

第51回試錐研究会

講演資料集

- 開催日 平成 25 年 2 月 21 日 (木)
- 会場 札幌サンプルザ 「金枝の間」
(札幌市北区北 24 条西 5 丁目)
- 主催 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 地質研究所
- 協賛 北海道地質調査業協会
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 51 回試錐研究会プログラム

日 時 : 平成 25 年 2 月 21 日 (木) 13:20~17:30 (受付開始 12:50)

場 所 : 札幌サンプラザ 2 階「金枝の間」

(札幌市北区北 24 条西 5 丁目 Tel. 011-758-3111)

主 催 : 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 地質研究所

協 賛 : 北海道地質調査業協会 / 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

13:20 開会

■ 開会の挨拶 (13:20 ~ 13:30)

北海道立総合研究機構 地質研究所
所長 黒沢 邦彦

■ 特別講演 (13:30 ~ 15:30)

13:30 ~ 14:30 メタンハイドレート研究の紹介

独立行政法人 産業技術総合研究所 メタンハイドレート研究センター
副センター長 海老沼 孝郎

14:30 ~ 15:30 未利用石炭エネルギーの活用

特定非営利活動法人 地下資源イノベーションネットワーク
理事長 出口 剛太

休憩 (15:30 ~ 15:45)

■ 一般講演 (15:45 ~ 17:15)

15:45 ~ 16:15 現場調査技術の伝承ー北海道地質調査業協会の取り組みー

北海道地質調査業協会技術委員 (北海道士質コンサルタント(株)) 松本 和正

16:15 ~ 16:45 東日本大震災による井戸の被害調査

ー災害時における地域防災計画 (給水計画) の提言ー

全国さく井協会北海道支部長 ((株)アクアジオテクノ) 石塚 学

16:45 ~ 17:15 地層引き抜きによる低地での地質調査

北海道立総合研究機構 地質研究所 川上 源太郎
明治コンサルタント(株) 重野 聖之
(有)ACE 試錐工業 福岡 哲

■ 閉会の挨拶 (17:15 ~ 17:25)

北海道地質調査業協会
理事長 千葉 新次

17:30 閉会

18:00 ~ 意見交換会

目 次

□特別講演

| | |
|--|---|
| メタンハイドレート研究の紹介 | 1 |
| 独立行政法人 産業技術総合研究所 メタンハイドレート研究センター 副センター長 海老沼 孝郎 | |
| 未利用石炭エネルギーの活用 | 9 |
| 特定非営利活動法人 地下資源イノベーションネットワーク 理事長 出口 剛太 | |

□一般講演

| | |
|---|----|
| 現場調査技術の伝承 | 31 |
| ー北海道地質調査業協会の取り組みー 北海道地質調査業協会技術委員 北海道士質コンサルタント(株) 松本 和正 | |
| 東日本大震災による井戸の被害調査 | 45 |
| ー災害時における地域防災計画（給水計画）の提言ー 全国さく井協会北海道支部長 (株)アクアジオテクノ 石塚 学 | |
| 地層引き抜きによる低地での地質調査 | 61 |
| 北海道立総合研究機構 地質研究所 川上 源太郎 明治コンサルタント(株) 重野 聖之 (有)ACE 試錐工業 福間 哲 | |

特別講演

| | |
|----------------------|---|
| メタンハイドレート研究の紹介 | 1 |
|----------------------|---|

独立行政法人 産業技術総合研究所
メタンハイドレート研究センター
副センター長 海老沼 孝郎

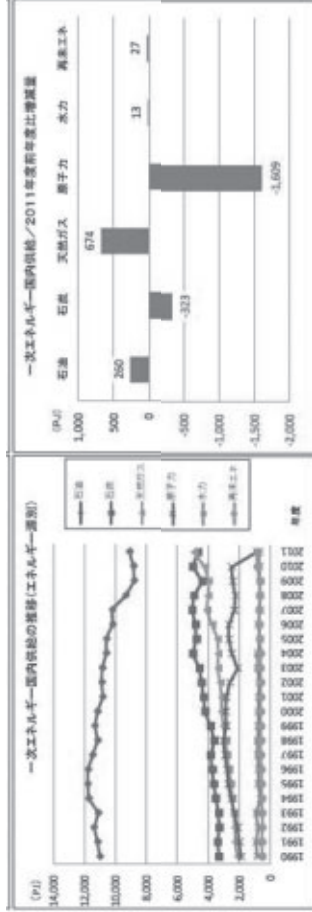
| | |
|---------------------|---|
| 未利用石炭エネルギーの活用 | 9 |
|---------------------|---|

特定非営利活動法人
地下資源イノベーションネットワーク
理事長 出口 剛太

メタンハイドレート研究の紹介

産業技術総合研究所
メタンハイドレート研究センター
海老沼孝郎

一次エネルギーとしての天然ガス



出展: 資源エネルギー庁、平成23年度エネルギー供給実績(速報)、平成24年11月16日
 PJ: Peta (10¹⁵) J, 1 PJ = 原油換算0.0268 百万kl
 再生可能エネルギー: 自然エネルギー(太陽光発電、水風熱利用、バイオマス直接利用、風力発電等)、地熱エネルギー、未活用エネルギー、廃棄物エネルギー回収(廃棄物発電等)、廃棄物エネルギー直接活用(廃熱利用熱供給等)。

天然ガスの優位性

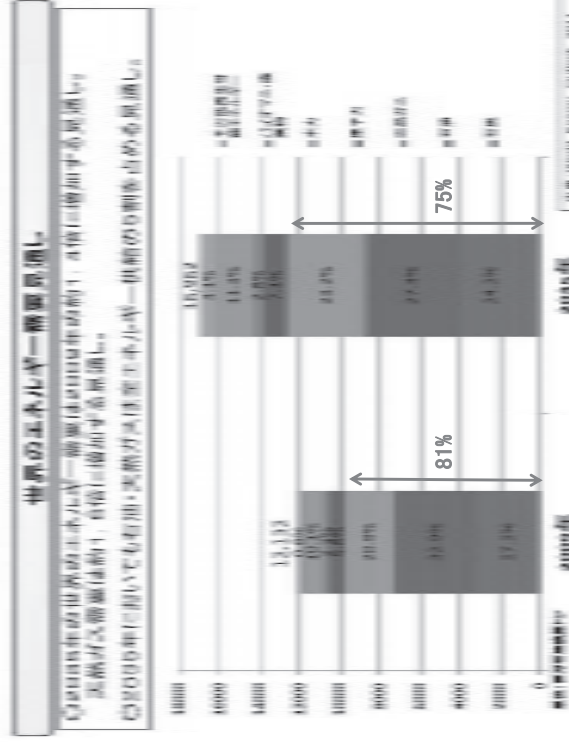
- ✓ 発熱量あたりのCO₂排出量が少ない。
(石炭より40%減、石油より20%減)
- ✓ 石油のように偏在しない。

震災後のエネルギー需給見通し

- ✓ 原子力発電所が稼働しない場合、LNG需要は、約7,000万トン(2010年)から約9,000万トン(2012年)へ増加する見通し。
(資工庁、石油・天然ガスをめぐる最近の動向、2011.11)

メタンハイドレート研究の紹介

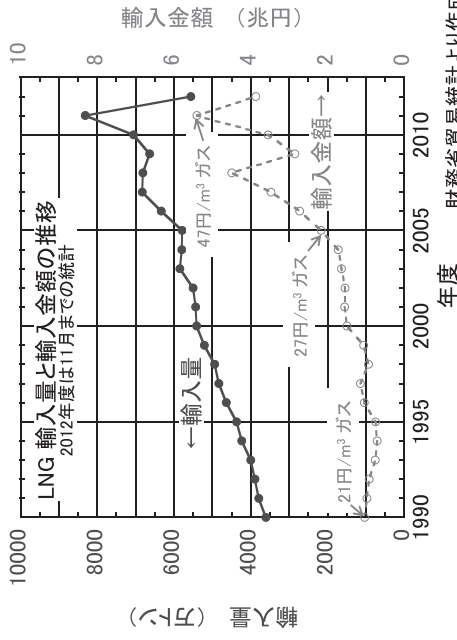
- ✓ エネルギー需給における天然ガスの重要性
一次エネルギーとしての天然ガス
世界の長期的なエネルギー需要見通し
震災後の日本のエネルギー需要
- ✓ メタンハイドレート資源開発の概要
メタンハイドレート(ガスハイドレート)とは?
メタンハイドレートの産状
メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムによる開発
日本周辺海域におけるメタンハイドレートの分布
東部南海トラフにおける資源量評価
- ✓ メタンハイドレートの生産手法の開発
研究開発フェーズIIにおける成果
- ✓ 諸外国の開発動向



✓ 石油、石炭は減少。天然ガスは増加。

液化天然ガス(LNG)輸入量と輸入金額の推移

国内の天然ガス消費量の97%以上は、LNG輸送により輸入。



財務省貿易統計より作成

震災後の原発停止により、LNG輸入量が大幅に増加。
7,056万トン(2010年度) → 8,318万トン(2011年度)

メタンハイドレートは、排他的経済水域に賦存する国産天然ガス資源

メタンハイドレート研究の紹介

- ✓ エネルギー需給における天然ガスの重要性
一次エネルギーとしての天然ガス
世界の長期的なエネルギー需要見通し
震災後の日本のエネルギー需要
- ✓ メタンハイドレート資源開発の概要
メタンハイドレート(ガスハイドレート)とは？
メタンハイドレートの産状
メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムによる開発
日本周辺海域におけるメタンハイドレートの分布
東部南海トラフにおける資源量評価
- ✓ メタンハイドレートの生産手法の開発
研究開発フェーズ1における成果
- ✓ 諸外国の開発動向

ガスハイドレートの結晶構造

| Guest molecule size (Å) | Hydration number | Crystal structure |
|-------------------------|------------------|---------------------|
| 6 | 17 | II H ₂ O |
| 5 | 7-23 | I H ₂ O |
| 4 | 5-34 | I H ₂ O |
| 4 | 5-23 | II H ₂ O |
| No Hydrates | | |

| Gas molecule | Hydration number | Crystal structure |
|------------------------------------|------------------|-------------------|
| iso-C ₄ H ₁₀ | 51, 64 | S12, S16 |
| C ₂ H ₆ | 51, 62 | S12, S16 |
| (CH ₃) ₂ O | 51, 62 | S12, S16 |
| e-C ₄ H ₈ | 51, 62 | S12, S16 |
| C ₂ H ₄ | 51, 62 | S12, S16 |
| CO ₂ | 51, 62 | S12, S16 |
| Xe, H ₂ S | 51, 62 | S12, S16 |
| CH ₄ | 51, 62 | S12, S16 |
| N ₂ | 51, 62 | S12, S16 |
| Kr | 51, 62 | S12, S16 |
| Ar | 51, 62 | S12, S16 |

Structure I

Structure II

ガスハイドレートの特徴

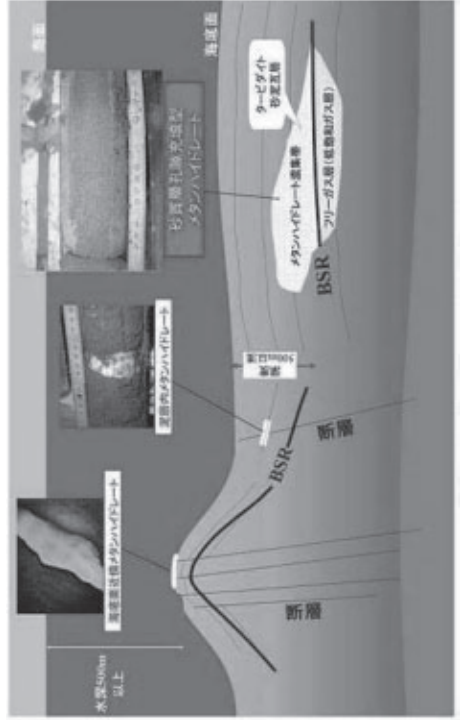
- 氷状の固体
- ガス包蔵密度大
- 相変化潜熱大
- 生成平衡圧の温度依存性大
- ガス種により異なる生成条件

メタンハイドレートの単結晶

I型結晶構造

メタンハイドレートの産状

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム 広報資料より



東部南海トラフ海域の資源量評価結果

石油・天然ガス・金風・鉱物資源機構 発表資料より

| 種類 | 算定パラメータ(合計/平均値) | | | | | | MH-濃集帯資源量算定結果 | | |
|--|---|------|------|-----------------|-----|------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | GRV | N/G | φ | S _{sk} | VR | CO | P90 | P10 | P _{mean} |
| 東部南海トラフの | 44.55億m ³ | 0.38 | 0.43 | 0.52 | 172 | 0.95 | 402億m ³ | 1300億m ³ | 838億m ³ |
| 未割算 | 349.31億m ³ | 0.37 | 0.45 | 0.51 | 172 | 0.95 | 1367億m ³ | 9770億m ³ | 4601億m ³ |
| MH-濃集帯 (P2300m) | 393.86億m ³ | 0.37 | 0.44 | 0.51 | 172 | 0.95 | 1709億m ³ (6Tcf) | 1兆1140億m ³ (39Tcf) | 5730億m ³ (20Tcf) |
| MH-濃集帯以外の 東部南海トラフのMH 賦存量 (P2300m) | 3920Km ³ (1兆3544億m ³) | | 0.48 | 0.20 | 172 | 0.95 | 1067億m ³ (4Tcf) | 1兆2200億m ³ (43Tcf) | 5676億m ³ (20Tcf) |
| 合計 | | | | | | | 2935億m ³ (10Tcf) | 2兆3350億m ³ (83Tcf) | 1兆1415億m ³ (40Tcf) |

GRV: 総掘石巻、N/G: ネット/グロス比、φ: 孔隙率、S_{sk}: MH飽和率、VR: 容積増率、CO: ケージ占有率

既発見・基礎試験「東部沖～熊野灘(04)」で確認されたMH-濃集帯。
未発見・基礎試験「東部沖～熊野灘(02)」から存在が推定されるMH-濃集帯。

2005年の日本の年間天然ガス消費量: 820億m³ (出所: BP統計)
2005年の日本の年間天然ガス生産量: 31億m³ (出所: 資源エネルギー庁資源統計)

Tcf: Trillion cubic feet.
1兆立方フィート=約283億m³.

メタンハイドレート研究の紹介

- ✓ エネルギー供給における天然ガスの重要性
一次エネルギーとしての天然ガス
世界の長期的なエネルギー需要見通し
震災後の日本のエネルギー需要
- ✓ メタンハイドレート資源開発の概要
メタンハイドレート(ガスハイドレート)とは?
メタンハイドレートの産状
メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムによる開発
日本周辺海域におけるメタンハイドレートの分布
東部南海トラフにおける資源量評価
- ✓ メタンハイドレートの生産手法の開発
研究開発フェーズIIにおける成果
- ✓ 諸外国の開発動向

ガス生産原価の検討例

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム HPより

フェーズI終了時におけるメタンハイドレート開発の経済性評価

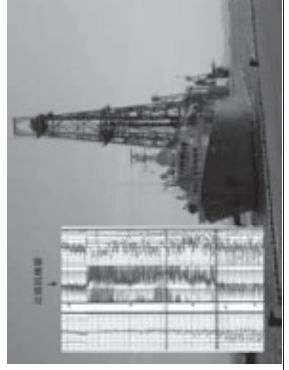
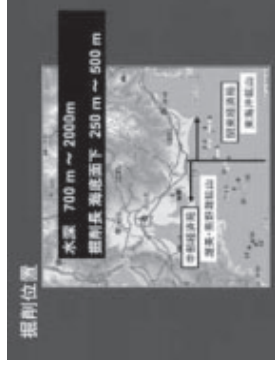
- ✓ 東部南海トラフのメタンハイドレート濃集帯(α-1)をモデルとする。
- ✓ 生産期間を15年と想定。
- ✓ 生産シミュレータMH21-HYDRESによるガス生産予測に基づく。
- ✓ 各種開発シナリオのシミュレーションを行い、最も高い経済性が期待できる開発シナリオを選定。

メタンハイドレートの生産原価: 46 ~ 174 (円/m³)

- ① 2007年の建設コストを前提とする場合 : 92 (円/m³)
(経済性は2004年の建設コストをベース価格として計算したが、2007年頃は石油高騰のため建設コストが2004年比で約2~3倍上昇した。上記は、2004年比で建設コストが3倍上昇した仮定で計算を行った結果である)
- ② 仮定条件が全て成立する場合(2004年ベース) : 46 (円/m³)
- ③ 生産量が予測よりも低い(1/4)場合 : 174 (円/m³)

Copyright © MH21 Research Consortium

基礎試験「東部沖～熊野灘」、コア採取と試験



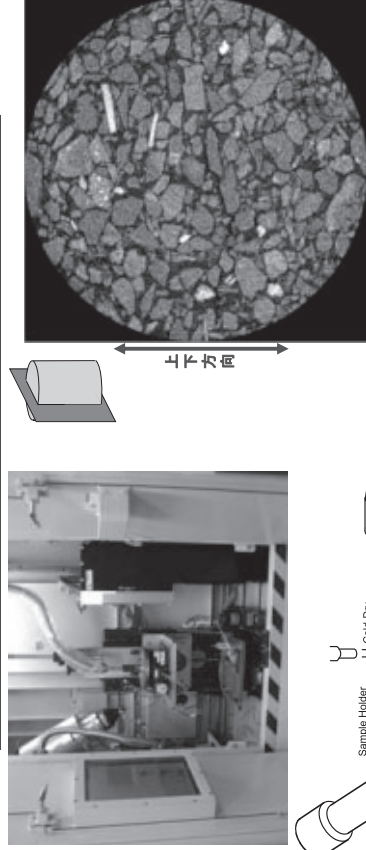
- コア層分析(孔隙率、MH飽和率、鉱物組成、粒径分布、密度、ガス組成、断面撮影等)
- 熱特性(熱伝導率、比熱、分解熱)
- 力学特性(圧縮強度、剪断強度、弾性係数、圧密度、毛管圧)
- 弾性波特性・比抵抗
- 絶対浸透率・有効浸透率
- 結晶型、孔隙観測、孔隙内MH産状
- 分解試験による生産性解析

東部南海トラフで採取された砂質孔隙型メタンハイドレート

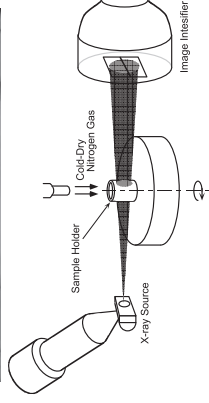


メタンハイドレートを含む砂層は海水の結水温度まで冷却されるが、泥層は地層温度を保つ。(平成15年度基礎試験「東海沖～熊野灘」の全層コアリングにおいて撮影)

マイクロフォーカスX線CTによる構造解析

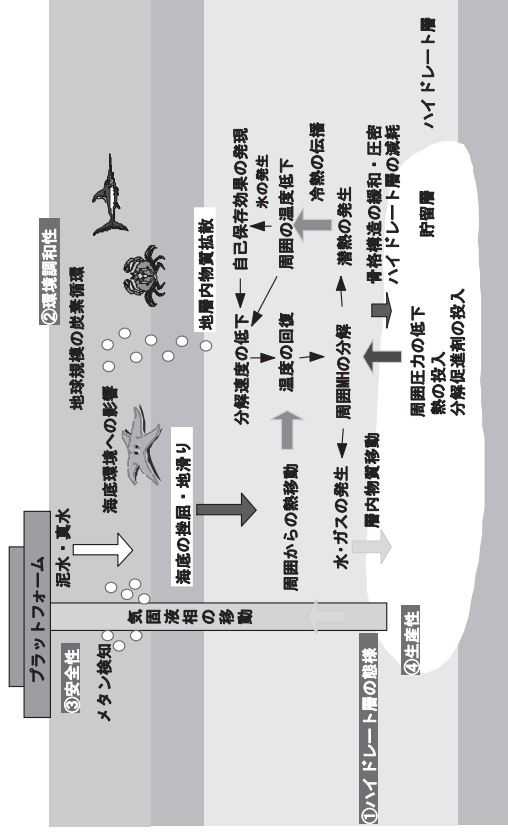


東部南海トラフのメタンハイドレートを含む砂質コア試料
FOV= 2.85 mm、孔隙率 = 38.3 %

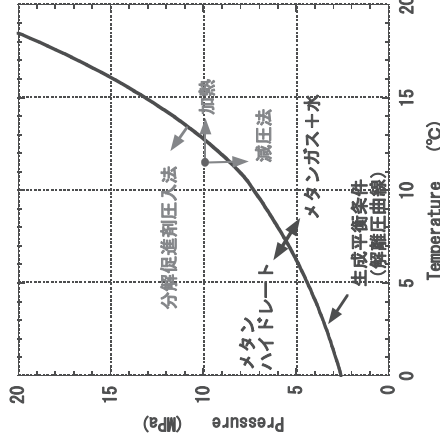


メタンハイドレートを含む堆積物は未固結なため、マイクロフォーカスX線CTによる構造解析手法を開発。現在、画像データから、浸透率、熱伝導率などの物性値の推算を実施。構造解析：砂の粒度分布、孔隙率、メタンハイドレート飽和率。

メタンハイドレート資源開発の特徴と課題

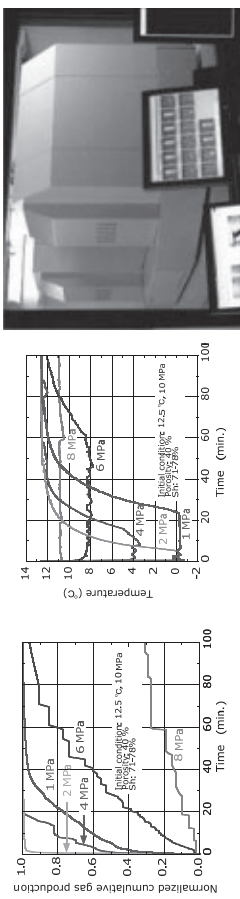


メタンハイドレートの分解方法と生産手法



メタンハイドレートの生成平衡条件(解離圧曲線)

各種生産手法の実験的評価及び分解過程のモデル化



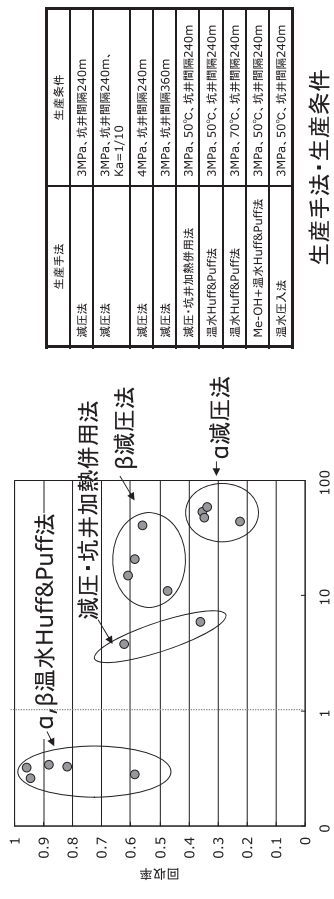
減圧法における生産速度と温度変化



高速X線CT装置

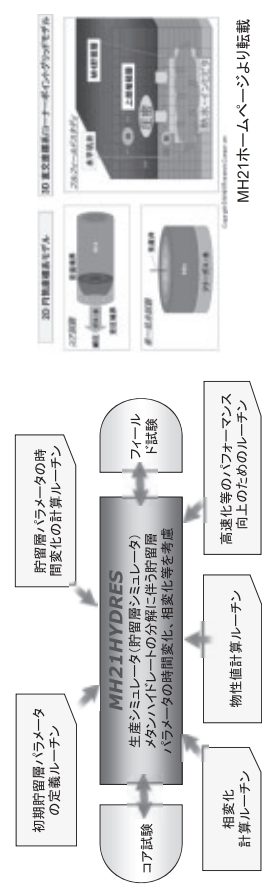
東部南海トラフ濃集帯のエネルギー産出比と回収率

- 東部南海トラフ海域の α 、 β 濃集帯について、減圧法、減圧・坑井加熱併用法、Huff&Puff法及び温水圧入法のエネルギー産出比、回収率について試算した。
- 減圧法の場合は、エネルギー産出比は1.0-6.0程度であるが、回収率は概ね30-60%程度。
- Huff&Puff、温水圧入法のような温水の圧入を伴う生産手法では、80%以上の高い回収率が期待できるもの、加熱エネルギーの他、大量の水を扱うためのポンプ動力が必要となるため、エネルギー産出比は1以下となり、与えたエネルギー以上のエネルギーを回収できない結果となった。
- これらから、東部南海トラフ海域での一次回収法としての生産手法は、減圧法が適している。
- 減圧法は、地層熱という自然エネルギーを利用した分解採取手法であるが、一層の回収率向上のためには、更なる再生可能エネルギーの利用、ポンプ動力によらない加熱等の開発が今後必要である。



α 、 β 濃集帯におけるエネルギー産出比と回収率試算結果

生産シミュレータMH21-HYDRESの開発

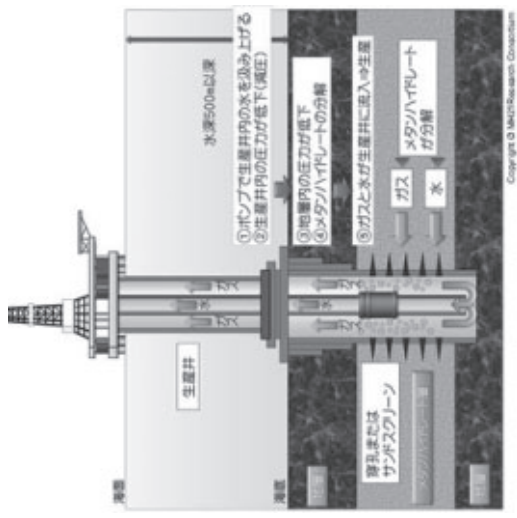


MH21ホームページより転載

米国エネルギー省が主催した生産シミュレータの比較試験において、MH21-HYDRESは、アラスカで実施された簡易ガス産出試験結果 (Mt. Elbert C2/ Alaska North Slope、MDT)等を良好に再現。
比較試験に参加したシミュレータ: TOUGH/FX-Hydrate (LBNL)、HydrateResSim (NETL)、MH21HYDRES (AIST、U of Tokyo、JOE)、STARS (CMG)、STOMP-HYD (PNNL、U of Alaska)。

減圧法の概念図

メタンハイドレート資源開発研究 Consortium シニア HP より



減圧法による陸上産出試験(カナダ・マッケンジーデルタ)

石油天然ガス・金属鉱物資源機構ニュースリリースより



✓カナダ北西部のポーフォート海沿岸陸上地域(北極圏に位置し、冬季には日中でも氷点下30度以下となる極寒地)において、永久凍土の地下約1100mに存在するメタンハイドレート層からメタンガスを産出する試験を平成21年3月10日～16日にかけて実施。

✓本試験では、約6日間の産出試験を行い、世界で初めて減圧法によりメタンハイドレートからメタンガスを連続的に生産することに成功。

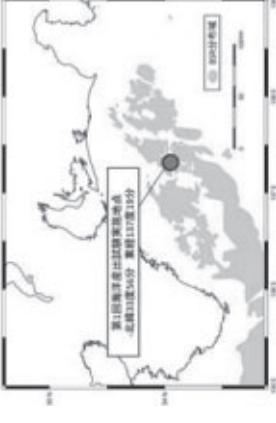
✓これにより、生産手法として減圧法の有効性を確認。



第1回海洋産出試験 -海洋における世界初の産出試験-

石油天然ガス・金属鉱物資源機構ニュースリリース・プレス説明資料より

- ✓ 減圧法による海底面下のメタンハイドレートの生産状況や地層の変化の把握など、将来のメタンハイドレートの実用化に向けたデータを取得。
- ✓ 試験の成果を活用して、第2回の海洋産出試験の計画や、将来の商業生産に向けた技術基盤の整備(フェーズ3:2016～2018年度を予定)を進めていく予定。



- ＜第1回メタンハイドレート海洋産出試験の概要＞
 - ・作業予定期間:2012年2月～2013年8月頃
 - ・作業地点:愛知県沖(第二渥美海丘)
 - ・事業主:経済産業省
 - ・関係者:JOGMEC(実施主体)、JAPEX(オペレータ)
 - ・使用船舶(事前掘削):地球深部探査船「ちきゅう」(来年度の使用船舶は未定)
 - ・スケジュール(予定)
 - 2012年2月2日 開坑披露
 - 2012年2月12日頃 清水港出港
 - 2012年2月14日頃 事前掘削作業開始
 - 2012年3月下旬 事前掘削作業終了
 - 2013年1月～3月 産出試験(フローテスト)・廃坑
 - 2013年8月頃 周辺設備等の機器撤収

メタンハイドレート研究の紹介

- ✓ エネルギー需給における天然ガスの重要性
 - 一次エネルギーとしての天然ガス
 - 世界の長期的なエネルギー需要見通し
 - 震災後の日本のエネルギー需要
- ✓ メタンハイドレート資源開発の概要
 - メタンハイドレート(ガスハイドレート)とは?
 - メタンハイドレートの産状
 - メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムによる開発
 - 日本周辺海域におけるメタンハイドレートの分布
 - 東部南海トラフにおける資源量評価
- ✓ メタンハイドレートの生産手法の開発
 - 研究開発フェーズIIにおける成果
- ✓ 諸外国の開発動向

世界のメタンハイドレート起源BSR分布図

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム 資料より



メタンハイドレートは大陸縁辺部及び永久凍土地帯に広く分布

天然ガス資源としてのメタンハイドレートの開発には、日本の他に、米国、韓国、中国、インドなどが強い関心。

海外のMH資源開発動向

米国

- ・MH開発長期計画を公表(1999.6)
- ・更に、2006-2010 155百万\$
- ・生産対象を砂質孔隙中のMHに焦点
- ・2007、アラスカで掘削・検層・コア採取

実施体制:

- ・国研、産業界(BP, シェブロン)
- ・開発対象: アラスカ、メキシコ湾

中国

- ・GNGS、CGS、MLRC等が、2007.4-6に南シナ海北部斜面を掘削・検層・MHコア採取

韓国

- ・2007.6、ウルルン島付近で海底のMHを採取
- ・2015年に本格生産計画

インド

- ・インド: NIO、NOGC、GAIL等が、2006.6に坑井掘削航海を実施。
- ・21坑井、2800m余のコア試料を取得。砂質層は多くなかった。

開発対象:

- ・インド東岸、西岸等に8万km²超の資源賦存域を特定

日本

- ・2001、METI開発計画
- ・2002、MH21コンソーシアム設立
- ・2004、基礎試験

- ・2007、東部南海トラフ原始資源量
- ・評価、陸産試験
- ・2008、陸産試験

第IIフェーズで海洋産出試験計画

ご清聴有難うございました

謝辞

資源開発に係わる研究開発は、経済産業省資源エネルギー庁のメタンハイドレート開発促進事業により実施したものです。

未利用石炭エネルギーの活用

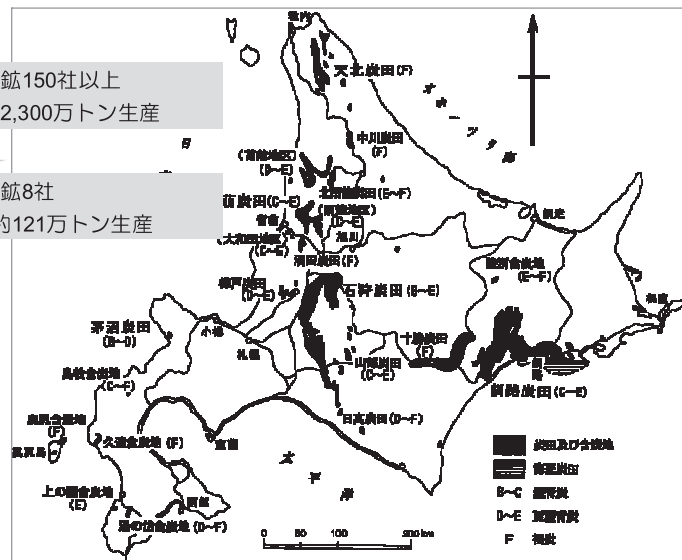
- 北海道の石炭資源とエネルギーのベストミックス
- 炭層メタン(CBM)とは？
- CBM開発モデルとシミュレーション
- 石炭地下ガス化(UCG)とは？
- UCG開発の世界の現状
- 国内でのUCGへの取組
- まとめ

特定非営利活動法人
地下資源イノベーションネットワーク
理事長 出口剛太

北海道の石炭資源

昭和36年(1961)：炭鉱150社以上
昭和41年(1966)：約2,300万トン生産

平成21年(2009)：炭鉱8社
：約121万トン生産



北海道の石炭資源

| 地域 | 炭質 | 炭層厚(千トン) | | | | 深層厚(千トン) | |
|------|------|------------|-----------|-----------|------------|-------------|------------|
| | | 炭層1層 | 炭層2層 | 炭層3層 | 小計 | 区分 | 炭量 |
| 北海道計 | 無煙炭 | 0 | 0 | 0 | 0 | 排水準- | 723,194 |
| | 凝音炭 | 4,572,529 | 1,276,519 | 241,690 | 6,090,738 | 排水準~-300m | 3,874,315 |
| | 亜凝音炭 | 3,237,106 | 2,287,159 | 837,218 | 6,361,523 | -300m~-600m | 3,899,774 |
| | 褐炭 | 1,801,841 | 181,692 | 0 | 1,983,533 | 600m~-200m | 6,542,400 |
| | 小計 | 9,736,476 | 4,325,389 | 1,078,407 | 15,140,272 | 小計 | 14,940,282 |
| 本州計 | 無煙炭 | 167,571 | 87,117 | 22,770 | 277,457 | 排水準- | 65,355 |
| | 凝音炭 | 241,747 | 12,088 | 6,813 | 260,428 | 排水準~-300m | 1,243,883 |
| | 亜凝音炭 | 1,191,419 | 55,118 | 172,392 | 1,668,829 | 300m~-600m | 658,505 |
| | 褐炭 | 183,721 | 123,833 | 15,950 | 323,304 | -600m~-200m | 556,191 |
| | 小計 | 1,724,458 | 378,136 | 221,925 | 2,324,519 | 小計 | 2,524,934 |
| 九州計 | 無煙炭 | 222,898 | 78,976 | 77,970 | 379,844 | 排水準- | 126,255 |
| | 凝音炭 | 5,574,772 | 2,021,247 | 2,268,177 | 9,864,296 | 排水準~-300m | 3,667,117 |
| | 亜凝音炭 | 463,831 | 495,098 | 742,249 | 1,701,178 | 300m~-600m | 5,052,227 |
| | 褐炭 | 10,830 | 3,437 | 2,951 | 17,218 | -600m~-200m | 2,946,188 |
| | 小計 | 6,272,331 | 2,598,758 | 3,114,147 | 11,985,236 | 小計 | 12,791,667 |
| 合計 | 無煙炭 | 390,289 | 188,113 | 100,740 | 679,142 | 排水準- | 916,704 |
| | 凝音炭 | 10,386,048 | 3,300,031 | 2,616,421 | 16,302,500 | 排水準~-300m | 8,786,521 |
| | 亜凝音炭 | 4,855,406 | 2,937,034 | 1,752,358 | 9,544,798 | -300m~-600m | 9,705,107 |
| | 褐炭 | 2,131,440 | 288,762 | 18,901 | 2,439,103 | -600m~-200m | 10,147,373 |
| | 小計 | 17,763,173 | 7,302,141 | 4,488,320 | 29,553,634 | 小計 | 30,457,165 |

NPO法人地下資源イノベーションネットワーク調べ

我が国の年間石炭使用量(約1億8千万トン)の160年分

「未利用石炭資源の有効活用」

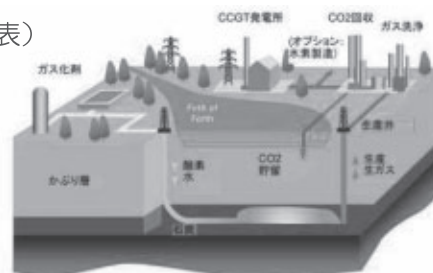
- コミュニティ単位の分散型エネルギーシステムモデル
- エネルギー供給源：
炭層に含まれるメタンガス

ローカルエネルギー
ベストミックス

- 炭層メタン
(CBM：地表からのボーリングにより回収する石炭層中のメタン)
- 炭鉱メタン
(CMM：操業中の炭鉱から排出されるメタンを含む)
- 廃止炭鉱メタン
(AMM：閉山炭鉱跡から湧出するメタン)

石炭地下ガス化生成ガス

石炭とバイオマスの混合ガス化(地表)
自然エネルギー など



在来型天然ガスと非在来型天然ガス

炭層メタン (CBM) は石炭層に含まれるメタンガス (非在来型天然ガス)
 メタンガス濃度が高い (90 %以上)
 地表からのボーリングにより生産

在来型天然ガスの可採埋蔵量 (2007) : 180兆m³
 (Survey of Energy Resources, 2009, WEC)

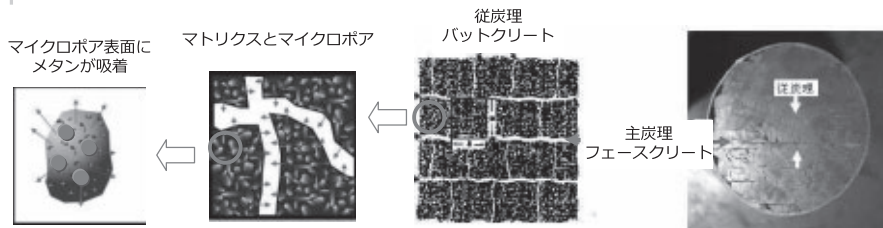
非在来型天然ガスの推定資源量 (SPE 103356, 2006)
 Coal Bed Methane (CBM) : 250兆m³
 Tight Gas : 207兆m³
 Shale Gas : 450兆m³

世界のCBM資源

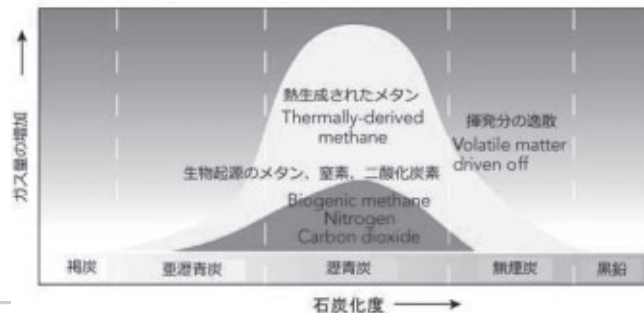


CBM Sector Overview, Fox-Davies CAPITAL

石炭化度と炭層ガス



石炭化の過程で、微生物起源のメタンと熱作用起源のメタンの両方が発生 ⇒ 石炭内部に吸着



Source: Oilfield Review, Autumn 2003

CBMの開発

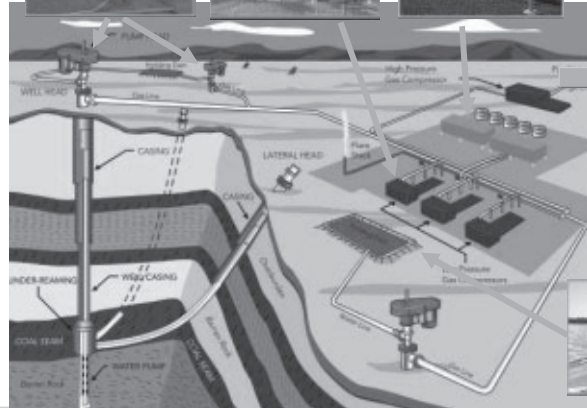
坑井ヘッド・ポンプ・セパレーター



コンプレッサー



発電所



炭層

パイプライン輸送



蒸発池

WWW.CH4.com.au

Anglo Coal Australia, Pty Ltd

CBMはクリーンなエネルギー

- CBMは天然ガスと同じメタンが主成分
- 発熱量：36~40MJ/m³（天然ガス：44~55MJ/m³）

石炭を100とした場合の排出量比較（燃焼時）

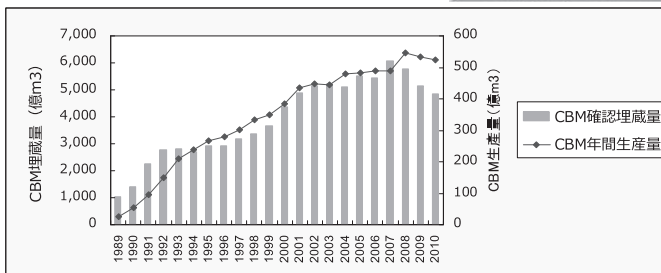
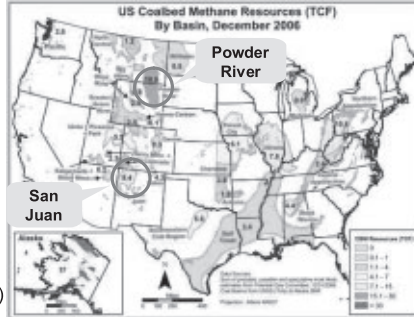
| | CO ₂ (二酸化炭素) | NO _x (窒素酸化物) | SO _x (硫黄酸化物) |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 天然ガス | 60 | 40 | 0 |
| 石油 | 80 | 70 | 70 |
| 石炭 | 100 | 100 | 100 |

(出典:「エネルギー白書2009」資源エネルギー庁)

CBMの開発 (米国)

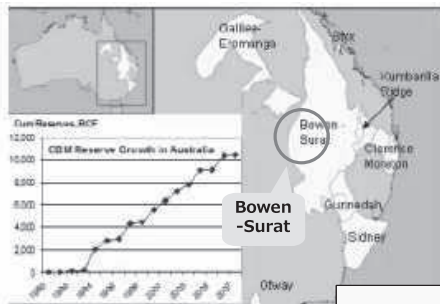
- CBM確認埋蔵量 4,900億m³ (2010)
- CBM生産量 520億m³ (2010)
- 全生産量の7割以上は San Juanと Powder Riverから
- 全天然ガス消費量の10%以上はCBM
- 近年はシェールガスの開発ブーム

米国のCBM資源
(EIA, U.S. DOE)



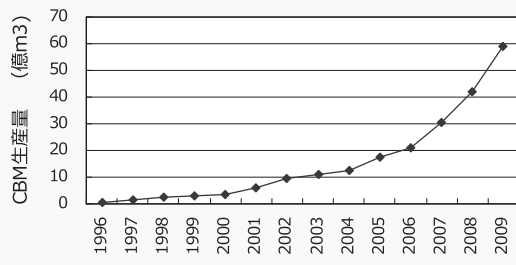
米国のCBM埋蔵量と
生産量 (EIA, U.S. DOE)

CBMの開発 (豪州)



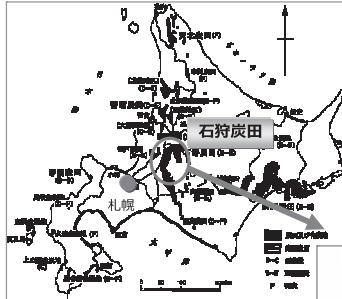
豪州の主要CBM開発炭田 (IHS Inc.)

- CBM埋蔵量 3,000億m³ (2007)
 - CBM生産量 59億m³ (2009*)
 - 全生産量の9割程度は Queensland州
 - 2003年から2009年で生産量は5倍に
 - 全埋蔵量の75%はBowen-Surat炭田
 - 海岸までパイプライン輸送し、LNGとして輸出する計画も
- (*2008年の生産量はQueensland州のみの値)



豪州のCBM生産量
注：2008, 2009年はQld.のみ
(Geosciences Australia & Energy Quest)

石炭資源とCBM資源量（北海道・石狩炭田）



CBM開発有望三地域で
約240億m³の資源量

我が国の天然ガス生産量
約37億m³/年（2007）

勇払生産量
約4.5億m³/年（2006）

我が国の石炭埋蔵量（億トン）

| | 北海道 | 全国 |
|-----|------|-----|
| 無煙炭 | 0 | 7 |
| 亜青炭 | 60.9 | 163 |
| 亜褐炭 | 66.6 | 100 |
| 褐炭 | 21 | 24 |
| 合計 | 148 | 295 |



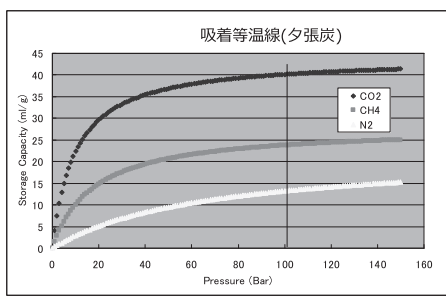
北海道の有望区域の資源量

| | 滝川東部 | 清水沢～南大夕 | 夕張西部 |
|------------------------|-------|---------|------|
| 面積 km ² | 83.2 | 40.0 | 32.0 |
| 埋蔵炭量 億トン | 17.1 | 5.3 | 2.8 |
| CBM資源量 億m ³ | 162.5 | 50.4 | 26.6 |

NEDO: 国内CBM資源調査可能性調査(北海道地区), 1998

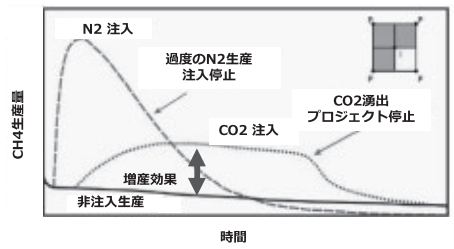
NPO法人地下資源イノベーションネットワーク調べ, 2008

石炭の吸着特性とCO₂注入によるCBM増産効果



CO₂はメタンより

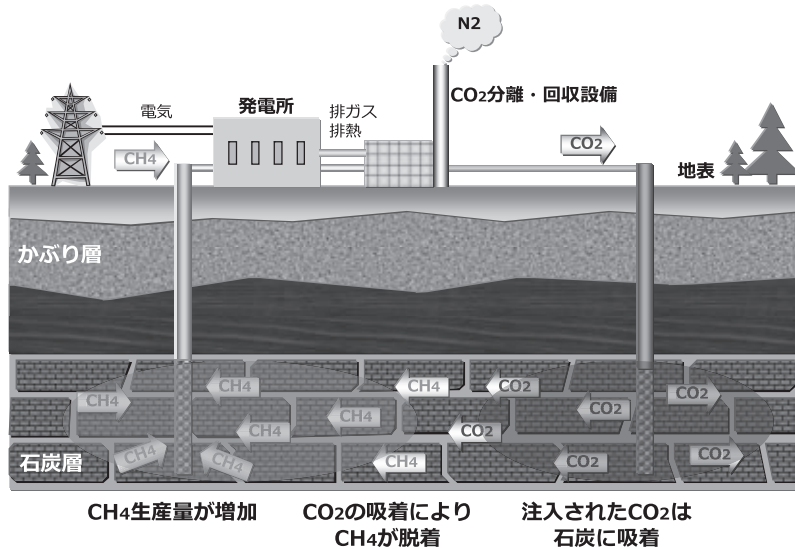
- 石炭に吸着しやすい
- 石炭により多く吸着する



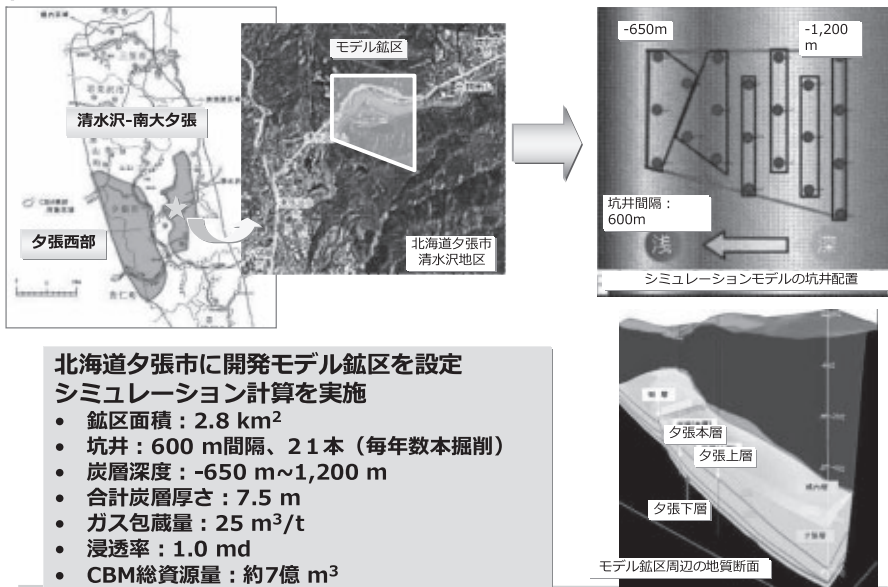
CO₂注入によるCH₄増産効果

(Alberta Research Council, CANADA)

炭層へのCO₂固定とCBM増産 (CO₂-ECBM)



モデル鉱区の設定とシミュレーション計算

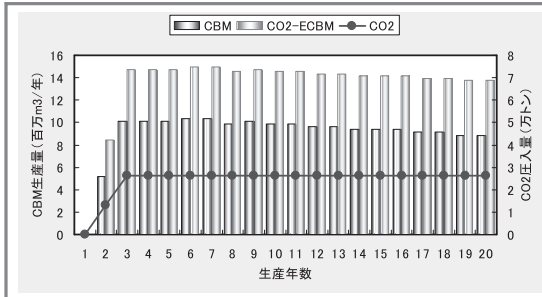


北海道夕張市に開発モデル鉱区を設定 シミュレーション計算を実施

- 鉱区面積：2.8 km²
- 坑井：600 m間隔、21本 (毎年数本掘削)
- 炭層深度：-650 m~1,200 m
- 合計炭層厚さ：7.5 m
- ガス包蔵量：25 m³/t
- 浸透率：1.0 md
- CBM総資源量：約7億 m³

KANSO：二酸化炭素炭層固定化技術開発成果報告書

通常のCBM生産量とCO₂-ECBM生産量

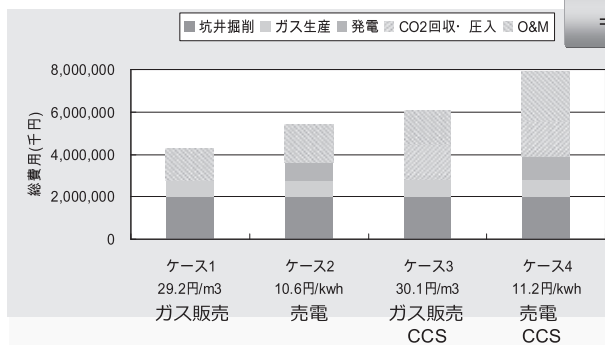


- 3年目からフル生産
- CO₂注入量 26,000 t/年
(20t/d/本 × 4本 × 365 × 0.9)
- 総CO₂注入量 330,000 t
- 通常CBMでは1,000万m³/年
総資源量の約27%回収(19年)
- CO₂-ECBMでは1,400万m³/年
総資源量の約38%回収(19年)

平均世帯の年間エネルギー消費量 45.3GJ (エネルギー・経済統計要覧, 2006)
 メタンガスの発熱量 36 MJ/m³ (エネルギー源別発熱量一覧表, METI)
 ⇒ 年間1,400万m³のメタンガスは約11,000世帯分のエネルギー

CBM利用形態別総費用と生産原価

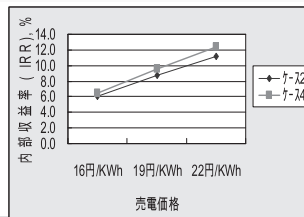
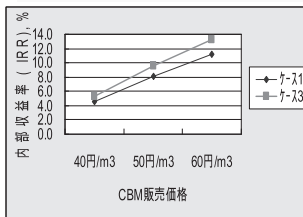
坑井掘削費の占める割合が大
⇒ コスト削減の鍵



ガス販売量
 800万m³/年平均(ケース1)
 1,100万m³/年平均(ケース3)

売電量
 2,900万KWh/年平均 (ケース2)
 3,900万KWh/年平均 (ケース4)

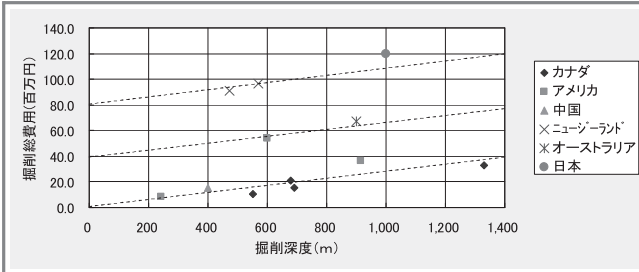
CBM内部消費量 20 %
 CO₂分離・回収コスト 3,000 円/t-CO₂



内部収益率の計算

掘削コスト削減の可能性

CBM坑井（垂直）掘削費用の比較

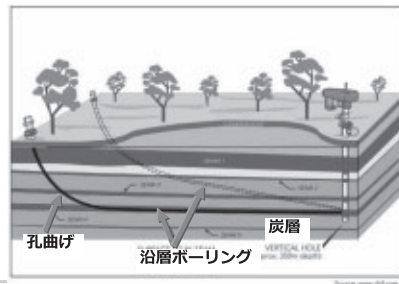


Utrecht Univ., Potential for CO₂ sequestration and enhanced coalbed methane production in the Netherlands, March 2001, Netherlands より作成

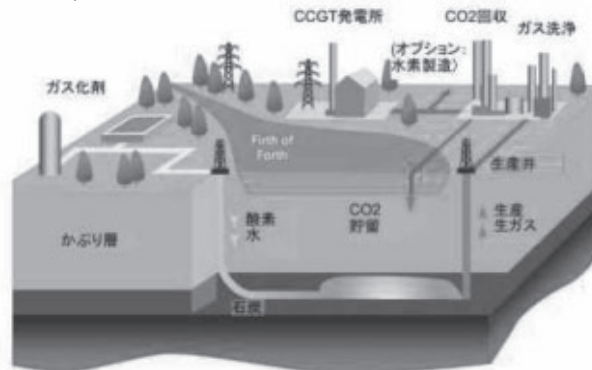
CBM生産量

- ∝ ガス包蔵量・浸透率・圧力差・接触面積
- 炭層内の坑井長さを増大
 - ⇒ 1本当たりの生産量の増大
 - ⇒ 掘削坑井数の削減

方向制御掘削技術の適用



石炭の地下ガス化



- 石炭を採掘することなくエネルギーを回収
- 未利用石炭を活用-埋蔵炭量の増加
- 石炭灰処理の問題解決
- 汚染物質排出(SO_x, NO_x, 水銀等)の減少
- CO₂貯留の可能性
- コスト削減

- 反応プロセスの制御
- 地下水汚染
- 地表沈下

UCGガス化炉内の反応



酸化

- プロセス熱源の生成
 - 高温：900～1500℃
 - 石炭乾留産物（チャー）が反応
- 主要反応
- $$C + O_2 \rightarrow CO_2$$
- $$C + 0.5O_2 \rightarrow CO$$
- $$CO + 0.5O_2 \rightarrow CO_2$$
- $$H_2 + 0.5O_2 \rightarrow H_2O$$
- $$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

還元

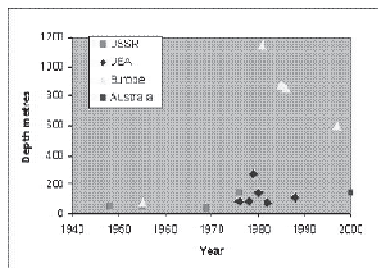
- プロセス内熱量の消費
 - 燃料成分の生成
 - 温度：通常600～1000℃
 - 長さ：酸化区域の1.5～2倍
 - 主要反応
- 水性ガス反応 $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$
 発生炉ガス反応 $C + CO_2 \rightarrow 2CO$
 水素化反応 $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$
 シフト反応 $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$
 ガス変性反応 $CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$ 等

熱分解

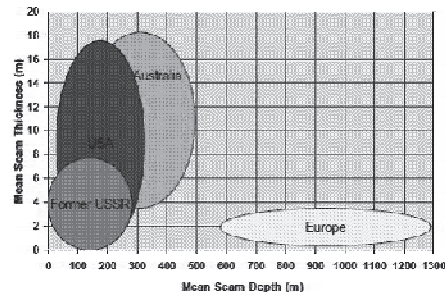
- 石炭の分解（熱量の消費）
- 各種の生成物
- 温度：通常200～600℃
- 乾燥（100℃以下）
- タール等の液状HC析出
- チャーの生成

UCGの歴史

- ◆1886年にドイツのWilliam Siemensが、1888年にはソ連のメンデレーフがUCGを提唱。その後、レーニンがソ連でのUCG活用に言及。
- ◆1931年、ソ連に「UCG特別委員会」が組織され、各地で試験開始。
- ◆以後50年間、ロシアがUCG開発の中心（多くの商業生産に成功）。
- ◆アメリカのUCGへの取組は1960年代初め～1980年中頃。
- ◆中国では1980年代～現在。
- ◆豪州、ニュージーランド、南ア、ヨーロッパでは1990年代から本格化。



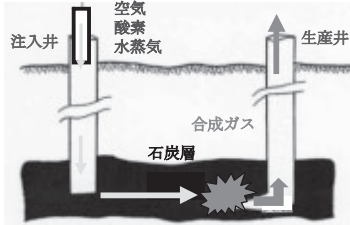
炭層深度の関数としてのUCG試験



炭層の深度と厚さに関連したUCG稼動経験

Source: Lawrence Livermore National Laboratory, USA

リンキング技術



◆**リンキング**： ガス通路の形成のため注入井と生産井を石炭層内で連結させる重要な技術

- 圧縮空気法
- 電気法
- 化学法
- 水圧破砕法 など

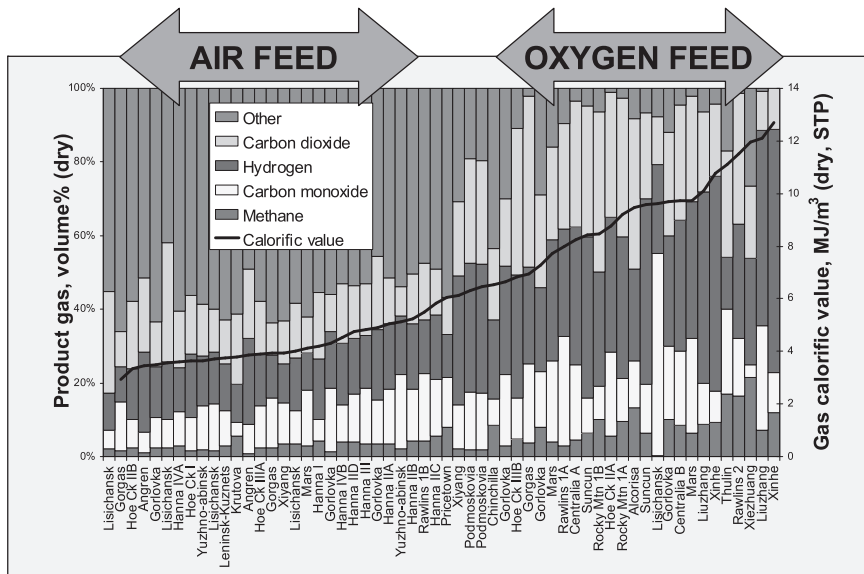
着火技術

- ◆ 電気着火法
- ◆ 灼熱コークス
- ◆ ガスバーナ法
- ◆ 酸化剤添加による化学法(シランガス+プロパンガス)

(炭層着火部に水が存在する場合には、孔底部の圧力を上げ、水を炭層内に押し込む)

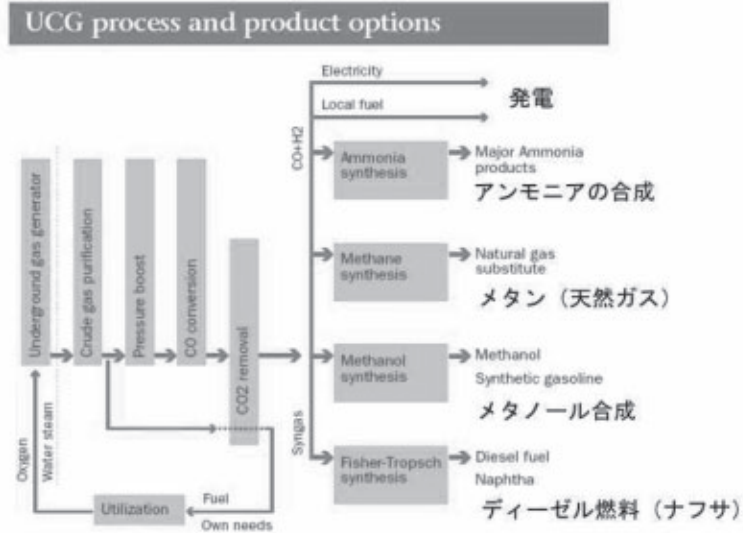
◆ 指向性ボーリングによる2坑井連結技術により従来のリンキング技術は不要に

UCG生成ガスの性状 (サイト別)



Source: Carbon Energy Co.

UCG生成ガスの利用



Source: Promgaz

UCG ポテンシャル

UCG適用石炭量（追加）とUCGガス量の推定

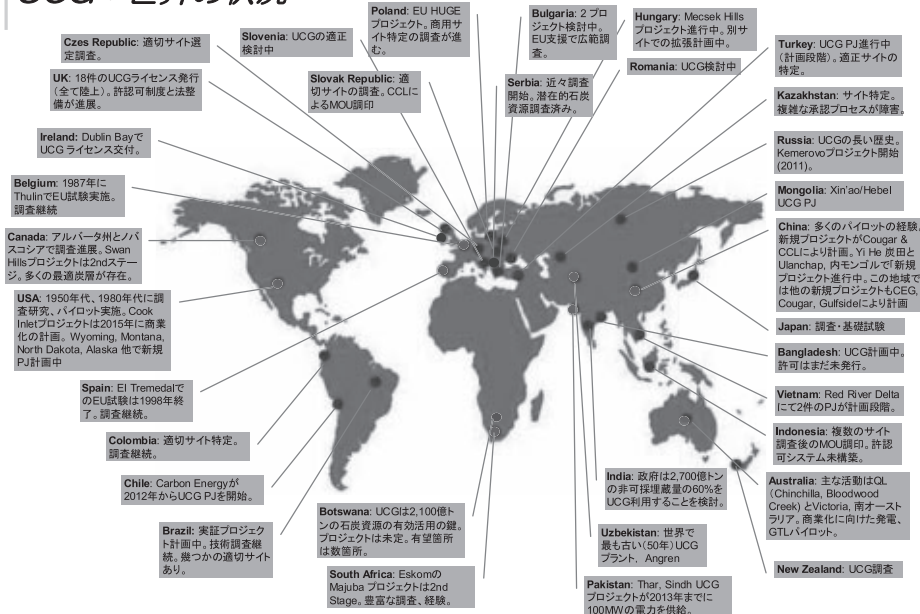
Table 1: Estimated Available Coal Reserves (billion tonnes) & Corresponding Gas Reserve from UCG

| | Estimated Available Coal Reserve for UCG (Bt) | Potential Gas Reserves from UCG (as Natural Gas) TCM* | Current Natural Gas Reserve 2006 TCM |
|-----------------------|---|---|--------------------------------------|
| USA | 138.1 | 41.4 | 5.5 |
| Europe (excl. Russia) | 130.1 | 21.8 | 6.0 |
| Russian Federation | 87.9 | 26.3 | 47.8 |
| China | 64.1 | 19.2 | 2.4 |
| India | 51.8 | 15.5 | 1.1 |
| South Africa | 48.7 | 8.2 | 0.0 |
| Australia | 44.0 | 13.2 | 2.5 |
| Total | 564.7 | 145.6 | 65.2 |

*TCM: Trillion Cubic Metres

Source: World Coal Institute

UCG : 世界の状況



(Julie Lauder, Annual Review, 7th International UCG Conference & Workshop, May 2012, Londonより作成)

米国におけるUCG (1)

Hanna (LVW法) 1971-1980年に5回の試験(空気吹き)

対象炭層: 深度80-120m, 6-8m厚

温度計測やガス化炉形成状況把握

Hoe Creek (LVW法) 1972-1979年に3回の試験

対象炭層: 下層(深度40m、7.5m厚)及び上層(深度30m、3m厚)

上層もガス化 → 地盤沈下、地下水流入により汚染(修復データ取得)



汚染地下水修復作業

タール等の汚染物質が存在しているガス化炉内部に、地下水が流入しないよう加圧空気を送り込み、汚染物質については、微生物処理の方法を採用している。微生物は好気性微生物のため、圧入空気の送入は微生物処理にも適しており、有害物質の減少が確認されている。

Source: LLNL

米国におけるUCG (2)

Rawlins (Gulf Oil/DOE)

- 1979年(空気吹き、30日間)、1981年(酸素/蒸気、65日間)の2回試験
- 炭層傾斜63°、商業規模のガス化炉で実施
- CH₄濃度の高い中カロリーガス
- 酸素使用、プロセス制御良好、全環境規制に準拠
→ 最も成功した例



Rocky Mountain I (Gulf, AMOCO, EPRI等)

- 商業化UCGに最も近い代表的なUCG試験
- 1987~88年、ガス化法(LVW-CRIP)の比較、商業規模用データ収集等
- プロセス評価、環境評価、生成ガスの精製等の検討 → 当初目標を達成

| | ELW法* | CRIP法 |
|----------------------------|--------|--------|
| ガス化期間 | 58日 | 93日 |
| 石炭消費量(t) | 4,443 | 11,227 |
| 石炭ガス化レート(t/日) | 70-100 | 70-200 |
| 平均生成ガス熱量 MJ/m ³ | 8.8 | 9.5 |



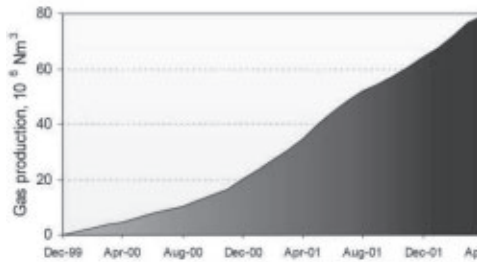
*ELW: Extended Linked Well

Carbon County

- 1995年、商業化(メタン-化学製品)目指す→失敗

Source: LLNL

Chinchilla, Australia (Linc Energy)



1stパネル試験:

UCG期間: Dec/99 ~ Apr/02 (約800日)

対象炭層: 10m厚、深度140m

ガス生産レート: 80,000 Nm³/h (70MWe)

石炭消費量: 約 35,000 tons

生産ガス量: 80,000,000 Nm³

生産ガス熱量: 5.0 MJ/Nm³

生産ガス温度、圧力: 10 気圧 (145 psig)、300°C

Chinchillaでの累積ガス生産量推移

Source: Linc Energy

Chinchilla, Australia (Linc Energy)



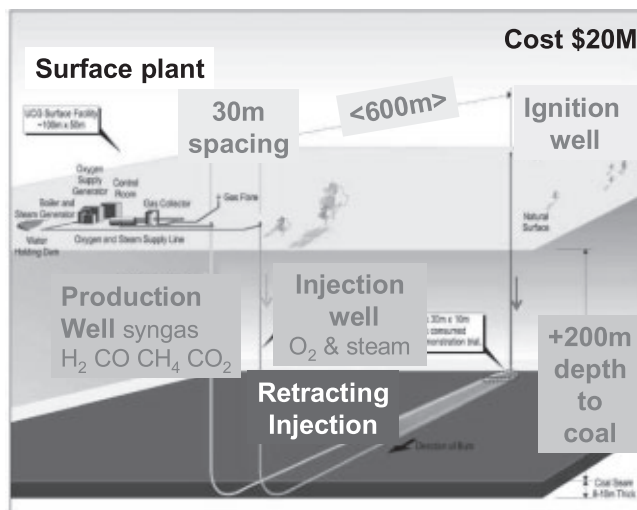
ChinchillaのUCGプラント



ChinchillaのGTL設備

Source: Linc Energy

Bloodwood Creek, Australia (Carbon Energy)



The 100 day Trial

- 酸素吹き込み能力: 70t/d
- 蒸気生産能力: 70t/d
- ガス化レート: 90→150t/d
- 石炭消費量: 12,600 t
= 30m x 30m x 10m x 1.4
- 目標ガス生産レート:
1PJ/Year

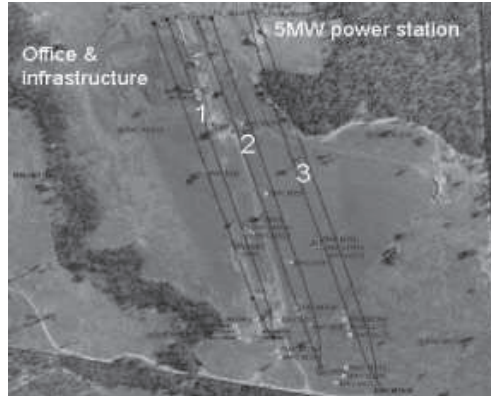
Source: Carbon Energy Co.

Bloodwood Creek, Australia (Carbon Energy)

- 2011年8月：Bloodwood Creekでの最初の発電
- 2011年2月：UCGパネル2からの最初のガス生産
- 2010年8月：UCGパネル2及びパネル3の建設開始
- 2009年7月：5MW発電所建設開始
- 2011年8月：5MW発電・送電に成功
- 25MW発電所（第2フェーズ）
パネル3開発
- 300MW発電所（第3フェーズ）
鉱区に隣接するエネルギー
パーク内に建設予定



UCG生成ガス発電所(5MW)

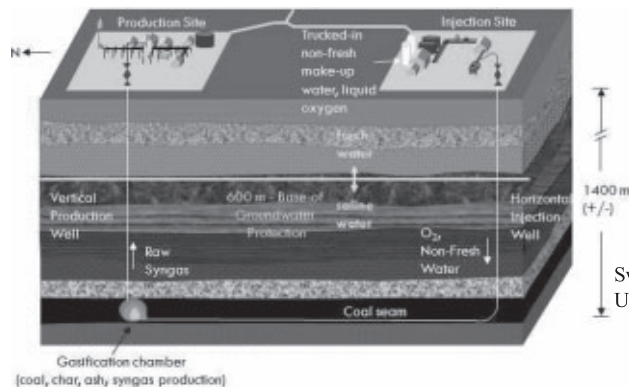


UCG現場坑井配置図

Source: Carbon Energy Co.

SwanHills, Canada (SwanHills Synfuels)

- ISCG (In-Situ Coal Gasification)
- 2009年に実証試験完了（炭層深度1,400m）
- 2015年から総額15億カナダドルのISCG/Powerプロジェクトの開始
- 北米初のUCGガスによる300MW発電とCO₂回収・貯留を組み合わせたプロジェクト



SwanHills Synfuelsの
UCG実証試験配置

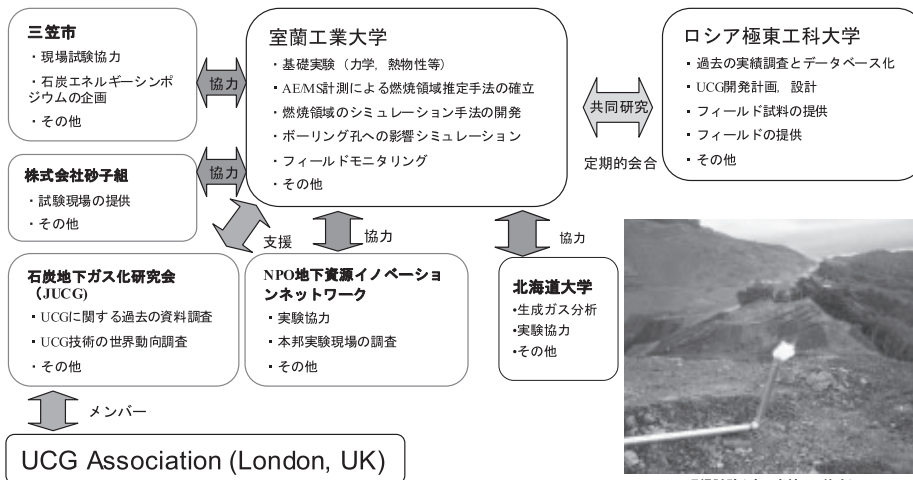
Source: SwanHills Synfuels

SwanHills, Canada (SwanHills Synfuels)



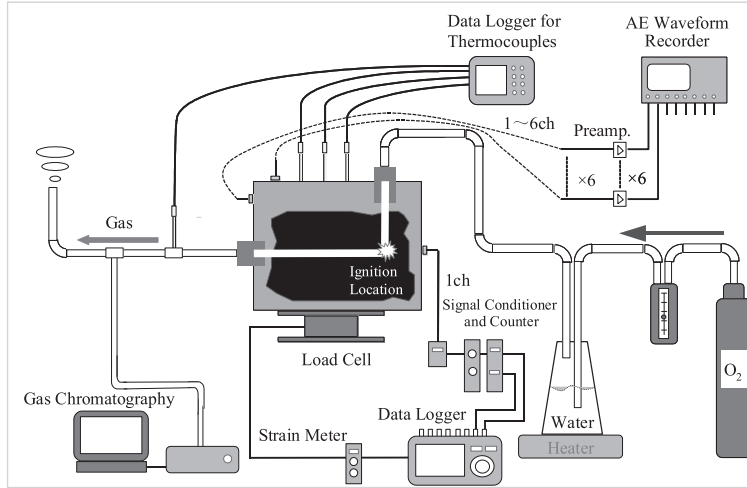
国内でのUCGへの取組

最近のUCG研究の協力体制

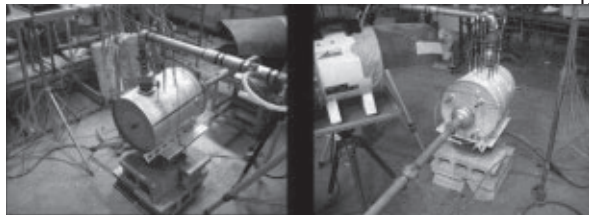
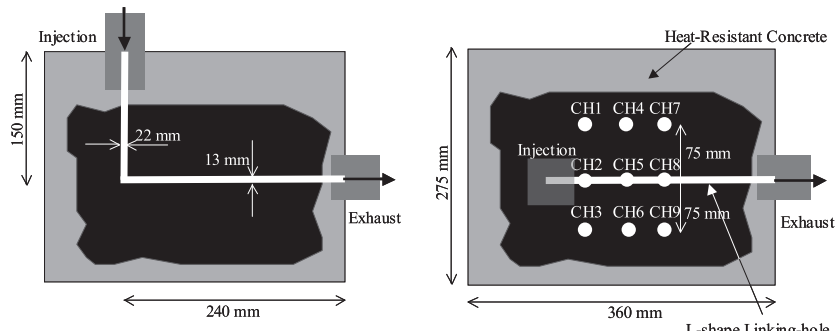


UCG現場試験(砂子炭鉱, 三笠市)
2011年8月22日

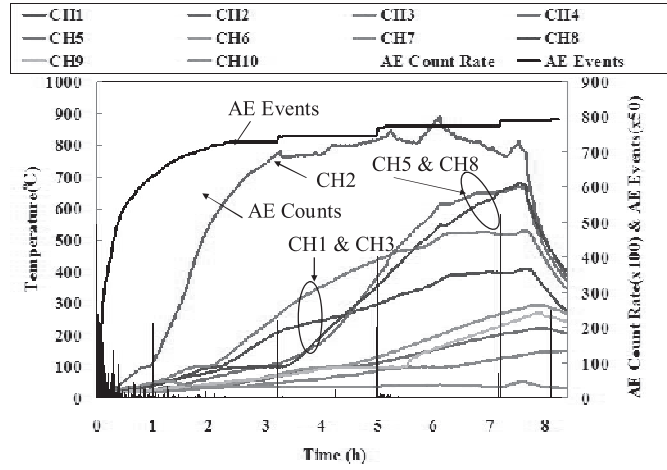
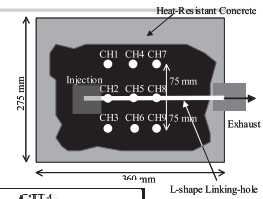
UCG基礎実験



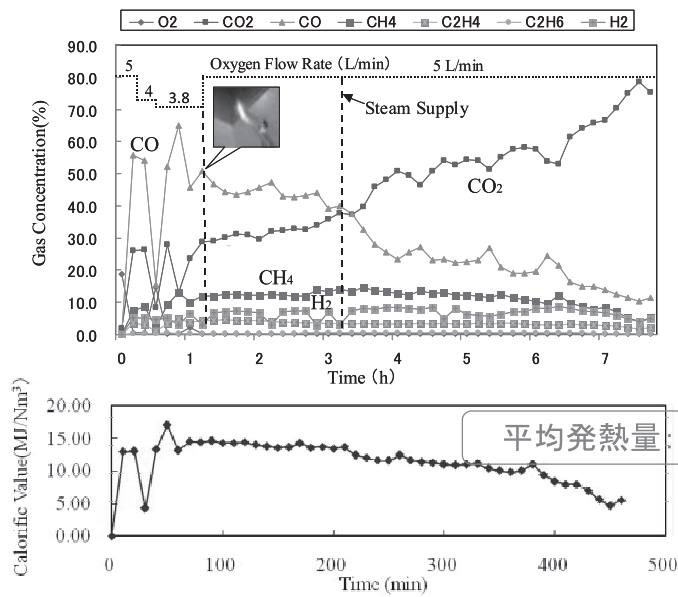
UCG基礎実験



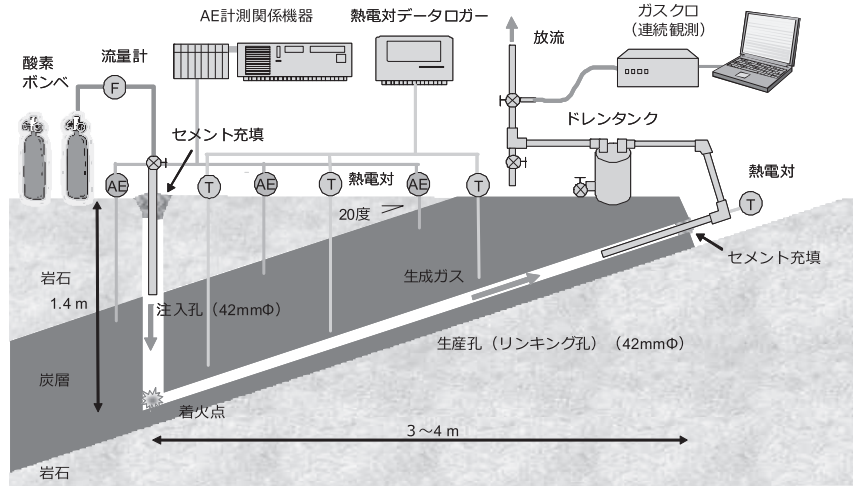
UCG基礎実験の結果



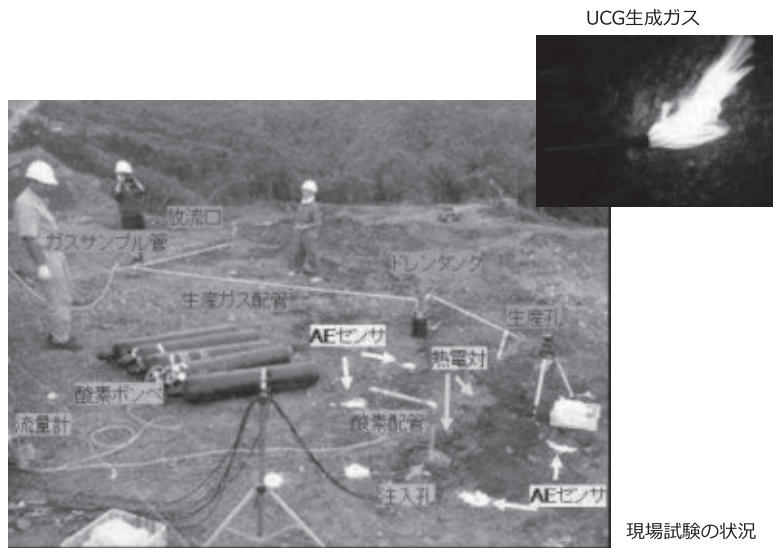
UCG基礎実験の結果



UCG小規模現場実験

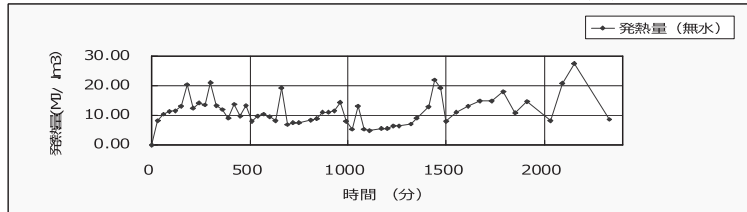
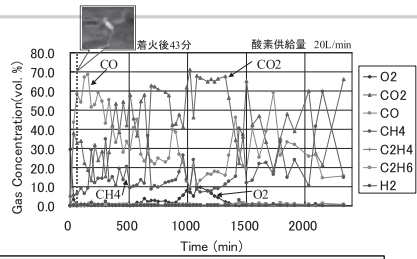


UCG小規模現場実験



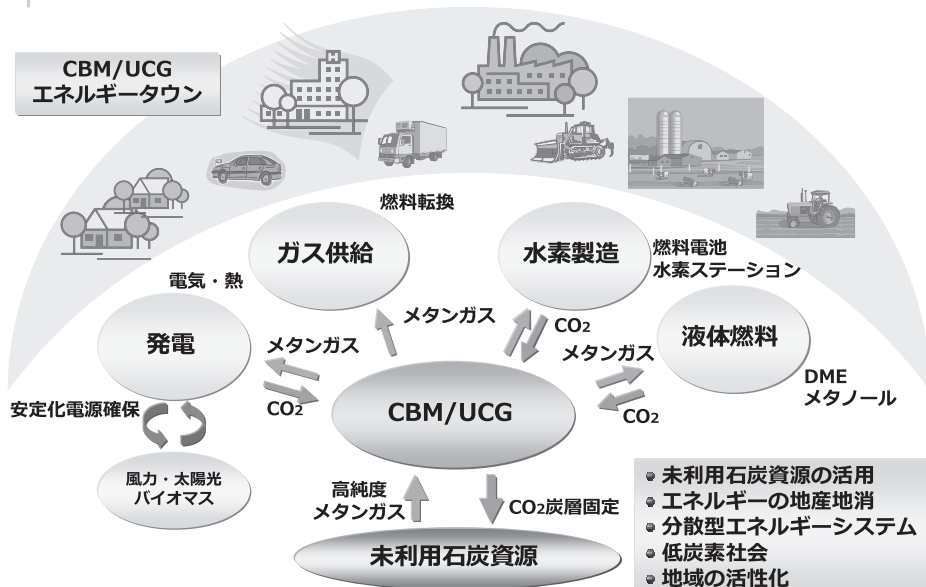
実施現場：株式会社砂子組三笠露天坑 美唄層5番層

UCG小規模現場実験の結果



| ガス成分 | O ₂ % | N ₂ % | CO ₂ % | CO % | CH ₄ % | C ₂ H ₄ % | C ₂ H ₆ % | H ₂ % | 発熱量 MJ/m ³ |
|------|---------------------|---------------------|----------------------|---------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| 最大値 | 9.8 | 8.5 | 71.0 | 68.6 | 59.7 | 2.2 | 1.5 | 3.1 | 27.5 |
| 最小値 | 0.2 | 0.3 | 13.2 | 9.6 | 5.4 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 5.0 |
| 平均値 | 2.1 | 2.0 | 45.1 | 32.5 | 16.7 | 0.6 | 0.7 | 0.3 | 11.6 |

CBMとUCGを核とした低炭素地域エネルギー構想



一般講演

| | |
|-------------------|----|
| 現場調査技術の伝承 | 31 |
| －北海道地質調査業協会の取り組み－ | |

北海道地質調査業協会技術委員
北海道士質コンサルタント(株) 松本 和正

| | |
|--------------------------|----|
| 東日本大震災による井戸の被害調査 | 45 |
| －災害時における地域防災計画（給水計画）の提言－ | |

全国さく井協会北海道支部長
(株)アクアジオテクノ 石塚 学

| | |
|-------------------------|----|
| 地層引き抜きによる低地での地質調査 | 61 |
|-------------------------|----|

北海道立総合研究機構 地質研究所 川上 源太郎
明治コンサルタント(株) 重野 聖之
(有)ACE 試錐工業 福間 哲

現場調査技術の伝承 ー北海道地質調査業協会の取り組みー

北海道地質調査業協会

技術委員 松本 和正
(北海道土質コンサルタント株式会社)

技術伝承の目的、概要

1. 目的

現場で実際行われるボーリング孔内での各種試験を通し、地質調査に携わる若手技術者に調査技術の伝承を図る。

2. 概要

- ・「ボーリング現場技術講習会」として毎年9～10月実施する。
- ・講習受講者はボーリング調査従事者のうち実務経験10年未満程度の技術者あるいは技能者を対象とする。
- ・講習内容は、日常行われる調査技術を中心とし、対象地盤は土質と岩盤に区分する。
- ・講習に使用するフィールドや機材等は、協会員に協力をお願いする。

講習会実施状況

講習会の開催実績

| 回 | 年月日 | 開催地 | 講習会参加者 人数 |
|-----|-----------|------|--------------|
| 第1回 | 2007.9.22 | 南区砥山 | 13 |
| 第2回 | 2008.9.20 | 南区砥山 | 17 |
| 第3回 | 2009.10.3 | 南幌町 | 19 |
| 第4回 | 2010.9.18 | 南区砥山 | 18 |
| 第5回 | 2011.10.1 | 南幌町 | 10 |
| 第6回 | 2012.9.29 | 南区砥山 | 12 |

講習スタッフ(第6回)

| 講習担当者 | |
|-------|---------------|
| 武田 覚 | ㈱ドーコン |
| 池田 晃一 | 北海道土質コンサルタント㈱ |
| 石井 正之 | 協会技術アドバイザー |
| 嶋岡 博 | トキワ地研㈱ |
| 川瀬 勝博 | トキワ地研㈱ |
| 関 克郎 | ㈱ジオテック |
| 松本 和正 | 北海道土質コンサルタント㈱ |
| 斎藤 学 | 北海道土質コンサルタント㈱ |
| 和田 哲 | ㈱レアックス |

講習会日程(第6回)

| 日 時 | | 講習項目 | |
|--------------------------|-------------|----------------|---------|
| 9 月 29 日 (土) | 9:30~9:35 | 開会挨拶 | (武田委員長) |
| | 9:35~9:45 | 講習プログラム・地質概要説明 | (石井) |
| | 9:45~11:00 | モノレール仮設実習 | (川瀬・嶋岡) |
| | 11:00~12:00 | 孔内速度検層 | (関) |
| | 12:00~13:00 | 昼 食 | |
| | 13:00~14:00 | 孔内水平載荷試験 | (松本・斎藤) |
| | 14:00~15:00 | ボアホールスキャナー | (和田) |
| | 15:00~16:00 | 現場透水試験 | (松本・斎藤) |
| 16:00~16:20 | 総括質疑応答 閉会挨拶 | (武田) | |

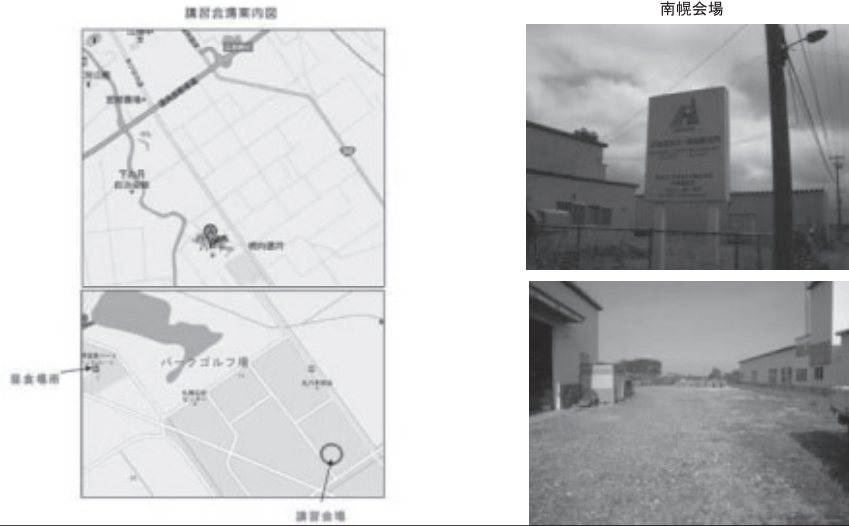
講習内容

土質(軟弱地盤)と岩盤を対象にした内容(一部重複)を、2会場で開催している。

- ①土質(軟弱地盤)対象項目 ……南幌町(南幌会場)
- ・標準貫入試験
 - ・オランダ式二重管コーン貫入試験
 - ・三成分コーン貫入試験
 - ・孔内水平載荷試験(低圧、LLT型)
 - ・シンウオールサンプリング
 - ・現場透水試験
 - ・ピートサンプリング
 - ・室内土質試験
- ②岩盤対象項目 ……札幌市南区砥山(八剣山会場)
- ・モノレール仮設
 - ・孔内水平載荷試験(高圧、エラスト型)
 - ・PS検層
 - ・ボアホールスキャナー
 - ・ルジオンテスト
 - ・電気検層

講習会会場 1（南幌会場）

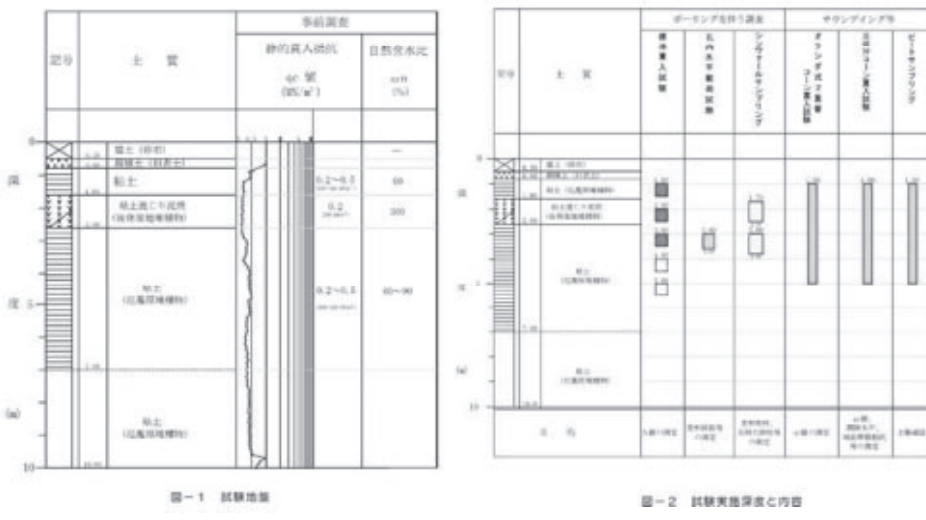
明治コンサルタント株式会社 北海道防災・環境研究所敷地内
 空知郡南幌町南9線西15丁目（晩翠工業団地内）



南幌会場の表層土質

一帯は野幌丘陵と馬追丘陵に挟まれた「札幌—苫小牧低地帯」と呼ばれる沖積低地に位置している。地形的には氾濫原地形のうちの後背湿地地形に分類される。

講習会開催地の表層10mまでの土層は以下のとおりであり、後背湿地堆積物を代表する高有機質土（泥炭）や腐植物を混入する粘土で構成される。



講習会会場2（八剣山会場）

レアックス八剣山テストフィールド
住所: 札幌市南区砥山194番地1



講習会場案内図

八剣山会場の地盤

一帯は八剣山山麓に東西方向に流下する豊平川の左岸部に位置しており、扇状地地形や段丘地形が発達する。

深度100mまでの堆積物は以下のとおり。

- ・深度0～5.5m: 扇状地堆積物
- ・深度5.5～14.8m: 段丘堆積物
- ・深度14.8～35.9m: 板割沢層
砂岩・泥岩
- ・深度35.9～100m: 安山岩

表層の5mまでは軟弱な粘土が分布しており、土質、岩盤の両方を対象としている。

なお、講習では既設の深度100mのボーリング孔を利用。

ボーリング柱状図



現場調査技術伝承

講習項目のうち、以下について、内容とポイントを概説する。

- ①土質(軟弱地盤)対象項目
 - ・標準貫入試験
 - ・オランダ式二重管コーン貫入試験
 - ・孔内水平載荷試験(低圧、LLT型)
 - ・シンウオールサンプリング
 - ・ピートサンプリング
- ②岩盤対象項目
 - ・モノレール仮設
 - ・速度検層(PS検層)
 - ・ボアホールスキャナー

標準貫入試験

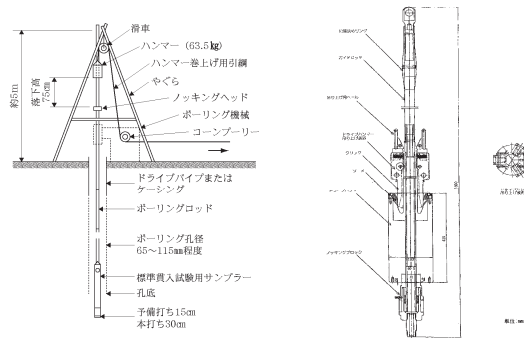
<概要>

地盤調査で最も多く使用されるサウンディングである。

標準貫入試験は原位置における土の硬軟、あるいは相対的指数であるN値の測定と貫入試験区間の試料を採取する目的で実施する。

<講習内容>

- ①試験の概要説明
- ②試験実施状況の見学
ボーリングマシンによる測定
- ③採取した試料の観察
レイモンドサンプラーを開いて試料を観察。2層地盤のN値補正の説明他。



標準貫入試験装置の模式図、半自動落下装置

| 砂質土 | | 粘性土 | |
|-------|---------|---------|---------|
| 相対密度 | N 値 | 相対稠度 | N 値 |
| 非常に緩い | 0 ~ 4 | 非常に軟らかい | 0 ~ 2 |
| 緩い | 4 ~ 10 | 軟らかい | 2 ~ 4 |
| 中位の | 10 ~ 30 | 中位の | 4 ~ 8 |
| 密な | 30 ~ 50 | 硬い | 8 ~ 15 |
| 非常に密な | 50 以上 | 非常に硬い | 15 ~ 30 |
| — | — | 固結した | 30 以上 |

「地盤調査の方法と解説」(P263, P267)

N値によるコンテステンシーと相対密度

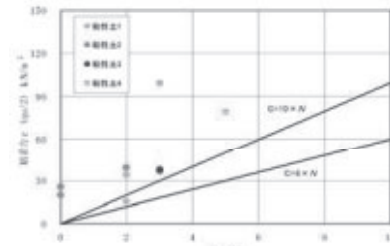
<ポイント>

①標準貫入試験で得られるM値から、地盤の締め具合や硬さなどの状態が推定されるが相対値である。

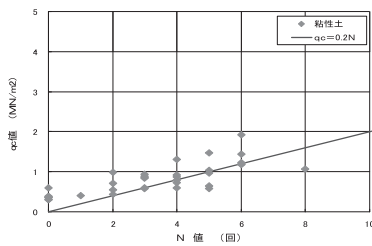
②M値から粘着力やせん断抵抗角(内部摩擦角)、あるいは変形係数を始めとする各種の土質定数の推定がなされる傾向が非常に強い。しかし、あくまで、概略の推定値であることを認識しておく必要がある。

③軟弱地盤では、N値が0~2と小さい場合が多い。このような地盤には、別途、詳細な調査を行った方が、経済的で安全な設計値が得られることが多いことなどを事例で説明。

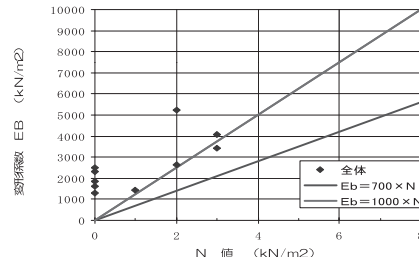
標準貫入試験



N値と粘着力の関係



N値とqc値の関係



N値と変形係数EBの実測例

オランダ式二重管コーン貫入試験

<概要>

オランダ式二重管コーン貫入試験は静的コーン貫入抵抗(qc値)を求める目的で実施する。

<講習内容>

①試験器の説明

②試験実習

ハンドルを回転させてコーンを押し込み、プルトン管のゲージを読み込む。

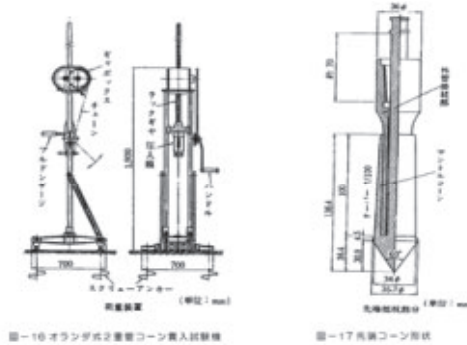


図-16 オランダ式二重管コーン貫入試験機

図-17 両管コーン形状



オランダ式二重管コーン貫入試験

<試験実施上の留意点、ポイント>

①当試験は主として軟弱層を対象として行われる。軟弱層の場合、標準貫入試験のN値よりは精度が高いが、人力で行うため、密な砂質土、礫質土あるいは岩盤では貫入不能となるケースとなる。

②マントルコーンは外管接続部およびこれらと滑らかに摺動できるものとし、錆びたコーン、軸部の変形したコーン、摩擦したコーン(磨耗長さ1mm以上)は即時交換する。

③据付けは鉛直とし、測定中にも常に鉛直性を保持する。路線調査等では、キャリアーに設置して使用される場合が多い。

④貫入速度は1cm/秒とする。測定間隔はJISでは25cm間隔とされているが10cm毎に測定することで精度の高い測定が可能となる。

⑤ロッド引抜き後の水位を測定する。水位が不明な場合は「不明」、水位がない時は「なし」と明記する。



試験器を取り付けたキャリアー

孔内水平載荷試験

<試験の概要>

孔内水平載荷試験は、ボーリング孔の壁面を加圧し、孔壁の変形量(孔壁の膨大量)を測定することによって地盤の強度及び変形特性を求める試験である。

<講習内容>

①試験の概要説明

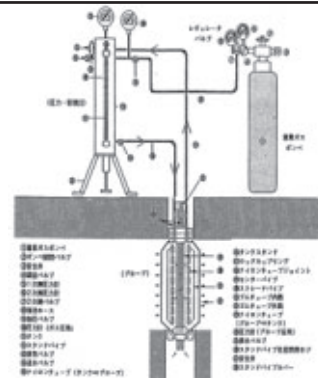
②試験実習

作成したボーリング孔加圧制御と測定

③解析手法の説明

測定値を黒板に記載。

測定データの大まかな読み取り方法や試験終了の判断手法を解説(下写真)。



試験装置(LLT)

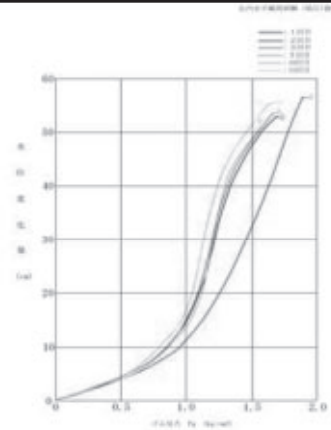


試験実習状況

孔内水平載荷試験

<実習のポイント>

- ①新品のゴムチューブは、ゴム反力が過大であるため、試験前に連続4回程度ならし膨張してから使用する。ゴム反力と水位低下量の関係を調べ、結果のとりまとめに反映しなければならない。
- ②ゴムチューブの使用にあたっては、破損・汚れ・ピンホールなどに特に注意する。
- ③試験地盤は単一土層とし、2層地盤になる場合、試験位置を調整または変更する。
- ④加圧ステップと、圧力計の適用は土質やN値を参考にして決定する。
- ⑤孔径60mmの孔内水平載荷試験機で得られた変形係数は過小になる傾向があるとされる研究報告もあるため試験地の吟味が必要である。



水位低下量とゴム反力の関係

N値と加圧ステップの設定例

| 土質 | 粘土・泥炭 | | | | 砂・礫 | | | | 火山灰 | | | |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N値 | 40以下 | 50~60 | 70~80 | 90以上 | 40以下 | 50~60 | 70~80 | 90以上 | 40以下 | 50~60 | 70~80 | 90以上 |
| 加圧ステップ | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.1 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.1 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.1 |
| 圧力計 | 10kPa | 20kPa | 30kPa | 100kPa | 20kPa | 30kPa | 100kPa | 200kPa | 100kPa | 200kPa | 300kPa | 300kPa |

孔内水平載荷試験

実習結果

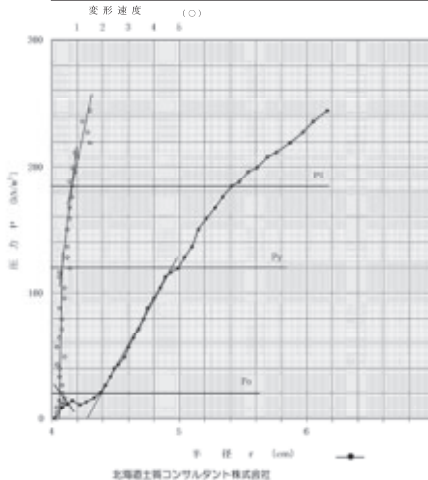
後日、解析結果を講習会参加者に配布

孔内水平載荷試験記録表

| 試行 | 圧力 | 変位 | 圧力 | 変位 | 圧力 | 変位 | 圧力 | 変位 | 圧力 | 変位 | 圧力 | 変位 |
|----|----|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|----|----|
| 1 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 2 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 3 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 4 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 5 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 6 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 7 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 8 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 9 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 10 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 11 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 12 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 13 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 14 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 15 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 16 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 17 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 18 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 19 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 20 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 21 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 22 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 23 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 24 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 25 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 26 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 27 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 28 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 29 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 30 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 31 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 32 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 33 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 34 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 35 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 36 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 37 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 38 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 39 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 40 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 41 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 42 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 43 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 44 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 45 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 46 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 47 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 48 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 49 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |
| 50 | 20 | 0.05 | 120 | 0.15 | 184 | 0.25 | 1260 | 0.45 | 25.7 | 0.50 | | |

孔内水平載荷試験結果図

| | | | |
|------------|-------------------------|---|---------------------------------------|
| 業務名 | 2012年度 ボーリング調査 技術講習会 | 試験年月日 | 2012年9月29日 |
| 試験番号 | L-1-1 | 載荷試験機 | 最大加圧能力 2.5 MN/m ² 直径 80 mm |
| 試験深度 | 3.00 m ~ 3.60 m | 試験地盤 | 砂質粘土, N = 1/30 |
| 静止土圧 p_0 | 20 kN/m ² | $K_0 = \frac{p_0 - p_v}{p_v - p_v} \dots$ 実測K値 | $r_0 = 4.39$ cm |
| 降伏圧 p_v | 120 kN/m ² | $= \frac{120 - 20}{0.0094 - 0.0050} = 19100$ kN/m ² | $r_v = 4.94$ cm |
| 極限圧 p_L | 184 kN/m ² | $E_0 = (1 + \mu) r_m K_0$ | $r_m = \frac{r_0 + r_v}{2} = 4.67$ cm |
| 変形係数 E_0 | 1260 kN/m ² | $K_0 = \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{2r_0(r_m - r_0)}{r_0^2}} K_0$ | $\mu = 0.50$ |
| 比K値 K_0 | 25.7 MN/m ² | | |



シンウォールサンプリング

<概要>

シンウォールサンプリングは土の乱さない試料を採取する目的で実施する。講習では、固定ピストン式シンウォールサンプラーを対象とした。

<講習内容>

- ① 試験器の説明
- ② 試料採取の実地
ボーリングマシンによる採取
- ③ 採取した試料の観察
サンプリングチューブを切断、押し出して試料を観察

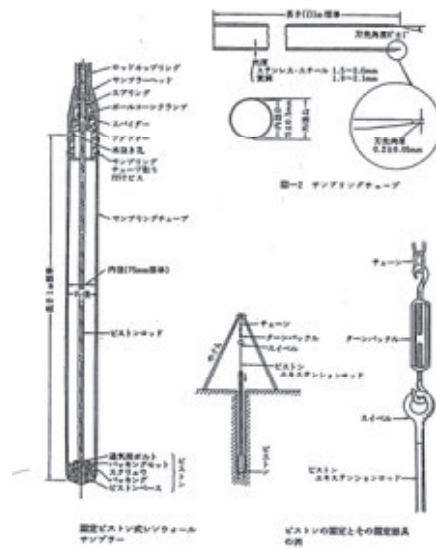


図-14 シンウォールサンプリング装置

シンウォールサンプリング

<実習ポイント>

乱れの少ないサンプリングを実施するために

- ① サンプリング深度までの処置
採取深度の直上では標準貫入試験やコア採取は行わない。(コア採取を行わない)
- ② 品質管理の重要性
ピストンロッドの押し込み長と採取長さでチェックする。両者の比率(全採取変形比)が小さくなるほど試料が圧縮された可能性が高くなる。
- ③ 再サンプリングの実施
 - ・全採取試料変形比が98%未満の場合。
 - ・採取時に乱されたと思うもの。(刃先の損傷具合等から判断する)
 - ・スライムが多く、試料長の不足や乱れが予想されるもの。
 - ・採取実長が60cm未満のもの。(但し、別途指示によるものは除く)

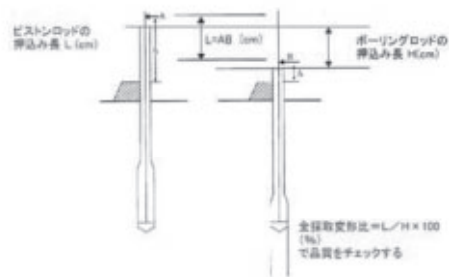


図-15 押し込み量測定と品質管理

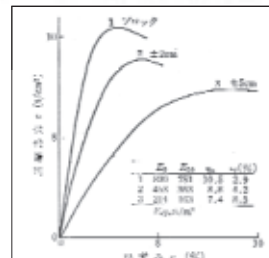


図 6.25 試験の乱れと一輪貫入試験 A (西村未起出版社)

ピートサンプリング

<概要>

泥炭を採取する専用の採取器で、人力で作業が可能である(写真1)。

採取器は直径3.5cmの筒にカバーが着いたもので(写真2)、カバーを閉じたままサンプラーを人力で地面に押し込み、これを回転させてカバーを開き、カバーの刃で泥炭をサンプラーに掻きこむようにして採取できる。一回の採取深度は50cmであり、柔らかい粘土も採取が可能である。

<内容>

実演と実習、採取試料の観察

<ポイント>

緩い砂質土や礫質土の採取はできないが、低費用でできることが最大のメリットの1つである。

採取した試料で自然含水比や土粒子密度などの土質試験に使用することが可能である。



写真1 作業状況

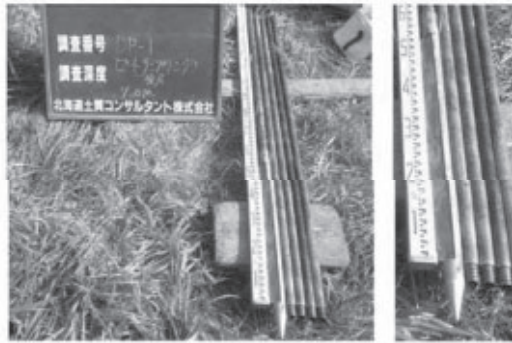


写真2 ピートサンプラー器具(左)と先端部(右)

モノレール仮設

<概要>

モノレールとはエンジンを搭載し、レール上を走向する運搬用貨物のことで、昭和40年代に農業用運搬機として普及した。その後、多くの改良がなされ、地質調査の資材運搬に利用されている。

<実習内容>

- ①概要とレール仮設のポイント説明
- ②レールの仮設(実習)
支柱の打ち込み、ボルト締め他
- ③実施走行(見学)



溪流部



作業歩道脇

モノレールの仮設例

モノレール仮設

<ポイント>

- ①現地踏査を行って、作業計画を立案する。キャリア運搬、自走、索道など他の方法と比較を行って採用の可否を検討する。
- ②現場条件にもよるが20～30m程の間隔でレールや支柱の部材を敷設。
- ③曲線となる場合は部材を上下、左右に曲げて、ルートを作成する。



仮設実習



実地走行

速度検層

<概要>

速度検層はP波とS波の2種類の弾性波が地盤を伝播する速度を、ボーリング孔を利用して求める方法である。
ダウンホール法でカケヤによる板たたきで起振した。

<講習内容>

- ①試験器の説明
- ②試験実習(板たたき)
- ③波形の観察



板たたき実習

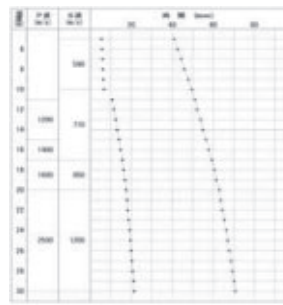
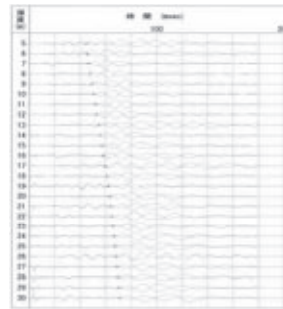


波形確認

速度検層

<実習ポイント>

- ①使用する板は厚さ20～30cm、長さ2～3mで地面に密着させる。
- ②P波とS波はそれぞれ別々に測定する。S波は板の一方とその反対方向の2回測定し、両者の波形が反転していることを確認して、次の深度に進む。
- ③波形が反転していない場合は、板や受信機の設置状況を確認する。現地で、波形の状態を確認することが重要で、深度毎の到達時間を記録しておくことが大切である。
- ④サンプリング間隔、感度の設定法
土質、岩質に適応したサンプリング間隔や感度の設定が重要である。



ボアホールスキャナー

<概要>

ボアホールカメラや超音波スキャナーはボーリングの孔壁、または管内全周の画像を深度情報とともに精密に記録でき、画像から割れ目などの傾き・方向(走向と傾斜)を算出することが出来る。

<講習内容>

- ①試験器の説明
- ②測定状況の実習
- ③解析画像の観察



測定状況

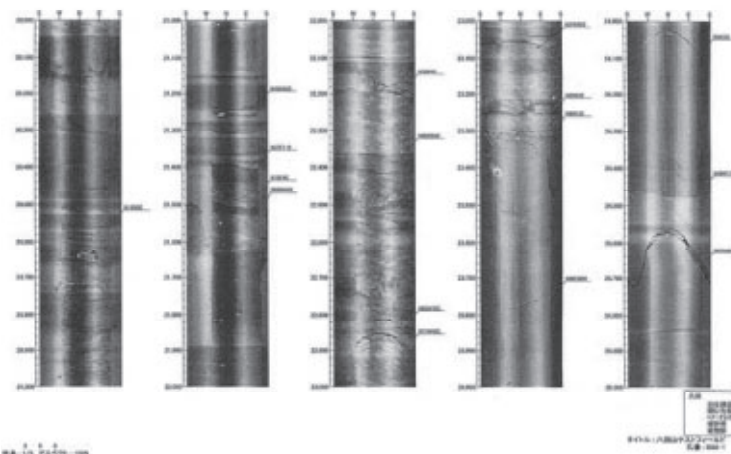


解析画像の確認

ボアホールスキャナー

<実習ポイント>

- ①測定速度の調整
- ②試験や解析内容の概要把握



解析画像(八剣山)

おわりに

今回報告致しましたボーリング現場技術講習会は、平成19年から始まり6回が終了いたしました。次年度以降も、この取り組みを進めたいと考えております。

ご静聴、有り難うございました。



八剣山

本日の話題

はじめに

1. 東日本大震災による被害調査の概要
2. 東日本大震災の井戸被害状況とその対策
3. 地震災害等における地下水を利用した地域防災計画
(給水及び防火用水)の取り組み
4. 地下水の有効利用の提案
おわりに

2

東日本大震災による井戸の被害調査結果報告Ⅱ 一 震災時における地域防災計画(給水計画)の提言一

第51回試錐研究会

平成25年2月21日
(社)全国さく井協会 東日本大震災被害調査委員会
北海道支部 支部長 石塚 学

- 45 -

はじめに

- ◆ 平成23年3月11日に発生した東日本大震災は、地震と津波による複合災害で岩手県をはじめ東北各県に甚大な被害を及ぼした。
- ◆ この被災県内の水道水源用井戸をはじめとした井戸開発・保全に係ってきた協会会員は、地震発生直後から被災地に入り緊急点検を実施するなどの活動をおこなった。
- ◆ 平成23年4月には、この支援活動を有効かつ機能的に実施するため協会内部に「東日本大震災被害調査委員会」を設置し、関係機関と協議しつつ調査体制などを定め現地調査を実施した。
- ◆ この調査結果については、平成24年7月に「東日本大震災による井戸の被害調査報告書」として公表した。
- ◆ 本報告では、水井戸被害の発生状況を地震と津波に区分し、浅井戸と深井戸及び井戸形状等による被害の要因分析をするとともに、今回の調査で得た教訓から井戸施設に関する被害の特徴と対策を考察し、今後の防災対策上で考慮しなければならないことをまとめたものである。
- ◆ さらに、平成7年1月の阪神・淡路大震災以降、震度7クラスの地震をはじめとする自然災害が次々と発生してきているなかで、防災井戸や災害応急井戸の果たす役割など地下水の有効利用・活用について実施例等を整理した。
- ◆ また、本報告書【Ⅱ】の別冊として、被災地では、今もなお30万人以上が避難生活を余儀なくされ、復旧・復興への加速化が切望されている状況にある。(社)全国さく井協会として復興に向けて、「地下水情報を的確に伝え、地下水を有効に活用し復興に資するための一助」として「福島県・地質・地下水分布図」を作成した。
- ◆ この別冊資料は、福島県における地下水資源の分布状況を、(独)産業総合研究機構から提供を受けたシームレス地質図に被害調査井戸データや既存井戸資料等を数値加工し反映させたもので、地震・津波に原子力発電所事故が重なった被災地域の生活基盤等の復旧・復興に向けた課題解決に寄与できれば幸甚である。

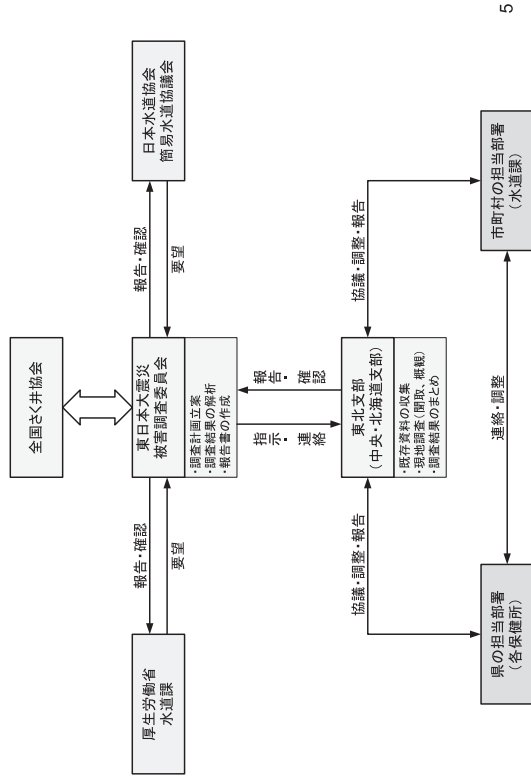
3

1. 東日本大震災による被害調査の概要

4

1.1 調査の方法

支援活動の体制



井戸の被害調査数量

- ◆東北6県のアンケート調査結果、261本の井戸について結果を得た。
- ◆秋田県内では「井戸障害の発生情報」は無かった。
- ◆山形県内では19本の調査井戸の内4本の障害(水量の減少、一時的濁り等)
- ◆ここでは、被害の大きかった東北4県(青森・岩手・宮城・福島)のアンケート調査及び聞き取り調査で結果を得た242本の井戸の内、水井戸の234本のデータをを用いて整理・解析を実施した。

| 地域 | 青森 | 岩手 | 宮城 | 福島 | 計 |
|-------|----|----|----|----|-----|
| 水井戸 | 45 | 83 | 46 | 60 | 234 |
| 温泉井戸 | 3 | 0 | 1 | 4 | 8 |
| 調査井戸数 | 48 | 83 | 47 | 64 | 242 |

1.2 被害調査の結果

調査結果総括一覧(県別)

| 被害 | 井戸別被害箇所数 | | | | 小計 | | 計 | | 合計 | |
|----------|----------|----|----|----|-----|------|-----|------|-----|------|
| | 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 | 100 | 234 | 100 | | |
| 被害なし | 43 | 65 | 31 | 57 | 196 | 83.8 | 196 | 83.8 | 234 | 100 |
| 被害あり⇒復旧 | 塩水化 | 0 | 4 | 3 | 不明 | 7 | 2.9 | 8 | 3.4 | |
| | 揚水設備破損 | 0 | 1 | 不明 | 1 | 0.4 | 1 | 0.4 | | |
| | 水量減少 | 0 | 1 | 6 | 1 | 16 | 6.6 | 17 | 7.3 | 221 |
| | 濁り | 1 | 8 | 6 | 1 | 16 | 6.6 | 17 | 7.3 | 94.4 |
| 被害あり⇒未復旧 | 井戸破損 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | | |
| | 揚水設備破損 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | | |
| | 塩水化 | 0 | 2 | 1 | 不明 | 3 | 1.2 | 8 | 3.4 | 13 |
| | 井戸破損 | 0 | 0 | 1 | 不明 | 1 | 0.4 | 4 | 1.7 | 5.6 |
| 被害あり⇒未復旧 | 揚水設備破損 | 0 | 2 | 2 | 不明 | 4 | 1.7 | 5 | 2.1 | |
| | 濁り | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0.8 | 3 | 1.2 | |
| 地震 | 井戸破損 | 1 | 0 | 2 | 1 | 3 | 7.2 | 5 | 2.1 | |
| 地域 | | | | | | | | | | |
| 青森 | | | | | | | | | | |
| 岩手 | | | | | | | | | | |
| 宮城 | | | | | | | | | | |
| 福島 | | | | | | | | | | |
| 4県全体 | | | | | | | | | | |
| 調査井戸数 | | | | | | | | | | |
| 被書箇所数 | | | | | | | | | | |
| 被書率% | | | | | | | | | | |
| 被書箇所数 | | | | | | | | | | |
| 被書率% | | | | | | | | | | |
| 被書あり | | | | | | | | | | |
| 被書率% | | | | | | | | | | |

県別井戸被害発生率一覧

整理方法

- ◆被災県ごとに調査井戸を、被災なし、被害を受けたものの復旧した井戸、調査時点で未復旧な井戸に分けた。

被害なし
 被害あり⇒復旧
 被害あり⇒未復旧

- ◆さらに、被害を受けた井戸の主たる原因を「津波」と「地震」に区分けするとともに、井戸の種類・構造の違いによる被害状況を、「井戸の形状別被害箇所」として明らかにした。

- ◆井戸の形状は、鉄筋コンクリート造りの井筒式浅井戸(口径1~6m)を「RC井筒」、ケーシング式(口径1m以下)の浅井戸(深度30m以下)を「CP浅井」、深井戸を「CP深井」と表現した。

- ◆また、調査井戸に対する被害井戸の割合をパーセントで示した。

- ◆被害を受けた井戸について、その状況を示した。

調査結果総括一覧(井戸形状別)

| 被害区分 | 被害 | | 井戸の形状別被害箇所数 | | 合計 | | 利用可能井戸数 | | |
|---------------|------------|--------|-------------|------|-----|-----|---------|------|-------|
| | 要因 | 被害区分 | RC井筒 | CP深井 | 小計 | 箇所数 | % | 箇所数 | % |
| 調査井戸数 被害なし | | | 45 | 22 | 167 | 234 | | 234 | 100.0 |
| | | | 28 | 19 | 149 | 196 | | 196 | 83.8 |
| 被害あり⇒復旧 | 津波 | 塩水化 | 4 | 1 | 2 | 7 | | | |
| | | 井戸破壊 | | | | | 8 | 3.4 | |
| | 揚水設備破損 | 1 | | | 1 | | | | |
| | 水量減少(水位低下) | 1 | | | 1 | | | | |
| 地震 | 濁り | 7 | 1 | 8 | 16 | | 25 | 10.7 | |
| | 井戸破損 | | | | | 17 | 7.3 | | |
| 被害あり⇒未復旧 | 津波 | 揚水設備破損 | | | | | | | |
| | | 塩水化 | 3 | | | 3 | | | |
| | 井戸破壊 | 1 | | 1 | 1 | 8 | 3.4 | | |
| | 揚水設備破損 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 13 | 5.6 |
| 地震 | 井戸破壊 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| | 揚水設備破損 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |

井戸の形状別被害発生率一覧

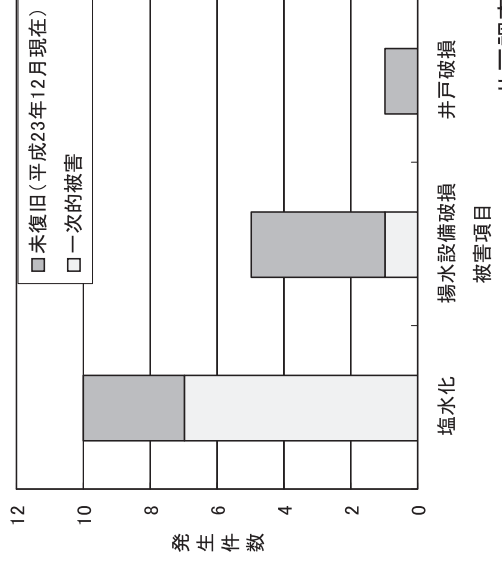
| 被害区分 | 井戸形状 | | 深井戸 | | 井戸全体 | |
|------|------|------|-------|------|-------|------|
| | RC井筒 | CP深井 | 調査井戸数 | 被害あり | 調査井戸数 | 被害あり |
| 津波 | 被害あり | 被害あり | 67 | 11 | 167 | 234 |
| | 被害率% | 被害率% | 45 | 22 | 167 | 234 |
| 地震 | 被害あり | 被害あり | 16 | 5 | 16 | 16 |
| | 被害率% | 被害率% | 9 | 2 | 5 | 16 |
| 全体 | 被害あり | 被害あり | 13 | 10 | 12 | 22 |
| | 被害率% | 被害率% | 13.4 | 9.1 | 3.0 | 6.8 |
| 全体 | 被害あり | 被害あり | 8 | 2 | 12 | 22 |
| | 被害率% | 被害率% | 14.9 | 7.2 | 9.4 | 9.4 |
| 全体 | 被害あり | 被害あり | 21 | 17 | 17 | 38 |
| | 被害率% | 被害率% | 31.3 | 10.2 | 16.2 | 16.2 |
| 全体 | 被害あり | 被害あり | 17 | 4 | 17 | 38 |
| | 被害率% | 被害率% | 37.8 | 18.2 | 10.2 | 16.2 |

2. 東日本大震災の井戸被害状況とその対策

2.1 津波による被害

| 被害区分 | 市町村 | 井戸名・住所 | 井戸構造 | 被害状況 | 井戸形状 |
|------|-----------|---------------|------------------------------|--|--|
| 塩水化 | 大磯町 | 水道事業所内 | 大口径井戸 | 津波による被害発生したが、1日程度の濁りによりRC製ピットや管柱、集水器が流失、使用不能。写真宮-5 | RC井筒 |
| | 陸前高田 | 竹輪第1 | φ800mm 深度11.7m | 津波浸水し地上装置が全て流出し井戸自体も塩水化。自家発電により揚排水し基準値以内まで低下し、給水開始。写真宮-1 | RC井筒 |
| | 気仙沼市 | 本吉町 | φ350mm 深度10m | 塩水化現象が現れた。施設自体が被災したため、仮設ポンプによる仮取水を行った。 | RC井筒 |
| | 前二陸前 | 戸倉地内 | φ1500mm 深度28m | 津波の被害を受け著しく塩水化(塩素イオン濃度182mg/L)、揚水を続け、のちに低下した。 | RC井筒 |
| | | 伊里前地内 | φ5000mm 深度6m | 津波により井戸構造自体が被災し塩水化(152mg/L) 降雨時には59mg/Lと上昇した。7月14日に24mg/Lまで低下した。のち給水再開。写真宮-3 | RC井筒 |
| | 宮古市 | 新川町24番地14/写 | φ300mm 深度60m | φ2日間の連続揚水で塩水化が解消。被災前と同様に飲料水として取水を開始した。(水質検査実施) | OP深井 |
| | | 宮古市 | 新川町25番地/宮古 | φ300mm 深度60m | φ2日間の連続揚水で塩水化が解消。被災前と同様に飲料水として取水を開始した。(水質検査実施) |
| | 陸前高田 | 長部町 | φ3000mm 深度7m | 津波浸水し地上装置が全て流出し井戸自体も塩水化、使用不能。写真宮-2 | RC井筒 |
| | | 助作地内 | φ5000mm 深度10m | 津波により井戸構造物自体の被害は無かったが、塩水化が著しい。塩素イオン濃度206mg/Lまで低下したが、給水は行っていない。(8月8日調査)写真宮-2 | RC井筒 |
| | 陸前高田 | 矢作水源 | φ3000mm 深度7m | 津波により地上装置が全て破損したが、仮揚水で水質に問題が無いことを確認。写真宮-3 | RC井筒 |
| | | 坂元地内の津原井 | φ250mm 深度100m | 津波によりRC製ピットや管柱、集水器が流失、使用不能。写真宮-5 | OP深井 |
| 山元町 | 坂元地内の津原井 | φ250mm 深度100m | 津波により制御盤が傾き、フェンス破損。当時は運転せず | OP深井 | |
| | 坂元地内の津原井 | φ300mm 深度100m | 津波が浸水し、井戸の所在するわからなくなった。写真宮-4 | OP深井 | |
| 宮古市 | 坂元地内の津原井 | φ200mm 深度12m | 津波で施設が全損し揚水不能となった。 | OP深井 | |
| | 北に位置する浪飯水 | 水源地 | 津波により壊滅的な被害。 | RC井筒 | |

津波による被害発生件数



2.1.1 塩水化の原因と対策

塩水化した井戸のほとんどは井戸口元から海水が流入

一時的な被害

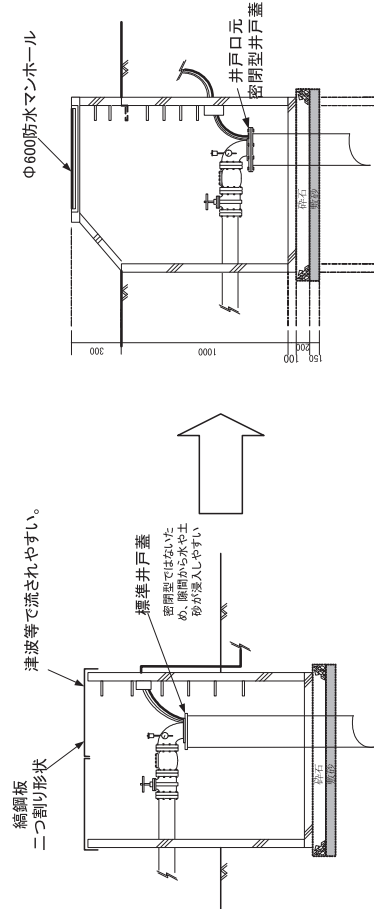
防水対策が必要

塩水化が改善されない井戸は、帯水層の塩水広域汚染や地盤沈下による塩水淡水境界面の変化などの原因が考えられる

障害が発生している地域で塩水化発生の原因調査を実施して、適切な対策（井戸の洗浄方法、塩水化を発生させない安全揚水量＝限界水位低下量の検討など）を立案する必要がある

13

ケーシング式井戸ピット



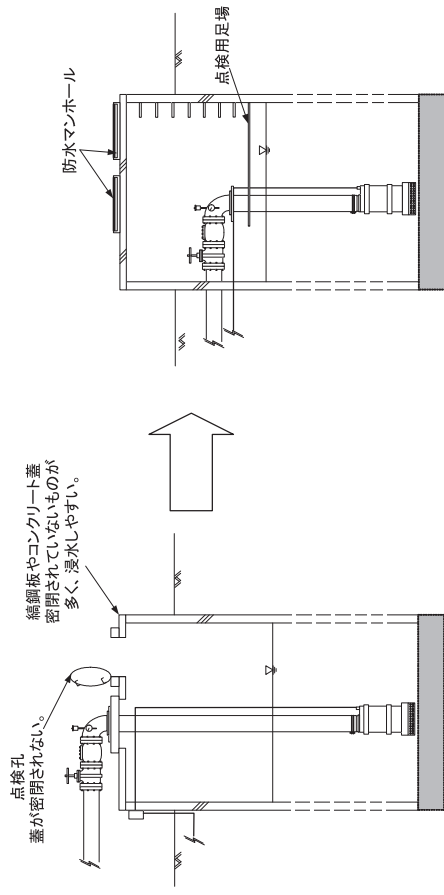
多く見られる構造

ピット及び井戸蓋を
防水構造とする事が望ましい

15

井戸ピット・口元の防水対策

鉄筋コンクリート造りの井筒式浅井戸

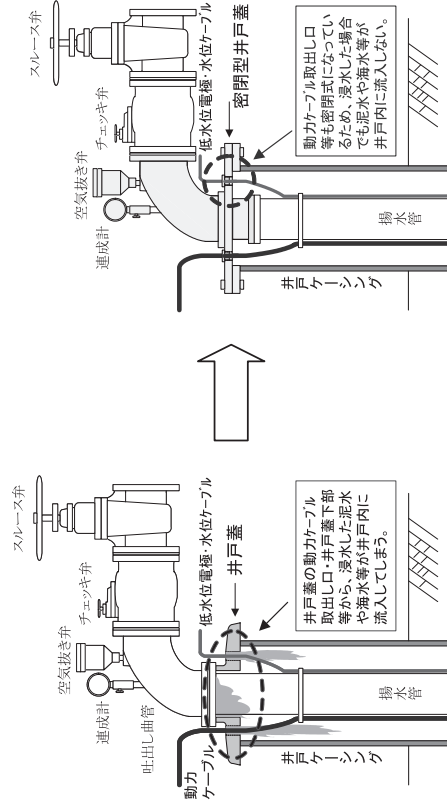


多く見られる構造

井戸そのものを防水構造とする事が望ましい。

14

ケーシング式井戸 井戸蓋



一般的井戸蓋

密閉型井戸蓋

16

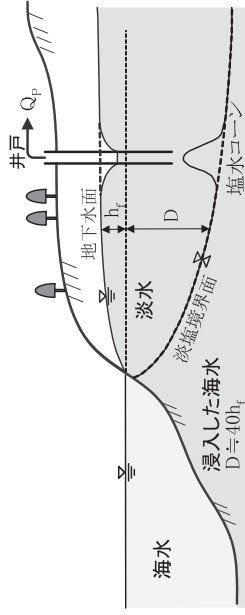
2.1.2 地下水塩水化のメカニズム

- ◆ 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-ヘルツベルグ(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、「 $D = 40 \times h_f$ 」となる。これは、 h_f 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到達した際に発生する。

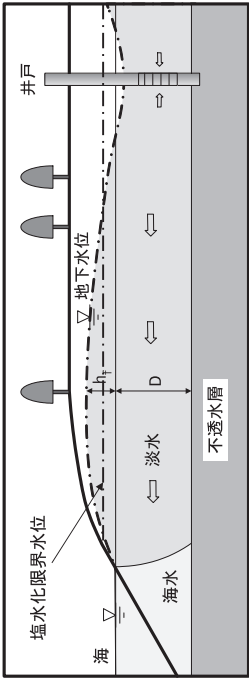


17

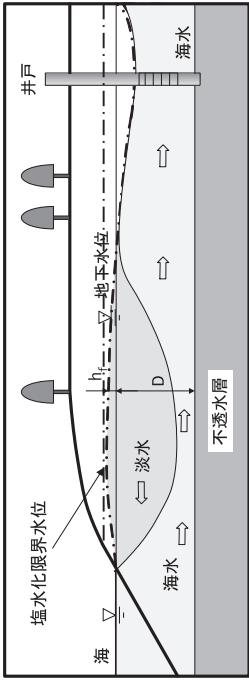
図1.1 海岸付近の塩水化の概念図(不圧)

(1) 帯水層下部に不透水層がある場合(不圧)

海までの間に
 $hf > D \div 40$
 の条件を有する区間があれば塩水化は発生しない



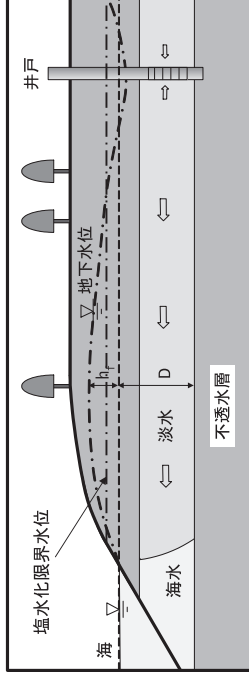
海までの間に
 $hf > D \div 40$
 の条件を有する区間がなくなれば塩水化が発生する



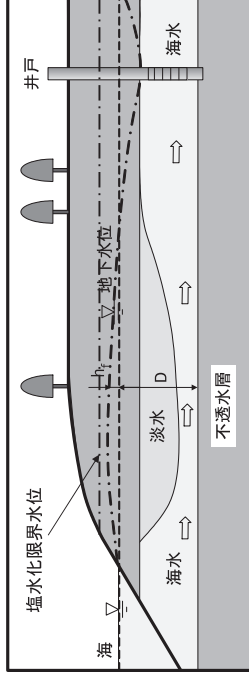
※ただし、調査地に河川がある場合、河川内への海水流入(塩水ウサビ)の状況を調査・検討する必要がある。18

(2) 帯水層上下部に不透水層がある場合(被圧)

海までの間に
 $hf > D \div 40$
 の条件を有する区間があれば塩水化は発生しない

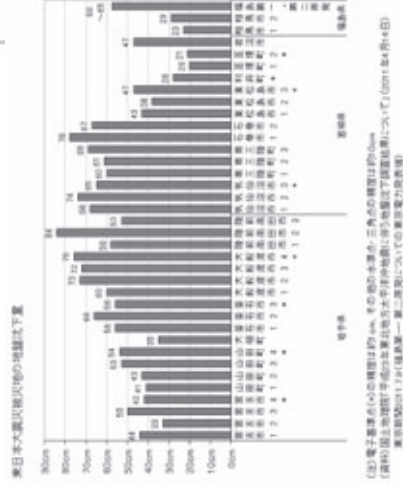


海までの間に
 $hf > D \div 40$
 の条件を有する区間がなくなれば塩水化が発生する



19

地盤沈下

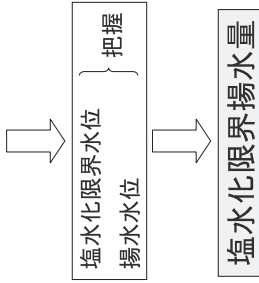


20

2.1.3 地下水塩水化検討の手順例

海までの間に $hf > D \div 40$ の条件を満たせば、塩水化は発生しない

- ① 水理地質構造(帯水層の構造)を把握する。
- ② 海の潮位と地下水・河川水位との関係を把握する。
- ③ 揚水水位を精度高く予測、確認する。



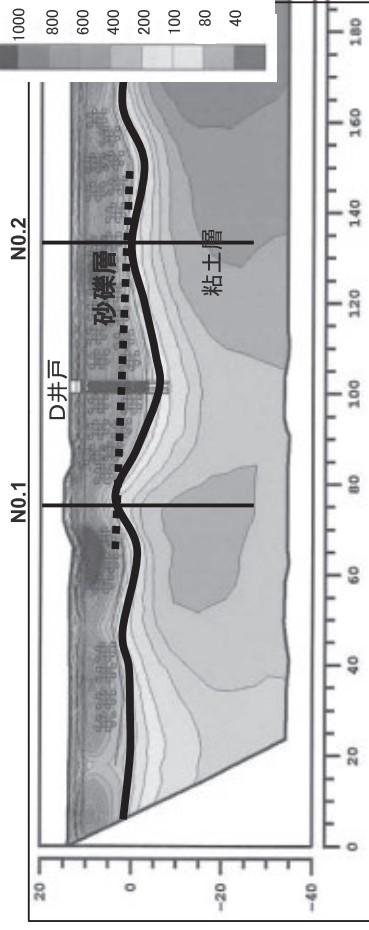
21

① 水理地質構造の把握

- ◆ 既存資料の収集・検討
- ◆ 電気探査
- ◆ ボーリング調査

電気探査(比抵抗2次元探査)の一例

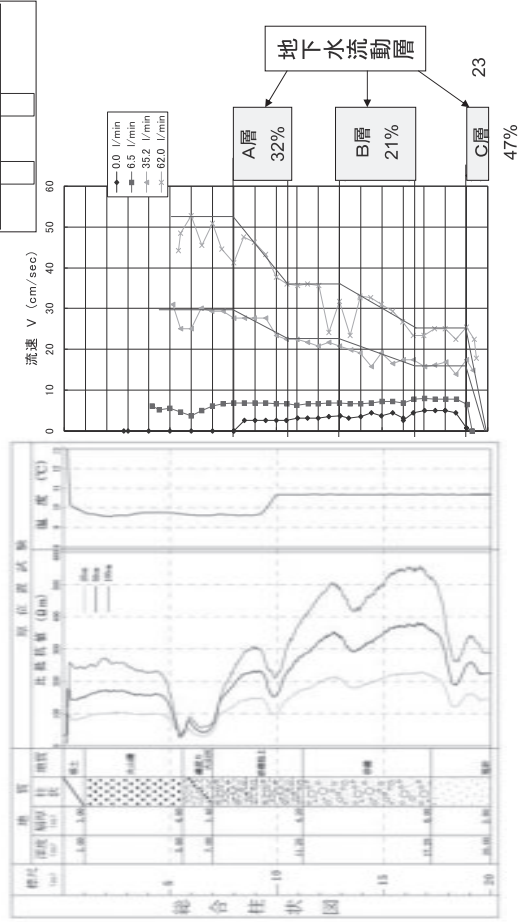
従来の電気探査(垂直探査)は点の調査であり、D井戸地点のような砂礫層の凹みは検出できなかつたが、比抵抗2次元探査は比抵抗値を面の映像で捉えることが可能となり、細かな地層の変化も解析可能となった。



高い⇒粘土少い⇒透水性(水通し)高い
↑
比抵抗値
↓
低い⇒粘土多い⇒透水性(水通し)低い

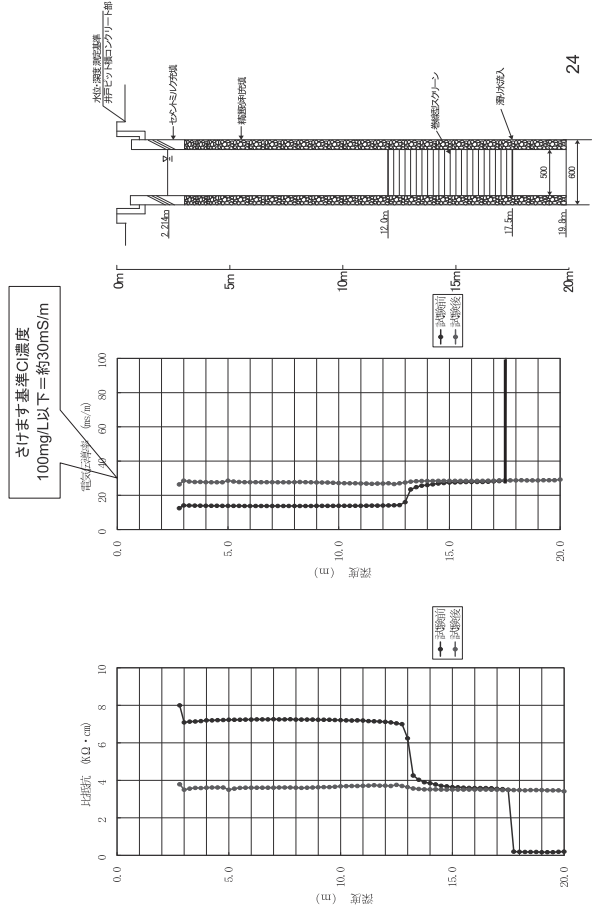
ボーリング調査結果図(例)

微流速検層で確認された地下水流入層の、深度別地下水サンプリングを実施することで、各層の水質を把握することができる。



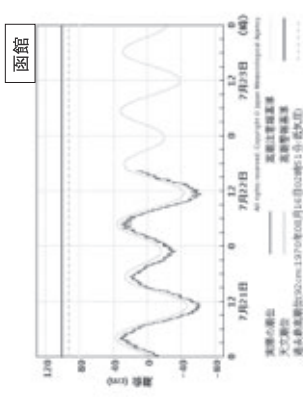
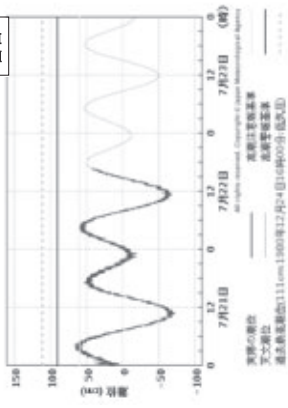
47%

塩水化調査(地下水検層)の事例

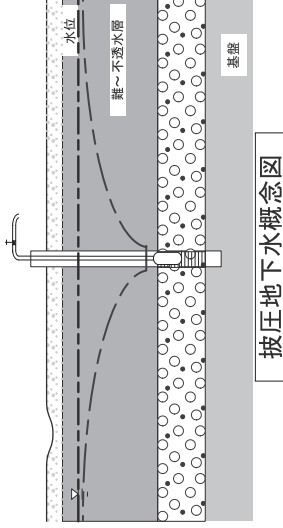


② 海の潮位と地下水水位・河川水位との関係を把握

潮位観測データ
 実測
 気象庁等
 公開データ

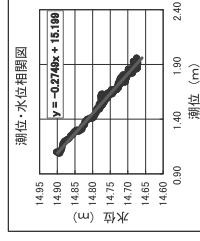


- 海岸付近において不圧地下水の水位は、潮汐の影響(感潮度)を受けて少し変化するが、海岸および河口から内陸に入ると感潮度は急激に減少する。
- これに反して、被圧地下水は、水で飽和した弾性体の理論で扱いが可能なため、感潮度が大きく、その影響は数km内陸まで及ぶことがある。



被圧地下水概念図

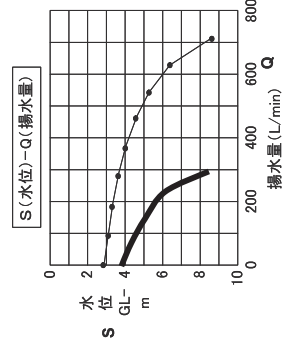
潮位-地下水水位相関図を作成し、地下水水位を補正



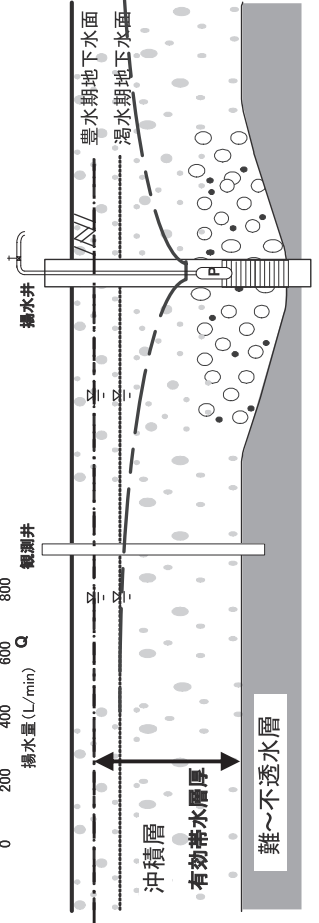
26

③ 揚水水位を精度高く確認・予測する。

地下水は基本的に非定常
 不圧地下水の自然水位は季節的に変動する



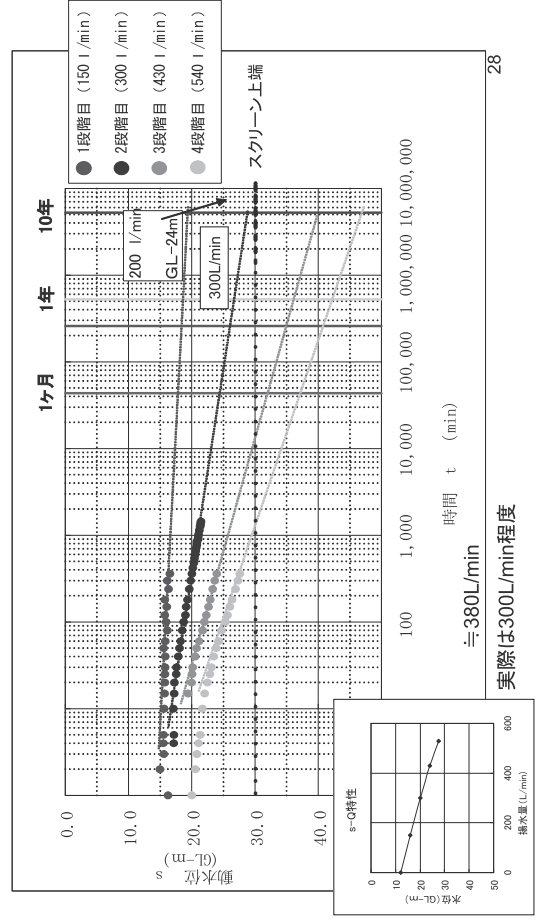
長期的水位低下の予測
 自然水位の季節的変動の把握
 (主に不圧地下水)



長期的水位低下予測(例)

(被圧地下水)

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。



実際は300L/min程度

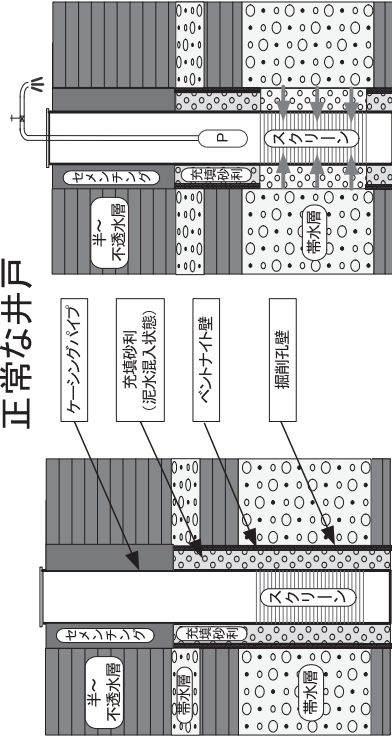
28

2.2 地震による被害

| 被害区分 | 市町村 | 井戸名・住所 | 井戸構造 | 被害状況 | 井戸構造 | |
|---|--|-------------------------------------|--|--|--|--------------------------------|
| 水 漏 れ ・ 井 戸 破 壊 ・ 汚 濁 | 一市町 一市町 一市町 一市町 一市町 一市町 一市町 一市町 一市町 一市町 一市町 一市町 一市町 一市町 | 弥生字小田木 | φ300深さ20m | 井戸内に異物発生し、排水発生。異物の原因は不明。 | RC井筒 | |
| | | 中里字新川原 | φ600深さ8.2m | 異物が発生したが一時閉鎖して使用再開した。ひびく等の被害で濁りが発生しややくびれた。 | RC井筒 | |
| | | 千原町真玉字一の里川原地 | φ5000深さ5m | 一時的に濁りが発生したが1日程度の濁水で正常に戻った。 | RC井筒 | |
| | | 東山町三ツ子 | φ5000 深さ7m | 一時的に濁りが発生したが1時間程度の濁水で正常に戻った。 | RC井筒 | |
| | | 東原町 | φ1500深さ3.3m φ1500深さ3.3m φ6000深さ31m | 一時的に濁りが発生したが1時間程度の濁水で正常に戻った。 一時的に濁りが発生したが、排水発生後、濁りが発生したが、約半日で濁水で正常に戻った。 | RC井筒 RC井筒 CP深井 | |
| | | 一市町 | 弥生字小田木 | φ150深さ30m | 排水発生後、濁りが発生したが一時閉鎖して使用再開した。ひびく等の被害で濁りが発生しややくびれた。 | CP深井 |
| | | 早島町 | 半葉字馬場戸内 | φ200深さ100m | 排水発生後、濁りが発生したが一時閉鎖して使用再開した。ひびく等の被害で濁りが発生しややくびれた。 | CP深井 |
| | | 加美町 | 石巻市 | φ250深さ152m φ200深さ150m φ200深さ150m | 地震発生後、濁りが発生したが一時閉鎖して使用再開した。ひびく等の被害で濁りが発生しややくびれた。 一時的に濁りが発生したが、3時間程度の濁水で正常に戻った。濁水で電気系統が正常に動作しなくなった。 一時的に濁りが発生したが、2日程度の濁水で元に戻った。 | CP深井 CP深井 CP深井 |
| | | 石巻市 | 石巻市 | φ200深さ150m | 一時的に濁りが発生したが、2日程度の濁水で元に戻った。 | CP深井 |
| | | 一市町 | 長家の榎村水戸戸の茶臼 | φ1500深さ3.0m | 濁りが取れない状態が継続している。 | CP深井 |
| | | 一市町 | 利府町 | 藤原字内/月北地 内 | 1000L分以上的に濁水に濁りが生じている。濁水量を減じて使用する。 | CP深井 |
| | | 中泊町 | 尾別 | φ300 深さ100m | 排水発生後、濁りが発生したが一時閉鎖して使用再開した。ひびく等の被害で濁りが発生しややくびれた。 | CP深井 |
| | | 一市町 | 国見町 | 石井田 | φ250 深さ101.5m | CP深井 |
| | | 一市町 | 一市町 | 藤原町海老塚ノ 橋下10号地1 | φ500 深さ6.8m | 水量減少⇒地震発生後排水量が約半分減少したが、継続して使用。 |
| 一市町 | 大和町 | 藤原大字平野川 上/藤原水戸井戸 株部字内/北地 内 | φ200 深さ150m φ250深さ120m | 斜線の箇所に伴って、ケーシング管が切断され、深さ10m付近、使用不能。 ケーシング管が切断され、深さ10m付近、使用不能。 ケーシング管が切断され、深さ10m付近、使用不能。 | CP深井 CP深井 | |
| 一市町 | いわき市 | 井戸内/人毛津 井水戸井戸 | φ100深さ45m | 水量減少⇒地震発生後排水量が約半分減少したが、継続して使用。 斜線の箇所に伴って、ケーシング管が切断され、深さ10m付近、使用不能。 ケーシング管が切断され、深さ10m付近、使用不能。 | CP深井 | |

2.2.1 濁水発生・水量減少の原因

正常な井戸



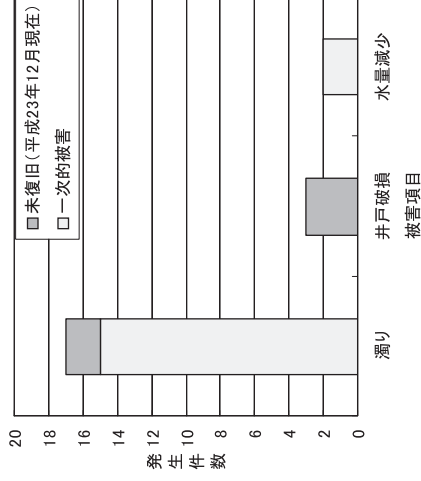
施工時 井戸洗浄前の状況

井戸洗浄前には、掘削孔壁には掘削時の泥水循環によりベントナイト壁が形成されている。また、掘削孔壁とケーシング・スクリーンの環状部には満遍なく砂利が充填されているが、この充填砂利はベントナイト泥水により満たされている。透水性は極めて低い状態となっている。

適切に仕上げられた井戸

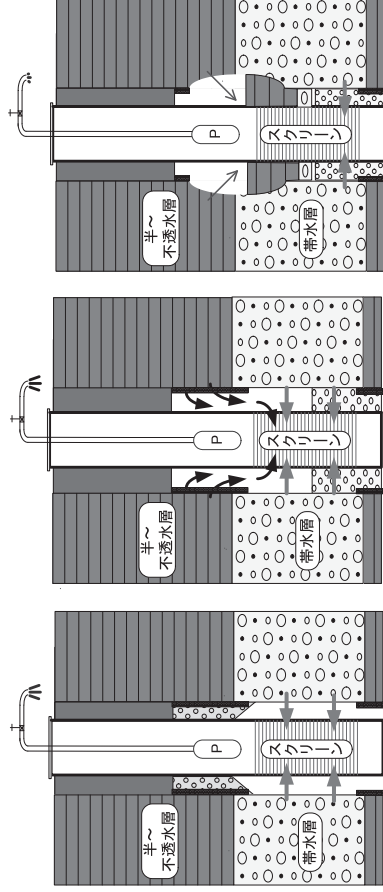
スクリーンの周辺部に充填砂利に満たされているベントナイトやペントナイト壁は、井戸洗浄により完全に除去され、地下水はほぼ水平方向（帯水層の透水性は一般に鉛直方向に比べ水平方向が10倍前後大きい）からスムーズに流入する。

地震による被害発生件数



井戸調査総数234本

濁水発生・水量減少した井戸



砂利充填不十分

スクリーンの周辺部の空洞化

地震により、空洞上部崩壊

濁水の発生

崩壊物がスクリーンの一部を閉鎖

水量の減少

土の分類と掃流限界速度

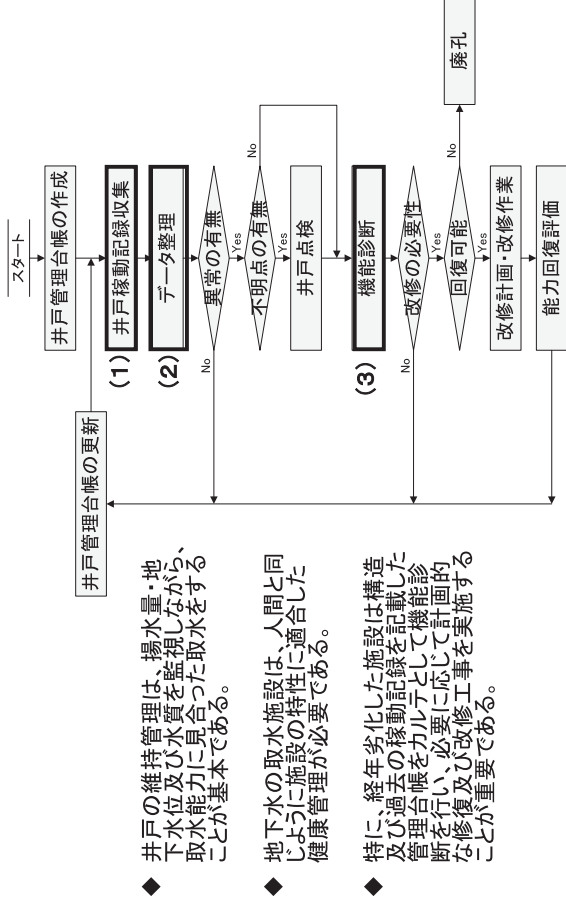
| 土の種類 | 粒径mm | 限界流速cm/s |
|------|----------|----------|
| 粗砂 | 0.25~0.5 | 1.5~1.7 |
| 中砂 | 0.65~2.0 | 1.7~3.7 |
| 細砂 | 1.0~1.5 | 1.5~1.7 |
| 荒砂 | | |

2.2.2 濁水発生・水量減少防止対策

- ◆ 濁水発生・水量減少の主因は、施工時の砂利充填不備によるスクリーン周辺部の空洞化であると考えられ、適切な施工(全国さく井協会「井戸施工指針参照)を実践することで、震災にも強い「丈夫な井戸」を確保ことは可能と判断される。
- ◆ その他、ケーシング破損による濁り発生も考えられるが、これは腐食の進行による破損などが考えられ、地震は障害発生のきっかけに過ぎないと推定される。ケーシング・スクリーンの腐食や破損の状況は、井戸の継続的な稼働記録(水位・水量・水質など)や井戸点検を実施することにより、初期の段階で発見可能である。
- ◆ 参考までに、井戸の障害を早期に発見するために、一般的な井戸管理手順について以下に説明する。

33

利用時の一般的な井戸管理

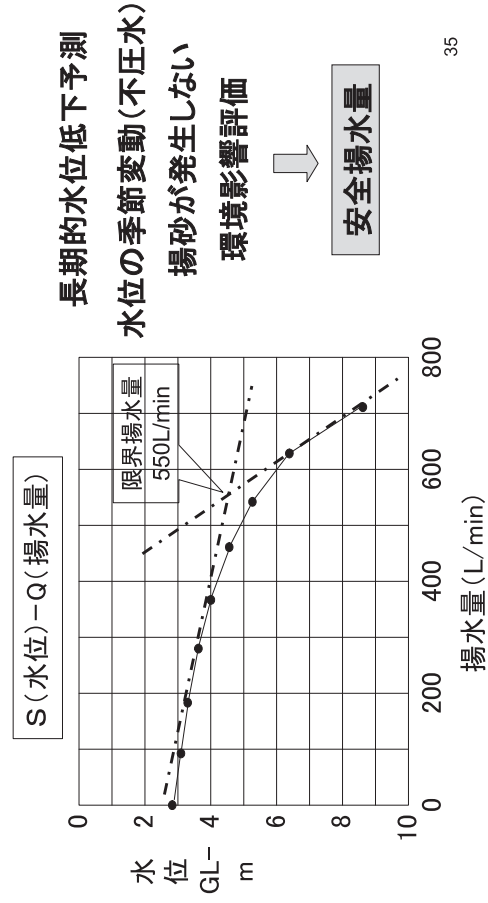


34

- ◆ 井戸の維持管理は、揚水量・地下水位及び水質を監視しながら、取水能力に見合った取水をすることが基本である。
- ◆ 地下水の取水施設は、人間と同じように施設の特性に適した健康管理が必要である。
- ◆ 特に、経年劣化した施設は構造及び過去の稼働記録を記載した管理台帳をカルテとして機能診断を行い、必要に応じて計画的な修復及び改修工事を実施することが重要である。

揚水能力評価

限界揚水量の70% → 適正揚水量 → 長期的安定的に揚水可能な量とは限らない

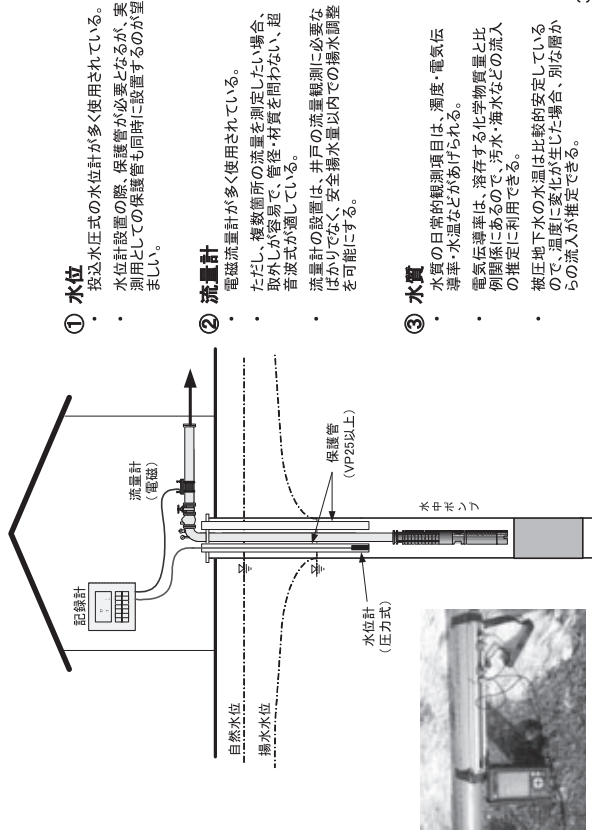


35

(1) 稼働記録の収集

- 井戸の機能診断の指標 ⇒ ①水量 ②水位 ③水質
- 機能が低下 ⇒ 一般に水量の減少、水位の低下、水質の悪化として現れる。
- したがって、井戸の異常を早期に発見するためには、この3つの要素を継続して測定することが重要である。

稼動記録装置参考構図



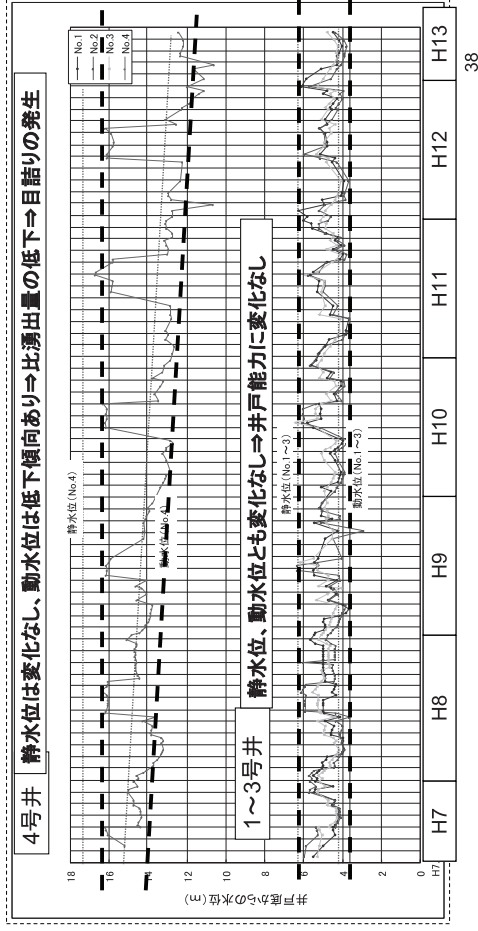
- ① 水位
 - ・ 按込水圧式の水位計が多く使用されている。
 - ・ 水位計設置の際、保護管が必要となるが、実測用としての保護管も同時に設置するのが望ましい。
- ② 流量計
 - ・ 電磁流量計が多く使用されている。
 - ・ ただし、複数箇所の流量を測定したい場合、取外しが容易で、管径・材質を問わない、超音波式が適している。
 - ・ 流量計の設置は、井戸の流量観測に必要なはかりだけでなく、安全揚水量以内での揚水調整を可能にする。
- ③ 水質
 - ・ 水質の日常的観測項目は、濁度・電気伝導率・水温などが挙げられる。
 - ・ 電気伝導率は、溶存する化学物質と比例関係にあるので、汚水・湧水などの流入の判定に利用できる。
 - ・ 補圧地下水の水温は比較的安定しているため、温度に変化が生じた場合、別な層からの流入が判定できる。

37

(2) データ整理(静水位・動水位のグラフ)の例

各井戸とも一定量揚水

井戸水位の経時変化

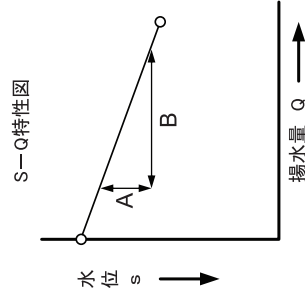


38

(3) 井戸機能診断

井戸機能診断の基礎的な指標

- ◆ 井戸の機能診断の指標となるのは、水量・水位・水質であるが、最も重要な要素は揚水量である。
- ◆ 揚水量に関して、井戸機能診断の基礎的な指標となるのは、『比湧出量』である。
- ◆ 比湧出量は、揚水量を水位降下量で割った値(右図においてB/A)であり、次式で求められる。



$$\text{比湧出量 (L/min/m)} = \frac{\text{揚水量 (L/min)}}{\text{水位降下量 (m)}}$$

$$\text{ここに: 水位降下量 (m)} = \text{自然水位} - \text{揚水水位}$$

※被圧地下水は一定、不圧地下水は自然水位の変動に伴い変化する

39

井戸機能診断の例(比湧出量・被圧)

- ◆ 比湧出量が低下している場合(図1, 2)は、スクリーンの埋没の可能性が高い。
- ◆ 当初能力の80%以下(改修可能範囲)に低下していれば、早期にリハビリテーションを実施する。

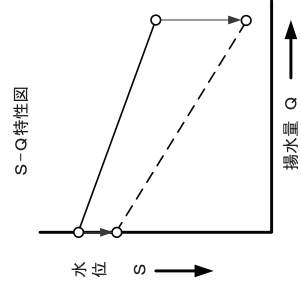


図1

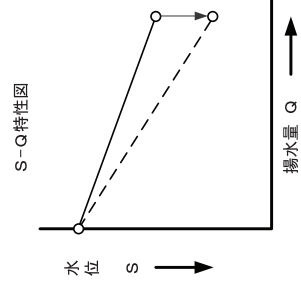


図2

井戸機能診断の例(比湧出量・被圧)

- ◆ 比湧出量が大きくなってきている場合(図3、4)は、水質の変化・揚砂の発生を伴えば、ケーシング等の破損などにより、スクリーニング区間以外から流入している可能性が高い。
- ◆ 水中カメラ等により破損箇所を確認し、内装管を設置する。

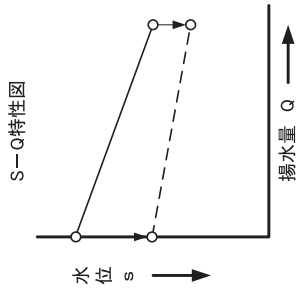


図3

41

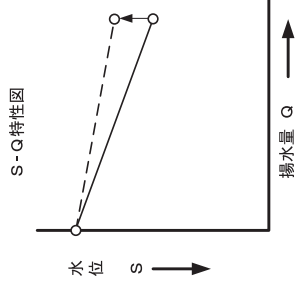


図4

井戸機能診断の例(比湧出量・被圧)

- ◆ 比湧出量は低下しておらず、静水位が低下している場合(図5)は地域全体の問題(水収支:過剰揚水による静水位の低下など)であり、改修の必要はない。
- ◆ 比湧出量は低下しておらず、静水位も低下していない場合(図6)、揚水設備または測定機器に異常が発生している可能性が高い。

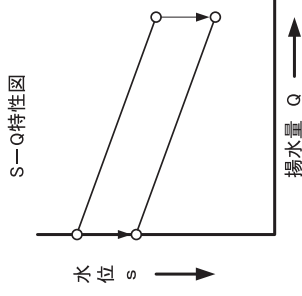


図5

S-Q特性図

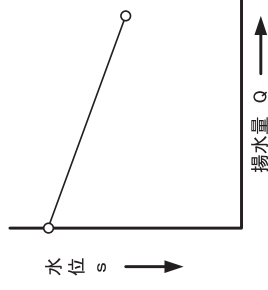
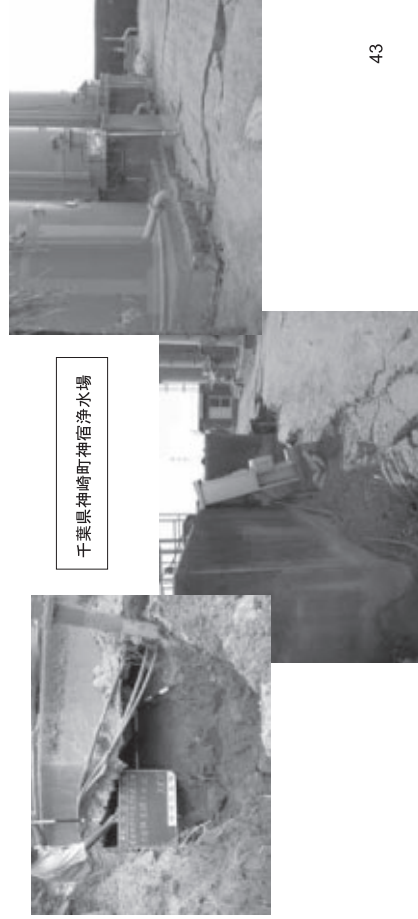


図6

42

2.3 液状化による井戸への影響について

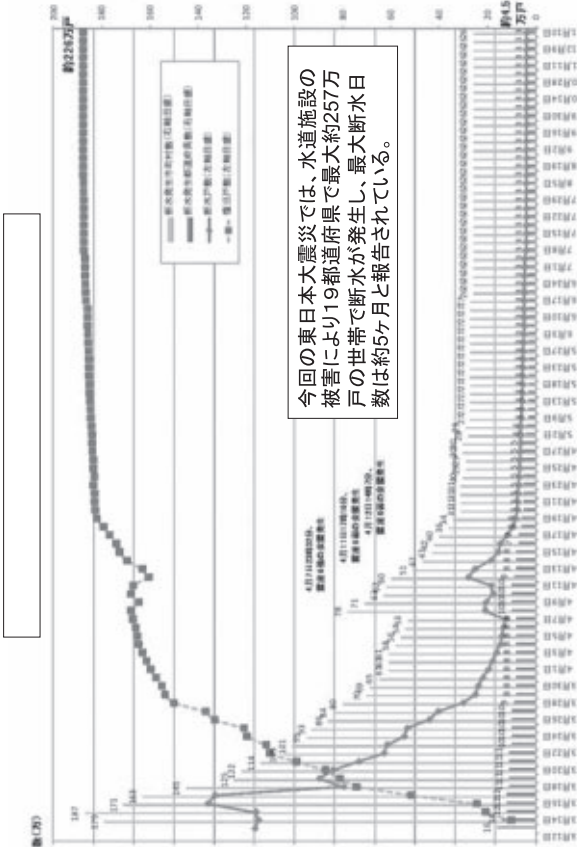
- ◆ 東日本大震災では、関東地方の広い範囲にわたり地盤の液状化現象が発生した。このため都市インフラにおいても土砂噴出、地盤沈下等の経現象により施設で損傷・損壊など大きな被害が発生した。しかし、これら発生地域で井戸施設の被害情報は、今回の調査では得られていない。
- ◆ なお、千葉県神崎町の水道では、表流水を水源とした浄水場と地下水を水源とした浄水の二箇所での給水していたが、液状化現象で表流水系浄水場が稼働不能となった。このため、速やかに地下水系浄水場の給水区域へ切り替えを実施し、給水を確保した。地下水系浄水場は正常稼働であったことが、この対応を可能とし、最小限の断水で収まったとの報告がある。



43

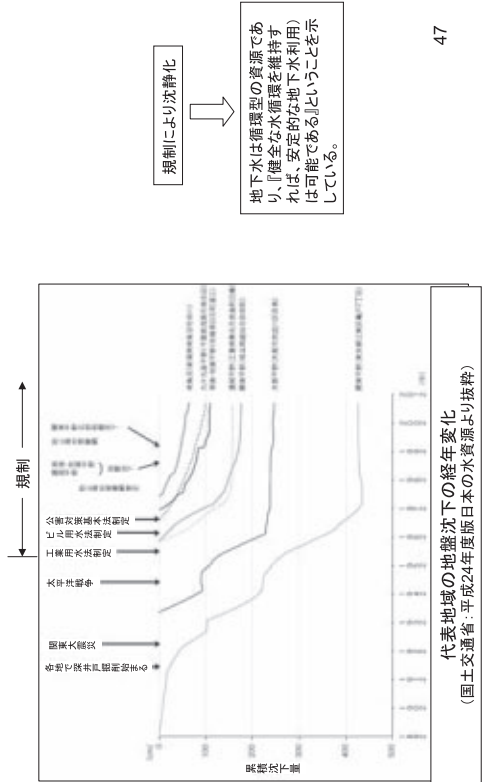
3. 地震災害等における地下水を利用した地域防災計画(給水及び防火用水)の取り組み

東日本大震災における水道の復旧状況



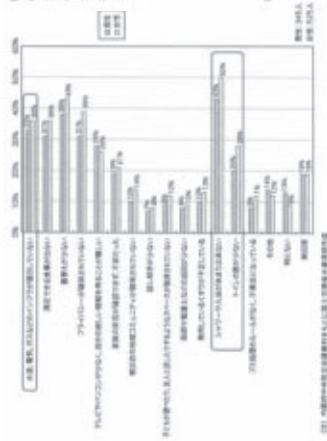
厚生労働省 平成24年1月10日現在
平成24年度日本の水資源(国土交通省)より引用

- ◆ この地下水使用に関しては、昭和30年代から40年代にかけて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)による揚水規制を推し進めてきた結果、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。
- ◆ この地下水揚水規制の事例として、埼玉県では、平成14年に「地盤沈下緊急時対策要綱」を定めるとともに観測井水位管理システムを構築した。この基準観測所毎に「注意報」及び「警報」の発令水位を定め、地下水利用者は、注意報等が発令されると地下水採取の制御措置を講じる等の対策を導入し管理をおこなっている。

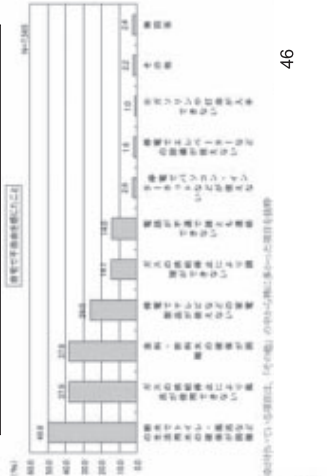


- ◆ 断水が発生した期間、被災地では、水道ライフラインが遮断されたことで、市民生活にとって飲料水確保はもとよりトイレや入浴など生活用水に窮していた被災者の実態が浮き彫りにされた。
- ◆ また、災害発生直後は、消防水利の不足や病院における水不足での医療活動などにも大きな支障を及ぼした。
- ◆ この現象は、高普及を達成した水道は、都市インフラとして今日では唯一の水確保手段となっていることを改めて認識させられたのである。
- ◆ この状況は、平成7年1月の阪神・淡路大震災以降、地震や風水害など自然災害の発生時に繰り返されてきている。
- ◆ 国土交通省が平成21年3月に作成した震災時地下水利用指針(案)で、「地域防災計画(給水)の課題と地下水の効果」のなかで、地域防災計画(給水計画)で位置付けられた水量では十分でない場合や、給水施設の配置に課題があり容易に給水を受けられない地区がある場合には、補助水源として、防災井戸等の地下水を「トイレ用水」や「洗濯用水」等の水源として利用することが有効である」とし、震災時の水の確保に関する危機管理対策の充実を図るとともに、身近な水源である地下水(井戸水)を有効に活用することを例示している。

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



3月11日以降、自宅で生活する中で特に不自由を感じたこと
仙台市ホームページより引用



3.1 地震災害の応急水及び防火用水としての地下水利用

- ◆ 日本の水道普及率が97%を超える高普及時代、飲料水や生活用水等は水道に依存しているが、水道断水は給水やトイレ、入浴など市民生活に様々な支障をきたした。
- ◆ 災害対策用井戸から得られる地下水は、飲料水として使用することが水質面から難しくても、生活用水としての水の確保という点で災害発生後の公衆衛生を確保することが可能であり、今回の東日本大震災でも被災地における実態から極めて有効であった。
- ◆ 「東日本大震災による井戸の被害調査」から、井戸は地震に強い『耐震構造』を有していることが再確認された。更に、需要(必要とされる場所)と供給場所(井戸の設置箇所)が一致しているため、配管の寸断などのリスクは無い。
- ◆ 従って、地震災害時における応急水の水源として確実に確保するためには、地下水利用が最適であると判断される。

3.2 地域防災計画（給水計画）における

地下水利用の実施例

これまでの地震災害の経験から、災害時に利用できる井戸を整備することにより、水に関する危機管理対策の充実を図ることが出来ると考えられている。地域に密着した身近な水源としての地下水を有効に活用する手法について、事例を中心に下記に示した。

(1) 個人または企業で所有する既存井を利用した「災害協力井戸」の事例

- ◆ 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表示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1軒の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。

協力井戸の利用状況

| 登録井戸 | 登録状況 (震災時) | 断水地域内 | | 利用率 | | |
|------|---------------|-------|--------|-----|----|-----|
| | | 調査回答数 | 登録井戸数A | | 看B | 無 |
| 個人 | 185 | 158 | 106 | 84 | 23 | 79% |
| 事業所 | 39 | 39 | 26 | 17 | 9 | 65% |

49

(3) 医療活動用水

『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。

- ◆ 平成23年度の調査では、回答のあった489病院中、受水槽の容量は平日～1日分が207病院（42.3%）であり、2日以上が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：200トン
- ◆ 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け入れ、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。

(2) 災害時の避難場所（小学校等に地下水採取井戸を設置）の事例

- ① 滋賀県近江市 眞作小学校の水井戸設置
文部科学省が平成24年6月に公表した「公立学校施設設備に関する防災対策事業活用事例集」によると、滋賀県近江市の眞作小学校の新設コンセントの一つとして「地域に開かれた学校づくり」を掲げ、**防災井戸**、かまどベンチ、防災倉庫などの整備を行った。
この整備の背景は「災害時の一時避難場所として市民が生活することを想定し、救援活動の場としての機能を備えることを目的に災害に強い学校造りの一つとして、井戸による水の確保の計画を行った」。また、整備の効果では、「市の新たな避難場所となり、非常時の水の確保ができたため、有事の際での多目的利用が考えられ、周辺市民の安心感につながっている。また、子供たちは、活動の中で、水の汲みあがる仕組みの学習や周辺の散水の取水などに利用している」
- ② 神奈川県の高校、都市公園の水井戸設置
神奈川県教育委員会では、井戸を学校に7箇所、都市公園課は広域避難所と広域広域活動拠点として設置している8公園を合わせ計13公園に井戸を設置、井戸で確保した水は飲用を禁止しており、当初は主に災害時の際に公園内へ設置したマンホールトイレを使用した際の処理用水として活用するものと考えられていた。現在は、初期 消火用水としての活用も視野に入れているとされている。
- ③ 山口県
山口県内では、防災井戸の設置がはじまったばかりであるが、地域防災の第一歩として位置付けられるとともに、自主防災組織の立ち上げに大きく寄与するものと考えられている。
- ④ 旭川市
阪神・淡路大震災を教訓とし、平成7年から町内会を中心に、自主防災組織を結成するとともに「地下水を利用した**防災井戸**」を設置し、消火用ポンプ、防災資機材を整備した。その数は、平成16年4月現在で、自主防災組織118団体、防災井戸720本、防災資機材118式となっている。
- ⑤ 北海道開発局
平成24年1月に公表した「開発局の危機管理と今後の地震・津波対策について」では、行政機関として災害時の拠点庁舎の機能を維持し、迅速・確実に機動的な対応等をを行うと、このため「庁舎の防災機能の強化の一環として設備機能の確保（信頼性の向上として）水源の複数化（**防災井戸**＋受水槽）、自家発電容量の確保」を掲げ整備を行った。

50

(4) 防火用水

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はなく、発災時における生活用水等にも活用が図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。

52

3.3 地域防災計画(給水計画)案

- ◆ 大規模震災時に求められる水需要は、震災発生直後から被災生活開始、さらに復旧作業の開始以降の各段階で変化する。必要な水量や被災住民の水の運搬可能距離も異なるため、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。

応急給水の目標設定例

| 地震発生からの日数 | 目標水量 | 被災者の水の運搬距離 | 主な給水方法 |
|-----------|------------------------|------------|---------------------|
| 地震発生後3日まで | 3人/人/日 | 概ね 1km 以内 | 避難所給水、タンク車 |
| 10日 | 20人/人/日 | 概ね 250m 以内 | 貯水施設等の臨時給水 |
| 21日 | 100人/人/日 | 概ね 100m 以内 | 貯水施設上の円筒貯水 |
| 28日 | 被災者給水量 (約 250人/人/日) | 概ね 100m 以内 | 貯水施設からの配管給水 円筒貯水 |

資料)厚生労働省「水道耐震化計画等策定指針」(2008年)より抜粋

- ◆ 防災井戸は、前章で述べた仙台市の事例のような個人または企業が所有する既存井戸を「防災井戸」「災害井戸」などの名称で登録し、断水時に無料で開放してもらう制度を構築するのが有効である。
- ◆ ただし、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」には、最低でも非常用発電設備を備えた防災井戸を設置する。
- ◆ 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。そうすることで水道代に見合う経済効果が期待でき、維持管理費用も抑える。
- ◆ 水質面から飲料水の利用が難しい場合でも、トイレ用水などの生活用水として利用すれば、その効果は得られるが、水処理施設を設置し、飲料水の利用も可能とするのがより効果的である。
- ◆ なお、防災井戸設置に際しての留意点を示す。
 - ・事前に、水理地質図などで、地域の地質構造や帯水層の水質・水量等の基礎情報を整理する。
 - ・井戸掘削状況(掘削の分析、選泥状況、井戸検層)から、より良質な水量豊富な取水対象層を選定し、井戸構造(深度・口径・スクリーン設置深度など)を決定する。

53

- ◆ 水供給施設としての水道は、維持管理が容易で地震や豪雨など自然災害に強く、安全で安定した水の供給が可能であることが求められている。
- ◆ このため、施設の耐震化や水源の多系統化、原水や浄水の相互連絡施設の設定など、危機管理に配慮した水道施設の構築が進められてきている。
- ◆ 特に、地表水を水源とした浄水場では、水源の多系統化として地下水を予備水源として確保し、この活用を図ることも有効である。この活用例を下記に示す。

地下水の活用例

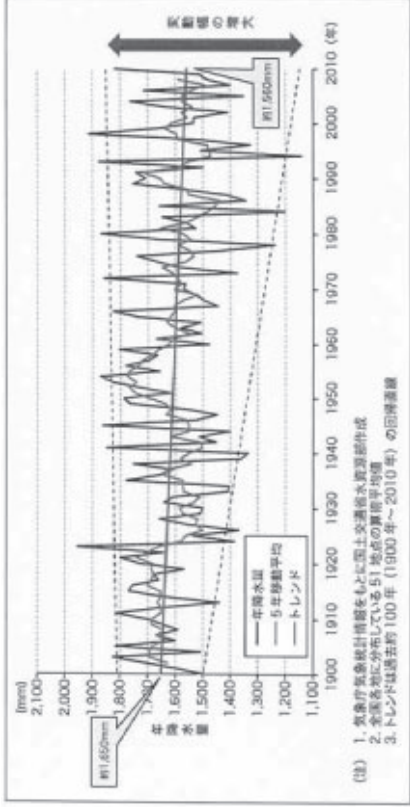
| | 地下水の活用(地表水と併用又は単独使用) | 対比・効果 |
|--------|----------------------|---|
| 平常時の対応 | | 水質水量・水量の安定性 ・予備水源の確保 ・浄水処理の安定化 ・浄水リストラの軽減 ・取水水源の機能強化 |
| 異常時の対応 | | 水質水量減少・水質異常時 ・取水時対応(水不足) ・高度上昇等水質異常時の浄水処理の緩和(包圍プロセスの負荷軽減、処理コストの軽減) |
| 災害時の対応 | | 取水不能・水質異常時 ・土石流等による取水不能対応 ・地震等による取水施設損壊時の対応 ・応急給水拠点としての機能確保 |

※浄水機能が維持されていない場合は、地下水を減価後に配水池に投入

55

4. 地下水の有効利用の提案

- ◆ 近年、降水量の多い年と少ない年の変動幅が次第に増加し、渇水年の年降水量が減少傾向にあるのみならず、年最大連続無雨期間の長期化傾向が認められている。
- ◆ 今後とも、こうした降水特性の変化や地球温暖化等に起因する気候変動により、水供給の能力低下が一層加速する恐れがある。
- ◆ 地下水は、循環型の資源であり、適正な揚水量や地下水位の管理(観測井による地下水位のモニタリング)のもとでは持続的かつ安定して利用できる資源であり、水源として表流水と共に地下水を有効利用することが提案される。



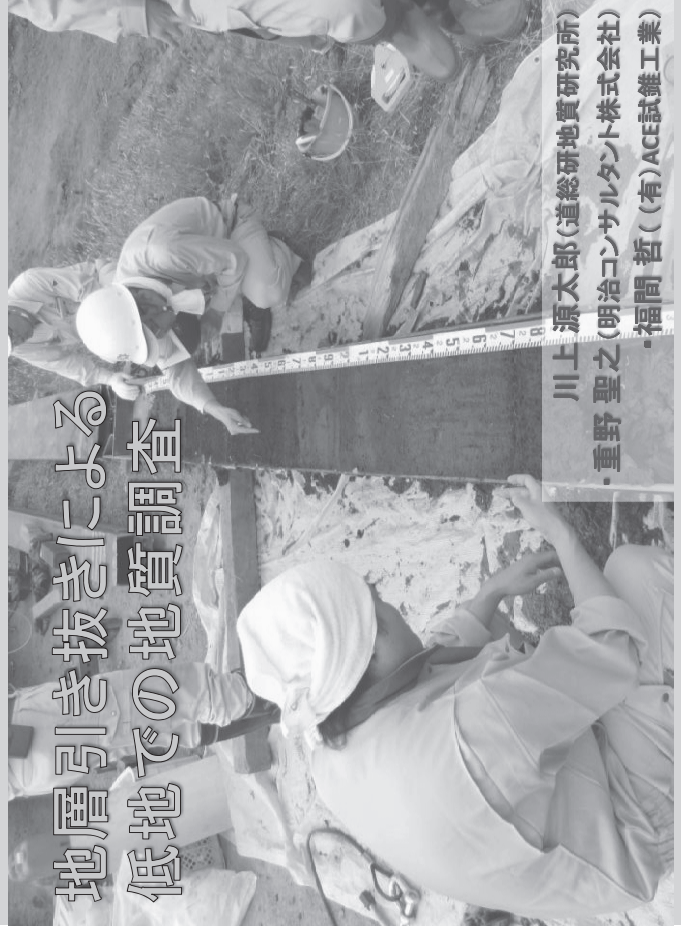
年間降水量の年変化
平成24年度日本の水資源(国土交通省)より引用

54

おわりに

- ◆ 全国さく井協会として、東日本大震災で被害の大きかった東北4県を対象に水井戸の被害調査を実施したが、このような震災日井戸のまとまったデータを収集するのは新しい試みであり、得られた結果は今後のさく井業に貴重な資料となった。
- ◆ また、今回の井戸被害調査から井戸施工に際しては、地盤環境の調査・把握・施工管理の手順順守が井戸の耐震性維持に影響すること、井戸管理に際しては、通常時の維持管理を適正に行うことが、災害時にも安定して機能維持が図れることを改めて再認識させられた。
- ◆ 一方、今回の津波現象による塩水化現象からは、井戸口の構造を防水型(密閉型)とする必要がある(但し、井戸の揚水水位は塩水化限界水位以下にとどめる)であり、今後の冠水事故時にも対応できる。
- ◆ 水道が高普及時代となった今日、飲料水をはじめとする生活用水や事業活動に要する水の確保手段は水道であり、水道が代替えの利かない水供給施設となっていることを今回の大震災でも実証された。
- ◆ このため、水供給施設としての地下水が果たす役割は大きく、今後は、防災対策として地下水の利用は重要であり、この保全と採取に關し一体的な管理手法を確立し実行していくことが重要である。
- ◆ また、災害の都度、水の確保策として災害応急井戸や防災井戸の重要性が認識され、地下水利用は大都市圏を中心に実施例が多くなってきている一方、この目的で設置された井戸は、平常時の活用が進まず維持管理上の問題等から全国的な展開となつていないと言いが難い。平常時の有効活用とその効果を明らかにしていく必要がある。
- ◆ さらに、地表水を水源とする水道では、地下水を第二水源として保有し、平常時よりもより災害時や渇水時、突発性水質汚染事故時の水源として有効活用することで安定した水供給が可能となる。
- ◆ 最後に、地下水は水量・水質が安定している唯一の水資源であり、地域の水循環を保持する限り都市の安全・安心確保として、地下水の有効活用を更に推進する必要がある。

地層引き抜きによる 低地での地質調査



川上 源太郎(道総研地質研究所)
重野 聖之(明治コンサルタント株式会社)
福間 哲((有)ACE試験工業)

低地の地層を研究する側の要望 (わがまま)

- なるべく低予算で
- (水平方向に)広く、かつ深くまで
- 乱れや欠損のないように
- 定方位だとনাおうれしい
- 調査場所や地質条件を選ばない
- 色々な分析用にサンプリングしたいので、試料のボリュームは多いに越したことはない
- 証拠として、はぎ取り標本も残したい
- できれば早く(現地で)見たい

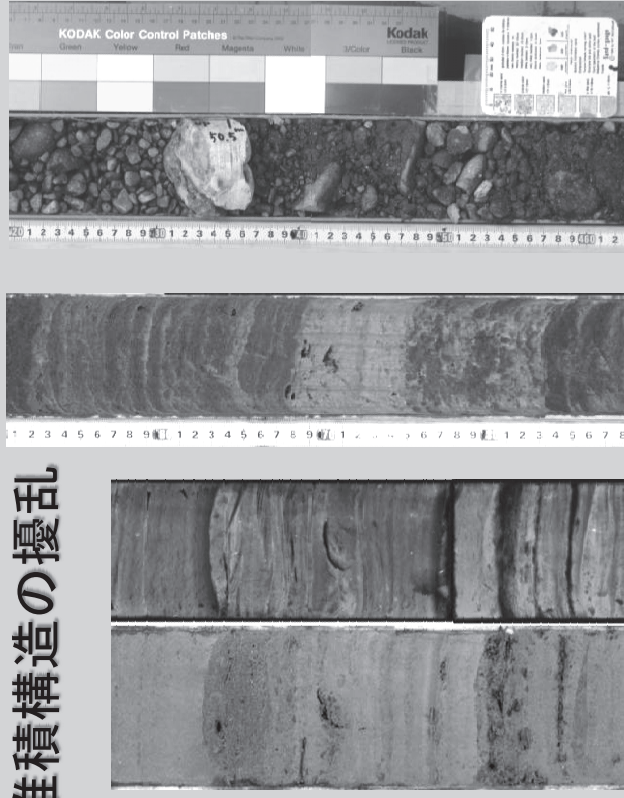
乱れの少ない未固結堆積物の柱状 試料採取方法

従来のサンプラーの構造区分とその適用地盤(地盤工学会(2004))

| サンプラーの種類 | 地盤の種類 | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|------|-----|------|-------|------|------|------|-------------------------------|----|---|
| | 粘性土 | | 砂質土 | | 砂礫 | | 岩盤 | | 岩盤 | | |
| | 軟質 | 中くらい | 硬質 | ゆるい | 密な | ゆるい | 密な | 軟岩 | 中硬岩 | 硬岩 | |
| 固定ピストン式 シンクウォール サンプラー | 0-4 | 4-8 | 8以上 | 10以下 | 10-30 | 30以上 | 30以下 | 30以上 | N値の目安 | | |
| ロータリー式 二重管サンプラー (デニソンサンプラー) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 管の壁周囲に荷重によって乱れが生じる | | |
| ロータリー式スリーブ内蔵 二重管サンプラー | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 定方位かつ不攪乱で試料を採取 することにやや難がある | | |
| ロータリー式チューブサンプラー 多重管 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

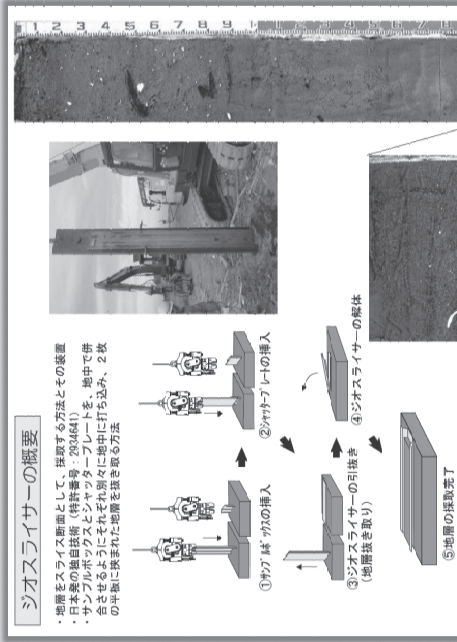
ジオスライサー(中田・島崎, 1997; 原口ほか, 1998)は大口径・定方位・不攪乱で
表層部付近の試料採取が可能

堆積構造の擾乱

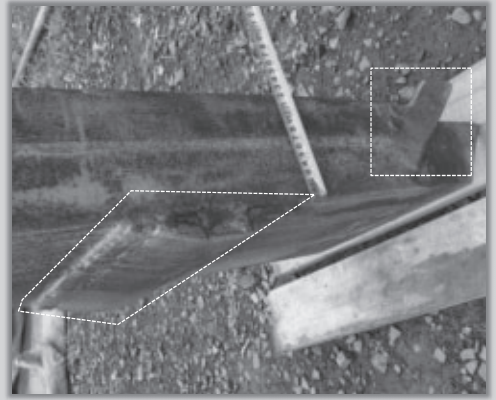


地層引き抜き装置

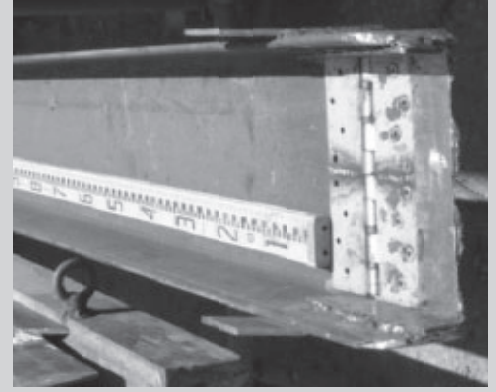
- ・ ジオスライサー（広島大学・復建調査設計株式会社）が考案、実用化される。



ジオスライサーによる海浜/干潟堆積物の調査(復建調査設計株式会社/ハンフレットより <http://www.fukken.co.jp/download/pdf/3-33-03.pdf>)



サンプラーとシャッターを密着させ、引き抜き時の孔壁との摩擦を下げる工夫



試料の落下を防ぐ工夫

地層引き抜き装置（詳細）

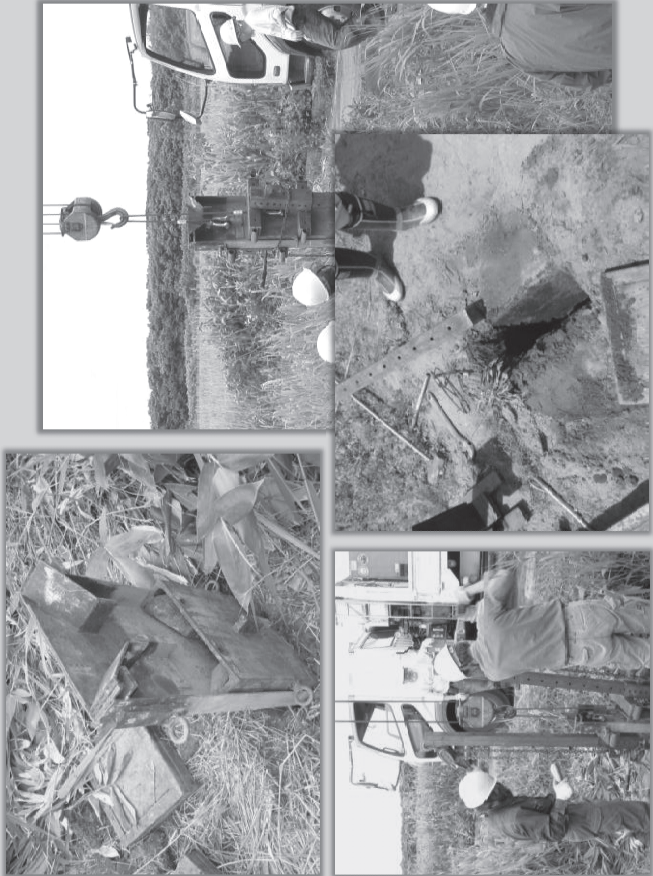
- ・ ACEライナー（特許3669495号）



ワイヤーで垂直を保って打ち込む



サンプラーを打ち込んだ後、シャッターを打ち込む



電動ビックで振動を与え、摩擦を減らしながら
シャッターをスライドさせ開封

表面をねじり鎌やナイフで整形してすぐに観察

サンプリング(はぎ取り)



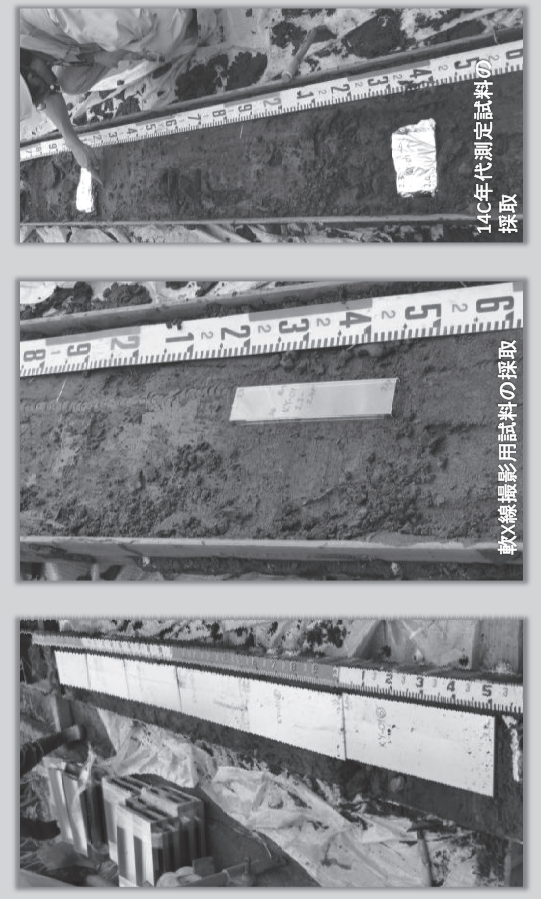
霧吹きで表面を湿らせる

裏打ち(網戸の網)をあてる

水溶性グロウライト剤を塗布

30分ほど待って剥がせば
できあがり

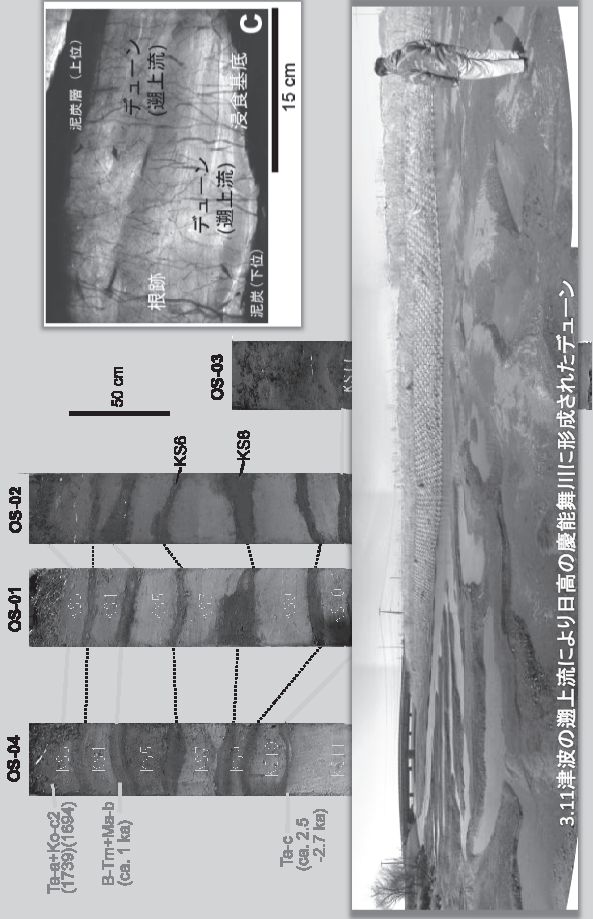
サンプリング(ランチボックス試料ほか)



14C年代測定試料の
採取

軟X線撮影用試料の採取

地層抜き取りだからこそわかること

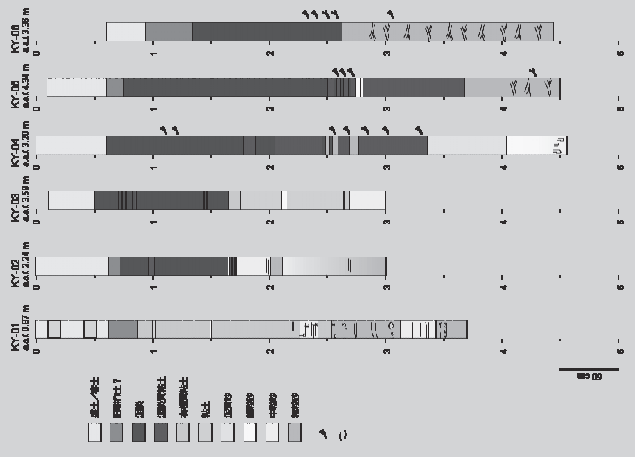


そのほかの問題点

- 最下部の砂は落ちやすい(改良に目途)
- 泥炭など、特に軟弱な地層だと縮んでしま
う？
- シャッターを開けるときに試料が引きずられ、
干切れることがある
- 水に飽和した緩詰め砂層が、バイブロハン
マーの振動で脱水変形？
- 表層が軟弱でジャッキが使えないような場所
だと、引き抜きが大変

引き抜き調査の不得意なケース

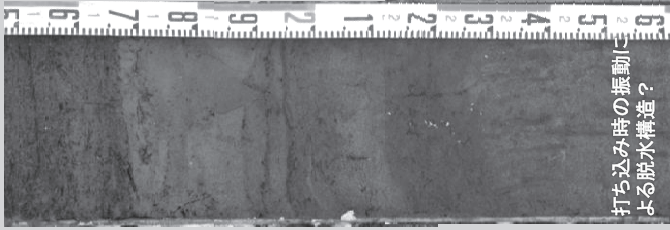
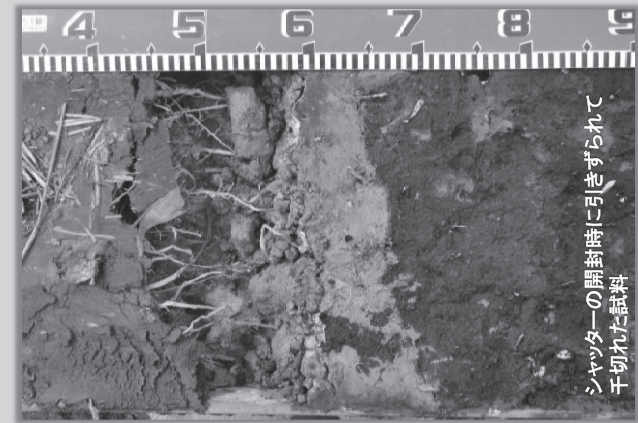
- 砂層、礫層、N値7～8を超えるような地層に
は入りにくい～入らない
- 無理して入れると、抜くのが大変
- トラッククレーンが行けないところには行けな
い
- 著しく深い試料採取はできない(～10m)
- m単価だと、オールコアボーリングよりも多少
割高(～2倍)



他の調査手法を併用することが必要

| | 情報量 (水平幅・ 方位) | 深度 | 乱れ・欠損 | 調査場所 ・地質 | 試料の量 | 手軽さ |
|-------|---------------------|----|-------|-------------|------|-----|
| 引き抜き | ○ | △ | ○ | △～× | ◎ | ○ |
| ボーリング | △ | ◎ | ○～△ | ○ | ○～△ | ○～△ |
| トレンチ | ◎ | × | ◎ | ○～△ | ◎ | △ |

- 10m未満で、詳細な堆積構造等の把握が必要 → 引き抜き
- 深いところまでの情報が必要 → ボーリング
- 5m未満で、地層の広がりや構造の把握が必要
(調査用地的に確保できれば) → トレンチ



第 51 回試錐研究会講演資料集

平成 25 年（2013 年）2 月 21 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 地質研究所
〒060-0819 北海道札幌市北区北 19 条西 12 丁目
電話 011-747-2420
FAX 011-737-9071
URL <http://www.gsh.hro.or.jp/>

印刷 岩橋印刷株式会社
〒063-8580 北海道札幌市西区西町南 18 丁目 1-34
電話 011-669-2512
