

石灰安定処理をしたマサ土の工学的性質について

渡辺正平*

昭和60年5月31日受付

On the Some Engineering Properties of Lime Stabilized Decomposed Granite Soil

Shouhei WATANABE

Some engineering properties of lime stabilized soil were investigated experimentally and the results were compared with those of cement stabilized soil. Used soil was decomposed granite, which was same as that used for cement stabilized soil. Mixing material used was hydrated lime. The results obtained indicated that the greatest compressive strength of lime stabilized soil was seen when compaction moisture content was slightly less than the optimum moisture content. The compressive strength of cement stabilized soil increased almost proportionally with the cement content, although that of lime stabilized soil increased not necessarily with the increase of the lime content. The tensile and the compressive strength and also the ratio of them increased continuously during 80 days. The compressive strength and the dry density had a tendency to converge to constant values as the energy of compaction increased, but such tendency was not seen in the tensile and in the bending strength.

緒 言

農道の路盤材には、碎石ばかりではなく、時として安定処理土が使用される。そのための土の安定処理は、種々の添加剤で行なわれている。以前、筆者はセメントによる安定処理土を対象として、実験を行なった。ここでは、マサ土を消石灰で安定処理をし、供試体を作製してその工学的性状を調べてみた。つまり、舗装要綱に定められた設計法において基本的に重要な意味をもつ配合と一軸圧縮強度の関係のほか、養生期間の影響、規定とは異なる突固め回数を持つ供試体の強度、さらに、合理的設計において必要となる引張強度や曲げ強度、変形係数などを調べてみた。なお、ここで得られた結果の一部

は、過去にセメント安定処理土に関して得られたものと比較してみた。これら二つの安定処理土に使用した母材は、同じ地山から採取したマサ土である。

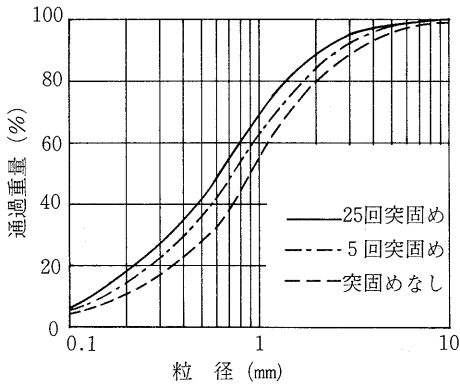
試料と実験の方法

母材としてここで使用した土は、マサ土である。このマサ土は、鳥取市本高産のものであり、その20mm通過試料を実験に用いた。マサ土は元来、その取扱いによつて粒径が異なるものである。したがつて、「土質試験法」²⁾では、試料を1.5 mの高さから30回落下させた後に粒度試験を行うように定められている。ところが、以下の実験では、供試体を作製するに際しては、ランマーによる突固めを繰り返す。そのために、ここでは、風乾試料を

*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

円筒内で3層に分け、回数を変えて突固め、それによるマサ土の細粒化の様子を調べてみた。その結果を第1図に示す。この場合、1層当たり50回の突固めも行ったが、それによる粒度曲線は、第1図の25回突固めのものとの差異が小さく、それを図示するのが困難であった。したがって、第1図には、50回突固めの結果を省略した。ここでは、25回の突固めでほぼ細粒化は収束しているとみられるが、実際に供試体を作製する場合には、より高含水比で突固めるので、その結果は多少異なるかと推定される。



第1図 突固めによるマサ土の粒度変化

石灰安定処理土に添加剤として使用される石灰には、生石灰と消石灰とがある。両者は、母材として使用される土に応じて使い分けことが適当であり、生石灰は、粘土系を多く含む細粒土で、含水比が高い土に対して効果的とされている。¹¹⁾ここで使用したマサ土のようにレキおよび砂質土に富むものには、消石灰が安定処理土の添加剤としては効果的であり、その使用例がみられる。そしてまた、消石灰は、その取扱いが容易でもある。このような理由から、ここでは、工業用消石灰特1号を添加剤として採用した。

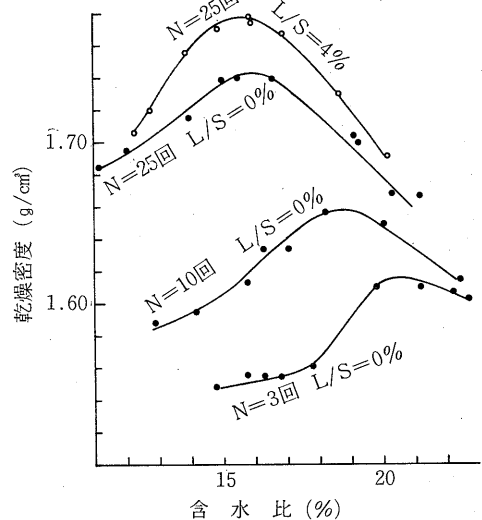
石灰安定処理土の配合を定めるために、まず、締固め試験を行った。そして、4%の消石灰を混合した試料に対する最適含水比を、ここで安定処理土の含水比と定めた。さらに、石灰の添加量が2~10%の石灰安定処理土を用い、直径10cm、高さ12.7cmの円柱供試体と、10×10×40cmの角柱供試体を作製した。この両者の供試体の体積比は、1:4である。いずれの供試体も、その作製に当たっては、2.5kgのランマーで3層に分けて突固めた。その際、両者の締固めエネルギーが同一となるように突固め回数を定めた。作製した供試体は、蒸発を防ぎ、20℃で養生を行った。そしてまず、舗装要綱の規定にし

たがって、3層25回で突固めた円柱供試体を9日養生、1日水浸して、一軸圧縮試験を行った。さらに、石灰量が4%の供試体に対しては、強度と養生日数、および強度と突固め回数の関係などを求めた。この強度とは、一軸圧縮強度、割裂引張強度、曲げ強度である。さらに締固め試験の際に作製した供試体について、含水比と一軸圧縮強度の関係も求めた。なお、円柱の一軸圧縮試験においては、2個の変位計を用いて圧縮変形量も測定し、そこで得られた応カーひずみ曲線から変形係数も求めてみた。

結果と考察

a) 締固め試験

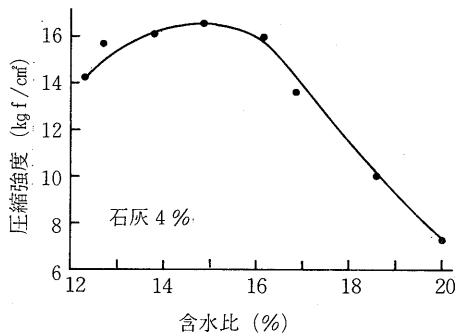
マサ土について1層あたりの突固め回数を異にした場合の締固め曲線と、3層25回で突固めた石灰量4%の安定処理土のそれを、第2図に示す。マサ土は、締固めエネルギーの増加に伴って最適含水比が減少し、最大乾燥密度が増大している様子が明確に認められる。これは、予想された結果である。一方、同一の締固めエネルギーをもつマサ土と安定処理土では、後者の方が前者よりも最大乾燥密度が大きくなり、最適含水比がわずかに小さくなっている。この現象は、必ずしも一般的なものとは言えないようである。つまり、石灰を増すことによって最大乾燥密度が減少した例や、^{1,4)}土の種類が異なればこれが増加した例もみられる。⁹⁾これは、消石灰のみかけの容積が大きいことと、土試料の空隙の大小に関連していると考えられる。より多くの種類の土について、このような実験を行うことが必要かと思われる。



第2図 マサ土と石灰安定処理土の締固め曲線

b) 含水比と圧縮強度

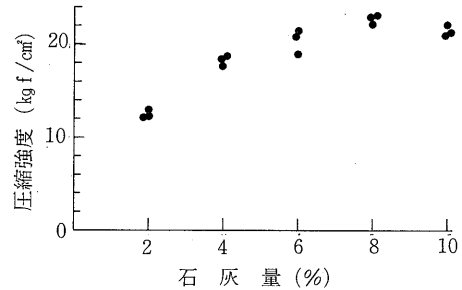
石灰量4%の安定処理土の締固め試験の際に、円柱供試体を作製した。これを9日間養生し、1日水浸の後に一軸圧縮試験を行った。それによる打込み時の含水比と一軸圧縮強度の関係を、第3図に示す。第3図に示される一軸圧縮強度が最大となる含水比は、第2図の石灰量4%に対する最適含水比よりも若干小さい。つまり、最適含水比の約95%の含水比で、一軸圧縮強度は最大となっている。このように、最適含水比よりも小さい含水比で圧縮強度が最大となるような例は、他の母材を用いた石灰安定処理土でもみられるが、両者の含水比に差がない例もみられる。⁹⁾母材ばかりではなく、養生の温度や期間を異にする多様な条件について、もっと実験を積重ねることが必要と思われる。



第3図 一軸圧縮強度と含水比の関係

c) 石灰量と圧縮強度・変形係数

石灰量を2~10%に変化させて、円柱供試体の一軸圧縮試験を行った。この供試体の打込み時の含水比は、石灰量4%の安定処理土の最適含水比に統一した。それによって得られた石灰量と一軸圧縮強度の関係を、第4図に示す。これによると、石灰量が8%で一軸圧縮強度が最大となっている。筆者は以前に、ここで用いたマサ土と同じ地山から採取したマサ土を母材とするセメント安定処理土について、同様の実験を行った。その結果、セメント量と一軸圧縮強度はほぼ比例関係にあることが認められた。¹⁰⁾このように、同一の母材を用いても、セメント安定処理土ならセメント量と共に一軸圧縮強度が増加するが、石灰安定処理土では、石灰量のある値以上に増しても一軸圧縮強度が増加しないような結果は、他にも報告されている。³⁾また、石灰安定処理土のみについてみると、石灰量を一定量以上に多くしても一軸圧縮強度は増加しないような例は、他にもみられるが、やはり石灰量が多い方が一軸圧縮強度も大きいような例もみられる。^{4~9)}

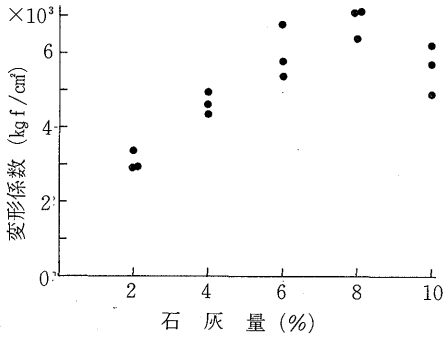


第4図 一軸圧縮強度と石灰量の関係

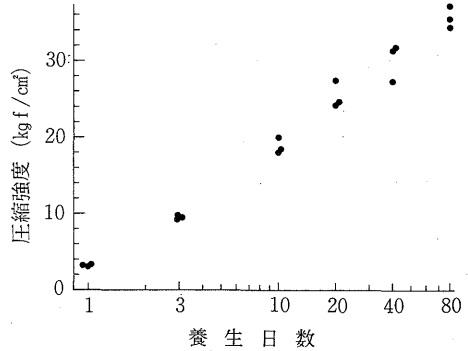
このように複雑な石灰量と一軸圧縮強度の関係は、セメント安定処理土ではみられないことであり、これに対する資料の蓄積が必要である。

第4図の結果を、セメント安定処理土の7日養生1日水浸の供試体に対して求めた結果と比較すると、¹⁰⁾添加量2%では石灰安定処理土の一軸圧縮強度の方がセメント安定処理土のそれよりも大きい、添加量4%では、両者の一軸圧縮強度がほぼ同一であり、添加量6%以上となれば、後者の一軸圧縮強度の方が前者のそれよりも大となっている。このように、添加量4%に対する両者の一軸圧縮強度がほぼ等しいことと、セメント安定処理土では4%のものを対象として種々の実験を行ったことから、後述の実験では、石灰量4%の安定処理土のみを対象とした。

ところで、舗装構造を弾性論に基づいて設計しようとする試みが行われているが、それに対しては、舗装構成材の弾性係数やポアソン比を知っておくことが不可欠である。このような観点から、ここでは石灰安定処理土の弾性係数を求めようと考えた。これの一つの方法として、一軸圧縮試験における応力-ひずみ曲線から求められるが、鋼材のようなものとは異なって、安定処理土ではこれに直線部分がない。したがって、このようなものに対しては、それぞれの定義のもとに求められた係数が用いられている。そしてこの種の問題に対しては、変形係数と呼ばれることが多い。そこでここでは、応力-ひずみ曲線に対する接線勾配の最大値を変形係数と名付け、それを求めてみた。この場合、初期接線勾配が変形係数となることが多い。ただし、この接線勾配は、主観に多少左右されるものである。ともかく、このようにして求めた変形係数と石灰量との関係を第5図に示す。これによると、石灰量の変化に伴う変形係数の増減の傾向は、一軸圧縮強度のものと同様である。しかしながら、この値は、測定法と算定法が微妙なことから、結果のバラツ



第5図 変形係数と石灰量の関係



第6図 一軸圧縮強度の養生日数による変化

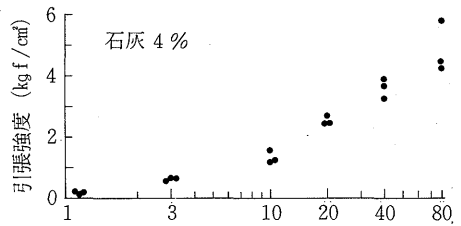
キが一軸圧縮強度のものよりも大きくなっている。

d) 養生日数と強度・強度比

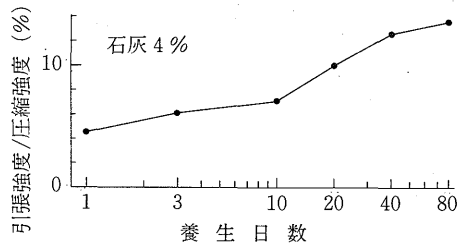
道路の供用中における舗装構成材の強度を知ることは、舗装厚の設計に対して重要なことである。そして、養生の初期における強度の変化を知っておくことは、工程管理の面から重要なことである。ここでは、石灰量4%の円柱供試体について、所定の養生日数ごとに、一軸圧縮試験と割裂引張試験を行った。このとき、養生1日における試験も行ったが、これに対する供試体の水浸ができないことから、条件を統一する意味で、他の養生日数の供試体についても非水浸で試験を行った。

まず、一軸圧縮強度と養生日数の関係を、第6図に示す。これによると、養生80日までではあるが、片対数紙上で、一軸圧縮強度がほぼ直線的に増加していることが認められる。筆者は以前に、セメント安定処理土に対して同様の試験を行った。¹⁰その際、母材として使用したマサ土は、このたびのマサ土と同じ地山から採取したものである。その結果によると、養生7日目以降の一軸圧縮強度の片対数紙上での増加勾配が、それ以前のものに比べて小さくなっている。このことより、石灰安定処理土は、セメント安定処理土よりも遅硬的であるとも言える。あるいは、石灰安定処理土の3日目までの一軸圧縮強度が、セメント安定処理土のそれよりも非常に小さいとも言える。文献によると、第6図と同様に、片対数紙上でほぼ直線的に強度が増加しているのがみられるが、その増加傾向は使用される母材によって異なっている例とか、³⁾10日あるいは30日以降に強度の増加勾配が小さくなる例や、90日目でもその増加勾配が変わらない例もみられる。このような性状は、使用される母材の差異ばかりでなく、養生温度や打込みの条件などにも左右されるとも考えられる。さらに実験を積重ねることが必要であると考える。

つぎに、割裂引張強度と強度比の養生日数に伴う変化を、第7、8図に示す。第7図によると、養生の初期における引張強度が非常に小さい。片対数紙上で、養生10日以前の引張強度の増加勾配の方が、10日以降のそれよりも小さくなっている。つまり、引張強度の発現は、圧縮強度のそれよりもさらに遅いと言える。このことは、第8図に示された強度比の変化をみると、より明確に判断できる。表層・路盤・路床の厚さや弾性係数の組合せによっては、輪荷重の作用に伴って、路盤内に引張応力が生じる。このような場合には、路盤材の圧縮強度ばかりでなく、引張強度も構造設計に対して重要な意味を持っている。引張強度に関する報告例は、圧縮強度に関するものに比べて非常に少ないが、この種の実験も必要なことと思われる。



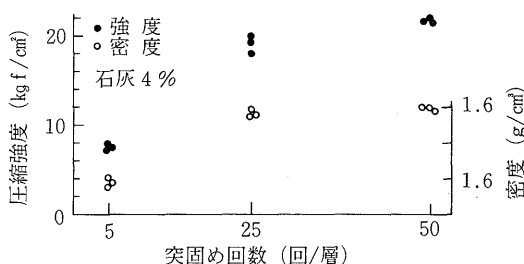
第7図 引張強度の養生日数による変化



第8図 強度比の養生日数による変化

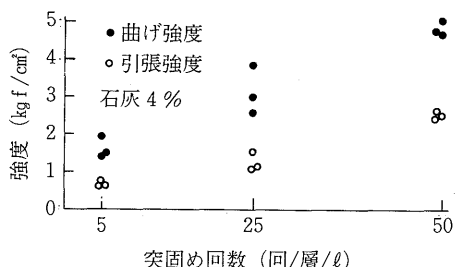
e) 突固め回数と乾燥密度・強度・強度比

一軸圧縮試験のための供試体の作製にあたっては、3層に分け各層を25回ずつ2.5kgのランマーで突固めるように、舗装要綱には定められている。ところが、実際の施工においては、そのような締固めが行われるわけではない。締固めの方法やエネルギーが異なれば、供試体の密度や強度なども異なると予想される。ここでは、締固めエネルギーのみを異にする供試体を作製し、密度と強度の変化を調べてみた。つまり、石灰量4%の安定処理土を、1層当たり5、25、50回/層/ℓで突固めた3種類の供試体を作製し、10日間養生した後、円柱の一軸圧縮試験と割裂引張試験および、角柱の三等分点載荷による曲げ試験を行った。またそのとき、供試体の乾燥密度も測定した。第9～11図にそれらの結果を示す。第9図によると、1層当たり突固め回数を5回から25回に変えれば、一軸圧縮強度は2倍以上も変化しているが、突固め回数を25回から50回に変えても一軸圧縮強度の変化は小さいものとなっている。乾燥密度の変化も、一軸圧縮強度と同様に、突固め5回と25回に対する差よりは、25回と50回に対する差の方がかなり小さくなっている。これらのことは、第1図での突固めによる粒度変化でもみられたような、25回の突固めで細粒化がほぼ収束していることと対応している。

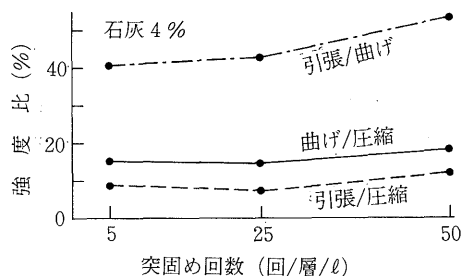


第9図 一軸圧縮強度と乾燥密度の突固め回数による変化

つぎに、第10図をみると、曲げ強度と引張強度は、一軸圧縮強度とは異なって、突固め5回と25回に対する差と同様に、25回と50回でも差がみられる。とくに、引張強度の突固め25回と50回に対する差がはっきりと現われている。第11図には、各強度の平均値から算定した強度比を示している。ここでも、引張強度の突固め25回と50回に対する差が現われている。なお、第11図の曲げ強度/圧縮強度の算定に用いた圧縮強度とは、角柱の曲げ試験を行った後の両折片に対する平均一軸圧縮強度である。輪荷重によって舗装体内に生じる応力やひずみ、変位などを算定し、それによって舗装構造を設計しようとす



第10図 曲げ強度と引張強度の突固め回数による変化



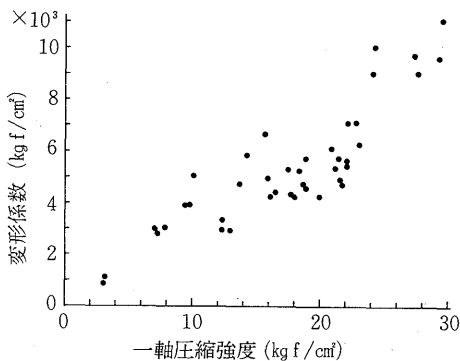
第11図 強度比の突固め回数による変化

る合理的設計法においては、舗装構成材の圧縮強度のみではなく、引張強度を求めておくことが必要である。そのため、従来のように、舗装材の圧縮強度のみを求めて配合設計を行おうとしても、構造設計のための条件を満たすことはできない。したがって、このように、突固め回数の変化に伴う一軸圧縮強度や乾燥密度の変化が小さくても、引張強度には変化が認められるような結果は重要であり、今後もっと検討されなければならないことであると考えられる。

f) 一軸圧縮強度と変形係数

舗装構造を合理的設計法にしたがって設計しようとするれば、各舗装構成材の強度ばかりではなく、弾性係数やポアソン比などがわかっていなければならない。これらのうちで、弾性係数については、前述の理由から、この種の問題に関しては変形係数と呼ばれることが多い。安定処理土に対して一軸圧縮試験で得られた応力-ひずみ曲線から定義される変形係数には、いくつかの種類がある。その代表的なものは、土に対する試験で用いられるもので、破壊強度の $\frac{1}{2}$ における曲線上の点と原点とを直線で結んだその勾配、つまり、割線係数を変形係数と定めるものである。また、応力が0における接線勾配を変形係数と定めるものもある。前者の定義で得られた変形

係数は、後者のそれよりは小さい。ところが、一般に、角柱の曲げ試験や平板載荷試験などの結果から算定された弾性係数は、円柱の一軸圧縮試験から求めたものよりは大きい。このような事実から、初期接線係数を変形係数と定義する方がより好ましいと思われる。ここでは、とにかく、初期接線係数を変形係数と定義し、それを求めてみた。第12図は、前述の各種の条件で作製・養生された円柱供試体から得られた変形係数を、一軸圧縮強度との関係として示したものである。つまり、第12図には、石灰量が2~10%のもの、養生日数が1~80日のもの、および、突固め回数が5~50回のもが含まれている。なお、この種の実験においては、ひずみ測定法の精度向上も課題として残されている。



第12図 変形係数と一軸圧縮強度の関係

総 括

道路の路盤材としての石灰安定処理土を対象として、ここでは、円柱と角柱の供試体に対する各種の実験を行った。母材にはマサ土を、また添加剤としては消石灰を使用した。得られた結果の主なものを示すと、以下の通りとなる。

1. ここで使用した石灰安定処理土は、石灰量を増加させてもその一軸圧縮強度が増加するとは限らない。9日養生1日水浸の円柱供試体の場合には、石灰量が8%を超えると一軸圧縮強度は減少した。石灰量と一軸圧縮強度の関係も、同様な傾向がみられた。なお、ここで使用したマサ土と同じ地山から採取したマサ土を母材とするセメント安定処理土の結果と比較すると、安定剤の添加量2%では、石灰安定処理土の一軸圧縮強度の方がセメント安定処理土のそれよりも大きい。添加量4%では、両者がほぼ等しく、添加量6%以上になると、後者の方が大となった。

2. 供試体の養生日数を1~80日まで変えた結果によると、一軸圧縮強度と養生日数の関係は、片対数紙上でほぼ直線となった。ところが、セメント安定処理土の場合には、養生7日以降の強度増加の傾向が次第に小さくなっている。したがって、石灰安定処理土は、セメント安定処理土よりも遅硬的であるとも言える。さらに、養生1、3日における引張強度はとくに小さい。そのため、引張強度と圧縮強度の比は一定ではなく、養生日数に伴って増加した。

3. 1層当たりの突固め回数を、5回から25回に増すと、供試体の一軸圧縮強度と乾燥密度も増加したが、25回から50回に増すと、これらの増加は微小となった。ところが、引張強度は、突固め5回と25回に対しては勿論のこと、25回と50回に対しても同様な差異がみられた。

上記の1と2で得られた結果は、文献にみられるものと一致するものもそうでないものがある。これは、使用された母材の差が主原因であろうが、養生条件の差にも原因しているとみられる。ともかく、石灰安定処理土の使用例は増えてきたと言われながらも、セメント安定処理土と比較して報告例が少ないようである。もっと多様な試料と条件に対する実験と検討が必要である。また、合理的設計法においては、圧縮強度ばかりではなく、引張強度も大きな意味をもっている。これに対する実験も積重ねる必要があると考えられる。

文 献

- 1) Aly Sabry, M. M., and Parcher, J. V.: Proc. ASCE, 105 (TE1) 59 (1979)
- 2) 土質工学会: 土質試験法, 土質工学会, 東京 (1980) pp. 678~679
- 3) Ingles, O. G., and Metcalf, J. B.: Soil Stabilization, Butterworths, Sydney (1972) pp. 130~136
- 4) Kézdi, Á: Stabilized Earth Roads, Elsevier, Amsterdam (1979) pp. 168~171
- 5) 小島逸平: 土木技術資料, 13(1) 26 (1971)
- 6) 松井正弘, 三嶋信雄: 日本道路公団試験所報告, 1 (1973)
- 7) 中園岩男: 特許よりみた石灰安定処理工法, 松尾新一郎監修, 日刊工業新聞社, 東京 (1977) pp. 28~30
- 8) 日本石灰協会: 石灰による土質安定処理工法, 山海堂, 東京 (1970) pp. 10~13
- 9) 内田一郎: 第3回日本道路会議論文集, 518 (1950)

- 10) 渡辺正平：鳥大農研報，37 111 (1985)
- 11) 渡辺崇博，市村正二，今川史郎：土と基礎，29 (11)
13 (1981)