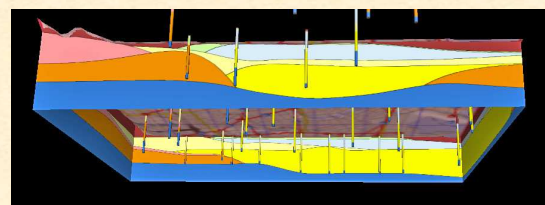
20



疑似ソリッドモデル：

- 表示範囲をパネルダイアグラムで囲ったモデル。
- 中身(境界間の属性値)を持たないイメージモデル。

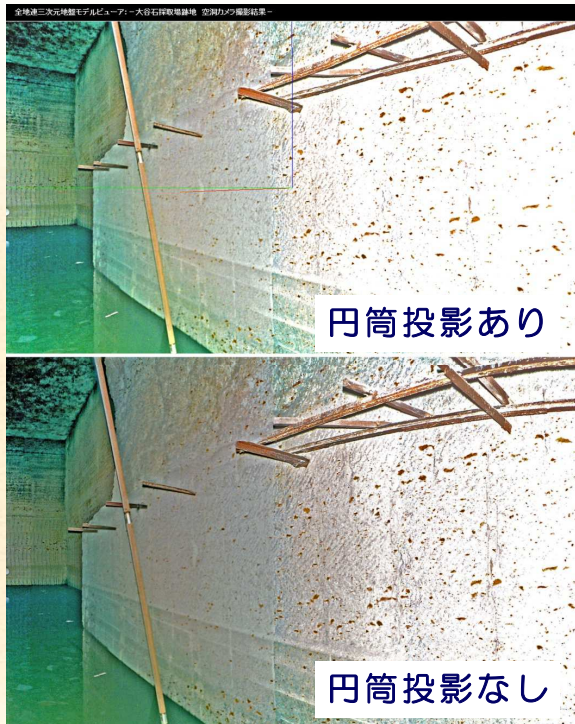
⇒地質断面図を見慣れた目では，境界モデルよりも視認性が良く，地層構造も理解しやすい。



疑似ソリッドモデル：
演者等の新造語

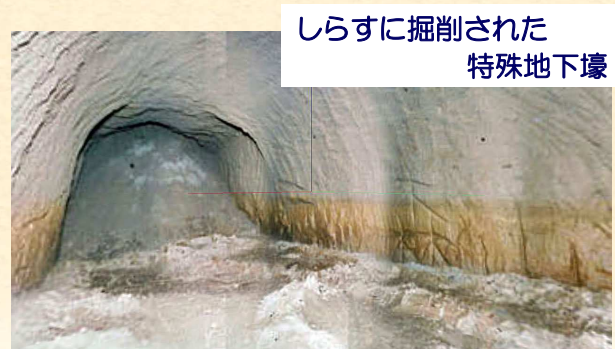
3.7 円筒(投影)モデルによる地下空洞の表現例

21



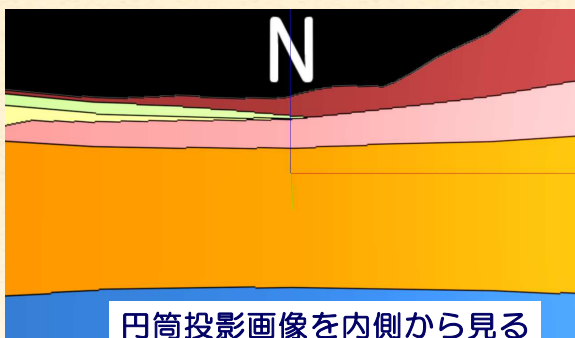
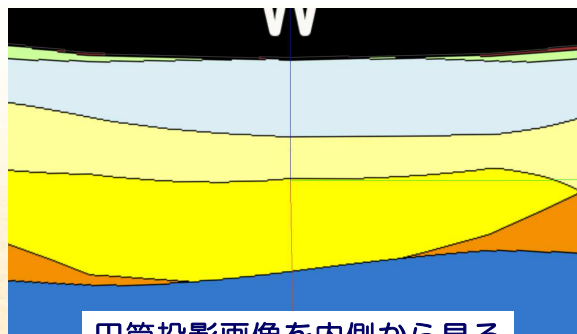
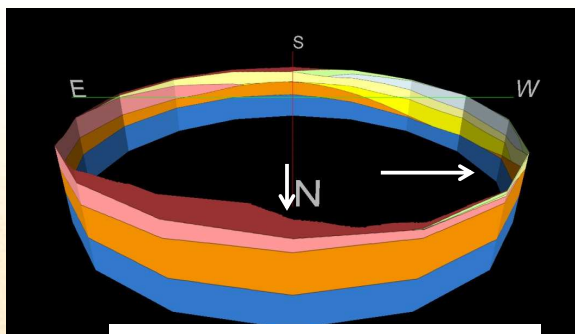
円筒(投影)モデル：

- 水平360度展開画像をテクスチャとするモデル。
- 円筒投影はそれを可視化するための投影法である。
- 本来は、正距円筒図法(360度パノラマ画像)がベストであるが、撮影には特殊なカメラが必要となる。
[Google Street View]



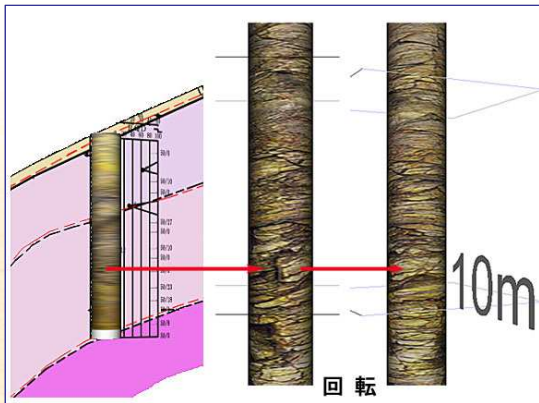
3.7 円筒(投影)モデルによる地層の表現例

22

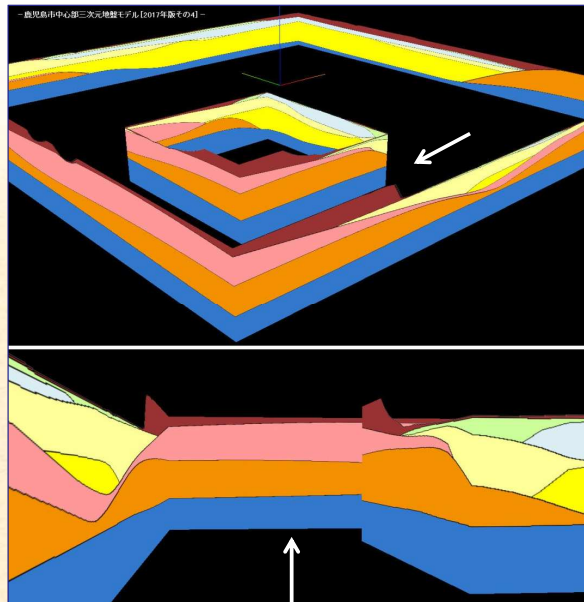


- 観察者は、円筒の中心に位置して円筒の内側に投影される「左右反転画像」を観察する。

様々な投影法による地層の表現例



- ボアホールカメラによる孔壁の360度水平展開画像を「円筒投影」した例。
- 孔壁画像をが、丸みを帯びたコア写真のように見える。



- パネルダイアグラムを内側から眺めた例(通常の投影法)。
- 人工的に作り出した擬似空洞。

【参考】標高データの自動取得について

71.81.2819.7	142227.10												
130.9968	32.8717	401.6	398.7	393.7	389.2	382	378.7	373.2	369.1	359.4	351.8		
340.5	333	323.4	302.1	313.2	293.1	274.8	268.8	266.7	267	267.1	266.5	262.8	
267.2	245.3	231.6	225.5	218.2	208.8	203.5	198.5	193.1	192.3	186	184	201.3	
216.1	225	238.1	244.5	253.3	257.2	261	266	269.9	273.9	276.1	278.7	283	283.4
278.8	278.8	281.4	284	285	285	287.8	288.4	288.4	288.4	288.4	288.4	288.4	288.8
288.8	288.8	291.4	284	285	285	288.3	300.8	300.8	301.1	301.4	301.9	302.4	304.8
304.8	306.7	308.3	310.7	312.7	315.7	318.7	321.7	324.7	327.7	330.7	333.7	336.7	339.7
339.8	341.7	343.6	345.5	347.4	349.3	351.2	353.1	355.0	356.9	358.8	360.7	362.6	364.5
366.4	368.3	370.2	372.1	374.0	375.9	377.8	379.7	381.6	383.5	385.4	387.3	389.2	391.1
393.0	394.9	396.8	398.7	400.6	402.5	404.4	406.3	408.2	410.1	412.0	413.9	415.8	417.7
419.6	421.5	423.4	425.3	427.2	429.1	431.0	432.9	434.8	436.7	438.6	440.5	442.4	444.3
446.2	448.1	450.0	451.9	453.8	455.7	457.6	459.5	461.4	463.3	465.2	467.1	469.0	470.9
472.8	474.7	476.6	478.5	480.4	482.3	484.2	486.1	488.0	489.9	491.8	493.7	495.6	497.5
499.4	501.3	503.2	505.1	507.0	508.9	510.8	512.7	514.6	516.5	518.4	520.3	522.2	524.1
526.0	527.9	529.8	531.7	533.6	535.5	537.4	539.3	541.2	543.1	545.0	546.9	548.8	550.7
552.6	554.5	556.4	558.3	560.2	562.1	564.0	565.9	567.8	569.7	571.6	573.5	575.4	577.3
579.2	581.1	583.0	584.9	586.8	588.7	590.6	592.5	594.4	596.3	598.2	600.1	602.0	603.9
605.8	607.7	609.6	611.5	613.4	615.3	617.2	619.1	621.0	622.9	624.8	626.7	628.6	630.5
632.4	634.3	636.2	638.1	640.0	641.9	643.8	645.7	647.6	649.5	651.4	653.3	655.2	657.1
659.0	660.9	662.8	664.7	666.6	668.5	670.4	672.3	674.2	676.1	678.0	679.9	681.8	683.7
685.6	687.5	689.4	691.3	693.2	695.1	697.0	698.9	700.8	702.7	704.6	706.5	708.4	710.3
712.2	714.1	716.0	717.9	719.8	721.7	723.6	725.5	727.4	729.3	731.2	733.1	735.0	736.9
738.8	740.7	742.6	744.5	746.4	748.3	750.2	752.1	754.0	755.9	757.8	759.7	761.6	763.5
765.4	767.3	769.2	771.1	773.0	774.9	776.8	778.7	780.6	782.5	784.4	786.3	788.2	790.1
792.0	793.9	795.8	797.7	799.6	801.5	803.4	805.3	807.2	809.1	811.0	812.9	814.8	816.7
818.6	820.5	822.4	824.3	826.2	828.1	830.0	831.9	833.8	835.7	837.6	839.5	841.4	843.3
845.2	847.1	849.0	850.9	852.8	854.7	856.6	858.5	860.4	862.3	864.2	866.1	868.0	870.0
871.9	873.8	875.7	877.6	879.5	881.4	883.3	885.2	887.1	889.0	890.9	892.8	894.7	896.6
898.5	900.4	902.3	904.2	906.1	908.0	909.9	911.8	913.7	915.6	917.5	919.4	921.3	923.2
925.1	927.0	928.9	930.8	932.7	934.6	936.5	938.4	940.3	942.2	944.1	946.0	947.9	949.8
951.7	953.6	955.5	957.4	959.3	961.2	963.1	965.0	966.9	968.8	970.7	972.6	974.5	976.4
978.3	980.2	982.1	984.0	985.9	987.8	989.7	991.6	993.5	995.4	997.3	999.2	1001.1	1003.0
1004.9	1006.8	1008.7	1010.6	1012.5	1014.4	1016.3	1018.2	1020.1	1022.0	1023.9	1025.8	1027.7	1029.6
1031.5	1033.4	1035.3	1037.2	1039.1	1041.0	1042.9	1044.8	1046.7	1048.6	1050.5	1052.4	1054.3	1056.2
1058.1	1060.0	1061.9	1063.8	1065.7	1067.6	1069.5	1071.4	1073.3	1075.2	1077.1	1079.0	1080.9	1082.8
1084.7	1086.6	1088.5	1090.4	1092.3	1094.2	1096.1	1098.0	1100.0	1101.9	1103.8	1105.7	1107.6	1109.5
1111.4	1113.3	1115.2	1117.1	1119.0	1120.9	1122.8	1124.7	1126.6	1128.5	1130.4	1132.3	1134.2	1136.1
1138.0	1139.9	1141.8	1143.7	1145.6	1147.5	1149.4	1151.3	1153.2	1155.1	1157.0	1158.9	1160.8	1162.7
1164.6	1166.5	1168.4	1170.3	1172.2	1174.1	1176.0	1177.9	1179.8	1181.7	1183.6	1185.5	1187.4	1189.3
1191.2	1193.1	1195.0	1196.9	1198.8	1200.7	1202.6	1204.5	1206.4	1208.3	1210.2	1212.1	1214.0	1215.9
1217.8	1219.7	1221.6	1223.5	1225.4	1227.3	1229.2	1231.1	1233.0	1234.9	1236.8	1238.7	1240.6	1242.5
1244.4	1246.3	1248.2	1250.1	1252.0	1253.9	1255.8	1257.7	1259.6	1261.5	1263.4	1265.3	1267.2	1269.1
1271.0	1272.9	1274.8	1276.7	1278.6	1280.5	1282.4	1284.3	1286.2	1288.1	1290.0	1291.9	1293.8	1295.7
1297.6	1299.5	1301.4	1303.3	1305.2	1307.1	1309.0	1310.9	1312.8	1314.7	1316.6	1318.5	1320.4	1322.3
1324.2	1326.1	1328.0	1329.9	1331.8	1333.7	1335.6	1337.5	1339.4	1341.3	1343.2	1345.1	1347.0	1348.9
1350.8	1352.7	1354.6	1356.5	1358.4	1360.3	1362.2	1364.1	1366.0	1367.9	1369.8	1371.7	1373.6	1375.5
1377.4	1379.3	1381.2	1383.1	1385.0	1386.9	1388.8	1390.7	1392.6	1394.5	1396.4	1398.3	1400.2	1402.1
1404.0	1405.9	1407.8	1409.7	1411.6	1413.5	1415.4	1417.3	1419.2	1421.1	1423.0	1424.9	1426.8	1428.7
1430.6	1432.5	1434.4	1436.3	1438.2	1440.1	1442.0	1443.9	1445.8	1447.7	1449.6	1451.5	1453.4	1455.3
1457.2	1459.1	1461.0	1462.9	1464.8	1466.7	1468.6	1470.5	1472.4	1474.3	1476.2	1478.1	1480.0	1481.9
1483.8	1485.7	1487.6	1489.5	1491.4	1493.3	1495.2	1497.1	1499.0	1500.9	1502.8	1504.7	1506.6	1508.5
1510.4	1512.3	1514.2	1516.1	1518.0	1519.9	1521.8	1523.7	1525.6	1527.5	1529.4	1531.3	1533.2	1535.1
1537.0	1538.9	1540.8	1542.7	1544.6	1546.5	1548.4	1550.3	1552.2	1554.1	1556.0	1557.9	1559.8	1561.7
1563.6	1565.5	1567.4	1569.3	1571.2	1573.1	1575.0	1576.9	1578.8	1580.7	1582.6	1584.5	1586.4	1588.3
1590.2	1592.1	1594.0	1595.9	1597.8	1599.7	1601.6	1603.5	1605.4	1607.3	1609.2	1611.1	1613.0	1614.9
1616.8	1618.7	1620.6	1622.5	1624.4	1626.3	1628.2	1630.1	1632.0	1633.9	1635.8	1637.7	1639.6	1641.5
1643.4	1645.3	1647.2	1649.1	1651.0	1652.9	1654.8	1656.7	1658.6	1660.5	1662.4	1664.3	1666.2	1668.1
1670.0	1671.9	1673.8	1675.7	1677.6	1679.5	1681.4	1683.3	1685.2	1687.1	1689.0	1690.9	1692.8	1694.7
1696.6	1698.5	1700.4	1702.3	1704.2	1706.1	1708.0	1709.9	1711.8	1713.7	1715.6	1717.5	1719.4	1721.3
1723.2	1725.1	1727.0	1728.9	1730.8	1732.7	1734.6	1736.5	1738.4	1740.3	1742.2	1744.1	1746.0	1747.9
1749.8	1751.7	1753.6	1755.5	1757.4	1759.3	1761.2	1763.1	1765.0	1766.9	1768.8	1770.7	1772.6	1774.5
1776.4	1778.3	1780.2	1782.1	1784.0	1785.9	1787.8	1789.7	1791.6	1793.5	1795.4	1797.3	1799.2	1801.1
1803.0	1804.9	1806.8	1808.7	1810.6	1812.5	1814.4	1816.3	1818.2	1820.1	1822.0	1823.9	1825.8	1827.7
1829.6	1831.5	1833.4	1835.3	1837.2	1839.1	1841.0	1842.9	1844.8	1846.7	1848.6	1850.5	1852.4	1854.3
1856.2	1858.1	1860.0	1861.9	1863.8	1865.7	1867.6	1869.5	1871.4	1873.3	1875.2	1877.1	1879.0	1880.9
1882.8	1884.7	1886.6	1888.5	1890.4	1892.3	1894.2	1896.1	1898.0	1900.0	1901.9	1903.8	1905.7	1907.6
1909.5	1911.4	1913.3	1915.2	1917.1	1919.0	1920.9	1922.8	1924.7	1926.6	1928.5	1930.4	1932.3	1934.2
1936.1	1938.0	1939.9	1941.8	1943.7	1945.6	1947.5	1949.4	1951.3	1953.2	1955.1	1957.0	1958.9	1960.8
1962.7	1964.6	1966.5	1968.4	1970.3	1972.2	1974.1	1976.0	1977.9	1979.8	1981.7	1983.6	1985.5	1987.4
1989.3	1991.2	1993.1	1995.0	1996.9	1998.8	2000.7	2002.6	2004.5	2006.4	2008.3	2010.2	2012.1	2014.0
2015.9	2017.8	2019.7	2021.6	2023.5	2025.4	2027.3	2029.2	2031.1	2033.0	2034.9	2036.8	2038.7	2040.6
2042.5	2044.4	2046.3	2048.2	2050.1	2052.0	2053.9	2055.8	2057.7	2059.6	2061.5	2063.4	2065.3	2067.2
2069.1	2071.0	2072.9	2074.8	2076.7	2078.6	2080.5	2082.4	2084.3	2086.2	2088.1	2090.0	2091.9	2093.8
2095.7	2097.6	2099.5	2101.4	2103.3	2105.2	2107.1	2109.0	2110.9	2112.8	2114.7	2116.6	2118.5	2120.4
2122.3	2124.2	2126.1	2128.0	2129.9	2131.8	2133.7	2135.6	2137.5	2139.4	2141.3	2143.2	2145.1	2147.0
2148.9	2150.8	2152.7	2154.6	2156.5	2158.4	2160.3	2162.2	2164.1	2166.0	2167.9	2169.8	2171.7	2173.6
2175.5	2177.4	2179.3	2181.2	2183.1	2185.0	2186.9	2188.8	2190.7	2192.6	2194.5	2196.4	2198.3	2200.2