

地下水・地盤環境に関するお知らせ

第 31 号

令和 4 年 3 月

地下水地盤環境に関する研究協議会

〒540-0008 大阪市中央区大手前 2 丁目 1 番 2 号 (一財)地域 地盤 環境 研究所 内

Tel : 06-6941-8833 Fax : 06-6941-8883

E-mail : gwjim@geor.or.jp HP : <http://www.gwrc.info/>

***** 目 次 *****

1. 本協議会 活動報告および会告

- (1) 「*Kansai Geo-Symposium 2021*」開催報告 1
- (2) 「令和 4 年度通常総会および特別講演会」開催のお知らせ 5
- (3) 「*Kansai Geo-Symposium 2022*—地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム—」
開催のお知らせ 5

2. 地下水・地盤環境に関する情報 6

「地下水排水工法の課題と対策」

統合物性モデル技術研究組合・岡山大学 名誉教授 西垣 誠
KS 技術コンサルタント 科野 健三

「大阪市域における帯水層蓄熱利用システムの普及に向けた取組」

中央開発株式会社 原 弘典・前田 直也・王寺 秀介
大阪市建設局・前環境局 エネルギー政策担当課長 永長 大典
統合物性モデル技術研究組合・岡山大学 名誉教授 西垣 誠

3. トピックス

- (1) 「硝酸性窒素等地域総合対策ガイドライン」の公表について 21
- (2) 関連学会誌 22
- (3) 関連学会等の主な行事カレンダー 27

4. 関連書籍の販売・編集後記 28

1. 活動報告および今後の開催行事会告

(1) 「Kansai Geo-Symposium 2021ー地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウムー」開催報告

1. はじめに

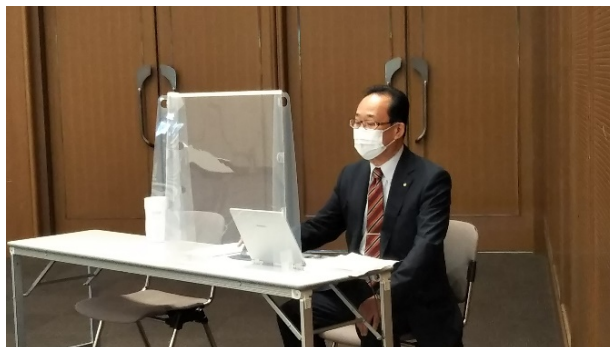
去る令和3年11月27日(金)、オンラインおよび関西大学100周年記念会館(吹田市)において、地盤工学会関西支部との共催で表記のシンポジウムが開催されました。地盤工学会関西支部との共催としては今回で9回目を迎えました。参加者は104名、基調講演と6セッション40件の口頭発表が行われました。プログラム内容は、一般公募論文/報告発表・基調講演・委員会特別セッションで構成されました。また今回新たに「技術紹介セッション」を設けて、7社に参加していただきました。

本シンポジウムは、コロナ禍の社会情勢をふまえ、昨年に引き続き今回もハイブリッド形式で開催しました。参加者は84名で、参加形態の内訳は会場参加者が33名、オンライン参加者が51名と、オンライン参加者の方がやや多い状況でした。会場参加の皆様には、大阪府および関西大学の基準に従い、感染症対策を徹底した上で発表・聴講していただきました。技術紹介セッションについては、コロナ禍においては会場で技術展示を行うことが難しいため、各社の技術をオンラインでご紹介いただける貴重な機会となりました。

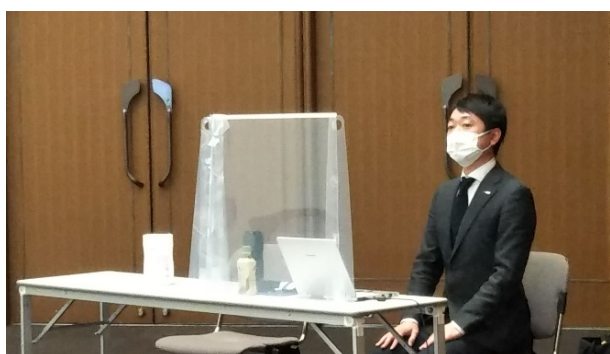
オンラインの接続トラブルはなく全体的にスムーズに進行できたものの、一部セッションにおいて、質疑応答の際に発表者の声がオンライン参加者に聞き取りづらい状況が生まれました。次年度に向けた課題として、運営側で改善策を検討してまいります。

2. 基調講演

関西大学 社会安全学部の奥村与志弘先生より『南海トラフ巨大地震に伴う長期停電と災害関連死』と題して、会場にてご講演いただきました。接続トラブル等もなく、オンラインでの参加者にも円滑に聴講していただくことができました。



東原支部長（地盤工学会関西支部）による開会挨拶



奥村先生による基調講演（A会場）



セッション（A会場）

3. 公募論文／報告

口頭発表（公募論文／報告発表：4セッション，委員会特別セッション：2セッション）は，2会場で合計40件の発表が行われた。以下にプログラムを記す。これらのうち，本協議会ではセッション1，5の運営を担当した。

<セッション1 テーマ：防災・その他（1）>

座長：勝見武（京都大学）

- 1-1 分布型光ファイバ振動センサを用いた河川堤防の決壊・河岸侵食の検知
○町島祐一（(株)レーザック），海老原悠馬
- 1-2 木津川における堤内地盤の特徴と噴砂の要因に関する検討
○北田奈緒子（(一財)地域地盤環境研究所），藤原照幸，濱田晃之，水谷光太郎，伊藤浩子，三村衛，肥後陽介
- 1-3 等価線形地震応答解析による南海トラフ地震での大阪・神戸地域の揺れやすさと液状化危険度の予測
○糟谷祐多（日本工営（株）），春日井麻里，大島昭彦，山口智也，濱田晃之，山田卓
- 1-4 地すべり地における積雪状態—地下水位変動—斜面安定の連携解析
○藤本明宏（福井大学学術研究院），山本恭也，佐藤裕司，藤島雅也
- 1-5 降雨による斜面危険度監視システムの構築に向けた基礎的研究
○窪津俊亮（立命館大学），安田有輝，小林泰三

<セッション2 テーマ：防災・その他（2）>

座長：鍋島康之（明石工業高等専門学校）

- 2-1 高速道路盛土における盛土内水位の傾向分析
○中島康介（(株)高速道路総合技術研究所），平井健太，日下寛彦，安部哲生，大賀政秀，太田雅之
- 2-2 緩斜面地すべりの遅れ破壊現象に対する数値解析的検討
○飛田哲男（関西大学），大西宏実，井合進，Masyhur Irsyam
- 2-3 機械学習を用いたダム浸透量推定
○尾下智郁（神戸大学大学院），鈴木麻里子，井上一哉
- 2-4 宙水発生メカニズムの解明に向けた盛土材料の透水特性に関する基礎的研究
○山本眞暉（神戸大学大学院），瀬古一樹，友近温人，片岡沙都紀，澁谷啓
- 2-5 土壌雨量指数とデータ同化によって再現された豪雨時の斜面内の水の状態との関連性
○小田和広（大阪産業大学），小泉圭吾，伊藤真一，堤浩志
- 2-6 マスムーブメントを含むマルチハザードに対する避難行動特性のAIによる分析
○辻子裕二（福井工業高等専門学校），松田達也
- 2-7 浸透流解析と円弧滑り解析による斜面対策工の評価と土砂災害危険基準線の一考察
○福岡知弥（京都大学大学院），宮崎祐輔，小山倫史，藤原照幸，中川圭正，尾下嘉春，岸田潔
- 2-8 豪雨時の高速道路のり面健全度診断手法に関する一考察
○小泉圭吾（大阪大学），堤浩志，星野弘明，藤原優

<セッション3 テーマ：「斜面災害のリスク低減に関する研究委員会」特別セッション>

座長：鏡原聖史（(株)ダイヤコンサルタント）

- 3-1 TINを用いた表層崩壊発生危険度評価手法の有用性の検証
○近藤圭悟（大阪大学），鳥居宣之，野並賢
- 3-2 被覆工設置箇所における計測結果について
○高橋良輔（(株)ダイヤコンサルタント），鏡原聖史，岩佐直人，金村和生，片山政和，歳藤修一，西浦清貴，石川昌幹，石田優子，芥川真一
- 3-3 斜面安定対策工の合理的な設計に向けて
○山口充（(株)鴻池組），加藤正司，野並賢，小松晃二，谷垣勝久，小西成治，柴田靖，石川昌幹，原田紹臣，阪口和之，大畑拓也

- 3-4 平成 30 年 7 月豪雨時の土砂災害に対する住民の早期警戒・避難行動に関する考察
－京丹波町上乙見地区の事例－
○小山倫史（関西大学）、近藤誠司、西村公貴
- 3-5 プラスチック光ファイバーセンサーとモバイル機器を用いた斜面への水分浸透状況の観測
○杉井良平（ライト工業（株））、井上雅之、荒瀬航、芥川真一
- 3-6 現地モニタリングに基づく土壌雨量指数の妥当性の検討
○林祐妃（立命館大学）、藤本将光、宮崎祐輔、小山倫史、中井卓巳、藤原康正、岸田潔
- 3-7 単管を用いた土中水分・水位計開発に関する実験的研究
○鈴木瑞生（大阪大学）、小泉圭吾、榊利博、小松満

<セッション 4 テーマ：「地盤工学分野における ICT 活用促進に関する研究委員会」特別セッション>
座長：小林泰三（立命館大学大学院）

- 4-1 城郭石垣の地震時安定性評価手法の構築に向けた基礎的検討
○山元遼太（立命館大学）、三反畑慶、安井伸頭、西村正三、小林泰三
- 4-2 レーザースキャナを用いた内空計測時間の短縮
○須佐見朱加（佐藤工業（株））、京免継彦
- 4-3 CV 技術を用いた土砂災害調査の提案
○鍋島康之（明石工業高等専門学校）、鶴瀬隆一郎
- 4-4 デジタルツイン的発想に基づく雨水浸透シミュレーションモデルの同定における
データ同化間隔の影響
○河原慎治（大阪産業大学）、小田和広、小泉圭吾、伊藤真一
- 4-5 ハンディ型レーザースキャナによる調査事例とレーザースキャナ技術の今後の展望について
○小林秀斗（（株）アサノ大成基礎エンジニアリング）、早川和也、吉田三郎、永井哲

<セッション 5 テーマ：施工技術・その他> 座長：野並賢（神戸市立工業高等専門学校）

- 5-1 大型動的コーン貫入試験におけるロッドの周面摩擦力の測定
○高橋秀一（大和ハウス工業（株））、大島昭彦、武野航大、吉見侑子、坂口達也
- 5-2 各種要因が鉄鋼スラグ混合土の一軸圧縮強度特性に与える影響
○小畑孝太（神戸大学大学院）、吉本昌弘、片岡沙都紀、河井克之、澁谷啓
- 5-3 スクリューオーガ掘削に及ぼすオーガ形状の影響に関する基礎的研究
○遠藤慧人（立命館大学）、深川良一、小林泰三
- 5-4 サーモグラフィを用いた琉球石灰岩の間隙率推定
○前野一稀（神戸大学大学院）、鈴木麻里子、井上一哉
- 5-5 廃ガラスカレットを用いたエアモルタルの提案
○日置和昭（大阪工業大学）、小川恒郎、岡本郁也、吉原正博、谷内建吾、山本剛一
- 5-6 地盤改良における耐震護岸整備のための最適な高圧噴射攪拌工法による防災耐震化施工事例
○武藤友弘（小野田ケミコ（株））、今川幸一、桑原宏之、松岡大介、西尾経
- 5-7 鉛直地盤ばねによる埋戻し土を考慮した直接基礎の浮き上がり効果の検証
山下典彦、○久保田晃平（大阪産業大学）、宮脇幸治郎
- 5-8 網状鉄筋挿入工における杭設置条件が補強効果に及ぼす影響
○藤本将光（立命館大学）、原田紹臣、高瀬蔵、里深好文、小西成治、疋田信晴、吉永憲次

<セッション 6 テーマ：地盤環境・地中熱> 座長：齋藤雅彦（神戸大学）

- 6-1 温度条件が掘削ずりに含まれるヒ素溶出挙動に及ぼす影響の評価
○加藤智大（京都大学）、岩田侑祐、Lincoln W. Gathuka、高井敦史、勝見武
- 6-2 自然由来重金属含有掘削物を利用した盛土への降雨浸透を抑制しうる覆土構造の検討
○南口和真（大阪大学）、緒方奨、乾徹、加藤智大、勝見武
- 6-3 不適正処理最終処分場における特定支障除去等事業の実施

－平成 25 年度第 RD-3 号旧産業廃棄物最終処分場二次対策工事－

○花木陽人（(株) 鴻池組），日高典哉，森田俊成，大山将，吉岡由郎

6-4 帯水層蓄熱システムの第 1 洪積砂礫 Dg1 層への適用検討

○坂口雄人（大阪市立大学），大島昭彦，一谷浩司，中曾康壽，中尾正喜

6-5 地盤情報データベースからみた被圧地下水の透水係数に関する予察的検討

○伊藤浩子（(一財) 地域地盤環境研究所），藤原照幸，濱田晃之，北田奈緒子

6-6 機械学習による揚水に伴う水源揚水井の地下水運転水位の将来予測に関する研究

○平川将寛（関西大学），尹禮分，楠見晴重

6-7 温度勾配による不飽和ペントナイト中の水分移動シミュレーション

○有井拓也（神戸大学大学院），太田有祐，橘伸也，竹山智英，飯塚敦

(2) 令和4年度 通常総会および特別講演会 開催のお知らせ

標記、通常総会の開催日および会場が下記の通り決定いたしました。

- 日 程：令和4年6月13日（月）
会 場：ハイブリッド形式（国民會館 12階小ホール，Zoom）（予定）
○通常総会・・・・・・・・・・14：45～15：45（予定）
○特別講演会・・・・・・・・・・16：00～17：00（予定）
○講演者：遠藤 崇浩 教授（大阪公立大学大学院現代システム科学研究科）
○タイトル：災害用井戸の機能と限界～事例調査からの示唆～
(★詳細は追ってお知らせいたします)

(3) Kansai Geo-Symposium 2022 —地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム— 開催のお知らせ

地盤工学会関西支部との共同主催として開催いたします。本協議会はもとより、関西の関連業界全体が活性化するような行事になるよう取り組んでまいりたいと思います。会員の皆様には、何卒ご理解とご協力を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

- 主 催：(公社)地盤工学会関西支部・地下水地盤環境に関する研究協議会
- 協 賛：(公社)土木学会関西支部[予定]，(公社)日本材料学会関西支部
(公社)日本地すべり学会関西支部[予定]，(一社)日本建築学会近畿支部
(公社)日本地下水学会，(一社)日本応用地質学会関西支部
(公社)日本水環境学会関西支部[予定]，(公社)土木学会岩盤力学委員会[予定]
現場計測コンサルタント協会
- 開 催 日：2022年11月4日（金）
- 会 場：オンラインおよび関西大学100周年記念会館（ハイブリッド形式）（予定）
- 開催形式：
公募論文／報告発表（口頭）
基調講演
- 参加費：
正会員・特別会員・協賛団体の会員（¥5,000）
学生である会員（¥2,000）（※学生の方は参加時に学生証のコピーを添付）
非会員（¥7,000）
- 論文・報告要旨の締め切り：2022年5月13日（金）
論文・報告原稿締め切り：2022年7月1日（金）

※詳細は会告をご覧ください。

2. 地下水・地盤環境に関する情報

(※次ページ以降に掲載)

(1) 「地下水排水工法の課題と対策」

西垣 誠(統合物性モデル技術研究組合・岡山大学 名誉教授)

科野 健三 (KS 技術コンサルタント)

(2) 「大阪市域における帯水層蓄熱利用システムの普及に向けた取組」

原 弘典・前田 直也・王寺 秀介 (中央開発株式会社)

永長 大典 (大阪市建設局・前環境局 エネルギー政策担当課長)

西垣 誠(統合物性モデル技術研究組合・岡山大学 名誉教授)

地下水排水工法の課題と対策

西垣 誠 (統合物性モデル技術研究組合・岡山大学 名誉教授)

科野 健三 (KS 技術コンサルタント)

1. はじめに

地下水のある地盤を掘削する際の地下水に対処する工法としては、掘削現場に湧水する水を揚水する「排水工法」と、掘削現場へ地下水を湧水させない「遮水工法（止水工法）」がある。

一般に、排水工法は遮水工法より安価な工法と考えられている。しかし、地下水位を低下させることによって、周囲の地下水障害や地盤沈下災害を予測する必要がある。また、それらの対策を実施するためには、広範囲な地盤のモデル化も必要である。したがって、排水工法が遮水工法より安価な技術とは判断できない場合もある。

また、排水工法を実施しても、地中に地下構造物や基礎が設置されるため、当然、その構造物による地下水流動阻害が生じるかどうか、設計段階で検討しておく必要がある。本稿では、このような2つの地下水処理のうちの排水工法に絞って、その課題と対策の要点を述べる。詳細な内容については西垣・科野 (2021) ¹⁾を参照されたい。

2. 地盤調査と調査孔の掘削

2.1 掘削地を対象とした過去の掘削工事情報の収集

2018年4月に一般財団法人国土地盤情報センターが設立され、国が有しているデータや自治体との協定がなされて、地盤情報の蓄積がなされている。しかし、データを国が収集しても、そのデータの信頼性に疑問があるため、2020年に国土地盤情報センターでは地盤情報の品質管理評価を開始した (岩崎, 2019) ²⁾。

地盤情報に対して当然、地下水に関する貴重な情報収集が必要であるが、現状では体系化された収集はまだほとんどなされていない。対象流域の鑿泉業者の情報が重要であるが、技術者の高齢化が進み、貴重な情報が日本の中から消え去ろうとしている。

したがって、2014年に成立した水循環基本法に従って、各流域の地下水に関する協議会が設立されて、豊潤な日本の地下水を国民が守るようなシステムを、日本で一日でも早く構築してほしいものである。

2.2 掘削孔の安定液

掘削孔の孔壁崩壊を防止する方法として、一般にはベントナイト泥水が安定液として利用されてきた。しかし、ベントナイト泥水が掘削中に帯水層内に浸透して、目詰まりが生じることが報告されている (石川, 2018) ³⁾。このような状況を改善するために、安定剤として生分解性増粘剤を用いて掘削し、安定液が分解しない間に孔壁を保護して、分解後に揚水井内を洗浄する方法が紹介されている (石川, 2018) ³⁾。しかし、生分解性増粘剤は、掘削が2日以上になると、観測井を構築している間に粘度が低下して、孔壁が崩壊してしまうことがある。

これに対して、安定液として CMC (高粘度カルボキシメチルセルロース) を用いる掘削方法が実施されている。CMC 安定液は、ベントナイトより高価な安定液であるが、高分子の生分解性増粘剤による安定的より粘性を長く維持できる特性がある。孔内にオールスクリーン付のケーシングを立て込んだ後、CMC 安定液の粘性成分であるセルロースを分解する真菌類が生産する酵素 (セルラーゼ) (吉田, 2009) ⁴⁾を CMC 安定液に投入することによって、安定液の粘性を低下できる手法を松下眞夫博士が開発している。この手法は水井戸掘削に対して有効な技術である。

2.3 地盤内の帯水層の浸透特性の調査

多層地盤の浸透特性を計測する方法として、単孔式透水試験法が最近有力になってきている (Bull, 2019)⁵⁾。単孔式透水試験法は、深度方向の各層の浸透特性のデータを3次元の地盤数値解析に適用できるため、きわめて有効な試験法である。しかし、多層地盤で各層を対象に試験を実施すると、多くの時間と経費が必要となる。また高透水性 ($1.0 \times 10^{-4} \text{m/s}$ 以上) の地層では、試験孔内の流速が層流から乱流になってしまっていて、実際の地盤の透水係数より少し小さい値になってしまうことがある。単孔式透水試験の限界を打破する試験として、多孔式透水試験である揚水試験法があるが、各帯水層にそれぞれ実施すると、やはりきわめて高価な試験法となる。

このような状況をふまえ、多層地盤の各帯水層の浸透特性を原位置で計測する試験法として、亀裂性岩盤での透水試験を堆積地盤に適用した「フローメータ試験法」を開発した (西垣ほか, 2018⁶⁾; 西垣ほか, 2019⁷⁾ (図-1)。

このフローメータ試験法では、各帯水層の水平方向の透水係数および帯水層厚、自然水頭 (水位・水圧)、さらに帯水層内の地下水の電気伝導度と地下水温が連続的に求められ、各帯水層の地下水が混合しても本来の帯水層内の水の電気伝導度、温度分布を計測することができる。また、これらのデータから、帯水層の真の厚さおよびフィルター層の長さ・材料、さらに上下の帯水層を遮断する材料の選定が可能になる。

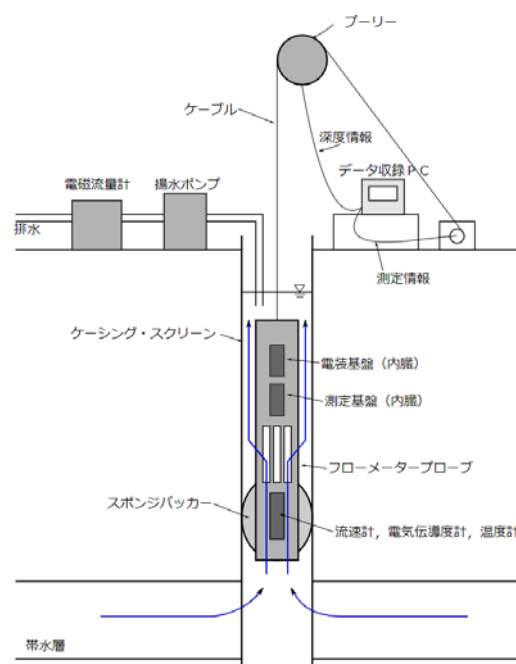


図-1 フローメータ検層装置の構造図⁷⁾

3. 多層地盤での揚水井・観測井の構築

3.1 帯水層構成材料試験とフィルター材の選定

多層地盤での角田スイスの構成材料の粒度分布曲線を求めることは、各帯水層のフィルター材料の選定できわめて重要である。フィルター材は D_{85} の土粒子が揚水井の中に流入しないように、フィルター材料の間隙径を D_{85} の5倍以下に選定する従来からの基準を守る必要がある。この基準に従って設計すると、 D_{85} 以下の細粒土は、揚水によってフィルターを通して揚水井の中に流動してくる。そして、フィルターの底部に細粒度が堆積して目詰まりが進行する。したがって、フィルターは必ず目詰まりすると設計段階から考えて、フィルター層には洗浄できる対策を設置すべきである。

また最近、新しいフィルター材が普及してきている。コンクリートを粉砕した再生細粒骨材をフィルター材として用いる場合は、塩水を含む地下水に使用すると水酸化ナトリウムやマグネシウムが固体として析出して、フィルターが目詰まりが生じるので注意する必要がある。

3.2 フィルターの目詰まり探査手法

揚水井や復水井のフィルター層の目詰まり状況をリアルタイムで探査するシステムがあると便利である。これに対して、光の送受信の2本のプラスチック光ファイバー (Twin Fiber 方式) を用いて、フィルター内の数ミリ領域での変状をモニタリングするシステムがある (芥川, 2018)⁸⁾。実用化には、それぞれのフィルターでのキャリブレーションが必要であるが、将来大切にしたい技術開発がなされようとしている。

3.3 孔内の帯水層間の止水に関する新しい材料の開発

前述のフローメータ試験によって各帯水層や難透水層厚が決定され、観測井と揚水する帯水層が定められると、それぞれの帯水層間を止水する必要がある。この止水材料として、ベントナイトペレットが用いられている。しかし、塩分を含んだ地下水では普通のベントナイトが止水材料として適用できないことがある。この大きな問題に対して、以下の3つの研究開発がなされた(中村ほか, 2018)⁹⁾。

- ① 従来のベントナイトと無毒性の膨潤活性物質を混合加工処理して、電解質水溶液中でも膨潤するベントナイト粉体(多目的ベントナイト:MB)を開発した。
- ② 粉体のMBでは、ボーリング孔内の止水が困難であるため、粉体の材料をペレット状の材料(MBP)に加工して、ボーリング孔内に地上から投入できる止水材を作成した。
- ③ 地上の投入孔から数十メートル近し止水深度まで落下する途中でペレットの形状が変化しないように、MBPの表面を塩分を含む地下水中で溶解する材料でコーティングした。

表-1 従来のベントナイトとMBの膨潤力の差

溶 液	膨潤力 (mL/2g)	
	多目的ベントナイト	従来のベントナイト
太平洋海水	27.0	7.0
日本海海水	26.5	9.0
人工海水	32.0	9.0
セメント飽和上澄み液	49.0	28.0
1 規定硫酸溶液	32.0	15.0
1/2 規定苛性ソーダ溶液	27.0	10.0
蒸留水	20.0	24.0

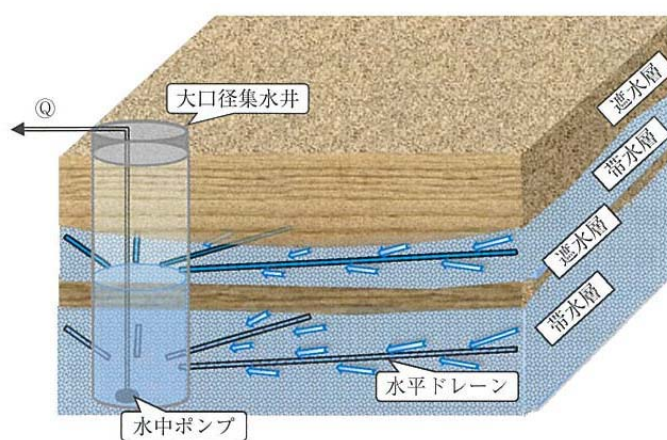


図-2 放射状水平ドレーン工法による地下水低下

表-1 より、蒸留水より海水環境の方がMBは膨潤圧が大きくなっているため、汚染水や廃棄物処分場の底部の遮水シートとして極めて有効に活用できる。

4. 掘削中の安定評価

4.1 透水性の低い帯水層の水位・水圧の低下工法

地盤掘削における地下水処理として、掘削地内の地下水の処理工法にディープウェル工法とウェルポイント工法がある。ディープウェル工法は帯水層の透水係数が $1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 以上の帯水層に対して有効であり、それ以下の帯水層ではウェルポイント工法が有効であるとして、両者を使い分けている。しかしウェルポイント工法では、排水用のポンプがある位置より深さ7m程度、またウェルポイント井戸から半径2~3mの範囲の地下水位しか低下できない。

そこで、透水係数が $1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 以下の地盤内の地下水位(水圧)低下を、ウェルポイントを用いずに平面的に実施するには、地すべり地で実施されている水平ドレーン工法が極めて有効である(図-2)。水平ドレーン工法により、掘削前から十分に地盤内の地下水位を低下させておくと、掘削土の含水率も低くなり、掘削土の有効利用性も増加する。

4.2 揚水流量の軽減方法

地盤掘削において、水圧を低減するための揚水流量を軽減するための技術開発も重要である。これに対して、ベントナイトとエタノールの懸濁液を今後して止水する技術がある（浅田ほか，2001¹⁰；Asada et al., 2005¹¹）。これは地中で地下水によってエタノールが希釈されることで、ベントナイトが膨潤して止水壁になるもので、エタノールの代わりに2%程度の塩水でも同じような結果を得ることが分かっている。

4.3 掘削底部のヒービング

多層地盤の掘削で、粘性土層の掘削の課題はヒービング現象対策である。掘削底部のヒービング現象のモニタリングに対しては、地表の不動点から3次元の地上レーザスキャンを利用して測量することが一般的になってきている。測量精度は50m区間で±3mm程度になっているが、まだまだ高価な調査方法である。難透水層の中心の地層下端に沈下計（隆起計，ヒービング探知計）を設置して、掘削面の挙動を計測する安価な方法もある。

4.4 インバータポンプ（IP）による揚水

インバータポンプ（IP）は必要最小限の流量で揚水する制御システムである。揚水流量を一定にするセンサーのデータや揚水井内の地下水位データに従ってポンプの回転速度をコントロールするため、掘削地全体の地下水位（水圧）のコントロールが極めて容易になる。ポンプにかかる負荷が少なく、帯水層内の土粒子に課題な浸透水圧が作用しないため、土粒子の移動が生じにくく、帯水層内での目詰まりが発生しにくくなると考えられる。

5. 揚水した地下水の取扱い

揚水した地下水は元の帯水層に復水することがいちばん理想的な水処理方法である。しかし、この復水方法には、復水井やその周辺の帯水層内に「目詰まり」が生じるため、その対策を綿密に事前に考慮して実行する必要がある。復水工法での目詰まりの要因を分類すると、以下になる。

- ① 揚水に含まれる懸濁物質による復水井のフィルターや帯水層の目詰まり（物理的目詰まり）
- ② 揚水が空気や水質の異なる水に触れて固形物が析出することによる目詰まり（化学的目詰まり）
- ③ 還元環境下での地下水に含まれるバクテリアなどの増殖による目詰まり（生物学的目詰まり）
- ④ 揚水による減圧によって発生する水中の気泡の流入による目詰まり（2相流による目詰まり）
- ⑤ 帯水層内の細粒土が復水浸透によって移動することによる目詰まり（浸透流による目詰まり）

これらの目詰まり要因に対して、以下のような対策が考えられる。

- ① 揚水した水からの懸濁物質の除去方法：揚水に流入してきた細粒度を送水中に除去する。今日では、処理流量1,000m³/日の場合にろ過精度を1μm（極超微粒子）で除去でき、流入側と流出側の圧力差を感知して自動洗浄する機能付きのろ過装置が開発されているので、物理的目詰まりの回避は可能となっている。
- ② 化学的や生物学的目詰まり対策：地中の地下水は還元状態にあることが多いため、揚水した水を還元状態のまま復水すると、化学的・生物学的目詰まりは発生しづらくなる。
- ③ 揚水井の気泡対策：送水管の途中に気液分離装置を設置するだけで、気泡の譲許が可能である。
- ④ 復水井周囲の帯水層の目詰まり対策：揚水した地下水を復水する場合に、帯水層内での細粒度が復水井からの水の浸透によって放射状に異動していく現象（図-3）が生じて、帯水層の中で目詰まりが生じる。この目詰まりを生じさせない対策としては、帯水層内の土粒子を移動させない復水井内の許容水位の値を、原位置段階注水試験を実施して求める方法が提案されている（清水，2018）¹²。

帯水層内への復水によってどのような土粒子がどの程度の動水勾配で移動しているかを室内実験で確認する

と、シルトに分類される土粒子が 3/100 程度の動水勾配で移動していることが分かった。したがって、復水によって帯水層内の細粒土が移動してしまうことになる。この結果より、復水井の周辺の帯水層内から移動しやすい細粒度を復水する前に揚水によってあらかじめ除去しておいて、復水中の目詰まりを軽減する方法について検討した。

- ① 帯水層を構成している土粒子の粒度分布を既知とするため、帯水層からの不攪乱のコアサンプリングを実施する。
- ② 得られたコアサンプルより、間隙率(n)と粒径加積曲線を求める。
- ③ 帯水層の透水係数を揚水試験・単孔式透水試験・フローメータ試験で求める。
- ④ 段階的に揚水流量を増加させて揚水試験を実施する(図-4)。同時に複数の観測井内の水位低下と揚水井内の水位を計測する。
- ⑤ 各流量段階での揚水を継続中にどのような土粒子が揚水されているかを、各段階で経時的に揚水をサンプリングし、マイクロスコプを用いて各流量によって揚水に含まれる粒径とその量の変化を計測する。

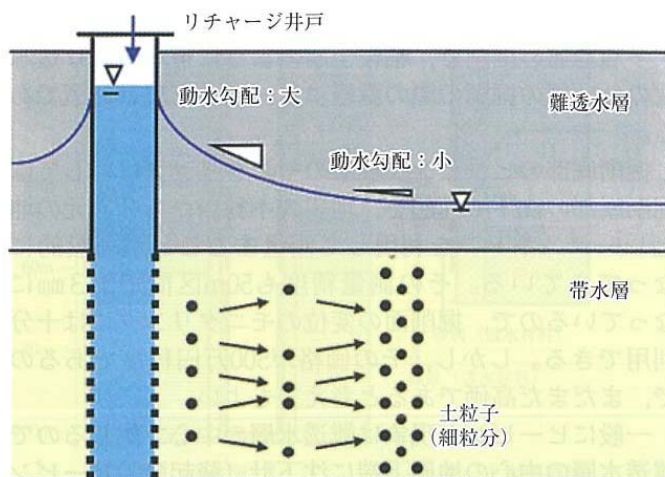


図-3 注水による土粒子の移動・再配列¹²⁾

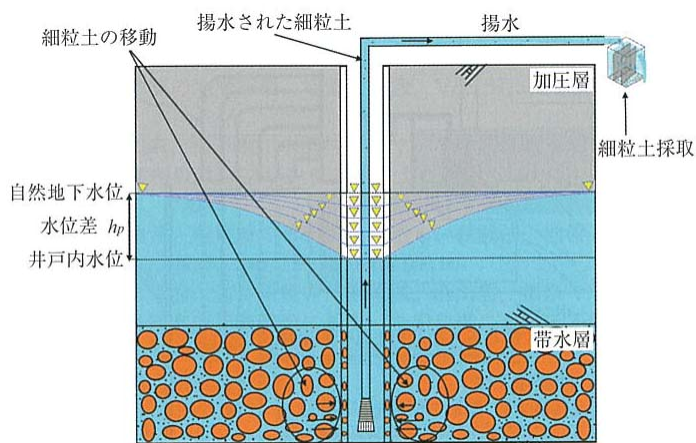


図-4 段階揚水による復水井周囲の帯水層の洗浄¹⁾

一連の現場揚水試験より、復水を実施する前に、以下の手順で復水流量を設定する手法が提案できる。

- ① 現場揚水試験の結果から地下水位低下に必要な揚水流量を算定し、水処理のための各復水井への流量を算定する。
- ② 復水井の効率的な配置計画の妥当性を3次元浸透流解析によって確認する。
- ③ 設置した復水井に対して、段階揚水試験で十分に帯水層の洗浄を実施した後、設定した復水流量で復水する。

ここで提案した帯水層内の目詰まりの回避方法は、まだ実際の工事での実用性の実証はしていないが、復水工法で問題となる目詰まりを回避する新しい手法と考えている。

6. 目詰まりした井戸の洗浄工法

井戸の機能回復工法として、井戸内の逆洗式洗浄工法、ブラッシング工法、スワビング工法、高圧洗浄工法、薬品処理工法などが従来より実施されている。また、マイクロ・ナノバブル(ファインバブル)の持つ洗浄作用(日本機械学会編, 2009)¹³⁾に着目し、横ボーリング集水管に適用することにより、管外閉鎖物を積極的に除去することのできるスマート洗浄技術が開発されている(特願2016-146466)。この工法の特徴は下記の通りである。なお詳細については、西垣・科野(2021)¹⁾を参照いただきたい。

- ① 管理指標を取り入れた洗浄技術
- ② 微生物の殺滅を目指す技術ではなく、除菌により自然作用を加速させて機能の維持・向上を図る技術
- ③ 装置の小型・軽量化を図り、重機不要なシステムで作業全体の省人化と脱炭素化を可能にした洗浄技術
- ④ スケーラビリティに優れ、管外閉塞物の状況や現地状況に応じてフレキシブルに対応できる技術
- ⑤ 管内だけでなく管外側も洗浄できる技術

7. 結論

- ・揚水井や観測井を掘削する際に、孔内安定液として CMC が極めて有効であることを示した。
- ・堆積地盤の地下水調査法としてフローメータ法の適用について論述した。
- ・多層地盤での揚水井や観測井を設置するため、地下水が塩水環境下でも層間の止水が可能な多目的ベントナイトペレット (MBP) の開発について紹介した。
- ・掘削面の安定評価に関しては、掘削底面の沈下隆起をリアルタイムで計測できる 3 次元のレーザスキャンを適用することを提案した。
- ・揚水した水の処理方法として、復水井を用いて自然に水を還元する方法を推奨した。
- ・フィルターなどの目詰まりのモニタリングに光ファイバーによる確認手法が研究されていることを紹介した。
- ・復水における復水井の目詰まりを回避する方法として、揚水をろ過してフィルターを自動洗浄する装置を紹介した。
- ・復水井に復水することによる復水井近傍の帯水層内の目詰まりの回避法として、復水する前に段階揚水によって十分に復水井を洗浄しておき、復水井の周囲の帯水層内の細粒土を除去する方法を提案した。また、洗浄の確認にマイクロスコープを用いることが有効であることを提案した。
- ・目詰まりが生じている井戸に対して、マイクロバブルを用いてストレーナ、フィルターを洗浄する新しい洗浄方法を紹介した。

謝辞

本稿を執筆するに際して、下記の方々に最新の情報を提供いただきましたことをここに記して、謝辞を表します。

松下鋳産 (株) の松下眞夫博士からは、新しい安定液と掘削後に安定液の粘性を低下させる手法をご教授いただきました。環境テクノス (株) の柴田卓司様からは、堆積地質へのフローメータ試験法の改善に関してご協力をいただきました。伊豆大島の村松興業 (株) の村松与志広氏からは、天然材料フィルターを紹介していただきました。神戸大学の芥川真一先生から、フィルターなどの目詰まりのモニタリング技術をご指導いただきました。

(株) ホージュンの水野正之氏、中村明弘氏からは、塩水環境でも膨潤するベントナイトの紹介とそのペレット化についてのご指導をいただきました。清水建設 (株) の浅田素久博士からは、地盤内にベントナイト懸濁液を注入して止水する技術についての紹介を得ました。東北ボーリング (株) の保志篤氏からは、開発にご尽力いただいたスマート洗浄技術のご指導をいただきました。

参考文献

- 1) 西垣誠・科野健三：地下水排水工法の課題と対策，基礎工，Vol.49, No.6, pp.2-9, 2021.
- 2) 岩崎公俊：地盤調査，153号，第1号，pp.29-32，一般財団法人国土情報センター，2019.

- 3) 石川明：排水・リジャージ技術の現状と課題，基礎工，Vol.46, No.6, pp.33-36, 2018.
- 4) 吉田誠：セルロース分解性真菌類が生産するセルラーゼの多様性，木材保存，Vol.35-6, pp.250-259, 2009.
- 5) Butler, J.J.Jr：The Design, Performance, and Analysis of Slug Tests (Second Edition), CRC Press, 266p., 2019.
- 6) 西垣誠・柴田卓詞・加藤裕将・平田洋一：孔内流速検層装置(フローメータ検層)による多層帯水層の透水性評価，地盤と建設，Vol.36, No.1, pp.65-70, 2018.
- 7) 西垣誠・柴田卓詞・加藤裕将・岩上聡・平田洋一：流速計，電気伝導度計及び温度計を有する孔内マルチ検層装置による多層帯水層の地層評価，地盤と建設，Vol.37, No.1, pp.37-44, 2019.
- 8) 芥川真一：光ファイバーを利用したデジタル式 Off-Site Visualization による任意変状の定性的評価，土木技術，Vol.73, No.1, pp.82-87, 2018.
- 9) 中村明弘・皆瀬慎・柴田卓司・加藤裕将・西山哲・西垣誠：各種電解質水溶液で膨潤するベントナイトペレットの開発とその性能評価，地盤と建設，Vol.36, No.1, pp.105-110, 2018.
- 10) 浅田素之・小川恵道・上村一義・石川明・堀内澄夫：エタノールを利用した高密度ベントナイトスラリー，清水建設研究報告，第74号，pp.21-42, 2001.
- 11) Asada M, Horiuchi S：High-density bentonite slurry for seepage barriers, Journal of materials in civil engineering, Vol.17, No.2, pp.178-187, 2005.
- 12) 清水孝昭・青木雅路・中原淳・南善徳：既存地下解体を伴う地下工事における周辺環境へ配慮した地下水対策，基礎工，Vol.34, No.3, pp.43-46, 2006.
- 13) 日本機械学会（編），松本洋一郎（編著）：マイクロバブル最前線，共立出版，2009.

大阪市域における帯水層蓄熱利用システムの普及に向けた取組[※]

原 弘典・前田 直也・王寺 秀介（中央開発株式会社）

永長 大典（大阪市建設局・前環境局 エネルギー政策担当課長）

西垣 誠（統合物性モデル技術研究組合・岡山大学 名誉教授）

※本稿は「地盤工学会誌」2021年9月号に掲載された内容をもとに作成しました

1. はじめに

2020年10月に菅総理が所信表明演説で2050年に温室効果ガスの排出を実質ゼロにする「2050年カーボンニュートラル」を宣言した。「2050年カーボンニュートラル」の実現に向けて、大阪市では2050年の温室効果ガス排出量実質ゼロに向けた取り組みを進めている。

大阪市では、2030年度までの地球温暖化対策を着実に推進するため、2021年3月に新たな「大阪市地球温暖化対策実行計画」¹⁾を策定した。実行計画では、2030年度に温室効果ガス排出量の30%削減を目標とし、家庭部門で41%、業務部門で46%の削減（基準年度：2013年度）を見込んでいる。大阪市域で発生する温室効果ガスは、業務・家庭部門起源の2部門の割合が高く、2部門で概ね50%程度になる。このため目標達成には、この2部門の排出量削減が必須となっている。特にオフィスビルや様々な事業所等が集中する大阪市域は、排出量削減目標の達成のために、空調利用における省エネ・省CO₂対策が急務である。本報告では、大阪市域で検討が進められている帯水層蓄熱利用システムの普及に向けた取組について紹介するとともに、帯水層蓄熱利用における地盤工学分野に関する技術開発の状況と課題、今後の展望について述べていく。

2. 帯水層蓄熱利用の概要

2.1 帯水層蓄熱利用システムの概要

帯水層蓄熱利用（ATES：Aquifer Thermal Energy Storage）システムは、オープンループ方式（還元型）の地中熱利用の一種である。地中内の温度は、深度10m～15m以深になると、年間を通じての温度の変化が少ないことが知られている。帯水層蓄熱利用システムは、温度が安定している浅地中に冷暖房の排熱や季節間の気温差を利用して冷水または温水を作成し、蓄え、熱エネルギーとして活用するものである（図-1参照）。このために、省エネ・省CO₂対策としてだけでなく、大気中に放出していた排熱を減らすことができ、ヒートアイランド現象の緩和策としても期待されている²⁾。

地中熱利用が盛んな西ヨーロッパ地域では、帯水層蓄熱利用システムの導入も進んでいる。オランダでは、2014年時点で、累計で3000件超のATESシステムが稼働³⁾するなど、海外では豊富な実績がある。

一方で、帯水層蓄熱利用では、地下水の汲み上げによる地盤沈下の発生や、水温変化による水質変化、微生物

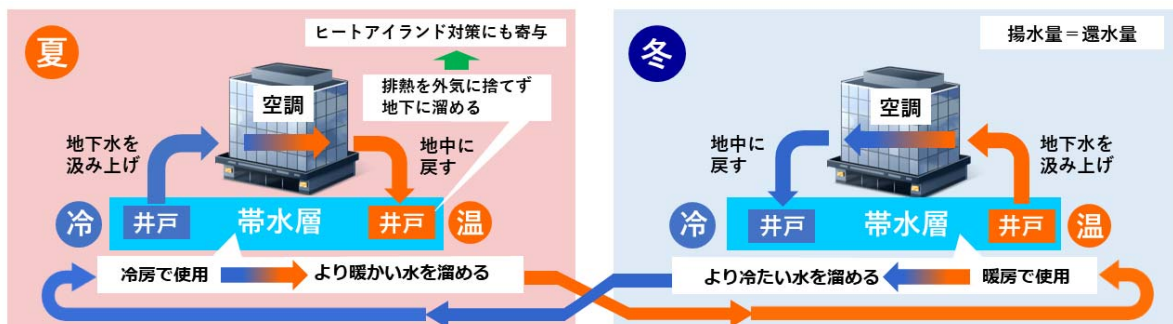


図-1 帯水層蓄熱利用システムの仕組み²⁾

への影響等⁴⁾も懸念されており、地盤条件が異なる日本への適用は、地盤工学的な検証が必要である。特に、帯水層蓄熱利用では、地下水還元技術の確立と地下水の揚水・還元による影響把握が重要になる。

このために、大阪市では、環境省 CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業（以下、実証事業と記す。）の採択を受け、2015 年度～2018 年度に、うめきた 2 期暫定利用区域で「帯水層蓄熱のための低コスト高性能熱源井とヒートポンプのシステム化に関する技術開発」（実施者：関西電力株式会社他）を実施し、2018 年度～2020 年度には、大阪市舞洲障がい者スポーツセンター（アミティ舞洲）で「複数帯水層を活用した密集市街地における業務用ビル空調向け新型熱源井の技術開発」（実施者：三菱重工サーマルシステムズ株式会社他）を実施した。これと並行して、2016 年に「大阪市域における地盤環境に配慮した地下水の有効利用に関する検討会議」（以下、検討会議と記す。）を大阪市に設置するなど、社会実装及び普及の促進に向けた検討を進めている²⁾。

2.2 大阪市域の帯水層蓄熱利用ポテンシャル

地中熱利用に関しては普及促進に向けて各地域のポテンシャルマップが公表されている⁵⁾。大阪市では、帯水層蓄熱利用の普及・促進に向けて「帯水層蓄熱利用ポテンシャルマップ」及び「帯水層蓄熱導入コストマップ」を大阪市の地図情報サイト「マップナビおおさか」⁶⁾上で公開している（図-2 参照）。本マップは、大阪市内を 250m のメッシュで区切り、メッシュ毎に存在する地下水が持つ熱量や熱利用に必要な熱源井の掘削コストの目安を表したものである。ポテンシャルの算出では、試算条件をオープンループ方式（還元型）とし、最密配置条件で、第 2 洪積砂礫層（Dg2 層）、第 3 洪積砂礫層（Dg3 層）を対象としている。帯水層蓄熱利用ポテンシャルマップでは、それぞれの帯水層の利用可能熱量が参照できる。これによると大阪市内の熱ポテンシャルは、 2.8×10^7 GJ/年と推定されており、これは、大阪市内の年間エネルギー消費量の約 15% に相当する熱ポテンシャルである。

帯水層蓄熱導入コストマップは、参考情報として 2 本 1 対の熱源井を掘削した場合の掘削コストを kW 単価で公開しており、導入検討時の適地選定や概算費用の見積り等への活用が期待されている。



図-2 帯水層蓄熱利用ポテンシャルマップ⁶⁾

3. 帯水層蓄熱利用技術開発実証事業と地下水採取規制緩和の提案

3.1 うめきた 2 期暫定利用区域での成果

うめきた 2 期暫定利用区域での実証事業の開発目標は、日本初の大容量のエネルギー貯蔵システムを実現に関する技術開発である。実証事業では、新規に開発した大容量熱源専用井戸を用いて、累計約 47 万 m³（実運転期間で 4.5 シーズン相当）の地下水を揚水し、地下へ還元した。

帯水層蓄熱利用は、地下水を揚水し、空調利用を行うために、「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」（以下、「ビル用水法」と記す。）により規制を受ける。一方で、汲み上げた地下水は基本的に全量を地下へ還元し、水収支を変化させることがないため、従来の地下水利用とは異なり、構造物へ影響を与えるような地盤沈下を発生させる可能性は低いと考えられる。

このために、検討会議では、地下水を全量還元した場合の地盤沈下量について、第 2 洪積砂礫層（Dg2 層）とその上下の洪積粘土層（Ma12 層、Ma11 層）を対象とし、ボーリング調査、圧密試験、揚水試験等の地盤調査を行った上で、地下水位のモニタリング、沈下計による計測と、3 次元地下水浸透流解析と地盤沈下解析を行い帯

水層蓄熱利用システムの運用による地盤沈下について検討した。モニタリングの結果から、うめきたでは、流量 100 m³/h で稼働した場合の熱源井での水位変化は、±2 m 程度であること、熱源井から約 20 m 離れた観測井での水位変化は、約±30 cm の範囲であることなどを確認した。また、観測井近傍に設置した沈下計で、Ma12 層以深の地盤変動量を計測したが、短期間では明確な地盤変動は見られなかった。

これは、圧密試験で得られた洪積粘土 (Ma12 層) の圧密降伏応力が、土被り圧に対して 180 kN/m² 以上あり、十分に過圧密状態であるため、短期間の地下水位の変動範囲では、有意な地盤沈下は発生しなかったものと考えられる。十分に過圧密であれば、地盤沈下が発生する可能性は低く、大阪市域の多くの地域の洪積粘土層は、うめきたと同様に過圧密状態であることから、大阪市内の他地域にも導入できる可能性が高いと考えられる。

3.2 地下水採取規制緩和の提案

(1) 概要

大阪市では、うめきた 2 期暫定利用区域での実証試験の結果を受け、2018 年 8 月 17 日に国家戦略特区における新たな特例措置として、建築物の冷暖房を目的とした地下水熱利用の際、汲み上げた地下水を全量還元する場合に限り、「ビル用法」第 4 条の規定に基づき許可できる特例を定めることを国へ提案した。

これを受けて、2019 年 8 月 27 日に「環境省関係国家戦略特別区域法第二十六条に規定する政令等規制事業に係る省令の特例に関する措置を定める命令の一部を改正する命令」が公布・施行され、地域限定であるがビル用法における特例措置が認められた。

その後、内閣府において、2019 年 9 月 30 日に国家戦略特別区域諮問会議が開催され、第 20 回の関西圏国家戦略特別区域計画が内閣総理大臣の認定を受け、この認定により、大阪市北区大深町地内 (うめきた 2 期地区) において帯水層蓄熱型冷暖房事業が進められることとなった。

また、大阪市は、規制緩和を提案するとともに、2019 年 2 月に、うめきたでの実証事業の成果を踏まえ、環境省に対して、大阪市域における地盤環境に配慮した地下水の有効利用に関する検討結果を報告⁷⁾し、地盤沈下や水質変化等を避けるために、帯水層蓄熱利用に求められる以下の要求事項をとりまとめている。

(2) 帯水層蓄熱利用システムの設備・構造に係る要求事項等

- (a) 地盤沈下の防止のため、熱源井による地下水の汲み上げと還元を行う地層は、同一の帯水層とすること等により、当該地域の平均的な地下水位を維持すること。
- (b) 地下水の水質変化を防止するため、大気の接触を避け気密を維持する等の構造とすること。

(3) 同システムの維持管理に係る要求事項

- (a) CO₂ 排出量削減効果等を把握するため、地下水から採り出した熱量及びシステム自身が消費するエネルギーを監視すること。
- (b) 地下水・地盤環境に与える負荷や影響を把握するため、地下水を汲み上げ、地下に還元した量、地下水の水位、水質、地盤沈下等を監視すること。

3.3 大阪市舞洲障がい者スポーツセンター (アミティ舞洲) での実証事業

舞洲では、複数帯水層 (Dg2 層, Dg3 層) を利用した帯水層蓄熱利用システムの実証試験が実施された。高層ビルが密集する市街地では、限られた敷地面積に対して大容量の地下水還元が必要になるが、同一帯水層に還元すると熱干渉が生じるため、舞洲では、2 層の帯水層を活用し、冷水と温水の貯留する帯水層を分け、直接的な熱干渉を避けるシステムとしている。

また、舞洲では、検討課題として、①帯水層蓄熱利用の普及に向けた長期間にわたるシステム耐久性に関する

データの蓄積，②地盤沈下の発生に関する，より正規圧密状態に近い地盤での適用性に関する検証，③空調負荷をかけた時の地下水質や微生物への影響の確認等を挙げ，実証事業後も引き続きデータの蓄積や地下水位，水温等のモニタリングを行う計画としている。

4. 帯水層蓄熱利用に関する研究・開発

地中熱に関連する技術開発は，NEDOの研究開発プロジェクト「再生可能エネルギー熱利用技術開発」でも実施されている。大阪市域での帯水層蓄熱利用に関連する研究プロジェクトとしては「都市域における，オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発」（研究代表者：一般財団法人 地域地盤環境研究所 北田奈緒子理事，環境総合テクノス，岡山大学）⁸⁾がある。この研究プロジェクトでは，帯水層蓄熱利用に適する有効帯水層に関する研究や，低コストでかつ効率的な地下水観測や管理技術の開発，地下水を大規模熱源として利用する帯水層蓄熱利用システムの都市域における普及を目指した研究・開発が行われた。本章では，これらの研究成果の一部を紹介したい。

4.1 フローメータ検層

帯水層蓄熱利用では，帯水層への熱を効率的に貯留し，地盤沈下の影響を回避するために，長期的に安定した地下水の還元が重要となる。このためには，帯水層等の地層構造，地下水温・地下水質，水理特性等の把握が求められる。これには，一般に事前にボーリング調査し，ボーリング孔を利用して単孔式透水試験や揚水試験等を行う必要がある。

しかし，大阪市域のような粘性土と砂礫層の互層で構成された多層地盤で，各帯水層の透水性を把握し，最も効率的な熱源井戸を設計・構築するためには，非常に多くの時間と費用が必要となる。このような多層地盤の透水性を，経済的かつ効率的に短時間で把握する手法としてフローメータ検層⁹⁾がある。フローメータ検層を用いた調査が大阪市内の数か所で実施され，大阪市域の地層構成，地盤の透水性，水温水質分布等の評価・研究に活用されている。

フローメータ検層は，岩盤を対象として開発された試験方法である。主に，石油資源や放射性廃棄物処分等の分野で用いられているが，地すべり調査ですべり面を把握するために用いられた報告もある。

フローメータ検層装置の構成図を図-3に示す。フローメータ検層では，孔内流速検層装置を用い，測定項目は，基本的に流量とその測定深度の2つであるが，電気伝導度や水温を同時に計測することもできる。流速計等を内蔵するフローメータプローブと深度計を有するプーリーにより，深度毎に連続的に測定を行い，ケーブル

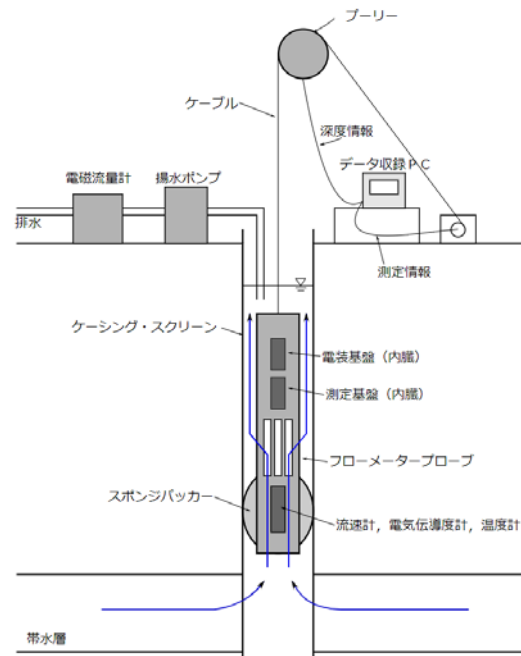


図-3 フローメータ検層装置の構造図

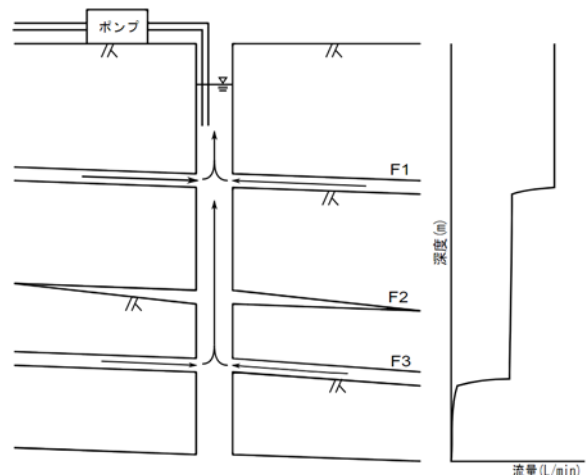


図-4 フローメータの基本原理の概念図

を介してリアルタイムでデータ収録PCへ記録する。

図-4は、岩盤を対象としたフローメータの原理を表した模式図である。フローメータ検層では、孔内において計測器を下から上に移動させながら、孔壁から流入する地下水流量を測定することで、各帯水層の透水性を評価する。

例として、図-4(左)に示すような岩盤に3つの割れ目があり、F1、F3からは湧出があり、F2の割れ目は閉じているとした時、揚水ポンプで一定量を揚水しながら、フローメータ検層装置を最下部から一定速度で上昇させると、図-4(右)のような流量分布が得られる。フローメータが、F3より下部にある場合は、流量はゼロである。F1からF3にある場合は、F3からの湧出量を測定することができる。この時、F2で湧出量に変化しないことから、F2の亀裂が閉じていることがわかる。その後、さらに引き上げるとF1を通過した時点で、F1からの湧出量に加わるので、F3の湧出量を差し引くことでF1からの湧出量が求められる。このように各亀裂からの湧出量が連続的に測定し、亀裂毎に水理特性が評価できる。帯水層へ適用する場合も基本的には同じ原理であり、水位低下量に対する各帯水層の湧出量が求められれば、単孔式透水試験と同様に帯水層毎の水理、水質、水温特性が評価できる。

4.2 地盤沈下と熱移流分散シミュレーション

帯水層蓄熱利用では、地下水位の変動による地盤沈下量や形成される蓄熱塊の評価が必要になる。特に、帯水層蓄熱利用が普及してくると、地下水の流れや既存の熱源井との干渉を考慮し、地盤沈下や熱干渉の影響を最小限に留めるような設計が求められる。このためには、地下水位低下に伴う圧密沈下解析と熱移流分散解析の両方が必要になる。

このような圧密沈下解析と熱移流分散解析の両方を同時に行うことができる解析コードが開発されている。この解析コードは、地下水中の汚染物質の移流分散解析に用いられているDtransu-3D-EL(岡山大学、三菱マテリアル(株)、ダイヤコンサルタント(株)の三者共同で開発した解析コード：著作権登録番号P第7169-1号)を基礎として、熱移流分散解析を行えるように改良したプログラムに、さらに圧密沈下解析機能¹⁰⁾を追加したものである。

(1) 3次元圧密沈下解析手法

圧密沈下解析では、圧縮に伴う比貯留係数の変化を考慮した地下水浸透に基づき圧密沈下解析を行っている。本手法では、土粒子と間隙水が非圧縮性であると仮定し、飽和層では土塊からの排水量と間隙の収縮量が等しくなると考える。メッシュ毎に求めた収縮量を鉛直方向へ足し合わせることで沈下量を算出している。

このとき、重要な点は、図-5に示すように、応力状態に応じて比貯留係数 S_s を変化することである。比貯留係数 S_s は、水圧の変化量に対する間隙率の変化量を表す係数であり、間隙水圧の低下に伴う応力状態に応じて、貯留係数が式(1)に基づき変化すると考えられる。貯留係数の変化を考慮することで、浸透流解析から求まるメッシュ毎の流出量から、 $e-\log p$ 曲線から求まる沈下量と同等の圧密沈下計算を行っている。

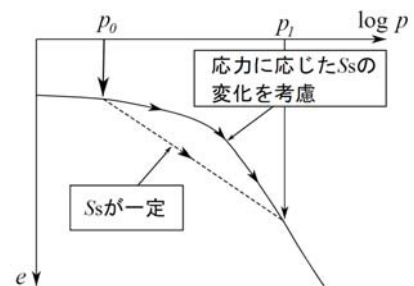


図-5 応力変化に応じた S_s の変化

$$S_s = \frac{\gamma_w C'}{1 + e_0 \sigma'} \frac{1}{2.303} \quad (1)$$

ここで、

S_s : 比貯留係数, γ_w : 間隙水の単位体積重量, e_0 : 初期間隙比, C' : e - $\log p$ 曲線上での傾き (過圧密状態で C_s , 正規圧密状態で C_c に等しい。), σ' : 有効上載荷重

(2) 熱移流分散解析手法

NEDO の研究プロジェクトでは, 大阪堆積盆地全体を対象に作成した広域地盤モデルと, 大阪市北区梅田を中心とした半径 8km 四方の領域のモデル化した局地地盤モデルを作成し, 地下水流れも考慮した帯水層蓄熱利用による地下水の温度変化等の予測解析が実施されている。

式(2)は, 飽和層の熱の移流分散を表す基礎式であり, 左辺は単位時間当たりの熱貯留量を, 右辺の第一項から順に熱の拡散項, 移流項, 源泉項を表している。基本的には, 汚染物質等の移流分散解析の基礎式と同様の形となっており, 解法に, 既存の解析技術であるオイラリアン・ラグランジアン法¹¹⁾が応用されている。

$$\begin{aligned} & \{\rho_s(1-n)c_s + \rho_w n c_w\} \frac{\partial T}{\partial t} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \kappa \frac{\partial T}{\partial x} - \rho_w n c_w v \frac{\partial T}{\partial x} - Q_T \quad (2) \end{aligned}$$

ここで,

n : 間隙率, ρ_s : 土粒子密度, c_s : 土粒子の比熱, ρ_w : 間隙水の密度, c_w : 間隙水の比熱, T : 温度, κ : 多孔質体の熱伝導率, v : 実流速, Q_T : 熱の源泉項

5. おわりに

国内の帯水層蓄熱利用システムは, 山形県での導入実績¹²⁾があるが, 国家戦略特区の特例措置を活用し, うめきた 2 期地区における帯水層蓄熱利用の導入が実現すれば, 都市域での大規模な帯水層蓄熱利用システムの初の導入事例となる。また, 2025 年の大阪・関西万博では「いのち輝く未来社会のデザイン」をテーマに, 未来社会の実験場として様々な取組みが計画されており, 招致提案書において, 会場の空調に帯水層蓄熱利用システムの活用を検討するとしている等, 徐々に国内での導入事例が増えてくると考えられる。

長期的に安定した地下水還元が帯水層蓄熱利用の鍵である。特に, 熱源井の目詰まりによる性能低下を避けることが技術的課題の一つだが, 実大実験で, 適切に洗浄を繰り返すことで, 目詰まりを発生させることなくリチャージを行ったとの報告¹³⁾もある。今後, うめきた 2 期地区や舞洲地区での実運用データが蓄積されることで, 安全で効率的な井戸構築やメンテナンス等の設計・管理手法も確立されてくると期待される。

また, 制度的な課題に帯水層蓄熱利用の普及・導入が進んだ時の地下水管理制度の確立がある。2014 年に施行された水循環基本法では, 水循環の重要性, 水の公共性, 健全な水循環の確保, 流域の総合管理等の基本理念が示され, 2020 年に見直された水循環基本計画では, 流域マネジメントの質を向上させるなど, ガバナンスの向上が求められている。帯水層蓄熱利用の普及においても, ガバナンスの向上が重要である。

ガバナンスの向上には, 既存システムの稼働状況や, 帯水層の特性, 地下水位, 水温, 水質等の地下水の状態に関する情報を共有し, 国, 地方自治体, 住民, 企業等の関係者が協働できる体制づくりと法制度の整備, 地盤環境に配慮した地下水採取規制の制度のあり方について議論を進める必要がある。さらに, これをきっかけとした地下水の浄化, 災害時の地下水利用等を含めた多様な地下水利用における地下水管理のあり方についても議論が深まることが期待される。

謝辞

検討会議では, 筑波大学 田中正名誉教授, 大阪市立大学 大島昭彦教授, 千葉商科大学 杉田文教授, 一般財団

法人地域地盤環境研究所 北田奈緒子理事には、様々な貴重なご意見や資料を頂きました。また、中尾正喜特命教授、中曾康壽特別研究員には、環境省実証事業における帯水層蓄熱利用の貴重なデータをご提供いただきました。さらに、環境省 水・大気環境局土壌環境課 地下水地盤環境室、地球環境局 地球温暖化対策課 地球温暖化対策事業室には様々な形でご支援いただきました。ここに、記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 大阪市：大阪市地球温暖化対策実行計画， p.6, p.10, 2021.
- 2) 大阪市：帯水層蓄熱利用の普及に向けた取組み， <https://www.city.osaka.lg.jp/kankyo/page/0000476996.html> (参照 2021.6.1)
- 3) 環境省：海外での取組み， https://www.env.go.jp/water/jiban/post_96.html
_(参照 2021.6.25)
- 4) 環境省 水・大気環境局：地中熱利用にあたってのガイドライン 改訂増補版， pp.39-41, 2018.
- 5) 国立研究開発法人産業技術研究所：地中熱ポテンシャルマップ， <https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP.html> (参照 2021.6.23)
- 6) 大阪市：マップナビおおさか， <https://www.mapnavi.city.osaka.lg.jp/osakacity/Portal> (参照 2021.6.25)
- 7) 大阪府域における地盤環境に配慮した地下水の有効利用に関する検討会議：大阪府域における地盤環境に配慮した地下水の有効利用に関する検討報告書， 2019.
- 8) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：再生可能エネルギー熱利用技術開発／再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発／都市域における， オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発， 2018.
- 9) 西垣誠・柴田卓詞・加藤裕将・平田洋一：孔内流速検層装置(フローメータ検層)による多層帯水層の透水性評価， 地盤と建設， 36(1), pp.65-70, 2018.
- 10) 西垣誠・今井紀和・小松満・長井いづみ：圧縮に伴う比貯留係数の変化を考慮した地下水浸透に基づく地盤沈下解析手法， 土木学会論文集， No.799/III-72, pp.1-12, 2005.
- 11) 西垣誠・菱谷智幸・橋本学・河野伊一郎：飽和・不飽和領域における物質移動を伴う密度依存地下水流の数値解析手法に関する研究， 土木学会論文集， No.511/III-30, pp.135-144, 1995.
- 12) 桂木聖彦・藤井光・井上純・山谷睦・黒沼覚：数値シミュレーションによる帯水層蓄熱冷暖房システムにおける効率的な帯水層への蓄熱方法の検討， 日本地熱学会誌， Vol.40, No.2, pp.97-108, 2018.
- 13) 清水孝昭：地下水を活用した地中熱利用技術， 基礎工， pp.70-73, 2013.

3. 地下水・地盤環境トピックス

(1) 「硝酸性窒素等地域総合対策ガイドライン」の公表について

令和3年3月18日 環境省

地下水における硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素（以下「硝酸性窒素等」という。）対策の手引として、「硝酸性窒素等地域総合対策ガイドライン」を作成しました。

本書は、硝酸性窒素等による地下水汚染の問題がある地域において、地方公共団体等が a) 現状把握、b) 対策立案、c) 取組推進、を行うための手順や方法を示したものです。

1. 背景・経緯

硝酸性窒素等は、「地下水の水質汚濁に係る環境基準」28項目の中で最も超過率が高く、複数の地域で環境基準を超過した状態が継続しています。硝酸性窒素等による地下水汚染は様々な供給源により発生しており、これらの供給源対策を実施するためには、地域の関係者が一体となって取り組むことが必要です。

令和2年6月16日に新たに閣議決定された水循環基本計画では、「健全な水循環の維持又は回復のための取組を府省庁横断的に、地方公共団体や民間とも連携して、総合的かつ一体的に推進する必要がある」とされています。

このような状況を踏まえ、環境省では、平成28年5月に作成した「硝酸性窒素等による地下水汚染対策マニュアル」を基に新たな知見等を追加し、対策の考え方や計画作成を推進するための「計画策定編」と、調査やモデル解析等の技術情報を提供する「技術・資料編」に分冊し、本書を作成しました。

2. 本書の構成

本書の構成は次の通りです。

- 硝酸性窒素等地域総合対策ガイドライン 概要版
- 硝酸性窒素等地域総合対策ガイドライン —計画策定編—
- 硝酸性窒素等地域総合対策ガイドライン —技術・資料編—

3. 掲載場所

本書は、環境省ホームページに掲載します。URL は次の通りです。

(https://www.env.go.jp/water/chikasui/post_91.html)

※上記の文章は以下のホームページを参考に執筆しました
<https://www.env.go.jp/press/109319.html>

(2) 関連学会誌

○日本地下水学会誌

日本地下水学会が発行する「地下水学会誌」の2021年の掲載内容を紹介します。地下水学会誌のバックナンバーは、J-STAGE (Japan Science and Technology Information Aggregator, Electronic: 科学技術情報発信・流通総合システム) で公開されていますので、ご参照ください。

【2021年2月第63巻第1号】

巻頭言「持続可能な地下水の保全と利用の実現に向けた地下水汚染対策に求められるもの」

(中島 誠)

特集「地下水学と農業の関わり」

特集「地下水と農業の関わり」の掲載にあたって

(中村公人・土原健雄・吉岡有美)

論説

論説「愛媛県西条市道前平野における農業用水利用と地下水」

(高瀬恵次・中野孝教・徳増 実)

訪問記

「名水を訪ねて (132) 信州・上高地の名水」

(榊原厚一・鈴木啓助)

【2021年5月第63巻第2号】

技術報告

扇状地水田地域における補助水源としての地下水利用の実態

—愛知川扇状地を事例として—

(中村公人・堀野治彦・松澤拓海・吉岡有美・濱 武英)

論文

石油系炭化水素を対象とした発光バクテリアを用いた簡易土壌汚染評価手法の開発 4

—アルコール類に関する急性毒性評価—

(杉田 創・駒井 武)

水文化的手法と多変量解析による別府温泉の泉質の分類および鉛直分布特性

(梁 熙俊)

資料

別府火山性扇状地南部域における不圧地下水位の長期変動

(梁 熙俊・柴田 智郎)

誌面講座

原位置地下水調査法の留意点と建設現場での活用

6. 段階揚水試験および影響圏半径

(高橋直人・進士喜英)

訪問記

「名水を訪ねて (134) 山梨県・都留の名水

(内山美恵子)

【2021年8月第63巻第3号】

特集「降雨浸透過程モデリング」

特集「降雨浸透過程モデリング」の掲載にあたり

(斎藤広隆)

論説「土層内の浸透流解析にパイプ等による選択流を組み込んだモデル」

(堤 大三)

論文「飽和・不飽和圧密解析法を用いた降雨による斜面崩壊実験のシミュレーション」

(向後雄二)

技術報告「降雨浸透過程の数値解析に関する汎用プログラム間の比較」

(南部卓也・斎藤広隆・笹井友司・末永 弘・田原康博・徳永朋祥・菱谷智幸)

技術報告「分布型モデルによる広域3次元地下水流動解析における

降雨浸透パラメータの取り扱いについての考察」

(稲葉 薫)

論説

「地下水流動系という視点からみる微生物動態研究の課題と展望」

(杉山 歩・辻村真貴・加藤憲二)

論文

「福島県北部沿岸域の地下水、湧水等の水質特性の把握と安定同位体を用いた涵養域の推定」

(藪崎志穂)

訪問記

「名水を訪ねて (130) 安部川下流域の名水」

(神谷貴文・伊藤 彰・村中康秀・申 基澈)

【2021年11月第63巻第4号】

特集「地下水と農業の関わり」

技術報告

茶園への窒素施肥の削減が周辺水系の水質に及ぼす長期的な影響の評価

—静岡県牧之原台地周辺地域における1995～2018年の水質調査を事例として—

(廣野祐平)

論説

市町村地域防災計画にみる災害用井戸の現況 (その1) —地域分布を中心に—

(遠藤崇浩)

市町村地域防災計画にみる災害用井戸の現況 (その2) —用途分析を中心に—

(遠藤崇浩)

市町村地域防災計画にみる災害用井戸の現況（その3）－所有形態と補助政策を中心に－

（遠藤崇浩）

論文

溶存窒素・アルゴンからみた中部日本の地下水の Excess Air 量

（浅井和由・辻村真貴・浅井和見）

技術報告

大和沢川扇状地における湧水の地球化学特性

（中村美月・梅田浩司・井岡聖一郎）

資料

『「地下水保全」ガイドライン（第二版）

～地下水保全と持続可能な地下水利用のために～』の改訂の概要

（羽澤敏行・渡邊浩平）

「硝酸性窒素等地域総合対策ガイドライン」の紹介

（伊藤悟志）

地下水を語る

地下水水文学の水とともに

（榎井和郎）

誌面講座

原位置地下水調査法の留意点と建設現場での活用

7. 地下水位低下工法的设计

（高坂信章）

訪問記

「名水を訪ねて（135）バルト三国の水」

（島野安雄・加藤勇治）

○基礎工

【基礎工 2021年6月号 Vol.49 No.6 Ser.No.575】

特集：排水工法と遮水工法

巻頭言

地下水との闘い (高坂信章)

総説

地下水排水工法の課題と対策 (西垣 誠・科野健三)

地下水流動・水収支と地下構造物の関連を考える

—地下水流動系からの排水という観点から— (徳永朋祥)

各論

地下水流動解析による地下水挙動予測の現状と課題

(菱谷智幸・坂東 聡)

地下水リチャージ工法の課題と現状

(山田 祐樹・元井 康雄・富安 祐貴)

ICT活用による群井戸の自動制御

(笹岡里衣・永谷英基)

地下水を揚水するディープウェル施工時の管理ポイント

(高橋直人)

真空併用型ディープウェル排水工法の設計の考え方と施工管理のポイント

(西原 聡・千葉浩二・本多顕治郎・植松祐亮・竹島孝二・西村修一)

ソイルセメント連続壁の遮水性に関する留意点

(篠澤崇浩)

報文

掘割道路における地下水保全対策と対策効果

(星野裕二)

新東名高速道路建設事業による湧水への影響と地下水保全対策

(川治 晃・一双宏子)

大阪市における被圧地下水の分布傾向と建設工事の関係

(長屋淳一・北田奈緒子)

開削工事における地下水流動阻害の評価法

(松丸貴樹)

臨海部の大深度開削トンネルにおける盤ぶくれ防止のための地下水対策の計画と管理

(藤名瑞耀・坂本明伸・神田 基・太田匡司)

掘削工事に伴う盤ぶくれ対策への真空併用型バキュームウェル排水工法の適用事例

(西原 聡・千葉浩二・本多顕治郎・植松祐亮)

スコリア層でのトンネル掘削における湧水対策

(原島 大)

地下鉄営業線拡幅工事における柱列式地下連続壁の施工

(城石尚明・廣元勝志・西川 祐)

水中重量コンクリート打設による鋼管矢板井筒基礎の盤ぶくれ対策

(橋本 啓・山下恭敬・十河 浩・中島与博・脇岡宏行)

バンコク地下鉄駅工事における立坑底盤の遮水工事例

(李 旻 儒・王 錦 伍・Prasert Chantawiboon・畠山和行)

大深度ソイルセメント壁の高精度な施工による湧水量の低減

(井口 博・岸田 了・石川 明)

市街地での建築地下工事における複数種の遮水壁を用いた地下水処理の事例

(中島朋宏・濱田幸弘・山下秀行・佐川拳太郎)

粘土混合遮水壁における現場透水試験の適用性

(東 龍道)

企画連載

けんせつ小町便り 第66回

(馬場ちあき)

連載

次世代へ伝えたい私の思い 第42回

建設技術には工学的知識に加え近隣住民との融合が必須

(北川修三)

インフォメーション

令和2年度地盤工学会賞受賞者の決定／(公社)地盤工学会

(3) 関連学会等の主な行事カレンダー

※新型コロナウイルス感染症の拡大予防対策のため、開催イベントの変更や中止の可能性がありますのでご注意ください。

日時	主催	イベント名	開催場所
2022年5月21日(土)	日本地下水学会	日本地下水学会2022年春季講演会	オンライン 東京農工大
2022年5月22日(日)～6月3日(金)	日本地球惑星科学連合	JpGU 日本地球惑星科学連合会議2022	オンライン, 千葉
2022年6月23日(木)～24日(金)	公益社団法人日本地下水学会(主管学会)、公益社団法人日本水環境学会、一般社団法人廃棄物資源循環学会、公益社団法人地盤工学会、一般社団法人土壌環境センター	第27回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会	神奈川(横須賀市)
2022年7月20日(水)～23日(土)	地盤工学会	第57回地盤工学研究発表会	オンライン, 新潟
2022年9月12日(月)～16日(金)	土木学会	令和4年度土木学会全国大会	オンライン, 京都
2022年8月30日(火)～9月2日(金)	農業農村工学会	2022年度(第71回)農業農村工学会大会講演会	石川
2022年9月6日(火)～7日(水)	日本水環境学会	第25回日本水環境学会シンポジウム	東京
2022年11月4日(金)	地盤工学会関西支部・地下水地盤環境に関する研究協議会	<i>Kansai Geo-Symposium 2022</i> —地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム—	ハイブリッド (大阪: 関西大学)
2023年3月15日(水)～17日(金)	日本水環境学会	第57回日本水環境学会年会	愛媛

4. 関連書籍の販売・編集後記

下記のシンポジウム論文集は、在庫がございます。古い論文集等は平成23年度より価格を改定しておりますが、残部わずかの場合もございますので、ご購入される際にはお早めにお申込みください。

◆シンポジウム発表論文集 (送料別)	会員価格(単価)
Kansai Geo-Symposium 2020 (CD-ROM) —地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム—	1,500円 (送料別)
Kansai Geo-Symposium 2019 (CD-ROM) —地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム—	1,500円 (送料別)
Kansai Geo-Symposium 2018 (CD-ROM) —地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム—	1,500円 (送料別)
Kansai Geo-Symposium 2017 (CD-ROM) —地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム—	1,500円 (送料別)
Kansai Geo-Symposium 2016 (CD-ROM) —地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム—	1,500円 (送料別)
Kansai Geo-Symposium 2015 (CD-ROM) —地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム—	1,500円 (送料別)
Kansai Geo-Symposium 2014 (CD-ROM) —地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム—	1,500円 (送料別)
Kansai Geo-Symposium 2013 —地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム—	2,000円 (送料別)
シンポジウム2012 (CD-ROM) —巨大災害と地下水・地盤環境—東日本大震災を教訓として—	2,000円 (送料別)
シンポジウム2011 (CD-ROM) —水環境の保全と育水—	2,000円 (送料別)
シンポジウム2010 (CD-ROM) —水の都における水環境・水資源と安心快適社会—	2,000円 (送料別)
シンポジウム2009 —安心快適社会・地球温暖化・地下水—	2,000円 (")
シンポジウム2008 —地盤環境の保全—	2,000円 (")
シンポジウム2007 —流域圏の水循環再生と地下水利用—	1,000円 (")
シンポジウム2005—地下水の有効利用と諸問題—	1,000円 (")
シンポジウム2004—地下水の涵養と流動保全—	1,000円 (")
シンポジウム2003	1,000円 (")
シンポジウム2002—大都市の地下水問題—	1,000円 (")
シンポジウム2001	1,000円 (")
シンポジウム2000	1,000円 (")
シンポジウム'99—地下水の流動保全と地下水環境—	1,000円 (")
シンポジウム'98—地下水の流動保全と環境問題—	1,000円 (")
シンポジウム'97—地下水に関する予測と実際—	1,000円 (")
シンポジウム'96—地下水に係わる環境問題—	1,000円 (")
シンポジウム'95—地下水に係わる諸問題と対策—	1,000円 (")
シンポジウム'94—地下水の挙動と水質問題—	1,000円 (")

【申込方法】

ご希望の書籍名、冊数、お届け先等をご記入の上、Fax 又は E-mail にて、地下水地盤環境に関する研究協議会 事務局までお申し込みください。

◆◆◆◆◆ 編集後記 ◆◆◆◆◆

会員の皆様には、平素より本研究協議会の活動に対し格別のご支援・ご協力を賜り心から御礼申し上げます。

「地下水・地盤環境に関するお知らせ」は、当協議会の活動報告をはじめとして、会員の皆様から寄せられました会員情報などの掲載を通じて、会員相互の情報交換や交流を行う場としております。また近年は、会員の皆様には本誌をメール配信させていただき、ホームページ上で内容を公開いたしております。今後とも、当協議会が社会に対して広く情報を発信し、活動していくことを祈念いたします。

Kansai Geo-Symposium 2021 では多くの皆様に

ご参加いただきましたこと、この場をお借りして改めて御礼申し上げます。コロナ禍で対面でのコミュニケーションが制限される中、当シンポジウムをハイブリッド形式で無事開催できましたこと、改めてお礼申し上げます。運営スタッフは感染症対策を徹底した上で会場に集まり、接続トラブル等に備えるとともに、円滑な進行に努めました。発表者の皆様には、事前に接続テスト等のご協力をいただき、大きな問題もなく時間通りにプログラムを進めることができました。また今回初めてオンラインでの技術展示セッションを開催しました。一方で、コーヒープレイク、ポスターセッションは取止めとなりました。新しい生活様式を強いられて2年以上が過ぎました。直接会って話すことの楽しさや意義を、改めて感じている方も多いのではないのでしょうか。一日も早く社会情勢が落ち着き、皆様とともに、対面ならではの忌憚のないディスカッションや交流ができる日を心待ちにしています。

会員の皆様には、会員専用ページから地下水位・水質データや過去の刊行物（非売品）をダウンロードしていただけます。ログインIDとパスワードは、下記事務局までお問い合わせください。次年度も会員の皆様に様々な情報をご提供できるよう努めてまいります。そのためには、幅広い分野でご活躍されている会員の皆様のご協力が不可欠でございます。今後とも様々な側面からのご支援いただきたく、何卒よろしくお願い申し上げます。また対外的にも本協議会の存在を積極的に周知していただき、会員の増員にご協力いただければ幸いに存じます。

最後になりましたが、ここで紙面をお借りしまして、情報をご提供いただきました皆様方には改めて御礼申し上げます。なお、掲載情報のご提供は随時受け付けておりますので、研究成果や技術情報、地下水・地盤に関する業界の動向等、皆様のご投稿をお待ちしております。本誌が会員相互の情報交換や交流にあたって有効活用されるよう、周辺の方々にもご回覧いただけましたら幸いです。

本研究協議会の活動について、ご意見ご要望等がございましたら、下記事務局までご連絡ください。

◆◆◆◆◆
地下水地盤環境に関する研究協議会 事務局
大阪市中央区大手前2-1-2
国民會館大阪城ビル6階
(一財) 地域 地盤 環境 研究所 内
Tel : 06-6941-8833 Fax : 06-6941-8883
E-mail : gwjim@geor.or.jp