

令和3年度 日本応用地質学会関西支部 特別講演会・研究発表会

開催日時:令和3年 12 月 1 日(水)13時00分～17時00分

プログラム

◇ 開会挨拶、説明等 13:00－13:10

- ・ 開会挨拶
- ・ 注意事項説明、CPD活動証明の受け方等について

◇ 特別講演 13:10－14:00

「僕が災害を語るわけ」

高嶋 哲夫 氏(作家)

◇ 特別講演 14:10－15:00

「神社に潜在する災害記録とその応用地質学的意味」

黒木 貴一 教授

(関西大学 文学部 総合人文学科 地理学・地域環境学専修)

◇ 一般講演(研究発表会) 15:15－17:00

特別講演 13:10－14:00

「僕が災害を語るわけ」 高嶋 哲夫 氏(作家)

僕が災害を語るわけ

～地震・津波・洪水・台風・土砂災害・地質～
(応用地質学会オンライン講演)

2021.12.01
高嶋哲夫

今まで書いてきた本



3

今まで書いてきた本



2

災害関係の本



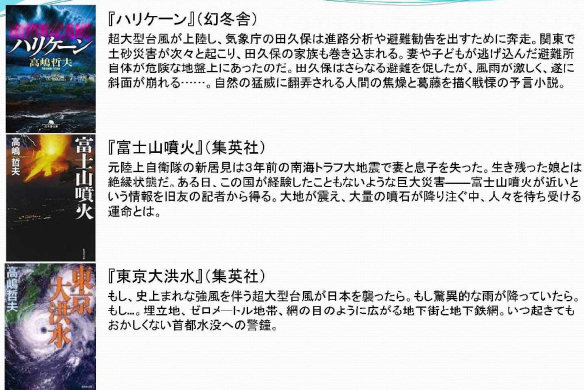
4

地質関係の本



5

地質関係の本(地震以外)



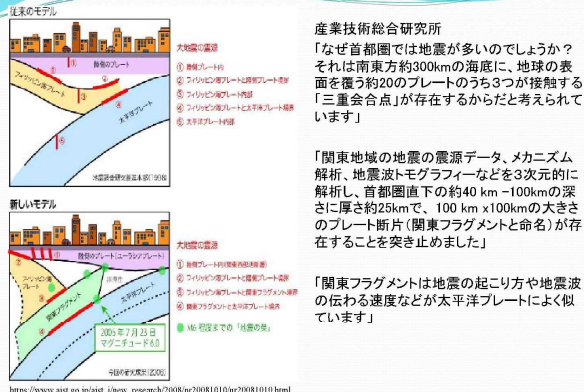
6

アニメート (関東沈没)



7

第四のプレート (関東フラグメント) について



8

阪神・淡路大震災（1995年1月17日5時46分発生）



旬報社「東京直下型地震生き残り地図」より

9

東日本大震災（2011年3月11日14時46分発生）



from The New York Times "Asia Pacific" http://www.nytimes.com/interactive/2011/03/12/world/asia/20110312_japan.html

10

東日本大震災（2011年3月11日14時46分発生）



11

「コロナ」よりひどい、「東京直下型地震」「南海トラフ地震」(1)

世界の感染者数・死者数(累計) ※2021年11月12日14時時点
感染者: 2億5194万1758人 死者: 507万9990人



※ジョンズ・ホプキンス大学が集計している国や地域のデータを表示しています。
※地図: "Natural Earth" から転載

<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/world-data/>, <https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data-call/>

12

「コロナ」よりひどい、「東京直下型地震」「南海トラフ地震」(2)

日本国内の感染者数(NHKまとめ) ※2021年11月11日23:59時点

<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data-call/>

感染者数	死者数	死亡	治療
合計	172万5302人 前日比 +216人	92人	1万8335人 前日比 +4人

世界の感染者数(ジョン・ホプキンス大学まとめ) ※2021年11月12日14:00時点

感染者	死者
2億5194万1758人	507万9990人

◎阪神・淡路大震災

死者: 6,434名 負傷者: 4万3,792名 行方不明者: 3名
経済損失: 11.8兆円

◎東日本大震災

死者: 1万5,885名 負傷者: 6,148名 行方不明者: 2,623名 (警察に届のあった数)
経済損失: 10~19兆円

13

災害列島日本

＜首都直下型地震＞

死者: 2万3000人
経済損失: 95兆円*1

778兆円*2

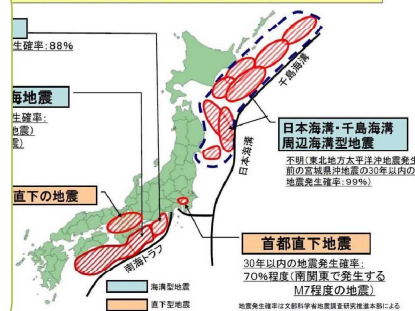
＜南海トラフ地震＞

死者: 32万人
避難者: 950万人
経済損失: 220兆円*1

1410兆円*2

*1 内閣府の有識者会議による予想
*2 土木学会、発生から20年間の経済被害予想

中央防災会議が検討対象とした大規模地震



<https://kushira-offices.com/00310/00310.html>

14

地球温暖化により引き起こされること(1)

台風の大型化・頻発化 大雨
大雨が引き起こす災害
→ 土砂災害 洪水

COP26 合意文書のポイント

気温上昇を1.5度に抑える努力を追求
必要に応じて22年末までに30年のCO2削減目標を再検討
CO2排出削減対策の取られていない石炭火力の段階的削減へ努力
先進国から途上国に年1000億ドルを支援する20年までの目標未達は深い遺憾。速やかに達成を。

<https://www.nikkei.com/article/DGXN2063830410200020A0TJ0000/>



15

地球温暖化により引き起こされること(2)

◎地球温暖化



<http://www.news.janjan.jp/world/02a/02a147561.php>
http://news.bbc.co.uk/1/low/in_pictures/599999.stm
https://natgeo.nikkei.co.jp/mg/photo/stock/global_warming/index.html

16

2021年7月3日熱海での土砂災害(土石流)



17

土砂災害・液状化現象



18

ハザードマップ

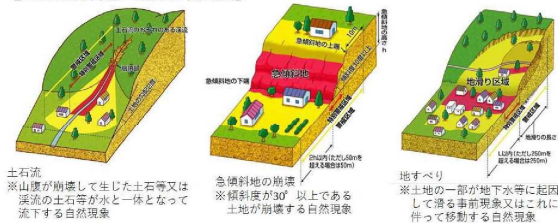


<https://www.it-toshiba.jp/interior/g12/koba/>

19

土砂災害警戒区域

【土砂災害警戒区域等の模式図】



<https://www.pref.kanagawa.jp/sec/41045a/minusaiga-10.html>

20

過去の被害地(広島 2014年8月豪雨)



<https://www.asahi.com/topics/word/広島/土砂災害.html>

21

過去の被害地(熱海 2021年7月伊豆山土砂災害)



<https://www.at-s.com/sp/news/article/shizuoka/924701.html?hl=10316>

22

過去の被害地の現在

自宅に戻れるのはいつ 西日本豪雨3年、仮設生活続く広島の被災者

2021/7/6

2018年7月に起きた西日本豪雨は6日、3年を迎えた。自宅が再建できず、仮設住宅などで「仮住まい」を余儀なくされている人らは何を思うのか。砂防ダムの決壊による大規模な土石流が起きるなどして約1270棟が全半壊し、8世帯17人が仮住まいを続ける……

<https://mainichi.jp/articles/20210706/k00/00m/040/062000c>

無傷でも帰れぬ我が家 二次災害恐れ今も「仮設」熊本豪雨4日で5ヵ月

2020/12/4

7月の熊本豪雨後、熊本県南部の8市町村では住宅被害の程度にかかわらず、各自治体の判断で422世帯(2日現在)が仮設住宅の入居対象となっている。自宅が無傷でも、集落内で土砂崩れなど二次災害の恐れがあったり、道路が寸断して生活が困難だったから。4日で豪雨から5ヵ月。被災者には「(仮設入居期限の)12年間で自宅に帰れるのか」という不安も漂う。

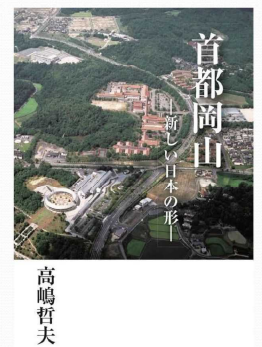
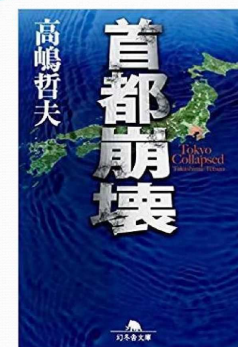
「家には何にも被害がないのに、いつまでこの生活が続くのか」。津奈木町の柳迫集落の自宅で、村上兼雄さん(81)はため息をついた。

集落では豪雨後、海岸沿いに並ぶ住宅裏の斜面にずれが生じ、地表には亀裂も見つかった。土砂崩れは起きていないものの、町は「地滑りの恐れがある」として避難指示を継続。7世帯16人が仮設住宅に身を寄せる。県は地盤変動の原因特定を急ぐが、対策工事の完了時期は見通せない。

<https://www.nishinippon.co.jp/item/n/670252/>

23

首都岡山 (1)



24

首都岡山(2)

車は山間の道を走っていた。岡山空港から北西に車で一時間余り、現在はほとんど車の通っていない道路だ。この道路も車線を増やす計画が進められている。

林が途切れるとき、彼方になだらかな山並みが続いているのが見えた。

「同じ緑でも東京とは色が違いますね」

「どう違うんだ。私には同じに見えるが」

森崎の言葉に村津のぶっきらぼうな答えが返ってくる。

村津と森崎は、森崎の運転で吉備新線を吉備高原に向かって走っていた。

高嶋哲夫『首都崩壊』

政治の中核となり、大地震や、津波のような巨大災害の時に、安全で安心して指揮を取れる首都が必要です。つまり、司令塔が被害を受けなければ、より早く、よりの確な復旧、復興が可能になるでしょう。逆に、首都が大きな被害を受ければ、国中が混乱するでしょう。

また、首都自体もコンパクトで機能的なものとすれば、世界に先駆けた新スタイルの首都が出来れば素晴らしいでしょう。

東京の一極集中、肥大化が言われるのは、「政治」「経済」「文化」がすべて詰め込まれているからです。これでは、いくら「地方創生」を叫んでも、効果はないでしょう。「政治」の分野を地方に移す。そのくらいの大きな決断が必要な時期なのです。

高嶋哲夫『首都岡山』

25

地質学とは

どんな学問か

鉱物、岩石、地層、化石の研究を通じて、地球の構成物質の性質と分布、そのでき方を明らかにし、地球と生物の歴史、地球を舞台とする物理・化学・生物現象の解明を目的とする学問。(ニッポニカ)

どこに就職するか／どんな役に立つか

主な就職先は、研究員や学芸員(博士進学)や鉱山会社、鉱業関連、石油天然ガス関連や地質調査会社、地質コンサルタント、測量、気象関係、環境調査に關係する企業になります。また、教員(高校、中学校、小学校)あるいは予備校講師、公務員などや金融、経営コンサルタント、商社、IT業界などに就職する人もいます。

<https://trunk.school/departments/geoscience>

◎地質学、考古学、地球物理学

◎歴史を知って、未来を築く

◎過去、現在、未来をつなぐ

27

吉備高原

吉備高原 1.1億年前から安定 岡山大など残留磁化で地盤分析

岡山県を中心に、兵庫県西部から広島県中部に広がる吉備高原(東西約170キロ、南北約45キロ)の地盤は、地殻変動の影響をほとんど受けず、約1億1千万年前から安定していることを岡山大などのグループが突き止めた。

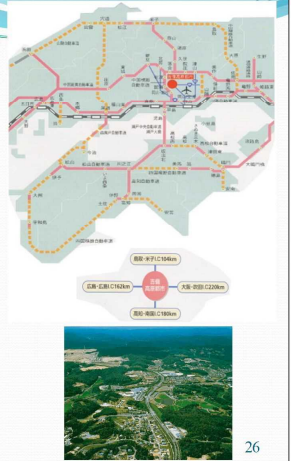
岡山大学地質学専攻の宇野隆司教授(片地磁気学)らのグループは、北極の方向を示す情報(残留磁化)が内部に保存されている鉱物・赤鉄鉱に着目。吉備高原の西に位置する井原市上館木町にある約1億1千万年前の地層から採取した赤鉄鉱のデータと、岡山県東端辺りに当たる兵庫県丹波篠山市内の同年代の地層から出た赤鉄鉱の既存データを比較分析した。

その結果、2地点の磁極方位はそれぞれ現在の北極から60度ずれた方向を示していた。すなわち、ユーラシア大陸から日本列島が分離した約1500万年前など二つの地殻変動の結果とみられる。

地殻変動を経ても、ずれの角度が一致していることから、吉備高原の地盤は約1億1千万年の間、内陸でねじれたり、ゆがんだりせず、一枚岩のような安定した状態が続いてきたと結論付けた。

宇野教授は「恐竜の全盛時代からの地盤が保たれており、地震に強い地盤と言える」と指摘。安定した地盤を理由に岸上している岡山への首都移転論について「間違っていない」と話している。

<https://www.sanyonews.jp/article/1169662>



26

地質学の役割

◎世界が抱える問題。

地球温暖化 脱二酸化炭素 洪水

◎日本が抱える問題

(首都直下型地震・南海トラフ地震)

地球温暖化 脱二酸化炭素

地震 津波 洪水

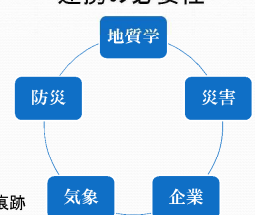
◎地質学がどうかかわるか

二酸化炭素の封じ込め 過去の災害の痕跡

地質からわかること

他分野との協力

連携の必要性



温暖化対策の切り札? →大量のCO2を地中深くに封じ込めてしまうCCS (Carbon dioxide Capture and Storage:二酸化炭素回収・貯留)

28

また会う日まで

特別講演 14:10－15:00

「神社に潜在する災害記録とその応用地質学的意味」

黒木 貴一 教授

(関西大学 文学部 総合人文学科 地理学・地域環境学専修)

神社に潜在する災害記録とその応用地質学的意味

昨年の若手技術者談話会を踏まえて



190221 柳川市東ノ切 海童神社

190129 久留米市朝陽 天満宮

1991年台風17号・19号(H3)の被害復旧

黒木貴一(関西大学・文学部)
Takahito KUROKI

本発表で使用した背景地図は、国土地理院発行の地形図及び地理院地図を使用した。

1.災害を避ける神社の地形

2011年東北地方太平洋沖地震 津波

宮城県仙台市にある浪分神社

津波がこの神社のところまで来て二つに分かれた伝説があります。
2011年の津波でもほぼ同じ状況になりました。

浪分神社→

1835年の大津波以降伝説が確定



111015

3

話題の順序

- 1.災害を避ける神社の地形
- 2.災害記録が見えた瞬間
- 3.災害記録の試掘
- 4.災害記録の本格的調査
- 5.神社の奉納物になぜ今注目するのか-応用地質学的意味
- 6.まとめ

2



平成24(2012年)年7月九州北部豪雨

水天宮

氾濫

トラッシュ

八女市内の氾濫域中で、約1.5mの盛土上の神社(水天宮)は水没を免れた。境内の記録によれば昭和29年に多くの寄付を集めて近所から移築してこの地に設置されていた(遷宮)。この時期は北部九州に未曾有の被害をもたらした昭和28年水害の直後であるため、将来の洪水位を十分考慮した設置かと思われる。



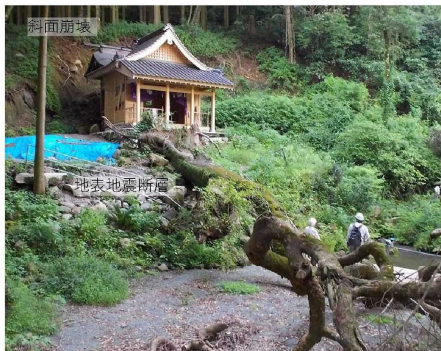
凝結凝灰岩

4

2016年熊本地震

地震

断層崖上、背後に斜面崩壊を生じながらも「潮井水源の祠」は原形はとどめていた。



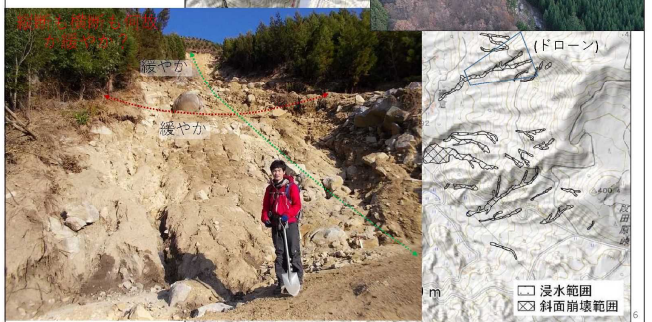
益城町杉堂

5

2019年台風19号
丸森町

斜面崩壊・土石流

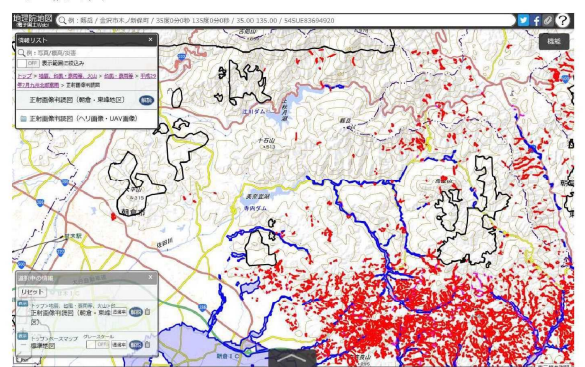
廻倉地区
まわりぐら



2017年九州北部豪雨

斜面崩壊・土石流

地理院地図



被害を免れた神社の地形調査を実施した。

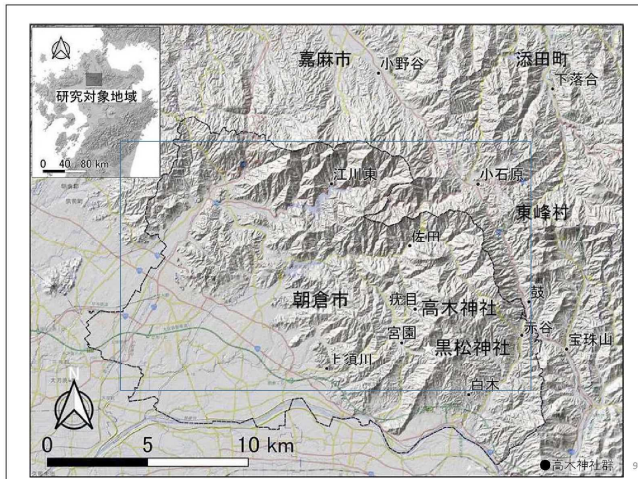
8



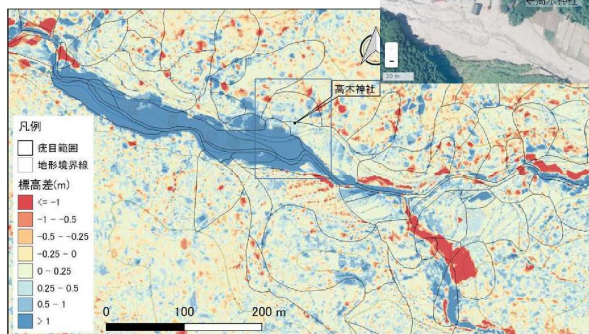
そして2017年九州北部豪雨で、山地域で被害を免れた神社が目立った。

山地・丘陵域の立地条件の検討 日本地理学会で紹介

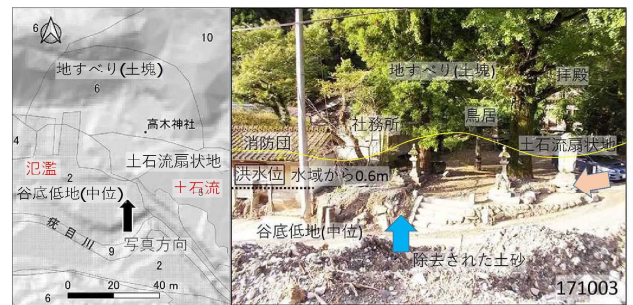
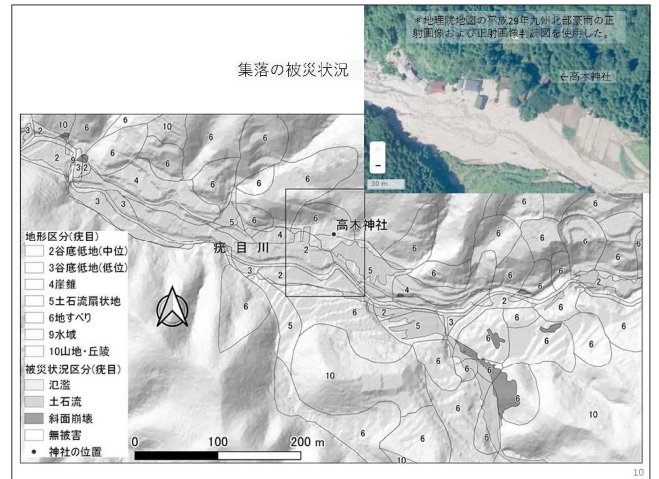
7



地形区分に被害区分と標高変化を重ね合わせる



11



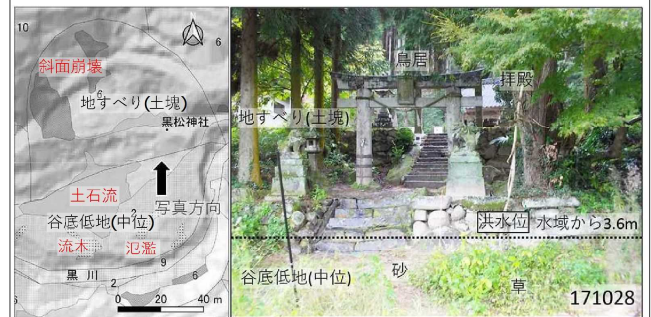
土石流扇状地の端部に、支流からの土石流が達しなかった。土石流扇状地の高さに、本流の氾濫及び土砂が達しなかった。+地すべり土塊末端

今後の課題-神社が生き残っても、集落が復旧されるかが不安な限界に近い集落

12



13



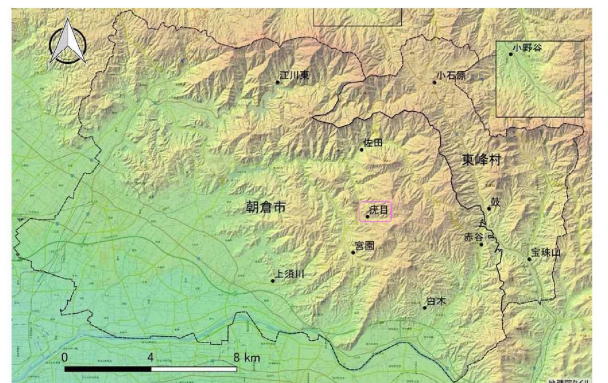
14

黒松神社と周囲の景観

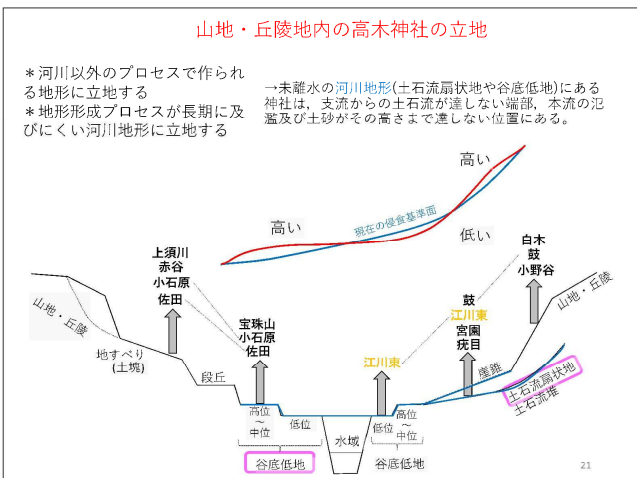
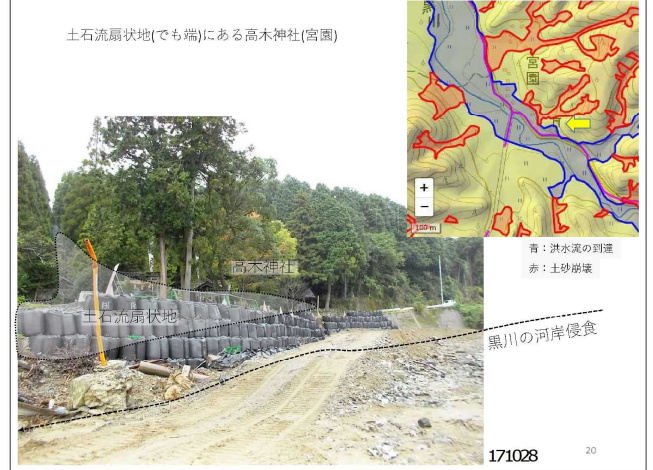
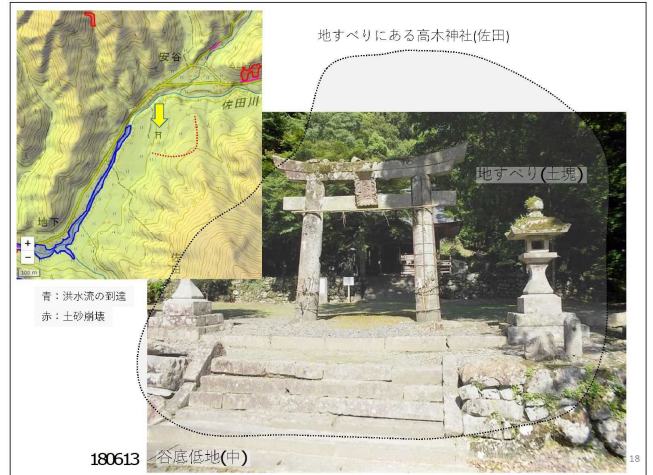
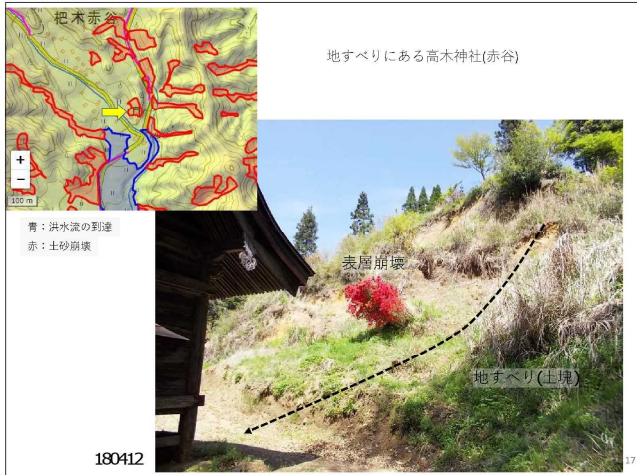


15

同じ時期(10世紀には)から成立している高木神社群に焦点を絞った確認
英彦山(彦山)神領の鎮護目的で48の大神社があった。政務も行う地域の中心機関だった。
大神社は明治に高木神社と一齊に名称が改められた。



16



3.災害記録の試掘

奉納物の設置年
ー高木神社群で試行

集中が気になりグラフ化へ
* 10年集計

灯籠	石碑	鳥居	狛犬	その他
1728	1895	1763	1833	1727
1750	1906	1824	1842	1729
1760	1906	1909	1849	1769
1763	1928	1923	1867	1788
1788	1928	1957	1934	1805
1790	1934	1959	1995	1818
1791	1952			1825
1795	1978			1832
1818	1991			1832
1824				1842
1842				1851
1843				1859
1854	灯籠			1867
1858	1912			1871
1863	1915			1879
1880	1926			1880
1898	1930			1883
				1884

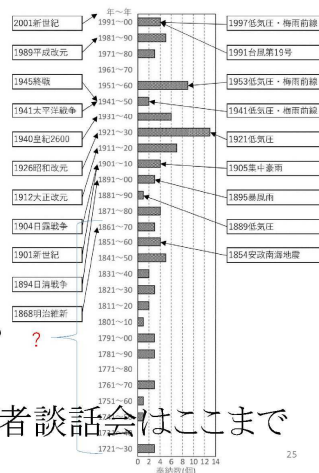
24

明治維新から終戦までは、国威発揚に利用されたため、出来事に合わせて奉納物が多くなっている。

しかし戦後では通常の奉納動機によるバックグラウンドを越えて、1953年を含む1951-1960年間の奉納物数が明らかに多い。

* 自然災害後の修復で奉納年が集中している可能性が高まる。

国威発揚の無かった江戸時代の奉納物数の増加する時期はどうか、も気になる。



今年の若手技術者談話会はこちらまで

1) 筑後川下流域の例



神社の奉納物に、自然災害の時空間記録が残されているような気がしてなりません。それを確認したい衝動を抑えられず、2年後に実際に調査を始めました。

4. 災害記録の本格的調査

* 時間と空間の相関を因果関係に読み替える試み

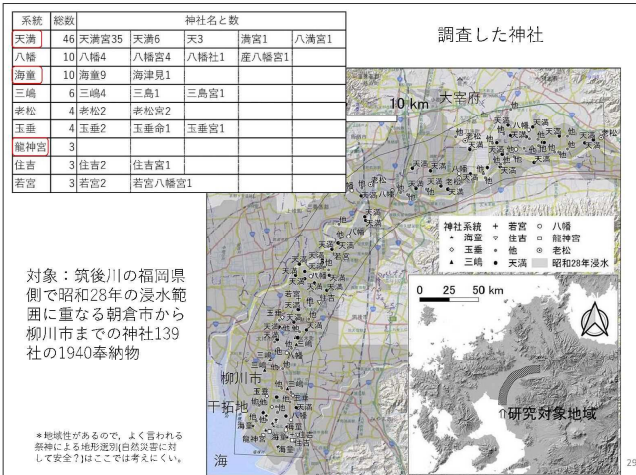
奉納物調査とは



同 拝殿 本殿 花生け 狛犬 灯籠 手水舎 注連柱 鳥居 蔵砕石
玉垣 + 神社の歴史の中で加わる施設・他信仰物
+ 顕彰、御霊の鎮魂、出来事へ感謝の石碑

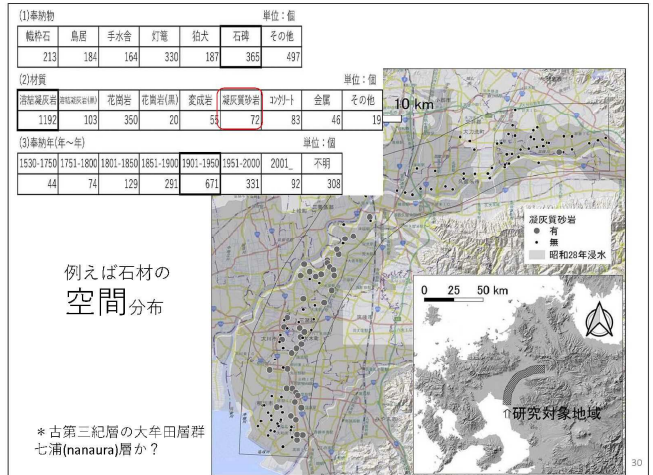
奉納年はもとより、まれには由来も記録される

名称と地形のほか、奉納物(種類、材質、奉納年、記載内容や状態)を確認



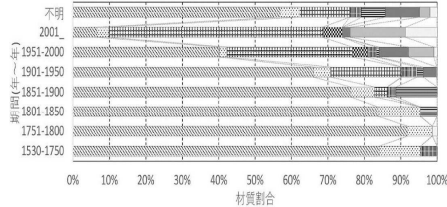
対象：筑後川の福岡県側で昭和28年の浸水範囲に重なる朝倉市から柳川市までの神社139社の1940奉納物

* 地域性があるので、よく言われる祭神による地形差別(自然災害に対して安全?)はここでは考えにくい。



例えば石材の空間分布

* 古第三紀層の大牟田層群七浦(nanaura)層か?



* 例えば石材の時間変化

溶結凝灰岩 溶結凝灰岩(黒) 花崗岩 花崗岩(黒) 変成岩 凝灰質砂岩 シラカ 金属 その他

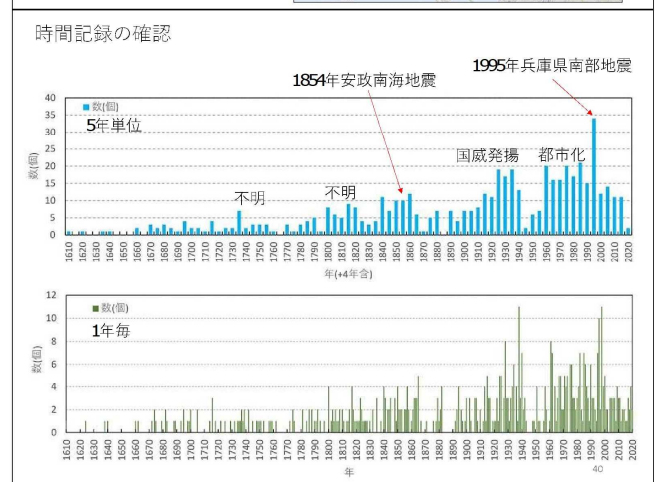
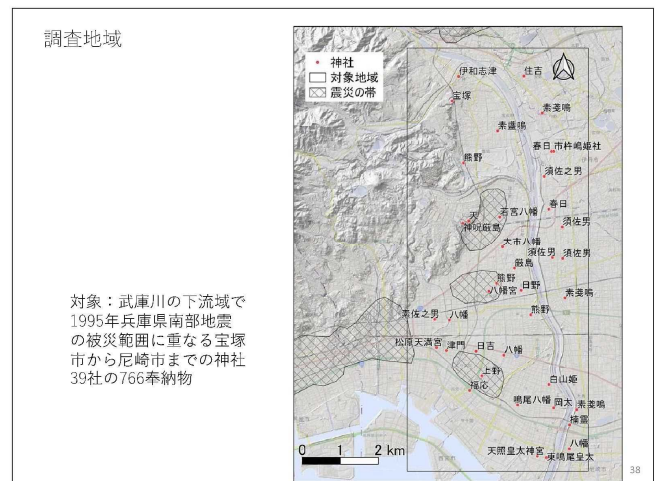
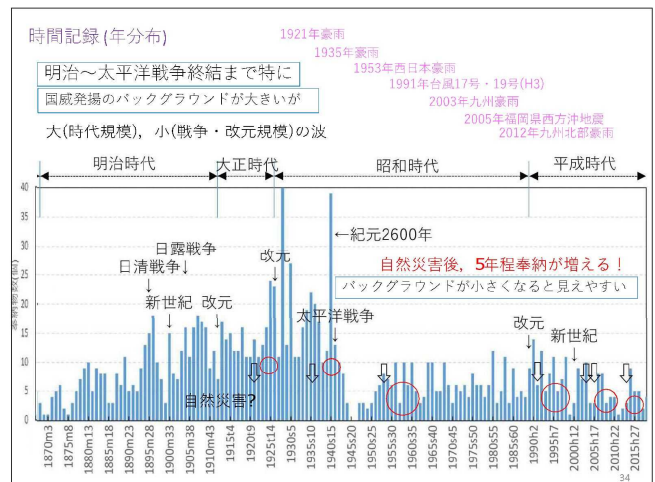
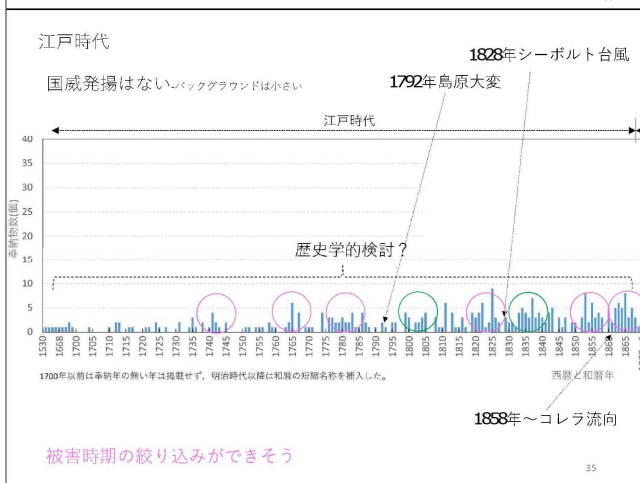
花崗岩、溶結凝灰岩、変成岩、凝灰質砂岩、花崗岩B、その他(コンクリート、ステンレス、鉄、銅)

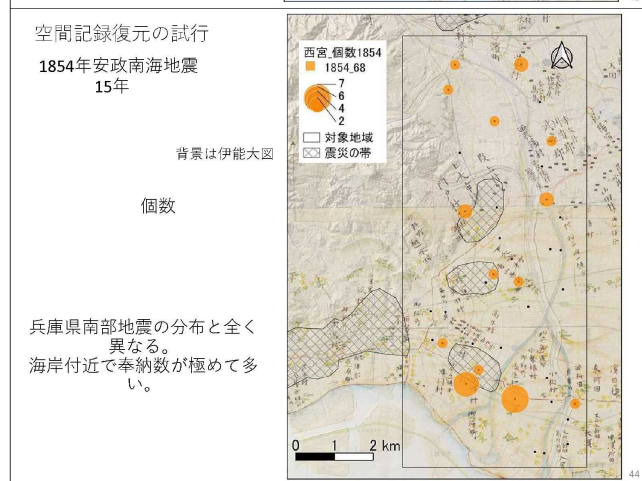
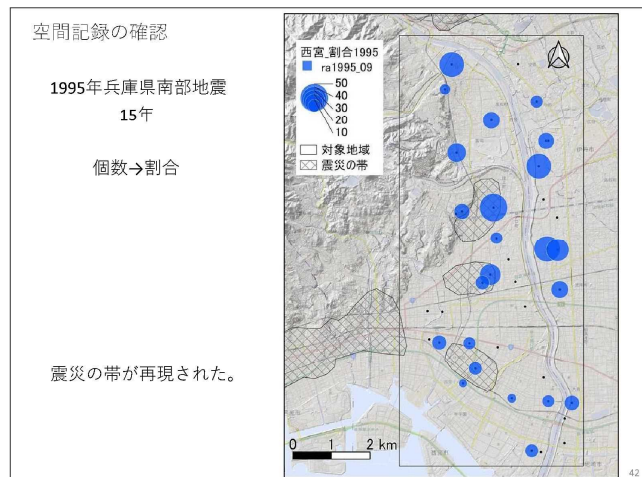


* 自然災害伝承碑(のようなものがある)

改修・再建・修理の奉納物がある







5.神社の奉納物になぜ今注目するのか-応用地質学的意味

自然災害伝承碑 (昭和28年(1953年)西日本水害の場合)

利点: 多くの文字で情報を伝えます。

欠点: 基本的被害場所に局在する。

180831 190328 190329

道路脇(久留米市北野町) 霊を慰める仏の心

学校敷地(埴城小学校) 耕地整理の記録の中

公園(久留米市中央公園) 公園整備の一端

そして、一般的な神社のHP情報では個々の奉納物に触れることは**ない**。

大阪府神社庁の垂水神社

大阪府神社庁

大阪府内神社の紹介

垂水神社 (たるみじんじゃ)

神社本庁: 神社庁一覧

個々の奉納物は神社のなにげない景観の一部なので通常関心は持たれない。

神社名	住所	電話番号
高松神社	〒780-0065 高松市仙田町19-33	0898234304
堀江神社	〒812-0055 堀江市東江東1-5-88	0926411905
世賀神社	〒840-0843 世賀市川原町8-27	0932320516
高松神社	〒850-0006 高松市上西町19-3	0998275689
松本神社	〒860-0005 松本市中央区西門1-1	0943227474
大谷神社	〒870-0047 大谷市中央西3-19	0975322784
豊後神社	〒880-0053 豊後市神宮2-4-2	0985291275
鹿島神社	〒892-0041 鹿島市神宮町19-20	0992230061
沖田神社	〒900-0031 沖田市東町1-25-11 東上町	0983683687

HP情報すらない県もある

大日本神祇会福岡県支部(1945) 福岡県神社誌, 上, 中, 下巻

国立国会図書館オンライン

神社と自然災害伝承碑の空間の違い

自然災害の範囲

集落

奉納物

神社記号の示す空間内に多数の奉納物(材は石)がある。そこに自然災害伝承碑(のようなもの)があっても、決して単独に地図記号として識別され**ない**。永遠に。

自然災害伝承碑のような神社奉納物に「時空間記録」存在が認識されれば

資料の無い時代の被災時期や範囲を推定できる

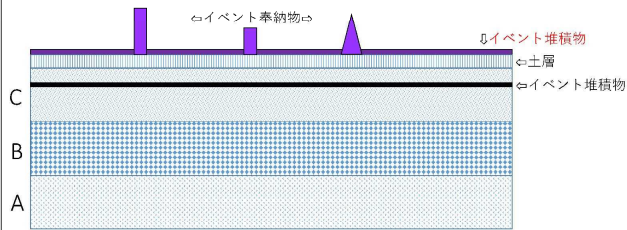
令和時代の神社は地域情報のアーカイブと記録センサーとしての価値がある。少なくとも自然災害伝承碑(のようなもの)のある神社となれば防災に役立つと思います

災害記録の時空間の読み解きと地層

神社の奉納物にある奉納年と数・割合から、自然災害の範囲を復元したことは？

イベント堆積物の年代と確認位置から、津波被害の範囲を復元する

⇒今回の手法は、第四紀人新世の地層(イベント奉納物)に残る文字記録と位置を自然災害の時空間情報に変換する



神社の持つ情報を、地学的、地理的、歴史的な関心事項の解決に活用することは、十分「応用地質学的」ではないかと思ひます。

49

6.まとめ

1)九州北部豪雨で確認した神社の特性を検討した。

①神社は、河川以外のプロセスで作られる地形、地形形成プロセスが長期に及びにくい河川地形に立地する

②神社では、被災後に修復を示す年号の刻まれた奉納物があり、その多数を調査すれば、その年次の集まる傾向がある。

2)筑後川と武庫川下流域の神社の奉納物調査を行った。

③奉納物の持つ文字情報を、自然災害をはじめ社会情勢・流行の時空間的な情報に変換できる。

適用範囲：岩石の風化に耐えられる数百年前まで

④神社の奉納物調査と時空間展開は、応用地質学的な検討に相当する。

*他の地域あるいは地形域で確認をさらに積み上げる必要がある(地方では神社衰退兆候が著しいため災害情報レスキューの意味では急いだほうが良いだろう)

50

一般講演(研究発表会)

15:15～17:00 (発表/質疑:計 15 分)

	頁
1. 木津川流域における表層地質とその特性について 北田奈緒子・濱田晃之・藤原照幸・水谷光太郎・伊藤浩子・((一財)地域地盤環境研究所) 三村衛・肥後陽介(京都大学)	1
2. 測地データを用いたモデル更新による PFDHA ハザード評価結果への影響 井上 直人((一財)地域地盤環境研究所)	3
3. 六甲山地準平原端部の斜面変形地における地下水質調査事例 伊東 陽希((株)ダイヤコンサルタント)・前嶋 昭・林 一郎(兵庫県神戸県民センター六甲治山事務所)・東 篤義・日小田 稜介・鏡原 聖史((株)ダイヤコンサルタント)	6
4. 沖積低地における 3 次元地盤モデルの作成事例 向井理史・辻野裕之(サンコーコンサルタント(株))	8
5. 質疑応答	

木津川流域における表層地質とその特性について

北田奈緒子・濱田晃之・藤原照幸・水谷光太郎・伊藤浩子・(地域地盤環境研究所)・
三村衛・肥後陽介(京都大学)

1. はじめに

本研究では、木津川左岸・八幡市上津屋地区を対象として、ボーリングデータを用いた周辺の地層分布状況を把握するとともに、ボーリング孔内における地下水位変動計測、電気探査を行った。その結果、河川水位と堤内地の地下水位の関係を把握すること、また、電気探査とボーリング調査結果と対比することで地域の地層分布と河川水位上昇時の漏水のメカニズムについて議論することができた。この内容は応用地質学会全国大会に於いて 2020 年、2021 年で報告した内容である。

2. ボーリング調査と地下水観測

北田他(2020)で報告したように、八幡市上津屋地区において地質ボーリング調査を実施し(KD-1, KD-2: 図-1)、詳細な柱状図を作成した(図-2)。図-1に示すように、KD-1は旧河道上で実施したボーリングであり、KD-2は氾濫原に位置する。図-2に示すように、約10mまでの地層は、KD-1地点では、深度5~8mに礫層を含むがそれ以外は細粒層からなり、KD-2では、深度8m以深にシルト層が観察されるがそれより浅い部分は砂礫層からなる。木津川は傾家花崗岩地域を流下することから、氾濫原には、砂質優勢層が分布し、一方、旧河道は流路が変われば一時的に水が停滞し細粒層が堆積する。周辺の表層地質の分布については、関西地盤情報ネットワークの保有するボーリングデータを利用して周辺の表層地質の特徴と広がりを検討した。

地下水位観測は2019年11月末から開始し、KD-2孔は2020年5月に観測を終了したが、KD-1は観測を続けている。観測孔における地下水位はほぼ標高11~11.5mの幅で通常変化をしていることが判った(約GL-2m程度)。河川水位については、6kmほど下流にある八幡観測所の河川水位データから、地下水位の観測箇所近傍における木津川河川水位を推定した。2020年10月10日には、国土交通省淀川河川事務所が防災情報として配信している河川水位情報から河川水位の上昇が想定できたことから現地へ赴き、堤内地における漏水・噴砂現象の現地観察を行った(北田他, 2021)。



図-1 ボーリング地点と旧河道との位置関係
(地理院地図, google map を利用)

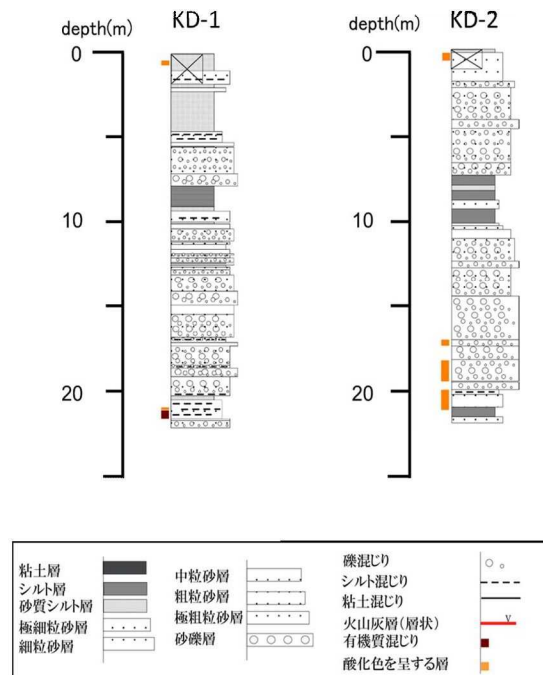


図-2 KD-1 と KD-2 の柱状図

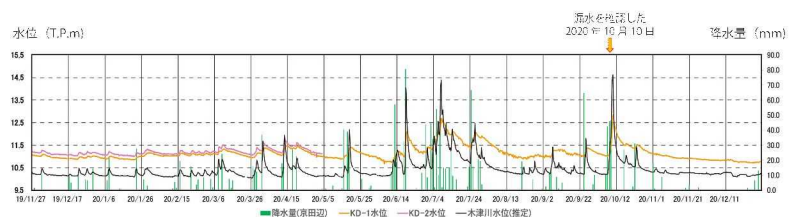


図-3 KD-1, KD-2 における地下水位観測データと河川水位の関係

2020年10月10日の河川水位は最大で標高14.5mまで達している。通常河川水位は標高10m程度であることから、約4.5m程度河川水位が上昇していたことになる。水位観測孔KD-2の孔口標高が約13mであり、KD-1の地下水位はこの時、標高12.8m (GL-0.2 m) まで上昇している。河川の水位の方が堤内地の水位より高くなるので堤体内の砂礫層を通じて堤内に河川水が流入しており、漏水や噴砂現象が堤防近くで見られると考えられる。当時は、稲の作付がされている時期であったので、漏水および噴砂現象は農道沿いでの目視観察にとどめた。

3. 電気探査による表層地質の特徴と漏水・噴砂の関係

電気探査は、Geometrics Inc.によって開発製品化されたOhmMapper（オームマッパー）を用いて調査を実施した。調査は渇水期の11月～12月に実施した。実施した調査測線を図-4に示す。A-A' 測線とB-B' 測線では、KD-1、2の地質情報を用いて考察を行い、表層5m程度までがシルト層であれば低比抵抗値、砂質土層であれば高比抵抗値であることが判明した。この結果に基づいて全ての測線において深度5m以浅で高比抵抗値を示す部分を図4に示す。高比抵抗値の部分は、旧河道以外の氾濫原に分布する事が明らかになった。また、高比抵抗値の地域では2020年10月10日の現地観察で、漏水や噴砂が確認された。現地確認の折は、水田に稲が生育していたので、基本的に農道に沿って漏水・噴砂を確認した。そのため、確認点が線状に見られる傾向にあるが、特に、河川堤防沿いのF-F' 測線沿いでは畑地が多く、噴砂は確認されなかったが、周辺で空気が漏れるような「シューシュー」という音が聞こえ、水田では稲の生育していない部分が確認された。C-C' 測線では、測線中高比抵抗部の南側は漏水・噴砂が見られなかった。この部分は東側（河川側）に墓地があり、盛土されていることが要因ではないかと考えた。

2020年10月10日の事象から類推すると、通常の河川水位が数m上昇し、堤内の地表付近にまで達すると、河床から堤体の下を河川水が侵入し、堤内の地下水位も高くなる傾向があるが、特に周辺の浅部に旧河道によるシルト層に囲まれる部分では、水位の上昇とシルト層の堰き止め効果によって、その内側で顕著な漏水あるいは噴砂が発生するものであると考えられる。

謝辞

本研究は河川財団による河川基金助成事業「河川増水時に発生する堤内地盤の漏水・噴砂の要因とメカニズムの解明」助成番号：2020-5111-002、機関名：関西圏地盤研究会（代表者名：三村 衛）による研究として実施いたしました。記して御礼申し上げます。

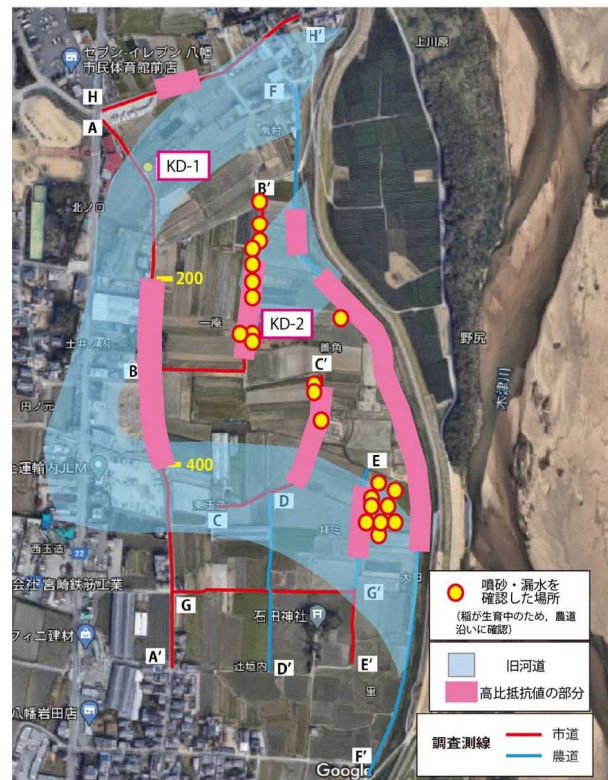


図-4 高比抵抗値の分布と旧河道、噴砂地点の関係
(旧河道は国土地理院地水分類図より抽出)

引用文献：

- 1) 北田他：木津川流域における表層地質とその特性について、応用地質学会研究発表会論文集,71, 2020.
- 2) 北田他：木津川流域における表層地質とその特性について（その2）、応用地質学会研究発表会論文集,34, 2021.
- 3) 国土地理院：地水分類図「淀」、「宇治」.

測地データを用いたモデル更新による PFDHA ハザード評価結果への影響

一財) 地盤研究財団

井上 直人

1. はじめに

新たに見直された国際原子力機関 (IAEA) による原子炉施設等の立地評価における地震ハザードのガイドライン^{例えは1) や2)} などでは、重要施設の周辺において活断層の可能性のある2次的な派生断層が存在する場合、ただちに立地を制限するのではなく十分に評価することを推奨しており、その評価手法の一つに確率論的断層変位ハザード解析 (Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis: PFDHA) が挙げられている。PFDHAは主要な断層で発生する変位と、そこから離れて発生する変位を確率評価する手法である。PFDHAでは主要な断層での変位を主断層、主断層から離れて生じる変位を副断層と区別して評価を行う。副断層はその地表トレースも連続性に乏しく、生じる変位も小さい。PFDHAの解析方法や既存モデルなどの詳細については紙面の都合上ここでは述べない。すでに様々な文献が公表されているので参照されたい^{3), 4), 5), 6)} など。

PFDHAにおいてロバストな地表地震断層出現確率モデルや断層変位距離減衰モデルの構築のためには、詳細かつ高精度な地表地震断層分布および変位量情報を数多く収集・整理することが必要不可欠である。このため、世界中の地震のデータをコンパイルして構築されたPFDHAモデルがいくつか公表されている^{例えは4) 5) 7)}。しかしながら、副断層は主断層に比べて収集・整理されている情報が少ないため情報拡充が望まれる。近年、衛星データや空中写真の品質や解析を含めた技術向上により地震後詳細な変位分布情報が得られる機会が多くなった^{例えは8) 9)}。これにより広い範囲で微細な変位を捉えることが可能となり、1つの地震データからでも副断層の出現確率モデルの更新が期待される。一方で衛星データから副断層の小さな変位量までを得ることは未だ困難な状況である。本稿では衛星データにより副断層出現確率モデルが独立して更新された場合の影響を2019年Ridgecrest地震のデータを用いて評価を試みた。

2. 手法および結果

2019年Ridgecrest地震では、フィールド調査、測地学的な調査結果など総合的にコンパイルされたデータセット¹⁰⁾により、広範囲にわたる断層変位分布が取りまとめられている。そのデータセットの中からフィールド調査結果のみを詳細に取りまとめた結果¹¹⁾も公表されている。ここではフィールド調査結果を整理された断層変位データ¹¹⁾を既存データセット、総合的な断層変位データセット¹⁰⁾を近年の測地学的な技術で更新された更新データセットと仮定し、各データセットから副断層の出現確率・断層変位距離減衰モデルを求め、各モデルの組み合わせから得られる年超過確率について検討した。年超過確率計算の基本となるPFDHAモデルは世界中の横ずれ断層を対象としたモデル⁴⁾とした。ただし、採用したPFDHAモデル⁴⁾は平均変位量で正規化した副断層距離減衰モデルが用いているが、本検討では最大変位量で正規化したモデルを使用した。マグニチュードから最大変位を求める際には既往の関係式¹²⁾を用いた。今回のデータセットでは更新モデルによる副断層出現率は既存モデルに比べて全体的に大きくなったのに対して、副断層変位距離減衰は主断層近傍では小さくなり、遠方では若干大きくなるにどどまった。

評価のために想定した地震はマグニチュード7、活動間隔が1000年、評価地点は主断層から500mほど離れた副断層地点とした。計算結果を図1に示す。更新モデルによる年超過確率 (図1d) は、既存モデル (図1a) に比べて断層変位量が小さな領域では大きくなるが、mオーダーを越えると小さくなり、変位量が大きくなるに従い両者の乖離が大きくなる。出現率だけ更新 (図1b) すると、全体的に年超過確率が大きくなり、断層変位距離減衰モデルのみを更新 (図1c) すると全体的に年超過確率が小さくなる。広い範囲で詳細な副断層データで更新することで、年超過確率は断層変位が小さな領域では大きくなり、断層変位が大きくなると年超過確率は小さくなると予想される。

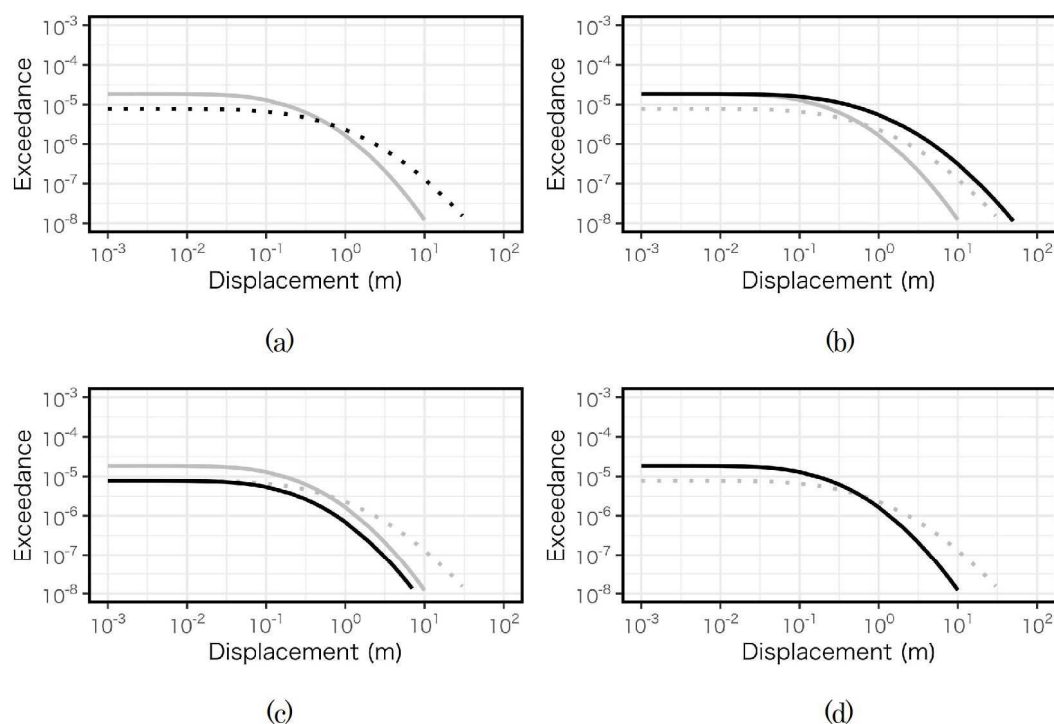


図1 各モデルの組み合わせによる年超過確率

a: 灰実線, 黒点線は更新モデル, 既存モデルから得られた年超過確率. b: 灰実線, 灰点線は更新モデル, 既存モデルから得られた年超過確率. 黒実線は副断層出現率モデルのみを更新した年超過確率. c: 灰実線, 灰点線は更新モデル, 既存モデルから得られた年超過確率. 黒実線は副断層変位距離減衰モデルのみを更新した年超過確率. d: 黒実線, 灰点線は更新モデル, 既存モデルから得られた年超過確率.

3. おわりに

2019 年Ridgecrest 地震を対象として, 公表されている地表地震断層変位情報の中からフィールドで観測された情報から構築したPFDHAモデルを既存モデル, 測地学的な情報も合わせて構築したモデルを更新モデルとして, 各モデルから副断層の年超過確率を求めた. 更新モデルによる副断層の出現確率は, 既存モデルと比べて, 全体的に高くなった. 一方, 副断層変位距離減衰モデルは, 今回のデータセットでは主断層近傍では小さくなり, 遠方では若干大きくなるにどどまった. このため出現確率モデルのみを更新すると, 断層変位が大きな領域で過大評価となる可能性が示唆された.

引用文献: 1) Valentini, A. et al. (2021): Probabilistic Fault Displacement Hazard Assessment (PFDHA) for Nuclear Installations According to IAEA Safety Standards, Bulletin of the Seismological Society of America, 08, DOI: 10.1785/0120210083. 2) International Atomic Energy Agency (2020): Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, DS507: International Atomic Energy Agency, (in preparation). 3) Youngs, R. R. et al. (2003): A Methodology for Probabilistic Fault Displacement

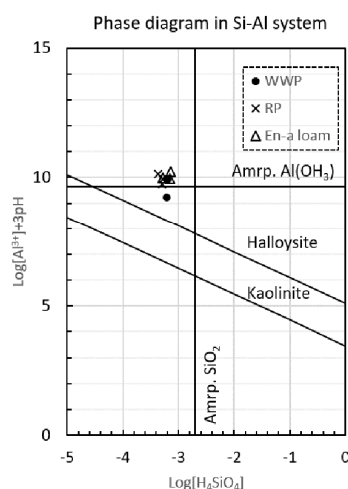
Hazard Analysis (PFDHA), Earthquake Spectra, 19, 1, pp. 191-219. 4) Petersen, M. D. et al. (2011): Fault displacement hazard for strike-slip faults, Bulletin of the Seismological Society of America, 101, 2, pp. 805-825. 5) 高尾誠他 (2013): 確率論的断層変位ハザード解析手法の日本における適用, 日本地震工学会論文集, 13, 1, pp.17-32. 6) 井上直人(2019): 副断層評価について—確率論的アプローチ—, 日本応用地質学会関西支部令和元年度研究発表会論文集. 7) Nurminen, F. et al. (2020): Probability of Occurrence and Displacement Regression of Distributed Surface Rupturing for Reverse Earthquakes, Frontiers in Earth Science, 8, p. 456, DOI: 10.3389/feart.2020.581605. 8) Fujiwara, S. et al. (2016): Small-displacement linear surface ruptures of the 2016 Kumamoto earthquake sequence detected by ALOS-2 SAR interferometry, Earth, Planets and Space, 68, 1, p. 160, DOI: 10.1186/s40623-016-0534-x. 9) 小俣雅志 他 (2016): 干渉SARを使用した新たな地表地震断層抽出方法, 日本活断層学会2016 年度秋季学術大会講演予稿集, P-4. 10) Ponti, Daniel J. et al. (2020): Documentation of Surface Fault Rupture and Ground - Deformation Features Produced by the 4 and 5 July 2019 Mw 6.4 and Mw 7.1 Ridgecrest Earthquake Sequence, Seismological Research Letters, 91, 5, pp.2942-2959, DOI: 10.1785/0220190322. 11) DuRoss, C. B. et al. (2020): Surface Displacement Distributions for the July 2019 Ridgecrest, California, Earthquake Ruptures, Bulletin of the Seismological Society of America, 110, 4, pp. 1400-1418. 06, DOI: 10.1785/0120200058. 12) Wells, D. L. and K. J. Coppersmith (1994): New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement, Bulletin of the Seismological Society of America, 84, 4, pp. 974-1002.

側線間で比べたとき、Al と Fe は、どの側線においても、元素の増減はほとんど認められなかった。一方で、Si の割合は、未風化の軽石と比べて、明らかに減少している傾向があり、風化によって溶脱したと考えられる。RP では、地表に近いほど、Si の溶脱の程度が大きく、これは浅層部で溶脱した Si が土壤水に溶け込み、Si 濃度の高い水が深層部に流れ下ったためと考えられる。また、同じ RP でも、側線 S3、S4、S5 の間で比較したとき、異なる Si の溶脱の傾向を示している。これは、土壤浸透水が不均一性に流れていたため、水-岩石反応にも側線間で違いが生じたものと考えられる。一方、WWP では、興味深いことに、基準面からの深度 55~85cm まで、Si がほぼ同じ値 22.5wt% の値を示した。これは、後述する WWP における自己組織的風化(Self-organized weathering)が関係していると考えられる。

Fe(d)について、WWP 優勢の側線 S1、RP 優勢の側線 S3 で求めた結果、RP で明らかに Fe(d)、すなわち、三価の鉄を主体とする鉄酸化物が多く、深度が浅いほど、Fe(d)の値が大きくなることがわかった。一方 WWP では、Fe(d)は RP の 1/3~1/2 の値を示し、上述した Si 含有量と同様、深度 55~85cm までほとんど同じ値 1.5g/kg を示すことが分かった。

水理特性と風化状態の関係を考察するために、飽和透水試験と pF 試験を行った結果、RP における K_{sat} は、WWP のそれより、 10^3 オーダー程度大きく、透水性が全く異なること、水分特性曲線からも、RP より WWP の方が、はるかに保水性が高いことがわかった。

もともと同じ Ta-d2 層位内にあった母材が、RP と WWP という全く異なる風化状態を示したその理由を明らかにするため、それぞれの部位で採取した土壤水の元素濃度と pH から、Visual MINTEQ 3.0 software (KTH) を用いて、ケイ酸イオン H_4SiO_4 とアルミニウムイオン Al^{3+} の活動度を



計算し、Si-Al 成分系において、各土壤水の値をプロットした(Fig.1)。その結果、WWP、RP どちらにおいても、ハロイサイトが生成するのに十分な条件であることがわかった。WWP では、ハロイサイトが見つかったにもかかわらず、RP では見つかっていない。これは、ハロイサイトを生成する要因が、これ以外にあることを示唆している。

そこで、メスバウアー分光分析の結果から、鉄イオン種の割合とハロイサイト生成の関係に関する考察を行った。分析結果から、FP、すなわち母材である Ta-d には、55%以上の二価成分が含まれていることがわかった。さらに、RP(22%)の方が WWP(13%)よりも二価鉄の割合が多いこともわかった。このことから、ただ二価鉄の多い少ないだけでは、RP と WWP の違いを説明することはできない。そこで、1つの軽石が風化してハロイサイト化する過程を調べるために、RP-WWP の境界にある風化途中の軽石の断面を観察した。この軽石は、中心部に新鮮部を有し、その周りに風化フロントと思われる赤褐色のバンド、その外側に、風化がさらに進んだ白色部を有していた。この軽石の鉄の酸化還元状態を決定するために、軽石をエポキシ樹脂で固定し、100 μ の厚さの薄片を作成し、0.5mm 径のピンホールを用いて、鉄の酸化還元状態の分析を原位置で行った。その結果、軽石中心部は、FP 粉末試料と同様、およそ 55%以上、赤褐色バンドには、およそ 36%の二価成分が含まれることがわかった。また最も外側の白色部には二価鉄が全く含まれなかった。

これらの結果から、軽石が水-岩石反応によって、RP のように鉄酸化物を多く含む風化様式と、WWP のように、ハロイサイト化する風化について、次のように結論づけられた。すなわち、軽石は二価鉄を含むため、 $Fe^{2+} + 3H_2O = Fe(OH)_3 + 3H^+ + e^{-}(1)$ にしたがって、表面に鉄酸化物、水酸化物の被膜を生成する。ここで土壤水が空間的に不均一に流れると、部分的に軽石の表面で水が滞留し、還元状態になることがあり、これによって鉄酸化物が溶解して、二価鉄が遊離し、ハロサイトの結晶核生成に関与すると考えられる。そして、いったん、粘土ができると、水が滞留しやすくなり、さらに粘土化が進むという positive feedback が起こる。このようにして、鉄に富む軽石の Self-organized weathering (自己組織的風化) による、ハロイサイト凝集層が形成されたと考えられる。

六甲山地準平原端部の斜面変形地における地下水質調査事例

○伊東 陽希（ダイヤコンサルタント）、前嶋 昭、林 一郎
（兵庫県神戸県民センター六甲治山事務所）、東 篤義、
日小田 稜介、鏡原 聖史（ダイヤコンサルタント）

1. はじめに

本調査地は、六甲山地山頂部の六甲花崗岩が分布する隆起準平原の端部で、平成 30 年 7 月の記録的な豪雨（7/3～7/5 の連続雨量 913mm、最大時間雨量 47mm）により、地すべり変形が確認された。調査地においては航空レーザー測量図（以下、LP 図）を用いた地すべり変形前後の差分解析、現地踏査、比抵抗二次元探査及び調査ボーリングを実施し地すべりのメカニズムを推定している¹⁾。

本発表ではすべりの動態観測、地下水の流動層を把握するための多点温度検層、地下水起源を把握するための水質分析結果を行った結果を示すとともに、特徴的な水理特性が判明したため、これらの事例について報告する。

2. 調査地の概要

本調査地は、山頂部の準平原の平坦面の縁に位置し（浸食前線）、平成 30 年 7 月豪雨により幅 50m 長さ 90m の範囲で（図-1 の赤太線部）、谷側へ向かって地すべり変形している。また、これと同時期に崩壊した箇所は平坦面の縁付近の幅 20m 長さ 50m の範囲で、地すべりの側部にあたる（図-1 のピンク太線部）。

また、背後には 2ha 程度の集水範囲を伴う。

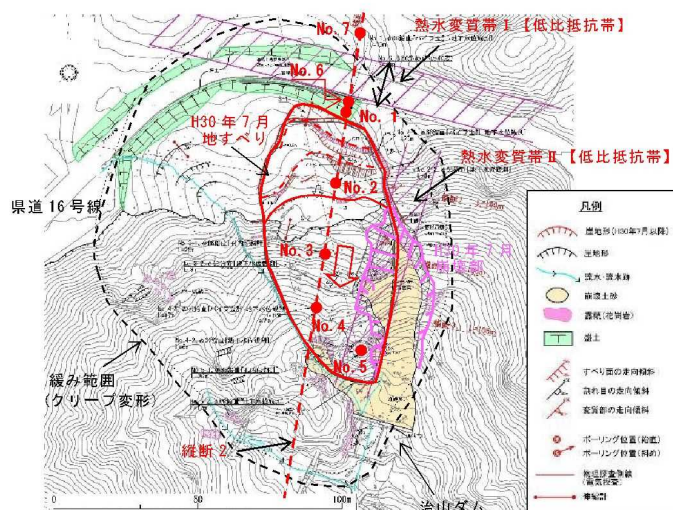


図-1 調査地の地形図(崩壊後の LP 図)

現地踏査により地すべり頭部の明瞭な滑落崖・階段状の段差地形や末端部での押し出しによる既設の石積の開口等を確認している。崩壊部はコラストーンの崩壊により下流側で巨礫が多数確認され、土塊中においては地表に平行なシーティング状の割れ目も所々確認

されている。また、崩壊部の谷底では移動土塊と不動層の境界付近に幅 10cm 程度の軟質でスメクタイトを伴う礫混じり粘土状で直線的なすべり面と考えられる地すべり粘土を確認している¹⁾。また、LP 図を用いた地すべり変形前後の差分解析により地すべり変形の範囲の検討がされている¹⁾。

3. 詳細調査結果

地質・地下水特性やすべり面深度を把握するため比抵抗二次元探査 5 測線、ボーリング調査を 7 箇所（地下水観測孔を含めて全 11 本）で調査されている¹⁾。

調査の結果、不明瞭ながら幅 10cm 程度の粘土混じり破碎構造を伴うことや、比抵抗二次元探査結果の高比抵抗部の分布より、深度 9m 付近が平成 30 年 7 月豪雨で活動したすべり面と推定されている¹⁾。地すべり土塊は強風化 DL 級（N 値 50 未満主体）で、開口割れ目に砂状の充填物を多く伴うなど緩みが大きい。

ボーリング調査および比抵抗二次元探査結果から、地すべり背後に熱水変質帯Ⅰ（低比抵抗帯）、崩壊部直下付近に、熱水変質帯Ⅱ（低比抵抗帯）を確認した（図-1、図-2）。

また熱水変質帯Ⅰからの地下水供給が疑われたことから多点温度検層を実施した結果、No.1 孔の表層 GL-2.0～4.4 m 及び GL-18.5m 付近で流動層を確認した。

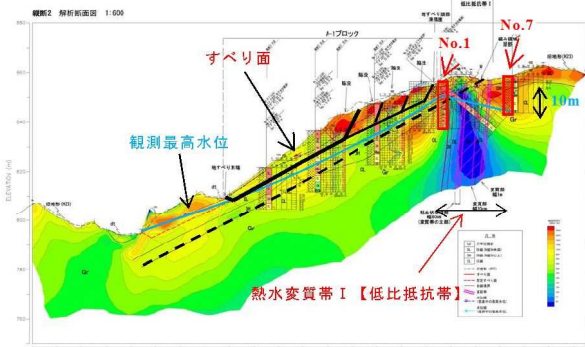


図-2 比抵抗二次元探査断面図(縦断 2)

4. 観測結果

動態観測として、伸縮計(3 基)、孔内傾斜計(2 孔)、パイプ歪計(3 孔)、孔内水位観測(8 孔)を行った（図-1、図-2）。また雨量計を設置し、R3 年 8 月に最高累積雨量 490mm の豪雨を観測した（図-3）。

地すべり背後の観測孔(No.1)では概ね累積 100mm 以上の降雨で数 m の地下水位上昇が見られたが、降雨がほとんどないにも関わらず 4 月頃より急激な地下水位

上昇(4m)が認められ、地下水位の底上げがされていると推測した。

地すべり末端部(No.5)では累積100mm以上の降雨イベントに連動した孔内水位上昇を確認することができ、累積200mm以上の降雨では想定すべり面深度より上にまで孔内水位が上昇した。さらに孔内傾斜計で想定すべり面深度付近で僅かなせん断性変位を確認した。

また、地すべり背後の熱水変質帯付近(No.1)では低比抵抗帯の反対側(No.7)と比較して10m以上も地下水位が高いことを確認した。このことから、熱水変質帯(I)からの地下水供給があると推定し、これを検証するために水質分析(主要溶存イオン)を行った。

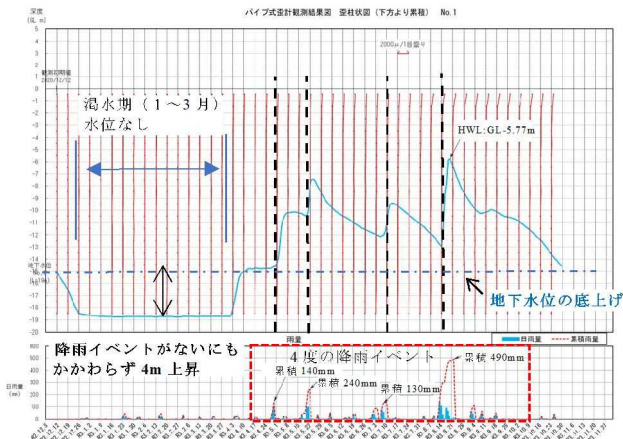


図-3 ボーリング No.1 パイプ式歪計・地下水位観測結果(R2.12~R3.11)

5. 地下水の水質分析結果 (主要溶存イオン分析)

簡易水質分析の結果、熱水変質帯(I)付近のボーリング孔(No.1)でのみ突出して pH が低く、EC(電気伝導度)が高い結果となった。

イオン分析の結果、No.1 で明瞭な Na-Cl 型を示し、他の箇所では $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型を示した(図-4)。

トリリニアダイアグラムでは、No.1 は「鉱泉・温泉、化石海水」でよく見られるアルカリ非炭酸塩(IV)に属し、有馬温泉と類似している。その他の箇所については「浅層地下水・表流水」でよく見られる中間型(V)に属する事を確認した。なお、六甲山の地下水として六甲・神戸トンネル及び六甲山トンネルの湧水等をプロットしたところ「浅層地下水」でよく見られるアルカ

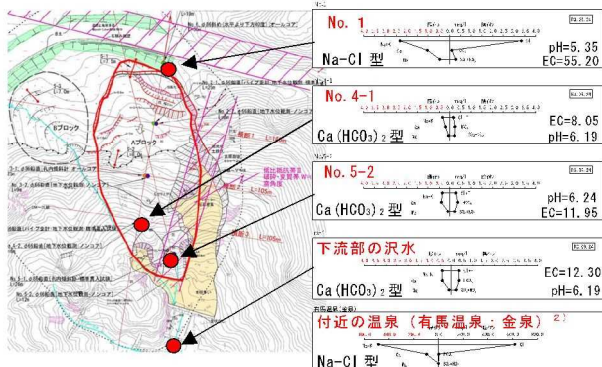


図-4 各地点のイオン分析結果

リ土類炭酸塩型(I)に属した³⁾(図-5)。これらのことから No.4-1, No.5-2, rs-1 は六甲山の地下水と雨水の混合水であると推測する。また No.1 は化石海水や鉱泉・温泉水の影響を受けていると考えられる。

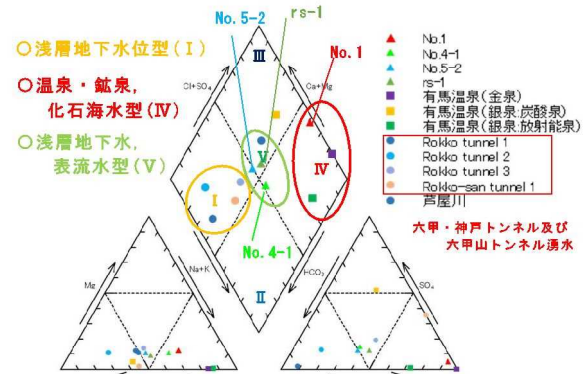


図-5 トリリニアダイアグラム整理結果

6. 考察

動態観測の結果、地すべり末端部において地下水位が高く、僅かなせん断性変位が確認できることから地すべり変形は末端部から不安定化する可能性が高いと考えられる。

土塊内の地下水は基本的に表流水・浅層地下水起源であるため災害発生時降雨(累積:913mm)の影響を大きく受けたと考えられるが、熱水変質帯(I)付近の No.1 の孔内水位が非常に高く、降雨が無い状態で水位上昇がみられる事、変質帯の近傍で流動層が確認できた事、地下水が Na-Cl 型(化石海水等起源)を示し深層地下水であると推測される事等から、深層地下水(化石海水等)が熱水変質帯に沿って上昇し、塊内に流入していることも地すべり変形に影響を与えたと考察した。

7. まとめ

六甲山地山頂部の準平原端部の浸食前線で平成30年7月の豪雨を受けて地すべり変形が発生した。地すべり変形に関わる地下水位上昇の要因として地表からの降雨浸透だけではなく、深部の熱水変質帯からも地すべり土塊内に地下水の供給が発生したものと推測した。現在、動態観測を継続している。また、対策工について検討・設計段階であり、地下水排除工について本調査・観測結果をもとに検討を進めている。

文献

- 1) 東ら：平成30年7月豪雨を受けて六甲山地の準平原端部で発生した斜面変形, 応用地質学会, 2021.10
- 2) 前田：有馬温泉に上手に入浴して、もっと健康になろう-有馬温泉の温泉科学的特徴から-, 日本温泉科学会, 2011.10
- 3) 黒田ら：断層帯を伴う花崗岩に付随する地下水・湧水の水質について, 応用地質 22 巻 1 号, 1981

沖積低地における3次元地盤モデルの作成事例

サンコーコンサルタント株式会社

向井理史・辻野裕之

1. はじめに

今回の発表は、砂浜湖岸とその後背湿地に計画されたグランピング施設の建設に伴う地質調査を実施し、調査結果から3次元地盤モデルを作成して地質的な問題点となる軟弱地盤や浚渫土からなる盛土の有無や分布等を可視化することで、地質技術者と設計技術者、そして専門的知識を持たない事業関係者との間で共通認識の共有化を図った事例である。

2. 地質背景

調査地はほぼ平坦な砂浜湖岸沿いの沖積低地に位置し、低地の背後約2～4kmのところには花崗岩から構成される山地～山麓斜面が広がる。この沖積低地にグランピング施設の建設が計画され、地質調査を実施することとなった。

既往文献調査および表層地表踏査の結果、当該地では次のような地質的問題点が想定された。

①自然堤防が形成され、その背後に停滞水域ができたことによる軟弱粘性土層の存在。

②高有機質土（高含水・高圧縮性）の存在。

そのほか、当該地には花崗岩のマサ土からなる浚渫土が締めりの悪い盛土として分布しているため、

③トラフィカビリティの確保についても地質的問題点として予見された。

これらの地質的検討課題を評価・検討するため、ボーリング調査7箇所のほか、ボーリングの補完としてスクリーウエイト貫入試験を15箇所で実施した。

3. 3次元地盤モデル作成の目的

本事例では、地質技術者、土木設計技術者のほか、必ずしも専門知識を持たない建築主（施主）といった事業関係者からなる。そのため、2次元図面を用いた専門技術者の説明により事業関係者間の意思疎通や共通認識、引き継ぎ等は困難であり、説明に多くの時間を費やす可能性があると考えた。

そこで、我々は共通認識を関係者間でもつため、調査結果を基に3次元地盤モデルを作成して協議用資料として利活用することを試みた。3次元地質モデルの利活用のメリットとしては、「対象構造物と地盤の相互関係が3次元で把握しやすくなる」、「素人目にもわかりやすく、速やかな合意形成に役立てられる」などが述べられている（3次元地質解析技術コンソーシアム、2021）ほか、データの整合性チェックへの利用、説明性の向上などがあげられている。

4. 地質調査結果

ボーリング調査結果から、当該地には8層の地層が分布していることが明らかになった。浚渫土からなる盛土（B）はN値1～9とバラツキが見られること、粘性土層（Ac）が1層あり、N値2のいわゆる軟弱地盤であること、高有機質土層が砂層に挟まれて2層あり、上位の高有機質土層（第1有機質土層：Ap1）はN値0～3、下位の高有機質土層（第1有機質土層：Ap2）はN値3～5であるという地質特性や、当該地の計画構造物の支持層としては第4砂質土層（As4）が候補としてあげられることも把握できた。また、盛土（B）、粘性土層（Ac）、第1

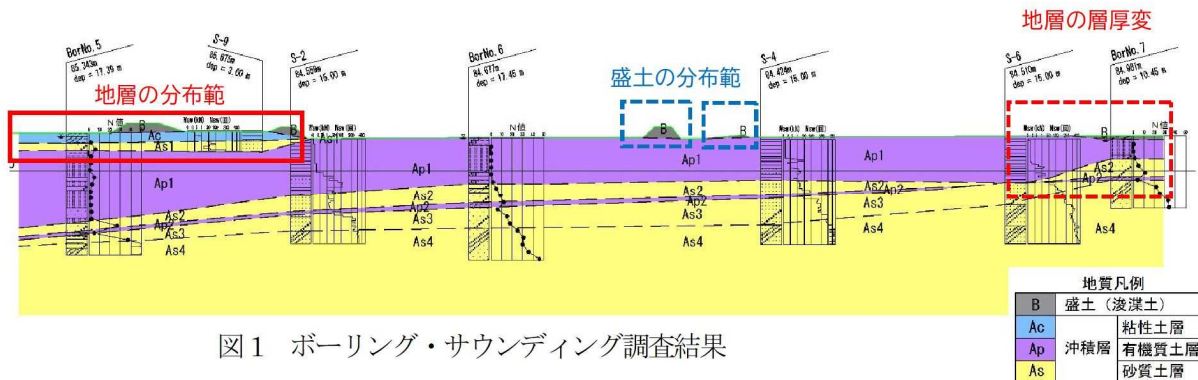


図1 ボーリング・サウンディング調査結果

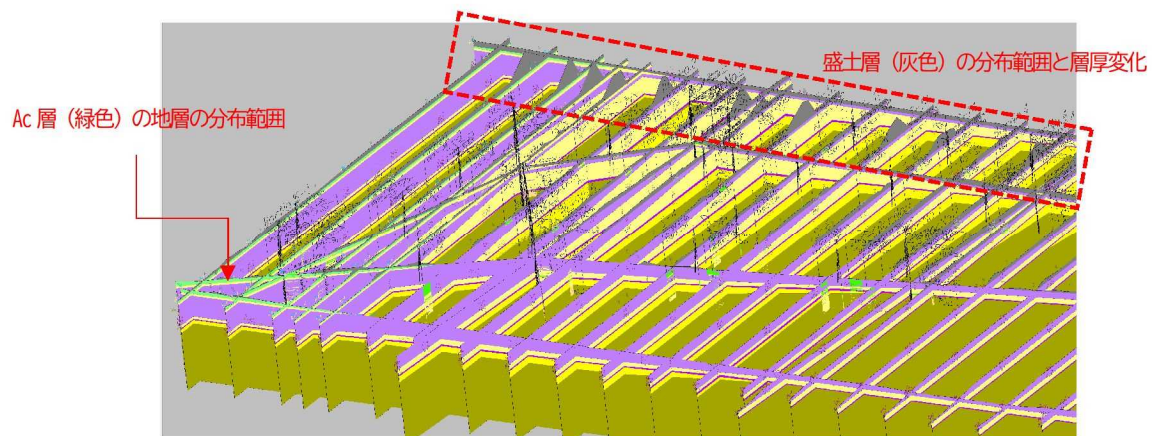


図2 3次元地盤モデル作成結果 (パネルダイアグラム, 縦:横=1:1)

砂質土層 (As1) を除く地層は調査範囲内で連続することや、第1有機質土層の層厚が場所により異なることが設計・施工の際に留意する点であることが明らかとなった (図1)。

5. 3次元地盤モデルの作成結果

ボーリングおよびサウンディング試験結果をもとに、3次元地盤モデルを作成した。

本事例では、上述した設計・施工の際の留意点である軟弱粘性土層 (Ac) と高有機質土層 (Ap1, Ap2) の分布範囲と層厚の変化、締まりの悪い浚渫土からなる盛土の分布範囲と層厚変化を可視化することに加え、作成した3次元地質モデルの不確実さを説明するため、3次元地質モデルのうち、ボーリングモデル、パネルダイアグラム、サーフェスモデルを作成した (各モデルの詳細は3次元地質解析技術コンソーシアム (2021) 等を参照)。ここでは、例としてパネルダイアグラムを示す (図2)。

図1に示す2次元の地質断面図から地質の部分的な分布 (地質の連続性) や地層の層厚変化は把握できるが、その断面上にはない箇所での地表下の地質層序や地層の形状、計画構造物との関係性を把握することは、多少の訓練を積まないと理解しにくい。一方で、図2に示すパネルダイアグラムや地層境界サーフェスモデルであれば、地質技術者が想定する上記の地質の問題点について専門的知識を持たない者であっても正しく伝達することが可能となり、早期に共通認識をもつことができた。

6. さいごに

本事例のように、地質技術者と設計技術者、そして専門的知識を持たない事業者との共通認識の確保やコミュニケーション、新たな地質課題 (地

質リスク) の引き継ぎの手段として3次元地盤モデルを活用することは有益であると考えられる。結果、事業の今後の計画にあたり、地質リスクの回避・低減・許容や解決策が明確となり、事業者にとってコストの面で負担となり得る地質リスクを回避することが可能となることで、顧客満足度が向上すると思われる。

一方で、3次元地質モデルを活用したことによる新たな課題も見られた。3次元地盤モデルは、表層地質踏査やボーリング調査、サウンディング試験の調査結果から、地質技術者が客観的に解釈した想定モデルであるため、出来上がった3次元地盤モデルは細部に至るまで正確であるとは限らない。地層の分布状況など可視化されているため、素人目にもわかりやすいというメリットもあるが、不確実性に関する認識や不確実性の程度が地質技術者と他者との間で共有できているか、地質調査後の設計・施工、維持管理を行う上で許容できる程度の客観性・妥当性を持つ3次元モデルかどうかについても共通認識をもつことが求められる。

引用文献

3次元地質解析技術コンソーシアム (2021) 「3次元地質解析マニュアル Ver3.0.1」.
https://0d40059d-05a0-462e-801c-2d310c1570be.filesusr.com/ugd/d0767c_9bb72143edab4d3eb9108044ca36585b.pdf. (確認日: 2021.11.22).