

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

三輪晃一・難波直彦・若松千秋

(農地工学研究室)

昭和55年8月9日 受理

Compaction Characteristics of Younger Volcanic Ash Soils in Shirasu Area

Koichi MIWA, Naohiko NANBA and Chiaki WAKAMATSU

(Laboratory of Farm Land Engineering)

緒 言

南九州にはシラス層の上に新期ローム²⁾ または新期火山灰³⁾ とよばれる火山灰土が堆積している。これらの火山灰土の厚さはシラス台地内ではほぼ 3m 以下であり、シラス層の厚さに比べて非常にうすいためこの地域の土質工学的研究はおもにシラスを対象とする場合が多いように思われる。しかしながらシラス災害の誘因としてこれら火山灰土のもつ工学的性質が重要視されてきており、また最近の農地基盤整備においてもこの火山灰土が直接土工の対象になる機会も多い。そこで筆者らはシラス台地に堆積する新期火山灰土の物理的性質について実験調査を進めている⁴⁾。この一連の研究のうち土工上重要な締固めについて、ここでは新期火山灰土が示す締固めによる特異性を粗団粒の変形、破碎の形態にもとづいて検討する。

実 験 試 料

シラス台地に堆積する新期火山灰土の成層状態は噴出源、堆積年代および風化の程度が異なるために複雑である⁵⁾。本実験には表層土(黒ボク)を含めて比較

的層の厚い4試料を選択した。採取場所は十三塚原台地(溝辺町)の九州縦貫道の路線にあたる。この道路掘削断面から 100cc 採土円筒に採取した円柱試料の物理的性質が Table 1 である。採取試料の土質工学的分類名は⁶⁾、Fig. 1 の粒度組成と Fig. 2 の塑性図上の位置から4試料とも火山灰質粘性土に属する。しかし Fig. 2 に示すように各試料の生土と風乾土の塑性図上の位置が異なるために、その分類名も生土では VH₂ すなわち火山灰質粘性土(Ⅱ型)であり、風乾土では VH₁ すなわち火山灰質粘性土(Ⅰ型)であ

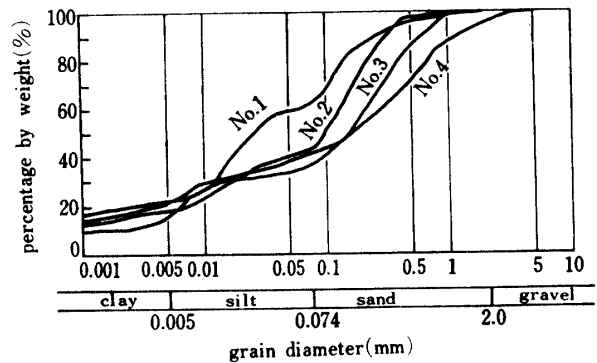


Fig. 1. Grain size accumulation curve.

Table 1. Physical properties of volcanic ash soil

volcanic ash soil	No	sampling depth (cm)	specific gravity	organic matter content (%)	water content (%)	dry density (g/cm ³)	void ratio	degree of saturation (%)	
alluvial deposit	black or dark brown soil (kuroboku)	1	0~30	2.401	15.4	93.14	0.580	3.14	71.3
	reddish brown soil (akahoya)	2	50~85	2.582	3.5	139.50	0.441	4.90	73.5
younger volcanic ash	black or dark brown soil	3	115~145	2.593	9.9	104.17	0.642	3.05	88.6
	dark gray soil	4	170~200	2.587	11.4	93.04	0.724	2.60	92.6

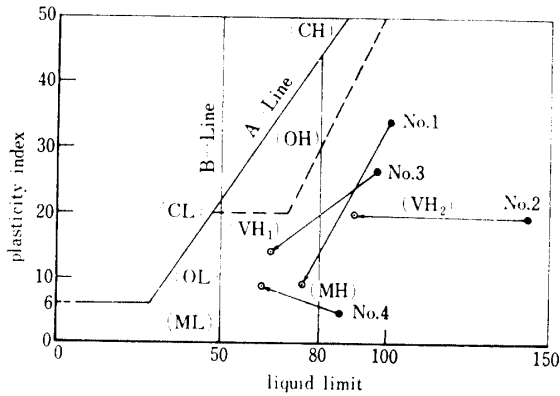


Fig. 2. Variations in plasticity chart for fresh soil (●) and air dried soil (○) of each sample.

(ML) : silt lower than liquid limit 50%, (MH) : silt higher than liquid limit 50%, (CL) : clayey soil, (CH) : clay, (OL) : organic clayey soil, (OH) : organic clay, (VH₁) : volcanic cohesive soil lower than liquid limit 80%, (VH₂) : volcanic cohesive soil higher than liquid limit 80%

る。この分類には 420 μ 以下の細粒分のコンシステンシーが関与しており、I 型と II 型の区分は液性限界80%を基準にしている。したがって供試土は乾燥処理に

よって工学的性質が変化しやすい土と考えられる。

実験方法および結果

(1) 締固め試験

火山灰土の締固め曲線は含水量を調節する向きによって非可逆的に変わる場合があり、このため土質工学会は3通りの試料の準備方法を規定している。本実験では上述の締固めによる非可逆的变化の有無を調べるために、乾燥法で非繰返し法(b法)を採用した。すなわち各試料は生土より風乾状態まで4から8段階の含水状態で2mmフルイを通過させた。この各段階の含水比を初期含水比とし、これに加水して3ないし8段階の含水比になる試料を用意した。各試料は2日間養生した。締固め方式は突固めによる方法で JISA12 10 (1・1・1) に準じた。各試料の締固め曲線は Fig. 3 に示した。生土 (Fig. 3 の A 点附近) より風乾状態 (Fig. 3 の C) にいたる乾燥過程と風乾から加水した湿潤過程 (Fig. 3 の C から E) の含水比と乾燥密度の関係は非可逆的に变化した。しかし試料 No. 1 は明瞭な非可逆的变化を示さなかった。また試料 No. 2 と No. 3 は初期含水比が大きいほど最大乾燥密度は小さく、最適含水比は大きくなる傾向を示したが、試料 No. 1 は採取時の含水比によって最大乾燥密度と

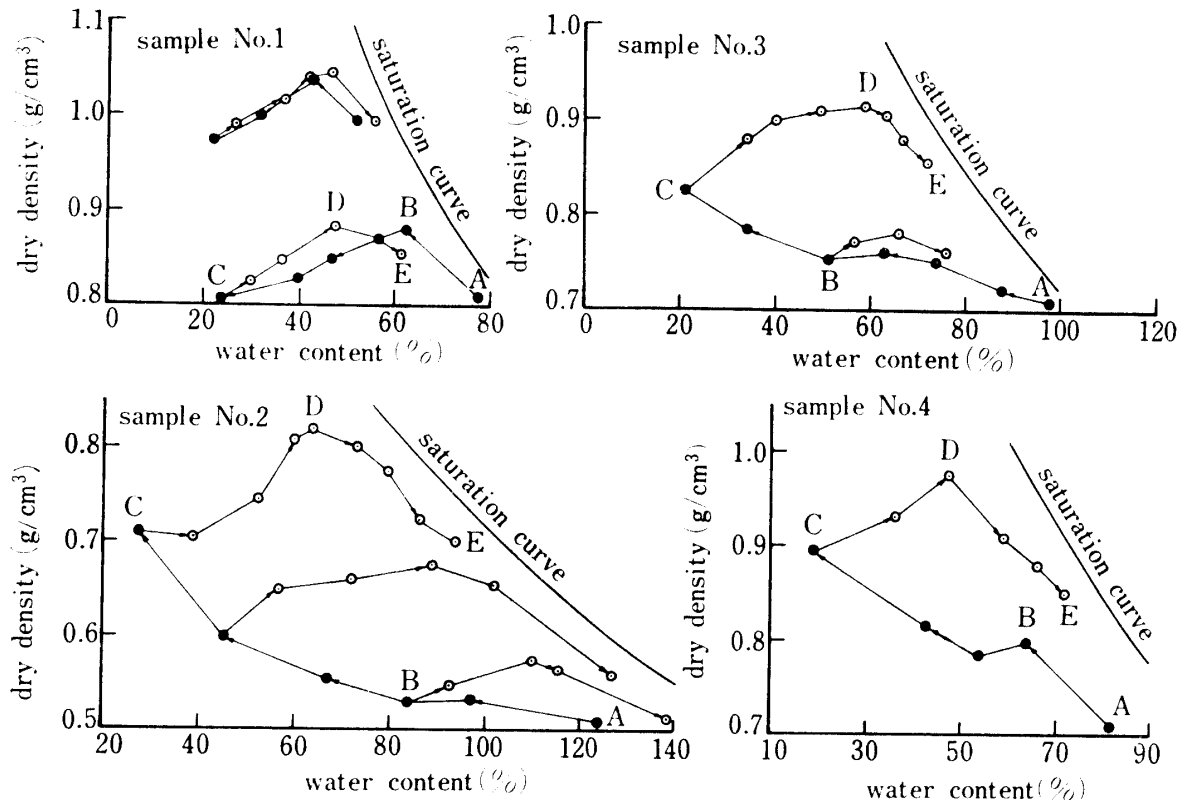


Fig. 3. Compaction curve of each sample (A→B→C: dry process, C→D→E: wet process).

最適含水比が異なる結果を示した。

試料 No. 1 と No. 3 について、Fig. 3 の A, C, D および E に相当する供試体の土構造を示した一例が Photo. 1 である。この場合供試体の固化法および薄片の作成にはつぎの方法を用いた。まず締固め供試体 (直径 10cm, 高さ 12.5cm) の中央部から直径 6cm, 高さ 2cm の固化用の供試体を成形した。つぎにこの供試体をキシレンで溶かした低濃度のバルサム液 (容積比でバルサムとキシレンの比が 1 : 5) に 24 時間浸したし、50°C で 12 時間炉乾した。バルサム液を高濃度 (1 : 1) に変えながらこの操作を約 10 回繰返したあと、20 日間 60°C で炉乾した。室温にもどした固化供試体は垂直断面を与えるように切断し、岩石薄片作成法と同じ要領で厚さ約 50 μ の薄片に仕上げた。検鏡には偏光顕微鏡を用いた。試料 No. 1 では C を除いて A から E まで比較的明瞭な微細団粒 (粒径 0.25mm 以下) の存在が特徴であった。試料 No. 3 ではこの微細団粒が明瞭でないが、両試料とも風乾状態の C で粗団粒 (粒径 0.25mm 以上) が特徴的に認められた。また間げきの形態は試料 No. 1 で団粒間間げきが明瞭であったのに対して、試料 No. 3 では団粒間と団粒内の間げきの区別が困難であった。

(2) 透水試験

この試験には試料 No. 1, 2, 3 を使用した。Fig. 3 の A, B, C, D および E に相当する締固め土の透水試験には突固め供試体をそのまま用い、変水位法を採用した。供試体の飽和には真空ポンプを用いたが、完全な飽和試料は得られず平均飽和度は 93% であった。測定結果を Fig. 4 に示した。試料 No. 1 では A→E で間げき比の変動幅は小さいが、透水係数は 10^{-4} から 10^{-6} cm/sec まで変化した。試料 No. 2 と No. 3 では C→D の湿潤過程の一部で間げき比が大きいほど透水係数も大きい傾向が得られるものの、A→C の乾燥過程では間げき比が減少したにもかかわらず透水係数は増大する傾向が顕著であった。

(3) 粗団粒集合体の圧縮試験

試料 No. 3 を生土より風乾しながら 3 段階の含水比に調節した試料と風乾後に絶乾した試料から、粒径 2 から 0.84mm の粗団粒を分類した。4 種類の含水比 (93, 50, 35 および 0%) の試料は各含水比ごとに一定重量を圧密リング (直径 6cm, 高さ 2cm) 内に満たし、載荷前の初期状態とした。載荷重には 4 種類の垂直応力 (0.4, 1.6, 6.4 および 12.8 kg/cm²) を用意し、初期状態の各供試体に加えた。Fig. 5 に測定結果の一例を示した。垂直応力の相違による粗団粒の変

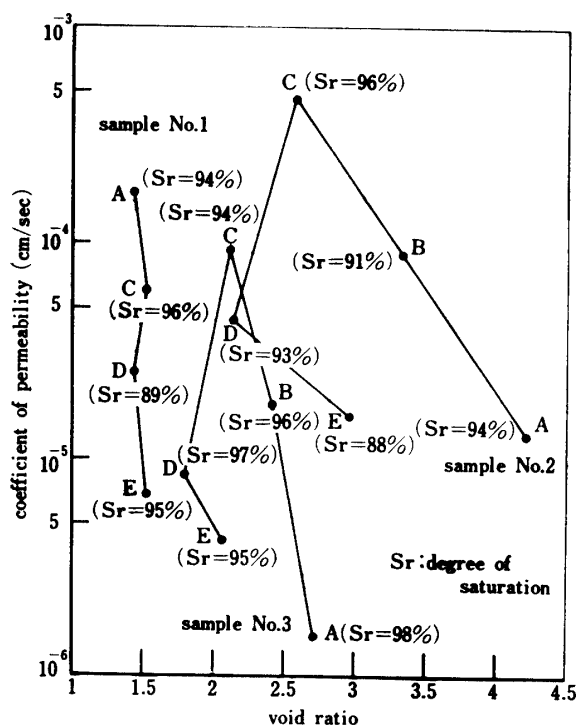


Fig. 4. Relationship between void ratio and coefficient of permeability for each sample using compacted specimens (A, B, C, D and E corresponde to Fig. 3).

形、破碎の状態を観測するために、圧縮供試体は前述のバルサムによって固化したが、この場合圧縮供試体を取り出すまでにつぎのような操作を行った。まず 24 時間載荷の状態 (Fig. 5 の a) をできるだけ維持するために、圧密箱から吸水させると同時に圧縮が進行しないように除荷した。この間の膨張量が Fig. 5 の a→b である。完全に荷重を取り除き (Fig. 5 の b), 吸水を許しながら膨張が終るまで測定した (Fig. 5 の

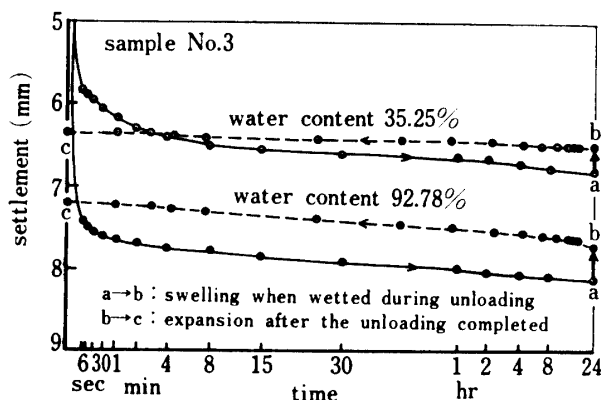


Fig. 5. Time-settlement curve of specimens composed of coarse aggregates by compression (normal stress 1.6kg/cm²).

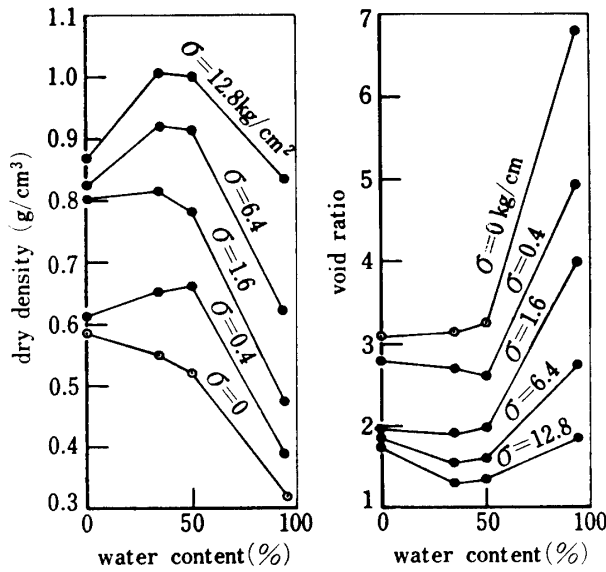


Fig. 6. Influence of water content to both dry-density and void-ratio of specimen composed of coarse aggregates under different compressive stresses (σ).

b → c). 全膨張量は 6% 以下であり, Fig. 5 の a の状態が近似的に Fig. 5 の c で代表できると判断した. このような操作は固化供試体を得るまでに低濃度のバルサム液の浸入による供試体の膨張を避けるためである.

Fig. 5 の c における圧縮供試体の乾燥密度と間げき比の変化は Fig. 6 に示した. 初期状態では含水比の減少により乾燥密度は増加し, 間げき比は減少した. また含水比 35% までは垂直応力が大きいほど乾燥密度は増加するが, 含水比 0% では減少した. この場合初期状態に対する載荷後の乾燥密度の増加傾向は垂直応力 1.6 kg/cm^2 まで含水比に関係なく同じであったが, 1.6 kg/cm^2 以上では含水比が高いほどその傾向は大きくなり, 含水比 93% で 2.6 倍に達した. しかし含水比 0% の場合垂直応力が 1.6 kg/cm^2 から 12.8 kg/cm^2 の間で乾燥密度の増加はほぼ一定で, 初期状態に対してその増加は 1.4 倍であった. このような圧縮作用下の供試体内で生じた粗団粒の変形, 破碎の形態は Photo. 2 と Photo. 3 に与えた. このうち Photo. 2 は含水比 35% の場合で垂直応力 0.4 kg/cm^2 では軽石レキと石質レキの間で粗団粒の変形が生じ, 1.6 kg/cm^2 作用下で破碎が始まり, 6.4 kg/cm^2 の場合完全に粗団粒は破碎して微細団粒に移行した状態が特徴であった. また Photo. 3 には垂直応力 (12.8 kg/cm^2) が一定のときの含水比の相違による粗団粒の挙動を示したが, 含水比 35% のとき粗団粒は完全に破碎されているのに対し,

含水比 93% では粗団粒は破碎されず変形した状態に観察されるのが特徴であった.

考 察

締固めの曲線の非可逆性は関東ロームで顕著に認められており, その原因には粘土鉱物とくに加水ハロイサイトの存在⁹⁾ や粒子の乾燥収縮と破碎⁶⁾ が挙げられている. ここで用いた供試土の場合もこれらの要因が複雑に関与していると思われる. ここでは締固め作用下の粗団粒の挙動が締固め曲線の非可逆的变化 (Fig. 3) と間げき比—透水係数の関係 (Fig. 4 の A→C) を与える一つの原因と考えている. この場合黒ボク (試料 No. 1) のような団粒構造の火山灰土では構造の構成単位を団粒と考える立場がある⁹⁾. 一方他の供試土とくに試料 No. 2 (アカホヤ) では構造の単位を団粒とは考えにくい. しかしこの試料も乾燥過程では団粒が形成され, その安定性を別にすれば締固め用の試料は団粒で構成されているとみなせる.

(1) 締固め曲線の非可逆的变化

乾燥過程 (Fig. 3 の A→C) での左上りの曲線は同一粒径の団粒の乾燥密度が風乾によって増大し, 締固めによってこの傾向が強まるためである (Fig. 6). すなわち生土附近では締固め作用下で団粒内間げきが残るため乾燥密度は増加しない. 一方風乾が進むにつれて団粒は乾燥収縮し団粒内間げきが減少する. 締固めエネルギー (平均圧力約 1.2 kg/cm^2) によってこの団粒は破碎され, 団粒間間げきも減少して乾燥密度は増加する. これに対して湿潤過程の場合, 一度乾燥した団粒では加水した水分は締固めに対して潤滑作用として働くから, 団粒間間げきは減少して乾燥密度が増加する. このため湿潤過程では通常締固め曲線の形状を示し, 乾燥, 湿潤の両過程で非可逆的な変化が得られる. また乾燥を受けた火山灰土 (試料 No. 1) では 2 日間程度の養生期間で出入する水は自由水だけであるとみなせば可逆的な締固め曲線になる.

(2) 間げき比と透水係数の関係

土の透水性には間げきの大きさとその連続性が影響するために間げき比と透水係数の関係は簡単ではないが, 一般に締固め土の透水係数は最適含水比よりも少し高い含水比のとき最小になる. この関係は湿潤過程 (Fig. 4 の C→E) で一応満足されており, 団粒間間げきの増減で説明できる. 一方乾燥過程 (Fig. 4 の A→C) では間げき比が減少するのに対して透水係数は大きくなる. この関係は透水係数が間げき比に比例する通常の場合とは逆の関係になる. このような締固

め土の特異性は関東ロームでも認められており、この現象は団粒の乾燥収縮による単位密度の増加と団粒の破碎で説明するとわかり易い。すなわち生土附近の高含水比状態で締固めた場合、団粒は変形しやすく団粒間間げきが減少する。一方団粒は乾燥収縮の程度が極めて少ないから団粒内間げきは相当量残存する。また風乾に近い低含水比状態の場合、団粒の乾燥収縮によって団粒内間げきは減少する。しかし団粒は締固めによって破碎されるため団粒間間げきが高含水比の場合に比べて多くなる。このため間げき比は風乾にともなって減少するが、団粒間間げきは生土附近よりも風乾状態の方が多くなるために乾燥が進むほど透水係数は大きくなると考えられる。

以上の説明には Photo. 2 と Photo. 3 を根拠としているが、この場合と Fig. 3 と Fig. 4 に示した締固め土の特異性とは供試体の準備方法が異なる。前者は静的荷重による締固めに近いのに対して後者は衝撃的荷重による締固めである。この相違のために Photo. 2 と Photo. 3 に与えた粗団粒の挙動が突固め供試体内で一様に生起しているとは言えないが、Photo. 1 からランマーによる衝撃的荷重を受ける方が団粒の破碎は生じやすいように思われる。

要 約

シラス台地に分布する新期火山灰土の締固め試験の結果は次のように整理できる。

(1) 締固め曲線は関東ロームと同様に非可逆的に変わり、初期含水比が大きいほど最大乾燥密度は小さく、

最適含水比は大きい。

(2) 乾燥過程における締固め土は間げき比が減少するにもかかわらず透水性は増大する。

このような締固め土の性質は団粒の乾燥収縮および破碎によって説明でき、その根拠になる圧縮力作用下の粗団粒の変形、破碎の過程を特徴的に示した。

謝 辞 本研究には文部省科学研究費の補助を受けた。また実験には佐藤栄次、山田雄司両君の協力を得た。ここに謝意を表す。

文 献

- 1) 土質工学会：土質分類法ならびに分類結果表示法。土と基礎，20 (5)，67-78 (1972)
- 2) 郷原保真・小森長生：鹿児島県大隅半島の第4紀層一特に火山噴出物について一。資源研彙報，54~55，176-190 (1961)
- 3) 松井健・和島誠一：大隅半島の埋没性火山灰土壌の類別・分布および起源について（追補および総括）。資源研彙報，54~55，161-175 (1961)
- 4) 難波直彦・三輪兎一・若松千秋：シラス台地に成層状態で滞積する火山灰土の物理的性質——シラス地帯における土の特性と水の動態（I）——。農土論集（投稿中）
- 5) 長田昇・新垣雅裕・伴一男：黒ボク土の団粒の安定性とその構成モデル。三重大農学報，54，81-87 (1979)
- 6) 多田敦：関東ロームの締固めと透水係数 1。農土論集，14，36-40 (1965)
- 7) 露木利貞・他4名：鹿児島県十三塚原台地の地質——いわゆるシラス台地の地質構造の一型式——。鹿大理紀要（地，生），3，93-103 (1970)
- 8) 山口柏樹：土質力学。技報堂，p. 46 (1969)

Summary

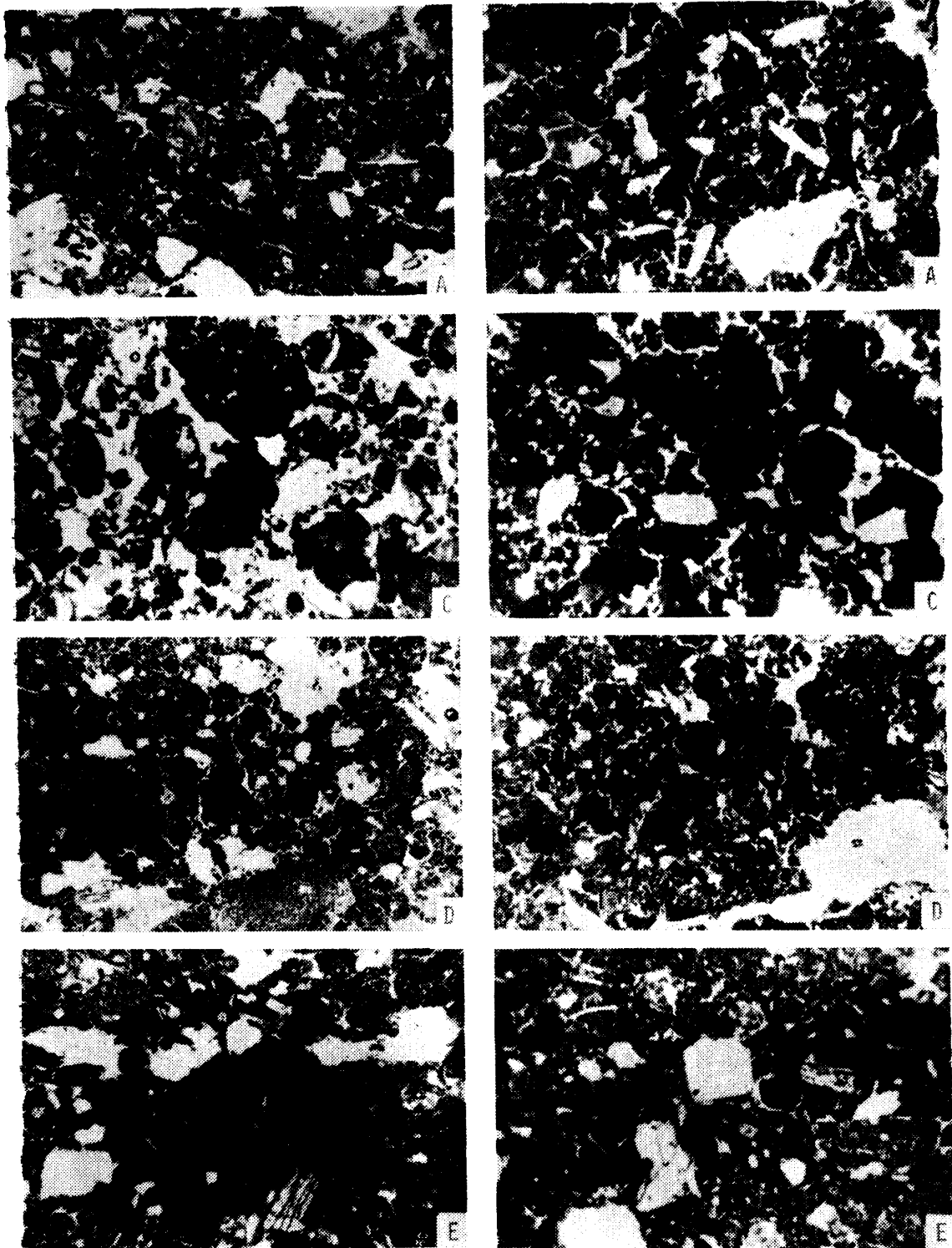
Compaction characteristics of younger volcanic ash soils found widely in Shirasu area, spread in the south of kyushu, were studied. The compaction test result was noted to be quite unusual on account of the fact that it was almost impossible to define correctly the optimum water content, because the resulting compaction curve was so arbitrary that if any pre-drying were permitted it was to be depending only exclusively on the degree of the pre-drying. Permeability of the compacted specimen was also so unusual that the coefficient of the permeability increased with the decreasing of the void ratio during the dry-processing.

Microscopic examination of the compacted soil fabrics was carried out for the purpose of accounting for these peculiarities with revelation that major differences were due to the fracture in soil aggregates. The significant change in the behaviour of coarse aggregates in the grain size from 2 to 0.84 mm was ascertained to be the result of deformation and fracture brought forth by the different compressive stresses and water contents. Compaction characteristics of these soils due to the fabric changes are to be illustrated in the following. In a case when coarse aggregates are sup-

plied with a high degree of water content, it becomes easy for them to undergo a deformation which will make them be resistant to the fracture which is to be brought forth by compaction energy with the accompanying decrease in structural pore space. As the textural pore space is kept still, dry density comes to be increased only slightly while low permeability is brought forth in spite of this phenomenon that the void ratio is not occasioned to be decreasing. Otherwise, in a case when the sample is turned into an air drying-condition, the coarse aggregates come to be fractured by compaction, and the structural pore space between the fine aggregates comes to have a dominant effect on permeability. Owing to this fact, high permeability is measured in spite of the increasing of dry density and of the decreasing of void ratio. Thus hysteresis-loops of compaction curve are obtained due to the fact that molding water acts on the lubrication for the air drying sample.

Explanation of photographs

- Photo. 1. Microfabrics of the compacted specimens for samples No. 1 and No. 3, where A, C, D and E correspond to those in Fig. 3.
 A→C: dry process, C→E: wet process, C: air dry, D: optimum water content, vertical section, 20×
- Photo. 2. Major changes of coarse aggregates subjected to various normal stresses (σ) at water content 35% of the sample No. 3.
 I: coarse aggregate assemblage before compression (specimen; dry density 0.54g/cm³, void ratio 3.15)
 II: irregular aggregate before fracture (specimen; dry density 0.66g/cm³, void ratio 2.61)
 III: fracturing aggregate between pumice grain (*P*) and lithic grain (*L*) (specimen; dry density 0.84g/cm³, void ratio 1.87)
 IV: fine aggregate assemblage resulted from fractured coarse aggregates (specimen; dry density 0.93g/cm³, void ratio 1.54)
- Photo. 3. Influence of water content to the pore formed by compression. (normal stress 12.8kg/cm²)
 I: dominant formation of pores occurring between fine aggregates resulted from fractured coarse aggregates
 II: dominant formation of pores occurred within coarse aggregates existing in the deformed coarse aggregates



Sample No. 1

0 1 mm

Sample No. 3

Photo. 1

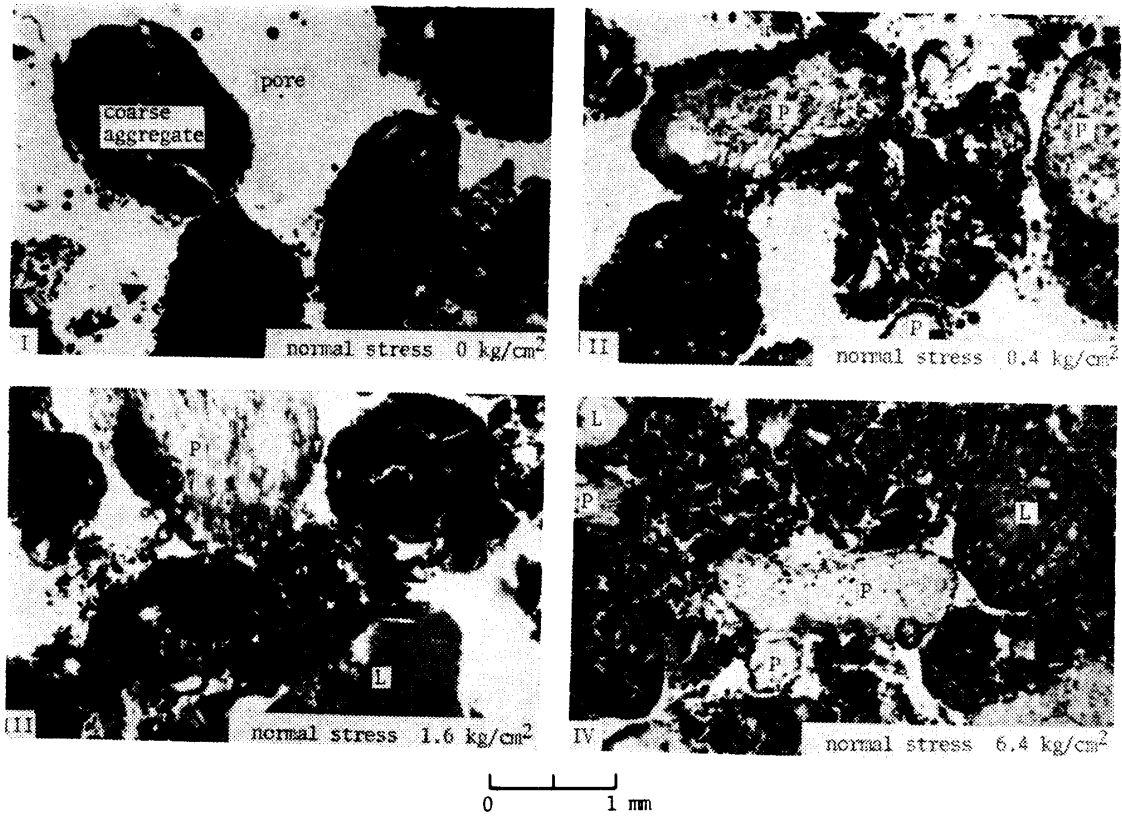


Photo. 2

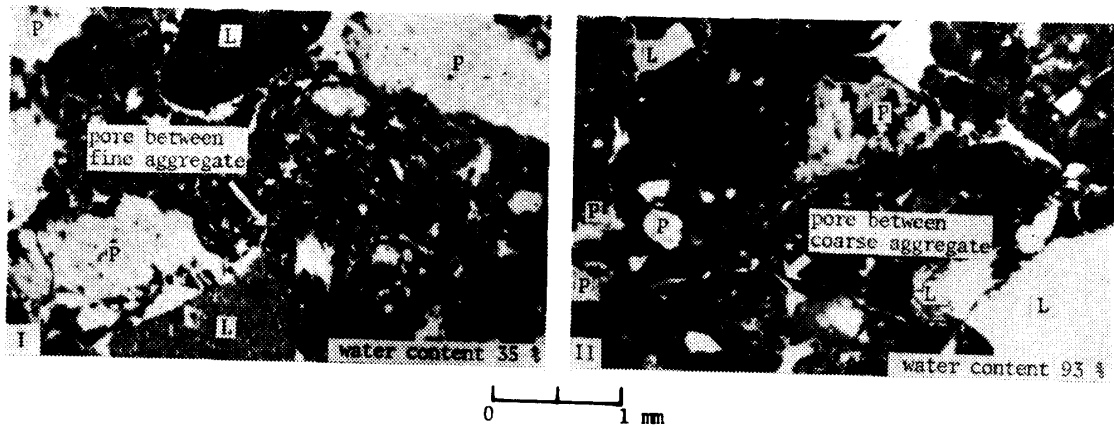


Photo. 3