

クロボク・シラス混合土の締固め効果

三輪晃一・難波直彦・若松千秋

(農地工学研究室)

昭和60年8月10日 受理

Compaction Effect of KUROBOKU · SHIRASU Mixtures

Koichi MIWA, Naohiko NANBA and Chiaki WAKAMATSU

(Laboratory of Farm Land Engineering)

緒 言

自然含水比が高く、腐植質のクロボクを対象とした土工作业では、トラフィカビリティの確保が困難で、工事が進捗しにくいという問題をかかえている。またシラスの盛土工事では粒子が破碎されやすいという難点をもっている。このような性質をもつ2種類の材料の混合は、混合土の貧材料化を促進する恐れもあるが、使用目的に適した土木材料を得ることも可能である。例えばクロボクのトラフィカビリティの改善のためにシラスを敷き均らす現実的処理が実施されている²⁾。

本論文では、手近に多量に存在する工学的特殊土を土木材料として有効に利用する目的で、まずクロボクにシラスを混入した混合土の締固めについて報告する。

実 験 方 法

(1) 混合材および混合試料

混合材には現場含水比120~150%のクロボクと10~20%のシラスを用いた。混合材料としてはそれぞれの混合材を現場含水状態で2mm, 9.52mm および25.4mm ふるい通過試料を用意した。混合割合はTable 1に示すようにそれぞれのふるい通過試料ごとに湿潤質

量比で規定し、シラスの混入率(P)は各ふるい通過試料の含水比から乾燥質量を求め、次式で与えた。

$$P = \frac{W_{s2}}{W_{s1} + W_{s2}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここに、 W_{s1} :クロボクの乾燥質量

W_{s2} :シラスの乾燥質量

Table 1に示した混入率は、2mm ふるい通過試料と他のふるい通過試料の場合とで多少異なる値になった。また混合方法は移植ゴテによる攪拌だけにとどめた。

(2) 締固め試験

締固め方式は突固めによるJIS A 1210 (1·1·1)の方法であるが、締固め試料は乾燥法で非繰返し法とした。また混合土の締固めによる非可逆的な性質を調べるために、混合時から風乾状態に至る段階を乾燥過程、風乾状態から加水する段階を湿潤過程とした。締固め試料は両過程の任意の段階で必要な量を個別に準備し、相当する含水状態で2日間養生した。

(3) 団粒分析試験および粒度試験

耐水性団粒の粒度分析を意味する団粒分析試験は分

Table 1. KUROBOKU · SHIRASU mixtures used for experiment.

Ratio of wet weight		Sample passing 2mm sieve		Sample passing 9.52mm sieve	
KUROBOKU	SHIRASU	P defined by Eq. (1)* (%)	Specific gravity G_s	P defined by Eq. (1)* (%)	Specific gravity G_s
1	0	0.0	2.348	0.0	2.351
5	1	28.6	2.368	25.5	2.369
2	1	48.7	2.374	46.1	2.384
1	1	65.5	2.384	63.1	2.389
1	2	80.0	2.395	77.4	2.405
0	1	100.0	2.401	100.0	2.414

* Eq. (1)

$$P = \frac{W_{s2}}{W_{s1} + W_{s2}} \times 100 (\%)$$

where W_{s1} : dry weight of KUROBOKU, W_{s2} : dry weight of SHIRASU

析法に問題があるとして、土質試験法には規準化されていないが、ここでは湿式ふるい分け装置¹⁾（1分間32回、上下に20mm振動）を用いた。供試した試料はFig. 3のA, B, CおよびDに相当する突固め供試体を風乾した後、9.52mmふるいを通過する大きさに砕いた。粒度試験用の試料も突固め供試体を風乾したが、6%過酸化水素水による有機物の除去と0.4Nヘキサメタリン酸ソーダ溶液による試料の分散は混入率に関係なく適用した。

(4) 比重およびコンシステンシー試験

混合土の比重は、2mmおよび9.52mmふるい通過試料の混合材をTable 1の混入率で混合した試料を再度2mmふるいにかけた土粒子の測定値である。コンシステンシー試験用の試料には、2mmふるい通過試料をTable 1の混入率で調整した後、0.42mmふるいを通して用いた。試験方法はいずれも土質試験法に準ずるが、比重試験では煮沸法（約4時間）を採用し、コンシステンシー試験には末風乾試料と風乾試料の両試料を供試した。

実験結果および考察

1. コンシステンシーの変化

クロボクの場合は試料の初期含水状態でそのコンシステンシーが変わり、湿潤試料では液性限界 $w_L=206\%$ 、塑性限界 $w_P=118\%$ 、塑性指数 $I_P=80\%$ で粘性土の性質である。しかし、風乾試料の場合は $w_L=114\%$ 、 $w_P=96\%$ 、 $I_P=18\%$ となり、塑性域がせま

く流動しやすい性質が強くなる。一方、シラスの性質は乾湿に関係なく非塑性である。このような性質の混合材を母材とした混合試料は、Fig. 1に示すようにシラスの混入率 (P) が増加するにつれてクロボクの性状を消失し、湿潤試料では $P>70\%$ 、風乾試料では $P>30\%$ で非塑性を示すようになる。

$I_P=6\%$ が粘性土と砂質土の境界、 $I_P=10\sim 30\%$ が中間の性質とする区分⁵⁾で混合土を整理すれば、湿

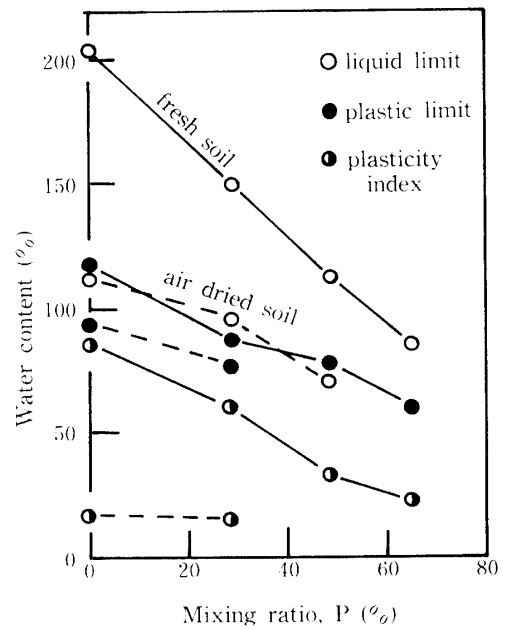


Fig. 1. Relationship between Atterberg limits and mixing ratios.

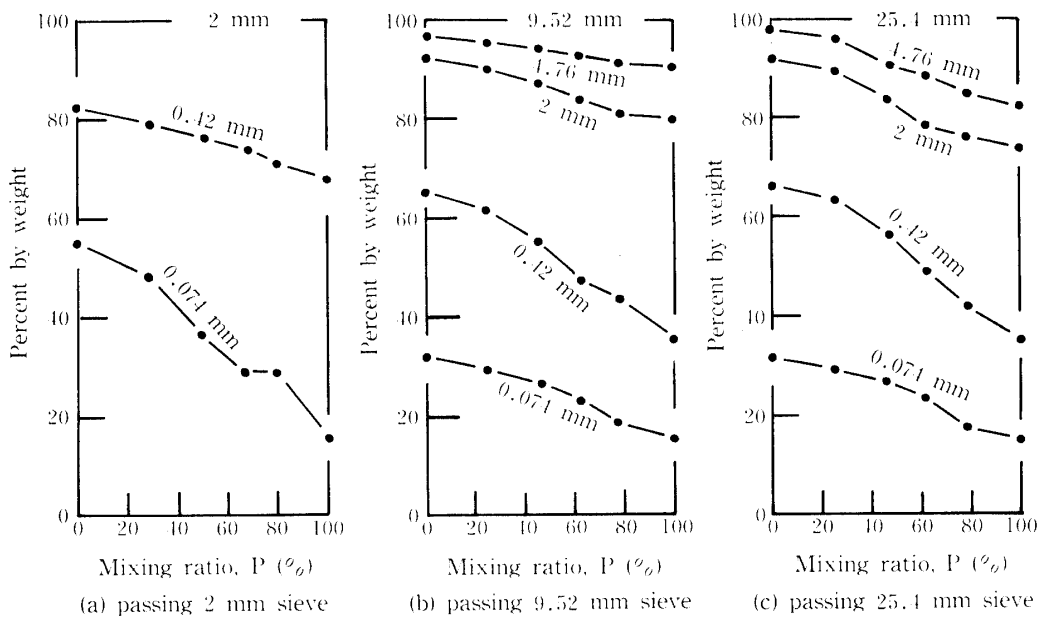


Fig. 2. Grain composition of mixtures.

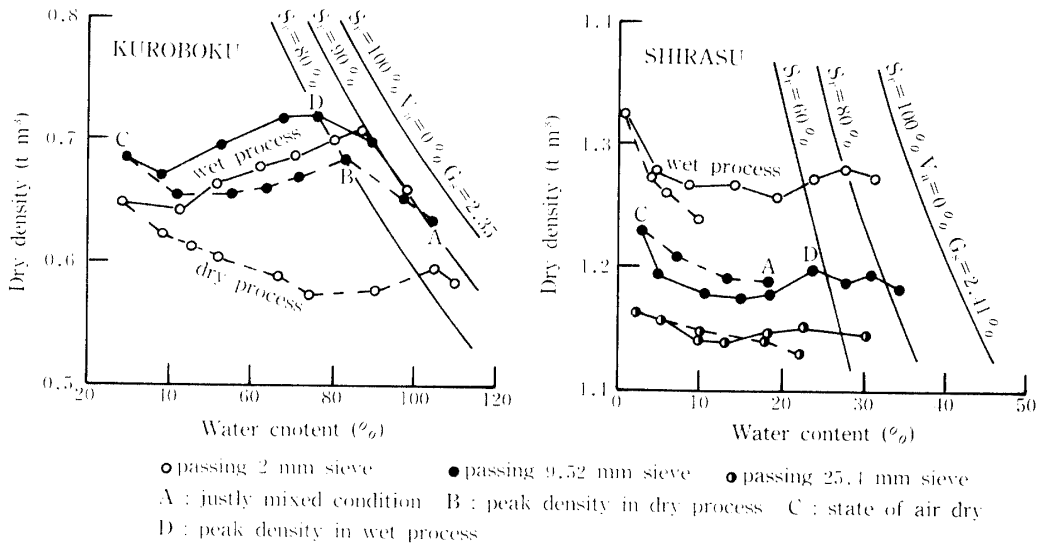


Fig. 3. Effect of maximum grain size on compaction.

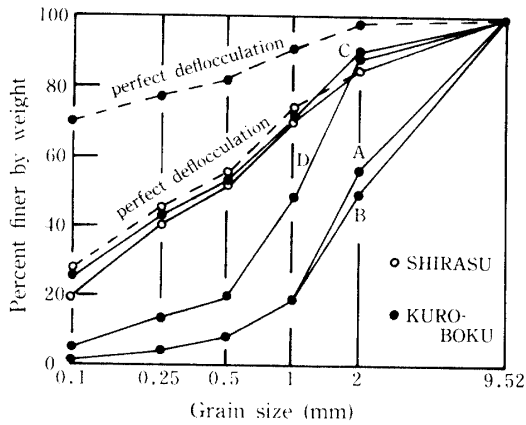


Fig. 4. Changes of aggregates with dry and wet processes for sample passing 9.52 mm sieve. (A, B, C, and D equal to the notations in Fig. 3.)

潤土の場合は $P < 50\%$ が粘性土, $P = 50 \sim 70\%$ が中間的性質, $P > 70\%$ が砂質土になる. また風乾土の場合は $P < 30\%$ が中間的性質, $P > 30\%$ が砂質土に区分され, 混合土は乾燥によって砂質土的性状が優勢になる. このような性質は混合土の粒度組成とも密接に関係している. すなわち 0.074 mm 以下の土粒子が 40% 以上で粘性土, 20% 以下で砂質土, 20~40% で中間的性質とする区分⁴⁾ と対比すれば, Fig. 2 の 2 mm ふり通過試料の場合は $P < 50\%$ で粘性土, $P = 50 \sim 80\%$ で中間的性質, $P > 80\%$ で砂質土に属し, 塑性指数による湿潤土の区分にはほぼ一致する. Fig. 2 の粒度組成から判断すれば, 混合土は礫含有量が多くなるにつれて低いシラス混入率で砂質土的性状が強くなると思われる.

2. 締固めにおける混合材の特異性

Fig. 3 に示すように, クロボクの締固め曲線は乾燥過程と湿潤過程で異なる. この非可逆的な変化がクロボクの特異性であり, 含まれるアロフェンに起因する性状であるといわれている. この傾向は試料の粒度組成によって変わり, 礫含有率が高くなると非可逆的な変化は小さくなり, 最大乾燥密度が大きく最適含水比が小さくなる. これに対してシラスは湿潤過程での締固め密度がばらつき, 最大乾燥密度が現れにくい特異性を有する. また Fig. 3 に示すように最大粒径が大きくなると乾燥密度が小さくなる傾向も通常の礫混合土とは逆の関係である.

一方, Fig. 4 に示すように突固め土の土壤構造においても両試料で顕著な相違がみられる. すなわち湿潤状態のクロボク (A) は突固めエネルギーを受けても団粒構造を維持するが, 乾燥が進む B では突固めエネルギーによって粗団粒が破碎され, 風乾状態 (C) になると粗団粒は残存しない. 湿潤過程のピーク密度 (D) で粗団粒が再生成されるが, 混合時の団粒構造には回復していない. この構造変化がクロボクの示す非可逆的な締固め曲線の一因である. これに対してシラスの場合は乾燥, 湿潤の両過程で粒度分布に差がなく, また完全分散試料の粒度分布との相違もほとんどない. このことは本実験で採用した突固めエネルギー ($E_c = 5.6 \times 10^4 \text{ m} \cdot \text{kgf/m}^3$) のものとはシラスの粒子破碎, とくに軽石礫の破碎が生じていないことになる. この破碎されない多孔質の軽石礫の存在が締固め密度を低下させた要因であろう.

3. 混合土の締固め効果

Fig. 5 は 9.52mm ふり通過試料を用いた混合試料の締固め曲線であり, シラスの混入量が多くなるにつれて曲線はゼロ空気間隙曲線に沿って左上へ移動する. Fig. 6 はこの傾向を表示しており, 湿潤過程のピーク密度および混入時の締固め密度とそれぞれの含水比がシラス混入率に対して示されている. Fig. 6 によれば混入率が大きくなるにつれて密度は増加し, 含

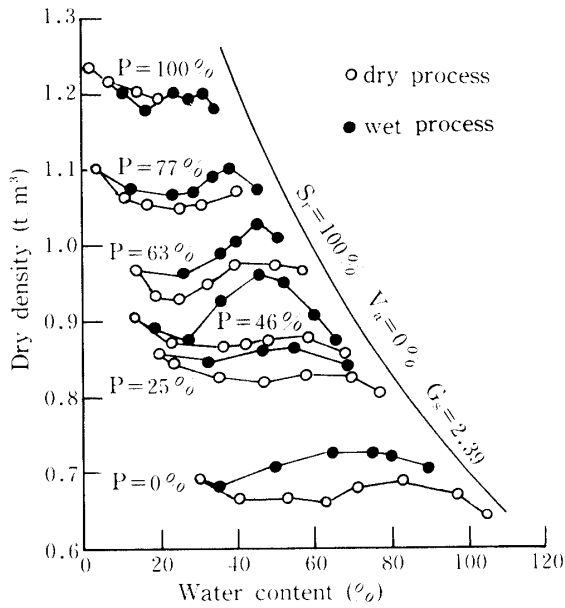


Fig. 5. Compaction curves of mixtures passing 9.52 mm sieve.

水比は小さくなる傾向が顕著である. このように混合土の締固め効果はシラスの混入量が多いほど高く評価できる.

このような締固め効果を示す混合土の3相モデルは締固めた混合材の3相を単純に加えたものに等しいとすれば, 混合土の含水比 (w_{mix}), 乾燥密度 ($\rho_{d,mix}$), 比重 ($G_{s,mix}$), 間隙比 (e_{mix}) および飽和度 ($S_{r,mix}$) は次式で表せる.

$$w_{mix} = (1-P)w_1 + Pw_2 \tag{2}$$

$$\frac{1}{\rho_{d,mix}} = \frac{1-P}{\rho_{d1}} + \frac{P}{\rho_{d2}} \tag{3}$$

$$\frac{1}{G_{s,mix}} = \frac{1-P}{G_{s1}} + \frac{P}{G_{s2}} \tag{4}$$

$$e_{mix} = \frac{\rho_w \cdot G_{s,mix}}{\rho_{d,mix}} - 1 \tag{5}$$

$$S_{r,mix} = \frac{w_{mix} \cdot G_{s,mix}}{e_{mix}} \tag{6}$$

ここで添字1はクロボク, 添字2はシラスを表わす. ただし P は(1)式を小数表示し, ρ_w は水の密度である.

Fig. 6 の測定値と(2)および(3)式は, 2mm ふり通過試料でよい一致をしめしている. またこの場合の混合土の比重と飽和度は, Fig. 7 に示すように(4)および(6)式とほぼ一致しており, 混合材の締固め試験を行えば混合土の状態量が推定できる. しかしながら 9.52mm

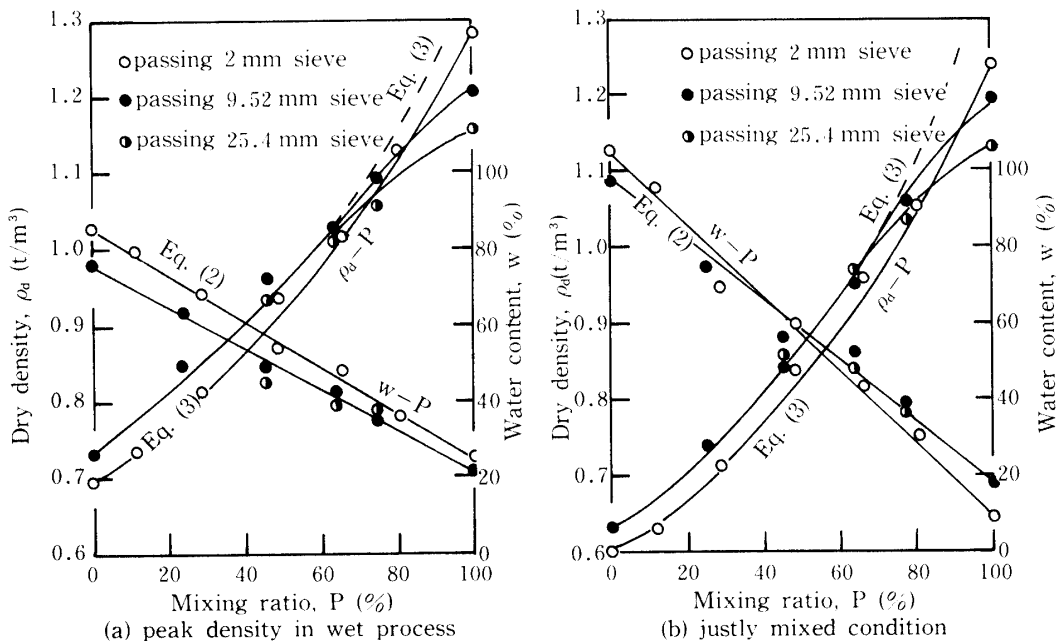


Fig. 6. Effect of mixing ratio on dry density and water content.

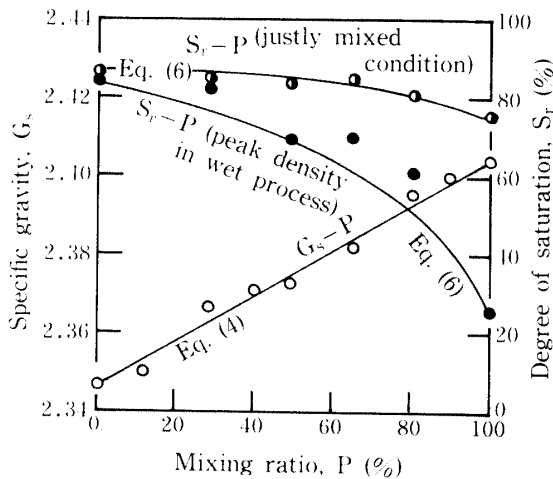


Fig. 7. Specific gravity of mixture and degree of saturation of compacted mixture passing 2 mm sieve.

および 25.4 mm ふり通過試料の場合は含水比が(2)式に近似するものの、乾燥密度の変化は(3)式に一致しない。Table 2 による 9.52 mm ふり通過試料の混合

Table 2. Gravel content of mixture passing 9.52 mm sieve

P (%)	Gravel content (%)
0.0	5.2
46.1	11.1
63.1	11.4
100.0	16.8

土の礫率は 5~16% の範囲にある。また 25.5 mm 以下のシラスの礫率は 21~26% 程度である。これらの測定例と通常の礫混入による締固め密度の低下傾向が礫率 40% 付近から現れることを比較すれば、Fig. 6 と(3)式とのずれはシラスに含まれる軽石礫の影響とみなせる、(3)式において ρ_{d2} に $P=63\%$ の乾燥密度を代入すれば、 $P \leq 63\%$ では測定値と(3)式はよく一致し、 $P > 63\%$ から(3)式とのずれが大きくなってくる。このように混入するシラスの粒径によって混合土の締固め効果は異なり、シラスの最大粒径が大きくなるにつれて混入率 60% 以上では密度の増加率が減少する。

Fig. 8 は、9.52 mm ふり通過試料の突固め供試体を用いて測定した耐水性団粒の集合度の変化である。Fig. 8 で A は混合時の含水状態、B は乾燥過程のピーク密度、C は風乾状態、D は湿潤過程のピーク密度に相当している。クロボクでは 2mm 以上の粗団粒の集合度が A の条件で 40% 以上もあるが、この粒径の団粒はシラスの混入率が高くなると急激に少なくなる。この傾向は B でも維持されているが、風乾状態 (C) になると粒径 0.1 mm 以上の団粒の集合度は低く、混入率の影響もほとんどみられない。この風乾状態から加水した D では、粒径 0.5~2mm の耐水性団粒の集合度が A および B の程度まで回復してくる。

以上の結果から、締固め材料はシラスの混入によって粗粒化する方向で混合されており、混合土の最適含水比が減少し、最大乾燥密度が増加する締固め効果は

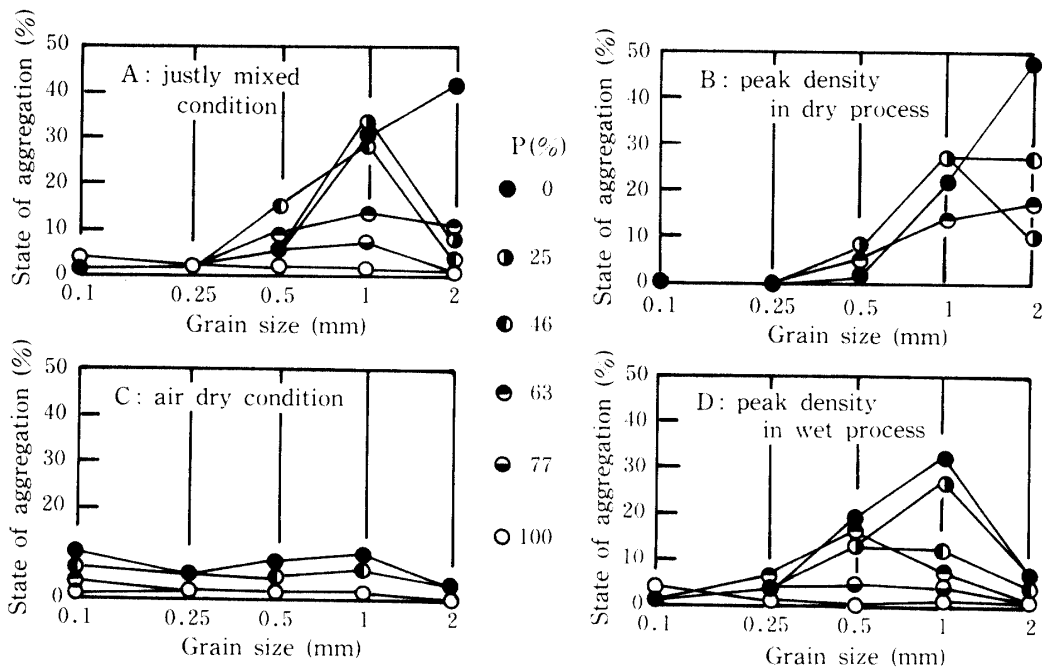


Fig. 8. Influence of compaction on state of aggregation (mixture passing 9.52 mm sieve).

大きい。このような含水比の減少および密度増加の傾向はシラス混入時の湿潤状態でも十分期待できる。しかしながら締固めによる土壌構造の変動は締固め土の工学的性質に影響を与えるから³⁾、混合土の締固め効果は密度で評価するとともに締固め土の土壌構造についても着目する必要がある。

要 約

最近、土質材料の締固めに当たっては土質、自然条件、賦存量などの点から2種類の材料を混合して用いる場合が多くなっている。その目的は締固め材料の質的および量的改良である。ここでは混合材としてクロボクとシラスを取り上げ、混合土の締固め効果について検討した。得られた結果は次のように整理できる。

1. 混合土の物理的性質はシラスの混入率が50%以下で粘性土、70%以上で砂質土の性質に近く、50～70%では中間的性質である。
2. シラスの締固め密度は粗粒部分が少ないほど高

い密度になるが、混合土の場合はシラス混入率および最大粒径が大きくなるにつれて締固め密度が増大する。この傾向は混入時の湿潤状態でも十分期待できる。

謝辞 本研究は文部省科学研究費総合研究(A)(代表者高山昌照九州大学教授)の分担課題の一部である。また本実験は川添俊一、樫本清和両君の卒業論文として実施した。付記して謝意を表する。

文 献

- 1) 土質工学会編：団粒分析試験，土の試験実習書，p. 77 (1981)
- 2) 古田 肇：黒ボク地帯における農道工事と舗装について，第64回農業土木学会九州支部講演集，184-187 (1984)
- 3) 三輪晃一・難波直彦・若松千秋：シラス地帯における新期火山灰土の締固め特性について，鹿大農学術報告，**31**，171-178 (1981)
- 4) 中瀬昭男：土のせん断，最上武雄編著「土質力学」，p. 534，技報堂，東京 (1969)
- 5) 矢部正宏：粘性土，土と基礎，**23** (1)，59-64 (1975)

Summary

Owing to the difficulty to find out a proper amount of better material for soil compaction in the field, improvement of the poor soil materials seems to have become necessary. Accordingly, in this paper, for the purpose of improving the engineering properties of KUROBOKU, the two sorts of materials, KUROBOKU and SHIRASU mixture, or the material which has been made by mixing up the volcanic ash soil with organic matter and pumice flow deposit, were put under investigation. The results obtained are as in the following:

1. When the mixing ratio of SHIRASU is below 50%, the mixture comes to show physical properties similar to a clay soil; while when it is above 70%, the mixture comes to show those similar to a sandy soil. When the ratio is at a range from 50% to 70%, the mixture shows an intermediate property.
2. In case the mixing ratio is below 60%, higher maximum dry density of mixture is obtained with increasing maximum grain size, whereas by discarding coarser portion of it, such a high value is obtained in case of above 60%.

On the other hand, the compact densities of the mixtures come to have a value larger than that of KUROBOKU in accordance with risings of the mixing ratio and of maximum grain size of SHIRASU. Provided that the mixture is kept at such a wet condition as in a mixed one, setting the mixture in a denser state may also be expected by means of the compaction.