

盛土の締固め技術の盲点

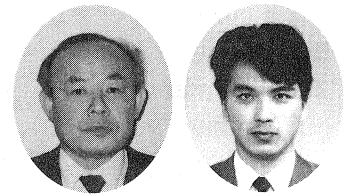
Blind Spot in Techniques of Embankment Compaction

奥園誠之 Seishi OKUZONO

(九州産業大学工学部)

松尾雄治 Yuji MATSUO

(九州産業大学工学部)



土の締固めに関する研究は古くから進められて来て、現在は完成された分野と思われ勝ちである。しかし、現場では今でも多くの問題が生じている。特に粗粒材による盛土の長期不等沈下が目立っている。本小論は、結晶片岩を材料として室内長期載荷試験を行い、その沈下特性を把握するとともに、現場での沈下測定事例との関連づけをしようとするものである。また、どちらかといえば地味な存在となってしまった「土の締固め技術」について見直すことを提案するものである。

キーワード：締固め、盛土、粗粒材、圧密、沈下、水浸 (IGC:D-9)

まえがき

「土質工学会」が「地盤工学会」に名称が変更された。土質工学では土を材料として使用する際の工学が重要なパートを占めていたが、近年、地盤、岩盤、地山を相手にする工学が主体を占めるようになって来ている。最近の土質力学の教科書には土の締固めに関する章が入っていないものすらある。(例えば、地盤工学会編：土質工学数式入門)

筆者が日本道路公団の試験所に配属された昭和39年当時は、第一土質試験室と第二土質試験室があり、第一が盛土の締固めを主体に、第二が軟弱地盤を中心とした技術を担当していた。現在は土工研究室に一本化され、締固め関係は当時の勢力の1/6に縮小されている。

平成10年度の地盤工学研究発表会において締固めに関連する発表はおおよそ50件で全体の約4%に過ぎない。

では、土の締固め技術は完成され、研究の余地はないのであろうか。筆者の感覚では少なくとも35年前に完成された名神高速道路の盛土に較べて現在の道路盛土の品質が上とはどうしても思えない。最近完成した道路盛土が軟弱地盤でもないのに半年も経ないのに不等沈下を起こし舗装の修繕を繰り返している現場をよく見る。特に粗粒材の盛土に多い。

この原因が現場での施工(転圧)の手抜きばかりとも思えない。また、スレーキングによって材料が劣化しているとも思えないケースがある。どこかに盲点があるのではないかと考える。

本小論は現場で特に沈下現象が顕著に見られる結晶片岩を対象として、締固めた供試体を圧密、水浸させて沈下傾向を確かめ、合わせて現場での沈下の実測との関連づけをし、今後の現場での締固め管理の留意点を述べる

ものである。

1. 試料採取、準備試験

試料は大分市南部に産する黒色、緑色片岩を採取し、37.5mmふるい通過分を使用した。

試料の形状を調べるためランダムに選んだレキの寸法(幅、長さ、高さ)を測定した。寸法相互の比を図-1

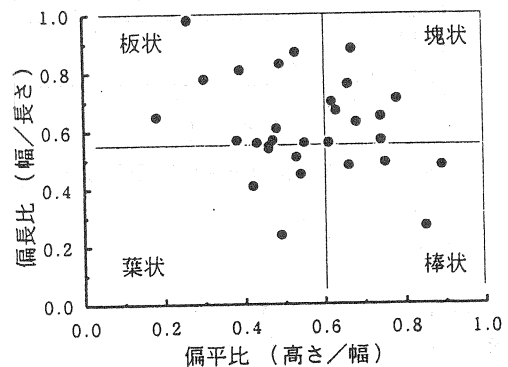


図-1 試料の粒子形状分布

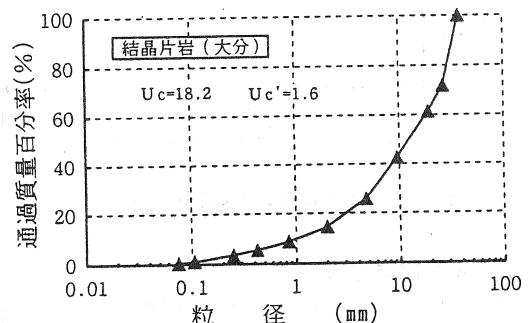


図-2 試料の粒度分布曲線

に示す。このなかで塊状のものは 1/3 以下で、他は板状、葉状、棒状のもので形状に異方性があり、結晶片岩の特異性を示している。

ふるい分け試験の結果を図-2に示す。このカーブの右側ほど急勾配であることから、現場では37.5mm以上のレキが多いことが予想される。盛土材としての粒度分布はよい部類といえる。

現場の沈下現象の原因がスレーキングではないことを証明するため、日本道路公団規格のスレーキング試験 (JHS 110) を行った。これは乾湿繰返しを行い粒度が変化する割合を表すものである。図-3はその変化率と破碎率 (JHS 109) との関係を示したものである¹⁾。破碎率とは20kgf/cm²の圧縮圧力によってレキが破碎される割合を示すものである。(破碎されればレキ間の空隙が小さくなり、沈下しにくくなる)

この図からも本試料はスレーキングを起こす材料ではないことがわかる。

最適含水比を知るために突固め試験 (JIS A 1210) を行った。結果を図-4に示す。最適含水比 (OMC) の8%付近で鋭敏に密度が変化していることがわかる。

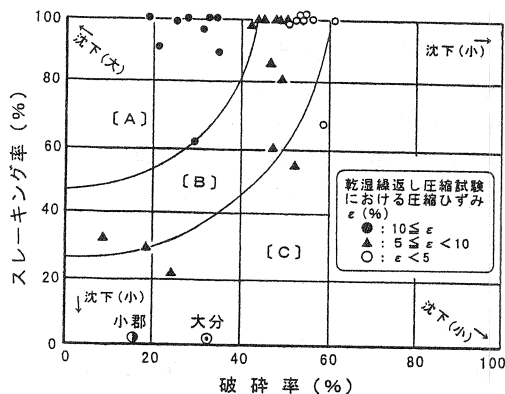


図-3 岩材料の圧縮性評価分類図

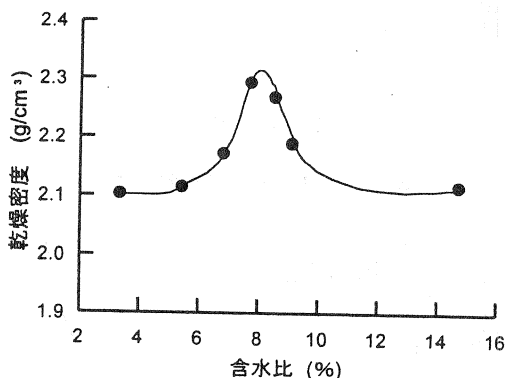


図-4 結晶片岩の締固め曲線 (大分)

2. 載荷試験方法

載荷試験は15cmモールド内(供試体初期高さ $H_0=14.7$ cm)で行うが、締固め試験を行った結果より、締固め条件として、試料の初期含水比を最適の8%、乾燥側の4%

と湿潤側の12%に設定し、締固め回数(N)を8, 14, 25, 50, 77回(全3層)で締固め、供試体の初期状態に変化を与えた。載荷試験は圧密試験機を用いた。圧力段階は6, 12, 25, 50, 100kPaでは非水浸で各60分(一次圧密終了後)まで、200kPaでは先に非水浸で長期載荷した後、その圧力を保った状態で水浸させ長期載荷を行った。なお、長期載荷は非水浸、水浸ともに沈下がほぼ収束するまで(約3週間)続けた。

3. 載荷試験結果

長期載荷試験の代表的な結果として、最も特徴的な沈下傾向の見られた締固め回数 $N=8$ の沈下曲線を図-5~7に示す。非水浸の場合に生じるひずみ量にはそれほど大きな差はなく、また短期間に終了することがわかる。水浸の場合では締固め時含水比が低いほどひずみ量

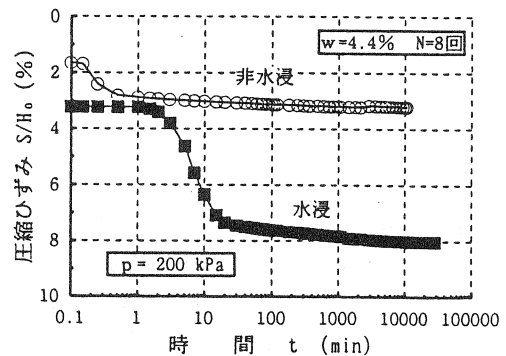


図-5 沈下曲線 (乾燥側含水比)

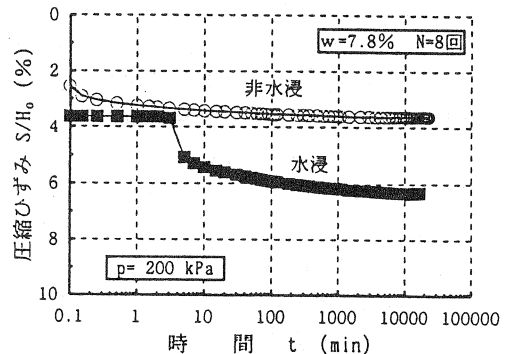


図-6 沈下曲線 (最適含水比)

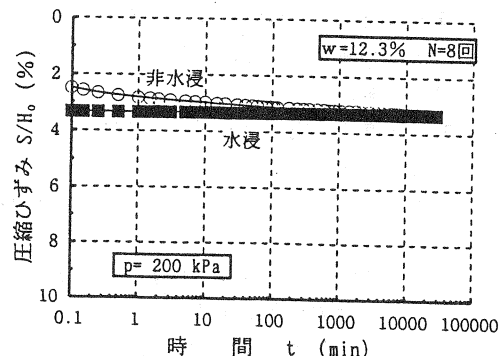


図-7 沈下曲線 (湿潤側含水比)

が大きく生じている。特に湿潤側では水浸によるひずみがほとんど生じていないのに対し、乾燥側で極めて大きなひずみが生じていることがわかる。また、水浸によるひずみは時間的な遅れを伴い長期に進行することがわかった。これは供試体中の間隙部への水の浸透に要する時間が影響を及ぼしているものと考えられる。

全試験結果について、ひずみ量と締固め含水比との関係を図-8、9に示す。締固め条件（締固めの含水比と回数）により変る供試体の初期状態によって、非水浸時と水浸時の沈下特性が異なることがわかる。非水浸時のひずみは初期の締固め含水比が高い場合に大きくなる傾向があり、これは締固め時の密度が小さく、また間隙水が豊富なものは載荷圧力の作用により間隙水が排出され体積が減少し、これが沈下として現れたものと考えられる。したがって、オーバーコンパクション状態となる締固め回数が多いものでこの傾向が顕著に見られている。一方、水浸時のひずみは含水比が低く締固め回数が少ない場合に大きく生じる傾向がある。このような締固め条件での供試体は間隙が大きく緩い状態であり、その間隙部に水が浸入することで乾燥側の供試体には、いわゆる水締め効果（あるいはコラプス現象）が働いたことで沈下が生じるものと考えられる。

図-10は締固め直後の間隙比と水浸時のひずみとの関係を示したものである。つまり、締固めを十分にやれば、たとえ乾燥側の含水比でも水浸による沈下が少ない

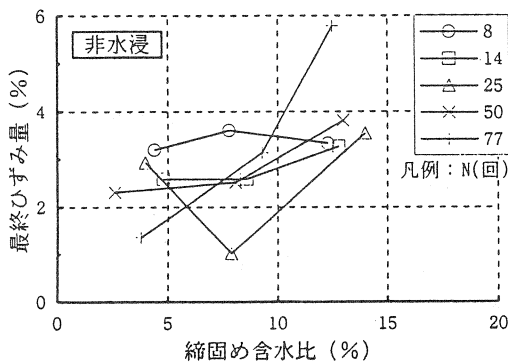


図-8 締固め含水比とひずみ量の関係（非水浸）

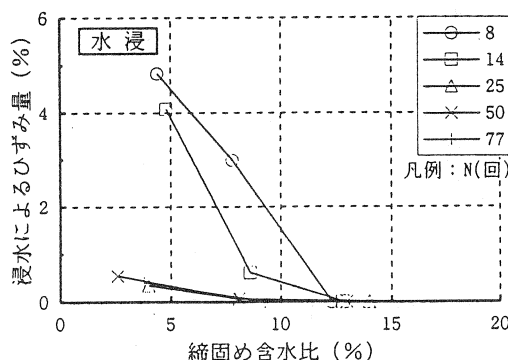


図-9 締固め含水比とひずみ量の関係（水浸）

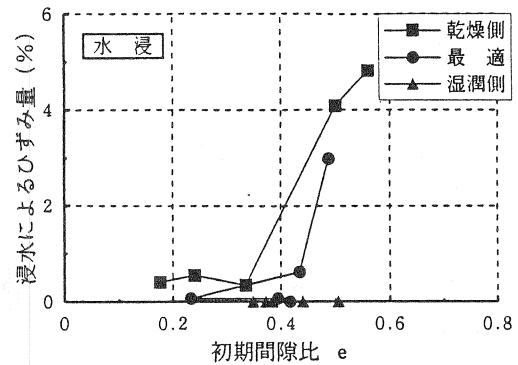


図-10 締固め時の間隙比とひずみ量の関係（水浸）

ことを示している。このように非水浸時と水浸時での沈下の原因が異なることが沈下特性の違いに影響を及ぼすものと推測される。今回の試験結果で特徴的な現象としては非水浸時に大きなひずみを生じた湿潤側供試体では水浸によるひずみが全く見られないことがわかった。

4. 高盛土の不等沈下例

図-11は結晶片岩による高盛土（最高盛土高 38m）の例である。この盛土は舗装完成後から異常な沈下が認められ、しばしばオーバーレイ（舗装の打ち直し）が行われて来た。その沈下の時間経緯は図-12に示すように長期間にわたっている。基盤は結晶片岩の地山であり、沈下を起こす地盤ではないし、盛土の側方変位も認められていない。さらに、スレーキングを起こす材料でもないこともわかった。（図-3 参照）

原因を調べるために、時間をおいてボーリングを行い標準貫入試験によるN値測定を実施した結果を図-13に示す。一般に盛土の場合、圧縮沈下が起これば、強度は増加するはずであるが、ここではほとんど認められず、むしろ低下の傾向すら認められる。

地下水位も比較的低く変動も少ない。水の影響とすれば浸透水ではないかと思われる。

ここで、図-5～7の水浸時の沈下と図-11の沈下傾向を比較してみたい。

まず、供試体寸法と盛土層厚との比は、

$$h_1/h_2 = 15\text{cm}/38\text{m} \approx 1/250$$

いま水の浸透に要する時間 t は、圧密と同じ排水距離 h の2乗に比例すると仮定する（片面排水）

$$t = f (h_1/h_2)^2$$

つまり、現場を供試体に置き換えると沈下に要する時間は $(1/250)^2 = 1/62500$ に縮まることになる。

図-12の沈下グラフを供試体のスケールに縮めると図-14のようになる。

この図と図-5～7とを比較すると、現場の場合、対数グラフで直線的に沈下が続いている。つまり、現場の盛土の方が長期的に沈下が続くことになり、さらに何らかの仮定が必要となる。例えば、水の浸透にさらに時間

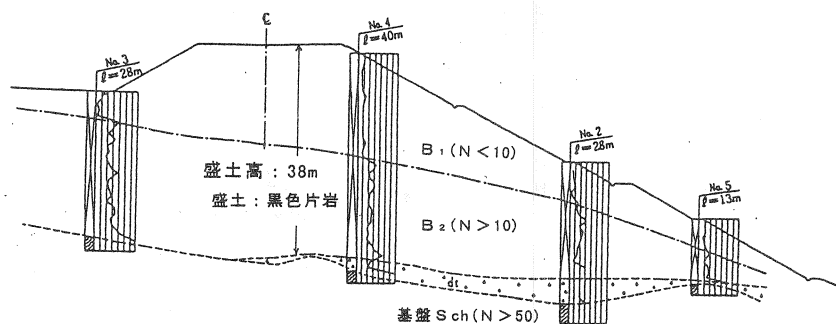


図-11 結晶片岩による高盛土の例

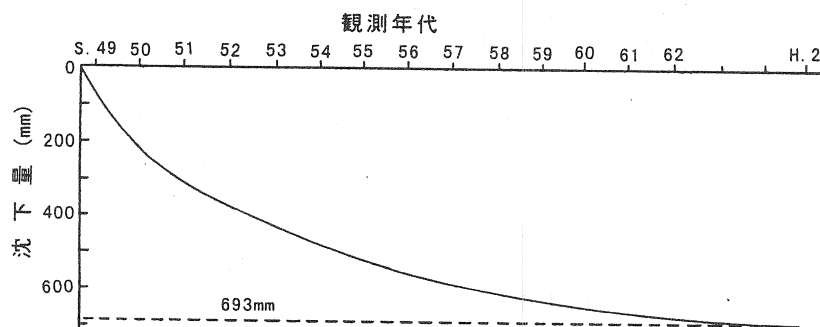
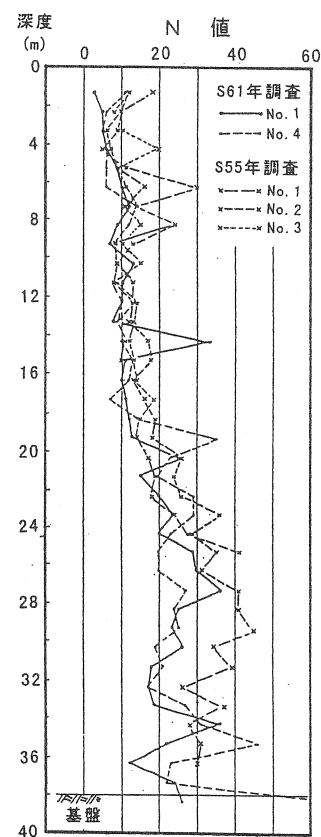
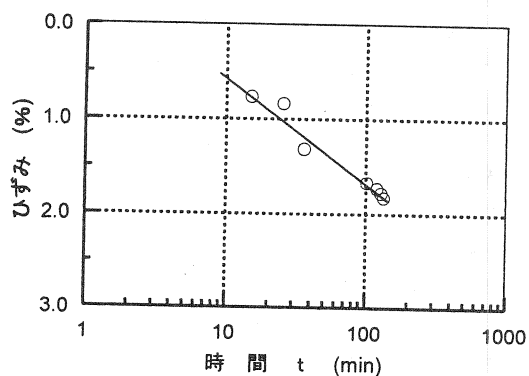


図-12 盛土の長期沈下実測例（舗装完成後）

図-13 盛土内のN値の変化
(新旧ボーリング結果
による比較)図-14 現場の実測結果を供試体寸法に補正
した場合の時間～ひずみ関係

5. 現場の施工管理における留意点

現場は天候に左右されやすい。したがって、夏場の好天気時には工程を稼ぐために急速に盛土することが多い。砂煙を上げて土を運搬、敷均し、転圧をしている現場をよく見かける。この砂煙が盲点である。大半は乾燥側で締固めていることが多い。乾燥側での盛土は地耐力があり、施工もしやすく、一見安定しているかのように見える。これが後々の沈下（水締め現象やコラプス）の原因となる。特に、炎天下時の転圧は粗粒材の場合は散水が必要となる。逆に粒度分布の良い材料は多少の高含水比状態で転圧してもよいことになる。高含水比での転圧は盛土下部であれば、自重による圧密や圧縮は起こっても早期に終了する。

いずれにしても、低含水比での転圧は避けるべきであり、やるとすれば転圧エネルギーを大きくすることが必要である。

を要するとか、浸透水により細粒分の離脱（骨阻喪症的）等の要因と結晶片岩特有の扁平さから来るカードハウスの破壊といった要因を考える必要がある。いずれにしても完成後の水が原因であろう。

近年「土の締固め」に関する研究が下火の傾向にあることを「まえがき」で述べた。しかも、現場では大規模化が進み大量生産の時代に入り、その技術がないがしろにされる傾向も認められる。しかし、そのつけはボクシングのボディーブローのように後から遅れてやって来る。筆者らは現在長期沈下が多いまさ土等についても検討中であるが、さらに全体的に締固め技術を再度見直す時期ではないだろうか。

参 考 文 献

- 1) 日本道路公団試験所：ぜい弱岩（風化）による盛土の圧縮沈下と路床への適用，試験所技術資料第212号，昭和58年3月
- 2) (財)高速道路技術センター：中国自動車道小郡小月間のり面防災対策技術検討業務（その2）報告書（日本道路公団広島管理事務所委託），昭和63年3月