

まさ土の風化度と道路用材料としての品質評価

古河幸雄¹・藤田龍之²

¹正会員 博士(工学) 日本大学助教授 工学部土木工学科(〒963 郡山市田村町徳定字中河原1番地)

²正会員 工学博士 日本大学教授 工学部土木工学科(〒963 郡山市田村町徳定字中河原1番地)

阿武隈高地にはまさ土が広く分布し、土工事などで大量に使用されているにも関わらず、その性質に関する総合的研究は行われていなかった。本研究は、この地域のまさ土に対し、道路用材料としての品質評価を目的に物理化学的・鉱物的性質、および締固め・CBR等の安定化に関する特徴を調べたもので、西日本などのデータと併せて検討した。阿武隈高地のまさ土は、西日本のまさ土に比べると細粒化や土粒子構造の発達傾向、結晶性の低下傾向が認められ、また、乾燥密度が同じでもCBRが小さい特徴を示した。さらに、日本道路団の規定により行った品質の評価は、強熱減量値から判断できることを示した。

Key Words : *weathering, decomposed granite soil, physico-chemical properties, compaction*
C.B.R., *earthwork material*

1. まえがき

阿武隈高地は東北地方で最大の花崗岩分布地域であり、表層はそれが風化したまさ土で覆われている。しかし、その土質工学的性質の研究は、ほとんど行われていないのが現状である。にもかかわらず、阿武隈高地内はもちろんのこと、隣接する地域で道路用材料としてのみならず、様々な工事の盛土や置換え材として広く利用されている。したがって、今後の阿武隈高地の開発が進むにしたがい、まさ土地帯の地域開発やそれによって発生する防災上の問題に関連してまさ土の土質工学的性質を明らかにする必要性に迫られることが考えられる。さらに、最近の首都機能移転候補地域として注目されるに至って、このような事情は将来ますます活発化することが予想される。

このようなことから、本研究は、阿武隈高地に分布するまさ土について物理化学的性質および鉱物的性質を明らかにし、かつ、これまで風化度の評価に関連して用いられている強熱減量を、風化度の基本的指標として位置づけ、文献より得た西日本のまさ土のデータも加えて検討した。さらに、阿武隈高地のまさ土は道路用材料として大量に利用されていることから、締固め試験を行い、その締固め供試体の水浸によるCBRの低下や、修正CBRを風化度と関連性させて検討した。

2. 試料および試験方法

(1)試料

試料の採取地は、図-1で示すように福島県内の阿武隈高地南北稜線の西側が中心である。試料は、原位で風化してそのまま残留している残積土であること、および崩積土や水によるふるいわけ淘汰を受けていないことを条件とした。採取には、風化の異なると思われる9地域より2週間以上降雨のない時期を選び、地下水のないことを確認して、物理化学試験用に用いる試料は地表下約3mより、安定化試験用の試料は地表下約2~4mの位置のものを採取した。採取地点の記号は、諸性質から判断してAからIへ向かって風化が小さくなるように付した。

(2)試験方法

まさ土の土質工学的諸性質を調べるため、表-1に示す各種の物理化学的試験と鉱物組成の測定、および安定化試験を実施した。試験方法の中で、JISあるいはJGSに規定されているものはそれに従い、規定のない試験方法は、参考文献に示す方法^{1)・2)}で行った。また、比表面積の測定は、N₂吸着法に基づくBET法で実施した。

一方、安定化試験において、締固め試験はE-b法(15cmのモールド、4.5kgランマーを用い、92回/3層

表-1 実施した試験の種類

- (1)物理化学, 鉱物組成試験
 - a)含水比試験
 - b)土粒子の密度試験
 - c)粒度試験 (試料調製法 JGS T 101(5.B))
 - d)強熱減量試験
 - e) p F 試験
 - f) p H 試験
 - g)コンシステンシー試験 (流動限界)¹⁾
 - h)ふっ化水素酸腐食率試験¹⁾
 - i)鉱物組成試験¹⁾
 - j)非晶質物質の含有量試験²⁾
 - k)比表面積の測定
- (2)安定化試験
 - l)締固め試験
 - m) C B R 試験
 - ・ l)で作成した供試体の C B R 試験
 - ・ 修正 C B R 試験

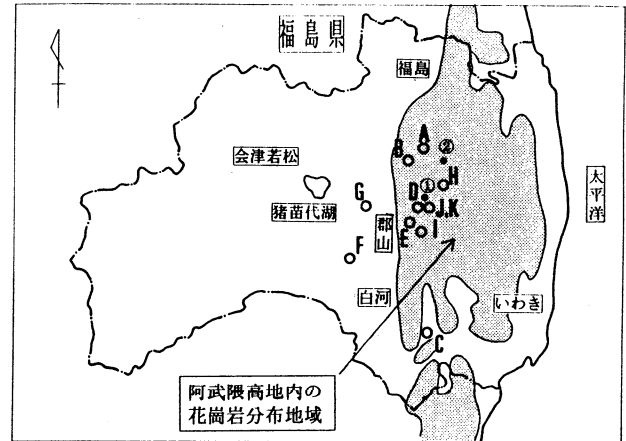


図-1 試料の採取地

の落下回数)で行った。締固めに際し、供試体間の均一性の保持や採取時の含水比を変化させないように注意しながら、同一試料においては粒度分布が同じになるよう粒度調製を行って用いている。また、締固め試験で得られた供試体の水浸による C B R の低下を検討するため、同一含水比で締固めた供試体の乾燥密度が同程度になったものを2通り準備し、非水浸供試体は締固め後直ちに、水浸供試体は4日間水浸 (同時に膨張試験も行っている) した後に貫入試験を行った。また、材料としての品質評価のために、修正 C B R 試験も行った。

3. まさ土の物理化学的, 鉱物的性質

(1)深度方向の性質

風化の進行は地表面から深度方向へ移行していき、それに伴い性質が変化してくる。図-2は深度方向の自然含水比 w_n 、間隙比 e 、乾燥密度 ρ_d 、強熱減量 Li であり、試料採取地は図-1に示してある。 w_n 、

e 、 Li は深度が大きくなるにつれて低下する傾向を、 ρ_d は逆に増加する傾向を示し、青山・遠山・西田³⁾が生駒山の花崗閃緑岩の風化断面層で得られた結果と同様に深度方向に風化が小さくなっている。したがって、これらの諸数は、阿武隈高地のまさ土においても風化の指標の一つとしての判断基準になるものと考えられる。しかし、 w_n は降雨や地下水などの影響で変動すること、 e や ρ_d は乱さないで採取し、さらに、他の物理量を測定してから計算しなければならないなどの難点がある。一方、 Li は鉱物中の構造水や有機物などに深く関わる指標として一般的に広く採用され、特にまさ土の場合は有機物量が少ないので、構造水そのものの量を表しているといわれている。これは、風化に伴い、一次鉱物が二次的生成物として粘土鉱物に変化していく過程で構造水が増大するためであり、風化度が大きいと強熱減量も大きくなるからである。

しかしながら、 Li は母岩の種類によって値のばらつきが大きく、風化の全過程を表せないこと、粘土化の少ない岩種には適用が難しいとの指摘²⁾もあるが、試験の簡便性や値の信頼性を考慮すると、 Li は有用

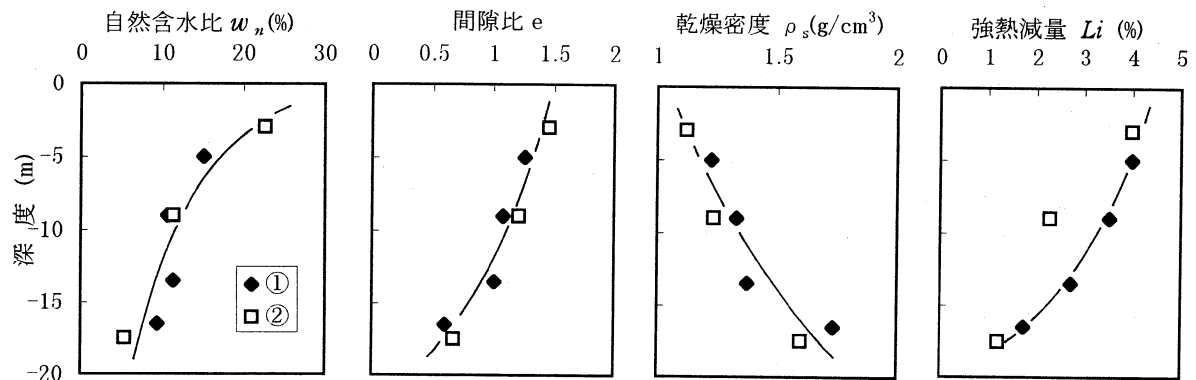


図-2 深度と w_n 、 e 、 ρ_d 、 Li の関係

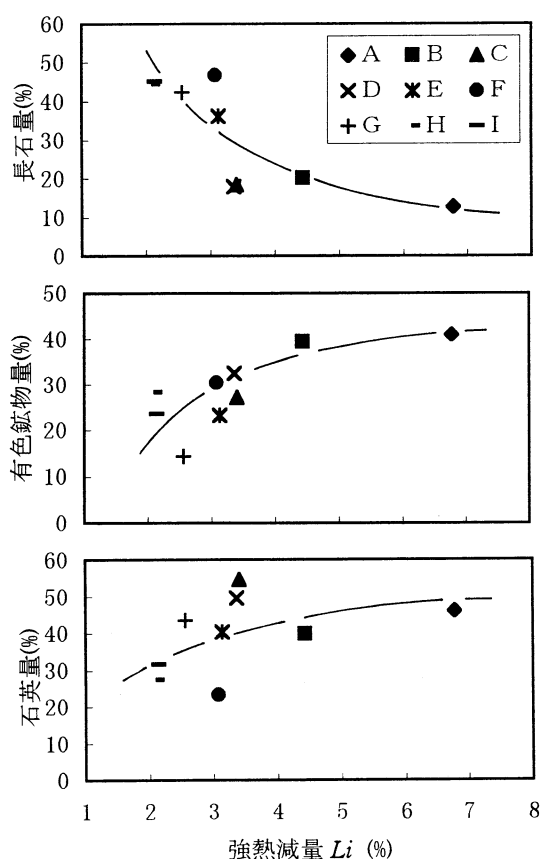


図-3 鉱物組成と強熱減量の関係

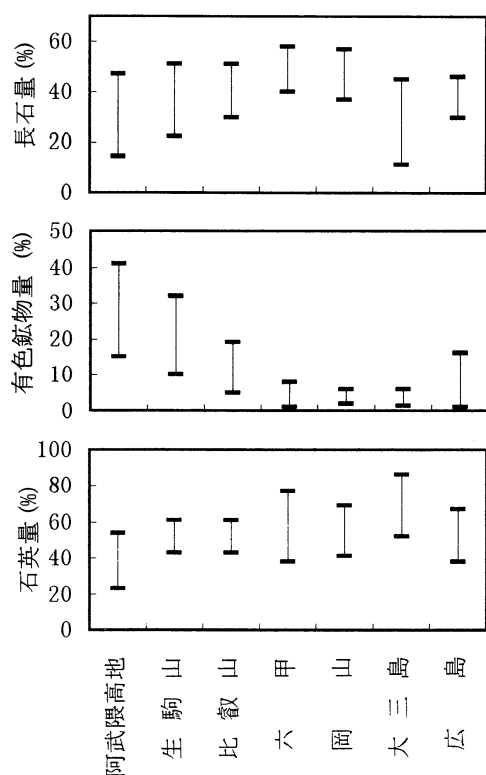


図-4 まさ土の地域別鉱物組成の範囲

な尺度と考えられることから、物理学的な諸数と比較するときの基本的な風化度の指標とすることにした。

(2)構成鉱物の特徴

まさ土の主要な造岩鉱物の風化により生成される鉱物は、角閃石は一部風化して緑泥石へ、黒雲母は加水黒雲母を経てバーミキュライト、あるいは緑泥石やモンモリロナイトへ、斜長石はハロイサイトやメタハロイサイトなどであり、石英は安定度が高く未変化で残存する。したがって、石英は風化に対して高い抵抗性を示すが、長石や雲母類は脆弱なため粘土化しやすく、そのために構成鉱物の割合は風化するにつれて変化していき、風化しやすい鉱物は減少し、安定度の高い鉱物は増加することになる。まさ土は、それら造岩鉱物の特徴を残存した状態で風化した砂質土であることから、構成する一次鉱物組成から風化の程度やその特徴を明らかにできるものと考えられる。そこで、図-3は染色法により求めた長石量、有色鉱物量、石英量の割合を Li との関係で示すと、石英はばらつきはあるが Li が大きくなるにつれて増加し、石英より安定度の劣るものの有色鉱物量も同様な傾向を示している。また、安定度の低い長石は Li が大きくなるにつれて少なくなり、前述した造岩鉱物の風化変成にともなう鉱物組成の特徴が読みとれる。一方、阿武隈高地のまさ土の特徴と西日本のもの（松尾・西田⁴⁾、青柳・石井・横瀬⁵⁾）と比較するため、地域別の各鉱物の含有量の範囲を図-4に示す。阿武隈高地の各鉱物含有量は西日本のものに比べ、その範囲が広い。また、各鉱物組成は、石英量および長石量はまさ土の分布地が西に向かうほど増加する特徴を示すが、有色鉱物量は逆に減少する傾向であり、鉱物組成にみる分布地域の違いが明瞭に現れている。

(3)土粒子の特徴

図-5は本研究に用いた試料の粒度分布である。粒度組成としては粗粒分から細粒分まで適当に含有して

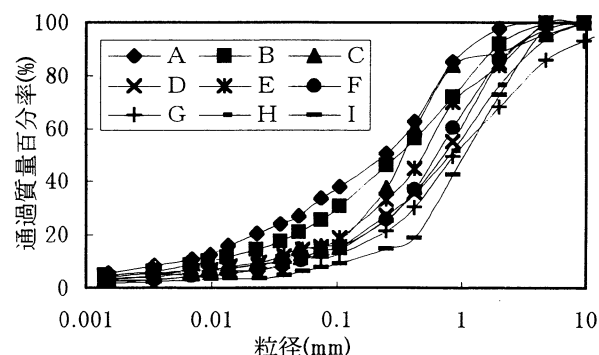


図-5 阿武隈高地に分布するまさ土の粒度分布

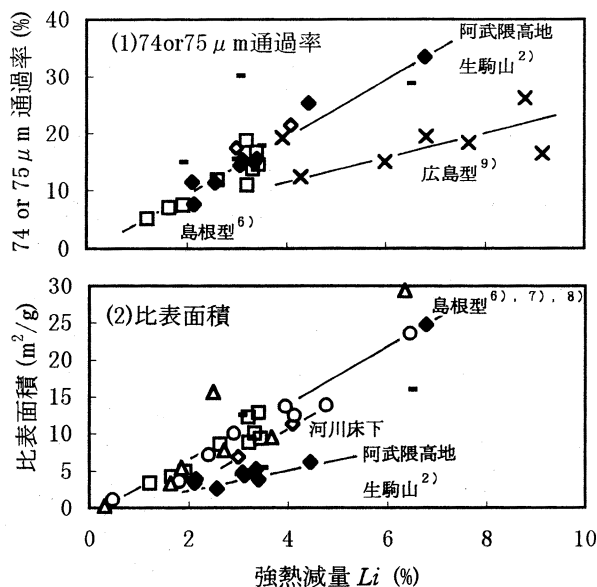


図-6 まさ土の土粒子特性

表-2 図の記号説明

◆阿武隈高地	◇河川床下
-生駒山(文献2)	+生駒山(文献11)
-生駒山(文献12)	×広島型(文献9)
×愛媛型(文献13)	□島根型(文献6)
○島根型(文献7)	△島根型(文献8)

おり、また、粒度分布で「粒度分布が良い」といわれる $Uc > 10$, $Uc' = 1 \sim 3$ から判断すると試料D~Hが該当した。また、まさ土は風化の進行に伴い細粒化するので、図-6(1)(2)に74または75 μ mふるい通過率および比表面積と Li の関係を西日本のもの^{2), 6), 7), 8), 9)}と併せて示す(図中の記号は、参考文献より引用した西日本のデータで、凡例のない図に共通であり表-2に示す)。(1)図ではいずれも Li の増加とともに通過率も大きくなり、風化の進行に伴う細粒化傾向が明らかである。阿武隈高地と生駒山および島根型は類似した傾向にあるが、その中でも島根型はそれらより低いところに、広島型は小さめに現れ、分布地域によって細粒化の特徴が異なっている。

このような細粒化の傾向は、比表面積の増加にも現れ、(2)図に比表面積との関係を示すと(阿武隈高地を流れる河川床下2m, 6mより採取したものも示す), Li の増加につれて大きくなっている。増加傾向の中で島根型は最も大きく、河川床下のまさ土はそれより若干小さく、阿武隈高地型や生駒山型の両者は最も下位に現れている。このようなことから、各地の風化にともなうまさ土の特徴として、次のようなことが考えられる。

- ①阿武隈高地型・生駒山型に比べ、島根型は細粒化、

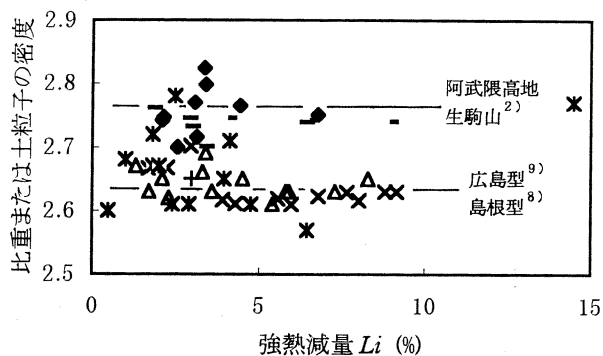


図-7 比重または土粒子の密度と Li の関係

広島型は粗粒分が卓越した傾向を示す。

- ②島根型は、比表面積が大きく土粒子表面の凸凹や土粒子内部に空隙を多く持つと判断され、土粒子構造が発達傾向にある。

- ③広島型は、他地域まさ土より Li が大きいことから、結晶性の低位化の傾向にある。

阿武隈高地型と島根型が示した特徴の相違は、河川床下のまさ土が示した挙動より次のように推測できる。年平均降水量¹⁰⁾は、阿武隈高地の福島が約1100mm、松江が約2000mmで、島根型のまさ土は、阿武隈高地型より毎年2倍近くの雨水の浸透を受けていることになる。この浸透量の多さが土粒子比表面積や空隙量の増加に現れ、土粒子構造の発達傾向として発現したものと考えられる。

風化の影響を受ける因子には、粒子特性としての粒度分布や比表面積のみならず、土粒子の密度にも関連してくるはずである。特に長石土粒子の密度は風化にともなって減少するといわれている⁴⁾。これは母岩の性質が反映され易いので、本研究のように試料の採取地がすべて異なっている場合には、母岩の性質に対する依存度が大きいものと判断されるが、その検討は行っていない。しかし、長石土粒子などの鉱物を分離しない場合の土粒子の密度と Li の関係を示すと^{9), 11), 12), 13)}、図-7のようになる。図からわかるように強熱減量との相関性があまり良くないのは、前述の理由によるものと考えられるが、阿武隈高地と生駒山の値は大きめに、それ以外の西日本のものは小さめの値になっている。

(4)保水特性

これまで述べたように、まさ土は風化の進行とともに土粒子の細粒化や比表面積が増加している。それとともに、土粒子内部の空隙の発達も同時に進行しており、このような特性は土の保水性と密接な関係を持つものと考えられる。また、まさ土の自然地盤は長年の地質的風化を受け、自然環境下のもとで、ある平衡状態を保持しているものと考えられる。したがって、こ

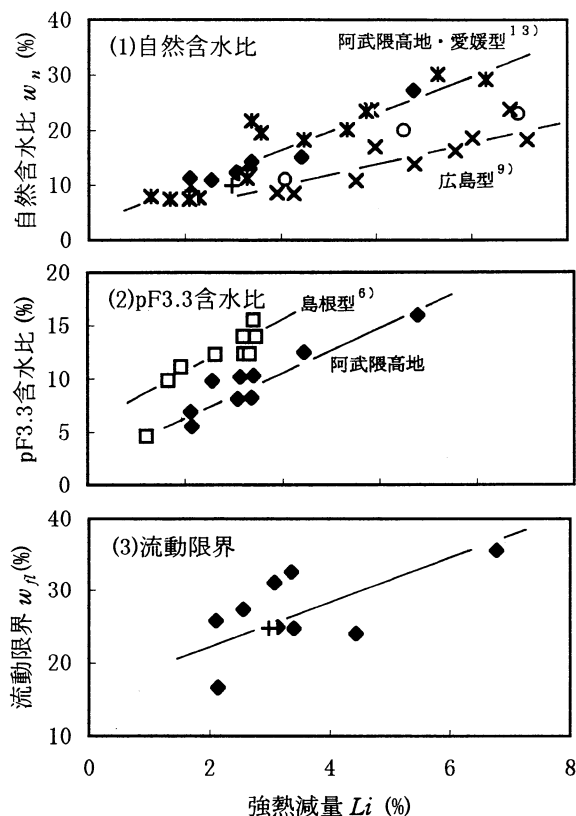


図-8 保水性と L_i の関係

のような条件下にあるまさ土の水分量は、土の特性を表す一次的性質と見なすこともできる。そこで、図-8(1)⁹⁾、(11)、(13)、(14)²⁾ (2)⁶⁾ (3)¹¹⁾ に w_n 、pF3.3 含水比および w_{fl} と L_i の関係を示す。(1)図で w_n は L_i の増加とともにまさ土の分布地域ごとに直線的に大きくなっていることから、 w_n も風化度評価の一つの判定基準になることを示唆しているものと考えられる。また、(2)図の pF3.3 含水比では、 L_i の増加につれて直線的に大きくなり、しかも島根型は阿武隈高地に比べ高い位置にあることから、分布地域の特徴の違いがわかる。土の保持特性は土粒子間の水の表面張力やその物理化学的性質に起因する吸引力に支配され、まさ土では土粒子内の空隙が多いため準拘束水領域 ($3.3 < pF < 4.2$) に貯留されていると考えられている。また、透水性を評価する工学的な意味もある¹⁵⁾ ことから pF3.3 とした。

また、保水性は、粒度や土粒子鉱物の種類、土粒子内部の構造的性質や表面特性などを総合して表現していると考えられ、この影響は土のコンシステンシーにも及ぶはずで、これを JIS 法で行うと NP となることが多い。そこで、コンクリートのスランプ試験を応用して提案²⁾ されている流動限界 w_{fl} があり、(3)図に L_i との関係を示す。 L_i と良い対応を示すことがわかり、阿武隈高地のまさ土についても、スランプ試験によるコンシステンシー評価が可能となる。

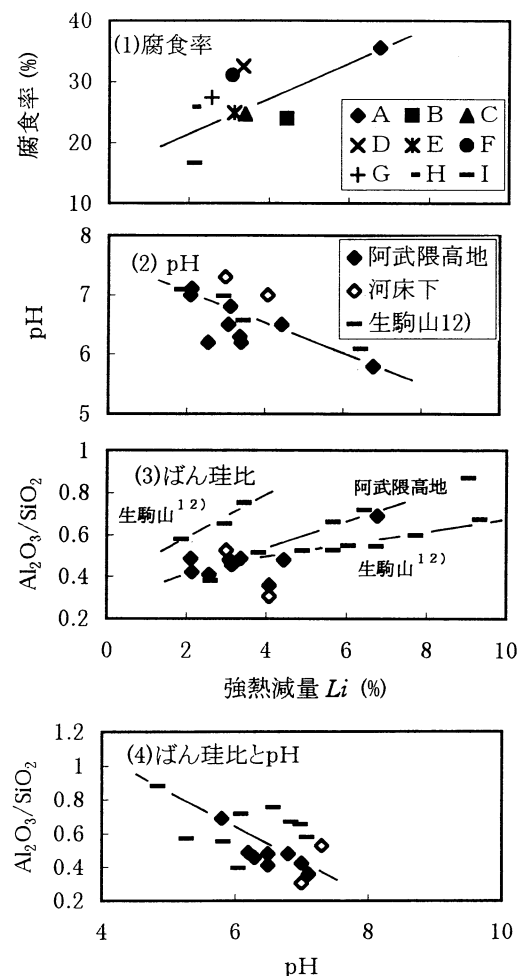


図-9 まさ土の化学的性質

(5) まさ土の化学的性質

まさ土の化学的性質を明らかにするのは、まさ土の風化による変化の程度を判定することや、化学的な侵食作用に対する土粒子の安定性、あるいは種々の添加材で安定処理する際の処理効果の程度を検討する場合などに対し重要なこととなる。

そこで、図-9(1)(2)¹²⁾ (3)¹²⁾ にふっ化水素酸による腐食率、pH および Al_2O_3/SiO_2 と L_i の関係、(4)図¹²⁾ に pH と Al_2O_3/SiO_2 の関係を示す。(1)図の腐食率は L_i の増加につれて大きくなり、風化度が進んでいるまさ土ほど侵食を受け易いことが理解される。これは、まさ土が置かれている物理化学的環境に影響を大きく受けた後の安定性の検討であるから、そのまさ土が存在している地理的条件や、あるいは風化過程に伴う水和や酸化・還元、イオン交換などの化学的諸作用の差が現れているものと考えられる。その意味では、浸透水などによる元素の離脱で生じる pH の変動も風化と連動しているはずである。(2)図の pH との関係を見ると、 L_i の増加につれて pH が減少することから、pH の低下が風化度の増大に関連していることが理解される。

ところで、土壌の浸透水などによる溶脱は、第一段階として溶解しやすいCa, Na, Mg, Kなどから始まり、これらが溶出すると土中水はアルカリ性になる。また、第二段階としては難溶性の SiO_2 もしだいに溶出し始め、第三段階としては、Fe, Alが溶脱し、それらは酸化物 Fe_2O_3 , Al_2O_3 の形で風化残積土中に残留しやすいが、このような溶出して土壌に残留した成分は、再結合によってゲル状の非晶質物質や結晶性粘土鉱物を形成してくる。一般的な自然環境におけるpH領域($5 < \text{pH} < 9$)では、珪酸分は徐々に水に溶脱するが、アルミニウム酸化物は土中に留まって移動しにくいといわれていることから²⁾、風化にともないばん珪比 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ が大きくなるものと推定される。そこで、(3)図の $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ との関係では、いずれの場合も L_i の増加にともない大きくなっている。生駒山型のまさ土でも阿武隈高地型と同じ傾向を示すものと、それより大きくあるいは小さくなるものにわかれているが、その原因については明らかでない。また、アルミニウム酸化物の溶解度は $5 < \text{pH} < 8$ で一定であるが、それ以上あるいはそれ以下になると著しく増大するといわれ¹⁶⁾、珪酸分はpHの増加とともに漸次

多くなる。したがって、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ はpHの低下とともに大きくなると考えられ、(4)図の $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ とpHの関係から、推定した結果と一致した傾向を示している。

4. 風化度と締固めおよびCBR特性の関係

(1) 締固め程度がCBRへ及ぼす影響

まさ土の風化度の違いは、物理化学的、鉱物的性質はもとより力学的性質に影響することは当然であり、また、まさ土は土粒子が不安定であるため、締め固められたときの土粒子は破碎されやすく、他の残積土に比べて締固め密度が大きいにも関わらずCBRが小さかったり、水浸による強度低下が著しいなどの特徴がある。そこで、締め固め仕事量と密度およびCBRについて調べると図-10(1)(2)のようになる。締め固めは、自然含水比状態のまさ土を粒度調製して4.5kgランマーにより1層につき20(プロクター締め固めに相当)、92, 230, 368回(3層)で行っている。(1)図は締め固め回数による乾燥密度の変化を示したもので、20回から92回にかけて急激に増加するが、92回以上の

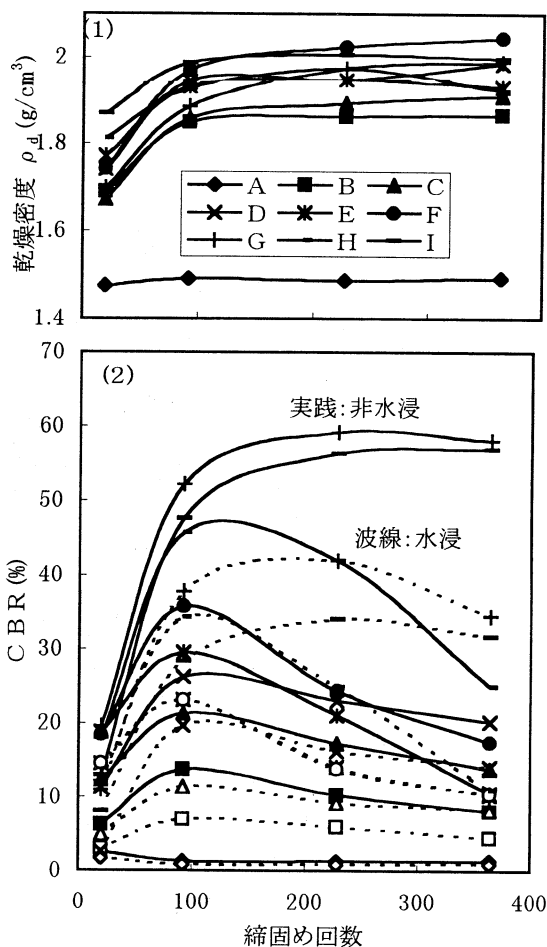


図-10 乾燥密度およびCBRと締固め回数の関係

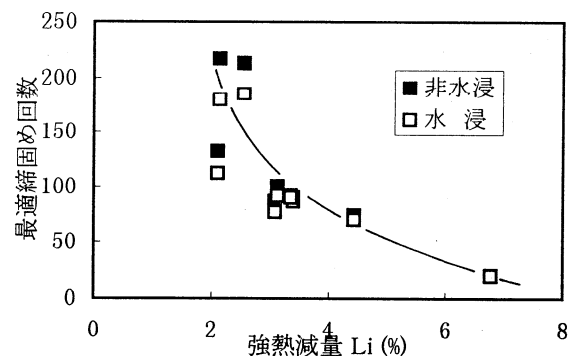


図-11 最適締固め回数と L_i の関係

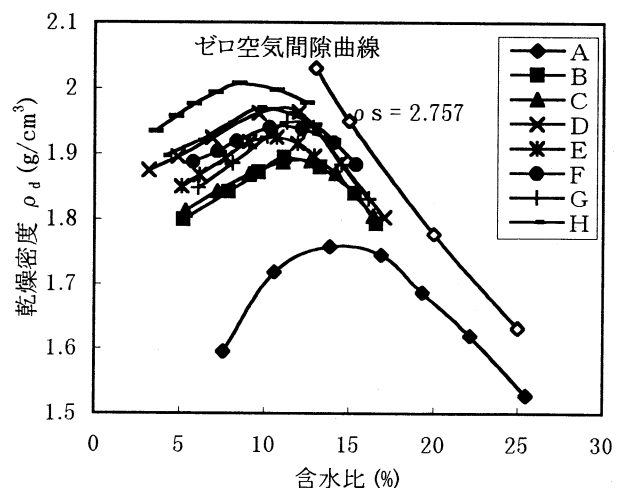


図-12 締固め曲線

締固め回数になるとあまり増加せず、かえって試料Aのようにわずかであるが減少する試料もある。また、締固め回数と強度との関連性を検討するため、(2)図は各締固め回数に対応するCBRを非水浸および水浸した場合の関係である。CBRは、水浸、非水浸に関わらず20回から92回にかけて急激な増加傾向を示し、非水浸試料、水浸試料ともある締固め回数でCBRが最大となるような曲線形を示し、その位置は試料の風化度が小さくなるにつれて締固め回数の大きいところに現れ、しかもCBRも大きくなっている。一方、水浸した場合、非水浸に比べ最大となるCBRは著しい低下を示し、CBRのピークに対応する締固め回数は、風化度が小さい試料ほど低下が著しいようである。こ

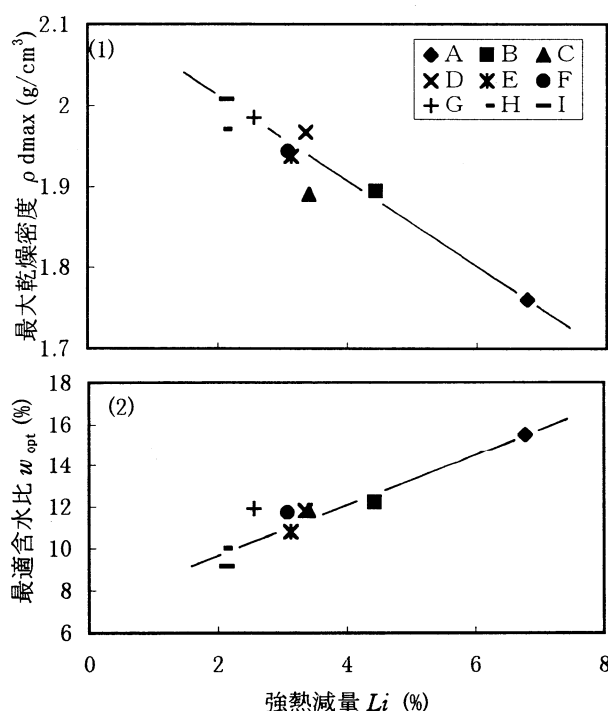


図-13 w_{opt} および ρ_{dmax} と Li の関係

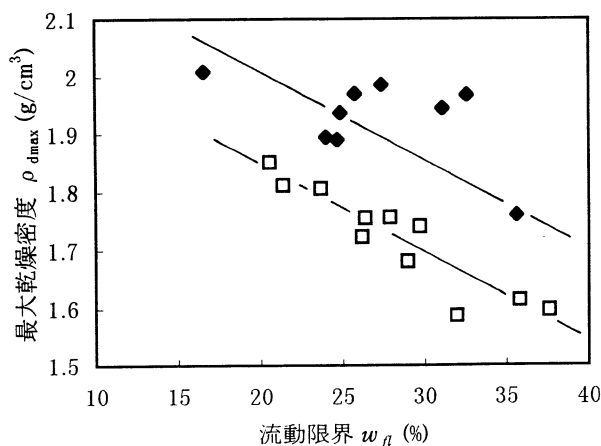


図-14 ρ_{dmax} と w_{fi} の関係

こで、土工事などで強度が最大となる締固め仕事量の目安とするため、CBRがピークとなる締固め回数を最適締固め回数として Li との関係を調べると図-11になる。最適締固め回数は、 Li の増加につれて減少する傾向を示し、非水浸、水浸とも近似した相関性が認められることから、風化度に対応する締固め度の推定できるものと考えられる。

(2) 締固め曲線とそれに対応するCBRの関係

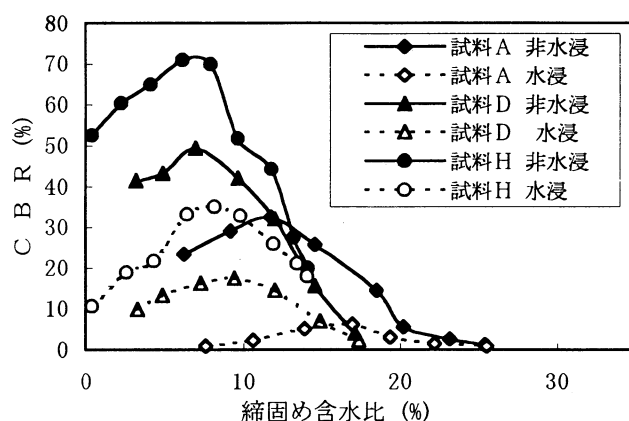


図-15 CBRと締固め含水比の関係

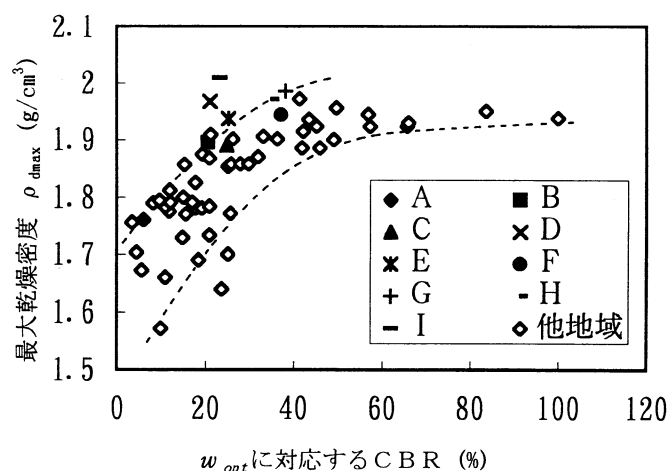


図-16 ρ_{dmax} と w_{opt} に対応するCBRの関係

表-3 日本道路公団の路床材料の品質規定

	上部路床	下部路床
最大寸法	100mm	150mm
仕様最小密度における水浸CBR(%)	10以上	5以上
スレーキング率	50%以下	—
締固め含水比	$w_n > w_{opt}$ は w_n $w_n < w_{opt}$ は w_{opt}	

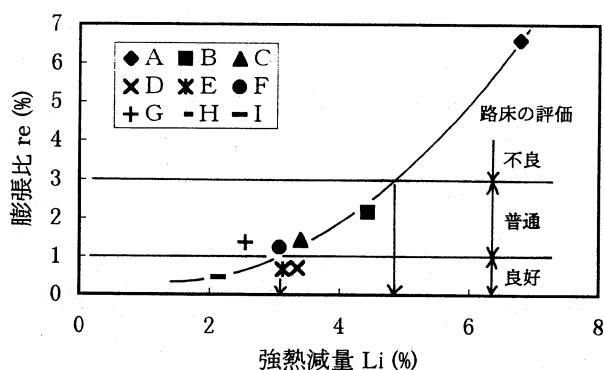


図-17 膨張比と Li の関係

締固め特性は、土工材料として使用する上で基本的な重要な性質の一つである。締め固めの評価は、締め固め曲線から得られる最大乾燥密度 $\rho_{d\max}$ と最適含水比 w_{opt} に依存し、これは設計・施工上においても重要なことである。そこで、図-12 に締め固め方法 E-b 法で突固めた場合の締め固め曲線を示す。締め固め曲線は風化度の影響を受け、風化度が小さくなるにつれて左上方に移動し、 $\rho_{d\max}$ は大きく、 w_{opt} は低くなる傾向を示し西日本のまさ土と同様の特徴を示している。これを明らかにするため、 Li と $\rho_{d\max}$ および w_{opt} の関係を図-13(1)(2)に示すと、前述した特徴がわかる。

一方、締め固め試験は、プロクターの締め固めエネルギーで行われることが多く、また、西日本の重締め固め試験結果が得られなかったので、プロクターの締め固め方法で得られた $\rho_{d\max}$ と w_{opt} の関係を求め、図-14 に Matuo ら¹⁷⁾ の結果も併せて示した。阿武隈高地のものはばらついているが、西日本の場合より $\rho_{d\max}$ が大きい値になる傾向が認められ、この関係においても分布地間に差異が生じることが分かる。

ところで、強度は風化の程度のみならず締め固め含水比にも影響されるので、試料 A, D, H を例に締め固め含水比に対応する非水浸の場合と水浸した場合の CBR を図-15 に示す (15cm モールド, 4.5kg ランマー, 92 回/3 層の締め固め)。いずれの試料も水浸による CBR の低下が著しく、それは風化度の大きいまさ土ほど顕著に現れるようである。また、他地域のまさ土¹⁸⁾ と比較するため水浸時の w_{opt} に対応する CBR を求め、図-16 に $\rho_{d\max}$ との関係で示す。図から分かるように、阿武隈高地のまさ土は他地域のものが示す範囲の上縁に沿って分布し、乾燥密度が大きい割には CBR が小さい傾向を示している。これは、阿武隈高地のまさ土に締め固めに寄与する細粒分が適当に含まれていることや土粒子の密度が大きいことなどが

(1) 採取時 (2) 炉乾燥時

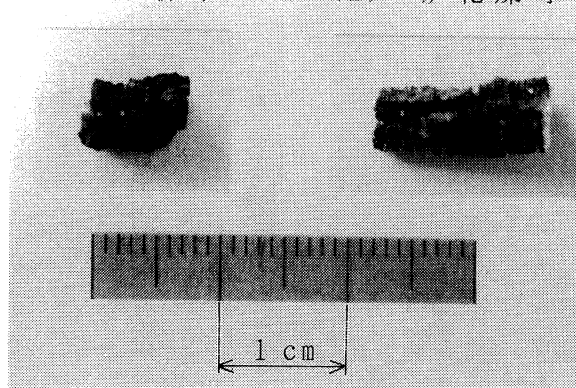


写真-1 ひる石の性質

理由として考えられる。

(3) 道路材料としての品質評価

まさ土は土工材料として多用されており、その品質は修正 CBR によって評価する手法が一般的に用いられている。修正 CBR は、日本道路協会¹⁹⁾ によると路盤の試験方法として位置づけられているが、日本道路公団²⁰⁾ では、それに加えて路床の設計のための修正 CBR としても規定されているので、ここでは路床材料を想定して試験を行った。日本道路公団における路床土に対する品質規定は表-3 のようになっている。また、締め固め試験後に供試体を 4 日間水浸するが、その際には膨張量も測定した。そこで、図-17 に 92 回締め固めの最適含水比における膨張比と Li の関係を示すと、 Li が大きくなるにつれて膨張比も大きくなる傾向があり、西日本のまさ土ではあまり云われていない膨張現象が認められる。これは、図-4 で有色鉱物量が西日本地域のものよりも多いことから推測されるが、阿武隈高地のまさ土に含まれる雲母類鉱物がその原因と考えられる。写真-1 はそれが風化して生じた“ひる石”の採取時と乾燥時の状態を示したもので、板状結晶の層間が底面の直角な方向に延びる性質が膨張を生じさせている。阿武隈高地にはそれを生産している販売している地域もあることから、阿武隈高地のまさ土の膨張性が理解される。図中に示した、道路舗装における路床土の膨張量に対する質の評価²¹⁾ の目安から、不良な路床と判断される Li は約 5% 以上で試料 A が当てはまるのみで、それ以外のまさ土の多くは普通および良質な路床土と判定される。

一方、材料としての品質評価のために、修正 CBR と Li の関係を図-18 に示す。その平均的傾向を曲線で示すと上部路床、下部路床とも相関性が認められる。図中に示した日本道路公団の規定値に対応する Li は、

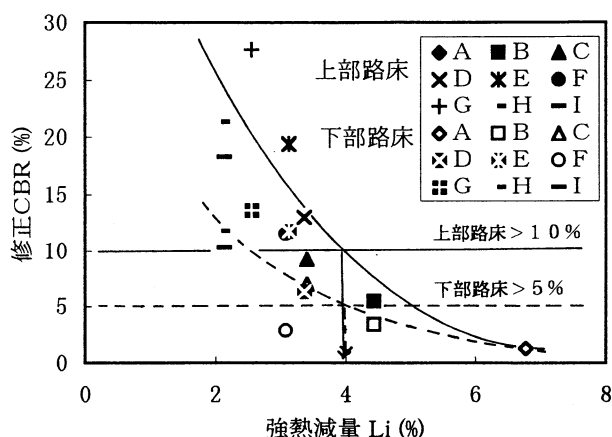


図-18 修正CBRと Li の関係

上部路床 $Li \approx 3.5\%$

下部路床 $Li \approx 4\%$

であり、おおむね $Li \approx 4\%$ を道路用材料として用いるときの境界と位置づけることができる。この条件のいずれかを満足しないのは

上部路床 試料A, B, C

下部路床 試料A, B, F

であり4種類となっている。これらの試料は、採取した近隣地域に広く分布しているので、路床材料として用いるためには、何らかの改良処理を施して使用することが要求される。

5. まさ土の風化度を考慮した舗装等の厚さの算定

舗装の厚さを設計する場合、アスファルト舗装要綱には、路床土の設計CBRを用い、表層から下層路盤までの厚さが交通量の区分により規定値を下回らないように決定する手法であり、路床土そのものの厚さを決定する方法の規定はない。しかし、日本道路公団の設計要領²⁰⁾には、路体と路床土のCBRから路床土の厚さを求める規定があり、路床土の品質が反映されるようになっている。このようなことから、アスファルト舗装要綱による舗装断面の合計厚さと、日本道路公団による路床厚さについて算定を試みることにする。

(1)アスファルト舗装要綱による舗装断面の合計厚さの算定例

路床材料を置換え材と仮定して、CBRは修正CBR（締固め度90%）を用い、そのときの路床全体が均一材料とする。規定されている設計交通量の区分に対応する設計CBRは、それぞれの設計交通量の区分により異なるが、図-18で明らかのように『修正CBR > 20%』となるような試料はないが、参考のため

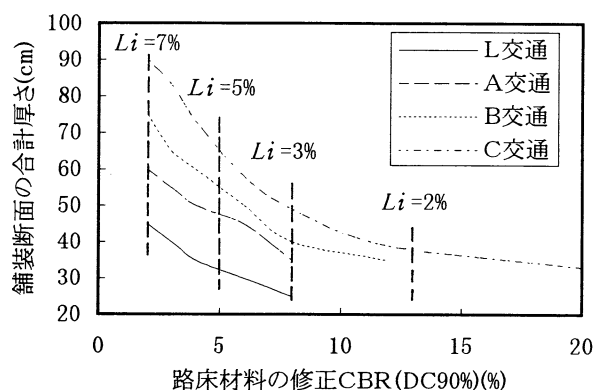


図-19 アスファルト舗装要綱による舗装断面の合計厚さの算定例

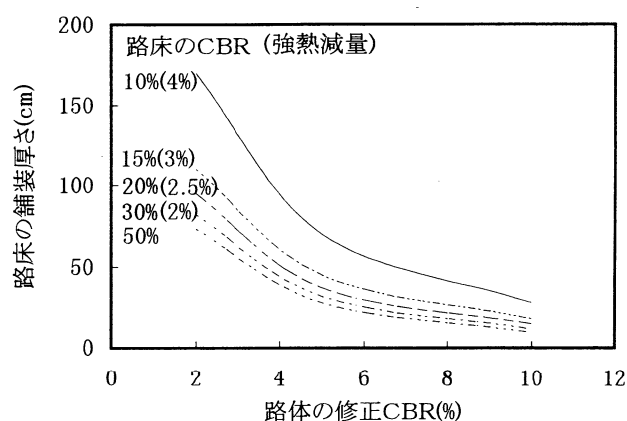


図-20 日本道路公団による路床厚の算定例

設計交通量の区分のすべての条件に対して計算した。その結果を図-19に示すと、強熱減量を目安として舗装断面の合計厚さが予測できることが分かる。

(2)日本道路公団による路床厚の算定例

この計算に用いる設計CBRは、盛土や地山が粗粒材のときは修正CBR、地山の乱さない試料を採取したときはその水浸CBRとしているが、この例では修正CBRを用いる。路床厚の計算には、路床設計法の適用条件や路床断面の層数等いろいろな条件の設定があるが、ここでは2層構造として路床厚計算図²⁰⁾によるものとする。この図によれば、CBRが路体は2~10%、路床は10~50%の範囲で求められる。これらより得られた結果を図-20に示すと、路床の厚さが100cm以内にするためには、路体のCBRが2%程度のときは路床は約20%以上($Li < 2.5\%$)のCBRのものを、路体のCBRが4%程度のときは路床は10%以上($Li < 4\%$)のCBRのまさ土の用いる必要があることが分かる。

6. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 風化度の判定に有効といわれている強熱減量を基準指標とし、自然含水比、土粒子の密度、粒度組成、流動限界、 $pF3.3$ 含水比、比表面積などの物理的性質、 pH 、腐食率、 Al_2O_3/SiO_2 などの化学的性質、および組成鉱物との関係で比較的良好な相関性を示すことから、それらの諸数も風化度の指標となりうる。
- (2) まさ土の物理化学的性質、鉱物組成は、分布地の違いによる差異が認められるため、それらの諸量による風化度は、普遍的評価ではない。
- (3) 締固め回数を変化させて締固めると、そのときの CBR 値は、92回突き固めの仕事量の近傍、あるいはそれより若干大きい仕事量のところで最大値となるようなオーバーコンパクション現象を示す。
- (4) 締固め曲線は、風化度が小さいほど ρ_{dmax} は大きく、 w_{opt} は低くなる傾向を示す。
- (5) 道路用材料として、膨張量から「不良な路床」となる品質の評価は、『 $Li > 5\%$ 』である。
- (6) 日本道路公団の路床土の品質規定を適用して求めた修正 CBR は、上部・下部路床とも品質基準を満足する風化度は、おおむね『 $Li < 4\%$ 』である。

参考文献

- 1) 土質工学会編：土質試験の方法と解説，第8編，第3章，まさ土，pp.509～525，1990。
- 2) 西田一彦，佐々木清一，久保井利達：まさ土の非晶質物質とその特性について，土質工学会論文集，Vol.21，No.2，pp.180～190，1984。
- 3) 青山千彰，遠山茂行，西田一彦：間隙分布から見た不かく乱マサ土の土構造，第12回土質工学研究発表会，pp.149～152，1977。
- 4) Shin-ichiro Matsuo and Kazuhiko Nishida：Physical and Chemical Properties of Decomposed Granite Soils Grains，Soils and Foundations，Vol. VIII，No.4，pp.10～20，1968。
- 5) 青柳省吾，石井秀明，横瀬廣司：花崗岩風化残 積土の基本的性質と二次的性質について，香川大学農学部学術報告，Vol.26，No.1，pp.25～36，1974。
- 6) 鈴鹿和央，高橋悟，福田恭司：島根県東部に産するマサ土の風化度判定に関する基礎的研究，土質工学会中国支部「地盤と建設」，Vol.9，No.1，pp.127～136，1991。
- 7) 鈴鹿和央，渡辺文雄，高橋悟，白井清恒：まさ土の突固め効果と風化度，応用地質36巻，1号，pp.24～32，1995。
- 8) 鈴鹿和央，渡辺文雄，福田恭司，高橋悟，白井清恒：まさ土の突固め効果と風化度（第2報），応用地質36巻，2号，pp.2～11，1995。
- 9) 村田秀一，兵動正幸，安福規之：風化度に着目した乱さないまさ土の圧縮，せん断特性，土木学会論文集，第382号，Ⅲ-7，pp.131～140，1987。
- 10) 理科年表：気象部，月別平均降水量，pp.207，1993。
- 11) 福田護，中沢重一：盛土地盤の水浸に伴う沈下とその解析について，土質工学会論文集，Vol.17，No.2，pp.65～673，1977。
- 12) 西田一彦，佐々木清一，久保井利達：まさ土の非晶質物質特性と石灰安定処理効果，材料，第37巻，第422号，pp.1273～1277，1988。
- 13) Toru Onodera, Masanobu Oda and Kazumi Minami: Shear Strength of Undisturbed Sample of Decomposed Granite Soil. Soils and Foundations, Vol.16, No.1, 1976。
- 14) 西田一彦，青山千彰：乱さないまさ土のせん断強度特性，土と基礎，Vol.29，No.6，pp.35～40，1981。
- 15) Matsuo,S., Nishida,K. and Sasaki,S.: Physical properties of weathered granite soil particles and their effect on permeability, Soils and Foundations, Vol.19, No.1, pp.13～22 1979。
- 16) 粘土力学研究グループ：滞積粘土層の成因とその土性（その1）（Soil technology の立場から），土と基礎，Vol.12，No.4，pp.31～39，1964。
- 17) Matsuo,S., Nishida,K. and Fukuda,M.: Consistency of Decomposed Granite Soils and its Relation to Engineering Properties, Soils and Foundations, Vol.10, No.4, pp.1～9, 1970。
- 18) 三嶋信夫：路床，路盤材としてのマサ土の安定処理効果と耐久性，土と基礎，Vol.23，No.2，pp.25～31，1975。
- 19) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱，第4章，pp.73～82，平成5年4月4版。
- 20) 日本道路公団編：設計要領第1集，第1編土工，pp.61～65，1983。
- 21) 土質工学会編：土質試験の方法と解説，第5編，第1章， CBR 試験，pp.227，1990。

(1996. 10. 14 受付)

DEGREE OF WEATHERING OF DECOMPOSED GRANITE SOIL AND QUALITY EVALUATION AS MATERIAL FOR ROAD CONSTRUCTION

Yukio FURUKAWA and Tatsushi FUJITA

The decomposed granite soil which is widely distributed over the Abukuma Heights is used in a considerably large amount in a variety of construction work including earthwork materials. However none of extensive study concerning the properties viewed from a standpoint of geotechnical engineering has been made. Keeping such a situation in mind, fundamentals of the physico-chemical and mineralogical properties together with features concerning the compaction, the stabilization of CBR , etc. were examined, and concurrently investigation was made taking up the data obtained in other regions mainly including the ones in Western Japan. As a result, a tendency was noted with the decomposed granite soil of the Abukuma Heights in grain refining, the development of the soil grain structure, or lowering of crystallineness. On the other hand, a feature is pointed out with the fact that CBR is very small even if dry density is the same. Furthermore the evaluation of the quality conducted in accordance with the rules of Japan Highway Public Corporation has revealed that judgement can be made from the ignition loss values.