

OHTA-GEO

平成25年度 第1回ジオテクセミナー 平成25年9月13日(金)14:00~17:20  
 主催:公益社団法人 地盤工学会中国支部  
 場所:島根大学総合理工学部3号館301号室

## まだ壊れていない土構造物の 予防保全対策について

有限会社太田ジオリサーチ  
 太田英将

1  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

事前対策で  
できますか？

豪雨時

地震時

現状評価で  
できますか？

宅地崩落

長岡市高町2004

道路崩落

旧山古志村2004

機能を失った能登有料道路

緊急輸送道路

宅地谷埋め盛土崩落と同し原理

家屋の建ち位置

2  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

## それ本当ですか？ 実証がありますか？

### 問1 それ本当ですか？

すると大抵は本当だとか、本当だと思うとか、実際にそうではないかと思うとか、硬軟種々の返事が帰ってくる。その場合、次の第2問を發する。

### 問2 実証がありますか？

これで、あるという人は立派で、その事実を十分問い質すとよい。現実の問題でその経過を示し、最終結果に到達するまで、疑念も矛盾もなく説明できるのであれば、実証があると考えてよいのではない。ただし、模型実験は現実の代わりにはならない。解析は経過を示すだけで、実証にはならない、と心得ておく必要があろう。これで不審感が残る場合は第3問を發する。

### 問3 考えたただけですか？

この場合、大抵の人は「いや、考えただけではない。事実がたくさんある」と反駁するでしょうが、私が言いたいのは、個々の組立部材は説明できても、現実の問題について回答が得られなければ、信頼できないのではないか。

齋藤迪孝著『実証土質工学』1992年、技法堂出版

3

<http://www.ohta-geo.co.jp>

## まだ壊れていない土構造物の 危険性を事前に察知して 予防したことがありますか？

- ・「ある」と答えた人は、実証できましたか？
- ・「ない」と答えた人は、なぜできなかったのですか？

4

<http://www.ohta-geo.co.jp>

## どういふ方法論がありますか？

- あなたは、田舎の家に住んでいるとしましょう。
- その背後には自然斜面が存在しています。
- そこで表層崩壊が起きたら、土砂が家に飛び込んできます。夜間であれば、死ぬかもしれませぬ。
- 事前に調査・解析して、安全なのか危険なのかを評価しましょう。
- そして危険と評価できたら予防対策をしましょう。

5

<http://www.ohta-geo.co.jp>

## 実証土質工学

齊藤迪孝

.....  
 私たちが地盤調査や土工工事にあずかる場合、先例があれば非常に強い、  
 既往の事例はたいへん役に立つが、  
 その事例がそのまま信頼できるかどうか、  
 また類似の事例でも当該の現場に適用できるかどうかなどは  
 自分で判断しなければならない。  
 .....

土質工学はまだまだ若い学問で、原理原則がようやく確立されただけであり、これに従えば必ずうまくいくという行き届いた手引きがあるわけではない。

.....  
 工事に伴う発達の正確さを併せて判断しなければならない。  
 工の特性や設置基準を厳密に置き換えた後も、  
 .....

実際には、「土質工学は完璧な学問で、崩れたのはそこが特別だったからだ」。土質工学の方法は間違っていない。となっている。・・・例えば、岩国、駿河湾・・・

6

<http://www.ohta-geo.co.jp>

## 土質力学の創始者Terzaghiの信条

“従来の土質研究の方向は、橋梁設計の科学に比較しうる土の挙動の科学を確立する考えて導かれていた。土木技術者を訓練する大学の主要な任務は、鋼やコンクリートのような比較的単純で明確な材料に適用する法則や規定を習得させることにある。この型の教育は、工学に関するあらゆるものは、先見的な仮定に基づいて計算すべきであるし、またすることができるといふ幻想を育てる。”

“不幸にして、土は自然が作ったものであって、人間が作ったものではない。そして自然の産物は常に複雑であり、アプローチの方法は根本的に変えなければならない。橋梁その他の純粋に人工的な構造物の設計は、単に力学の知識を必要とするだけである。理論が現場を支配し、経験は製図版上で得られたもの以外は、2次の重要性をもつにすぎない。方程式は不確定要素を含んでいないから、理論結果は信頼することができる。”

しかし、われわれが鋼やコンクリートから一歩足を土に踏み入れると、理論の全能は存在しなくなる。第1に、土は自然状態で決して均質でない。第2に、その性質は厳密に理論的に取り扱うにはあまりに複雑すぎる。最後に、何か最もふつうの問題について、近似的な数学解を得ることすらきわめて難しい。これらの3つの要素のために、土を含む問題の数学的取扱いが成功する可能性はきわめて限られたものである。”

数学的取扱いが成功する可能性は限定的

幻想

理論の全能なし

7

<http://www.ohta-geo.co.jp>

## 土質力学の最悪の敵

あくまでも  
言っているのは  
Terzaghi

これも一種のリスクヘッジ

純粋の理論家が最大の敵

“土質力学の最悪の敵は、土質力学の基本原則の有効性を否定しようとする人たちではない。なぜなら、その人たちはいずれ死に絶えるからである。しかし最も有害なのは、純粋の理論家が土質力学を見つけたときに生じるであろう。なぜなら、そのような人のやることは土質力学の目的そのものを根底から覆してしまうからである。”

8

<http://www.ohta-geo.co.jp>

## 地盤調査・地下調査

■地下調査 地下調査で気づくことは、われわれの理論はすべて均質な土層か、何層かの土層群についてであるにもかかわらず、比較的均質な土層でさえも非常にまれなことである。それが、実物大構造物の観測から高い精密度の理論を得ることが困難な理由の1つである。地盤土の構造が不定であれば、設計は半経験的な規定に基づいて行なうだけである。

### 土の問題は半経験的に行うもの

半経験的な規定に基づいた設計は、数多くの精密な土質試験を必要としない。そのような試験の結果は、われわれの問題に対処する能力を増加させることにはならないからである。代表的な試料を10か20とって、重要な特性を概略きめることで十分である。われわれの主要な努力は、地盤上の構造上の形式を解明し、その最弱点・最強点の場所を示すことに集中しなければならない。調査は現在ボーリングとサウンディングを組み合わせて実施されている。現場試験によって得られたデータから実物大構造物の実績への外挿は、理論考察と結合した統計手法によっている。

### 理論考察と結合した統計手法で外挿する

9

<http://www.ohita-geo.co.jp>

## 「理論土質力学」の解毒剤

“われわれの重大な誤算は、実際にはあまりに簡単なことであって、単に書物上の認識だけに立つ技術者の無経験によるものである。”

### 誤算は技術者の無経験

土質力学の誤用は、地球上至るところで行なわれている。それは、土木工学の他の分野での応用数学の成功によって、ほとんど回復し得ないまでに損なわれているからである。土工技術の問題で、厳密な取扱いを困難にするもの多くは、現地の下にある土の堆積の地質学的歴史から生じている。それゆえ、私がハーバードで講義した地質工学を「理論土質力学」に対する解毒剤と呼ぶことにした。

### 困難さの原因は、堆積の地質学的歴史から生ずる

10

<http://www.ohita-geo.co.jp>

では、あらためて……

## どうい方法論がありますか？

- あなたは、田舎の家の住人から依頼された技術者です。
- その背後には自然斜面が存在しています。
- そこで表層崩壊が起きたら、土砂が家に飛び込んできます。夜間であれば、死ぬかもしれません。
- 事前に調査・解析して、安全なのか危険なのかを評価しましょう。
- そして危険と評価できたら予防対策を提案しましょう。

11  
http://www.ohta-geo.co.jp

## 既存の方法論

- 地盤構成:ボーリング調査+N値  
→N値からの強度換算では安定計算できない
- 地盤強度:不攪乱試料採取+三軸試験など  
→砂質土系の不攪乱試料採取は難しい。高価。
- 間隙水圧:地下水位観測  
→長期の観測が必要。崩壊時の水圧の設定は？
- 評価手法:2次元安定解析  
→2次元でよい場合、悪い場合
- 評価結果:安全率  
→安全率で防災投資判断できる？

既存の方法論  
は、現状を評  
価するのに向  
いていない

12  
http://www.ohta-geo.co.jp

OHTA GEO

個人の防災投資

## まだ壊れてないものを調べるのにどれだけ投資できますか？

- 裏山が壊れる＝家も壊れる 住人は亡くなるかもしれない 亡くならないまでもその後の人生は大きく狂う
- ソフト対策ではどうか？・・・ソフト対策成功のシナリオは土質数学よりも空想的？

13  
http://www.ohta-geo.co.jp

OHTA GEO

## では、社会インフラで想像しましょう

- あなたは、道路設計の技術者(行政の道路担当技術者)としましょう。道路に盛土があります。標準盛土勾配で設計・施工されています。岩国では大雨で盛土が崩れ、その下の家を押つぶし死人を出しました。また、中越地震・能登半島地震などでは道路盛土がいとも簡単に崩れました。もしいままさに大地震が起き、このような盛土の崩壊が起きたら、その先の住民を助けに行くことができません。
- 事前に調査・解析して、事前に対策すべきなのか対策しなくても大丈夫なのか、判定しましょう。






4  
http://www.ohta-geo.co.jp

## 崩れてからでいいのか？



地震による道路地盛土崩壊

たまたま地下水が多かった？



豪雨による道路盛土崩壊

たまたま施工不良だった？

15

<http://www.ohta-geo.co.jp>

## 崩れてからでいいのか？



豪雨による鉄道盛土崩壊

たまたま雨量が記録的だった？



地震による造成地盛土崩壊

たまたま……？

16

<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

### 壊れたら直せばいいのか？



17  
hta-geo.co.jp

OHTA-GEO

### 壊れたら直せばいいのか



18  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

## 立場を変えて想像しましょう

- あなたは、建築士。
- 盛土が地震時に滑ることは報道などで知っています。でも、建築確認にそれを調査し評価することは現時点では不要です。家の買主は、高い高い買い物なので、心配しています。どう言いますか？
- まだ更地です。対策するなら今が一番安くて確実な対策ができます。対策を提案しますか？4号建物なのでコスト重視で行きますか？

19

<http://www.ohta-geo.co.jp>

## 技術者倫理との絡み

- どうも「まだ壊れていない土建造物の維持管理」と「技術者倫理」とは密接に関係があるようです。
- 法令・基準・マニュアルさえ守っていればよいという考え方では「まだ壊れていない土建造物の予防保全」は困難のようです。  
→いままでできなかった理由が見えてきました

20

<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 新設・補修と維持管理の違い

- 「新しく造る」「壊れたものを直す」

目的が明確、合意が得られやすい  
 予算が確保できる、「安全側」で設計  
 一品豪華主義が可能、そこだけであればOK  
 企業として利益が上げやすい・・・やる気満々
- 「現在の状態を評価する」

目的は曖昧ではないが、合意が得られにくい  
 予算確保が難しい(まだ壊れてないじゃないか！)  
 「安全側」でも「危険側」でもダメ  
 一品豪華主義は不可能、全部できなきゃダメ  
 企業として利益が上げにくい・・・やる気ない

N値・  
標準値  
信仰

21  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 新設・復旧と維持管理がごっちゃ

維持管理では

# N値・標準値信仰からの脱却

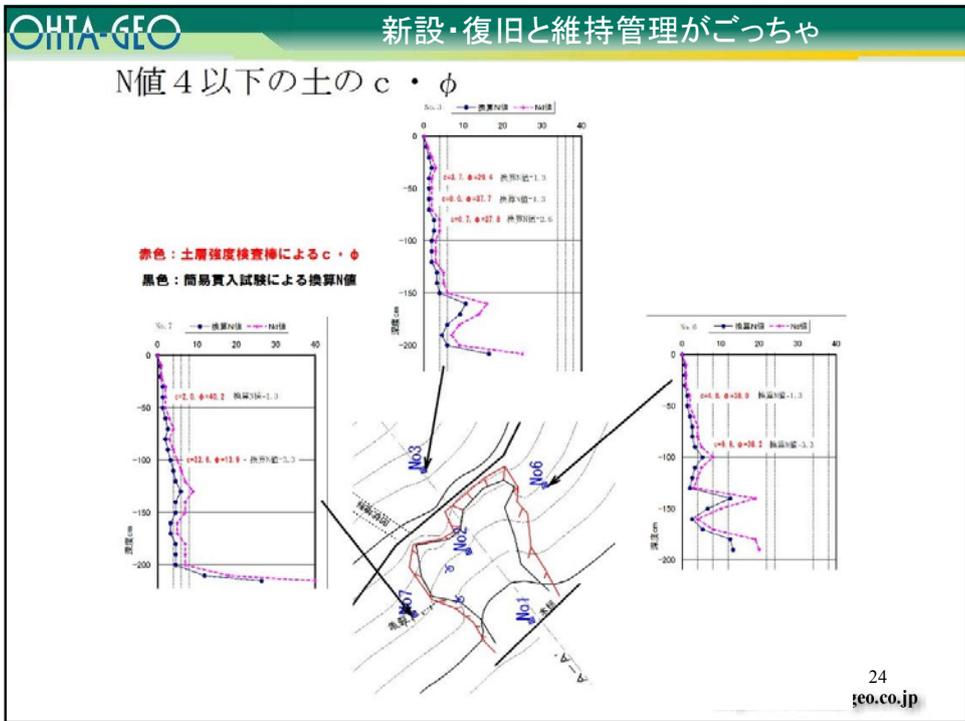
N値4以下の土のc・φ

赤色：土層強度検査機によるc・φ  
 黒色：簡易貫入試験による換算N値

図-1.4 内部摩擦角とN値の関係

崩壊地の再現事例;維持管理的復旧事例

22  
<http://www.ohita-geo.co.jp>



OHTA-GEO 新設・復旧と維持管理がごっちゃ

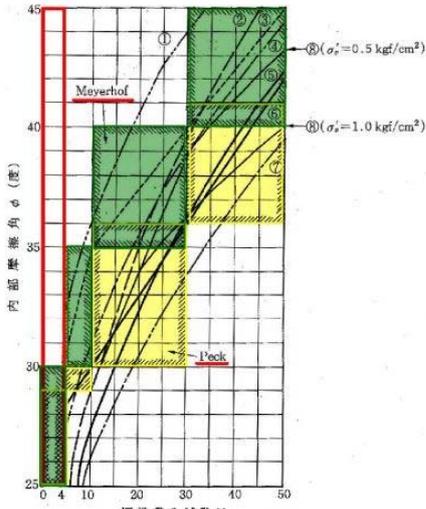



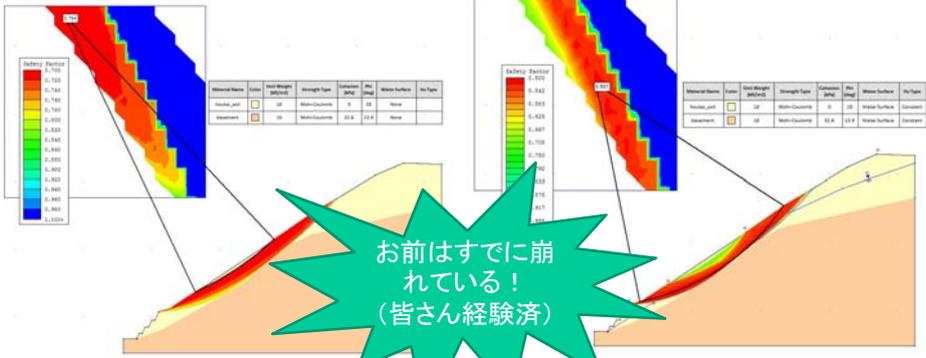
図-1.4 内部摩擦角φとN値の関係

25  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

OHTA-GEO 逆算法は対策工実施の意思決定後

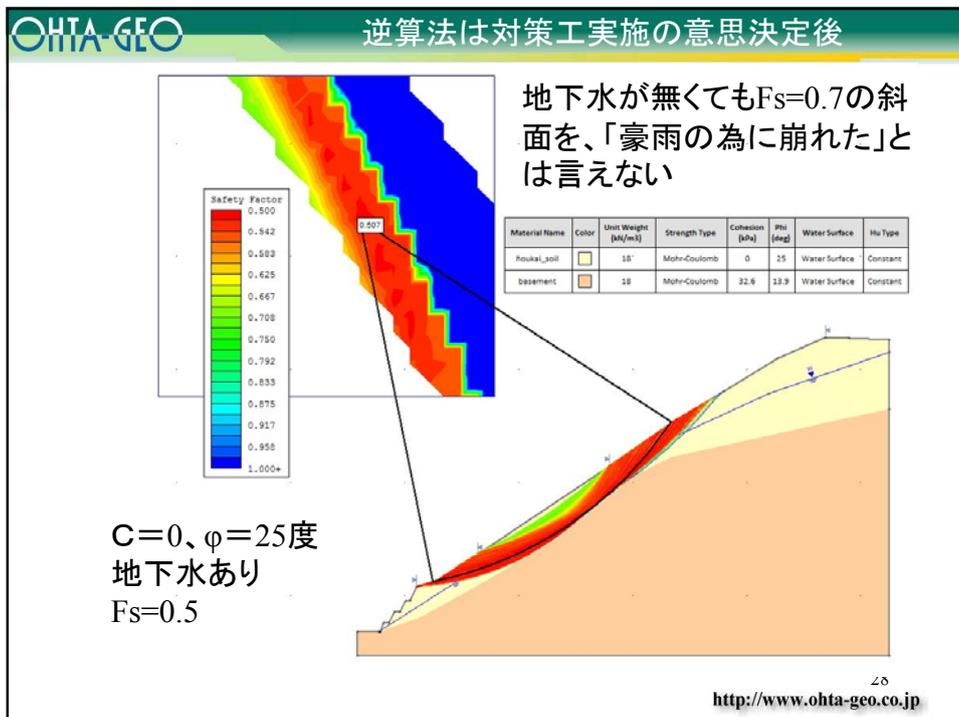
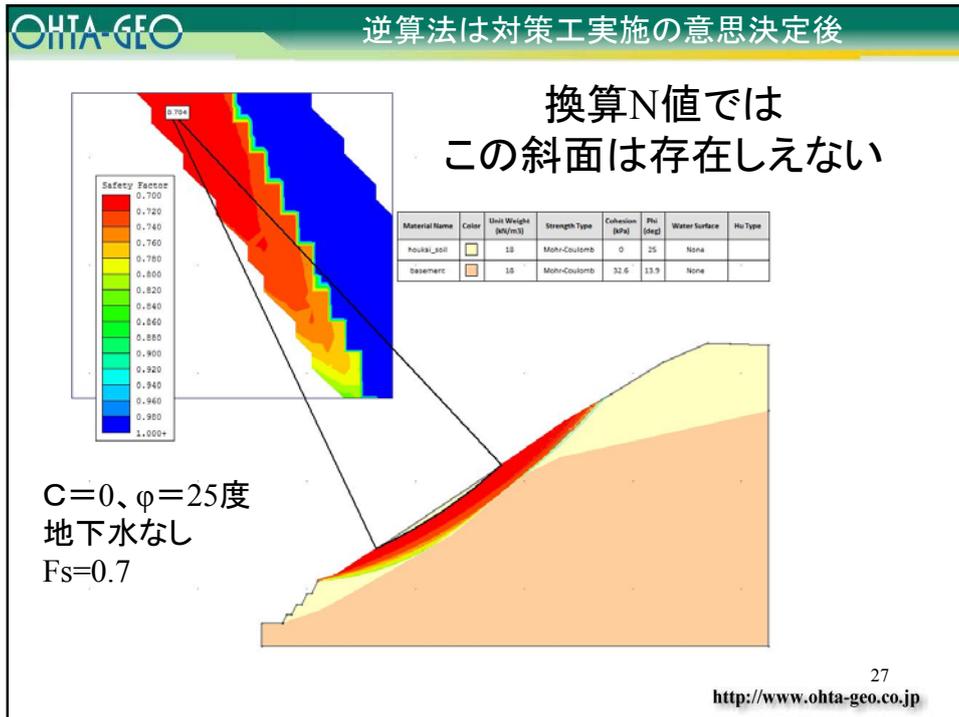
## 換算N値から逆算法の混沌へ

C=0、φ=25度、地下水なし Fs=0.7      C=0、φ=25度、地下水あり Fs=0.5



お前はすでに崩れている！  
 (皆さん経験済)

26  
<http://www.ohita-geo.co.jp>



## 崩壊時をいい加減に再現して Fs=0.95などと仮定するしかない

- この論理は「崩れる前」には使えない
- すなわち、「まだ壊れていない斜面」には適用できない
- 結果的に、壊れるまでは何もしない
- 壊れて人的被害が出ても「不可抗力」？

N値の強度換算は「予防」には使えない

29

<http://www.ohta-geo.co.jp>

換算N値は逆算法しかできない

## 土層強度検査棒

換算N値ではなく直接 $c \cdot \phi$ 計測へ

地盤調査の方法と解説



第6編 サウンディング 第13章 規格・基準以外の方法

### 13.3.2 土層強度検査棒

土層強度検査棒 (Soil Strength Probe, 以下、土検棒) と略記) は、土層の硬さや強度を簡易に測定する試験機である。試験方法は、2種類あり土検棒貫入試験及びペーンコーンせん断試験が可能である。土検棒の構成概要を、図-13.3.3に示す。また、各試験方法の外観を図-13.3.4に示す。土検棒貫入試験は、図-13.3.3(a)に示した先端角60°、最大径15mmの先端コーンが付いた直径10mmのロッドを人力で静的に押し込むことで土層深や土層強度を簡易に測定する試験である。

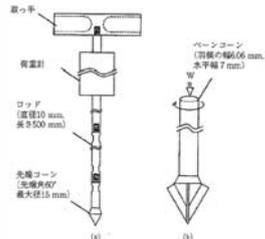
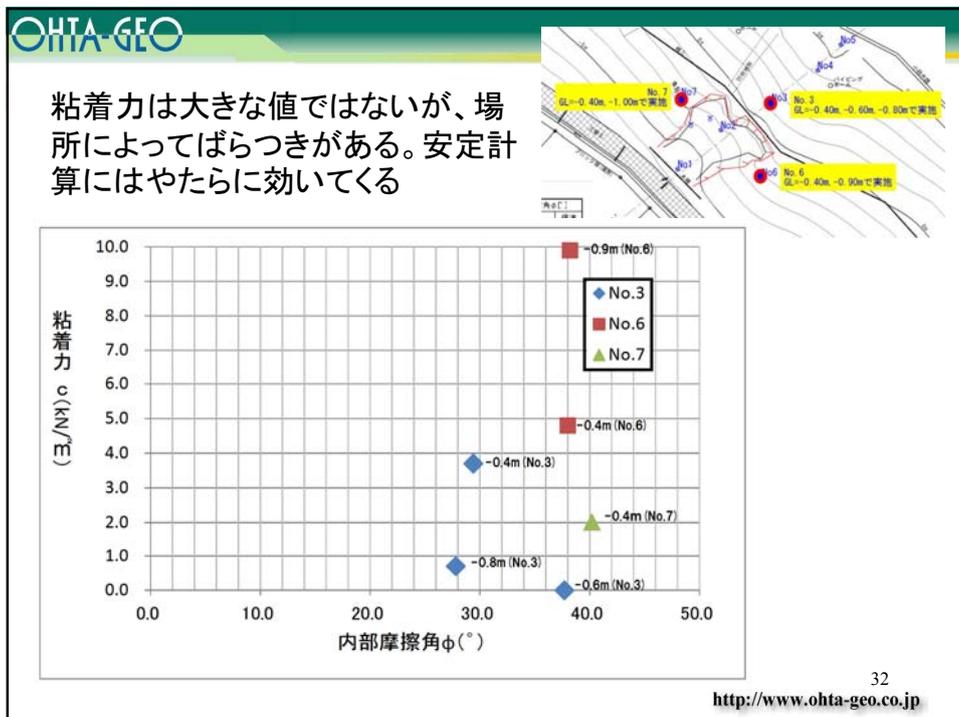


図-13.3.3 土層強度検査棒の構成概要<sup>①)</sup>

精度は換算N値以上、土質試験以下

30

<http://www.ohta-geo.co.jp>



## OHTA-GEO 三軸圧縮試験もどき

### OHTA-GEO 土層強度検査棒

ペーンコーンせん断試験(経験式法 Ver.2)

調査名称	コロンチンセザミズ西側調査	調査年月日	平成24年9月18日	時刻	14:00
調査地点	No.4	深度	0.40 m	試験機(型式)	静電圧入試験機
試験機	静電圧入試験機	試験機(型式)	静電圧入試験機	試験機(型式)	静電圧入試験機

試験機による圧縮強度  $c = 4.08 \text{ kN/m}^2$  | 試験機による摩擦角  $\phi = 38.0^\circ$  | 実効摩擦角  $\phi = 37.1^\circ$  (計算上より) | 試験機による圧縮強度  $c = 4.08 \text{ kN/m}^2$  | 試験機による摩擦角  $\phi = 38.0^\circ$  | 実効摩擦角  $\phi = 37.1^\circ$  (計算上より) | 試験機による圧縮強度  $c = 4.08 \text{ kN/m}^2$  | 試験機による摩擦角  $\phi = 38.0^\circ$  | 実効摩擦角  $\phi = 37.1^\circ$  (計算上より)

調査深度	$T_p$	$Q_p$	$T_{p0}$	$Q_{p0}$	$T_{p1}$	$Q_{p1}$	$T_{p2}$	$Q_{p2}$	$T_{p3}$	$Q_{p3}$	$T_{p4}$	$Q_{p4}$
0	0.70	8.42	0.42	2.38	4.00	1						
20	1.00	29.82	0.70	7.08	10.00	2						
40	1.30	69.82	1.00	11.68	15.00	3						
60	1.60	89.82	1.30	16.68	18.00	4						
80	1.70	89.82	1.4	17.68	18.00	5						

試験式法  $\sigma = 2.4 \times 10^3 \text{ W}_{p0} \text{ (kN/m}^2\text{)}$ ,  $\phi = 1.8 \times 10^3 \text{ T}_{p0} \text{ (kN/m}^2\text{)}$

経験式による圧縮強度  $c = 4.08 \text{ kN/m}^2$  | 試験機による摩擦角  $\phi = 38.0^\circ$  | 経験式による摩擦角  $\phi = 40.2^\circ$

### OHTA-GEO 土層強度検査棒

ペーンコーンせん断試験(経験式法 Ver.2)

調査名称	コロンチンセザミズ西側調査	調査年月日	平成24年9月18日	時刻	14:00
調査地点	No.4	深度	0.40 m	試験機(型式)	静電圧入試験機
試験機	静電圧入試験機	試験機(型式)	静電圧入試験機	試験機(型式)	静電圧入試験機

試験機による圧縮強度  $c = 2.26 \text{ kN/m}^2$  | 試験機による摩擦角  $\phi = 40.2^\circ$  | 実効摩擦角  $\phi = 39.1^\circ$  (計算上より) | 試験機による圧縮強度  $c = 2.26 \text{ kN/m}^2$  | 試験機による摩擦角  $\phi = 40.2^\circ$  | 実効摩擦角  $\phi = 39.1^\circ$  (計算上より) | 試験機による圧縮強度  $c = 2.26 \text{ kN/m}^2$  | 試験機による摩擦角  $\phi = 40.2^\circ$  | 実効摩擦角  $\phi = 39.1^\circ$  (計算上より)

調査深度	$T_p$	$Q_p$	$T_{p0}$	$Q_{p0}$	$T_{p1}$	$Q_{p1}$	$T_{p2}$	$Q_{p2}$	$T_{p3}$	$Q_{p3}$	$T_{p4}$	$Q_{p4}$
0	0.30	9.52	0.20	2.28	3.00	1						
20	0.60	29.52	0.40	7.08	10.00	2						
40	0.90	69.52	0.60	11.68	15.00	3						
60	1.20	89.52	0.80	16.68	18.00	4						
80	1.50	89.52	1.00	17.68	18.00	5						

試験式法  $\sigma = 2.4 \times 10^3 \text{ W}_{p0} \text{ (kN/m}^2\text{)}$ ,  $\phi = 1.8 \times 10^3 \text{ T}_{p0} \text{ (kN/m}^2\text{)}$

経験式による圧縮強度  $c = 2.26 \text{ kN/m}^2$  | 試験機による摩擦角  $\phi = 40.2^\circ$  | 経験式による摩擦角  $\phi = 42.2^\circ$

33  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

## OHTA-GEO 土層強度検査棒の $c \cdot \phi$ を利用してみる

# C・φを計測すれば順算で再現できる

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
houkai_soil	Yellow	18	Mohr-Coulomb	1.5	31.6	Water Surface
basement	Orange	18	Mohr-Coulomb	32.6	13.9	Water Surface

### 〈土検棒利用手法〉

土検棒の  $c \cdot \phi$  利用  
・地下水位無しの場合  $F_s = 1.176 > 1.00 \dots \text{OK}$

最小安全率円弧以外は  $F_s < 1.0$  の円弧を表示 (ここでは  $F_s < 1.0$  は無し)

降雨で地下水位が上昇した場合の計算  
星の破線が実際に崩壊した円弧  
計算上は最小  $F_s = 0.85$  だが、崩壊した円弧は  $F_s < 1.0$  となる最小円弧

最小円弧で崩壊すれば、水圧が消散されてそれ以上の崩壊が抑えられる

最小安全率円弧以外は  $F_s < 1.0$  の円弧を表示

<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO 土層強度検査棒のc・φを利用してみる

## 崩壊前の斜面は存在できた！

### ＜土検棒利用手法＞

土検棒のc・φ利用  
 ・地下水圧無しの場合Fs=1.176>1.00\*\*\*OK

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
houkai_soil	Yellow	18	Mohr-Coulomb	1.5	31.6	Water Surface
basement	Orange	18	Mohr-Coulomb	32.6	13.9	Water Surface

最小安全率円弧以外はFs<1.0の円弧を表示 (ここではFs<1.0は無し)

#	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	upper_soil(No.3)	Cohesion	Λ Lognormal	1.5	2	0	6
2	upper_soil(No.3)	Phi	Λ Normal	31.6	1	3	3

順算に使えるぞ！

<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO 土層強度検査棒のc・φを利用してみる

## 降雨で地下水圧が上昇した場合の計算

黒の破線が実際に崩壊した形状  
 計算上は最小Fs=0.85だが、  
 崩壊した形状はFs<1.0となる最小形状

地下水位が上昇するとFs<1.0となった時点で崩壊が発生

最小形状で崩壊すれば、水圧が消散されてそれ以上の崩壊が抑えられる

最小安全率円弧以外はFs<1.0の円弧を表示

Reasonable!

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Use Type
houkai_soil	Yellow	18	Mohr-Coulomb	1.5	31.6	Water Surface	Constant
basement	Orange	18	Mohr-Coulomb	32.6	13.9	Water Surface	Constant

<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO 被災箇所の再現の場合

## C・φがわかると水頭だけが未知数になる

土質工学は崩壊時水圧を極めて甘く評価している、と思う

**某鉄道**

自然斜面は「安全側を見て地表まで地下水が満たされた」くらいでは容易に崩壊しないことが順算でわかる。被圧水頭がかかって初めて崩壊するようだ。

**菱刈町の道路沿い**

**崩壊面のパイプ流孔**

37  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO 被災箇所の再現の場合

## 残るは水圧だ！

**吹き飛ばされていない岩**

**吹き飛ばされた岩**

**菱刈町の道路沿い**

**吹き飛ばされた岩**

38  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 岩は水圧で吹き飛ばされた(仮説)

斜面上方から崩れた岩ではなく、横に吹き飛ばされた岩

end

表層土砂

パイプ流路

基盤岩

岩塊

溝跡

39

<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 岩は水圧で吹き飛ばされた(仮説)

40

<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 岩は水圧で吹き飛ばされた(仮説)

爆裂穴。出口の巨岩が横に吹き飛ばされているが背後の山(斜面)は崩れていない。

表層土砂  
パイプ流路  
基盤岩

道路

爆裂によって除圧され、あとは安定

41  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

高水圧こそが崩壊原因のような気がする

## 地下水が吹き出て崩壊が発生

爆裂的崩壊

相対的 離透水性地盤

盛土本体

土砂と水が流れた跡

地震による崩壊で現れたパイプ爆裂坑

新潟県小千谷市

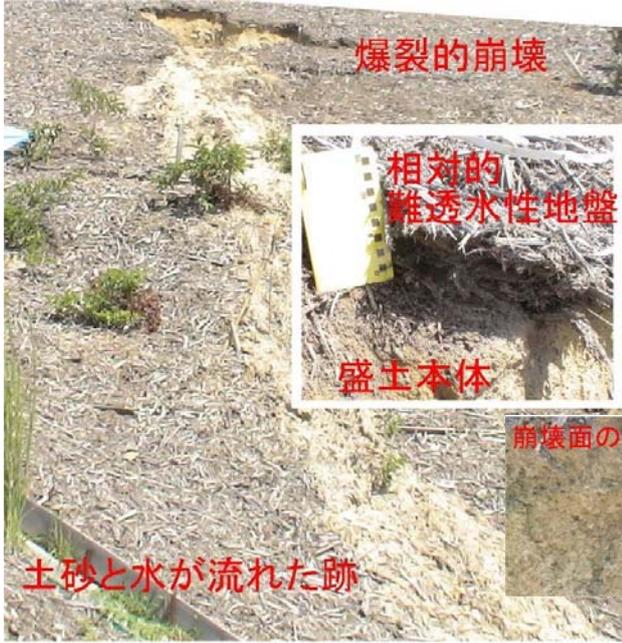
崩壊面内のパイプ (ポールペンが入る)

爆裂孔から液体状に流下する「土」

自由水頭で崩壊しているようには見えない

42  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

**OHTA-GEO** 高水圧こそが崩壊原因のような気がする



**爆裂的崩壊**  
地下水が吹き出て崩壊が発生

**相対的難透水性地盤**  
崩壊面にはパイプ穴があり、土砂は流動している

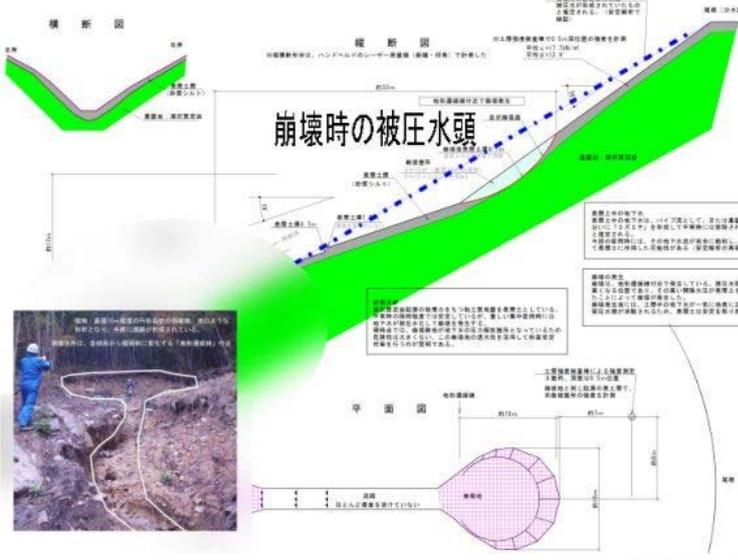
**盛土本体**  
表層部には「相対的難透水性地盤」

**土砂と水が流れた跡**  
崩壊面のパイプ流孔

43  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

**OHTA** 土質工学は崩壊時水圧を極めて甘く評価している、と思う

**C・φがわかると水頭だけが未知数になる**



**崩壊時の被圧水頭**

横断面図  
縦断面図  
平面図

崩壊時の被圧水頭

44  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

OHTA-GEO 高水圧こそが崩壊原因のような気がする

地震による崩壊で  
現れたパイプ爆裂坑



崩壊面内のパイプ  
(ボールペンが入る)

新潟県小千谷市

45  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO 高水圧こそが崩壊原因のような気がする

爆裂孔から  
液体状に流下する「土」



円弧滑り？など見たことない  
(海成堆積物の円弧滑り跡ならあるが)

押し抜きせん断破壊のようだ

パイプ流は永遠の課題だ！

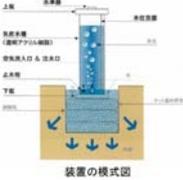
46  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO 土質ごとの標準値などは評価業務では使えない

## 透水性も現地で計測する



地盤調査の方法と解説  
p.555マリOTTサイホンによる原位置透水試験



装置の模式図



直径30cm、深さ30cmの穴を掘る



碎石を詰める



計測器および計測中の状況

試料名	試料番号	試料採取位置	試料採取深度	試料採取径	試料採取高さ	試料採取日	試料採取者	試料採取場所	試料採取状態	試料採取方法	試料採取器具	試料採取時間	試料採取回数	試料採取結果	試料採取備考
砂	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

解析例

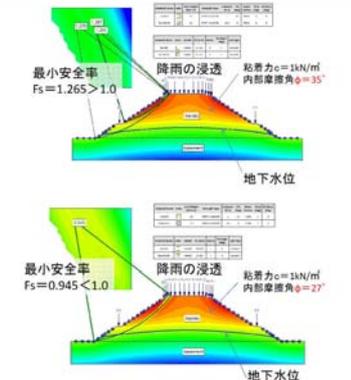
47  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO 「演繹」であることが何より大切

## 実測値があると演繹的評価が可能

地盤強度による安全率の違い

同じ地下水位条件でも、盛土地盤の強度が小さいほど安全率は小さく崩壊しやすい。



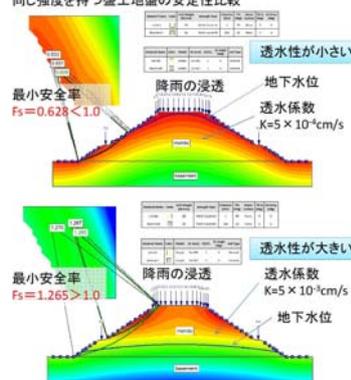
最小安全率  $F_s = 1.265 > 1.0$  降雨の浸透 粘着力  $c = 18 \text{ N/m}^2$  内部摩擦角  $\phi = 35^\circ$  地下水位

最小安全率  $F_s = 0.945 < 1.0$  降雨の浸透 粘着力  $c = 18 \text{ N/m}^2$  内部摩擦角  $\phi = 27^\circ$  地下水位

透水性の違いによる地下水位の違い

透水性が低い地盤は地下水位が高くなり(排水性能が悪い)、盛土が同じ強度であれば法面の安定性は低くなる

同じ強度を持つ盛土地盤の安定性比較



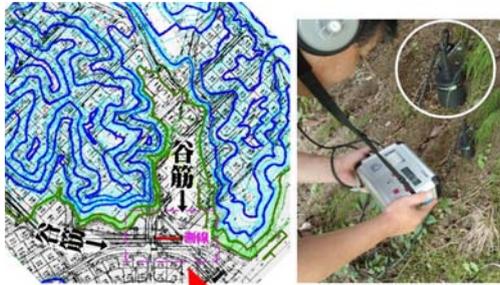
透水性が小さい 地下水位 透水係数  $K = 5 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$  降雨の浸透 最小安全率  $F_s = 0.628 < 1.0$

透水性が大きい 透水係数  $K = 5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$  降雨の浸透 地下水位 最小安全率  $F_s = 1.265 > 1.0$

解析理論がいかに高尚であっても、「逆解析」から導かれたものは、最初に結論ありきなので「あと講釈」

8  
[.co.jp](http://www.ohta-geo.co.jp)

# でも結局パイプ流じゃん！ 地下流水音計測



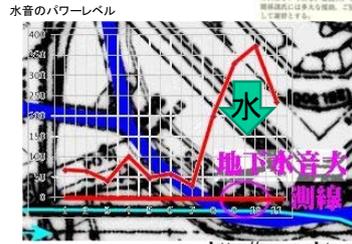
## 平成 25 年度砂防学会賞の受賞

**砂防技術賞** 多田泰之 会員（独立行政法人森林総合研究所）

●対象業績：地下流水音による水みち探査手法の開発  
 ●受賞の理由：崩壊の起きそうな箇所を未然に察知し対策することは、土砂災害防止には最も有効な方法であるが、その箇所の特定は今もお容易ではない。多田氏は、地下水が土層内の間隙を通過する際に発生する可聴音に着目し、その大小が地下水の位置と流量に関係するとの独自の仮説に基づき、この可聴音の探知のための装置を工夫し、これにより林道法面の調査を試行的に実施してきた。この結果、地下水の集中的に流れる水みちが探査できることを立証し、見出した箇所が後日豪雨により崩壊したことをによって、開発した探査方法の有効性を示し、これにより特許を取得した。この技術を基に、小型で汎用性の高い探査装置を開発し実用化した。この技術は、地下水を原因とする土砂災害等、砂防学会が対象とする問題の解決に貢献するものである。多田氏は、本技術の開発主導者であり、砂防技術賞の受賞に相応しいと判断された。本技術の詳細は、多田氏を著者として、砂防学会誌（Vol. 60, No. 4, p. 25 - 33, 2007 年 11 月）、および平成 23 年度砂防学会研究発表会概要集（p. 324 - 325, 2011 年 5 月）に掲載・発表された。

**（砂防技術賞）**  
 従来、豪雨で発生した崩壊地の多くで湧水やその痕跡が確認されてきた。これは、崩壊場所には潜在的に地下水が集中しており、豪雨時に地下水が過剰に供給され崩壊が生じていることを意味している。崩壊場所の予測精度を向上するには、この地下水の集中する場所を分けるようにする必要があった。  
 本研究では地下水の集中する水みちの位置を地下水の流れる音（＝地下流水音）で特定する。聴診器のような装置を用い地下流水音を測定すると、地下水の集中する場所では、周回よりも音が強いことが判明した。次に、国内各地で崩壊と水みちの位置を比較した。豪雨で発生した崩壊の大部分が水みちの位置と一致し、崩壊は地下水の集中する場所で発生していた。この結論には、動水勾配の関係で崩壊に地下水が集中するのではないかの疑問があった。そこで、音の強い崩壊の危険性が高い法面をモニターしたところ、その後の豪雨で実際に崩れ、この結論の信頼性を確認できた。  
 この手法には、聴音者の技量の差により結果が変わる大きな欠点があり、普及の妨げとなっていた。そこで、（株）拓和と測定装置の共同開発を始めた。時間はかかったが、静止して測定さえすれば、特別な技術がなくても誰でも同じ精度で水みちを推定できる装置が完成した。地下流水音探査は、一般的な高い技術であり、地下水の関与する様々な問題に大いに役立つと考えられる。会員の皆様には現場で生じる様々な問題の解決にご活用頂ければ幸いである。最後に、本研究を進めるにあたり、関係諸氏には多大な援助、ご協力、ご助言を賜った。記して謝辞とする。

多田泰之 会員



49 <http://www.ohta-geo.co.jp>

## 平成 25 年度砂防学会賞の受賞

**砂防技術賞** 多田泰之 会員（独立行政法人森林総合研究所）

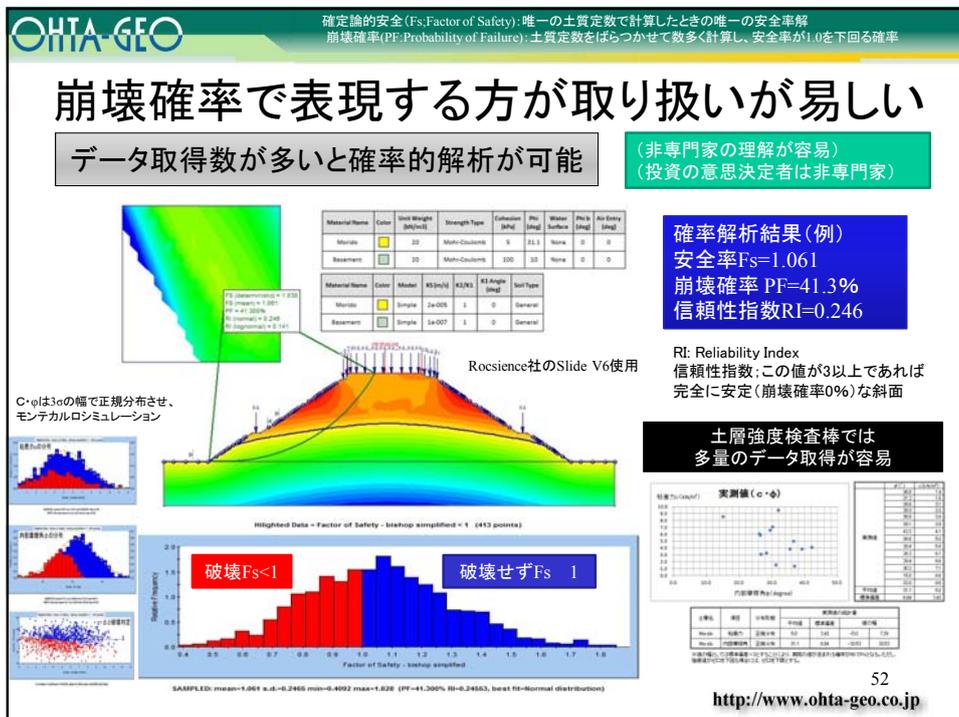
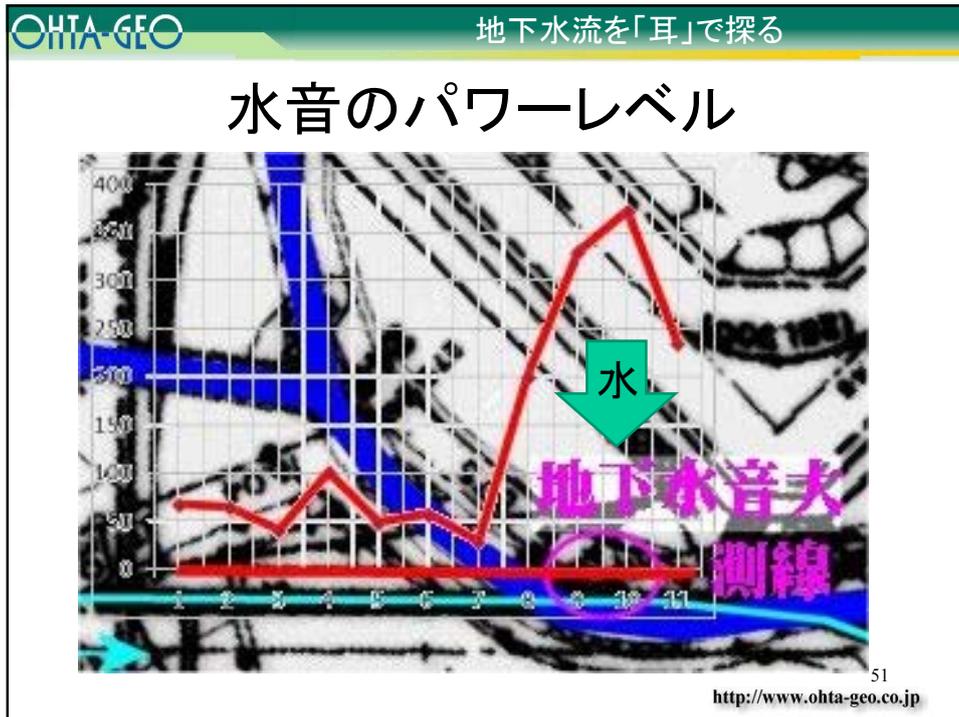
●対象業績：地下流水音による水みち探査手法の開発  
 ●受賞の理由：崩壊の起きそうな箇所を未然に察知し対策することは、土砂災害防止には最も有効な方法であるが、その箇所の特定は今もお容易ではない。多田氏は、地下水が土層内の間隙を通過する際に発生する可聴音に着目し、その大小が地下水の位置と流量に関係するとの独自の仮説に基づき、この可聴音の探知のための装置を工夫し、これにより林道法面の調査を試行的に実施してきた。この結果、地下水の集中的に流れる水みちが探査できることを立証し、見出した箇所が後日豪雨により崩壊したことをによって、開発した探査方法の有効性を示し、これにより特許を取得した。この技術を基に、小型で汎用性の高い探査装置を開発し実用化した。この技術は、地下水を原因とする土砂災害等、砂防学会が対象とする問題の解決に貢献するものである。多田氏は、本技術の開発主導者であり、砂防技術賞の受賞に相応しいと判断された。本技術の詳細は、多田氏を著者として、砂防学会誌（Vol. 60, No. 4, p. 25 - 33, 2007 年 11 月）、および平成 23 年度砂防学会研究発表会概要集（p. 324 - 325, 2011 年 5 月）に掲載・発表された。

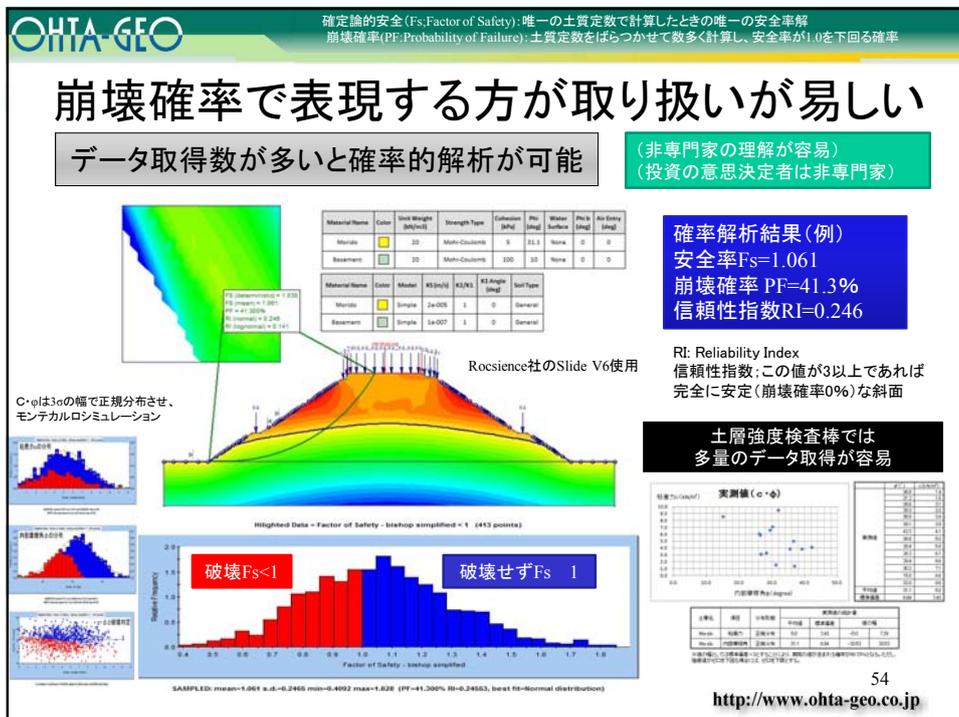
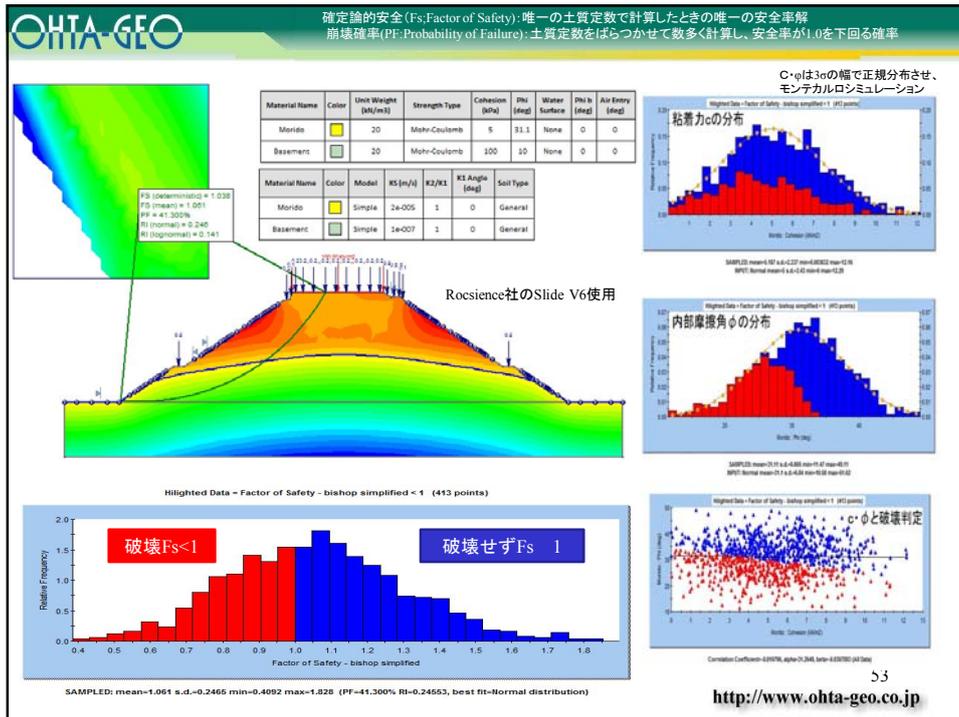
**（砂防技術賞）**  
 従来、豪雨で発生した崩壊地の多くで湧水やその痕跡が確認されてきた。これは、崩壊場所には潜在的に地下水が集中しており、豪雨時に地下水が過剰に供給され崩壊が生じていることを意味している。崩壊場所の予測精度を向上するには、この地下水の集中する場所を分けるようにする必要があった。  
 本研究では地下水の集中する水みちの位置を地下水の流れる音（＝地下流水音）で特定する。聴診器のような装置を用い地下流水音を測定すると、地下水の集中する場所では、周回よりも音が強いことが判明した。次に、国内各地で崩壊と水みちの位置を比較した。豪雨で発生した崩壊の大部分が水みちの位置と一致し、崩壊は地下水の集中する場所で発生していた。この結論には、動水勾配の関係で崩壊に地下水が集中するのではないかの疑問があった。そこで、音の強い崩壊の危険性が高い法面をモニターしたところ、その後の豪雨で実際に崩れ、この結論の信頼性を確認できた。  
 この手法には、聴音者の技量の差により結果が変わる大きな欠点があり、普及の妨げとなっていた。そこで、（株）拓和と測定装置の共同開発を始めた。時間はかかったが、静止して測定さえすれば、特別な技術がなくても誰でも同じ精度で水みちを推定できる装置が完成した。地下流水音探査は、一般的な高い技術であり、地下水の関与する様々な問題に大いに役立つと考えられる。会員の皆様には現場で生じる様々な問題の解決にご活用頂ければ幸いである。最後に、本研究を進めるにあたり、関係諸氏には多大な援助、ご協力、ご助言を賜った。記して謝辞とする。



多田泰之 会員

50 <http://www.ohta-geo.co.jp>





OHTA-GEO 2011年JLS研究発表会で紹介済

### 予測可能な事例 谷埋め盛土の地震時評価事例

2010年春に仙台市の谷埋め盛土で「たまたま」事前予測していた。そして東日本大震災で発生した現象と良く整合していた

詳しくは、下記報告書を参照  
(国土交通省総合プロジェクト)  
高度な画像処理による減災を目指す国土の監視技術の開発 総合報告書 平成22年12月  
国土地理院技術資料 C・1-No.400、地盤脆弱性評価システムは、報告書p127~143

<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

### 理論よりも現象の事実

要因	カテゴリー	N	カテゴリースコア	レンジ
横断形状 (幅/厚さ比)	0~4未満	46	-0.8 ~ 0.8	1.808
	4~8未満	62		
	8~10未満	21		
	10~12未満	19		
	12~50未満	80		
50以上	11			
滑動基準 (底面傾斜/厚さ比)	0~0.3未満	8	-0.2 ~ 0.4	0.606
	0.3~2未満	180		
	2~4.5未満	45		
形成年代	1974年以前	206	-0.1 ~ 0.1	0.193
	1975年以前	33		
谷の長軸方向	北北東-南南西	57	-0.1 ~ 0.1	0.114
	東北東-西南西	00		
	東南東-西北西	55		
地下水の豊富さ	少ない	45	-0.1 ~ 0.1	0.484
	豊富	194		

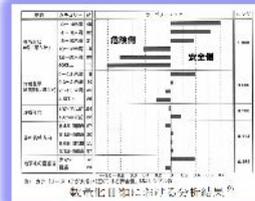
注) カテゴリースコアが大きい(正に)ほど安全側。Nはサンプル数

数量化II類における分析結果<sup>9)</sup>

56 <http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO 予測方法

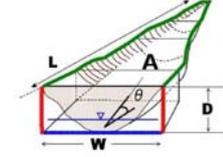
阪神間データセット



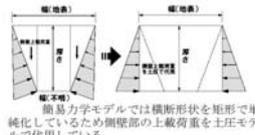
②数量化 類解析法  
[小数による点数法]  
(変動確率)

ニューラルネットワーク  
予測モデル

データは盛土形状のみ！



③側方抵抗モデル  
[力学モデルの体裁]  
(安全率)



簡易力学モデルでは横断形状を矩形で単純化しているため側壁部の上載荷重を土圧モデルで代用している

事例が増えれば増えるほど賢くなる

柏崎・長岡データセット

実験確率 =  $-0.000006x^2 + 0.0009x - 0.0081x + 0.0104$  (xは背斜値を必ず)

盛土高(m)	盛土幅(m)	盛土層/埋土層	背斜部の勾配(%)	地下床
3.50	21	埋土	5.52	1
3.75	12	埋土	5.10	2
4.00	6	埋土	5.10	2
4.25	12	埋土	5.10	2
4.50	12	埋土	5.10	2
4.75	12	埋土	5.10	2
5.00	12	埋土	5.10	2
5.25	12	埋土	5.10	2
5.50	12	埋土	5.10	2
5.75	12	埋土	5.10	2
6.00	12	埋土	5.10	2
6.25	12	埋土	5.10	2
6.50	12	埋土	5.10	2
6.75	12	埋土	5.10	2
7.00	12	埋土	5.10	2
7.25	12	埋土	5.10	2
7.50	12	埋土	5.10	2
7.75	12	埋土	5.10	2
8.00	12	埋土	5.10	2
8.25	12	埋土	5.10	2
8.50	12	埋土	5.10	2
8.75	12	埋土	5.10	2
9.00	12	埋土	5.10	2
9.25	12	埋土	5.10	2
9.50	12	埋土	5.10	2
9.75	12	埋土	5.10	2
10.00	12	埋土	5.10	2

①ガイドライン点数法  
[整数による点数法]  
(変動確率)

学習効果

実験確率 =  $0.0973sc - 0.0097sc - 0.4961sc + 0.5045$

77  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 盛土造成地の滑動崩落原因

- **盛土形状説**: 実際に阪神・淡路大震災で変動した盛土と変動しなかった盛土の外形的情報で統計処理したところ、幅/深さ比が圧倒的相関性を持っていたことから。
  - ・・・実際に発生した現象に基づく
- **土質強度激減説**: 大きな揺れによって盛土の強度が著しく低下することから。
  - ・・・採取サンプルの土質試験結果に基づく？

谷埋め盛土底面傾斜角が緩い方が変動が多かったのを説明できるのはどちらか？

<http://www.ohta-geo.co.jp>

## 地盤調査・地下調査(再掲)

半経験的な規定に基づいた設計は、数多くの精密な土質試験を必要としない。そのような試験の結果は、われわれの問題に対処する能力を増加させることにはならないからである。代表的な試料を10か20として、重要な特性を概略きめることで十分である。われわれの主要な努力は、地盤上の構造上の形式を解明し、その最弱点・最強点の場所を示すことに集中しなければならない。調査は現在ボーリングとサウンディングを組み合わせて実施されている。現場試験によって得られたデータから実物大構造物の実績への外挿は、理論考察と結合した統計手法によっている。

59

<http://www.ohita-geo.co.jp>

## 予防工としての必要条件

- 安価であること
- 誰にでも施工できること
- 調査・解析結果が仮に不適切であったとしても決して危険側にならないこと(フェイルセーフ)
- 人間はいつだって間違える
- 土の話は真実に到達しない
- 地盤内に大きな水圧が作用しないようにすること(健全なミズミチを確保すること)
- 小崩壊によってミズミチを閉塞させないこと(地盤補強)
- 急激な水圧上昇時に圧力を逃がすこと(水圧消散)

60

<http://www.ohita-geo.co.jp>

## 最重要なこと

- 理屈では良く説明しきれないが、どうも  
**パイプ流の水圧が斜面  
の崩壊に大きな影響を与  
えているようだ！**

61

<http://www.ohta-geo.co.jp>

## 土壌雨量指数の示す意味

その地域の第1～3位で崩壊が発生する

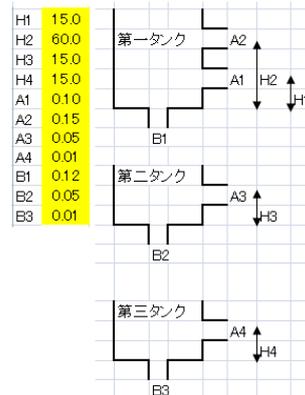
**さ** 地盤が緩む 天気予報用語集  
【読み方:じばんがゆるむ】【動詞】

◆解説◆

短時間の大雨や、長時間にわたって雨が降る場合、雨が土壌にしみこみ、土壌水分量が増加すること。  
土砂災害のうち、山崩れ、崖崩れの発生危険性は、土壌水分量が多いほど高いことが知られています。

工七解説

ダイエットをしている人にとって、Gパンが緩むことは喜ばしいことなのです。  
「～お年頃」



<仮説> その地域最大の雨は、その地域のパイプ流路のキャパシティに対応している・・・それを超えると被圧水化する

<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO 排水補強パイプ

## 鋼製パイプドレーン工

道路盛土

自然のパイピングホールは自然の地下水排除工の役割を果たしているが、時々閉塞して背後に高水圧を発生させる。人工的なパイピングホールを形成させ、かつ地盤を補強する

河川堤防

高速道路

63  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO 排水補強パイプ施工例

【コスト】  
 標準L=3.6m  
 直工25000円/本前後  
 (7000円/m前後)  
 3mに1本として  
 8500円/m<sup>2</sup>  
 耐用年数、メッキ80年  
 LCC 約110円/m<sup>2</sup>年

鉄道盛土

マサ土切土法面

造成地盛土

道路盛土

擁壁盛土

道路盛土

切土法面

道路切土

<http://www.ohta-geo.co.jp>

## 維持管理の調査法

- 「現状を評価する」ためには①現地で地盤強度や透水性を**実測**し、**演繹的評価**をしなければならない
- それと同時に、②**低コスト化**も実現しなければならない
- ①と②は本来**トレードオフ**の関係にある
- **従来型**の、ボーリング調査＋不攪乱試料採取＆土質試験＋現場透水試験で、維持管理の目的で実現するのは**事実上不可能**

65

<http://www.ohita-geo.co.jp>

## 調査・対策法の一つの提案

- **土層強度検査棒**: 地盤の多点 $c \cdot \phi$ 計測(統計処理上同一地層3点以上)
- **原位置透水試験装置**: 透水性探査
- **地下水音計測装置**: パイプ流の位置探査
- **崩壊確率評価法**: 対策の優先順位付け
- **鋼製パイプドレーン工**: ミズミチ保全・地盤補強・地盤内地下水の排水

盛土では表面波探査法による盛土形状計測があるとなお良い

66

<http://www.ohita-geo.co.jp>

## 盛土構造物の問題点

- 盛土構造物は、「良質土」+「標準盛土勾配」であれば、安定という「約束事」で造られた土構造物
- このため、「現状の安定性評価」の概念を持ち合わせていない→崩れて初めて騒ぐことが多い(特に道路・造成地)
- 鉄道盛土は以前から事前調査・事前対策が行われ、河川堤防は近年それがなされるようになってきた

67

<http://www.ohta-geo.co.jp>

## 本日の話に「答え」はありません

- これまで「答え」だと思っていたことが、まだ壊れていない構造物に対しては「答えではなかった」ことをお話ししました。
- そして、いまできる最善と思われるやり方の一例をご紹介しました。

68

<http://www.ohta-geo.co.jp>