

第60回試錐研究会

講演資料集

- 開催日 令和4年(2022年)3月9日(水)
- 方法 Zoom ウェビナーによるオンライン配信
- 主催 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構
産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所
- 協賛 一般社団法人 北海道地質調査業協会
一般社団法人 全国さく井協会北海道支部
- 後援 一般社団法人 日本応用地質学会北海道支部
一般社団法人 資源・素材学会北海道支部
北海道地域産業技術連携推進会議

第 60 回試錐研究会プログラム

日 時 : 令和 4 年 3 月 9 日(水) 13:00~17:30

方 法 : Zoom ウェビナーによるオンライン配信(開場:12:30)

主 催 : 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所

協 賛 : 一般社団法人 北海道地質調査業協会 / 一般社団法人 全国さく井協会北海道支部

後 援 : 一般社団法人 日本応用地質学会北海道支部 / 一般社団法人 資源・素材学会北海道支部 /
北海道地域産業技術連携推進会議

■ 開会の挨拶(13:00 ~ 13:15)

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
エネルギー・環境・地質研究所
所長 及川 雅稔

■ 第 60 回記念講演「これまでの 10 年、これからの 10 年」(13:15 ~ 16:35)

13:15 ~ 14:00 地質調査業を取り巻く環境変化と今後の業の展開方向
ーこの 10 年間の動きに注目してー

応用地質株式会社
代表取締役社長 成田 賢

14:00 ~ 14:45 気候変動に伴う積雪寒冷地の斜面災害リスクに向けて

北海道大学大学院 工学研究院土木工学部門
自然災害適応分野 地盤環境解析学研究室
教授 石川 達也

----- 休憩 (14:45 ~ 15:05) -----

15:05 ~ 15:50 災害から学んだ地下水の有効性

株式会社アクアジオテクノ
代表取締役 石塚 学

15:50 ~ 16:35 地熱開発の世界動向・国内動向と JOGMEC の役割

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
特命審議役 安川 香澄

----- 休憩 (16:35 ~ 16:55) -----

■ 情報提供(16:55 ~ 17:20)

16:55 ~ 17:20 掘削技術専門学校の設立と教育計画

学校法人ジオパワー学園
理事 島田 邦明

■ 閉会の挨拶(17:20 ~ 17:30)

一般社団法人北海道地質調査業協会
理事長 千葉 新次

目次

■ 第60回記念講演

地質調査業を取り巻く環境変化と今後の業の展開方向 ーこの10年間の動きに注目してー	1
応用地質株式会社 代表取締役社長 成田 賢	

気候変動に伴う積雪寒冷地の斜面災害リスクに向けて	11
北海道大学大学院 工学研究院土木工学部門 自然災害適応分野 地盤環境解析学研究室 教授 石川 達也	

災害から学んだ地下水の有効性	27
株式会社アクアジオテクノ 代表取締役 石塚 学	

地熱開発の世界動向・国内動向とJOGMECの役割	47
独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 特命審議役 安川 香澄	

■ 情報提供

掘削技術専門学校の設立と教育計画	61
学校法人ジオパワー学園 理事 島田 邦明	

第60回記念講演

地質調査業を取巻く環境変化と今後の業の展開方向
－この10年間の動きに注目して－

応用地質株式会社
代表取締役社長 成田 賢



なりた まさる
成田 賢

応用地質株式会社
代表取締役社長

経歴

1979年 新潟大学大学院 理学研究科 地質鉱物学専攻 修了
1979年 応用地質調査事務所入社（現：応用地質株式会社）
四国事務所 配属 桐見ダム、山崎トンネル
1987年 東北支社
三春ダム、森吉山ダム、摺上川ダム、長井ダム、日向ダム
1997年 北関東事業部（のちに関東支社）
湯西川ダム、八ッ場ダム
2002年 執行役員 東北支社長
2005年 取締役専務執行役員 業務統轄本部長
2007年 取締役副社長
2009年 代表取締役社長（現職）

外部団体 委員委嘱 経歴

2008年 一般社団法人 日本応用地質学会 副会長
2010年 一般社団法人 日本応用地質学会 顧問（現職）
2011年 一般社団法人 全国地質調査業協会連合会 会長
2012年 一般社団法人 国際建設技術協会 理事
2021年 一般社団法人 全国地質調査業協会連合会 相談役（現職）

地質調査業を取巻く環境変化と 今後の業の展開方向

—この10年間の動きに注目して—

2022年3月9日

一般社団法人
全国地質調査業協会連合会
相談役 成田 賢

1. はじめに

成田 賢 (なりた まさる)

1953 11月15日生まれ 68歳 出身：秋田県
新潟大学大学院理学研究科地質鉱物学専攻 (修了)
大学・大学院・・・地質学 (グリーンタワー)
層位学・火山岩石学) を専攻。
1979 応用地質調査事務所入社 (現:応用地質(株))
——四国事務所配属 桐原ダム、山崎トンネル
フィールド・・・山梨県富士川中流域

応用地質(株)で長期経営計画
OYO2020に策定から関わる。
従来型ビジネスモデル (株式一部
上場した成功体験) を次世代型
に変える取り組みを継続。

- 1987 高知支店を経て、東北社入社転勤
——三春ダム、森吉山ダム、摺上川ダム、
長井ダム、日向ダム
- 1997 北関東事業部 (後の関東支社)へ転勤
湯西川ダム、八ッ場ダム
- 2002 東北社社長
- 2005 本社 業務統轄本部長
- 2007 副社長
- 2009 代表取締役社長(現職)
- 2011 全地連会長
- 2021 全地連会長退任 相談役就任



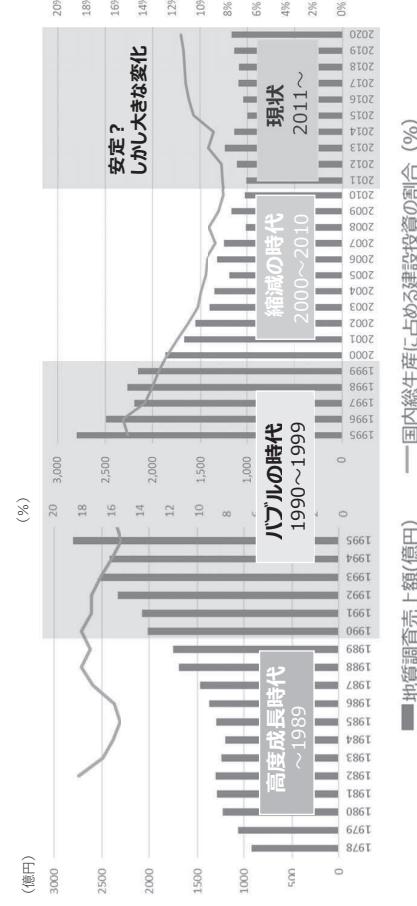
出典元：最上川ダム統括管理事務所

目次

- 1 はじめに
- 2 かつての地質調査業
- 3 現状の地質調査業
- 4 過去との違い
- 5 そして見えてくること
- 6 見えてくることへの対応策
- 7 次世代の地質調査業
- 8 今後のためにさらにやるべきこと
- 9 まとめ

2. かつての地質調査業 まず時代区分

地質調査売上高と国内総生産に占める建設投資の割合推移



出典元：一般社団法人 全国地質調査業協会連合会

2. かつての地質調査業 ～高度成長時代～

- 建設事業に地質調査が徐々に活用されるようになった時代
- 地質調査の実施が定着化。
- 土木技術者から大きな信頼を得て、しかも信頼が拡大した。
指名競争入札
- 発注サイドに**直営現場経験者**または、経験者から直接指導を受けた**技官**がおり、監理していた。
- 地表地質踏査が一般的に実施される。
- 物理探査・原位置試験・土質岩石試験等開発定着化
(定量化が進行)
- 標準貫入試験が一般化される。

高度成長時代
～1989

バブルの時代
1990～1999

縮減の時代
2000～2010

現状
2011～

5

2. かつての地質調査業 ～縮減の時代～

- **地質調査がコスト**と見られた時代 (効率的な調査、マニュアル化)
- **公共事業悪玉論が蔓延** (公共事業予算の縮減継続)
談合事件発生
地質調査業 (1995年をピークに2010年43%に縮減)
ISO認証の拡大。資格時代へ
そして、“コンクリートから人へ”で終わる時代
- 発注者側技官数の大幅減少継続
- 実績重視発注制度に変革(テクリス登録) 建コンの拡大
- 指名入札制度から公募型へ(価格競争時代)**市場調査価格導入**
- ボーリング調査と標準貫入試験 (2005年JIS)が地質調査と
言われるようになる
- 地質調査成果の管理には設計者 (コンサル) が多く関わるよう
なる (特に道路)
- **業務管理の厳密化** (業務評価点制度、表彰制度)

高度成長時代
～1989

バブルの時代
1990～1999

縮減の時代
2000～2010

現状
2011～

7

2. かつての地質調査業 ～バブルの時代～

- 地質調査事業が最大の時代 (成功したかに見えた時代)
- 1995年 阪神淡路大震災発生
(1993年バブル崩壊したが業界は1995年まで拡大)
- 発注サイドに直営現場経験者から指導を受けた**技官**が常駐
- 地質調査の規格化 (マニュアル化) の時代
- 更に地質調査量が増大。業界拡大。
- 会計検査院の活動が活発化
(地質調査結果の解釈まで審査)
- N値換算式の適用拡大
- 物理探査、原位置試験、室内試験の相対的減少
- 業務検査の厳密化
- 土壌汚染調査市場が成立 (環境視点が地盤にも)

高度成長時代
～1989

バブルの時代
1990～1999

縮減の時代
2000～2010

現状
2011～

6

3. 現状の地質調査業 ～現状～

- 災害・事故から地質調査の重要性が叫ばれる。
地質リスクが概ね定着・・・プロポーザル発注されるようになる
- 地盤情報の活用開始 (検定制度導入) 信頼へ
- i-Construction政策開始 (ICT, AI, IoTの導入)・・・真の電子化
- BIM/CIM化が始まる (i-Constructionの一つ) 三次元化
世界標準化が始まる。規格化・品質確保・検定機器・・・質の時代
- 新規建設市場の縮小。維持管理、防災・減災市場拡大
全体では、徐々に市場拡大
- 再生可能エネルギー市場発生 (洋上風力が急拡大) EU規格化?
- 総合評価方式の拡大
- 品確法で地質調査が明確化 (資源関連法以外で初めて言及)
災害時随意契約認める
- 最低価格制度で価格競争の激減

高度成長時代
～1989

バブルの時代
1990～1999

縮減の時代
2000～2010

現状
2011～

8

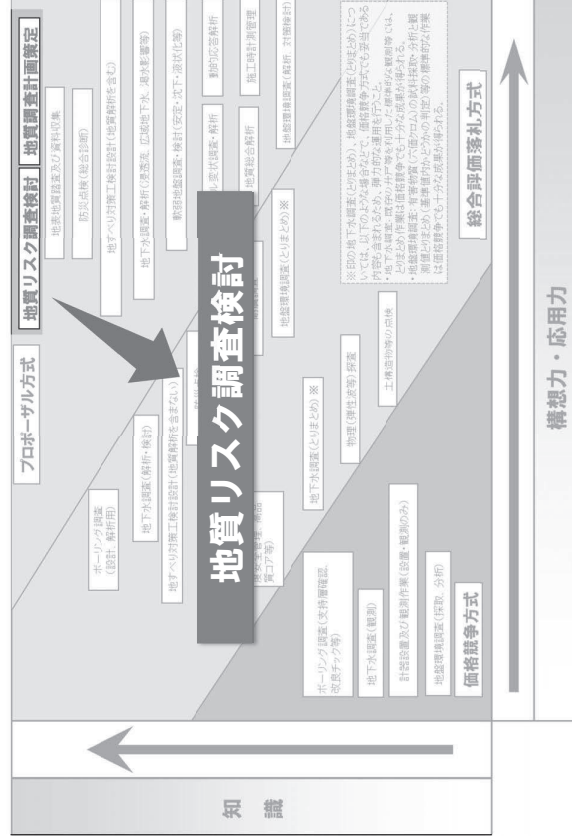
10年間の主な動き

西暦	和暦	主な出来事	災害等	主な全地連施策
2011	平成23年	民主党政権 F-1放料線放事故	3.11東日本大震災、新燃岳噴火 新潟・福島豪雨	
2012	平成24年	国交省CIM構想発表	九州豪雨（矢部川決壊）、 巻巻災害（茨城・栃木）	応用地形判読士資格試験開始
2013	平成25年	政権交代、アベノミクス開始、全地連50周年記念事業	伊豆大島豪雨発生	
2014	平成26年	国土強靱化法制定 全地連横浜市内計画調査受注	御岳山噴火 笹子トンネル崩落事故	地盤情報の電子納品ガイドブック発行 CIM対応ガイドブック—地質調査編—発行
2015	平成27年	北陸新幹線開業 技術者集団アップが開始。	平成27年関東・東北豪雨（鬼怒川） マンション支持床未達問題	地質リスク業務ガイドブック発行 ドライン改訂）地質リスクエンジニア資格開始
2016	平成28年	日本ってどんな国セミナー開催 、国土強靱化アクションプラン2016	熊本地震 北海道・東北台風上陸 博多駅前陥没事故	地質リスク調査業務委託ガイド発行 三次元地盤モデル作成の手法も発行 地質リスク検閲業務が近畿と北海道で発注 四者会賛成開始
2017	平成29年	「地下空間の利活用に関する安全技術の確立に関する小委員会」正式答申	九州北部豪雨 新燃岳噴火	岩を支持層とする杭基礎の調査法に関する委員会報告
2018	平成30年	改正品確法の中に品質確保のために地盤情報を活用することが明記	西日本豪雨（千鳥島暴風被害） 台風21号（関東豪水）	PR動画発信開始 調査方法映像提供開始
2019	令和元年	令和改元 国交省2023年CIM本格化発表	台風19号（東日本豪雨） 九州豪雨 台風15号（千葉県暴風被害）	
2020	令和2年	パンデミック発生 管内閣発足 2050年脱炭素宣言	令和2年7月豪雨（群馬川）	地質リスク調査後継業務発注手引き発行 新技術積算費率料発行
2021	令和3年	パンデミック継続 岸田内閣発足	熱海土石流災害	地質調査発展ビジョン発行

9

国交省ガイドラインによる発注方式

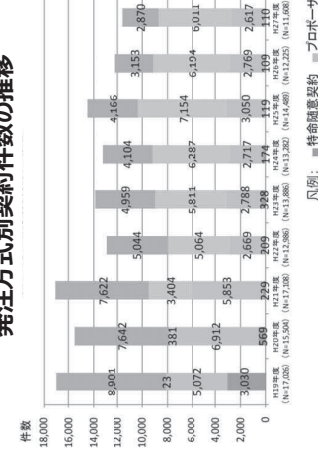
建設コンサルタント業務等におけるプロポーザル方式及び総合評価落札方式の運用ガイドライン（H27.11.24）



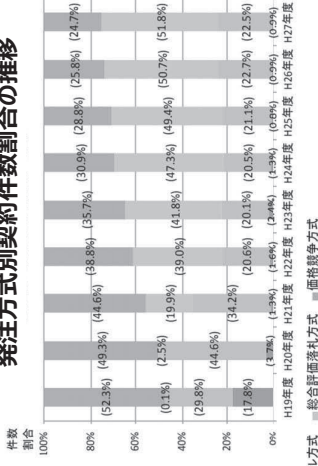
11

総合評価落札方式の推移

発注方式別契約件数の推移



発注方式別契約件数割合の推移

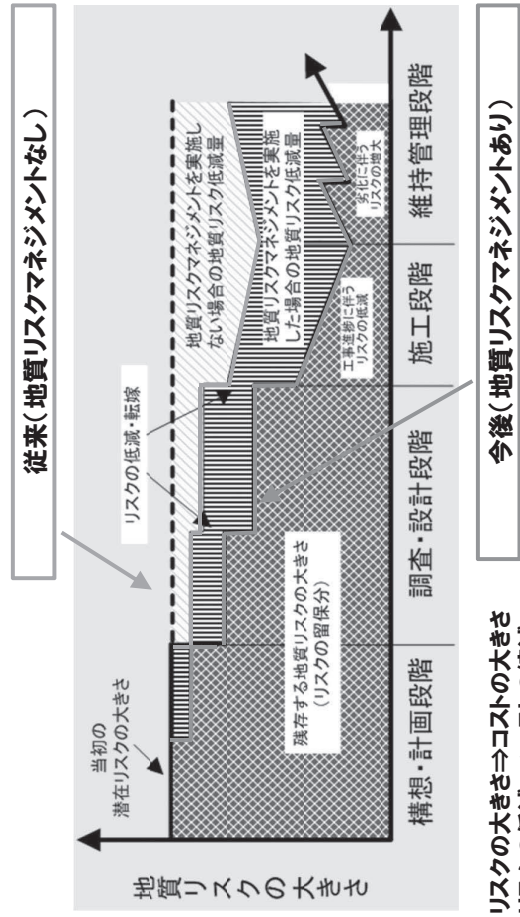


凡例： ■ 特命調査契約 ■ プロポーザル方式 ■ 総合評価落札方式 ■ 価格競争方式

総合評価落札方式の推移
(出典元：国土交通省)

10

地質リスクマネジメント概念図



リスクの大きさ⇒コストの大きさ
リスクの低減 ⇒コストの縮減

今後(地質リスクマネジメントあり)

12

共通仕様書の改定 (H30.3)

地質・土質調査業務共通仕様書 (案) 第118条 成果物の提出

5. 受注者は機械ボーリングで得られたボーリング柱状図、土質試験結果一覧表の成果について、別途定める検定に関する技術の有する第三者機関による**検定**を受けたうえで、発注者に提出するとともに、発注者が指定する**地盤情報データベース**に登録しなければならぬ。

土木工事共通仕様書 (案)

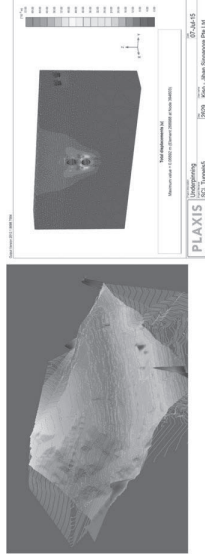
受注者は、設計図書において地質調査の実施が明示された場合、「地質・土質調査成果電子納品要領 (国土交通省)」に基づいて電子成果品を作成しなければならぬ。
 なお、受注者は、地質データ、試験結果等については、地質・土質調査業務共通仕様書 (案) (建設省技調発第92号平成3年3月30日) の**第118条 成果物の提出に基づいて地盤情報データベースに登録**しなければならぬ。

13

BIM/CIMと地質リスク

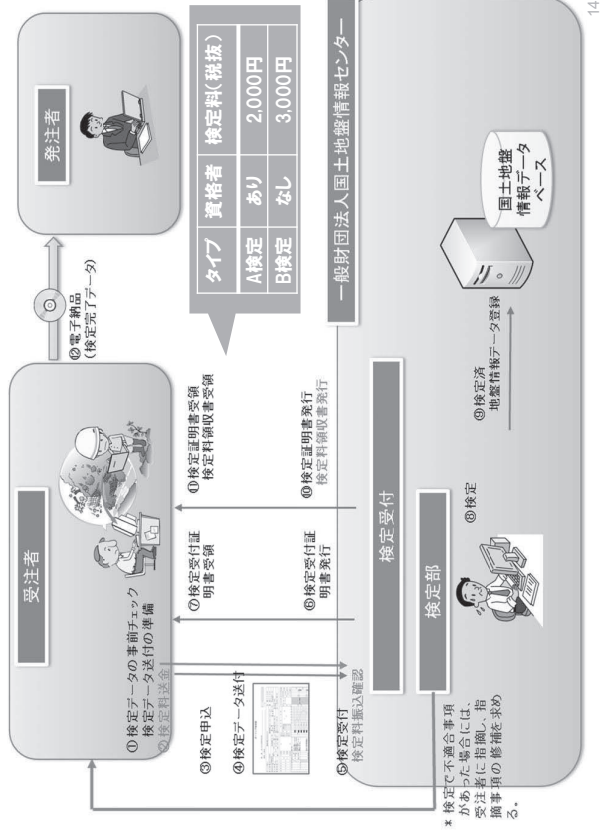
- FEM解析と同様、地質・地盤を知らなくとも解析ができてしまう
- 地域の地質、堆積環境に精通した地質技術者が関与しなければならぬ
- 一気通貫の3Dモデル活用と併せて、そのモデルに潜む地質リスクを何らかの方法で表現し共有化する必要がある

3DモデルからFEM解析まで行った例



15

地盤情報の検定



洋上風力調査

洋上風力地質調査

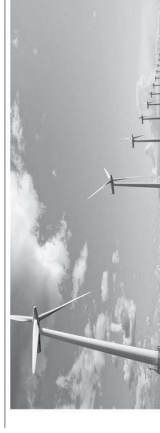
長期に渡る中規模波の繰り返し荷重、短期の大規模波の荷重における地盤反力の低減の仕方について
 →繰り返し単純せん断試験で地盤定数の低減率を検討

波力

地震力

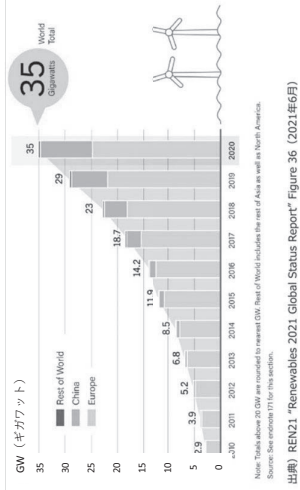
欧州よりも日本のほうが外力が大きき、日本のこれまでの設計法を踏襲

台風の時よりも上部工 (タワー、ブレード、ナセル) の設計および下部工 (基礎) の設計として、欧州よりも日本のほうが外力が大きき、欧州以上の設計が必要



16

洋上風力発電の世界の導入量及び地域別の内訳の推移 (REN21)



4. 過去との違い この10年で回帰 (質の異なる回帰)

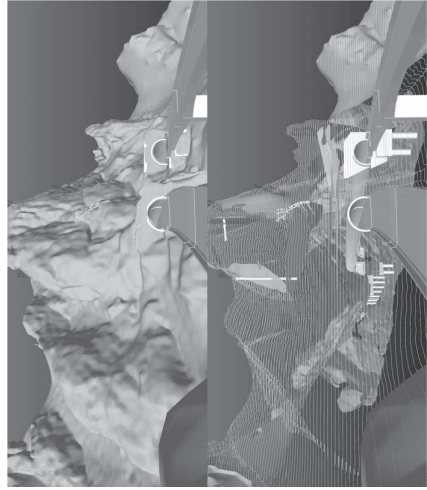
信頼の回復 見える化が変える地質調査業の変化

地質リスク対応と地盤情報の活用

二次元から三次元へ	(見える化・画像化) BIM/CIM対応
三次元物理探査	(資源市場で汎用化) (土木建築市場対応化……日本先行)
DB化	(オープン化・検定)
電子化	(調査結果が土木と直結。さらに管理まで) IoT, AIの活用。クラウドの利用
品質、検定	(トレーサビリティ、説明責任) 自動化…ボーリングコアの品質、試験機などの検定。 規格化国際競争。負けると海外勢の参入。
働き方改革	担い手確保と育成。

17

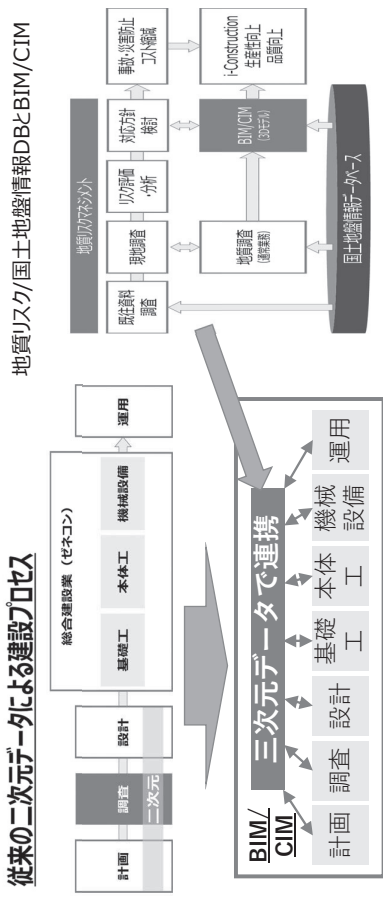
事例紹介



三次元BIM対応図アニメーション

19

三次元 (BIM/CIM)で変わる？ 建設業界

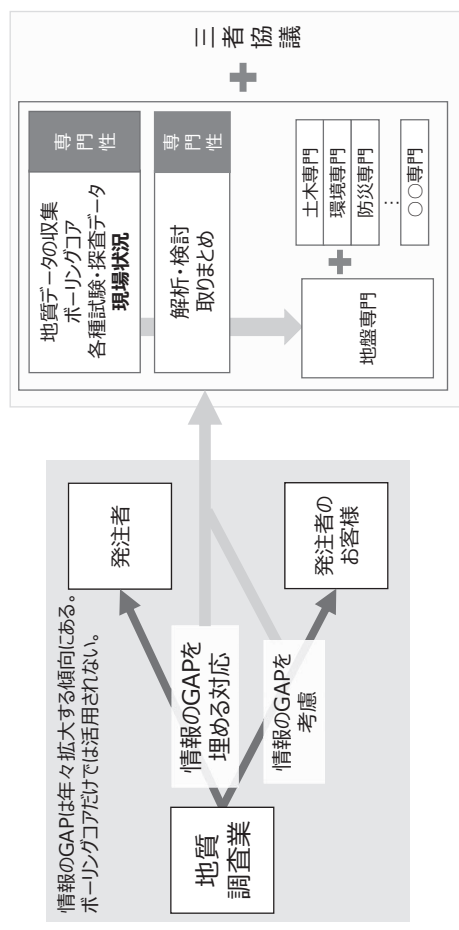


- ・ 計画から運用まで三次元情報で連携、プロジェクトが一体的に進行。高生産性。
- ・ 工程毎のコミュニケーション活発化、低リスク化、低コスト化、市場活性化。

18

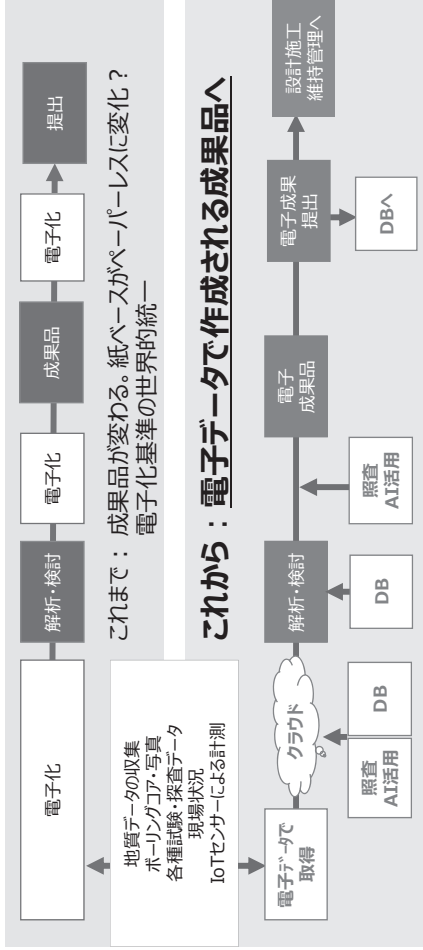
5. soして見えてくること (1)

情報のGAPを認識した対応 専門家 (専門社) 集団で対応する時代



20

5. そして見えてくること (2)

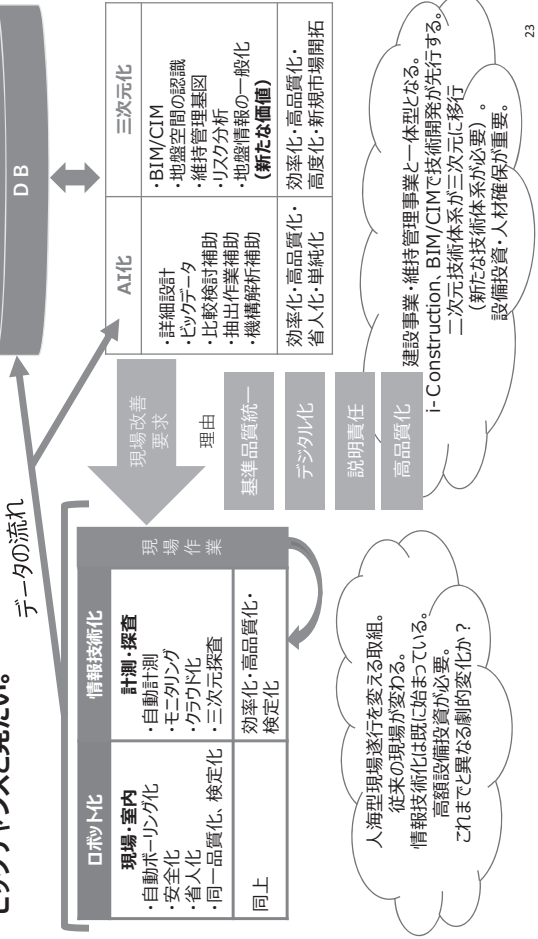


DB … 情報プラットフォームでリンクする

21

7. 次世代の地質調査業

地質調査の価値が高まることが条件
ビッグチャンスと見たい。



23

6. 見えてくることへの対応策 対応策……劇的な変化になる？

資料提供業界から資料が生み出す価値を提示する業界になる。
自らある価値を完結させる業界 (四者協議に対応できる業)

地盤情報を解りやすく提供する業界
地盤の三次元化…デジタル化 (品質・精度・トレーサビリティ)

- 例 災害
- ◎ 過去の災害履歴を物語る地質区分 (例：建設事業)
 - ◎ 地盤が持つリスクの特定 (例：建設事業)
 - ◎ 地質リスク評価 (例：建築)
 - ◎ 基礎支持層の決定と分布

- 例 災害
- ◎ 過去の災害履歴を三次元で判りやすく (例：建設事業)
 - ◎ 地質リスクを判りやすく表現
 - ◎ 一体解析でCIM対応 (例：防災)
 - ◎ 地すべり面分布を判りやすく (例：建築)
 - ◎ 一体解析でBIM対応

これまでの二次元と異なる技術体系の出現 (三次元解析)

安定解析

許容変形解析

安全率の評価

地盤物性評価

22

8. 今後のために やるべきこと

現場作業の効率化検討

M積算からFイーへの要望強化

自動化試験装置の導入 (技術マニュアル化)

自動ボーリングマシンの開発
(標準買入試験からの脱皮)

情報技術の導入 (市場づくり)

地質調査業登録制度の改正
(電子納品を資格基準に入れる)

コンソーシアムによる技術展開

海外規格への対応対策の早期検討

24

8. 今後のために、さらにやるべきこと（あくまでも持論）

意識改革



待ちから攻めへ。高度成長時代の発注者はもういない。
ボーリングコアだけでは完結しない時代であることを認識。



自社の強みを明確にする。地質調査が出来るでは莫然すぎる。
何をどのように出来るかを明確にする



その強みを基にリクルートを進める。
担い手はいるが、我々から明確に判りやすく発信していない。



情報のGAPの存在を明確にし、それを売り物にする。



テリトリーの時代は終わり。強み（売物）を営業する。



強みの違う他社とのアライアンスに積極的に取り組む。
強み + 強みで売り込む



全地連をもっと活用して欲しい。コンソーシアムも。

25

9. まとめ

地質調査業にとって、今は大きな時代の変換点だ。

そして、ビッグデータの時代に地質調査業は活用されていく。
見えない地盤が生み出す価値が見直されている。
地球温暖化による災害多発時代の安全な地盤を選別できる地盤情報
不安さ（リスク）が理解できる地盤情報

地質調査業者と発注者との情報のGAPは拡大している。

このGAPを埋めるのは、専門技術を持った我々である。
ただし、土木・防災・環境等の専門家と一緒に情報のGAPを埋める必要がある。

地質調査業は多様化する。

一項目の調査データを専門的に収集する地質調査業
多くの項目の調査データを収集する地質調査業
解析検討まで行う地質調査業
他の専門技術者と一緒に発注者との情報のGAPを埋める地質調査業
各地質調査業は、アライアンスが重要となる。

自然災害からの防災・減災並びに強靱化に向けたインフラ整備に貢献したい若者は沢山いる。
担い手確保が出来ないのは、彼らに明確な発信が出来ない我々に責任はある。

26

ご清聴ありがとうございました。
心から感謝申し上げます。

27

第60回記念講演

気候変動に伴う積雪寒冷地の斜面災害リスクに向けて

北海道大学大学院 工学研究院土木工学部門
自然災害適応分野 地盤環境解析学研究室
教授 石川 達也



いしかわ たつや
石川 達也

北海道大学大学院工学研究院
教授

土木工学部門・自然災害適応分野・地盤環境解析学研究室

経歴

1987年3月	京都大学工学部土木工学科卒業
1989年3月	京都大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程修了
1989年4月	東日本旅客鉄道株式会社入社
1991年4月	(財)鉄道総合技術研究所出向
1997年4月	東日本旅客鉄道株式会社復帰
1999年3月	博士(工学)(京都大学)
2001年4月	(財)鉄道総合技術研究所出向
2002年10月	北海道大学大学院工学研究科助教授
2007年4月	北海道大学大学院工学研究科准教授
2010年4月	北海道大学大学院工学研究院准教授
2013年10月	北海道大学大学院工学研究院教授
2017年4月	北海道大学大学院公共政策学連携研究部教授
2019年4月	北海道大学大学院工学研究院教授

外部団体 委員委嘱 経歴

北海道開発局 道路防災ドクター・道路防災有識者
北海道 骨材資源対策検討委員会 委員
北海道 幌延深地層研究の確認会議 専門有識者
北海道 補強土壁工法の設計施工等に関する検討委員会 委員
札幌市 札幌市地震被害想定検討委員会 委員
厚真町 厚真町技術委員会 委員長
旭川市 廃棄物処理施設専門委員会 委員
鉄道総合技術研究所 軌道構造設計標準に関する委員会 委員・幹事
J R北海道集中豪雨対策検討委員会 委員
東日本高速道路株式会社 北海道支社土工技術検討会 委員長
地盤工学会 TC202 (交通地盤工学) 国内委員会 委員長
地盤工学会 災害連絡会議 地方委員 (北海道)
地盤工学会北海道支部
・地盤災害緊急対応委員会 委員長
・気候変動に伴う積雪寒冷地の地盤災害リスクに関する研究委員会 委員長
・北海道の地盤災害と防災技術に関する研究委員会 委員長
北海道土木技術会 土質基礎研究委員会 委員長 などを歴任



北海道大学

気候変動に伴う積雪寒冷地の 斜面災害リスクに向けて

第60回試錐研究会記念講演「これまでの10年、これからの10年」
2022年3月9日(水) 14:00~14:45
北海道立道民活動センター(かである2.7) 1階「かであるホール」

北海道大学 大学院工学研究院 土木工学部門
自然災害適応分野 地盤環境解析研究室

教授 石川 達也

1



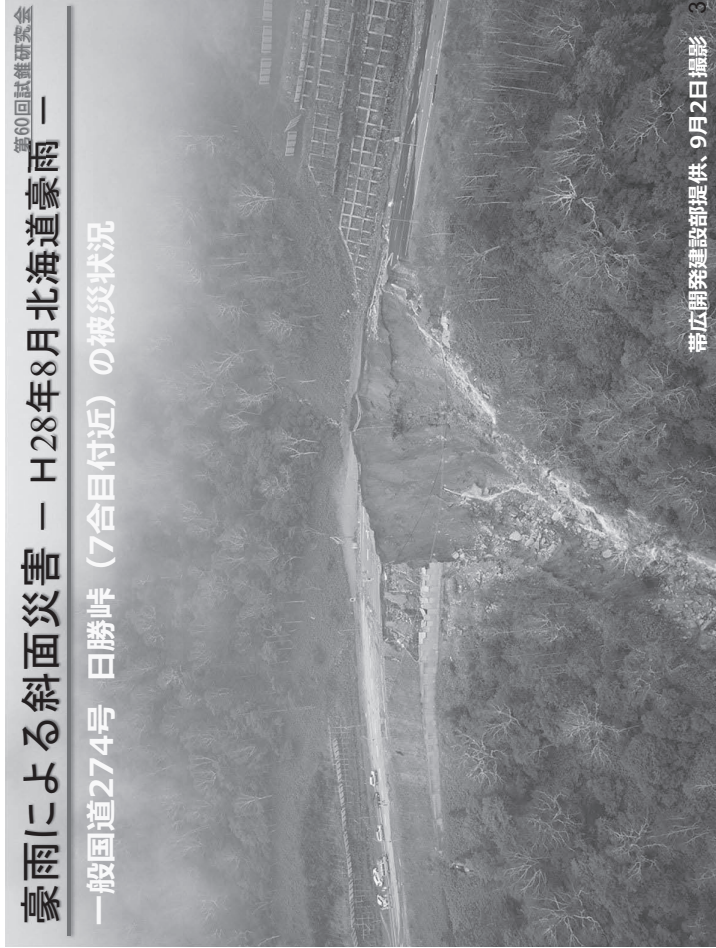
Faculty of Engineering, Hokkaido University

2

1. 北海道の気象条件と 斜面災害

豪雨による斜面災害 - H28年8月北海道豪雨 -

一般国道274号 日勝峠 (7合目付近) の被災状況



帯広開発建設部提供、9月2日撮影 3

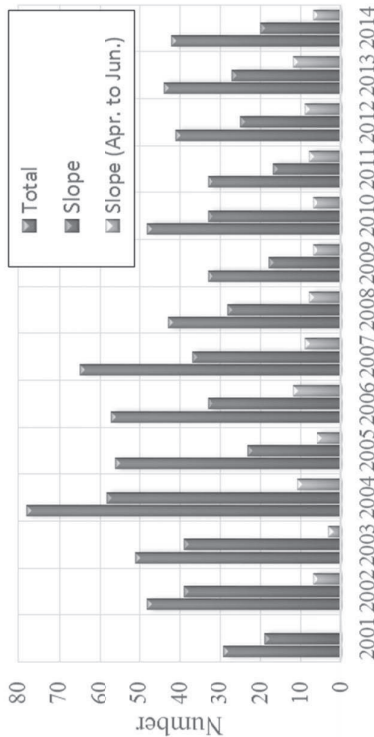
融雪による斜面災害 - H24, 25年融雪期 -

一般国道230号 中山峠の被災状況



2013年4月8日撮影 4

道路防災有識者緊急調査回数推移



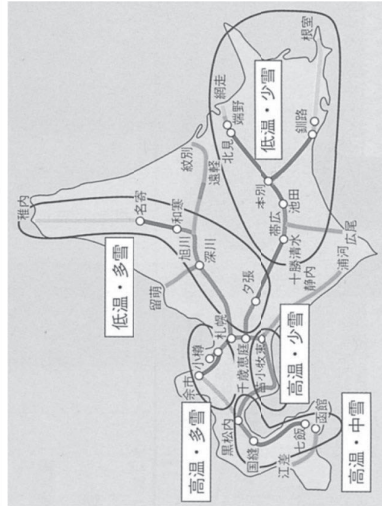
※ 全件数とは「斜面」、「構造物」、「越波」、「雪崩」の件数の合計

Year
H13～H26年度実績

- 斜面災害関係：全件数の 62%
- 斜面災害(融雪期)：斜面災害関係全数の 26%

融雪期の斜面災害予測の必要性を裏証

北海道の気象

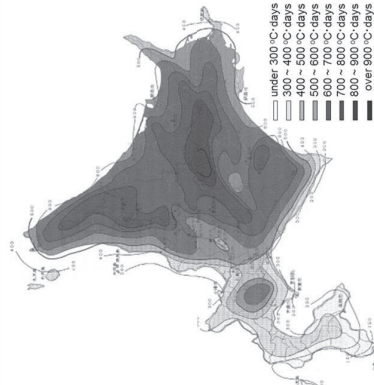


凍上被雪の地域性と分布

凍結指数の分布

- 凍上・凍結融解は北海道など寒冷地で発生する現象
- 北海道は平野部でも冬季に氷点下になり凍上・凍結融解が発生
- 北海道は「積雪寒冷地」であり、多くの地域で深い凍結深が観測

北海道では地盤の凍上・凍結融解を考慮することが必要



北海道の気候と斜面災害

降雨特性

- 北海道で降水量の多い地域(1600～2000 mm)
 - ・ 後志山岳地帯南東部
 - ・ 日高山脈南東部
 - ・ 天塩山地(冬季の降雪)
 - ・ 山岳地帯を除くと、600～1300 mm がほとんど
- 西日本の太平洋側2000～3000 mm
- 北海道はその1/3～1/2程度
- 日降水量200 mm以上はほとんど出現しない

災害の特徴

- ① 春の融雪出水期
 - ・ 融雪期に豪雨が重なり流量が著しく増大
 - ・ 道北・道央の豪雪地帯で斜面崩壊、地すべり
- ② 夏の台風・低気圧による豪雨期
 - ・ 全道で見られるが、渡島半島、東胆振、日高、道東太平洋側で多発
 - ・ 発生域：火山、扇状地、海岸山地
 - ・ 主な土砂災害の発生形態：
 - 1640年(寛永17)～1999年4月
 - 斜面崩壊 23件
 - 地すべり 38件
 - 泥流(土石流) 7件

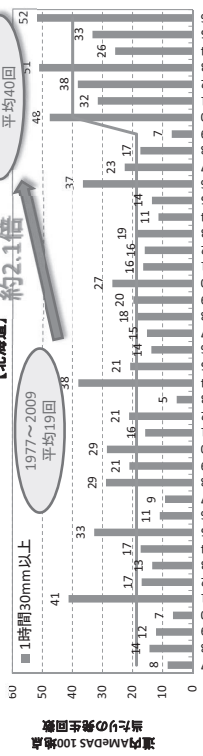
豪雨履歴が少ない → 崩壊履歴の少ない斜面

不安定な土層が斜面上を厚く覆っているのに、降雨強度の弱い雨でも崩壊が発生しやすい。
 一般に、日降水量200mm以上で崩壊の発生頻度が多いとされているが、北海道では、日降水量40mm以上で発生頻度が急増する。

北海道の気象に対する気候変動の影響

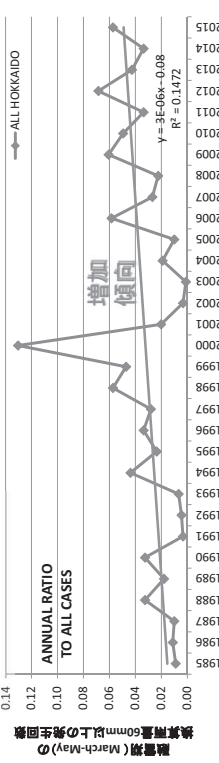
① 短時間強雨の増加

注) 気象協会 松岡氏講演(2017.6.2)資料を一部修正



② 融雪期の換算雨量の増加

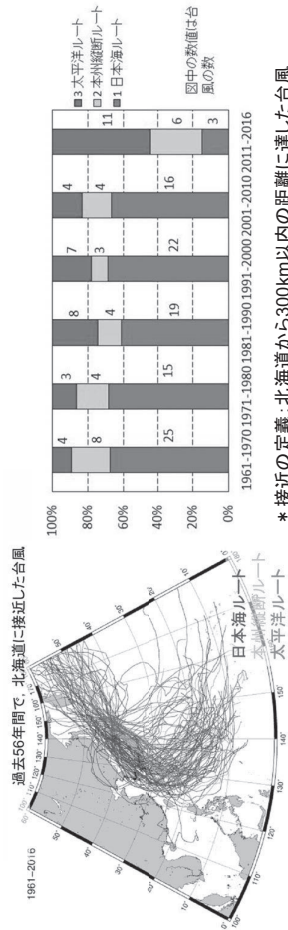
注) 換算雨量 = 連続雨量が存在する時間の融雪量 + 連続雨量



道内の雨の降り方が変わってきたのでは？ → 経験則が適用し辛い
 新たな気象ステータージに入ったことを自覚し、調査研究に当たると必要性

北海道周辺を通過する台風の特徴

近年太平洋ルートが多い。北海道の周辺を通過する台風は、太平洋を経由するものの方が、低い中心気圧を維持したまま接近する。



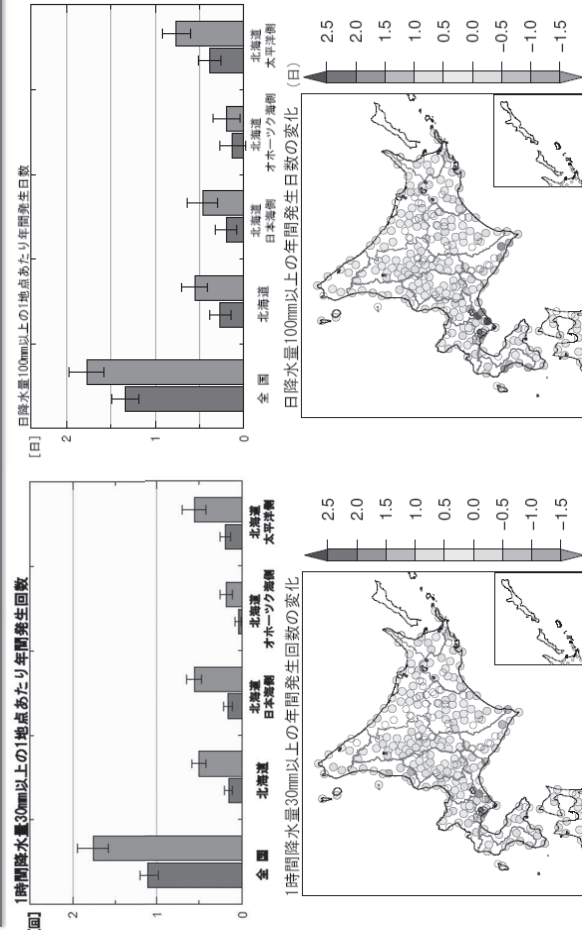
北緯30度から北緯40度を通過するまでの中心気圧の気圧変化度(hPa°)と数(N).

平均期間	年数	1 日本海ルート	2 本州縦断ルート	3 太平洋ルート
1961-2016	56	2.62	2.90	2.68
	N	116	67	24
		(1.82)	(1.82)	25

太平洋ルート：北海道に接近する際に、他のルートと比較して弱体化しづらい。

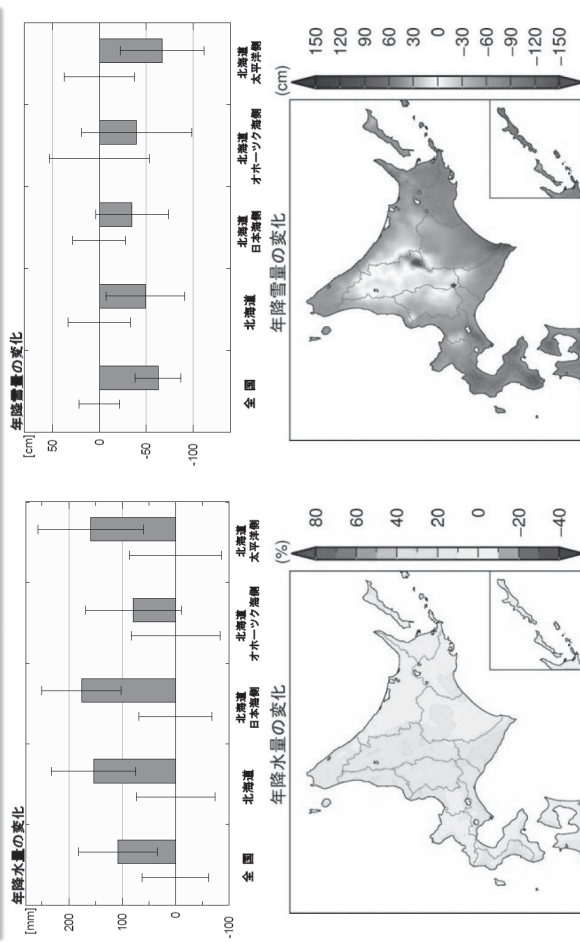
山田明人(北海道大学) および 山本太朗(北海道河川財団)作成資料より(土木学会2016年8月北海道豪雨災害調査回覧急報告)

今後の道内の気象条件変化2



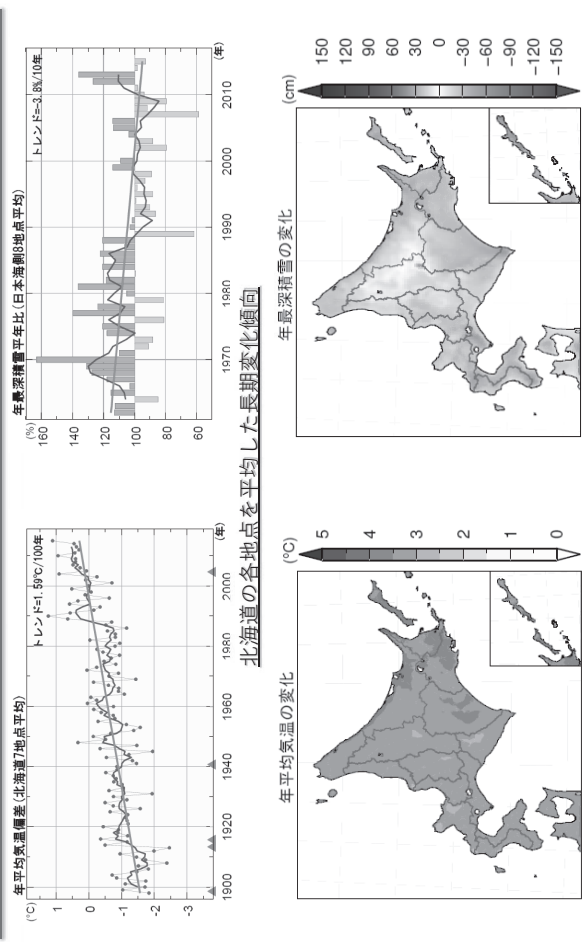
気象庁：20世紀末(1980~1999年)に対する21世紀末(2076~2095年)の変化量予測 (SRES A1B シナリオ (IPCC, 2000))

今後の道内の気象条件変化1



気象庁：20世紀末(1980~1999年)に対する21世紀末(2076~2095年)の変化量予測 (SRES A1B シナリオ (IPCC, 2000))

今後の道内の気象条件変化3



気象庁：20世紀末(1980~1999年)に対する21世紀末(2076~2095年)の変化量予測 (SRES A1B シナリオ (IPCC, 2000))

今後の北海道の気象条件と斜面災害

●自然外力変化の可能性

①気候変動(温暖化に伴う気象条件変化)は今後北海道でどのように進むのか?

- 土砂災害の誘因となる降雨量はどの予測モデルでも増加する
 - 短期指標である短時間降雨量の出現増加は観測値でも有意
 - 気候変動により春の訪れが早まり融雪の早期化が進む
 - 融雪期の土砂災害の危険性は換算雨量（降雨量 + 融雪量）からも増加傾向が有意
 - 高標高や日本海側の一部を除いて降雪量は減少するも、融雪土砂災害の危険性は減少しない
- ### ②今後の地盤災害対策において気候変動予測情報をどのように活用すべきか?
- 年間降水量が10%増加、日降水量100mm以上が0.5回増えたら土砂災害のポテンシャルは何%増加するのか
 - d4PDFのようなアンサンブル予測情報を用いて振幅の議論ができ、すでに出現している記録的な気象外力をこの幅の中で評価可能
 - 世界的に見て優れているd4PDFからダウンスケードした5kmメッシュから、地域・地形を考慮した災害予測ができる
 - 予測モデルの特性から短期指標（時間雨量など）の予測精度は高くないことを考慮して使用すべき

13

2. 平成28年8月北海道豪雨による斜面災害



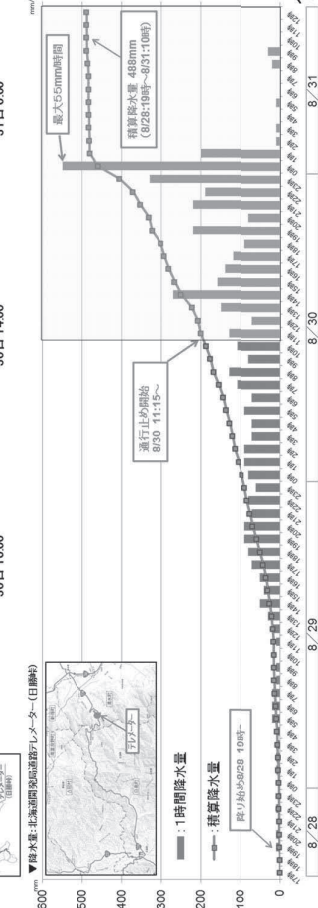
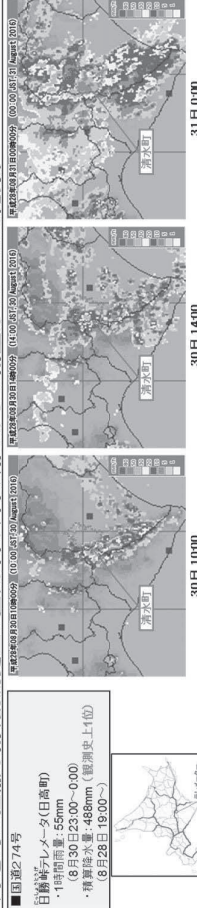
14

平成28年8月北海道豪雨

台風10号の概要

帯広開発建設部提供資料

8月17日～23日の1週間に3個の台風が北海道に上陸。また、8月29日から前線に伴う降雨があり、その後、台風第10号が北海道に接近した30日から31日の深夜にかけて、日勝峠周辺等に局地的に猛烈な雨(観測史上1位)が降り、降り始めからの雨量は488mmを記録。



国道274号日勝峠の被災概要

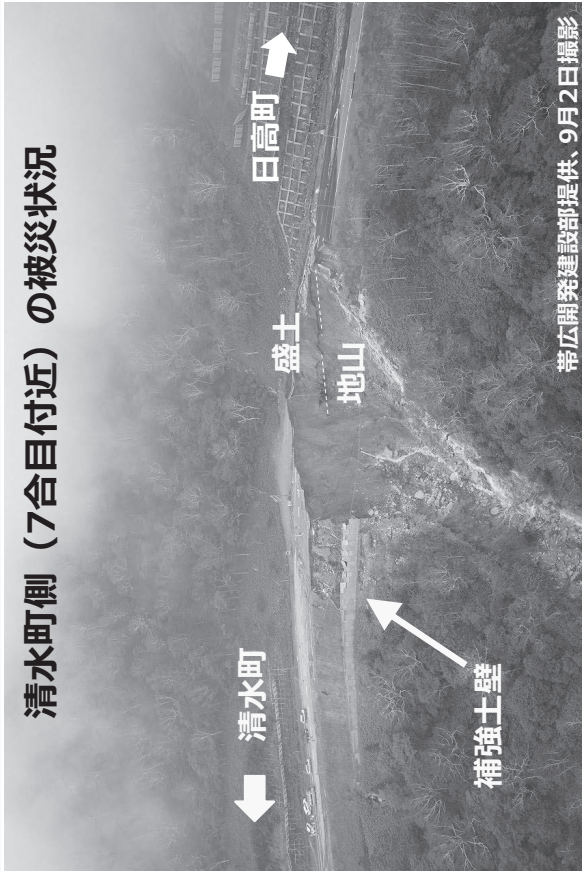


区間	千路驛橋～鹿鳴橋	鹿鳴橋～日勝峠	日勝峠～清水町
地質	・日高変成帯に属する変成岩・深成岩 ・日高帯および空知-工ノ帯に属する非変成の砂岩・泥岩が分布	・日高帯の堆積岩類を貫く花崗岩類が分布 ・浅部はマサ化が進行 ・風化花崗岩類の上位には、凍結破砕、凍結融解、ソリフラクシオンにより形成された周水河斜面堆積物 ・角礫混じり土砂が分布	
降雨	少ない	多い	多い
被災特徴	河川増水による水衝部の侵食、洗掘	土石流の発生や大量の路面表流水による排水施設の閉塞・破損・溢水に伴う盛土・切土斜面の侵食・浸透崩壊	

北海道開発局提供資料に加筆・修正 16

国道274号日勝峠の被災状況 1

清水町側（7合目付近）の被災状況

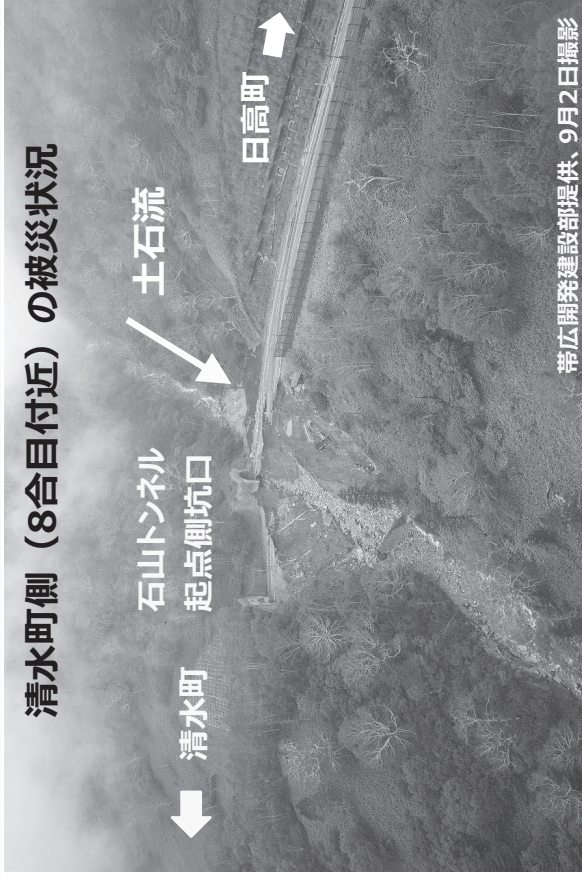


道路損壊（L=100m）

17

国道274号日勝峠の被災状況 2

清水町側（8合目付近）の被災状況

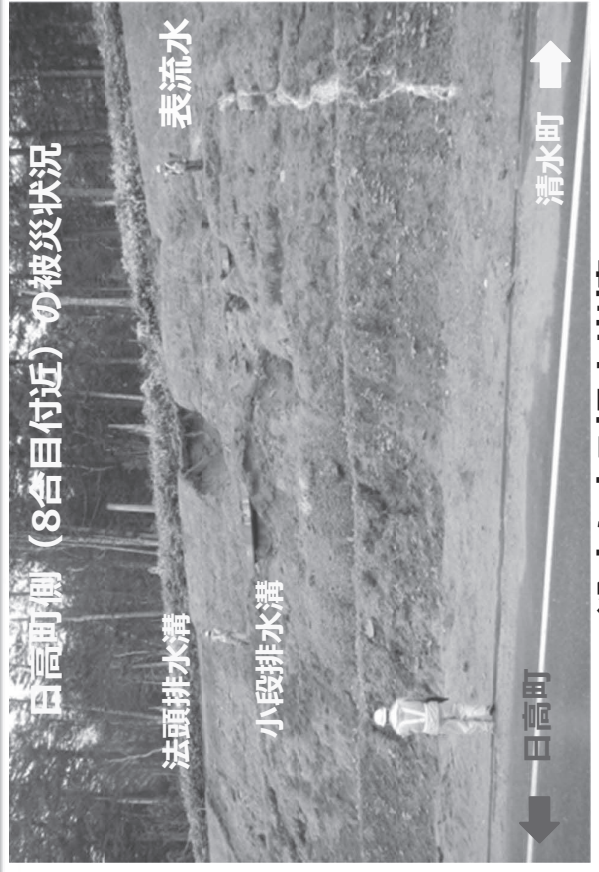


土石流による盛土崩壊

18

国道274号日勝峠の被災状況 3

日高町側（8合目付近）の被災状況

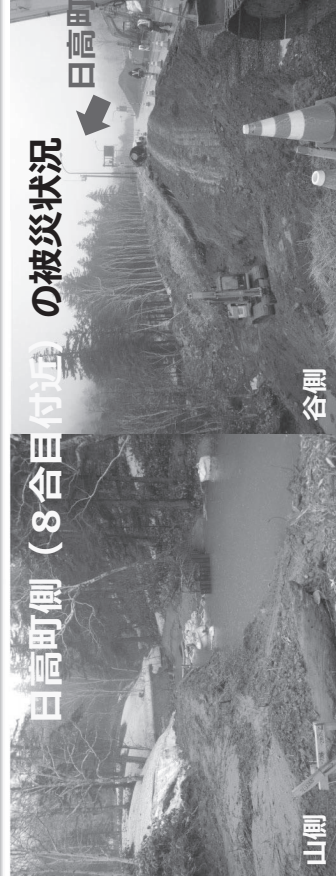


溢水による切土崩壊

19

国道274号日勝峠の被災状況 4

日高町側（8合目付近）の被災状況



横断管閉塞による盛土崩壊

20

国道274号の地盤災害の要因

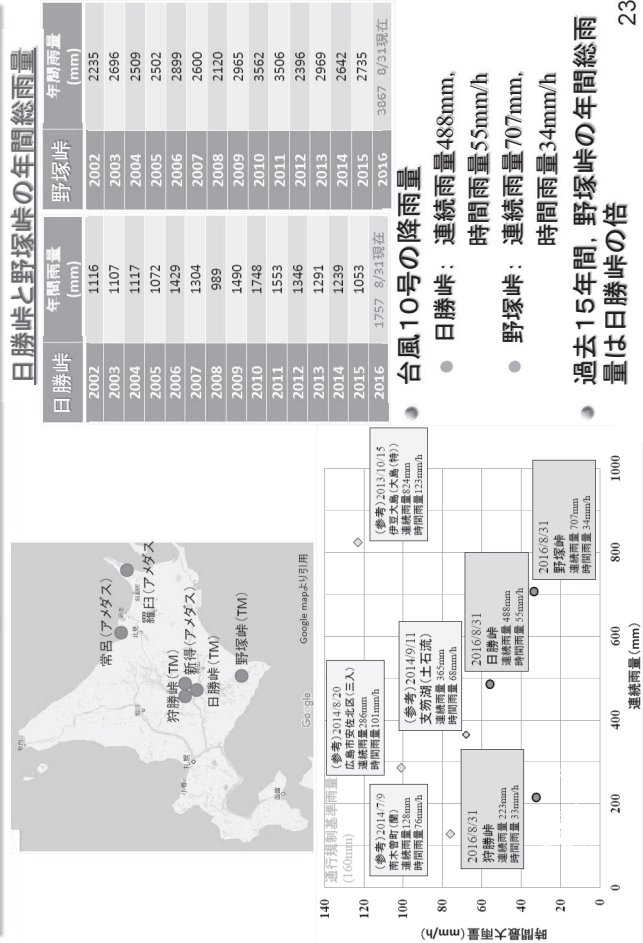
- 7合目以上の高地 → 豪雨発生
 - 風化花崗岩が細粒化したまさ土や周水河性斜面堆積物で構成される地盤
 - 大量の雨水が浸入し脆弱になり易い
 - 不均質な地質で水みちがしやすい地質条件
 - 沢部で土石流が発生
 - 道路路面を多量の表流水が流入
 - 道路線形の変化地点に集中 → 盛土の路肩部を侵食・洗掘
 - 小段排水や法頭の排水溝に想定外の多量の水が流入
 - 溢水した表流水が法面を流下し侵食・洗掘 → 崩壊に至る
 - 道路下の横断管や縦断管に多量の土砂や流木が侵入し閉塞
 - 排水機能が低下 → 管周囲が水みちとなり盛土内に大量の雨水が浸透
 - 管周辺が侵食 → 盛土崩壊に至る
 - 越流した路面表流水により侵食・洗掘 → 盛土崩壊に至る
- 標高が低い地域 → 急激な河川増水
 - 河川近接部の道路や橋梁の橋脚基礎、水衝部の橋台背面
 - 侵食・洗掘 → 崩壊に至る

平成28年8月北海道豪雨災害の教訓

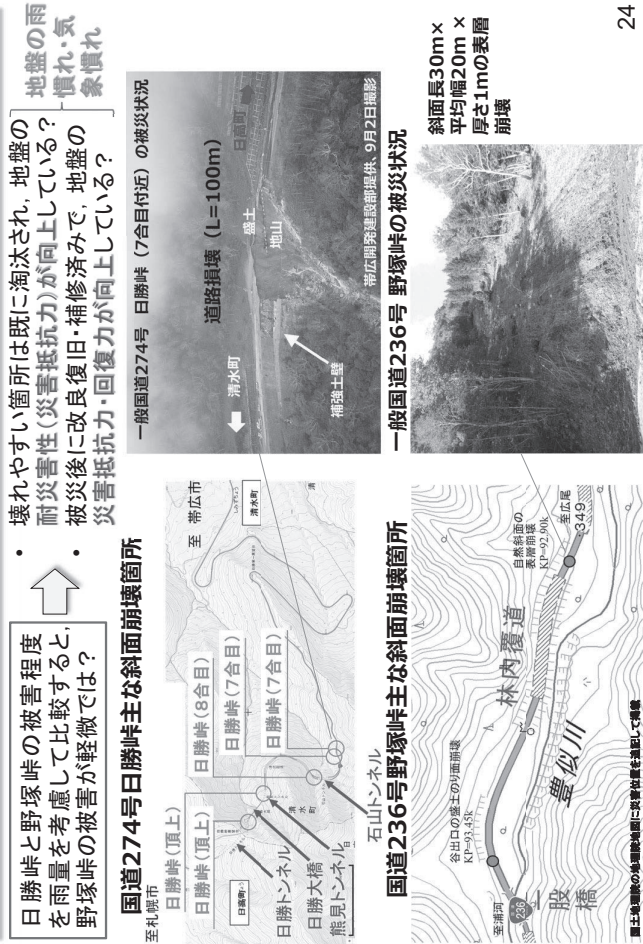
KEY POINT

- 雨慣れ・気象慣れしていない地盤の扱い
- 従来の想定を超える豪雨対策の検討
- 地盤内に浸透しない表面流の扱い
- 従来と異なる問題土の顕在化の可能性
- 河道の蛇行・流路変動による土構造物の被害

雨慣れ・気象慣れ1 - 台風10号の例 -



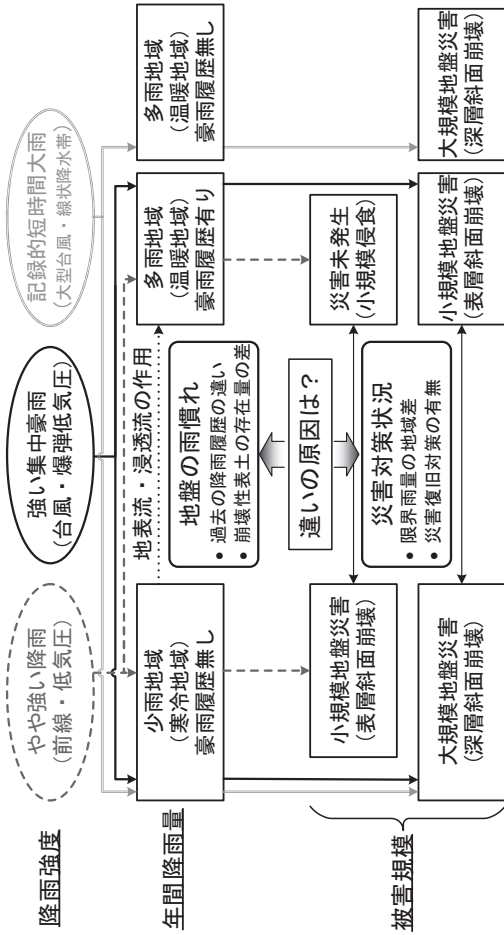
雨慣れ・気象慣れ2 - 台風10号の例 -



雨慣れ・気象慣れ3 - 台風10号の例 -

過去の降雨履歴・被災履歴に応じて変質する土砂災害の素因・誘因を考慮の必要性

教訓1: 地盤の雨慣れ・気象慣れの災害への影響をどう評価すべきか?



想定を超える豪雨 - 台風10号の例 -



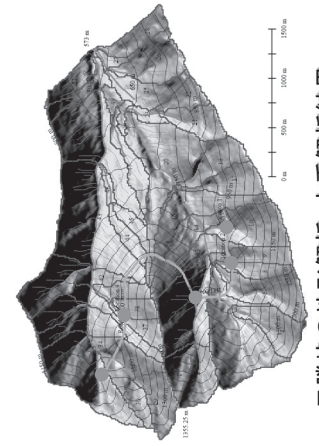
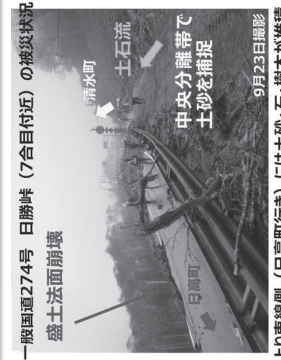
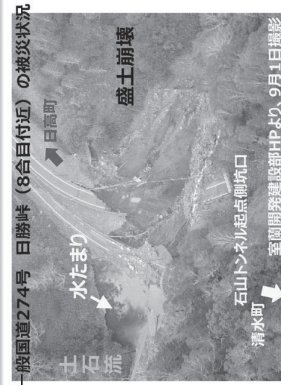
日勝峠の排水溝・横断管の被災状況

- 土構造物等の排水能力を上回るような想定外の降雨流出により被災した箇所が散見された。

- 豪雨に伴う地盤内に浸透できない表流水の存在とその経路が地盤災害を誘発した箇所が数多く見られた

教訓2: 設計降水量では対応できない確率降雨をどう対処すべきか?

地表面の扱い - 台風10号の例 -

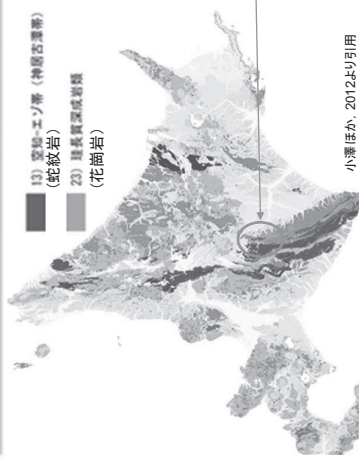


日勝峠の地形解析・水系解析結果

- 確率降水量を上回る未経験の豪雨で生じた地盤に浸透できなかった雨水が表流水として大量に舗装面を流下
- 斜面崩壊地点は流路ネットワーク上に存在しており、地表流・浸透流の集積地形
- 地表面の発生とその集積が侵食や流路の拡大をもたらし、その結果土石流や表面侵食型の盛土斜面崩壊を誘発

教訓3: 豪雨時の地表流や浸透流をどう考慮し、広域リスク評価を行うか?

従来と異なる問題土 - 台風10号の例 -



小澤ほか、2012より引用

北海道豪雨災害の調査箇所

北海道豪雨災害の調査箇所

- 日高変成帯の深成岩類は地すべり地形の分布密度小。
- 斜面崩壊箇所周辺は風化花崗岩(まさ土)や周水河水性斜面堆積物が広く分布。

教訓4: 外力が過去の履歴を超えて増大し、新たな問題土が顕在化した?

一般国道274号(清水町側)7合目周辺の状況

被害の特徴と技術的検討課題 - 台風10号の例 -

- 従来の想定を超える豪雨に対する防災・減災対策の検討
 - 今後の豪雨の可能性を想定した排水設備の排水能力の検証と妥当性の確認
 - e.g. 近年の異常気象を考慮した設計降水量や片面排水の見直し
 - 近年の異常気象を考慮した降水量に対する2段階設計法の検討
 - e.g. 耐震設計法のようなレベル2降水量の導入
- 豪雨時に地盤内に浸透しない表流水が地盤災害に及ぼす影響の検討
 - 設計降水量では対応できない確率降雨に対する表流水誘導経路の検討
 - e.g. 地表面の流出経路考慮した中央分離帯の配置方法の検討
 - 浸透流に加え地表面を考慮した地盤構造物の設計方法の検討
 - e.g. トンネルや擁壁など構造物の切れ目や変化点の扱い
- 災害発生評価指標(積算雨量、土壌雨量指数、実効雨量など)の検討
 - 既往の雨量指標の積算雨量の積雪寒冷地の斜面災害(時間遅れを含む)への適用性の検証
- 発生地点の地形、土質、地層情報、降雨履歴の整理の必要性
 - 花崗岩地帯・周水河性堆積物など従来と異なる問題土の顕在化の可能性の検討
 - 雨慣れ・気象慣れしていない地盤の危険度評価方法の検討
 - e.g. 温暖地域との比較検討など気候変動を想定した対応策の検討
- 河川の蛇行・流路変動が地盤災害に及ぼす影響の検討
 - 水衝部や閉塞部など浸食や洗掘が予想される箇所の浸食防止対策の検討
 - e.g. 越流箇所における地盤の構造的強化方法の検討

29



3. 平成24, 25年融雪期 斜面災害

国道230号中山峠の被災概要

札幌市と道南を結ぶ一般国道230号で平成24年、25年の2年連続で融雪期に道路斜面災害が発生し、社会経済活動に大きな影響を与えた。

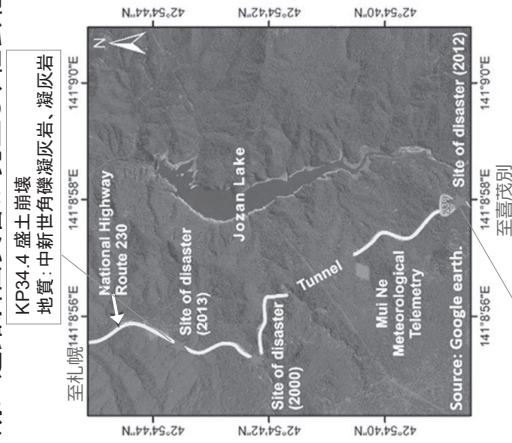
① 平成24年融雪期土砂災害

- 盛土法面崩壊規模：
 - 延長約40m、長さ約110m、深さ約5mの範囲で崩壊(崩壊土砂量:約13,000m³)
- 災害発生要因：
 - 急激な融雪+大雨(日換算雨量128mm)による飽和度の上昇により発生
- 5月4~23日： 全面通行止(20日間)
- 5月23~26日： 片側交互通行

② 平成25年融雪期土砂災害

- 盛土法面崩壊規模：
 - 延長約50m、長さ約50m、深さ約5mの範囲で崩壊(崩壊土砂量:約11,000m³)
- 災害発生要因：
 - 急激な融雪と大雨(日換算雨量118mm)による飽和度の上昇により発生
- 4月7~12日： 全面通行止(6日間)
- 4月12~25日： 片側交互通行(夜間通行止)

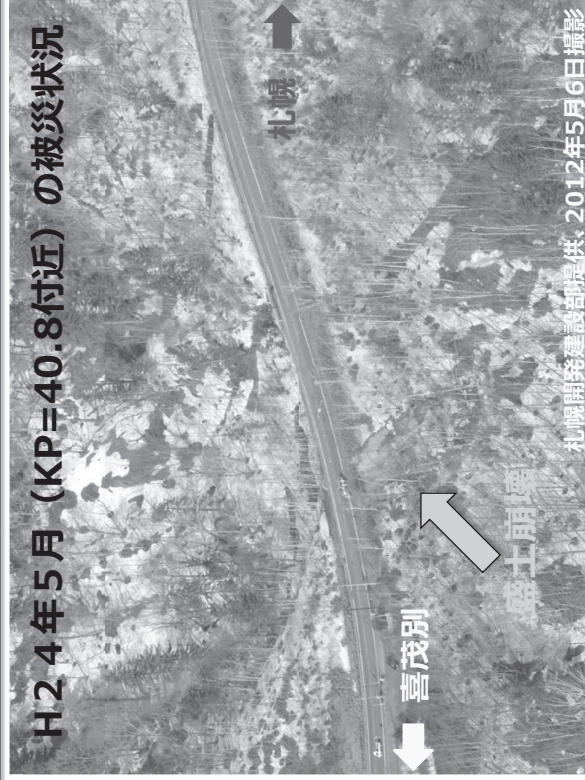
31



KP34.4 盛土崩壊
地質: 中新世角礫凝灰岩、凝灰岩

KP40.8 盛土崩壊
地質: 鮮新世普通輝石紫蘇輝石玄山岩

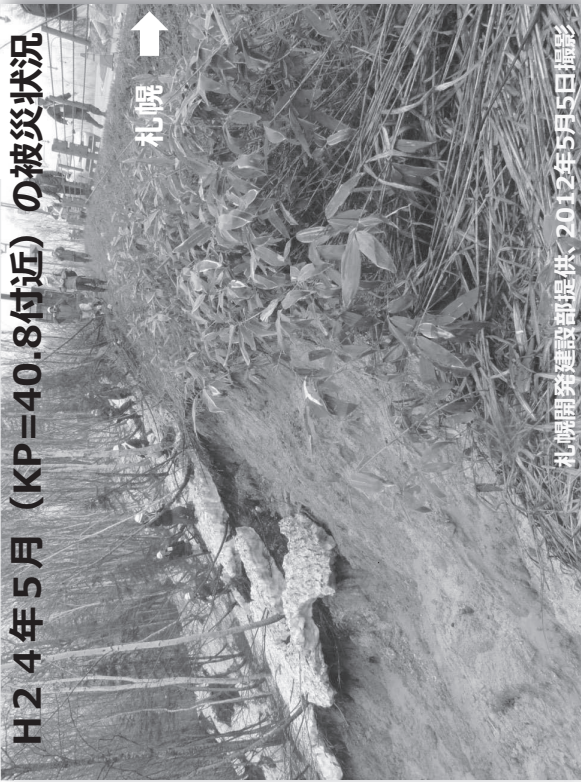
国道230号中山峠の被災状況 1



札幌開路建設部提供、2012年5月6日撮影

盛土崩壊

国道230号中山峠の被災状況 2



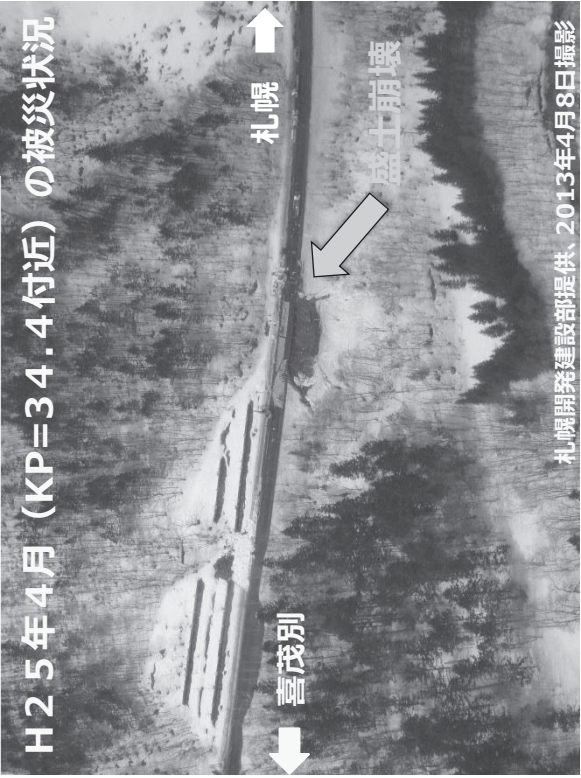
H24年5月 (KP=40.8付近) の被災状況

札幌開発建設部提供、2012年5月5日撮影

盛土崩壊

33

国道230号中山峠の被災状況 3



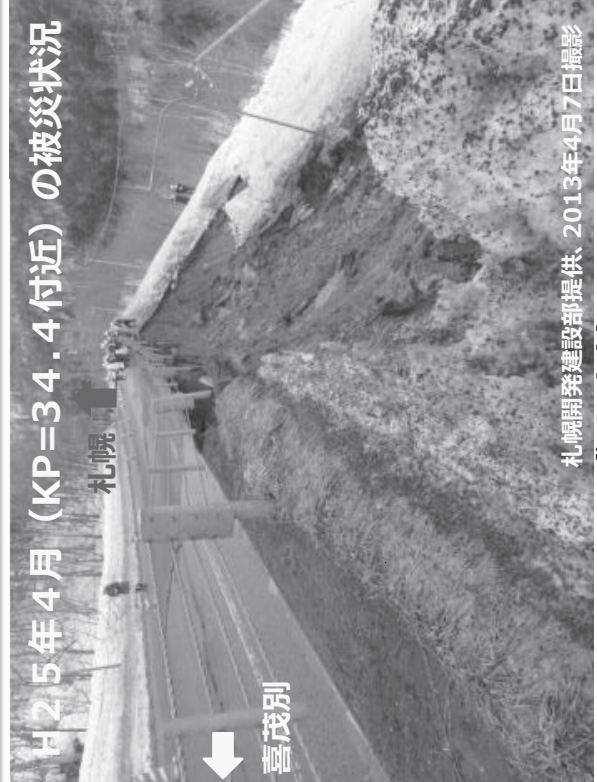
H25年4月 (KP=34.4付近) の被災状況

札幌開発建設部提供、2013年4月8日撮影

盛土崩壊

34

国道230号中山峠の被災状況 4



H25年4月 (KP=34.4付近) の被災状況

札幌開発建設部提供、2013年4月7日撮影

盛土崩壊

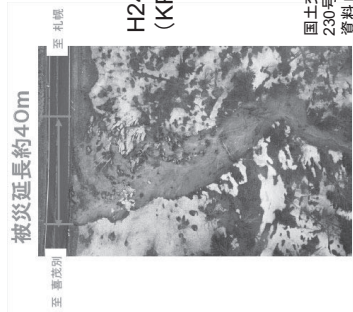
35

国道230号中山峠斜面崩壊要因

崩壊メカニズム

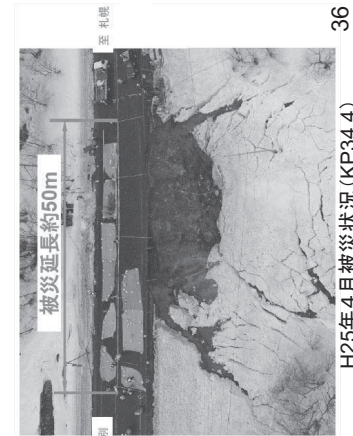
- ① 急激な降雨／融雪により地山(山側)から大量の雨水・融雪水が盛土内へ浸透し、盛土内の飽和度あるいは地下水水位が上昇
- ② 盛土法面の積雪が法尻部からの地下水の浸出を抑制
- ③ 盛土法面の地下水水位の上昇により当該箇所の間隙水圧が上昇
- ④ まず、盛土内の間隙水圧上昇によるせん断抵抗力の低下により地盤が不安定化し、法尻部の法面崩壊が発生
- ⑤ その後、法尻部からの法面崩壊が運動発生

斜面の安定性に対する融雪水の影響を考慮する必要性



被災延長約40m

H24年5月被災状況 (KP40.8)



被災延長約50m

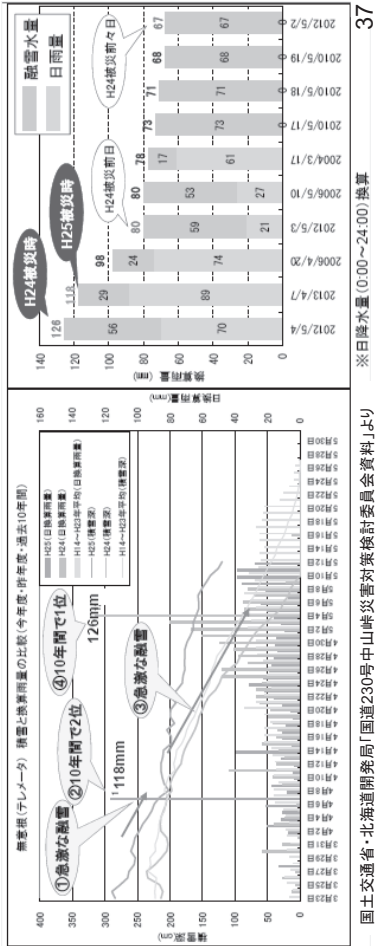
36

国土交通省・北海道開発局「国道230号中山峠災害対策検討委員会資料より」

H25年4月被災状況 (KP34.4)

斜面崩壊箇所の気象条件

- 日換算雨量の過去10年間の比較
 - ※ 平均気温から融雪量を推定し水量に換算した値と、降雨量を足しあわせれた値
 - 平成25年被災時は、3月30日以降積雪深が急激に減少し始め、融雪量が増加
 - 被災発生当日(平成25年4月7日)の日換算雨量は118mm
 - 平成24年被災時は、4月9日以降急激に積雪深が減少し始め、融雪量が増加
 - 被災発生当日(平成24年5月4日)の日換算雨量は126mm
- 日換算雨量(融雪水量+日雨量)はH24年被災時、H25年被災時にそれぞれ過去10年間の融雪期で1, 2番目の値を記録



積雪寒冷地の斜面崩壊要因

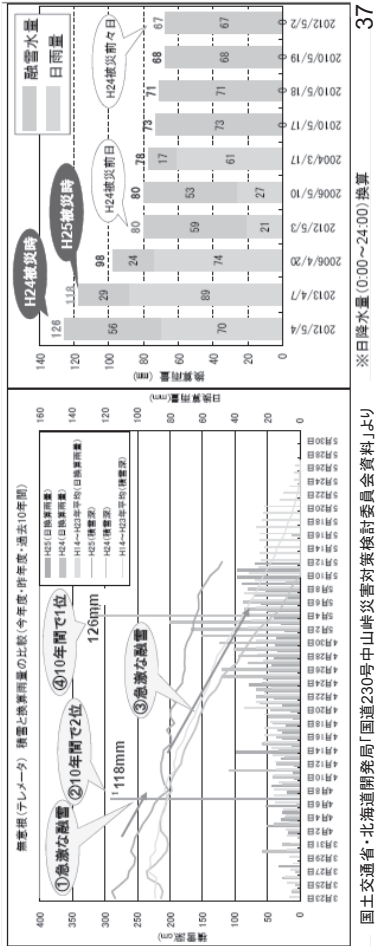
斜面崩壊の素因と誘因

種類	因子名	温暖地域	積雪寒冷地域	備考
素因	①急な斜面勾配			
	②構成地盤材料の低い強度			
	③地盤の風化速度と安定性			
	④すべり面の存在、形成			
	⑤集水地形と地下水位			
	⑥積雪寒冷な気候条件			
	⑦構成地盤材料の凍上性			
Increase in sliding force	①斜面形状の変化			
	②地盤力の作用			
	③土の単位体積重量増加			
	④土の強度低下			
	⑤間隙水圧の上昇			
	⑥地盤内の縦み層の形成			
	⑦土の物理特性の変化			
	⑧土の力学特性の変化			
	⑨凍土層の形成			
Decrease in shear resistance	①斜面形状の変化			
	②地盤力の作用			
	③土の単位体積重量増加			
	④土の強度低下			
	⑤間隙水圧の上昇			
	⑥地盤内の縦み層の形成			
	⑦土の物理特性の変化			
	⑧土の力学特性の変化			
	⑨凍土層の形成			

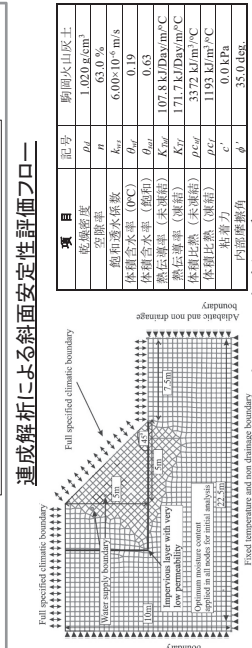
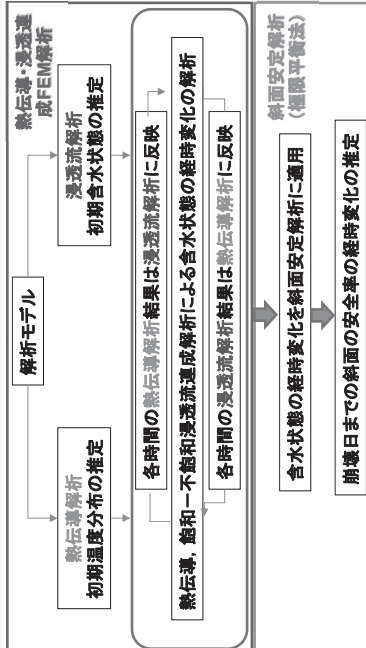
◎は本表において重視すべき温暖地域と異なる積雪寒冷地特有の因子

斜面崩壊箇所の気象条件

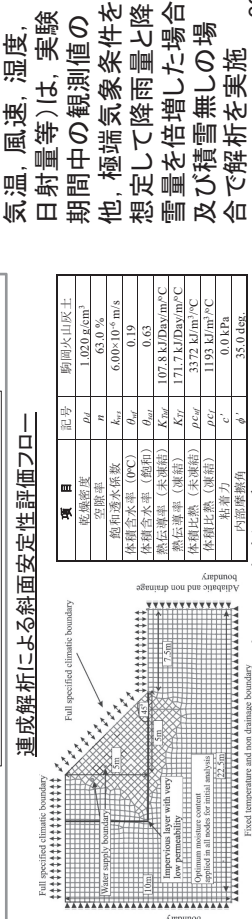
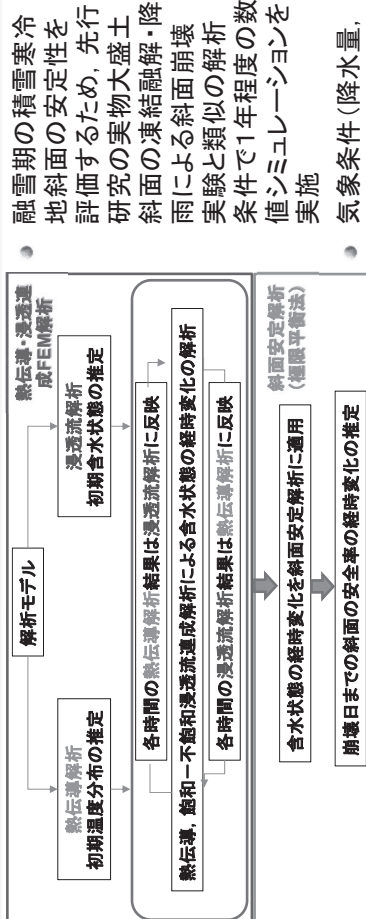
- 日換算雨量の過去10年間の比較
 - ※ 平均気温から融雪量を推定し水量に換算した値と、降雨量を足しあわせれた値
 - 平成25年被災時は、3月30日以降積雪深が急激に減少し始め、融雪量が増加
 - 被災発生当日(平成25年4月7日)の日換算雨量は118mm
 - 平成24年被災時は、4月9日以降急激に積雪深が減少し始め、融雪量が増加
 - 被災発生当日(平成24年5月4日)の日換算雨量は126mm
- 日換算雨量(融雪水量+日雨量)はH24年被災時、H25年被災時にそれぞれ過去10年間の融雪期で1, 2番目の値を記録



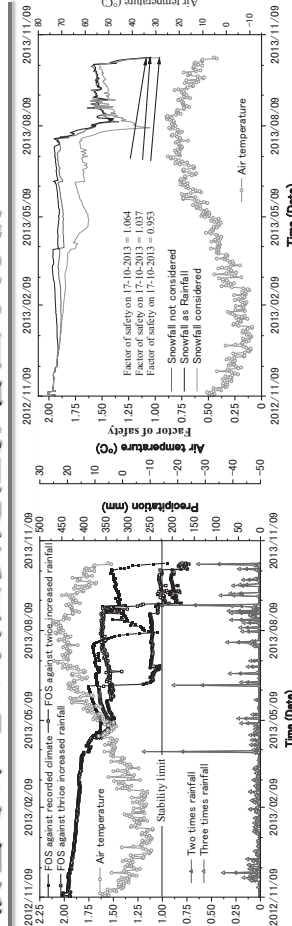
熱伝導/浸透連成FEMによる斜面安定解析



熱伝導/浸透連成FEMによる斜面安定解析



積雪寒冷地の斜面安定性影響因子分析



降雨量が増加すると、非凍結期の斜面安定性(安全率)は大幅に低下
 降雪量が増加すると、融雪に要する時間も長くなり、大量の融雪水浸透によりさらに安全率は低下
 融雪により地盤の飽和度は長期に亘り高い状態に維持されることから、融雪水は、融解期以降の安全率の推移にも大きな影響を及ぼす

斜面の安定性に対する融雪水の影響を考慮する必要性

4. 気候変動に伴う積雪寒冷地の 斜面災害リスクに向けて



Faculty of Engineering, Hokkaido University

学術研究・技術開発の方向性

要点

北海道で近年発生した土砂災害の事例検討を通して、気候変動に伴い発災が予想される新たな形態の斜面災害を、北海道の地域性を考慮して体系化するとともに、そのリスク評価や防災・減災対策に必要な視点を明らかにして、今後の学術研究・技術開発の方向性について検討することが重要。

↑
今後の気候変動に対して北海道特有の事象を考慮した潜在的な斜面災害リスクの総合的な予測・評価・適応手法の確立に貢献

視点

- ① **自然外力変化の可能性:**
気候変動(温暖化に伴う気象条件変化)は今後北海道でどのように進むのか? 将来の地盤災害対策において気候変動予測のどのような情報をもとに活用すべきか?
- ② **災害形態変容の可能性:**
気候変動に呼応して道内で発生してきた土砂災害は今後どのように変化するのか? 気候変動に伴って今後道内未経験の複合地盤災害が発災するとしたらそれぞどのように予想すればよいのか?
- ③ **耐災害性強化の必要性:**
既存の設計・維持管理法では予測・評価が難しい潜在的な災害リスクに対してどのような備え(対策)が考えられるのか?
将来の災害外力の加速・大規模化あるいは複合化に対するより適切な気候変動適応策の構築に我々は今何をなすべきか?

北海道の検討課題の特殊性

1. 気候変動の影響度

予測のように気候変動が進んだ場合、国内では北海道のような高緯度地域の方が今後の気候変動の影響を受け易いことから、国内他地域と比較してより早急な対応を図る必要がある。

2. 雨慣れ・気象慣れしていない地盤

北海道は、これまで台風や集中豪雨などの影響が少なく降雨による土砂災害が温暖地域(多雨地域)と比較して少なかったことから、雨慣れ(降雨に対する斜面崩壊の慣れ)していない地盤が多い。

3. 豪雨に対する備え(対策)

北海道では、多雨地域と比較して斜面崩壊の限界雨量が小さく、また同程度の豪雨や急激な融雪が発生した場合には斜面崩壊が生じ易く、地盤災害規模の拡大・深刻化が懸念される。

4. 積雪寒冷地特有の災害形態

積雪寒冷地の地盤防災を考える場合には、地盤の凍上・凍結融解に伴う初期変状を考慮して、積雪寒冷地特有の要因を組合せた温暖地域と異なる発生機構の地盤災害形態を検討すべきである。

北海道土砂災害警戒情報システム



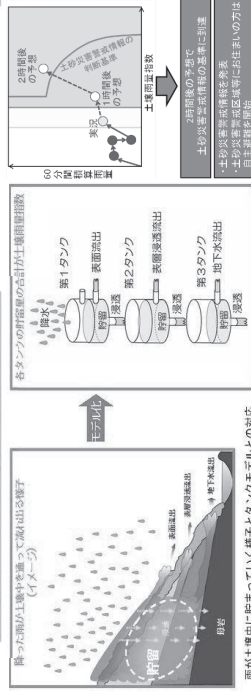
対象区域: 住居地域

対象災害: 豪雨に起因する土石流、急傾斜地の崩壊、地すべり

QUESTION:

- 山間部の土砂災害発生予測に適用可能か?
- 融雪期の土砂災害発生予測に適用可能か?

北海道土砂災害警戒情報システム 北海道庁HPより



土壌雨量指数の留意点

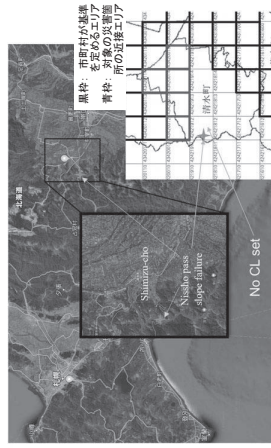
- ① 全国一律のパラメータを用いており、個々の傾斜地における植生、地質、風化等は未考慮。
- ② 比較的表層の地中をモデル化。従って、深層崩壊や大規模な地すべりといった地下深くまで及ぶような現象は対象外。

土砂災害警戒情報システムの適用性 1

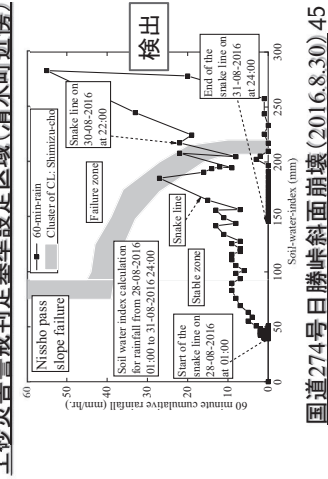
土砂災害警戒情報システムの対象は主に住宅地域であり、民家のない山地は対象から外れていることが多い。

豪雨時の山間部の土砂災害発生予測に適用可能か？

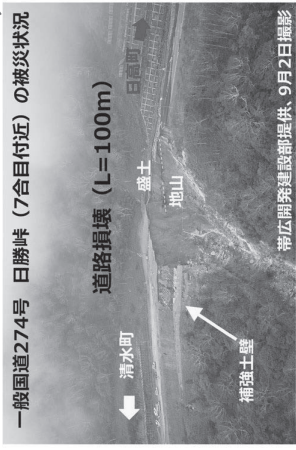
災害発生は予測できるが、精確な位置や規模は予測不可



土砂災害警戒判定基準設定区域(清水町近傍)



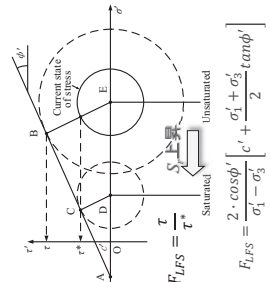
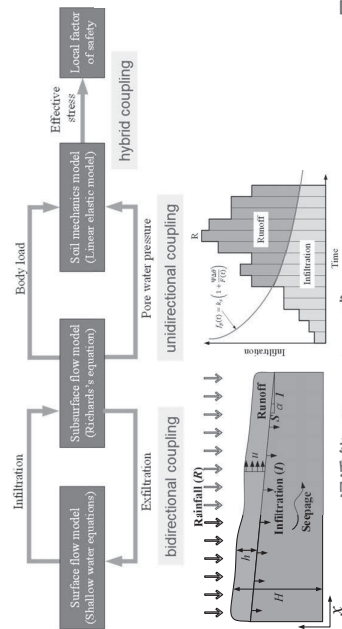
国道274号日勝峠(7合目付近)の被災状況



帯広開発建設部提供、9月2日撮影

降雨浸透・流出を考慮した斜面安定解析

降雨強度が地盤浸透性を上回る際に発生するHorton表面流に対する浸透型斜面崩壊リスク評価法



$$F_{LFS} = \frac{2 \cdot \cos \phi}{\sigma'_1 - \sigma'_2} \left[c' + \sigma'_2 \tan \phi' \right]$$
$$\sigma' = (\sigma - u_q) + X(u_q - u_w)$$

局所安全率 F_{LFS} による安定性評価

解析条件

- 地下水位: 地表から-5.5mに設定 (過去の測定結果より)
- ※ 1週間前に発生した3つの台風は地下水位上昇にほとんど影響を与えなかったと仮定。
- 境界条件: 降雨境界(斜面表面)
- 解析手順: ①自重による初期解析 ②降雨による過渡応答解析

3D FEM model:

- Element size: 1m*1m*1m to 50m*50m*50m
- Total element: 92190
- Source: Hokkaido Regional Development Bureau

浸透能: Green-Ampt式

土砂災害事例分析 - 国道274号日勝峠7合目斜面

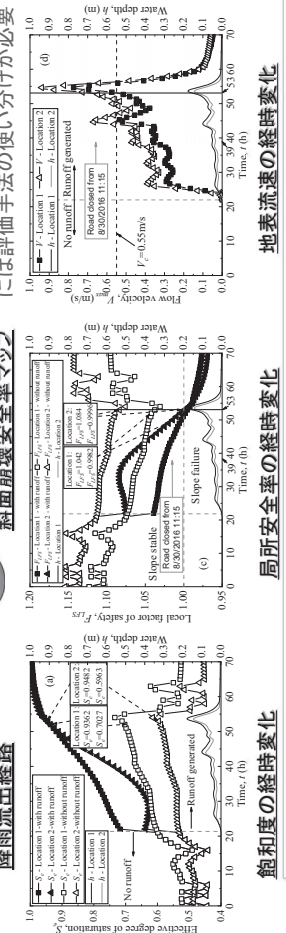
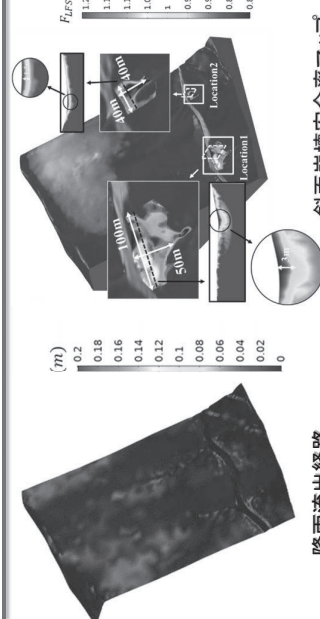
Assumption: Embankment exists only at the cut of the valley.

広域土砂災害リスク評価 - 地表流の影響評価

設計降水量を上回る豪雨で生じる地表流・浸透流をどう考慮した土砂災害リスク評価を行うのか？

降雨浸透・流出解析と連成した広域斜面安定解析によれば、流域スケールで地表流の発生に伴う斜面崩壊リスクの高い箇所を予測し、正確な防災情報の提供や予防保全対策を実施可能。

高精度の土砂災害リスク評価には評価手法の使い分けが必要



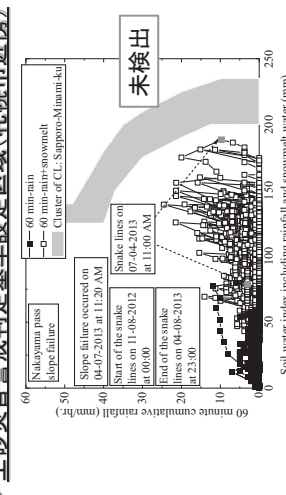
豪雨時の地表流を考慮し道路沿いの複数斜面のハザードマップを作成可

土砂災害警戒情報システムの適用性 2

タンクモデルは全国一律のパラメータを用いており、積雪寒冷地など土砂災害の地域性を考慮したものではない。

融雪期の土砂災害発生予測に適用可能か？

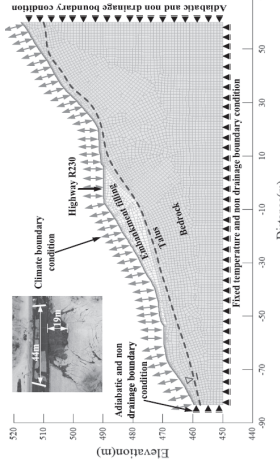
融雪水の考慮では災害発生は予測できない。精確な予測には崩壊機構の考慮が必要



国道230号中山峠斜面崩壊(2013.4.7)

寒冷地斜面崩壊危険度の将来予測

気候変動に伴う将来の気象条件変化(気温上昇や降水量の増加)により北海道の土砂災害はどのようになるか?



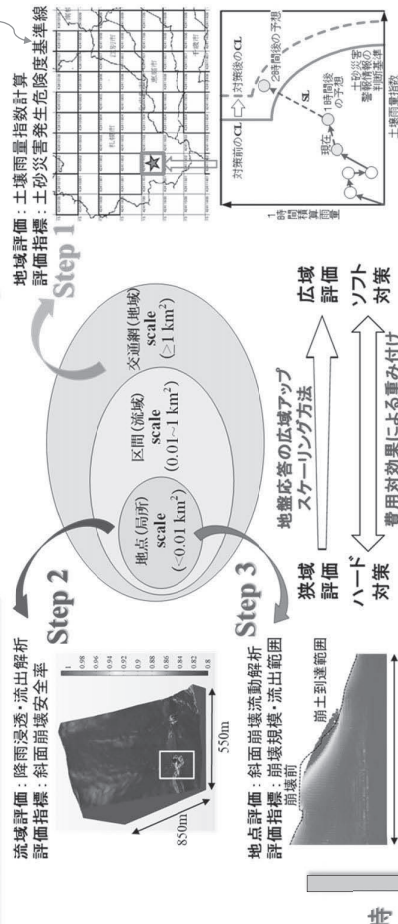
熱伝導/浸透連成FEM解析モデル(中山峠)

- 気候変動の影響を受け札幌近郊の年間の土砂災害リスクは今後増大
- 同手法は、北海道のような気候変動災害脆弱地域に対して近未来の地盤防災・減災対策を考える上で有効

気象条件変化に呼応して道内で発生してきた既往の土砂災害が今後どのように変容する可能性があるかを検討する必要性

気候変動脆弱地域土砂災害リスク評価

階層的災害リスク評価



気候変動シナリオに基づく将来の気象条件変化予測

多相学・マルチスケール分析による気候変動下の寒冷地盤の土砂災害リスク評価

北海道大学 山田 剛人 先生の発表資料より

今後の気候変動脆弱地域災害リスク評価

- 自然外力変化の可能性
 - 気候変動(地球温暖化に伴う気象条件変化)は今後北海道でどのように進む可能性があるのか?
 - 将来の地盤災害対策において気候変動予測のどのような情報をもとに活用すべきか?

北海道で今後増加が予想される現行の確率降水量では対応が難しい未経験の異常気象時の土砂災害リスク評価の重要性増

- 災害形態変容の可能性
 - 気候変動に呼応して道内で発生してきた土砂災害は今後どのように変化するか?
 - 気候変動に伴って今後道内未経験の複合地盤災害が発災するとしたらそれらをどのように予想すればよいのか?

将来気候で発災が予想される積雪寒冷地特有の事象を踏まえた新たな形態の複合地盤災害の予測とその体系化の必要性

- 耐災害性強化の必要性
 - 既存の設計・維持管理法では予測・評価が難しい潜在的な災害リスクに対してどのような備え(対策)が考えられるのか?
 - 将来の災害外力の加速・大規模化あるいは複合化に対するより適切な気候変動適応策の構築に我々は今何をなすべきか?

北海道の気象特性と地域特性を考慮した総合的な土砂災害リスク評価と災害適応策の在り方について継続・学際的議論要

謝辞

調査・研究に多大なるご協力を賜りました関係各位に御礼申し上げます。

国土交通省北海道開発局, 北海道, 札幌市, 日本気象協会北海道支社, 東日本高速道路(株)北海道支社, 北海道道路管理技術センター, 地盤工学会地盤災害調査団各位

【参考文献】

- Subramanian, S., Ishikawa, T., Tokoro, T. : Stability assessment approach for soil slopes in seasonal cold regions, Engineering Geology, 221: 154-169, 2017.4. (10.1016/j.enggeo.2017.03.008)
- Subramanian, S., S., Ishikawa, T., Tokoro, T. : An early warning criteria for the prediction of snowmelt induced soil slope failures in seasonal cold regions, Soils and Foundations, 58(3): 582-601, 2018.6. (10.1016/j.sandf.2018.02.021)
- Zhu Y., Ishikawa, T., Subramanian, S., Luo, B. : Simultaneous analysis of slope instabilities on a small catchment-scale using coupled surface and subsurface flows, Engineering Geology, 275: 105750, 2020.7. (10.1016/j.enggeo.2020.105750)
- Zhu Y., Ishikawa, T., Subramanian, S., Luo, B. : Early warning system for rainfall and snowmelt induced slope failure in seasonally cold regions, Soils and Foundations, 61(1): 198-217, 2021.1. (10.1016/j.sandf.2020.11.009)
- Zhu Y., Ishikawa, T., Yamada, T., Subramanian, S. : Probability Assessment of Slope Instability in Seasonally Cold Regions under Climate Change, Journal of Infrastructure Preservation and Resilience, 2: 20, 2021.7. (10.1186/s43065-021-00034-1)

ご静聴ありがとうございました。

第60回記念講演

災害から学んだ地下水の有効性

株式会社アクアジオテクノ
代表取締役 石塚 学



いしづか まなぶ
石塚 学

株式会社アクアジオテクノ
代表取締役

経歴

- 1979年 室蘭工業大学工学部開発工学科 卒業
- 1992年 株式会社アクアジオテクノ設立（平成4年4月4日）
代表取締役
- 2003年 有限会社AGS設立
代表取締役
- 2018年 株式会社環境プロジェクトをアクアグループ傘下
代表取締役会長

外部団体 委員委嘱 経歴

- 一般社団法人 全国さく井協会 特別委員会 委員長
- 一般社団法人 北海道環境保全技術協会 理事

災害から学んだ 地下水の有効性

第60回試錐研究会

令和4年3月7日
(社)全国さく井協会 特別技術委員長
石塚 学

2

本日の話題

1. はじめに
2. 大規模災害等の影響と課題
3. 大震災(東日本・熊本)における井戸被害調査結果
4. 防災対策としての地下水の有効性
5. 地下水を利用した地域防災計画の取り組み
6. 健全な地下水資源活用のための提言
7. おわりに

1. はじめに

- 地域の水供給施設として、水道が唯一の手段となつて久しいが、近年の地震・火山噴火・風水害など自然災害が頻発するなかで、配水管の破損のみではなく、配水池や浄水場の被災により、長期間の断水を余儀なくされた事例が近年の大規模災害では多く見受けられ、災害時の水の確保が急務の課題となっている。
- 1995年の兵庫県南部地震(阪神淡路大震災)では、緊急の生活用水源として、井戸水が大きな力を発揮し、非常用水源として地下水の有効性が注目された。その後、神戸市の提言により国土交通省が、全国の自治体に対し災害時協力井戸制度の導入を促した。
- 地下水の利用にあたっては、継続可能な地下水の健全な地下水活用のあり方を検討し、各地域に対応した地下水の活用・保全に関する計画を策定して運用する必要があるが、地下水層流動状況の広域的な把握や連携、定量的な影響評価が遅れており、適切な規制がなされていないがために地盤沈下が生じたり、逆に規制のために有効な地下水の利用が進まなかったりしてきた。
- しかし、2018年からスタートした内閣府の戦略イノベーション創造プログラム(SIP)「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」に災害時地下水利用システム開発が組み込まれ、改めてその有効性が確認されている。
- ここでは、大規模災害が水インフラと住民生活に与える影響と、その対策としての地下水利用の有効性、その運用方法について説明する。

3

本日の話題

1. はじめに
2. 大規模災害の影響と課題
3. 大震災(東日本・熊本)における井戸被害調査結果
4. 防災対策としての地下水の有効性
5. 地下水を利用した地域防災計画の取り組み
6. 健全な地下水資源活用のための提言
7. おわりに

4

2.1 大規模災害等による水道への影響

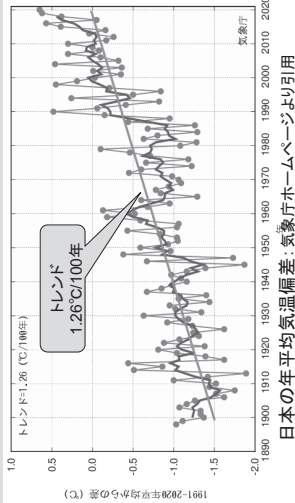
- 地震・豪雨など自然災害や化学薬品の流入事故などによる水道原水のうける被害で水道の減水・断水となるケースが多くなっている。
- 少雨化傾向による水源のダム貯水率低下などが給水制限に繋がるなど、飲料水供給のリスクが大きくなってきている。

災害	要因	水源域現象	水道施設の影響		最近の発生事例
			原水水質	取水・浄水施設	
自然災害	風水害	土石流、地盤崩壊、シャワーベック	濁度、鉄・マンガン濃度上昇等	取水口土砂埋塞 ・急速・緩速ろ過池機能停止等 ・取水スクリン結水（目詰り現象、取水量減）	2009年9月：台風9号でA町5浄水場冠水断水（約4600世帯、22日間）
	豪雪災害	シャワーベック		水源域の鉄類による臭気発生	2009年5月～7月：A市水道給水制限、B町は6月に22日間の夜間断水
	洪水災害	流量減少		濁度、PH上昇	1978年5月：有珠山噴火降灰で浄水場停止、断水
	火山災害	火山噴火、降灰		濁度、鉄・マンガン濃度上昇等	2009年8月：駿河湾を震源とする地震で静岡県、神奈川県内で断水（75,000戸、最大3日間）
	津波災害	構造物損壊	塩水化	取水水量減少・停止	2011.3：東日本大震災で断水（230万戸）
人為災害	地震災害	山崩れ、土石流、地盤崩壊	濁度、鉄・マンガン濃度上昇等	取水口土砂埋塞 ・施設設備損傷 ・取水量減少・停止	2012年5：利根川水系化学生物質廃水流出、減断水（36万戸、87万人に影響）
	化学物質の流出	水源流域での工場、事業所排水等	油類、薬品類	活性炭注入 ・取水量減少・停止	

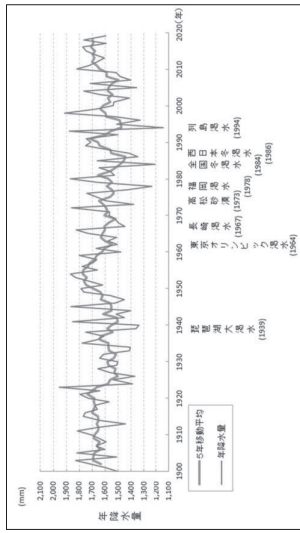
* 最近の発生事例は「国土交通省平成21水資源白書及び被災県HPなどより作成

2.2 日本の平均気温と年降水量の経年変化

- 観測データの均質性が長期間確保でき、かつ都市化等による環境の変化が比較的小さい地点から、地域的に偏りなく分布するように選出した15地点のデータをもとに、日本の平均気温の偏差（平均気温から1991年～2020年の30年平均値を差し引いたもの）を求めた。



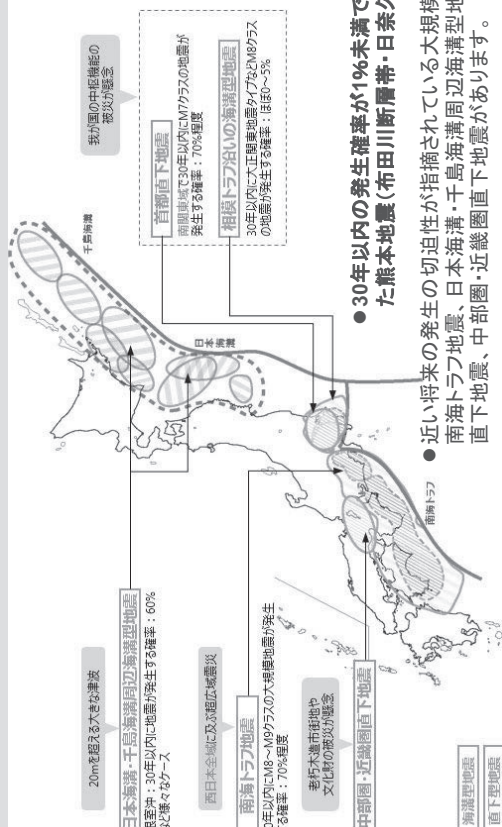
- 長期的な変化を見やすくするために、5年の移動平均処理（ある年を中心とする連続した5年の平均値をその年の値とする）を行った。



- 年降水量（全国51地点の平均）の経年変化を見ると、日本の年降水量には、統計的に有意な長期変化傾向は見られない。

- 統計開始から1920年代半ばまでと1950年代に多雨期がみられ、1970年代から2000年代までは年ごとの変動が比較的大きかった。

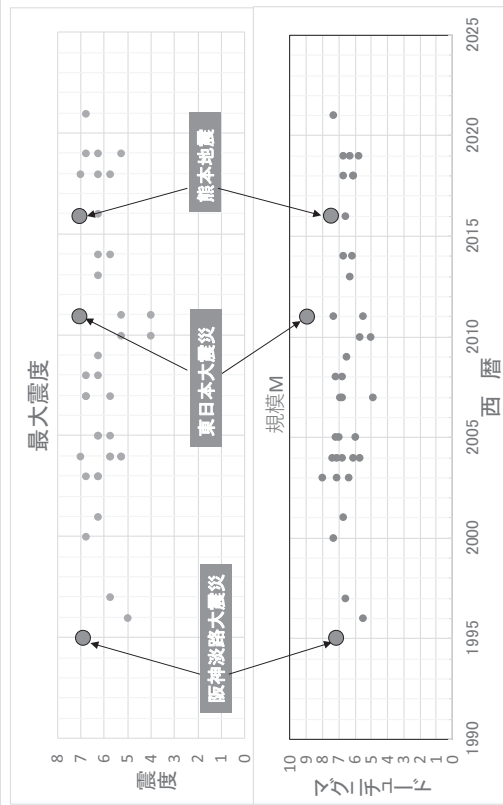
2.4 高い確率で発生が予想されている大地震



- 30年以内の発生確率が1%未満でも発生した熊本地震（布田川断層帯・日奈久断層帯）
- 近い将来の発生が指摘されている大規模地震には、南海トラフ地震・日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震、首都直下地震、中部圏・近畿圏直下地震があります。
- 中でも、関東から九州の広い範囲で強い揺れと高い津波が発生するとされる南海トラフ地震と、首都中枢機能への影響が懸念される首都直下地震は、今後30年以内に発生する確率が70%と高い数字で予想されています。

※内閣府 防災情報のページより引用

2.5 震度4以上の地震の発生状況



39回 ÷ 26年 = 1.5回/年 発生

2.6 地震災害における水源確保の課題

今回の東日本大震災では、水道施設の被害により19都道府県で最大約257万戸の世帯で断水が発生し、最大断水日数は約5ヶ月と報告されている。

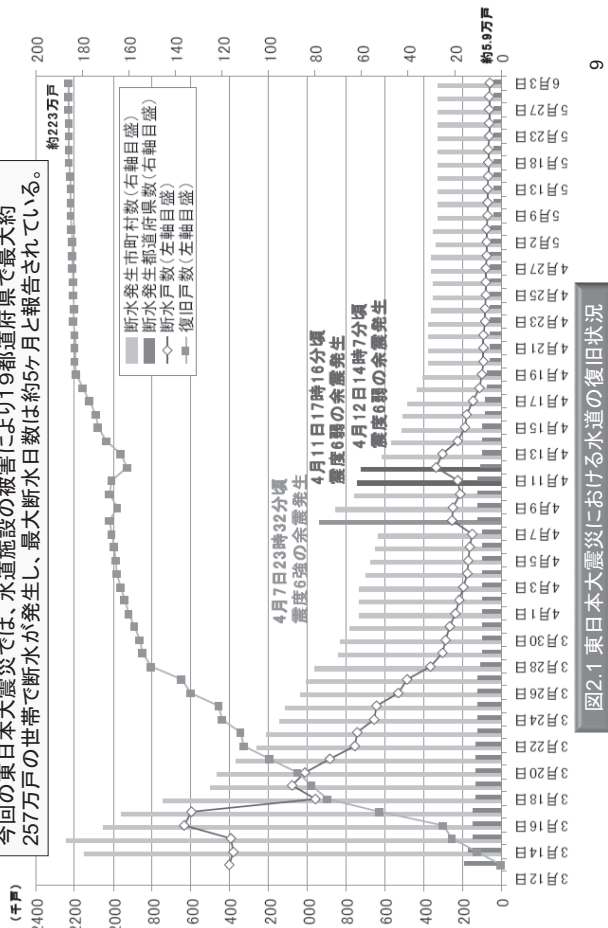
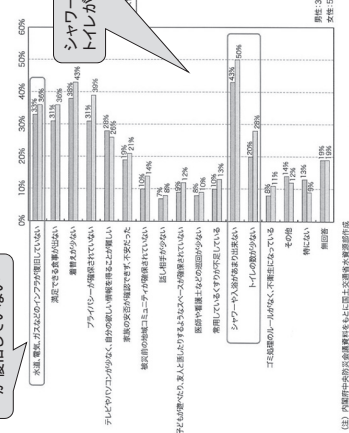


図2.1 東日本大震災における水道の復旧状況

資料) 厚生労働省健康局水道課、平成23年東日本大震災水道施設被害等現地調査報告書 (H23年9月)

東日本大震災 避難所・自宅 で困ったこと

水遣などのインフラが復旧していない



避難所生活で困っていること(アンケート)

平成24年度日本の水資源(国土交通省)より引用

※併記されている項目は、「その他」の中から特に多かった項目を抜粋

仙台市ホームページより引用

11

●被災地では、水道ライフラインが遮断されたことで、市民生活にとって飲料水確保はもとよりトイレや入浴など生活用水の確保が困難な状況となりました。

●災害発生直後は、消防水利の不足や病院における水不足での医療活動などにも大きな支障を及ぼしています。

災害発生後の必要給水量は段階的に増加 (表2.1)

断水日数が延びるほど生活用水確保は困難となり状況は深刻化
必要な対策

災害に強い安定した水源の確保 (リスク分散)

表2.1 応急給水の目標設定 (時系列水必要量)

地域発生からの日数	市民の水の運搬距離	主な給水方法
地震発生後～3日まで	概ね 1km以内	貯留貯水槽、タンク車
10日	概ね 25km以内	配水幹線付近の仮設給水栓
21日	概ね 100km以内	配水支線上の仮設給水栓
28日	概ね 100km以内	仮設管からの各戸給水 (約2500人・日)

(出典: 厚労省「水道耐震化計画等策定指針」(2008年))

10

熊本地震において避難所の設備で困ったこと、役に立った機能

※4～6設置者(県及び全市町村)へ照会し、27設置者から回答あり。(うち、有効回答は24設置者分。)

◆備えられていなかったために困った機能

- 全般を通して、外にあるトイレの往復が不便なことから、多くの設置者が体育館内の多目的トイレの必要性を挙げた。
- 地震発生時は広い範囲で停電が発生し、自家発電設備の必要性を求める設置者が多かった。
- 夜間は館内が真っ暗になるため、調光機能を備えた照明や館内出入口の照明が必要という回答があった。
- 避難当初はライフラインの断絶により水の確保、とりわけトイレの水が確保できずに困ったと多くの設置者が回答。
- 断水解消後は、生活スペースとしての機能を求める住民が多くなったとして、空調やライバシー配慮スペースが必要とほとんどの設置者が回答。

◆備えられていて役に立った機能

- 全般を通して、避難所として活用できた施設は構造体はもちろん、非構造部材における耐震化を行っている施設が多かった。
- 断水後は井戸や中水道施設が、停電時には自立運転機能を備えた太陽光発電設備が役に立ったとの回答が多かった。
- 今回の地震の特徴として、車中泊が多かったためナイト照明が安心感を得られる等の理由からも役に立ったとの回答が多かった。

出典: さく井協会九州支部 岩隈支部長『防災用井戸のススメ』

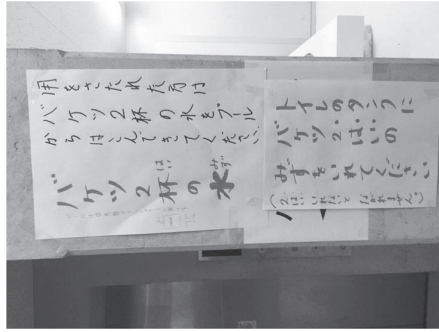


熊本県教育委員会

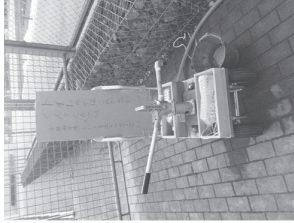
12

避難所の給水源はおもにプールと給水車

- プールの場合、バケツ等で取水時に余震が起きたり、バランスを崩してプールに転落する恐れがあり、子供や高齢者には特に危険であった。



危険回避のため
さく井協会九州支部
岩瀬支部長が提供した、
移動式手押しポンプ



- 給水車の場合、1回の運搬量に限度(2000リットル/台)があり、次の給水車が来るまでに長時間待つ必要があった。

13

水を求める大行列



17日午前7時54分、熊本県益城町、朝日新聞社へリから撮影された、水を求める大行列



千代田工業さく井協会員所有の災害用井戸に水を求める行列

14

熊本地震における水不足の記事



熊本国府高校、ハイプ椅子でSOS
朝日新聞:4月17日

熊本地震では、最も多いときで366校が避難所として機能していた。これは避難所の約5割を占める。

しかし、学校施設には避難所としての設備が備わっていないため、トイレや電気、水の確保など、さまざまな不具合や不便が発生。

【避難所からのメッセージ】熊本地震 水が
足らず民家の井戸水利用も

熊本県民生活149号
2016年4月16日 158頁59号掲載



熊本市東区の避難所では飲料水が足りず井戸水を利用して水の確保に努めている

15

エコノミークラス症候群

避難民の行動

トイレに行きたくない
ために水を控える



水分を摂らなくなる
ことで脱水状態



血栓ができやすくなり
血栓症になる可能性

阪神淡路大震災の地震後に亡くなられた方の死因は、
心不全、心筋梗塞、脳梗塞、エコノミークラス症候群(肺塞栓)など、
3割の人が血管を詰まらせる病気が原因

生活水さえ確保できれば、トイレを気にすることなく水分を補給でき、また自宅の安全が確認できれば断水状態でも十分に暮らすことができるので、血栓症になる確率も大幅に減少させることができると考えられます。

16

本日の話題

1. はじめに
2. 大規模災害の影響と課題
3. 大震災(東日本・熊本)における井戸被害調査結果
4. 防災対策としての地下水の有効性
5. 地下水を利用した地域防災計画の取り組み
6. 健全な地下水資源活用のための提言
7. おわりに

1900年以降に発生した地震の規模の大きなもの上位10位 (2011年3月15日現在)

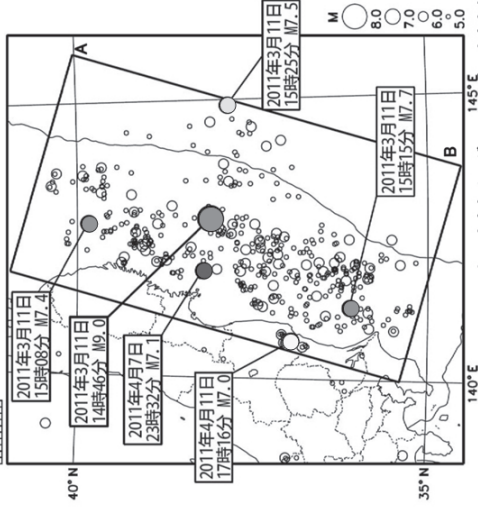
順位	日時(日本時間)	発生場所	マグニチュード(Mw)
1	1960年5月23日	チリ	9.5
2	1964年3月28日	アラスカ湾	9.2
3	2004年12月26日	インドネシア、スマトラ島北部西方沖	9.1
4	2011年3月11日	日本、三陸沖 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」	9
	1952年11月5日	カムチャッカ半島	9
6	2010年2月27日	チリ、マウリ沖	8.8
	1906年2月1日	エクアドル沖	8.8
8	1965年2月4日	アラスカ、アリューシャン列島	8.7
	2005年3月29日	インドネシア、スマトラ島北部	8.6
9	1950年8月15日	チベット、アッサム	8.6
	1957年3月9日	アラスカ、アリューシャン列島	8.6

気象庁ホームページ(アメリカ地質調査所調べ)

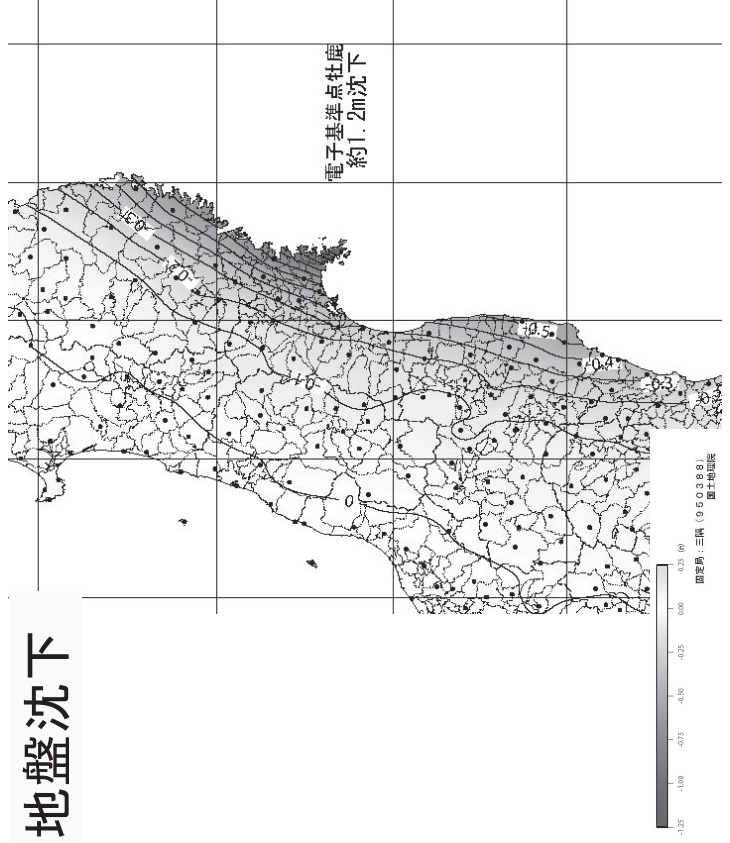
3.1 東日本大震災

(2011年3月11日 12時00分～4月21日 12時00分、深さ90km 以浅、M_s≥5.0)

- 赤色の一番大きい丸印がM9の本震です。
- 22分後に岩手県沖でM7.4、29分後に茨城県沖でM7.7の余震(赤丸印)が発生しました。
- この二つの地震は本震と同様に太平洋プレート表面でのすべりによる地震で、「狭義の余震」と呼びます。
- 39分後には日本海溝東側でM7.5の正断層型の地震(青色)。
- 4月7日に宮城県沖でM7.1のスラブ内地震(青色)が起こりました。
- また、4月11日に福島県南部でM7.0の直下型地震(黄色)が発生し、多くの被害ができました。
- これらの地震は、M9.0の地震の影響で誘発された地震であり「広義の余震」と呼ばれています。

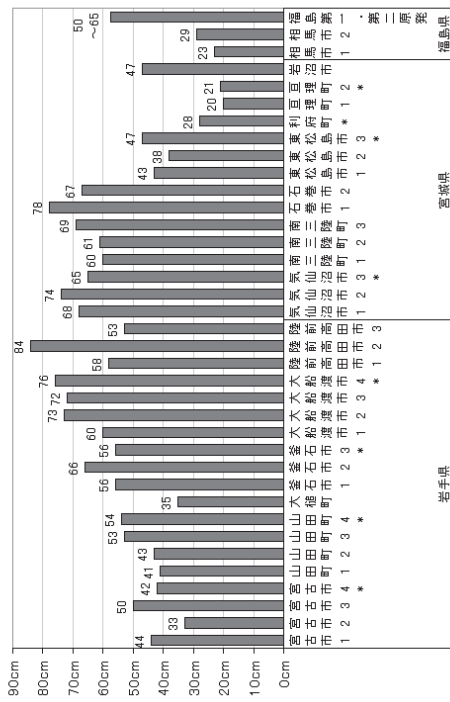


地盤沈下



地盤沈下

東日本大震災被災地の地盤沈下量



(注)電子基準点(*)の精度は約1cm、その他の水準点：三角点の精度は約10cm
 (資料)国土地理院「平成23年東北地方太平洋沖地震に伴う地盤沈下調査結果について」(2011年4月14日)
 東京新聞2011.7.9(福島第一：第二原発についての東京電力発表稿)

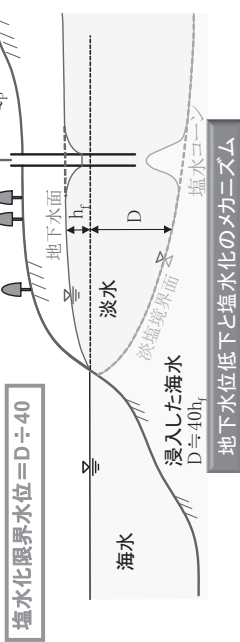
塩水化の基本的な考え方

- ◆ 海岸付近の井戸で揚水により地下水位が低下した際、井戸に海水の浸入を招くことがある。
- ◆ 塩水の比重が1.02~1.03であるので、塩水は淡水の下部に位置する。
- ◆ 塩水と淡水の境界面は、ガイベン - ヘルツベルク(Ghyben-Herzberg)が以下の様な関係を示している。

$$D = \gamma_f \times h_f / (\gamma_s - \gamma_f)$$

h_f : 海水面を基準として自由水面の高さ
 D : 海水面から淡水-塩水の境界面までの深さ
 γ_s : 海水の比重、 γ_f : 淡水の比重

◆ ここで、 $\gamma_s = 1.025$ 、 $\gamma_f = 1.00$ とすると、「 $D \div 40 = hf$ 」となる。これは、 hf の40倍の深度に塩水と淡水の境界面があることになり、井戸からの揚水時の塩水化は、この境界面が井戸底までに到達した際に発生する。



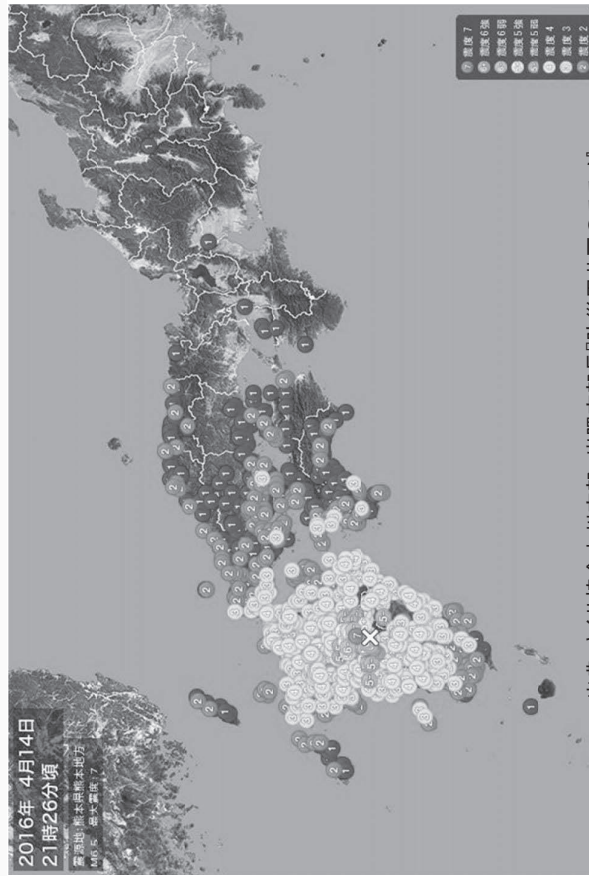
3.2 熊本地震の被害概要

出典：さく井協会九州支部 岩隈支部長『防災井戸のススメ』

- 震度6弱以上の地震が7回、うち震度7は28時間内に2回発生 (観測史上初)
- 余震 (震度1以上) は、発災から15日間で1,028回 (※6月7日17時現在で1,674回)
- 少なくとも市民の10%以上が避難 (阪神・淡路大震災の約2倍)
- 危険と判定された建物は1万5千棟超 (阪神・淡路大震災の2倍以上)
- 余震が続いているため、車中泊をする被災者が多数に及んだ (実数把握できず)

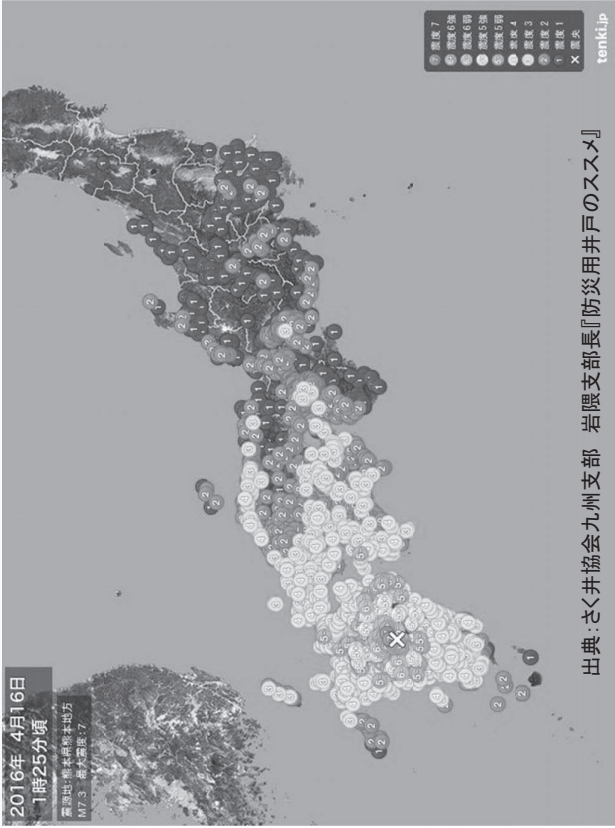
	地震・被害の規模		被災者		被災者支援	
	震度6弱以上	余震 発災から15日間	被災市町村人口 (震度6弱以上)	最大避難者数 ※1	被災者数 ※2	被災者支援 ※2
熊本地震	7回 うち震度7が2回	1,028回	約148万人 (県人口の約83%)	約18.4万人 (県人口の10.3%)	15,708棟	
阪神・淡路 大震災	1回	230回	約232万人 (同42%)	約31.7万人 (同5.7%)	6,476棟	
新潟県中越地 震	5回	680回	約38万人 (同16%)	約10.3万人 (同4.2%)	5,243棟	

熊本地震 2016年4月14日 21時26分頃



出典：さく井協会九州支部 岩隈支部長『防災井戸のススメ』

熊本地震 2016年4月16日 1時25分頃



調査対象地域

- 調査対象の範囲は、地震活動の大きかった熊本県全域とする。
- その中でも、被害の大きかった熊本市、阿蘇市、益城町、西原村、南阿蘇村の水道水源を中心として調査を実施する。



熊本地震の被害状況



出典: さく井協会九州支部 岩隈支部長『防災用井戸のススメ』

3.3 東日本大震災 井戸被害調査結果

調査結果総括一覧(2011年9月末現在)

要因	被書		井戸別被害箇所数		小計		合計		利用可井戸数		
	被書区分	青森	岩手	宮城	福島	箇所数	%	箇所数	%	箇所数	%
調査井戸数		45	83	46	60	234		234	100		
被害なし		43	65	31	57	196	83.8	196	83.8		
被害あり ↓ 復旧	津波	0	4	3	不明	7	2.9	8	3.4		
	塩水化	0	0	1	不明	1	0.4				
	揚水設備破損	0	1	0	1	2	0.8				
	水量減少	0	1	0	1	2	0.8				
被害あり ↓ 未復旧	濁り	1	8	6	1	16	6.6	25	10.7	221	94.4
	井戸破損	0	0	0	0	0	0.0				
	揚水設備破損	0	0	0	0	0	0.0				
	塩水化	0	2	1	不明	3	1.2	8	3.4		
濁り	井戸破損	0	2	不明	不明	2	0.8	13	5.6		
	揚水設備破損	0	0	3	不明	3	1.2	5	2.1		
濁り	井戸破損	1	1	1	2	0.8					
井戸破損				2	1	3	1.2				

調査した井戸数は234本であった。東日本大震災は地震と津波の複合被害であるが、地震に注目すれば、地震の被害は、図1に示すように濁りが18箇所と一番多く発生し、次いで井戸破損が8箇所、水量減少が1箇所の順であった。

しかし、濁り被害などのほとんどは、比較的短時間(0.5~2日程度)で解消される一次被害であり、地震のより機能を失った井戸は5本で、全体の2.1%であった。

3.4 熊本地震 井戸被害調査結果

全国の水道水源の地下水依存割合は19.3%に対し、熊本県は水道水源の約80%を地下水に依存しています。とりわけ熊本地域は、ほぼ100%を地下水でまかっている全国でも稀な地域です。

井戸の被害調査状況一覧

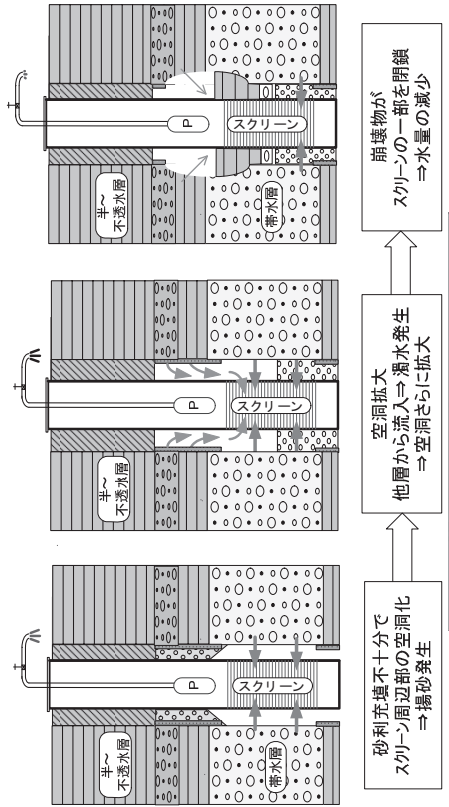
市町村名	担当部署	水源の被害		被害状況	備考
		井戸	湧水		
熊本市	上下水道局	113	0	地震発生直後、およそ8割の井戸で濁りが発生したが、ほとんどの井戸が短期間で解消した。4本の井戸が地表付近のケーシング/パイプが破損して、運用停止となった。	運用停止中の4本の井戸は、揚水設備の損傷が主であるが、井戸構造の破損も懸念される為、井戸点検を実施。
阿蘇市	水道局	19	11	井戸本体の被害はない。濁りが発生したが、解消した。	
益城町	水道課	16	0	井戸本体の被害はない。濁りが発生したが、解消した。	被害は管路や取水施設。
西原村	産業水道課	6	7	井戸本体の被害はない。濁りが発生したが、解消した。	断層を横断する配管が破損。
南阿蘇村	環境対策課	7	5	井戸本体の被害はない。濁りの発生、砂が混じる程度。	電気が復旧しないことが最も痛手。応急対策で井戸を利用した。

(井戸総数 161本)

※水源数は公表資料から、被害状況は聞き取り調査による

被害を受けた可能性のある井戸は、熊本市の4ヶ所であり、地震による被害発生率は、4/161⇒2.5%である。

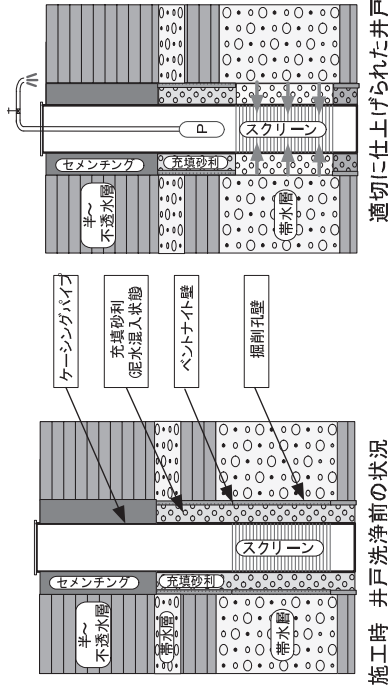
- 濁り解消に多くの時間を要した井戸または解消不能な井戸は、スクリーン周辺部の空洞化が主な原因として考えられる。被害の大きさは、この空洞化の程度と地質状況に大きく左右されると推定される。
- 施工時の砂利充填不備などによりスクリーン周辺部に空洞が存在すると、図3に示すように地震動によりスクリーン上部が崩壊する可能性が高く、その場合、スクリーン挿入区間以外の上部帯水層などから空隙部に土砂が崩れ落ち、濁りが発生すると考えられる。



ケーシング井戸の濁り発生の概念図

濁水発生の原因

- 帯水層を構成する砂礫部の、断層や地滑りなどによる直積的な破損がない限り、地震により帯水層中の地下水が濁ることはない。
- 濁りが比較的短時間(0.5~2日)で解消された井戸は、ケーシングなどの破損が原因ではなく、井戸内部やスクリーン周辺部に付着したスケール等の細粒分の一時的流出と考えられ、井戸構造には問題ないと判断される。
- 適正に仕上げられた井戸(ケーシング井戸の例)は、スクリーン周辺部の空隙が充填砂利で満たされている。このため、一般に地震動により土砂移動や崩壊を生じることは無く、地震動により濁水は発生しないと考えられている。



適正に仕上げられたケーシング井戸概念図

本日の話題

1. はじめに
2. 大規模災害の影響と課題
3. 大震災(東日本・熊本)における井戸被害調査結果
4. 防災対策としての地下水の有効性
5. 地下水を利用した地域防災計画の取り組み
6. 健全な地下水資源活用のための提言
7. おわりに

4.1 地域防災計画における地下水利用の有効性

河川・池・湖沼水や海水⇒△
これらの水資源の水質は不安定で取水位置も限定される。

プール⇒△

施設が耐震化されていない場合が多い。特に古い施設は液化等により損壊する恐れがある(東日本大震災において損壊率46.8%)。また、一般的なプール容量約660立方メートルは容量不足(収容500人×250Lで5.3日分)。

地下水⇒◎

- 地震による井戸の被害率は東日本大震災で2.1%、熊本地震で2.5%とほぼ同様の値であり、改めて井戸が地震に強いことが確認された。
- 震度7の激震においても、ほとんどの井戸で水質に大きな変化はみられなかった。一次的な濁りが確認された井戸も見られましたが、ポンプ揚水で短期間に解消されていた軽微な変化であった。
- 帯水層を構成する砂礫部の、断層や地滑りなどによる直接的な破損がない限り、地震により帯水層状況が変化することはなく、揚水能力の低下は確認されなかった。
- 地下水は循環型の資源であるので、雨水浸透などによる地下水供給量以内であれば、半永久的に安定した水量を確保可能である。
- 気象条件に左右されない身近な水資源であり、水質が良好であれば飲料水や医療用水に活用できる。また、飲料水として直接使用することが水質面から難しい場合でも、トイレ用水などの生活用水として利用可能であり、災害後の公衆衛生を確保するうえで極めて有効である。
- さらに、需要(必要とされる場所)と供給場所(井戸の設置箇所)が同一または近接しているため、配管の寸断などのリスクは少ない等、他水源に比し優位性に富んだ水資源である。

33

水道システムでの地下水の活用例

	対策と効果
<p>地下水の活用(表流水と併用又は単独使用)</p> <p>平常時</p> <p>30% 地下水 70% 地表水取水 浄水場 配水池</p> <p>*%数値は原水水量の負荷分散比を例示す</p>	<p>□予備水源及び水質の多系統化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・災害時の予備水源の確保 ・浄水処理の安定化 ・薬品処理コストの軽減(低減化策など) ・災害リスクの低減化策
<p>異常時</p> <p>20~50% 地下水 80~50% 地表水取水 浄水場 配水池</p> <p>水源域で水質・水質に影響を及ぼす諸現象(濁水、水質汚染等)発生時</p>	<p>□水質水量減少及び水質の異常時</p> <ul style="list-style-type: none"> ・濁水時対応(水量不足) ・濁度上昇等水質異常時の浄水処理の対応(処理プロセスの負荷軽減、処理コスト低減、汚泥発生量などの軽減)
<p>災害時</p> <p>100% 地下水 0% 地表水取水 浄水場 配水池</p> <p>地下水位低下による取水不能発生時 地震、集中豪雨、土石流、火山噴火などにより施設損傷、損壊及び機能低下発生時</p>	<p>□取水・浄水処理不能及び水質異常時</p> <ul style="list-style-type: none"> ・土石流等による取水不能対応 ・災害で浄水システム停止時の対応 ・応急給水拠点としての機能確保 <p>*ろ過機能を維持できない場合は、地下水の採掘量の不検出を確認し、直ちに直接配水池に送水</p>

35

4.2 水道における災害等対策としての地下水活用

- 市民生活や社会活動にとって水道が水確保のほぼ唯一の手段となっており、ライフラインとして必要不可欠な社会基盤となっている状況の中では、地震等の自然災害や水質汚染等の突発性事故による減・断水が社会に与える影響は、極めて深刻なものとなる。
- しかし、これら水道施設の強靱化対策には膨大な費用を要すること、さらには人口減少、少子高齢化の進行は水道管の使用効率の低下を招き、財政面・運営管理面・施設老朽化対策などの様々な課題を抱えていること等から、予防対策の進捗状況は事業体で異なっているのが現状である。
- また、高度経済成長期に急速に整備されてきた水道施設が更新期を迎え、今後、水道施設の統廃合、管路延長の削減を行い、現況を維持しつつ、優先順位を上げ施設をコンパクトに更新し、水道システムを地域環境に適合させていくことが求められている。
- 人口の減少や低密度化が進む地域においては、需要場所において必要なだけ水を作るシステム(分散システム)が経済的に有利となり、その自立分散型水源として地下水が、極めて有効である。
- 水道施設における耐震化・少子化対策は、今後、一層の加速化が必要となる中で、ここでは主たる水源の予備水源や代替水源等として地下水の有効活用を提案する。

34

本日の話題

1. はじめに
2. 大規模災害の影響と課題
3. 大震災(東日本・熊本)における井戸被害調査結果
4. 防災対策としての地下水の有効性
5. 地下水を利用した地域防災計画の取り組み
6. 健全な地下水資源活用のための提言
7. おわりに

36

5.1 国による地下水有効利用の取り組み

- 平成19年3月 「健全な地下水の保全・利用に向けて」作成(国交省)
- 平成21年3月 「震災時地下水利用指針(案)」作成(国交省)
- 平成27年7月 水循環基本計画にて「持続可能な地下水の保全と利用の推進」のための施策として「地下水マネジメント」を位置づけ(内閣官房水循環政策本部)
- 令和2年2月 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の研究テーマに「災害時地下水利用システム開発」が項目化(内閣府)
- 令和3年6月 水循環基本法を改定し、地下水規定追加

『非常時地下水利用システムに関する研究(国土交通省)』の一環として2017年熊本地震の現地調査をし、問題点を聴取した。その主な結果は以下のとおりである。

- ペットボトルは余っていたが、生活用水が足りなかった。
- 震災時には、多くの企業が井戸を自主的に開放し、助け合いがみられた。
- これを踏まえ、備えとして災害協定を制度化し、「災害時協力企業井戸(H31.2.現在 88箇所)」としてHPで市民に公開した。
- 平常時から井戸を併用している病院では、生活用水の経費削減と災害時の透析用水の確保のため井戸を利用。地震発生時に地下水が濁ったが、数時間で収まった。自家発電設備を有するため、停電しても濾過可能。

37

5.3 災害時の医療活動用水の事例

『災害医療等のあり方に関する検討会(平成23年10月厚生労働省)』によると、東日本大震災における医療活動用水について、以下のように報告されている。

- 回答のあった489病院中、受水槽の容量は半日～1日分が207病院(42.3%)であり、2日分以上が126病院(25.8%)であった。また、井戸設備を備えている病院は229病院(46.8%)であった。
- 災害拠点病院においては、適切な容量の受水槽の保有や、停電時にも使用可能な井戸設備の整備。災害拠点病院では、受水槽や井戸設備での対応、水道事業者等の給水などにより、最低限必要な水は確保された。しかし、水道事業者が病院だけを優先的に給水するのは難しいという意見があった。
- 優先的な給水協定の締結等、あらゆる手段を講じて診療時に必要な水の確保に努める必要がある。

また、その中で災害時の地下水の利用の有効性に関する事例が紹介されている

- [参考]国立病院機構水戸医療センター(病床500床)での地下水利用の状況
- ◆2011年1月に地下水飲料化システム導入⇒ライフラインの2WAY化
 - ◆地下水システムは常時使用し、1日使用量の90%を賄う。
 - ・病院での日使用量:273トン/日(雑用水除く)
 - ・病院内貯水槽 :200t
 - ◆東日本大震災時には、水が使用可能だったことから、患者の受け入れが可能であった。
 - ・水戸市内や福島県などの病院から患者を受け入れ
 - ・人工透析患者を断ることなく受入れ、透析を実施
 - ◆水戸医療センター周辺は、3月11日～25日までの14日間断水が続いたが、当センターは地下水利用のため、断水はなかった。

39

5.2 自治体の災害用協力井戸(応急給水用井戸)制度の展開

- 阪神・淡路大震災以降、災害時に個人や企業が保有する水井戸を生活用水として提供してもらう「災害用協力井戸の制度」が全国の自治体で導入されてきている。
- この制度は、個人や事業所で保有する井戸を自治体に登録し、災害時に水道が断水した際に近隣住民に生活用水として無料で開放・使用できる仕組みである。なお、この制度では、大半の自治体が事前に水質検査等を行い生活用水としての点検確認を実施するほか、井戸には井戸プレートを掲示するなどの情報の提示を行っている。
- これまでに都内21区のほか政令指定都市など15市で、12,000個所の井戸が登録されているとの報道もある。

○仙台市の活用事例

- 仙台市では、平成12年度から民間と企業に登録募集を開始し、震災時点で個人井戸185軒、事業所井戸39軒が登録されていた。
- 東日本大震災後に仙台市が実施した「災害応急用井戸」の活用調査によると、震災で断水となった地域において個人託の8割近く、事業所の7割近くの登録井戸が利用されていたとの結果が公表された。

東日本大震災時ににおける仙台市の協力井戸利用率(仙台市ホームページより)

登録井戸	登録状況(震災時)		断水地域内		利用率
	総数	調査回答数	有B	無	
個人	185	158	106	84	23
事業所	39	39	26	17	9
					65%

38

5.4 災害時の防火用水の事例

東京都は、防災対策指針(平成23年11月)の中で消防水利の確保の対応策として、「多機能型深井戸の整備等による消防水利の確保」を打ち出しています(深井戸の正式名は「震災時多機能型深層無限水利」)。

東日本大震災での東京都対応(消防水利の確保に関して)

【課題】

今回の震災では、大津波による被害だけでなく火災も発生し、被害を受けている。首都直下地震の際、都内においては、木造住宅密集地域を中心に、同時多発火災や大規模市街地火災が発生する可能性が高い。しかしながら、消防水利の不足地域を見ると、そのほとんどが木造住宅密集地域に集中しており、この地域内では防火水槽の設置用地の確保が困難になりつつある。そのため、迅速な消火活動の実現に向けた、消防水利の整備のための方策を講じる必要がある。

【対応】

今回の震災を踏まえて、区市町村では、地元消防署と連携した水利整備や、都市構造の変化に対応した水利整備計画の推進の検討などが進められている。都としては、防火水槽の整備等の既存の手法だけでなく、震災時における生活用水等にも活用が図られる多機能型深井戸の整備を推進し、木造住宅密集地域における水利の確保を図っていく。

東京都:防災対応指針(平成23年11月)

5.5 さく井協会 防災用井戸普及の取り組み

女川町森公園で、親子井戸掘り教室を実施しました！

NPO法人女川ネイチャーガイド協会主催、女川町共催、サッポロホールディングス（HD）と一般社団法人全国さく井協会の協賛により、平成27年8月23日に、奥清水溪流の森公園において『親子井戸掘教室』を開催しました。子どもたちに『人の力で井戸が掘れること・水の大切さ』をみんなで学んでもらう企画です。



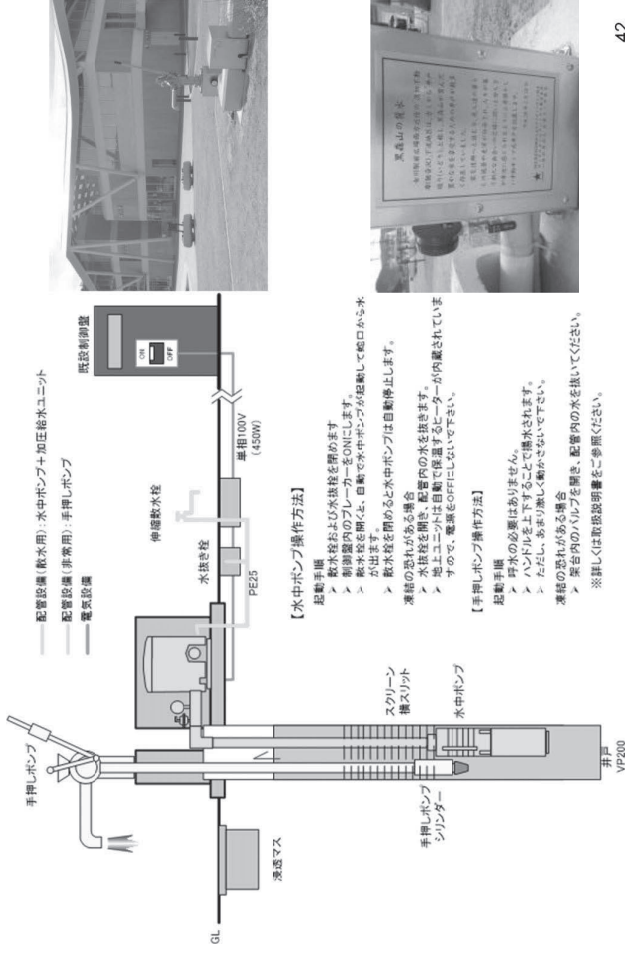
手掘りの打ち込み井戸を、親子みんなで掘きました



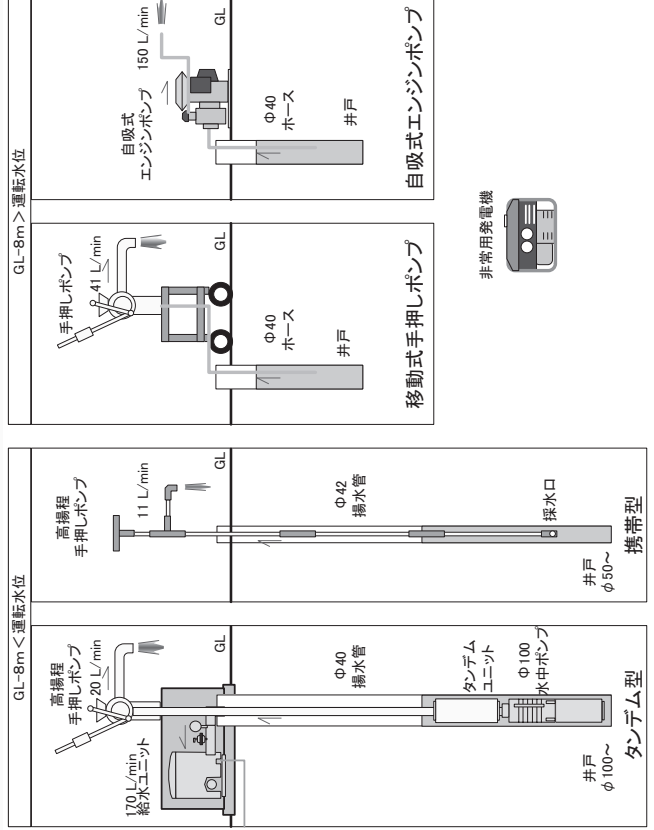
押しポンプを設置し、夢中で汲み上げの子供達



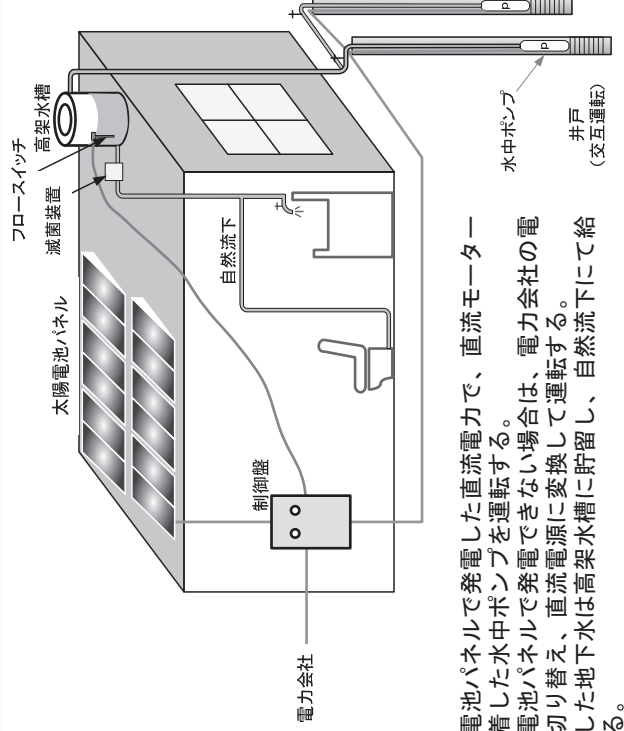
女川町 女川駅前広場に、防災井戸を設置しました！



防災用井戸の事例1



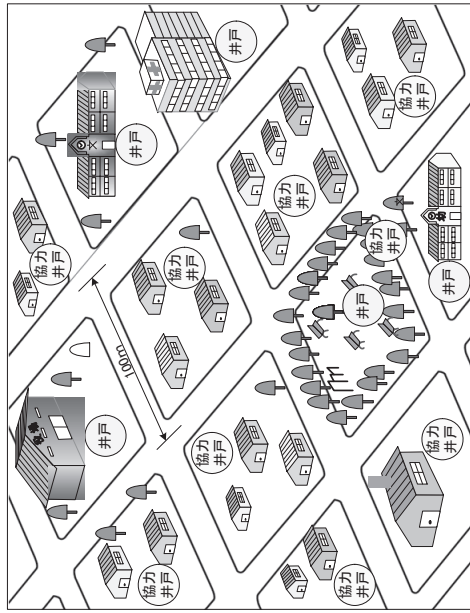
防災井戸の事例2：ソーラーポンプシステム



- 太陽電池パネルで発電した直流電力で、直流モーターを装着した水中ポンプを運転する。
- 太陽電池パネルで発電できない場合は、電力会社の電力に切り替え、直流電源に変換して運転する。
- 揚水した地下水は高架水槽に貯留し、自然流下にて給水する。

5.6 地域防災計画における地下水活用

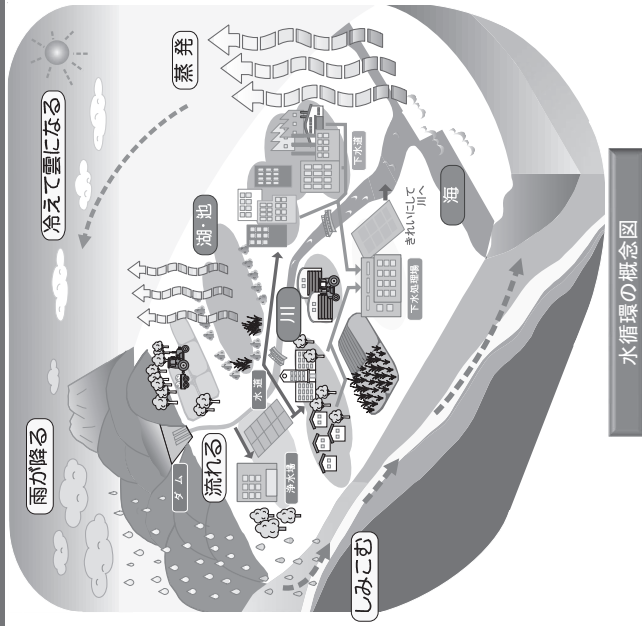
- 大規模震災時に求められる水需要は、表2.11に示すように震災発生直後から各段階で変化する。
- 地域防災計画の策定や改定時には必要な水量や被災住民の水の運搬可能距離などを勘案し、なかでも水の入手に課題のある地区を検討して防災井戸を効果的に配置することが重要となる。
- 防災井戸は、前章で述べたように自治体の災害用協力井戸（応急給水用井戸）制度を構築・活用するのが有効である。



- 特に、災害対策の重要な拠点となる「収容避難場所（学校・公民館など）」、「病院・診療所などの医療施設」等には、水供給施設として防災井戸とともに揚水ポンプ用の非常用発電設備を備えることは、災害時の断水対策として極めて有効である。
- 防災井戸は災害時のみに利用するのではなく、平常時から必要な給水量の一部または全部を利用することが望ましい。そうすることで、水等のコスト低減化に寄与し、井戸の維持管理も容易となる。

45

6.1 健全な地下水活用の方法



- 地下水は循環型の資源であり、地表からしみこむ供給量以内で利用すれば、持続可能な資源として安定的に利用することができる。
- したがって、『地下水は地域（地下水盆）の共有財産』という認識に立ち、持続可能な地下水の健全な地下水活用のあり方を検討し、地下水の活用・保全に関する計画を策定・運用する必要がある。

47

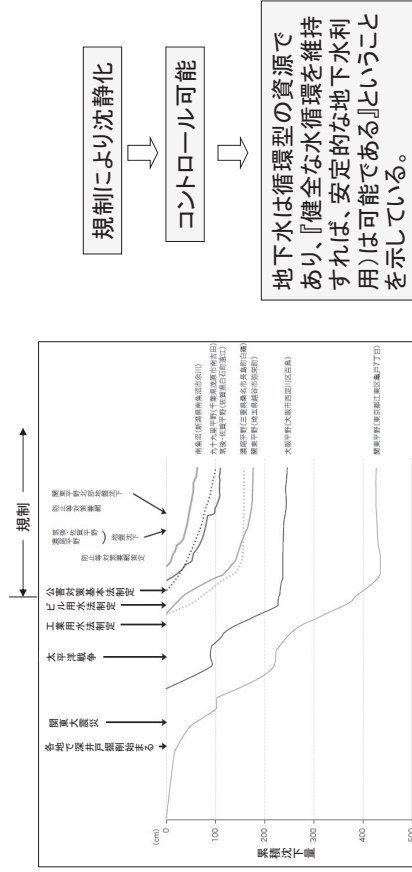
本日の話題

1. はじめに
2. 大規模災害の影響と課題
3. 大震災（東日本・熊本）における井戸被害調査結果
4. 防災対策としての地下水の有効性
5. 地下水を利用した地域防災計画の取り組み
6. 健全な地下水資源活用のための提言
7. おわりに

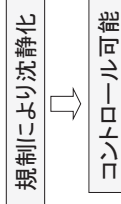
46

6.2 地下水の保全・利用に向けた課題

地下水使用に関しては、昭和30年代から40年代にかけ地下水の過剰な揚水で大都市圏を中心に地盤沈下を惹起し社会問題となった経緯がある。このため、法律や条例・要綱・指針など（平成25年5月現在、32都道府県385市区町村）による揚水規制を押し進めてきた結果、大部分の地域で地下水水位は上昇し、地盤沈下は沈静化しつつある。

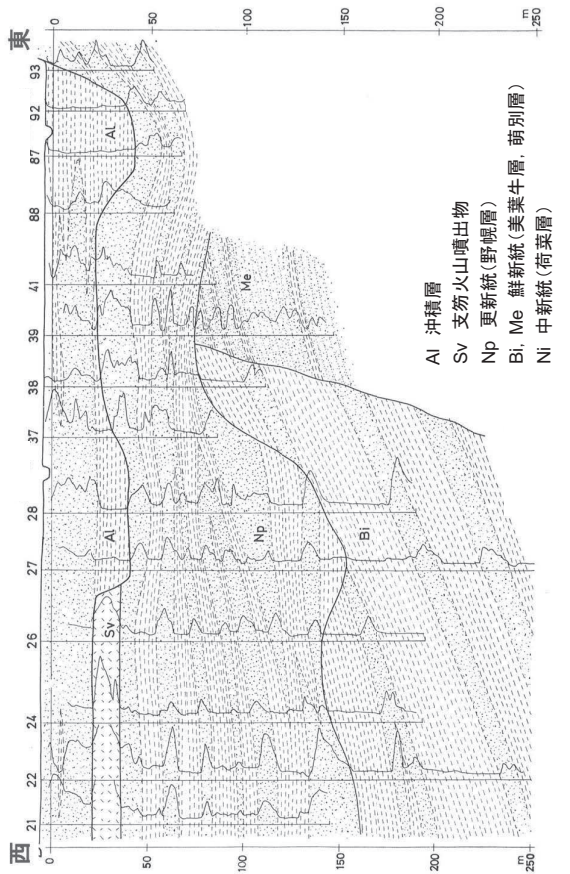


地下水は循環型の資源であり、『健全な水循環を維持すれば、安定的な地下水利用は可能である』ということを示している。



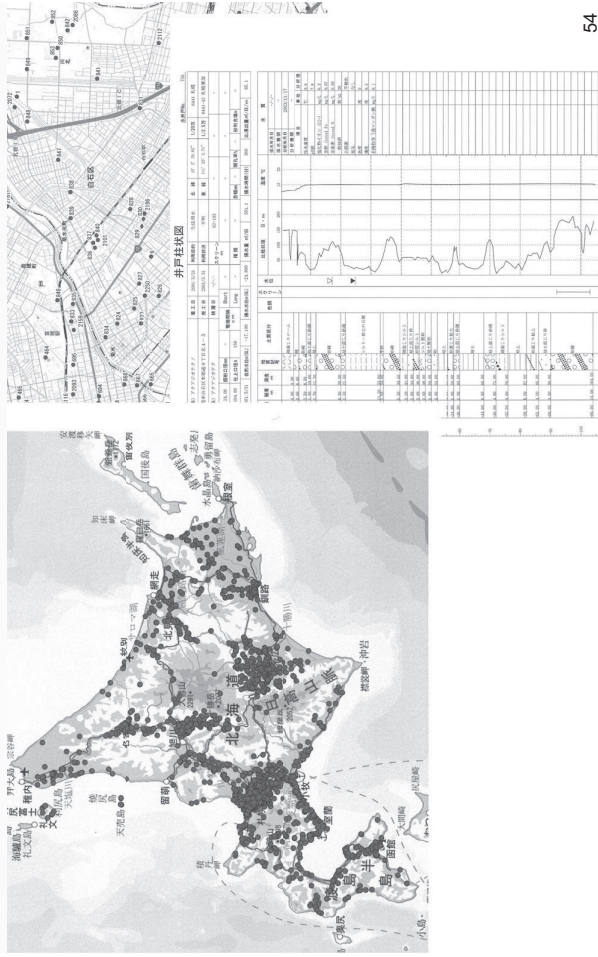
48

地層の比抵抗値を用いた地層の連続性検討の事例



53

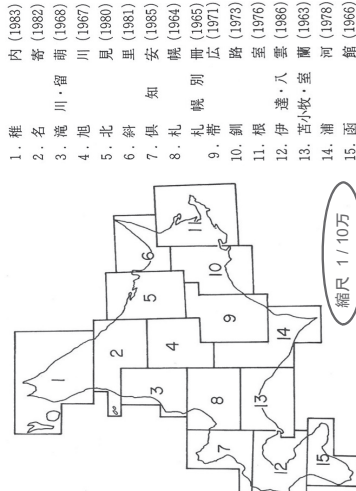
北海道水井戸データベース 収録水井戸数 2427井 (1981~2018年度掘削)



54

② 地域の水理地質構造と水量・水質の把握⇒水理地質図幅の作成

(刊行年)



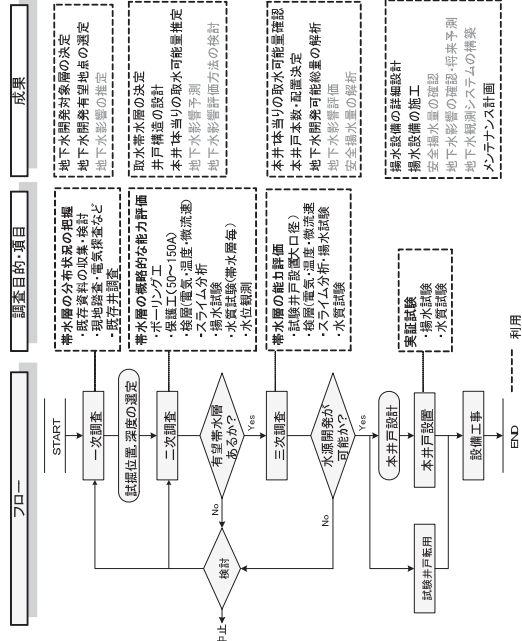
北海道水理地質図幅

③ 健全な地下水収支を保つための管理基準の設定

- 適切な地下水の保全・利用に当たっては、シミュレーション解析に加えて、過去の地下水障害を教訓として実測データ(雨量、地下水涵養面積、静水位の経年変化・地下水益総取水量など)把握し、管理基準の検討を行う。
- 管理基準は、運用しながら評価・見直しを重ねていくPDCAサイクル(左図)を継続的に行うことで、精度を高めていく。

55

④ 地下水開発の手順書の作成

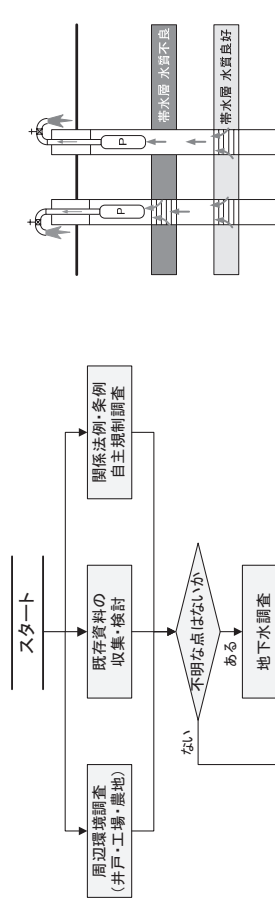


地下水開発の手順(大容量開発の事例)

地下水影響評価の手順

56

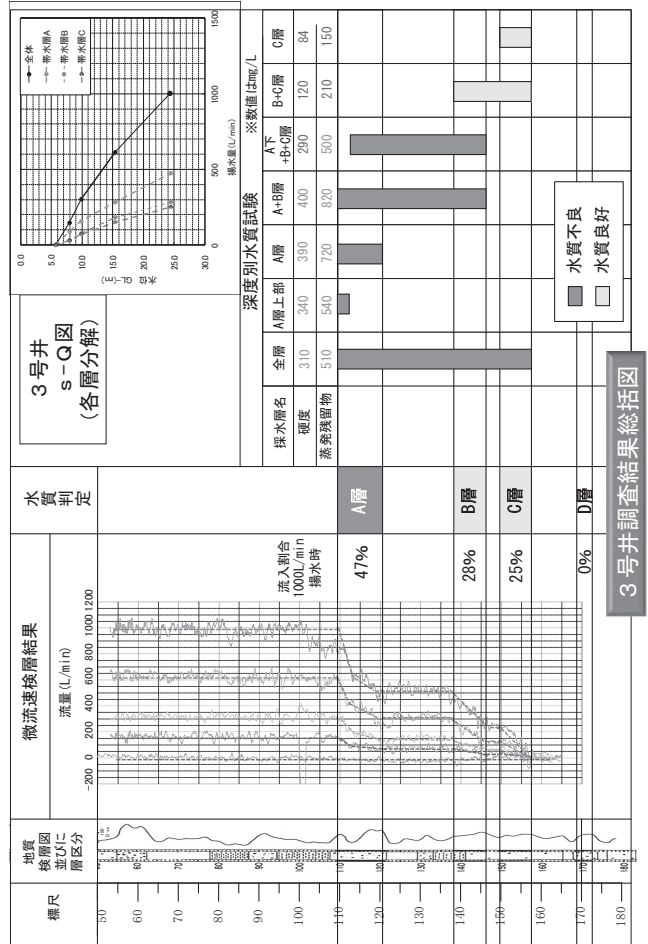
本井戸の設計



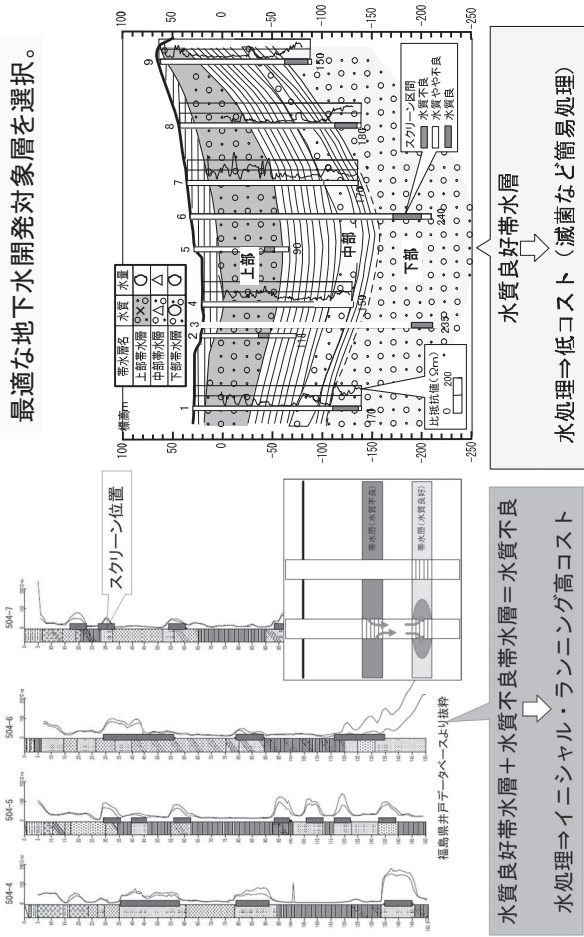
- より多くの既存資料を収集・検討して、帯水層の構造や水質・揚水能力を的確に把握し、一番条件の良い地下水開発対象層を選択する。
- 水質の良好な帯水層があっても、水質不良な帯水層も選択してしまうと、水質不良な地下水に高額な処理費を要することになってしまいますので注意が必要です。
- 既存資料の不足な場合、不明な点を明らかにするための地下水調査を実施し、本井戸の設計に臨む必要がある。

井戸設計の手順

帯水層調査の事例 (微流速検層・深度別サンプリング)



水井戸データベースを活用し、水理地質構造と水質・水量の概要を把握

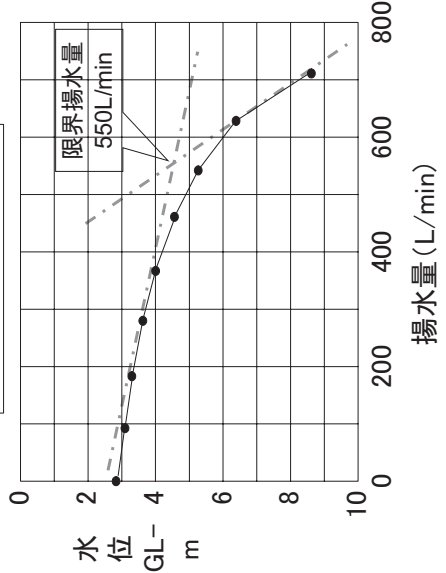
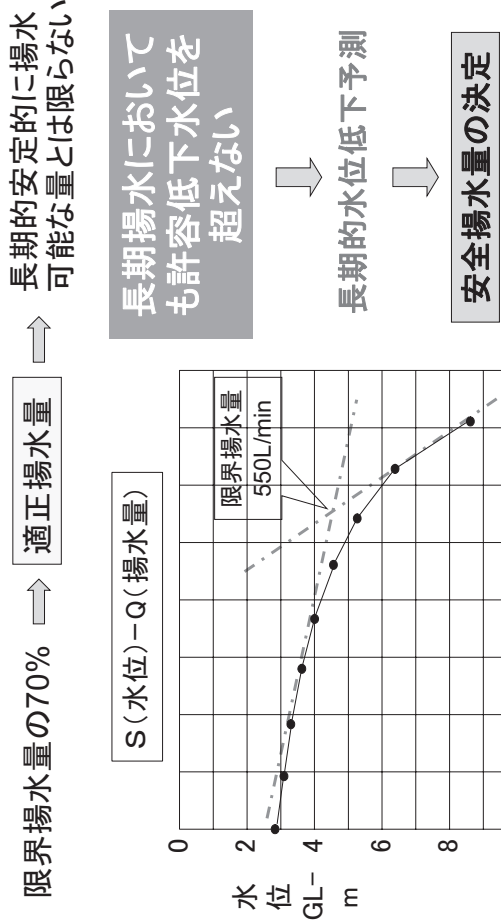


最適な地下水開発対象層を選択。

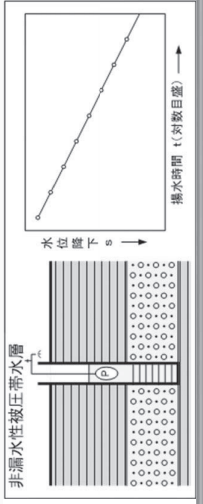
水質良好帯水層 + 水質不良帯水層 = 水質不良
 水処理 ⇒ イニシヤル・ランニング高コスト

水質良好帯水層
 水処理 ⇒ 低コスト (滅菌など簡易処理)

健全な地下水資源活用のための井戸能力評価方法



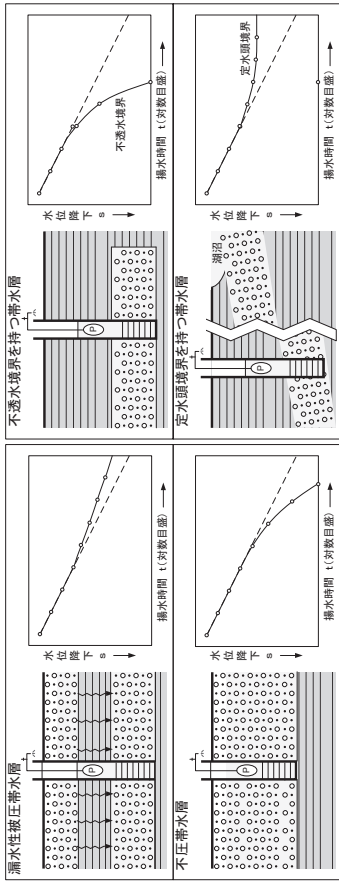
長期的水位低下予測の方法



ヤコブ (Jacob) の直線解析法の理論は、左図に示すように同一帯水層が連続・無限の広がりを持ち、他層からの漏水はないという条件下で成り立っており、両者の関係は直線で近似される。

ヤコブの直線解析法の理論における水位降下と揚水時間 (対数目盛) 模式図

ただし、他層から漏水がある帯水層や不圧帯水層、境界を持つ帯水層など、帯水層系に違いがある場合には、直線で近似されない場合がある。その例を下図の模式図に示す。

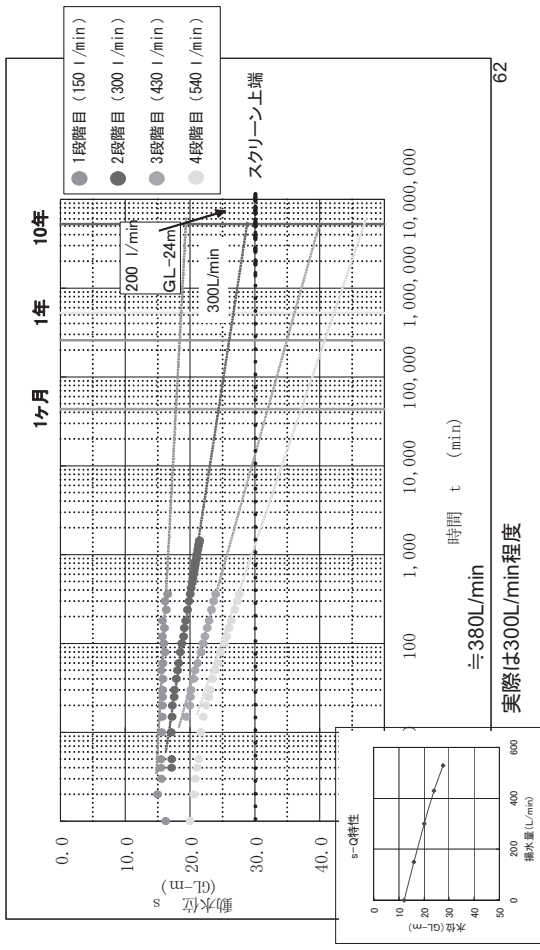


61

帯水層系の違いによる水位降下と揚水時間 (対数目盛) 模式図

安全揚水量の検討：長期的水位低下予測

各段階の試験は1日1段階として6時間揚水と18時間回復を、一定量試験は24時間の揚水と24時間の回復試験とした。
許容低下水位をスクリーン上端のGL-30mとすると、300L/minが安全揚水量と判断される。



実際は300L/min程度

本日の話題

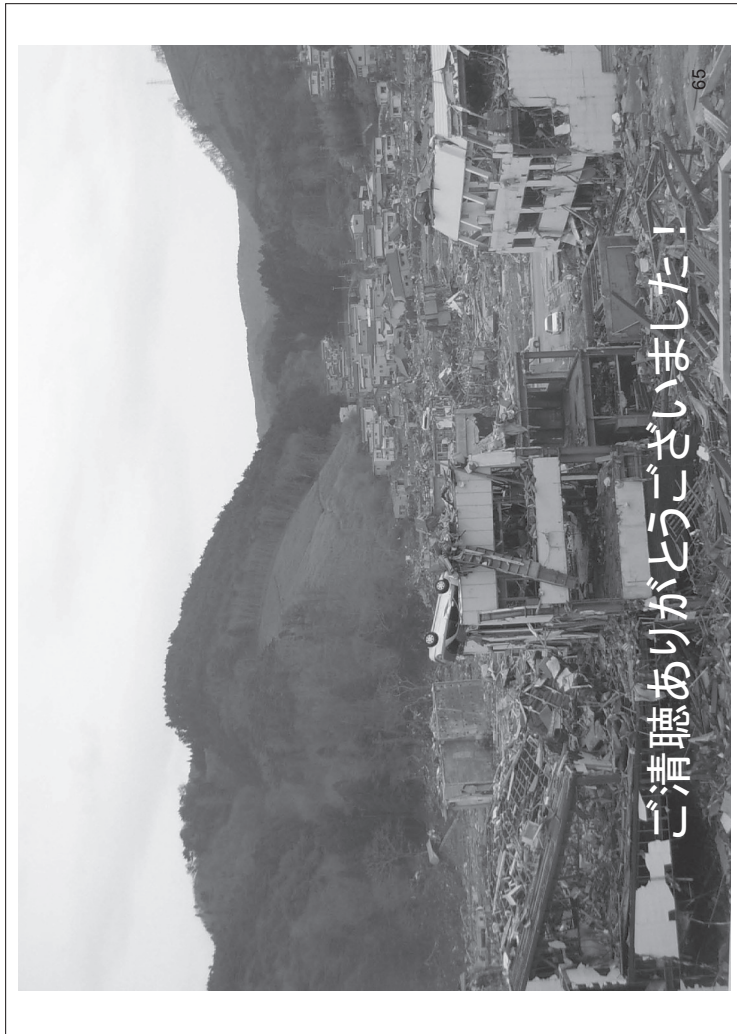
1. はじめに
2. 大規模災害の影響と課題
3. 大震災(東日本・熊本)における井戸被害調査結果
4. 防災対策としての地下水の有効性
5. 地下水を利用した地域防災計画の取り組み
6. 健全な地下水資源活用のための提言
7. おわりに

63

7 おわりに

- 大規模地震災害において、大部分の水井戸は、地震に耐え十分な機能を維持しており、改めて井戸が地震に強く、水量・水質安定した、極めて有効な水源であることが確認できた。
- 自然災害に強い地下水源(井戸)を、安定した水供給施設の水源として、一部または全体に組み入れることで、大きな防災効果を得ることができる。
- 特に災害対策の重要な拠点となる『収容避難場所(学校・公民館など)』、『病院・診療所などの医療施設』などには、水供給施設として防災井戸とともに揚水ポンプ用電源を電力会社以外(非常用発電設備・太陽電池発電設備)からも確保することで、災害時にもトイレ用水などの生活用水として利用可能となり、被災地の公衆衛生を確保するうえで極めて有効である。
- 令和3年6月に水循環基本法の一部を改正し、地下水規定が追加されたことから、地下水の活用・適正保全は推進されると考えられる。
- 一般社団法人 全国さく井協会は、地下水源(井戸)の平時の有効活用とその効果について、情報発信を行い、災害時にも安定的な水確保が可能な水供給システムの普及に取り組んでいる。
- 更に地下水開発の手順、地下水保全の考え方、井戸の維持管理の方法など、地下水の調査・設計、施工および維持管理に関する技術資料も広く公開していくよう考えている。
- 我々のそうした活動が、ライフラインの根幹をなす『命の水』の安定確保に少しでも寄与できることを願ってやまない。

64



65

第60回記念講演

地熱開発の世界動向・国内動向とJOGMECの役割

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

特命審議役 安川 香澄



やすかわ かすみ
安川 香澄

(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構
地熱統括部 特命審議役

経歴

1987年3月 東京大学工学部資源開発工学科 卒業
1987年4月 工業技術院 地質調査所（現 産業技術総合研究所）地殻熱部 入所
1991年8月 米国ローレンス・バークレー研究所 研究補助員（長期海外出張）
1993年12月 米国カリフォルニア大学バークレー校にて理学修士 取得
1994年1月 新エネルギー・産業技術総合開発機構 地熱調査第二課（出向）
1995年7月 工業技術院 地質調査所 地殻熱部 に復帰
2000年3月 九州大学より博士（工学）取得
2001年4月 産業技術総合研究所 [以下、「産総研」と記述] に組織替え
2004年4月 産総研 地圏資源環境研究部門 地下水研究グループ 主任研究員
2009年5月 経済産業省 産業技術環境局環境政策課（出向）
2011年5月 産総研 地圏資源環境研究部門 地熱研究グループ 主任研究員
2012年10月 産総研 地圏資源環境研究部門 地圏環境評価研究グループ グループ長
2013年10月 産総研 再生可能エネルギー研究センター 総括研究主幹
2017年4月 産総研 再生可能エネルギー研究センター 副研究センター長
2019年7月 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 地熱統括部 特命審議役

受賞歴

2013年 文部科学省「ナイスステップな研究者」
2018年 米国地熱協会（Geothermal Resources Council）の
地熱特別業績賞 “Geothermal Special Achievement Award”
2019年 日本地熱学会賞論文賞

外部団体 委員委嘱 経歴

現在、国際エネルギー機関地熱実施協定（International Energy Association-Geothermal Implementation Agreement）議長（2022年1月～）、
国際地熱協会（International Geothermal Association）理事、
日本地熱学会評議員を務めている。

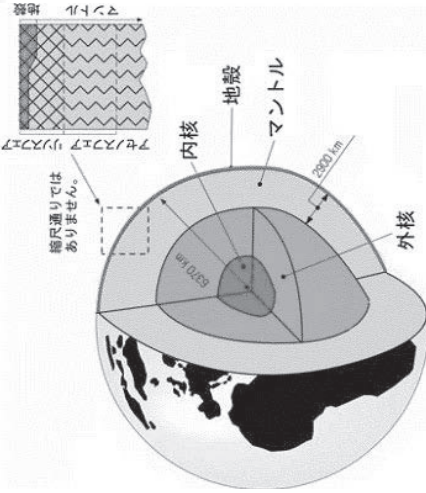
地熱開発の世界動向・国内動向と JOGMECの役割

2022年3月9日

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構
地熱統括部 安川 香澄

地球の熱

地球の体積の96%以上が1000°C以上、中心温度は6000°C。
地球の熱は、つねに地下深くから地上へ流れ、私たちの利用を待っている！



「地熱エネルギー入門」 Mary H. Dickson, Mario Fanelli 著・日本地熱学会 訳より

アイスランド、ガイズール間欠泉



主な地熱利用法 (広義での地熱)

- ・わが国には多くの火山が存在し、その周辺地域に地熱地域が存在。
- ・熱源となるマグマ溜りの上方には熱水系が存在し、それが地表に現れたものが温泉・噴気等の地熱徴候。

1) 地熱発電 2) 直接利用

3) 地中熱ヒートポンプ

地熱発電所 温泉 ハウス栽培

公共施設 道路融雪 住宅 冷暖房

学校

熱交換井

15~25°C 温度一定

30~80°C

150~350°C

浸透水

地熱貯留層

熱

1000°C程度

マグマだまり

2

地中熱は、通常の地下温度の地域でも使える。地下温度が一定であることを利用。省エネ・節電

3) 地中熱ヒートポンプ

公共施設 道路融雪 住宅 冷暖房

学校

熱交換井

15~25°C 温度一定

30~80°C

150~350°C

浸透水

地熱貯留層

熱

1000°C程度

マグマだまり

地熱発電の特徴

安全・安定・頼れる 再生可能エネルギー

安定電源
天候・昼夜・季節を
問わず発電できる

純国産
エネルギー
燃料の輸入が不要

地球に優しい電源
少ないライフサイクルCO₂排出量

地球温暖化の原因といわれる二酸化炭素(CO₂)排出量が少ない地熱発電は、再生可能エネルギーの中でもとくに地球にやさしい電源です。

JOGMEC

3

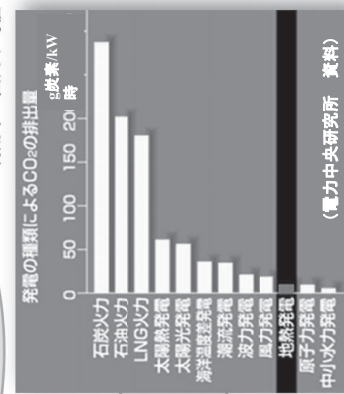
電源 利用率

太陽光 約12%

風力 約20%

地熱 約70%

利用率の国内平均値



(電力中央研究所 資料)

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

地熱発電の特徴

資源リスク・長いリードタイム・地域との共生ほか

資源リスク

探査をしても、探算が見合わないと判断され、開発に至らないリスクがある。

リードタイム

初期の調査から運開まで10年以上かかり、コスト回収まで長期投資が必要

自然公園・国有林

許認可に時間がかかる、または許認可が下りない場合もある。

温泉との共生

温泉に悪影響を及ぼすとの懸念を払拭するため時間をかけた理解促進が必要。

社会システム

撤入路新設費用、送電網の新設費用、グリッド問題、各種手続きの煩雑さ、環境アセス他。

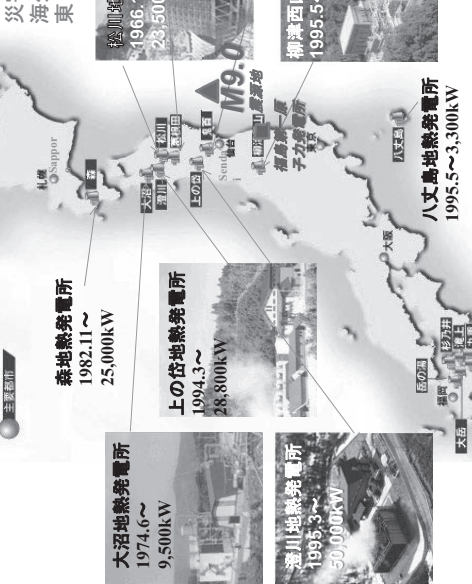
独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

JOGMEC

4

東日本大震災時も地熱発電所は全て無事!

災害にも強い安定電源として海外からも熱い視線を浴びた東日本の地熱発電所



2011年3月11日、M9.0を記録した東日本大震災後も、日本の全ての地熱発電所は、震災前のレベルで安全に発電を続けた。非常時にも頼れる電源!

JOGMEC

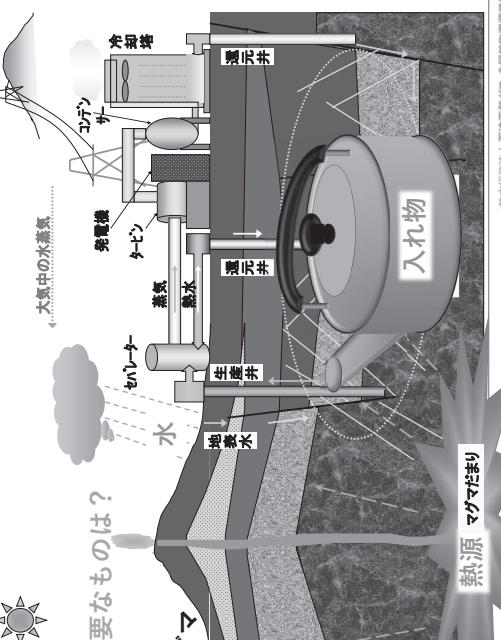
5

地熱発電のしくみ (地下の地熱貯留層)

“地球の水循環”と“天然のボイラー”を使った再生可能エネルギー

地熱資源の3要素:
お湯をわかすのに必要なものは?

- 水 水道水→降水
 - 熱源: コンロ→マグマ
 - 入れ物: やかん→岩石の割れ目 = 地熱貯留層
- ちねつちよりゆうそう

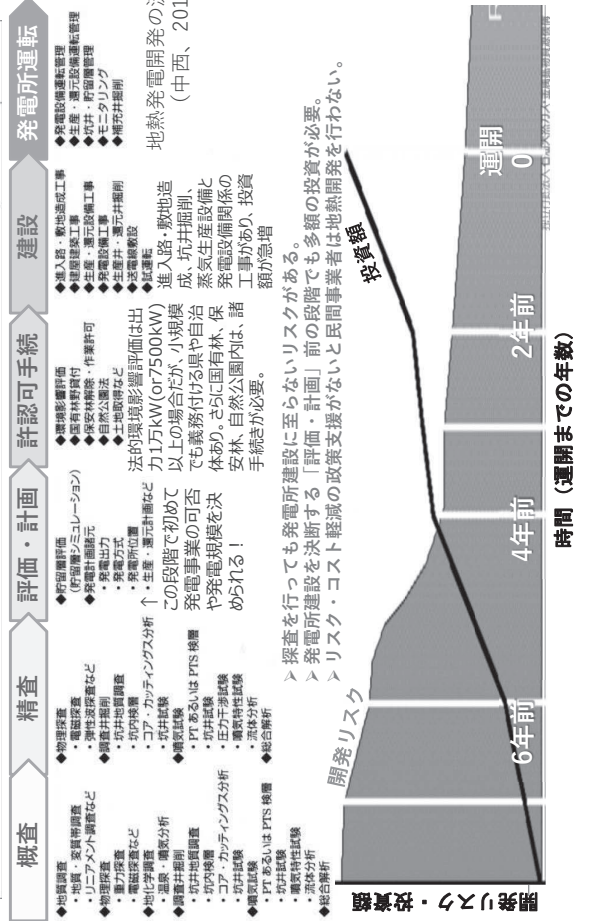


独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

JOGMEC

6

地熱探査から地熱発電までの流れ



JOGMEC

7

地熱探査から地熱発電までの流れ

JOGMEC

8

松尾八幡平地熱発電所



2019/1/29運開 7,499kW 岩手地熱

山葵沢地熱発電所



2019/5/20運開 46,199kW 湯沢地熱

発電所運転開始

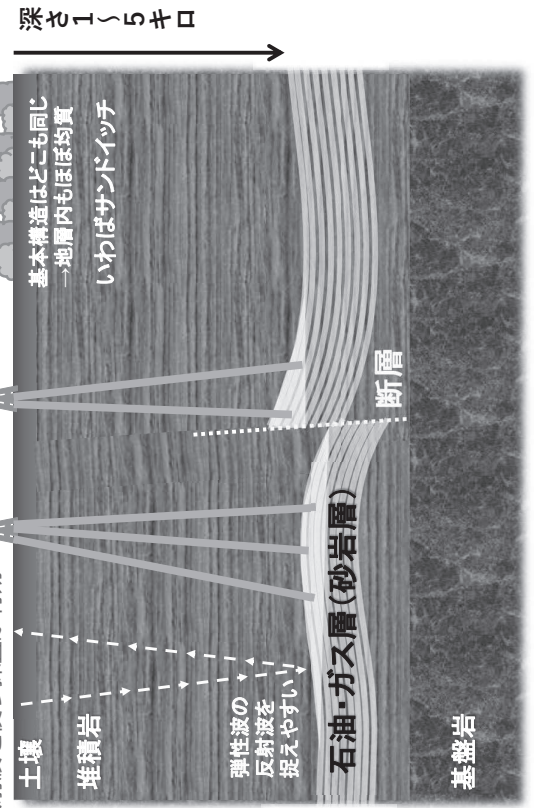
- ◆ 発電開始は、最終ゴールではなく、新たなスタート！
- ◆ 運転状況に応じた継続的な管理が必要
- ・ 発電設備だけでなく、生産・還元設備の運転管理と、坑井および地熱貯留層全体の管理を行う。
- ・ 温度・圧力等のモニタリングを実施し、生産・還元の状況により、補充井掘削計画を立てる。
- ・ また地元、特に温泉関係者等とは適宜、地熱発電の状況や温泉モニタリング結果等の情報交換を行っている。

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

地熱貯留層の評価はなぜ難しい？

石油・ガス層は水平な地層

地形的にも平らで大型機材を持ち込みやすい
反射波を使う探査が有効



10

深さ1〜5キロ

基本構造はどこも同じ
→ 地層内もほぼ均質
いわばサンドイッチ

地熱資源量の評価はなぜ難しい？

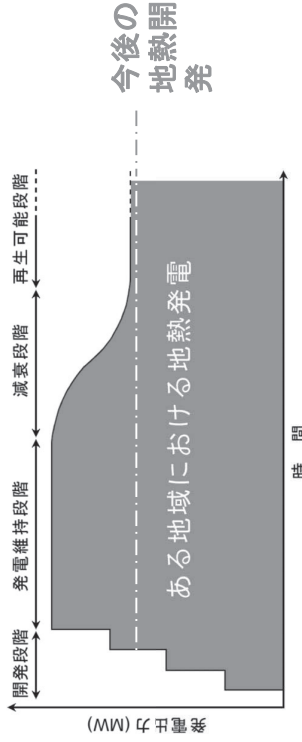
JOGMEC

9

過去の地熱開発

地熱貯留層の生産能力を過大評価し、発電量（蒸気生産量）が減衰する事例が多数あり。それでもいづれ、生産量と貯留層外からの流体供給がほぼバランスし、再生可能段階に至る。（流体・熱の収支バランスがあった状態）

今後は、初めから再生可能な量の発電設備を建設する方向へ！



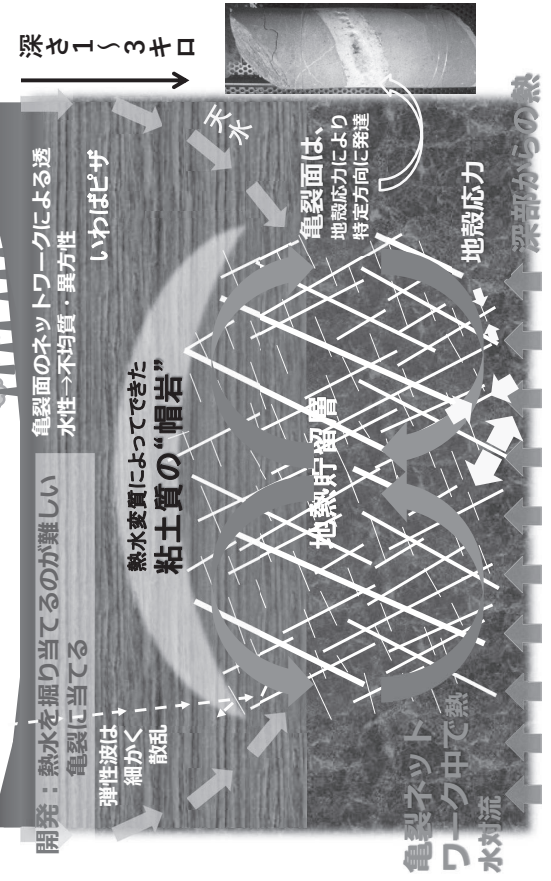
過去の地熱開発のライフサイクル (Lovekin, 1998)

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

地熱貯留層の評価はなぜ難しい？

地熱貯留層は亀裂のネットワーク

探査：山がちな地域で大型機材はNG
明瞭な反射面が無い場合が多い



11

深さ1〜3キロ

地熱貯留層の評価はなぜ難しい？

地熱貯留層は亀裂のネットワーク
発電：長期的に生産を保てる井戸もあれば、
短期間で生産減衰する井戸も

深さ1〜3キロ

還元した熱水が
地下で温められ
再び生産される
ことが理想

熱水変質によってできた
粘土質の“帽岩”
地熱貯留層

生産井

地殻応力

深部からの熱

12

2020 世界の地熱発電設備容量

- ・ 5年間で4倍に増え、10位から4位に躍り出たトルコ
- ・ 少しずつ着実に伸び続ける欧州の非火山国



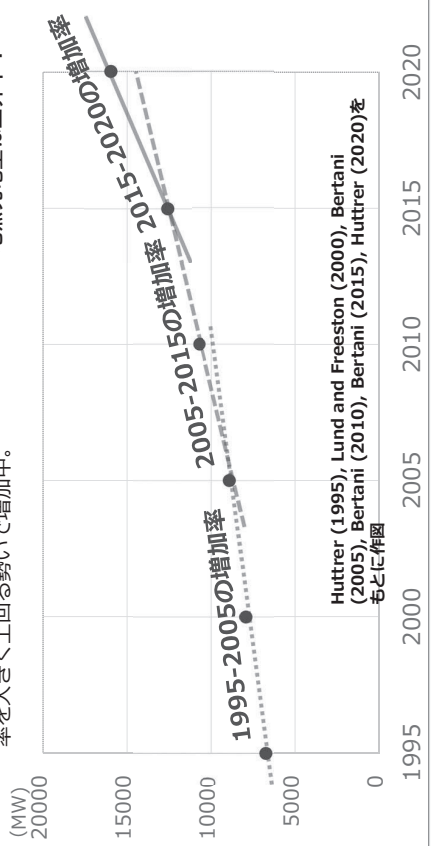
・ 赤字は、新たに地熱発電を開始した国々

(Huttrer, 2020)より作成

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

世界の地熱発電設備容量の伸び (MW)

- ・ 2000年から2020年までの20年間に約2倍に。毎年約400MWずつ増加。年伸び率は約3.5%
- ・ 現在、世界の地熱発電設備容量は、過去の増加率を大きく上回る勢いで増加中。



独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

主な地熱発電国の地熱発電設備容量の変化

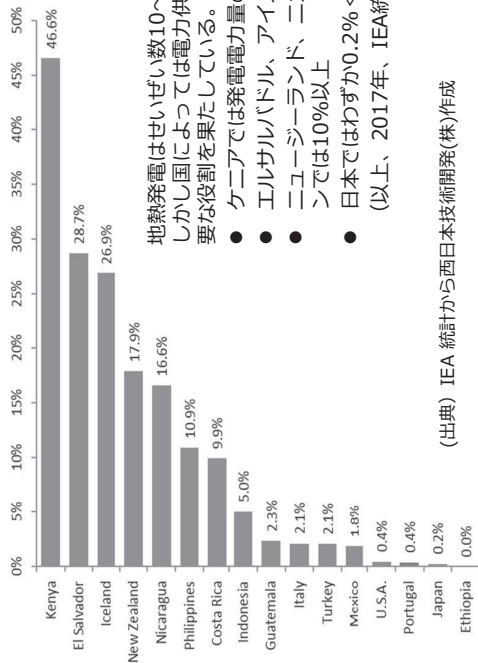
- ・ 近年の伸びが著しいのはトルコ。続いてインドネシア、ケニア。
- ・ 他の国も多くは上昇中。フィリピン、メキシコ、日本は停滞。



独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

各国の地熱発電のシェア

総発電量に占める地熱発電の比率(2017年)



地熱発電はせいぜい数10~数100MWクラス。しかし国によっては電力供給において非常に重要な役割を果たしている。

- ケニアでは発電電力量の47%
- エルサルバドル、アイスランドでは25%超
- ニューゼーランド、ニカラグア、フィリピンでは10%以上
- 日本ではわずか0.2% < 米国でさえ0.4% (以上、2017年、IEA統計による)

(出典) IEA 統計から西日本技術開発(株)作成

海外事例から見た地熱開発の成功要因

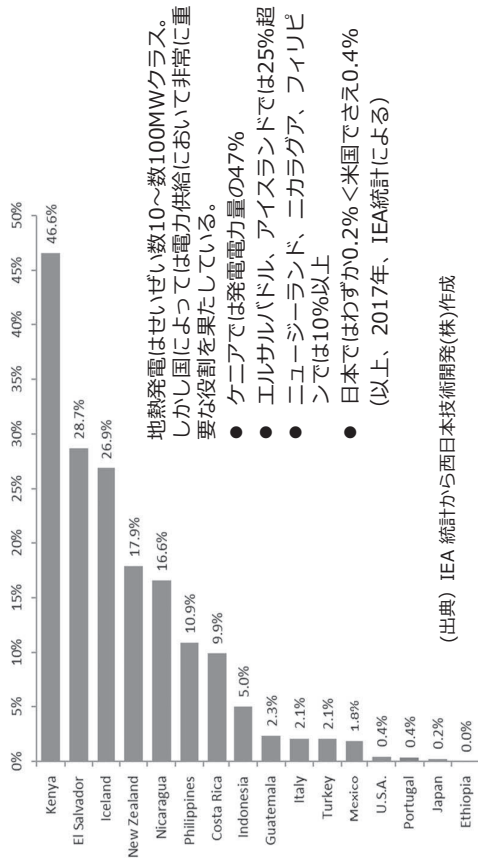
海外事例から見た地熱開発の成功要因は、次の通り。

1. 政府の地熱開発に対する意志 (適切な推進政策の有無)
2. 推進政策(1) 買取価格政策の重要性
3. 推進政策(2) 政府による初期調査の重要性
4. 推進政策(3) 国営企業による地熱開発の重要性 (特に途上国の場合)

西日本技術開発(株)の特別参与であった金子正彦氏による分析。データに基づいた妥当な分析と考えられる。

【成功要因-1】 政府の地熱開発に対する政策の重要性 地熱ほど政策に左右されるエネルギーはない (フィリピン)

【フィリピンの地熱発電の推移】

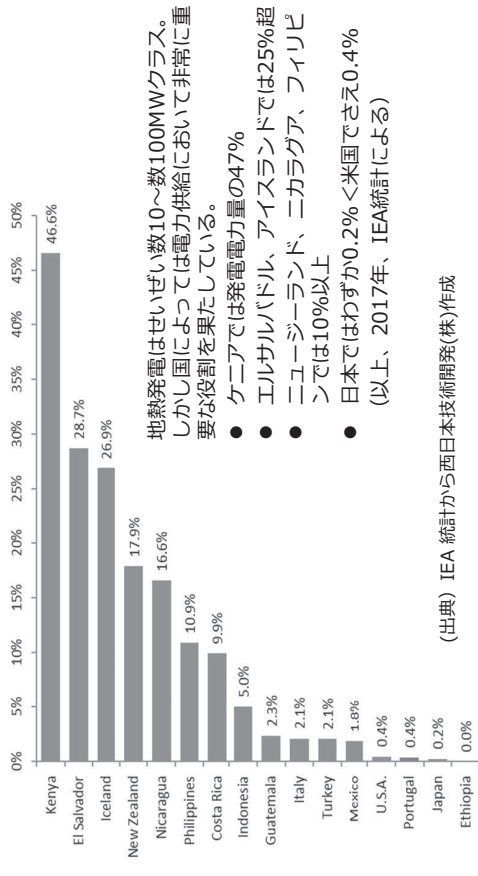


【成功要因-1】 政府の地熱開発に対する政策の重要性 地熱ほど政策に左右されるエネルギーはない (フィリピン)

なぜ停滞？興味ある人にお勧め：
真山 仁「マグマ」角川文庫
真山 仁「地熱が日本を救う」角川新書

【成功要因-1】 政府の地熱開発に対する政策の重要性 地熱ほど政策に左右されるエネルギーはない (日本)

【日本の地熱発電の推移】



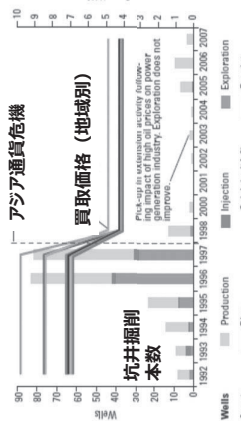
なぜ停滞？興味ある人にお勧め：
真山 仁「マグマ」角川文庫
真山 仁「地熱が日本を救う」角川新書

**【成功要因-2】 買取価格政策の重要性
民間企業は買取価格に恐ろしく敏感 (インドネシア)**

インドネシアでは1990年代初めは地熱の買取価格が7-10 US\$/kWhと魅力的で、米国系企業による地熱開発が活発。

1997年のアジア通貨危機を契機に買取価格が4-5 US\$/kWhに引き下げられ、地熱開発は急停止。

インドネシアでの地熱買取価格と坑井掘削本数の推移



インドネシアの地熱買取価格の推移

工価	工価	地熱買取価格
2008 No.14	BPPx85%	BPP; 系統発電原価
2009 No.05	PLN (国营電力会社)	による自主評価価格
2009 No.31	656 Rp/kWh x F	F: 地域係数
2009 No.32	入札ベンチマーク価格	9.7 US\$/kWh
2011 No.02	入札上限価格	9.7 US\$/kWh
2012 No.22	FIT価格	10.0-18.5 US\$/kWh
2014 No.17	入札上限価格	11.8-25.4 US\$/kWh
2017 No.50	PPA価格; BPP	(7.39 - 17.52 US\$/kWh)

西日本技術開発(株)による分析

(出典) Schlumberger Business Consulting

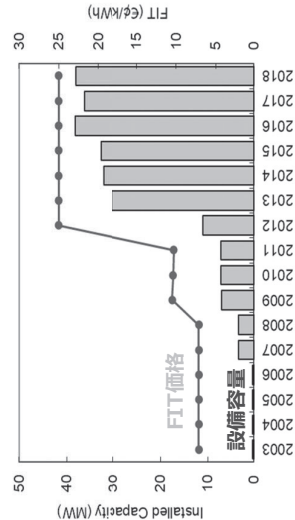
**【成功要因-2】 買取価格政策の重要性
民間企業は買取価格に恐ろしく敏感 (ドイツ)**

ドイツでは2000年から地熱に対してFIT制度が適用された。ドイツの地熱FITは25¢/kWhと非常に魅力的である。これにより火山国ではないドイツにおいても地熱発電が進んだ。

【ドイツの地熱発電の推移】

年	2007	2013	2018
発電所数	2	7	10
設備量 (MW)	3.2	30.3	43.1
発電電力量 (GWh)	0.4	54.3	165.6

【ドイツの地熱発電の推移とFIT価格】



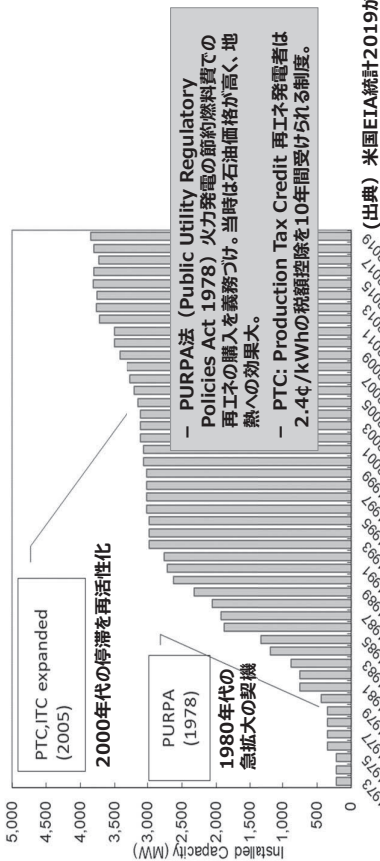
(出典) 独Geotiss統計などから西日本技術開発(株)作成

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

**【成功要因-2】 買取価格政策の重要性
民間企業は買取価格に恐ろしく敏感 (米国)**

米国では様々な地熱推進政策が行われてきたが、特に大きな効果があったのは、1978年“PURPA法 (公益事業規制政策法)”と2005年“PTC (生産税控除) の拡大”

【米国の地熱発電設備容量の推移】



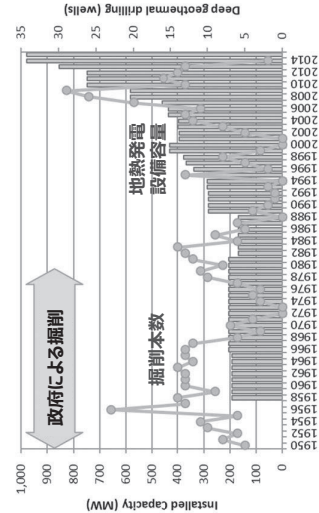
(出典) 米国EIA統計2019から西日本技術開発(株)作成

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

**【成功要因-3】 政府による初期調査の重要性
政府による初期の掘削調査は大きな効果 (NZ)**

ニュージーランドでは現在、地熱の支援政策が無くとも開発が進んでいるとの指摘があるが、実はその基礎には1950-1970年代の政府による掘削調査がある。

【NZの掘削本数と地熱開発の推移】



(出典) ニュージーランド地熱協会 ウェブサイトによる

(*) Colin Harvey "A Country Update of New Zealand Geothermal: leading the World in Generation Growth since 2005"
 (**) Chris Bromley "New Zealand Geothermal Progress: Celebrating Success Through The Test of Time", Proceedings, 36th New Zealand Geothermal Workshop, 24 - 26 November 2014.

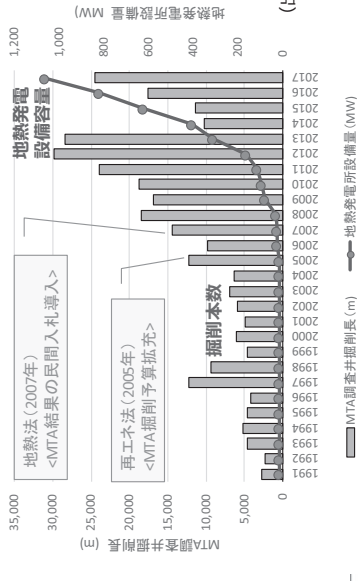
独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

【成功要因-3】 政府による初期調査の重要性
トルコの大躍進を支えるのは政府初期調査（トルコ）

JOGMEC 24

【MTA（鉱物資源調査・探査総局）による調査井掘削と地熱開発の進展】

MTAは、地熱調査を1962年から開始。2018年までに全国で239地熱地域を発見。掘削数は629本、総延長は400km。これら5の結果から推定される地熱資源量は5,000 MWt。16地域は発電利用が可能と推定。2008年以降、MTAは地熱法に基づき有望地熱地域の民間への入札を開始。これまで91地域で民間への入札実施。入札価格は2015年現在で545百万米ドルに。2013年時点で発電が行われた13地域のうち、12地域はMTAにより地熱調査が行われた地域。



(出典) MTAポスター発表表 (WGC2015)、MTAプレゼン資料 (2018年) から
西日本技術開発株式会社作成

独立行政法人石炭エネルギー・金属燃料資源機構

【成功要因-4】 国営企業による地熱開発の重要性
実際に地熱開発に成功した国では国営企業が開発を担ってきた

JOGMEC 25

とくに国内の開発初期の技術が無い段階、途上国での資金確保には国営企業への技術集中が有効



(出典) 西日本技術開発株式会社作成

独立行政法人石炭エネルギー・金属燃料資源機構

日本の地熱資源開発の現状と目標
(長期エネルギー需給見通し)

JOGMEC 26

- ▶ エネルギー基本計画 (2014年4月) では地熱発電を、発電コストが低廉で、安定的な発電が可能で、昼夜を問わず継続的に稼働できる「ベースロード電源」と位置付けられた。
- ▶ 長期エネルギー需給見通し (2015年7月) では、一次エネルギーに占める地熱発電の割合を2030年度までに現状の約0.3%から1.0~1.1% (+100万kW) へ拡大する目標。

2014年時点の既存の設備容量は約62万kW。その上で、
 ■ ケース1 (現状維持)：①大規模開発は、現行の環境規制の下で開発が進み、②中・小規模開発は、現在把握されている条件が開発されると想定。
 ■ ケース2 (中・小規模の順調な進行)：上記に加え、中・小規模開発は今後も開発が順調に進行すると想定。
 ■ ケース3 (規制緩和による促進)：さらに、大規模開発の環境規制が緩和されると想定。
 ■ ケース4 (空中物探による促進)：国が新たに空中物探調査を全国5地点程度で実施し、3万kW級の開発が5カ所程度創出できた場合。

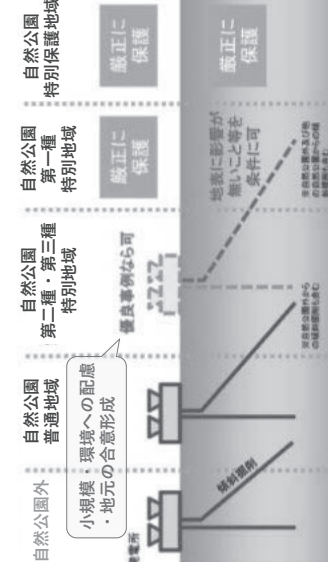
	ケース1：現状維持	ケース2：中小規模の順調な進行	ケース3：規制緩和による促進	ケース4：空中物探による促進
大規模開発	約32万kW	約32万kW	約61万kW	
中小規模開発	約6万kW	約24万kW	約24万kW	+約15万kW
既存発電所	約52万kW	約52万kW	約52万kW	
合計容量 (発電量)	約90万kW (65億kWh)	約108万kW (79億kWh)	約140万kW (102億kWh)	約155万kW (113億kWh)

現状の3倍に！

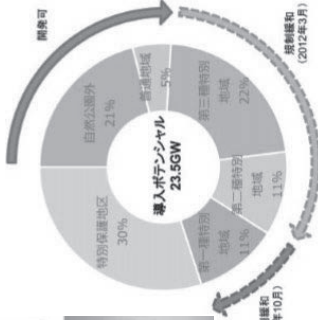
日本の地熱資源開発の現状と目標
(規制緩和)

JOGMEC 27

自然公園内開発の規制緩和



地球温暖化防止を背景に、再生可能エネルギー導入を加速させる目的で、政府は2012年と2015年の2回にわたり、自然公園内の開発に関する規制緩和を行った。さらに、2021年に3回目の規制緩和が。



出典：2016年NEDO資料。データ元は「国立・国定公園内における地熱開発の取扱いについて」に係る通知文書（環境省，2012，2015）配調運価格等算定委員会（第1回）配布資料（経済産業省，2012）、資源量（%）は、産業技術総合研究所（2011）

独立行政法人石炭エネルギー・金属燃料資源機構

- 令和2年10月 菅首相2050年カーボンニュートラル(脱炭素化社会)の所信表明
- 令和3年4月 環境省小泉大臣地熱開発加速化プラン発表

- ✓ 自然公園法、温泉法の運用見直し等に加え、環境省自ら地熱開発の加速化を率先
- ✓ 地熱開発ロードタイム10年以上を2年短縮、2030年までに地熱発電施設数を現在の60施設から倍増を目指す

- 令和3年4月～8月 内閣府再エネ規制総点検タスクフォースによる議論

【主な指摘事項】

- ✓ 自然公園を中心とした地熱発電の導入目標の策定
- ✓ 自然公園内の地熱発電の取扱いに関する「基本的な考え方」の転換
- ✓ 自然公園における許可基準や審査要件の明確化
- ✓ 温泉法による都道府県における離隔距離規制や本数制限等の撤廃
- ✓ 地熱資源等の適切な管理に関する新制度の検討 等

- 令和3年6月～9月 環境省小委員会、検討会による検討
- 令和3年9月30日 自然公園法関係通知、温泉法関係ガイドライン改訂
- 令和3年10月22日 第6次エネルギー基本計画閣議決定(2030年地熱導入目標は1.5GW)

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

- 1. 背景
 - ✓ 我が国地熱資源の約8割が自然公園内に賦存。その開発に当たっては自然公園法の規制あり
 - ✓ 地熱開発の調査、開発に当たっては自然公園法に基づく環境省(出先の環境事務所等)の許可が必要
 - ✓ 地熱開発事業者からは許可基準、審査要件等が明確化等の要望が上がっている

2. 規制緩和経緯と概要

- 「国立・国定公園内における地熱開発の取扱いについて」(自然環境局長通知)の改定

公園内区分	H24.3.通知	H27.10改正通知	R3.9改正通知
特別保護地区			厳に認めない
第1種特別地域	厳に認めない。	厳に認めない。ただし、地下部への傾斜掘削の優良事例は認める。	
第2種特別地域	小規模以外は原則認めない。ただし、真に優良事例は個別に認めることが可能。		
特別地域			「原則認めない」を削除。優良事例を容認
普通地域			個別判断で認める。

注)広域で実施が必要な調査については、影響がない範囲で全域で調査可能
注)優良事例とは地域関係者との合意形成、自然環境・風致維持への影響最小
限化、地域への貢献、モニタリングの実施、地域への情報開示等

3. 今回の規制緩和概要

(1)国立・国定公園の地熱開発に関する基本的な考え方の整理

- 自然環境の保全等の配慮を前提として、優良事例を容認し、地域と共生した地熱開発を積極的に進める旨を記載。第2種・第3種特別地域についての「原則」として認めない」の記載を削除
- (2)許可基準・審査要件の明確化
 - ・ 通知「解説」において、地域合意形成や立地選定等に係る許可事例、優良事例を充実
 - ・ 自然公園担当部局による通地への誘導、事業者への助言・指導による事業円滑化の努力義務
 - ・ 調査段階での発電所詳細計画提出の不要化
 - ・ 特別地域内の地下掘削が僅少の場合の許可手続き迅速化 等

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

1. 背景

- ✓ 地熱開発における生産井の掘削には、温泉法に基づく都道府県知事の許可が必要
- ✓ 都道府県知事は許可に当たり条例等により個別に判断、多くは離隔距離や掘削本数規制を設定
- ✓ 環境省はガイドラインにより、許可の判断基準の考え方を示しているが、許可基準、審査要件等が不明確

2. 規制緩和経緯

- 平成24年3月 温泉資源の保護に関するガイドライン(地熱発電関係)策定
～温泉法における掘削許可の判断基準の考え方策定
- 平成29年10月 温泉資源の保護に関するガイドライン(地熱発電関係)改訂
～モニタリングの重要性認識、温泉と地熱の共生事例追加 等

3. 今回の規制緩和概要

- ✓ 大規模地熱開発については、これまでの井戸毎の管理から、科学的データに基づいた持続可能な利用を踏まえ、大規模地熱開発の掘削許可の考え方に変更
- ✓ 「大規模地熱開発」を環境アセスメントの対象となる発電規模(第1種:1万kW以上、第2種:7,500kW以上、1万kW未満)又は同一貯留層に2本以上の生産井の掘削と定義
- ✓ 地熱開発事業者は地熱貯留層の範囲と持続可能な熱水利用量を科学的に推定し、発電規模や温泉事業者等への影響予測を含む全体計画を策定し掘削許可申請時に提出
- ✓ 地熱貯留層毎の順応的管理により、全体計画の範囲内での井戸の離隔距離や掘削本数規制を撤廃
- ✓ 発電所運転開始後も生産井の量や温度、温泉等のモニタリングを実施し、自治体、地熱有識者、温泉事業者などが参画する協議会等での意見交換により、影響を評価し発電所運転や全体計画を見直す「順応的管理」を進める
- ✓ 温泉影響が生じた場合の対応方針や、原因確認調査の仕組みや補償の在り方等の対応方針についても予め協議会等の枠組みの中で定めておくことが望ましい
- ✓ 地域合意形成や順応的管理を進めるため、改正温泉法による促進区域等の枠組みを活用

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

大規模な地熱開発の促進と“乱獲”の防止

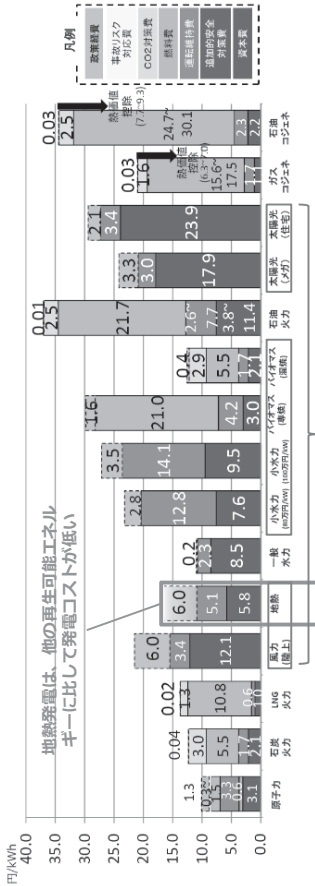
期待される効果等：一石三鳥？

- ・ 同一事業者による同一地熱貯留層内の開発については、適正な貯留層管理を行う限り、2本目以降の掘削許可が容易となり、大規模開発を促進する。(申請が一本ずつであることは変わらない)
- ・ 既に開発されている地熱貯留層に対し、他の事業者による掘削は許可されにくくなるので、同一貯留層内での“乱獲”を防止できる。
- ・ 掘削許可を得るには、貯留層の全体像や資源量を把握するための数値シミュレーション等が必要となるので、技術を持たない事業者は参入しにくくなる。
- ・ 以上より、①乱獲を避け地熱資源の適正な管理が可能となる一方、大規模開発を行う事業者にとっては②「鉱区」取得に近い促進効果が。
- ・ 同一地熱貯留層の管理者は基本的に同一事業者のみとなるため責任の所在が明確となり補償などの契約を結びやすく、③温泉事業者等にも有益。

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

地熱発電の発電コスト

- 地熱発電は安定的に発電できるのみならず、燃料費が全くなかららない。
- 従って、長期的には発電コストが低い。ただし、初期コストが高く、開発リスクがあるため、政策支援が無いと開発が困難という側面も。



出典：長期エネルギー需給見通し関連資料(2015年7月)

地熱発電事業の課題と促進策

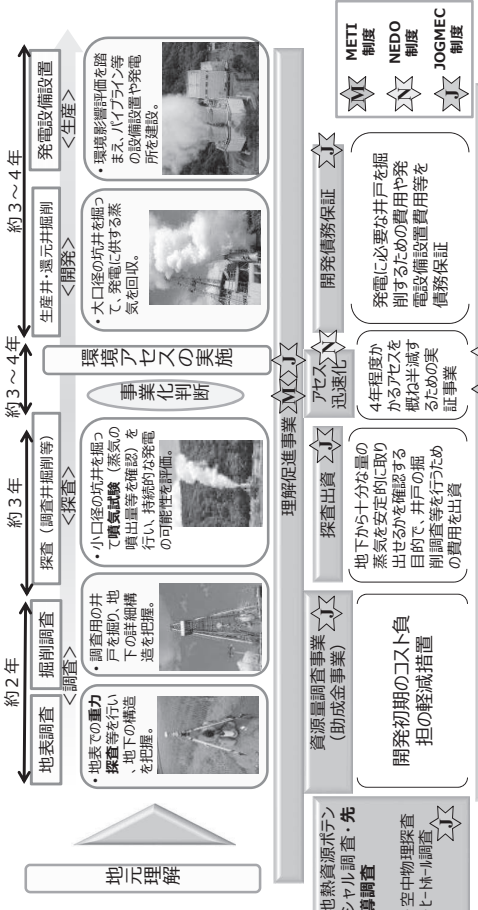
地熱発電の導入拡大を図る上で、①開発コストが高く開発リスクがある、②リードタイムが長い、③地域との合意形成等の課題が存在。これらに対応するため、JOGMECでは、開発プロセスに応じた支援を実施

課題	促進策
1. 資源ビジネス	<ul style="list-style-type: none"> ① 固定価格買取制度 ② 初期調査支援 (助成金) ③ 探査支援 (出資) ④ 開発建設支援 (債務保証) ⑤ 広域調査、技術開発 ⑥ 環境アセスメント調査早期実施事業 ⑦ アドバイザリー委員会
2. 火山地帯立地	<ul style="list-style-type: none"> ⑧ 自然公園法相制緩和 ⑨ 理解促進に向けた情報提供 ⑩ 地熱開発理解促進関連事業支援補助金

☆: JOGMEC実施支援活動

JOGMEC 地熱資源開発支援制度

地熱開発上の課題に対応するため、経済産業省 (METI) 資源エネルギー庁は、各種支援を実施 (JOGMEC、NEDOの制度も予算元はN庁)。

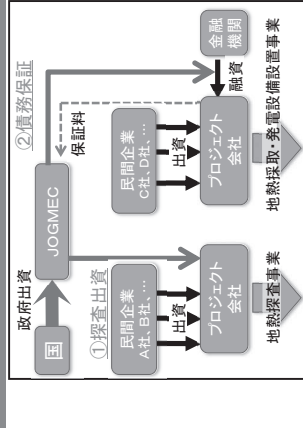


技術開発 ☆☆☆

地熱事業者への経済的支援 (リスクマネー供給)

助成金事業 調査に必要なお金、一部出します
~ 初期調査リスク低減に向けた支援 ~

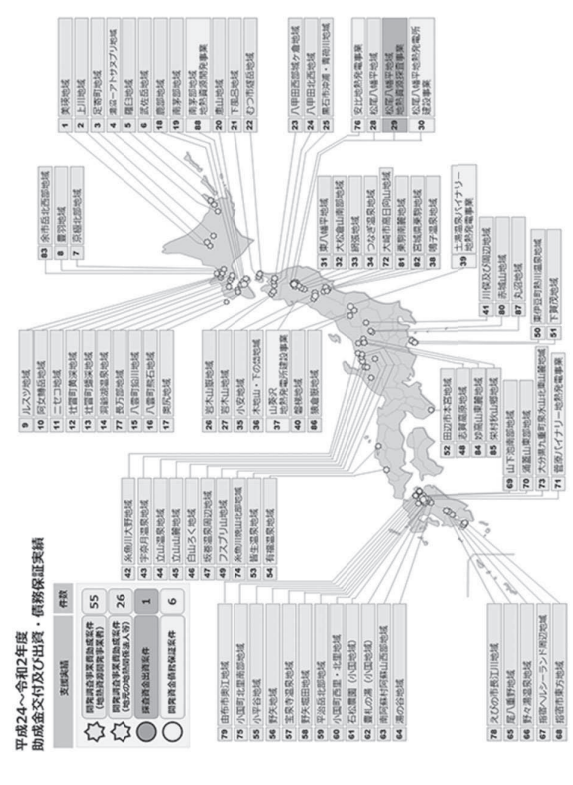
探査出資、債務保証 出資します お金借りる際、保証します



- 地熱資源の探査 (噴気試験を目的とした坑井掘削及び付随作業) に必要な資金の出資 (上限50%)
 - 地熱生産井・還元井の掘削、ハイブリッド等の敷設と付随作業、発電設備の設置、に必要な融資を受ける際に債務の一部 (上限80%) を保証
- ※採択にあたっては、地熱資源の有望性、事業者の事業推進能力 (財務・技術等) 及び事業の経済性等を厳正に審査

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

助成金交付及び出資・債務保証実績



リスクマネー供給 (助成金事業の実績)

洞爺湖温泉地域 事業者：洞爺湖温泉利用共同組合
 ・2013FY助成金事業：構造試験井1本で最高温度172℃の地熱資源を確認
 ⇒ 2017年3月運転開始 (出力50kW)

小安地域 (秋田県湯沢市) での仮噴気試験

おのの地域 (宮崎県えびの市) での仮噴気試験

おのの地域 (宮崎県えびの市) での仮噴気試験

奥尻地域 事業者：奥尻町・秘森石油
 ・2014FY助成金事業：源泉状況調査
 ⇒ 2017年7月運転開始 (出力250kW)

2例目の難案案件

洞爺湖温泉地熱発電所 北海道

奥尻発電所の起工式 北海道

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

リスクマネー供給 (債務保証の実績)

債務保証 約20年ぶりの大規模案件

山葵沢地熱発電所
 ※環境影響評価を必要とする10,000kW以上の大規模地熱発電所としては、1996年11月に運転を開始した滝上発電所(大分県)以来、約20年ぶり

助成金 出資 債務保証 一連の支援制度が連続的に機能した第1号

松尾八幡平地熱発電所
 ※JOGMECの一連の支援制度(助成金→出資→債務保証)が有機的に機能した第1号案件

場所：秋田県湯沢市
 ・事業者：湯沢地熱(電源開発、三菱マテリアル及び三菱瓦斯化学3社による発電事業用SPC)
 ・設備容量：46,199kW (ダブルフラッシュ型発電)
 ・2019年5月20日運転開始

場所：岩手県八幡平市
 ・事業者：岩手地熱(株主：日本重化学工業株14.44%、地熱エンジニアリング株14.43%、JFEエンジニアリング株28.86%、三井石油開発株28.86%、JOGMEC株13.41%)
 ・発電総量：発電機7,499kW、送電端7,000kW
 ・2019年1月29日運転開始

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

広域調査・技術開発(地熱資源ポテンシャル調査)

空中物理探査
 > 地表のアクセスが困難な地域について、ヘリコプターによる探査を実施。
 > 2013年度～現在までに右図の地域で実施。一部の地域では既存データの解析や地表での確認を行い、有望地域を抽出。

①重力偏差法探査 (AGG)
②時間領域電磁探査 (HelITEM)・磁気探査

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

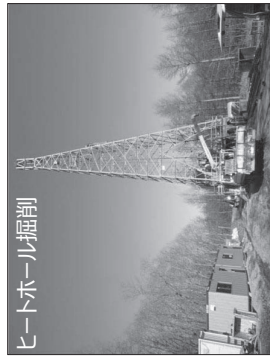
広域調査・技術開発(地熱資源ポテンシャル調査)

JOGMEC

40

ヒートホール調査 - 空中物理探査の補完調査 -

- 空中物理探査では温度情報が得られない。地熱業界から温度調査の要望が。
- 2017年度より、空中物理探査で抽出した有望地域において、ヒートホール（深さ500～1000m程度）を複数掘削して地下の温度構造を把握することで、民間企業による新規の大規模開発を促進。令和2（2020）年度より、更に深いヒートホール掘削も開始。
- 調査対象地域は、過去にNEDO地熱開発促進調査が行われていない**自然公園**（国立公園等）内の**固有地等**が中心。そのため、環境省や林野庁の協力が不可欠。



ヒートホール掘削

ヒートホールで得られたボーリングコア

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

広域調査・技術開発(地熱貯留層探査技術開発)

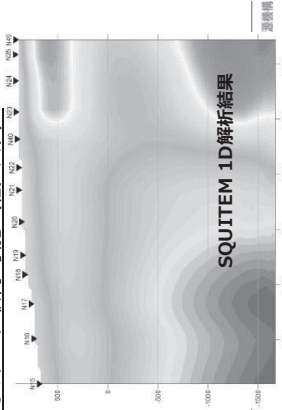
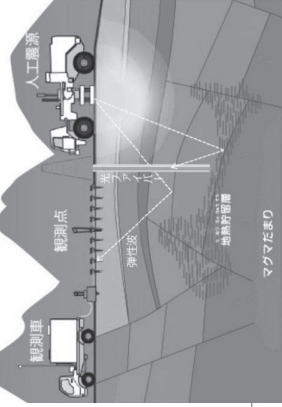
JOGMEC

41

物理探査技術(目標)地熱貯留層(割れ目)の空間的な位置を可視化。

② 電磁探査SQUITEM

- ① 弾性波探査 DAS-VSP (Distributed Acoustic Sensing - Vertical Seismic Profiling)
 - 石油探鉱分野で発展が著しい弾性波探査の地熱探査への応用。
 - 坑井を利用するDAS-VSPは、地表測定に比べ高分解能・高品質なデータ取得でき、坑井近傍の断層構造を高精度に把握可能。
- ② 電磁探査SQUITEM
 - 高温超電導磁気センサー-SQUIDを利用した時間領域電磁探査 TDEM システム。
 - JOGMEC金属資源開発本部が開発。
 - 広い周波数帯域で浅部から深部まで安定した測定が可能。また、一般的な誘導コイル方式より深部の情報を取得でき、短期間で深部までのデータ取得可能(低コスト)



独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

広域調査・技術開発(地熱貯留層評価・管理技術開発)

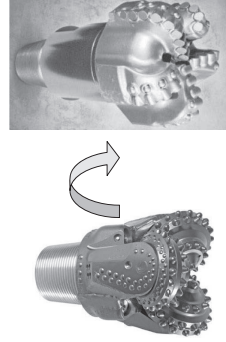
JOGMEC

42

人工涵養技術

- 流体採取によって貯留層圧力が下がり、出力低下している地熱発電所が国内に複数ある。
- 長期的な出力安定化をめざして、地下の蒸気・熱水の流動状況を把握し、人工涵養を含めた貯留層管理により、流体生産量の最適化・安定化を実現する技術を開発。

人工涵養効果と推定される蒸気量の増加



ローラーコーンビット PDCビット

地熱用PDCビットの開発

- 地熱開発における調査費用のほとんどは坑井の掘削コスト。このコスト削減のため、掘削期間の短縮を目指した技術を開発。
- PDCビット: Polycrystalline Diamond Compact (多結晶人工ダイヤモンド) 掘削能率・耐久性とも従来のローラーコーンビットより優れたPDCビットの開発に成功。実用化に向け適用マニュアル作成。

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

広域調査・技術開発(地熱貯留層評価・管理技術開発)

JOGMEC

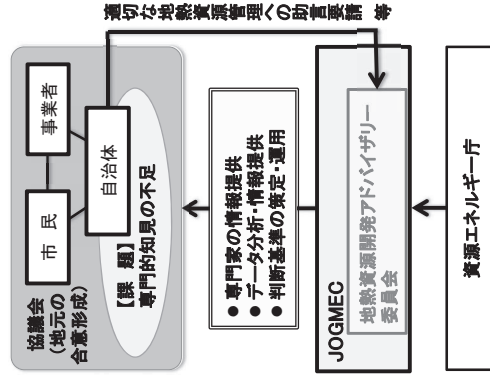
43

1. 背景と対応

- 適切な地熱資源管理の調整役として、地方自治体の役割が高まる一方、専門的知識の不足が大きき課題。
- このため、JOGMECでは第三者の視点から技術的アドバイスをを行う「地熱資源開発アドバイザー委員会」を2016年6月に設置。メンバーは地熱・温泉・合意形成等の専門家。
- 地熱開発の許認可や地元の合意形成に係る自治体の技術的質問に対し、当委員会が審議。その結果を自治体に提供することで、地方自治体を支援。

2. 委員会の主な活動

- 地域の地熱資源開発等に助言を求めめる地方自治体へ専門的見地から情報を提供
- 地方自治体の要請に応じ、地熱資源開発等の専門家を紹介
- 持続可能な地熱資源開発に資する調査の提案 等



独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

研修事業

地熱調査の急速な拡大により深刻化している地熱技術者の人材不足に対応

地熱資源開発研修

地熱資源開発に必要な実践的な知識の習得と若手技術者のネットワーク作りを支援。



地熱掘削技術者向け研修

JOGMEC柏崎アトフィールドの石油用掘削シミュレーターを活用した地熱掘削技術者研修。



地熱掘削監督者向け研修

地熱掘削監督者として必要な技能を習得。



地熱理解促進活動

「地熱発電の日」の制定

2016年地熱シンポジウムin八幡平にて、10月8日「地熱発電の日」記念日認定を発表。地方自治体、地熱関係事業者、電力会社などと協力して国内各地で催しを行い、マスコミへの露出を高め地熱理解を促進。

近年の理解促進活動

- ✓ 特別授業「地域の中の地熱発電」
・2019年7月～12月：秋田県湯沢市、同鹿角市、神奈川県横浜市の小学校・中学校にて
- ✓ 地熱シンポジウム in 金津若松 (JOGMEC主催)
- ・2021年11月22日(月) 現地開催とオンライン配信
- ✓ 各種展示会等への出展
- 再生可能エネルギー世界展示会 (12月、オンライン)
- ✓ 地熱ポスター、クリアファイル、マスクケース 等関係者に配布し、揭示協力を依頼

GNS Science (ニュージーランド) との協力

- 2015年、地熱技術に関する協力覚書を締結、2020年に更新。
- ワークショップ (WS) を3回共催し、探査精度向上・温泉モニタリング手法・地域コミュニティ対策など、持続的な地熱資源開発に有益な議論を実施。
- 上級者向け地熱研修コースを2回共催。
- 今後も具体的なテーマについて、協力を進めていく。



第1回WS@東京 (2016.6)

地熱地質学上級コース in NZ (2020.2)

第2回WS@ロトルア、タウポ (2017.11)

国際エネルギー機関地熱実施協定 (IEA-GIA) 等への参加

- 2012年よりJOGMECはIEA-GIAの日本代表。毎年2回の執行委員会・WSに参加し、参加国間および開催地の地熱関係者と技術交流。
- 世界地熱会議 (WGC2020) では、IEA-GIAのメンバーと共著の論文5件が実現。
- コロナ禍では、頻繁にオンライン会議で意見交換。



スペイン カナリア諸島 Lanzarote島の火山巡検 (2019.4)

コスタリカ Miravalles地熱発電所(2019.11)

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

R1新規事業 地熱開発のモデル地区事業

➢ 2019年8月、JOGMECは、北海道森町、岩手県八幡平市、秋田県湯沢市の3市町村を「地熱開発のモデル地区」に認定。

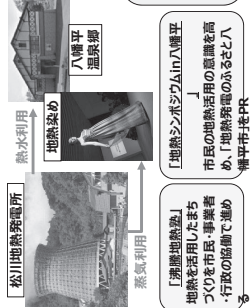
①地熱資源を活用した産業の振興②地域協議会の設置など地元との対話の場の設定、など、他の地域への模範となる自治体を「地熱開発のモデル地区」に認定し、これら成功事例を全国に発信。地域と共生した持続可能な地熱開発を進める。今後、観光プランディングや熱水利用促進に向けた支援を展開予定。

(参考) <http://geothermal-model.jogmec.go.jp/>

北海道森町



岩手県八幡平市



秋田県湯沢市



6. まとめ

- 我が国は、世界第3位の地熱資源量 (約2,340万kW) を有するが、現在の設備容量は約54万kWで世界10位。政府は、2030年までに、地熱発電量を現在の3倍に拡大することを目標としている。
- JOGMECは、国と連携しつつ、地熱事業者に対し、広域調査情報の提供、地熱資源調査への助成、発電所建設等に当たっての金融支援、地熱探査の精度の向上や地熱発電量を安定させるための技術開発、等、地下資源リスクを低減させるための支援事業を展開し、地熱開発を促進している。
- 加えて、地熱発電事業の実現には、地域や自然との共生、地元関係者との合意形成が前提となることから、地熱理解促進に向けたシンポジウムや展示会を積極的に開催・参加。
- 事業の主役・推進役は、あくまで事業者自身であるとの前提のもと、今後の地熱発電の拡大に向けて、事業者の一層の取り組み強化、投資拡大を強く期待。
- JOGMECは、意欲的に取り組み事業者へのサポートを強化し、All Japanとして地熱発電の持続的な発展に貢献していく。

- 地熱資源情報 Web : <http://geothermal.jogmec.go.jp/>
- お問い合わせ : geothermal-info@jogmec.go.jp

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

情報提供

掘削技術専門学校の設立と教育計画

学校法人ジオパワー学園

理事 島田 邦明



しまだ くにあき
島田 邦明

**株式会社INPEXドリリング
顧問**

経歴

1975年3月	東海大学海洋学部海洋資源学科 卒業
1975年4月	帝石削井工業株式会社 入社
1997年4月	地熱削井部 主管
2003年4月	施設資材部 部長
2005年4月	業務部 取締役部長
2008年6月	業務部 取締役副社長
2009年6月	代表取締役社長
2018年6月	顧問（現職）
2021年10月	株式会社INPEXドリリング 社名変更

外部団体 委員委嘱 経歴

学校法人 ジオパワー学園 理事
国際協力機構 地熱開発協力に係る試掘アドバイザーグループ 委員

掘削技術専門学校設立と教育計画

ESTABLISHMENT OF DRILLING TECHNOLOGY SCHOOL AND EDUCATIONAL PLANNING



2022年3月

学校法人 ジオパワー学園掘削技術専門学校
井上政史 M.inoue 、 島田邦明 K.Shimada

道総研試維研究会 2022年3月

1
2022/03/09

説明内容

- ▶ 掘削技術専門学校の設立
- ▶ 設立場所
- ▶ 掘削技術専門学校の概要
- ▶ 校舎などの設備
- ▶ 教育資料と掘削機器
- ▶ 安全教育と資格
- ▶ 今後について

道総研試維研究会 2022年3月

2
2022/03/09

掘削技術専門学校の設立

- 設立の経緯と予定
- ▶ 掘削技術者の不足と技術継承の課題を解決する手段の一つとして、掘削技術の専門学校を設立
 - ▶ 掘削技術は地熱資源などの開発に必要な技術であり、国公立とすることが望ましいが、その設立は難しいことから私学として設立
 - ▶ 令和2年2月に「学校法人ジオパワー学園」の学校法人設立計画を北海道私学審議会が承認
 - ▶ 令和3年6月に「学校法人ジオパワー学園」を北海道私学審議会が認可
 - ▶ 令和4年4月に開校予定
- 設立理念
- ▶ 地熱などの日本の地下資源の開発、発展に主体的に行動できる人材の育成
 - ▶ 技術の理論と実作業を理解した技術者の育成
 - ▶ 工事の安全、環境保全、地域との連携に寄与できる技術者の育成

道総研試維研究会 2022年3月

3
2022/03/09

設立場所

- ▶ 所在地 北海道白糠郡白糠町大楽毛34-4
- ▶ 釧路空港から南に、車で約5分



専門学校全景



専門学校設立場所

道総研試維研究会 2022年3月

4
2022/03/09

掘削技術専門学校概要

- ▶ 修業年 1年 春季入学 全日制
- ▶ 生徒数 総定員 80名 (学科：掘削科)
- ▶ ローター掘削コース：30名
- ▶ スピンドル掘削コース：30名
- ▶ 掘削管理者養成コース：20名
- ▶ 応募資格
 - ・高等学校卒業 (新卒以外および社員教育も可)
 - ・想定就職先
- ▶ ローター掘削コース：地熱井・石油ガス井・温泉井掘削会社
- ▶ スピンドル掘削コース：地熱調査井・地質調査井・温泉井・水井掘削会社
- ▶ 掘削管理者養成コース：地熱開発会社、その他資源開発・調査会社
- ▶ 協賛組織
- ▶ 応援組織：独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構、日本地熱学会、日本地熱協会
- ▶ 協賛組織：全国ボーリング技術協会、全国さく井協会

道総研試査研究会 2022年3月

5
2022/03/09

校舎などの設備①

- ▶ 校舎
 - ・40人定員の教室2室
 - ・職員室
 - ・共有スペース
 - ・保健室
- ▶ 教室にはWeb講義



校舎



教室内

- ▶ 可能な設備を設置
- ▶ 共有スペースには、掘削シミュレータやビットなどの機器を配置



校舎 共有スペース



職員室

6
2022/03/09

校舎などの設備②

- ▶ 寮
 - ・学生寮40室 (定員2名)
 - ・教員用寮7部屋
- ▶ 食堂
- ▶ 調理室
- ▶ 自習室などを配置
- ▶ 実習棟 (D型ハウス)
 - ・No.1安全教育機器
 - ・No.2ロータリー機器
 - ・No.3スピンドル機器



寮



寮・食堂



実習用 D型ハウス



D型ハウス 内部

道総研試査研究会 2022年3月

7
2022/03/09

教育資料と掘削機器①

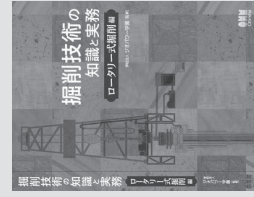
掘削教育用の教科書

- ▶ 掘削技術の教科書は、学校法人で出版
- ▶ 学校法人で技術資料や事例を基に教科書原稿案を、ロータリー式掘削編とスピンドル式掘削編に分けて作成
- ▶ 教科書査読委員会 (委員長：秋田大学長縄先生、委員15名) で査読し、修正、追記を実施
- ▶ この原稿を「掘削技術の知識と実務」として出版

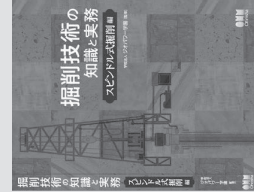
- ▶ スピンドル式掘削編 350ページ 11月に市販
- ▶ ローター式掘削編 450ページ 12月に市販

授業用説明資料

- ▶ 教科書は、事例や詳細な技術説明を含むため、未経験者には難しい
- ▶ 実際の授業で使用する資料は別途、写真や動画を含んだわかりやすい資料を作成中



ロータリー編表紙



スピンドル編表紙

道総研試査研究会 2022年3月

8
2022/03/09

掘削機器

- ▶ 学校には各種の掘削機器を展示し、実際に使用している機器を用いた教育を実施できるよう準備
- ▶ 配置する掘削機器は、掘削会社、機器メーカー、商社など20社以上から無償提供
- ▶ 掘削機は、深度2,000m程度を掘削できるロータリー式掘削機から、深度50m程度の地質調査に用いられるスピンドル掘削機までの掘削機を設置

主要掘削機の仕様

名称	掘削方式	孔径×深度	使用目的
T-70型 (N-2000型)	ロータリー式	8-1/2"×2,000m	石油・天然ガス、地熱発電
利根HL-S型	スピンドル式	HQ×1,500m	資源調査、地熱調査
東邦DH-4C型	スピンドル式		資源調査、地熱調査、水井戸
東邦HDX-6P型	パワースピンドル式	HQ×1,600m	資源調査、地熱調査
東邦DOC型	スピンドル式	45mm×50m	地層調査

T-70型掘削機

9
2022/03/09

道総研試験研究会 2022年3月

教育資料と掘削機器②

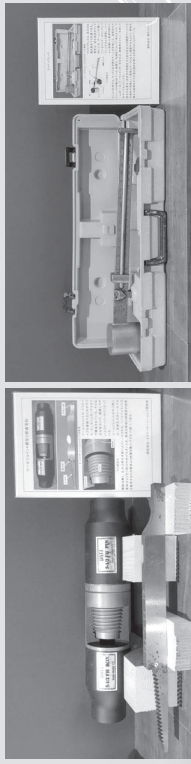


掘削機器③

- 掘削機器
- ▶ 掘削機器の展示には、機器の説明文と提供会社を明記



各種ビット



泥水試験器 (マッドバランス)

ソールジョイント

10
2022/03/09

道総研試験研究会 2022年3月

教育資料と掘削機器④

掘削シミュレーター

- ▶ 学校に配置する大型掘削機を、実稼働させることは技術的や安全上から困難
- ▶ 掘削機の操作を体験させるため掘削シミュレーターを導入
- ▶ 導入した掘削シミュレーターは、米国Endeavor Technologies Corp.のモデルX3
- ▶ 掘削シミュレーターは、ロータリー式掘削のトップドラフトライプ掘削とケリー掘削に対応
- ▶ 掘削シミュレーターの操作方法は、ジョイスティック方式
- ▶ 一部日本語による操作が可能



モデルX3掘削シミュレーター

11
2022/03/09

道総研試験研究会 2022年3月

安全教育と資格①

○安全教育の基本と設備

- ▶ 安全教育は、専門学校で行う教育の中で最も重要な課題
- ▶ 机上での安全教育は、HSEマネジメントシステムなどの説明とリスクアセスメント、ヒヤリハット報告、事故報告などの実習を計画
- ▶ 保護具の取り扱いは、実際の保護具を着用しながら実施
- ▶ 機器を用いた安全体感装置とバーチャルリアリティ (VR) を用いた安全体感装置を準備
- ▶ 機器を用いた安全体感装置
 - ▶ 作業の危険な状態を安全に体感できる装置を配置
 - ▶ 実際に現場で起こる可能性のある危険な状態をリアルに再現し、怖さや危険を体感し、危険予知や回避能力を養うことを目的
 - ▶ 「足場及び梯子安全体感装置」では、高所で作業する際の安全帯の使い方、手摺の高さの有効性など、高所作業での注意点を学習



足場及び梯子安全体感装置

12
2022/03/09

道総研試験研究会 2022年3月

安全教育と資格②

○VRを用いた安全体感装置

- ▶ VR（バーチャルリアリティ）を用いた安全体感装置は、労働災害をVRで疑似体験する装置
- ▶ 危険な状態や災害の臨場感を安全下で体験
- ▶ リアルな事故・災害体験を繰り返し学ぶことが可能で、危険に対する感受性を高めることができる
- ▶ 墜落・火災・感電・転倒など安全体感コンテンツを用いて、それぞれの危険な状況を再現
- ▶ 「高所からの工具の落下」コンテンツの一部（明電システムソリューション㈱）



「高所からの工具の落下」コンテンツの一部
(明電システムソリューション㈱)

道総研試験研究会 2022年3月

13
2022/03/09

安全教育と資格③

○技能講習

- ▶ 技能講習は、免許よりは権限が限定され、特別教育よりは高度な業務を行える労働安全衛生法で規定されている資格
- ▶ 技能講習の教習機関となることを申請中
- ▶ 「小型移動式クレーン技能講習」と「玉掛技能講習」を選択で受講
- ▶ 講習用小型移動式クレーン付きトラックを学校に配置

○特別教育

- ▶ 特別教育は、危険または有害な現場で作業する際に必ず受ける必要がある教育
- ▶ 必修科目：ボーリングマシン運転、玉掛作業従事者、動力巻上機械の運転（ワインチ）、足場組立解体作業従事者、フルハーネス型墜落制止器具使用作業、酸欠・硫化水素危険作業従事者」、低電圧取り扱い従事者
- ▶ 選択科目：振動工具、アーク溶接

道総研試験研究会 2022年3月

14
2022/03/09

今後について

- ▶ 掘削技術者の不足と技術継承の課題を解決する手段の一つとして、掘削技術の専門学校を設立
- ▶ 専門学校紹介サイト「スタディサプリ」、「マナビジョン」と学校ホームページにより生徒を募集
- ▶ 学校設備の有効利用を関係の機関や企業に説明



教科書査読委員会の皆様、掘削機器類をご提供いただいた各社には厚くお礼申し上げます。

道総研試験研究会 2022年3月

15
2022/03/09

第 60 回試錐研究会講演資料集

令和 4 年（2022 年）3 月 9 日 発行

編集 試錐研究会

出版 地方独立行政法人北海道立総合研究機構
産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所
〒060-0819 北海道札幌市北区北 19 条西 12 丁目
TEL 011-747-2420
FAX 011-737-9071
URL <https://www.hro.or.jp/eeg.html>

印刷 北海道印刷企画株式会社

〒064-0011 北海道札幌市中央区南 11 条西 9 丁目 3-35
TEL 011-562-0075
