

## セメント安定処理土の強度と変形性について

渡辺正平\*

昭和59年7月31日受付

### On the Strength and Deformability of Cement Stabilized Soil

Shouhei WATANABE\*

Crushed stone base has been widely used for the base course of a farm road. Stabilization of local materials is sometimes more efficient and more economic than the crushed stone base. Considerable research of cement stabilized soil has been performed in the world, and design criteria, based on laboratory experiments, have been determined. However, properties of the cement stabilized soil vary not only with proportion but also with conditions of mixing and of curing. The aims of this research were to investigate the variations of strength and of characteristics of deformation caused by them.

The results showed that the decomposed granite, used here, was good material, so far as concerned with unconfined compressive strength, for the cement stabilized base material. The unconfined compressive strength increased rapidly during one week, but mild increase in it was seen for the next 15 weeks. The mixing of a large quantity of materials decreased the strength, and curing in winter also decreased it. More than 30 percent of the decrease in the strength was caused by both the mixing and the curing effects. The ratio of the bending tensile strength to the unconfined compressive strength was  $1/5 \sim 1/7$ , which is small in comparison with the general cement stabilized soil. The value of Young's modulus obtained by the bending test of the prism were much greater than that of modulus of deformation obtained by the unconfined compression test of the cylinder.

#### 緒 言

農道等の路盤に使用される材料の一つとしてセメント安定処理土がある。その性質は、使用される母材によって大いに異なるが、配合や養生、施工方法などにも左右される。設計基準や舗装要綱等では、実験室で作製された供試体から得られた結果を基に配合を行うように定め

られている。ところが、実験室のような定められた環境で得られた結果が、現場にそのまま適用できるとは考えられにくい。そのために、従来の舗装設計法で必要となる強度特性と、さらに、合理的設計において必要となる変形特性が、条件を変えて作製・養生された供試体ではどのような影響を受けるかを知っておくことは重要である。以下では、制約された条件ではあるが、マサ土を母

\* 鳥取大学農学部農業工学科農業造構学研究室  
*Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University*

材としたセメント安定処理土の混合と養生の条件が、供試体の力学的特性に与える影響を調べてみた。

### 試料と実験の方法

ここでは、マサ土に普通ポルトランドセメントを混合した安定処理土を対象とした。使用したマサ土は、鳥取県高地区から採取されたものであり、その性質を第1表に示す。なお、マサ土はその取扱いによって、同一試料でも粒径が異なるものである。第1表に示したものは、土質試験法<sup>2)</sup>の記述に従って、袋につめた約500gの風乾試料を1.5mから30回落下させた後に、粒度分析を行ったものである。このマサ土の25mm通過試料に4%のセメントを加え、JIS A1210, 第1法非繰返し法で最適含水率を求めた。そして、この含水率に対して、各種のセメント量をもつセメント安定処理土を作製した。なお、セメント量は、セメントの重量とマサ土の絶乾重量との百分率で表した。

第1表 使用したマサ土の性質

Gs	構成粒子 (%)					$\gamma_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\omega_{opt}$ (%)
	レキ	粗砂	細砂	シルト	粘土		
2.61	4	46	32	10	8	1.71	17.0

注)20mm通過, 1.5m, 30回落下の試料で粒度分析を行なった。

セメント安定処理土の供試体は、直径10cm、高さ12.7cmの円柱のものと、10×10×40cmの角柱のものを作製した。円柱はJIS原案に準拠して供試体を締め固めた。角柱は、円柱と同じ締め固めエネルギーとなるようにした。供試体を作製するための試料の混合に当っては、2種類の方法を採用した。その一つは、25mm通過試料に対し、円柱なら供試体3個、角柱なら1個が作製できる程度の量を容器内で混合したものである。もう一つは、特に目につく大きな塊りを除き、約120lを2×2mの鉄板上で人力によって混合したものである。この前者を室内混合、後者を現場混合と名付ける。供試体の養生も2種類行った。その一つは、供試体をビニール袋で包み、20℃の恒温室で所定の期間養生したものである。この方法でも、養生中の重量減少量は10gを十分に下回っていた。他の一つは供試体をむきだしにし、戸外にさらしたものである。前者を20℃養生、後者を戸外養生と名付ける。以上から、供試体は、その作製方法と養生方法により、3種類に分れる。つまり、室内混合で20℃養生のものと、現

場混合で20℃養生のもの、さらに現場混合で戸外養生のものである。なお、養生期間、養生方法、混合方法を変えた実験は、すべてセメント量4%に対するものである。

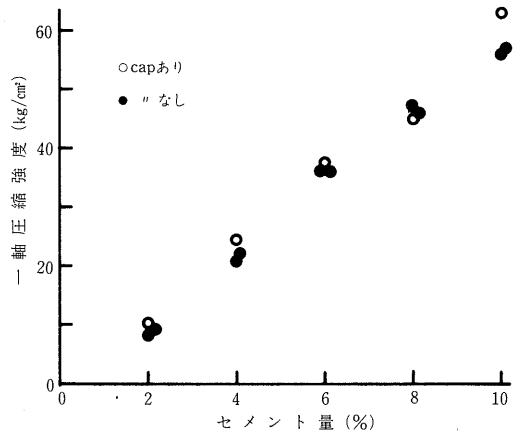
所定の養生期間の後、円柱供試体では、一軸圧縮試験を行ない、角柱供試体では、三等分点載荷による曲げ試験と折片に対する一軸圧縮試験を行なった。円柱の一軸圧縮試験の際には、供試体の圧縮変位量を、角柱の曲げ試験の際には、中央点のたわみ量を、それぞれ2個の変位計を用いて測定した。円柱供試体では、イオウキャッピングを行ったものとそうでないものがあり、また、1日水浸を行ったものと行なわなかったものもある。

### 結果と考察

#### a) セメント量と圧縮強度

セメント量と円柱供試体の一軸圧縮強度との関係を第

1図に示す。これは、室内混合で、6日間、20℃養生し、その後1日水浸を行なったものである。第1図によると、一軸圧縮強度とセメント量は、ほぼ比例関係にある。そして、舗装要綱<sup>10)</sup>に従うとすれば、セメント2%で下層路盤に、5%で上層路盤に使用できるものであり、圧縮強度からみる限りでは、ここに使用したマサ土は、良好な母材であると判断できる。なお、ここでは、一軸圧縮強度に対するキャッピングの影響は顕著には認められない。

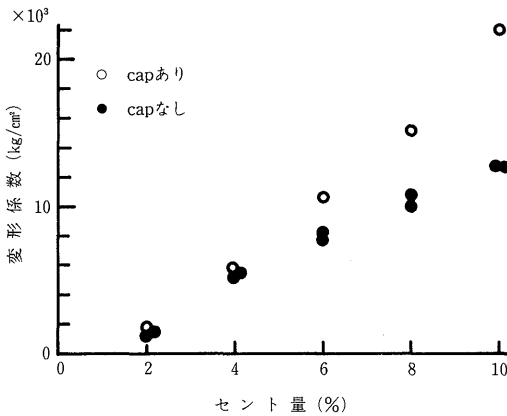


第1図 一軸圧縮強度とセメント量の関係

#### b) セメント量と変形係数

円柱供試体の一軸圧縮試験時における圧縮変位量の測定から、応力-ひずみ曲線が描ける。この曲線は、圧縮強度が2~3kg/cm<sup>2</sup>以下の供試体ならば、初期に直線、ある

いは上に凸の曲線となる。ところが、ここに示したような供試体では、S字状となることが多い。これは、ある程度の事前荷重を行なっても同じ現象となる。そこで、ここでは、応力-ひずみ曲線における1番大きな接線勾配を変形係数とした。ただしこの勾配は、その判断により決定が微妙である。このようにして求めた変形係数とセメント量の関係を第2図に示す。強度が大きくなれば、キャッピングの影響が大きくなってきている。



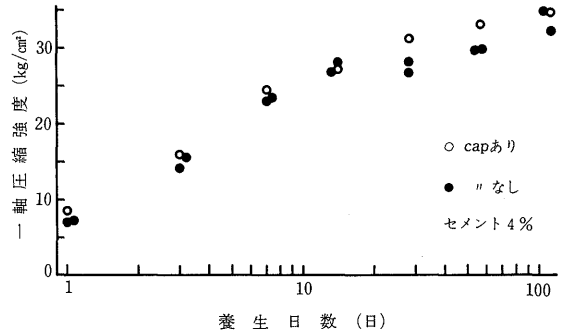
第2図 変形係数とセメント量の関係

c) 養生日数と圧縮強度, 変形係数

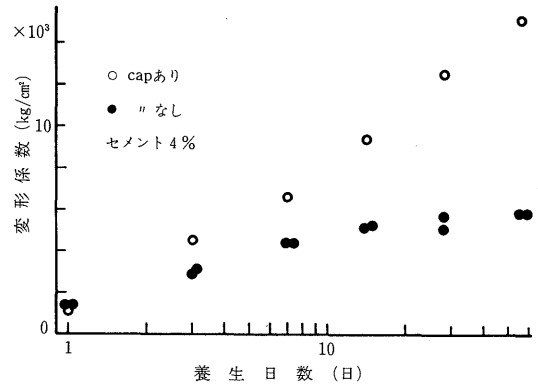
セメント量4%の室内混合の供試体を、1, 3日間、および1, 2, 4, 8, 16週間20℃養生し非水浸で円柱供試体の一軸圧縮試験を行なった。この非水浸としたのは、1日養生に対する水浸ができないことから、条件を統一する意味で、他の養生日数のものも非水浸とした。このような実験から得られた、一軸圧縮強度と養生日数の関係を第3図に、変形係数と養生日数の関係を第4図に示す。なお、16週目における変形係数は測定していない。第3図によると、養生7日目までは急激な強度の増大がみられるが、養生16週間でもまだ幾分かの強度の増大傾向が認められる。13週間目でも強度が増大しているような結果は他にも例があり<sup>9)</sup>、さらには1年後もこの強度増大の傾向が認められた例もある<sup>9)</sup>。要綱等に定められた養生日数で設計することに対する疑問<sup>9)</sup>も考慮する必要があるだろう。

d) 養生環境と施工条件の影響

セメント安定処理土を実際の道路で施工するに当たっては、実験室で供試体を作製するように条件を維持できない。実験においても、屋外に路盤を敷設するような場合では、規模が大となればその条件の統一はなかなか困難



第3図 一軸圧縮強度の養生日数による変化

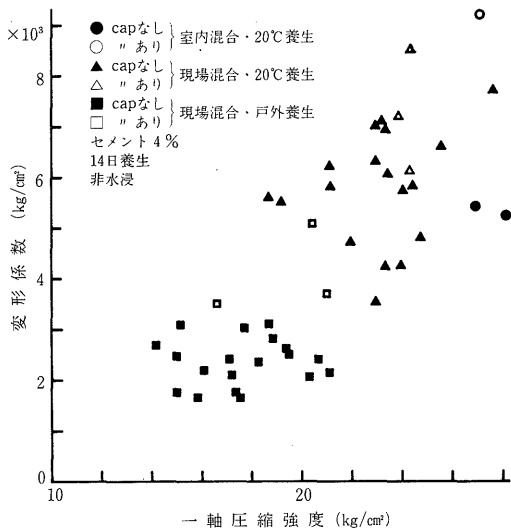


第4図 変形係数の養生日数による変化

である。ここでは、屋外に路盤を敷設する目的で1バッチ当たり約120 lのセメント安定処理土を混合した。この際3人がかりで、試料が均一となるように十分に注意して混合を行なった。しかしながら、まき土試料のなかには、大粒径のものとか、粘土の塊りなどもあり、これらを目につく限り除いても、完全に除去することは困難である。従って、実験室で作製した供試体と、現場で作製したそれが多少異なり、現場のものは、バラツキがより大きいことも考えられる。

このような推定のもとに、ここでは現場混合の供試体を作製し、それと、室内混合のものの圧縮強度と変形係数などの差異を調べてみた。なお、この比較のために、ここでは養生日数を2週間に統一し、総てセメント量4%で非水浸とした。さらに、養生条件が供試体に与える影響を求める目的で、同一バッチの現場打ちの供試体を20℃の室内 (IN) と、むき出しで戸外 (OUT) で養生した。この現場での混合は、冬期に7回行なった。1回に2バッチの混合を行なったものを含めて、8バッチからの試

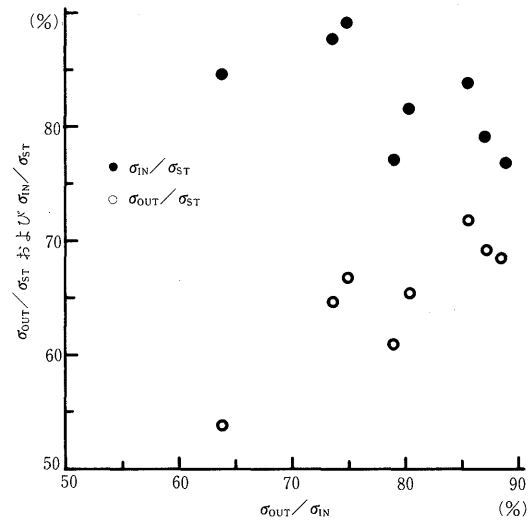
料を得た。このようにして作製し養生した円柱供試体の圧縮強度と変形係数を第5図に示す。ここでは、室内混合で20℃養生のもの(ST)も合わせて示してある。第5図によると、現場混合のものは、やはり強度にバラツキがみられる。しかしながら、これらのデータには一定の傾向が認められる。つまり、強度は、室内混合で20℃養生のもの(ST)が最も大きく、次に現場混合で20℃養生のもの(IN)が大きくなっている。そして、現場混合で戶外養生のもの(OUT)の強度が最小となっている。供試体の強度は、養生温度に影響を受けること<sup>4,7,16)</sup>、および現場のものはバラツキが大きいこと<sup>8,11,13~15)</sup>などから第5図の結果は推定できることである。以下に、この混合の差と養生の影響をもう少し詳しくみることにする。



第5図 混合と養生を異にする円柱供試体の強度と係数

さきに述べた現場混合の場合、同一のバッチから20℃養生(IN)の供試体と、戶外養生の供試体(OUT)をそれぞれ2個以上作製した。従って、同一のバッチの供試体に対する強度比( $\sigma_{OUT}/\sigma_{IN}$ )によって、養生条件の強度に与える影響を推定できる。つぎに、室内混合で20℃養生の供試体(ST)と現場混合で20℃養生の供試体(IN)の強度比( $\sigma_{IN}/\sigma_{ST}$ )で、混合の影響を推定できる。さらに $\sigma_{OUT}/\sigma_{ST}$ によって、混合条件と養生条件の相乗効果を推定できる。以上のような考察のもとに、第6図をかいてみた。第6図の横軸は、冬期の戶外養生に伴う強度の低下率を示し、縦軸の黒丸は、現場の混合に伴う圧縮強度の低下率を、さらに白丸は、現場混合と戶外養生の

相乗効果で現れた圧縮強度の低下率を示す。これらの比率は、いずれも、同一条件に対して得られた複数のデータの平均値から求めた。第6図に示されるように、現場混合によって、強度が10~23%低下しており、冬期の戶外養生によって10~35%低下している。さらに、混合と養生の相乗効果によって、圧縮強度が28~46%低下している。



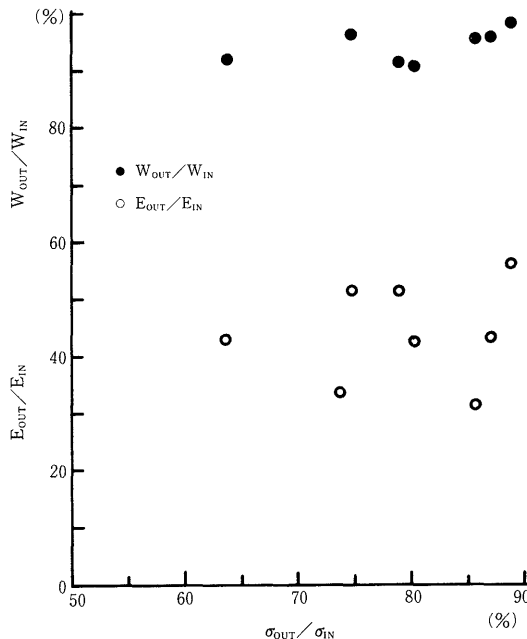
第6図 現場混合および戶外養生によるバッチごとの圧縮強度の低下率

ところで、第6図には、戶外養生のもので1個だけ強度低下率が大きいのがみられる。この理由を推察するために、養生期間中の戶外気温とその日較差をみてみた。第2表に、供試体の側で測定した養生期間中の最低気温と気温日較差を示す。この実験は、冬期2シーズン、7期に分けて行なった。しかし、これらのうちで、第1と第2期は2日のずれ、第4~7期は2~3日ずつのずれと接近している。これらはいずれも12月である。ただ第3期のみが12月~1月にわたっており、期間もずれている。そのために、第2表では、第3期の気温が一番低く、しかも0℃を下まわっている。第3期を除く他の養生期は、気温条件に顕著な差はみられない。前の第6図にみられた、戶外養生における強度低下が極端に大きい1点は、第2表の第3期のものに相当している。このことは、冬期の養生期間中の低温が強度を左右したとここでは推察できる。ただし、この種のデータには、もっと積重ねが必要である。

第2表 養生期間の最低気温および日較差(°C)

養生期	期間最低	平均日最低	最大日較差	平均日較差
1	0.5	3.5	15.0	10.0
2	3.0	3.5	15.0	10.4
3	-1.0	1.3	11.0	9.0
4	2.0	3.8	10.0	6.0
5	0.0	3.0	10.0	5.7
6	0.0	3.0	10.0	5.4
7	0.0	2.8	10.0	5.1

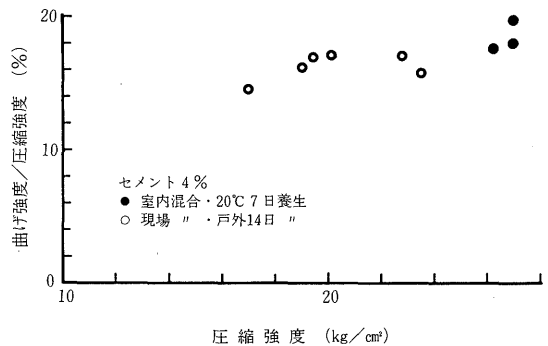
戸外で養生した供試体は、簡易な雨除けをしたのみで、外気にさらしていた。そのために、供試体からの水分の蒸発がある。この量を調べる目的で重量減少率を求めた。これを第7図に示す。ただし、これは同一供試体の重量変化ではなく、同一バッチの供試体の養生後の重量比率である。この場合は、10%以下の重量減少がみられる。なお、変形係数の変化率も第7図に示している。戸外養生のために、変形係数が45~70%も減少している。これについても、データを積重ねる必要があると考えている。



第7図 冬の戸外養生によるバッチごとの重量と変形係数の低下率

e) 曲げ引張強度

道路路面に輪荷重が作用すれば、舗装構造の一部には引張応力が生じる。合理的設計においては、この値に注目をされることがある。そのために、材料の引張強度を求めておくことも重要である。ここでは、引張強度そのものではなく、曲げ引張強度を求めてみた。一般には、これは、曲げ強度と圧縮強度の比として示される。この強度比と圧縮強度の関係を、第8図に示す。ここでも、セメント量は4%である。第8図の圧縮強度および強度比の計算に用いた圧縮強度は、角柱の2個の折片に対して求めたものの平均値である。第8図によると、この強度比は1/5~1/7となっている。ところが、セメント安定処理土のこの強度比は一般に、1/4~1/5<sup>12)</sup>あるいは1/3~1/6<sup>13)</sup>との指摘もある。ここに示す強度比は、母材や配合によっても異なるが、第8図の結果はこれらよりも小さなものとなっている。強度比を算定するに当たっての圧縮強度は、測定するその供試体の寸法あるいは寸法比によっても異なる。従って公表された強度比の解釈にも注意する必要があるが、ここで得られた強度比は、セメント安定処理土としては小さいように思える。母材や配合、養生などを異にするものに対して、もっと実験を重ねてみる必要があるものと考えている。

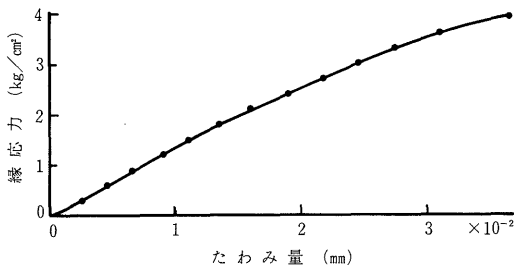


第8図 角柱の強度比と圧縮強度の関係

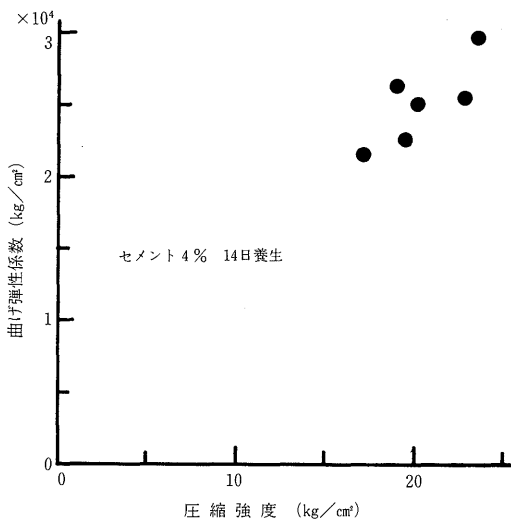
f) 曲げ弾性係数

道路舗装の設計を、従来のCBR法ではなく合理的設計法で行なおうとすれば、舗装材の強度のほかに弾性係数を知っておく必要がある。その目的で、円柱供試体に対する変形係数を求めた。角柱の曲げ試験においても、たわみ量が測定できれば、供試体を弾性体と仮定することによって、その弾性係数を算定できる。ところが、この場合、実測によると角柱の midpoint におけるたわみ量は、荷

重あるいは曲げ公式から算定される縁応力とは必ずしも比例しない。その例を第9図に示す。縁応力とたわみ量が比例しないことは、曲げ試験から求めた弾性係数が一定とはならないことを意味している。たわみ量が小さい段階では、わずかの測定誤差が弾性係数に大きく影響する。また破壊応力に近くなれば、たわみの進行が大となる。これらの理由から、ここでは、曲げ強度の1/2における弾性係数を、その供試体の弾性係数と定義する。このようにして、セメント量4%の供試体に対して得られた弾性係数を、折片の圧縮強度との関係として第10図に示す。



第9図 角柱の曲げによるたわみ



第10図 曲げ弾性係数と圧縮強度の関係

ところで、第10図の弾性係数と、第5図の変形係数とは、セメント量も締固めエネルギーも同一であるにも拘わらず、そのオーダーが異なっている。ここでの円柱供試体の一軸圧縮試験から得られた変形係数は、応力-ひず

み曲線の最大勾配であり、圧縮試験で定義される係数としては最も大きいものである。係数の定義には問題もあるが、この2種類の係数が大きく異なることは、他の報告にもみられる<sup>9)</sup>。

もともと、第10図の弾性係数を算定した式は、Mohrの定理から導びかれたものである。ところがこれには、平面保持およびせん断応力の影響を無視するなどの仮定が前提となっている。また、曲げ試験においてひずみを測定された例<sup>9)</sup>によると圧縮と引張のひずみは破壊荷重の2/3までは直線である。しかし、圧縮と引張のひずみは、この絶対量が同一とっていないことから、平面保持の仮定は必ずしも適当ではないとも言える。以上のように、曲げ弾性係数を算定する式に問題があるが、第5図と第10図に示した2種類の係数はあまりにも異なっている。このことは、検討課題である。

## 総 括

道路の路盤材としてセメント安定処理土を使用されることがある。ここでは、鳥取市本高産のマサ土に、普通ポルトランドセメントを混合した安定処理土を取り扱った。円柱供試体の一軸圧縮試験と、角柱試験体の曲げ試験および折片に対する圧縮試験を行って以下のような結果を得た。

1. ここで使用したマサ土を母材にすると、一軸圧縮強度から判断する限り、路盤材として良好なセメント安定処理土が得られる。養生日数と強度の関係をみてみると、7日目までは急激な圧縮強度の増加がみられる。ただしそれ以後もまだ圧縮強度が増加しており、16週間でも幾分その傾向がみられる。
2. 大量の混合を行なうこと、実験室で配合設計を行った場合よりは供試体の圧縮強度が低下する。120 l程度の混合を人力で行なった場合は、圧縮強度が1割以上低下した。さらに冬期に戸外で2週間養生すると、20℃で養生するよりは1~3.5割の強度低下となった。この混合条件と養生環境の相乗効果により、3~4.5割の強度低下となった。実際の施工においては、もっと差が大きくなることが予想され、これらのことは、さらに調査と検討が必要となろう。
3. 曲げ試験から得られた弾性係数と、円柱の一軸圧縮試験から得られた変形係数とは、オーダーが異なる。弾性係数の算定式に対する仮定の適否にも考慮の余地もあるが、この相違は大きい。舗装の合理的設計を行なうに当っては、この値は重要な意味をもつものであり、残された問題である。

この研究にともなう実験は、卒論研究として専攻学生の協力を得た。ここに感謝の意を記す。

#### 文 献

- 1) 土質工学会：土と基礎の設計法(その2)，土質工学会，東京(1966) pp. 21~23
- 2) 土質工学会：土質試験法，土質工学会，東京(1980) pp. 678~679
- 3) カルマチャリヤ，M. R.，内田一郎，出光隆，高山俊一：土木論集，282 101 (1979)
- 4) 岸栄，星野出雲：第5回道路会議論文集，96(1959)
- 5) Ingles, O. G., and Metcalf, J. B.: Soil Stabilization, Butterworths, Sydney (1972) pp. 112~114
- 6) 三嶋信雄：土と基礎，23 (2) 25 (1975)
- 7) 三嶋信雄：土と基礎，25 (1) 31 (1977)
- 8) 三谷健，田代幹夫，浅田秋江：土と基礎，7 (3) 19(1959)
- 9) 中条金兵衛，左右田孝男，永高貞治，塚山隆一：土と基礎，9 (4) 15 (1961)
- 10) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱，日本道路協会，東京(1978) pp. 44~45
- 11) Otte, E., Savage, R. F., and Monismith, C. L.: Proc. ASCE, 106 (TE 4) 482 (1982)
- 12) 高橋国一郎：安定処理工法，理工図書，東京(1969) pp. 46~49
- 13) 竹下春見，田中淳七郎：土木技術資料，1 (2) 41 (1959)
- 14) 竹下春見，田中淳七郎：土木技術資料，1 (3) 77 (1959)
- 15) 谷本喜一，岩崎照昌：道路建設，142 38 (1969)
- 16) 渡辺正平：鳥大農研報，32 79 (1980)