



岩の力学連合会(JCRM)

The Japanese Committee for ISRM (ISRM National Group)

—岩盤工学への物理探査的手法の適用委員会活動成果報告会—

岩の力学における国際標準化の動向

主催： 岩の力学連合会

(土木学会、地盤工学会、資源素材学会、材料学会)

後援： 物理探査学会

日時： 平成 18 年 3 月 3 日 10:00-11:30

会場： 地盤工学会 大会議室

プログラム

時間	内容	講師
10:00~10:10	ISRM におけるコミッション活動について	田中 (財)深田地質研究所
10:10~11:00	物理探査(地表探査、孔内検層)の国際標準化	高橋 (ジェーイージオフィジカル)
11:00~11:30	AE 法を用いた地圧評価法の国際標準化	瀬戸 (独)産業技術総合研究所

岩の力学連合会 国際技術委員会
「岩盤工学の物理探査的手法の適用委員会」
活動成果報告

岩の力学における国際標準化の動向

- ISRMにおけるコミッション活動について
 - ・ ISRMとJCRM
 - ・ ISRMのコミッション活動
 - ・ JCRM国際技術委員会とコミッション活動支援
 - ・ 岩の力学における国際標準化の動向
- 物理探査（地表探査、孔内検層）の国際標準化
- AE法を用いた地圧評価法の国際標準化

財団法人 深田地質研究所 田中 莊一

ISRMとJCRM

- **ISRM** : International Society for Rock Mechanics (国際岩の力学会)
1962設立、会員数約5,000、参加国 46 National Groups、事務局リスボンLNEC、現総裁Dr. Nielen van der Merwe, South Africa
- **JCRM** : Japanese Committee for Rock Mechanics (岩の力学連合会)
NG for ISRMとして1964年設立、会員数約350、48法人、現理事長西好一氏

構成学会

- ・ 土木学会 : 岩盤力学委員会
- ・ 資源・素材学会 : 岩盤工学部門委員会
- ・ 地盤工学会 : 岩盤工学委員会
- ・ 材料学会 : 岩石力学部門委員会

ISRMのコミッション活動

- 1) Commission on Application of Geophysics to Rock Engineering
President: Prof. Koichi Sasa
 - 2) Commission on Case Histories in Rock Engineering
 - 3) Commission on Education
 - 4) Commission on Environment
 - 5) Commission on Maintenance and Repair of Underground Structures in Rock Masses
 - 6) Commission on Mine Closure
 - 7) Commission on Preservation of Natural Stone Monuments
President: Prof. Chikaosa Tanimoto
 - 8) Commission on Testing Methods
- Joint Technical Committee with Sister Societies ISSMGE and IAEG on Landslides and Engineered Slopes (JTC - 1)
 - Interest Group on Mining

JCRM国際技術委員会活動と
コミッション活動支援

- ISRMからの技術に関わる要請 : 協力
- ISRMのコミッション活動 : 支援
 - ・ ISRMのコミッション参加 : 個人
 - ・ 具体的コミッション活動に対する支援 : JCRM国際技術委員会のもと国内でのコミッション対応活動支援 (WG委員会開催、情報発信など)
試験法、孔間速度測定、スウェリング、**岩盤工学への物理的手法適用、石造遺跡保存**
- 岩の力学における国際標準化 :
 - ・ 地盤技術に関するISO審議団体である地盤工学会のISO検討委員会・WGに参画

岩の力学における国際標準化

- ISRM : Suggested Methods これまで52 (国際標準的)
- JCRM : 国際技術委員会
 - ・ ISRMのコミッション活動支援→WG活動
 - Application of Geophysics to Rock Engineering
 - 岩盤工学への物理探査的手法の適用WG
 - SW1: 物理探査の国際標準化
地表物理探査、孔内物理検層
 - SW2: AE法を用いた地圧評価法
- ISO対応 : TC182 (地盤技術)
 - ISO 14689-1 岩の判別と記載
Geotechnical engineering - Identification and description of rock
 - ISO 14689-2 岩の分類 ?
Geotechnical engineering - Identification and classification of rock
 - ISO 710-1~7 地質表示 (改訂論議)

●地盤・基礎設計に関する国際整合化

- ✓地盤及び関連分野ISO/TC
 - TC82 鉱山 (社)資源・素材学会
 - TC182 地盤工学 Geotechnics (in civil engineering) (社)地盤工学会
 - TC190 地盤環境 Soil quality (社)地盤工学会
 - TC211 地理情報 (財)日本測量調査技術協会
 - TC221 ジオシンセティックス Geosynthetics (社)地盤工学会
- ✓ISO/TCと並行審議されているCEN
 - CEN/TC341 地盤調査・試験法
Geotechnical investigation and testing (社)地盤工学会
- ✓地盤・基礎関係審議中のCEN (社)地盤工学会
 - CEN/TC250/SC7 地盤・基礎設計 Geotechnical design
 - CEN/TC288 施工標準 Execution of Geotechnical special works

◎ ISO 14689-1 岩の判別と記載

“Geotechnical engineering - Identification and description of rock”

○日本が主体的に修正案を提出するなど積極的に参画し、

■**懸念の意見を軸中ア**など規程石試料や岩盤の露頭を対象に、鉱物組成、粒径、成因、不連続面、構造、風化などを用いて、地盤工学分野における岩の判別と記載に関わる分類要素について記述。岩盤分類のための基本要素を確定。

○審議状況

DIS投票 01/11/14 コメント付 賛成投票

第6回 国際会議(ダーバン) 02/09/14-15
 日本の指摘は採用
 FDISになり最終投票へ 2003年成立
 ISO-710 part-1~7(TC82で1974~84にISO成立)の取り扱いが問題化

●**わが国の対応**
 岩盤分類へと展開する可能性が強いため地盤工学会で基準策定のための委員会を設立し審議中

➢関連学会(国際地盤工学会等), ISO/TC182/SC1, CEN/TCとの相互関係

```

    graph TD
        ISRM([ISRM, IAFG, ISSMGE]) --> CEN250[CEN/TC250/SC7 Geotechnical Design  
Chairman: Mr. Frank (F)  
Secretary: Mr. Buth (NN)]
        CEN250 <--> CEN341[CEN/TC 341 Geotechnical Investigation and Testing  
Chairman: Prof. Katzenbach (D)  
Secretary: Dr. Eitner (DIN)]
        CEN341 <--> ISO182[ISO/TC182/SC1 Geotechnics/ Geotechnical Investigation and Testing  
Chairman: Mr. Stölben (D)  
Secretary: Dr. Eitner (NN)]
        CEN341 <--> CEN288[CEN/TC288 Execution of Geotechnical Works  
Chairman: Dr. M. Stocker (D)  
Secretary: Ms. C.Pineau (AFNOR)]
    
```

ISRM Suggested Methods for Land/Borehole Geophysics in Rock Engineeringの作成・出版について

平成18年3月3日

技術士事務所 ジェーイージオフィジカル
 高橋 亨
 (ISRM Working Group Coordinator)

1

本日の話の内容

- 指針作成の背景と動機
- 国内外での物理探査・検層のガイドライン
- ISRMでの物理探査・検層の過去のSuggested Methods
- 今回のSuggested Methods の内容
 - 全体概要
 - Land Geophysics の記載例
 - Borehole Geophysics の記載例

2

指針作成の背景と動機

- 岩盤工学分野での物理探査・検層の適用拡大
- 物理探査・検層技術の適用手順の複雑化
- 最適な適用の重要性の増大
- ISOによる調査技術の標準化の動き
- 「物理探査適用の手引き」(物理探査学会)の出版



- 物理探査の適正な利用の促進
- 物理探査結果の品質・信頼性の維持
- 国際的な標準化における日本の貢献

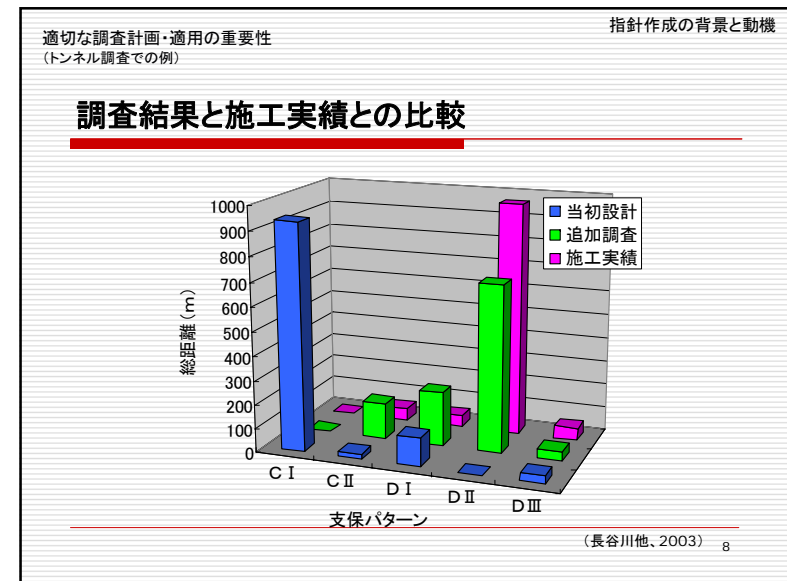
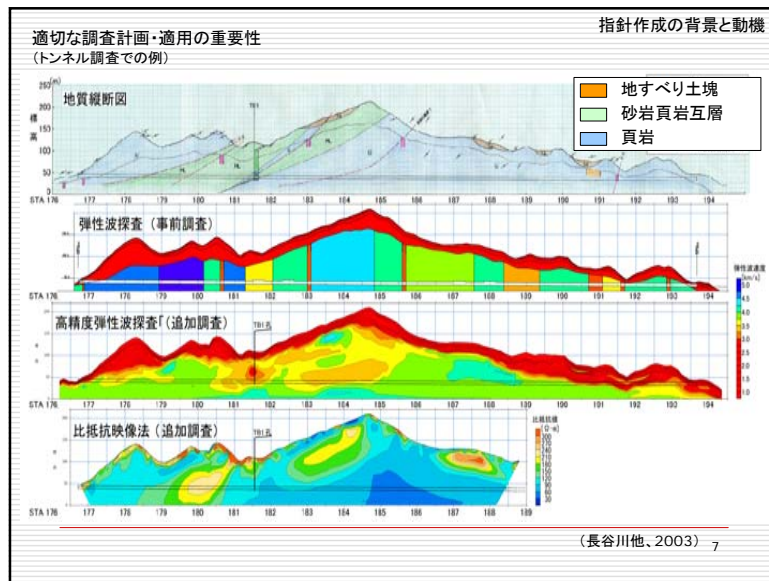
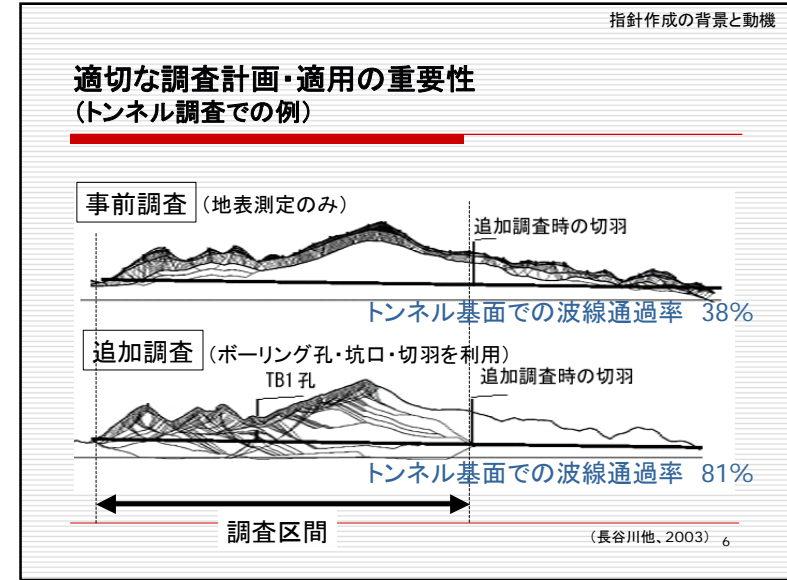
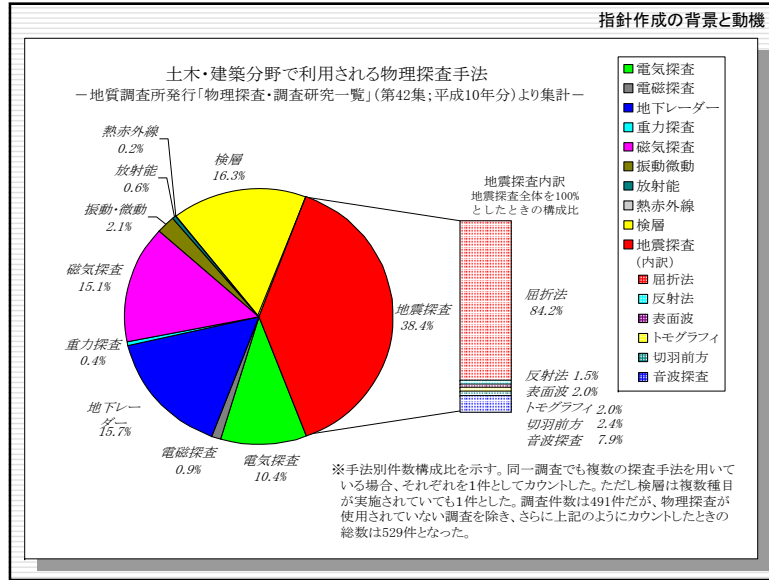
3

指針作成の背景と動機

物理探査法と適用対象

物理探査法	代表的な手法	探査成果	主な適用対象
地震探査	屈折法 反射法 表面波法	弾性波速度分布 反射断面 S波速度分布	トンネル、ダム、大規模地下空洞、 断層、都市トンネル、 堤防、宅盤、地盤改良、
電気探査	比抵抗法 IP法 自然電位法	比抵抗分布 比抵抗、充電率分布 電位分布	トンネル、地すべり、地下水、 トンネル、断層、 地下水、
電磁探査	TDEM(EM)法 CSAMT(MT)法 地下レーダ法	比抵抗分布 比抵抗分布 電磁波反射断面	(深)温泉、トンネル、 (浅)不発弾、埋設物、 空洞、埋設管、遺跡、
重力探査		重力異常図(密度分布)	断層、空洞、
磁気探査		磁気異常図(磁化強度)	不発弾、埋設物、
放射能探査		γ 線強度分布	断層、温泉、

4



国内外での物理探査・検層のガイドライン - 海外での例 -

- EU: Applied Geophysics Code of Practice (1992)
- イギリス: British Standard BS5930:1999
 - Code of Practice for Site Investigation: Chapter 35
 - Geophysical Surveying
- アメリカ:
 - ASTM (American Society for Testing and Materials)
 - ASTM D-6429-99(Surface Geophysical Methods)
 - ASTM D-5763-05(Borehole Geophysical Logging)
 - Bureau of Reclamation
 - Engineering geology field manual Vol.II 2nd Ed.
 - Chapter 13 Surface geophysical investigation
 - Chapter 14 Borehole geophysical and wireline surveys
 - Federal Highway Administration
 - Central Federal Land Highway Division
 - Applications of geophysical methods to highway related problems
- US Army Corps of Engineers (with ASCE)
 - Geophysical exploration for engineering and environmental investigations

9

国内外での物理探査・検層のガイドライン - 海外での例 -

Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations by US Army Corps of Engineers (with ASCE)

- Chap.1 Introduction
- Chap.2 Geophysical Methodology
- Chap.3 Seismic Procedures
- Chap.4 Electrical and Electromagnetic Methods
- Chap.5 Gravity Techniques
- Chap.6 Magnetic Methods
- Chap.7 Subsurface Geophysical methods
- Chap.8. Airborne Geophysical Methods
- Chap.9 Remote Sensing
- Chap.10 Engineering Vibration investigations

10

国内外での物理探査・検層のガイドライン - 国内での例 -

- 学会
 - 物理探査学会
 - 物理探査適用の手引き(2000)
 - 物理探査ハンドブック(1998)
 - 地盤工学会
 - 地盤調査法(1995)
 - 第3編 物理探査・検層
 - 土木学会
 - 調査法・仕方書に関する書籍などに部分記載
- 公的機関・研究所
 - 旧建設省、旧道路公団、旧水資源公団、旧国鉄、電中研、...
 - 仕方書などに部分記載
- 民間
 - 全国地質調査業協会
 - 調査技術マニュアルなどに部分記載

11

国内外での物理探査・検層のガイドライン - 国内での例 -

物理探査適用の手引き - 特に土木分野への利用 - (物理探査学会) 日本語版2000年、英語版2004年出版

- 精論
- 第1編 適用ガイド
- 第2編 探査法概説
- 第3編 物理探査計画実施要領(案)
- 巻末資料

屈折法地震探査	速度検層	音波探査
浅層反射法地震探査	電気検層	微動
電気探査	密度検層	リモートセンシング
電磁探査	VSP探査	
地中レーダ探査	弾性波トモグラフィ	
重力探査	比抵抗トモグラフィ	
放射能探査	切羽前方地山探査法	

12

ISRMでの物理探査・検層の過去の Suggested Methods

- ◆ 1988: Suggested Methods for Seismic Testing Within and Between Boreholes
- ◆ 1981: Suggested Methods for Geophysical Logging of Boreholes
- ◆ 1975: Recommendation on Site Investigation Techniques (Geophysical Exploration)

13

ISRMでの物理探査・検層の過去のSuggested Methods

ISRM Recommendations on Site Investigation Techniques in 1975

In the chapter 4, recommendations for geophysical surveys are described as follows:

- ◆ Classification of geophysical methods and investigation objectives and stages to be applied
- ◆ Recommendations of use of geophysical methods in each investigation objective and stage

14

ISRMでの物理探査・検層の過去のSuggested Methods

ISRM Suggested Methods for Geophysical Logging of Boreholes in 1981

Principle, instrumentation, measurement procedures, data processing and interpretation, reporting of results are described for the following borehole logging:

- ◆ Electrical with a single point resistivity measurement
- ◆ Spontaneous potential (SP)
- ◆ Induction
- ◆ Gamma ray
- ◆ Neutron
- ◆ Gamma-Gamma density
- ◆ Sonic
- ◆ Caliper
- ◆ Temperature

15

ISRMでの物理探査・検層の過去のSuggested Methods

ISRM Suggested Methods for Seismic Testing Within and Between Boreholes in 1988

Scope, apparatus, procedure, calculation and interpretation of results, reporting of results are described for the following methods:

- ◆ Seismic Testing Within a Borehole
- ◆ Seismic Testing Between Boreholes
- ◆ Seismic Tomography

16

今回のSuggested Methods の内容

今回のSuggested Methods の内容

— 作成方針 —

- 岩盤工学分野で利用されている物理探査法を、地表探査 (Land Geophysics) とボーリング孔を利用した探査 (Borehole Geophysics) に分ける。
- 「物理探査適用の手引き(物理探査学会)」を参考にする。
- 計画 (Planning) から報告 (Output and Report) まで全ての手順について記載する。
- 特に、計画 (Planning) と解釈 (Interpretation) を重視する。
- 探査法と探査で得られるものをイメージしやすいように、最低限、探査概念図と結果図例を入れる。

17

今回のSuggested Methods の内容

ISRM Working Group Members on Standardization of Geophysical Methods for Rock Engineering in ISRM Commission on Application of Geophysics to Rock Engineering

- Hatherly, Peter (Australia)
- King, Michael, S. (U.K.)
- Kusumi, Harushige (Japan)
- Lehmann, Bodo (Germany)
- Myer, Larry (U.S.A.)
- Pyrak-Nolte, Laura (U.S.A.)
- Takahashi, Toru (Japan) - Coordinator
- Toksoz, M. Nafi (U.S.A.)
- Uchida, Toshihiro (Japan)
- Watanabe, Toshiki (Japan)
- Xu, Chang (China)

18

今回のSuggested Methods の内容

岩の力学連合会のサブワーキンググループメンバー (敬称略)

下記19名のメンバーからなる岩の力学連合会のサブワーキンググループで、指針のドラフトを作成し、それをもとに、ISRMのWGメンバーで議論、修正し、最終版を作成した。作成されたドラフトは、連合会の成果として、近く公開が予定されている。

■ 相澤隆生	■ 鈴木弘明
■ 芦田 讓	■ 鈴木敬一
■ 千葉昭彦	■ 田中 莊一
■ 千田敬二	■ 田中達吉
■ 池田研一	■ 高橋 亨
■ 岸田 潔	■ 武内俊昭
■ 倉橋稔幸	■ 徳丸 哲義
■ 楠見晴重	■ 渡辺俊樹
■ 松岡俊文	■ 渡辺文雄
■ 三木 茂	

19

今回のSuggested Methods の内容

Land Geophysics –Contents-

1. Introduction
2. Seismic Refraction
3. Shallow Seismic Reflection
4. Electrical
5. Electromagnetic
6. Ground Penetrating Radar
7. Gravity
8. Radiometric

Acknowledgements
References

20

今回のSuggested Methods の内容

Borehole Geophysics –Contents-

1. Introduction
2. Velocity Measurement Along A Borehole
3. Electric & Electromagnetic Logging
4. Nuclear Logging
5. Vertical Seismic Profiling
6. Seismic Tomography
7. Resistivity Tomography
8. Seismic Ahead Of The Tunnel Face

Acknowledgements
References

21

今回のSuggested Methods の内容

各手法の章で記載されている事項

1. GENERAL (with figure)
General features of the method
2. APPLICABILITY
General applicability and expected survey results
3. PLANNING
Remarks and suggestions in planning surveys
4. FIELD OPERATION
Suggested specifications of measurement and instruments, and remarks on field procedures
5. DATA PROCESSING
Standard data processing flow
6. INTERPRETATION (with figure)
Remarks on interpretation of the results
7. OUTPUT and REPORT
Minimum requirements of outputs and report

22

今回のSuggested Methods の内容

Land Geophysics -example of description (1)-

3. Shallow seismic reflection

3.1 General

The shallow seismic reflection method is a seismic method that delineates subsurface structures using seismic waves reflected back to the ground surface from geological boundaries in the subsurface. Seismic reflection profiles provide high-resolution images of the subsurface that can be easily be understood and interpreted. Fig.4 shows a schematic diagram of the survey method. Seismic reflection waves are recorded and processed to obtain a seismic reflection profile. P- or S-(SH-) waves are used depending on the survey objectives. For shallow seismic reflection, a 2-D survey is commonly used.

Fig. 4 Schematic diagram of the shallow seismic reflection method (SEG Japan, 2000) [1]

23

今回のSuggested Methods の内容

Land Geophysics -example of description (2)-

3. Shallow seismic reflection

3.6.1 Interpretation of the shallow seismic reflection profile

In principle, a seismic reflection profile provides a visualization of subsurface boundaries where acoustic impedance (or velocity) contrast occur as the reflection events. In order to obtain the geological section, the seismic reflection profile should be interpreted in comparison with surface and borehole information as well as well logs and VSP if available. Fig. 7 shows an example of the interpreted depth section indicating buried faults. Interpretation can be undertaken on printed seismic profiles or using interactive computer facilities.

Fig. 7 Example of an interpreted depth section (SEG Japan, 2000) [1]

24

今回のSuggested Methodsの内容

Land Geophysics -example of description (3)-

4. Electrical

4.3.4 Electrode configuration

1. Optimum electrode configuration is chosen in considering consideration of the method used, geological and surface conditions, and the expected desired output (see Table 1).

Table 1 Electrode configuration factors for various electrode arrays

Array type	Image point of apparent resistivity	Electrode configuration factor
2-electrodes Pole-Pole		$2\pi a$
3-electrodes CPP		$4\pi a$
Pole-Dipole		$2\pi(n-1)\pi a$
4-electrodes Wenner		$2\pi a$
Dipole-Dipole		$2\pi(n-1)(n+2)\pi a$
Schlumberger		$\pi(L^2 - P^2)/4l (L > 5l)$

25

今回のSuggested Methodsの内容

Land Geophysics -example of description (4)-

4. Electrical

4.5 Data processing

4. In two-dimensional (2-D) profiling, the data is inverted with a non-linear inversion method using a computer to obtain the a 2-D subsurface resistivity imagemodel. Fig.9 shows a standard data processing flow of the two-dimensional 2-D resistivity profiling data.

```

    graph TD
      A[Observed potential data] --> B[Set up an initial 2-D resistivity model]
      B --> C[Calculate theoretical potential data]
      C --> D[Calculate residual observed - calculated potential data]
      D --> E{Residual is small?}
      E -- NO --> F[Update the 2-D resistivity model]
      F --> C
      E -- YES --> G[Final 2-D resistivity model]
    
```

Fig. 9 A standard inversion process of the 2-D resistivity profiling data (SEG Japan, 2000) [1]

26

今回のSuggested Methodsの内容

Borehole Geophysics -example of description (1)-

2. Velocity measurement along a borehole

2.1 General

The borehole seismic method for obtaining a seismic velocity profile along a single borehole is defined here as velocity measurement along a borehole (hereafter referred as "velocity logging"). The method includes P-wave velocity logging, PS logging and Sonic (Acoustic) logging.

Down-hole method	Up-hole method	Cross-hole method	Source and receivers are equipped on a down-hole probe specially deigned	
			Suspension PS log	Sonic log

The second receiver hole may not be used.

Fig.1 Variations of velocity measurement along a borehole (modified from SEG Japan, 2004) [3]

27

今回のSuggested Methodsの内容

Borehole Geophysics -example of description (2)-

2. Velocity measurement along a borehole

2.5.2 Suspension PS logging

To estimate seismic velocities along the borehole, the field data obtained from the suspension PS logging are processed as follows.

- Field waveform data for the pair of receivers are transferred to computer and sorted over the depth at which they are measured (see Figure.3).

(a) P-waveform

(b) S-waveform

Fig.3 Examples of the suspension PS logging waveforms (SEG Japan, 2004) [3]

28

今回のSuggested Methodsの内容

Borehole Geophysics -example of description (3)-

8. Seismic ahead of a tunnel face

8.5 Data Processing

A data processing flow is shown in Figure 27. The processing procedure is similar to that of the VSP method described in the Chapter 5, because extraction of the reflection waves from the observed wavefields is crucial. The choice of parameters used in each processing step should be decided according to the quality of the result, past experience and geological understanding. Experiments with a range of parameters may be required.

```

    graph TD
      A[Pre-processing] --> B[Static Correction]
      B --> C[Wavefield Separation]
      C --> D[Select Incoming Wave or Outgoing]
      D --> E[Post-processing]
      E --> F[Migration]
      F --> G[Stack]
      G --> H[Profile]
      
      A --> I[Backspace Filter]
      I --> J[Refraction Analysis]
      J --> E
      
      C --> K[Velocity Filter]
      K --> E
      
      E --> L[Deconvolution]
      L --> F
    
```

Fig.27 Example of a data processing flow of Seismic Ahead of a Tunnel face (SEG Japan, 2004) [3]

今回のSuggested Methodsの内容

Borehole Geophysics -example of description (4)-

8. Seismic ahead of a tunnel face

8.6 Interpretation



A seismic reflection image obtained by the method is shown in Figure 28. The image is presented together with the amount of explosives used in the tunneling (an indicator of excavation performance) and a geological sketch along the tunnel. Each reflection in the image, the one between grid lines 1000 and 1020 in particular, corresponds to these indicators.

Fig 28 Seismic reflection image obtained by Seismic Ahead of a Tunnel Face method (modified from SEG Japan, 2004) [3]

ご清聴ありがとうございました

- ISRM Suggested Methods の入手方法
 - ISRM会員であれば、ISRMのWEBサイト(www.isrm.net) からダウンロード可能 (無料)
 - 出版社ElsevierのWEBサイト(www.elsevier.com) からダウンロード可能(\$30)
 - Land Geophysics: International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 41 (2004) 885-914
 - Borehole Geophysics: International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 43 (2006) 337-368
- 「物理探査適用の手引き」の入手方法
 - 日本語版(5000円)、英語版(3000円)とも、物理探査学会から購入可能(物理探査学会WEBサイト(www.segi.org) に申込用紙あり)



31

AE法による地圧測定国際標準化

独立行政法人産業技術総合研究所
 地圏資源環境研究部門
 瀬戸 政宏
 平成18年3月3日

1

構成



I. AE法における国際標準化の背景
 ～なぜ標準化が必要であったのか～

II. AE法の標準化
 ～具体的に標準化された内容～

III. 標準化されたAE法の活用
 ～AE法を如何に活用していくか～



むすび

2

I. AE法における国際標準化の背景

3

主な地圧測定法の種類

● これまで一部を除いて、長い間ほとんどの技術が研究フェーズ

原位 位置で 測定する 方法	→ 応力補償法	フラットジャッキ法(スリット法)
	→ 応力解放法	孔径変化法 孔壁ひずみ法 孔底ひずみ法 (平面孔底法、球面孔底法、円錐孔底法) 埋設法
	→ 水圧破砕法	水圧破砕法 スリーフフラクチャリング法 (ダブルフラクチャリング法)
コア などを 用いる 方法	→ AE法による方法	AE(Acoustic Emission)法
	→ ひずみ測定による方法	DR(Deformation Rate)法 DSAC(Differential Strain Analysis)法 DSCA(Differential Strain Curve Analysis)法 ASR(Anelastic Strain Recovery)法
	→ 弾性波速度測定による方法	超音波法(音弾性法)

4

地圧測定法の標準化を取り巻く状況

● 地圧測定的重要性、標準化への認識が高まっている

1

フェーズ

■ 地下岩盤構造物の長期安定性の評価において基本データとしての重要性が増してきた。
 ~地圧測定へのニーズの高まり~

2

成熟度

■ 応力解放法、水圧破砕などを中心に、地圧測定技術の成熟度、精度が向上。
 ~研究フェーズから実用フェーズへ~

3

公共性

■ 地圧測定データの信頼性への裏付けに対する要求。
 ~地圧データの公共的意味づけ~

5

地圧測定標準化における動き

● 将来のISO化を視野に入れて、応力解放法、水圧破砕法の標準化

1. ISRM (International Society for Rock Mechanics) Suggested Method

- Suggested Method for Rock Stress Determination (1987)
- Suggested Methods for Rock stress Estimation - Part1:Strategy for Rock Stress Estimation (2003)
- Suggested Methods for Rock stress Estimation - Part2:Overcoming Methods (2003)
- Suggested Methods for Rock stress Estimation - Part3:Hydraulic Fracturing (HF) and/or hydraulic testing of pre-existing fractures (HTPF) (2003)

2. 地盤工学会(ISO国内審議団体)における基準化

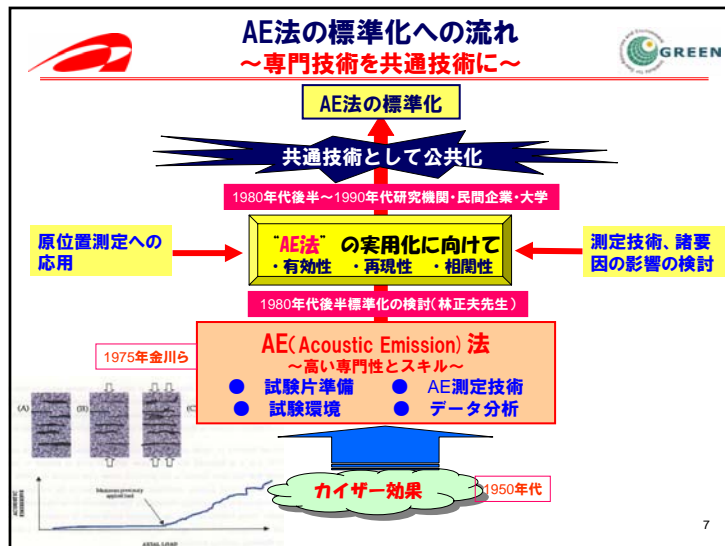
- 初期地圧の測定方法基準化検討委員会 (石田毅委員長) : 埋設法WGと円錐孔底法WG

● 今回のAE法の標準化: ISRM Suggested Method

Suggested Method for *in-situ* Rock Stress Estimation From A Rock Core Using The Acoustic Emission Technique

(参考) TR-A0013: 岩石コアのAE測定方法-地圧測定技術(タイプII)


6




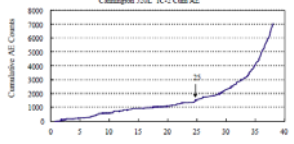
II. AE法の標準化

8

AE法において標準化した主要内容




- 試験全体のシステム構成**
 - ・ 載荷システム
 - ・ AE計測システム
- 試験手順**
 - ・ 試験片の準備
 - ・ AEセンサー、AE測定システムの調整
 - ・ 載荷方法の設定など
- データ分析と報告**
 - ・ データの分析と整理
 - ・ 報告事項

9

試験全体システムの構成

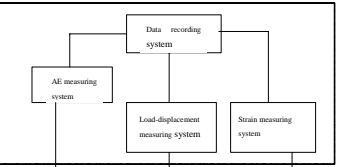
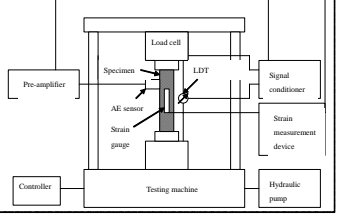


1 AE計測システム

- センサ、プリアンプ、処理部、3部構成
- 圧電素子（～1MHz）
- プリアンプ：ゲイン≧40dB
- 処理部：フィルター機能、しきい値設定、主増幅機能（40～60dB）


2 載荷システム

- 載荷装置（ASTM E4などに準拠）
- クローズドループ制御
- ひずみ測定の実施
- 球座の使用

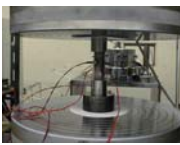
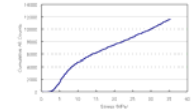
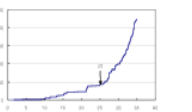



10

試験の手順




- ① 岩石試験片**
 - ・ 直径20mm以上
 - ・ H/D=2.0～2.5
 - ・ 平行度:0.02mm以内
- ② 岩石試験片へのセンサ接着**
 - ・ 試験片中央部に接着材料で密着させる
 - ・ 感度チェック
- ③ ノイズ対策**
 - ・ 電磁ノイズ：接地、シールド
 - ・ 機械ノイズ：低周波フィルタ
 - ・ 測定系周波数範囲：100～300kHz(推奨)
 - ・ しきい値とゲインの設定方法
- ④ 予備載荷**
 - ・ 予定最大荷重の1～2%
 - ・ 軸ひずみ測定による載荷の一様性チェック
 - ・ 測定システムの動作チェック
- ⑤ 試験載荷とAE測定**
 - ・ 最大荷重まで5～10分で到達
 - ・ 最大荷重は想定される垂直応力相当荷重の2～3倍
 - ・ 2回の繰り返し載荷

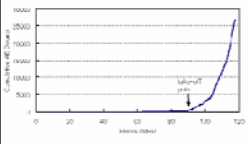
11

データ分析と報告事項




データの分析

- **応力-AE関係図**
 - ・ 応力=荷重/試験片断面積
 - ・ AE：累積またはレート
 - ・ イベント
 - ・ リングダウンカウント
 - ・ エネルギー



応力-AE関係図例

“地圧”推定結果
【鉛直、三次元など】




三次元地圧状態の推定例

報告事項

推定地圧値、データ分析結果の他、

- 岩石採取箇所の地質条件
- 載荷方向（傾斜/方位）
- 試験片の寸法及び形状
- 試験回数
- AE測定条件（センサタイプ、しきい値、ゲイン等）
- 載荷条件（載荷速度、載荷した最大荷重）など



試験片方位例

12

III. 標準化されたAE法の活用

1. 三次元地圧状態の推定 (Villaescusa & Seto)
2. 平面地圧状態の推定 (金川他)
3. 鉛直地圧の推定 (1) (Yokoyama et al. と Villaescusa et al.)
4. 鉛直地圧の推定 (2) (Soma & Seto)
5. AE法の適用が困難であった例 (金川他)

13

1. 三次元地圧状態の推定例 (Villaescusa & Seto)

● 豪州(WA州)の鉱山での推定例

- 深度: 363m
- 応力解放法(Hiセル)との比較において、主応力の方位と最大主応力の推定値がほぼ一致
- 応力解放法の測定結果のconfidence向上に寄与

異なる方位からの試験片の準備

三次元応力状態の推定結果

応力-AE関係図の一例

14

2. 平面地圧状態の推定例 (金川ほか)

● 地下トンネルでの推定例

- 深度: 500 m
- 応力解放法(埋設法、円錐孔底法)との比較
- 東西方向の地圧(σ_1)が埋設法の結果とほぼ一致

応力解放法、水圧破砕法による結果

Stress	BDM	CBT	HFM
σ_1 (MPa)	21.9	28.1	26.9
azimuth	N102° E	N89° E	N266° E
σ_2 (MPa)	17.7	25.7	6.6
azimuth	N193° E	N353° E	N184° E
σ_3 (MPa)	3.7	13.7	18.7
azimuth	N293° E	N239° E	N21° E
σ_{max} (MPa)	13.3	15.7	16.5
σ_1 (MPa)	7.4	11.3	9.2

AE法による推定結果

15

3. 鉛直地圧の推定例 (1) (Yokoyama et al.およびVillaescusa et al.)

● AE法の推定が他の手法の結果と同様の傾向

我が国における鉛直地圧の深度分布

豪州における鉛直地圧の深度分布

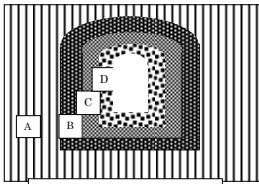
16

4. 鉛直地圧の推定例 (2)

(Soma & Seto)

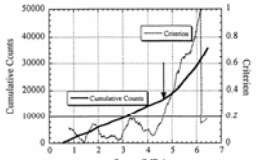
● 地下坑道での推定例

- 深度: 140 m (泥質砂岩)
- 坑道側壁から約5mの深度までの鉛直地圧
- DRA法(コア法の一つ)、応力解放法(埋設法)と比較

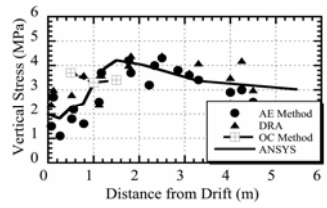


A: E=1.3GPa, $\rho=18kN/m^3$, $\nu=0.29$
 B: E=1.0GPa, $\rho=17kN/m^3$, $\nu=0.30$
 C: E=0.5GPa, $\rho=16kN/m^3$, $\nu=0.32$
 D: E=0.3GPa, $\rho=15kN/m^3$, $\nu=0.35$

ANSYSによる解析条件



応力-AE関係図の一例

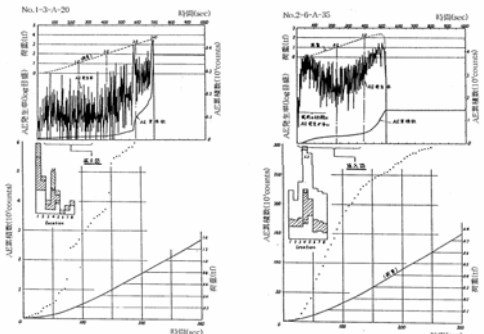


AE法による坑道側壁深部方向の鉛直地圧分布

5. AE法の適用が困難な例

(金川ら)

- 岩石コアの状態による場合
 - 亀裂、脆弱、湿潤・乾燥による劣化など (下図参照)
- 地圧の大きさによる場合
 - 地圧が岩石コアの一軸圧縮強度に近い、または非常に小さい

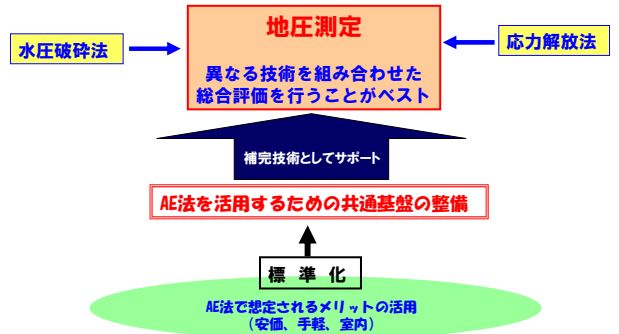


試験片端部からのAE発生

試験片内部の亀裂の影響

むすび:標準化されたAE法の今後の位置づけ

● 地圧測定の信頼性 (Confidence) を向上させるための公共的ツール



地圧測定
異なる技術を組み合わせた総合評価を行うことがベスト

水圧破砕法 → 地圧測定 ← 応力解放法

補完技術としてサポート

AE法を活用するための共通基盤の整備

標準化

AE法で想定されるメリットの活用 (安価、手軽、室内)

謝 辞



岩の力学連合会
国際技術委員会

岩盤工学への物理探査手法の適用WG

佐々宏一先生
勝山邦久先生
田中荘一様

ISRM
Commission (Application of Geophysics to Rock Engineering)

Working Group
Estimating Primary State of Stress in Rock Mass using Acoustic Emission Technique

Dr. M. Seto (Co-ordinator), Japan
 Prof. E. Villaescusa, Australia
 Prof. X.T. Feng, China
 Dr. K. Shin, Japan
 Dr. T. Yokoyama, Japan
 Dr. K. Hata, Japan
 Prof. M. Kwabiewski, Poland
 Prof. H.R. Hardy, USA

- 標準化のための国内検討グループ
- AE法による地圧測定に関する解説策定
- Suggested Method案の策定