

# 地殻工学防災研究における共同研究について

第9回防災シンポジウム

2015年12月17日

島嶼防災研究センター・研究開発室 地殻工学防災研究所

藍壇オメル 渡嘉敷直彦

## 共同研究・委託研究

### (株)ワールド設計

- ・ 地盤の液状化判定システムの開発
- ・ 那覇新港における地盤の固有振動数の評価(常時微動計測)
- ・ 社員継続教育プログラムの実施

### アーススキャンニング研究会(ESA)・RAAX(株)

- ・ 改良地盤の物性値の評価に関する研究

### 中城村教育委員会・(株)真南風・しまたてい協会

- ・ 自然・石造文化財の保存に関する動態観測システムおよび固有振動特性の評価
- ・ 史跡・ペリー旗立て岩の地震時の安定性に関する検討

### (株)中電技術コンサルタント

- ・ 岩石の静的および動的繰り返しせん断試験機の開発とせん断挙動の検討

### 沖縄県土木建築部

- ・ 新石垣空港空洞対策工モニタリング

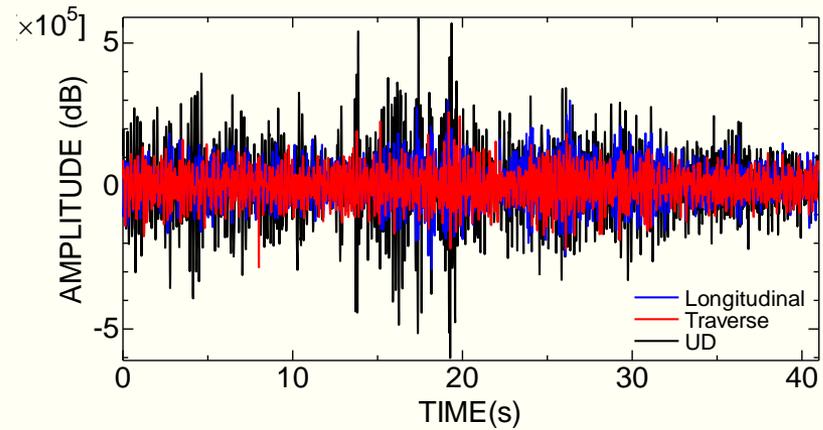
## 今後の共同研究の可能性

- 琉球諸島のGPS変位観測データによる地殻ひずみ・応力の推定と地震予知の可能性
- 島尻層群斜面の静的・動的安定性評価と斜面崩壊後の挙動予測
- 琉球諸島における自然空洞の安定性評価
- 琉球諸島の海食崖の安定性評価
- 歴史的石積み建造物の保存・維持・管理
- 種々の地盤における杭基礎の支持力推定と支持層の問題
- サンゴ礫混じり層の力学特性および支持力

# 常時微動計測による那覇新港倉庫上屋建設予定地地盤の振動特性



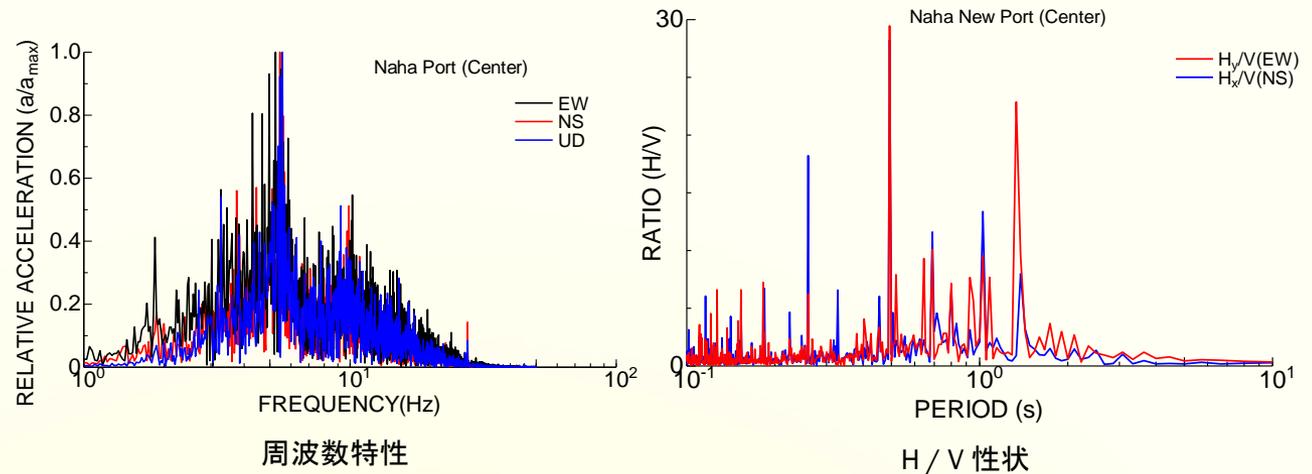
那覇新港倉庫上屋建設予定地



計測された常時微動データ



計測の様子



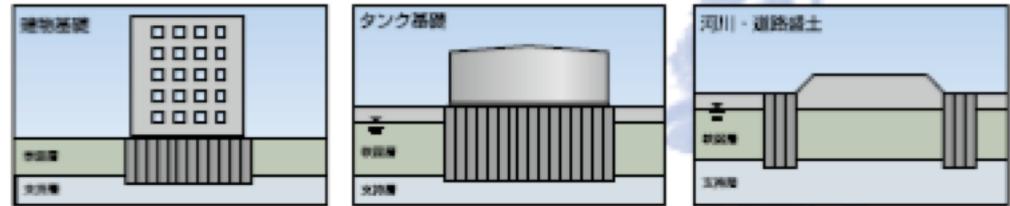
周波数特性

H / V 性状

# 改良地盤の物性値の評価に関する研究



削孔・攪拌機



改良地盤の用途の例

## 改良地盤の変形・強度特性の検討



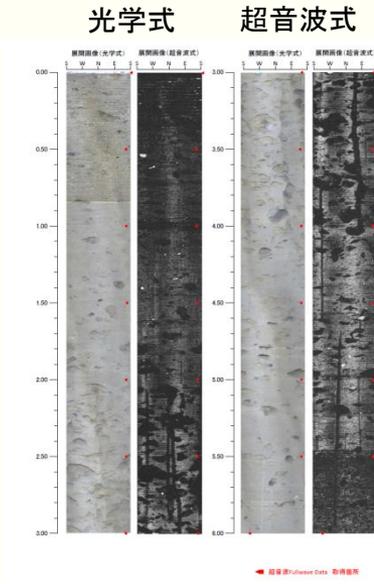
大口径機械攪拌深層混合処理による改良体の全景

| 評価の対象         | 評価手法                           | 評価項目                             |
|---------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 改良体の変形特性・強度特性 | USS (超音波)<br>ODS (光学式)<br>力学試験 | ・圧縮強度<br>・変形係数<br>・空隙の状態         |
|               | 針貫入試験                          | ・針貫入指数 (NPI)<br>・固結部・介在物の物性値との関係 |
|               | ステレオロジー法<br>多孔質体均質化法           | ・空隙率推定<br>・均質化物性値                |

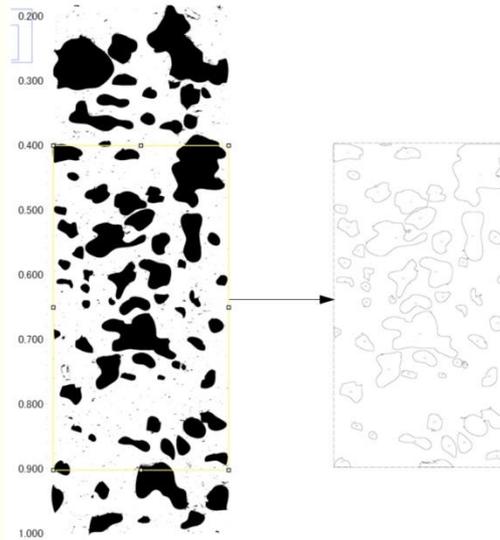
# 改良地盤の物性値の評価に関する研究



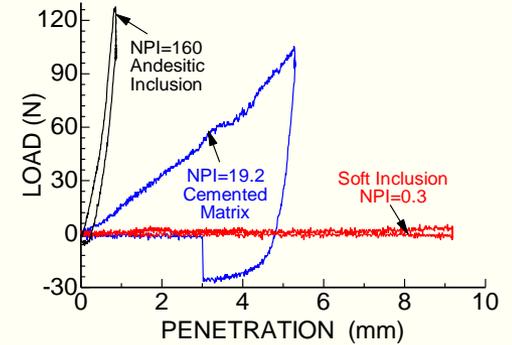
フルウェーブ測定装置



改良体サンプルの展開画像



Stereologyによる改良体空隙率評価



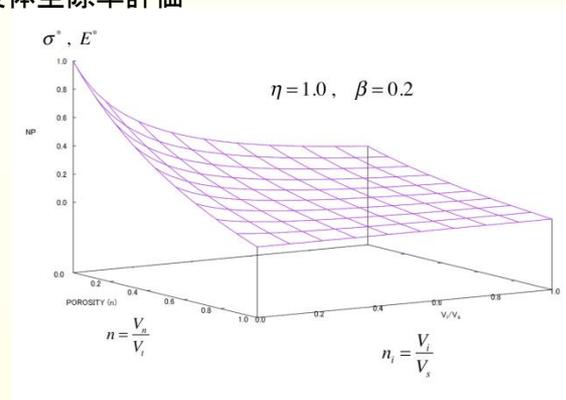
針貫入試験による改良地盤を構成する物質の荷重・変位関係



試験機による針貫入試験



手動による針貫入試験



均質化モデルによる改良体の物性値評価

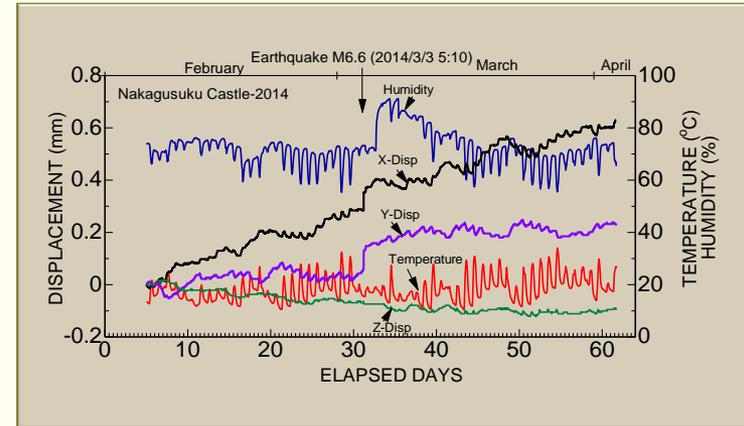
# 自然・石造文化財の保存に関する動態観測システム



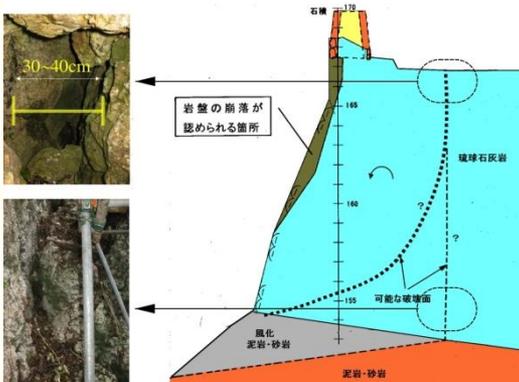
地震発生による勝連城社の被害



多重パラメータ計測システム設置状況(中城城社)



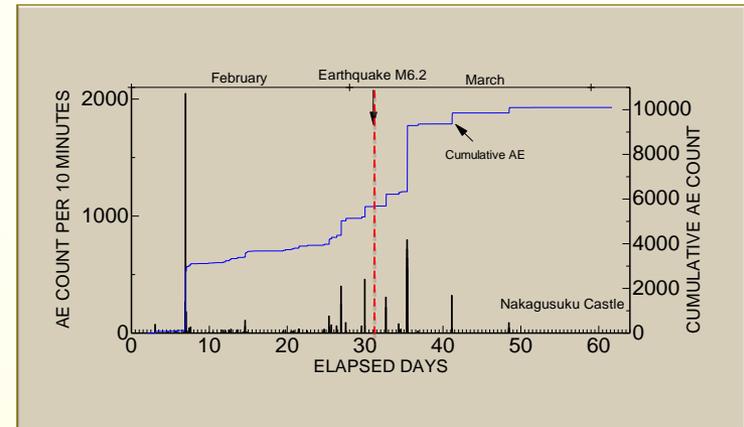
亀裂変位(3方向)・温度,湿度の変化の例  
(2014年2月1日～4月5日の計測結果)



中城城社亀裂(急崖斜面上部)



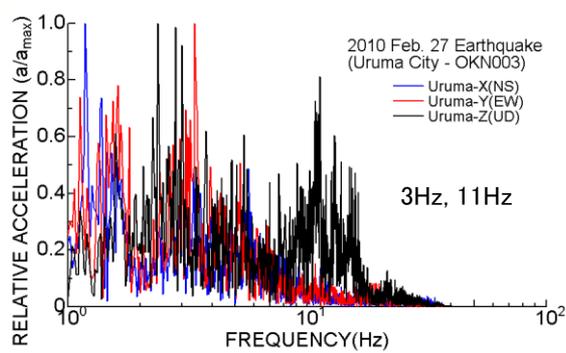
亀裂部へのセンサー取り付け状況



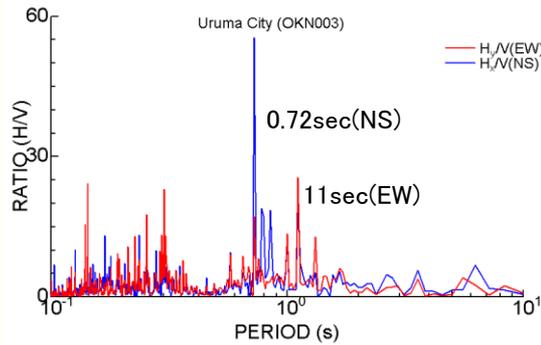
AE挙動の例 (2014年2月1日～4月5日の計測結果)

# 自然・石造文化財の振動特性(常時微動計測)

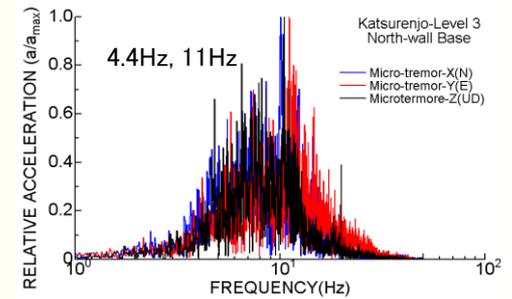
## 2010年地震による勝連城址の地震応答と常時微動計測による解析結果の比較



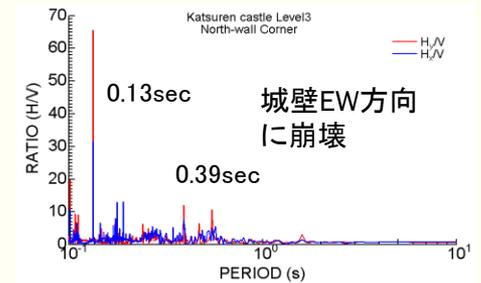
地震加速度記録によるFourierスペクトル



地震加速度記録によるH/Vスペクトル

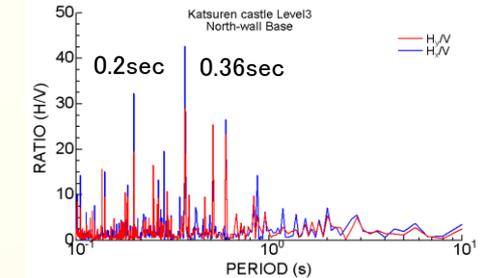


城壁基盤のスペクトル(常時微動解析)



城壁EW方向に崩壊

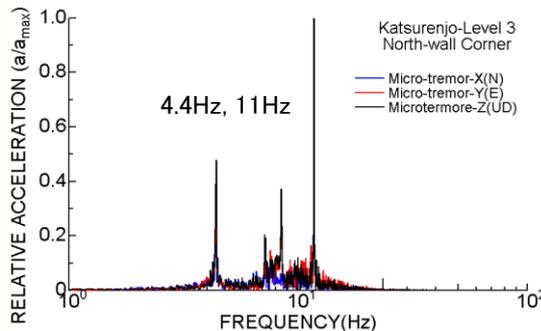
城壁上部のH/Vスペクトル(常時微動解析)



城壁基盤のH/Vスペクトル(常時微動解析)



勝連城址における常時微動計測の様子



城壁上部のスペクトル(常時微動解析)

# 史跡・ペリー旗立て岩の地震時の安定性に関する検討(模型実験)

## 史跡・ペリー旗立て岩周辺整備事業 (中城村)



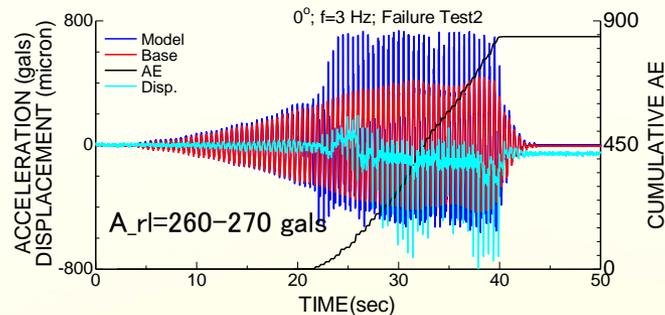
ペリー来航時に描かれた旗立て岩



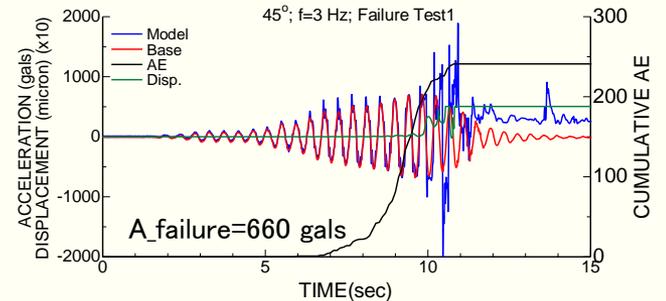
現在の旗立て岩



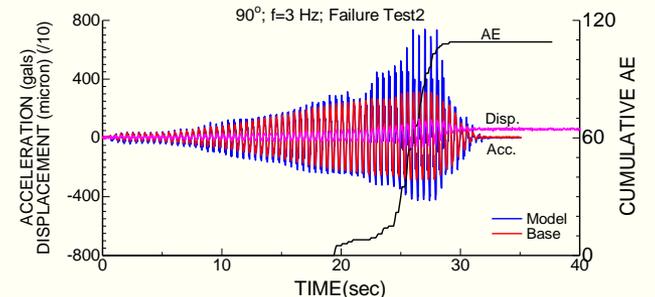
振動台模型設置状況



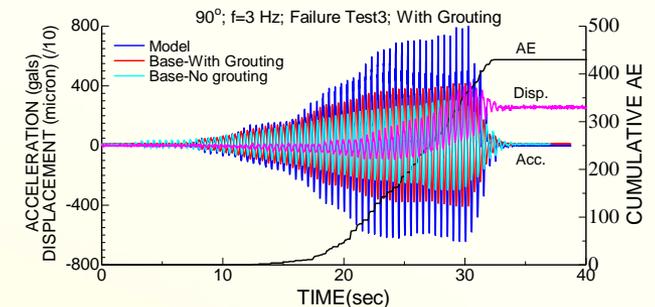
破壊実験(入射角0°)



破壊実験(入射角45°)



破壊実験(入射角90°)



破壊実験(補強時)

# 静的および動的繰り返しせん断試験機の開発とせん断挙動の検討



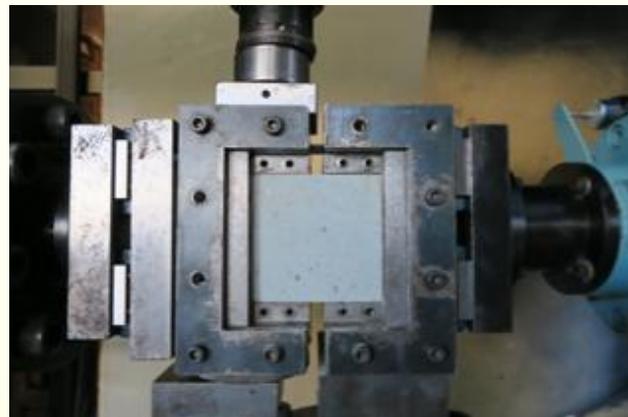
設置されたせん断試験機の状況



岩石供試体のせん断箱セット状況



せん断試験機制御装置



岩石供試体のせん断箱セット状況

## 試験機の特徴

- ・油圧サーボシステムによる荷重制御・静的、動的繰り返し載荷せん断試験機
- ・地震振動データ入力による繰り返し載荷試験
- ・クリープ載荷試験

## 今後の検討事項

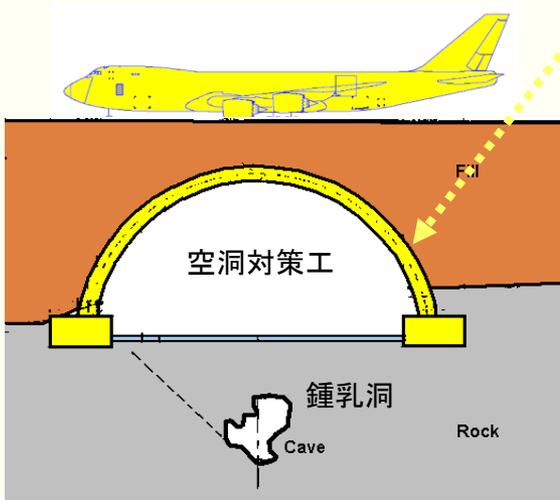
- ・種々の岩石の静的・動的せん断特性
- ・軟岩(島尻泥岩, 砂質石灰岩)の動的せん断特性
- ・礫混じり土の静的・動的せん断特性
- ・杭の周面摩擦力の検討
- ・コンクリート打ち継ぎ目のせん断特性



# 新石垣空港空洞対策工のモニタリング（沖縄県）



建設中の新石垣空港



滑走路直下の空洞対策工



建設中の空洞対策工



モニタリング：変位・AE・加速度



# おわりに

Rock Mech Rock Eng (2014) 47:1255–1276  
DOI 10.1007/s00603-013-0462-z

ORIGINAL PAPER

## A New Rock Mass Quality Rating System: Rock Mass Quality Rating (RMQR) and Its Application to the Estimation of Geomechanical Characteristics of Rock Masses

Ömer Aydan · Reşat Ulusay · Naohiko Tokashiki

Received: 9 March 2013 / Accepted: 22 July 2013 / Published online: 4 September 2013  
© Springer-Verlag Wien 2013

**Abstract** The qualitative description of rock masses by means of classification systems and subsequent correlation to establish engineering quantities or design parameters has become one of the most challenging topics in rock engineering. Many rock mass classification systems have been proposed for rock masses with the consideration of a particular rock structure and/or specific purposes. Therefore, direct utilization of these systems, in their original form, for the characterization of complex rock mass conditions is not always possible. This is probably one of the reasons why rock engineers continue to develop new systems or modify and extend current ones. The recent tendency is to obtain rock mass properties from the utilization of properties of intact rock and rock classification indexes, which have some drawbacks. In this study, it is aimed to propose a new rock mass quality rating system designated as Rock Mass Quality Rating (RMQR). This new rock mass rating system is used to estimate the geomechanical properties of rock masses. In the first part of this paper, the input parameters of RMQR and their ratings are given and discussed. In the second part, the unified formula proposed by the first author is adopted for the new rock mass rating system for estimating the rock mass properties and compared with the results of the in situ tests carried out in

Japan and those estimated from some empirical relationships developed by other investigators, and the outcomes of these studies are presented and discussed.

**Keywords** Rock Mass Quality Rating · Geomechanical properties · Rock mass classifications · Degradation degree · Groundwater absorption condition · Groundwater seepage condition · Discontinuity condition · Discontinuity spacing · Discontinuity set number · RMR ·  $Q$ -value

### 1 Introduction

Over the last seven decades, a large number of engineering rock mass classifications have been proposed. However, it is very likely that rock mass classifications might have been used by engineers of rock mechanics in much earlier times when the construction of man-made antique underground excavations in Bazzda (SE Turkey) and Qurna (Egypt) underground quarries, underground or semi-underground cities in Cappadocia (i.e., Ağlılı, Derinkuyu, Zelve, Ihlara, etc., Central Anatolia, Turkey) and Bezeklik Buddha Caves in East Turkistan, and Pharaoh tombs (i.e., Amenophis III, Ramses II, Seti I, King V) in Luxor of Egypt are considered. For example, one can easily notice how the pioneers of rock mechanics recognized the differences among the responses of shale, fractured soft and hard limestones, and massive soft limestone in the short-term and long-term as rock mass when siting the underground tombs (Fig. 1). Unfortunately, there is no accessible document about the rock classifications of the pioneers of rock mechanics about 3,000–4,000 years ago, except for the historical remains in various countries around the world.

Ö. Aydan (✉)  
Institute of Oceanic Research and Development,  
Tokai University, Shizuoka, Japan  
e-mail: aydan@scc.u-tokai.ac.jp

R. Ulusay  
Geological Engineering Department, Hacettepe University,  
Ankara, Turkey

N. Tokashiki  
Civil Engineering Department, Ryukyu University,  
Okinawa, Japan



## 平成26年度岩の力学連合会「論文賞」受賞

## 新しい岩盤クオリティー評価(RMQR)システムの 提案と岩盤物性値への適用

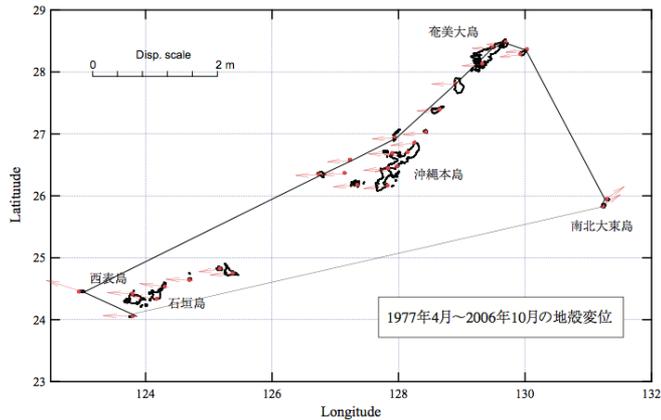


受賞式（平成27年6月26日）

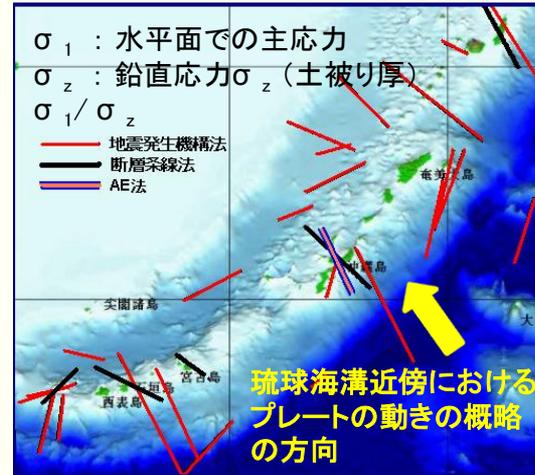
受賞の対象となった主要論文(Rock Mechanics and Rock Engineering)



# 琉球諸島のGPS変位観測データによる地殻ひずみ・応力の推定と地震予知の可能性

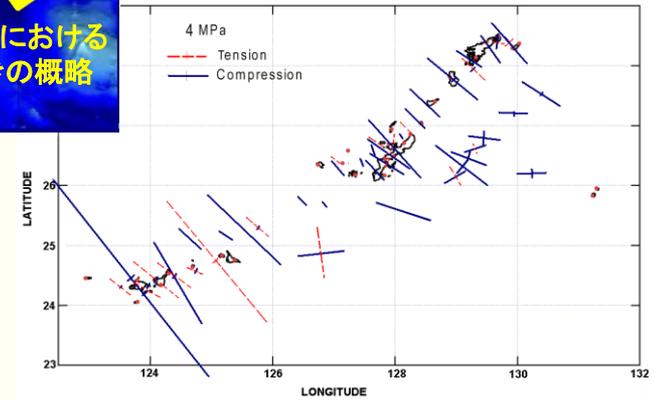


GPS地殻変動観測による観測点の変位

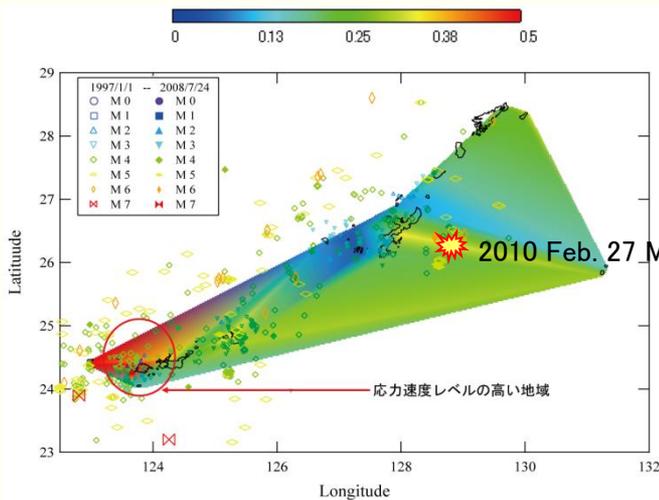


100 km

AE法, 断層条線法, 地震発生機構より推定した初期応力



GPS地殻変位解析による主応力速度分布

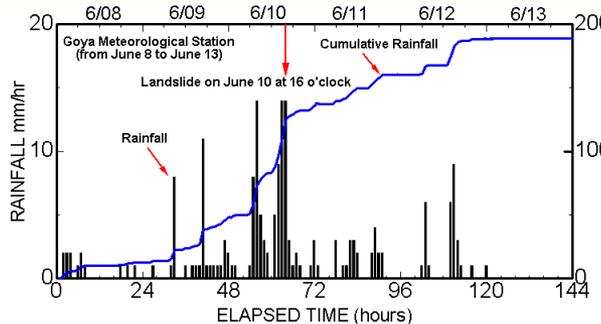


最大せん断応力速度と発生地震の関係(1997.1-2008.7)

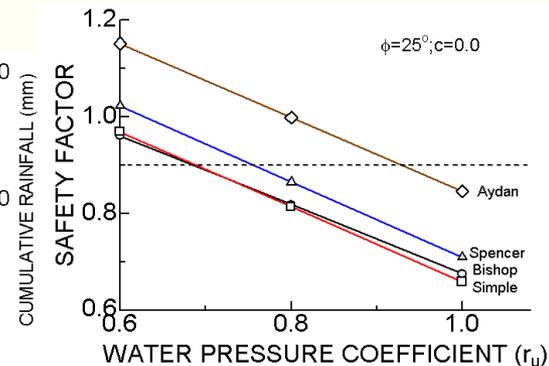
# 島尻層群斜面の静的・動的安定性評価と斜面崩壊後の挙動予測



崩壊発生: 2006年6月10日午後5時ごろ



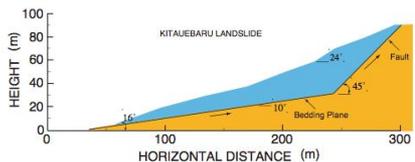
降雨状況



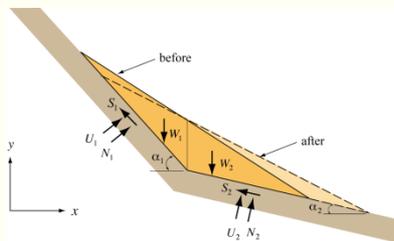
間隙水圧の変化と安全率



岩塊のすべりをもたらした層理面



予想すべり断面



## すべり岩塊の運動方程式

$$\frac{d^2s}{dt^2} + h \left( \frac{ds}{dt} \right)^b - B(t) = 0$$

$$B(t) = \frac{g}{\bar{m}} \left( \sum_{i=1}^2 m_i (\sin \alpha_i - (\cos \alpha_i - r_u) \tan f_i) + \frac{c_i A_i}{g} \right)$$

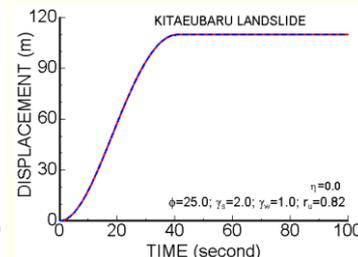
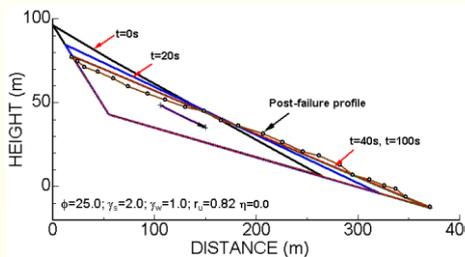
$$h \bar{m} g \left( \frac{ds}{dt} \right)^b = \sum_{i=1}^2 h m_i g \left( \frac{ds_i}{dt} \right)^b$$



破砕面

## ● 泥岩の摩擦角

現場から採取した泥岩の乾燥状態における傾斜実験から得られた摩擦角は、34° - 38°であった。



すべり面の状況

斜面崩壊後挙動予測

# 琉球諸島における自然空洞の安定性評価



石垣鍾乳洞

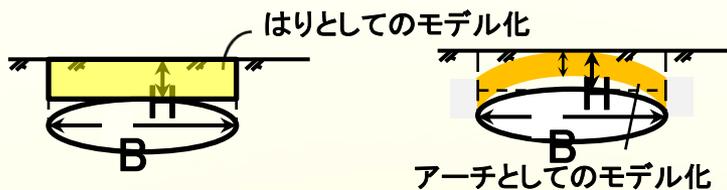


中原鍾乳洞(宮古島)

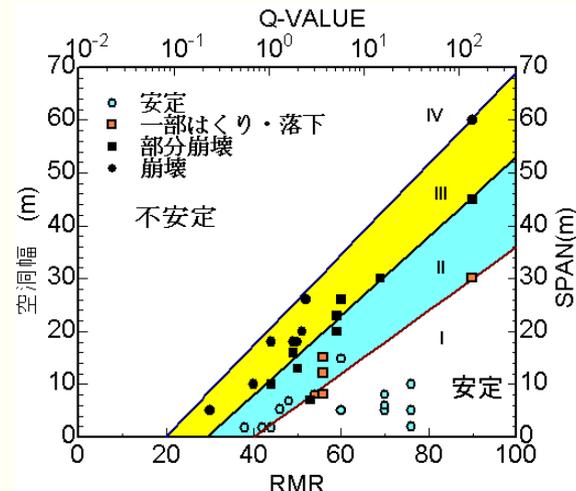
## 琉球諸島における自然空洞の自立幅と岩盤分類の関係

| 領域番号 | 解釈  |
|------|---|
| I    | 局部的・全体的に安定  |
| II   | 局部的に天端からブロックの落下や側壁からブロックのすべりなどが発生する。しかし、空洞が全体的に安定である                |
| III  | 局部的に発生するブロックの落下やすべりによる崩壊領域が大きく、崩壊領域の高さが空洞幅より大きい。また、長期で全体破壊至る可能性が高い。 |
| IV   | 空洞が全体的に不安定である   |

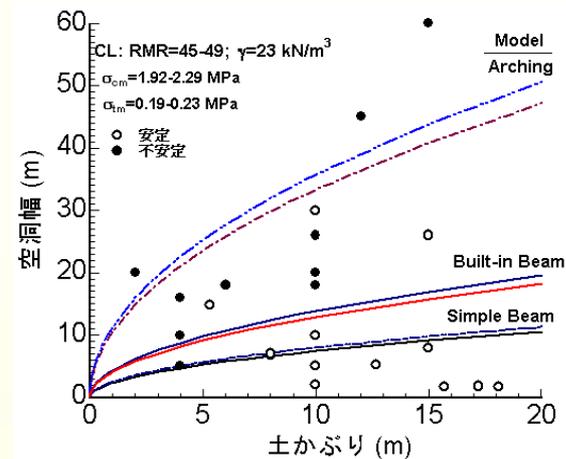
## 空洞の安定性の状態を4領域に分類



## 天端を単純梁、両端固定梁およびアーチとした安定性評価と実測値の比較



## 岩盤分類に基づく空洞の安定性の評価方法





# 琉球諸島の海食崖の安定性評価



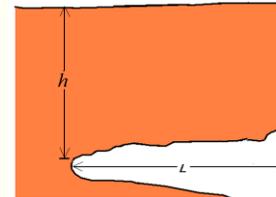
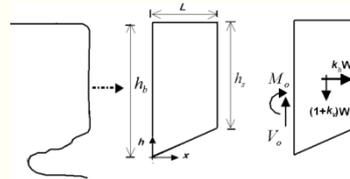
具志川城址基礎岩盤(糸満市)



石灰岩層オーバーハングの崩壊(南城市)

## 琉球諸島の海食崖の安定条件

### オーバーハング力学モデル



h: 海食崖高さ (m)  
L: 海食崖浸食深さ(m)

### オーバーハング限界深さ

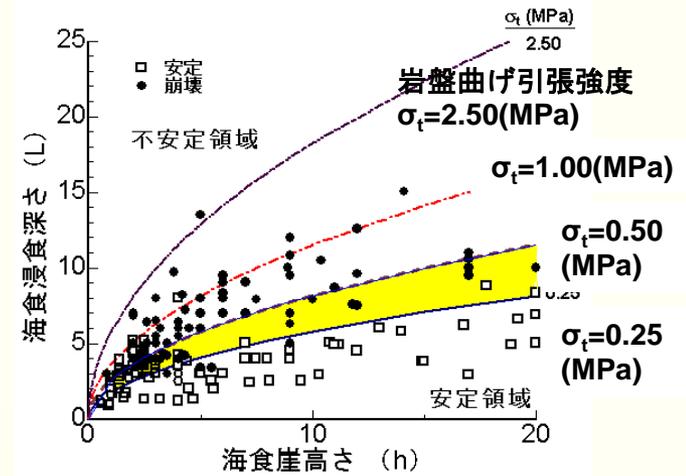
$$L > H \sqrt{\frac{\sigma_t}{3\gamma H}}$$

### 引っ張り破壊とせん断破壊の限界条件

$$H = 3 \frac{c}{\sigma_t} L$$

### 岩盤の引張り応力評価

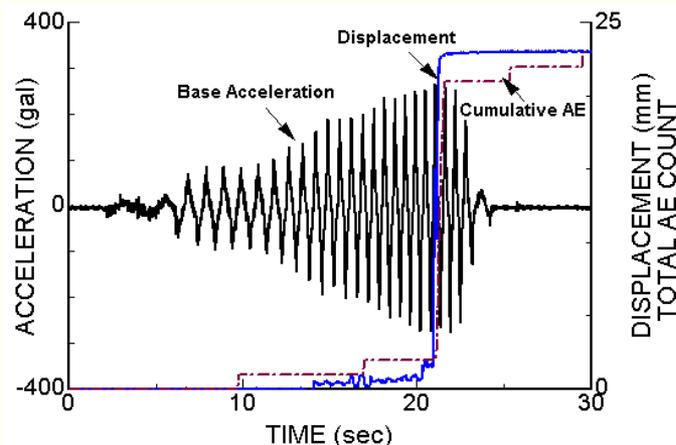
$$\frac{\sigma_m}{\sigma_{ii}} = \frac{RMR}{RMR + \beta(100 - RMR)}$$



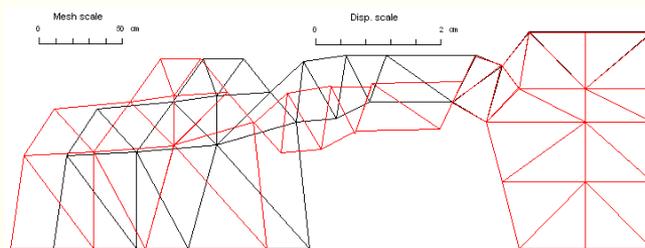
# 歴史的石積み構造物の保存・維持・管理(地震安定性評価の例)



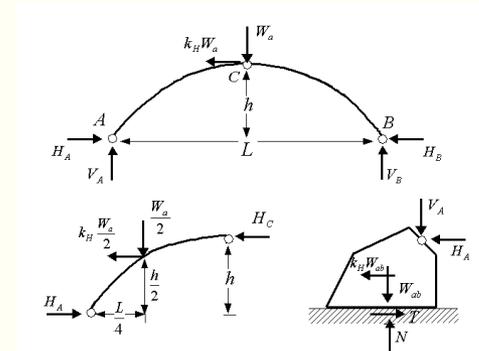
石積みアーチ構造(伊江殿内)



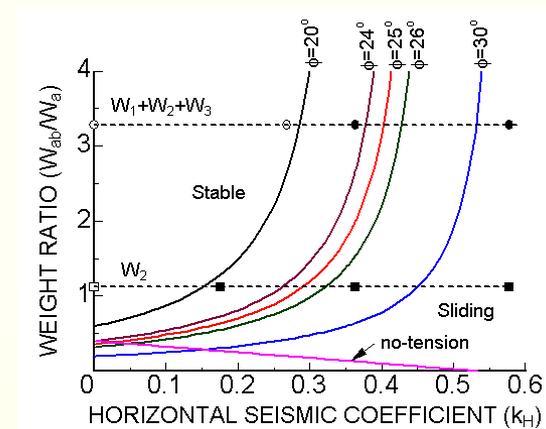
振動変形・AE挙動



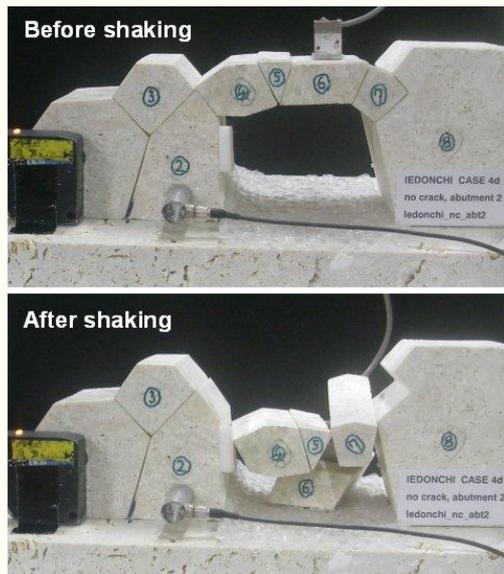
DFEM解析



動的解析モデル



解析による安定性評価



石積みアーチモデル振動載荷実験