

5. キャンパス内の地中熱・地下水熱利用簡易ポテンシャルマップ作成

5.1 ポテンシャルマップの概要

地中熱ポテンシャルマップは理論的に推計される地下のエネルギー量（熱交換量など）を表わすもので、地中熱利用を効率よく進めるうえで重要なデータとなる。地中熱ポテンシャルマップ作成には地下データとして、地下水位・地下水流速・帯水層の厚さ・熱伝導率・熱容量・地下水による流れの効果の6項目が必要とされる¹⁾。ただし、これらのデータがすべてそろって得られる場合は少なく、特に地下の熱物性についてはキャンパス内で測定された数地点の熱応答試験で得た有効熱伝導率のみである。今回はボーリングコアや透水性に関する直接的なデータが得られず、特に地下水流動による熱移動の効果を検討する事ができなかった。

従って今回のポテンシャルマップは既存のデータをもとに地下データを推定し、マップを作成せざるを得なかった。今回は地下の地質分布をもとに地中熱に関して最も基本的な情報である地下の熱伝導率分布図を作成し、それを地中熱ポテンシャルマップとした。これをもとに、冷房・暖房などの運用条件を設定し必要な採熱量の算出が可能となる²⁾。

5.2 ポテンシャルマップの作成

地中熱ポテンシャルマップ作成に使用した既存のデータは1974年4月の金谷川キャンパス統合移転に伴う地盤調査と移転以降の建築物の地盤調査報告書である。その中には40数年前のボーリングデータもあり位置情報が不明のものも多く、その場合は建物の配置図から位置を推定した。

図-5.2.1にボーリング位置と報告書タイトルを表示す。

5.2.1 地層区分

すべての資料についてボーリングコアは観察できなかったが、柱状図の記載とN値から地層区分を行った。なお、福島大学付近の地質については「福島大学キャンパス自然観察地図 生物・地質編」（平成22年3月）を作成した共生システム理工学類長橋良隆教授にご指導を頂いた。

ボーリング柱状図からキャンパス内の地層を上位から下位へ表-5.2.1に示すように5種類に区分した。

表-5.2.1 地層区分

地層区分	層相・特徴
表土、盛土、沖積層	沖積層は薄層なのでここに区分した
ローム層	黄褐色～茶褐色、火山灰質粘土
岩屑なだれ堆積物	凝灰質角礫岩、礫混り凝灰岩
清水町層	凝灰質砂岩、礫岩
花崗岩類	マサ・強風化花崗岩の部分もある

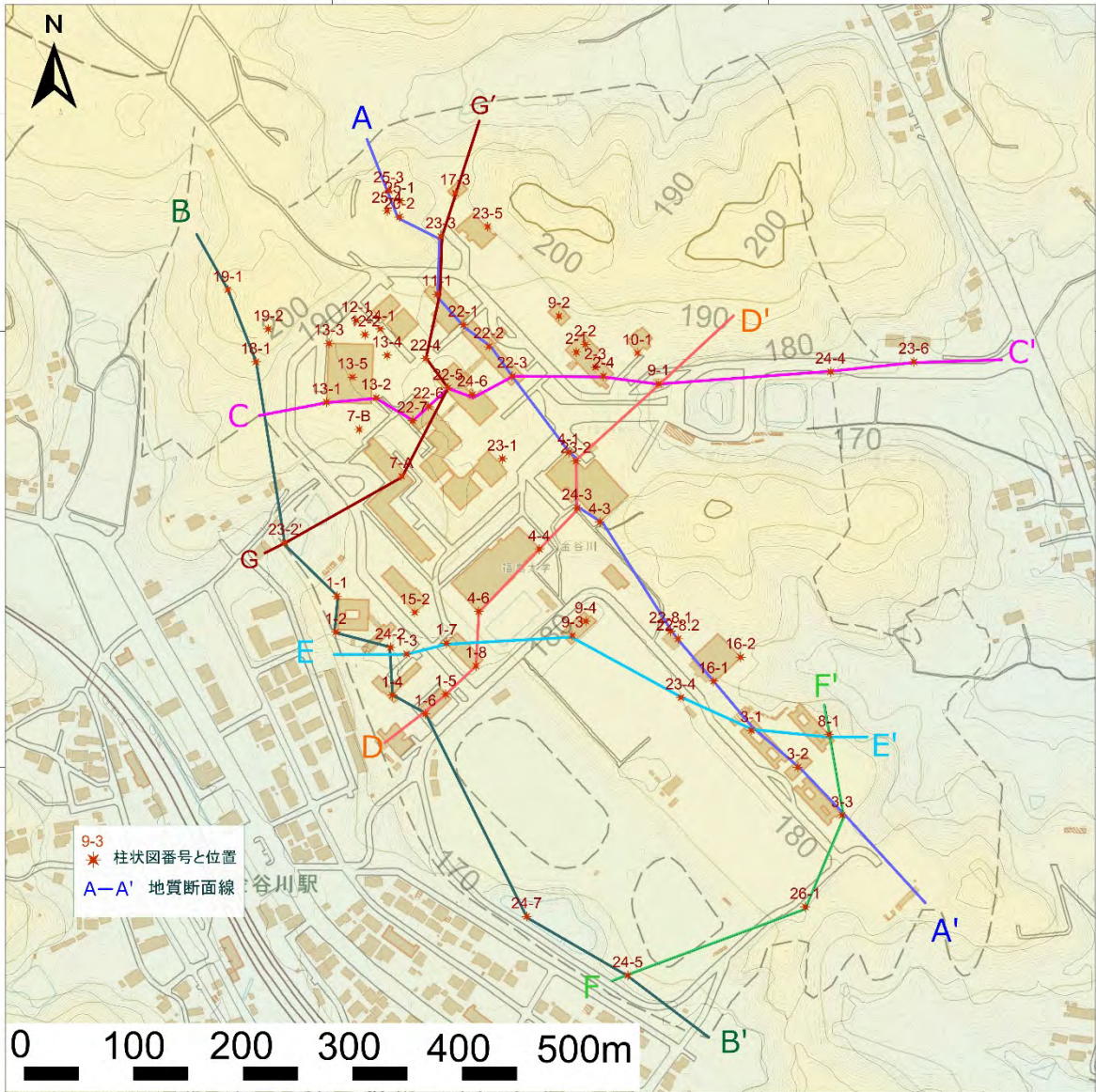


図-5.2.1 ボーリング位置と地質断面線

※この図は国土地理院地図(新版)レベル18と数値地図5mメッシュの標高データをもとに作成した。

表-5.2.2 報告書一覧

No.	柱状図番号	報告書タイトル	作成年
1	23-1	福島大学移転統合地地質調査	S51.6
2	23-2	福島大学移転統合地地質調査	S51.6
3	23-2'	福島大学移転統合地地質調査	S51.6
4	23-3	福島大学移転統合地地質調査	S51.6
5	23-4	福島大学移転統合地地質調査	S51.6
6	23-5	福島大学移転統合地地質調査	S51.6
7	23-6	福島大学移転統合地地質調査	S51.6
8	7-A	福島大学教育学部人文科学系校舎等用地地質調査工事	S52.6
9	7-B	福島大学教育学部人文科学系校舎等用地地質調査工事	S52.6
10	9-1	福島大学課外活動施設守衛室車庫用地地質調査工事	S 53.11
11	9-2	福島大学課外活動施設守衛室車庫用地地質調査工事	S 53.11
12	9-3	福島大学課外活動施設守衛室車庫用地地質調査工事	S 53.11
13	9-4	福島大学課外活動施設守衛室車庫用地地質調査工事	S 53.11
14	1-1	福島大学教育学部芸術系校舎等用地地質調査工事	S53.2
15	1-2	福島大学教育学部芸術系校舎等用地地質調査工事	S53.2
16	1-3	福島大学教育学部芸術系校舎等用地地質調査工事	S53.2
17	1-4	福島大学教育学部芸術系校舎等用地地質調査工事	S53.2
18	1-5	福島大学教育学部芸術系校舎等用地地質調査工事	S53.2
19	1-6	福島大学教育学部芸術系校舎等用地地質調査工事	S53.2
20	1-7	福島大学教育学部芸術系校舎等用地地質調査工事	S53.2
21	1-8	福島大学教育学部芸術系校舎等用地地質調査工事	S53.2
22	17-3	福島大学（金谷川）基幹整備（地質調査）工事	S53.2
23	4-1	福島大学学生会館体育館用地地質調査工事	S 53.5
24	4-3	福島大学学生会館体育館用地地質調査工事	S 53.5
25	4-4	福島大学学生会館体育館用地地質調査工事	S 53.5
26	4-6	福島大学学生会館体育館用地地質調査工事	S 53.5
27	3-1	福島大学寄宿舎用地地質調査工事	S54.1
28	3-2	福島大学寄宿舎用地地質調査工事	S54.1
29	3-3	福島大学寄宿舎用地地質調査工事	S54.1
30	8-1	福島大学学生寄宿舎（その2）地質調査工事	S54.11
31	22-1	福島大学経済学部研究所棟講義棟用地地質調査工事	S54.8
32	22-2	福島大学経済学部研究所棟講義棟用地地質調査工事	S54.8
33	22-3	福島大学経済学部研究所棟講義棟用地地質調査工事	S54.8
34	22-4	福島大学経済学部研究所棟講義棟用地地質調査工事	S54.8
35	22-5	福島大学経済学部研究所棟講義棟用地地質調査工事	S54.8
36	22-6	福島大学経済学部研究所棟講義棟用地地質調査工事	S54.8
37	22-7	福島大学経済学部研究所棟講義棟用地地質調査工事	S54.8
38	22-8.1	福島大学経済学部研究所棟講義棟用地地質調査工事	S54.8
39	22-8.2	福島大学経済学部研究所棟講義棟用地地質調査工事	S54.8
40	2-1	福島大学本部管理棟用地地質調査	S55
41	2-2	福島大学本部管理棟用地地質調査	S55
42	2-3	福島大学本部管理棟用地地質調査	S55
43	2-4	福島大学本部管理棟用地地質調査	S55
44	13-1	福島大学図書館用地地質調査工事	S55.2
45	13-2	福島大学図書館用地地質調査工事	S55.2
46	13-3	福島大学図書館用地地質調査工事	S55.2
47	13-4	福島大学図書館用地地質調査工事	S55.2
48	13-5	福島大学図書館用地地質調査工事	S55.2
49	24-1	福島大学移転統合地地質調査	S55.3
50	24-2	福島大学移転統合地地質調査	S55.3
51	24-3	福島大学移転統合地地質調査	S55.3
52	24-4	福島大学移転統合地地質調査	S55.3
53	24-5	福島大学移転統合地地質調査	S55.3
54	24-6	福島大学移転統合地地質調査	S55.3
55	24-7	福島大学移転統合地地質調査	S55.3
56	10-1	福島大学健康管理センター建設用地地質調査	S56.8
57	15-2	福島大学教育学部校舎教育実践研究指導センター地質調査	S57.4
58	11-1	福島大学金谷川回地行政社会学部用地地盤調査	H2.7
59	16-1	福島大学金谷川回屋内運動場用地地質調査	H2.12
60	16-2	福島大学金谷川回屋内運動場用地地質調査	H2.12
61	20-2	福島大学うつくしまふくしま未来支援センター用地地盤調査	H24.2
62	12-1	福島大学（金谷川）図書館新営工事に伴う地盤調査	H25.4
63	12-2	福島大学（金谷川）図書館新営工事に伴う地盤調査	H25.4
64	18-1	福島大学環境放射能研究所プレハブ分析棟地盤調査	H25.7
65	19-1	福島大学環境放射能研究所用地地盤調査業務	H26.10
66	19-2	福島大学環境放射能研究所用地地盤調査業務	H26.10
67	25-1	福島大学食農学類地質調査	H30.1
68	25-3	福島大学食農学類地質調査	H30.1
69	25-4	福島大学食農学類地質調査	H30.1
70	26-1	福島大学学生寮下地質調査	H30.1

表-5.2.3 地質時代と地層名

地質時代		福島盆地南部	
地質年代	(10 ⁶ 年)	地層名(地質) 赤字は図5-2の凡例に對し	
後期更新世	1	盆地埋積土砂、段丘堆積物、谷底埋積物、沖積層	
		伏拝岩屑なだれ堆積物(火山砕屑物) Vzf	
前期更新世	2	蓬萊火砕流堆積物 Vip 、清水町層(礫・砂・泥)	
	3	笹森山安山岩 Pa	
鮮新世	4		
	5		
中後期	6	松川層(凝灰質砂岩・シルト岩・凝灰岩) M2	
	7		
新中期	8		
	9		
新前期	10	岩倉層(凝灰岩・シルト岩・砂岩) L3	
	15	靈山層(玄武岩・安山岩の火砕岩・溶岩) Eb	
先第三紀	20	花崗岩類(G2b ・ G2c)、變成岩 Ma	

福島盆地南部から二本松丘陵にかけての地質は左表(表-5.2.3)に示されるが、伏拝岩屑なだれ堆積物と蓬萊火砕流堆積物を柱状図の記載からでは区別できなかったため両者をまとめ、表-5.2.1の岩屑なだれ堆積物とした。岩屑なだれ堆積物の下に清水町層が分布するが、河川性の堆積物のためすべての地点に分布するものではない。



写真-5.2.1 岩屑なだれ堆積物と清水町層

(県道側大学入口東方の露頭、2001年長橋良隆教授撮影)

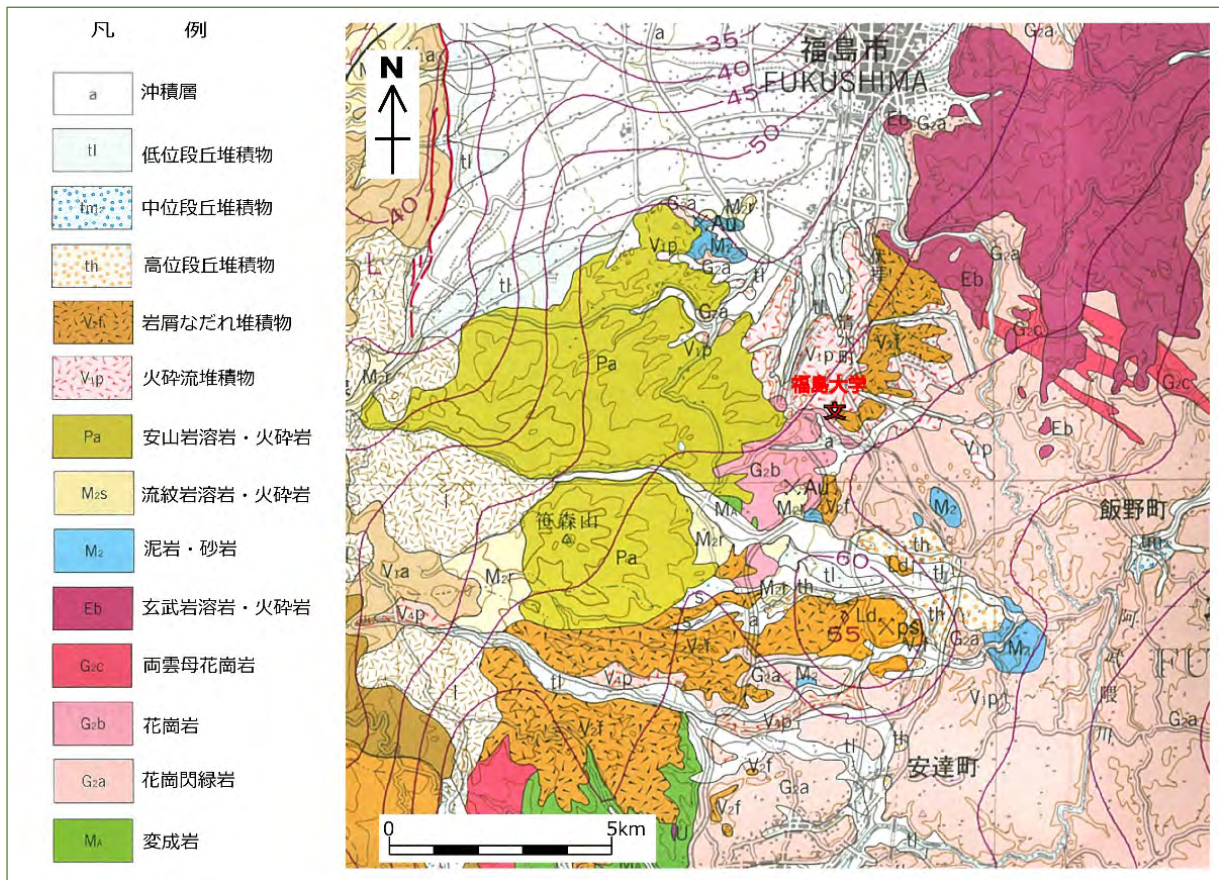


図-5.2.2 福島大学付近の地質 (20万分の1地質図幅「福島」2003をもとに作成)

※赤線と数値は等重力線とブーゲー異常値を示す。単位は mgal

5.2.2 花崗岩出現高度分布図

クローズドループ地中熱利用には 50～100m 深度のボーリング孔を掘削し採熱管を埋設する必要がある。今回参考にしたボーリングの深度は最大でも 30 数m であり、100m までの地質を何らかの手段で推定する必要がある。キャンパス付近の地質は図-5.2.2 より 5 種類の地質 (表-5.2.1) で構成されると考えられる。その中で最も厚く広く分布するのは花崗岩であり、有効熱伝導率が飛びぬけて大きい (表-5.2.2 後述)。従って花崗岩までの深度を推定し、その上位に堆積している地層の層厚を推定する必要がある。

推定の第一段階として花崗岩の記載がある柱状図の花崗岩出現高度をもとに、花崗岩出現高度分布図を作成した。第二段階として花崗岩まで到達していない深度の各地点において、高度分布図上でその地点の予想花崗岩出現高度を読み取り、ボーリング深度 (標高) と比較してボーリングの方が深ければボーリング深度に 1m 加えた深度を与え、その地点の推定花崗岩出現深度とした。そのデータを加えて再度花崗岩出現高度分布図を作成した。

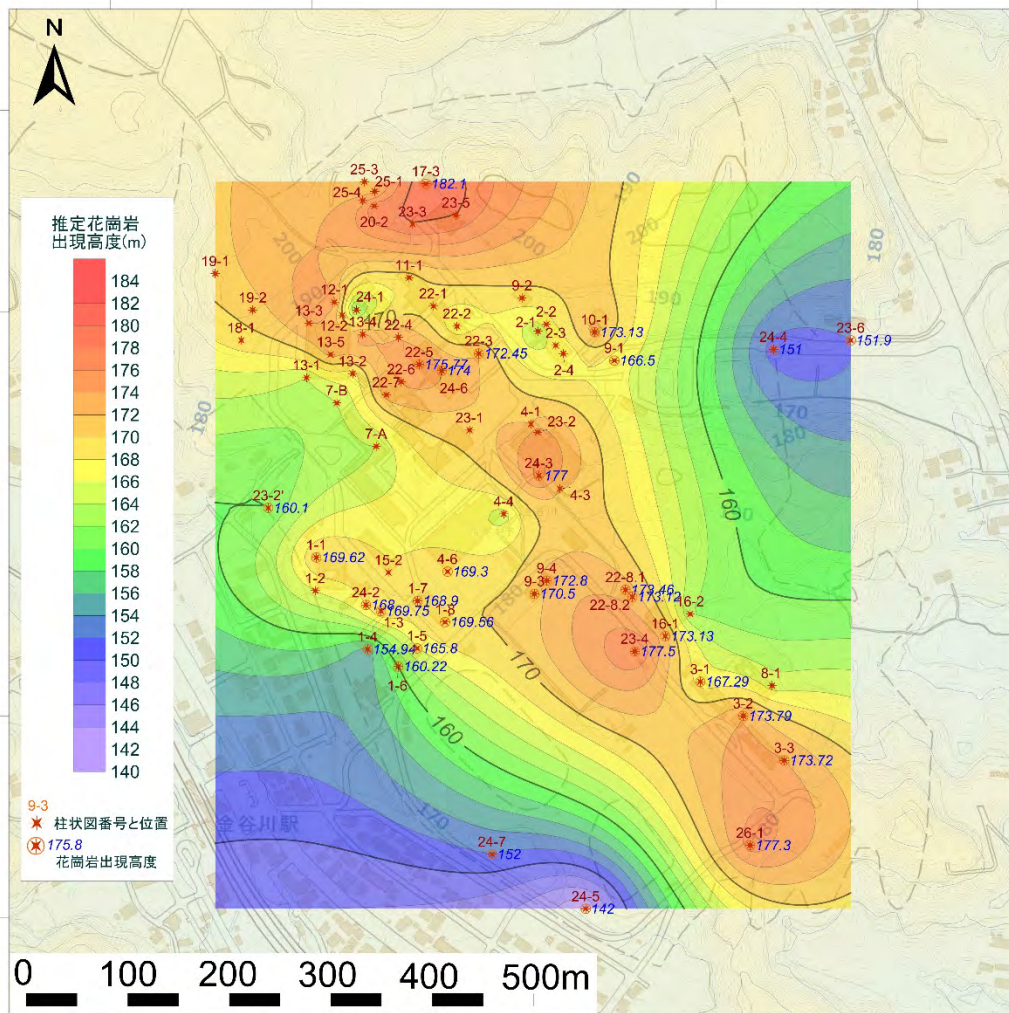


図-5.2.3 花崗岩出現高度分布

※作図は地点の UTM 座標と柱状図から得た花崗岩出現高度と推定花崗岩出現高度をもとに Surfer13 (Golden SoftWare 社) を使用して作成した。

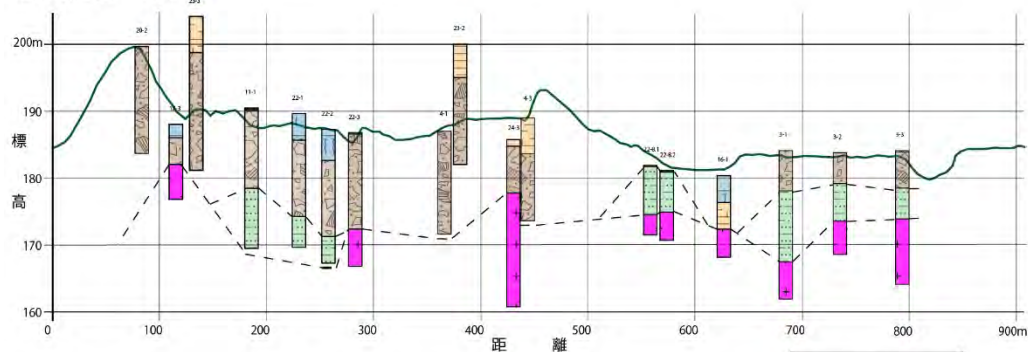
5.2.3 地質断面図

花崗岩出現高度分布図（図-5.2.3）から花崗岩はキャンパス内の地表の標高が高い所で出現高度を上げている。さらに花崗岩の上位の地層分布状況を把握するために、図-5.2.1 に示す A～G までの地質断面線に柱状図を配置し地質断面図（図-5.2.4）を作成した。図を見ると現在の地表と合わないものもあるが、柱状図記載の標高データをもとに柱状図を配置したため、キャンパス造成に伴う切り土・盛土等による地形改変の結果と考えられる。

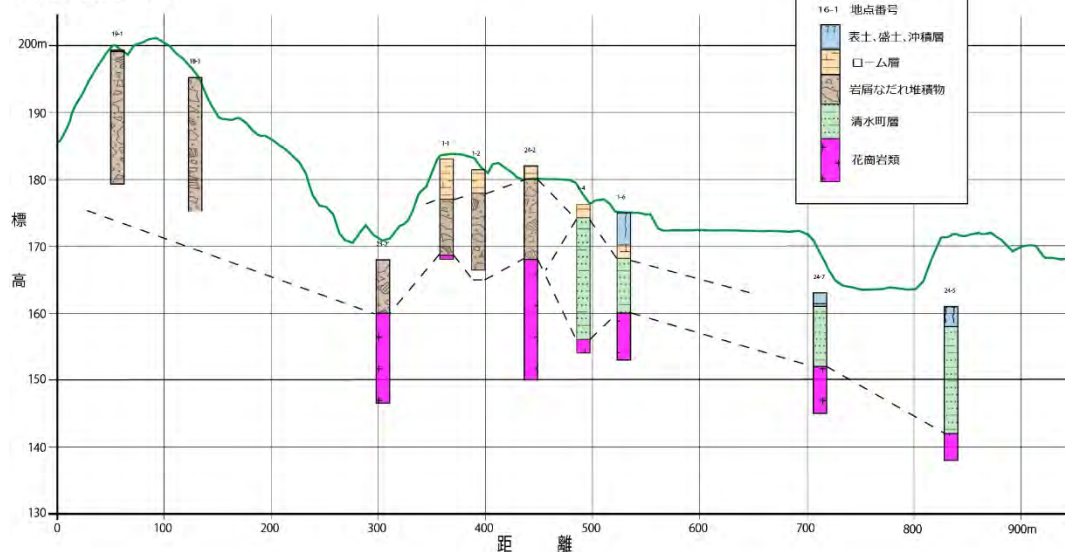
地質断面図と花崗岩出現高度分布図によれば、清水町層は花崗岩の出現高度が低い部分に分布しており、キャンパス内では偏在して分布する。岩屑なだれ堆積物はキャンパス内の丘陵地に分布しており、特に西部では厚く分布し層厚 20m 以上となっている。ローム層はいわゆる風化火山灰で軽石粒を含む粘土質の地層である。建物の基礎には適さないためキャンパス内の平坦地では多くは削剥されているようだ。盛土の材質については柱状図の記載や造成当時の写真などから岩屑なだれ堆積物を使用したものと推定される。

以上の各地質区分の分布状況から各地点で地表から深度 50m、深度 100m までのそれぞれの地層区分の厚さを推定した。

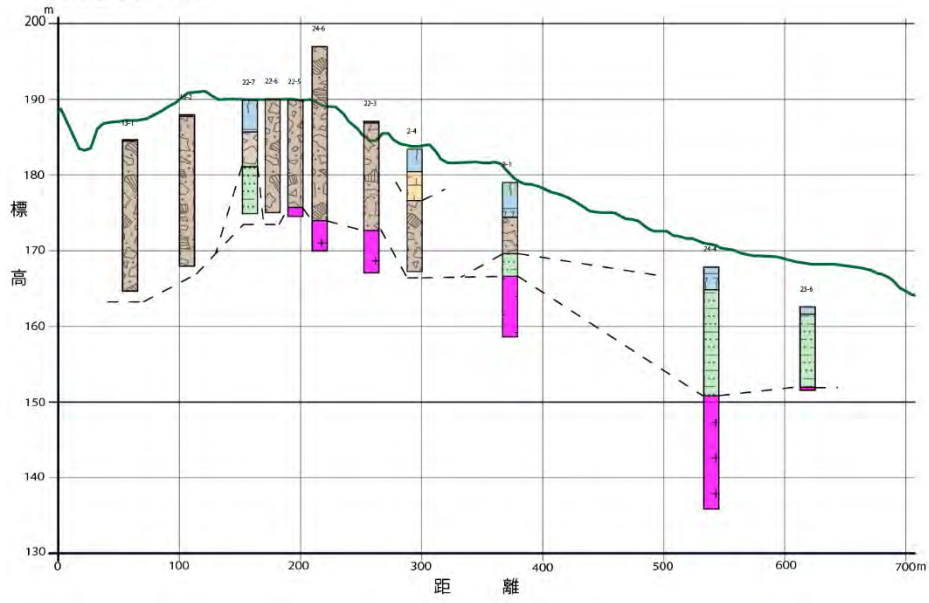
地質断面図 A-A'



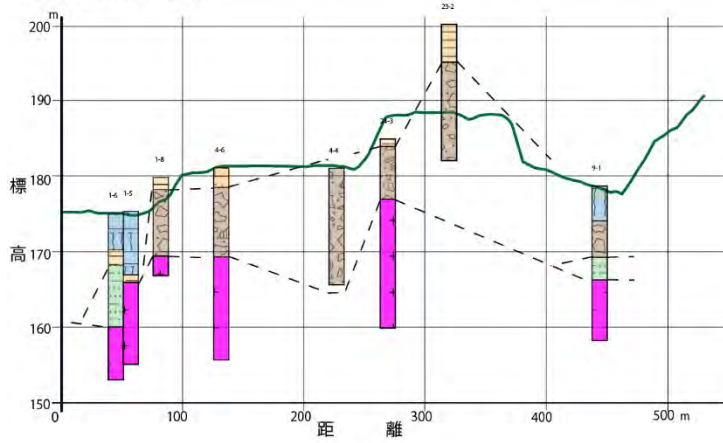
地質断面図 B-B'



地質断面図 C-C'



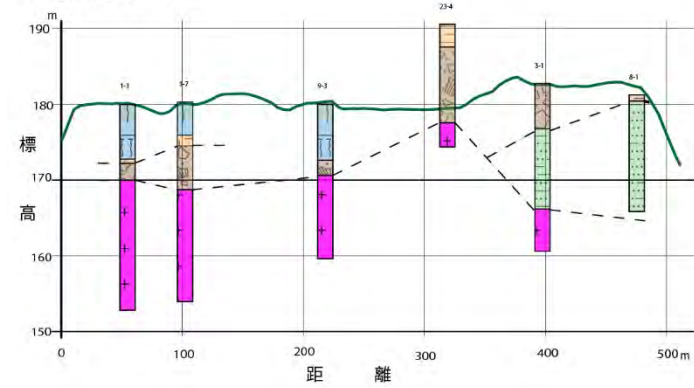
地質断面図 D-D'



柱状図の凡例

16-1	地点番号
	表土、盛土、沖積層
	ローム層
	岩屑なだれ堆積物
	清水町層
	花崗岩類

地質断面図 E-E'



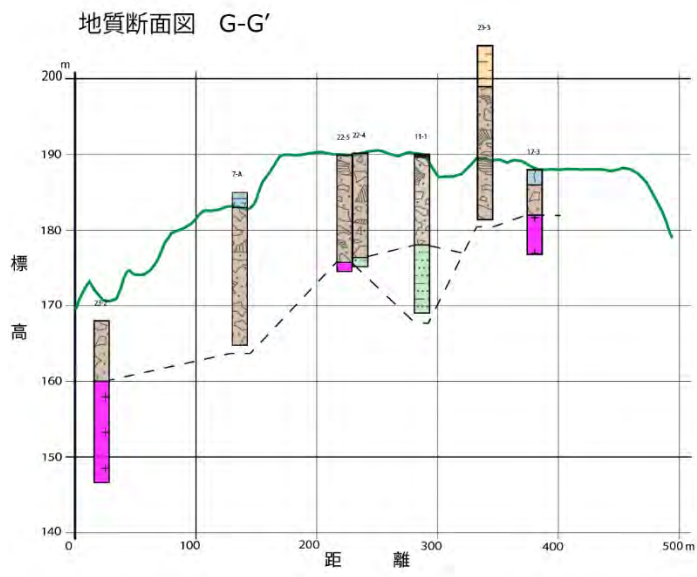
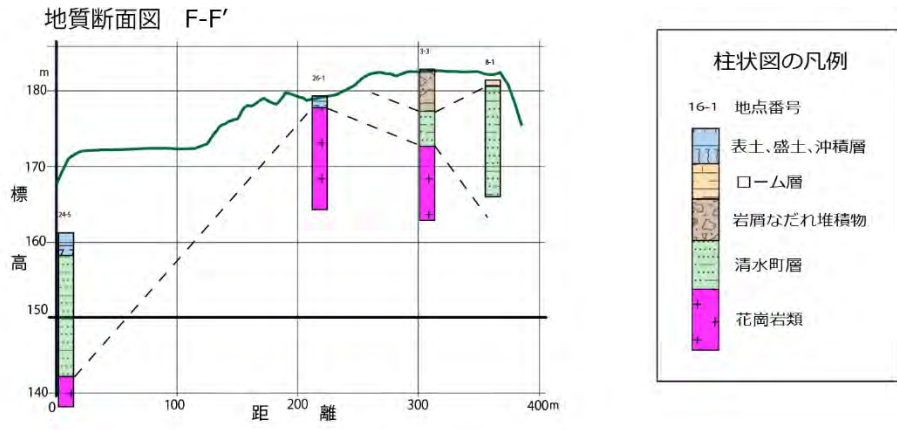


図-5.2.4 地質断面図

5.2.4 有効熱伝導率

地中熱はヒートポンプを介して利用されるが埋設した熱交換器の効率は地盤の熱特性で決定される。通常、熱特性は熱の伝わり方を表わす「有効熱伝導率」で示される。現在知られている土壌・岩盤の有効熱伝導率と熱容量を表-5.2.4に示す。

表-5.2.4 土壌・岩盤の有効熱伝導率と熱容量

土質・岩質	有効熱伝導率 (W/m·K)		熱容量 (MJ/m ³ ·K)	
	飽和	不飽和	飽和	不飽和
砂	1.53	1.19	3.03	
砂礫	2.00			
シルト	1.44			
粘土	1.27	0.92	3.13	2.14
火山灰	1.18	0.90	3.05	2.01
泥炭	1.22	0.88	3.20	2.07
ローム層	1.00	0.72		
重い岩石	3.10			
軽い岩石	1.40			
花崗岩	3.50			

- ・引用は参考文献1)による。
- ・飽和の数値は柱状図記載の地下水位以下の地層に、不飽和は地下水位以上の地層に用いる。

5.2.5 平均熱伝導率

地層区分毎の土壌・岩盤の有効熱伝導率にその厚さを乗じ、全体の深度で除する。すなわち各層の有効熱伝導率の加重平均を算出することになり、その値をその地点での平均有効熱伝導率とする。各地点の値をもとに等値線を描いたものが平均有効熱伝導率分布図となる。今回はこれを「地中熱ポテンシャルマップ」とする。

5.2.6 平均有効熱伝導率分布図

平均有効熱伝導率を求めるにあたって、地質区分の表土・盛土・沖積層は表-5.2.4 土壌・岩盤の有効熱伝導率の「砂」の数値を用いた。岩屑なだれ堆積物は食農学類建築物地盤調査ボーリング孔でのTCP(後述)現位置試験のデータを用いた。清水町層は下部更新統にあたり「軽い岩石」の数値を用いた。花崗岩類については「マサ」の記載内容を考慮し、N値50以下の場合には「砂」の数値を用いた。

表-5.2.5 採用有効熱伝導率

地層区分	採用有効熱伝導率 (W/m·K)		備 考
	飽和	不飽和	
表土、盛土、沖積層	1.53	1.19	表 5-2.4 の砂の有効熱伝導率
ローム層	1.00	0.72	
岩屑なだれ堆積物	1.22	1.19	TCP による測定値
清水町層	1.40	1.40	表 5-2.4 の軽い岩石
花崗岩	1.53	1.19	N 値 < 50 は砂の有効熱伝導率
	※ 3.50		N 値 ≥ 50 の場合

※花崗岩の有効熱伝導率熱 3.50 という値は花崗岩類の平均値を示すもので、風化・変質の程度、鉱物組成などによって変化が大きい。風化が進みマサ化した部分は岩石ではなく、外見上は砂状である。花崗岩を標準貫入試験の N 値をもとに区分し、N 値 50 未満では砂の値とした。

以上の数値をもとに各地点の深度 50mまでと深度 100mまでの平均有効熱伝導率を算出し、その値をもとに等値線を描き、以下の平均有効熱伝導率分布図を得た。

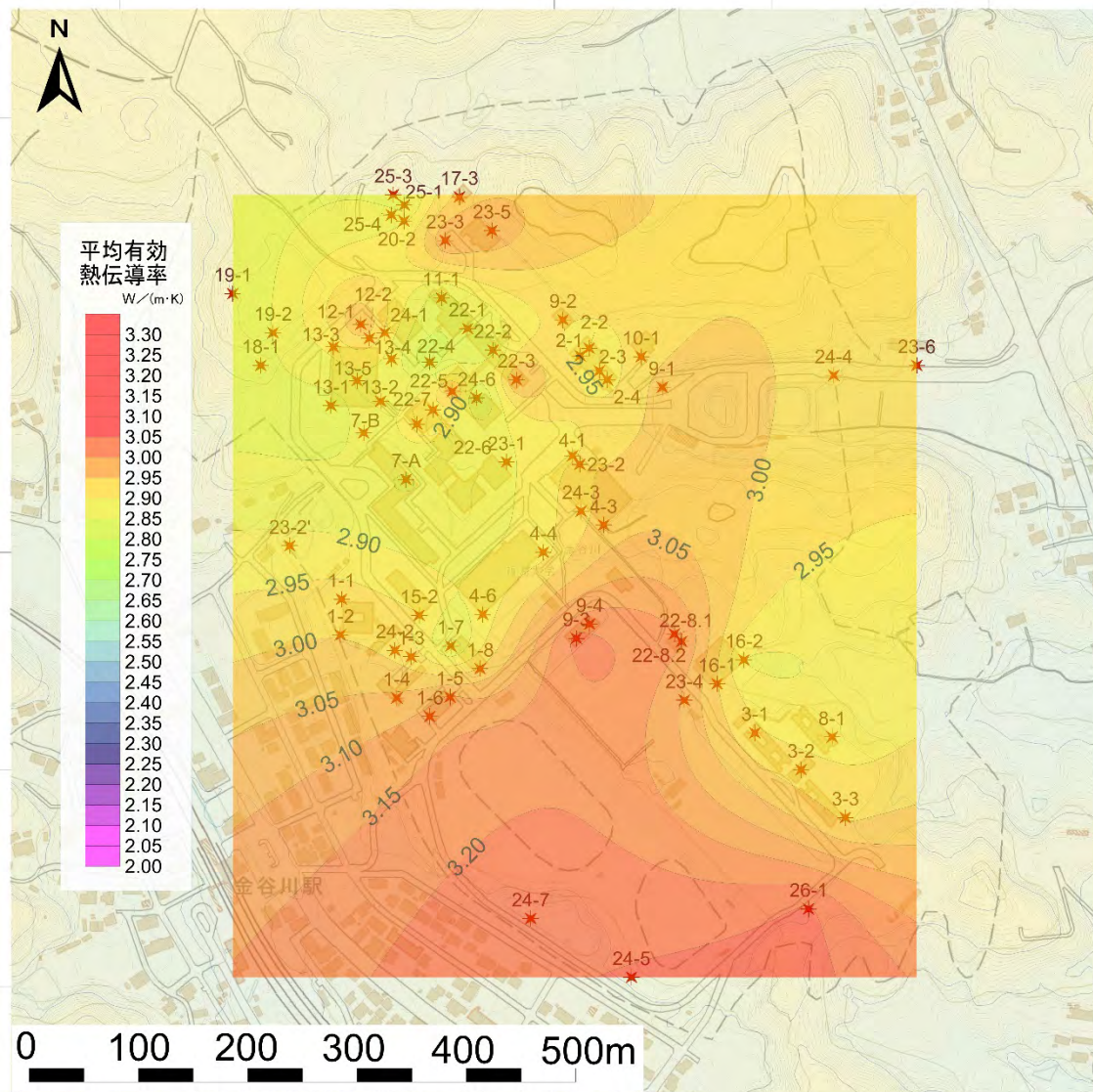


図-5.2.5 平均有効熱伝導率分布図 (0~100m)

花崗岩は有効熱伝導率が大きいため、花崗岩の地表からの深度が浅い場所に高い平均有効熱伝導率の出現区域が現れると考えられる。

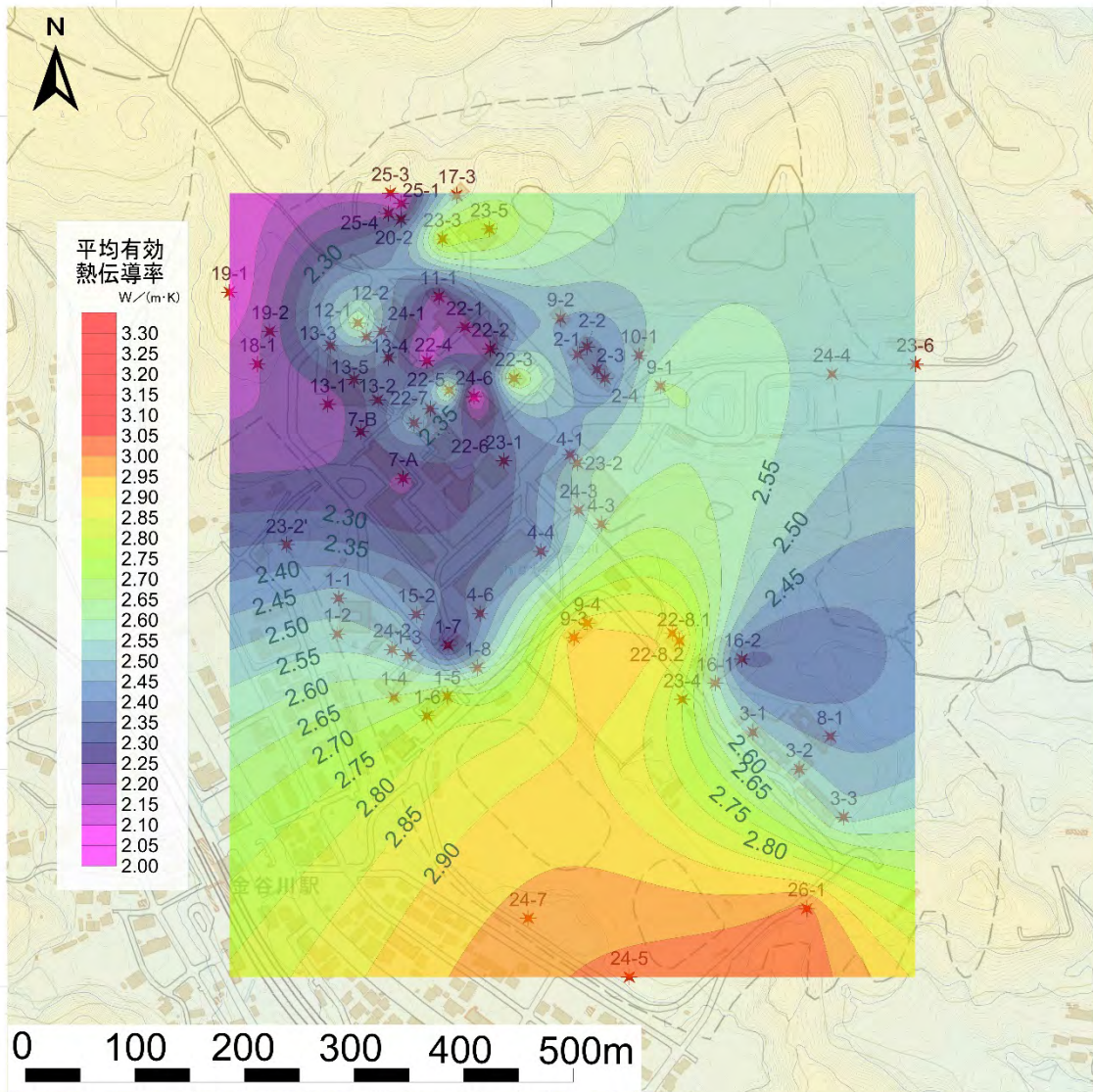


図-5.2.6 平均有効熱伝導率分布図 (0~50m)

平均有効熱伝導率分布図 (0~100m) と同 (0~50m) を比較すると岩層なだれ堆積物の層厚が大きい区域が値の低い場所となっている。これは花崗岩出現深度が深いため、有効熱伝導率の小さい岩層なだれ堆積物の影響が出ていると考えられる。

結局のところ、花崗岩までの地表からの深度が平均有効熱伝導率分布を決定していると推定される。ただし、熱伝導率に影響を与える地下水流動の効果を考慮していないことに留意したい。

5.3 簡易熱応答試験 (TCP) の概要と結果

5.3.1 概要

(1) 試験名

小口径ボーリング孔における TCP 試験(福島大学金谷川団地)

(2) 試験期間

自) 平成 30 年 1 月 25 日 至) 平成 30 年 1 月 28 日

(3) 試験箇所

- ・試験孔 ----- 福島大学金谷川団地地盤調査 No.4
- ・ボーリング口径 ----- ϕ 66mm
- ・試験深度 ----- 19m
- ・測定用ロッド内部空間長 ---- 19.17m [ロッド挿入長:19.30m(残尺 0.50m除く)]

5.3.2 使用資機材

[測定器]

- ・モニター用パソコン ----- 1 台
- ・ワイヤレス コントローラー(モニター用 PC に接続) ----- 1 台
- ・マルチリンク検層装置 ----- 1 台
- ・定電力供給装置(Matsusada 製 SRS1000) ----- 1 台

[ケーブル]

- ・温度センサーケーブル(ケーブル長:20m;センサー間隔 20cm) ----- 1 式
- ・ヒーターケーブル(ケーブル長:27m) ----- 1 式

[ロッド、その他]

- ・ロッド+ロッドカップリング(外径 ϕ 40.5mm、内径 ϕ 22mm) ----- 1 式
[L=3.0m \times 6 本=18.0m、L=1.0m \times 1 本=1.0m、L=0.5m \times 1 本=0.5m、
L=0.2m \times 1 本= 0.2m(ロッドカップリングなし)]
- ・動的貫入コーン(ロッド先端閉塞用) ----- 1 個
[L=10cm、接続ネジ部 L=3cm、接続部口径 ϕ 40.5mm]
- ・硅砂 [4-6mm(ボーリング孔とロッドとの空隙部充填剤)]
- ・発電機 [Denyo(株)製 型式;DCA-25LSKE(ECO BASE)] ----- 1 台
- ・水(ロッド内部に充填)
- ・ロッドホルダー(引上げ時に使用) ----- 1 個
- ・パイプレンチ ----- 2 個

5.3.3 試験方法

(1) TCP 試験

TCP は、調査ボーリング孔(小口径孔)を利用するもので、調査用ボーリングロッド内(内径φ22mm)に多点温度センサーケーブル、およびヒーターケーブルを用いて熱伝導率を測定する方法である。

測定原理にあつては、線状熱源の非定常熱伝導法(ホットワイヤ法)を基礎としており、従来のニードルプローブ法を大型化し、多点温度センサーケーブルを用いることで深度方向の有効熱伝導率を精密に計測することができる。また、小口径の調査ボーリング孔を用いるため、地表面付近の外気等による影響が比較的少なく、地表面に近い地温プロファイルを測定することができる。さらに多点高分解能で地下の温度プロファイルを測定することができるため、不易温度、熱拡散係数(熱容量)、温度勾配、深度毎の年温度変化振幅などの地中熱開発に必要なデータを原位置で測定できる。試験装置模式図を図-5.3.1に示す。

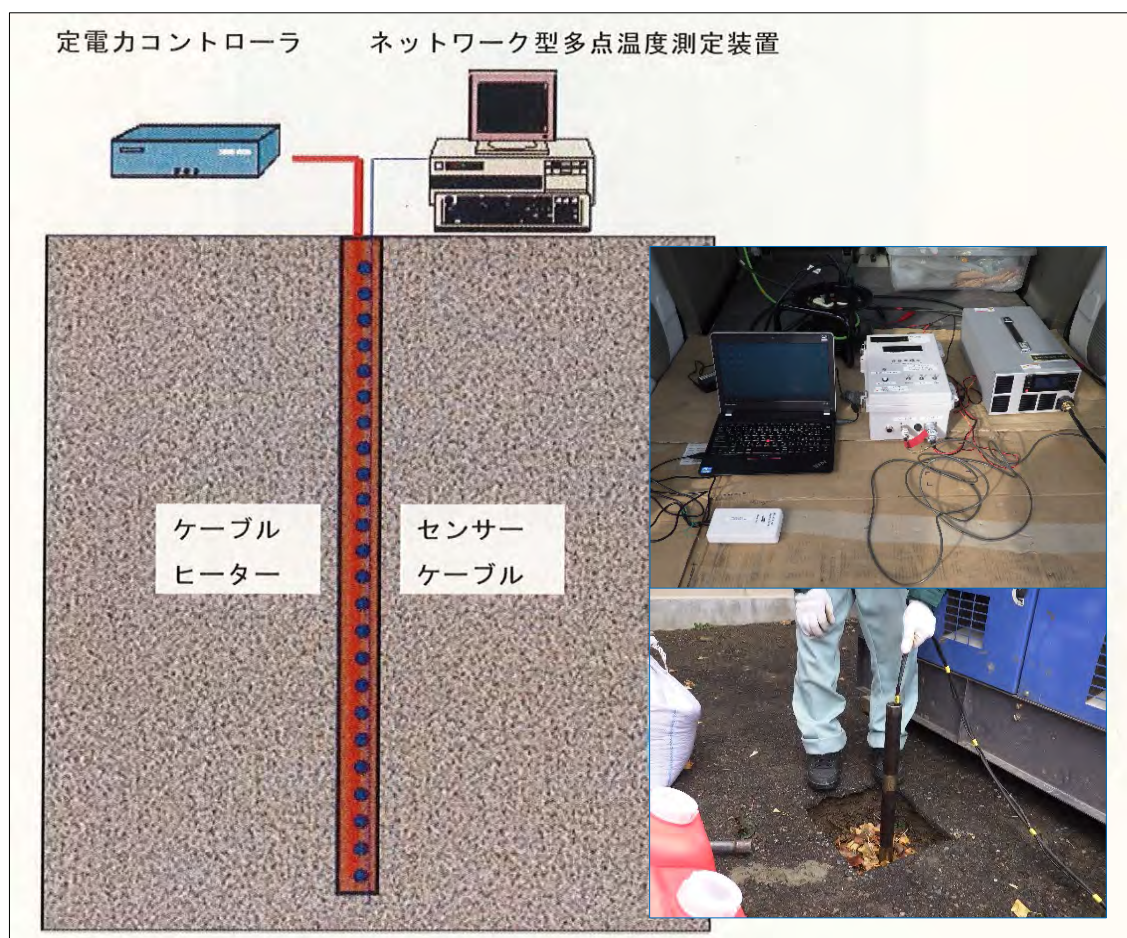


図-5.3.1 試験装置模式図

(2) 試験手順

- ① 測定深度に合わせてロッド(外径φ40.5mm、内径φ22.0mm)を挿入、試験孔との空隙部へ硅砂充填、ロッド内部へ水を充填させる(本試験のロッド内部空間長 $L=19.17\text{m}$)。
- ② 温度センサーケーブル・ヒーターケーブル、PC、マルチリンク検層装置、ならびに定電力供給装置をセットする(温度センサーケーブルは20m、ヒーターケーブルは27mを使用)。
- ③ PCからZGT3でテスト(確認)をし、ZGB3でスタート、RECORDINGの点滅を確認する。測定にあつては、連続3日(72時間)程度を測定する。

- ④ 温度測定開始後、温度が安定しているのを確認し、定電力供給装置を ON にして電力を供給する。なお、TCP は一定の電力(ほぼ 20W/m)をヒーターケーブルに供給、加熱し、計測には一定電圧を保つことが必要である(本試験では 540W を供給)。
- ⑤ 測定を終了する際には、マルチリンク検層装置では STOP スイッチを 5 秒程度長押し、RECORDING ランプ消灯で終了、定電力供給装置では OUTPUT→POWER を押し終了する。
- ⑥ 試験終了後はユニック車等にてロッドを引き抜く。

次頁に、試験装置設置状況を示す。

(3) 試験装置設置

写真-5.3.1、写真-5.3.2 に示す。

[ケーブル、各装置、およびその設置全景]



写真-5.3.1 設置全景



写真-5.3.2 PC、検層装置と定電力供給装置
(装置類は車内に設置)

5.3.4 試験結果

(1) 試験経過

今回の測定にあつては、福島大学金谷川団地地盤調査 No.4 の深度 19mにて実施した。

なお、ロッド内部空間長は GL-19.17m、測定ケーブル先端設置深度は GL-18.8m(ケーブルを伸長させるために重り(L=30cm)を先端に設置)にて、平成 30 年 1 月 25 日 14 時 15 分から加熱約 67.5 時間の温度データを取得した。

表-5.3.1 に TCP の試験経過を示す。

表-5.3.1 試験経過

日付	時刻	項目	備考
1 月 25 日	14:12	測定開始	-
1 月 25 日	14:15	加熱開始	加熱時間 67.52h
1 月 28 日	9:46	加熱停止	
1 月 28 日	9:46	測定停止	測定時間 67.56h

(2) 温度測定

図-5.3.2、図-5.3.3 に、加熱開始からの温度-時間グラフ、ならびにサーモグラフを示す。

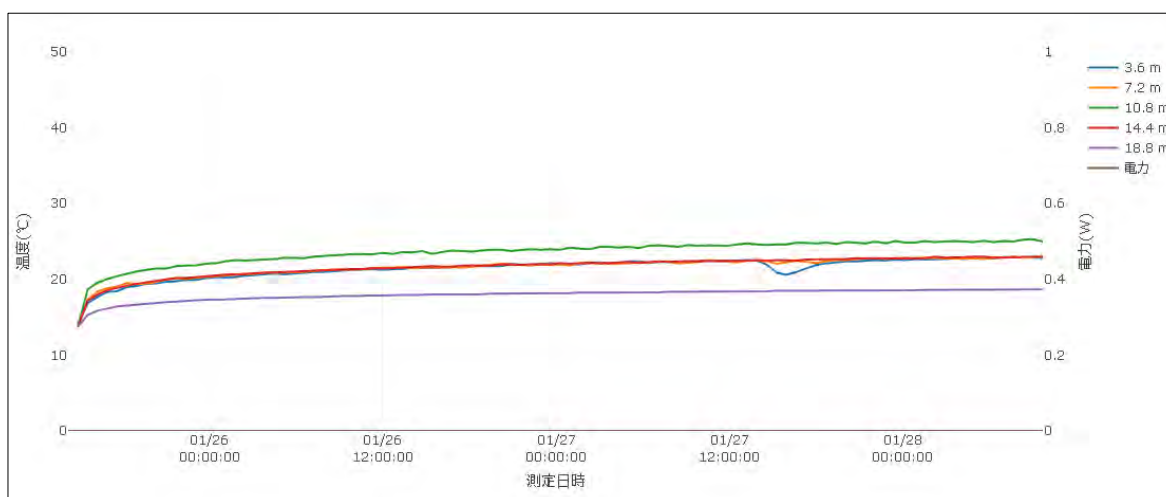


図-5.3.2 加熱開始からの温度-時間グラフ

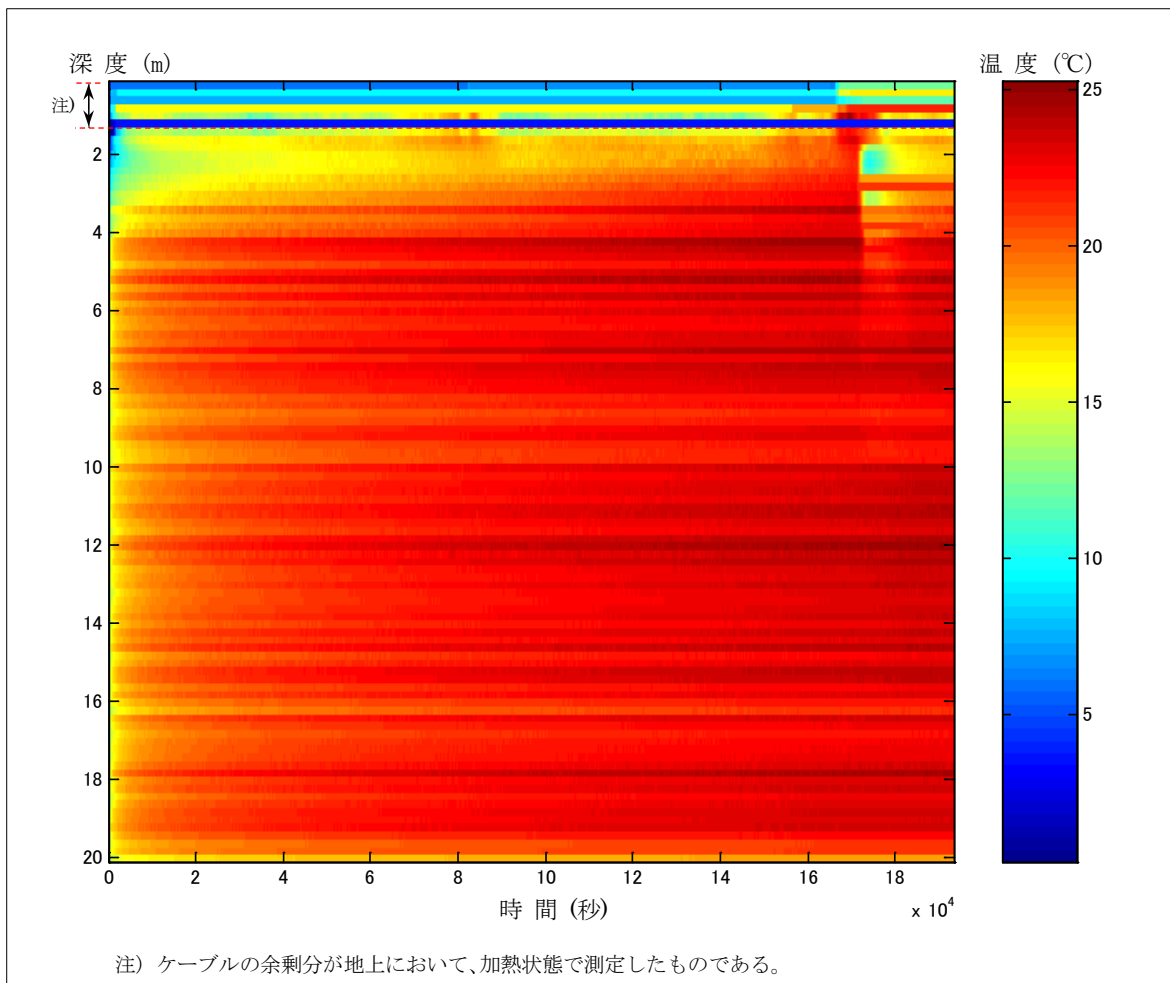


図-5.3.3 サーモグラフ

(3) 温度勾配

熱伝導率の解析は、50,000 秒から 190,000 秒までのデータを用いて熱伝導率を算定した。図-5.3.4 に示す。

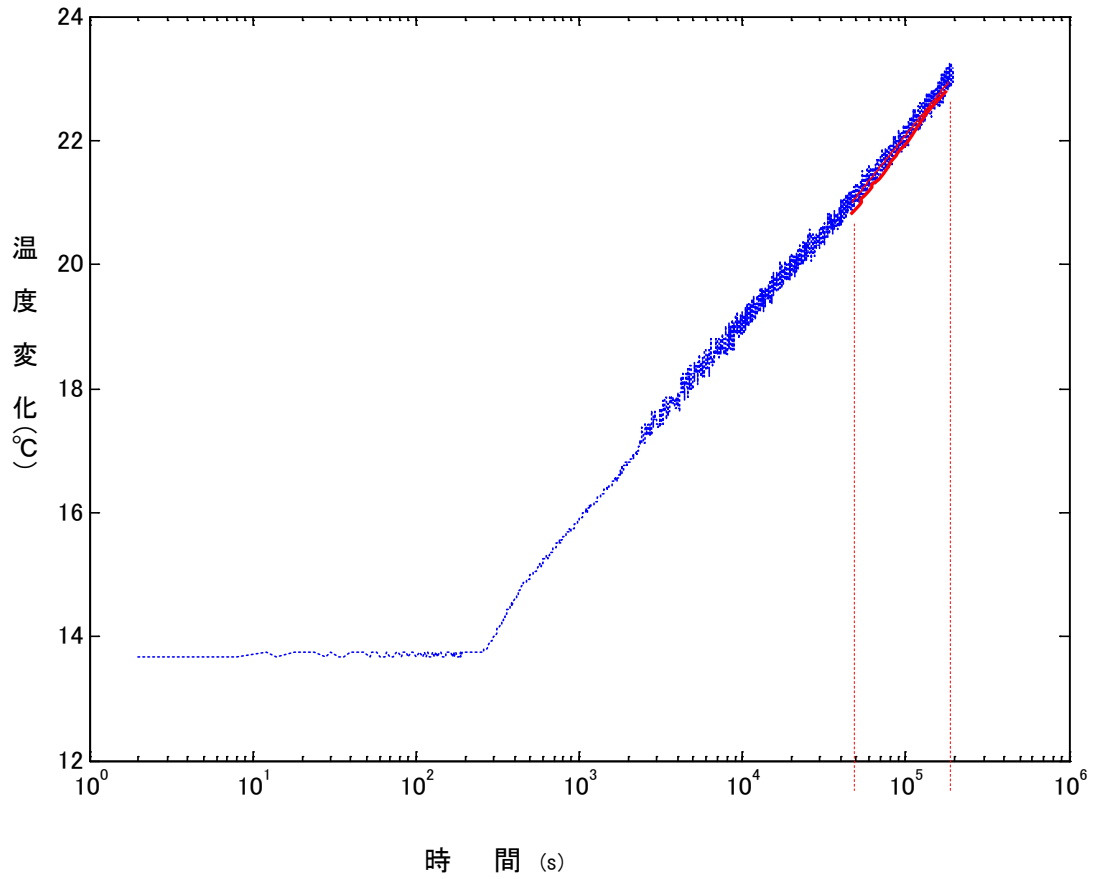


図-5.3.4 温度勾配

(4) 熱伝導率

図-5.3.4 から算定した深度ごとの熱伝導率を表-5.3.2、その推移を図-5.3.5 に示す。

表-5.3.2 深度毎の熱伝導率

深度(m)	熱伝導率 (W/mK)	深度(m)	熱伝導率 (W/mK)
0.6	1.3804	10.2	0.9853
0.8	1.1706	10.4	1.0442
1	0.8629	10.6	1.0479
1.2	0.5326	10.8	1.0363
1.4	0.4217	11	1.009
1.6	0.8357	11.2	0.9793
1.8	0.9115	11.4	1.019
2	0.7825	11.6	1.0205
2.2	0.8677	11.8	1.0128
2.4	0.7444	12	1.0469
2.6	1.2065	12.2	1.0733
2.8	1.5497	12.4	1.103
3	1.454	12.6	1.122
3.2	1.6341	12.8	1.1625
3.4	1.5027	13	1.2377
3.6	1.5586	13.2	1.1591
3.8	1.5641	13.4	1.1459
4	1.4194	13.6	1.167
4.2	1.3575	13.8	1.1987
4.4	1.2552	14	1.2157
4.6	1.3108	14.2	1.2393
4.8	1.3481	14.4	1.256
5	1.3223	14.6	1.276
5.2	1.3091	14.8	1.273
5.4	1.1552	15	1.2872
5.6	1.1978	15.2	1.3435
5.8	1.1808	15.4	1.3119
6	1.2927	15.6	1.309
6.2	1.249	15.8	1.2971
6.4	1.2439	16	1.2874
6.6	1.2555	16.2	1.3073
6.8	1.2878	16.4	1.3137
7	1.3119	16.6	1.2478
7.2	1.2846	16.8	1.2404
7.4	1.2931	17	1.1898
7.6	1.2461	17.2	1.2787
7.8	1.3138	17.4	1.3232
8	1.3251	17.6	1.399
8.2	1.1853	17.8	1.5699
8.4	1.0795	18	1.6321
8.6	1.0293	18.2	1.7012
8.8	0.9574	18.4	1.8993
9	1.0108	18.6	2.3008
9.2	1.0116		
9.4	1.0309		
9.6	1.0355		
9.8	0.9939		
10	1.0019		

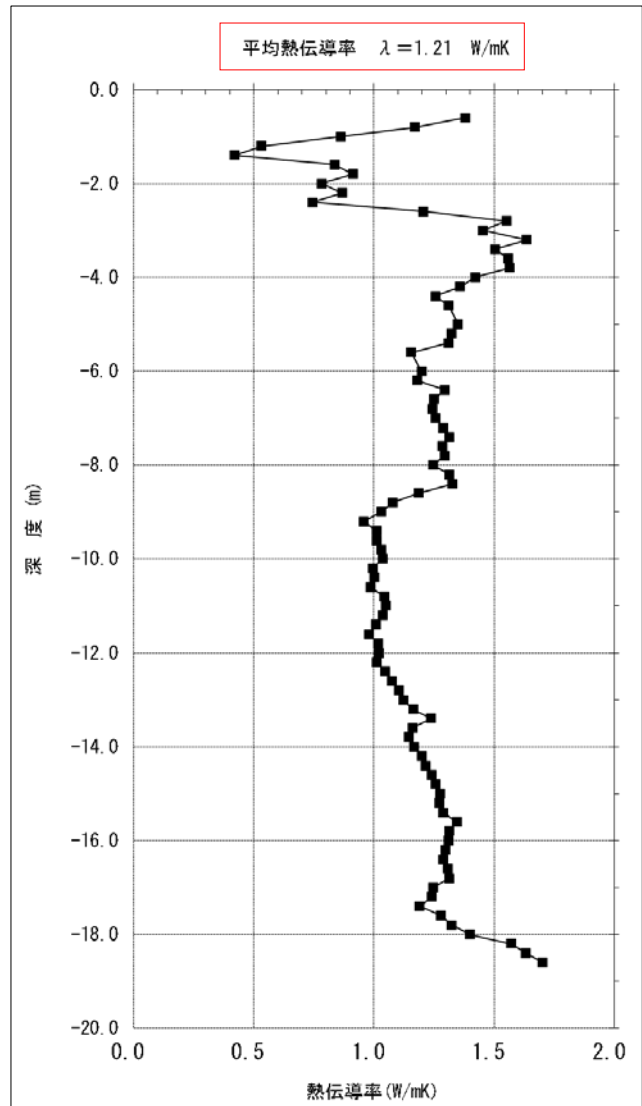


図-5.3.5 熱伝導率の分布

本試験地(点)の平均熱伝導率は $\lambda=1.21$ (W/m·K) と推定される。

以下に試験地のボーリング柱状図を図-5.3.6に示す。これは図-5.2.1、表-5.2.2の柱状図番号25-4にあたる。

ボーリング柱状図

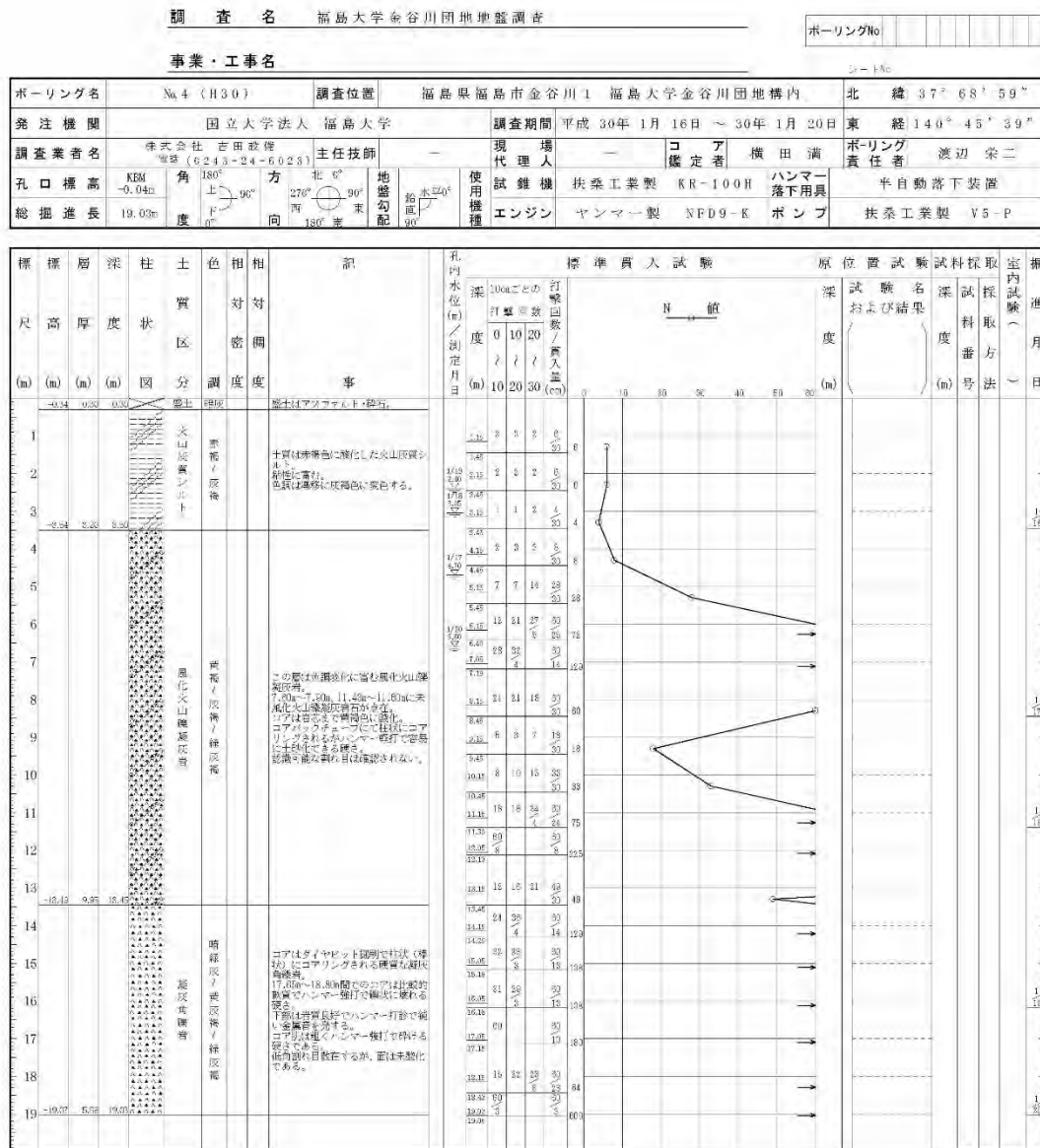


図-5.3.6 TCP測定ボーリング孔の柱状図

5.4 キャンパス内の地中熱ポテンシャルマップの評価

5.4.1 推定される平均有効熱伝導率分布

福島大学キャンパスでは、有効熱伝導率の高い花崗岩が比較的浅所に分布するため、深度100mまでの平均有効熱伝導率は、大部分が $2.5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 以上を示し、中でもグラウンド付近は $3.0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 以上となっている。深度50mまでを見ると、北西部や南東部に、岩屑なだれ堆積物や清水町層がやや厚く分布する影響をうけて $2.0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ~ $2.5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ の部分が広がっている。

平野や盆地などの平坦地が開かれた市街地では、平均有効熱伝導率が $2.0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 以下である場合が多いことと比較すると、福島大学キャンパスは地中熱利用上、有利な場所にあるといえることができる。

5.4.2 作成したポテンシャルマップの制約

キャンパス内では、地中の熱物性に関して信頼できるデータが得られていないので、地下の地質構成から、深度100m及び50mまでの平均有効熱伝導率を推定し、ポテンシャルマップを作製した。このマップには以下の理由により、かなりの誤差を含んだものであるが、地中熱利用の概略検討の段階では、場所の選定、コストパフォーマンスの検討などに役立つことができる。実施設計の段階では、熱応答試験 (TRT 又は TCP) を実施して、信頼性の高いデータを取得する必要がある。

- 花崗岩出現高度分布---孔底が花崗岩に到達していない調査ボーリング孔が多いのは、キャンパス北西側の総合情報処理センターや附属図書館附近である。また、中央講義室や行政社会学部・経済学部、本部管理棟付近も花崗岩に到達しているボーリング孔は少ない。花崗岩に到達していないボーリング孔では、孔底より1m下に花崗岩が出現すると仮定して出現高度分布図を作成したので、多少の誤差が生じることは避けられない。
- 岩屑なだれ堆積物の区分と有効熱伝導率---蓬萊火砕流堆積物と伏拝岩屑なだれ堆積物を、調査ボーリング柱状図から区分することが困難であるため、一括して岩屑なだれ堆積物として取り扱った。火砕流堆積物と岩屑なだれ堆積物の熱伝導率にどのくらいの差があるかは不明であり、表-5.2.4 では、どちらについても標準的な有効熱伝導率が示されていない。この部分の有効熱伝導率は、ボーリングコアによる確実な地層区分とともに熱応答試験 (TRT) 等による確認が必要である。今回は TCP のデータ (表-5.3.2) より得られた値を使用した。
- 花崗岩類の有効熱伝導率は、風化の程度、変質の性質、構成鉱物の量比などによって大きく変動することが知られている。風化により空隙率が大きくなると熱伝導率は低下し、珪化作用や鉱化作用を受けると高くなる。調査ボーリング柱状図を見ると、さまざまな程度の風化作用を受けているが、風化の程度と有効熱伝導率の変化については十分わかっていない。ここでは、「岩」として認められる部分を表-5.2.4 より

花崗岩の有効熱伝導率 3.50 W/m・K とし、マサ状の部分については砂の有効熱伝導率を採用した。岩とマサの境界を標準貫入試験の N 値 50 を基準に区分した。実際には岩とマサの間の場合もあり、マサの中でも程度の差があるので、花崗岩の部分の平均有効熱伝導率の推定にはかなりの誤差を伴うことは避けられない。

- 平均有効熱伝導率は、地質・土質の有効熱伝導率だけでなく、地下水流動の影響を大きく受けることになる。TRT で得られる熱伝導率は、「見かけの有効熱伝導率」と呼ばれ、地下水流動の影響を含んだ実態に即した平均有効熱伝導率と考えられる。地下水流動は、この見かけの熱伝導率を大きくする方向に働く。本ポテンシャルマップは地下水の影響を全く考慮していないので、安全側の平均有効熱伝導率を示すと思われる。キャンパス内の花崗岩出現深度分布をみると南北方向に伸びる尾根状になっており、花崗岩上面に深い谷が刻まれてはいない。すなわち、清水町層や岩屑なだれ堆積物から地下水が侵入し、花崗岩上面の谷に集中するような地下水の流れはごくわずかであると推定される。また、岩屑なだれ堆積物や花崗岩の風化部も地下水の透水性はあまり高くないと思われるので、地下水流動による熱伝導率の押し上げ効果はあまり大きくはないと考えられる。

5.4.3 地中熱利用計画候補地についての評価

- 地中熱利用計画の候補地は次のとおりである。
 - ① 本部管理棟
 - ② 総合情報処理センター
 - ③ 付属図書館
 - ④ L 講義棟
 - ⑤ 学生寮

表-5.4.1 候補地の平均有効熱伝導率

候補地	平均有効熱伝導率(W/m・K)		記事
	100mまで	50mまで	
① 本部管理棟	2.80～2.90	2.20～2.40	
② 総合情報処理センター	2.75～2.90	2.10～2.60	中央部がやや低い
③ 付属図書館	2.90～3.05	2.20～2.40	北・東がやや高い
④ L 講義棟	2.80～2.95	2.30～2.40	
⑤ 学生寮	2.90～3.10	2.40～2.70	グラウンド近くが高い

5.4.4 地中熱利用の計画・設計上の問題点

- 深度と平均有効熱伝導率

福島大学キャンパスは、地中熱利用を計画する際の効率の決め手となる、平均有効熱伝導率が高い地域となっている。この点は地中熱利用計画上有利な点である。

地下深度 100mまでと深度 50mまでを比較すると、場所によって多少の違いはあるが、100mまでの方が $0.5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 程度高くなる。このことは、熱交換器埋設深度が深い方が有利であることを意味する。
- 熱交換器埋設の深度の設定

深度の大きい方が高い有効熱伝導率が得られるというのは、有効熱伝導率の高い花崗岩が浅所に出現することによる。浅所に分布するローム・岩屑なだれ堆積物・清水町層などはあまり硬くないため、熱交換器埋設のためのボアホール掘削が相対的に安価である。花崗岩は新鮮なものほど緻密・硬質であり、また、深度が深くなるほどボアホール掘削経費が高くなる。したがって、熱交換器埋設深度の設定にあたっては、機械的に決めるのではなく、現場の状況に合わせて、熱交換効率と埋設コストのバランスを検討したうえで決定しなければならない。
- 前述の様に、キャンパス内のポテンシャルマップはかなりの誤差を含んでおり、このマップから地中熱利用の設計を行うことはできない。また、花崗岩の出現深度と風化の程度は、施工コストに大きく影響する。こうした点を考えると、実施設計に先立って、候補地点において TRT 又は TCP を実施して、土質・岩質ごとの有効熱伝導率・熱抵抗を測定し、花崗岩出現深度の把握と岩質の硬軟データを取得することが重要になる。実施深度は 100m とし、そのデータから熱交換器埋設深度を決定しなければならない。
- 学生寮では、地中熱利用の給湯が選択肢の一つとなる。給湯のためには地下水の利用が有利であり、深井戸によりどの程度の地下水が得られるかを把握しなければならない。如月寮・信夫寮付近に、岩屑なだれ堆積物と清水町層が分布し、その下位の花崗岩は相当の深さまで風化していると推定される。こうした場所は地下水の流動が期待される。学生寮付近では、TRT のためのボアホールを試掘井戸兼用で設置し、熱物性の把握と地下水状況の把握を併せて実施することが望ましい。

参考文献

- 1) 北海道大学地中熱利用システム工学講座：地中熱ヒートポンプシステム、オーム社、p.95、2014
- 2) 国土交通省 大臣官房官庁営繕部設備・環境課：施設における地中熱利用システム導入ガイドライン（案）、2013.10