一般社団法人
日本応用地質学会　東北支部

第 27 回研究発表会講演集

２０２０年7月２２日

一般社団法人日本応用地質学会
東　北　支　部

一般社団法人日本応用地質学会東北支部
第２７回　研究発表会プログラム

開催日：令和２年７月 22 日（水）
会　場：せんだいメディアテーク　7F　スタジオシアター
協　賛：東北地質調査業協会

開　　会

10:00　　開会

10:00～10:05　支部長挨拶（遠田）

発表（午前の部）

10:10～10:25　飛騨外縁帯におけるシルル系・デボン系の岩相層序と
ジルコンの U-Pb 年代に基づく形成史
○佐藤　光毅（㈱復建技術コンサルタント）

10:30～10:45　模型実験による断層発達過程および地形発達の検討
○小野　大輝（東北大学理学研究科地学専攻）
上田　圭一（電力中央研究所）
遠田　晋次（東北大学災害科学国際研究所）

10:50～11:10　地下空間貯留水の低温化メカニズムに関する数値解析的アプローチ
○冨樫　聡　（産総研）
杉中　隆史（アドバンスソフト）
佐藤　怜　（八千代Ｅ）
霜山　竣　（福島大学、産総研）
内田　洋平（産総研）

11:15～11:35　地下空間貯留水の低温状態の保持・促進技術開発に向けた実証実験
○霜山　竣　（福島大学）
冨樫　聡　（産総研）
佐藤　大地（宇都宮市）
益子　暁弐（クラフトワーク）
藤原　盛光（川崎地質）
柴崎　直明（福島大学）

・・・・・・・・・・・・・・・・・＊＊・・・・・・・・＊＊・・・・・・・・・・・・・・・

11:35～13:00　　（休憩、昼食）

・・・・・・・・・・・・・・・・・＊＊・・・・・・・・＊＊・・・・・・・・・・・・・・・

発表（午後の部）

13:00～13:15　川崎・白石図幅主要部分と仙台・岩沼図幅西部相当地域の、
50 年間の独自調査による、2.5 万地質図と説明書（電子版のみ）
〇遅沢　壮一（カワオソ分子生命地質研究所）

13:20～13:40　熊本地震によってみえてきた活断層評価の課題
〇遠田　晋次（東北大学災害科学国際研究所）

発表（令和元年東日本台風災害（台風１９号）　特別セッション）

13:45～14:05　2019 年台風 19 号豪雨に伴う宮城県丸森地区の災害と教訓
〇高見　智之（国際航業㈱）

14:10～14:30　宮城県丸森町の道路災害と地形地質の関係
〇村上　智昭（㈱復建技術コンサルタント）

14:35～14:55　いわき市田人地区の斜面災害
〇新田　雅樹（応用地質㈱）

・・・・・・・・・・・・・・・・・＊＊・・・・・・・・＊＊・・・・・・・・・・・・・・・

14:55～15:10　（休　　憩）

・・・・・・・・・・・・・・・・・＊＊・・・・・・・・＊＊・・・・・・・・・・・・・・・

15:10～15:25　長町－利府断層帯のストリップマップの作成
〇村上　智昭（日本応用地質学会東北支部 地震防災ワーキンググループ）

15:30～15:45　活断層と活火山の相補的関係
－2020 年長野岐阜県境の群発地震にみる地質学的マクロ視点の重要性
〇遠田　晋次（東北大学災害科学国際研究所）

総合討論

15:50～16:25

閉　　会

16:25　閉会

16:25　副支部長挨拶（新田）

意見交換会

17:00～19:00　シェルブール

一般社団法人
日本応用地質学会　東北支部

第 27 回研究発表会講演集

２０２０年7月２２日

一般社団法人日本応用地質学会
東　北　支　部

目　　次

一般社団法人日本応用地質学会東北支部　第27回　研究発表会

発　　表

① 飛騨外縁帯におけるシルル系・デボン系の岩相層序と
ジルコンのU-Pb年代に基づく形成史　・・・・・・・・・・1
○佐藤　光毅（㈱復建技術コンサルタント）

② 模型実験による断層発達過程および地形発達の検討　・・・・・・・・・・3
○小野　大輝（東北大学理学研究科地学専攻）
上田　圭一（電力中央研究所）
遠田　晋次（東北大学災害科学国際研究所）

③ 地下空間貯留水の低温化メカニズムに関する数値解析的アプローチ　・・・・・・・・・・5
○冨樫　聡　（産総研）
杉中　隆史（アドバンスソフト）
佐藤　怜　（八千代Ｅ）
霜山　竣　（福島大学、産総研）
内田　洋平（産総研）

④ 地下空間貯留水の低温状態の保持・促進技術開発に向けた実証実験　・・・・・・・・・・7
○霜山　竣　（福島大学）
冨樫　聡　（産総研）
佐藤　大地（宇都宮市）
益子　暁弐（クラフトワーク）
藤原　盛光（川崎地質）
柴崎　直明（福島大学）

⑤ 川崎・白石図幅主要部分と仙台・岩沼図幅西部相当地域の、
50年間の独自調査による、2.5万地質図と説明書（電子版のみ）　・・・・・9
○遅沢　壮一（カワオソ分子生命地質研究所）

⑥ 熊本地震によってみえてきた活断層評価の課題　・・・・・・・・・・11
○遠田　晋次（東北大学災害科学国際研究所）

⑦ 2019年台風19号豪雨に伴う宮城県丸森地区の災害と教訓　・・・・・・・・・・13
○高見　智之（国際航業㈱）

⑧ 宮城県丸森町の道路災害と地形地質の関係　・・・・・・・・・・15
○村上　智昭（㈱復建技術コンサルタント）

飛騨外縁帯におけるシルル系・デボン系の岩相層序とジルコンの U-Pb 年代に基づく形成史

株式会社復建技術コンサルタント　佐藤　光毅

1. はじめに

飛騨外縁帯・黒瀬川帯・南部北上帯におけるシルル系・デボン系の共通点・類似性・相違点を整理することは，日本の地質構造発達史のスタート地点に制約を与えるものとして重要である．これらの地帯にて，放散虫化石により年代が求められていた上部シルル系～下部デボン系は，他の時代決定に有効な化石と共産しないことから，一部で時代論に不明な点があった．また，大型化石が多産する石灰岩と砕屑岩との層位関係には，層序的な上下関係を有するとする説や同時異相など，研究者によって見解が異なっていた．このような背景の下，本研究では飛騨外縁帯のシルル系・デボン系の層序の確立を目的として，九頭竜湖-伊勢川上流地域,福地-一重ケ根地域,楢谷地域に分布するシルル系・デボン系の岩相層序を再検討し，砕屑性ジルコンの U-Pb 年代測定を行った．それらに基づき，飛騨外縁帯のシルル系・デボン系の形成史を考察した．

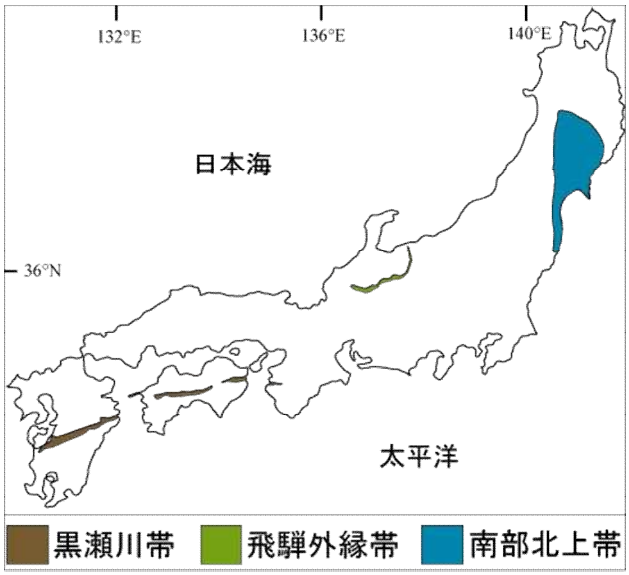


図-1. 飛騨外縁帯・南部北上帯・黒瀬川帯の分布

2. 結果

九頭竜湖-伊勢川上流地域のシルル系･デボン系は，シルル系影路層・子馬巣谷層，上部シルル系～下部デボン系上穴馬層，デボン系床の洞層からなる．福地-一重ケ根地域では，シルル系一重ケ根層・吉城層，上部シルル系～デボン系福地層，デボン系カナシロザコ層である．床の洞層下部における凝灰質砂岩の砕屑性ジルコンの U-Pb 年代を検討した結果，最も若いピークとして 405.6±2.9 Ma と 396.9±2.7 Ma が，床の洞層上部の砂岩から 387.2±3 Ma が得られた．福地地域では，カナシロザコ層の凝灰質砂岩から 403.3±1.8 Ma が得られた．今回得られた最若ピークの年代値は，検討した試料が凝灰質砂岩ないし火山岩片を豊富に含む砂岩であること，さらに共産する化石とのクロスチェックにより，堆積年代として捉えた．なお，4 試料の年代分布としては，400 Ma，420 Ma，440 Ma の粒子が多く，古い粒子として 460 Ma～480 Ma を含むのが特徴である．なお，デボン系とされていた林ノ平層の下部層をなす凝灰角礫岩からは加重平均年代値として 68.06±0.7 Ma が得られ，それらは濃飛流紋岩類に帰属することが明らかになった．

3. 考察

ジルコン U-Pb 年代と微化石年代に基づくと，同時異相とされたデボン系の砕屑岩と石灰岩は年代が異なる．すなわち，後期シルル紀ラドロウ世まで沖合相の含放散虫岩が堆積したが，その後浅海化し，前期デボン紀のある時期まで大型化石を含む石灰岩が形成された．さらに前期デボン紀エムス期に再び含放散虫岩が堆積する環境になり，中期デボン紀になると砂岩・凝灰岩と礫質石灰岩が互層をなすような浅海域になったと考えられる．こうしたエムス期から中期デボン紀にかけての浅海化は黒瀬川帯（内大臣層）や南部北上帯（中里層）でも見られ，3 地帯の堆積場がエムス期から顕著に似た変化をたどったことを示す．3 地帯の類似性は砕屑性ジルコンの年代分布にも表れており，南部北上帯や黒瀬川帯の基盤とされる花崗岩（氷上花崗岩，横倉山花崗岩）の年代と一致する約 440 Ma の粒子が飛騨外縁帯でも多く含まれている．このことから，飛騨外縁帯のデボン系の後背地として，南部北上帯や黒瀬川帯と同様な古期花崗岩が存在していたことが考えられる．

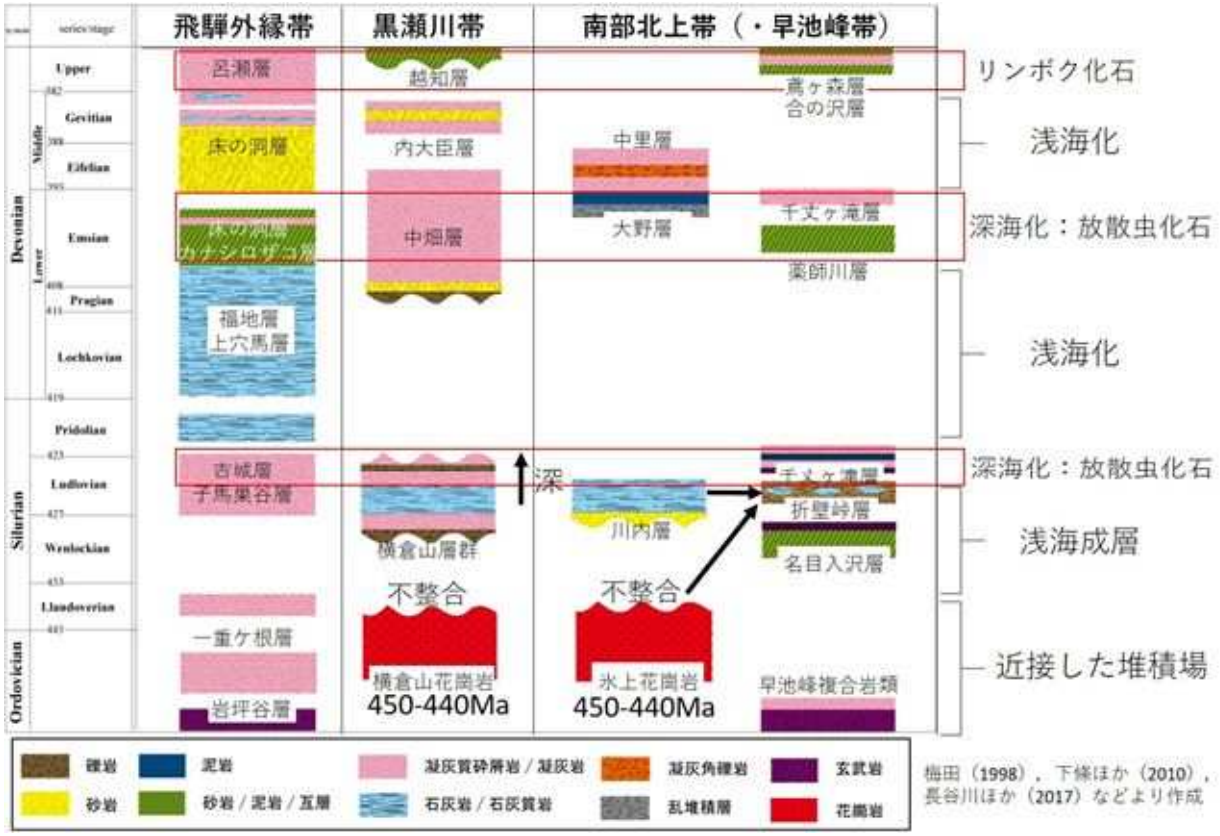


図-2.　3 地帯のシルル系・デボン系の対比

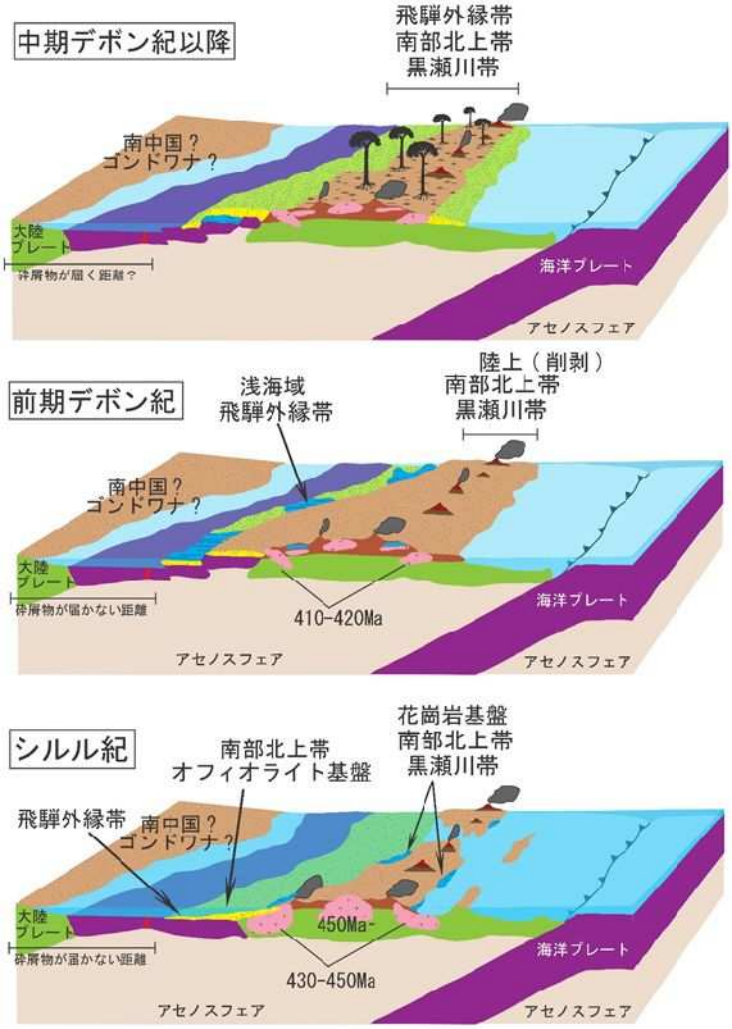


図-3.
3 地帯のシルル系・デボン系の発達史.
Uchino and Kawamura (2016) を
参考に作成.

模型実験による断層発達過程および地形発達の検討

○東北大学理学研究科　小野　大輝
電力中央研究所　上田　圭一
東北大学災害科学国際研究所　遠田　晋次

１．はじめに

断層の発達過程や地盤の変形についての理解は，断層の活動履歴や断層周囲の地形の発達史の解明に寄与するほか，活断層調査の高精度化や効率化にもつながり，近年では重要構造物の立地場所を検討する際に地震発生時の地表のずれによる被害が注目されている．断層の発達過程や地盤の変形について理解するために行われてきたものの１つに断層模型実験がある．これまでに行われた研究例として，縦ずれ横ずれそれぞれに関して系統的な実験による検討を行ったもの（例えば，上田・谷(1999)など）や，変位累積に伴う応力変化を調べたもの（例えば，Bray et al.(1994)など）などがある．

活断層の中でも縦ずれ変位が主体となって活動するものの中には，広域応力場の変化に伴い正断層型から逆断層型へ，もしくは逆断層型から正断層型へ活動が反転したものがある．こうした反転（インバージョン）を経験したとされる活断層がいくつか指摘されているが，インバージョンを経験した活断層と経験していない活断層では，その発達や活動に伴う地形の変化にどういった差異があるのかといった点については未だ十分に検討されておらず，こうした情報は上述の断層発達過程や地盤の変形様式を理解する上で重要である．

本研究では，断層模型実験においてインバージョンを考慮した場合としなかった場合を比較し，それらの差異や差異をもたらす要因について明らかにすることを目的とする．本発表では，これまでに行った実験結果を示す．

２．実験方法および実験条件の概要

基盤の断層傾斜角30度，45度，60度の場合それぞれにおいて，単純に逆断層変位を与え続けた場合と最初に正断層変位を与えた後に逆断層変位を与えた場合の２種類の場合で模型実験を行った．その際，変位の累積に伴う地盤内部の断層発達の様子をCTスキャンにより観察し，地表面の変形過程を模型地盤表面の地上レーザー測量により点群データ取得し，DEM差分をとることで把握した．断層傾斜角以外の条件として地盤材料を豊浦標準砂（比重：Gs＝2.635，50％粒径：D_{50}＝0.17mm）と東北珪砂８号（表乾密度：2.55g/cm^3，50％粒径：D_{50}＝0.115mm）の２種類，層厚を厚い場合と薄い場合の２種類を設定し，それぞれの場合について実験を行った．

３．実験結果

基盤の断層傾斜角が60度，45度の場合には，インバージョンの有無に関わらず，基盤の断層傾斜角よりも低角な断層が発達し，その発達とほぼ同時か数mm程度の変位を受けたのちに基盤の断層傾斜角とほぼ同じ傾斜角の断層が発達した．

基盤の断層傾斜角が30度の場合には，インバージョン時の正断層期に形成される正断層が地盤内部で屈曲する形状を示していた（図１）．また，正断層の発達に伴い形成される凹地の幅が，基盤の傾斜角が高角の場合に比べ広くなった．逆断層期の断層発達に関しては，インバージョンを経験しない場合は，基盤の断層傾斜角よりも低角な断層が最初に発達し，変位が累積するにつれ，基盤の断層傾斜角とほぼ同じ傾斜角の断層が発達した．一方で，インバージョンを経験した場合は，正断層の延長方向に発達する基盤の傾斜角とほぼ同じ傾斜角を持つ断層が最初から発達し，変位が累積するにつれ，より低角な断層が発達した（図１）．これらの発達過程の違いは，正断層期に形成された正断層が弱線として機能し，逆断層期にこの正断層を使って断層が発達することによると考えられ，正断層期の断層の存在やその形状が逆断層期の断層発達に影響を与えるのではないかと考えられる．

その他の条件による断層発達への影響については，地盤材料を東北珪砂８号にした

場合には，上盤側に引張割れ目と見られる割れ目が形成されたことを除くと，地盤材料や層厚による断層発達の顕著な違いは見られなかった．

４．謝辞

本実験は，電力中央研究所所有の実験装置を利用し実施した．また，実験を実施するにあたり実験方法や実験結果の解釈等，研究所の皆様にご指導，ご支援いただいた．ここに深謝の意を表します．

５．文献

Bray, J.D., R.B. Seed and H.B. Seed(1994), Analysis of earthquake rupture propagation through cohesive soil, J. Geotech. Engerg., ASCE, 120, 562-580.

上田圭一・谷和夫(1999)，基盤の断層変位に伴う第四紀層及び地表の変形状況の検討（その2）-正断層，逆断層模型実験-，電力中央研究所報告，U98048

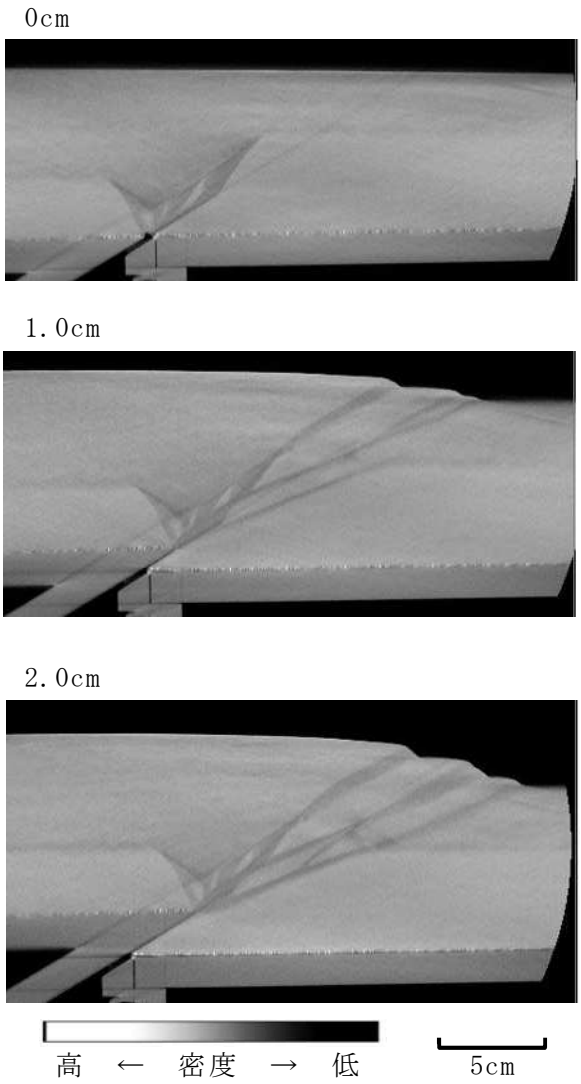


図１：模型地盤の CT スキャン画像
2cm 正断層変位後の逆断層変位(0cm～2.0cm)に伴う断層発達の様子
（断層傾斜角：30 度
層厚：5cm(圧密)＋3cm(ゆる詰め)
地盤材料：豊浦標準砂）

地下空間貯留水の低温化メカニズムに関する数値解析的アプローチ

冨樫聡（産総研），杉中隆史（アドバンスソフト），
佐藤怜（八千代Ｅ），霜山竣（福島大・産総研），内田洋平（産総研）

１．はじめに

宇都宮市の北西部に位置する大谷町には，かつて地域の主要産業であった石材産業（大谷石）の採掘跡地が存在している。これら採掘跡地は東西約４km，南北約６kmに拡がり，その多くが地下空間を形成している。

これらの地下空間に貯留する水（以下，貯留水と呼ぶ）の温度は，夏季でも大谷町における標準的な地下水温度（15℃～17℃程度）よりも低く，年間通じて 10℃以下未満と非常に低温となる箇所も確認できている [1)]。大谷町では現在，この低温貯留水を冷却水（冷熱源）として利用する収益性の高い夏イチゴ事業や物流・保冷庫事業が進められている。本研究は，冷熱源としての貯留水の持続的利用を実現するために，これまでに明らかになっていなかった低温化メカニズムを解明するものである。

筆者らが実施した調査の結果より，低温化メカニズムは顕熱と潜熱の両プロセスが関係すると考えられる（**図１**参照）[1),2)]。顕熱プロセスは，冬季に冷却された外気が地下空間に侵入して空間内および貯留水を冷却するものである。地下空間内外で空気の密度差が生じるため，夏季に高温となる外気は地下空間に取り込まれない（温度上昇しない）。一方，潜熱プロセスは，貯留水の水面付近を空気が流れることで蒸発が促され，この時に熱が奪われて低温化するものである。特に秋から冬にかけて発生している可能性が高い。

潜熱プロセスによって実際に貯留水が低温化することは，前報で報告した室内模型実験により確認できた [2)]。本報では，貯留水低温化現象の定式化と数値シミュレータ開発を行い，室内模型実験の再現を試みた。

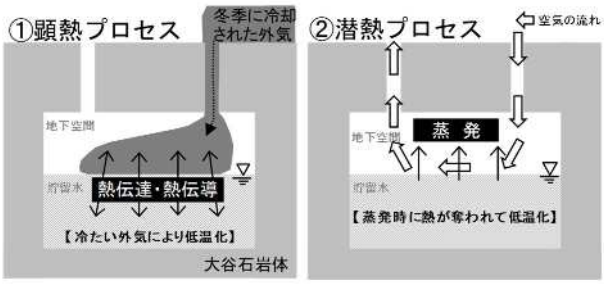


図１　想定される２つの低温化メカニズム

２．室内模型実験の概要

室内模型実験装置の模式図を**図２**に示す。実験装置はアクリル水槽，水槽を覆う断熱材（発泡スチロール：側面・底面の厚さ 50mm，上面の厚さ 100mm），PC 用ファン（30×30×10mm），各種センサー類等からなる。水槽上面の断熱材には２カ所の通気孔(30×30mm)を作成して，排気孔内部にファンを取り付けた。また，吸気孔上部 50mm の空気温度，排気孔上部 60～80mm の空気温度と相対湿度，水槽内部３地点の温度（水槽底部より 50mm，150mm，250mm），室内湿度をそれぞれ計測している。

実験シナリオは貯留水位の違う２ケースを設定した。貯留水位 200mm をケース１，貯留水位 100 ㎜をケース２とそれぞれ呼ぶ。実験は室温を空調管理した室内でおこない，各ケースを２回ずつ実施した。実験期間は 240 時間（助走期間 72 時間，ファン稼働時間 96 時間，ファン停止後の回復期間 72 時間）として，ファン稼働による貯留水温の変化を確認した。

３．貯留水低温化現象の定式化

貯留水の低温化現象は，液相（水）と気相（空気と水蒸気の混合気体）についての，質量保存方程式・運動量保存方程式・エネルギー保存方程式を連立することで表現できる。また，状態量（質量分率，体積分率，相対湿度，絶対湿度）や物性値（密度，粘性係数，熱伝導率）には一般的な状態方程式を採用する。さらに，貯留水の低温化を表現するには，液面（水面）で生じる熱伝達や蒸発の定式化が最も重要と考えた。そこでここでは，これら現象の定式化について詳述する。

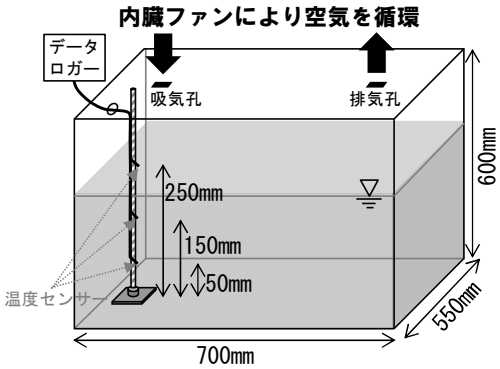


図２　室内模型実験装置の模式図

１）液面の熱伝達

単位時間，単位面積あたりの気相と液相間の熱流束$\dot{q}$[W/m^2]は，熱伝達率を使用して以下式で求める。なお，液面温度は液面から液相側第１格子点温度と仮定した。

$$\dot{q} = h\left(T_{w,0} - T_w\right) \quad (1)$$

ここに，hは熱伝達率[W/m^2/K]，$T_{w,0}$は境界層外縁位置の温度[K]，T_wは液面の温度[K]である。なお，熱伝達率hは，ヌッセルト数$Nu(=hl/\lambda)$から求めることができる。ここに，λは気相の熱伝導率[W/m/K]，lは代表長さ[m]である。ヌッセルト数Nuは，①気流が乱流，②気流が層流，③気流が自然対流の条件毎にそれぞれ別式で与えられる。乱流ついては，気相・液相共に，$k-\varepsilon$モデルを採用した。

２）液面の蒸発

単位時間，単位面積あたりの液面からの蒸発量$\dot{m}$[kg/s/m^2]は次式で求める。

$$\dot{m} = h_D \rho_g \left(Y_{w,0} - Y_w\right) \quad (2)$$

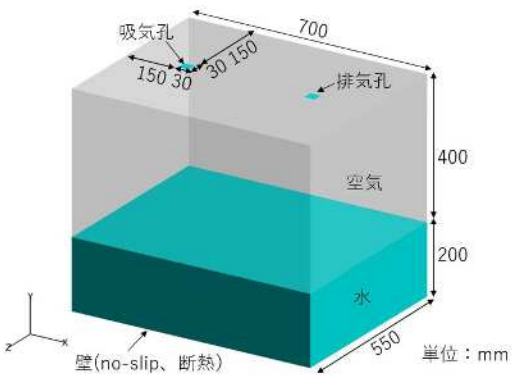
ここに，h_Dは物質伝達率[m/s]，ρ_gは気相の密度[kg/m^3]，$Y_{w,0}$は水面の水蒸気質量分率[-]，Y_wはY_wの境界層外縁位置の値[-]である。なお，物質伝達率h_Dは，熱伝達と物質伝達とのアナロジーに基づき，液面の熱伝達と同様の①～③条件下で，それぞれ別式により与えられる。

４．室内模型実験の再現計算結果

定式化した数学モデルを組み込んだ Advance/FrontFlow/MP(アドバンスソフト社)を用いて，ケース１，ケース２の再現計算を試みた。**図３**に計算に用いたモデル図と有限体積法３D メッシュ，**図４**に再現計算の結果をそれぞれ示す。**図４**より，ファン稼働による水槽内貯留水の水温低下が表現できた。また，貯留水の温度低下量は貯留水位が低いほど大きくなる傾向も再現できた。ただし，ケース１では，水槽内空気の水の温度変化は概ね再現できたものの，ファン停止後の挙動については再現性が低い。一方，現状ではケース２の再現性はあまり高くない（特に水部）。

５．まとめ

本報では，室内模型実験の再現計算に関する中間報告を行った。今後，気相領域のメッシュ分割，排気口から気体を流出させる機能等の改良を図り，再現精度を高めたいと考えている。また，構築した数値モデルを用いて，実サイトにおける低温化促進対策の効果検証を予定している。



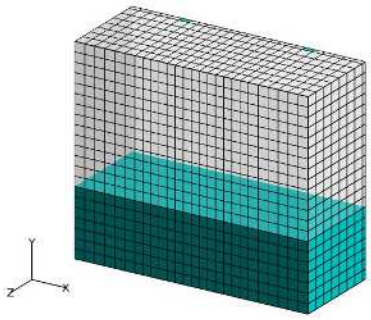


図３
上図：
概念モデル図，
下図：
解析メッシュ図

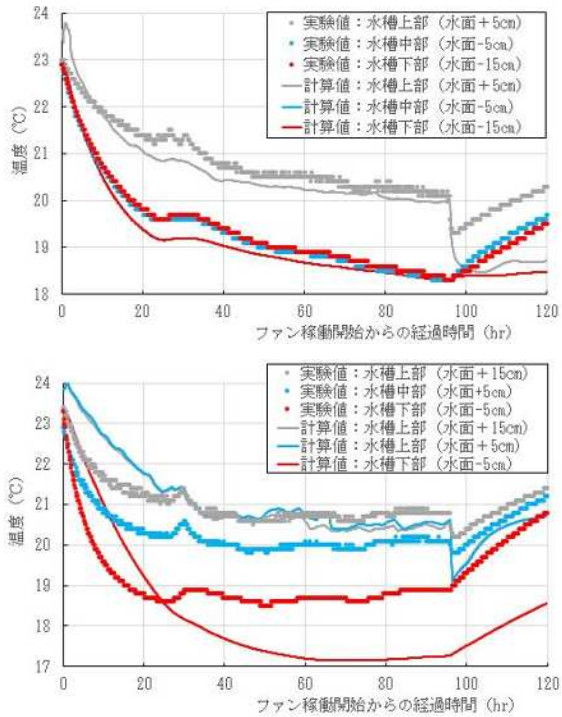


図４　室内模型実験の再現計算結果
（上：ケース１，下：ケース２）

参考文献

1) 冨樫ほか(2018)：大谷石採掘跡地内貯留水の冷熱利用に関する研究（１）貯留水温の季節変動，日本地熱学会平成 30 年学術講演会講演要旨集，p69.
2) 冨樫ほか(2019)：大谷石採掘跡地貯留水の低温化メカニズムに関する一考察，日本応用地質学会東北支部第 26 回研究発表会講演集，pp5-6.

地下空間貯留水の低温状態の保持・促進技術開発に向けた実証実験

霜山竣（福島大学），冨樫聡（産総研），佐藤大地（宇都宮市），
益子暁弐，（クラフトワーク），藤原盛光（川崎地質），柴崎直明（福島大学）

１．背景と目的

宇都宮市大谷町には，約 200 か所の大谷石採掘跡地が地下空間として地域全体に散在している。一部の地下空間に貯留する水の温度は，年間を通して 10℃未満であることが近年の調査で明らかとなった [1)]。現在，宇都宮市や地元企業等が主導して，地域特有の冷熱資源である低温貯留水を利用した観光や農業等の新規事業が進められている。

冨樫ほか（2018）は，冬季に冷たく乾いた外気が地下空間に流入することで，空気と水の熱交換（顕熱）と水の気化熱（潜熱）の両プロセスが熱を奪い貯留水が冷却されたと推測した [1)]。つまり，貯留水の低温化は，地下空間内に通気部が存在することが必要条件となる。しかしながら，採石業の衰退に伴い地下空間内の貯留水をポンプアップする業者が減少したことで，貯留水位は年々上昇傾向にあり，近年は通気部が無い満水状態の地下空間が増加している。満水状態の地下空間では，低温の外気が流入しないばかりか，地殻熱流量や地表からの太陽エネルギー，降雨浸入等が原因となり，貯留水の温度も年々上昇する傾向が確認されている [2)]。将来にわたり，地下空間貯留水を冷熱源として持続的に利用するためには，人為的に貯留水の低温状態を保持・促進できることが望ましい。そこで，本研究では蒸発潜熱を利用して貯留水の低温状態を保持･促進する実証実験を実施した。

２．実験サイトの概要

実証実験を実施したサイトは底盤が深度約 50m に位置し，底面積約 16 万 m^2，高さ約 10m の巨大な地下空間である。この地下空間は満水状態（水位：G.L.-6～-7m）であり，外気と接している場所が立坑(開口部面積は約 150m^2)のみとなっている。実験サイトにおいて，2020 年 2 月から 7 月まで立坑内の温度を深度 2m 間隔で観測したところ，立抗内の貯留水の温度は 2 月上旬から 5 月中旬まですべての深度で約 9.5℃であったが，5 月下旬から外気の温度上昇に伴い貯留水浅層部で上昇を始め，7 月上旬では G.L.-8～-14m が約 17.4℃，G.L.-16～-50m が約 9.5℃となった（**図 1** 参照）。本研究の実証実験は，これまでに 2 度実施した。2020 年 3 月に実施した実験（3 月実験：3 月 23 日 12 時～3 月 26 日 10 時）は，貯留水の低温状態の促進を目的とした。また，2020 年 6 月に実施した実験（6 月実験：6 月 18 日 12 時～6 月 25 日 12 時）は，貯留水の温度上昇を抑制させ低温状態の保持を目指したものである。

３．実証実験の概要

実証実験の模式図を**図 2** に示す。実験では，最大風量 28m^3/min の送風機（プロペラ径 250mm)を使用し，貯留水面までダクト(φ200m)を伸ばして貯留水面と平行に外気を送風した。

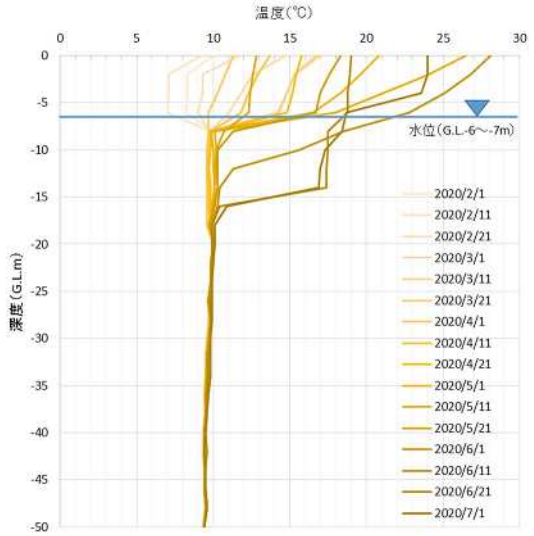


図 1　実験サイトの温度プロファイル

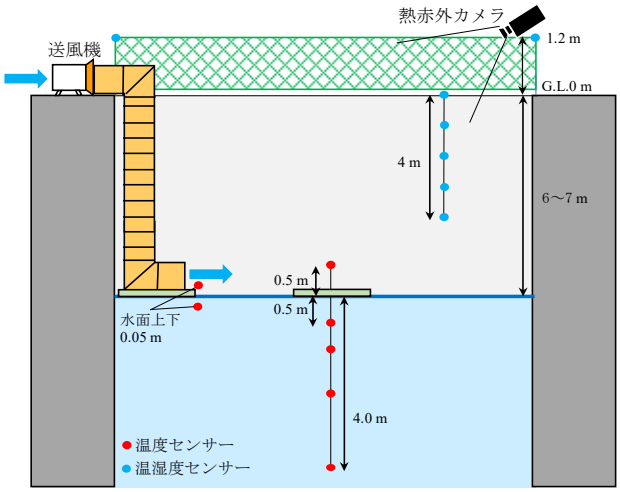


図 2　実証実験の模式図

観測項目は，サーモカメラによる貯留水面の温度分布，外気の温湿度（2 地点），G.L.0～-4m までの地下空間内温湿度(1m 間隔,4 地点)，水面上部 0.5m と水面下部 0.5m, 1.0m, 2.0m, 4.0m の温度，送風口から 0.1m 先の水面上下 0.05m の温度を観測した。

３．結果及び考察

図 3 および**図 4** に，3 月実験と 6 月実験の実験結果を示す。

3 月実験時の外気温は-2～17℃であり，水面上 0.05m の空気温度とほぼ同程度であるため，製作した実験装置によって外気が地下空間内へ流入したと推測できる。また，外気と地下空間の湿度は共に約 20～90％で変動しており，両者はよく似た挙動を示した。これは，外気温が地下空間内温度よりも低く密度が大きいため，送風に関係なく外気が地下空間に流入したことに因ると考えられる。実証実験中に貯留水面付近の温度をサーモカメラで観測したところ，送風外気と接した水面周辺の温度の低下が確認できた（最大 1.0℃の低下)。しかしながら，貯留水面下 0.05m, 0.5m の温度は約 9.5℃のまま変化が見られなかった。これは，貯留水面に対して送風の当たる面積や送風量が小さいためと考えられる。

6 月実験中にサーモカメラで貯留水面温度を観測した結果，3 月実験時に見られた送風による温度低下は確認できなかった。これは，地下空間の湿度がほぼ 100％で一定であり（外気の湿度は約 50～100％)，地下空間に外気を送風しても蒸発が促進されなかったためと考えられる。さらに，貯留水より外気の温度が高いため，顕熱により貯留水温が上昇する可能性もある。したがって，送風による貯留水の低温状態保持・促進は，気温と湿度が低い冬季に実施する必要性が明らかとなった。

４．まとめ

3 月に実施した実証実験において，顕熱と潜熱の両プロセスを人為的に発生させて，貯留水の低温化を促進できた。今後は，気温および湿度が最も低い 1 月，2 月に実証実験を行い，顕熱と潜熱の両プロセスによる低温促進の効果を向上させると共に，送風量および送風面積を増やす等の改善を図って，実用的な低温化技術の開発をすすめる。

また，送風時の貯留水の低温化現象を数値解析を用いて再現し，蒸発による貯留水の低温状態の促進条件の把握を目指す。

参考文献

1) 冨樫ほか(2018)：大谷石採掘跡地内貯留水の冷熱利用に関する研究（１）貯留水温の季節変動，日本地熱学会平成 30 年学術講演会講演要旨集，p69.

2)五十石ほか (2017)：大谷地域における採石場内の自然地下温度の推定，日本地熱学会平成 29 年学術講演会講演要旨集，P17.

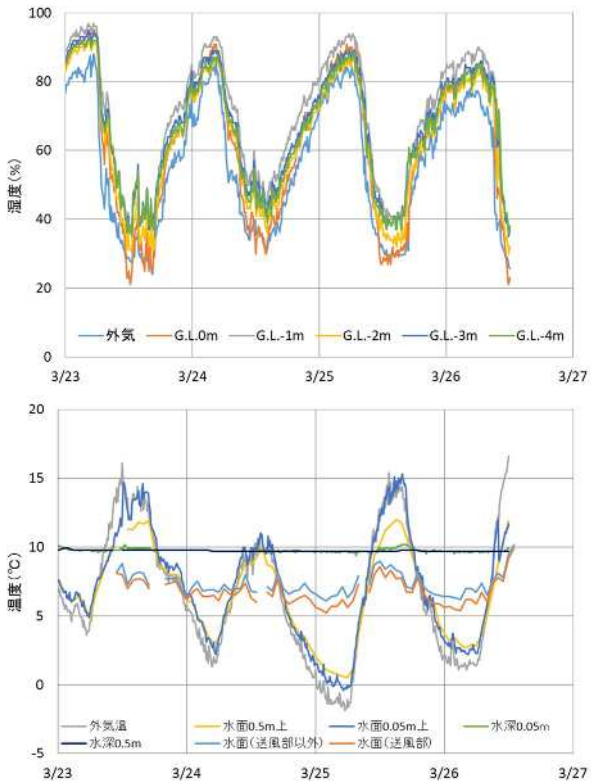


図３　2020 年 3 月の実証実験結果

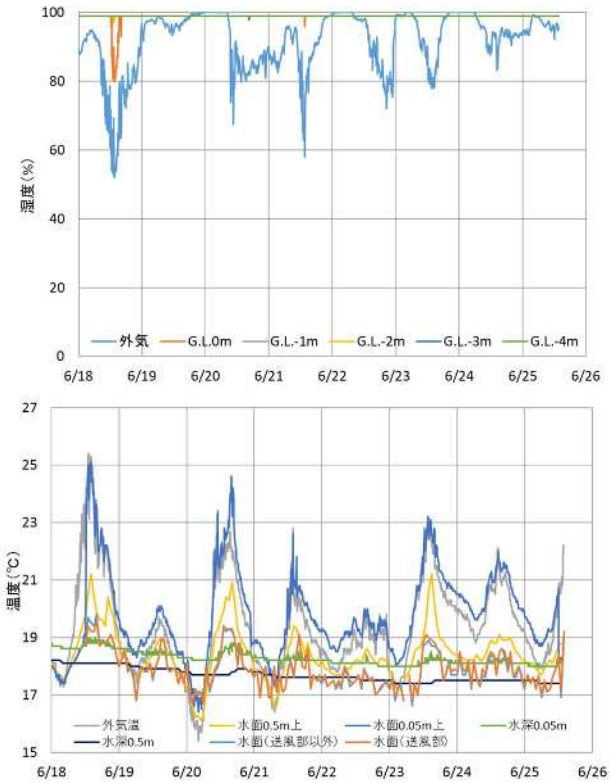


図４　2020 年 6 月の実証実験結果

川崎・白石図幅主要部分と仙台・岩沼図幅西部相当地域の、50 年間の独自調査による、2.5 万地質図と説明書（電子版のみ）

カワオソ分子生命地質研究所　　遅沢壮一

Hanzawa et al.（1953；筆者の生まれる１年前;東北大学理科報告)のカラー地質図の範囲を西方に拡大した地域に相当する。仙台市、川崎町、蔵王町、村田町、大河原町、柴田町、岩沼市、名取市を含む地域である。Hanzawa et al.（1953)の仙台図幅以外の改定版。吉岡図幅地域はバイト経験あり。

主要成果は以下の通りである。

白沢カルデラ充填堆積物は白色の軽石凝灰岩主体の梨野層である。湖成の白沢層を図示するのは難しく一括した。梨野層基底に乱雑堆積物を伴う場合がある。

梨野層の上位に暗緑色～赤色凝灰岩や溶岩の三滝層が乗る。

梨野層の下位に、暗緑色凝灰岩の本砂子層(新称）を認定した。塩基性凝灰岩の給源はカルデラ縁辺外輪山の亀ヶ森などの岩頸である。本砂子層は軟体動物化石を含む茂庭層の外来岩塊や二次堆積物を伴う場合がある。以上は陸成層である。

白沢カルデラの西側には青根層などのグリーンタフである。下位は陸成の変質した流紋岩主体で、上位に（東側に）作並層の海成泥岩を伴う。

グリーンタフと白沢カルデラの境界は東落ちの正断層で、作並から青根温泉まで追跡できる。天野（1980）の作並断層は存在しない。

グリーンタフの西側には、白沢カルデラとは別の山寺カルデラがあり、陸成の穴戸沢層はグリーンタフと正断層で接する。なお、秋保大滝の溶結凝灰岩は本砂子層の一部。

白沢カルデラの東側境界も正断層である。梨野層の一部は、消失した正断層を超えて、名取川や広瀬川にも分布している。

暗緑色凝灰岩と溶岩の高館層は名取川以南に広く分布する。花崗岩にアバットする。陸成の暗緑色凝灰岩自体は本砂子層と類似している。

高館層の下位に、花崗岩縁辺ではアルコース砂岩である槻木層がある。石英を含まない軽石凝灰岩の鍵層は実は２枚ある。

村田逆断層の上盤は高館層であるが、断層と高館層は遠刈田温泉まで追跡できる。村田断層は長大な断層である。円田には追跡されない。

村田断層の上盤・下盤には高館層の主要分布地から連続して高館層が分布している。遠刈田の大鳥谷山の採石場では、青根層のように白色に変質している。

村田断層東部で、上盤の高館層は茂庭層に覆われる。

村田断層の上盤・下盤の高館層や茂庭層の上位には、白色の軽石凝灰岩主体の平沢層（新称）が乗っている。

村田ダムの平沢層から 3.8Ma の U-Pb 年代を得ていて、6M 程度のフィッショントラック年代（藤原ほか、2013）が得られている梨野層とは区別すべきである。Hanzawa et al.（1953)が白沢層と一括しているように、岩相上の区別は難しい。

平沢層はカルデラを成さない。平沢層は高舘層と正断層関係になく（この点で梨野層と区別した)、また覆われる高舘層の分布もランダムである。円田の珪藻土（実際は固結岩）は平沢層凝灰岩の上部層でカルデラの湖成層と見なし得るが、基盤の高館層の大きな岩塊と接している。

平沢層の下位に海成層が低地に見ら、高地の茂庭層と区別できる。両者の関係は、ここでも正断層でなく、整合である。このため、この海成層を竜の口層とした。桜内の谷には化石が見られ、岩相は竜の口層である。金ヶ瀬にもコキナとして化石が見られる。

岩沼-久之浜線東縁には、竜の口層と向山層が分布する。西縁の高舘層玄武岩を覆って含ピソライト白色凝灰岩が見られた（その後、消失；広瀬川凝灰岩)。

青葉断層（双葉断層の延長）は複数の採石場ができて、良い露頭が生じた。

青麻山の火砕堆積物（未固結）は平沢層の白色凝灰岩を不整合で覆うので、より新期の活動で、平沢層の火山活動と無関係である。基底付近に 15m の玄武岩質火砕堆積物を伴い、中央火口玄武岩の末端に当たる。この土石流は、松川を超えて、遠刈田温泉北方まで到達している。

愛島火山灰の給源の足立の軽石分布も示した。東方の愛島火山灰の分布も示した。

経緯
2020 年４月以降、38 日の野外調査を実施した。自家用車を用いた。梅雨入り雨天には、室内作業を実施、7/13 現在継続中。
フィールド要員としての？助手採用時以降数年は、北上巡検も含めて、すべての野外実習に参加した。前期、後期野外実習担当。その後、いわゆる土月実習担当（鍵層番号命名）。これらの成果も反映させた。
退官間近の、中川先生に東北農政局の仙南表層地質図を沢山頂きました。地層名だらけで錯綜しました。今回、地層名は統一し、シンプルで分かり易いことを心がけています。また、コンパイルでなく、独自調査により正確さを追求しました。
独自に、青葉断層、愛子断層、岩沼-久之浜線、梨野層の東縁正断層の調査と論文作成。
白沢カルデラ西縁正断層と山寺カルデラ東縁正断層の独自調査。実習は、実は、調査能力をむしろ退化させ、一人での調査が能力を進化させる。
川崎図幅を作りたいと地調に運動したところ、需要がないと断られました。八甲田図幅のように、空中写真だけで、恐らく現地調査無しの、天野さん曰くの、いんちきマップもあるのですが。20 万沖縄も物まねで、ブルービーチの（金網が破れていて入れます）間違いをそのまま踏襲している。
名護・やんばるの地質の作成経験が活きてます。

時間と自腹経費と体力を要しました。3K もご勘案のうえ（最低賃金もご考慮）、ご購入のお問い合わせは、下記へお願いします。なお、納入には AirDrop などが必要になるかも知れません。
kawaoso@icloud.com

kawaoso の由来
秋保長袋の東端の、名取川支流の獺沢川の橋に獺沢（おそざわ）集落があります。たまに野菜売ってるヘアピンカーブの崖下です。対馬でカワウソが見つかったとき、河北春秋に出てました。獺沢とは縁もゆかりもありませんが、白沢層の成層した酸性凝灰岩が出ています。マッピング出来ないと書きましたが、境野までは続きます(下位に白い軽石凝灰岩;熊ヶ根や大倉ダムでは、下位層は本砂子層)。ちなみに、長袋の西端は大槻集落。梨野層やグリーンタフ流紋岩の内部構造は連続性の無い陸成層や溶岩ドームでは分かりません。初年度の実習では徒労でしたが、これも活かされています。
カワウソとオソザワを合体させました。
売り上げ無し予想の自営業です。税務署には、一応、開業届け出しました。
とはいえ、他に希望ないので、今回は皮算用したいところです。

熊本地震によってみえてきた活断層評価の課題

東北大学災害科学国際研究所　　遠田　晋次

1.はじめに

平成 28 年 4 月 16 日熊本地震（M7.3）は熊本県益城町,西原村で震度 7 を記録するなど,甚大の被害をもたらした．この地震は，地震調査研究推進本部（地震本部）による約 100 の主要活断層帯の 1 つで発生した地震である．

同地震では，甲佐町・御船町・益城町・西原村・南阿蘇村にかけて，北北東から北東に延びる長さ約 30km の地表地震断層（以下，地震断層）が出現した（図 1，熊原ほか，2016）．これらは，布田川断層帯布田川断層だけではなく，日奈久断層帯高野―白旗区間の北部に概ね沿って分布し,1.0-2.5m程度の右横ずれ変位を伴った（図 2）．

以下では，地震後 4 年間の調査によってみえてきた活断層評価の課題について総括する．

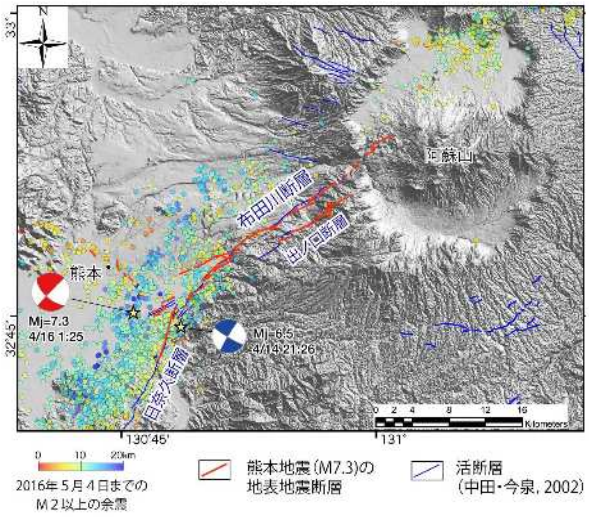


図 1.2016 年熊本地震の地表地震断層の分布（熊原ほか，2016）．

2.活断層から発生する地震の規模

布田川断層帯は，阿蘇外輪山の西側斜面から宇土半島の先端まで延びる長さ 64km の活断層帯で，東から布田川区間，宇土区間，宇土半島北岸区間の３つの活動区間（セグメント）に分けられた（図 2）．一方，日奈久断層帯は益城町から八代市を経て八代海南部に抜ける約 80km の活断層帯とされ，高野-白旗区間，日奈久区間，八代海区間の３つに分けられた．それぞれ各区間が単独に活動すると，図 2 のような規模の地震が発生すると予測された．結果として，熊本地震は日奈久断層帯北端の動きをともない，阿蘇カルデラ内にも 5km 程伸び，布田川区間単独の M7 よりも大きく強震動域も予測よりも広くなった．連続性を考慮したセグメント区分どおりに地震時破壊が生じないことを思い知らされた．

活断層帯から発生する地震については，M と地震頻度にはトレードオフの関係があり，Mが小さくなると地震モーメント分割放出となり，地震頻度，すなわち発生確率の上昇が起こる．最大Mを予測することが必ずしも適切とは限らないこともわかる．

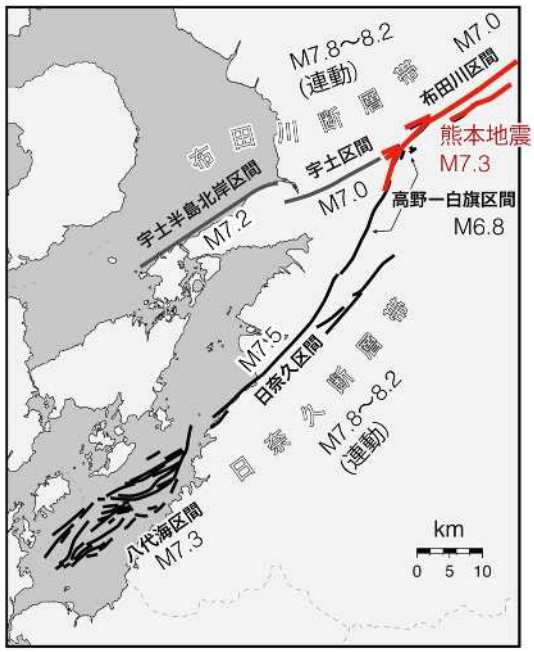


図 2.地震調査研究推進本部による布田川断層帯，日奈久断層帯の分布およびセグメンテーション区分（地震調査研究推進本部,2013）．

3.活断層沿いの強震動・変位ハザード

今回の熊本地震の強震動分布と地震断層との関係については国総研・建築研（2016）などに詳しい．活断層に近い地域ほど家屋倒壊率，最大加速度・最大速度とも大きくなる傾向はあるが，表層地盤の影響も重なって地域性が表れ，必ずしも活断層ごく近傍で強震動が発生しているわけではない．

一方で，断層変位ハザードという観点からは，今回の熊本地震ではダムや橋梁，送電鉄塔，大学校舎など比較的大規模な構造物への被害が多数確認された．

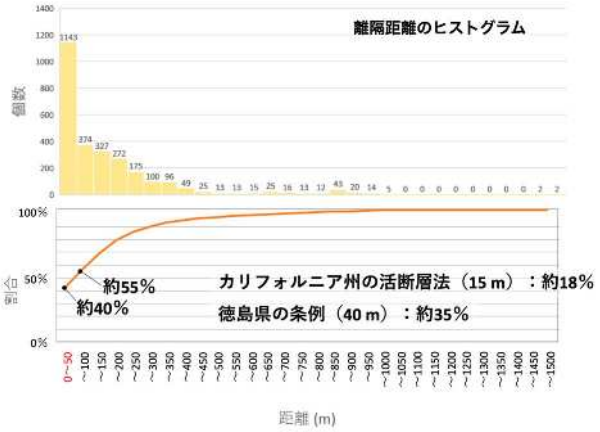


図 3.熊本地震における既知の活断層と地表地震断層の離隔距離のヒストグラム（今野・遠田，2017）.

問題は，このような地震断層の出現が予めどの程度予測可能かであろう．今野・遠田（2017）は，地震断層の半数以上が，活断層から 50m 以上離れて出現したことを明らかにした（図 3）．カリフォルニア州の活断層法（15m 幅）や徳島県での条例（40m 幅）を上回り，構造物の重要度に応じて回避幅を検討する必要性を示唆する．

断層変位に関しては，干渉 SAR 解析などによって，主断層帯以外にも 200 個所以上で小変位が検出された（Fujiwara et al.，2016）．熊本地震の静的応力変化や地震動によって誘発されたと考えられる．活断層とされていたものも多数含まれ、すべての活断層が必ずしも個別に大地震を起こさず，受動的に変位することもわかった．このことから，活断層は必ずしも独自の大地震を起こすわけではなく受動的に変位するものもある．地震動を生成させる活断層の総数は減るが，小規模ながら頻繁に地表変位を繰り返すという意味では断層変位ハザードは上昇する(遠田･石村,2019).

4．活断層から発生する大地震の発生確率

熊本地震発生前には,布田川断層の平均活動間隔は 8,100～26,000 年，最後の活動が約 6,900 年前～2,200 年前で，30 年確率が「ほぼ 0 ～0.9%」とされていた．

しかし､地震発生後の約 2 年間に各種機関が実施した調査結果をみると，布田川断層の活動間隔は 2,000～4,000 年程度で､地震前の評価よりも活動度は顕著に高くなる（図 4）．平均変位速度などの信頼できる情報がない場合，数少ないトレンチ調査による評価では，活動間隔を過大評価（確率値を過小評価）する危険性がある．調査が不十分な活断層では不確実性を加味した総合的な評価が求められよう．

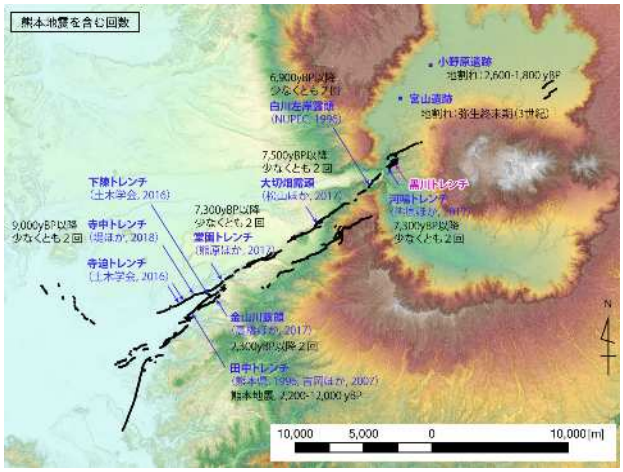


図 4.熊本地震の地表地震断層沿いのトレンチ調査結果のまとめ(遠田ほか(2019)を改変).

5.文献

1) 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, 160, 2016.

2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会，2013,布田川断層帯･日奈久断層帯の評価(一部改訂)，https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/93_futagawa_hinagu_2.pdf.

3)国土技術政策総合研究所･建築研究所(2016)平成 28 年熊本地震建築物被害調査報告（速報)，http://www.nilim.go.jp/lab/hbg/0929/pdf/isshiki.pdf.

4) 今野明咲香・遠田晋次，2017，2016 年熊本地震で出現した地表地震断層と活断層の離隔距離の定量的検討，日本活断層学会 2017 年度秋季学術大会要旨.

5) 熊原 康博ほか（2016）：2016 年熊本地震に伴う地表地震断層の分布とその特徴，日本地球惑星科学連合大会 2016 年大会講演要.

6) 遠田晋次・石村大輔（2019）熊本地震など内陸大地震で見いだされた誘発性地表地震断層と短い活断層の評価，第四紀研究，58，121-136.

7) 遠田晋次ほか(2019)熊本地震地表地震断層の阿蘇カルデラ内の完新世活動履歴―南阿蘇村黒川地区トレンチ調査―，活断層研究，51，13-25.

2019 年台風 19 号豪雨に伴う宮城県丸森地区の災害と教訓

国際航業（株）　　高見　智之

1．はじめに

2019 年台風 19 号に伴う豪雨は宮城県南部の丸森地区に甚大な災害を引き起こした．斜面崩壊・土石流・洪水氾濫による災害が集中し，人家や農地・道路・鉄道が被災した．当学会災害調査団丸森班として，2019 年 11 月～12 月に数次の現地調査を行った結果をもとに，災害発生の地形地質的特徴とその教訓について考察した．

２．災害の概要と地形地質的特徴

2019 年台風 19 号に伴い，丸森町では 10 月 11 日 15 時から 13 日 9 時までの総雨量は丸森町筆甫で 594.5 ㎜，最大 1 時間雨量 80.5 ㎜，最大 3 時間雨量で 211.5 ㎜を記録した [1]．

丸森地区の山地部では斜面崩壊・土石流が多数発生 [2]したが，その分布は特定の地区に密集している傾向がみられる（図 1）．廻倉地区や塩ノ貝地区，石倉前地区などのほか，畑川破砕帯東側の五福谷川中流域などに集中して斜面崩壊・土石流が発生している．

丸森地区では花崗岩地帯特有の厚い風化帯に起因して，傾斜 30 度前後から 40 度以下の斜面での崩壊発生が多い．斜面崩壊・土石流の発生頻度は，花崗岩類の岩相や亀裂系（節理系や断層）に規制され，これに起因する地形（斜面傾斜や起伏量）が大きく関与していると考えられる．特に，畑川破砕帯の東側にある崩壊密集帯（図 1）は，片状花崗閃緑岩（写真 1）の亀裂の発達とゼノリスの含有により不均質な風化帯が形成され，その岩相・岩質に伴って斜面傾斜が比較的急である．

被災した廻倉地区の崩壊密集部は，傾斜 30 度前後の比較的急斜面部で発生していて，山火事跡の幼齢林での発生が多い．風化帯にコアストーンが多く含まれる地域ではコアストーンを含めた表層が滑落し，斜面下方に巨礫を含んだ堆積物が分布する場合はこれを侵食し巻き込んで土石流化して長距離流動して人家や農地のある緩斜面に堆積した（写真 2）．

比較的浅い表層崩壊の場合はコアストーンを含まず，表流水とともにマサを主体とした礫の少ない土砂流が生じた．

キャップロック状に花崗岩を覆う玄武岩類（霊山層など）の境界を起点とする斜面崩壊も見られたが数は少なく，花崗岩分布地内での発生がほとんどである．玄武岩類分布地においても小規模な斜面崩壊や地すべりが発生していて，強風化による粘土化した風化層の比較的深いすべりが生じている．

また，流域内で斜面崩壊・土石流が多発した五福谷川では，中流域の河床勾配の急な区間や水衝部で河岸斜面や道路盛土を侵食・運搬し，下流側低地部では氾濫河川水とともに土砂が大量に氾濫・堆積し，人家や農地を埋没させた（写真 3）．

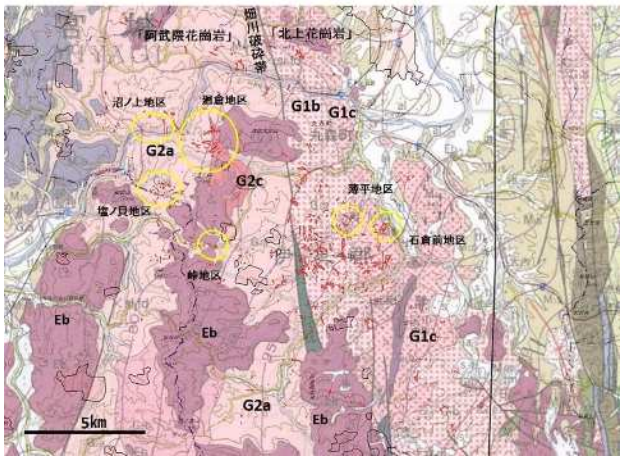


図 1　地質概要図と崩壊土石流分布 [2),3)]

写真 1　片状花崗閃緑岩の露頭

写真 2　廻倉地区の土石流災害

写真 3　五福谷川下流の土砂氾濫

３．災害事例とハザードマップ

丸森地区では土砂災害警戒区域や防災マップが公表されている．地区内のいくつかの被災事例をこれらのハザードマップと比較した．その結果，斜面崩壊や土石流の発生場所や形態，規模などの想定に課題がある事例があった．

(1)被災範囲が妥当と思われる事例

石倉前地区の土石流災害は，土砂災害警戒区域[4]内に概ね収まっていた（図 2）．

図 2　警戒区域と土石流被災実績例

(2)被災箇所がノーマークの事例

崩壊・土石流が集中して人家の被災が生じた廻倉地区は防災マップ[5]では抽出されていなかった（図 3）．

図 3　廻倉付近の土砂災害防災マップ[5]

(3)発生個所が異なるが区域内被災事例

沼ノ上地区で斜面崩壊によって被災した事例では，崩壊発生斜面は抽出されていなかったが警戒区域[4]に一部かかり，隣接渓流からの土石流警戒区域にもかかっていた（図 4）．

図 4　警戒区域と崩壊被災実績事例

(4)災害形態が予測されないケース

五福谷川の下流では，上流からの土砂が低地部に氾濫して人家や農地を数 m の高さで埋没させた．丸森町の防災マップマップ[5]では浸水実績のみの記載であった（図 5）．

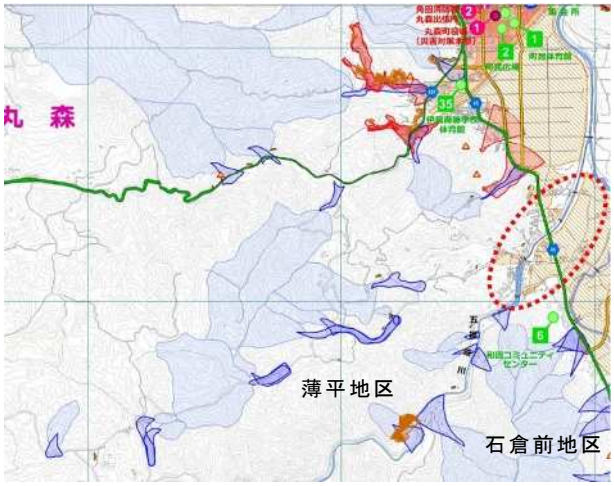


図 5　五福谷川下流の防災マップ[5]

４．まとめと教訓

丸森地区では花崗岩分布地特有の風化帯に伴う崩壊，土石流，土砂氾濫が生じた．崩壊・土石流の発生頻度は花崗岩の岩相と地形によって異なる．土砂災害警戒区域図などのハザードマップは的確な設定個所もあったが，未抽出の被災箇所もあった．今後は災害実績から地形地質条件を抽出して災害発生の場所，範囲，形態，規模などをより的確に予測することが重要と考えられる．

文献

1）仙台管区気象台(2019)：宮城県災害時気象資料　令和元年台風第 19 号による大雨と暴風・高波，気象庁ホームページ．
2）国土地理院（2019）：斜面崩壊・堆積分布図，国土地理院ホームページ．
3）久保和也・柳沢幸夫・山元孝広・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久（2003）：20 万分の 1 地質図幅「福島」，地質調査総合センター．
4）宮城県（2020）：土砂災害警戒区域等指定箇所，宮城県ホームページ．
5）丸森町（2016）：丸森町防災マップ，丸森町ホームページ．

宮城県丸森町の道路被災と地形地質の関係

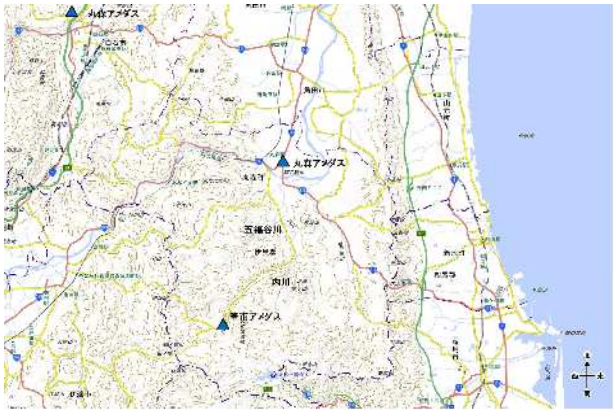
株式会社復建技術コンサルタント　村上　智昭

1. はじめに

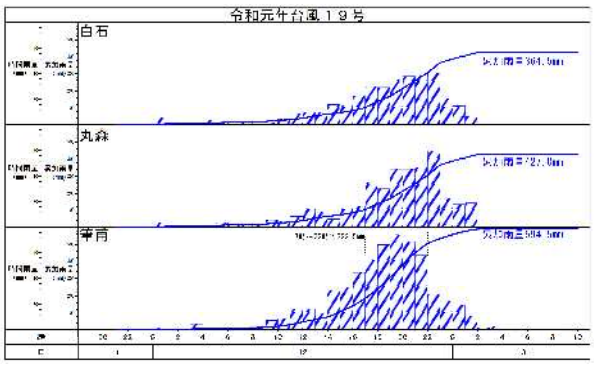
令和元年台風 19 号の豪雨によって,宮城県丸森町では河川氾濫や土砂の流出による道路災害が多数発生した．特に河川と平行して山間部を通る五福谷川や内川沿いの道路で被害が集中している．ここでは道路の被災形態と地形地質条件の関連性について報告し，山間部道路の防災について提言を行う．

2. 降雨状況

10/11~10/13 の降り始めからのアメダスでの観測雨量は筆甫で 594.5mm，丸森で 427.0mm，白石で 364.5mm をそれぞれ観測している．特に筆甫では 10/1217:00～22:00 の 5 時間で 322.5mm の集中豪雨を観測しており，今回の台風が短時間に多量の雨を降らせたことが分かる．また，筆甫は道路被害が多発した五福谷川と内川の集水域となっており河川への多量の雨を供給した．



図－ 1　アメダス位置図

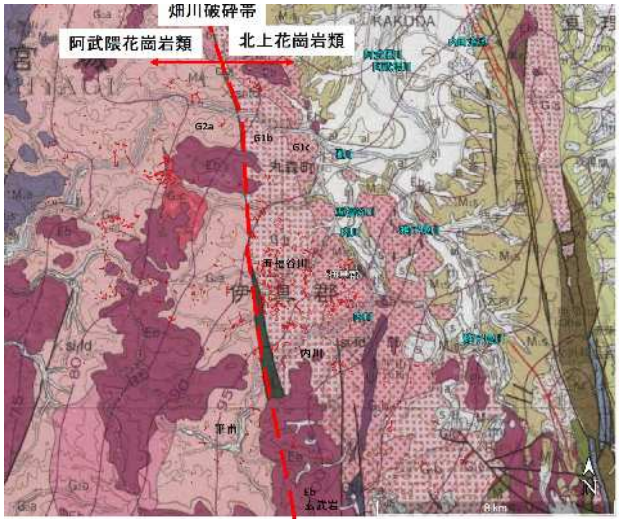


図－ 2　台風 19 号における降水量グラフ [1)]

3. 地形地質概要

五福谷川，内川は丸森町中心街より南側，福島県境を源とし，山間部の渓流は南西－北東方向に流下しており，河床と山頂の比高は 100～200m 程度である．

花崗岩類を南北に分断する畑川破砕帯は圧砕岩や破砕された結晶片岩を伴う泥質変成岩を主体としている．畑川破砕帯より西側は阿武隈花崗岩類で深部までマサ化している部分やタマネギ状風化が確認できる．対して東側は北上花崗岩類に分類され，亀裂面に沿った分離や風化が顕著であり花崗岩中に泥質片岩の捕獲岩や暗灰色包有物の岩脈を含んでいる．



図－ 3 丸森地区の地質図に崩壊箇所を加筆 [2)]

4. 道路施設被災の特徴

道路施設被災の多くは道路法下擁壁崩壊が多く，山側沢から土砂流出や斜面崩壊も確認されている．流域ごとの崩壊状況についてまとめる．

4.1 河川沿いの擁壁被災

内川沿いの道路擁壁は過去の道路拡幅で河川側に張り出しているため，壁高が 10m を超えるものが存在している．被災メカニズムを**図-3** にまとめる．台風 19 号では越水していないものの擁壁基礎が洗堀を受け裏込砕石や埋戻し材を吸い出しているため擁壁背面に空洞化が発生している．さらに道路を横断する排水管が存在する箇所では，排水管から漏水が発生し背面の盛土材まで洗掘した区間が長

いため，壁体の倒壊に至っている．これらの擁壁は所定の根入れは確保しているものの砂礫基礎であり，河川の経年的な浸食により河床が低下したために根入れが不足した可能性がある．崩壊した背面には拡幅前の擁壁が確認でき，河床より上部の花崗岩に支持させているものと想定される．

写真-1　道路拡幅擁壁の倒壊

また，五福谷川沿いでは斜面に畑川破砕帯の泥質片岩に高角度の亀裂が発達しており，攻撃斜面となっている部分で泥質片岩が剥離し基礎部が洗掘され擁壁が崩壊している．

写真-2　泥質片岩の基礎洗掘

5.　道路擁壁崩壊と地形地質の関係

道路擁壁被害の多くは河川の水衝部であり，道路線形改良で谷川に拡幅した箇所である．河床に亀裂が発達した花崗岩，もしくは花崗岩類を薄く覆う砂礫を基礎地盤とした擁壁被害が多い．花崗岩は硬質で浸食抵抗が大きいため，必要な根入れを確保していたとしても河川勾配が急で流速が大きいため，浸食により埋戻し材が流失し擁壁倒壊に至っている．

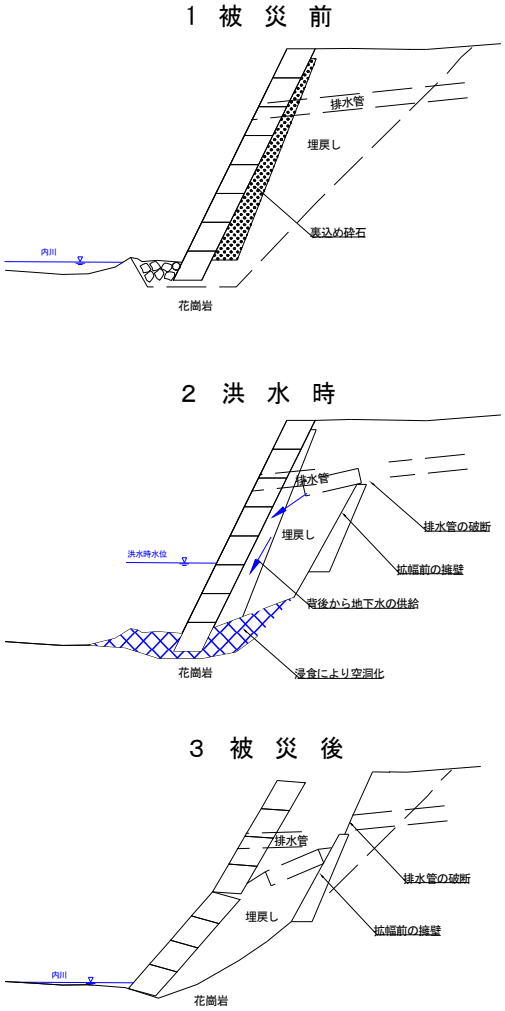


図- 3 大型擁壁崩壊メカニズム

6.　道路防災への提言

令和元年台風 19 号では，河川沿いの道路が被災し集落が孤立した．道路擁壁については，砂防ダムの整備と併せて河川浸食を減少させる必要があると考える．また，支持岩盤を選定する場合は浸食耐性についても評価すべきであるし，基礎浸食を重点項目として定期的な点検が必要である．

参考文献

1）気象庁，過去データ検索 https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/select/prefecture00,（参照 2020.3.30）
2）久保和也・柳沢幸夫・山元孝広・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久（2003）：20 万分の 1 地質図幅「福島」

一般社団法人日本応用地質学会　東北支部
第 27 回研究発表会講演集

令和 2 年 7 月 22 日発行

編 集　一般社団法人日本応用地質学会東北支部事務局

応用地質株式会社　東北事務所　内
仙台市宮城野区萩野町 3-21-2　TEL:022-237-0471

学会 E メール：tohoku@jseg.or.jp
ホームページ：http://www.jseg.or.jp/tohoku/