

佐世保市早岐港（大島地区）の海底地質

葎谷 武 司 (株式会社親和テクノ)

Marin Geology of Egami Oshima Fishing Harbor in Sasebo City

Takeshi YOSHITANI

1 まえがき

長崎県は北海道に次ぐ水産漁業県である(表1)。その生産基地となる漁港は全国に2879箇所ある。長崎県には284箇所の漁港があり第1位である(平成27年水産庁)。漁港数が200を超えるのは長崎県と北海道だけで3桁を有するものも全国8都道府県にすぎない。

表1北海道と長崎県の比較(※平成25年総務省)

	※漁獲高(千t)	海岸線(km)	面積(km ²)
北海道	1141(1位)	4454(1位)	83424(1位)
長崎県	244(2位)	4189(2位)	4132(37位)

長崎県に漁港が多い理由は長い海岸線にある。面積が小さいわりに海岸線が長いのは山に深く入り込んだ河谷の存在にある。そのため河口の多くは三方を山に囲まれ、海底は沖積層(砂質土や粘性土)に覆われて遠浅になる。したがって良港になりやすい。

調査地である早岐港(大島地区)も三方を山に囲まれた遠浅の良港である。その良港をもたらす海底地質は大村湾の地史や第四紀海水準変動を語る上で貴重な資料となり得るものである。

中央から遠く離れ平地が少なく地理的に不利な長崎県にとって資源豊かな海と良港をもたらす地形地質は天の恵みと言える。本書はその事例紹介である。

2 地形地質概要

調査地はハウステンボスの南1km、大村湾北方に位置する佐世保市江上町大島である。大島は北北西-南南東1km、北東-南西0.5kmを有し、中央の凹地をはさんで南北に玄武岩がつくる小丘を有する。調査地周辺では多くの断層が推定できる。大島北方の針尾島には北東-南西の尾根がある。この尾根は大島が伸張する方向と斜交することから、針尾島と大島との間に断層を推定することができる。また大島の尾根の伸張方向には引張

力が働くため大島の中央に正断層が推定される。その断層によって落ち込んだ部分に火砕流堆積物がある(火山礫凝灰岩)。

大島の地質は下位から古第三紀層西彼杵層群(砂岩)、西海凝灰角礫岩及び玄武岩からなる。砂岩と玄武岩との間に面高礫岩層が挟在する。そして海底に第四紀軟弱層が堆積している。

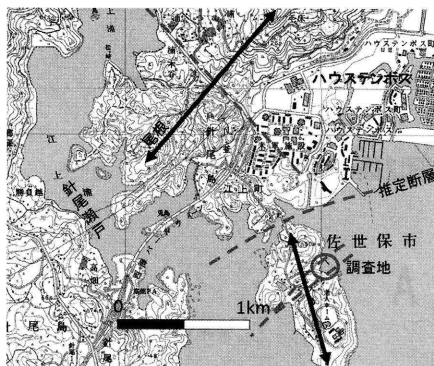


図1 調査位置図

3 スパット台船

ボーリング作業はスパット台船を使用しオールコアリングと標準貫入試験を実施した。

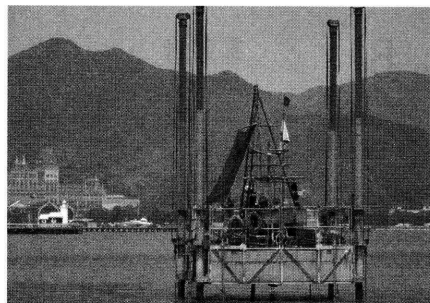


写真1 スパット台船 (左はハウステンボス)

同時に粘性土の不攪乱試料を2m間隔で採取し土質試験を実施した。不攪乱試料には番号をつけて整理した。例えばNo.19孔深度1mからの不攪乱試

料はT19-1、同3mはT19-2、同5mはT19-3、同7mはT19-4という具合である(図3)。

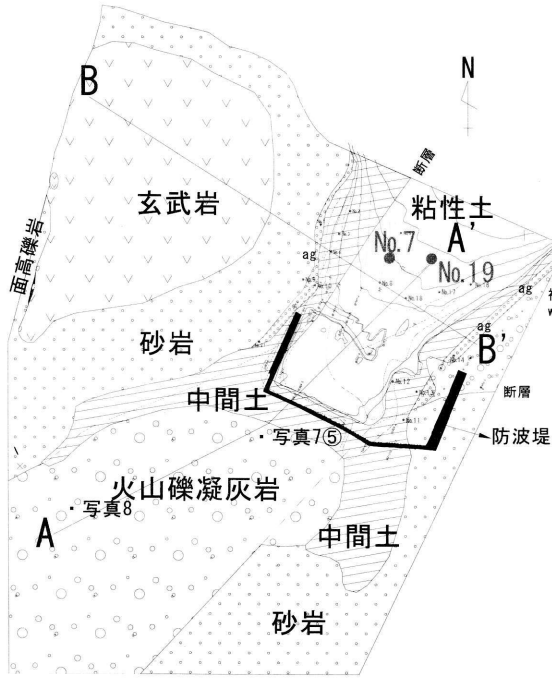


図2調査地質平面図 0 50m

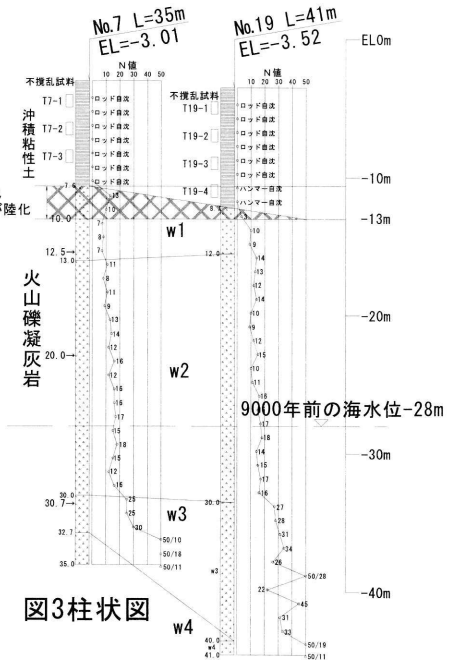


図3柱状図



図4-1 A-A' 地質断面図

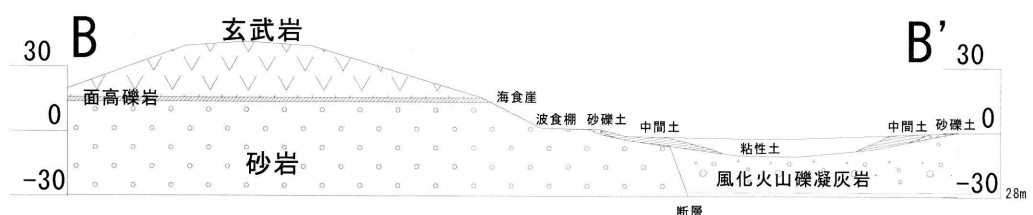


図4-2 B-B' 地質断面図

4 地質各説

4-1 玄武岩、面高礫岩層

玄武岩は大島漁港北西の山頂に分布する。岩盤全体が風化している。ボーリングコアで玄武岩脈が砂岩に貫入しているのが確認できる。



写真2 風化玄武岩



写真3 新鮮砂岩に貫入している脈状玄武岩

玄武岩脈も陸上同様に風化している

面高礫岩は玄武岩の下位に分布する。硬質安山岩礫を含む。



写真4 面高礫岩

4-2 砂岩

砂岩は北西岸壁に露出し海食崖と波食棚を形成する。硬質な岩盤で色調は褐色、亀裂が発達し玉葱状を呈する。火山礫凝灰岩とは断層で接し、断層沿いは風化している可能性がある。



写真5 波食棚（後方の山が写真6）

4-3 火山礫凝灰岩

(1) 風化層の区分

火山礫凝灰岩も海食崖と波食棚をつくる。砂岩の波食棚は岩盤であったが、火山礫凝灰岩の場合は波食棚を沖積層が覆っている。



写真6 波食棚を作る火山礫凝灰岩

火山礫凝灰岩は西海凝灰角礫岩に対比される火砕流堆積物である（写真7）。その表層には河川の浸食による埋没谷が刻まれている。礫は径2～3cmの玄武岩礫、10cm程度の砂岩礫、安山岩礫、極稀に片岩礫である。安山岩礫は硬質で面高礫岩に含まれる礫と同じである。安山岩礫以外は風化している。

火山礫凝灰岩の特徴は厚い風化層にある。N値が深度方向に大きくなることに着目して風化層を以下の四層に区分した。

w 1 : N値=10程度 w 2 : 同10～30

w 3 : 同30～50 w 4 : 同50以上（岩盤）

w 1は深度7～10m（EL-10～13m）まで褐色化している。これは地上に露出した時の痕跡と考える（図3）。



礫とマトリックスが一体化。
容易に潰れる。

5cm かつて陸化していたとき
の痕跡(赤褐色粘土)
挟在

①w1(No.7 12.5m)



ほとんど礫が占める。
礫とマトリックスが一体化。

②w2(No.7 20.0m)



硬質の安山岩礫
礫もマトリックスも硬質
比較的割れやすい

安山岩礫以外は軟質化

③w3(No.7 30.7m)



礫もマトリックスも硬質
割れにくい

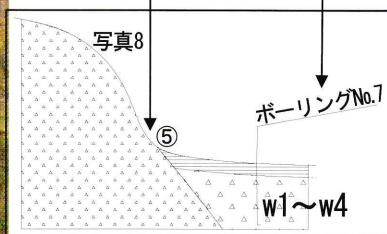
$qu=1200kN/m^2$

④w4(No.7 35.0m)



細粒分が多い。
稀に砂岩や安山岩の
巨礫を含む。

ハンマーで削り取れる



⑤露頭する火山礫凝灰岩

写真7火山礫凝灰岩(w1,w2,w3,w4はボーリングコア)

（2）海水準変動（参考図書2より）

大村湾はかつて盆地であった。9000年前に針尾瀬戸から海水が流入し6000年前にほぼ現在の形となった。陸域を示す化石から当時の海水位は-28mとされている。大村湾のお隣有明粘土層の堆積は1万年前である。有明粘土層より1000年遅れて大村湾ができ始めたことになる。

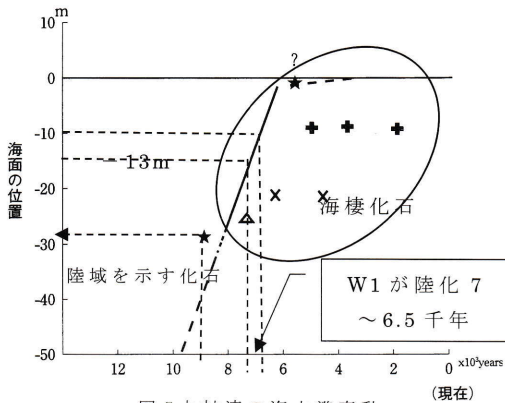


図5 大村湾の海水準変動

(33) 大村湾付近での1万年前以降の海水準変化

およそ9000年前に大村湾に海水が浸入し、その後急速に海水準が上昇し約6000年前にはほぼ現在と同じ位置にあったことが推察できる。

9000年前の海水位-28mを図3, 4-1, 4-2に投影した。図3, 4によりw1~w3は陸上で厚い風化層を形成していたことになる。そこで風化する原因を探るため未風化のw4（写真7④）で力学試験を実施した。結果は一軸圧縮強度1200kN/m²、吸水率16%、単位体積重量17kN/m³。風化しやすい原因は火山灰質で軽くて強度が小さくさらに吸水しやすいことにあるようだ。

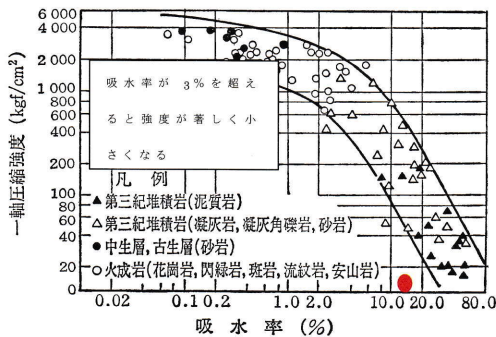


図6 吸水率と一軸圧縮強度の関係

（地盤工学会編、岩の調査と試験p. 381）



写真8 陸上の強風化火山礫凝灰岩

次に陸上火山礫凝灰岩（写真8）とw1（写真7①）を比較してみる。陸上の火山礫凝灰岩は赤褐色化が著しくルーズである。赤褐色は鉄が酸化して錆びた色である。空気がない水中では赤くならない。火山礫凝灰岩は西海凝灰岩礫岩に対比されるので噴出年代は5百万年前である（参考図書1）。海中のw1も5百万年前に噴出したものとするとならぬとw1もまた写真8のように赤褐色化しているはずである。しかしw1は沖積層の直下3m（EL-10~13m）が褐色化するものの写真8とは全く異なる。それはw1が長期間海中に没していたからである。w1の褐色部（EL-10~13m）を図5に投影するとw1が地表に現れていたのは500年程度（7000年~6500年前）と考えられる。w1の表層3mが地表にさらされ褐色化するのに500年かかると思えば治まりがよい。

陸上火山礫凝灰岩とw1には標高差が30mほどある（図4-1）。この標高差から導きだされるのが以下の二点である。

①断層：断層によって火山礫凝灰岩が海底に没した。調査地周辺に多くの断層が推定されることと一致する。

②噴出年代：海底の火山礫凝灰岩はほとんど礫である（写真7①~④）。一方、陸上火山礫凝灰岩は礫が少ない（写真7⑤）。固結度も異なる（海底が小さい）。以上から陸上と海底の火山礫凝灰岩は別ものであることが考えられる。写真6の波食棚（沖積層）あたりがその境界になっている可能性がある。

4-4 沖積層

(1) 層序

沖積層は火山礫凝灰岩に刻まれた埋没谷を埋めた未固結堆積物である。沖積層を粒度で4層に区分した。

ag (砂礫土) : 砂と礫を80%以上、砂岩の風化亜円礫や二枚貝と巻貝を含む

as (中間土) : 同50~80%でas1とas2に二分される(後述)。as1は陸上砂岩前面、as2はそれよりやや沖合に分布する。なお、中間土とは砂や粘土などが混ざりあう土をいう。

as3 (砂質土) : 陸上でas1と指交関係にある。砂岩起源の砂質土。

ac (粘性土) : 同50%以下、高含水の軟弱堆積物
沖積層全体が上方に細粒化 (ag→as→ac) していることから沖積層は海進時の堆積物であることが分かる。

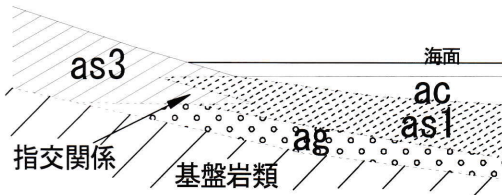


図7沖積層の層序

ag→(as1, as3)→acの堆積順序から海進堆積物であることがわかる



写真9 沖積層を構成する4層

(2) コンシステンシー (参考図書5より)。

土粒子のまわりは O^{-2} や OH^{-1} があり地下水や海水に含まれる H^{+} と結合し水膜を作る。この水膜を吸着水といい、吸着水と離れて自由に行き来する水を自由水という。自由水が少なければ土粒子は

吸着水を介して接触しネバネバになる。反対に自由水が多ければ粘土はドロドロになる。砂は粒子が大きいため吸着水膜は破壊され土粒子が互いに接触するので粘り気がない。このように含水比の変化によって土は固体状から液状に変化する。これらの性質をコンシステンシーといい、その境界の含水比を液性限界 (W_L)、塑性限界 (W_p) という。液性限界 (W_L) と塑性限界 (W_p) との間は土が塑性を呈する状態であり、その差を塑性指数 I_p という。塑性指数は土の性質を表現するのに使われる (図8)。

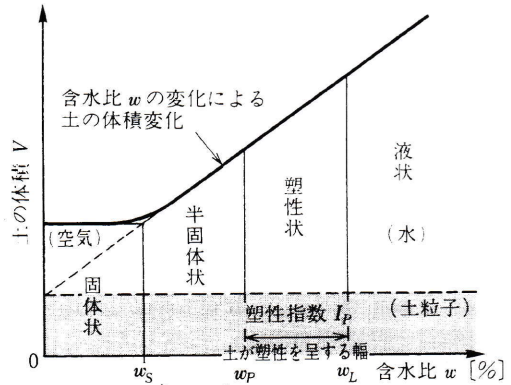
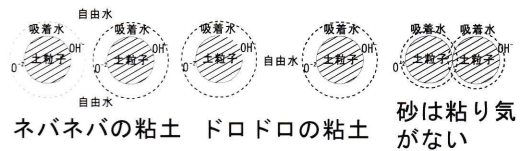


図8土の状態とコンシステンシー限界

参考図書5 (絵解き土質力学p.37)

(3) I_p (塑性指数) と粒度

含水比と粒度には密接な関係がある。この点に着目して土質試験試料の砂礫含有率を縦軸、 I_p を横軸にとったのが図9、そして沖積層の分布を示したのが図10である。沿岸部に砂礫、港中央に粘性土が堆積している。図9の砂礫含有率からasとas2に細分した。as2はag、as1からacへ堆積環境が変化する過程での漸移帯をなすものである。

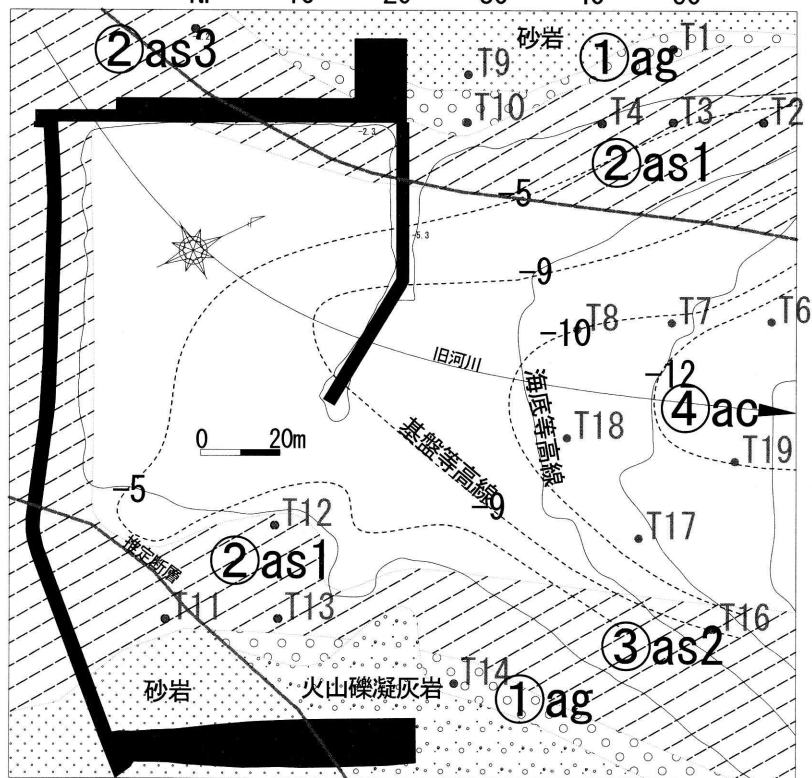
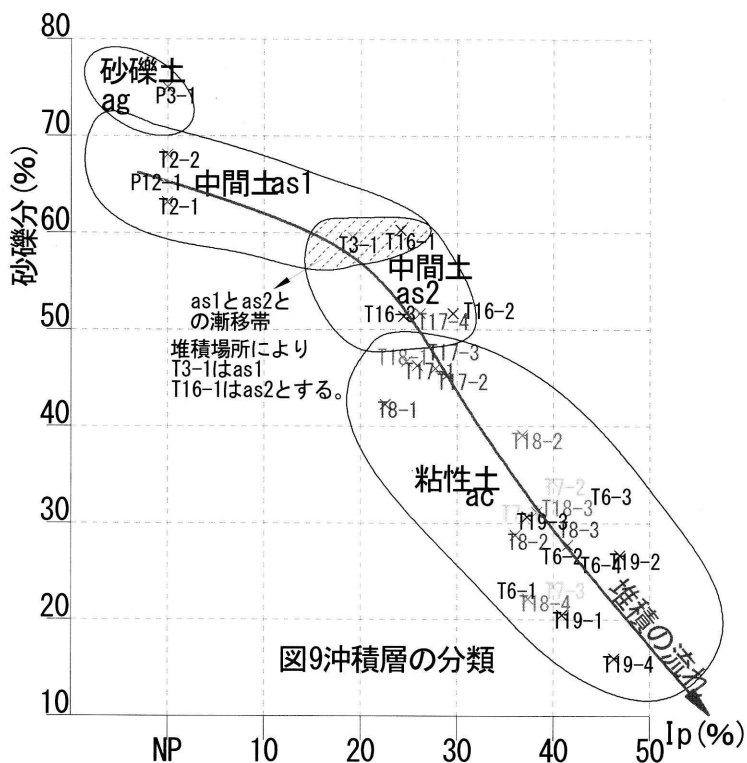


図 10 沖積層の堆積順序(Tは不覚乱試料番号)

ag → as1(as3) → as2 → ac

(4) I_p (塑性指数)と含水比

縦軸に I_p 、横軸に液性限界をとって図化すると高塑性粘土と中塑性粘土に二分される(図表12)。海中で堆積する粘土は圧縮性の高い地盤を形成しやすい(参考図書3)。acのほとんどは高塑性粘土である。

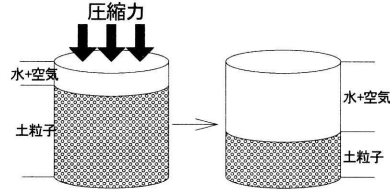
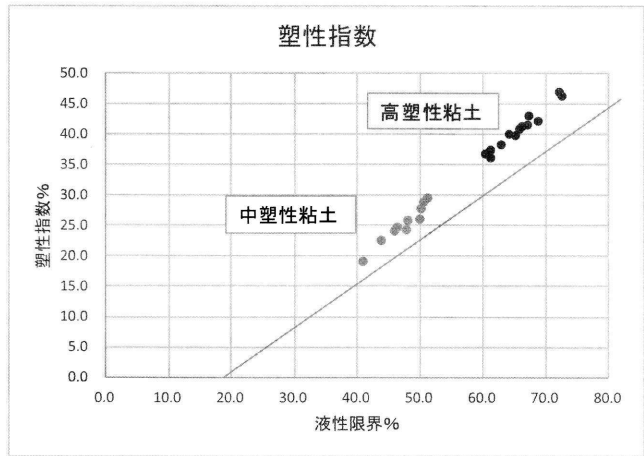


図11圧縮性が高い(高塑性)粘土

試料	土質	自然含水比	液性限界	塑性限界	塑性指数
T3-1	as1	44.9	40.7	21.5	19.2
T6-1	ac	72.7	60.7	24.0	36.7
T6-2		69.9	66.3	25.0	41.3
T6-3		74.7	67.2	24.1	43.1
T6-4		77.9	68.8	26.6	42.2
T7-1		64.3	60.7	23.7	37.0
T7-2		66.5	65.2	25.3	39.9
T7-3		67.0	64.2	24.2	40.0
T8-1	ac	52.9	43.8	21.2	22.6
T8-2	ac	66.0	61.2	25.1	36.1
T8-3		68.1	67.0	25.5	41.5
T16-1	as2	48.5	45.9	21.7	24.2
T16-2		55.5	51.2	21.6	29.6
T16-3		52.4	47.7	23.2	24.5
T17-1	ac	55.2	47.9	22.0	25.9
T17-2		57.0	50.5	21.6	28.9
T17-3		54.6	50.0	22.2	27.8
T17-4		59.8	49.8	23.6	26.2
T18-1	ac	56.9	46.2	21.4	24.8
T18-2	ac	61.3	60.4	23.6	36.8
T18-3		63.1	62.8	24.5	38.3
T18-4		65.4	61.3	23.9	37.4
T19-1		75.1	65.8	24.9	40.9
T19-2	ac	79.5	72.2	25.3	46.9
T19-3		69.2	61.0	23.7	37.3
T19-4		73.7	72.5	26.2	46.3



塑性指数が大きいほど圧縮性が高い。長い時間で圧密する。

塑性: 固体が弾性限度をこえた大きい力を受けて変形するとき、力を除いてもその変形がもとに戻らないで残ってしまう性質。

図表 12 塑性指数からみた粘土
太文字が高塑性粘土、小文字が中塑性粘土

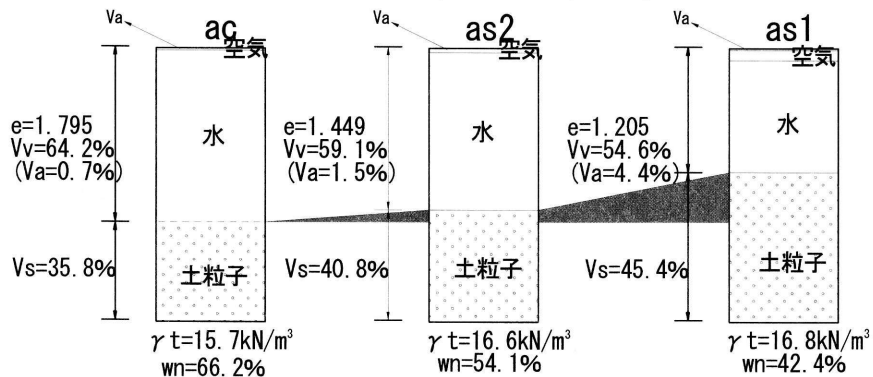


図13沖積土のモデル

土は土粒子、水、空気からなり、それをモデル化

e : 間隙比 Vv : 間隙体積 Va : 間隙中の空気の体積
 Vs : 土粒子の体積 γt : 単位体積重量 wn : 含水比

5 応用地質

5-1 圧密沈下

沖積粘性土acは圧縮性の大きい高塑性粘土である。acが分布する湾中央では海底面と基盤岩の等高線の形状が似ている。そのことから（図10、14）圧密沈下が進行していると考えられる。防波堤を新設した場合、防波堤基礎が沖積層を横断するためacを基礎とする箇所では不等沈下する可能性がある。

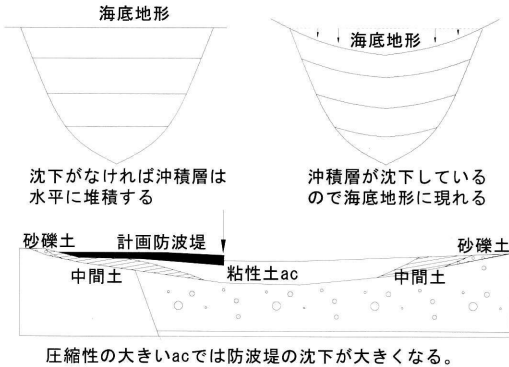


図14地形面と埋没谷から推定される沈下

5-2 液状化

液状化は地震動によって砂地盤が液状になる現象である。液状化の判定は粒度で行う。粒度による判定は均等係数 U_c ($60\% \text{ 粒径}/10\% \text{ 粒径}$) ≥ 3.5 の場合、図15（参考図書4）を用いる。その結果 as_1 、 as_2 、 ag は「特に液状化の可能性がある」範囲にほぼ納まり、 ac は「特に液状化の可能性がある」と「液状化の可能性がある」範囲との境界付近に位置する（図16）。いずれも液状化判定の対象層となるが砂分の多い沿岸部に液状化の可能性が高い。

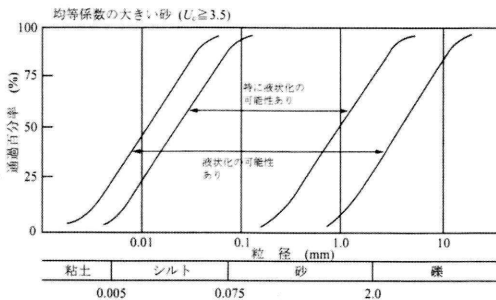


図15液状化判定グラフ

おわりに

第四紀海水準変動は大学時代に興味を覚えた。それは大学の指導教官（教授）の専門分野だからである。第四紀と聞くと大学時代を思い出す。私が在籍した大学では3年から4年に進級するための論文作成があった。離島の公民館に米軍払下げの寝袋を持ち込んで夏の1ヶ月間地質図を作成するのである。一步踏出すと汗が噴出す猛暑ではあったが辛いとは思わなかった。その猛暑中、教授と一緒にフィールドを歩いて頂き歩くことの大切さを教わった。3年になった時、私は教授が論文に使う地質図のトレースを手伝っていた。地質図は自然の造形である。したがって地質図は美しくなければならない。美しい地質図とは何か。地史が浮かびあがり、自然の雄大さを物語る地質の配列、トレース作業はそれを教えてくれた。また、教授から囲碁も教わった。勝敗は私が星目風鈴（13目の置碁）でいつも負け。それでもうち続けていると石のつながりや急所は分かるもので一度だけ大石を殺して勝ったことがある。一見、地質とは無関係な囲碁であるが形が基本であることに変わりはない。あれから30余年、曲がりなりにも今の私があるのは教授のご指導によるところが大きい。ここにあらためて感謝申し上げたい。

本誌をまとめるにあたり長崎県東彼杵町周辺に分布する第四紀火山岩類(2002)阪口和則 長崎県地学会誌 64
2) 大村湾(2004) 長崎新聞新書13、松岡数充
3) 地盤工学ハンドブック(2004)地盤工学会
4) (社)日本港湾協会「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(2007)
5) 絵解き土質力学(2015)安川郁夫ら

参考図書

- 1) 長崎県東彼杵町周辺に分布する第四紀火山岩類(2002)阪口和則 長崎県地学会誌 64
- 2) 大村湾(2004) 長崎新聞新書13、松岡数充
- 3) 地盤工学ハンドブック(2004)地盤工学会
- 4) (社)日本港湾協会「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(2007)
- 5) 絵解き土質力学(2015)安川郁夫ら

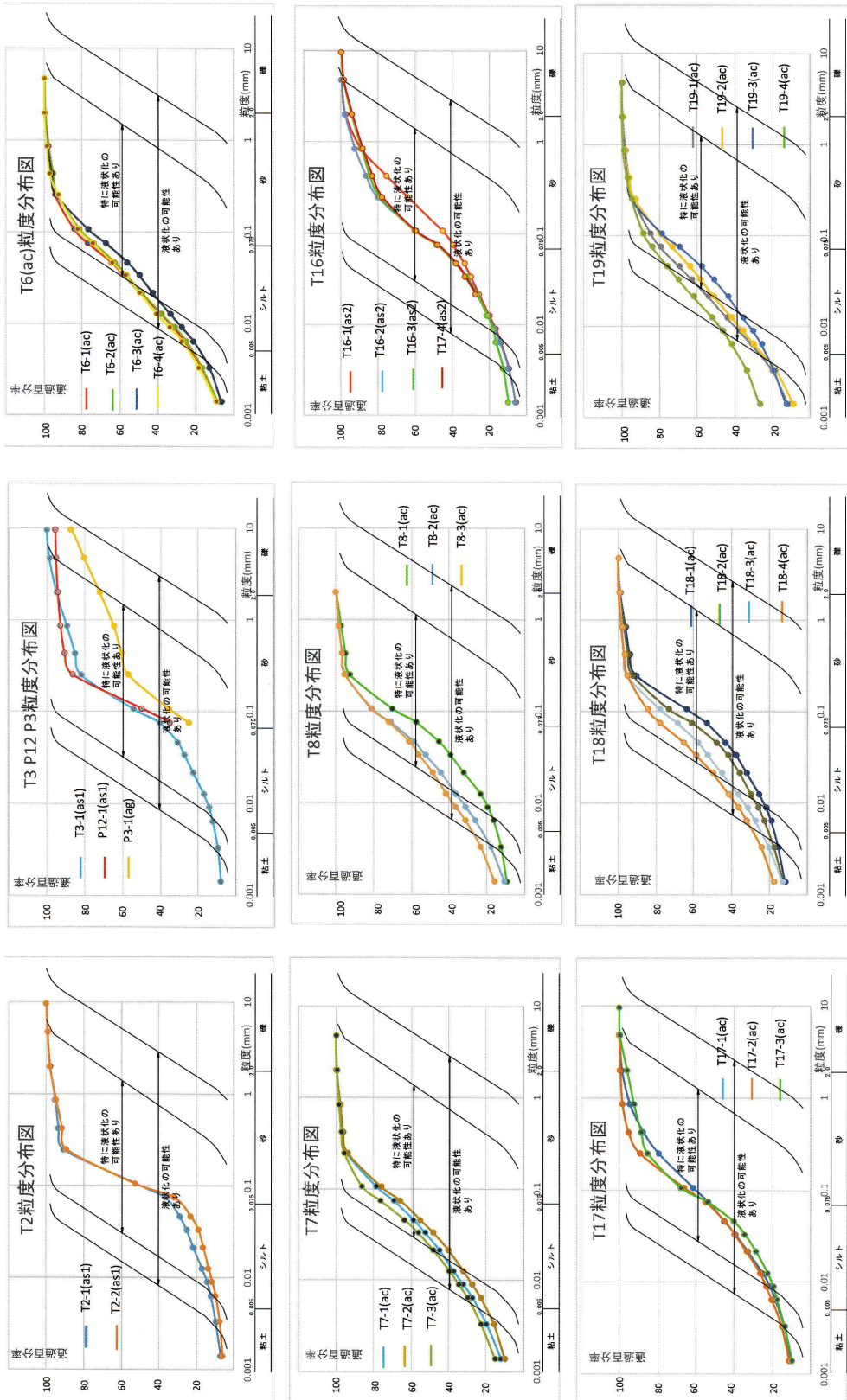


図 16 粒度加積曲線