

赤音地の締固め特性に関する研究

山村善洋

(農学部 土地保全学研究室)

Studies on the Compaction Properties of Akaonji

Yoshihiro YAMAMURA

Laboratory of Land Conservation, Faculty of Agriculture

Abstract: In southwestern Shikoku, there exists a volcanic ash soil named Akaonji. The writer confirms that Akaonji has many peculiar physical and mechanical properties which are the same as other volcanic ash soils; e.g. Kanto loam.

This paper reports the property of compaction and the unconfined compression strength and the permeability of Akaonji in relation to compaction.

The permeability of Akaonji varies significantly from 10^{-3} to 10^{-6} cm/s with moisture content at compaction. The writer infers that the reason is not only the change of porosity but also the dwindled effective porosity because of the adsorbed water at compaction.

In order to clarify the reason in more detail, we must study the relationships between the compaction curves and the soil moisture characteristic curves of Akaonji.

緒言

一般に土は締固めることによって、その物理的・力学的性質が変わることが知られている。しかも、その締固め特性は、土質、含水量、締固めの方法の違いによって異なり、締固め曲線によって比較することができる。

この報告は、四国西南地域に分布する火山灰土壌“赤音地”¹⁾の締固め特性と、締固めに伴う一軸圧縮強度ならびに透水性への影響に関する実験結果を報告し、考察を加えたものである。

試料“赤音地”について

赤音地の物理特性については別報にて詳述するので、ここでは簡単に述べる。赤音地は火山ガラスを主骨格とし、比重 (G_s) が2.40~2.50前後と他の土壌と比較して小さく、かつ、不攪乱状態

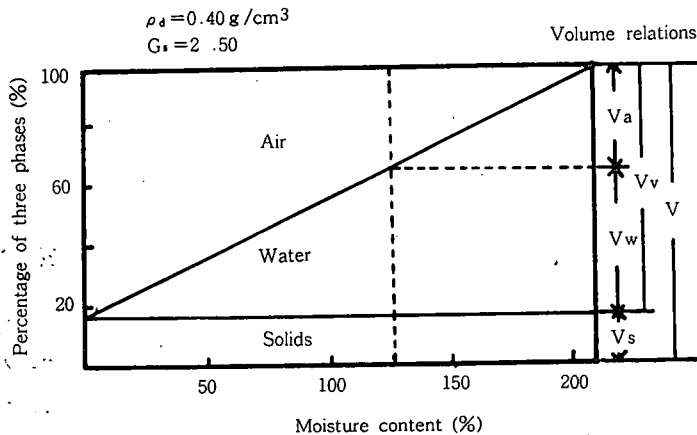


Fig. 1 Schematic diagram of undisturbed Akaonji as three-phase system in relation to moisture content

での乾燥密度 (ρ_d) は、 $0.40 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 前後でこれも著しく小さい。赤音地 (不攪乱) の三相分布を含水比との関係で示すと Fig. 1 の様に表わされる。

比重 (G_s) が 2.50 の時、乾燥密度 (ρ_d) が $0.40 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ということは、固相率が 16% ということになる。赤音地の自然含水比 $120\sim 130\%$ では液相率が $45\sim 50\%$ 、飽和状態では含水比が 200% を越え、液相率が $80\sim 85\%$ となる。乾燥し含水比が 20% 以下になると、軽石の様相を呈し重量感が全く無くなる典型的な火山灰土壌である。

土質と締固め特性

赤音地の締固め特性を他の土質のそれと比較するために、典型的な締固め曲線を Fig. 2 に示す²⁾。砂礫や砂質ローム混じり礫のような粗粒な土 (sample No. 1, 2, 3) では、最適含水比は $8\sim 12\%$ と低く、締固め最大乾燥密度は $1.9\sim 2.1 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ と大きく、かつ、締固め曲線は尖鋭な山形を示すが、粘土 (sample No. 7, 8) では、最適含水比は $37\sim 50\%$ と高いが、最大乾燥密度は $1.1\sim 1.3 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ と低く、かつ締固め曲線の形は平らになっている。

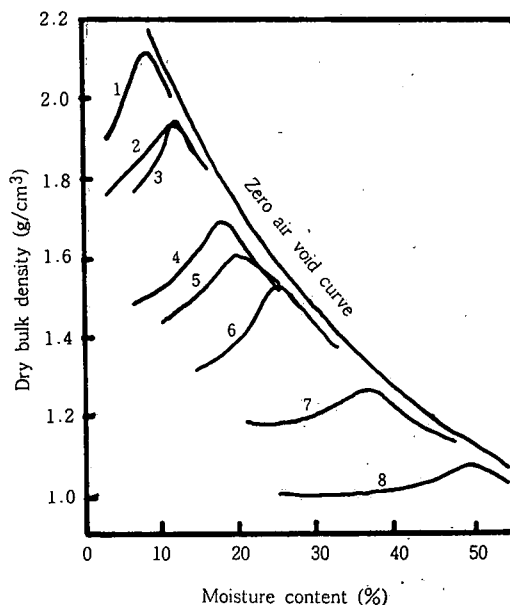


Fig. 2 Typical compaction curves of several soils

赤音地の締固め特性

JIS A 1210-1980 に規定された 1-1-a 法によって、赤音地の締固め試験を行なった。その結果を Fig. 3 に示す。

Fig. 3 に見られる様に、締固め開始時の含水比の違いによって締固め曲線が異なり、最適含水比、最大乾燥密度が異なるという特性を持つことが分る。Fig. 2 に示されたデータと比較すると、赤音地の最適含水比の値は $60\sim 80\%$ と著しく大きく、かつ最大乾燥密度が $0.75\sim 0.90 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ と著しく小さいことが明示されている。

赤音地は普通埋没土として存在し、自然含水比が $120\sim 130\%$ 程度であるから、室内実験で最大乾

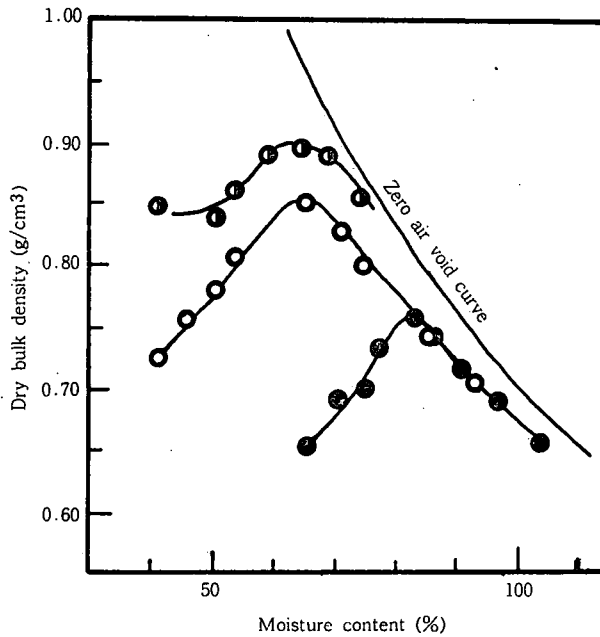


Fig. 3 Compaction property of Akaonji

乾燥密度 $0.8 \sim 0.9$ (g/cm^3) の締固めを行なうことは容易であっても、現場での問題として、保水性の良い赤音地を乾燥させ、この程度の締固めを行なうことは容易でないと考えられる。

このような締固め特性は、関東ロームに代表される火山灰土壌に見られ³⁾、土質構造物の材料としては好ましくないものであることを示している。

なお、土質工学では、工学上の水分恒数としての締固め最適含水比 (W_{opt}) を pF 値で 3.0 前後としている。すなわち、最適含水比以下の含水比は、 $pF > 3.0$ に相当するわけで、土粒子に強い結合力で保持されていることになる。

このことは後述する透水性と関係している。

締固めと一軸圧縮強度

前述の締固め試験に基づいて締固めた試料を、JIS A 1216 T-1976 に基づいて一軸圧縮試験を行った。その結果を Fig. 4 に示す。図には供試体作成時の締固め曲線をあわせて示している。Fig. 4 に見られる様に、締固めた赤音地の一軸圧縮強度 (q_u) も、乾燥密度同様、含水比の変化に対して山形の変化を示すが、最大強度 3.0 (kgf/cm^2) を示す曲線の頂点は、締固め曲線の頂点よりやや乾燥側に見られる⁴⁾。

Fig. 4 は、一つの締固め曲線に対応する一軸圧縮強度の変化を示したものであるが、赤音地は、Fig. 3 に示される締固め特性を持っており、締固めの開始時の含水比により締固め曲線が変化するので、強度も各々の締固め曲線に対応して変化するものと考えられる。従って、このことは、締固め供試体の乾燥あるいは吸湿に伴う含水比の変化と、強度変化との関係とともに今後の研究課題である。

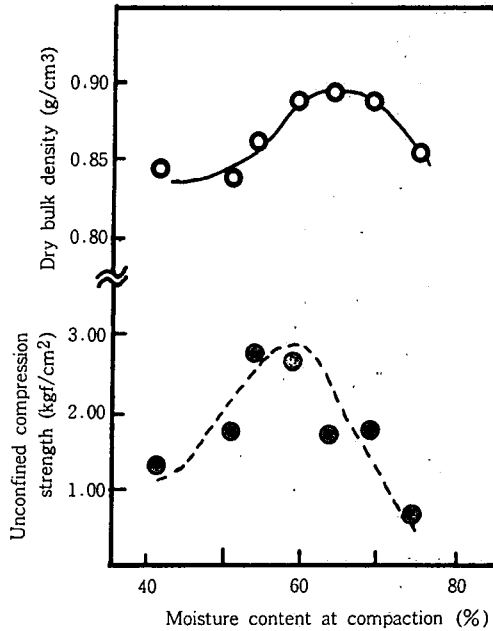


Fig. 4 Variations of unconfined compression strength and dry bulk density with moisture content at compaction

締固め特性と透水性

透水性を表わす基本量である透水係数は、土質により異なるが、同じ土質であっても、締固めの程度、浸透水の水温、間げきの飽和度⁵⁾によっても変化する。Table. 1 は、透水係数と土質との関係を示したものである⁶⁾。

浸透水温の違いは、温度補正によって、また、飽和度は実験の手法によって解決できる問題である。そこで、赤音地の透水係数が、締固めの程度によってどの様に変化するのかが実験により調査した。以下に述べる透水係数は、標準温度 15°Cにおける飽和透水係数のことを意味し、 K_{15} で表わす。

Table 1. Variations of permeability with diameter

	Clay	silt	very fine sand	fine sand	middle sand	coarse sand	small gravel
diameter (mm)	0~0.01	0.01~0.05	0.05~0.10	0.10~0.25	0.25~0.5	0.5~1.0	1.0~5.0
permeability (cm/s)	3×10^{-6}	4.5×10^{-4}	3.5×10^{-3}	1.5×10^{-2}	8.5×10^{-2}	3.5×10^{-1}	3.0

Fig. 5 は、赤音地の締固め試料を、JIS A 1218 T-1979 土の透水試験方法(案)に基づいて行なった変水位透水試験の結果(図中の数字は Exp. No.)を示したものである。縦軸(対数目盛)に透水係数、横軸(算術目盛)に締固め時の含水比をとっている。なお、透水試験用の試料の締固めは、いずれも1層(6.4 cm)の25回突固め方法で行なった。各供試体作成時の乾燥密度(ρ_d)、湿潤密度(ρ_w)と含水比との関係も、図の上にあわせ示している。飽和度は、いずれの場合も100%とみなせる値である。

この結果を見ると、締固め時の含水比が25.3%から最適含水比65%付近まで、透水係数は片対数紙上でほぼ直線で表わされ、 10^{-3} から 10^{-8} (cm/s)まで 10^3 のオーダーで変化する。最適含水

比以上の Exp. No. 8 を除く 7 個のデーターを、最小 2 乗法によって、透水係数と締固め時の含水比との関係を近似式で表わすと次式が得られる。

$$K_{1s} = 0.0773 \exp(-0.144W) \quad (1)$$

$$r = 0.935$$

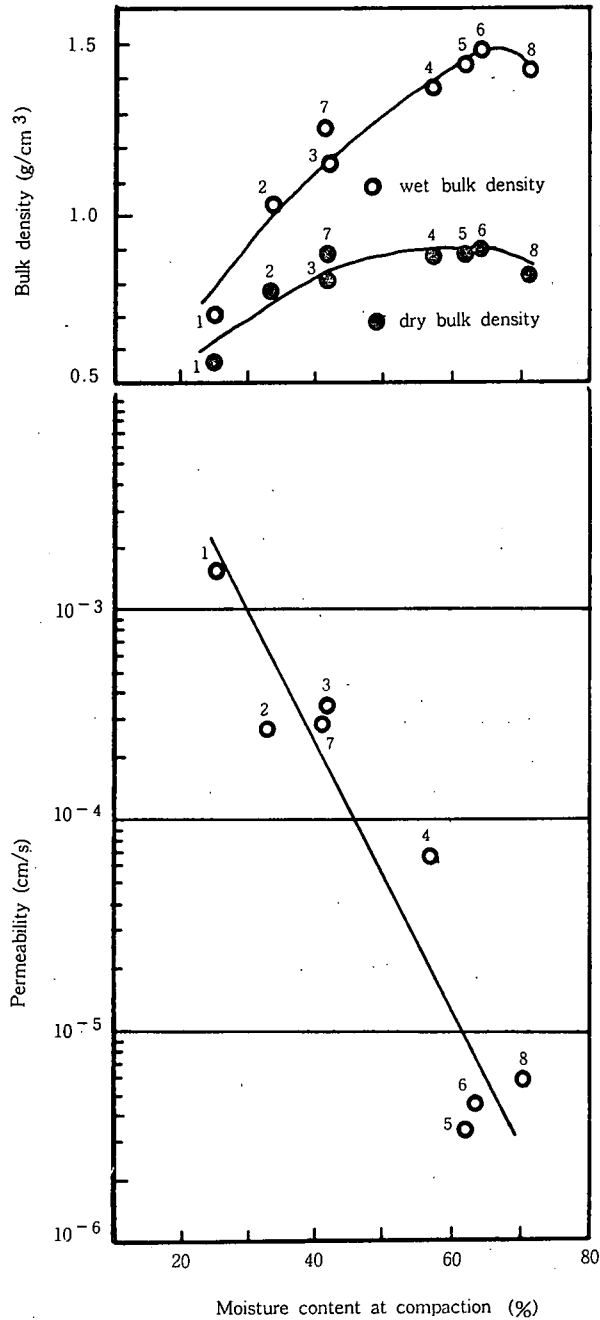


Fig. 5 Variations of permeability and bulk density with moisture content at compaction

なお、不攪乱赤音地の乾燥密度は $0.40 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 前後で、透水係数は 10^{-3} (cm/s) のオーダーである。

Fig. 6 は、同じ実験データを、片対数紙に透水係数と乾燥密度および湿潤密度との関係でプロットし直した図である。

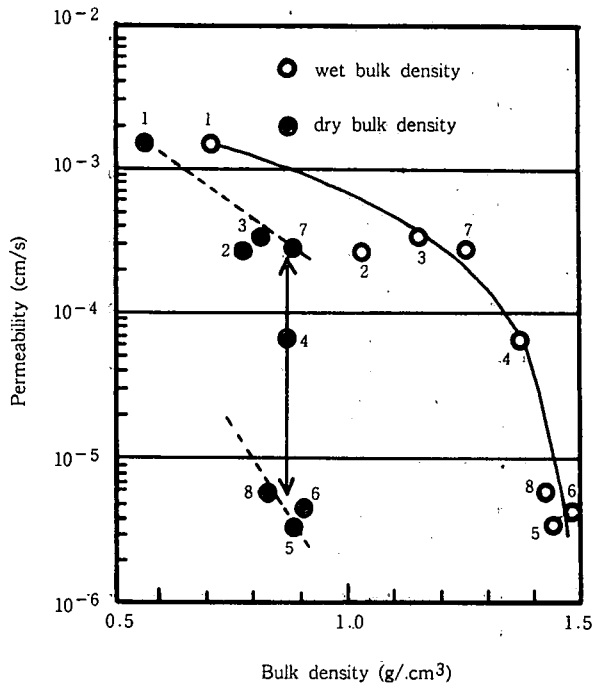


Fig. 6 Variations of permeability with dry and bulk density

この図を見ると、透水係数と湿潤密度との関係は、ほぼ曲線で表わされるのに対し、乾燥密度との関係では、同一の乾燥密度に対して、透水係数が 10^2 のオーダーで変化することを示している。このことは、乾燥密度の関数として透水係数を表わすことが難しいことを意味している。

透水試験結果についての考察

同じ土、同じ締固め方法であっても、締固め時の含水比の違いによって乾燥密度が変化する。また、乾燥密度 (ρ_a) と間げき率* (n) との間には、次式の関係がある。

$$n = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_w G_s} \quad (2)$$

この関係式を用い、透水試験時の締固め含水比と三相分布の変動の様子を図示すると、Fig. 7 の様に表わされる。所謂“間げき率 (n)” は、図中の液相と気相に相当する n である。(図中の数字は、Exp. No. である。)

* 間げき率は、普通%で表示するが、ここでは体積比で表わす。

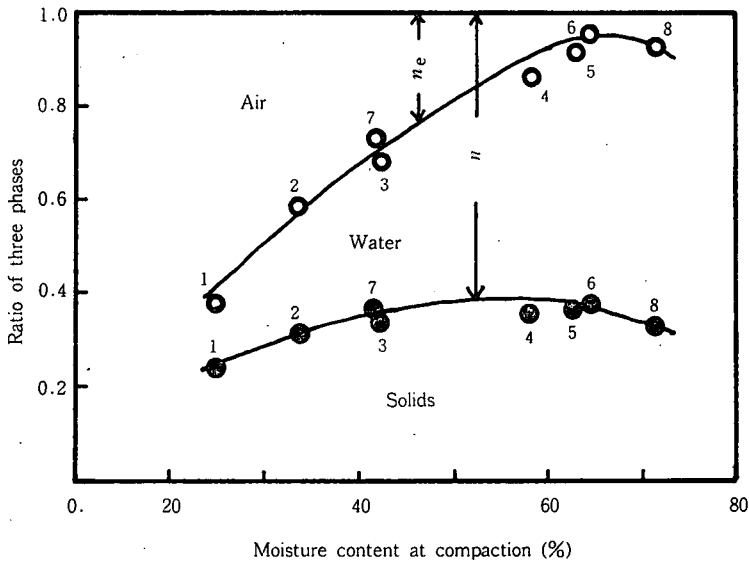


Fig. 7 Relations between the ratio of three phases and moisture content at compaction

透水係数を間げき率の関数として表わす試みが、数多くの研究者によって行なわれてきている⁷⁾が、代表的なものとして、Kozeny の $n^3/(1-n)^2$ 、Zunker の $n^2/(1-n)^2$ がある。これらに実験データの n を代入して整理すると、Table. 2 の様になる。

Table 2. Values of n , $n^3/(1-n)^2$ and $n^2/(1-n)^2$

Exp. No.	n	$n^3/(1-n)^2$	$n^2/(1-n)^2$
1	0.76	7.62	10.03
2	0.68	3.07	4.52
3, 8	0.66	2.49	3.77
4	0.64	2.02	3.16
5, 7	0.63	1.83	2.90
6	0.62	1.65	2.66

表に見られる如く、間げき率 (n) が 0.76 から 0.62 まで変化しても、両値は 1/5 程度しか変化せず、実験結果に見られる透水係数の変動を説明できるものではない。

そこで、次の様な考察を加える。最適含水比以下での締固め時に、試料に含まれる水分は、 $pF = 3$ 以上の水分に相当する。このことは、締固めた供試体を透水試験前に飽和させるために、真空ポンプを用いて、73 cmHg に相当する真空度で試料を吸引しても、供試体からの脱水が認められないことによって裏付けられる。すなわち、締固め時に含まれる水分は、3.0 以上の高 pF に相当する力で土粒子に結合された非自由水であって、通常の水試験時の動水勾配では、浸透に関与しないと考えられる。

そこで、実際の浸透に“有効な間げき”を、Fig. 7 の気相分に相当する n_e と考える。先と同様に、 n の代わりに、 n_e の値を入れて結果を整理すると、Table. 3 の様になる。

Table 3. Values of n_e , $n_e^3/(1-n_e)^2$ and $n_e^2/(1-n_e)^2$

Exp. No.	n_e	$n_e^3/(1-n_e)^2$	$n_e^2/(1-n_e)^2$
1	0.62	1.65	2.66
2	0.41	1.98×10^{-1}	4.83×10^{-1}
3	0.31	6.26×10^{-2}	2.02×10^{-1}
7	0.26	3.21×10^{-2}	1.23×10^{-1}
4	0.13	2.90×10^{-3}	2.23×10^{-2}
5	0.076	5.14×10^{-4}	6.77×10^{-3}
8	0.065	3.14×10^{-4}	4.83×10^{-3}
6	0.038	5.93×10^{-5}	1.56×10^{-3}

この表に示される様に、“有効間げき”を前述の様に考えると、 n_e の値が0.62から0.038まで変化する時に、Zunkerの係数は 10^3 のオーダーで変動することが示され、実験結果の透水係数の変動とオーダーが一致する。Exp. No. 3に相当する透水係数を基準にして、この係数によって、各 n_e に対する透水係数を求め、実験データと比較したものが、Fig. 8である。この図から、透水係数を“有効間げき率”との関係で片対数紙にプロットすると、曲線で近似でき、かつ、“有効間げき率”をZunkerの間げき率を考慮した式に適用すると、実験値とよく一致することが認め

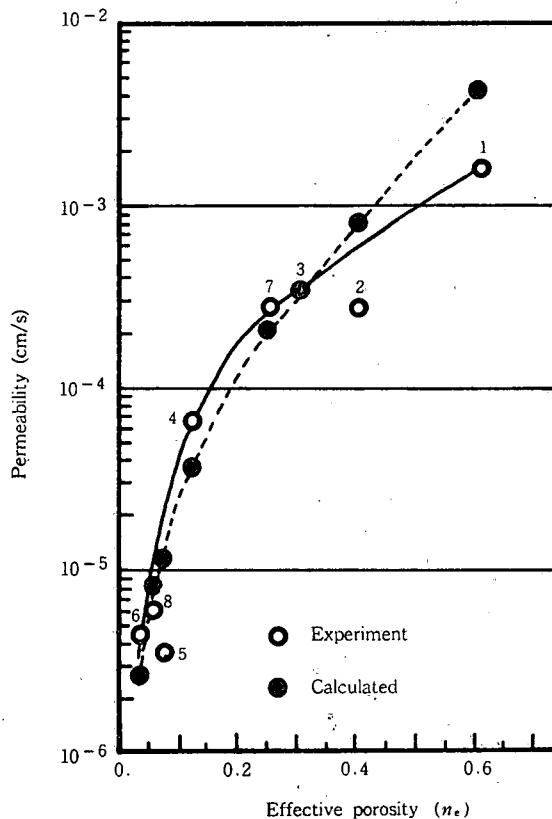


Fig. 8 Relations between permeability and effective porosity

られる。このことは結果的に、締固め時に含まれる水分が、浸透に関与しない非自由水であることを示していると考えられる。

結 言

赤音地の締固め特性を調べることによって、赤音地が関東ロームをはじめとする火山灰土壌と同様の特性をもつことが明らかになった。

締固め特性と強度特性との複雑な関係を明確にするには、更に数多くの実験データが必要である。

締固め特性と透水性との関係を知るために、締固め時の含水比を変えて、締固め密度（乾燥密度、間げき率）を変化させ透水係数との関係を求めたところ興味ある結果が得られた。そこで、著者は、締固め特性と透水性との関係を見るために、次の2点について検討すべきことを提言する。

1. 締固め時に含まれる水分が、 pF でいくらに相当するかを知るために、様々な締固め密度に対する水分特性曲線を求めること。
2. 透水係数と間げき率、あるいは乾燥密度との関係を知るためには、同一の含水比の試料で、例えば、突固めの回数とか層の数を変えて、締固めの方法を変えて作成した供試体で透水試験を行なうこと。

参考引用文献

- 1) 高知県百科事典, p. 134 高知新聞社, 高知 (1976)
- 2) 河上房義・柳澤栄司, 土の締固め, p. 23 鹿島前版会, 東京 (1975)
- 3) 河上房義・柳澤栄司, 前出, p. 65
- 4) 河上房義・柳澤栄司, 前出, p. 43
- 5) Scheidegger, A. E. The physics of flow through porous media, 3rd ed., pp. 250—255, University of Toronto Press, Toronto and Buffalo (1974)
- 6) 最上武雄編著, 土質力学, p. 104 技報堂出版, 東京 (1969)
- 7) 最上武雄編著, 前出 pp. 99—102

(昭和56年9月11日受理)

(昭和57年2月6日発行)