

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 211 Mar. 1975

港湾工事材料としてのシラスの工学的性質

- | | |
|---------------------|--------------------------------|
| (その1) 物理的性質と圧縮性 | 堀江宏保・小川富美子
成田 実 |
| (その2) シラスのせん断特性 | 小林正樹・勝野 克
中瀬明男 |
| (その3) 剛性壁に作用する土圧特性 | 善 功企・沢口正俊
高橋邦夫・橋本光寿
篠原邦彦 |
| (その4) 締固め特性とCBR特性 | 佐藤勝久・浅島豊明
渋谷英男・森口 拓 |
| (その5) 振動三軸試験による動的性質 | 梅原靖文・善 功企
浜田浩二 |
| (その6) 振動台試験による動的性質 | 土田 肇・倉田栄一 |

運輸省港湾技術研究所



港湾工事材料としてのシラスの工学的性質

目 次

- (その1) 物理的性質と圧縮性
..... 堀江宏保・小川富美子・成田 実..... 5
((Part-1) Physical Properties and Compressibility of Remolded Shirasu
..... Hiroyasu HORIE, Fumiko OGAWA and Minoru NARITA)
- (その2) シラスのせん断特性
..... 小林正樹・勝野 克・中瀬明男..... 41
((Part-2) Shear Strength of Shirasu
..... Masaki KOBAYASHI, Masaru KATSUNO and Akio NAKASE)
- (その3) 剛性壁に作用する土圧特性
..... 善 功企・沢口正俊・高橋邦夫・橋本光寿・篠原邦彦..... 51
((Part-3) Properties of Lateral Earth Pressure Acting on a Rigid Wall
..... Kouki ZEN, Masatoshi SAWAGUCHI, Kunio TAKAHASHI
Kouji HASHIMOTO and Kunihiko SHINOHARA)
- (その4) 締固め特性とCBR特性
..... 佐藤勝久・浅島豊明・渋谷英男・森口 拓..... 65
((Part-4) Compaction and CBR Properties Katsuhisa SATO
..... Toyoaki ASAJIMA, Hideo SHIBUYA and Hiraku MORIGUCHI)
- (その5) 振動三軸試験による動的性質
..... 梅原靖文・善 功企・浜田浩二..... 79
((Part-5) Dynamic Properties Based on Dynamic Triaxial Tests
..... Yasufumi UMEHARA, Kouki ZEN and Kouji HAMADA)
- (その6) 振動台試験による動的性質
..... 土田 肇・倉田栄一..... 103
((Part-6) Shaking Table Tests on Liquefaction Potential
..... Hajime TSUCHIDA and Eiichi KURATA)

序 文

近年、良質な砂質土の入手が困難となり、港湾建設工事を実施する上でも、多大の支障をきたす傾向にあることは明白な事実である。その為、良質な砂質土として利用し得る新材料の開発、研究が極めて重要な課題であり、港湾技術研究所においても早急にこの解決策に取組むべき努力が要望されてきた。

裏込めや埋立てなどの港湾工事材料としては、特に施工後安定した地盤となり、その上、所要の地耐力を有することが重要なことであるが、同時に大量にかつ安価に入手できることも不可欠な条件であろう。

南九州地方に広く大量に分布するシラスは、乱した状態で上記の条件を満足する可能性が期待され、これを科学的に裏付けるために、今回、土質部と構造部とが協力して、各種の土質試験および模型実験を行い、各専門分野からのシラスの工学的特性について調査した。

そして、本報告中にそれぞれ求められた調査結果に基づいて、シラスの港湾工事材料への適用性に対する考察が行われ、実際に使用する際の問題点などが指摘されている。個々の研究の詳細はそれぞれの報告に述べられているが、これらの試験および実験から求められた主要な結論を総括すると下の表のようになる。ここで、通常使用されている砂を代表させる意味で、豊浦の標準砂が比較の材料として使われている。

実験結果のまとめ

比 重	試験方法によってかなり値が異なるが、最も細かく破砕した状態で 2.50 である。
透水係数	乾燥密度に対し $\log k = 4.54 \gamma_d + 1.63$ である。 (k : 透水係数 cm/sec , γ_d : 乾燥密度 g/cm^3)
圧 縮 性	ゆる詰めにした状態では砂よりもはるかに大きい。
せん断特性	排水条件でのせん断強度定数 C_d および ϕ_d は砂より大きいが、変形係数 E_{50} は小さい。
土 圧	砂より 42% 程度小さい。
締固め特性	粒子破砕の影響があつて締固め易い。
C B R	水浸しても砂よりもはるかに大きい。
動的せん断	動的内部摩擦角は静的のものより $5 \sim 7^\circ$ 小さいが、低下の割合は砂に比べて特別著しくない。
振 動 特 性	乱したシラスは砂 (万代砂、豊浦砂) よりも流動化し易い。

これらの結論を総合的に判断して、シラスの港湾工事材料としての適用性を述べると次のようになる。つまり、乱したシラスは締固めが期待できる状態にして使用すれば、港湾工事材料、特に裏込めや埋立てなどにおいて好適な材料となり得るが、ただ、地震や振動に対して通常の砂質土に比べて流動化しやすいという欠点があるということである。

したがって、今後、港湾工事材料としてシラスを利用するときの効果的な締固め方法や、室内試験や実験で求められた土質諸常数と現場で調査して得られる工学的指数との関連づけなど、実際にシラスが工事材料として用いられるための応用的研究の推進が望まれる。

最後に、このシラスのプロジェクト的な研究結果を報告するにあたり、適切な指導や有益な助言を頂いた前土質部長 中瀬明男博士に深く謝意を表する次第である。

港湾工事材料としてのシラスの工学的性質 (その4) 締固め特性とCBR特性

佐藤勝久 *
浅島豊明 **
渋谷英男 **
森口拓 ***

要 旨

シラスが港湾工事材料として使用できるかどうかの検討を、締固め特性とCBR特性を中心に行った。シラスおよび標準砂についての試験から、シラスを動的に締固めると20%前後の粒子破砕のあること、強度としてのCBRではシラスが標準砂よりもかなり良好であること、シラスには含水比の大きな領域で若干オーバーコンパクション現象のあることなどがわかった。

十分な配慮のもとに施工が行われるならば、港湾工事材料としてシラスを用いることに対し、締固め、CBRといった性質において問題はなさそうだ。

* 土質部 滑走路研究室長
** 土質部 滑走路研究室
*** 前土質部 滑走路研究室長

Engineering Properties of Shirasu for Construction Materials
(Part-4) Compaction and CBR Properties

Katsuhisa SATO*
Toyoaki ASAJIMA **
Hideo SHIBUYA **
Hiraku MORIGUCHI ***

Synopsis

The object of this study was to investigate the applicability of Shirasu to port and harbour works mainly based on the compaction and CBR properties. The evaluation through the comparison between Shirasu and standard sand was used in this study.

The test results made clear some characteristics of Shirasu in the compaction and CBR properties that is, about 20% particle breakage was arisen in the dynamic compaction, the CBR values of Shirasu was fairly large compared with those of standard sand, and a little overcompaction phenomenon was existed in the condition of high water content.

From the facts described above, it might be concluded that if high quality construction could be achieved, there would be no problem concerning the compaction and CBR properties in the application of Shirasu to port and harbour works.

* Chief of the Runways Laboratory, Soils Division
** Member of the Runways Laboratory, Soils Division
*** Ex-Chief of the Runways Laboratory, Soils Division

目 次

要 旨	65
1. ま え が き	69
2. 締 固 め 特 性	69
3. CBR 特 性	71
4. 港 湾 工 事 材 料 と し て の 適 用 性	74
5. あ と が き	76
参 考 文 献	76

1. ま え が き

南九州に広く分布しているシラスに関する研究はかなり以前より行われているが、その研究の方向は災害対策の面からの自然台地における崖の安定性が主体であり、それらの研究の一過程としてシラスの土性に関する工学的研究が進められてきた。最近シラス地帯の道路舗装に関連して、シラスの土質安定処理の研究が盛んになってきているが、シラスを盛土などの土工構造物に使うといった研究はほとんどみられない。

他の土工工事の場合と同様、最近の港湾建設においても良質な骨材は不足傾向にあり、シラスをけい船岸壁の裏込め材や舗装材としてどうかという問題が生じている。通常けい船岸壁の裏込めには、採取などにより乱された土をある程度締固めて使うが、このような状態にあるシラスの工学的性質に関する研究は少ない。今回舗装路盤材としての適否を含めて、シラスの港湾工事材料としての適用性を検討するに際し、その施工性、安定性、圧縮性などを多方面から眺める必要があった。

本報告書では、多くの検討事項のうち、裏込めの施工性や舗装の安定性、耐久性などに影響の大きい締固め特性と OBR 特性を中心として、港湾工事材料としてシラスはどうか、また適性上の注意事項は何かなどを、鹿児島県大崎町において採取したシラスの試験結果をもとに考察してみた。

2. 締 固 め 特 性

よく締まった密実な土ほど外力に対する抵抗が大きくなり、より高い安定性を保有すると云われ、土工工事では通常土の締固め施工を行う。

けい船岸壁の裏込めには、今まで一般に割石、割ぐり石、切込砂利、玉石、砕さいなどの内部摩擦角の大きい良質の材料が使われ、締固めの必要性が少ない場合が多く、割石、砂岩など空隙の大きいものについて目潰しを十分に行うとか、エプロン舗装の施工に際して、裏込め上部の転圧を行うといった程度であった。また、けい船岸壁の構造上締固めが困難な場合が多いといった実情もある。

このようなことから、港湾裏込め材について締固め特性を検討した事例はほとんどない。しかし、岸壁の構造物の設計・施工には、裏込めの置かれた状態の正確な把握は不可欠であり、裏込め材料によっては力学的性質の一部として、締固め特性の検討も要求される。たとえば、裏込め材の地震による流動化の検討に、相対密度を求める¹⁾などはその一例である。もっと直接的には、裏込めの上に載るエプ

ロン舗装の安定性・耐久性を考える上に、あるいはシラスを路盤に用いた舗装構造の設計・施工のために、締固め特性を各方面から検討する必要がある。

シラスと云っても多くの種類があり²⁾、その工学的性質は均一なものではないが、粒度的には概して砂分の多い土である。また、粒子内に空隙が多い軽石レキを多く含む土で、その物理的性質、工学的性質にも特異な点が多いことから、土質試験などで特殊土として独自の取扱いがなされることもある。今回港湾工事材料としてシラスの適用性を考えるに際し、この辺の事情を勘案し、できるだけ直接的に判断できる方法として、一般的な材料の標準砂と比較試験を行うことにした。

試験に使用したシラスは鹿児島県大崎町で採取されたもので、粒度の上ではレキ分 10%、砂分 60%、シルト分 30%程度の、日本統一土質分類で SM に属する土である。一方、標準砂は山口県豊浦産で、大部分が粒径 0.11~0.25 mm の範囲にくる単粒径の砂である。

使用したシラスの最大粒径は 19.1 mm と考えられるので、締固め試験用の突固め方法としては、JIS A 1210 の 2.4 に統一した。試料は乾燥法によって準備し、シラスは非繰返し、標準砂は繰返し法による使用がなされた。シラスの試料を非繰返し法によって作ったのは、シラスに砕けやすい軽石が多く含まれているためである。なおシラスについては、締固め特性に及ぼす締固めエネルギーの影響をみるため、5 層 25 回と 5 層 92 回の突固めによる締固め試験も併せ実施した。締固め試験の結果が図-2.1、2.2 にまとめられている。

シラスの締固め試験結果を示す図-2.1 で、結果に大きなバラツキのあることが認められるが、これはシラスに多く含まれる軽石によるものと考えられる。各方面からの試験により³⁾、軽石の粒子には図-2.3 に示すような粒子内空隙が多く存在することが認められており、これがシラスの工学的性質に少なからぬ影響を及ぼす場合が多い。締固め試験の試料としては、シラスに粒子内空隙が多いことを考慮して、加水後最低 24 時間放置したものをを用いたが、閉じた粒子内空隙まで水で飽和されたとは考えられない。また、閉じた粒子内空隙の量の大小は乾燥密度を変化させるので、これが図-2.1 のバラツキの主原因になったと考えられる。

シラスに対してはバラツキを考慮して数多くの試験を行い、平均的に締固め曲線を描いた。突固め回数 55 回のときの最大乾燥密度 ($\gamma_d \max$) をみると、粒度分布がよいにもかかわらず、標準砂の 1.55 に対しシラスは 1.37 と小さく、これは両者の比重の違い (シラス 2.49 程度、標準砂

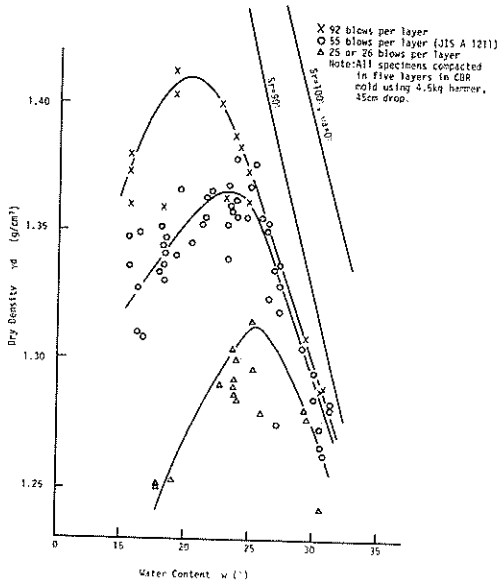


図-2.1 シラスの締固め曲線

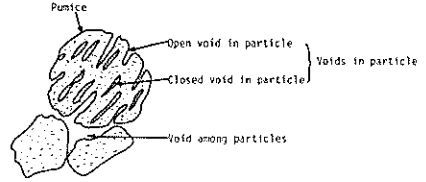


図-2.3 軽石の空隙

2.65)に起因するもので、この差自身から両者の力学的性質の差異は論じられない。他で行われた締固め試験の結果など³⁾によれば、シラスの最大乾燥密度は概ね1.25~1.40 g/cm³にあり、最適含水比も21~25%で、本研究に用いた大崎町のシラスは平均的な値を示している。

シラスの締固め試験での締固めエネルギーの影響は、図-2.1ならびに図-2.4から理解できる。突固め回数が多いほど最大乾燥密度は大きく、最適含水比は小さいという一般的傾向を示している。また、突固め回数と乾燥密度の関係を、含水比をパラメーターとして描いた図-2.4も、通常観察される傾向⁴⁾をもつ。含水比が高い場合には、突固め回数を増してもあまり乾燥密度は増加しない。しかも次節で説明するが、関東ロームのような火山灰質粘性土にみられるようなオーバークンパクション現象も若干存在する。

突固め回数の増加にともなう乾燥密度の増加傾向は前段で明らかになった。通常、この増加は突固め回数を増せば土粒子を密にしようとする作用が強くなるためである。土粒子のかみ合いをはずし、水の表面張力に打ち勝って空気間隙を少なくする作用である。しかし、多孔質の軽石を含むシラスの場合、この他に粒子破砕の影響も考慮する必要がある。図-2.5は締固めによる試料の破砕状況を示す。図-2.6に示すように破砕率を定義すると、突固め回数と破砕率の関係は図-2.7のようになる。突固め回数55回までの破砕が大きく、それ以降はわずかである。これは、シラスの破砕の大部分が軽石の表面のこまかい凹凸が碎かれることによるもので、これが突固め回数55回程度でほぼ終了するからであろう。したがって、突固め回数55回程度までは、乾燥密度の増加にこの粒子破砕の影響がかなり含まれているものと考えられる。

以上シラスと標準砂の締固め試験結果とその考察を行ってきた。この段階では土の締固め特性の一部が理解されるにすぎず、締固まった土の強度特性などの諸性質は論じられない。これらについては次節で詳述することにする。

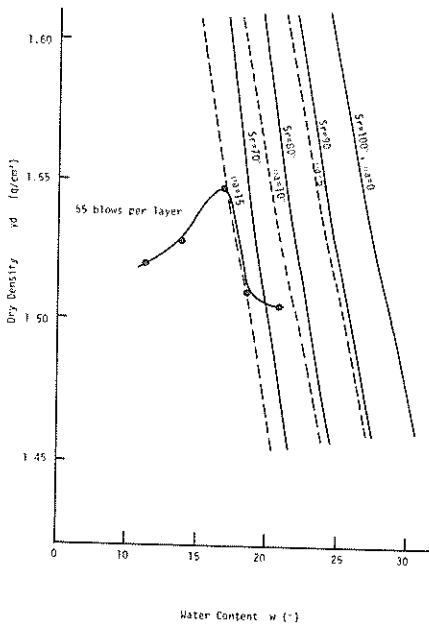


図-2.2 標準砂の締固め曲線

締固め特性と CBR 特性

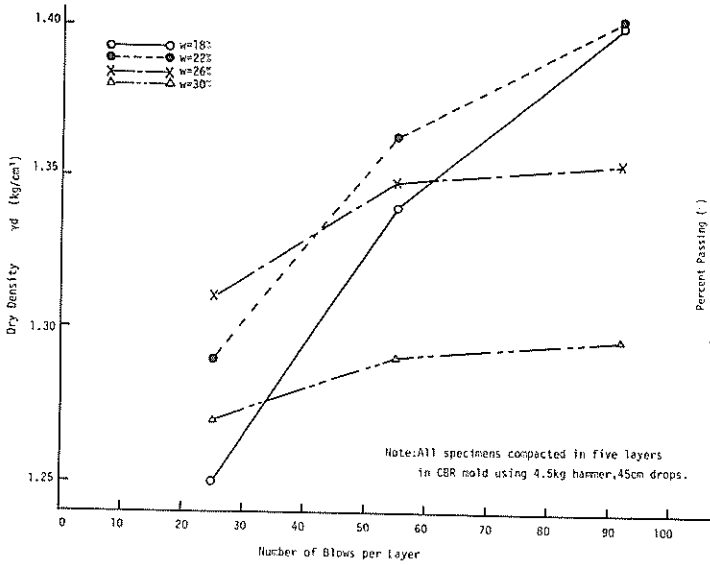


図-2.4 突固め回数と乾燥密度の関係

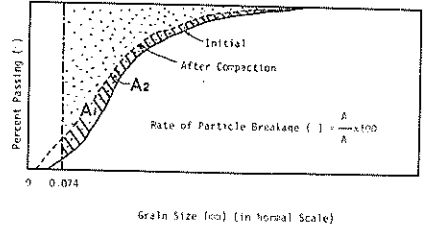


図-2.6 破砕率の定義

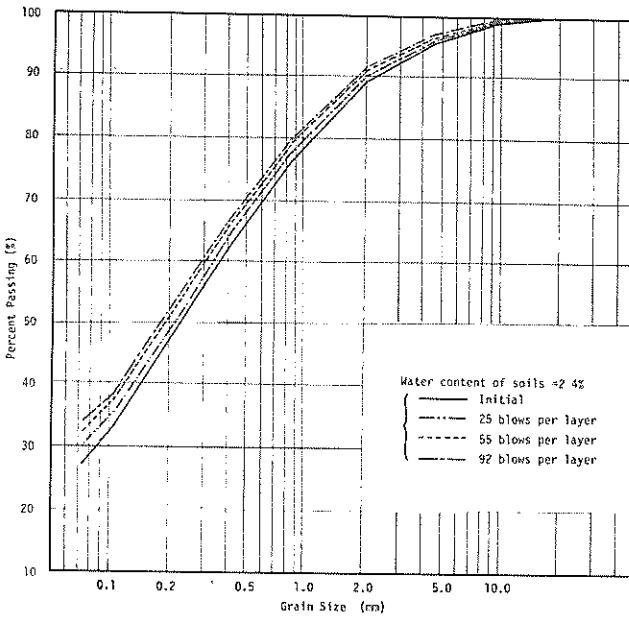


図-2.5 突固め前後の粒径加積曲線

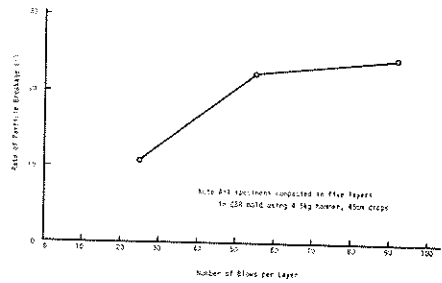


図-2.7 突固め回数と破砕率の関係

3. CBR 特性

土を締固める目的は、その力学的性質を構造物に最適なように高めることにある。現行の舗装の設計・施工では、路床・路盤の安定性、耐久性を CBR によって評価するこ

とが多い。また、一般的に土工構造物の設計上、土の強度が締固め状態に応じてどのように変化するかわかることは非常に重要である。ここでは土の強度として CBR を選び、標準砂の結果との比較を通して、締固めたシラスの強度特性の一端をみた。

ある一種類の土の CBR は、その含水比、飽和度、密度、間隙比などに影響される。粒径 74μ 以下の細粒分を含まない標準砂では、これらの要素のうち、含水比、飽和度の変化による CBR 値の変化はほとんどないと考えられる。⁵⁾ これに対し、 74μ 通過分を 30% も含むシラスでは、いずれの要素も考慮からはずすことはできない。標準砂については乾燥密度、シラスでは乾燥密度、含水比、飽和度などをパラメータにとり、CBR 特性の検討が行われた。

文献 5) などによれば、砂質土の CBR の支配的要素は土

の乾燥密度である。図-3.1, 3.2 では、それぞれシラスと標準砂に対する乾燥密度と CBR の関係を示した。最適含水比に調整した試料を突固め回数を変えて締固めることにより乾燥密度を変化させた。含水比の影響があると考えられるシラスに対しては、最適含水比の前後数パーセントの範囲で幾種類かの含水比を選び、併せ CBR 試験を実施した。図-3.1 にはそれらも示されている。この締固め後の含水比の変化による CBR 値の変動をみるため水浸 CBR 試験も行われ、図中に結果が示されている。

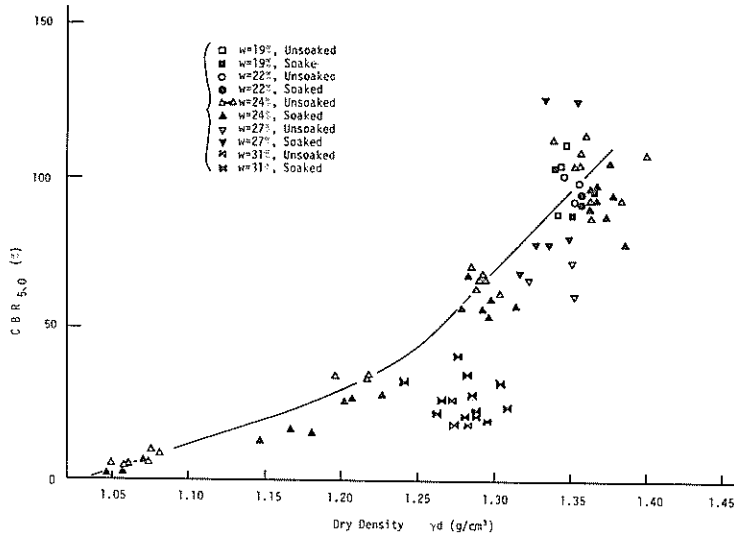


図-3.1 乾燥密度と CBR の関係 (シラス)

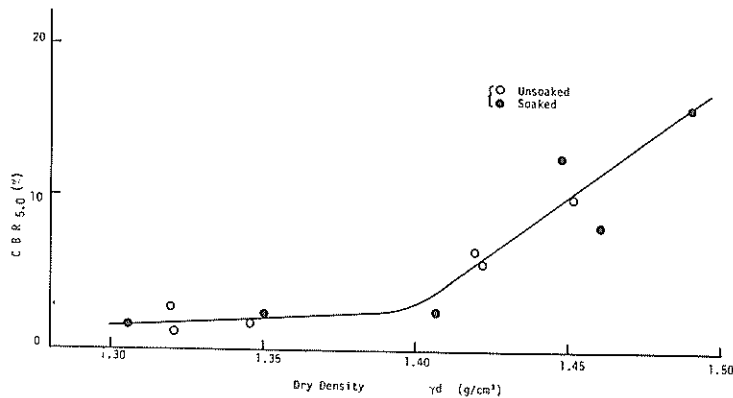


図-3.2 乾燥密度と CBR の関係 (標準砂)

図-3.1, 3.2 で最適含水比における結果だけに着目し、乾燥密度と CBR の関係を見ると、試料がゆる詰まりの間は乾燥密度にともない CBR の増加割合は小さいが、かなりかた詰まりになってくると、増加割合は急激に大きくな

り、CBR は乾燥密度に対して直線的に増加する傾向を示す。この急激な増加の中には CBR モールド側壁の拘束の影響⁵⁾ という定量的に不明な要素も含まれているが、シラスと標準砂の CBR 値の間には歴然たる差のあることが認

締固め特性と OBR 特性

められる。

次に乾燥密度を一定にとり、OBR に及ぼす含水比の影響をみてみよう。前述したように標準砂ではこの点はあまり問題にならないので、シラスについてだけ図-3.1を参照して考察する。乾燥密度がほぼ等しい非水浸 OBR の結果をもとに、含水比と OBR の関係をプロットしたものが図-3.3で、含水比が27%以上で OBR 値がかなり落ち込んでいる。この主原因としては Seed や Lambe による⁹⁾土粒子構造の差による説明が摘要できよう。すなわち、細粒分の比較的多いシラスでは、水が豊富になると締固め時により塑性的な構造へと移行しやすくなるためであろう。

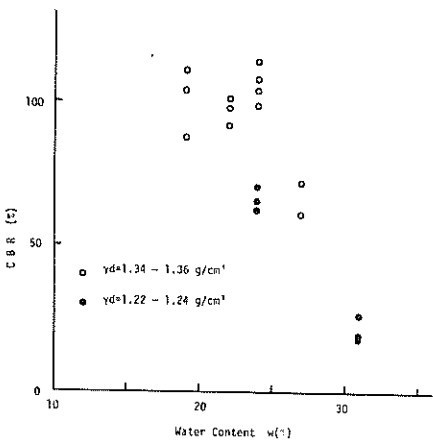


図-3.3 含水比による CBR の変化

以上、締固め時の各種条件の違いによる OBR の変動をみてきたが、引続いて締固め後の試料を水浸した場合、これが OBR にどのような影響を与えるかをみてみよう。この辺の様子は図-3.1, 3.2 から理解されるが、シラスに対しては数多くの結果を平均的に示した図-3.5からの方がより明確に判断できよう。標準砂の場合水浸による OBR 値の変動はないと考えられるのに対し、細粒分をかなり含むシラスでは若干影響がみられる。シラスの水浸による OBR 値の変化は総じて 20% 以下で、締固め時の含水比が最適含水比以下では水浸 OBR が減少するのに対し、最適含水比以上で締固めた試料は水浸により OBR がやや回復する傾向にあるようだ。

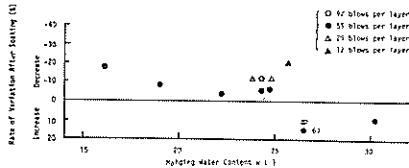


図-3.5 CBR 値に及ぼす水浸の影響

前節の図-2.1 で示した3種類の締固めエネルギーでの OBR の結果を、締固め時の含水比と OBR の関係で示したのが図-3.4である。いずれの締固めエネルギーの場合も、CBR の極大値はほぼ最適含水比近くで生じているようである。また、水浸 CBR について、締固め時の含水比が23%以上では、締固めエネルギーの増加にともなって OBR 値が低下する、いわゆるオーバーコンパクションの現象がみられる。含水比が 23~30% の範囲では実固め回数55回が最適締固めになっているが、30% を超えると締固め時の間隙水圧が大きくなり、いずれの締固めエネルギーによっても十分に締めることはできない。

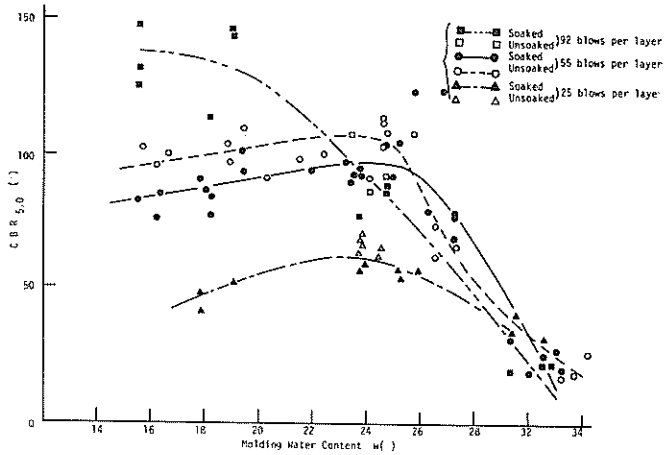


図-3.4 含水比と CBR の関係

水浸にともなう膨脹比の測定結果は 0.016 ~ 0.10 % で、水浸による膨脹・土粒子構造の変化はほとんどないと考えられる。図-3.6は水浸にともなう飽和度の変化と CBR の変化を表わしたもので、水浸後の飽和度は概略 80% 前後になり、初期飽和度が小さなものは水を多量に吸い 飽和

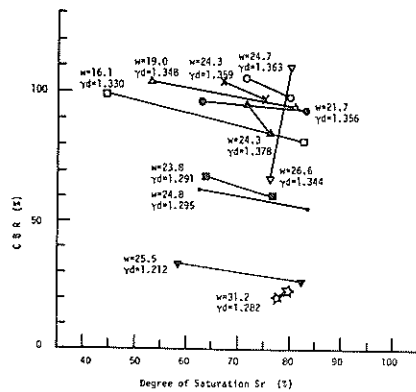


図-3.6 飽和度による CBR の変化

度の変化が大きい。水浸によって飽和度が大きくなると、試料中の水の量が増し、土粒子間の水のメニスカスの曲率が小さくなり、水が粒子相互の潤滑材のように働き CBR を減少させる。他方、締固め時の含水比が高く初期飽和度の大きい試料で、水浸後の CBR が非水浸の CBR よりも大きくなっているものがあるが、これは突固め時の試料の乱れが水浸によりある程度回復したことによるものと考えられる。

以上標準砂とシラスの CBR 特性の一部を明らかにしてきた。限られた試料と限られた試験にもとづく検討のため、締固め方法の差、粒子破碎の量、粒子配列の変動、土の含有水分の質量などが CBR 値にかなり顕著な影響をもつと考えられるが、それらを十分に把握したとは云えない。これらは締固め土の力学的性質の総合的な研究の一環として、今後鋭意検討が加えられていくべきものであろう。次節においては、完全ではないが、2 および 3 で得られた結果に基づき、シラスの港湾工事材料としての適否の議論が行われる。

4. 港湾工事材料としての適用性

締固めの目的は前にも述べたように、土をできるだけ密実にして性質を向上し、将来まで安定性、耐久性の優れたものとするところであるが、その程度はその土が構造物のどの部分にあるかによって変わる。程度の問題はあるが、締固め土は一般的に次のような諸条件を将来にわたり満足する必要がある。⁹⁾

- (i) 上載荷重や交通荷重などによる圧縮変形やせん断変形が小さい。
- (ii) 地震などによる振動、浸透水圧および風化の進行ともなう土粒子移動が小さい。
- (iii) 自重による圧密変形が小さい。
- (iv) 雨水や地下水の浸透ともなう強度減少が小さい。
- (v) 上部層の施工に対し、トラフィックビリティーが大きい。

今回本報告書で問題にしている港湾建設においても土工の占める割合は多く、けい船岸壁の裏込めや埋戻し、埋立ておよびエプロン、臨港道路などの舗装はいずれも土工工事になる。近年土工工事における締固めの重要性が認識され、調査や研究も活発になり、土工の質の向上が計られているが、港湾における土工は水中で行われることが多いという性格上、締固めも困難な場合が多く、締固めをあまり設計・施工で考慮することはない。⁹⁾

しかし前にも述べたように、けい船岸壁の裏込めやエプロン舗装の路床部分になる埋戻しや各種舗装では、締固

めは構造物の安定性、耐久性にとって重要な要素であり、設計・施工・管理にわたり、土の締固めを総合的に評価、検討していく必要があろう。

今回シラスの港湾工事材料、主として裏込め材あるいは舗装の路床・路盤材としての適用性の検討では、締固め土を前記諸条件に対応させて評価した。ここでは締固め特性と CBR 特性を中心として議論が行われる。圧縮特性、せん断特性、地震による流動化などについては、本合本その他資料を参照されたい。

通常、土の締固めには振動、転圧、注水などが用いられる。透水係数が $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$ のオーダーのシラス⁹⁾ では、いずれの手段によってもある程度の効果はあげられると考えられるが、含水比の大きな領域で締固めた試料の CBR が小さくなることを考慮すると、含水比を適切に調整し、振動か転圧により締固めることの方が望ましいであろう。

ただけい船岸壁の裏込めの場合、初期の段階では水中作業になり通常の締固めは困難である。シラスを水中に落とし込んだだけの状態では、乾燥密度は 1.06 ~ 1.07 で JIS A 1210 の第 2 方法による最大乾燥密度の約 80% (締固め度) で、高速道路の構造物裏込めの締固め度規定 90% よりかなりゆる詰まりである。標準砂が同様なゆる詰まり状態でも締固め度が 90% になっていることと比較して、シラスの 80% は自重や載荷重による圧縮変形その他でやや問題がありそうだ。

締固めのできる裏込めの場合、将来の沈下を少なくするため、通常振動ローラーやタイヤローラーにより締固められる。けい船岸壁の裏込めの場合も、陸上部については、資材搬入用のダンプトラックによる自然転圧の他に、可能な締固め機械の導入によりできるだけ締固めの努力をすべきであろう。シラスについて土圧測定槽へ試料を詰める時の経験¹⁰⁾によれば、タンパーによるわずかな転圧でも締固め度 90% 以上にもなり、少ない仕事でかなりの効果が得られる。単粒径の標準砂よりも粒度分布のよい細粒分の多いシラスの方が締固め効果は大きいので、上部裏込めの十分な締固めが下部裏込めの締固め度を若干は上げることが期待できよう。いずれにしてもシラスを裏込めに使用したときは、沈下がある程度落ち着いてから舗装等を施工すべきであろう。

土の締固めを支配する要素は締固めエネルギーと施工含水比である。締固めエネルギーを与えると施工含水比で締固め土の品質が決まってくる。土工構造物に必要な品質を得るための締固めの程度を決めたものが締固め規定で、これは使用材料、土工構造物の種類とその構成部分、上載荷重などにより当然異なってくるもので、その規制法は各

締固め特性と CBR 特性

機関によりまちまちである。しかし一般的には、締固め度と施工含水比によって表わされることが多い。

前にも述べたように、港湾裏込め材に対する締固め規定はなく、その品質は主として材料を指定して保持しているのが現状である。従来の材料に比べ、細粒分が多いとか吸水率が高いといった点で若干材質の落ちるシラスでは、港湾裏込め材として使用するに際しては、その品質の向上のための何らかの手段が講じられる必要がありそうである。このための有効な手段として締固めが考えられる。特にエブロン舗装の路床になる部分に対しては、締固め規定を取り入れ、十分な品質を得るための努力が必要である。

機関ごとに若干異なるが、交通条件が厳しくなってきた最近では、道路の路床の締固め度は、砂質土の場合 JIS A 1211 による $\gamma_d \max$ の 90~95% が一般的である。⁷⁾ 港湾エブロン舗装の機能を考えるとき、締固め度としては下限の 90% で十分と考えられる。本研究に使用したシラスの場合、締固め度 90% の乾燥密度が $1.366 \times 0.9 = 1.230 \text{ g/cm}^3$ で、試験した含水比の範囲内の乾燥密度はすべてその値を超えている。しかし、図-3.4 からわかるように、締固め土の CBR は最適含水比近くで極大になり、以後急激

にその値を減じるので、施工含水比はこの辺の特質を十分考慮して決める必要がある。

多くのシラスについて自然含水比を測定した結果によると、⁸⁾ それは 19~41% であった。シラスを大きな強度(支持力)を要する路床・路盤に用いる場合には、含水比を調節してできるだけ大きな強度を得るようにする。通常行われているように最適含水比附近を施工含水比にとればよかるう。路床以下について含水比調節が経済的でない場合には、自然含水比で締固めを行うが、オーバーコンパクション現象にならないように、締固め方法を検討していく。

締固め規定に従い施工を行っていく段階で、締固め土の品質管理が重要である。前述のように、シラスの強度(CBR)は種々の要因に影響されるが、含水比を決めると主として乾燥密度に支配される。シラスの CBR を標準砂のそれと比較するため、それぞれの最適含水比について締固め度と CBR の関係を表わしたものが図-4.1 である。図からわかるように、シラスの CBR は水没してもはるかに標準砂より大きく、この点に関しては優れた有意性を持つ。締固め度 90% で水没 CBR で 35 もあり、エブロン舗装の設計・施工で下層路盤を省略できる可能性もある。

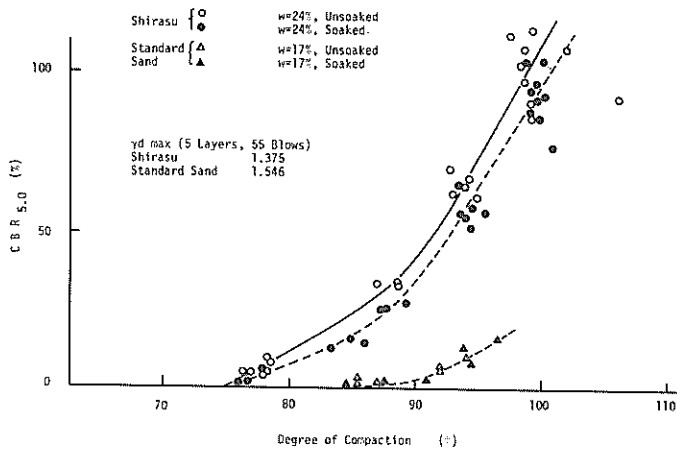


図-4.1 締固め度と CBR の関係

エブロン舗装(けい船岸)¹¹⁾設計基準(案)によれば、路床の設計 CBR が 20 以上であって、その材質が下層路盤の規定に適合している場合には、下層路盤を省略してもよいとなっている。本研究に用いられたシラスの粒度分布は図-2.5 に示されており、下層路盤用粒状材料の粒度範囲と比べて、 74μ 以下の細粒分がやや多い。多くのシラスの調査によれば、普通のシラスの 74μ 通過量は概略 20~35% で、シラスによっては下層路盤用粒状材料の粒度範囲に

入っているものもある。下層路盤用粒状材料としては、粒度の低かにすりへり減量、比重、吸水率などの基準を満たさなければならぬが、シラスの場合、これらすべての項目で基準以下の品質である。たとえば吸水率についてみると、基準が粒径 2.5 mm 以上で 1% 以下、 2.5 mm 以下について 3% 以下となっているのに対し、シラスの吸水率は通常 35~170%²⁾ で、桁違いに大きい。

前述のように CBR では十分な大きさをもつシラスでも、

すりへり減量、比重、吸水率などの路盤の耐久性に影響する要素を基準以下の品質であるため、そのまま下層路盤として用いることは問題がありそうだ。この辺の事情を改善し舗装の路盤として用いるため、シラスの安定処理に関する研究がかなり実施されている。シラスはボゾランとしての性質が著しく、セメントの添加で効率よく安定処理できることが室内試験で確かめられ¹³⁾いくつかの現地実験¹⁴⁾を通してシラスをセメント安定処理して路盤へ利用することが一般に行われるようになった。港湾地域の舗装には荷役機械をはじめとして重量交通が載り、強度の大きな舗装が要求される。悪い材質のものを安定処理して使うことにより、単なる粒状材路盤の舗装より高い安定性の舗装となる場合が多い。シラスをセメント安定処理した路盤の供用性は良好であり、港湾地域の舗装の路盤としても期待される。

シラスをセメント安定処理して利用する場合も、シラスが産地により粒度、工学的性質が異なり、それに伴い安定処理土の性質が異なることを考慮し、工学的、経済的に利用できるかどうかを産地ごとに試験して検討していく必要がある。一般的にシラスのセメント安定処理土の強度は材令による伸びが大きいため、配合設定において、若干小さな強度でセメント量を決めても十分であるかもしれない。通常、上層路盤の場合 30 Kg/cm^2 、下層路盤については 15 Kg/cm^2 に対応するセメント量をとっているが¹⁴⁾シラスのセメント安定処理では上層路盤で 20 Kg/cm^2 、下層路盤で 10 Kg/cm^2 程度がとられそうであるが、この辺は十分な検討が加えられたわけではなく、今後の問題として残されている。

港湾工事材料としての検討では水の影響を考えないわけにはいかない。けい船岸壁の残留水位下の裏込め材は水に漬かり、ある部分は常に水浸している。また、残留水位より上の部分も、上からの雨水の流入により水浸し排水路になるため、強度の低下や細粒分の流出による変形の増大などの影響を受ける。ここでは強度だけの絞りを、水浸の影響を考えてみる。

図-3.5 で示したように、シラスの締固め土の水浸による強度変化は、締固め時の含水比により異なり、最適含水比附近で締固めておけば5%程度の強度低下ですみ、強度に対する水浸の影響は問題にならない。この点からも施工含水比として最適含水比を選ぶ意義が認められる。また、本研究で用いたシラスの場合、4日水浸での膨脹変形は認められず、その面での悪影響もない。しかし、細粒分がより多いシラスでは、水浸による膨脹、強度変化の影響を、実際の試験を通して確かめ、設計に取入れていく必要がある。

締固め特性、CBR特性を中心としたこれまでの検討事項を総合してみると、適用に際していくつかの問題点はあるが、シラスをけい船岸壁の裏込め材、あるいは埋戻し材として利用していくことは可能であろう。一方、シラスをそのまま港湾地域の舗装の路盤材として用いることは、安定性、耐久性の点から無理のようだ。セメント安定処理などをして品質を向上することにより、路盤材としての可能性はでてこよう。

5. あとがき

南九州のシラスについて、締固め特性、CBR特性を中心として、港湾工事材料としての適用性を検討した。試験した試料は1種類で、シラスと云っても場所や深さでかなり工学的性質が相違することを考えると、本研究の検討は十分なものとはいえないが、標準砂の試験結果に基づき議論されているので、他の試料(南九州以外の各地の火山カルデラ周辺に分布しているシラス様堆積物を含めて)を検討する場合にも有効な手掛りになるものと思われる。

また、今まで取上げられなかった港湾工事におけるシラスの土工の特性の一部も明らかにすることができたと考えられる。ただ、シラスを用いる土工の構成部分によってどの程度締固めるべきか、そのときのトラフィカビリティはどうか、裏込めなどの盛土下部の圧縮変形特性はどうか、どのような施工機械が効果的かなど、解答が出し得なかった問題も数多く残された。これらは今後の研究ならびに実際の現場での経験などを通して解決されていくことを期待する。

(1974年12月13日受付)

参考文献

- 1) たとえば、土田肇：砂質地盤の流動化の予測と対策、昭和45年度港研講演会講演概要、1970年12月、PP. 31~33.
- 2) 春山元寿：シラスの土質試験結果の応用による設計の考え方に関する研究、鹿児島県林務部治山課、昭和47年3月、100 PP.
- 3) 鹿島建設技術研究所：工事予定地区の特殊土質の施工法に関する研究(シラス・その1)一新鹿児島空港試験盛土工事の場合一、昭和45年5月、P. 27.
- 4) 久野悟郎：土の締固め、技報堂、昭和39年11月、PP. 57~58.
- 5) 須田焜、佐藤勝久、吉田富雄：砂質土の現場 CBR と室内 CBR の関係、港湾技術研究所報告第10巻、第3号、1971年9月、PP. 89~134.

締固め特性と CBR 特性

- 6) Lambe, T.W. : The Engineering Behavior of Compacted Clay, Proc. ASCE, Vol. 84, No. SM-2, 1958.
- 7) 高速道路調査会土工分科会締固め研究班：土の締固めに関する調査研究報告書，昭和47年2月，PP.12～13.
- 8) 日本港湾協会：港湾構造物設計基準，昭和48年.
- 9) 堀江，小川，成田：港湾工事材料としてのシラスの工学的性質，（その1）物理的性質と圧縮性，港湾技研資料No.211-1，1975.3.
- 10) 善，橋本，沢口，篠原：港湾工事材料としてのシラスの工学的性質，（その3）剛性壁に作用する土圧特性，港湾技研資料No.211-3，1975.3.
- 11) 運輸省港湾局調査設計標準作成委員会：エプロン舗装（けい船岸）設計基準（案），昭和46年10月，120PP.
- 12) 山内豊聰：九州の軟弱な火山灰土上における舗装の設計施工に関する土質工学的諸問題(2)，道路，1964.9，PP.105～111.
- 13) たとえば，井手義雄，吉田保：九州地方におけるソイルセメント基層の功罪について，第8回日本道路会議論文集，昭和40年，PP.264～266.
- 14) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱，昭和42年.