

ISSN 0917-5687

# 第十回沖縄地盤工学研究発表会

Annual Meeting Papers of Okinawa Geotechnical Society, 1997

## 講演概要集



1997年11月6日

(沖縄コンベンションセンター)

沖縄地盤工学研究会

## 目次

沖縄地盤工学研究発表会の 10 周年にあたって .....	1
上原 方成 (沖縄地盤工学研究会長 琉球大学教授)	
沖縄地盤工学研究発表会第 10 回記念によせて .....	2
菊池 賢三 (地盤工学会九州支部長 九州地方建設局長)	
第 10 回沖縄地盤工学研究発表会祝辞 .....	3
塩澤 俊彦 (沖縄総合事務局開発建設部長)	
第 10 回沖縄地盤工学研究発表会祝辞 .....	4
江洲 順吉 (沖縄県土木建築部長)	
地盤工学・環境地盤工学に関する講演会資料(地盤工学会九州支部沖縄地区活動)	
環境地盤工学と廃棄物問題 .....	5
嘉門 雅史 (京都大学防災研究所)	
地盤改良技術の起源と時代的変遷 .....	18
西田 一彦 (関西大学)	
沖縄地盤工学研究発表会	
1. 琉球石灰岩層の土質工学的地層区分について -宮古・来間海峡における一例- .....	23
伊野波 盛義 ((株)中央建設コンサルタント)	
多和田伸 (同)	
2. 有限要素法を用いた琉球石灰岩の支持力推定について .....	27
松島 良成 ((財)沖縄県建設技術センター)	
宮里 朝則 (同)	
謝花 勉 (同)	
3. 琉球石灰岩層を有する地盤のモデル化(N 値の統計的処理) .....	29
加納 静 (琉球大学工学生)	
上原 方成 (琉球大学工学部)	
原 久夫 (同)	
松島 良成 ((財)沖縄県建設技術センター)	
4. 地域資源としての湧水の評価と利用 .....	33
平良 真紀子 (琉球大学大学院)	
宜保 清一 (琉球大学農学部)	
芦谷 奈美 (琉球大学大学院)	
藤田 智康 (アズアフランシング(株))	
5. チイビシ砂中における杭の貫入による粒子破碎 .....	37

桑嶋 啓治 (徳山工業高等専門学校)	
藤原 東雄 (同)	
上 俊二 (同)	
兵動 正幸 (山口大学)	
6. 切土斜面における安定度評価について	39
新里 修三 (琉球大学農学部)	
宜保 清一 (同)	
周 亜明 (同)	
中村 真也 (同)	
7. 島尻泥岩分布地帯における地すべりのすべり面強度の評価	43
久佳呂 貴之 (応用地質(株))	
小野 仁 (同)	
小池 豊 (同)	
8. 亂さない島尻粘土の $K_0$ 圧密試験結果について	47
赤嶺 伴子 (琉球大学工学部生)	
上原 方成 (琉球大学工学部)	
原 久夫 (同)	
謝 建明 (琉球大学大学院)	
9. 非排水せん断された粘土供試体内部の強度分布について	49
謝 建明 (琉球大学大学院)	
上原 方成 (琉球大学工学部)	
原 久夫 (同)	
大田 誠樹 (琉球大学工学部生)	
10. 那覇港沈埋トンネル立坑の設計、試験工事について	51
具志 良太 (沖縄総合事務局那覇港湾空港工事事務所)	
吉見 昌宏 (同)	
11. GPSによるSCP改良船位置決めシステムの開発	55
村上 恵洋 (不動建設(株))	
中角 功 (同)	
庭山 和夫 (同)	
12. クチャ(島尻層群泥岩)の流出について(第2報)	59
満本 裕彰 (沖縄県衛生環境研究所)	
大見謝 辰男 (同)	

比嘉 榮三郎 (同)	
花城 可英 (同)	
13. 沖縄県における赤土等年間流出量(第2報)・赤土等流出防止条例施行後の流出量の推算	61
仲宗根 一哉 (沖縄県衛生環境研究所)	
比嘉 榮三郎 (同)	
大見謝 辰男 (同)	
満本 裕彰 (同)	
14. 沖縄県における赤土汚染の近況と今後の課題	67
大見謝 辰男 (沖縄県衛生環境研究所)	
比嘉 榮三郎 (同)	
仲宗根 一哉 (同)	
満本 裕彰 (同)	
15. 開放型フィルターを用いた限界流量に対する濁度試験	71
福田 靖 (徳山工業高等専門学校)	
藤原 東雄 (同)	
上 俊二 (同)	
桑嶋 啓治 (同)	
常村 忠生 ((株)多機能フィルター)	
16. 赤土濁水による不織布シートの透水性変化に関する室内実験	73
鄭 明亮 (琉球大学大学院)	
秋田 雄一郎 (琉球大学工学部生)	
野原 博豪 (同)	
上原 方成 (琉球大学工学部)	
原 久夫 (同)	
17. 沖縄本島における軽量盛土工法による施工事例について	77
上山 啓太, (積水化成品工業(株))	
赤嶺 久雄 (沖縄県北部土木事務所)	
江尻 晃 (積水化成品工業(株))	
喜納 源太 (岡三興業(株))	
松島 良成 ((財)沖縄県建設技術センター)	
沖縄地盤工学研究会員	79

## 沖縄地盤工学研究発表会の10周年にあたって

沖縄地盤工学研究会長 上原 方成

昭和 63(1988)年 11 月 13 日の第 1 回発表会から 10 年も経過したことに驚きと感慨深いものをおぼえます。会則会費制度もないままに、多くの方々のご参加ご支援ご激励と実行委員会有志の善意のご協力ご尽力によって、よくぞここまで頑張って来られたものと感謝に耐えません。この間、5 周年記念と銘うち、ちょうど首里城復元の年(1992)でもあって、発表会のほか特別セミナー講演会として「遺跡・埋蔵文化財の土質工学的保存技術に関する」、九州大学名誉教授 山内豊聰、中国天津大学教授 薛 義成、当時鴻池組技術研究所副所長(現舞鶴工業高等専門学校教授)中澤 重一、沖縄県 安里 駿淳の各先生方にご講演をいただいて好評を得ました。今回 10 周年にあたっては、材料学会土質安定材料委員会委員長の西田 一彦教授(関西大学工学部)に「地盤改良技術の起源と時代的変遷」、地盤工学会廃棄物の地盤材料としての利用に関する研究委員会委員長の嘉門 雅史教授(京都大学防災研究所)に「環境地盤工学と廃棄物問題」と題して時宜を得たご講演をいただくことになりました。なお、地盤工学会九州支部長 菊地 賢三 氏、沖縄総合事務局開発建設部長 塩澤 俊彦 氏、沖縄県土木建築部長 江洲 順吉 氏にはご祝辞をいただき感謝申し上げます。また、山内豊聰先生には発会以来今日まで変わらぬご指導ご鞭撻をいただき誠に感謝の極みであります。一方、1993 年に、本研究会の副会長で、熱心な指導者であった同僚の許 光瑞教授が亡くなったことは痛恨の極みであります。本発表会は、会を重ねるごとに、沖縄における官民学それぞれの調査、研究、経験の成果として、かつ、知見・技術などの情報交換の場として充実してきており、講演概要集も国立国会図書館から国際標準逐次刊行物コード番号 ISSN 0917-5687 を授与されて、毎号送付しております。もちろん、年々の発表会でも、適宜トピックスを選んで 1-2 の講演を依頼し、必ずしも地盤専門でないテーマで歓迎されているようなので、今後もそのような催事を続けてゆきたいものであります。本年 10 月 14 日から 16 日にかけて、開発と環境をテーマに第 6 回アジア地域土木研究所長等会議が本県で開催されたのを機に、招かれて行った「地域開発と環境」なる基調講演で、開発を担う地盤工学、環境地盤工学や島嶼環境工学/島嶼地盤工学等の役割認識と関連研究所の設立について問題提起を試みました。その意味でも、これからなお一層沖縄地盤工学研究発表会の隆盛を願わざにはおれないのです。なお、学者文化人はとかく「なににすべき」などの理念建前論議をなすが、私ども技術者は困難ななかで、人類のために「なにをなしうるか、なにができるか」を実践してゆきたいものです。発表会開催にあたっては、九州支部の沖縄地区活動に対する補助と、あとは梗概集でいただいた各企業等の広告のご芳志に頼るのみですが、ここに厚く御礼申し上げ、今後ともご協力ご援助賜りますようお願い申し上げます。

終わりに、「持続可能な開発」(1992)を目指して、私ども技術者が協力しあって、ローカルテクノロジーを支え向上させ、以て国連開発計画(1996)の趣旨に沿った「技術移転」をも念頭において切磋琢磨して実績業績を積み上げて行くよう祈念致します。この努力こそが、沖縄の自立的発展と県民の幸福と福祉を約束するものであると信じます。（1997.10.15 琉球大学工学部）

沖縄地盤工学研究発表会第10回記念によせて

地盤工学会九州支部長  
九州地方建設局長菊地賢三

沖縄地盤工学研究発表会が第10回記念を迎えられましたことに心からお喜び申し上げます。

本研究発表会は、昭和63年11月に第1回が開催されて以来、沖縄における土質工学及び地盤工学の調査、研究の底辺を拡げ、沖縄地域の地盤関係問題や環境アセスメントなどの分野で地域社会へ寄与することを目的に続けられ、10年もの間、沖縄の地域づくりに多大な貢献を果たしてこられたことに対し深く敬意を表します。

近年、地盤に関する研究は、特に、阪神淡路大震災などを契機に、地域の人々に注目を浴びております。ご承知のように、九州地方は、地震・風水害・火山災害などの自然災害を受けやすい地形・地質を有しております。最近では、今年3月、5月に最大震度6弱を記録した鹿児島県薩摩地方での群発地震や7月の梅雨期の集中豪雨による鹿児島県出水市針原川での土石流災害などが発生し、九州地方では、災害に関する地盤工学や土質工学などの諸研究が益々注目されて来ており、九州支部としても、これらの点でも、地盤工学会が地域に果たす役割は大きいものであると感じております。

このような中、沖縄地盤工学研究会は、毎年、本発表会を開催し、臨海造成軟弱層、サンゴれき混じり地盤、北部変成岩地帯のすべり崩壊や国頭まあじ（赤土）の崩壊・流出などの沖縄地方の特有の地盤工学の課題について、活発な意見交換に努め、地域の発展に大きく寄与したと聞いております。

今後も、本研究発表会が、第10回記念を迎えたことを機に、益々発展され、沖縄地方の地域づくりに寄与されることを祈念いたしまして祝辞いたします。

## 第10回沖縄地盤工学研究発表会祝辞

沖縄総合事務局開発建設部長

塩澤 俊彦

今般、第10回沖縄地盤工学研究発表会が開催されましたことをお慶び申し上げます。併せて当研究発表会が、沖縄における地盤工学の進展に大きく貢献をされてきたことに対し深く敬意を表する次第です。

さて私ども沖縄総合事務局では、種々の公共事業を実施しておりますが、亜熱帯圏の当地の自然条件下では、温帯圏である本土の環境を前提とした技術のみでは十分な対応が困難な場合が少なくありません。それは地盤条件に関しても然りであり、琉球石灰岩、島尻層、赤土砂等、沖縄独特の土質に、設計、施工、あるいは工費などの面で苦労を強いられることが間々あります。そしてこれらの技術的課題は、国内的にはローカルかも知れませんが、国際的には近年発展著しい東南、南アジアを始めとして優れてグローバルな課題でもあります。

沖縄は今、大きな時代の転換点にあり、国際化を始めとして従来とは大きく異なる新たな発展の時代を迎えつつあります。必然的に建設の分野においてもインフラの整備等、従来にも増してより多様な事業の展開が要請されることとなるでしょう。

本発表会の10周年、そして本土復帰25周年という節目を機に沖縄に於ける地盤工学の分野が益々の発展を遂げ、沖縄の新たなる発展の時代を支え先導し、さらには世界の熱帯、亜熱帯地域への技術情報発信拠点としての役割をも果されんことを祈念し、お祝いの言葉と致します。

1997年11月

## 第10回沖縄地盤工学研究発表会祝辞

沖縄県土木建築部長  
江洲順吉

第10回沖縄地盤工学研究発表会の開催にあたり一言お祝いを申し上げます。ご承知のとおり、地盤・土質は公共工事を施工するうえで極めて重要な要因であり、その特性の把握の度合いが構造物の出来を左右することは言うまでもありません。

本県においては、赤土の流出防止に対する問題、琉球石灰岩における基礎の研究、あるいは、軟弱地盤、地滑り崩壊に対する問題等、解決すべき課題があり、これらの課題を克服することが公共事業を実施する立場においては、国土を保全し事業の円滑な推進を図るだけでなく、環境保護のうえからも重要であり不可欠であります。

さらに、近年の厳しい財政事情の下、公共工事においても建設コストの縮減が全国的な課題となっており、国の機関は言うまでもなく、地方自治体においても建設コスト縮減に向けて取り組んでいるところであり、本県においてもその方向性について調査を開始したところであります。

しかしながら、建設コストの縮減は一朝一夕で達成できるものではなく、技術開発、建設工法、新素材の導入等を検討しなければならないのはもちろんのこと、建設構造物の基礎を支える地盤・土質の分野における新しい発見及び提言がなされ、学術的研究が進むことにおいても大いに期待を寄せているところであります。

このような状況の中、本県の地盤・土質の研究及び実験、施工の実績等を広く発表する場として、この地盤工学研究発表会が開催されますことは、本県の地盤・土質工学の研究を促進するだけでなく、公共施設の整備を行ううえからも非常に意義深いことであり、その研究成果に大いに注目し、期待するものであります。

本日、第10回地盤工学研究発表会が開催されることに対し、心よりお喜び申し上げるとともに、本会を主催、運営されてこられた琉球大学の上原方成先生を始め、委員の方々のご苦労とご努力に対して深く敬意を表する次第であります。

終わりに、この地盤工学研究発表会が充実・発展し、本県の地盤工学の研究にますます寄与されることを祈念申し上げ、お祝いの言葉とさせていただきます。

平成9年11月6日

# 講演会資料

## 環境地盤工学と廃棄物問題

Environmental Geotechnics and Waste Problems

嘉門 雅史\* (Masashi Kamon)



環境地盤工学は新しい学問分野として、その確立が要望されている。ここでは環境地盤工学の範囲と分類を解説するとともに、中心的なテーマである廃棄物問題について、廃棄物埋立地盤における地盤工学的課題と、地盤環境の汚染問題について詳述した。まず廃棄物埋立地盤については、生ごみ埋立地盤・焼却灰埋立地盤・石炭灰埋立地盤・建設発生土埋立地盤等についての知見を整理した。中間処理を施すことによって、廃棄物を処分対象でなく、埋立用土として貴重な材料とみなしうることを示した。更に、廃棄物の有害性に起因する地盤汚染が生じていることを指摘し、現在開発が進みつつある地盤汚染対策工法・汚染浄化工法をとりまとめた。

---

キーワード：廃棄物、地盤汚染、埋立、環境、(IGS:B-12)

### 1.はじめに

近年は地球規模の環境問題が重要な課題となつておらず、我々が生を営む地球そのものが著しく病みつつあることが一般の人々にも認識されつつある。かけがえのない地球が今ほどその存在の危機に立ち至ったことは、かって無かったといえるであろう。地球環境が侵されつつあるということが重要視されたした時期として、1972年のストックホルムでの国連人間環境会議をその嚆矢とすることができる。そこでは大気汚染に起因する酸性雨によるヨーロッパ各地の森林の枯死や、湖沼からの魚類の消滅等が取り上げられ、広域的な汚染の実態や対策が議論された。東西の超大国間の冷戦構造が1991年に終結したことによって、国際連合を中心とした新しい世界秩序が実質的に機能しつつあるが、地球環境問題についても国連を中心にして世界中の人々が一致協力した体制作りが始まっている。1992年のリオデジャネイロでの国連環境会議ではアジェンダ21をはじめ、地球環境保全のための各種の行動計画が提案され、日本でも各方面からの積極的な取り組みがなされつつある。元来、わが国では1960年代から各種の公害問題、へどろ

汚染問題等が大きな課題であったことから、環境問題には早くから研究開発・対策がなされてきた。しかし、この時点ではあくまでローカルな課題に過ぎないものであった。しかるに今日それらは世界規模の広がりを見せ、母なる大地である地球を蝕んでいる。ギリシャ神話の全能の神ゼウスの母親である大地の神ガイアに地球をたとえて、ガイアの救済に全力を挙げることが求められている。

地球環境問題とは一般に以下の9つの課題に集約される。

- (1)オゾン層の破壊
- (2)地球の温暖化
- (3)酸性雨
- (4)熱帯林の減少
- (5)砂漠化
- (6)開発途上国の公害問題
- (7)野生生物種の減少
- (8)海洋汚染
- (9)有害廃棄物の越境移動

これらの問題は相互に密接に関連しあい、政治・経済・社会・文化的問題を含んでおり、かつ現象に対する科学的解析が難しいテーマでもある。例

\* 京都大学防災研究所教授

えば、砂漠化の問題を一つとっても、地盤工学と密接に関連し合うものであるが、地球の温暖化に伴う降水パターンの変化・世界低緯度帯の森林の弱体化・住民の生活様式や現地産業と植林事業との対立・過度の人口増加等が絡んでいる。現在、乾燥地の著しい拡大をきたしており、表土の流失・耕作地の消失等地球表層地盤への直接問題として緊急の重要課題である。

このように地球環境問題の解明と対策には多くの学問分野の集積が求められる。翻って、我が土質工学の分野では、これまで地球環境問題は直接地盤に影響するものが少ないとして、やや傍観者の立場に終始してきたきらいがあった。しかしながら、土質工学の分野で蓄積された技術成果でもって、多くの地球環境問題解決に貢献しうるものが多くなく、かつそうすることが責務となりつつある。グローバルな地球環境問題であっても、その解決の手段・手法はローカルに対応していくことが大切であり、"Think globally, act locally." をモットーに活動を広めることが肝要である<sup>1)</sup>。

## 2. 環境地盤工学の視点

### 2.1 環境地盤工学の定義

近年、環境問題に対する意識の向上に基づいて「環境地盤工学」という学問分野の構築が図られている。国際的にもアクティブな活動がなされており、図-1に示すような地盤微生物圏を中心とした地圏・水圏・気圏・生物圏の境界分野における地盤工学、これを環境地盤工学と呼んでいる。そのための学問分野は、広く從来分野を横断的に結び付けた図-2のような相関が考えられる。地球環

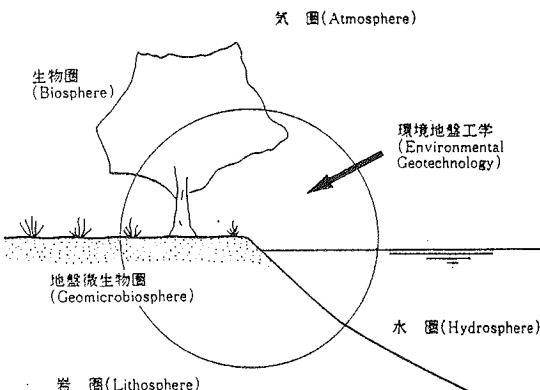


図-1 環境地盤工学の対象領域

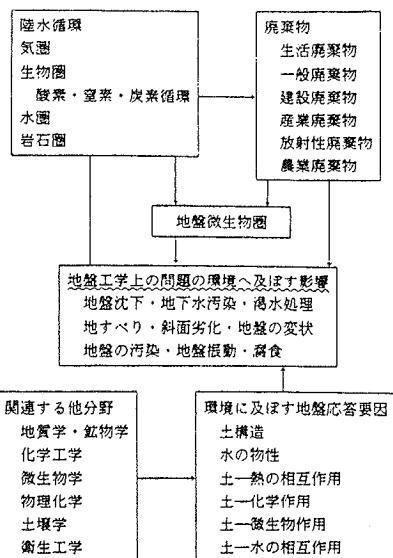


図-2 環境地盤工学と從来の学問分野の関連

境問題として近年取り上げられている、人間活動の結果としてのグローバルな課題、すなわち温暖化・酸性雨・砂漠化等の問題に対して、地盤環境問題としての廃棄物処理・処分は個々のローカルな課題であるが、図では廃棄物との関連で取りまとめているように、その量が膨大であることと、周辺へ及ぼす影響の甚大さから重大な地球環境問題の一つに数えられる。地盤工学の分野では、從来廃棄物に関する取扱はきわめて少ないものであったが、廃棄物埋立の結果として得られる地盤の跡地利用の観点から今後は積極的に関与すべきテーマである。環境に及ぼす地盤応答として、土と物理・化学・生物その他の要因との相互作用の把握が必要であり、優れて総合科学の学問と言えるだろう。

### 2.2 環境地盤工学の分類

地球環境問題のキーワードとして「持続可能な開発； "Sustainable Development"」が広く使われており、これは1982年の国連東京会議以来のものである。環境地盤工学でもこの持続可能な開発を基本的な立場としなければならない。したがって、地盤環境工学が対象とする分野として、よりよい環境づくりのために地盤工学がどのように貢献しうるかを第1の目標とし、第2に各種の人間活動が環境に悪影響を及ぼさないように、かつ修復す

表-1 環境地盤工学の分類

環境地盤工学の種類	内 容 区 分	対象の例
積極的な環境創造のための工学	地盤環境の全体システムの良化を目指した開発	リゾート空間の創造 神戸方式（山、海へ行く）
人間行為による環境の危険の防止のための工学	行為に伴う周辺への影響防止	地盤沈下 地下水汚染 渴水処理 地すべり 斜面劣化 地盤の変状 地盤の汚染 地盤振動
	廃棄物の処理・処分と高度利用ならびに環境汚染地域の修復	一般廃棄物・産業廃棄物の埋立処分 有害物質の固化・溶融 微生物処理 泥水処理・地下水処理 地中処分・地下保管
自然災害による人間生活の危険の防止のための工学	防災工学の分野	洪水 地すべり 土石流 地震 沈下 火山災害

るための地盤工学、第3に自然営力に基づく各種の災害の防止のための地盤工学という、表-1にまとめるような3つのターゲットが中心となる<sup>1)</sup>。

ここでは、環境地盤工学の原点を明確にすることを念頭にして、廃棄物問題と地盤環境汚染問題とに重点を置いて、現状と対策及び将来の課題等を示すものである。

### 3. 廃棄物問題の現状と廃棄物最終処分場の構造基準

産業・社会構造の変遷に伴って、廃棄物処理・処分の必要性が飛躍的に増大し、最終的には廃棄物の多くを地盤内に受け入れざるを得ないことから、その安全性・安定性に関する地盤工学的考察が必須となっている。しかし、新しい土地造成のための埋立の実施に際して、環境保全の見地から山土を安易に掘削取得することが難しくなりつつある現状のもと、廃棄物も見方を変えればきわめて重要な埋立用材でもある。したがって、大都市部における土地需要に対する緊急の要請から、廃棄物によって埋め立てられた地盤を早期に安定化

するための地盤改良技術の開発と跡地利用の方策が地盤工学上の大きな課題となっている。有害な浸出水の漏出防止や悪臭ガス・爆発性ガスの発生対策などが廃棄物埋立地盤の跡地利用の前提条件となっている。

人間活動に伴って排出される物質は、有効利用される副産物と利用されない廃棄物とに区分される。さらに廃棄物は図-3のように、一般廃棄物と

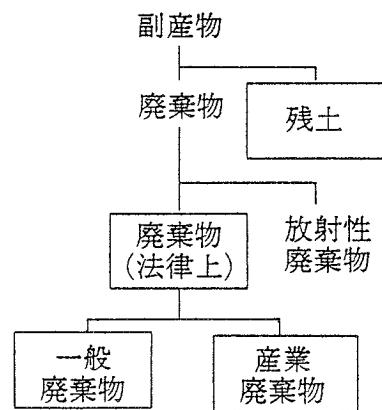


図-3 廃棄物の法的分類

産業廃棄物とに大別される。廃棄物排出量は、一般廃棄物が平成元年に5000万tに達し、産業廃棄物は約3億7000万tと推定される。わが国の廃棄物処理は「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」

(廃棄物処理法と略される)に基づいて実施される。廃棄物処理法では家庭から出るごみやし尿、事務所から出る紙ごみ等の一般廃棄物と、事業活動に伴うもので特定の種類の産業廃棄物とに区分され、更に、平成4年度から特別管理廃棄物として毒性・感染性・爆発性等から、より健康や生活環境に影響を与える恐れのある廃棄物の処理に関する規制強化が図られている。

なお、放射性廃棄物はきわめて重要な地盤工学上の処分問題を有しているが、取り扱いが特殊であることから廃棄物処理法上では除外されている。

このような廃棄物の処理施設の設置は年々困難となっており、廃棄物処理施設整備緊急措置法に

よって平成2年度までの第6次5か年計画に引き続き、平成3年度から第7次5か年計画が総額2兆8300億円の規模で進行中である。しかしながら最終処分場の残余容量は、現在のところ一般廃棄物で8年分、産業廃棄物で1.5年分とされている<sup>2)</sup>。一般廃棄物は管理型処分場に処分され、産業廃棄物は安定型・管理型・遮断型の処分場に処分される。このような3種類の最終処分場の特徴は表-2のとおりである。処分場の分類の中では管理型が最も多い。浸出水の存在を前提とする管理型の処分場での遮断工法の現状は必ずしも充分なものとはいえない、粘土層があればそれだけで遮断効果が得られるとしている。また降雨の表面流出は処分の対象としているが、表面からの流入についてはほとんど考慮外となっているし、発生ガスについての対策にも特別の基準がない等、従来の遮断工法は地盤工学的にみて多くの問題を有している。処分場を埋

表-2 廃棄物最終処分場の特徴

記号	最終処理場の種類	固別の種類
ア	遮断型処分場	(1) 埋立地の周囲には、地表水が埋立地の開口部から流入するのを防止することができる開渠その他の設備が設けられていること。 (2) 外周仕切り設備は、産業廃棄物投入のための開口部を除き、次の要件を備えていること。ただし、これと同等以上の効力を有する岩盤等がある部分については、外周仕切り設備は必要でない。 (ア) JIS A 1108(コンクリートの圧縮強度試験方法)により測定した一軸圧縮強度が $250\text{kgf/cm}^2$ 以上のコンクリートで造られ、かつ15cm以上の厚さであること。ほかの材料による場合は、これと同等以上の遮断効力を有すること。 (イ) 自重、土圧、水圧、波力、地盤力等に対して構造耐力上安全であること。 (ウ) 埋め立てる産業廃棄物、地表水、地下水および土壌の性状に応じた有効な腐食防止が講じられていること。 (3) 内部仕切り設備は、次の要件を備え、一区画の面積がおおむね $50\text{a}^2$ 以下、または埋立容積がおおむね $250\text{m}^3$ 以下になるように区画すること。 (ア) 一軸圧縮強度が $250\text{kgf/cm}^2$ 以上のコンクリートで造られ、かつ10cm以上の厚さであること。 ほかの材料による場合はこれと同等以上の遮断効力を有すること。 (イ) 自重、土圧、水圧、波力、地盤力等に対して構造耐力上安全であること。 (ウ) 埋め立てる産業廃棄物、地表水、地下水および土壌の性状に応じた有効な腐食防止対策が講じられていること。
イ	安定型処理場 (3千t <sup>2</sup> 以上のもの)	擁壁等は、埋め立てる産業廃棄物の流出を防止することができ、次の要件を抑えていること。 (ア) 自重、土圧、水圧、波力、地盤力等に対して構造耐力上安全であること。 (イ) 埋め立てる産業廃棄物、地表水、地下水および土壌の性状に応じた有効な腐食防止措置が講じられていること。
ウ	管理型処理場 (1千t <sup>2</sup> 以上のもの)	(1) 擁壁等は、埋め立てる産業廃棄物の流出を防止することができ、次の要件を備えていること。 (ア) 自重、土圧、水圧、波力、地盤力等に対して構造耐力上安全であること。 (イ) 埋め立てる産業廃棄物、地表水、地下水および土壌の性状に応じた有効な腐食防止対策が講じられていること。 (2) 埋立地からの浸出液による公共の水域および地下水の汚染を防止するため、次に掲げる水域汚染防止措置が講じられていること。ただし、水域汚染防止措置を講じた産業廃棄物のみを埋め立てる埋立地については、水域汚染防止措置は必要ない。 (ア) 産業廃棄物投入のための開口部および集水設備(水面埋立地処分にあっては排水設備)の部分を除き、保育水等の埋立地からの浸出を防止できる遮水工を設けること。ただし、遮水工と同等以上の効力がある不透水性の地層の部分については、遮水工は必要ない。 (イ) 保育水等を効率的に集めることができるもので堅度で耐久力を有する構造の集水設備(水面埋立処分にあっては排水設備)を設けること。ただし雨水防止のための措置が講じられている埋立地(水面埋立処分を除く)については集水設備は必要でない。 (ウ) 集水設備により集められた保育水等(水面埋立処分にあっては、排水設備により排出される保育水等)にかかるわる放流水の水質を「排水基準を定める継続府令第1条に規定する排水基準」に適合させることができる浸出液処理設備を設けること。この場合、放流水が $50\text{t}/日$ 以下であっても浸出液処理設備が必要である。ただし、これら保育水等を貯留するための十分な容積の耐水構造の貯留槽が設けられ、かつ貯留された保育水等が浸出液処理設備と同等以上の性能の水処理設備で処理される最終処分場にあっては、浸出液処理設備は必要でない。 (3) 埋立地の周囲には、地表水が埋立地の開口部から流入するのを防止することができる開渠その他の設備が設けられること。

(注) 最終処分場の種類は、令第7条第14号に掲げられている。

(ア) 「遮断型処分場」とは、有害な燃え殻、ばいじん、汚泥、鉛さい、13号廃棄物を埋立処分するものをいう。(令第7条第14号イ)

(イ) 「安定型処分場」とは、廃プラスチック類、ゴムくず、金属くず、ガラスくずおよび陶磁器くず、建設廃材、環境庁長官および厚生大臣が指定する産業廃棄物を埋立処分するものをいう。(令第7条第14号ロ)

(ウ) 「管理型処分場」とは、廃油(タールビッチャ類に限る)、紙くず、木くず、繊維くず、動植物性残渣、動物のふん尿、動物死体および無害な燃え殻、ばいじん、汚泥、鉛さい、13号廃棄物の埋立処分するものをいう。(令第7条第14号ハ)

め立てた後に有害な浸出水の域外への流出事故が生じた場合、その流出箇所の解明は電磁気的測定法等の可能性が検討されているが現状ではほとんど不可能に近いし、このような処分場の修復等には莫大な時間と費用がかかるものである。厳格な環境保全が今後益々求められることになるであろう状況からみて、後述のような米国型の構造基準の策定が緊急に必要と考えられる<sup>3)</sup>。

#### 4. 廃棄物埋立地盤の地盤工学的諸課題

廃棄物を中心とした各種の埋立材料の特性をまとめると表-3のようである。ここでは主として地盤としての特性と問題点について示しているが、一般の土砂材料との大きな差として、埋立中に材料分解が生じることである。これが地盤として廃棄物を利用する際の不安定性の原因であり、また周辺環境へ種々の影響について注意しなければな

らない<sup>3)</sup>。

廃棄物埋立地盤の跡地利用に際しては、対象とする埋立地を構成する廃棄物材料の現況と将来の変化の予測を行うことが肝要である。従来の土質工学における調査手法や設計手法をそのまま廃棄物埋立地盤に適用することには疑問があるが、構造物を設計するためには地盤定数の決定が不可欠である。廃棄物埋立地盤の設計に際して、埋立用護岸とその後の跡地利用における構造物建設に当たって検討すべき諸点は以下のとおりである。

(1) 埋立護岸構造 —— 周辺環境への影響の防止への配慮

(2) 土地利用計画の策定 —— 埋立前に埋立跡地利用計画の策定

(3) 埋立地盤定数の決定 —— 一般の地盤における土質定数と同様な手法の適用性

(4) 構造物の基礎形式 —— 杭基礎の適用の必

表-3 廃棄物を含む各種の埋立材料の特性

埋立材の種類	埋立地盤の工学的性質	単位体積質量 空中(水中) t/m <sup>3</sup>	地盤性状	問題点
良質土砂 がれき類 金属類 ガラス類 鉱滓類	良質土砂を主体とした混合物は一般に単位質量が大きく、締固めによる密度増大、透水性改良効果大である。	1.8 (1.0)	沈下や支持力に関しても十分安定な地盤を造成することができる。	安定な地盤を造成できるので、構造物の建設上問題はない。粗大がれき類の捨込みは地域を定めて行うことが必要である。
灰 焼却残渣 石炭ガラ	各工場より排出される灰類及び焼却場からの焼却残渣である。粒度は細砂から礫程度である。単位質量が小さく一部浮遊することもあるが、透水性は良い。	1.2 (0.4)	十分に締固めを行う事によって、安定な地盤を造成することができる。締固めが不足すれば流動化をきたす。	1. 締固め程度により、基礎地盤としての判定を行いう必要がある。 2. 焼却残渣による水質汚濁がある。
不良土 浚渫粘土	高塑性無機質粘土であり締固め、透水性、強度など不良である。	1.45 (0.45)	沈下、強度とも不良であり、また圧密時間も非常に長く、不安定な地盤となる。1~2年放置後1m程度の覆土をすることにより、機材の搬入が可能である。	1. 軟弱土のみの場合施工時トライヒーリーが悪く他の良質材と混合する必要がある。 2. 重量構造物に対しては沈下が著しいので、サンドドレーなどの地盤改良が必要である。
紙屑 木屑 繊維屑 ワラ屑 合成樹脂屑 動物性残渣 植物性残渣 雑ゴミ	これらの廃棄物は一般に間隙が多く、単位質量小である。放置しておけば、次第に圧縮していくが、締固めは困難であることから、腐敗化によって断続的な沈下や水質汚濁を伴う。	1.0 (0.3)	完成後、最初の10年間位は、腐敗による沈下が著しく、強度的にも不安定な地盤となる。また、構造物に対しては腐食を考えて設計を行いう必要がある。	1. 跡地利用としては、緑地、公園、駐車場として計画できる。 2. 沈下安定後は軽量構造物程度の建設も可能である。 3. 発生ガスや浸出水などの対策を必要とする。

## 然性とその合理性の有無

(5) 設計支持力の推定 —— N値や載荷試験結果の適用性

(6) 施工管理 —— 変形・沈下対策や発生ガス、浸出水の処理、腐食対策

上記の(1)及び(2)は、新規埋立時に必ず考慮すべき事項であり、(3)以降は既存の廃棄物埋立地盤の跡地利用に際しても適用しうる事項である。

最近は家庭からの生活廃棄物や下水汚泥などの産業廃棄物は、そのほとんどが焼却処分されるようになっており、廃棄物の減量化の点で飛躍的な向上がみられている。焼却に伴う重金属の浸出水中への溶出やダストの飛散の問題、ダイオキシンの発生等の課題が一方では生じているものの、総体として焼却灰は良好な地盤材料と言えるものである。さらに、産業廃棄物のうちでも最も多量に発生する汚泥や建設廃材などについても、このように前処理を施してなるべく良質な埋立材料にするため技術開発が今後の大きな課題である。廃棄物埋立における最終処分場の構造基準が明らかなら現在、管理型・安定型のそれぞれについて将来の跡地利用を想定した形での埋立、すなわち受け入れる廃棄物の種別を明確にして各区分ごとの埋立の実施求められる。

埋立地盤に適用されるべき調査技術手法に関する検討も重要である。

(1) サンプリング手法 —— 埋立地盤の条件によって適用性が異なる。不搅乱試料の採取のためにはブロックサンプリングや固定式ダブルチューブサンプラー等が用いられる。

(2) 原位置試験手法 —— 標準貫入試験、現場せん断試験、平板載荷試験等が用いられる。ばらつきの評価を適切に行うことが求められる。

(3) 地盤支持力の評価 —— 不搅乱試料による室内試験結果と原位置試験結果とに基づいて、埋立地盤の支持力を決定する。さらに将来の長期沈下挙動の推定も重要な課題である。

(4) モニタリングシステム —— 発生ガスや浸出水の処理は廃棄物埋立地の利用に際しての重要な課題である。構造物等へ腐食が生じたり、地下水の汚染などの悪影響を防止するために十分な管理が必要である。

廃棄物埋立地盤の跡地利用に際して、支持力が大きく、沈下量の少ない地盤への改良が求められ

る。廃棄物埋立地盤の改良には強制圧縮タイプの地盤改良工法が有効であり、次のような従来工法を挙げることが出来る。

(1) 置換工法 —— 良質の砂を入れ換える。ただし、掘削除去した廃棄物の処分場を確保しなければならない。

(2) プレロード工法 —— 廃棄物層厚の2倍程度の盛土荷重で圧密する。盛土中に80%程度圧密するが、粗大物が多い場合や層厚が大きい場合には効果が少ない。

(3) 重錐落下締固め工法 —— 10~40 tの重錐を高さ10~30mから落下させて、このエネルギーで締固める。打設時のガス抜き効果が大きい。

(4) サンドコンパクションバイル工法 —— 締固めた砂杭を地盤中に打設して、埋立地盤を締固める。粗大物が多いと圧入が困難になる。

(5) その他の充填工法

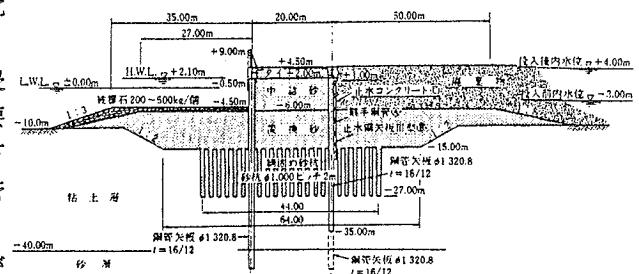
騒音・振動があまり問題にならない地域では、(3)の重錐落下締固め工法がよく用いられている。

## 5. 埋立材料としての廃棄物の特殊性

廃棄物を埋立材料とした場合の対処すべき課題として、構造物の腐食対策や浸出水の防止、ならびに発生するガス対策が重要である。

杭や構造物等に使用される鋼材やコンクリートは廃棄物中において化学的に劣化させられたり、腐食を生じたりする。鋼材の腐食対策としては電気防食や被覆によるものが中心となり、一方、コンクリートの劣化防止についても主として硫酸塩や酸性溶液からの隔離に努めることが求められる。

浸出水の対策として、粘土層やジオメンブレン等（ライナーと呼ばれる）による埋立処分場外への漏出防止が図られる。公有水面の埋立においては我が国の臨海部に一般的な沖積粘土層が有効な止水層とみなされ、従来は特別なライナーの設置



を省略することが多かった。しかしながら、護岸部分では置換え砂層周辺部において浸出水の漏出が避け得ないことから、図-4に示すような止水矢板が設計されるようになっている。このようなライナー部の健全性のモニタリングは至難のことであり、さらに、たとえモニタリングが可能になったとしても、破損箇所の修復のための費用は莫大なものである。したがって、安全性の点から多重のライナーシステムを採用して安全性と耐久性の確保に努める必要がある。

さらに、埋め立てられた廃棄物中に含まれる天然の有機物は、ごみ層内の微生物等によって分解され、安定する過程で様々なガスを発生する。好気性分解では二酸化炭素、水、アンモニア等であり、嫌気性分解では二酸化炭素、メタン、アンモニア等である。温度、水分、pH、酸素濃度、基質栄養バランス、阻害物質の有無等の環境条件に大きく影響を受け、ガス発生の特性が異なる。発生ガスの対策のために、ガス抜きパイプ・碎石ドレンパイプ等が用いられ、閉鎖空間中にガスを滞留させないような配慮がとられている。

米国では廃棄物処分場としてダブルライナーシステムがEPA(環境保護庁)から義務付けられている。これは歴史的に見て、わが国が昭和40年代の公害問題対策の時代から廃棄物処理に対処してきたのに対して、米国での廃棄物対策が有害物質による人身事故の発生によって初めて取り組むことになったという、対応の根本的な遅れへの厳しい反省の上に立ったものであり、環境保全と環境修復への国を上げての取り組みの結果とも言

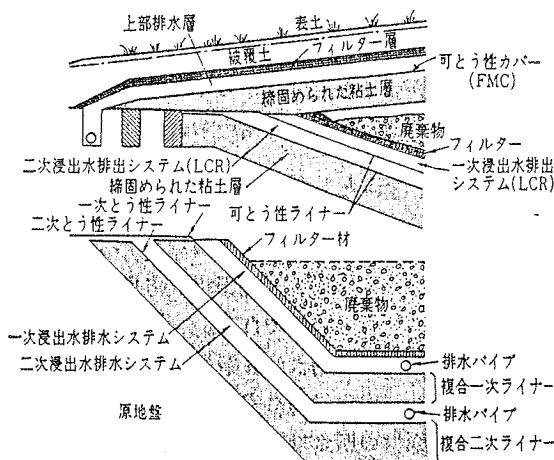


図-5 ダブルライナーシステムの例

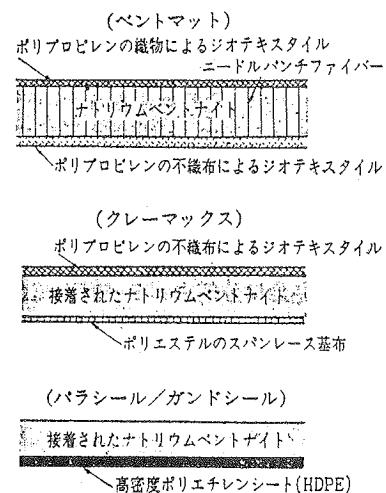


図-6 ジオシンセチック粘土ライナーの例

えるものである。図-5はダブルライナーシステムの例<sup>4)</sup>を示したものであり、処分場の表面被覆の仕方まで詳しく定めている。ダブルライナーとして少なくとも90cm厚さの粘土層に一層の可とう性ライナー(FML)の敷設を求めている。FMLとしては一般に高密度ポリエチレン(HDPE)の使用が求められているが、もしそれが破断しても最低でも30年間は浸出水が管理区域外へ流失しない断面構造としている。浸出水への降雨の影響がきわめて大きいことから、図のように処分場の表面を完全にジオメンブレンで覆うことを標準としている。表面の被覆へ用いるジオメンブレンとしては、地表沈下への追従性から低密度ポリエチレン(LDPE)の効果が大きい。発生するガスは速やかに換気する構造となっていることにも留意する必要がある。

また、最近の材料としてペントナイトなどの粘土とジオテキスタイル材料とを合成したジオシンセチック粘土ライナーが開発されている。図-6にその例を3種類示した。このようなジオシンセチック粘土ライナーの透水係数は $10^{-9} \sim 10^{-10}$ cm/sであり、相互の重ね合わせ部分として75~150mmとすると十分な止水効果のあることが知られており、更に本体のジオメンブレンに25~75mmの直径の穴が開いた場合にも粘土ライナーによって止水することが可能であるという報告がなされている<sup>6)</sup>。

土中におけるジオメンブレンやジオテキスタイルの長期安定性に影響する要因として、化学的・生物的環境下での安定性、基礎地盤の不同沈下や

斜面安定による影響、材料そのものの耐久性や接合部の安定性等が考慮されねばならない。これらに関する統一的な試験方法や設計施工法・管理法等について今後の整備が必要であるが、少なくとも上述のような厳密な管理の行える廃棄物処分場の整備が求められるところである。

## 6. 廃棄物埋立地盤の特徴

### 6.1 ごみ埋立地盤の場合

廃棄物で埋め立てられた地盤の特性は、材料としての廃棄物特性に大きく左右される。したがって統一的な評価は極めて難しい。既存の廃棄物埋立地盤において一般的な生ごみによる埋立地盤特性について概要は以下の通りである<sup>7)</sup>。

大口径のボーリングコアサンプリングによって採取された、生ごみ埋立地盤の単位体積重量の測定結果では、埋め立てられたごみの多様性から、地盤定数のばらつきが極めて大きいものである。ごみ層の単位体積重量は  $\gamma_t = 0.3 \sim 1.2 \text{tf/m}^3$  の範囲に分布し、平均的には  $0.7 \sim 1.0 \text{tf/m}^3$  とみなされる。また原位置での支持力試験結果としてのN値の分布は廃棄物の組成に起因するばらつきが著しく、大きな建設廃材などに当たるとN値は極端に大きくなり、また時代とともに分解が進むとN値は小さくなる。図-7に平均N値の掲示変化を示した<sup>8)</sup>が、5~10年経過の埋立地盤のN値の減少量が著しく、安定化までには20年以上を要することがわかる。このように廃棄物が分解することによって土質工学的特性が劣化することは、特に留意しておく必要がある。

沈下特性としては、廃棄物の分解によって総量の約40%の圧縮沈下をきたす。廃棄物の圧密係数

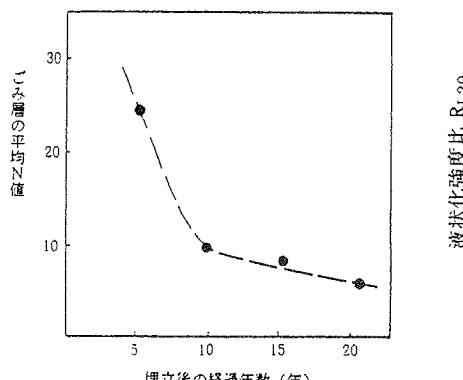


図-7 ごみ埋立地盤の平均N値の経時変化

は一般の沖積粘土の約1000倍以上であり、通常の盛土では載荷中に一次圧密が終了する。さらに、二次圧密係数( $C_{\alpha \epsilon}$ )は廃棄物の組成によって変化し、生ごみによる東京都港湾局15号埋立地の  $10^{-2}$  程度から、不燃物をも含んだ富山市埋立地の  $10^{-3}$  程度である。過圧密比(OCR)が2以上に及ぶブレードを与えると、 $10^{-4}$  のオーダーに低下する。

このような圧密特性から明らかのように、ごみ埋立地盤の改良には、バーチカルドレンのような脱水による工法は全く無力であり、4章で述べたようにサンドコンパクションパイル工法、重錐落下締固め工法などの圧縮による工法の適用性が高い<sup>3)</sup>。

### 6.2 焼却灰埋立地盤の場合

一般廃棄物焼却灰と下水汚泥焼却灰との混合焼却灰の形で埋め立てられた場合<sup>9)</sup>の地盤特性は以下のようである。

焼却灰の物理的特性は廃棄物の種類や焼却炉の性能及び焼却温度によって大きく変化する。一般廃棄物焼却灰の比重は2.51~2.68、下水汚泥焼却灰では2.9であり、前者は通常の砂質土と比べほぼ同等か若干軽く、後者は重い。また、統一土質分類法によればそれぞれ「砂質土」と「細粒土」に分類され、どちらも粒度は良くない。焼却灰による埋立地盤の圧縮性は粒径の大きな夾雑物が荷重を受持ち、焼却灰そのものの圧縮性にはあまり影響されない。したがって、上載荷重による地盤の沈下は少なく、盛土等による地盤の強度増加はあまり期待できない。

海面埋立の場合には海上からの直投が一般的であり、試料投入から堆積までに細粒分と粗粒分が

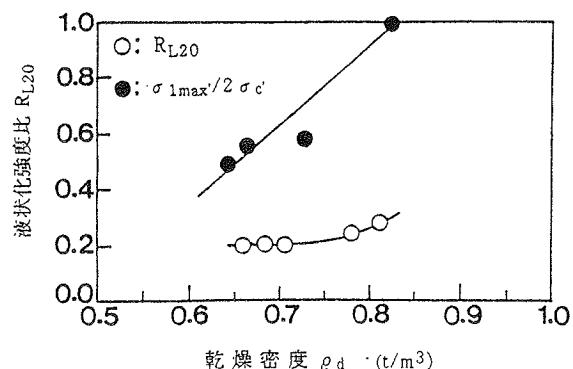


図-8 焼却灰の繰返し三軸試験結果の例

分離が見られることがあるが、その差は  $0.15 \text{ t/m}^3$  程度と小さく、堆積時の密度は  $1.1 \sim 1.5 \text{ t/m}^3$  と非常に緩い状態であることが多い。このような緩い地盤では地震時に液状化を起こす危険性があるから、地震時の挙動を把握するため、動的特性を把握しておく必要がある。図-8は繰返し三軸試験結果の例であり、繰返し載荷回数  $N_c=20$  回で、ひずみ両振幅  $\Delta A=10\%$  に達するときの繰返し応力比を液状化強度比  $R_{L20}$  として、乾燥密度  $\rho_d$  との関係と、CIU 試験から得られた応力比  $\sigma_{1max}/2\sigma_c'$  と  $\rho_d$  の関係とを示している。焼却灰は繰返しせん断による体積収縮が非常に大きく、また液状化強度も小さいことから地震時の液状化対策を行う必要がある。

### 6.3 石炭灰埋立地盤の場合

石炭灰には炉の底に溜る炉底灰（クリンカーアッシュとも呼ぶ）、燃焼経路に溜るシンダーアッシュ、電気集塵機によって補集されるフライアッシュの3種類があり、石炭火力発電所から全体の約80%の石炭灰が排出される。粒径は上記の順に小さくなり、クリンカーアッシュ、シンダーアッシュはその量も少なく、路盤材としての有効利用が図られている。量の多いフライアッシュについては、特性を活かしてコンクリート分野で有効利用されているものの、総排出量の約55%は埋立処分されている現状である。

石炭灰は組成の点からは活性シリカと呼びうるが、原材料である石炭の種類と焼却条件によって、特性の変化が大きい。さらに、近年は環境対策上から燃焼温度を下げる傾向にあり、焼却後の灰中に  $\text{NO}_x$  や  $\text{SO}_x$  を多量に含む場合も見られている。アルカリ性の条件下で水に出合うと、反応を起こし、特にフライアッシュでは時間の経過に伴って徐々に固結する。この特性をうまく利用すると、石炭灰埋立地盤の有効利用の可能性は極めて高い。陸上部では乾燥した状態で埋め立てられるため、締固めを伴った盛り上げが可能である。しかしながら、臨海部に立地する石炭火力発電所での廃棄方式は大部分が水中埋立方式であり、石炭灰を無計画に埋め立てると灰の比重が小さいために、密度が  $1.1 \sim 1.3$  程度の低密度地盤となり、地震時の液状化の危険性が大きくなる。

石炭灰を臨海部において埋め立てる方法として

表-4 石炭灰の水中埋立方法

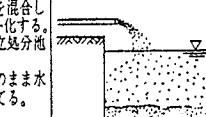
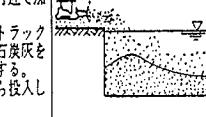
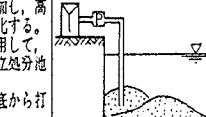
	埋立方法	埋立時の様子	埋立地盤の性状
水流式	① 石炭灰に多量の海水を混合し ② 低密度状態でスラリー化する。 ③ 低密度スラリーを埋立処分池まで水管移送する。 ④ 低密度スラリーをそのまま水面から投入し、埋立てる。		密度 水中をゆっくりと沈降・堆積するため、地盤密度は低い。
乾灰式	① 石炭灰を最適含水比付近で加湿する。 ② ベルトコンベヤーやトラックなどを使用して加湿石炭灰を埋立処分池まで輸送する。 ③ 加湿石炭灰を水面から投入し埋立てる。		密度 水中の拡散が少ないと、拡散・堆積部分の密度は低い。
打設式	① 石炭灰に水を分割添加し、高密度状態でスラリー化する。 ② 送水泵などを使用して、高密度スラリーを埋立処分池まで輸送する。 ③ 高密度スラリーを水底から打設し、埋立てる。		密度 基上部の転圧は立と同程度と、埋立密度は高い。

表-4の3種類の方式<sup>10)</sup>がある。水流式と乾灰式が従来用いられていたものであり、打設式が高濃度スラリー埋立方式として今後は一般化されるものと期待される。室内試験結果での平均乾燥密度は水流式で  $0.61 \text{ t/m}^3$ 、乾灰式で  $0.89 \text{ t/m}^3$ 、打設式で  $1.28 \text{ t/m}^3$  とされている。得られた石炭灰埋立地盤の強度として、一軸圧縮強さを乾燥密度との関係で示すと図-9のとおりである。同一密度でも石炭灰の種類によって得られる強度は異なり、石炭灰中の  $\text{CaO}$  量によって自己硬化特性が異なることに起因している。なお、水流式のような底密度では強度発現をほとんど期待できない。圧密特性や動的特性に関しての系統的な試験結果は少ないが、打設式によれば圧縮係数  $C_c$  が 0.1 以下の小さな値が得られ、更に自己硬化特性から見かけ上の先行圧密荷

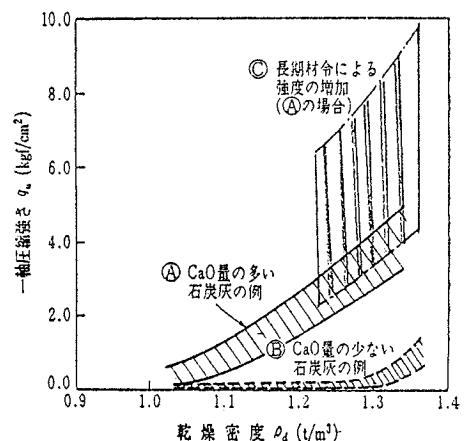


図-9 石炭灰埋立地盤の一軸圧縮強さと乾燥密度

重の上昇が生じるものである。したがって、緩く堆積した石炭灰が液状化を起こしやすいのに対して、打設式による密度増加によって液状化抵抗が相対密度70%の豊浦砂のそれよりも大きくなるとされている<sup>11)</sup>。

#### 6.4 建設発生土埋立地盤の場合

建設発生土は表-5に示すような、構成土材料と含水比の違いによって5種類に分類される<sup>12)</sup>。1~3種に該当する土は従来の土材料と同様の取り扱いが可能である。しかしながら、4種の軟弱土や泥土では、得られた埋立地盤が超軟弱となるた

めに、十分な前処理や埋立後の地盤改良が求められる。特にこのような建設発生土によって得られた地盤の土質構成が、複雑で多様な変化を来たすことに留意しなければならない。すなわち、海底の沖積地盤では地層構成が水平方向に連続性を持っているのに対して、人工的に軟弱な発生土を埋め立てた地盤では水平方向の地層の連続性はほとんど望むことができない。したがって、場所ごとの土質構成の変化が著しいから、地盤バラメーターの決定に当たっては、設計条件を決定付けるクリティカル値を適切に評価し、これを採用することが重要である。

表-5 建設発生土の土質特性区分

区分 (建設省令)	土質区分	コーン 指數 $q_c$ <sup>*3)</sup>	日本統一土質分類		備 考 <sup>*2)</sup>	
			中分類	土質	含水比 (地山) $w_n$ (%)	掘削方法
第1種建設発生土 (砂、砾及びこれ らに準ずるもの)	第1種発生土	-	{G} {S}	礫 砂	-	・排水に考慮する が、降水、浸出 地下水等により 含水比が増加す ると予想される 場合は、建設省 令の1ランク下 の区分とする。
	第1種改良土		(改良土) <sup>*6)</sup>		-	
第2種建設発生土 (砂質土、砾質土 及びこれらに準 ずるもの)	第2a種発生土	8以上	{GF}	砾質土	-	・排水に考慮する が、降水、浸出 地下水等により 含水比が増加す ると予想される 場合は、建設省 令の1ランク下 の区分とする。
	第2b種発生土		{SF}	砂質土( $F_c = 15\sim 25\%$ )	-	
	第2c種発生土			砂質土( $F_c = 25\sim 50\%$ )	30程度以下	
	第2種改良土		(改良土)		-	
第3種建設発生土 (通常の施工性が 確保される粘性 土及びこれに準 ずるもの)	第3a種発生土	4以上	{SF}	砂質土( $F_c = 25\sim 50\%$ )	30~50%程度	・水中掘削等によ る場合は、建設 省令の2ランク下 の区分とする。
	第3b種発生土			{M}、{C}	シルト、粘性土	
			{V}	火山灰質粘性土	-	
	第3種改良土		(改良土)		-	
第4種建設発生土 (粘性土及びこれ に準ずるもの (第3種発生土 を除く))	第4a種発生土	おおむね 2以上	{SF}	砂質土( $F_c = 25\sim 50\%$ )	-	・水中掘削等によ る場合は、建設 省令の2ランク下 の区分とする。
	第4b種発生土			{M}、{C}	シルト、粘性土	
			{V}	火山灰質粘性土	-	
			{O}	有機質土	40~80%程度	
	第4種改良土		(改良土)		-	
(泥土) <sup>*1)</sup> (浚渫土のうち おおむね $q_c$ 2以 下のもの及び建 設汚泥)	泥土 a	おおむね 2以下	{SF}	砂質土( $F_c = 25\sim 50\%$ )	-	・水中掘削等によ る場合は、建設 省令の2ランク下 の区分とする。
				{M}、{C}	シルト、粘性土	
	泥土 b		{V}	火山灰質粘性土	-	
			{O}	有機質土	80%程度以上	
	泥土 c		{Pt}	高有機質土	-	

\* 1) 泥土のうち建設汚泥は、廃棄物処理法に定められた手続きが必要である。

\* 2) 計画段階(掘削前)において土質区分を行う必要があり、コーン指數を求めるために必要な試料を得られない場合には、日本統一土質分類と備考欄の含水比(地山)、掘削方法から概略の土質区分を選定し、掘削後、所定の方法でコーン指數を測定して、土質区分を決定する。

\* 3) 所定の方法でモールドに締固めた試料に対し、ポータブルコーンペネトロメータで測定したコーン指數(表3-3参照)。

\* 4) 表中の第1種~第4種改良土は、土(泥土を含む)に改良材を混合し、化学的に性状を改良したものである。例えば、第3種改良土は、第4種発生土または泥土を安定処理し、コーン指數4以上の性状に改良したものである。

\* 5) 含水比低下、粒度調整など物理的な処理を行った場合には、処理後の性状で再度判定し、改良土としてではなく、発生土として土質区分を判定する。

\* 6) 第1種改良土は、砾、砂状を呈するもの。

更に、近年では建設系廃棄物を広く副産物として捉え、流動化処理土、EPS混合処理土、繊維混合処理土などの高付加価値を与えた有効利用が実施されている。これらの材料は裏込めや空洞充填、道路盛土や河川築堤、宅地造成材料等へ積極的に応用されつつあり、耐久性を含めた長期の安定性評価が今後求められる。

## 7. 廃棄物によって汚染された地盤環境の浄化対策

### 7.1 地盤環境汚染の概要

地盤環境の汚染は明治20年代からの足尾鉱山の鉛毒問題がその始まりとされる。神通川流域のカドミウム汚染によるイタイイタイ病に代表されるような農用地の汚染問題は、客土などに基づく対策では対応がとられているが、市街地における重金属汚染は工場跡地の再利用の際などで明らかとなり、例えば、東京都六氷クロム鉱滓汚染など二次汚染が生じないような安全対策が求められる。また、最近ではPCBやダイオキシン、トリクロロエチレン(TCE)など人工化学物質による地盤や地下水の汚染が深刻になっており、環境の汚染が人の健康に影響を及ぼしかねない事例が発生している。このような地盤環境の汚染に対して、汚染状況を正しく把握するための調査法の確立が早期に求められており、3次元的な汚染分布の把握を速やかに実施しうる手法の開発が必要である。更に汚染対策として、従来の固結工法のような地盤改良の手法がそのまま適用しうるが、有害物質を高度に分解したり固定したりする技術の開発が、地盤改良工法の延長線上で取り組まれている。地盤汚染を未然に防止することはもちろんあるが、汚染対策の考え方として以下のような汚染の拡散防止や、地盤浄化という2つの基本的視座がある。

(1)汚染の封じ込め——汚染物質の拡散を防止するために、不溶化による封じ込めや遮水工による地下水との接触を防止する。

(2)汚染地盤の浄化——地盤中から汚染物質を除去する。

有害物質として対象となる重金属や人工化学物質の種類は千差万別であり、地盤中での挙動も異なっている。したがって、汚染対策には汚染物質の種類に適合した新しい発想に基づいた手法開発も求められており、また対策後におけるモニタリ

ングについても必ず実施して、汚染物質の広がりや防止効果を十分確認しなければならない。

## 7.2 地盤汚染対策技術<sup>13)</sup>

### 7.2.1 固定化工法

汚染された土を安定化するために、汚染物質や廃棄物に結合材を混合してその物理的性質を改善し、有害物質を固定化する方法である。固化化材料として、従来から使用されている石灰・セメント系材料やエポキシなどの有機系材料、その他の新しい材料がある。対象汚染物質としては種々の重金属・石油スラッジ等があるが、室内試験等で溶出試験等を行って耐久性を十分確認してから実施する必要がある。

### 7.2.2 薬液等による化学処理工法

汚染された地域の土を、有害な廃棄物を生じることなく洗浄あるいは安定化する工法である。掘削した土をプラント処理によって浄化する場合と、掘削はせずに原位置で浄化する場合の2つの方法がある。アルカリ溶液により前処理した汚染土にトリエチルアミンを加え、固液分離することにより有機汚染物質を除去する工法が提案されている。また、不飽和帯に水を通過させて土を洗浄し、回収された水を処理する化学洗浄工法もあり、洗浄効果を上げるために水に化学物質を混ぜることもある。この方法は揮発性・半揮発性有機物、石油炭化水素、PCB、種々の重金属にも適用可能である。

### 7.2.3 真空抽出工法

TCEなどの揮発性の有機塩素化合物で汚染された地盤を物理的に浄化する工法である。浄化には、真空抽出のみを利用したVacuum Extraction工法、真空抽出に空気注入を併用したSoil Vapor Extraction(SVE)工法、真空抽出に加熱蒸気注入を併用したVacuum Extraction/Steam Injection工法がある。地下水の浄化には、空気と接触させガスと水とに分離するAir Stripping工法と、加熱した蒸気を送つてガスと水とに分離するSteam Stripping工法がある。これらの内SVE工法は米国において実績があり、TCEなどの揮発性有機塩素化合物(VOC)の除去に有効な方法であり、原位置浄化システムである。図-10に示すように抽出井からのガスの吸い出しと、汚染域内および汚染域外に設けられた注入井を通じて正常な空気(または窒素ガス)を送り込むことにより、土中のVOCを抽出するものである。

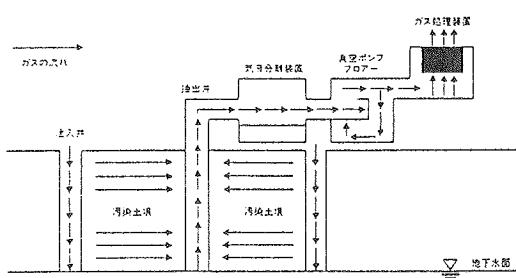


図-10 真空抽出工法のシステム

一般に汚染現場は揮発性の異なる何種類もの汚染物質により汚染されていることが多く、汚染物質は揮発性が高くかつ水に対する溶解度が非常に低いために、その存在形態や汚染のメカニズムは非常に複雑である。このため、簡単な浄化効率予測モデルや、土・地下水中のVOCの挙動をシミュレーションできるモデルを開発して、その対策に役立てるこも重要である<sup>14)</sup>。

#### 7.2.4 生物処理工法

微生物による人工化学物質の生物分解は、毒性のある化学物質を環境から除去する有効な方法として昔から知られており、比較的安価でしかも非常に有効な方法である。地盤中から有毒な化学物質を除去するために、バイオ技術を応用して創出した微生物等を利用する「バイオレメディエーション」は、単独で、あるいは他の物理的、化学的処理とあわせて利用される。ガソリンや原油等の石油系炭化水素の除去が可能であり、殺虫剤や塩素溶剤、ハロゲン芳香族炭化水素やPCB等の処理にも有効である。バイオレメディエーションとして次のような3つの方法がある。

①汚染土を掘り起こし、環境条件をある程度管理しうる処理区画にいれて、固形状のままで微生物によって生物処理をする方法

②土の固形物が20%程度となるように汚染土と水とを装置内に加えて攪拌し、スラリー状にして生物処理をする方法

③汚染土は掘り起こさずに、地下の汚染土の位置にまで井戸を掘って必要物を注入し、分解菌と微生物の密度が高いゾーンを作つてその汚染位置で生物処理を行う方法

#### 6.2.5 热処理工法

有害な人工化学物質の原位置熱処理は、埋設処

理に要する費用と比べてしばしば高額な処理方法と考えられている。しかしながら、汚染土の廃棄処理に対する既存の制限や将来の制限を考慮すると将来的には有望と考えられる。PCBやダイオキシンのような処理が難しい人工化学物質も高温を使えば破壊することができる。この方式には種々あり、ロータリーキルンやプラズマ焼却を使つたり、原位置で高温ガラス化して固める方式などが提案されている。

原位置ガラス固化技術は、汚染土を掘り起こさずに土中に挿入した電極に通電・加熱するだけで、土をガラス状に溶融・固化するものである。基本原理を図-11に示す<sup>15)</sup>。所定の場所に電極を設置し、始めに電気を通すために、地表面にグラファイトなどの導電性の材料を敷設する（一般に土は電気を通しにくい）。通電が行われ高温で溶融が開始すると、土に含まれるSiが溶け出し地盤が導電性を示すようになり、順次溶融領域が拡大していく。深さ方向へは、電極の位置を上下にコントロールすることによって制御できる。溶融した地盤の中心温度は1600~2000℃にも達するが、溶融が進む周辺部では1200℃程度であり、そこから30cm離れると100℃以下に低下し、少し離れた周辺地盤への熱的影響はほとんど起ららない。電気溶融処理の実施された米国の例では、溶融処理土の圧縮強度は3tf/cm<sup>2</sup>程度、引張り強度は300kgf/cm<sup>2</sup>以上となり、25~40%の体積収縮によって、大規模な陥没穴が形成される。この穴は客土され、跡地は通常の地盤と同じように有効利用できる<sup>15)</sup>。

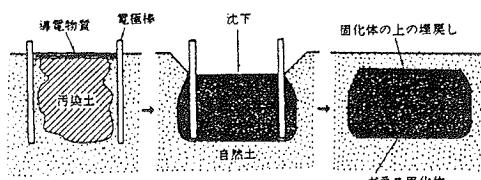


図-11 原位置ガラス固化技術の原理

この技術は、地盤が本来含有するSiを利用してガラス固化体を形成するものであり、特別な場合を除いて新たに薬剤などの添加物を注入する必要はない。コンクリートや瓦礫の類もその対象となるから、地盤中に金属やコンクリート塊などの埋設物がある場合にも適用されうる。溶融処理中に発生する水蒸気や有機物・無機物の気化物質は、地

表面に設置されたオフガスフードにより回収され、放射性物質が含まれる場合にはフィルターなどを通して処理される。また、土中の有害化学物質の多くは1600～2000℃の高温によりほぼ完全に分解される。有害重金属はガラス固化体中に均質に分散し、1千年から1万年の間安定に閉じ込められると考えられている<sup>16)</sup>。問題は地中の水の処理である。地下水位が高く、地盤の透水係数が大きいときには、水分が蒸発するまでに余分の電力を消費するため、あらかじめ止水壁を設置するなど、周辺からの地下水の流入を防止する措置が必要である。透水係数が $10^{-4}$ cm/s以下の場合には防止措置は不要とされている。また、溶融した地盤が冷却・固化する過程で多数のクラックが発生する。さらに、有機物を大量に含む地盤では、溶融時に有機物が分解され、処理施設で対処できないほどのガスが発生する場合があり、事前に対応策を講じておく必要がある。

原位置ガラス固化技術は、本来汚染地盤の修復を目的として開発されたが、今後は環境保全や予防の観点から、その適用分野はますます広がるものと予想される。

#### 8. おわりに

地盤環境の劣化に対して何とか早く手を打って、21世紀に向けて希望ある展望を開きたい。このような願いの達成のために、我々は如何に貢献しうるのかという点に環境地盤工学への取組の重点が置かれねばならないだろう。「大地の女神、ガイアの愁眉を開くことができるのか」はきわめて重い命題である。本来地盤とそれを取り巻く生態系は多くの浄化作用を有している。我々人間が生存のために、これらの作用のバランスを崩し、破壊してきたのである。地盤は黙して語らないが、野放団な取扱には痛烈なしっぺ返しがあるだろう。一部には地球環境を護るために人間さえいなければ良いのだという意見もある。しかしながら、人間生存の全否定からは何ら建設的な回答は得られない。如何に環境との共存を図り持続可能な開発を担保するかに重点的に取り組まねばならない。

#### 参考文献

- 1) 嘉門雅史：環境地盤工学とは—環境地盤工学入門、土質工学会、p.3-7, 1994.

- 2) 環境白書：平成5年版、ぎょうせい、1993.
- 3) 嘉門雅史：廃棄物と地盤改良、土と基礎、Vol.41, pp.19-24, 1994.
- 4) EPA : Geosynthetic Design Guidance for Hazardous Waste Landfill Cells and Surface Impoundments, 1986.
- 5) 嘉門雅史：廃棄物埋立地盤における地盤改良、土と基礎、Vol.42, No.2, pp. 19-24, 1994
- 6) Estornell, P. and Daniel, D.E. : Hydraulic Conductivity of Three Geosynthetic Clay Liners, Jour. Geotech. Eng., ASCE, Vol.118, No.10, pp.1592-1606, 1992.
- 7) 清水恵助：東京圏に見る地盤の高度利用、3.3ごみ地盤の利用、土と基礎、Vol.39, No.4, pp.81-84, 1992
- 8) 嘉門雅史：地盤の環境—一般廃棄物・建設残土の有効利用、次世代へのすばらしい環境創造、土木学会関西支部講習会テキスト、pp.63-79, 1990.
- 9) 岩谷文方ら：尼崎沖フェニックスにおける焼却灰の力学的特性、土と基礎、Vol.40, No.6, pp.5-10, 1992.
- 10) Sugimoto, T., et al. : Effective method for underwater dispersal of coal fly ash, Proc. of 2nd Int. Symp. on Environmental Geotechnology, Vol. 1, pp.428-437, 1989.
- 11) 安原一哉・平尾和年・兵動正幸・堀内澄夫：石炭灰の埋立地盤への有効利用に関する基礎的研究、第34回土質工学シンポジウム論文集、pp.341-348, 1989.
- 12) 建設省監修：建設発生土利用技術マニュアル、土木研究センター、150p., 1994.
- 13) 末岡 徹：人工化学物質汚染—環境地盤工学入門、土質工学会、pp.163-171, 1994.
- 14) 長藤哲夫・薮田英俊・今村 聰：揮発性有機塩素化合物に汚染された土壤・地下水の浄化対策、土木学会誌、Vol.79, No.12, pp.10-13, 1994.
- 15) Hansen, J.E. and Fitz Patrick, V.F. : In Situ Vitrification Applications, 3rd Forum on Innovative Hazardous Waste Treatment Technologies; Domestic and International, June, pp.1-17, 1991.
- 16) 金子直哉・村岡元司・田坂広志：原位置ガラス固化技術の環境保全技術としての将来性、日本原子力学会誌、Vol.34, No. 9, pp.838-843, 1992.  
 (「地盤と建設」Vol.12, No.1, 1994より転載)

## 地盤改良技術の起源と時代的変遷

西田一彦\*

### 1. まえがき

構造物を支える地盤の構成材料であり、また、埋立や築堤などの土構造物の構成材料である土は、地域性が強く、工学的性質も千差万別であり、必ずしも利用に好都合な条件を備えているとは限らない。地盤改良は、このような、利用に不都合な地盤を利用可能にし、その状態を維持するために行う物理的、化学的処理を総称したものである。

最近では、建設工事が大型化する一方、その制約条件や立地条件もますます厳しくなって、地盤にも苛酷な条件が要求されることが多く、また、土壤汚染対策や環境保全といった新たな問題への対応も求められている。

したがって、これらの様々な要求に対応して地盤改良工法の種類も非常に多く多様なものとなっている。

地盤改良工法に関連する分野はきわめて広く、道路や鉄道の路床路盤、斜面保護と安定、水利構造物の覆工・構造物基礎、埋立および海洋地盤、トンネル、ダムの遮水と安定、地盤環境の保全など、土木、建築、農業土木、資源、環境の各分野にわたっている。また、その基礎となる学問、技術分野も上記の応用工学的分野の外に、物理学、力学、化学、生物学、地質鉱物学、造園学など広範囲にわたる学問分野が関連する。

地盤改良工法は、時代の要求に応じて種々のものが開発され、発展をとげているが、環境保全といった観点からみると、必ずしも満足なものばかりとは限らない。そして自然や、人間にじみやすい工法や、環境を護るためにの工法の開発が求められている。そのためには、一度、過去の技術をふり返り、その原理や知恵を学ぶことも必要と考える。そこで、本論では、古い工法の原理と先端の技術の共通点・相違点を考慮し、最近の傾向を明確にしてみたい<sup>1)</sup>。

### 2. 地盤改良の原理と起源

地盤改良の原理については、次の5つに区分されている<sup>2)</sup>。

- ①置換（良質材料に置き換える）
- ②圧密脱水（粘性土の圧密、砂質土の地下水位低下）

③高密度化（締固め、間隙の減少）

④固結（注入・混合・攪拌による固結）

⑤補強（異種材料による補強）

これらは、現在の工法に対するものであるが、古代においてこの原理がどのように利用されていたかを考察して見る。

まず置換工法は、地盤が悪い場所では自然発生的に用いられた工法であろう。これに相当するものの1つとして、江戸時代(1843)に使われた「流し堀り」工法が挙げられる。これは、極端に軟弱な粘土層が厚く堆積している場合、盛土や堀削は不可能となるため河川の水流のエネルギーを利用して軟弱層（ヘドロ）を流去するものである。機械のなかった時代の苦肉の策である。現在は、建設機械の進歩によって容易に除去することが可能であるが、除去したヘドロの処分がまた問題となる。

次に圧密脱水の原理であるが、この原理は地盤改良としてはごく最近まで使用されていない。1920年代から始まったTerzaghiによる一連の圧密理論の確立によってはじめて地盤改良工法として発展し、サンド・ドレーン工法、ペーパー・ドレーン工法などが1930年代から開発された。

しかし、盛土については、この原理は、2000年以前から利用されていた可能性がある。それは、古い土構造物が、版築と呼ばれる層状の盛土から造られていることがある。これは、粘性土と砂質土を互層に盛土することで、粘性土と砂質土の特性を巧みに生かした優れた工法である。すなわち、粘性土は粘着力をもつが排水しにくいこと、砂質土は粘着力に乏しいが摩擦力と排水性に富み、両者を重ねることでお互いの欠点を相殺するものである。また、粘性土が高含水であっても砂質土に挟まれることにより圧密されやすく、不透水層となって雨水の浸透を防ぎ、盛土を永久に安定させるものである。この工法は飛鳥時代に中国からわが国に伝えられたとされ、わが国の古代の古墳、寺院の基礎、城壁、溜池の堤体などに広く用いられている。

そして、この工法は、原理的には、締固め、圧密、止水などの複合したものと考えられる<sup>3)</sup>。

つぎに、高密度化の原理であるが、土を締固めると強度が増し、透水性が減少することは古くから経験的に知

\* 工学部教授 工博（土木工学科）

られていたものと考えられる。既述の版築工法でも締固めが重要な要素となっている。締固める行為から名づけられたと思われるものに「たたき」というのがある。これは土と石灰を混合して締固めるもので古い構造物の基礎として広く用いられている。

わが国では、土の締固めに木銷や石銷を使うのが一般的であったが、ヨーロッパでは、牛、山羊、羊が動員され、現在のシープ・フートローラーの名前の起源となつたものと考えられる。締固め工法を科学的に扱った最初は、1933年のR.R.Proctorである。彼によって、締固めの最適含水比の概念が提案され、建設工事の大規模化とともに重要な設計基準となった。

次の固結工法であるが、この工法の元祖はなんといつても石灰による土の強度の増大であろう。

石灰は、紀元前25世紀ごろから使用され、わが国でも、古墳時代にはすでに使用されていたとされている。しかし、主として、盛土などの表層の改良に使用されていた。また、セメントが発明されてからは、ソイルセメントとして広く用いられている。

土を補強材で補強するという考え方方は、かなり古くから存在し、中国では、木材、植物の枝などが盛土に混合され用いられている。すなわち、築土構木そのものを意味し、土木の語源にもなっている。この工法は一たん婆を消したかのように見えたが、強度や安定性に優れた多くの高分子材料が開発されるに及んで、新しい形の補強工法に発展した。

### 3. 最近の地盤改良工法の動向

1930年代に始まる近代地盤改良工法は、この60年間に大きく発展し多種多様の工法が開発された。その傾向を表-1に示した。

まず第1に、機能の面から考察する。1930年代に開発された工法は、圧密脱水、締固め、注入固結、置換などの基本原理に基づくものであり、これらのうち、いずれか1つを単独で利用しようとしたものが多い。すなわち mono-functional method がその主流となっている。サンド・ドレーにしても、粘土地盤の排水距離を短くして圧密を促進することが第1の目的で、サンダパイプは単に水の通路としての役割をはたすものである。それが、1960年代から1970年代にかけて、いくつかの機能を同時にたさせることを期待する工法が現われている。

たとえば、石灰パイプ工法では、生石灰と柱状に軟弱地盤に打ち込み、吸水して生石灰を化合水の形 ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) に変え地盤の圧密を促進するとともに柱自身の強度を上げて地盤の支持力を増加させるものである。すなわち脱水と固化を同時に期待するものである。

一方、1950年代までの注入工法は、主に薬液の地盤への浸透に目が向けられ、できるだけ小さな間隙にできるだけ注入材の粘性を低くして広い範囲に浸透させ、強度と安定を確保することを目的として開発が進められた。しかし、この方向は基本的に限界があることは明らかであった。そこで、この限界を打ち破るものとして現われたのがCCP工法に代表される一連の工法である。これ

表-1 地盤改良工法の変遷

1950+それ以前	1960	1970	1980	1990
①サンンドレーン ②ペーパードレーン ③ウェルポイント ④電気浸透 ⑤サンドコンパクションパイプ ⑥バイプロフロー テーション ⑦セメントグラウト ⑧薬液注入 ⑨地中連続壁	①マンモス コンポーザー ②碎石砂利杭 ③マイス工法 ④表層混合固化 ⑤石灰パイプ ⑥CCP ⑦ゼットグラウト ⑧噴射注入	①水硬性サンドパイプ ②大気圧 ③ダイナミック コンソリデーション ④ヘドロ固化 ⑤深層混合 ⑥盛土補強 ⑦セメントグラウト ⑧切土補強 ⑨ジオテキスタイルなど	①ソイルセメント壁 ②こま型基礎 ③軽量盛土 ④流動化処理 ⑤コンクリート廃材再利用 ⑥碎石粉再利用 ⑦廃油処理	①ソイルセメント壁 ②こま型基礎 ③軽量盛土 ④流動化処理 ⑤コンクリート廃材再利用 ⑥碎石粉再利用 ⑦廃油処理
<b>機能</b>	单機能 圧密脱水、締固め 注入、置換	複合機能 脱水+固化 混合+固化	複合機能 脱水+固化 混合+固化	多機能 混合固化+補強+排水 混合固化+補強+止水
<b>部位</b>	表層	深層	深層	大深度、水中
<b>開発場所</b>	輸入	国産	自然現象	輸出
<b>アイデア</b>	理論の拡張	古い技術からの情報	人工繊維、新素材	環境保全、共生
<b>材料</b>	天然材料、コンクリート→ 石灰、セメント、鉄、	ローカルマテリアル	人工繊維、新素材	廃材の利用、軽量化 複合材料

は、軟弱粘土地盤にセメントなどの硬化材を浸透させるのではなく混合して柱状体を形成するものである。そしてこれは、混合、固化、柱といった機能を同時にたせるものである。

さらに、1960年には、硬化材を高圧ゼットで噴射して混合するという工法、すなわちジェット・グラウト工法も現われたことは画期的なできごとであった。その1例を図-1に示す<sup>4)</sup>

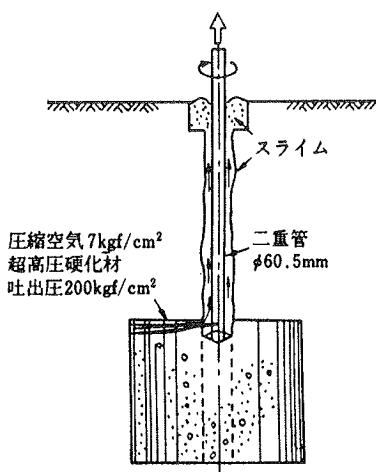


図-1 噴射注入工法

また、1970年代になると、多くの機能を1つの工法で発揮させようとする工法が多く現われている。いわゆる multi-functional methodである。たとえば、S MW (soil mixing wall)工法などはその例で硬化材の混合、補強、止水、壁などの機能を同時に発揮させ、それまでのコンクリート連続壁工法にとって代わる普及率を示している。

さらに、改良部位からみると、初期の表層改良から深層、さらに大深度へ、水中へとますます拡大する傾向にある。

一方、1950年代までの工法はほとんど輸入工法であった。これらの輸入工法は、わが国の地盤や土質に必ずしも合わない場合があることが明らかになり、1960年代からわが国独自の工法が多数開発され、1980年代には逆に輸出するほどに発展した。

地盤改良工法に用いる材料の観点からみると、1950年代とそれ以前に用いられていた、土砂、碎石、鉄、コンクリート、セメント、石灰、アスファルトに代わり1970年になると、高分子材料の急速な開発と普及により、新

たな様相を呈している。現在、地盤改良に使われている新しい材料を表-2に示した<sup>5)</sup>

これらのうち、シート状、ネット状、グリッド状に整形された高分子材料は、一般にジオテキスタイル(geo textile)と呼ばれ、1970年代から急速に土木工事に使用されている。原理的には、既述の補強にあるものであるが、新しい材料の開発によって蘇生した例の代表的なものである。そして、最近では、専門の国際会議も開催されるようになっている。

また、1970年代から、ソイルネイル (soil nail) 工法または、ルートパイル (root pile) 工法が現われている。これらに使う材料そのものは、鋼とコンクリートで別段新しくはないが、ゆるんで不安定な切土斜面に鋼材を挿入することで、地山を一体化し安定をはかる工法である。ちょうど木の根が発達して太い幹を支えるようにルートパイルは、地盤を木の根の如く補強することが目的であって、自然の仕組みにヒントを得たものと考えられる。

また、1980年の大きな特徴は、材料の軽量化の原理である。1970年代までの技術は、安くて安定な材料としての土が土構造物の材料の主役となっていた。そして地盤が軟弱な場合では、盛土の荷重を支えるために、大きな経費を用いて改良することが要求された。しかし、盛土材の単位体積重量を大幅に減らすことができれば、この問題は一きょに解決されることになる。そこで現われたのが、軽量化盛土という概念である。

その代表例が、発泡スチロールを用いる工法 (E P S 工法)(expanded poly -styro)である。その例を図-2に示した<sup>6)</sup>

この工法は、わが国のように用地が狭く、土地の利用価値の高い国ではとくに効果を発揮するが、将来、材料コストの低下とともに一般化する可能性をもっている。

さらに、軽量化の概念にさらに流動化の要素を加味した工法、すなわち、流動化処理土という工法が1980年代から現われている。これは、地下埋設管の埋戻しや既設構造物と地盤のすき間など、一般に締固めて充填することが困難な部位に対し、土に水、セメント、発泡材などを加えて流動状態にし、パイプで圧送するものである。発泡材を用いているので、密度は小さくかつ流動性に富み既述のE P S 材と同様の機能も発揮する。

1980年代になると、建設分野における関心も特定の発生源をもつ公害問題から、不特定で、地球規模の環境問題へと移行した。このような社会情勢の下、環境保全のための地盤改良工法の必要性もまた大きくクローズアップされている。

表-2 地盤改良と用いられる新しい材料<sup>5)</sup>

材 料	材 料 の 詳 細	用いる工法	
ジオテキスタイル	シート(織布、不織布) ネット ポリマーグリッド 繊維 マイクログリッド ジオセル 材質は、ポリエステル、ポリエチレン-プロピレン、アラミド、 ポリイソシアネート、ポリオレフィン、アミン-アルデヒド等	被覆工法 補強土工法 シート・ネット・グリッド工法	
プラスチック 高 分 子	軽量盛土用発泡体 ドレン材 凍上防止用  薬液注入材  ヘドロ・排土・残土処理用  被覆用	発泡スチロール(ESP) ポリ塩化ビニル(PVC) ポリエチレン-プロピレン等 ポリイソブチレン等  アクリルアミド系 尿素系 ウレタン系 フェノール樹脂系 ポリアクリル酸塩系 デンプン系 イソブチレン-マレイン酸 ポリエチレン材サイド系 カルボキシメチルセルロース系 アスファルト類等	軽量盛土工法 シート・ネット・グリッド工法 各種ドレン工法 凍上防止工法 地盤凍結工法 薬液注入工法  ヘドロ・残土・排土処理工法  被覆工法 アスファルト類等安定処理工法
水ガラス	懸濁型 { 水ガラス+セメント 水ガラス+スラグセメント アルカリ系 } 酸性反応剤.....多数 溶液型 { 金属塩反応剤.....塩化カルシウム等 アルカリ反応剤...アルミニウムソーダ 非アルカリ系 懸濁型.....シリカゾル+セメント(スラグ) (中性グラウト) { 水ガラス+酸性反応剤 溶液型 { シリカゾル+アルカリ(中和)反応剤	凍上防止工法 薬液注入工法	
植 物	草種として ヴィーピングラブグラス、ケンタッキー31フェスク、クリーピングレッドフェスク、オーチャードグラス、ケンタッキーブルーブラス、レッドトップ、イタリアンライグラス、ペレニアルライグラス、ホワイトクローバー、ノシバ、コウライシバ 野草種として ヨモギ、ススキ、フキ、カタクリ、ヤシャブシ、エニシダ、コクサギ等 木本として タニウツギ、ヤマハギ、ヤマヤナギ、メドハギ、イタチハギ、ヒノキ、コナラ、ケヤキ、モミ等	吹付け工法 被覆工法 斜面安定工法	
産業廃棄物	高炉水さい系 転炉水さい系 電炉水さい系 石炭灰(フライアッシュ)系 一般廃棄物焼却灰系 下水汚泥焼却灰系 製紙スラッジ焼却灰系 コンクリート微粉末 プラスチックくず	表層安定処理工法 深層混合処理工法 高圧噴射工法 軽量盛土工法	

用 途	模 式 図	特 長			工法のメリット
		軽量性	自立性	施工法	
軟弱地盤上の盛土		○		○	・沈下の軽減 ・地盤対策の低減 ・維持管理の低減
構造物の埋戻し		○	○		・上載荷重、土圧の軽減 ・構造物部材断面の低減 ・不同沈下の防止
橋台・擁壁の裏込め		○	○		・アバット背面側圧の軽減 ・側方流動圧の軽減 ・段差の防止
仮設道路		○		○	・施工性の向上(工期の短縮) ・地盤処理の低減 ・撤去、復旧の簡易化

図-2 EPS工法の適用分野<sup>6)</sup>

そこで、まず取り上げられたのが、廃材の再利用、資源化の問題である。コンクリート構造物のとり壊しで発生する廃コンクリートを粉碎して土と混合する方法、砕石生産の過程で発生する砕石粉の地盤改良材への再利用、廃油の防塵処理への再利用など種々の方法が開発されている。地盤改良は単に地盤を強化するのみならず、不都合な物質を無害あるいは有効な薬に変えることも仕事の一つとなっている。

また、一番深刻な問題は地盤の汚染の問題である。大気汚染と異なり、進行が緩まんで発見されにくいか、一度汚染されると回復が困難であることがその特徴である。

最近、汚染物質を地下処理することの研究が進められているが、何千年にも及ぶ長時間、洩れのないよう拘束しうる可能性を確認する手段は今のところ不明である。ただ1つ存在するとすれば、古い構造物を綿密に調査することである。それにより現象の長期にわたる挙動が明らかとなり、そこに解答があるものと考える。

そして、1950年代までの地盤改良工法の目的が地盤の強化に主眼がおかれており、それを達成するための原理は土質力学的理論に根拠を求めれば十分であったが、地球環境レベルの問題に対する地盤改良の指導原理は、さらに広範囲かつ長時間にわたる現象の知識、とくに生態系に対する情報が不可欠の要素となる。

#### 4. あとがき

地盤改良工法は、まさに学際的で異業種交流の必要な分野である。日本材料学会、土質安定材料委員会は1962年これらの特徴をもつ研究委員会とし、わが国で最初に設けられたものであり、過去、多くの成果を発表して来た。本論は、それらの一端を紹介し、ご関心の方々の参考にしたい。

#### 参 考 文 献

- 1) 日本材料学会土質安定材料委員会「第1回地盤改良シンポジウム」論文集, 1994.
- 2) 日本材料学会土質安定材料委員会「地盤改良工法便覧」, pp. 3~4, 1991.
- 3) 西田一彦「峯ヶ塚古墳の盛土構造と施工法の推定」土木史研究会論文集, pp. 284~288, 1993.
- 4) 日本ジェットグラウト協会「ジェットグラウト工法」カタログ。
- 5) 日本材料学会土質安定材料委員会「地盤改良工法便覧」, pp. 20~25, 1991.
- 6) 香川満、丸井英一「軽量盛土工法」「地盤改良工法便覧」pp. 223~233, 1991.

(関西大学工業技術研究所 技苑第 81 号, 1995.2

より転載)

# **沖縄土質工学研究発表会**

## 1 琉球石灰岩層の土質工学的地層区分について — 宮古・来間海峡における一例 —

(株) 中央建設コンサルタント 設計1部 多和田 伸  
○土質部 伊野波 盛義

## 1. はじめに

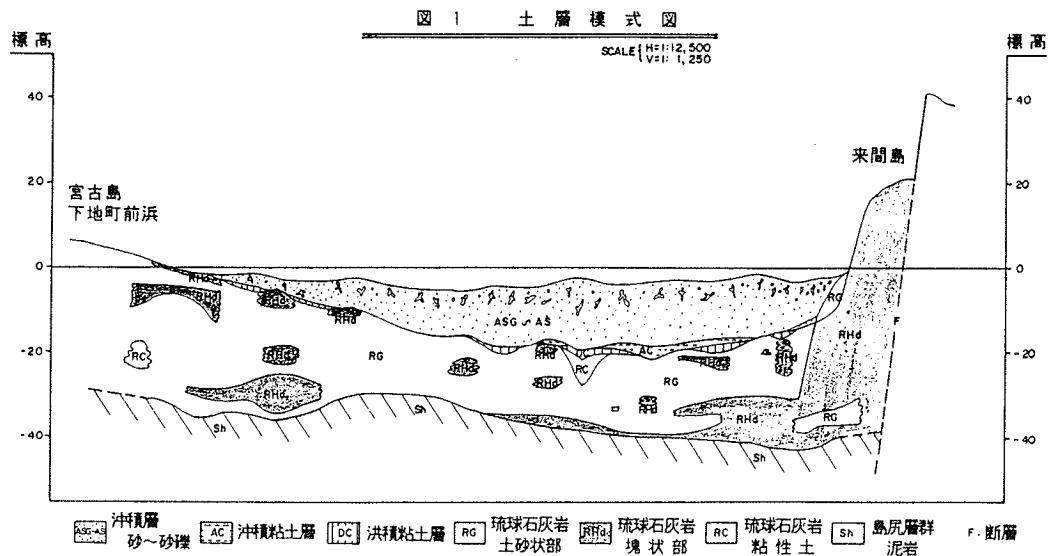
琉球列島の各島々には琉球石灰岩層が広く分布している。琉球石灰岩は今から数十万年前の“琉球サンゴ海”と呼ばれる浅海域に発達したサンゴ礁の堆積物が、その後の地殻変動・海水準変動によって陸地化してきた地層である。その為、琉球石灰岩を構成するものはサンゴ礁を形成する生物群の石灰質遺骸を主としており、その性状は岩塊状～礫状～砂状、ときには空洞(鍾乳洞)が存在したりと非常に不均一な層相を呈している。現在、琉球石灰岩層における強度特性調査として一般的に行われているのはほとんど標準貫入試験のみといっても過言ではない。その標準貫入試験の結果であるN値にしても、地盤性状の不均一さから所謂ノコギリ形状を示す、出入りの激しいものであるという特徴がよく知られているだけで工学的にはまだよく把握されていないのが現状である。そこで、宮古島と来間島の間の海峡部で地盤調査をする機会があったので、ボーリングコアーから塊状率を算出し、それによって琉球石灰岩層の地層区分を行うとともに、塊状率とN値の関係を調べてみた。また、塊状部については一軸圧縮試験も行った。以下にその結果を紹介する。

## 2. 塊狀率<sup>1)</sup> 2)

塊状率については、黒川が宮古島皆福地下ダムにおいて提案しているもので、ボーリングコアによる柱状コアおよび礫状コアの採取量を掘進延長で除した値を、深さ 1 m 毎に求めて柱状図を作成し断面図に示す方法である。今回は、オールコアではなく標準貫入試験も実施おり標貫部分のコア採取ができない事から掘進延長を 1 m にこだわらず例えば標貫の下位の 55cm 区間を取ったりした。今回は塊状率が 50% 程度を境として塊状部と土砂状部に区分した。今回の塊状率の求め方を次に示す。

塊状率：ある区間においてボーリング孔径と同等の径（ $\phi 50\text{mm}$ ）以上を有するコアーの合計長のある区間長に対する割合。

$$\text{塊状率} = \frac{\phi 50\text{mm} \text{以上のコアーの合計長}}{\text{ある区間長}} \times 100 \text{ (%)}$$



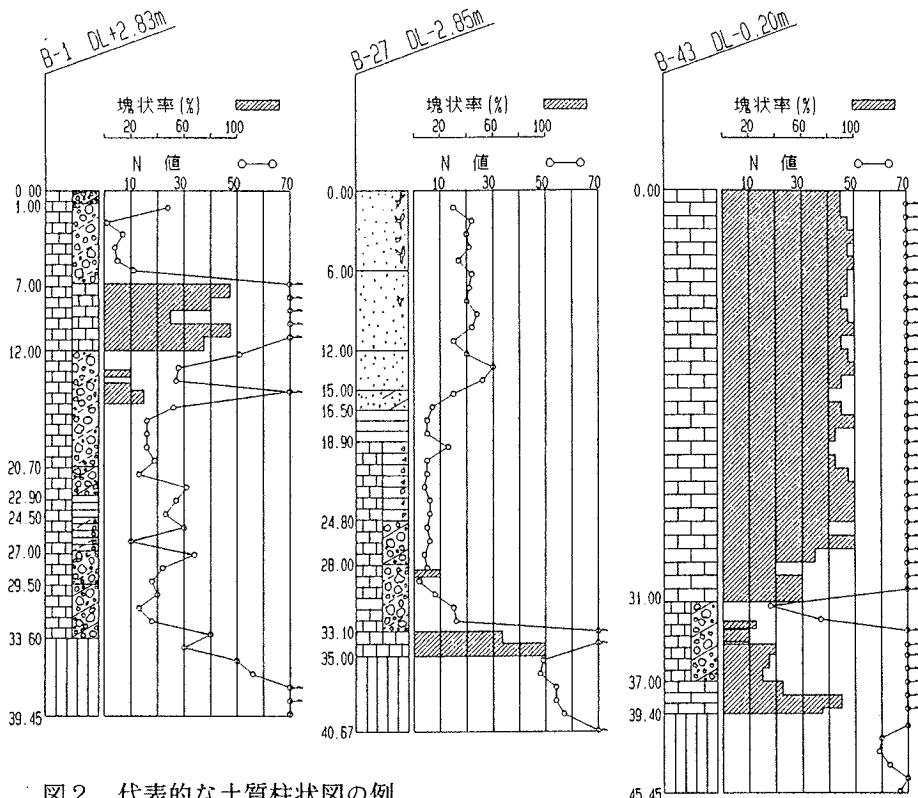


図2. 代表的な土質柱状図の例

### 3. 結果および考察

#### (1) 塊状率とN値について

ボーリングコアより求めた塊状率によって当地の琉球石灰岩層を区分したものを図1に示す。また、代表的な土質柱状図を図2に示す。当地の琉球石灰岩層の厚さは宮古島側で30m前後、来間島側で40m程であり、その間は20m前後となっていて全体としては凹レンズ状に分布している。来間島側ではほとんど塊状率の高い岩盤状を呈しているのに対し、宮古島から海峡部にかけては大部分が塊状率の低い土砂状部となっている。ただし、宮古島から海峡部にかけても所々に塊状部が断片的に見られ、それらは表層部分、中位層部分および下位の凹み部分と3つの層があるようにも見えないこともないが、いかにも連続性としては悪いようである。この事はN値においても同様の結果となっている。次に当地における塊状率とN値の頻度を図3に示す。当地においては塊状率の低い所は一般にN値も低く、塊状率が高いとN値はほとんど反発を示すようになる。また、図3からも分かるように、塊状率が0~10%程度だとN値にはそれほど急激な上がり下がりが見られないが、塊状率が20%程度になるとN値の出入りが激しくなるようであり、さらに塊状率が30%を越えるとN値は反発を示すようになる。この事は、琉球石灰岩層におけるN値の信頼度をチェックする手段として塊状率が用い得る事を示唆しているように思われる。すなわち、図2に示すように、塊状率が20%未満であるとN値の信頼性は高いと評価されるが、塊状率が30%を越えた場合はその部分が確実に岩盤状を呈していると確認できなければ（例えばB-1の14m地点）、N値としての信頼性が低いといえよう。

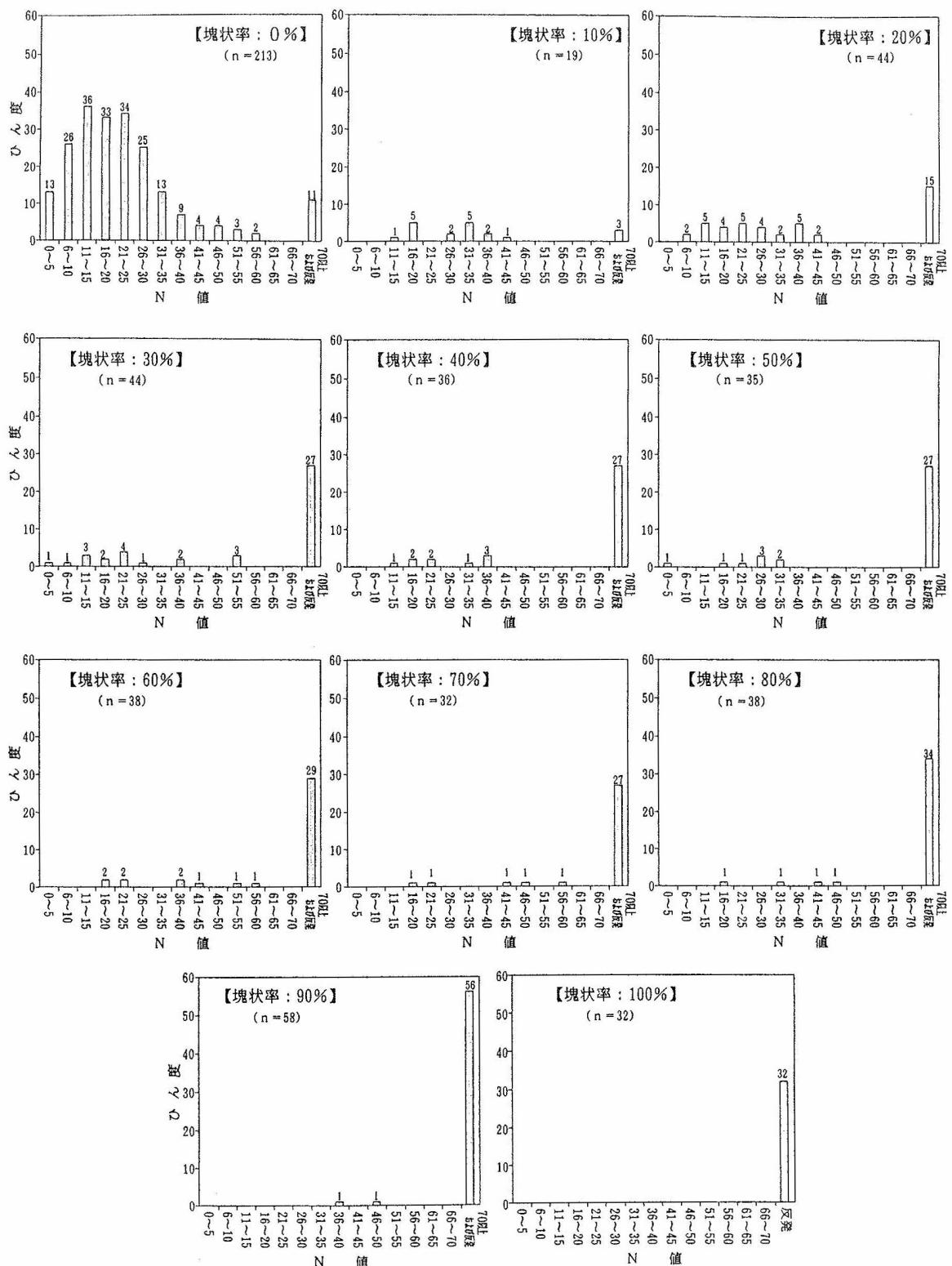


図3. 各塊状率毎のN値のひん度

## (2) 一軸圧縮試験結果

当地の塊状部の岩質は、来間島側では再結晶化が進んで、所謂トラバーチン状を呈しているが、宮古島から海峡部にかけてはさほど再結晶化が進んでおらず軟質であり、両者ではかなり異なっている。この事は一軸圧縮試験の結果からも示される。表1および図4に一軸圧縮試験の結果を示す。ここで、宮古島から海峡部にかけての岩質をAタイプ、来間島側の岩質をBタイプとする。試験の結果、来間島側のBタイプは宮古島側のAタイプに比べ単位体積重量、圧縮強度ともに高く、圧縮強度で約1.5倍、単位体積重量で7%増しとなっており

、来間島側では緻密硬質である事が分かる。ところで、図4からも分かるように、宮古島側と来間島側とでは岩質が異なりながらも、琉球石灰岩層においては圧縮強度と単位体積重量との間には相関関係が見られ、その関係は概ね、

$$\sigma = 1100 (\gamma - 2.1)$$

となっている。

表1. 一軸圧縮試験結果

岩タイプ	単位体積重量(g/cm <sup>3</sup> )		圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	
	範囲	平均値	範囲	平均値
Aタイプ (宮古島側)	1,993~ 2,410	2,267	87.99~ 439.10	221.93
Bタイプ (来間島側)	2,271~ 2,575	2,437	197.62~ 599.61	381.72

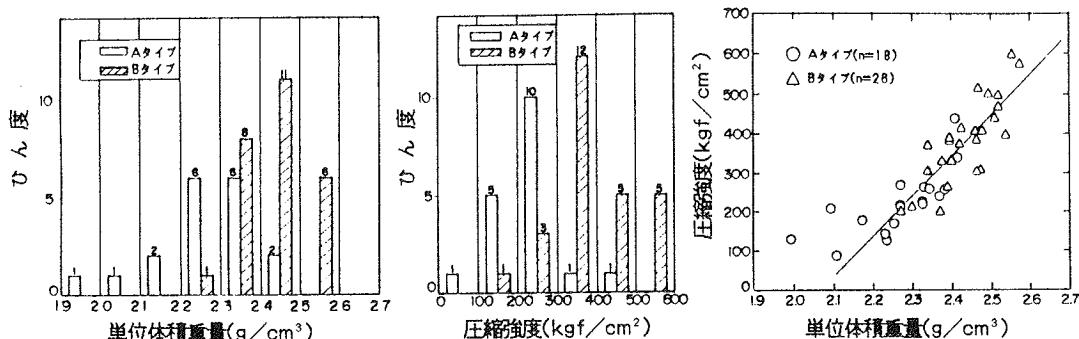


図4. 一軸圧縮強度試験結果図

## 4.まとめ

宮古島と来間島の間の海峡部における琉球石灰岩層について、ボーリングコアーから塊状率を求ることによって、琉球石灰岩層の地層区分を行ってみた。その結果、

- ①塊状率によって固結岩盤状部分と未固結土砂状部分との区別が容易である。さらに、固結岩盤状部分の連続性がある程度、想定できそうである。
  - ②元来、信頼性に乏しいといわれてきた琉球石灰岩層のN値のチェックについて塊状率は有効であると思われる。
  - ③宮古島側と来間島側とでは琉球石灰岩の岩質に違いが見られる。すなわち、塊状率、単位体積重量および圧縮強度ともに来間島側の方が宮古島側に比べ高くなっている、再結晶化・緻密硬質化が進んでいる。
  - ④単位堆積物重量が重いと圧縮強度は高くなる傾向にあり、両者には比較的よい相関が見られる。
- 今回は、宮古島と来間島の間の海峡部における一例を調べたが、今後は他地域においても塊状率とN値および圧縮強度と単位堆積物重量との関係について検証して行きたい。

## 引用文献

- 1) 黒川睦生：「琉球列島の地質学研究、第5巻」 PP63~67
- 2) 古川博恭：「九州・沖縄の特殊土」 PP185~198

## 2 有限要素法を用いた琉球石灰岩の支持力推定について

(財)沖縄県建設技術センター

宮里朝則

○ 松島 良成

謝花 勉

1. はじめに

通常、地盤の支持力を評価するための手段として、ボーリング調査とともに標準貫入試験が行われ、地盤の支持力は、これらの調査・試験結果を基に、支持力公式によって推定される。しかし、軟岩地盤の場合、○、△だけでなく、不連続面の有無、劣化（風化、変質）状況等も考慮しなければ、基礎の支持力を正しく評価することはできないのが現状である。

そこで、今回沖縄県に広く分布し、ばらつきの著しい琉球石灰岩に対して実施された平板載荷試験および弾・完全塑性を仮定した三次元有限要素法（以下 FEM<sup>1)</sup>）による解析結果を基に、その適用性について検討した。

2. 平板載荷試験結果

今回報告する平板載荷試験は、昭和63年に池間大橋P3およびP5橋脚箇所で実施された4箇所の試験結果<sup>2)</sup>である。（以下A,B,C,Dと区分する。）  
1) 平板載荷試験方法は土質工学会基準「地盤の平板載荷試験方法・同解説」<sup>3)</sup>（JSF規格：T25-81）に準じて実施した。

2) 試験箇所地盤の状況については、載荷盤中心から約50cm附近におけるN値を10cmごとに分割した値のヒストグラムを図-1に示す。ここで、載荷試験箇所の地盤状況を把握するために平均N値とN<sub>(10)</sub>値を参考にする。ここで、N<sub>(10)</sub>値とは、図-1に示したグラフより80%以上の値に3を乗ずることにより得られる値とする。

各載荷箇所の地盤状況を表-1に示す。

3. FEM解析

土の破壊基準には、以下に示す Mohr-Coulomb式を用いた。

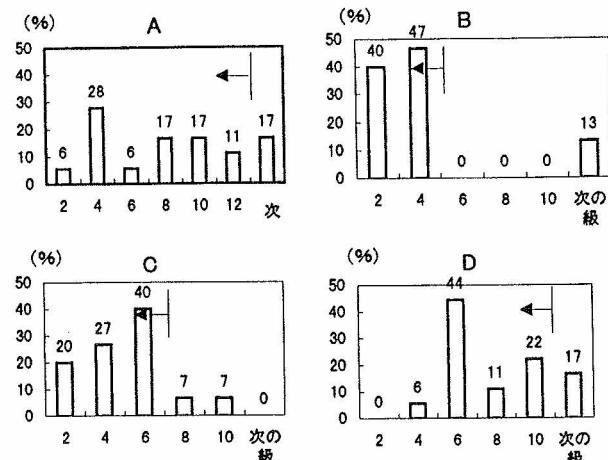


図-1 載荷試験箇所のN値のヒストグラム

表-1 試験箇所のN値の分布

NO	A	B	C	D
1	29	7	8	18
2	8	5	20	24
3	12	10	8	25
4	34	9	17	14
5	21	33	16	42
6	58			28
平均N値	27	13	14	25
N <sub>(10)</sub> 値	36	12	18	30

$$f(I_1, J_2, J_3) = \frac{1}{2} [ 3(1 - \sin \phi) \sin \theta + \sqrt{3} (3 +$$

$$\sin \phi) \cos \theta ] \sqrt{J_2} - I_1 \sin \phi - 3c \cos \phi = 0$$

ここで、

$$\theta = \frac{1}{3} \cos^{-1} (-3 \sqrt{3} / 2 \cdot J_3 / J_2^{3/2})$$

$$(0 < \theta < \pi/3)$$

$c$  と  $\phi$  は、土の粘着力と摩擦角。 $I_1, J_2, J_3$  は、応力の不偏量であり次のように表示される。

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = 3\sigma_m$$

$$J_2 = [(\sigma_x - \sigma_m)^2 + (\sigma_y - \sigma_m)^2 + (\sigma_z - \sigma_m)^2 + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2]$$

$$J_3 = I_1 - \frac{1}{3} I_1 I_2 + \frac{1}{27} I_1^3$$

$$I_1 = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2$$

$$I_2 = \sigma_x \sigma_y \sigma_z + 2 \tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx}$$

$$- \sigma_x \tau_{yz}^2 - \sigma_y \tau_{zx}^2 - \sigma_z \tau_{xy}^2$$

土の塑性ポテンシャルとして次の Drucker-Prager 式を用いた。

$$\Phi(I_1, J_2) = \sqrt{J_2} - \alpha I_1 \quad (\alpha > 0)$$

ここで、

$$\alpha = \tan \psi / \sqrt{9 + 12 \tan^2 \psi}$$

$\psi$  は平面ひずみ状態における土のダイレイタンシー角である。

今回の解析で用いた土質定数を表-2に示した。

ここで、 $\phi$  と  $C$  は、原位置から採取した乱した試料に対し三軸圧縮試験を実施した値とした。

ヤング率は、平板載荷試験における初期荷重に対する変形係数から計算した。

その他の定数は、粒状材に対して一般的に用いられている値を採用した。

表-2 解析に用いた土質定数

ヤング率 E	100000 (kN/m <sup>2</sup> )
ボアソン比 v	0.3
ダイレイタンシー角 $\psi$	10°
摩擦角 $\phi$	39°
粘着力 C	20 (kN/m <sup>2</sup> )
静止土圧係数 K <sub>0</sub>	0.5
土の単位体積重量 $\gamma_t$	19.6 (kN/m <sup>3</sup> )

### 3. 結果および考察

平板載荷試験結果と FEM 解析結果を図-3 に示す。FEM 解析結果は、全載荷試験結果の平均的な値となった。

ここで地盤の性状について、ばらつきの範囲の小さい B および C と FEM 解析結果とを比較検討してみる。

三軸圧縮試験用に採取した試料は、P3, P5 付近の平均的な粒度であり、図-1 の分布図を考慮すると、B 地点の地盤の性状を、その平均的な地盤定数で解析することには問題があると考えられる。

また、対象地盤の N 値が 20 ~ 30 程度であり、ある程度均一な層であれば、FEM 解析により琉球石灰岩の支持力を推定することは、可能であると考えられる。

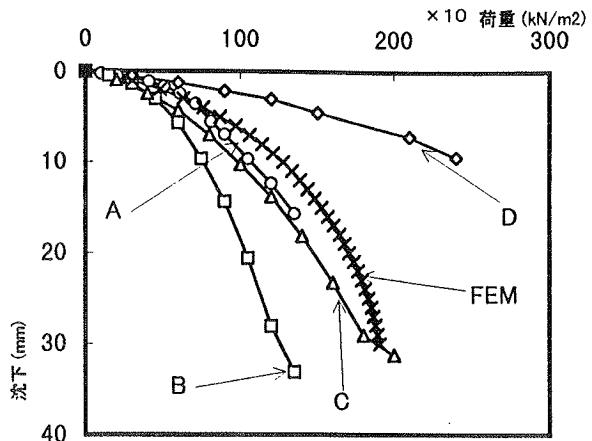


図-3 平板載荷試験および FEM 解析結果

### 4. おわりに

N 値が 10 程度の地盤については、その対象地盤における粒度でせん断試験を実施し、その結果を考慮した FEM 解析を検討していく必要がある。

また、平板載荷試験は、実構造物に比べて狭い範囲の地盤の挙動を対象としており、実際の構造物における支持力を推定するには、地盤のばらつきをどのように考慮するかが、大きな課題となる。

今後は、支持力推定の対象地盤において、N 値の分布と層厚さを考慮し、実際の構造物に対して、琉球石灰岩の支持力の推定方法を検討していく必要がある。

#### <参考文献>

- 1) 田中忠次, 他: 地盤の三次元弾塑性有限要素解析・丸善株式会社, 1996, 3
- 2) 沖縄県土木建築部宮古土木事務所: 昭和 62 年度池間大橋橋梁整備第 3 期工事その 2, その 3 載荷試験報告書
- 1) 地盤工学会: (1983) 地盤の平板載荷試験方法・同解説

### 3 琉球石灰岩層を有する地盤のモデル化 (N値の統計的処理)

琉球大学工学部 ○加納 静

琉球大学工学部 上原 方成

琉球大学工学部 原 久夫

(財)沖縄県建設技術センター 松島 良成

#### 1. はじめに

琉球石灰岩は、琉球列島にひろく分布(図-1, 2 参照)している琉球層群に含まれ、琉球列島独特の代表的な岩層である。この琉球層群には、N値=30 前後のもの、N値 $\geq 50$ を示すような固結状のものと、N値 $\leq 10$ を示すような砂状または、砂礫状のものがある。これらが複雑に堆積しているため、琉球石灰岩は、構造物を支持する基礎地盤としての信頼性が低い。そのため、上載荷重の大きい重要構造物の設計においては、琉球石灰岩層の下位にある島尻泥岩層を支持層とすることが多い。近年、経済的な問題もあり、その設計のあり方が見直されるようになってきている。本研究の目的は、琉球石灰岩層の支持層としての可能性を検証するところにあり、ここでは、その方法について報告する。

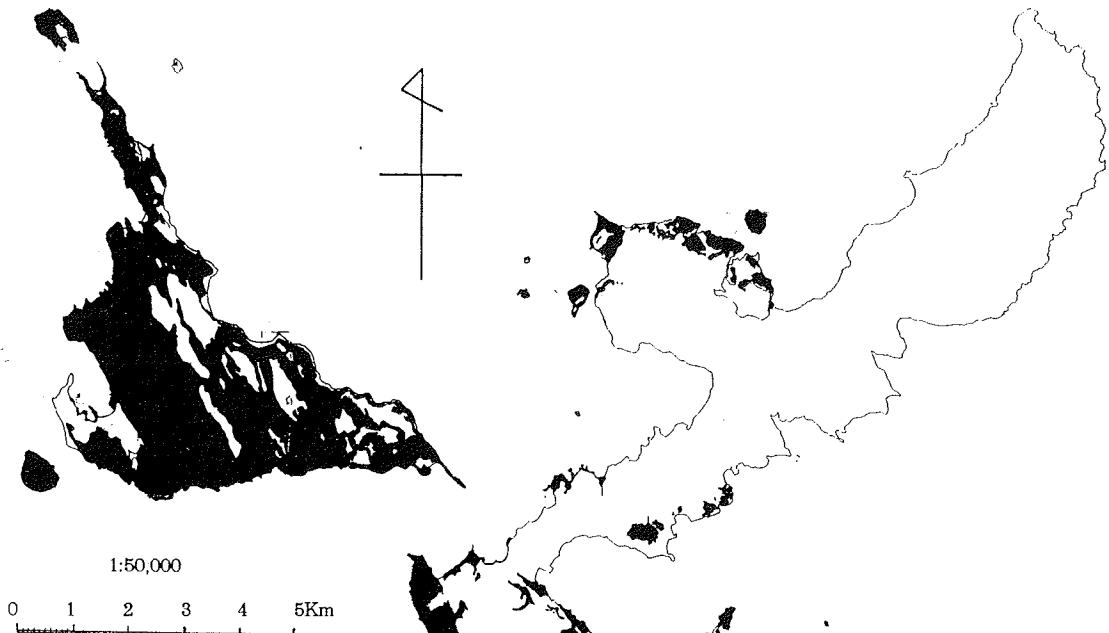


図-1 沖縄県 宮古島の琉球石灰岩分布



図-2 沖縄県 本島の琉球石灰岩分布

## 2. N 値の統計的処理方法の概要

地盤の支持力を客観的に評価する手法として、その地盤データ(N 値)を、統計的に処理することは、有効な手法のひとつである。琉球石灰岩の場合には、N 値を統計処理しても、そのバラツキの多さが原因となって、支持層としては敬遠されがちであった。従来の統計処理(平均、分散)に、自己相関係数  $\gamma(\tau)$  というパラメーターを新たに加えることで、N 値分布をより詳しく知ることができるようになり、支持力計算が行いやすくなった。その自己相関係数について、以下に説明する。

### 2.1 自己相関係数

琉球石灰岩のN 値分布の特性は、統計量として基本的なパラメーターである平均、分散だけでは、わかりにくい。地盤の堆積状況に関しては、この二つのパラメーターのみからの判断は困難であった。しかし、自己相関係数を、平均、分散に加え統計処理を行なえば、N 値の分布状況を、より詳しく知ることができる。それぞれの一般式は以下のようである。

$$\text{平均} : \mu = \frac{1}{V} \int_V u \cdot dV \cdots (1) \quad V : \text{空間領域}$$

$$\text{分散} : \sigma^2 = \frac{1}{V} \int_V (u - \mu)^2 \cdot dV \cdots (2) \quad u : \text{土質諸係数}$$

$$\text{自己相関係数} : \gamma(\tau) = \frac{1}{V} \int_V \frac{\{u(z) - \mu\}\{u(z + \tau) - \mu\}}{\sigma^2} dV \cdots (3) \quad \tau : \text{位置 } Z \text{ から } (Z + \tau) \text{ までの距離}$$

$u$  は土質諸係数で、すなわち設計諸係数(強度・変形係数等)を示す。ここでは N 値を選択した。自己相関係数  $\gamma(\tau)$  は、任意の位置方向について求めることができる。しかし、本研究では、まず第一段階として鉛直方向に着目して、N 値の自己相関係数  $\gamma(\tau)$  を求めた。ここでもとめた自己相関係数  $\gamma(\tau)$  を、回帰曲線で表したのが(4)式で、 $l$  は相関距離と呼ばれている。

$$r(\tau) = \exp\left(-\frac{\tau}{l}\right) \cdots (4)$$

ここで、自己相関係数  $\gamma(\tau)$  について、考察する。

(3)式からわかるように自己相関係数  $\gamma(\tau)$  は、 $\tau$  のとり方によって値が変化する。例えば、 $\tau=0$  では、 $\gamma(\tau)=1$  となり、 $\tau$  が大きくなるにつれ、徐々に相関性はうすれていく。粘性土の非排水強度を例にとり、自己相関係数  $\gamma(\tau)$  と  $\tau$  について調べたところ、(4)式に示されるような関係が得られている<sup>1)</sup>。

### 2.2 相関距離

ここで、相関距離の物理的意味について説明する。

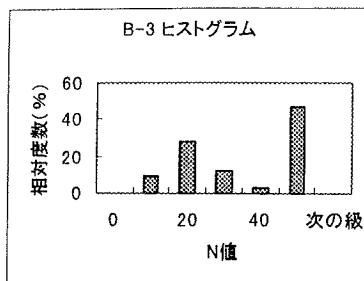
図-3 に、来間大橋の地盤データ(a)B-3,(b)B-10 を示した。(a)と(b)は、ヒストグラムからもわかるように、N 値が 20 前後の弱い部分と、50 以上の強固な部分からなっている。しかし、同じようなヒストグラム形態をしていても図-4 のように、N 値の分布が異なっている。つまり、地盤の N 値分布の特性は、平均や分散だけでは表現し難いのがわかる。地盤を支持層としたいときには、どの程度の強度の地盤が、どの程度連続しているか、知る必要があり、それを知る方法として、相関距離がある。

相関距離については、3.適用例でも説明することとする。

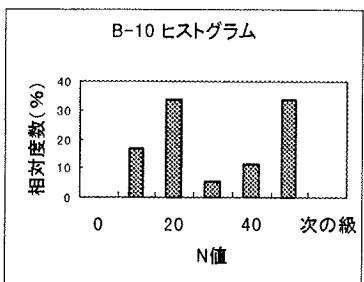
参考までに表-1 へ、B-3,B-10 の平均、標準偏差、相関距離と決定係数を示した。

表-1 B-3, B-10 の N 値の平均、標準偏差、相関距離と決定係数

	平均	標準偏差	相関距離(m)	決定係数
B-3	32.4	17.7	0.693	0.98
B-10	31.3	17.9	6.02	0.429

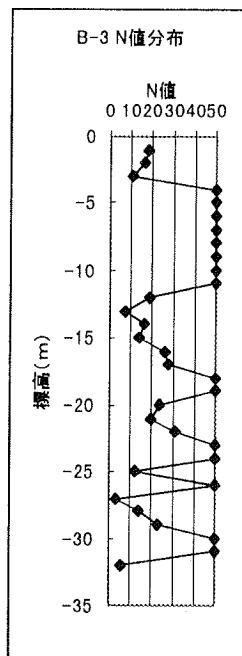


(a) B-3 N値ヒストグラム

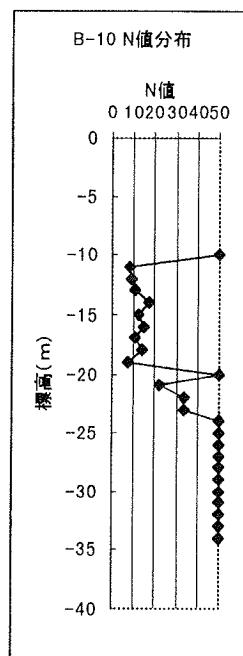


(b) B-10 N値ヒストグラム

図-3 N値分布ヒストグラム



(a) B-3



(b) B-10

図-4 地盤の深さに伴ったN値分布

### 3. 適用例

2.の方法を用い、来間大橋のボーリングデータで、統計処理を行ってみた。

来間大橋は、昭和63年度に着工され、平成6年度に完成した、県営一般農道の一部である。架橋地周辺の地質は、基盤である第三紀中新世～第四紀新世にかけて堆積した島尻層群(砂岩、泥岩)とそれを不整合に覆う琉球石灰岩、および砂礫層からなっている。

ボーリングデータの統計処理の結果である、自己相関係数 $\gamma(\tau)$ と $\tau$ 、ヒストグラムの代表的な例を、図-6に示した。図中のプロット点は、自己相関係数 $\gamma(\tau)$ と $\tau$ の関係を示したもので、曲線はそれを、回帰曲線(4)式であらわしたものである。 $\tau$ の計算を、5mでとめているのは、地盤設計を行ううえで、5mが目安となっているからである。図-6(a)は、相関距離が長い値を示している例( $l=5.36$ )で、(b)は、ある程度のまとまりはあるが、相関距離が短い例( $l=2.25$ )である。(c)は、琉球石灰岩でもほとんどのN値が50前後で、固結している部分の例である。このように琉球石灰岩には、支持層としてみなせそうな部分もあれば、使えない部分、固結していて十分に支持層として採用できる地盤とにわかれている。図-6(a)のような部分を選択し、その強度に相当した基礎の設計を行えば、今まで支持層とすることのできなかった部分を、利用できる可能性がでてくる。

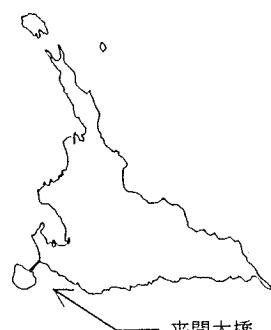


図-5 来間大橋 位置図

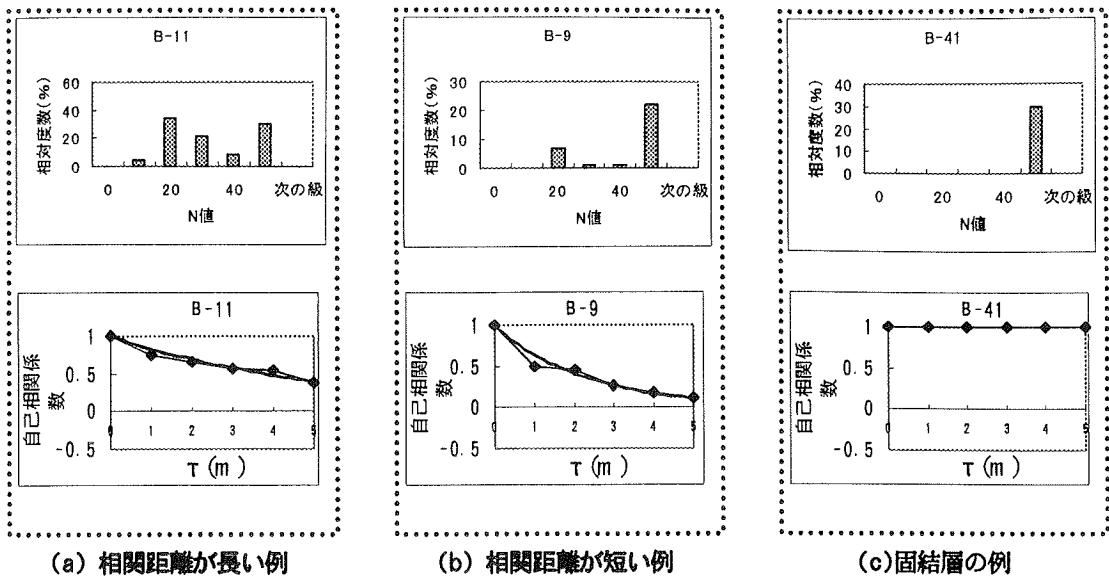


図-6 N 値の代表的なヒストグラム、自己相関係数  $\gamma(\tau)$  と  $\tau$

#### 4.まとめ

実際に、この方法を用いて統計処理したデータや分析は、まだ不十分であり、今後も研究を進めていく次第である。

今回の報告では、実際の設計に反映できる所にまで、至らなかったが、この設計法が、確立されると、琉球石灰岩等、今まで支持層とされなかった地盤に対する考えに、大きな進展が期待できるものと思われる。その合理性、経済性についても、大きな研究テーマであると考えられるので、今後も研究を進めていきたい。

#### 5. 参考文献

- 1)Matsu,M..and Asaoka, A.:Probability Models of Undrained Strength of Marine Clay Layer, Soils and Foundations, Vol.17, No.3, pp .53~18, 1977.
- 2)土質基礎の信頼性設計編集委員会：土質基礎の信頼性設計、土質工学会、1985.8
- 3)山内 豊聰：九州・沖縄の特殊土、1983.7
- 4)比嘉 健三：琉球石灰岩の支持力に関する基礎的研究、昭和 63 年度 卒業研究
- 5)宮城 調勝、新城 俊也、池間 好一、福島 英次：来間大橋の基礎地盤と下部工の施工、農業土木学会誌 第 62 卷 第 3 号 pp.191-196, 1994

#### 4 地域資源としての湧水の評価と利用

琉球大学農学部

宣保清一

琉球大学大学院

芦谷奈美

○平良真紀子

アシ・アソ・ランニング(株)

藤田智康

##### 1.はじめに

近年、アメニティ志向の高まりに伴い緑豊かな農村地域に人々の関心が集まっている。農村の環境の一つに水辺空間があり、河川や用水などは人間が自然に働きかけたかなり早い時期から資源として存在していた「顕在的地域資源」である<sup>1)</sup>。農村の環境と整備のあり方が問題となっている現在、農村における水辺整備には生産施設としての機能に加え、農村空間の特性が十分に發揮されるような取り組みが必要とされる。農村の水辺空間については用水路の親水性に関する研究<sup>2,3)</sup>ため池を居住環境資源として取り上げたもの<sup>4,5)</sup>がある。沖縄に関しては、離島の住宅の水利用環境の実状など<sup>6)</sup>、畠地灌漑に向けての小規模な水利開発<sup>7)</sup>などの水利用に関する研究はあるが水辺空間を地域資源として取り上げた研究は皆無である。

沖縄の農村における水辺空間としては、河川や湖沼、湿原、ダム、ため池、井泉(湧水・井戸)、などがあり、他府県で見られる水田用水路はほとんど無い。昔から人々の生活と深く関わってきた井泉は、水道の普及などによりその存在価値が失われつつあり、村落共同体の拠所として保存されているものが多い。近年の生活水準の向上や経済発展に伴い、水需要の増大が見込まれるため、今後水資源の利活用を図る必要がある<sup>8)</sup>。今後の井泉の利活用は、生産施設としての利水機能と治水機能を維持しつつ親水機能を高めることであるので、水辺空間整備の展開方向の検討が一層望まれる。本報告は、井泉のうち湧水の実態と特性および地域資源としての地域住民との関わりを明確にするために、湧水および周辺環境を調査し、それらの類型化を試みたものである。

##### 2. 調査方法

沖縄本島南部では、琉球石灰岩が泥岩に上載しているために湧水が多く見られる。調査対象の湧水は、農業生産に利用されていること、住民の生活と密接に関係していること、比較的水量が多いこと、周辺の土地利用が特徴的であること、などの条件を基に、糸満市の与座(ヨザ)ガード、ユビガード、嘉手志川(カデシガード)、塩川(スーガード)東、塩川(スーガード)西、具志頭村の世持井(アハガード)、豊見城村の轟川泉(トウドゥルチガード)、西原樋川(ニーバルヒージャー)、玉城村の垣花樋川(カキノハナヒージャー)、仲村渠樋川(ナカンダカリヒージャー)、大川(ウフガード)、受水・走水(ウキンジュハイインジュ)、暗川(クラガード)、仁川(ジンガード)、知念村の知念大川(チネンウッカー)、カシチャ大川、大里村のチチンガードの17ヶ所を選定した(図-1)。

湧水利用の担当部局にヒアリングし、同時に現地の実態を調査した。湧水の特徴を定量的に把握するため、湧水から直径500mの範囲について、1/5,000の地形図で識別可能な農地・樹林地・荒地・宅地(公共地なども含む)・公園(レクリエーション施設も含む)・河川・道路を5mmの点格子をあて、円状に占めるドット割合を求めた。なお、範囲を広く取りすぎると地域環境全般になると考え、湧水を中心に500mに限定した。

### 3. 結果と考察

#### 3. 1 調査地域の概要

沖縄では、気候的・地理的に河川からの定常的な生活用水の確保が困難であったために昔から天水池・湧水池の存在が村落の形成・成立を左右してきた石灰岩台地である沖縄本島南部地域では古くから湧水を利用して生活が営まれてきた。地下水は島尻層群の上位の琉球石灰岩層中に貯留されていて両層の不整合面に沿って流動しているこの地域の地下水盆は5地下水盆群に分けられる<sup>9)</sup>。これらの地下水盆を源とする主な湧水として、市町村別に豊見城村7ヶ所、糸満市48ヶ所、具志頭村9ヶ所、玉城村36ヶ所、知念村25ヶ所、佐敷町9ヶ所、東風平町2ヶ所、大里村16ヶ所の計151ヶ所がある<sup>8,10,11)</sup>。

井泉の種類には、湧水池を取水に便利なように石灰岩の石積みやコンクリートなどによつて囲った湧泉、湧水をかけ樋で引いて水だめと組み合わせた樋川(ヒージャー)・樋川井(ヒージャーガー)、湧水面まで石段を掘り下げる降り井(ウリカー)、立穴式の井戸(カ一)の4つがある。これらの井泉はその発生や村落生活との関わりの程度などにより様々な名称で呼ばれている。湧泉、樋川、降り井は村落共同利用のものが殆どであるに対して、立穴式の井戸は近年に造られたもので個人所有のものが多い<sup>12,13)</sup>。

#### 3. 2 湧水の類型化

表-1は調査した湧水の特性および現況などをまとめたものである。湧水の特性、周辺の環境および土地利用状況を基にして湧水を類型化し、大きく自然型、集落型、農地型、公園型の4つに分けた(図-2)。以下に、類型別の代表例について説明する。

表-1 調査対象湧水の現況

市町村名	湧水名	地区名	湧出量 (ℓ/s)	硬度 (mg/ℓ)	地区別(H.9.7)		立地条件		利用現況				湧水の形態	余水利用可能性	備考
					人口 (人)	世帯数 (戸)	集落	農地	飲用	雜用	農業用	商工業用			
豊見城村	西原樋川	豊見城	0.1未満	-	2,793	998	-	-	-	-	-	-	湧泉・石造	-	城跡公園内
〃	轟川泉	高嶺・平良	1.0以上	-	1,183	368	◎	○	-	-	-	-	湧泉・石造	-	公園に整備
糸満市	嘉手志川	大里	55.40	245	1,955	528	◎	○	◎	○	◎	○	湧泉・石造・コンクリート	高い	
〃	ユビガ一	〃	8.1	360	〃	〃	◎	○	-	-	○	-	湧泉・石造・コンクリート	高い	
〃	与座ガ一	与座	54.1	520	869	301	○	○	-	○	○	○	湧泉・石造	高い	
〃	塩川東	米須	3	360	655	191	-	○	-	-	-	-	-	高い	海岸に湧出
〃	塩川西	〃	105.2	250	〃	〃	-	○	-	-	-	-	-	高い	海岸に湧出
具志頭村	世持井	与座	1.0以上	-	160	51	○	○	-	-	○	-	湧泉・石造・コンクリート	高い	
玉城村	大川	親慶原	0.1~1.0	-	1,376	380	◎	○	-	-	-	-	湧泉・石造	-	H.5に改築
〃	暗川	喜良原	-	-	401	187	○	○	-	-	○	-	降り井・-	数軒	
〃	垣花樋川	垣花	11.5	235	466	134	○	○	○	○	○	-	樋川・石造	高い	全国名水百選
〃	仲村渠樋川	仲村渠	0.1~1.0	-	264	78	◎	○	-	-	○	-	樋川・石造	数軒	国指定文化財
〃	受水・走水	百名	0.1~1.0	-	860	244	-	○	-	-	○	-	-	低い	村指定文化財
〃	仁川	志堅原	0.1~1.0	-	438	118	○	○	-	-	○	-	湧泉・石造・コンクリート	数軒	
知念村	知念大川	知念	0.1~1.0	-	682	192	○	○	-	-	○	-	湧泉・コンクリート	低い	
〃	カンチャ大川	志喜屋	0.1~1.0	-	924	248	○	○	-	-	○	-	湧泉・石造	数軒	村指定文化財
大里村	チチンガー	西原	-	-	148	47	○	○	-	-	○	-	降り井・石造	数軒	村指定文化財

\*湧出量・硬度は既存資料<sup>8)</sup>による(H.5.1調べ)。具体的な数値がないものは、おおよかな数で示す。また◎は主とするもの。

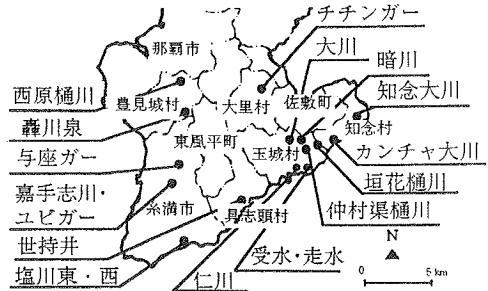
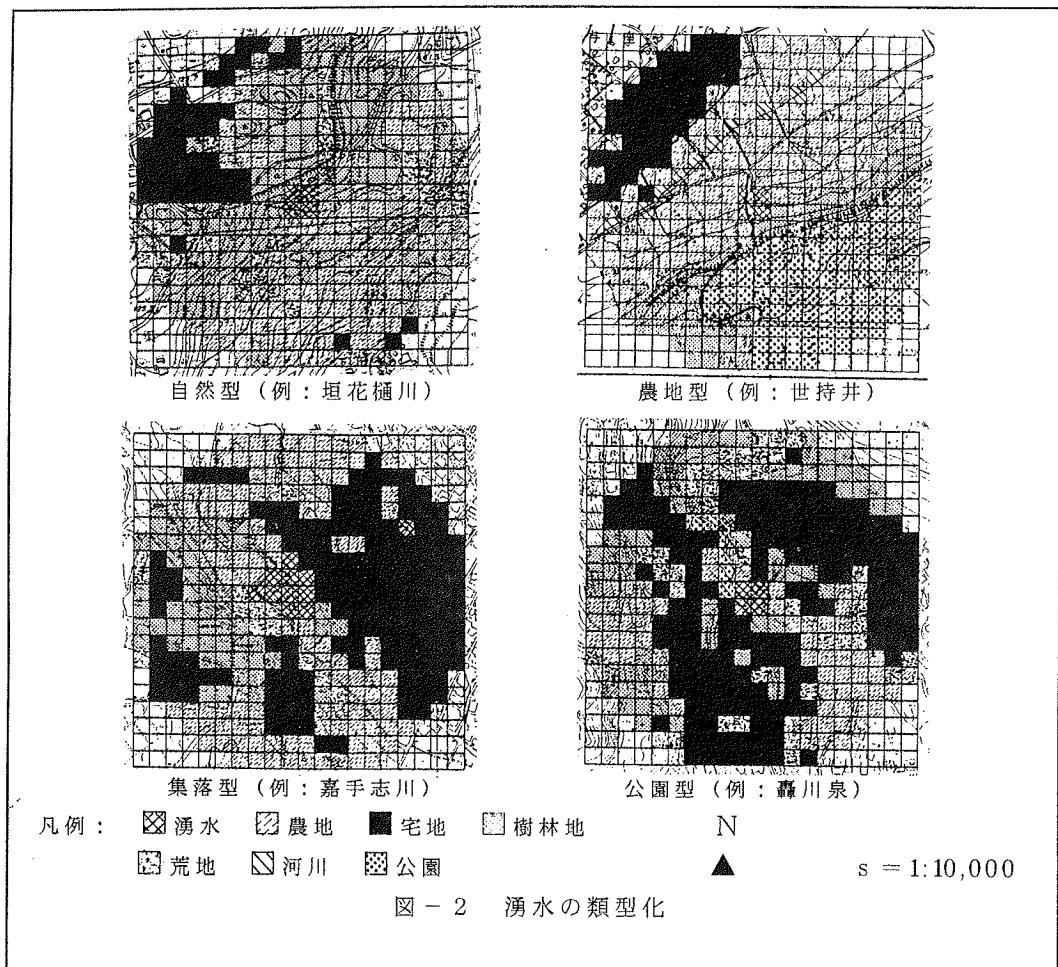


図-1 調査した湧水



自然型として、塩川西・東、垣花樋川、受水・走水、暗川、知念大川があげられる。垣花樋川は、玉城村垣花地区の南側丘陵の崖下にあって、長い石畳の道を降りていくと、鬱蒼と茂った林の中腹から泉水がわき出ている。右方の湧水を男(イキガ)川、左方の湧水を女(イナグ)川、下方の浅い池を馬浴(ウマアミシー)川と呼ぶ。ここは眺望がすばらしく、太平洋が眼前に広がる。樋川の下流域から平野部にかけてはかって稻作が盛んで、水田を水がうるおしていた。現在、クレソン栽培に利用され、女川の名水は垣花地区の各家庭に送水されている。樋川は初ウビーなどの挙所になっている。

集落型としては、嘉手志川、ユビガ一、仲村渠樋川、仁川、大川があげられる。嘉手志川は、糸満市大里地区内に位置し、村落の形成・成立と深く関わっている。以前は主に飲料と水田かんがいに利用されていたが、現在は主に畑地かんがいに利用され、余水が多いので、家庭の雑用水として利用が可能である。また、この地区は住宅開発により人口が微増傾向にあることから、市では嘉手志川一帯を親水公園として整備したい意向である。

農地型としては、与座ガ一、カンチャ大川、世持井があげられる。世持井は、与座地区の南側の農地内にあり、男女の水浴場、食料水汲場、洗濯場、馬を浴びす場と区分されている。湧水は周辺の村落で農業用水として良く利用されている。特に安里地区では共同のポンプ施設を備えて取水・配水している。余水は十分にあるが、湧水の所属が不明確であるため、一地区だけの集中的利用は難しいようである。

公園型としては、轟川泉、西原樋川、チチンガーがあげられる。轟川泉は、豊見城村の豊見城団地入り口近くにあり、長い間利用されていなかった。平成8年に親水の「せせらぎ公園」として整備されており湧水からの通水路が住宅や畑の間を抜ける延長570mの散歩道と並行して設置され、ホタルをイメージして光ファイバーライトを埋め込んだ「竹林」や「ジャンピング噴水」などのハイテクの遊具施設もある。

#### 4.まとめ

沖縄本島南部地域でみられる湧水を地域資源として利活用するために、その特性と周辺環境を基に類型化を試みた。①自然型の湧水の特性は、湧水の形態がほぼ自然に近い状態にあることや、湧水周辺の自然環境が豊かである。湧水の利活用においては自然環境を保全すべきである。②集落型の特性は、村落と密接に関わっており、管理が行き届いている。地域住民が利用しやすい位置にあるため親水性を重視した整備が必要であり、水量が豊富であれば農業用水としての利用も考える。③農地型の特性は、農地内にあって湧水の周辺に小規模ながら自然が残されている。農業用水としても十分利用されている。整備の際は湧水周囲の自然環境を保全し、農業と水との関わりを知る文化的な利用を考える。④公園型特性は、湧水を利用した公園として整備され、都市近郊農村などの住宅が多い所では手軽に水と触れ合える場所になっている。城跡公園などの中にある湧水はその文化的価値を伝える意味でも利用価値が高い。

#### 参考文献

- 1) 永田恵十郎：食料・農業問題全集・地域資源の国民的利用、社団法人 農山漁村文化協会、p.80-89 (1988)
- 2) 渡邊和子・麻生恵：農業用水路の親水性回復にむけての住民意識調査－見沼代用水を事例として－、東京農業大学農学集報、Vol.35、No.4、pp.263-281 (1991.3)
- 3) 千賀祐太朗・和氣芳道：農業水利利用施設の親水利用と維持管理について、農村計画学会誌、Vol.5、No.3、pp.58-68(1986)
- 4) 浦山益朗・秋田道康・城本章広：居住環境資源としてみた溜池の利用効果と存在効果に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、No.486、pp.129-137 (1996)
- 5) 山本聰・安部大就・増田昇・下村奉彦・岡本隆史：近隣居住者から見た「ため池」が保有する環境保全機能に関する研究、ランドスケープ研究、Vol.58、No.5、pp.257-260 (1995)
- 6) 村川三郎・森田大・三輪信哉・越川康夫：沖縄離島における住宅の水利用環境に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、No.368、pp.52-61(1986)
- 7) 吉永安俊：沖縄水利の実態分析と畑地灌漑に向けての小規模水利開発に関する研究、琉球大学農学部学術報告、No.37 (1990)
- 8) 沖縄県企画開発部振興開発室・(株)アイ・エヌ・エー：遊休水源利活用可能性調査(中南部地域湧水等)報告書(1993)
- 9) 古川博恭：九州・沖縄の地下水、p.274-284 (財)九州大学出版会 (1981)
- 10) 南部振興会・総合土木コンサルタンツ：沖縄県南部水源調査報告書(1969)
- 11) 沖縄県企画開発部土地利用対策課：沖縄県主要水系調査書(沖縄本島中南部地域) (1988)
- 12) 沖縄県教育委員会：沖縄県文化剤調査報告書第104集 沖縄県の信仰に関する建造物 近世社寺建築緊急調査報告書 (1991)
- 13) 福島俊介：沖縄の石造文化、(有)沖縄出版、p.147-148(1987)

## 5 チイビシ砂中における杭の貫入による粒子破碎

徳山工業高等専門学校 正員○桑嶋啓治 藤原東雄 上 俊二  
山口大学 正員 兵動正幸

**1. まえがき** 現在、大型構造物の基礎には、杭基礎がよく用いられており、基礎の設計には標準貫入試験より得られた  $N$  値が多く用いられている。しかしながら、杭の先端支持力をより正確に把握するためには、地盤の物理的性質、強度定数 ( $c$ 、 $\phi$ ) や杭貫入による地盤の変形、粒子破碎等を調べることが重要となる。世界の海洋には、カルシウム成分を多く含むカーボネイト砂が広く堆積しており、粒子破碎を生じやすい試料として知られている。沖縄の慶伊干瀬で採取された砂（以下チイビシ砂）も、カルシウム成分を多く含むため、カーボネイト砂として位置づけられる。本報では、チイビシ砂を用いて、三軸せん断試験と模型杭載荷実験を行い試験前と試験後の粒径加積曲線を示し、杭貫入による粒子破碎の様子を実験的に試みたので報告する。

**2. 試料及び実験概要 (1) 試料** 本実験で用いた試料は、沖縄で採取されたチイビシ砂 ( $G_s=2.83$ 、 $e_{max}=1.574$ 、 $e_{min}=0.983$ ) であり、炭酸カルシウム成分  $CaCO_3$  を 90%以上含んだカーボネイト砂と、比較のために用いたシリカ系の秋穂砂 ( $G_s=2.63$ 、 $e_{max}=0.96$ 、 $e_{min}=0.58$ ) である。

(2) 実験概要 (a) 三軸圧縮せん断試験 実験は、側圧一定圧密排水せん断試験を行った。実験は  $B$  値が 0.95 以上になったものに対して行い、側圧の増圧は、各段階 50kPa 程度とし、段階的にピューレットの値が落ち着くまで行った。せん断中は、軸荷重、軸変位、体積変位を測定し、軸ひずみが 15%、または、最大軸差応力が生じた付近でせん断を終了させた。これらの試験を、相対密度 90%に調節した供試体を用いて側圧 100~500kPa の範囲で行った。

(b) 模型杭載荷実験 本実験で用いた模型杭は、直径 30mm、先端角 180° の平坦杭であり、実験に用いた模型杭載荷実験装置の詳細は、参考文献<sup>1)</sup>に詳しい。供試体の相対密度は 90%とし、上載圧  $\sigma_v$ 、側圧  $\sigma_h$  を 400kPa、主応力比  $K=\sigma_h/\sigma_v=1.0$  に調節して模型杭載荷実験を行った。

(c) ふるい分け試験 せん断による粒子破碎を評価するために、せん断終了後の試料を採取し、24 時間炉乾燥し、5 個のふるい(0.84, 0.42, 0.25, 0.105, 0.074mm)を用いて、電動ふるい分け試験機で 30 分間振とうさせることにより、ふるい分け試験を行った。

(d) 粒子破碎評価方法 粒子破碎の評価方法として、本研究では、粒径加積曲線の破碎前後の粒度分布の変化に着目し、粒子の破碎性を残留率の差により評価する Marsal の評価方法を用いた。

### 3. 実験結果および考察

(a) 三軸試験 図-1 は、せん断過程におけるチイビシ砂の軸差応力  $q$ 、体積ひずみ  $\varepsilon_v$ 、軸ひずみ  $\varepsilon_1$  の関係を示したものである。この図より、拘束圧が大きいほど軸差応力  $q$  は、初期の勾配が急であり、ピークを過ぎると緩やかに下降していることが読みとれる。この間、体積ひずみ  $\varepsilon_v$  は初期段階で収縮を示すが、ピークを過ぎると膨張する。収縮の割合は、拘束圧によって異なり、拘束圧が大きいと収縮挙動を示すことが読みとれる。このような現象は、破碎された砂が砂の間隙には入り込むことによって生じ、粒子破碎に起因するものであることが推察される。

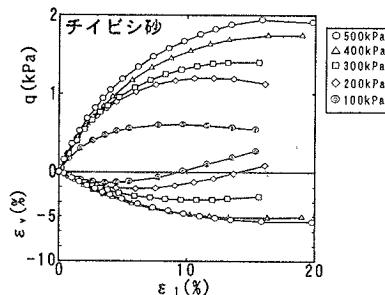


図-1  $q \sim \varepsilon_v \sim \varepsilon_1$  関係

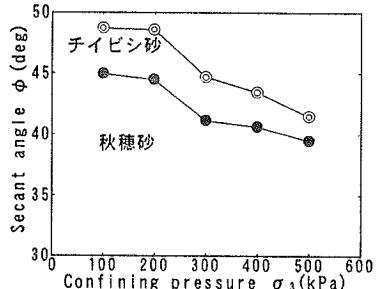


図-2 セカントアンギルと拘束圧の関係

図-2 はモール・クーロンの破壊基準より用いて求めた内部摩擦角 Secant angle  $\phi$  と拘束圧  $\sigma_3$  の関係を示したものである。図より、内部摩擦角の大きさは、いずれの拘束圧においても秋穂砂よりもチイビシ砂の方が大きいこと、両試料とも拘束圧  $\sigma_3$  の増加に伴って内部摩擦角  $\phi$  が減少していることが読みとれる。また、拘束圧 100kPa と 500kPa の時の内部摩擦角の差を比較すると、チイビシ砂では 7 度前後、秋穂では 5 度前後と、チイビシ砂の方が大きく減少していることが認められる。

図-3 に、拘束圧 500kPa の条件で三軸せん断試験前と後のチイビシ砂の粒径加積曲線を示す。この図より、三軸せん断試験を行った後の粒径加積曲線は、三軸せん断試験前のそれに比べて、全体的に細粒側に移行し、粒子破碎が生じていることが認められる。

図-4 は、試験前後の粒径加積曲線の差を示している。この粒径加積曲線の加積通過率差には、最大値が明確に現れることが読みとれる。この最大値を粒子破碎率  $B_M$  として、拘束圧 100kPa～500kPa のときも同様な整理を行って最大値を読みとり、粒子破碎率  $B_M$  と拘束圧の関係を示すと図-5 のようになる。この図より、拘束圧の増加に伴い  $B_M$  の値も増加していること、その値は秋穂砂よりチイビシ砂の方が大きく、チイビシ砂の粒子破碎は、顕著に生じていることが読みとれる。この様に、チイビシ砂の特徴として、内部摩擦角  $\phi$  の値は大きいが、拘束圧の増加に伴い  $\phi$  の値が減少していくこと、粒子破碎量が大きいことが挙げられる。

#### (b) 杭貫入によるカーボネイト砂の粒子破碎

図-6 は、拘束圧 400kPa における模型杭載荷実験より得られた杭貫入によるチイビシ砂の粒子破碎の様子を示しており、詳しくは参考文献<sup>2)</sup>に示している。概略を説明すると、直径 3cm の模型杭を用いて、杭を 3cm 貫入させており、図中の  $B_M$  の値は、Marsal の評価方法を用いた粒子破碎率であり、破線は、杭貫入による砂地盤の移動の様子を示している。図より、粒子破碎率は、杭先端付近がもっとも大きく、破碎が卓越しており、その杭底面を中心として円弧状に減少しながら広がっていることがわかる。この粒子破碎率  $B_M$  の等しい等粒子破碎線に、本実験の拘束圧 400kPa の三軸せん断試験より得られた  $B_M=7\%$  の線を太線で示している。この図より、杭先端付近では、三軸せん断試験における最大軸差応力の点より、さらに大きな粒子破碎が生じていることが認められる。

**4.まとめ** 杭貫入による等粒子破碎線上に、三軸せん断による粒子破碎の大きさを示した。その結果、杭直下ではかなり大きな粒子破碎を生じていることが明らかとなった。今後は、さらに三軸試験の拘束圧を大きくし、せん断試験を行い杭直下の応力状態を実験的に求めていこうと考えている。

**参考文献** 1) 安福他：周面摩擦を独立に測定可能な模型杭実験装置の試作とその適用、第 28 回土質工学研究発表会講演集、pp.1669～1670、1993。 2) 桑嶋、兵動他：杭の先端形状の違いがカーボネイト砂中の粒子破碎に及ぼす影響、第 48 回土木学会中国支部研究発表会概要集 pp.409～410、1996。

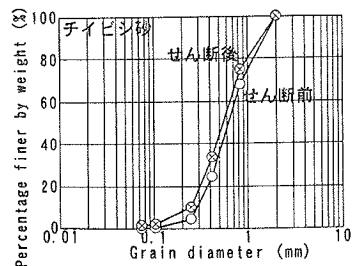


図-2. 内部摩擦角と拘束圧の関係

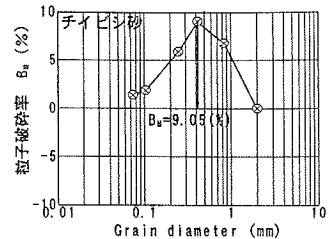


図-3. 粒径加積曲線（チイビシ砂）

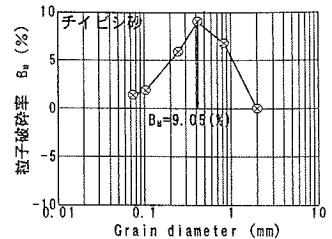


図-4. 加積通過率差（チイビシ砂）

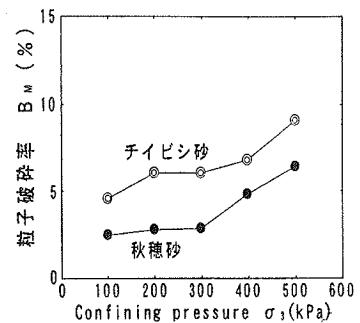


図-5. 拘束圧-粒子破碎率の関係

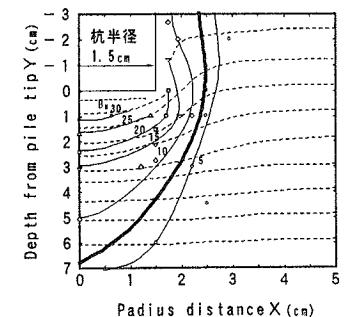


図-6. 等粒子破碎線

## 6 切土斜面における安定度評価について

琉球大学農学部 宜保 清一  
周 亜明  
中村 真也  
○新里 修三

### 1. はじめに

自然斜面または旧地すべり地の安定斜面において、切土により斜面の安定度が大幅に低下し、工事中あるいは工事后に崩壊や地すべりが発生して、甚大な土砂災害となることがある。また、逆算法<sup>1)</sup>に基づく切土工事のための仮設抑止工は、必要以上の多大な浪費をもたらすことが指摘されている<sup>2)</sup>。それらは斜面安定度を適切に評価できていないことに起因するものである。しかし、切土斜面の安定度評価は、①現況安全率が決定できない、②すべり面強度が確定できない等の理由により、きわめて困難である。また、従来の安定解析では、地すべり土塊や地すべり面を均質と仮定して取り扱っているが、実際の弾塑性土体は非均質で、地すべり面における主働域と受働域により移動量に差があり、すべり面の状況や発揮されるすべり面土の強度が大いに異なる。斜面防災対策をより精度の高いものにするためには、すべり面の状況と土質強度を的確に捉え、その結果に基づいた斜面の安定性の評価が極めて重要である。

研究対象となる沖縄本島中部、島尻層群泥岩地帯に位置するA斜面では、1986年に道路建設のための末端切土工事が実施された。今回、現道路が斜面奥側へ移設されるため、それに伴う大規模な切土工事が計画されており、斜面の不安定化が危惧されている。

本研究は切土斜面の安定度評価手法の確立をめざし、A斜面を事例として、土質強度測定および、強度特性を生かした安定解析を行い、地形改変前後の斜面安定度について検討したものである。

### 2. 地形・地質と概況

地質は、沖縄本島中南部から南西琉球弧の宮古島にかけて分布する新第三紀島尻層群の泥岩からなる。島尻層泥岩斜面では、構造的弱面を素因とする初生型地すべりが多発している<sup>3)</sup>。

不安定斜面は、基岩の島尻層泥岩に泥岩由來の崩積土層(4~5m層厚)が上載している。斜面末端部から30m上方に幅25m、落差0.5~1.0mの滑落崖が存在する。ボーリング調査により、難透水性の泥岩層と比較的透水性の高い崩積土層との境界付近に、軟化粘土の介在が確認された。この斜面は、旧地すべり地で、道路建設時の末端切土によって受働域が減少したにもかかわらず、現在まで安定状態が保たれている。

### 3. 土質強度特性

すべり面付近からの採取試料についてリングせん断試験<sup>4)</sup>を行った。試料はボーリング

により採取した軟化粘土である。完全軟化強度および残留強度を測定した大変位せん断後に、供試体を再圧密してから再せん断を行い回復強度を求めた。図-1はクーロン則に基づき整理したものである。完全軟化強度は $c_{sf} = 2.3\text{kPa}$ ,  $\phi_{sf} = 30.5^\circ$ ，回復強度は、垂直応力 $\sigma_n = 50\text{kPa} \sim 100\text{kPa}$ において $c_{rc} = 1.5\text{kPa}$ ,  $\phi_{rc} = 20^\circ$ ，残留強度は、垂直応力 $\sigma_n = 50\text{kPa} \sim 100\text{kPa}$ において $c_{r1} = 0.25\text{kPa}$ ,  $\phi_{r1} = 16^\circ$ ，垂直応力 $\sigma_n \geq 200\text{kPa}$ に対しては $c_{r2} = 0\text{kPa}$ ,  $\phi_{r2} = 12.5^\circ$ となった。

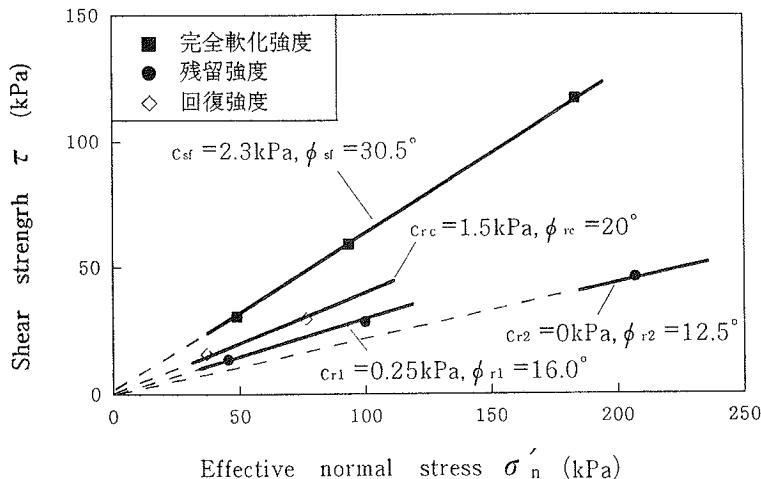


図-1 試料の完全軟化強度と残留強度および回復強度

#### 4. 安定度評価

##### 4.1 旧地すべり地形

地すべりの発生機構や発生形態を正確に把握するため、まず道路建設前の旧地すべり地形について安定解析を行った。0.5～1.0mの滑落崖等の斜面変状およびボーリングコアを基にして旧地すべり面を推定した。1.0m前後の移動が想定できる斜面上部から中部にかけての主働域におけるすべり面の強度は、すべり面の形成発達によって残留強度にまで低下していると考えた。また、崩積土層と泥岩層との境界付近に軟化粘土の介在が確認されたことから、受働域では完全軟化強度の関与を想定した。従って、地すべりの発生直後の安定解析では、簡便式は残留強度の項と完全軟化強度の項の和で与えられる。

$$F_s = \frac{\sum c' + 1 + \sum (N-U) \cdot \tan \phi'}{\sum T}$$

$$= \frac{\sum c_{rj} \cdot l_j + \sum (N_j - U_j) \cdot \tan \phi_{rj}}{\sum T_j} + \frac{\sum c_{sf} \cdot l_j + \sum (N_j - U_j) \cdot \tan \phi_{sf}}{\sum T_j}$$

ここで、 $F_s$  : 安全率

$l_j, N_j, T_j, U_j$  : 頭部主働域における各スライスのすべり面長(m), スライス重量の垂直分力( $\text{tf}/\text{m}^2$ ), 接線分力( $\text{tf}/\text{m}^2$ ), 間隙水圧( $\text{tf}/\text{m}^2$ )

$l_j, N_j, T_j, U_j$  : 下部受働域における各スライスのすべり面長(m), スライス重量の垂直分力( $\text{tf}/\text{m}^2$ ), 接線分力( $\text{tf}/\text{m}^2$ ), 間隙水圧( $\text{tf}/\text{m}^2$ )

図-2に安定解析断面図を示す。安全率を $F_s = 1.00$ とし、実測最高水位を地下水位として、繰り返し計算を行い、主働域のスライス1～13のすべり面で残留強度が、受働域のスライス14～25のすべり面において完全軟化強度が発揮されることを明らかにした。

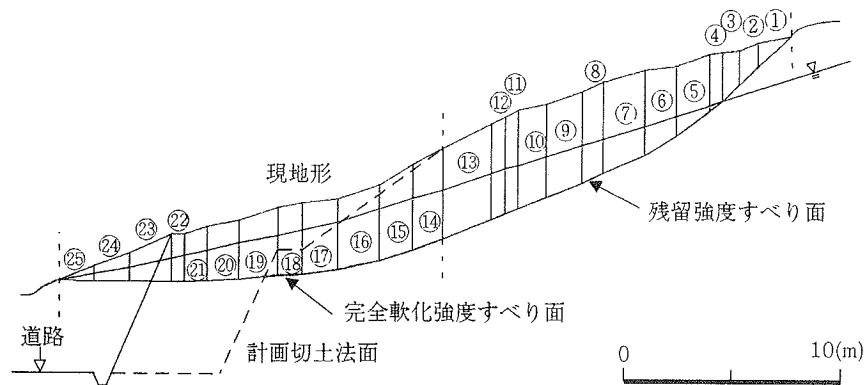
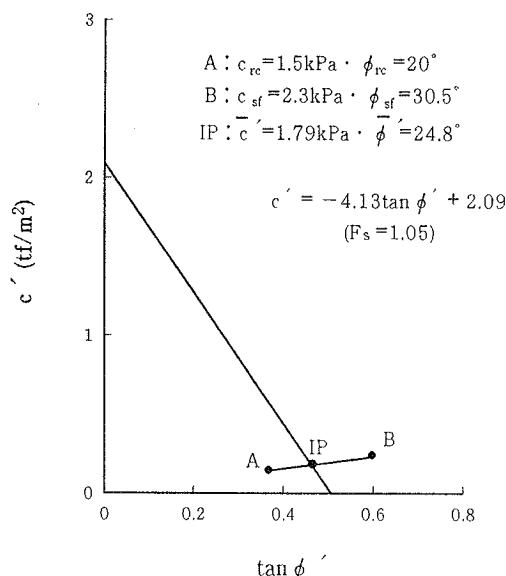


図-2 安定解析断面図

#### 4.2 道路建設時の末端切土による安全率の変化

旧地すべり斜面は長期の安定状態の下で、一旦残留強度にまで低下したすべり面領域は、土かぶり圧による再圧密により強度を回復し<sup>5)</sup>、強度回復による抵抗力の増大によって安全率が $F_s = 1.13$ にまで上昇した。道路建設のための切土後の斜面に対しては、安全率は $F_s = 1.05$ が得られ、末端切土による抵抗力の低下があったものの、現在まで安定状態にあることをうまく説明できた。すべり面の平均強度すなわち、対策のための設計強度定数は、「残留係数を導入した安定解析法」<sup>6), 7)</sup>に基づいて図解的に $c' - \tan \phi'$ 関係図から得られる（図-3）。回復強度A点と完全軟化強度B点を結ぶAB直線と $c' - \tan \phi'$ 直線との交点IPが設計強度定数 $c' = 0.179(\text{tf}/\text{m}^2)$ 、 $\phi' = 24.8^\circ$ である。

図-3 現地形における $c' - \tan \phi'$ 関係図

#### 4.3 道路移設に伴う末端切土による安全率の低下

移設に伴う末端切土による安全率の低下については、受働域の大幅な減少によって、 $F_s = 1.05$ から $F_s = 0.77$ へと大幅に低下し、地すべりが再発生する。一方、通常の手法では、静止中の崩積土地すべりに対しては安全率を $F_s = 1.05$ とし、 $c = 0.1h_{max} (\text{tf}/\text{m}^2)$  ( $h_{max}$  : すべり面の最大深さ) と仮定してせん断抵抗角 $\phi'$ を求めており、この場合 $c' = 0.5 (\text{tf}/\text{m}^2)$ 、 $\phi' = 21.05^\circ$ 、 $F_s = 0.86$ となった。これは計画切土斜面の安定度を過大に評価したものであり、仮設抑止工の決定に大きく影響することから、安全な作業環境を確保する上で問題がある。

#### 5. まとめ

島尻層群泥岩地帯の切土斜面を対象に、すべり面状況および土質強度特性を活用した解析手法を適用し、地形改変前後の斜面安定度を合理的に評価することができた。今後も、多くの事例について検討を進める予定である。

#### 参考文献

- 1) 農水省構造改善局：土地改良事業計画設計基準－農地地すべり防止対策－, 1989
- 2) 山上拓男・植田康宏：地すべり地強度定数の新しい逆算法(I)－基本概念－, 地すべり 21(2), 1984
- 3) 佐々木慶三・吉沢光三・宜保清一・江頭和彦：沖縄島尻層群地帯の地すべり－地質学的背景－, 地すべり 27(2), 1990
- 4) 宜保清一：残留強度測定のためのリングせん断試験装置とその測定精度, 地すべり 31(3), 1994
- 5) 宜保清一・周亜明：再活動型地すべりの土質強度と安定解析, 平成 8 年度農業土木学会九州支部シンポジウム, 1996
- 6) 宜保清一：残留係数を導入した安定解析法－沖縄島尻層群泥岩地すべりへの適用－, 地すべり 33(2), 1996
- 7) 宜保清一：地すべり斜面の安定性評価に用いる強度定数の考え方, 土と基礎 35(11), 1987

## 7 島尻泥岩分布地帯における地すべりのすべり面強度の評価

応用地質株式会社 ○ 久住呂貴之  
応用地質株式会社 小野仁  
応用地質株式会社 小池豊

### 1. はじめに

沖縄本島南部に分布する島尻層群の泥岩は軟質であり、この泥岩の分布する場所は地すべり多発地帯として知られている。島尻層群は、下位から上位に向かって豊見城層・与那原層・新里層の3層に分類されている。本報文では、与那原層の分布するA地区、新里層が分布するB地区について、安定解析で求めたすべりに対する逆算強度の特徴と、室内試験結果との関係について検討した結果を報告する。

### 2. せん断強度の定義

せん断強度については、(財)高速道路調査会(1985)を参考として図-1のように定義した。すべり面、亀裂、弱面などの分離面が存在しない斜面においては、ピーク強度 $\tau_p$ を用いて安定度を評価することが可能である。また、明確なすべり面を有し、繰り返して活動しているすべり面については、移動量が大きいため残留強度 $\tau_r$ を採用することが考えられ、この値は、すべりに対する安全率 $F_s = 1.0$ として逆算で求められた強度に相当する。これに対して、過去に移動したが現在は停止している地すべり面の強度をどのように評価するかが問題となる。(財)高速道路調査会(1985)によれば、このようなすべり面の解析には、残留強度ではなく変形に伴うダイレイタンシーによる体積変化が無くなった時のせん断強度、すなわち、完全軟化強度 $\tau_s$ を採用すべきであり、一度地すべりを生じた後に活動を停止した地すべり粘土は正規圧密粘土になっており、その圧密降伏応力 $P_c$ は、現在の有効土被り応力に近いと報告している。以上のことまとめると、斜面の安定度評価において適用するせん断強度定数( $C$ :粘着力、 $\phi$ :せん断抵抗角)は、以下のように大別される。

- ・ すべり面、弱面などの分離面を有しない斜面強度 → ピーク強度 $\tau_p$  ( $C_p$ ,  $\phi_p$ で評価)
- ・ 一度活動した地すべりのすべり面強度 → 完全軟化強度 $\tau_s$  ( $C_s \approx 0$ ,  $\phi_s$ で評価)
- ・ 現在著しく活動している地すべりのすべり面強度 → 残留強度 $\tau_r$  ( $C_r \approx 0$ ,  $\phi_r$ で評価)

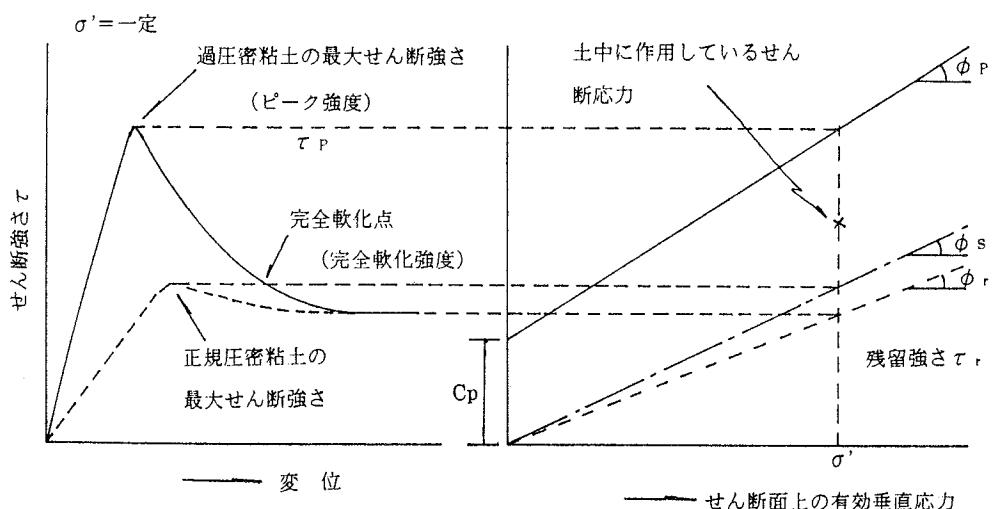


図-1 過圧密粘土のせん断特性

### 3. 安定計算で求めたすべり面強度の特徴

#### 3-1 島尻泥岩の物性と地すべり面強度の評価

島尻泥岩の分布するA地区では29箇所、B地区では12箇所の地すべり事例について検討した。表-1に室内試験結果を、表-2には地すべりの特徴を示す。これらの地すべりは、変状が進行し続けているものや、過去に明瞭な変状を発生しているが、現在は停止しているものなど様々である。すべり面形状の例として、図-2には円弧すべりの現状模式図を、図-3には平面すべりの現状模式図を示す。これらの各地すべりについて、すべり面強度を総合的に判断するため以下のような作業を実施した。地すべりを現場における大型せん断試験とみなして、安定解析式（簡便法）式1を式2のように変形した。

$$F_s = \frac{\sum (W \cos \alpha - u_1) \tan \phi' + \sum C' 1}{\sum W \sin \alpha} \quad (式1)$$

$$\frac{F_s \cdot \sum W \sin \alpha}{\sum 1} = \frac{\sum (W \cos \alpha - u_1)}{\sum 1} \tan \phi' + C' \quad (式2)$$

これをクーロンの破壊基準 ( $\tau = \sigma'n \tan \phi' + C'$ ) と比較すると、平均せん断力  $\tau$  と平均垂直応力  $\sigma'n$  は以下のように表すことができる。

$$\tau = \frac{F_s \cdot \sum W \sin \alpha}{\sum 1} \quad (式3)$$

$$\sigma'n = \frac{\sum (W \cos \alpha - u_1)}{\sum 1} \quad (式4)$$

このようにすると、1つの地すべりが  $\tau \sim \sigma'n$  関係図において1つの点で表現できることになる。今回は地すべり発生時安全率を  $F_s = 1.0$  とした。

表-1 室内試験結果

	土粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水比 (%)	粒度				液性限界 (%)	塑性限界 (%)	IP	三軸圧縮試験(スラー試料)	
			レキ分 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)				C' (tf/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)
A地区	2.757	24.9	6	8	30	56	59.3	21.1	38.2	--	--
B地区	2.764	25.0	3	2	35	60	55.4	21.3	34.1	0.7	27

表-2 地すべりの特徴

	すべりの形状		地すべりの要因	層区分
	平面	円弧		
A地区	分布する	分布する	切土	与那原
B地区	分布する	分布する	自然・盛土	新里

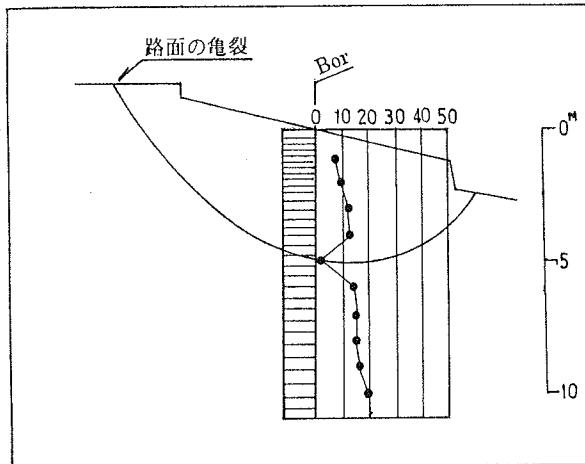


図-2 円弧すべりの現状模式図

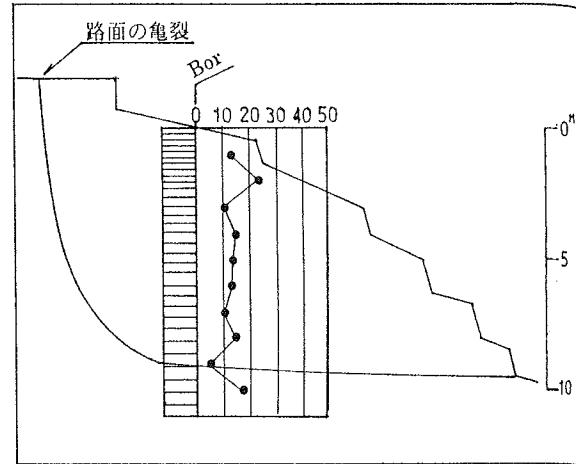
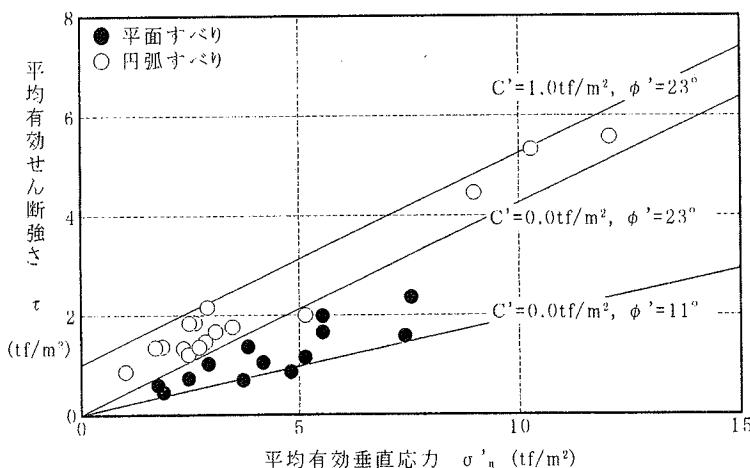


図-3 平面すべりの現状模式図

## 3-2 A 地区（与那原層）の地すべりの特徴

図-4に、A地区の $\tau \sim \sigma'n$ 関係図を示す。A地区では、切土工事に伴い、地すべりが発生している地区であり、次のような特徴が認められる。 $\tau \sim \sigma'n$ 関係図において、各逆算値の最大値は $C'=1.0\text{tf}/\text{m}^2 \cdot \phi'=23^\circ$ 、最小値は $C'=0.0\text{tf}/\text{m}^2 \cdot \phi'=11^\circ$ を得た。この最小値は、宜保(1992)による残留強度の平均値と一致している。また、地すべり形状は1つの例外を除き、 $C'=0.0\text{tf}/\text{m}^2 \cdot \phi'=23^\circ$ を境に区分され、これを超えるものは円弧すべり、低いものは比較的規模の大きな平面すべりが発生していることがわかった。この境界となる、 $C'=0.0\text{tf}/\text{m}^2 \cdot \phi'=23^\circ$ は九州・沖縄の特殊土(1983)の正規圧密した状態でのせん断強度定数と一致している。

図-4 A地区の $\tau - \sigma'n$ 関係図

## 3-2 B 地区（新里層）の地すべりの特徴

図-5にB地区の $\tau \sim \sigma'n$ 関係図を示す。B地区では、自然斜面及び盛土箇所で、地すべりが発生している。この地区的逆算強度は、すべての値がA地区的最大値～最小値の範囲に入っているが、地すべり形状区分はできなかった。しかし、 $C'=0.0\text{tf}/\text{m}^2 \cdot \phi'=23^\circ$ より低いものについては、毎年補修工事を行うほどの変状が発生していることから、これを境にして地すべりの安定度を評価できるものと判断される。

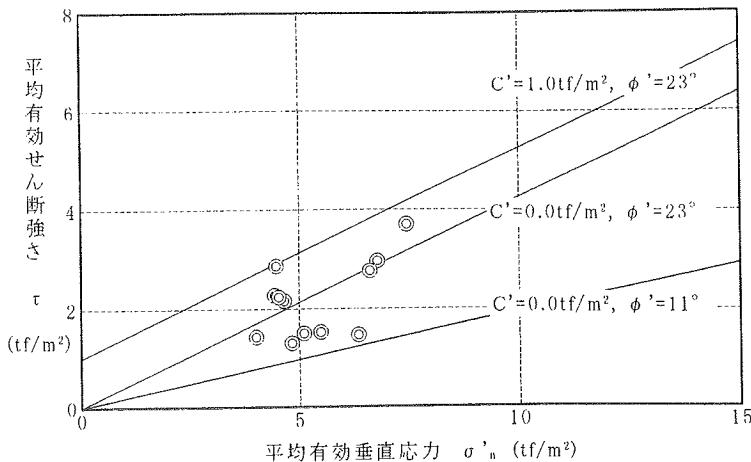


図-5 B地区の $\tau$ - $\sigma'_n$ 関係図

#### 4. すべり面強度と室内試験結果の関係

B地区的泥岩をスラリー状に練り返して、正規圧密した状態で圧密非排水間隙水圧測定三軸圧縮試験を実施した。三軸圧縮試験結果は、4試料分のデータを最小二乗法により求めた値である。図-6に三軸圧縮試験結果とA・B地区的逆算強度関係図を示す。試験結果と逆算強度の関係には、以下のような特徴が認められる。せん断強度定数 $C'=0.7\text{tf}/\text{m}^2 \cdot \phi'=27^\circ$ は、宜保(1992)による完全軟化強度の平均値( $C'=0.0\text{tf}/\text{m}^2 \cdot \phi'=27^\circ$ )と近似している。

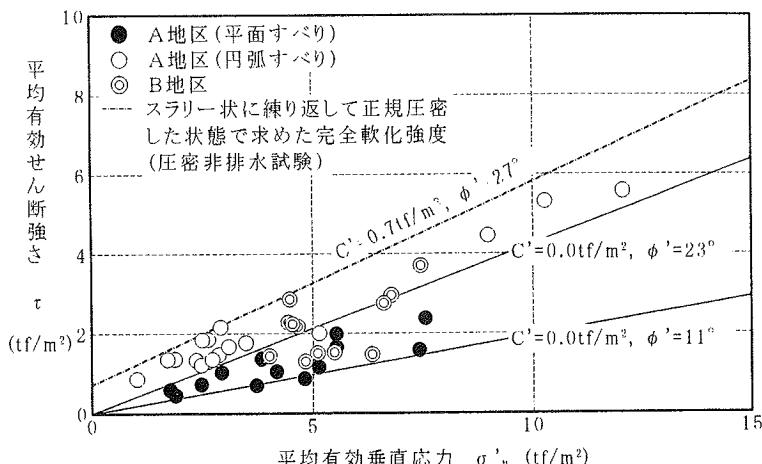


図-6 三軸圧縮試験と逆算強度の $\tau$ - $\sigma'_n$ 関係図

#### 5. おわりに

島尻泥岩のすべり面の特徴と、すべり面強度の関係について検討してきた。その結果、せん断強度定数 $C'=0.0\text{tf}/\text{m}^2 \cdot \phi'=23^\circ$ を境にして、これより強度の低いものは旧地すべり土塊が再活動している地すべりであり、かつ現在も活発に活動している地すべりに区分できる。このことから、地すべり形状または現在の活動状況が、安定解析で求めた逆算強度を用いて、予測できる可能性がある。今後、更にデータを集めることによって、より簡便で精度の高い地すべりの安定性予測が可能になると想っている。また、安定解析で求めた逆算強度ばかりではなく、定体積一面せん断試験なども併用して、より詳細な検討を実施していきたいと考えている。

#### (参考文献)

- 1) 財団法人 高速道路調査会：地すべり地形の安定評価に対する研究報告書、1985
- 2) 土質工学会：九州・沖縄の特殊土、1983
- 3) 宜保： 土質強度と安定解析—泥岩地すべりを事例として—第5回沖縄土質工学研究発表会、1992

8 亂さない島尻粘土の  $K_0$  壓密試験結果について

琉球大学工学部

琉球大学大学院

○赤嶺 伴子 上原 方成 原 久夫

謝 建明

## 1. まえがき

今までの島尻粘土に関する研究は、岩を砕き再圧密したいわゆる乱した土を使用するものが主であった。今回、乱さない土を用いて、実際の地盤に近い  $K_0$  状態での圧密・除荷試験、非排水せん断試験を行った。その結果より、正規圧密領域の  $K_0$  値などを調べ、既存の乱した島尻粘土のデータ<sup>1), 2)</sup>と比較する。

## 2. 試料土および試験方法

試料土には、中城湾港から採取した乱さない島尻粘土を使用した。試料土の物理的性質は表-1 に示すとおりである。供試体は、ボーリング試料を直徑約 5cm、高さ約 10cm のサイズに成形し使用した。

三軸圧縮試験機を行い、径ひずみが生じないように側圧をコンピュータで制御することにより  $K_0$  状態とした。適正な試験結果を得るために、供試体を試験機にセットし、水の出入りが自由な状態で 6 時間放置することによって安定させ、合成応力速度  $v = \sqrt{p+q} = 94 \sim 241 \text{ kPa}$ 、目標応力 150kPa の条件で  $K_0$  圧密した。

## 3. 試験結果および考察

表-2 からわかるように、限界状態線 (CSL) の勾配  $M$ 、 $m$ 、 $K_0$  値は、それぞれの深さによって違ってくる。図-1 の CSL、図-3 の  $K_0$  線、図-4 の除荷部分の勾配を表す直線にはそれぞれの平均値を使用した。

図-1 より乱した土の限界状態線の勾配  $M = 1.18$ <sup>2)</sup> と今回の値  $M = 1.46$  を比べると、乱さない土の方が勾配が急であることがわかった。

図-2 より圧密降伏応力  $p_c = 78 \text{ kPa}$  (深さ約 8.2m)、105kPa (深さ約 14.4m) が求まる。それぞれの土被り圧は 61.2kPa (深さ約 8.2m)、110kPa (深さ約 14.4m) であり  $p_c$  と比較するとそれほど違いかないことがわかった。一方、深さ 26.3m の試料土については、土被り圧が 187.6kPa であったにもかかわらず 150kPa までしか圧密しなかったので、過圧密状態での試験であったと考えられる。

$K_0$  値は鉛直有効応力  $\sigma'_v$  と側方有効応力  $\sigma'_h$  を用いて、 $\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$  とあらわされる。よって、正規圧密領域における  $K_0$  線が図-3 に示すように引かれ、その勾配の逆数が  $K_0$  値として求められる。その値は  $K_0 = 0.42$  となる。

表-1 試料土の物理的性質

	乱さない試料	乱した試料 <sup>1)</sup>
土粒子の密度 g/cm <sup>3</sup>	2.68	2.68
液性限界 $w_L$ (%)	64.50	61.20
塑性限界 $w_P$ (%)	20.34	29.30
塑性指数 $I_P$ (%)	44.16	31.90

表-2 各値の深さによる違い

深さ(m)	$M$	$m$	$K_0$ 値
8.2	1.48	1.3	0.45
14.4	1.41	1.32	0.40
26.3	1.51	1.55	0.40
平均	1.46	1.39	0.42

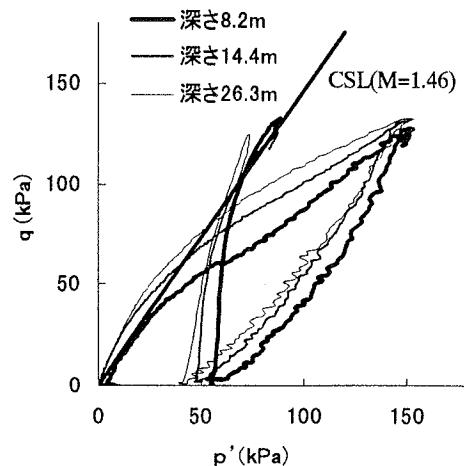


図-1 有効応力経路

過圧密領域においては、応力比  $\eta$  と  $\ln p'$  とか図-4 に示すように直線関係があり、その勾配  $1/m$  から、 $m = 1.39$  となる。世界各地の塑性指数  $I_p$  の異なる土に対する  $m$  の実測値を表-3 に示す。これによると塑性指数が大きいほど  $m$  も大きくなっている。今回求められた乱さない島尻粘土の塑性指数と  $m$  の値は、 $I_p = 44.16\%$ 、 $m = 1.39$  であった。この結果を表-3 にあてはめると、塑性指数に対して  $m$  が小さい値となっている。

表-3 各種の土の  $I_p$  と  $m$  の関係

土の種類	$I_p$ (%)	$m$	報告者
Chicago	10	1.36	Brooker
Goose Lake flour	6	1.60	Brooker
Weald clay	20	1.58	Brooker
Kaolin	32	1.81	Nadarajah
London clay	38	2.26	Brooker
Bearpaw shale	78	2.92	Brooker
Shimajiri clay(乱さない)	44.16	1.39	Akamine
Shimajiri clay(乱した)	31.9	1.07~1.21	Sunagawa <sup>2)</sup>

#### 4. まとめ

- 乱さない島尻粘土の  $K_0$  圧密試験より以下のことがわかった。
1. CSL の勾配は  $M = 1.46$  であり、乱した土よりも勾配が大きい。
  2. 圧密降伏応力  $p_c$  と土被り圧は、それほど違いかない。
  3. 正規圧密領域の  $K_0$  値は、0.42 である。
  4.  $\eta - \ln p'$  曲線から求まる過圧密領域の  $m$  の値は、1.39 である。
  5.  $I_p$  と  $m$  の関係を各種の土と比較すると、 $I_p$  に対して  $m$  が小さい。

今回は、島尻粘土の乱した土と乱さない土の比較を行ったが、今後、その他多くの地域の乱さない土について  $K_0$  圧密試験を行い、CSL の勾配  $M$ 、 $K_0$  値、 $m$ 、 $I_p$  と  $m$  の関係などについて調べ、今回の結果と比較したいと思う。

謝辞：今回使用した乱さない島尻粘土を提供していただいた株式会社沖技の多大なご協力に対して厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 山口晃平：練り返し再圧密した島尻粘土の  $K_0$  圧密三軸圧縮試験結果について、平成 8 年度卒業論文、p. 20, 1997. 3
- 2) 砂川尚之：島尻層泥岩の支持力特性に関する実験的研究、平成 8 年度修士論文、pp. 24-26, 1997. 3

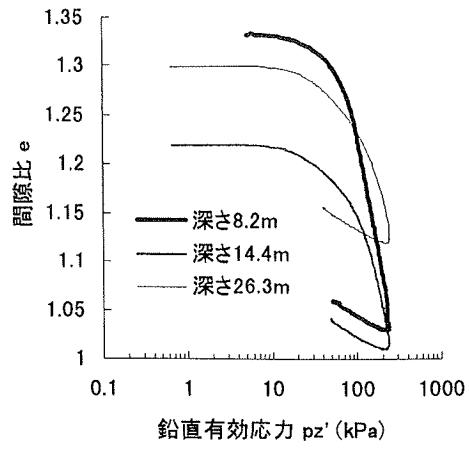


図-2  $e - \log p'$  曲線

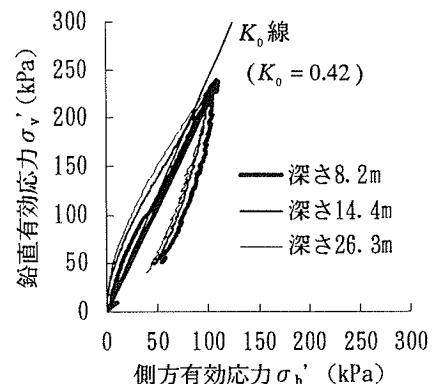


図-3  $\sigma_v'$  と  $\sigma_h'$  の関係

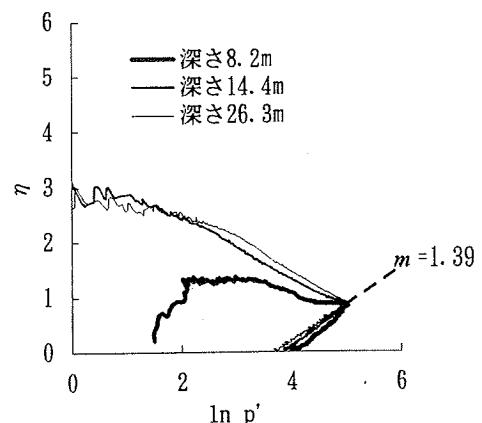


図-4  $\eta - \ln p'$  曲線

## 9 非排水せん断された粘土供試体内部の強度分布について

琉球大学大学院

○謝 建明

琉球大学工学部 原 久夫,上原方成,太田誠樹

## 1.まえがき

三軸圧縮試験で粘土供試体が破壊に至る過程は、せん断面の発生にともなってすべりを起こすことによって生じると考えられる。また、筆者らのこれまでの研究<sup>1)</sup>において、せん断破壊時の供試体せん断面付近での含水比の低下が確認されている。これらのことから、せん断時における供試体内部の破壊挙動は、一様でない可能性が高い。したがって、供試体内部のせん断面付近に強度の違いが生じていると考えられる。

そこで、本研究では、粘土供試体内部の強度変化を確認するために正規圧密粘土を用いて非排水せん断試験を行い、そして、せん断終了後の供試体を分割して、一軸圧縮試験を行い、それによって供試体内部の強度分布を求めた。

## 2.試験概要

試料は、島尻層泥岩を粉碎し、練り返して鉛直圧密圧力  $49 kPa$  で 20 日間再圧密したもの用いた。試料土の物理的性質については、表-1 に示すとおりである。圧密終了後に、直径  $5 cm$ 、高さ  $10 cm$  の円柱状に整形した。この供試体を用いて、有効応力  $p' = 100 kPa$  で 24 時間等方圧密を行い、等方応力状態からせん断ひずみ  $\gamma = 15\%$  に達するまで非排水せん断試験を行った。ひずみ速度は、 $0.1\% / min$  でせん断試験を行った。その圧縮強度  $q_u$  は  $70.5 kPa$  で、そのときのせん断ひずみ  $\gamma_u$  は  $7.6\%$  であった。

そして、非排水せん断試験終了後の供試体に対して、図-1 の模式図に示すように供試体を 5 層に分割し、円盤状の供試体に対して刃先加工を施したステンレス製チューブを押し込み、直

表-1 島尻粘土の物理的性質

土粒子の密度	$\rho_s = 2.73 g/cm^3$
液性限界	$w_L = 54.1\%$
塑性限界	$w_p = 27.0\%$
塑性指数	$I_p = 27.1\%$
粒度分布	砂礫分 $15.3\%$ シルト分 $41.3\%$ 粘土分 $43.4\%$

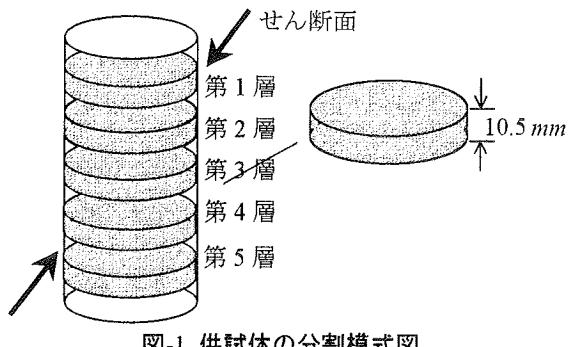


図-1 供試体の分割模式図

径  $5.5 mm$ 、高さ  $11 mm$  の円柱形の供試体を全体で 185 個採取し、これらについて一軸圧縮試験を行った。ひずみ速度は  $9.1\% / min$  で、せん断ひずみ  $\gamma = 17\%$  まで圧縮試験を行った。

## 3.試験結果および考察

一軸圧縮試験より得られた供試体の強度は、最大で  $129 kPa$  から最小で  $20.7 kPa$  の範囲にあり、その分布を図-2 示す。図-2 は、一軸圧縮強度  $q_u$  の平均値から約  $\pm 40 kPa$  の幅で強度の高い部分を濃く、低い部分を薄くなるように描いたものである。図-2(a)～(e)は、供試体の上面から見た強度分布図で、(f)は供試体の側方から見た強度分布図である。図-2 の第 1 層と第 2 層の強度分布は、供試体の右側方で、いわゆるせん断発生部分の強度が高いことがわかる。そして、第 5 層の強度分布では、供試体の左側方の強度が高いことがわかる。また、図-2(f)では、供試体の右側方および左側方のせん断発生部の強度が供試体の他の部分と比較して高いことがわかる。全層の強度分布より、供試体の中央部分での強度が周辺部と比較して低いことがわかる。

次に、図-3 は供試体の変形係数分布を示し、その変形係数  $E_{so}$  は、最大で  $45 kPa$  から最小で  $4.8 kPa$  の範囲にあり、変形係数の平均値から約  $\pm 10 kPa$  の幅で変形係数の高い部分を濃く、低い部分を薄くなるように描いたものである。図-3(a)～(e)は、強度分布と同様に供試体上面から見た分布図で、(f)は供試体の側方から見た分布図である。図-3 の全層にわたって供試体の周囲部と比較して内部の変形係数が低くなっていること

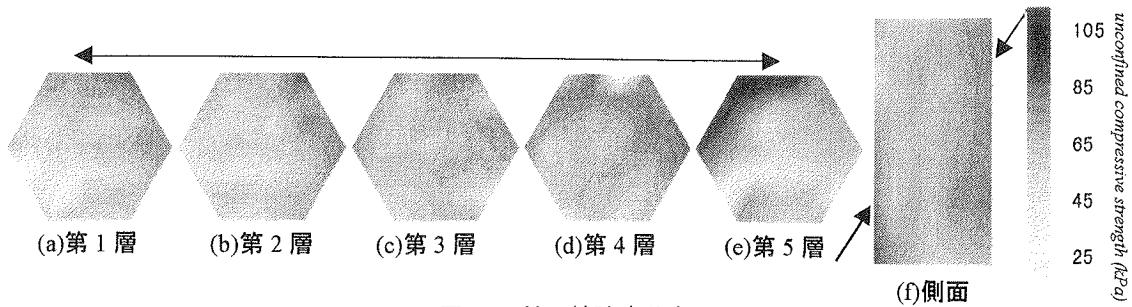


図-2 一軸圧縮強度分布図

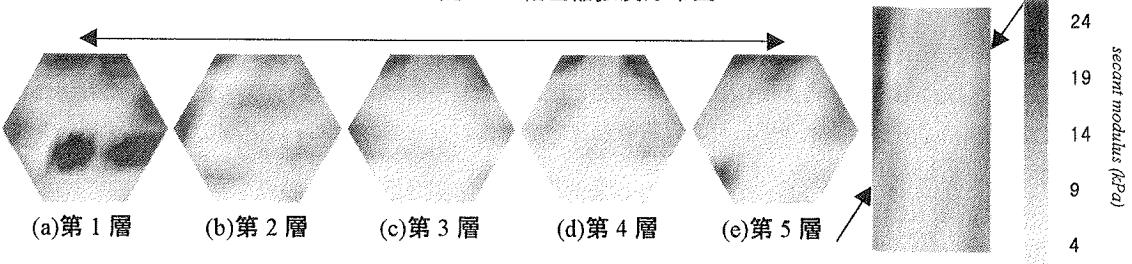


図-3 変形係数分布図

(注)図中の矢印はせん断方向を示す

表-2 一軸圧縮強度および変形係数の  
平均値と標準偏差

層	一軸圧縮強度 の平均(kPa)	標準 偏差 (kPa)	変形係数の 平均(kPa)	標準 偏差 (kPa)
1	63.8	11.8	17.6	8.91
2	62.9	9.74	13.2	5.63
3	65.0	8.32	11.9	5.80
4	67.1	12.7	11.9	6.99
5	65.8	21.3	11.9	5.67

#### 4.まとめ

①試験を行った供試体では、全層にわたる一軸圧縮強度の平均値は 65 kPa であるにもかかわらず、最大 129 kPa、最小 20.7 kPa にわたり強度が分布していることが確認できた。

②供試体周囲部の一軸圧縮強度は、中央部より大きくなっていることが確認でき、さらに、せん断面付近での一軸圧縮強度が他の部分と比較して低くなっていることがわかった。

③せん断面付近での変形係数が小さくなっていることが確認できた。したがって、せん断面付近で乱れが起きていると推測できる。

④供試体の中央層での一軸圧縮強度の標準偏差が他の層と比較して低く、中央層で均一な強度をもっていることが確認できた。

#### <参考文献>

- 1) 原久夫 他: 三軸圧縮試験における正規圧密粘土供試体中の間隙水移動に関する実験と考察 第32回地盤工学研究発表会, 平成9年度

がわかる。図-3(f)で供試体の右上部から左下部において他の部分より変形係数が低いことにより、他の部分と比較して乱れが大きいことがわかる。全層の変形係数分布より、供試体の中央部および上下部での乱れが大きく、側面での乱れが小さいことがわかる。

供試体のせん断面の周囲部での一軸圧縮強度は、中央部のせん断面と思われるところの強度より高くなっている。この原因は、等方圧密時に供試体の周囲部の排水が中央部より多く、これによって、供試体の周囲部での強度が中央部より高くなつたと考えられる。また、変形係数分布図より、供試体のせん断面付近において変形係数が小さくなっていることがわかる。このことから、供試体のせん断面付近で他の部分と比較して乱れが大きく発生していると考えられる。

表-2 は各測定層における一軸圧縮強度および変形係数の平均値と標準偏差を示す。表-2 より供試体の中央層(第3層)における一軸圧縮強度の標準偏差が上下層より小さくなっていることがわかる。このことから、供試体の中央部分で強度のばらつきが小さいことがわかる。また、変形係数の標準偏差は、上層部を除き、供試体の各層でほぼ同様な値を示している。

## 10 那覇港沈埋トンネル立坑の設計、試験工事について

那覇港湾空港工事事務所 工務課 吉見昌宏  
○具志良太

## 1. 目的

那覇港沈埋トンネルは、那覇ふ頭の港口部を横断し、那覇港と那覇空港方面とを直接結び、港湾関連交通を円滑に処理するとともに、西海岸道路と連携して慢性的な道路渋滞を解消するために計画されている県内初の海底トンネルであり、三重城側及び空港側の立坑間約700mの区間に8函の沈埋函を設置することとしている。(図-1参照)

ここでは、沈埋函を設置する際の起点となる三重城側立坑の下部工に関して実施した構造形式の検討結果の報告及び平成8年度に着手した試験工事の報告を行うものである。

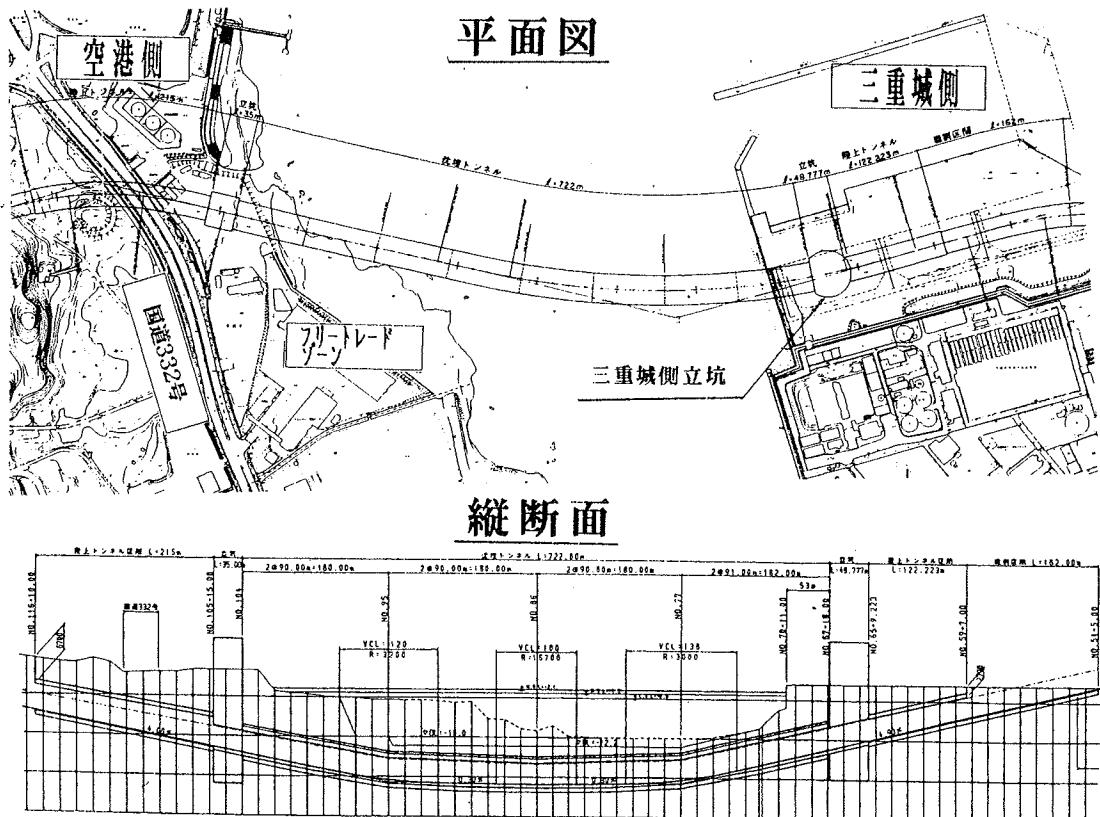


図-1 那覇港沈埋トンネル線形図

## 2. 内容

## 2. 1 構造形式の選定

### 2. 1. 1 設計條件

建設地点の地盤条件は、地表～D.L.-7.0m付近は、全般に粘性土主体でN値10以下の軟弱な埋立土。

D L -7.0m ~-18.0m 付近は、N 値 10 以下を示す箇所が多い軟弱な沖積砂層、D L -18.0m ~-57.0m 付近は、強度のばらつきが大きく空洞を有する可能性のある琉球石灰岩層、D L -57.0m 付近以深は、基盤層であり不透水層である島尻泥岩層で構成されている。(図-2 参照)

## 2. 1. 2 代替案の比較

この条件の下、種々の構造形式について経済性、施工性、信頼性等の観点から比較検討した結果、最も有利であった円形の地中連続壁形式を選択した。この形式の特長は、下部構築のために開削をする際、土留及び止水を目的とする仮設構造物として円形の地中連続壁を構築することである。円形とすることで、内部を掘削する際に作用する土圧を地中連続壁の円周方向の軸圧縮力で支えるため、切梁が不要であり、矩形の場合に比べ、工期、工費を小さくすることができ、島尻泥岩層まで根入れすることで、確実な止水対策を図ることができる。なお、ニューマチックケーラン形式も有力な案であったが、課題である空洞の多い琉球石灰岩層での施工の確実性について、試験施工により確認することが困難であることから、不採用とした。

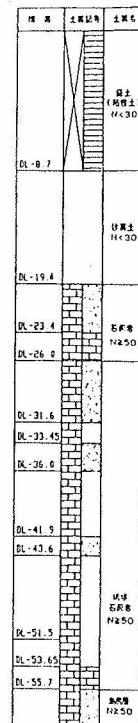


図-2 土層図

## 2. 2 試験工事

### 2. 2. 1 試験工事計画

琉球石灰岩層における地中連続壁の施工実績がほとんどなく、掘削時の溝壁の安定性、安定液の逸液の程度、施工速度等を確認する必要があるため、平成 8 年度に連続壁法線上の 2 つの工区において地中連続壁の試験工事を実施した。(図-3 参照)

図-4 に今回の試験工事計画図(当初)を示す。その試験工事概要は以下のとおりである。

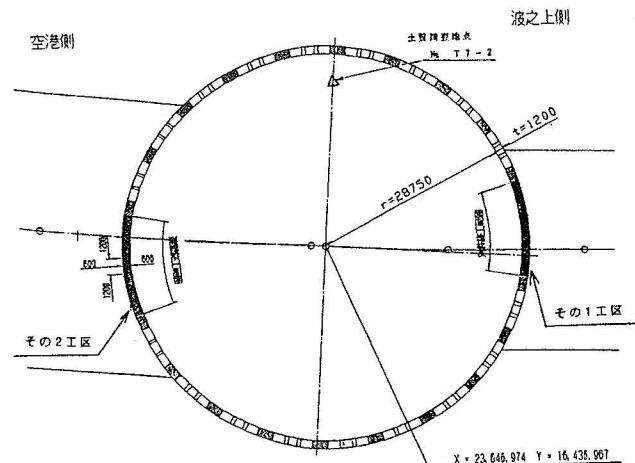


図-3 試験工事位置図

- ① 3 ガット 1 エレメント (ガットは連続壁掘削機が 1 回で掘削できる単位、エレメントはコンクリートを 1 回で打ち込む地中連続壁の構築単位) の割付とし、1 工区当り 7 ガット分を施工することとした。
- ② 溝壁の崩壊が予想されるため、先行エレメント A については、溝壁防護工として溝壁周辺地盤をソイルモルタル柱列壁 (SMW) で改良することとした。
- ③ 改良深度は、埋立土及び沖積砂層をカバーする D L -21.0m までとした。
- ④ 試験工事現場が海の近傍であり、安定液の逸液が海水汚濁につながる可能性があるため、①ガッ

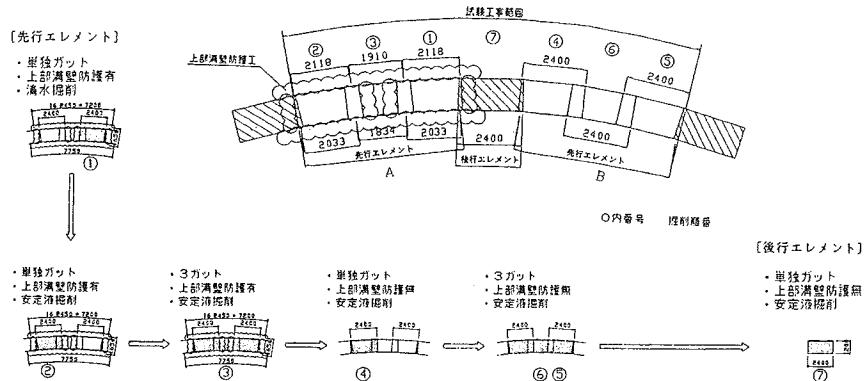


図-4 試験工事計画図

トでは、安定液よりも単位体積重量が小さく溝壁を安定させる効果は小さいが、汚濁負荷を軽減できる「清水」による掘削の施工可能性を調査することとした。

⑤清水は、現場近傍の下水処理場からの放流水を使用することとした。

## 2. 2. 2 試験工事経緯

両工区とも、先行エレメントAの掘削時に清水掘削及び安定液掘削を実施したが、いずれの場合も琉球石灰岩層で逸液が生じ、特にD L -26.0m ~ -31.0m の琉球石灰岩層での逸液が激しく、逸液量は最大 200 m<sup>3</sup>/h程度となった。そのため、先行エレメントB及び後行エレメントについては、逸液防止対策も兼ねてD L -32.0mまでSMWの溝壁防護工を施工した。(図-5参照)

その2工区は、先行エレメントの③ガット掘削時に埋立土層において、SMWが溝内側に最大約 25 mm程度はらみだし(D L -3.0m付近)、掘削機の荷重を除去しても約 1 mm/hの割合で変形が進行した。そのため、掘削土で埋戻を行い、溝壁安定のため溝内及び溝外の地盤改良を行った。また、先行エレメントBは溝壁安定のため、SMWによる溝壁防護工に加え、1ガット1エレメント方式での施工に変更した。(図-6参照)

## 2. 2. 3 考察

試験工事の結果から次のことがわかった。

- ① D L -26.0m ~ -31.0m 付近の琉球石灰岩層に逸液が激しい所があり、安定液を使用しても効果がない。よって、逸液対策と沖積砂層の溝壁防護を兼ねてD L -36.0mまでSMWを施工する方が効果的である。
- ② D L -36.0mまでSMW施工を行うことにより、安定液を用いず清水による掘削ができる。また、清水には供給量も十分な海水を使用することが適当である。
- ③ 2工区のはらみ出しの原因は、埋立土の不均一性(埋立場所によって埋立に使用した土が様々で土質定数を決定できない)等、様々な要因が重なって起こったものであると考えられ、原因を特定できない。
- ④ よって、はらみ出し対策として

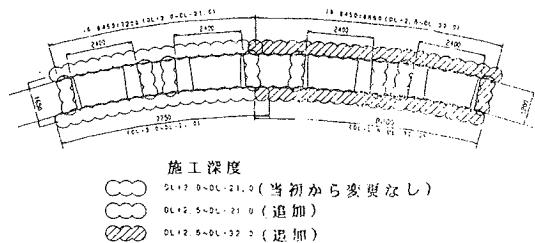


図-5 溝壁防護工施工図

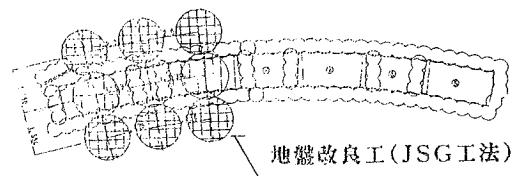


図-6 地盤改良工施工図(その2工区)

- 地中連続壁施工区域について表層から1m程度を固化処理を行い、重機による上載荷重の分散または低減をはかる。
- ディープウェルを用いて、周辺地盤の地下水位を低下させて溝壁内外の水位差を確保する。を行う。

以上の項目を今年度10月に着工する地中連続壁工事に盛り込み、より確実な施工を行うこととする。

## 11 GPSによるSCP改良船位置決めシステムの開発

不動建設(株) 中角 功 ○村上 恵洋  
庭山 和夫

## 1. はじめに

船舶の航海やカー・ナビゲーションなどで知られているGPS(Global Positioning System)による測位法は、近年その性能の向上と共に、建設機械などの位置決めについての適用性が注目されており、いくつかの実験報告が発表されている。

このGPSによる測位法をSCP(Sand Compaction Pile)改良船の位置決めに適用できいかと考え、調査・実験を繰り返してきたので、結果を報告する。

## 2. SCP工法施工サイクルと位置決めシステムの役割

SCP工法は振動機によって中空鋼管を地中に打ち込み、この中空管内を通して砂を地盤中に排出し、拡径することで、よく締った砂杭を地中に造成し海底軟弱地盤の安定をはかるものである。

沖縄県下においても昭和50年以降港湾構造物の基礎を中心に多数の施工実績を有している。

SCP工法の施工手順を図-1に示す。

①作業船を打設位置へ移動し、固定する。材料として砂を中空鋼管(ケーシングパイプ)内に投入後、貫入工程に入る。

②所定深度まで貫入したら造成工程に入る。

③砂杭造成工程では、ケーシングパイプを引き上げながら管内の砂を強制排出する。

④続いてケーシングパイプを再貫入しながら排出した砂を圧入し、地盤中に絞め固まった砂杭を造成する。途中で砂を補給し、③、④を繰り返しながら砂杭を造成する。

⑤造成完了後、つぎの打設位置へ作業船を移動する。

上記工程に示した作業船の打設位置への移動に際して多連のケーシングパイプをそれぞれ正確に設計のパイル芯位置にセットするため、従来から自動準準光波距離計を用いた測位システムを使用している。しかしながら、同システムは障害物や航路の問題から光波反射鏡の設置場所の選定に苦慮することが多く、また、雨・霧などの悪天候では発射光が到達せず追従機能が作動しないなどいくつかの課題を抱えており、特に台風やスコールなど気象条件の厳しい沖縄においては、これらの問題をクリアできる新しいシステムの開発・実用化が望まれていた。

<GPSによる位置決めシステム開発のねらい>

① 雨・霧などの自然現象による測量障害の排除

豪雨・濃霧の発生による測位システムの停止状態を解消する。

② 基準点設置状況の緩和

基準点の設置条件の制約(作業船からの距離及び位置)を緩和し、測量工事の簡素化をはかる。

③ 施工能率の向上

測位時間のリアルタイム性能を向上させ、操船時間の短縮を図る。

④ コストダウン

複数作業船が稼働する場合では、基準局の共有化を行い、設備コストの低減を図る。

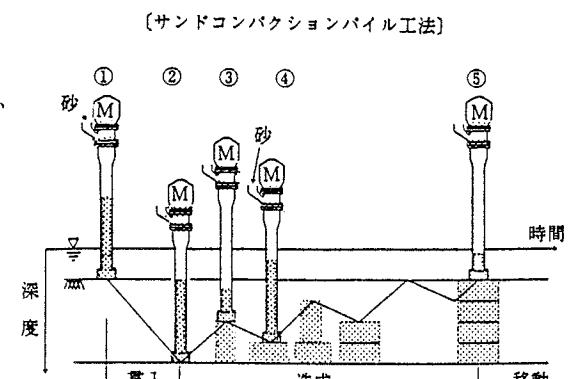


図-1 SCP工法施工手順

### 3. GPSによる作業船位置決めシステム

GPSとは人工衛星を使った位置決めシステムである。24個のGPS衛星が地球の重心位置を中心に地表から約2万km上空を約12時間で1周する速さで回っている。このGPS衛星を既知点として、4衛星の電波を受信して衛星からの距離を求め、地球上の位置を求める測位方法である。

GPSにより作業船の位置をリアルタイムに計測し、目標打設位置までの移動量・方向を指示することにより、指示に従って作業船の操船を行う。

#### ・本システムの性能

最大測量距離：10km以内（誤差±3cm）

位置決め精度： $\pm (1\text{cm} + 2\text{ppm} \times D)$

Dは距離

応答性能：0.4秒（測量サイクル）

システム表示：0.5Hz

作業船の位置決めシステムの配置を図-2に、システムの構成機器を図-3に示す。基準局としてGPSを1台、移動局（船上）としてGPSを2台設置する。基準局には、基準局データを送信するテレメータ無線機とバッテリーとソーラ発電機が設備されている。移動局アンテナは作業船上後部の障害物が少ない場所、2箇所に配置する。さらに、テレメータ無線アンテナ

と受信機を操船室屋上に設置する。船上の移動局では2台のGPSが、自身の測定データと基準局データとを使って瞬時に解析計算を行い、得られた結果の座標を経度・緯度でパソコンに入力する。パソコンにおいては、2台のGPSから得られた座標データを平面座標・ローカル座標に変換して作業船先端部にあるケーシング位置を求める。目標位置座標は事前に入力されていてケーシング位置とのズレ量を計算し2秒サイクルで表示する。

図-4に表示画面を示す。表示画面の矢印指示に従い、オペレーターがウインチを操作しながら作業船を目標位置に移動させて、ケーシングを所定の位置にセットする。

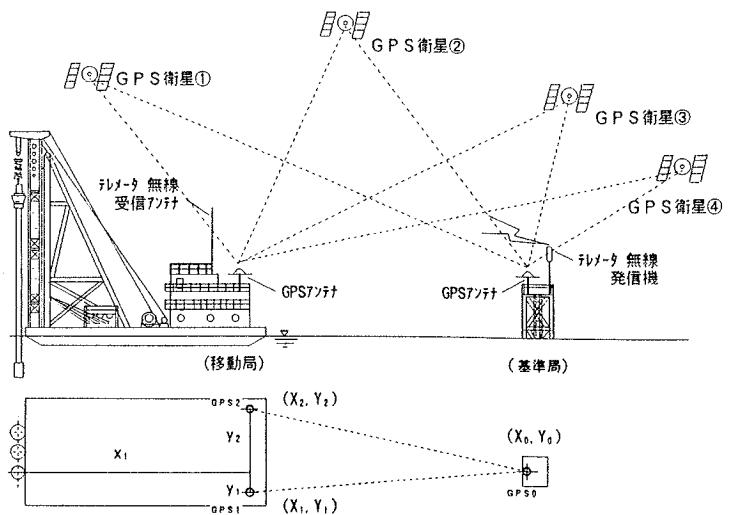


図-2 配置図

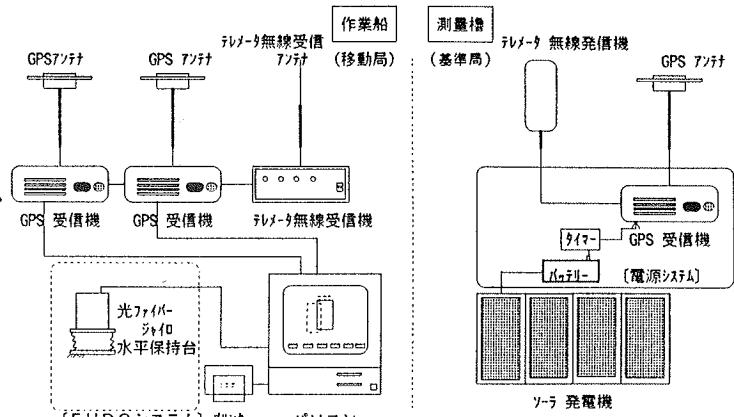


図-3 システムの構成

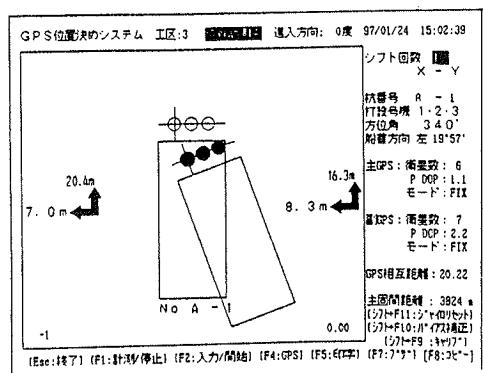


図-4 表示画面

#### 4. GPS導入にあたっての課題

GPSによる位置決めは、障害物の少ない海上においては24時間切れ目無く測位が可能である。しかし、SCP改良船のように、前面部に高い構造物を有していると、上空からの衛星電波が遮られ測位不能状態が発生する。

##### 4-1 測位不能となる回数と時間

実工事で稼働中のSCP改良船で3日間にわたりGPSの測位状況を調査した。調査方法は、作業船上の2基のGPSを主局と副局と定め、主・副局各々の測位状況（測位中、測位不能）を10秒間隔で記録した。調査結果（1日目）を表-1に示す。作業時間約11時間の内、測位不能回数が26回、測位不能時間が68分であることが分かる。同様に2、3日目について測位状況をまとめたものを表-2に示す。

表-1 測位不能状態調査結果（1日目）

時 時	分 分	秒 秒	不 <sup>能</sup> 不 <sup>能</sup>	測位 GPS	測位 ID	時 時		不 <sup>能</sup> 不 <sup>能</sup>		測位 GPS	測位 ID
						時 時	分 分	秒 秒	時 時		
6	42	56			①	13	29	07			
	46	11					20	37	0	30	②
7	8	27	57	0	30		40	37	0	40	主 ③
	8	57					41	11			
	9	07					49	17			
	10	47					50	01	0	50	主 ④
8	49	57		0	40		25	47	0	30	副 ⑤
	41	37					26	27			
	42	57					35	57	41	30	副 ⑥
	43	37					36	31	3	50	
9	8	27					38	37	2	00	副 ⑦
	10	07					55	27	0	20	副 ⑧
10	57	37		0	50		55	47	0	20	副 ⑨
	58	27					55	37	2	50	主・副 ⑩
11	2	17					5	47			
	3	27					21	47	16	00	主 ⑪
12	9	27		3	10	主 ⑫					
	6	37					9	37	7	10	副 ⑬
	12	07					16	47			
	30	37					20	17	1	30	副 ⑭
	32	27					25	17			
	33	47					30	17	1	00	副 ⑮
13	8	37		4	20	主 ⑯					
	18	27			9	50	副 ⑰				
作業開始 6:41:19 ~ 作業終了 17:42:57						合計		68分41秒			

表-2 測位状況のまとめ

	作業時間	測位不能回数	測位不能時間
1日目	11時間01分	26回	68分41秒
2日目	11時間09分	21回	55分20秒
3日目	11時間14分	34回	85分25秒

表-3 シュミレーション結果

作業開始時間 作業終了時間	作業時間パター ン	操船停止回数 1日操船回数	合計停止時間 平均値 (100回)	
			20~30分	30~40分
			5回/23回	4回/17回
1日目 6:41:19 17:42:57	2~3分	5回/23回	23分	11分
			3回/13回	13分
2日目 6:47:09 17:56:29	2~3分	4回/23回	15分	12分
			3回/17回	4分
			2回/13回	
3日目 6:39:21 17:53:01	2~3分	8回/23回	25分	18分
			5回/17回	18分
			4回/13回	18分

操船時間・造成時間は～範囲でランダムに決定

##### 4-2 操船作業停止回数と時間

地盤改良船では砂杭造成完了から次の打設位置に移動する時に本システムを作動する。そのとき、GPSが測位不能になると操船作業を停止せざるを得なくなる。本システムの測位不能時と操船回数が重なる回数と時間を調査結果を基にシュミレーションにより求めた。通常、1回の操船には2~3分を費やし、ほぼ一定しているが、砂杭造成時間は施工長に比例して変化する。そこで移動時間の割合が多くなる比較的短い杭(10m~20m)を想定し、砂杭造成時間を変化させた3種類の施工パターンを試みた。但し、操船時間を2~3分の範囲でランダムに決定し、造成時間の各タイプの10分間の範囲でランダムに決定した。表-3にこのときの操船停止回数と合計停止時間(100回の平均)を示す。3日間のGPSの測位状況では2~6回の停止回数で4~25分の停止時間になることが分かる。

#### 5. ジャイロ支援システム導入による停止時間の改善

##### 5-1 ジャイロ支援システムの概要

GPSシステムは主・副局2セットのGPSにより作業船の位置と方向を求めており、主・副局GPSが共に測位状態で、はじめてシステムは動作する。しかし、主・副局のどちらかが測位しない時は、他の手段で操船の方向を検知すればGPSシステムを短期的にサポートすることができる。そこで、変化角度を精度

よく検出する光ファイバージャイロを活用して支援システムの構築を試みた。光ファイバージャイロの角度検出精度は0.01度以下であり、GPSによる検出精度0.05度(2cm/2400cm)を上回っているので精度的には問題ない。

図-5にケーシング位置とGPSの関係を示す。作業船前方に配置したケーシングの位置は、主局GPSの座標と主・副局間GPS基線の方向角（北を基準とした回転角）と主局GPSからの距離で求まる。ケーシング1号機の座標(X3, Y3)は式①、②で計算できる。

$$X_3 = X_1 + \ell \cos(\alpha - \theta) \quad \dots \quad (1)$$

$$Y_3 = Y_1 + \ell \sin(\alpha - \theta) \quad \dots \quad ②$$

$$\{ \tan \alpha = (Y_2 - Y_1) / (X_2 - X_1) \}$$

今、副GPSが測位不能になると方向角 $\alpha$ が判らなくなりシステムとして作動しなくなる。そこで、副局GPSが測位不能になった時から、GPSが求めていた方位角 $\alpha$ からの変化角をジャイロが継続して検出することでシステムは支障なく作動させることができる。これがジャイロ支援システムである。

## 5-2 停止時間の改善効果

ジャイロ支援システムを導入した場合、主・副局のいずれかが測位していれば、ジャイロ支援システムが働き本システムは作動する。本システムが作動しないのは、主・副局ともに測位不能の場合である。主・副局ともに測位不能の場合に操船作業が重なる回数と操船停止時間を各施工パターンについて求めた結果を表-4に示す。1日、2日目については操船停止は発生せず、3日目に回数で1回、時間で最大7分である。このことから、ジャイロ支援システムを導入することにより、GPSによる位置決めシステムは、ほとんど作業船の操船停止状態を招くことなく稼働することが確認できた。

## 6. あとがき

S C P 改良船は障害物が多く、G P S 衛星の電波を遮る状況が多く発生する懸念があった。稼働中の作業船においてG P S の測位状況を調査し分析した結果、操船時間帯に本システム（G P Sのみ）が測位不能になる確率は15～30%で、1日の作業時間（約11時間）に対して4～25分の操船作業の停止となることが分かった。これに対し、ジャイロ支援システムを導入することで稼動効率が大幅に改善されることを確認した。

天候に左右されず軽量で耐久性に富むGPSを利用した位置決めシステムは、海上でのサンドコンパクションパイル工法の作業工程にマッチした優れたシステムであるといえる。

今後は、全てのSCP改良船にGPSシステムを搭載する計画で、沖縄県下においても今年度より導入を実施し、現在「中城湾港（新港地区）防波堤（東）地盤改良工事」において同システムを用いた施工を行っている。

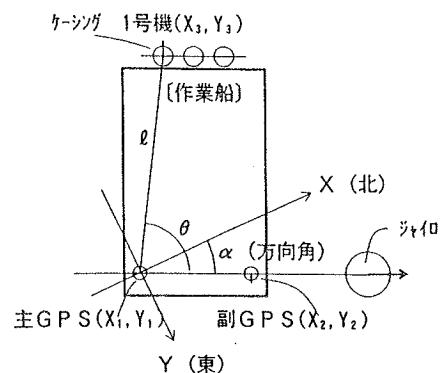


図-5 ケ-シング位置とGPSの関係

表-4 シュミレーション結果

(ジャイロ支援システムを付加した場合)

G P S テータ	作業時間パターン		操船停止回数 ／ 1日操船回数	合計停止時間 平均値 (100回)
	操船時間	造成時間		
3 / 19	2 ~ 3分	20~30分	0回／23回	0分
		30~40分	0回／17回	0分
		40~50分	0回／13回	0分
3 / 20	2 ~ 3分	20~30分	0回／23回	0分
		30~40分	0回／17回	0分
		40~50分	0回／13回	0分
3 / 21	2 ~ 3分	20~30分	1回／23回	7分
		30~40分	1回／17回	5分
		40~50分	1回／13回	3分

### 〈参考文献〉

出口、勝原、川上「GPSによる地盤改良用作業船位置決めシステム」建設機械、1997. 9.

## 12 クチャ（島尻層群泥岩）の流出について（第2報）

沖縄県衛生環境研究所 ○満本裕彰 大見謝辰男  
比嘉榮三郎 花城可英

### 1 はじめに

沖縄島北部などに分布する国頭マージの河川、海域への流出は「赤土汚染」として県外においても知られるところである。しかし、沖縄島中南部などに分布するジャーガルの母岩であり新第三紀泥岩に分類される島尻層群泥岩(以下、地域性での呼称、クチャと称す)の流出はほとんど問題になっていた。そこで、第1報<sup>1)</sup>においてクチャ地域の濁水流出状況及び流出機構、侵食速度の野外調査結果等について紹介し、クチャ地域の開発現場から排出された濁水は、国頭マージ地域よりも平均濃度が高いことなどを報告した。今回は、継続して行ったクチャの侵食速度の調査結果について報告する。

### 2 方法

調査は1996年4月～12月までの8ヵ月間である。侵食高は直径23mm、厚さ1mmの金属板をクチャが露出している斜面及び平坦地にネジで固定し、クチャ流出後に変化する金属板の高さを約1ヵ月ごとに計測することにより求めた。調査地点は沖縄島南部の9ヵ所20地点（表1）である。降雨量、日照時間は沖縄気象台から入手した。

### 3 結果及び考察

クチャの流出に直接影響を及ぼすのは降雨であるため降雨の土壤侵食性指数であるEI値<sup>2)</sup>と積算侵食高の関係を平坦地と法面に分けて検討した（図1、2）。図1、2から平坦地、法面ともEI値が大きくなると侵食高も大きくなる。1ヵ月の侵食量は平坦地で0.5～4.4mm、法面で0.8～3.6mmになる。EI値から年間の侵食高を推算すると、那覇の年間EI値は897.3<sup>3)</sup>より平坦地で平均27.8mm、法面で平均27.0mmとなる。クチャの仮比重を2.3として1ha当たりの年間平均侵食量を求め表2に示す。

さらにクチャの侵食は降雨と日照による湿潤と乾燥の繰返しによる細粒化が考えられるため侵食高に対するEI値、日照時間の影響の大きさについて調査地点ごとに重回帰分析を行った。例として、

$$\text{M-3-1: } Y = 1.14 + 7.8 \times 10^{-3} X_1 - 6.0 \times 10^{-3} X_2 \quad (R=0.99)$$

$$\text{B-3-1: } Y = -0.65 + 6.38 \times 10^{-3} X_1 + 1.2 \times 10^{-2} X_2 \quad (R=0.95)$$

$Y$ : 侵食高 (mm)、EI値:  $X_1$  ( $\text{tf} \cdot \text{m}^2 / \text{ha} \cdot \text{h}$ )、日照時間:  $X_2$  である。

表1 野外調査地点

調査地区	土地状況	調査地点数
豊見城村B地区	法面	4
大里村M地区	平坦地	4
	法面	1

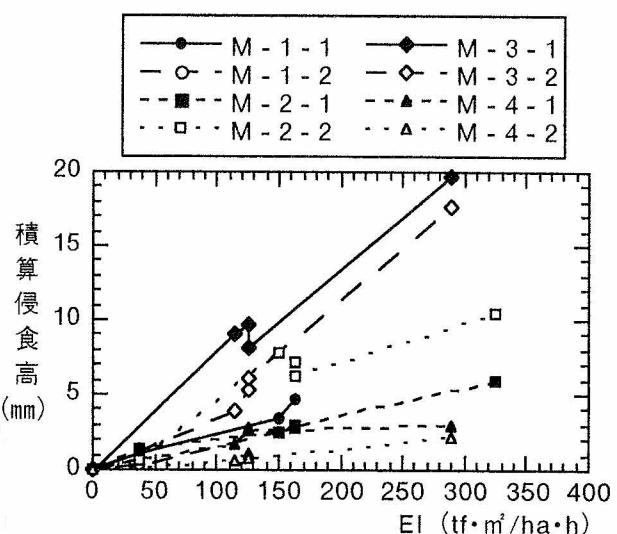


図1 積算侵食高とEI値の関係（平坦地）

実測値と推測値では高い一致性がみられ（図3、4）、ほとんどの場合平坦地ではEI値が、法面では日照時間の影響が大きい。

#### 4まとめ

今回の調査では、月平均侵食高は平坦地で1.8mm、法面で1.6mmであり、年間の侵食量を推算すると平坦地、法面でそれぞれ639、621t/ha/yearとなる。国頭マージ地区の無対策での流出予測値234t/ha/year（USLE式<sup>2)</sup>で推算）と比較して2.7倍の値となっている。

クチャの流出防止には乾湿の繰返しを受けないように発生源において裸地面積をなるべく少なくすることが必要である。特に、法面は降雨よりも日照による乾燥の影響が大きいと思われるため表土保護工による防止対策が重要であると思われる。

#### <参考文献>

- 1) 大見謝辰男・比嘉榮三郎・花城可英・満本裕彰（1995）第八回沖縄土質工学研究発表会、pp.46~49
- 2) 農林水産省構造改善局計画部（1992）土地改良事業計画指針 農地開発（改良山成畠工）。pp.158~178

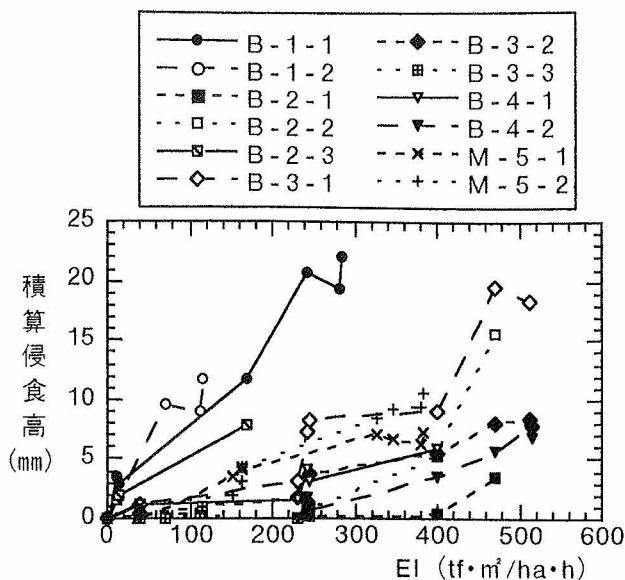


図2 積算侵食高とEI値の関係（法面）

表2 クチャの推算年間侵食量 (t/ha/year)

土地状況	侵食量
平坦地	639
法面	621

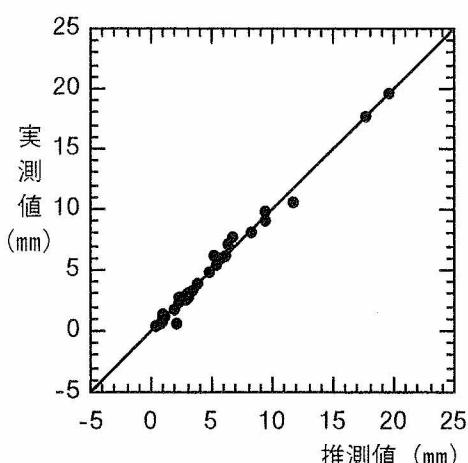


図3 重回帰による実測値と推測値の比較（平坦地）

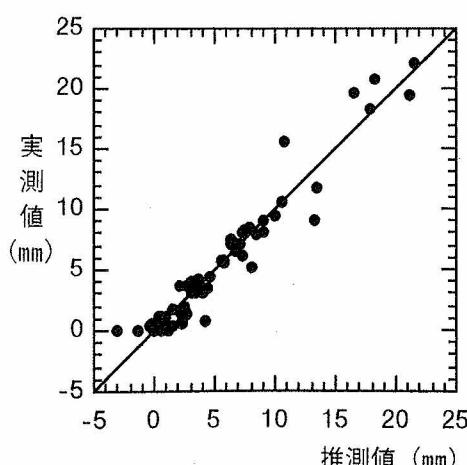


図4 重回帰による実測値と推測値の比較（法面）

### 13 沖縄県における赤土等年間流出量（第2報）

#### — 赤土等流出防止条例施行後の流出量の推算 —

沖縄県衛生環境研究所 ○仲宗根一哉 比嘉榮三郎  
大見謝辰男 満本裕彰

#### 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>では沖縄県赤土等流出防止条例（以下、条例と称す）施行前の1993年～94年の調査に基づき、本県における赤土等年間流出量を約32万tと推算した。その中で、単位面積あたりの年間流出量（以下、単位年間流出量と称す）が最も多い区画整理事業等の開発事業では、緊急に流出防止対策の強化を図る必要があることを指摘した。また、農地からの年間流出量が10万3千tと最も多いことから、バインアップル栽培やサトウキビ栽培における流出防止に有効な営農的対策について考察した。

その後、1995年10月に条例が施行されたことにより開発事業における赤土等の流出量は施行前に比べ大幅に減少しているものと期待されるが、条例施行後の広域的な赤土等流出量に関する調査は少なく、条例効果の全体的評価や流出防止対策における問題点の整理は不十分といえる。

今後の赤土等流出防止の展望を明らかにするには条例施行後の本県における赤土等の年間流出量を開発事業や農地等の各区分において把握することが重要と考えられるが、広域的に流出量を算出する適当な方法はまだ確立されていない。

そこで、前報<sup>1)</sup>同様に農地における侵食流亡土量予測式（Universal Soil Loss Equation : USLE）の構成に準拠した土壤流亡予測式<sup>2)</sup>や実測SS値を用いて1996年度における沖縄県全域の赤土等年間流出量を推算し、前報<sup>1)</sup>で報告した流出量との相対的な比較を行うことにより、条例施行後の変化と今後の動向について考察した。

#### 2. 赤土等年間流出量の推算方法

##### (1) 面積

土地改良事業については事業終了後半年は作物が植付けもしくは定着しない状態が予想されることから、1995年度に事業が終了した畑面積についても赤土等の流出量を推算した。土地改良以外の開発事業の面積は1995年度～96年度に通知・届出のあった事業のうち1996年度内に工事が行われた事業について積算し、農地、宅地および道路等の既存地目や米軍基地の面積については関係統計資料<sup>3)～8)</sup>から求めた。

##### (2) 土壤流亡予測式を用いた流出量の推算

前報<sup>1)</sup>と同様、土壤流亡予測式<sup>2)</sup>を用いて圃場整備事業等土地改良事業、土地区画整理事業、施設用地造成事業、公園整備事業、道路改良事業、民間開発事業、既存農地、宅地、および道路等からの赤土等の年間流出量を推算した。以下、下記に土壤流亡予測式<sup>2)</sup>と式中に用いた各係数について説明する。

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot P \cdot C \quad [t/ha/年]$$

A：単位面積あたりの年間土壤流出量

R：降雨係数

土壤流亡予測式中の降雨係数は1996年4月～97年3月までの地域気象観測システム（アメダス）の観測地点の毎時雨量から算出した。なお、降雨係数は各観測地点を沖縄本島北部地域（奥、本部、東、名護、金武）、中南部域（胡屋、那覇、糸数）、宮古域（宮古島）、八重山地域（西表島、石垣島）に分けてそれぞれ月降雨係数および年間降雨係数を算出した。ただし、土地改良事業の場合は各地域ごとに通知・届出台帳に記載された工事期間に従って各月の降雨係数を積算し、期間降雨係数とした。

また、1995年度に工事を終了した事業および1996年度途中で工事が終了した事業については工事終了月から半年までの間作物の植付けもしくは定着がない状態にあるものとして期間降雨係数を算出し、流出量の推算に用いた。

#### K：土壤係数

前報<sup>1)</sup>と同様の土壤係数を用いた。すなわち国頭マージ土壤及びジャーガル土壤を0.3、沖積土壤を0.2、島尻マージ土壤を0.1、クチャ（泥灰岩）を1とした。

#### L S：地形係数

流出源の種類別に設定した係数を用いた。すなわち土地改良事業については大見謝ら<sup>9)</sup>が算出した値を用い、既存農地のパインアップル畑については比嘉ら<sup>10)</sup>の算出した値を用いた。また、その他の地目や宅地、道路等については流域解析による調査報告書<sup>11)</sup>の値を用いた。ただし、宮古島については傾斜度が3°未満の地域であり<sup>4)</sup>、農地のほとんどは傾斜度が低いため、斜面長20m、傾斜度1°とし、地形係数を0.17に設定した。

#### P：保全係数

満本ら<sup>12)</sup>および花城ら<sup>13)</sup>の開発事業における赤土等流出防止対策の現状調査の結果から、調査時点における工事期間中の対策から想定した保全係数を事業の種類別に平均値を求め、表1に示した。

また、土地改良事業については工事終了時の保全係数の平均値を別途算定した。

既存農地における保全係数は土地改良事業計画指針<sup>2)</sup>に記載された横畝栽培の畑面の勾配により求めた。ただし、パインアップル畑更新時の表土の谷間押込みは畑面の勾配に拘わらず保全係数を1とした。また、宅地、道路およびその他については前述の調査報告書<sup>11)</sup>から保全係数を0.01とした。

#### C：作物係数

開発事業における裸地の状態は係数1を与える、宅地、道路及びその他については前述の調査報告書<sup>11)</sup>から作物係数を0.01とした。

#### (3) 実測SS値からの流出量の推算

森林と草地等（放牧地および原野）については傾斜度が大きいため土壤流亡予測式<sup>2)</sup>を用いるのは適当ではないことから、年間降雨量と降雨時の実測SS値から年間流出量を推算した。すなわち森林については降雨時の実測SS値5mg/lを用い、草地等については6mg/lを用いた。

また、キャンプ・ハンセンやキャンプ・シュワブ等米軍基地施設の実弾砲撃演習場の急傾斜な裸地からの流出量については環境条件が似た土取り場における降雨時の実測SS値40g/lを用いて推算し、その他の基地内施設からの流出量については土壤流亡予測式<sup>2)</sup>を用いて推算した。

### 3. 結果及び考察

赤土等流出防止条例施行後の年間流出量および単位年間流出量を表2に示した。

推算の結果、条例施行後の赤土等年間流出量は183,500tで、前報<sup>1)</sup>で推算した条例施行前の317,500tに比較して約42%減少した。その主な要因は開発事業からの流出量の減少であり、特に土地改良事業や区画整理事業からの流出量が条例施行前よりも大幅に減少したことが大きく寄与している。一方、農地では年間流出量は条例施行前よりも僅かに増加しているが、これはパインアップル畑更新時の表土の谷間押し込みを評価に入れて推算したためである。また、米軍基地については前報<sup>1)</sup>と同程度の流出量であった。以下、主要な点について述べる。

表1 各事業の平均保全係数（1996年度）

区分	調査件数	保全係数
土地改良	88	0.51
土地区画整理	10	0.51
道路工事	43	0.78
公園造成	15	0.57
河川改修	27	0.64
施設及び敷地造成	11	0.74
民間造成事業	9	0.93
土取場等	13	0.48
合計（平均）	203	(0.65)

満本ら<sup>12)</sup>の現状調査による。

## (1) 開発事業

## 1) 土地改良事業

1996年度に工事を実施した土地改良事業からの年間流出量は11,507 t, 1995年度に工事を終了した事業からの年間流出量は7,105 tとなり, 1996年度における土地改良事業に由来する赤土等年間流出量は18,612 tと推算された。前報<sup>1)</sup>では条例施行前における土地改良事業に由来する赤土等年間流出量を98,500 tと推算していることから、条例施行前に比較して約1/5に減少した。

土地改良事業における大幅な流出量の減少は単位年間流出量の減少と事業面積の減少の相乗効果によるところが大きい。工事期間中の単位年間流出量は県全体で約41 t/ha・年であり、条例施行前の約1/4に減少している。また、1995年度～96年度の赤土等流出防止条例に基づく通知・届出から、1995年度に実施された土地改良事業は延べ事業数63、事業面積は241haで、1996年度に工事が終了した事業は延べ事業数57、事業面積214haであった。1995年度および1996年度とも前

表2 赤土等年間流出量 (1996年度)

区分	単位年間流出量 (t/ha・年)					年間流出量 (t/年)					
	北部 中南部 宮古 八重山 県全体					北部 中南部 宮古 八重山 県全体					
	0.78	0.67	0.33	0.54	0.63	50,821	36,787	7,480	31,821	126,909	
既存地目	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	1,333	493	140	1,351	3,318	
森林	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	38	45	66	368	516	
草地等	5.09	2.45	0.59	3.52	2.72	49,100	35,800	7,090	29,890	121,880	
農地(耕地)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	5	24	2	2	34	
宅地	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	6	10	4	3	23	
道路	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
水面・河川・水路	0.03	0.03	0.06	0.03	0.03	337	414	179	208	1,138	
その他	1.14	0.04	—	0.04	0.81	19,951	277	—	4	20,232	
米軍基地	317	—	—	—	317	19,338	—	—	—	19,338	
裸地	0.04	0.04	—	0.04	0.04	613	277	—	4	894	
開発事業	17.1	75.2	54.2	65.1	42.6	7,177	14,666	5,503	9,036	36,382	
公共事業	56	75.7	54.9	61.5	63.4	6,767	12,326	5,463	8,106	32,662	
土地改良	35.9	66.5	25.5	45.9	41	3,827	5,576	3,663	5,546	18,612	
区画整理	75	104.2	50	—	89.3	1,200	2,710	200	—	4,110	
施設用地造成	10	27.5	40.5	75.8	45.5	10	330	890	910	2,140	
公園整備	16.7	55.2	—	44	52	50	3,200	—	440	3,690	
道路改良	43.1	25.5	47.3	33.6	37.4	1,680	510	710	1,210	4,110	
民間事業	1.4	73.1	20	133	11	410	2,340	40	930	3,720	
リゾート関連	0.66	—	—	10	0.69	160	—	—	10	170	
農地造成	10	35	—	240	109	10	140	—	720	870	
施設用地造成	4.5	78.6	20	66.7	31.2	240	2,200	40	200	2,680	
合計	0.94	0.83	0.57	0.69	0.81	77,948	51,730	12,983	40,861	183,523	

報<sup>1)</sup>で調査した1994年度の土地改良事業面積615haに比較すると約1/3に減少している。

土地改良事業の単位年間流出量の減少は条例施行後の赤土等の流出防止に有効な施設の設置が進んでいることを裏付けるものである。しかし、流出防止対策は必ずしも十分に機能しているとはいえない。満本ら<sup>12)</sup>は条例施行後の1996年度の開発事業における赤土等流出防止対策の現状調査を実施し、延べ137事業について流出防止施設の設置状況から予想される平均排水濃度を算出した。その結果、平均排水濃度は条例施行前に比較して半減するものの、条例の排水基準を満たすと予想される事業は全体の約3割程度であることを報告しており、流出防止対策が未だ不十分な事業が多いことが伺われる。

また地域別にみると八重山地域や本島中南部地域における年間流出量が本島北部地域よりも多く、事業面積が多かったことや流出防止対策が不十分であったことが原因してそれぞれ約5千tの年間流出量であった。

## 2) その他の公共開発事業

土地区画整理事業の1996年度の延べ事業数は14、事業面積は45haで、赤土等の年間流出量は4,100tと推算される。条例施行前の年間流出量の推算は41,600tであったので約4万tの大幅な減少である。

区画整理事業では条例施行前はほとんど流出防止対策が取られていなかったため、条例施行によって大きく改善された。因みに単位年間流出量は約30t/ha・年で、条例施行前の1/10に減少している。しかし、土地改良事業と同様に、流出防止対策がシステムとして十分に機能しているとはいえない。なお、区画整理事業の道路改良工事については道路改良事業に含めて推算した。

施設用地造成事業の延べ事業数は25、事業面積は48haで、公園整備事業の延べ事業数は32、事業面積は71haであった。推算の結果、年間流出量はそれぞれ2,140t、3,690tとなる。

道路改良については一般道路が延べ事業数89、事業面積は72haで年間流出量は2,000tとなる。農道および林道については延べ事業数がそれぞれ54および15、事業面積がそれぞれ29haおよび8haで年間流出量はそれぞれ1,583tおよび525tとなる。したがって道路改良全体の年間流出量は4,110tとなる。

河川改修工事については、土壤流亡予測式<sup>2)</sup>を直接用いることが困難であることや排水濃度の予測方法が確立していないことから赤土等年間流出量を推算することは不可能である。ただし、条例施行後は大半の事業で矢板打込みなどの対策が取られており、平均排水SSは条例施行前の約1/3に減少している。このことから河川事業における赤土等の年間流出量も条例施行後は大幅に減少していることが予想され、年間数千t程度と見込まれる。

## (2) 民間事業

### 1) リゾート関連

1996年度のリゾート関連工事は北部地域で5事業、八重山地域で1事業であった。北部地域でもっとも事業面積が大きかったリゾート開発事業では濁水処理プラントを有しており、排水のSS濃度を測定したところ、条例の基準値より低かった。また開発工事が中断したままとなっている北部のあるゴルフ場は土壤侵食が激しく、敷地末端に砂防ダムが設置されているものの大雨時には高濃度の濁水がオーバーフローすることが予想される。現状の改善が強く望まれるが、行政の積極的な関与が必要と思われる。なお、他のゴルフ場では有効な流出防止対策が機能しており、年間流出量は251tと低い。

### 2) 農地造成および施設用地造成

農地造成は事業数9、事業面積17haと少ないが、無対策のままで工事を実施している事業が多く、年間流出量は867tとなる。また、施設用地造成は事業数39、事業面積86haで、公共の施設用地造成事業面積の約2倍であるが、単位年間流出量は公共工事よりやや低く、年間流出量は4,740tと推算される。

## (3) 農地等既存地目

既存農地からの年間流出量は121,880tと全体の土壤流出量の約66%を占める。ただし単位年間流出量はパインアップル畑を除きそれほど多くはない。表3に作物別年間流出量を、表4に作物別単位年間流出量を示した。

### 1) 農地（耕地）

沖縄県農林水産部の資料<sup>③</sup>によれば1995年度の耕地面積は44,800ha、水田970ha、畑43,900haで、畑の耕地利用率は87.2%となっている。同資料から市町村別主要作物の作付け面積を算定し、市町村別土壤分布面積<sup>④</sup>から各地域における土壤群別の利用面積を算定した。これらの数値と土壤流亡予測式<sup>2)</sup>を用いて流出量を推算した。

パインアップル畑の単位年間流出量は45.2 t /ha・年と作物中最も多い。

著者らは現況調査の結果と地域ごとの降雨係数を用いて1996年度のパインアップル畑からの年間流出量を54,260 tと推算した。条例施行前の比嘉ら<sup>1)</sup>の試算に比較して約2万t増加する結果になった。このことは前述したように、畑更新時の表土の谷間押し込みを評価に入れて推算したためである。しかし、最近では本島北部の一部地域のパインアップル栽培農家で古株還元やマルチングが普及しつつあり、その効果が期待される。その一方で未だに畑更新時に谷間押し込みを行っている農家も多く、行政によるマルチングのシステム化が早急に望まれる。

また、本県で耕地面積が最も多いサトウキビ畑からの年間流出量は36,000 tとパインアップル畑に次い値を示すが、単位年間流出量では1.6 t /ha・年でむしろ野菜畑の5.5 t /ha・年よりも低い。野菜畑では中南地域からの流出量が比較的多く、ジャーガルやクチャなどの流出による河川や海域の汚染が危惧される。

## 2) 森林・草地等・宅地・道路・その他

森林および草地を合わせた年間土壤流出量は3,834 tで全体の2%を占める。また、単位年間流出量は0.04 t /ha・年で極めて少なく全く問題にならない。宅地・道路についても同様である。

### (4) 米軍基地

本県の米軍基地面積は25,012haとなっており、地目別には森林が圧倒的に多く基地面積の約70%を占める。基地から発生する赤土等流出量はキャンプ・ハンセンとキャンプ・シュワブ内にある着弾地などの裸地とその他工作物および黙認耕作地に分けて推算した。裸地からの流出量は流出率0.7とし、これらの下流域には砂防ダムが設置されていることから保全係数を0.6として推算した。その他工作物および黙認耕作地は土壤流亡予測式<sup>2)</sup>を用いて推算した結果、米軍基地からの年間流出量は20,232 tとなる。広大な演習場を有する北部地域の単位年間流出量は1.14 t /ha・年であるが、森林を除く裸地面積あたりに換算すると300t/ha・年と膨大な量になる。

## 4.まとめ

条例施行後、土地改良事業や区画整理事業等の開発事業において、赤土等の流出量は確実に減少しているが、単位流出量はまだ高い水準にあり、流出防止対策が不十分な事業が未だに多いことが明らかになった。条例に定めた排水基準を満足するには、流出防止施設の設置や徹底した工程管理はもちろんのこと、発注者と施工者が一丸となって流出防止に取組む姿勢が重要であり、要は発注者側の流出防止に対する意識の問題といえよう。

農地については、パインアップル畑からの赤土等の流出が以前として重大な問題であるが、一部の地域では古株還元やマルチングが普及しはじめており、今後の動向に注目したい。

また、キャンプハンセンやキャンプシュワブ等の米軍演習場では赤土等流出防止対策として雨

表3 作物別流出量 (t/年)

	北部	中南部	宮古	八重山	合計
サトウキビ	4,740	15,430	6,400	9,490	36,060
パインアップル	36,900	0	0	17,360	54,260
樹園地	2,030	450	40	830	3,350
牧草地	140	140	80	550	910
肥料作物	50	120	20	60	250
野菜他	5,030	19,130	510	1,370	26,040
不耕作畑	210	530	40	230	1,010
計	49,100	35,800	7,090	29,890	121,880

1996年度の統計資料から推算。

表4 作物別単位流出量 (t/ha・年)

	北部	中南部	宮古	八重山	合計
サトウキビ	1.6	1.9	0.7	3.2	1.6
パインアップル	45.7	0	0	44.2	45.2
樹園地	1.2	2	0.5	1.5	1.3
牧草地	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2
肥料作物	0.1	0.1	0	0.1	0.1
野菜他	4.4	6.6	1.2	5.5	5.5
不耕作畑	0.2	0.3	0	0.2	0.2
計	5.4	2.5	0.6	3.7	2.8

1996年度の統計資料から推算。

水貯留型の砂防ダムの建設が進められているが、流出を最小限に抑えるにはなるべく着弾地等の流出源に近い個所で適当な対策を施すことが望ましい。また、末端での大規模な対策は莫大な予算の投入と新たな自然環境の破壊を生み出す可能性があり、慎重に考慮すべき問題である。

## 参考文献

- 1) 比嘉榮三郎、大見謝辰男、花城可英、満本裕彰（1995）沖縄県における赤土等の年間流出量、沖縄県土質工学研究会、29：83—88
- 2) 農林水産省構造改善局計画部（1993）土地改良事業計画指針、pp.158—178
- 3) 沖縄県土木建築部（1996）土木建築部要覧
- 4) 沖縄県企画開発部（1997）土地対策の概要'97
- 5) 沖縄県道路維持課（1997）道路施設現況調査書
- 6) 沖縄県基地対策室（1994）沖縄の米軍基地：pp.9—13
- 7) 沖縄県農林水産部（1996）沖縄県の農業農村整備
- 8) 沖縄県農林水産部（1997）農業関係統計
- 9) 大見謝辰男、比嘉榮三郎、花城可英、満本裕彰（1995）沖縄県の赤土等の流出とサンゴ礁の保全、農業土木学会誌、63(3)：267—272
- 10) 比嘉榮三郎、大見謝辰男、花城可英、満本裕彰（1996）パインアップル畑からの土砂流出量について、沖縄県衛生環境研究所報、30：87—92
- 11) 沖縄県環境保健部（1993）赤土汚濁に関する流域解析調査報告書：pp.30—40
- 12) 満本裕彰、大見謝辰男、比嘉榮三郎、仲宗根一哉、花城可英（1997）開発事業における赤土等流出防止対策の現状（1996年度）。沖縄県衛生環境研究所報、31：印刷中
- 13) 花城可英、大見謝辰男、比嘉榮三郎、仲宗根一哉、花城可英（1996）開発事業における赤土等流出防止対策の現状（平成7年度）。沖縄県衛生環境研究所報、30：145—151
- 14) 比嘉榮三郎、大見謝辰男、花城可英、満本裕彰（1995）沖縄県における年間土砂流出量について、沖縄県衛生環境研究所報、29：83—88
- 15) 沖縄県農林水産部（1995）土地改良事業等における赤土等流出防止対策設計指針：p.10

## 14 沖縄県における赤土汚染の近況と今後の課題

○大見謝辰男・比嘉榮三郎・仲宗根一哉・満本裕彰（沖縄県衛生環境研究所）

### 1. はじめに

1992年、沖縄県知事が沖縄県赤土等流出防止条例（以下、条例）の制定を指示した後、条例制定作業を進める中で、赤土等流出源の実態把握のための調査研究や流出防止技術の蓄積などが飛躍的に進展した。それに伴い、海域の赤土汚染状況も好転のきざしを見せている。ここでは、沖縄県における赤土汚染の近況や、今後の課題について報告する。

### 2. 流出源の状況

条例制定前の1993～94年の調査に基づく沖縄県全体の赤土等の年間流出量は約32万tと推定された<sup>1)</sup>。そのうち、開発事業が約6割、農地が約3割、米軍基地が約1割を占めた。これらは沖縄における三大流出源と位置づけられる。流出源ごとに現状や問題点を紹介する。

#### (1) 開発事業

平成8年度の実態調査を基に試算した、条例施行後の開発事業からの赤土等の年間流出量は、条例制定前に比べて1／5に激減している。その要因として、次のことが考えられる。

①全般的に、流出防止対策技術が向上した。対策の主流は、これまでの砂防対策から濁水対策へと変わりつつある。

②ほとんど無対策に近い状態で進められていた泥岩（クチャ）地区の事業が、ここ2年間で有効な対策をとり始めた（クチャは赤土の数倍も出しやすい<sup>2)</sup>）。

③無対策で工事を進めることができた都市区画整理事業等が、対策をとるようになった。

④農地整備事業の面積が減少した。

しかし、平成8年度の現場の対策状況を基に予測すると、その状況下での大雨時の流出濁水濃度が、条例の排水基準である浮遊物質質量（SS）200mg/lを満たし得ると考えられる事業は、安全側でまだ全体の3割程度であるとみられた<sup>3)</sup>。基準達成率を発注者別に比較すると歴然とした差があり、開発事業からの赤土等の流出抑制は発注者側の問題意識によるものが極めて大きいといえる（表1）。

防止対策が有効に機能している事業は、工事発注者が流出防止に熱心であり、現場の工事業者と一体となって防止対策の管理を行なっている。一方、いまだ高濃度濁水を流出している開発事業は、何らかの対策をとっているものの、それがシステムとしてうまく機能していない場合が多い。たとえば、工事の途中で裸地状態なのに沈殿池を埋めたり、池はあってもそこに接続する排水溝が設置されず、実質的に垂れ流し状態の工事現場もみられた。また、今年度に入っても、沈殿池等の対策はとられているが、十分な沈殿処理を行なわないうちに、SSが数万mg/lの濁水を夜間や早朝にポンプアップして放流している公共事業を2例確認した。このような事業では一般的に発注者の問題意識が低く、工事業者に対する指導監督不足の傾向がみられる。今後、開発事業の監視をさらに強化することも大切であるが、発注者や工事業者が流出防止について意識を今以上に高め、自主的に対策に取り組んでいくことが最も重要である。

表1 発注者別赤土条例排水基準達成率

発注者	調査数	達成事業数	達成率
国	6	6	100%
県	59	15	25
市町村	47	13	28
団体	16	4	25
民間	9	1	11
計	137	39	28.5

（平成8年度の防止対策実態より予測）

## (2) 既存農地

畑の表土の流出は、川や海の環境悪化だけでなく、農業にとって最も重要な資源を失うことになる。農耕地からの流出は、裸地状態や植えつけたばかりで作物がまだ小さい時期に、強い雨が重なると顕著になる。1995～96年の調査<sup>4)</sup>では、沖縄県全体における農地からの土壤流出量の半分以上は、全耕地面積の3%にも満たないパイン畑が占めている。パインは4年ほど栽培すると連作障害が起きるので、表土を新しく入れ替える。土地改良された畑では、重機で深く掘り下げ、表土と下層の土を天地返しする。しかし丘陵地を個人で開墾した畑では、6割程度の農家がブルドーザーで表土を50cmほど削りとって谷間に押し込んでいる。削られた表土は、降雨時に川や海を赤く濁らせる。このような畑は、パイン畑全体の36%とみられている。表土を削り取るのを、すべて天地返しに改めると、パイン畑からの赤土流出量は現在の1/3に減少する。さらにススキなどで裸地を覆うマルチングも併用すると、現在の1/30まで減少し、環境への影響は小さなものとなろう。

このように、農地からの赤土流出は、農家の努力次第で改善が可能なものもある。しかし一方で、古い土地改良区では、農家の努力だけでは改善が困難で、今後行政の対応が望まれる部分もある。たとえば、いくつかの改良区では排水系統が集中的な降雨に対応できず、排水路からあふれ出した雨水が鉄砲水となって農地を侵食しており、農地保全のための集排水経路の改良工事が必要である。

農地における対策は、表土を流出させないことが最も確実でコストも安価である。それには、マルチングや、緑肥植物などで表土を覆うカバークロップが有効である（表2）。最近では、農協や村役場を中心に

表2 マルチング（マルチ）及びカバークロップされた畑と裸地の大暴雨時表流水のSS比較

場所・土壌・年月日	時間	作物と状況	対策または畑の状況	SS mg/1
東村車改良区 国頭マージ 1994.1.13	13:55	パイン大株	根の部分をビニールマルチ	79
	13:52	キビ収穫後	キビの葉で全面マルチ状態	流出なし
	14:12	—	耕起して裸地状態	877
	13:40	—	農地造成直後で対策なし	8,250
恩納村赤間改良区 国頭マージ 1995.3.30	10:50	パイン2年株	株間にススキマルチ、流出は作業通路から	317
	10:40	—	全面ススキマルチ、造成後2年放置、雑草	26
	11:00	—	部分ススキマルチ、造成後1年放置、雑草	515
	11:10	—	耕起して裸地状態、畦畔撤去	5,030
豊見城村保栄茂改良区 ジャーガル 1994.7.30	12:00	—	クロタラリアでカバークロップ	流出なし
	13:20	—	土地改良前の裸地	14,400
大里村崩井改良区 ジャーガル 1995.9.21	16:35	オクラ収穫期	ビニールとオクラ枯れ葉でマルチ	流出なし
	16:55	ヘチマ収穫期	台湾産稻わらマルチ	22
	13:40	キビ春植え	キビの下葉を剥いでマルチ	流出なし
	16:20	キャベツ	耕起して植えつけ前の裸地状態	31,400
	13:15	キャベツ	耕起して植えつけ前の裸地状態	14,200
	13:35	牧草	耕起して植えつけ前の裸地状態	8,530

なってマルチングを推進する地域も見られるようになった。しかし、これを個々の農家で行うとするとマルチング資材の調達やコストの問題などを解決する必要がある。今後、農家が必要な時に気軽にマルチングを行なえるようなシステムを行政が中心になって構築し、補助金を交付する制度ができれば、農地からの土壌流出量は減少するものと考えられる。また、作物によってはマルチングが栽培作業等の妨げになる時期もあり、今後の検討課題である。

### (3) 米軍基地

沖縄本島中央部に位置するキャンプハンセン、キャンプシュワブには、砲弾着弾地を含む多数の裸地が散在している。関係者によると、米軍は日本側に対し、基地内での流出防止対策は演習の妨げにならないよう訓練域から離すことを過去に要請したいきさつがあるとのことである。現在、このエリアでは、流出防止のため、基地内に大規模な雨水貯留型砂防ダム（以下、ダム）を23基建設する計画を立て、一部はすでに完成している。ダムは、流出源のすぐ側ではなく、離れた沢や川の支流に建設する傾向がみられる。貯留した赤濁水は条例排水基準のSS 200 mg/l以下に落して放流する計画になっている。しかしダムの建設場所は河川なので、濁水処理の管理基準は条例排水基準より厳しくするのが適切と思われる。たとえば公共用水域の環境基準A～B類型では、SS 25mg/lが示されている。

また、ダムは川の生き物たちの往来を遮断したり、周辺植生を水没させるなどの新たな自然破壊を生み出す。さらに「切り回し」がないため、流出源からの濁水と森林からの清浄な雨水を混合して処理することになり、コストが最も高くつく手法の一つである。ダムの建設計画は4、5年以上も前に立案されたとみられ、現在では当時と比較できないほど流出防止対策技術が進展しているので、ダム建設だけに頼るのではなく、ケースバイケースでの対策の検討を行なうことが望まれる。

## 3. 近年の目新しい事例・動向

### (1) 農用地の放置

農業経済情勢や後継者の問題などにより、農家の耕作放棄が全国的に進行した。沖縄でも、公共事業で造成された農地が放置される光景がよく見られる。現在の土地改良事業では、表土流出を抑制するため畑の勾配を緩やかにし、段々畑に似た構造で農地を造成している。地理学的な見方をすると、人為的に不安定に造成された地形は、いずれ安定な地形になるまで侵食される運命にある。耕作放棄などで農地が長期的に放置されると、山地に造成した農地は侵食され、巨大な赤土流出源になりかねない。今後の農業経済の動向によつては、定期的な監視やメンテナンスが必要になるであろう。

実際に、公共事業で造成された牧草地が、侵食されるまま数年間も放置される例があった。巨大な侵食溝が2本でき、1994年の試算では、ドラム缶に換算して34,000本、重さにして1万tくらいの赤土がこの牧草地から流出していた。

### (2) バブル経済

バブル経済崩壊の影響もある。大宜味村大保川の流域では、ゴルフ場造成のため山の頂上を広大に切り開いたのだが、資金の回転に行き詰まって造成工事がストップし、裸地のまま数年も放置されている場所がある。造成地には大きな侵食溝がいたるところにみられ、赤土流出防止対策の池などは埋まっており、莫大な量の赤土が流出するのは時間の問題とみられる。ここから流出する土砂は、現在建設中の国営大保ダムに堆積することになる。

### (3) 地下水の汚濁

沖縄本島南部の糸満市米須では、濁った地下水が海域に流出する<sup>5)</sup>。このあたりの地層は、丘陵部が灰色の泥岩で、海岸近くは泥岩の上に琉球石灰岩が重なっている。米須海岸では豊富な地下水が湧出し、潮溜りから外海へと流れ出ている。丘陵部の土地改良区の沈砂池（浸透池）のすぐ側には鍾乳洞（地下水脈）があり、大雨時の農地表流水は沈砂池を経て、石灰岩の割れ目などから鍾乳洞へと流出する。鍾乳洞は米須海岸

方面へつながっているといわれており、海岸線から濁った地下水が吹き出す。

雨が100mm以上まとまって降り、地下水位が上がると、海岸近くの3つの洞窟から、クチャやジャーガルが混入しているとみられる灰色混じりの濁水が大量に湧出する。濁水は側溝を溢れ、下流の農地を侵食して濁りを増幅し、排水溝から米須海岸に隣接する大度礁池へと流出する。そのSSは3,000 mg/l以上に達し礁池を全面的に濁らせたこともある。この一帯では、地下ダム建設が海岸線添いに進められている。地下ダム建設で地下水位が上昇すると、これまで問題のなかった降雨量でも洞窟から濁水が湧出する可能性がある。その結果、礁池へ頻繁に濁水が流出するようになり、また礁池内の塩分濃度低下も招き、サンゴに悪影響を及ぼす可能性も考えられる。

#### (4) 海の蘇生

1988年から恩納村の赤瀬海岸で定点を設け、礁池の赤土堆積状況やサンゴの成長などを継続観察している。観察を始めて3年間は海岸の隣で大規模開発が行なわれており、事業現場からの濁水は観察地点に流れ込み、海底は赤土で覆いつくされた。この間、直径1m以上もあるテーブル状サンゴが、赤土を被って死んでいく様子が観察された。また、周辺海域では、海底岩盤でのサンゴの成育はほとんど見られなかった。工事が終了して3年たった1994年、周辺海域の海底ではこぶし大のサンゴの成育が確認されるようになった。現在、透明度の良さの指標サンゴである枝状ミドリイシの仲間がいたる所で急速に成長し、直径は数十cmにも達している。

前述の、放置された牧草地から流出した大量の赤土は、川を経て沖縄県の赤土定点観測海域に流出した。梅雨の後は赤土が海底を厚く覆い、台風や季節風の波浪で浄化され、翌年の梅雨でまた堆積するという年間サイクルが見られた。時期は不明だが、草地の侵食溝に対して流出防止対策がとられ、1996年から測定地点での赤土堆積は見られなくなった。今年(1997)の観察では、岩礁に新たなサンゴの成育が確認され、今後の回復が期待される。

#### 4. おわりに

1980年代の沖縄は、足がめりこむほど赤土等で覆われた海域がいたるところに散在していた<sup>8)</sup>。しかし現在では、このような光景はかなり少なくなった。たしかに現在でも濁水は海へ流出しているが、赤土等が海底に厚く堆積し、広範囲に深刻な影響を与えるような現象は大幅に減少している。流出防止対策の主流も、これまでの全国一律的な砂防対策から、濁水対策へと大きく転換した。監視指導する立場の環境行政も、条例というよりどころができる指導しやすくなった。しかし、これで問題が解決したわけではない。赤土汚染を防止し、美しく透明に輝く海を取り戻す戦いは、条例という武器を得て、ようやく今、第一歩を踏み出したに過ぎない。

#### <参考文献>

- 1) 比嘉榮三郎・他 (1995) 沖縄県における年間土砂流出量について、沖縄県衛生環境研究所報、第29号。
- 2) 大見謝辰男・他 (1995) クチャ(島尻層群泥岩)の流出についての調査研究、沖縄県衛生環境研究所報第29号。
- 3) 満本裕彰・他 (1997) 開発事業における赤土等流出防止対策の現状について、第28回沖縄県衛生監視員研究発表会抄録。
- 4) 比嘉榮三郎・他 (1996) パインアップル畑からの土砂流出量について、沖縄県衛生環境研究所報、第30号。
- 5) 比嘉榮三郎・他 (1996) 濁水による地下水汚染と流域解析、沖縄県衛生環境研究所報第30号。
- 6) 大見謝辰男・他 (1992) 沖縄県内各地の海域における赤土汚染の現状(第2報)、第23回沖縄県衛生監視員研究発表会抄録。

## 15 開放型フィルターを用いた限界流量に対する濁度試験

徳山工業高等専門学校 正員 藤原 東雄 正員 上 俊二  
 同上 正員 ○福田 靖 正員 桑嶋 啓治  
 (株) 多機能フィルター 常村 忠生

1. はじめに

沖縄島北部は傾斜地が多く、谷密度が高く、河川が短く、さらに受食性の高い国頭マージ（以下赤土という）が広く分布している。そのため、裸地化すると土壤侵食により赤土が海域へ流出し、さまざまな被害をもたらしている。また赤土流出問題のためあまり目立ってはいないが、沖縄島南部の南風原泥岩（以下クチャという）も同様の被害をもたらしている。そこで本報告ではこれらの試料を用いて、斜面保護工法の一つである開放型フィルターで保護し越流実験を行い、赤土流出防止条例での規定（流出が許されている水の濁度 200ppm）以下であるか考察する。

2. 実験概要

試料を図-1 のような形状で盛土して固める。斜面先端部は弱いので蛇籠で補強し、フィルターで保護した斜面上部から一様に流れる流量  $Q$  の水を流し（オーバーフロー）、斜面が侵食されるまで徐々に流量を上げる。斜面が侵食されるとフィルターが波打ち始める。このときコンデンスマイルクを流して流速を測定し、そのときの流量をフィルターの耐えられる限界流量とする。斜面勾配を 10, 20, 30 および 40° でそれぞれ行い、斜面先端部より流出してきた水を 1リットル採取し、その

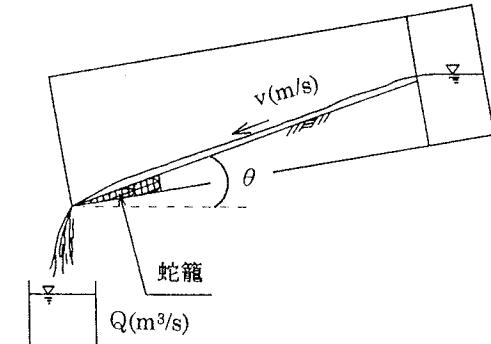


図-1 斜面形状

水の濁度を測定する。測定は限界流量を 1 としたときの 1/2, 3/4 の流量および限界流量と限界流量で 15 分間放置したものについて行った。クチャについては、水道水の限界流量および 1/2, 3/4 の流量について同様に濁度を測定した。

3. 実験結果と考察

それぞれの勾配での限界流量と流速を表-1 に示す。これより斜面の勾配と限界流量が反比例の関係になっている。ここで限界流速はほぼ一定である。つまり急勾配になるほど少ない流量で限界流速に達しフィルターの性能が限界に達することが分かった。

表-1 実験結果（赤土） 単位幅 0.6m

$\theta$	$i^{1/2}$	$Q(m^3/s)$	$V(m/s)$	$A(m^2)$	$h(m)$	$n$
10	0.420	$3.86 \times 10^{-4}$	0.10	$3.50 \times 10^{-3}$	$5.83 \times 10^{-3}$	0.13
20	0.603	$2.96 \times 10^{-4}$	0.11	$2.96 \times 10^{-3}$	$4.93 \times 10^{-3}$	0.16
30	0.760	$2.43 \times 10^{-4}$	0.11	$2.70 \times 10^{-3}$	$4.50 \times 10^{-3}$	0.22
40	0.916	$2.31 \times 10^{-4}$	0.10	$2.31 \times 10^{-3}$	$3.85 \times 10^{-3}$	0.22

ここでマンニングの公式に当てはめると次のようになる。

$$Q = A \times V \quad (A: \text{断面積}) \quad (1)$$

$$V = R^{2/3} \times i^{1/2}/n \quad (R: \text{径深}) \quad (2)$$

$$R = A/S \quad (S: \text{潤辺}) \quad (3)$$

であるから  $(n: \text{粗度係数})$

$$Q = A^{5/3} \times i^{1/2}/n \quad (i: \text{勾配}) \quad (4)$$

となる ( $S: \text{単位幅 } 1\text{m} \text{ とする}$ )。

表-2 換算降雨量 ( $\theta = 30^\circ$ ) 単位幅 1m

試料		赤土	クチャ
限界流量 $Q(m^3/s)$		$4.39 \times 10^{-4}$	$7.00 \times 10^{-4}$
降雨量	斜面長 2.2m	717.6	1910
(mm/h)	斜面長 10m	160	420

表-3(a) 濁度試験結果-(赤土) 単位 ppm

$\theta$	流量 Q			流速 v (m/s)	
	1/2	3/4	1		
10	50	80	150	250	0.10
20	30	100	840	930	0.11
30	80	100	480	1010	0.11
40	30	190	2380	2690	0.10

表-3(b) 濁度試験結果-(クチャ) 単位 ppm

$\theta$	流量 Q			流速 v (m/s)	
	1/6	1/4	1/3		
10	80	70	80	130	0.10
20	80	100	100	140	0.11
30	90	50	100	20	0.11
40	10	40	50	70	0.10

n は、平均をとって 0.2 とすると限界流量の式は

$$Q = A^{5/3} \times i^{1/2} / 0.20 \quad (5)$$

で表される。

勾配と水深は比例関係になる。これから斜面の勾配が決まれば水深が決まり断面積が決まってくる。よって式(5)より任意の勾配の限界流量が決まる。この式により、勾配 30° における限界流量を求め、その値を降雨量に換算すると表-2 で示すとおりになる。

限界流量以下の流量について、水の濁度は 200ppm 以下でなくてはならない。実験結果から表-3 に示すように、赤土、クチャのいずれも規定内(クチャについては限界流量の測定が不可能であったが、水道の限界での濁度がその規定以下)であった。ゆえに、開放型フィルターは赤土およびクチャに対してその効果を十分に發揮している。また、 $\theta=40^\circ$  のとき赤土は  $Q=2.31(\text{m}^3/\text{s})$  で崩壊しているが、クチャは  $Q=7.00(\text{m}^3/\text{s})$  でも崩壊していない。クチャは赤土の限界流量の少なくとも 3 倍以上の侵食強さがあるといえる。このことは図-2 に示すように、クチャは粘着力 c が赤土の約 4 倍である。

締固められたクチャは粘着力により赤土よりも侵食に強い。しかし、クチャが侵食され流出したときの水の色は、水自体の色とあまり差がないためかなり流出した場合でも、透明な水の色をしているが 100ppm 前後の濁度であった。

#### 4. あとがき

開放型フィルターを用いて斜面保護をし越流実験を行い、以下のことが明らかとなった。

- (1)限界流量を降雨量に換算して、斜面長 10m において限界降雨量は赤土で 160mm/h、クチャで 420mm/h である。
- (2)開放型フィルターは、斜面上を流れる水の流速緩和に優れている。
- (3)限界流量以下の流量のとき、流出する水の濁度は、条例で規定されている 200ppm 以下であった。
- (4)赤土とクチャの実験結果の相違は、粘着力の差にあり、赤土はクチャより低く、侵食に対して弱い。

#### 5. 参考文献

- ・山田一郎、岡本勝男、今川俊明、福原道一、喜名景秀：沖縄島北部の珊瑚礁の表層堆積物への赤土砂流出の影響、pp.33-39.

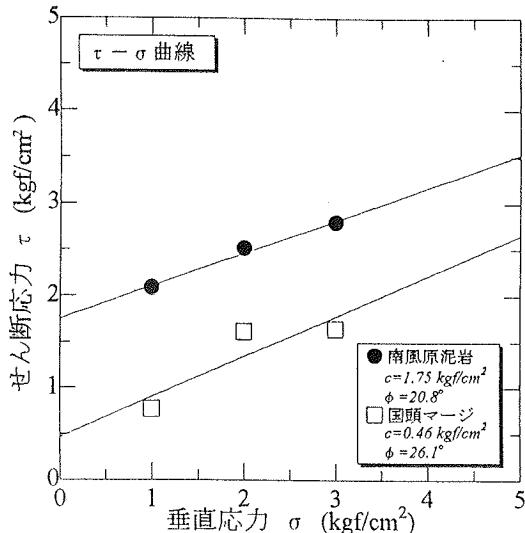


図-2 一面せん断試験結果

## 16 赤土濁水による不織布シートの透水性変化に関する室内実験

琉球大学大学院

○鄭 明亮

琉球大学工学部 上原 方成

原 久夫

同 上 秋田 雄一郎, 野原 博豪

## 1. はじめに

沖縄本島北部地域には「国頭まあじ」と呼ばれる変成岩風化残積土層が分布している。その分布地域は、山地から海岸域にいたる傾斜地をなしている。したがって、強風雨などの気象条件による土粒子の移動、侵食を受けやすく（土砂による表土層剥離状態）、リル侵食（強雨によって細流型に細粒土流失）、ガリ侵食（集まつた水により大きな溝型に発展帶状に土流出）がある。沖縄諸島での降雨は本土より多く、侵食された土砂は短く急な勾配の川から一挙に海へと流れ出る。この赤土流出問題は、今や大きな社会問題でもあり農業、水産業、そして観光産業へのダメージも大きく、国土保全の観点からも放置できない状況に至っている。これに対し、沖縄県では平成7年10月から「赤土等流出防止条例」が発効し、その効果が期待されているが、農業基盤整備、公共工事、リゾート等開発事業の諸工事進捗とのからみで困難な局面にある。今後地域開発事業等においては、自然との調和を図りつつすすめでことが重要であり、赤土流出防止対策に最大の努力を払うことが必要である。

沖縄本島北部の赤土砂地帯における土砂流出は、主に農地開発や道路建設及びダム建設等の土地の改変に伴う侵食及び崩壊により起きる。降雨時の裸地面の表流水を貯留し赤土砂粒子を沈降・捕捉するために防止施設（沈砂池等）が設置される。濁水貯留処理施設の仕切堤では割石及び砂による濾過堤の表面を不織布シート材料で覆うことが多い。赤土条例では貯留した赤土砂濁水の排出はSS濃度が200mg/l以下になった時行うこととしている。赤土砂流出防止を目的として、透水性に優れた不織布シート（ポリプロピレン繊維熱圧着シート）を用いると赤土砂濁水に対して高い過効果が期待できる。不織布シートを赤土等流出防止対策用のフィルターとして使用する場合には、濁水の透過により表面に赤土が付着し、付着した赤土が更に微細な粒子を捕捉する効果を発揮すると考えられるが、時間の経過で赤土の付着目詰まりによる透水性の低下が懸念される。濁水の透過量と不織布シートの透水性の関係は、沈砂池などの設計業務に必須であるにもかかわらず不明な点が多く残されている。

本実験では、不織布シートの透水係数測定を行ない、赤土の濁水による目詰りに伴う透水性能の低下過程の評価を試み、種々の不織布シート材料に対する透水試験により、赤土砂水の透過による透水性の変化を調べた。その結果の一部を今回報告する。

## 2. 透水性実験における材料の基本的性質

## (1). 基本物性

不織布シートは、強度・耐久性、透水性に優れ、しかも超軽量で施工性に富み、土木工事のあらゆる局面に対応できるジオテキスタイル、ポリプロピレン

100%のヒパンボンド不織布であり、その物性値（メーカー提示）を表-1に示す。

表-1 不織布シートの基本物性（メーカー提示）

物性	単位	#3301	#3401.	#3601
引張強度 縦×横	Kgf/2.5cm	55×55	60×60	100×100
引張伸度 縦×横	%	60×60	60×60	60×60
引裂強度 縦×横	Kgf	22×22	33×33	55×55
透水係数	c m/sec	$1.7 \times 10^{-2}$	$1.2 \times 10^{-2}$	$2.4 \times 10^{-3}$
重量	g / m <sup>2</sup>	100	135	200
厚み	mm	0.38	0.47	0.56

## (2). 赤土試料の物理的性質

土の物理的性質の試験結果を図-1、表-2に示す。

### 3. 実験概要

この実験は、赤土の付着による透水性の低下について調べるために、室内定水位透水実験を行った。

#### (1). 実験装置と方法

本実験の目的である赤土砂濁水の透過量と透水性の関連性を定性的に調べるために新しく装置を作成して行った。図-2は実験装置の概略図である。図に示すように、不織布シート材料は2枚の有孔鋼板間に挟まれており、所定の濃度に調整された濁水は、有孔部を通して流出する。その流出した濁水量は3秒、5秒と10秒おきにパソコン制御で測定、記録される。

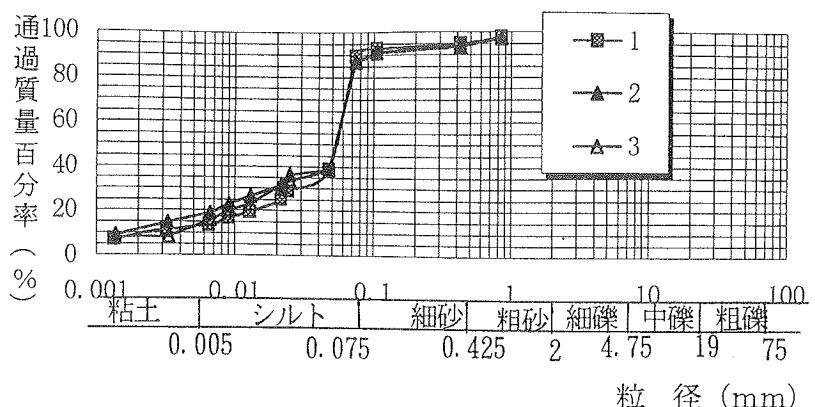


図-1 供試体の土の粒径加積曲線

表-2 試料土の概要

#### (2). 実験条件

四つの条件を変えて試験を行った。

- ① 赤土砂濁水の濃度: 0ppm(水道水), 2000ppm, 5000ppm, 10000ppm.
- ② 水頭差:  $\Delta H_L = 43$ ,  $\Delta H_M = 73$ ,  $\Delta H_H = 103$ cm.
- ③ 不織布シートの透過面積: 0.196, 1.764, 4.116cm<sup>2</sup>
- ④ 不織布シートの材質: #3301, #3401, #3601.

試験は、濁水の濃度、与える水頭勾配、フィルター材、透過面積をそれぞれ上に示す通り設定し、各々の組み合わせによって実施している。

#### (3). 透水係数の解析

ダルシー則を適用して、透水係数は下式で表される。

$$k = \frac{v}{i} = \frac{\frac{1}{A} \frac{Q}{t}}{\left(\frac{\Delta H}{L}\right)} \quad (1)$$

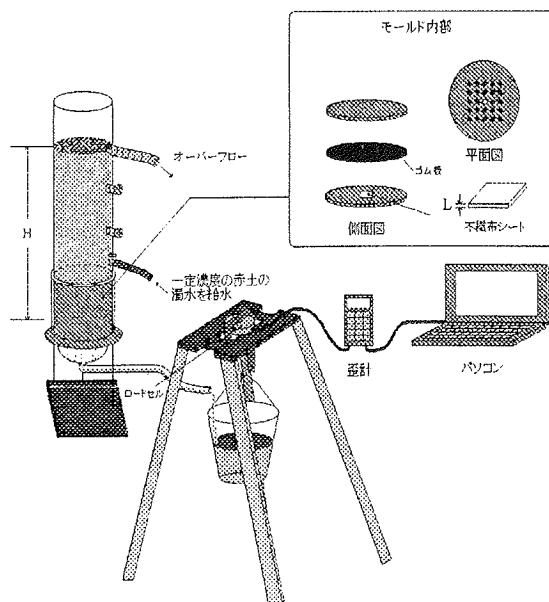
ここで:

k:透水係数(cm/s) v:流速(cm/s)

Q:濁水透過量(cm<sup>3</sup>) L:不織布シート材厚(cm)

A:不織布シート透過面積(cm<sup>2</sup>)  $\Delta H$ :水頭差(cm)

	砂分	シルト分	粘土分
No 1	12.0%	75.5%	12.5%
No 2	14.1%	68.9%	17.0%
No 3	14.9%	72.6%	12.5%
土粒子の密度	液性限界	塑性限界	塑性指数
2.687(g/cm <sup>3</sup> )	34.2(%)	18.7(%)	15.5(%)



#### 4. 実験結果と考察

本実験の結果と考察は、不織布シート自体透水係数及び赤土濁水が透過する時の透過水量と透水係数の関係の二グループに分ける。

##### (1). 不織布シート自体の透水係数測定

不織布シート自体による透水係数の測定結果は表-3に示す通りである。不織布シートの透水係数の値は  $1.48 \times 10^{-2}$  ~  $2.7 \times 10^{-3}$  (cm/s) であった。不織布シート自体の透水性は良好である。これらの結果は、メーカによって測定された透水係数とほぼ同じ値となっている。

##### (2). 赤土濁水が透過する時の透水係数

図-3は赤土濁水の透過時間と透過水量の関係を示している。透過流量は、不織布シートの単位面積当たりの透過量である。図に示すように赤土濁水濃度が異なると透過水量も違ってくる。透過直後についてみると、特に通水初期においてその傾向が顕著である。しかし、その後30分時間透過水量の差は減少し、約1時間後には通水量の差があまり見られなくなっている。

不織布シートの開口孔径は、図-4から0.1~0.5mmの範囲にあり、非常に小さい径であり、高濃度濁水が透過するときには、その目詰まりは早い時期から生じている。逆に低濃度濁水の場合には、ゆっくり目詰まりする。

図-5は、赤土濁水が透過することによる透水係数の低下を示す一例であり、図に示すように透過後十分に時間が経過すると、不織布シートの透水性は、透過量が増えても透水係数はあまり低下せず、ある一定値を取るようである。それらの結果を表-4に示す。

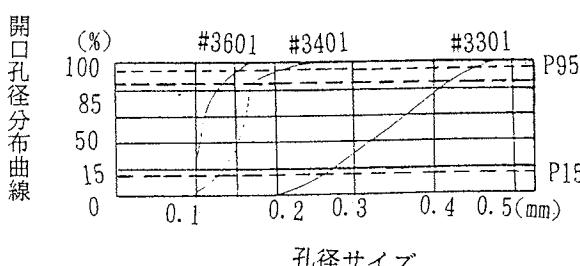


図-4 不織布シートの自体開口孔分布曲線図

(メーカー提示)

表-3 シート自体の透水係数

材料		#3301		#3401		#3601	
水道水 (0ppm)	水頭	透水係数(cm/s)	水頭	透水係数(cm/s)	水頭	透水係数(cm/s)	
透水断面積 (cm <sup>2</sup> )	0.196	$\Delta H_L$ $\Delta H_M$ $\Delta H_H$	$1.25 \times 10^{-2}$ $1.22 \times 10^{-2}$ $1.02 \times 10^{-2}$	$\Delta H_L$ $\Delta H_M$ $\Delta H_H$	$1.48 \times 10^{-2}$ $6.05 \times 10^{-3}$ $7.82 \times 10^{-3}$	$\Delta H_L$ $\Delta H_M$ $\Delta H_H$	$6.44 \times 10^{-3}$ $4.04 \times 10^{-3}$ $2.71 \times 10^{-3}$
	1.764	$\Delta H_L$ $\Delta H_M$ $\Delta H_H$	$1.02 \times 10^{-2}$	$\Delta H_L$ $\Delta H_M$ $\Delta H_H$		$\Delta H_L$ $\Delta H_M$ $\Delta H_H$	$7.63 \times 10^{-3}$ $6.37 \times 10^{-3}$ $5.32 \times 10^{-3}$
	4.116	$\Delta H_L$ $\Delta H_M$ $\Delta H_H$	$3.11 \times 10^{-3}$	$\Delta H_L$ $\Delta H_M$ $\Delta H_H$		$\Delta H_L$ $\Delta H_M$ $\Delta H_H$	$7.62 \times 10^{-3}$ $6.23 \times 10^{-3}$ $5.523 \times 10^{-3}$
単位 (cm/s)		加積平均透水係数 $8.683 \times 10^{-3}$		加積平均透水係数 $8.872 \times 10^{-3}$		加積平均透水係数 $5.523 \times 10^{-3}$	

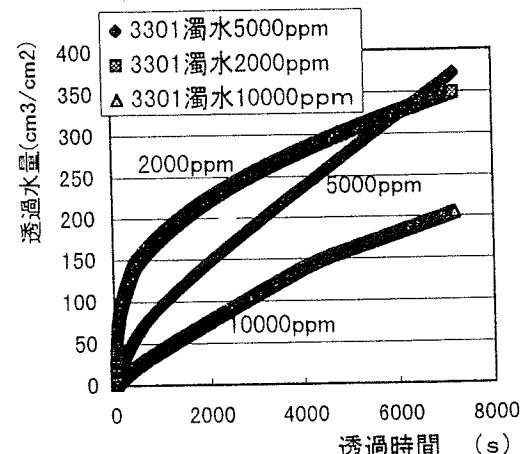


図-3 赤土砂濁水濃度の違いによる透水時間と透過水量

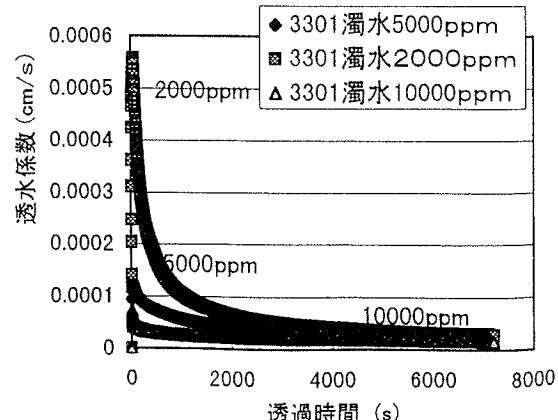


図-5 透過時間と透水係数

そこで長期(この実験では 24 時間の透過時間)にわたる透過実験を行い、不織布シートの最終的な安定状態について調べる実験を行った。図-6 は長期透過実験結果の一例であり、透水係数は初期で大きく低下した後  $10^{-5}$ (cm/s)程度の一定値に落ち着くことが確認できた。

濁水透過流量あるいは目詰まり土量による透水性の低下は、フィルター材としての役割を弱めるため、実際の使用にあたっては、不織布シートを目詰まり防止のために、粒径 0.5mm 以上の中粗砂質層を置くなど何らかの対策が望まれる。

表-4 赤土砂濁水が透過する時の透水係数(透過断面積 4.116cm<sup>2</sup>のケース)

材料 条件	#3301			#3401			#3601		
	水頭	透水係数(cm/s)		水頭	透水係数(cm/s)		水頭	透水係数(cm/s)	
		初期の透水係数	一定の透水係数		初期の透水係数	一定の透水係数		初期の透水係数	一定の透水係数
濁水濃度 2000 ppm	$\Delta H_L$	$6.1 \times 10^{-4}$	$2.22 \times 10^{-5}$	$\Delta H_L$	$3.4 \times 10^{-4}$	$3.2 \times 10^{-5}$	$\Delta H_L$	$1.8 \times 10^{-4}$	$2.1 \times 10^{-5}$
	$\Delta H_H$	$2.1 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-5}$	$\Delta H_H$	$1.3 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-5}$	$\Delta H_H$	$1.5 \times 10^{-4}$	$2.2 \times 10^{-5}$
濁水濃度 5000 ppm	$\Delta H_L$	$1.4 \times 10^{-4}$	$2.22 \times 10^{-5}$	$\Delta H_L$	$9.4 \times 10^{-5}$	$3.0 \times 10^{-5}$	$\Delta H_L$	$8.0 \times 10^{-5}$	$2.6 \times 10^{-5}$
	$\Delta H_H$	$9.8 \times 10^{-5}$	$2.8 \times 10^{-5}$	$\Delta H_H$	$7.6 \times 10^{-5}$	$4.2 \times 10^{-5}$	$\Delta H_H$		
濁水濃度 10000 ppm	$\Delta H_L$	$9.8 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-5}$	$\Delta H_L$	$8.5 \times 10^{-5}$	$3.2 \times 10^{-5}$	$\Delta H_L$	$7.5 \times 10^{-5}$	$3.6 \times 10^{-5}$
	$\Delta H_H$	$1.3 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-5}$	$\Delta H_H$	$7.2 \times 10^{-5}$	$3.1 \times 10^{-5}$	$\Delta H_H$	$7.2 \times 10^{-5}$	$2.2 \times 10^{-5}$

## 5.まとめ

本実験で、赤土砂濁水の透過による不織布シートの透水係数低下を定量的に調べることができた。その結果をまとめると以下のようである。

- 1 赤土濁水の透過流量が増加すると、不織布シートの透水性は初期階段で大きく低下するが、十分に時間が経過すると透水係数は一定となる。これを利用すれば、透過流量を考慮した沈砂池の容量にからめた不織布シートの適正な設計が可能である。
- 2 透水性の低下は急激に起るので、施工及び沈砂池等の維持管理において何らかの工夫が必要である。

今後の課題として、不織布シートの種類、赤土の種類などを変えた実験を行うこと、砂層との併用効果確認などがある。今後実際の現場においても求められた透水係数が適用可能かについて実証実験を行う予定である。

謝 辞：実験に用いた不織布シートは(資)導プランニングより提供していただきました。記して感謝を表します。

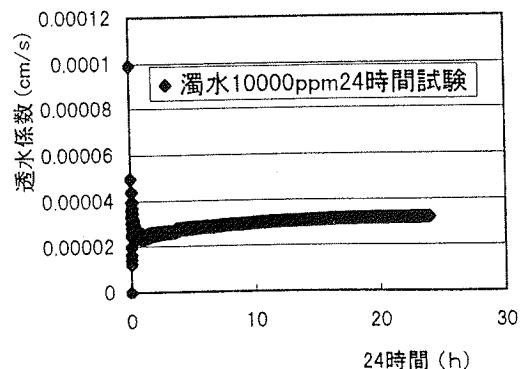


図-6 24時間透水経過と透水係数

## 17 沖縄本島における軽量盛土工法による施工事例について

沖縄県北部土木事務所  
 積水化成品工業（株）  
 積水化成品工業（株）  
 岡三興業（株）  
 （財）沖縄県建設技術センター

○ 赤嶺 久雄  
 上山 啓太  
 江尻 曜太  
 喜納 源太  
 松島 良成

## 1. まえがき

軟弱地盤上に構造物を設計する場合、その地盤や構造物に応じて、適当な処理工法を施す必要がある。軟弱地盤対策は大きく分けて次の6つの工法に分類できる。

1) 荷重軽減工法

2) 置換工法

3) 圧密・排水による工法

4) 締固めによる工法

5) 固結・熱処理

6) 補強による工法

そこで今回 1) に分類される、発泡スチロールブロックを用いた盛土により対策した事例を報告します。

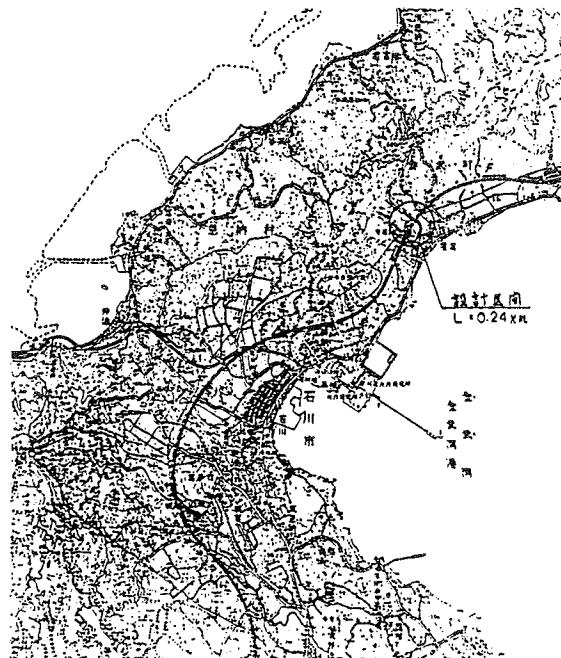


図-1 位置図

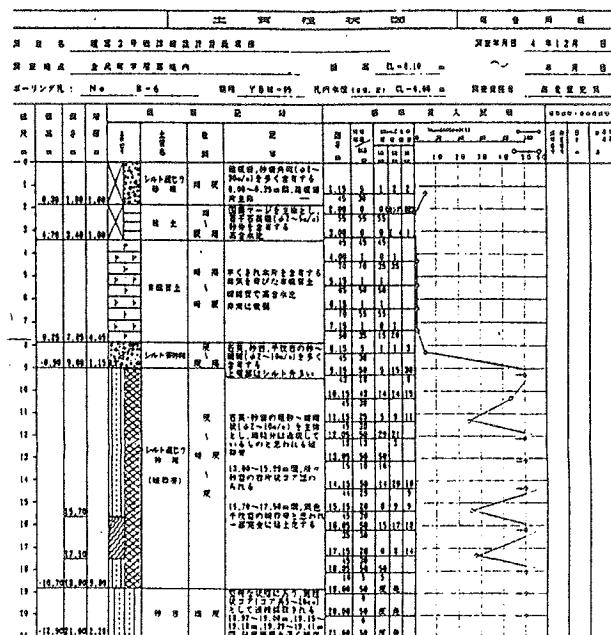


図-2 土質柱状図

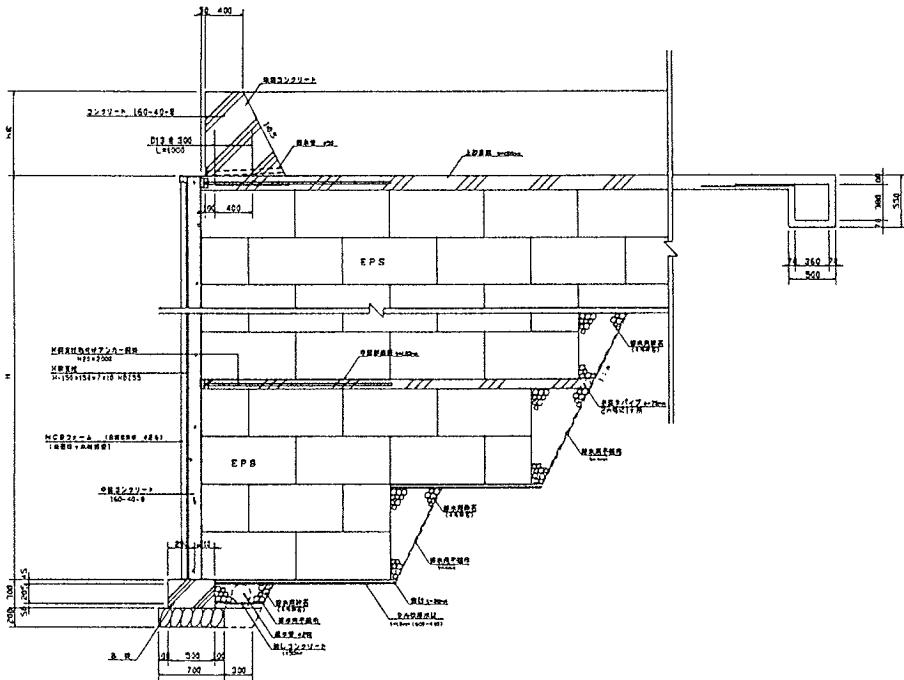
## 2. 設計および施工の概要

施工箇所は、図-1 に示すように沖縄島中北部恩納村～金武町東西に位置する主要地方道屋嘉恩納線である。

当施工区間は、有機質土（ピート層）が3.40～7.85m 層厚4.45m が堆積していて、非常に軟弱な地盤であることから何種類かの対策工が提案された。当初、深基礎混合処理工法を対策工法として計画していたが、しかし、混合土の試験練りを実施したところ、設計強度が得られなかった。（図-2）参照

そこで、当初の設計盛土高を変更せずに構造物を安定させる工法として、荷重軽減

工法を採用するに至った、荷重軽減工法は、盛土や覆土の材料として軽量材を用い、安定を確保し沈下を低減するものである。今回は、発泡スチロールブロックを盛土材として用いた工法（E P S 工法）である。（図-3）参照



### 図-3 標準断面図

### 3. EPS工法の概要

E P S 工法の特性としては、単位体積重量が土砂の1/100という超軽量性に優れていて、人力での運搬や設置が十分可能である上にトラフィカビリティーが不足する軟弱地盤上においてもE P S 施工は極めて迅速に行えることから、急速施工では有効である。また、E P S 単位体積重量によって変化するが、弾性領域における許容圧縮強度は、盛土材としての適用が十分可能である。さらにE P S を直立に積み上げた自立面が形成され、その上に載荷重が作用した場合での速報への影響は極めて小さい。

以上の結果から、E P S工法が当現場においては効果的である事が理解できる。

#### 4. まとめ

今回、EPS工法を採用した結果、施工概要として、EPS工法はなるべく現地盤の掘削量を極力減らし地山を段切りする程度に止め、約2800m<sup>3</sup>を施工する事とし、95年1月下旬に着工し端部工、壁面上、法面工も含め95年3月中旬に終了した。

以上の結果から急速施工に向け、かなりの工期短縮につながったと考えられる。また、沖縄本島には貴重な動植物や珊瑚などが多く生息しており、地山掘削による森林抜粋や赤土流出量低減する事により、環境保護につながる。

## 沖縄地盤工学研究会員

会長	上原 方成	琉球大学工学部
副会長	新城 俊也	琉球大学農学部
	宜保 清一	琉球大学農学部
	小波蔵 政良	株式会社 沖技
委員	安里 昭	オパス 株式会社
	石川 秀夫	財団法人 沖縄県建設技術センター
	加藤 進	琉球大学工学部
	川村 正信	浦添市
	喜納 源太	岡三興業株式会社
	下地 康之	株式会社 ソイル開発
	新垣 健二	株式会社 沖縄建設技研
	平良 聰	株式会社 沖技
	千村 次生	沖縄県地質調査業協会（梶谷エンジニアリング(株)）
	原 久夫	琉球大学工学部
	宮城 統	沖縄県土木建築部技術管理室
	宮城 富夫	上城技術情報株式会社
	吉沢 光三	株式会社 清光研究所
	与那嶺 肇	株式会社 大富建設コンサルタント
	与那嶺 満	応用地質 株式会社

## 広 告 目 次

### 会 社 名

(株) 朝日建設コンサルタント	1
(株) アジア測量設計	1
旭エンジニアリング(株)	1
(株) 岩下建技コンサルタント	2
(株) 大城組	2
(株) 大富建設コンサルタント	2
大野産業(株)	3
(株) 大久組	3
応用地質(株)	3
岡三興業(株)	4
(株) 沖技	4
(株) 沖縄維持開発	4
沖縄基礎(株)	5
(資) 沖土質コンサルタント	5
オパス(株)	5
(株) 沖縄建設技研	6
(株) 沖縄土木設計コンサルタント	6
(株) 沖縄物理探査	6
(株) オモト建設コンサルタント	7
錦城護謨(株)	7
(株) 協和建設コンサルタント	7
(株) 鴻池組	8
(株) 国場組	8
(株) 芝岩エンジニアリング	8
上城技術情報(株)	9
(株) 誠研舎	9
(株) 清光研究所	9
(株) ソイル開発	10
(株) 大栄組	10
(株) 大東エンジニヤリング	10
(株) 東京ソイルリサーチ	11
(株) 匠エンジニヤリング	11
(株) 中央建設コンサルタント	11
(株) 日興建設コンサルタント	12
日本深層地盤改良協会沖縄支部	12
不動建設	12
(有) 三角エンジニアリング	13
三井石化産資(株)	13
蝶理(株)	13
(有) ホープ設計	14
琉球セメント(株)	14
琉建設計(株)	14
新構造技術(株)	15
奥村組土木興業(株)	15
(有) 沖縄地盤調査	15

営業 { 土木に関する企画・調査・測量・設計  
種目 { 施工管理・土質調査・業務全般



株式会社 **朝日建設コンサルタント**

代表取締役 友利徹夫 専務取締役 島田信明  
常務取締役 比嘉武光 取締役部長 大島大山

〒901-21 沖縄県浦添市城間3丁目9番1号  
☎ (098)877-9110(代表)

### 測量・建設・補償コンサルタント業

- ◆測量全般 ◆都市計画 ◆区画整理
- ◆土木設計 ◆上下水道 ◆農業土木
- ◆補償業務 ◆土質調査 ◆施工管理



株式会社 **アジア測量設計**

代表取締役 松川清康

本社 〒901-21 沖縄県浦添市牧港4丁目4番5号  
電話 (098)877-6738(代表)  
FAX (098)879-6607

《人と環境にやさしく大地にたくましい旭の土木資材》

～信頼の高い技術で地域に貢献～

● **パブリックドレーン**  
砂・碎石に代わる板状両面排水材

● **アスファルトメッシュ**  
超軟弱地盤補強用

● **Tybar タイバー**  
土木用地盤安定シート・土木用フィルター材

● **マリンポニゴル。**  
護岸用防砂シート

**旭化成ケループ**

**旭化成シニアリング株式会社**

建設資材グループ

〒108 東京都港区港南4-1-8

Tel.(03)5462-4612 Fax.(03)5462-4622



土木・農業土木・調査、測量、計画  
設計・土質・地質調査・施工監理  
補償コンサルタント業務

## 株式会社 岩下建技コンサルタント

代表取締役 下地 巖 取締役専務 仲本政功  
取締役常務 長堂嘉光

本 社 〒901-21 沖縄県浦添市字前田1529-1  
☎(098)879-6489(代)・FAX(098)877-0478  
宮古営業所 〒906 沖縄県平良市下里1338-2  
☎(09807)2-6906



## 株式会社 大城組

代表取締役社長 大城 武男  
代表取締役専務 上原 和雄

本 社／沖縄県浦添市勢理客二丁目11番1号  
〒901-21 ☎(098)877-3625  
東京事務所／東京都千代田区平河町1丁目8番2号  
山京半蔵門パレス302号室  
〒102 ☎(03)3237-0813



## 株式会社 大富建設コンサルタント

代表取締役社長 上原 武雄  
専務取締役 与那嶺 肇  
常務取締役 高江洲一宏

本 社／〒901-21 沖縄県浦添市城間4丁目14番6号  
電話 (098)877-8221(代表)  
FAX (098)877-8260

限りある資源をリサイクル、沖縄の美しい自然を守り、産業発展に貢献する。

粒調再生路盤材 ホワイトコーラル® 「製造装置及び製品特許登録」



# 大野産業株式会社

代表取締役 當野 幸盛

たから工場(ホワイトコーラル製造) 東風平町字高良267-2番地 ☎098-998-3065(代)

ホワイトコーラル総販売元 (有)オリジン物産 (たから工場内)

☎098-998-9807

本社(生コン工場)

南風原町字新川345番地

☎098-889-4303(代)

特殊技術で県土を築く総合建設業



# 株式会社 大久組

代表取締役 照屋 錦

本社: 浦添市勢理客555番地の2

☎ (098) 876-5680

FAX (098) 876-9656

那覇営業所: 那覇市港町2丁目2番地の3

☎ (098) 868-5180



人類の新しい創造力は、大地を知る技術  
から生まれます。未来へ向けての、とても  
重要なテーマに取り組む応用地質です。

これから、ますます。



応用地質株式会社

〒102 東京都千代田区九段北4-2-6 TEL(03)3234-0811

九州支社: 〒816 福岡市南区井尻2-21-36 TEL.092-591-1840 沖縄営業所: 〒901-21 沖縄県浦添市伊祖3-4-12 TEL.098-879-4956

土木資材、新工法のパイオニア

# 岡三興業株式会社 沖縄営業所

〒900 那覇市久茂地2丁目9-7 住友生命那覇久茂地ビル6F

☎098-862-6280 FAX098-862-6251

【景観商品】

- ・ロックキーステージ(人工岩)
- ・サニーウッドハイコン  
(永久自然木)
- ・モニュメント
- 【盛土工法】
  - ・多数アンカー(垂直擁壁)
  - ・ウェブソル(垂直擁壁)
  - ・EPS(軽量盛土)
  - ・テンサー(ジオグリッド)
- 【軟素材】
  - ・CPドレーン(繊維透水管)
  - ・ローマット
  - ・湿潤ベントナイトシート
  - ・リベラーク(炭素繊維)

建設コンサルタント・測量  
地質・土質調査・施工監理



代表取締役社長 小波 藏政 良  
代表取締役副社長 比嘉 龍三郎  
専務取締役 兼城 昇  
常務取締役 名渡山 愛二

事務所: 浦添市屋富祖3丁目33番3号(山城ビル2F)  
電話(098)878-6575  
FAX(098)876-7408

一般・土木工事・交通安全対策工事・土木建設資材販売業

# 株式会社 沖縄維持開発

代表取締役 外間 安洋

取締役工事部長 根間 幸吉 事業本部長 浜比嘉 清則

本社 〒902 沖縄県那覇市字真地169-1  
電話(098)889-0391(代)  
FAX(098)889-0393

事業本部 〒901-22 宜野湾市字我如古2丁目36番15号  
電話(098)898-8333(代)  
FAX(098)898-8334

**営業種目** { 測量全般・土質調査及び試験  
農業土木・一般土木・上下水道  
都市計画事業等の調査計画設計及び施工管理

# 沖縄基礎株式会社

〒904-21 沖縄県沖縄市字古謝1126番地  
電話 (098)934-7788  
FAX (098)934-7766

## 営業種目

建設コンサルタント業務・地質及び土質調査業務  
測量業務・磁気探査業務・施工管理業務



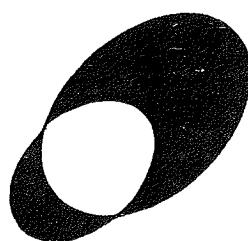
## 合資会社 沖土質コンサルタント

建設大臣登録 測量業(8)-4599号  
地質調査業(4)-1061号

代表者 大底 隆一  
常務 知名 朝盛

本社：沖縄県浦添市勢理客560番地の1 電話 (098)877-4583・879-4470

環境創りに奉仕する!



## オパス株式会社

OKINAWA PUBLIC WORKS

代表取締役 与那嶺 健和  
取締役副社長 宮城 利昭 取締役専務 安里 幸男

本社 浦添市字前田1728番地の4 TEL.(098)877-7120  
事業本部 宜野湾市嘉数2-17-3 TEL.(098)897-7201(代)  
北部営業所 名護市世富慶485-2 TEL.(0980)52-0218

～自然に優しく 未来を見つめて～

営業種目 { 激量業務、建設コンサルタント業務  
地質・土質調査業務、土木施工管理業務



# 株式会社 沖縄建設技研

代表取締役社長 砂川 徹男 専務取締役 富田 清  
技術士 常務取締役 金城 真明 取締役 栗国 明

〒901-21 沖縄県浦添市宮城3丁目7番5-103号  
TEL (098)876-4805(代) FAX (098)878-7230

技術と誠意で地域社会の繁栄に貢献する

営業種目 { 激量全般・土質および基礎・河川・砂防  
および海岸・港湾および漁港・道路・上水  
道および下水道・農業土木・その他建設  
工事に関する調査・計画・設計および管理



# 株式会社 沖縄土木設計コンサルタント

取締役会長 宮里安雄  
代表取締役社長 比嘉弘政

〒901-21 沖縄県浦添市牧港2丁目54番2号  
TEL (098)877-4634 FAX (098)876-0759

磁気探査・地質・土質調査・測量全般

# OGP 株式会社 沖縄物理探査

建設省登録第(4)-13320号

代表取締役 平良恒男

〒900 沖縄県那覇市字楚辺257番地7(たいらビル)  
電話 (098)834-4547(代)  
FAX (098)833-1319

宮業種目  
測量業・地質調査業  
建設コンサルタント



# 株式会社 オモト建設コンサルタント

測量業登録第(5)-9047号  
建築士事務所登録第263-727

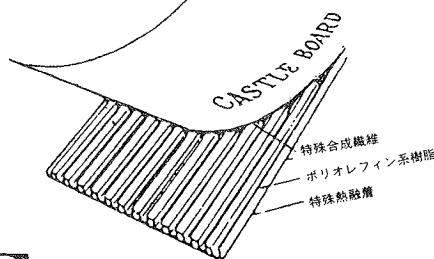
代表取締役 成底弘敏

取締役 成底勲 取締役 比嘉清

本社 〒900 那覇市字天久816番地 八重山支店 〒907 石垣市新川2454-4番地  
電話 098(863)6782・6783 電話 09808(2)2743  
FAX 098(861)3830 FAX 09808(3)1138

プラスチックドレーン工法

## キャッスルボード



### 錦城護謨株式会社

本社・工場 〒581 大阪府八尾市跡郡北の町1丁目4番25号  
TEL 0729(92)2321~9  
東京支社 〒105 東京都港区新橋5丁目19-2  
TEL 03(433)2631-3(新橋森ビル4F)

## 大深度施工実績 中城湾港地盤改良工事

沖縄地区・総代理店



### 株式会社 南興

那覇営業所 〒903 沖縄県那覇市首里石嶺町2の239  
TEL (098)884-2574㈹  
FAX (098)886-2512  
本社 〒902 沖縄県那覇市与儀1-5-2  
南洋土建ビル3F  
TEL (098)854-1161

## 宮業種目

土木事業の調査・測量・計画・設計・施工監理  
都市計画・上下水道・地質及び土質調査

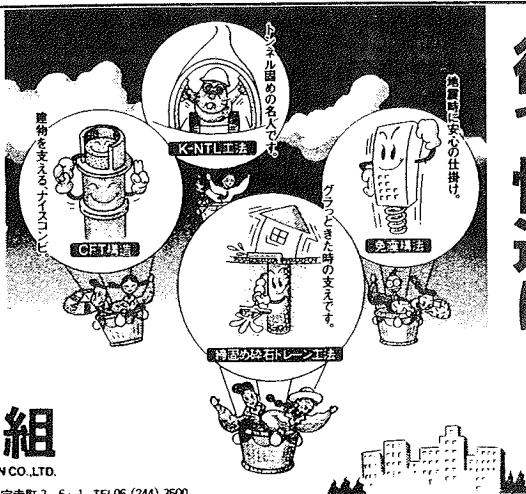


# 株式会社 協和建設コンサルタント

代表取締役会長 東江憲六  
代表取締役社長 大城晃  
代表取締役副社長 島袋定雄  
常務取締役 宮城吉夫  
取締役土質部長 仲村起三郎

浦添市字伊祖375番地の1 電話 (098)879-5016

魅・になる技術で、  
街を快適に。



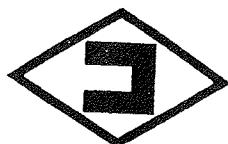
暮らしのすみずみにある、鴻池組の技術。  
地下、山地、ビルの中……さまざまな所で  
活躍する鴻池組の技術。目立つ存在とは言  
えませんが、でも見えないとどうでしょ? かり  
と暮らしの快適や安全を支えています。ま  
るで、縁の下の力持ちのようだ、あなたを  
見守る鴻池組です。

**鴻池組**

KONOIKE CONSTRUCTION CO., LTD.

本社/大阪本店 〒541 大阪市中央区北久宝寺町3-6-1 TEL06(244)3500  
東京本店 〒101 東京都千代田区神田駿河台2-3-11 TEL03(3296)7700 沖縄営業所 〒902 那霸市安里102(日生安里ビル) TEL098(868)1914

“より豊かな人間環境づくりを目指して”



株式会社 **國場組**

KOKUBA-GUMI CO., LTD.

代表取締役社長 國場 幸治

本 社 〒900 沖縄県那霸市久茂地3丁目21番1号(國場ビル)  
TEL (098)862-0311(代表) FAX (098)863-7989

東京支社 〒100 東京都千代田区丸の内1丁目8番2号(第一鉄鋼ビル5階)  
TEL (03)3213-4431(代表) FAX (03)3215-3477

福岡支店 〒812 福岡市博多区博多駅東1丁目12番8号(加月ビル8階)  
TEL (092)472-4231(代表) FAX (092)474-3049

より快適・安全な  
環境(土木空間)をデザインする

**株式会社 芝岩エンジニアリング**

代表取締役 上地竹芝(土木)  
取締役 友利龍夫(土木)  
技術開発部長 (14期)

専務取締役 与那覇強  
技術1部  
設計1課長 知花悟(土木)  
(20期)

本 社 〒901-21 浦添市伊祖1丁目9番13号 ☎098(879)4325(代)

文明を創造する技術のネットワーク



上城技術情報株式会社

建設コンサルタント・ソフトウェア開発販売業務

代表取締役 宮 城 富 夫

〒901-21

沖縄県浦添市伊祖一丁目21番2-303号 ☎ (098)876-2815(代)

FAX (098)878-4054

### 営業品目

土質・地質 力学試験機総合製造販売・研究設計  
土の物理試験・一軸圧縮試験機・三軸圧縮試験機  
せん断試験機・圧密試験機・コアーキャッチャー  
式サンドサンプラー



株式会社

誠 研 舎

代表取締役 伊 藤 政 雄

〒110 東京都台東区東上野1-28-5

電話 (03) 3834-4201

FAX (03) 3834-0825

※建設コンサルタント

道路・橋梁・河川・砂防・港湾・上下水道

地盤・都市災害・地盤改良(計画・調査・設計)

※測量全般・土質調査・施工管理 ※制御システム開発



株式会社 清光研究所

tel. 020-712-1495

代表取締役 吉 沢 光 三

<http://www.ryukyu.ne.jp/~seiko/>

Email. seiko@ryukyu.ne.jp

〒901-21 沖縄県浦添市仲間50-3

TEL 098(877)4859

FAX 098(870)5094

技術と信頼で、未来を築きます。

◇ 営 業 種 目 ◇

地すべり対策工事・各種アンカー工事  
土質調査・さく井工事・グラウト工事  
一般土木・建築工事・吹付け工事  
調査・設計・地盤改良工事



# 株式会社 ソイル開発

代表取締役社長 下地 康之

沖縄県浦添市字経塚179番地の2  
電話 098-878-5960

より豊かな県づくりに寄与する  
総合建設業



株式  
会社

# 大栄組

代表取締役 大城 栄信

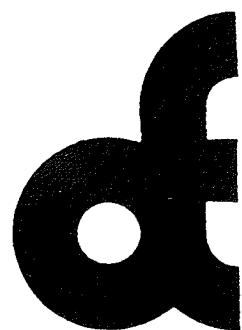
- 本 社 〒901-21 沖縄県浦添市字勢理客555番地の2 ☎ 877-8556(代)  
FAX 876-5664  
■ 北部営業所 〒905 沖縄県名護市字名護4586番地 ☎ (0980)52-1570

確かな手応えを未来へ

# 株式会社 大東エンジニアリング

土木設計・地域計画・都市計画  
交通計画・環境計画・地質調査  
測量・土地区画整理・施工管理

代表取締役社長  
大城 栄 篤



〒901-21 沖縄県浦添市字勢理客555-2  
TEL 098-878-1381 FAX 098-876-0793

- 地質調査業者登録 ●建設コンサルタント登録 ●一級建築士事務所登録
- 測量業者登録 ●計量証明事業登録 ●建設業許可
- ※原位置凍結サンプリング ※動的大型三軸試験 ※中空ねじり試験
- ※構造物診断 ※地盤改良(バイブロフロテーション)



株式会社  
**東京ソイルリサーチ**

本 社 〒152 東京都目黒区東が丘2-11-16 TEL 03-3410-7221 FAX 03-3418-0127  
代表取締役 大 橋 朝 雄  
沖縄営業所 〒901-21 浦添市仲西3-15-2-203 TEL 098-878-6299 FAX 098-876-5512  
所 長 吉 森 正 文

### 地域の明日を共に考える



株式  
会社



**エンジニアリング**

建設コンサルタント業務・地質・土質調査業務  
建設省登録測量第(4)-11608号  
1級建築士事務所 第192-1883号  
補償コンサルタント 補9-3164号  
(社)日本補償コンサルタント協会会員

代表取締役 金 城 恵 勇

〒902 沖縄県那覇市古島70番地1  
☎ (098)868-1645(代) FAX (098)866-3786

### 営業種目

土木関係の調査・計画・設計・監理、測量全般、  
地質・土質調査・試験、地下水調査及び開発  
交通調査・交通計画



**株式会社 中央建設コンサルタント**

代表取締役	砂 川 晃 章
取締役専務	砂 川 昌 逸
取締役常務	比 嘉 定 喜

〒901-21 沖縄県浦添市宮城5丁目12番11号  
電話 (098)877-4390(代) FAX (098)876-2661

営業〔建設コンサルタント業務・測量及土地家屋調査士業務  
種目〔地質及土質調査業務・施工管理及磁気調査業務



株式会社 日興 建設コンサルタント

代表取締役 砂川恵常

本社 沖縄県浦添市伊祖3丁目44番3号  
電話 (098)877-1667(代)  
FAX (098)877-0914番

豊かな実績と確かな技術で、地域に根差した地盤改良工法の確立を目指す。

## 日本深層地盤改良協会 沖縄支部

支部長 福田利夫

沖縄県浦添市勢理客497  
TEL 098(879)6710(代表)

—技術と誠実で奉仕する—



## 不動建設

取締役社長 市吉正信  
沖縄営業所長 石井隆行

東京本社／東京都台東区台東1丁目2番1号 ☎(03)3831-9111  
大阪本社／大阪市中央区平野町4丁目2番16号 ☎(06) 201-1121  
沖縄営業所／沖縄県那覇市久茂地2丁目12番21号 ☎(098)868-5613

## ◆ 営業種目 ◆

土木設計・農業土木・測量全般・土質調査  
区画整理・上下水道・施工管理

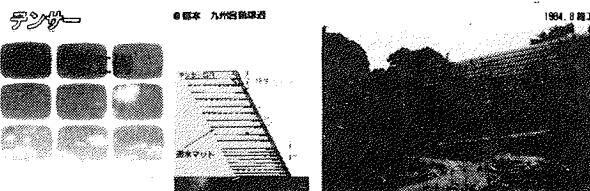


有限会社

# 三角エンジニアリング

代表取締役 金 城 昇

〒901-21 本社 沖縄県浦添市字安波茶2番地  
TEL(098)878-7534(代) FAX(098)878-7853



## 三井石化産資株式会社

福岡営業所 〒810 福岡市中央区天神2丁目14番13号  
(天神三井ビル)

☎(092)752-0766 FAX(092)752-0769

沖縄営業所 〒900 沖縄県那覇市曙2丁目27番4号  
(ペガサスマンション403号)

☎(098)868-5672 FAX(098)869-7146

## ★赤土流出抑制シート ★緑化式擁壁工の設計・施工

テクトン

高性能フィルター材

パラグリッド・テラムグリッド

盛土補強用ジオグリッド



蝶理株式会社

大阪本社 〒541 大阪市中央区瓦町2-4-7

TEL. 06(228)5356 FAX. 06(228)5210(担当/新名)

東京本社 〒103 東京都中央区日本橋堀留町2-4-3

TEL. 03(3665)2286 FAX. 03(3665)2431(担当/内田)

福岡営業所 〒810 福岡市中央区天神2-13-7

TEL. 092(781)8476 FAX. 092(712)2079(担当/須山)

沖縄代理店

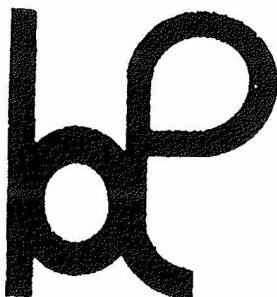


M I C H I B I K I P L A N N I N G

→ 合資会社 蝶理プランニング

〒904-21 沖縄市字比屋根2040番地  
TEL 098-932-2226 FAX 098-932-2227

大地に希望を架ける



有限会社 ホーブ設計

測量全般・土質調査・一般土木・橋梁  
地滑り防止対策・港湾・漁港  
都市計画・上下水道・システム開発

代表取締役

高嶺哲夫

TEL 902-0064

沖縄県那覇市寄宮3丁目3-5

寄宮市街地施設1F-1

FAX 098-836-7181 FAX 098-836-7183

郷土の資源で 郷土をつくる



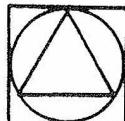
琉球セメント株式会社

代表取締役社長 宮里俊一

本社 浦添市西洲2丁目2番地2  
TEL (098) 870-1080(代)

屋部工場 名護市字安和1008番地  
TEL (0980) 53-8311(代)

土木設計・測量全般・土質調査・都市計画・農業土木設計  
造園設計・建築設計・設備設計・工事監理・その他



琉建設株式会社

顧問 金城新明

代表取締役社長 瑞慶覧穎(土木2期) 取締役常務 中松竹吉(土木16期)

代表取締役専務 安室雅夫(土木8期) 取締役設計部長 国吉健(土木21期)

沖縄県浦添市大平2丁目20番1号(レジデンスたくし1階)

TEL (098) 877-2622 FAX (098) 877-7297

## —建設コンサルタント—

道路、橋梁、河川、トンネル、公園、測量、地質、構造物診断、港湾、上下水道、都市計画

調査、計画、設計、試験、解析、施工管理



# 新構造技術株式会社

代表取締役社長 技術士 横岡武之 専務取締役 技術士 曽川文次  
九州支店長

本社：〒160 東京都新宿区西新宿六丁目3番1号(新宿アイランド・ウイング)

電話 03(3343)1011 FAX 03(3343)1210

九州支店：〒812 福岡県福岡市博多区博多駅中央街8番36号(博多ビル)

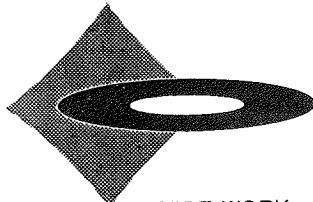
電話 092(451)4281 FAX 092(451)5789

支店：東京・東北・北関東・北陸・名古屋・大阪

事務所：長崎・南九州

大地のように、大樹のように。

のびやかでまっすぐな気持ちで、人と社会の豊かな未来を創造したい。



NICE WORK

OKUMURA

ナイスワーク

Nice communication

私たちは、最新技術と柔軟なココロで人と社会にナイスワークの「WA」を広げ、豊かな環境づくりにチャレンジします。

奥村組土木興業株式会社 本社／〒552 大阪市港区三先1丁目11番18号 TEL.(06)572-5301(代表)  
支店／東京・京都・兵庫 営業所／神奈川・広島・岡山・滋賀・奈良・徳島・高知・和歌山 他

営業種目●土質試験●地質調査●さく井工事●磁気探査

地中の謎を解き、地域に貢献します！

# OJC (有)沖縄地盤調査

代表取締役 仲嶺茂

本社 〒904-01 沖縄県北谷町字桑江478-5 TEL (098)936-9955

営業所 〒904-21 沖縄県沖縄市泡瀬1-2-28 TEL (098)938-2226

## 表紙写真説明

### 南大東漁港（第4種）

南大東漁港は南太平洋で操業する漁船の前進拠点基地、及び避難港として位置付け平成元年度から事業に着手しています。

南大東島は波浪及び地形条件が厳しいところであるがゆえに、漁港形状としては全国でも希な堀込み式漁港として計画され、現在-6.0m泊地を主に整備しているところです。

島は隆起珊瑚環礁で形成されているため漁港工事は岩掘削が大部分となり陸上部の岩掘削は発破によるベンチカット工法で行っています。平成8年度までに地盤高さDL+2.2mまでの掘削を終えて岩掘削量は100万m<sup>3</sup>に達しており、掘削岩は島の暴風壁として利用しています。

水面下の掘削は、大東石灰岩の特性として亀裂が縦横に走っていることによる大量の湧水に対処できないこと、また、海上作業船による工事が3月～7月の短期間に限られるために、港口は閉じた状態でグラウチングにより湧水を抑制した上でドライ施工により掘削を行います。

西暦2000年は南大東島の開拓100周年に当たり、それに合わせて漁港の港口を開削し地元漁船への一部供用開始を行い、漁港完成時には100tクラスの外來漁船が安心して利用できるべく事業を進めているところです。

（文責：沖縄県南部農林土木事務所 具志堅 篤）

## 第十回 沖縄地盤工学研究発表会 講演概要集

1997年11月6日発行

編集 第十回沖縄地盤工学研究  
発表会実行委員会

発行 沖縄地盤工学会  
〒903-0213 沖縄県西原町字千原1  
琉球大学工学部環境建設工学科  
TEL (098)895-8672

印刷 株式会社 アシスト  
〒901-11 南風原町字兼城577  
(沖縄印刷団地内)  
TEL (098)889-6100