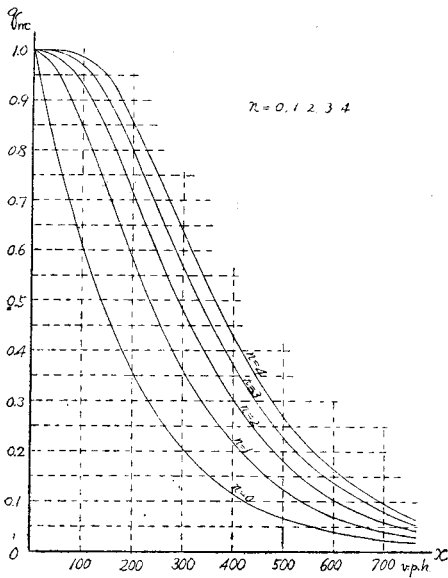


図-5 $V=64 \text{ km/h}$, $v=32 \text{ km/h}$



しないから、 a と b とが等しくなくても q_{nr} を算定するのに式(16)を用いて充分正確であると思う。

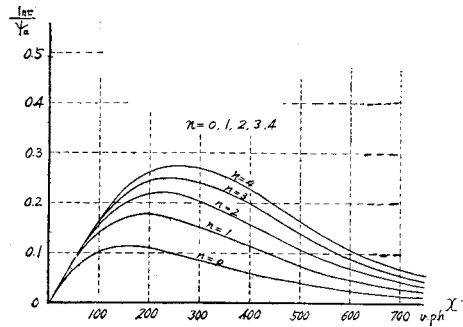
式(16)を計算するのに便利な追い越し現象発生確率 T は次式となる。

$$T_{nr} = \psi_a \sum_{v=1}^{\infty} \frac{(lx)^v e^{-lx}}{v!} \times \{1 - (1 - e^{-rvx})^{n+1}\} \dots\dots\dots (17)$$

種々の x に対する T の値は図-6 に示されている。

なお、以上の数値計算にあつては、 $V=64 \text{ km/h}$, $v=32 \text{ km/h}$, についてのみ行つており、式(8')の v の計算にあつては $\psi_b=0.5$ とし、 $l=S+s$ と仮定し、さらに $S+s$ の値として V なる速度を有する高速車間の安全車頭間隔 S' と、 v なる速度を有する低速車間の安全車頭間隔 s' との和をとり、次式で計算している²⁾。

図-6 $V=64 \text{ km/h}$, $v=32 \text{ km/h}$



$$S+s \doteq S' + s' = 0.0373(V^2 + v^2) + 1.47(V+v) + 30 \text{ (ft)}$$

ここに V 及び v は mile/h で表わされている。

6. 結 語

以上 r 種類の混合交通流の存在する2方交通の2車線道路について追い越しの確率を考察してみた。追い越しの確率は対向車数によりいちじしい影響をうけるが、追い越す方向の車数にはあまり影響をうけぬことがわかつた。交通量算定にあたり、追い越しの確率をいかに与えるかの問題は今後の研究にまつところ大であり、交通量算定の基礎となるものである³⁾。本論文で述べたことはすべて完全な2車線道路において成立するものであり、完全な2車線より小さい巾員の道路及び3車線の道路における追い越しの確率については今後明らかにしてゆきたい。

なお、本研究に関して終始御指導を賜つた京都大学岩井重久教授に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 米谷栄二・毛利正光：混合交通を考慮した道路の交通容量算定について(昭和28年第2回日本道路会議にて講演)
- 2) Traffic Engineering Handbook 1950, p. 332. Table. 155
- 3) 前掲 1) 参照 (昭.29.3.25)

土質道の表層土に関する調査研究

正 員 内 田 一 郎*

ON THE STUDY OF THE SURFACE SOIL OF EARTH ROAD

(JSCE Sept. 1954)

Ichirō Uchida, C.E. Member

Synopsis The author studied on the properties of surface soils of good and mire earth road, and considered the process of occurrence of mire by studying the variation of strength of the soil when water was added in dry soil and this moist soil was mixed. He also carried out the fundamental experiment to know the effect of humus of plants on the surface soil of earth road.

要旨 本文は良好な土質道及びぬかるみの道についてその土質をしらべた結果、乾燥土に水を加えてこね返した場合のその強度の変化を研究してぬかるみの発生状況を推察した結果、並びに有機物の腐植が土質道の表層土に及ぼす影響について知るため行つた基礎的な実験の報告である。

1. 緒言 土質道の土としてどのようなものがよいかということに関しては、欧米特に米国において研究されてかなりの報告が公表されており、ASTM¹⁾, A. A. S. H. O²⁾ などでは Specification として規定している。しかしわが国においてはまだその調査研究はほとんど行われておらず、今のところ米国の結果をそのまま適用している現状である。交通状況、気象状況の異なるわが国に米国の結果をそのまま適用することに疑問を感じて、良好なる状態にある土質道の表層土について調査を行い、またわが国において重要な問題と考えられるぬかるみについても調査研究を行つた。

ついでぬかるみの発生状況を知るために乾燥土に水を加えてこね返していき、その強度がいかに変化していくかについてしらべてみた。その結果、乾燥した路面の土の上に雨が降り、それを交通荷重がこね返したとき土の強度がどのように変つていくか、すなわちぬかるみの発生状況がある程度説明された。

また路傍の草を道路の路面上におくのをよく見かけるが、その草が表層の土にどのような影響を与えるかを知るために、有機物の腐植が土の性質に及ぼす影響について実験を行つてみた。

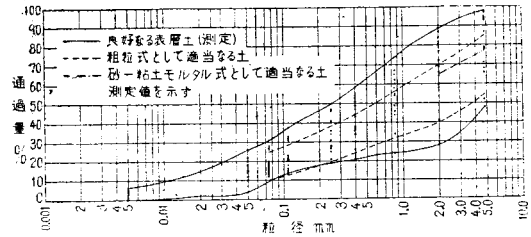
2. 良好なる土質道

土質道の良否は土質、密度、排水の状況、交通の状況などによつて左右される。これ等の条件すべてを考慮して土質道の良否との関係を定量的に求めることはきわめて困難で、事実上不可能であり、ただ定性的に大体の関係が云えるに過ぎない。

ここで述べるものは福岡市及びその近傍の道路において降雨時観測し、良好なる状態に保つているところの土 17 種を採つてきてその性質を研究した結果である。しらべた性質は粒度、比重、液性限界、塑性限界、塑性指数、収縮常数、現場含水当量、遠心含水当量、pH などであるが、このうち粒度、液性限界、塑性指数を除いては特別に良好なる表層土との間に関係を見出すことができなかつた。従つてここでは粒度、液性限界、塑性指数の3つを問題にする。

粒度は図-1 に示すとおりである。良好なる表層土として公表されているもののうち、図-1 に示した2種のもの(粗粒式として適当なる土、砂-粘土モルタル

図-1 良好なる表層土の粒径範囲



として適当なる土) が多くの人によつて採用されているので³⁾、これを比較の対象とする。

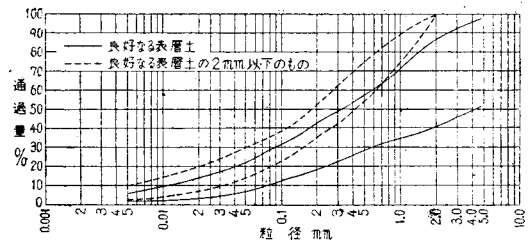
従来公表されているものは図-1 にあげた2種のものからでもわかるように、材料のいかんによつてその粒度に大きな差異があり、またここにあげなかつた良好なる表層土と云われているもの(例えば A. A. S. H. O の Specification に決めてあるもの)もそれぞれ相当異なつた粒度を示している。この差異のあるのは当然のことで、粒度以外の土の性質、交通状況、排水状況その他いろいろな条件によつて路面の状態が影響を受け、この粒度のものがよいと断定することは至難なことである。

図-1 よりわかるように、著者の得た結果は粗粒式として適当なる土に比べると、それに概当するものと、それより細かいもののがあり、砂-粘土モルタル式として適当なる土に比べると、それに概当するものと、それより粗いもののがあつた。

2mm 以下のいわゆる ソイル モルタルについてしらべた結果は Hogentogler の採用した値⁴⁾ とかなりよい合致を示した。

ここで得た測定値をもととし、従来の公表の結果を参考にして得た良好なる表層土及び良好なる表層土の 2mm 以下のものの粒径加積曲線は図-2 のとおりである。

図-2 良好なる表層土の粒径加積曲線



次に液性限界、塑性指数について考えてみる。

ASTM¹⁾ あるいは A. A. S. H. O²⁾ の Specification によれば、良好なる表層土においては液性限界 35 以下、塑性指数 4~9 という条件が満足されねばならない。この条件を著者の得た結果と比較してみると、著者の結果の場合液性限界については1つを除いては

* 九州大学助教授, 工学部土木教室

すべて 35 以下, 塑性指数はすべて 3 以下であった。従つて著者の得た結果から云うと, 細粒土 (0.4 mm 以下) の性質は液性限界 35 以下, 塑性指数は 0 に近いものがよいということになる。塑性指数の問題はその測定を行う 0.4 mm 以下の土の量が試料全量に対して占める割合を考慮に入れて始めて意義があると考ええる。0.4 mm 以下のものの塑性指数が 4~9 であつても, その量が少な過ぎたり逆に多過ぎたりするとその道路は安定を欠くであろう。すなわち粒度があくまで主で, 0.4 mm 以下のものの塑性は従である。この調査の結果, 0.4 mm 以下のものの塑性が小さくても路面が安定を保っているのは粒度が適当であるのと交通量が大きくないためと考える。またわが国と米国の状況の異なることも結果の不一致の一因と考えられる。特にわが国が米国に比べて雨量従つて土の含水量が常に多く, 米国では塑性の大きいものでよかつたのが, わが国においては塑性の大きいものではぬかるみになる可能性も生ずるのではないかと考える。

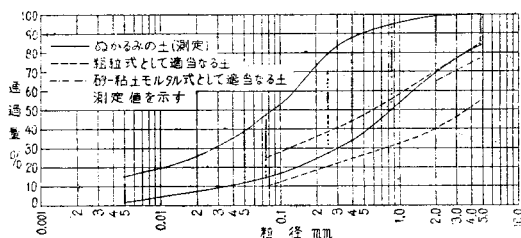
なお良好な表層土を分類してみると Public Roads Administration の分類によれば A-1-b のものが特に多く, Casagrande の分類によれば SF, ML のものが多い。

本研究は試料数も充分でなく, 今後これに資料を付加して訂正していく必要があり, 今後のわが国におけるこの方面の研究の捨石たるべき一案となれば幸いである。

3. ぬかるみ

福岡市及びその近傍において, 降雨時または降雨直後観察してぬかるんでいた 38 箇所より土を採取し, その性質をしらべてみた。しらべた性質は粒度, 比重, 液性限界, 塑性限界, 塑性指数, 収縮常数, 現場含水当量, 遠心含水当量, pH 有機物の腐植の量等であるが, 良好なる表層土の場合と同様に粒度, 液性限界, 塑性指数を除いてはぬかるみと特別な関係を見出すことはできなかった。なおぬかるみの深さは 5 cm 前後のものが最も多く, 浅いもので 3 cm, 深いもので 10 cm 程度であつた。粒度は図-3 に示すとおりで, 比較の対象としては良好なる土質道の場合と同じもの

図-3 ぬかるみの土の粒径範囲



を用いる。

図-3 よりわかるように, ぬかるみの道は粗粒材を入れたものの良好土に比べると, すべて粒径 2 mm 以上のものが不足している。従つて 2 mm 以下の部分のどの部分かにおいて良好土に比べて多量を含むことになり, その部分が砂であるか, シルトであるか, または粘土であるかによつてぬかるみの性質も変つてくると考えられる。

砂-粘土モルタルの良好土に比べると, 2 mm 以上の部分は適当であるようであるが, 2 mm 以下の部分をしらべてみると細かいもの程多過ぎる傾向にある。

図-3 においてぬかるみになる土の粒径範囲を一応上下限界で示しておいたけれども, この範囲より細かいものにおいてはぬかるみになることは当然予想されるので上限界 (細かい方の境界) を設けることは無意義と考えられる。従つて図-3 の下限界 (粗い方の境界) より細かいものは当然ぬかるむ可能性があると考えてよからう。

次に液性限界, 塑性指数について, 液性限界 (L.L.) 35 以下, 塑性指数 (P.I.) 4~9 という条件を検討してみる。

条件	試料数
L.L. 35 以下, P.I. 4~9	4
L.L. 36 以上, P.I. 10 以上	19
L.L. 35 以下, P.I. 3 以下	12
その他	3

大部分は条件を満足していない。これよりわかるようにぬかるみの土は L.L. 36 以上, P.I. 10 以上の群と L.L. 35 以下, P.I. 3 以下の群とに大別される。前者は塑性の大きいもの, 後者は塑性の小さいものであり, 従つてぬかるみの土を塑性の大きいもの (かりに塑性のぬかるみと名づける) と塑性の小さいもの (かりに非塑性のぬかるみと名づける) とに大別できる。

しかしこの場合も良好なる表層土の場合と同じく, 細粒土の性質のみをもつて論ずることは不適當で, 粒度と関連させて考える必要がある。

またぬかるみの土を分類してみると Public Roads Administration の分類によれば A-2-4, A-7-5 のものが特に多く, Casagrande の分類によれば ML, CH のものが多い。

次に路面の良否と排水状況及び盛土, 切土との関係をしらべてみた結果について述べる。調査箇所は福岡市城南線沿いの南葉院, 六本松間約 1600 m の距離を間隔 50 m ごとに 33 カ所とした。土の種類は砂質ロームである。

縦断勾配、横断勾配、側溝等を合わせ考えての排水状況と路面状態との関係をしらべてみると次のとおりである。

排水状況	路面状態
良好 9	良好 6
	中位 3
	不良 0
中位 10	良好 0
	中位 10
	不良 0
不良 14	良好 0
	中位 0
	不良 14

この関係より排水状況がよければ路面状態よく、排水状況悪ければ路面状態悪いことは明らかであるが、念のため χ^2 検定を行つてみた。その結果より次のようなことが云える。

排水状況が良好だからといって必ずしも路面状態が良好であるとは限らない。しかし排水状況が中位あるいは不良ならば、路面状態もそれに応じて中位あるいは不良になると考えることは不当ではない。すなわち排水状況を中位あるいは不良にしておいたのでは路面状態は良好にならず、排水状況を良好にすることが路面状態を良好ならしめるための一つの条件であると考えてよい。

切土あるいは盛土と路面状態との関係については、その間にはつきりした関係は見出すことができなかったののでくわしいことは省略する。

4. 乾燥土に水を加えてこね返した場合の強度の変化

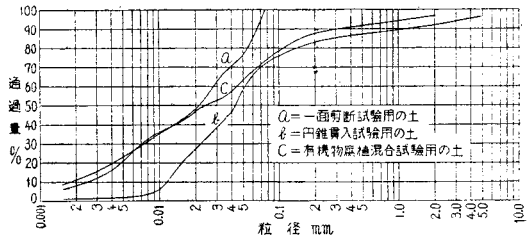
路面の乾燥した土に雨が降つて交通荷重によりこね返された場合、土の強度はどのように変化するだろうか。この問題を明らかにするために、乾燥土に水を加えてこね返し、強度の測定を行つてみた。元来土の強度には圧縮強度、引張強度、剪断強度、液性限界測定器による場合のような打撃に対する強度、あるいは円錐貫入に対する強度などいろいろ考えられる。またこれ等の土の強度に影響を与えているものもきわめて複雑多岐にわたり、例えば含水量、密度、こね返し、寸法、荷重を与える速度など土自身の性質を除外しても多くのものをあげることができる。従つてここで述べるものは今までに著者の明らかにすることのできたこの問題に関するわづかな部分である。

乾燥土に水を加えた直後は、水は土粒の内部にまで入り込まず従つて土は粒のまま存在し、粒相互間の摩擦によつて強度が保たれている。こね返しが進むに従つて土粒は砕け、水は細かい土の内部にまで入り込

み粒相互間の摩擦は減少するが逆に粘着力が増大してくる。これ等の土粒相互間の摩擦の減少による強度の減少の状況を一面剪断試験機により、粘着力の増大の状況を円錐貫入試験機により実験的に研究してみた。

a) 一面剪断試験 使用した試料は佐賀県杵島郡福富村の干拓地の土を 0.4 mm ふるいでふるつたもので、粒度は図-4 に示すとおり (a)、液性限界 92、塑性指数 48 の土である。

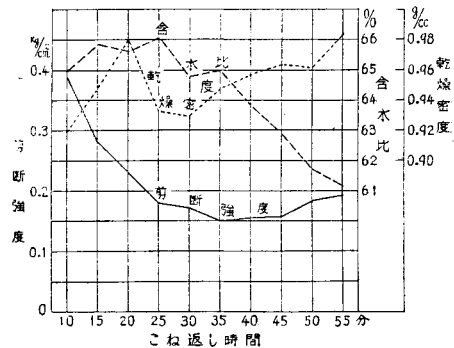
図-4 実験に使用した土の粒径加積曲線



試験要領は次のとおりである。まづ気乾試料に水を加え、これを10分間こね返して後、この試料の剪断強度を一面剪断試験機によつて求めた。加えた垂直荷重は 0.5 kg/cm²、試験方法は迅速剪断試験法を用いた。10分間こね返しのものに対する試験が終つたならば次にさらに5分計、15分間こね返し同様な剪断試験を行つて以下全く同様に5分こね返しごとに試験を行つた。気乾試料に加えた水量は土の実質部に対して 65.0%、73.2%、81.8%、89.7%、97.1%、102.8% の6種で、それぞれについて上記の試験を行つた。

その結果の一例(最初の含水量 65.0% の場合)を示すと図-5 のとおりである。図-5 には含水比及び乾燥密度の変化も示しておいたが、これらの変化の無視しうる最初の間剪断強度は明らかにこね返しとともに減少している。

図-5 一面剪断試験結果(最初の含水比 65.0%)

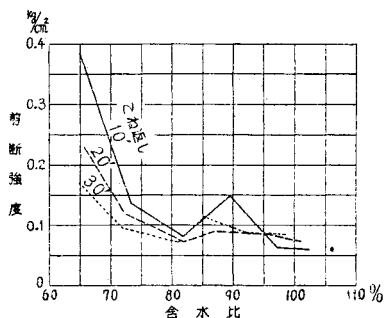


このこね返しとともに剪断強度が減少する現象は他の含水量の場合にも見られた。しかし含水量が多くなるにつれてその変化は次第に減少し、液性限界に近い

90%前後においては最初からほぼ一定の値を示した。含水比90%という値は大体試料が水で飽和されたときであり、液性限界のときあるいは水の飽和しているときには土粒は水で包まれていて土粒間の摩擦は最初から作用しなくなっており、従つてこね返しによつて摩擦の減少はなく強度に変化しないと考えてよからう。

図-6 はこね返し 10 分、20 分及び 30 分間に対応する剪断強度と含水量とを読みとり、図示したものである。図-6 から含水量が増加するにつれてこね返しの影響が少なくなり、90%前後以上になるとその影響がほとんどなくなることが認められる。また 図-6 は含水量と剪断強度との関係を示しており、こね返しの少ないときには含水量の剪断強度に及ぼす影響は特に大きい。

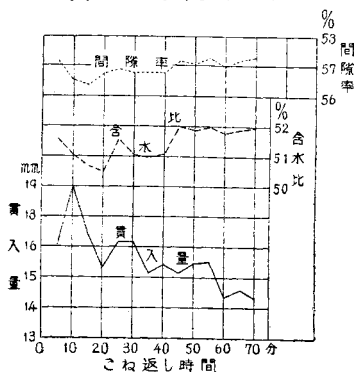
図-6 剪断強度と含水比との関係



b) 円錐貫入試験 試料は福岡県鞍手郡香月町産の土で、粒度は図-4 のとおり(b)、液性限界 54、塑性指数 23 の土である。

この土の気乾したものに水を加えてある含水量とし、5分間のこね返しをくり返し、そのたびに円錐貫入試験を行った。またこね返しのたびごとに水を少量加え蒸発により失われる水量を調節した。このようにして得た円錐貫入に対する強度及び試料の含水比、間

図-7 円錐貫入試験結果



隙率の一例を示せば図-7 のとおりである。なお円錐貫入試験機の円錐の先端の角度は60°、荷重は 124.9g、試料を入れる容器としては径 55 mm、深さ 35 mm の

ブリキ製の円筒を使用した。

図-7 よりわかるように含水比は増加の傾向を示しているにもかかわらず強度は増加しているので、こね返しによつて強度の増加があることを認めてよいと考える。

このこね返しによつて強度が増加することに関しては、すでに発表した液性限界測定器による研究²⁾でも認めることができる。すなわち乾燥した粘着性の土に水を加えこね返ししながら液性限界を測定していくと、こね返しの増加とともに液性限界は次第に大きくなっていく。液性限界は液性限界測定器において打撃数 25 回で溝の閉じるときの含水比であつて、この打撃数 25 回に対する含水比が増加していくことは、もし含水比を一定に保つとすればその土は打撃に対して強くなつていくことを意味するわけである。すなわちある含水比のとき 25 回で溝が閉じたとして、こね返しが進むとその含水比では溝が閉じなくなり、閉じさせるためにはそれより多数の打撃を要するわけであり、またもし 25 回で溝を閉じさせるためには水を付加して弱くしてやらねばならないわけである。同論文³⁾の図-6、図-7 においてはこね返しと打撃数との関係を示しておいたが、これはこね返しにより強度が明らかに増加していることを直接示している。

以上述べたことを土質道の表層に適用して考えてみる。路面の乾いた土に雨が降つて水が与えられ、その上を自動車あるいは人などが通るとこね返しが行われる。含水量が飽和あるいは液性限界程度以下の場合には、最初粒相互間の摩擦によつてある程度強度のあつたものが次第に粒が破壊されて弱くなつていき、こね返しが進むとともにほぼ一定の強度に落ち着いていく。しかし含水量が最初から多い場合にはこの現象は見られず、始めからほぼ一定の強度を示している。

このようにほぼ一定の強度になつた土が自動車あるいは人によつてさらにこね返しを受けると粘着力が増大していき、次第にねばつこくなつていく。すなわちここに粘着性のある典型的なぬかるみが発生するわけである。

なおこね返しにより強度が変化する現象は砂のような非粘着性の土には見られない。

5. 有機物の腐植の土の性質に及ぼす影響

草や木のいわゆる有機物の腐植したものを土と混合した場合、どのようにその物理的性質が変化するかをくらべてみたものである。

混入した有機物の腐植は草や木の皮を粗穀中で腐植させて炉乾し乳鉢中でよく砕いて 0.4 mm ふるいでふるい分けたもので、色は赤褐色、 H_2O_2 でしらべた腐植

含有量は 82.8% であつた。土は福岡県鞍手郡香月町産の土で、その粒度は図-4 のとおり (c), H_2O_2 による腐植含有量は 0 であつた。

これらの有機物の腐植と土を混合したものの物理的性質をしらべた結果は図-8, 9, のとおりで、ほぼ直線関係が成立すると考えてよい。しかし厳密に見るといずれの線も下凸の形を示しており、これは有機物の腐植の多いほどその性質が顕著に影響を与えられて

図-8 有機物の腐植と土との混合物の物理的性質

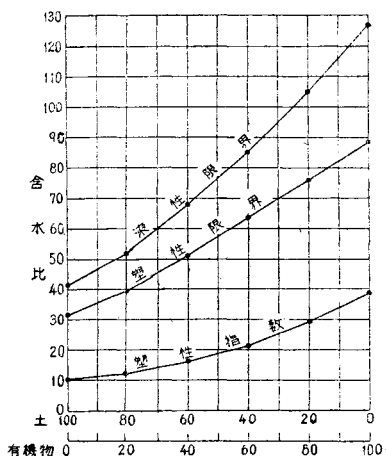
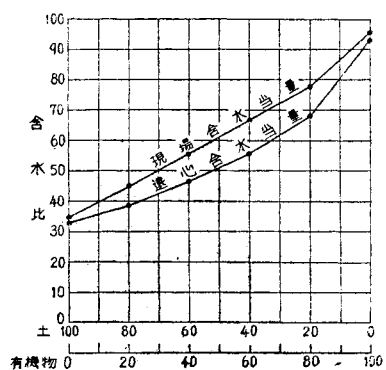


図-9 有機物の腐植と土との混合物の物理的性質



いることを示している。

有機物の腐植は液性限界、塑性指数ともいちじるしく大きく、従つて一般に表層土としてその性質が不良であるから、その混合量が多いほど表層土の状態を悪くする。従つて路傍の草をけづつて路面におくようなことは極力避けることが望ましい。

6. 結 び

以上、良好なる土質道、ぬかるみ、乾燥土に水を加えてこね返した際の土の強度の変化及びそれより推察されるぬかるみの発生状況、有機物の腐植の土の性質に及ぼす影響などについて今までに調査研究し知り得たことを述べた。調査研究不充分で今後訂正すべきところもあると考えられるけれども、わが国におけるこの方面の研究の足がかりになることを念願して報告することにした。皆様の御批判をお願いしたい。

なお本研究は昭和 28 年度文部省科学研究費による研究成果の一部である。また実験について九州大学松本鍊三、九州大学卒業生三原節郎、柴崎健太郎、田中美三、安田正幸等の諸氏の援助を受けたことに対し謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) ASTM : D 557-40 T, Tentative Specifications for Materials for Stabilized Surface Course.
- 2) A.A.S.H.O : M 147-49, Standard Specifications for Materials for Soil-Aggregate Sub-base, Base and Surface Courses
- 3) ASTM : D 557-40 T, Tentative Specifications for Materials for Stabilized Surface Course (Type A,B)
Hewes : American Highway Practice, Vol.I, p. 326
Ritter-Paquette : Highway Engineering p. 418
土木工学実用便覧 (コロナ社) p. 694 等
- 4) Hogentogler : Engineering Properties of Soil p. 240
ホゲントグラール : 土の工学的性質 (宇都宮寿共訳) p. 148
- 5) 内田・松本 : 土の Atterberg 限界測定に対する時間の影響, 土木学会誌第 38 巻第 1 号 p. 9 (昭 29.4.2)

昭和 28 年度会員名簿正誤表

ページ	行	氏 名	学位 称号	職名, 職業または勤務先	住 所
140	上から 12	宮 森 虎 夫	工	米國極東空軍司令部施設局	