



中部ミニフォーラム2017
優秀論文

供試体作製時の含水比が 透水係数と密度の分布に及ぼす影響

中部土質試験協同組合 ○竹内 啓介 / 坪田 邦治 / 岩田 暁 / 清水 亮太 / 石原 聖子

1.はじめに

当組合で実施された透水試験の中で興味深い現象が観察された。供試体作製時の条件として乾燥密度を一定にし、含水比のみを変化させた供試体を用いて試験を実施したところ、試験モールド内の土粒子の量が一定であるにもかかわらず、透水係数が大きく異なるという結果を得た。

そこで、本報では典型的な砂と粘土を混合した試料に対して透水試験を実施し、透水性に大きく影響を及ぼしている要因を検討した。

2.試験試料および締固め試験

試験試料は三河珪砂6号および青粘土(藤森粘土の代替品)を、湿潤重量比1:1で混合したものを使用した。

混合試料の粒度分布を図-1に示す。粒径加積曲線はなだらかな傾きをもっており、粒径幅の比較的広い試料であることが分かる。

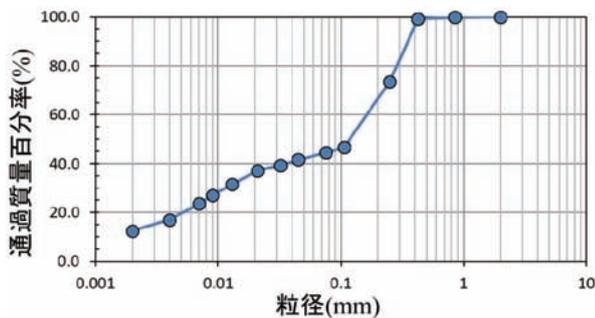


図-1 珪砂6号と青粘土混合試料の粒度分布

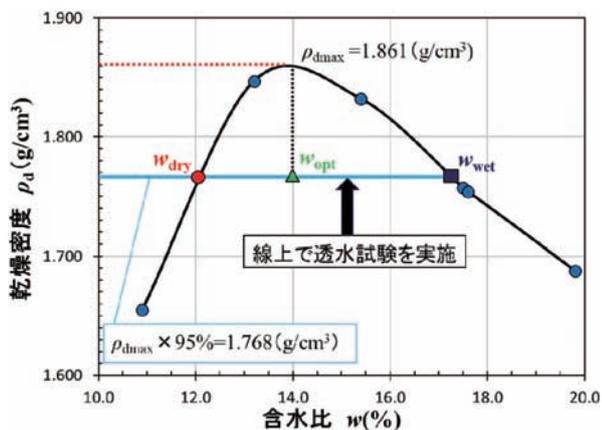


図-2 締固め曲線および供試体作製条件

試験を行うにあたり、事前準備として突固めによる土の締固め試験(A-c法)¹⁾を実施した。この結果から得られた締固め曲線を図-2に示す。

今回の試験では、締固め度95% ($\rho_d=1.768\text{g/cm}^3$)の線と締固め曲線とが交わる2点の内、乾燥側の点をWdry ($w=12.0\%$)、湿潤側の点をWwet ($w=17.2\%$)とし、最適含水比の点をWopt ($w=14.0\%$)とした。

3.供試体作製方法および透水試験の概要

供試体寸法は直径100mm、高さ128mmとし、湿潤重量比で試料を三層に分けて作製した。供試体の含水比はWdry~Wwet間で作製し、乾燥密度は締固め度95%で一定とした。

混合試料の含水比を調整し、含水状態ごとの所定の量を一層とした。締め固める際は、油圧ポンプを用いて静的に締固めを行った。その後、供試体を飽和させるため、真空ポンプを用いた水浸脱気法によって十分に飽和度を高めてから試験を実施した。なお、今回実施した透水試験は地盤工学会が定める変水位透水試験法²⁾に基づいて行った。

4.透水試験結果

作製した供試体の透水係数および作製時の含水比、乾燥密度を表-1に示す。今回の試験では、基準とした三点とその間の含水比を目標として調整している。また、表-1にまとめた透水係数と含水比の値をグラフにしたものを図-3として示す。

図-3を見ると、これまで実施されてきた結果と同様に乾燥密度がほぼ一定であるにもかかわらず、含水比が高くなるにつれて透水係数が低くなっていることが分かる。また、その差は最大で2オーダー程度となっている。

これらの結果から、乾燥密度が一定であっても、供試体作製時の含水比によって透水係数が大きく変化することが確認できた。

表-1 試験パターンと計測結果

	含水比 (%)	透水係数 (m/s)	乾燥密度 (g/cm ³)
Wdry1	12.4	2.30×10^{-7}	1.766
Wdry2	13.5	1.80×10^{-7}	1.774
Wopt1	14.1	8.18×10^{-8}	1.760
Wwet1	15.1	5.82×10^{-8}	1.746
Wwet2	17.1	9.25×10^{-9}	1.766

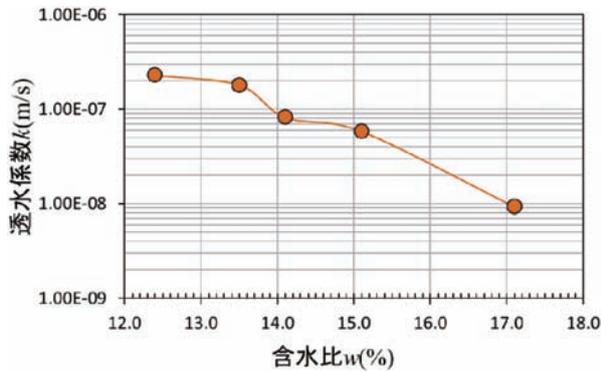


図-3 透水係数と含水比の関係

5.透水性に影響を与える要因の検討

(1) 要因検討のための試験方法

次に、透水係数の値に影響を及ぼす要因の一つである密度に注目し、供試体内部の密度を計測した。

計測の手順を模式的に表したものを図-4に示す。①透水試験で用いたものと同様の寸法と方法で供試体作製を行った。②作製した後に油圧ジャッキを用いて慎重にモールドから抜き出し、③供試体全体の湿潤密度を計測した。④その後、供試体を水平に5等分し、各部位の湿潤密度と含水比の計測を行い、乾燥密度を算出した。5等分したそれぞれのピースを上部からh₁、h₂、h₃、h₄、h₅とし、計測はW_{dry}、W_{opt}、W_{wet}の3種類の含水比で実施した。

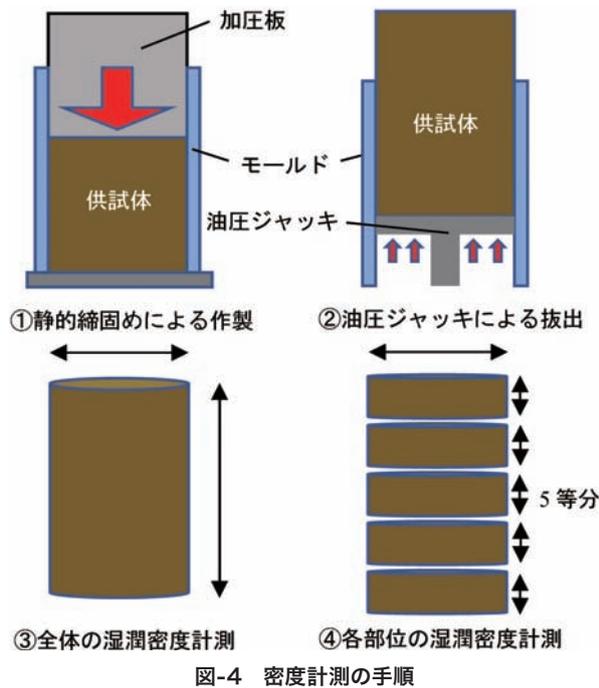


図-4 密度計測の手順

(2) 乾燥密度の計測結果

部位ごとの乾燥密度の値を表-2にまとめる。また、これらの値をグラフにまとめたものを図-5として示す。なお、図-5のグラフ内に切り分ける前の状態の乾燥密度を点線で示しており、その値は凡例内に表示している。

それぞれの計測結果から3パターンの全てで切り分ける前の乾燥密度を試料上部は下回り、下部は上回る傾向

が見られる。また、W_{dry}およびW_{opt}では乾燥密度が下部に行くにつれて徐々に大きくなっていることが判る。一方、W_{wet}の計測結果ではh₁~h₄の間は乾燥密度の変動が他の二点に比べて小さいが、最下層にあたるh₅は他の部位よりも乾燥密度が非常に大きくなっている。

以上より、含水比の状態によって供試体作製時の乾燥密度の分布が変化することが確認できた。特に、作製時の含水比が高い場合は下層において密度が非常に大きくなっていることも判った。

室内透水試験では、供試体の断面に対して垂直に水が流れるため、供試体内部の密度に差がある場合、その差によって透水係数は左右される。したがって、W_{wet}のパターンにおける透水係数の低さは、下層での密度の大きさによる影響であると考えられる。供試体作製時の含水比が高くなるほど、その影響は大きくなると推察される。

表-2 部位ごとの乾燥密度(g/cm³)

	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅
W _{dry}	1.718	1.742	1.753	1.764	1.772
W _{opt}	1.723	1.721	1.765	1.773	1.793
W _{wet}	1.716	1.703	1.716	1.728	1.905

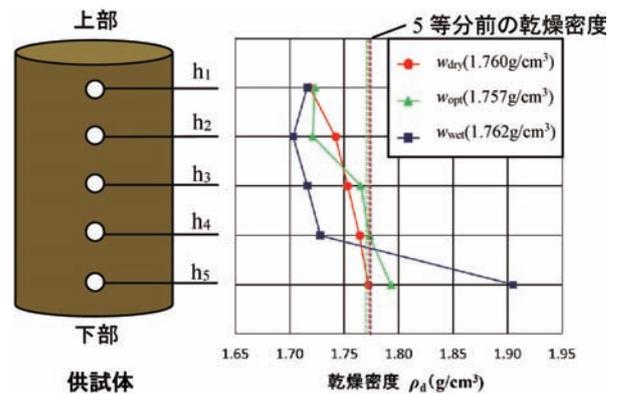


図-5 供試体内の乾燥密度の分布

6.まとめ

本報では、供試体作製時の含水比の違いが透水性に及ぼす影響について、透水試験および乾燥密度の計測を行い検討した。その結果、含水比が高い試料の下部は密度が非常に大きくなっていることが確認され、その影響が透水係数に発現していると考えられる。

今後は、透水性のみならず、強度等に対する作製時の含水比の影響を検討することも計画している。

引用・参考文献

- 1) 地盤工学会:土質試験の方法と解説-第1回改訂版-, pp252-259, 2000.
- 2) 地盤工学会:土質試験の方法と解説-第1回改訂版-, pp334-339, 341-342, 2000.

ドローンを活用した 熱赤外線調査法による吹付のり面の老朽化診断

(株)ジーベック 原 由次郎

1.はじめに

我が国では、山岳地帯を通過する道路の法面保護工として、昭和40年頃から数多くのモルタル吹付工が施工されてきた。施工から40年以上経った今、モルタルの老朽化が進行し、中には豪雨の影響で斜面崩壊が発生して重大事故につながったケースもあるなど、道路の維持管理上の問題となっている。

吹付のり面はその数が膨大なことや、高所での点検作業を要するなどの安全面の課題を抱えているのが現状であり、効率的で高度かつ安全に点検できる調査手法の確立が省庁や自治体などから要望されている。こうした中で、赤外線サーモグラフィによる熱赤外線調査法が提案実施され、平成8年1月に建設省土木研究所から『熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断マニュアル』が発行されている。

本発表は、弊社が開発したドローンを活用した熱赤外線調査の事例紹介で、その適用性や有効性について検証したものである。

2.熱赤外線調査とは

熱赤外線調査とは、対象物を赤外線サーモグラフィで撮影することにより、表面温度分布から物体の性質や物体内部の状況について非破壊、非接触で調査する手法であり、吹付け法面の背後の状態を判定することに応用した調査である。

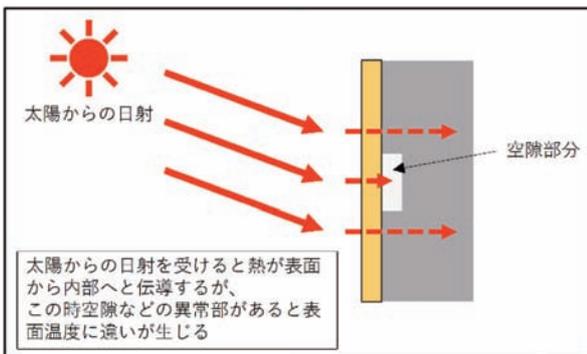


図-1 表面温度差の発生原理

太陽光の日射量が多い日中は、外気温が上昇する。この時に空気層のある空洞部は背面地山に熱を伝え難くなり、健全部より高温になる(図-2)。また、逆に日射量が減少して外気温が低下する夜間には、背面地山の熱は放射されるが、空気層がこれを遮断するため空洞部は健全部

よりも低温になる(図-3)。熱赤外線調査法は、このような吹付け背面の状況によって変化する吹付け表面の温度分布を捉え、得られた画像の温度特性を考慮して解析することで吹付け背後の空隙状態を推定するものである。

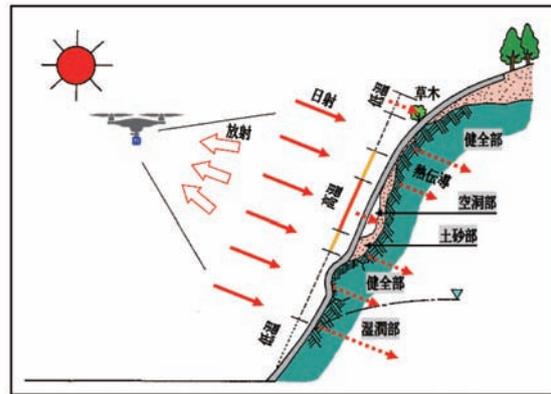


図-2 日中における吹付のり面の熱移動模式図¹⁾

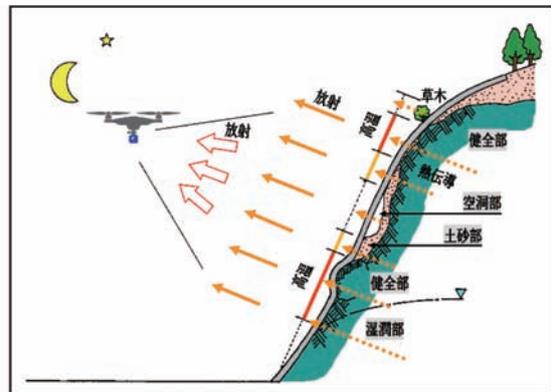


図-3 夜間における吹付のり面の熱移動模式図¹⁾

熱赤外線調査は、従来の吹付のり面の老朽化診断手法に比べ、非常に簡易に吹付け背後の概況を知ることができる手法であるが、診断精度は斜面の向き(日射量)や気象条件、測定条件などの影響を受けるため、その原理や手法を十分に理解した上で適用する必要がある、これらの影響を排除することで診断精度は向上する。

吹付のり面は、山岳地帯を通過する道路の急斜面に多く、法面に対して鋭角な撮影となることも多い。このような斜面の撮影にドローンを活用することで、法面に対して直角に近い角度での撮影が可能となり、測定条件による影響が軽減され、診断精度の向上を図ることができる。また、ドローンを用いることで無人での高所撮影が可能となり、安全かつ効率の良い熱赤外線調査を行うことができる。

3.ドローンを活用した熱赤外線調査事例

吹付のり面の比高約60mの急斜面において、赤外線サーモグラフィを搭載したドローンを使用して空撮を行った事例である(写真-1)。



写真-1 ドローンによる撮影状況

撮影された日中の熱画像からは、早朝の熱画像では見られなかった高温部が検出され(図-4)、可視画像からは吹付け表面のひび割れも確認された。検出された高温部は、法面の凹凸など日射量の違いによる影響も考慮して、吹付背面の空洞化を推定した。

この事例では、ドローンを活用して正面からの撮影を行ったことにより、撮影角度による熱画像への影響は軽減され、診断精度は向上したと判断される。

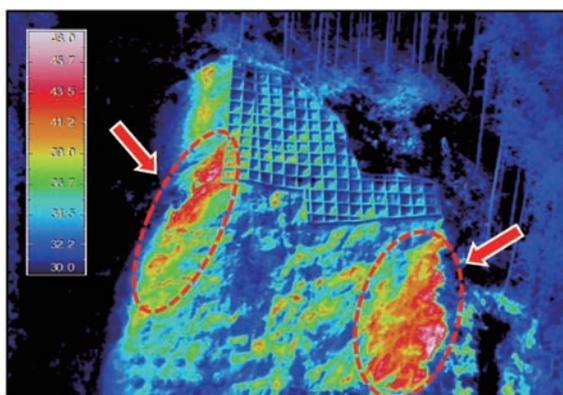


図-4 高温部が検出された日中の熱画像

4.熱赤外線調査の検証事例

熱赤外線調査を先行して実施し、熱画像から推定された空洞部でコア抜き調査を実施して双方の結果を比較検証した事例である。

撮影した熱画像からは高温部が検出され(図-5)、吹付け表面には細かなひび割れが認められた。検出された高温部でコア抜き調査を行った結果、吹付背後には15~18mmの空洞が確認され、熱赤外線調査と一致する結果を得ることができた(図-6)。

これは、熱赤外線調査の結果が実証できた事例であるが、実際には北向き斜面、苔や植物が生えているなど条件の悪い吹付のり面も多く、法面の全体を熱赤外線調査

だけで精度良く診断することは困難な場合が多い。このため、熱赤外線調査で空隙が検出された箇所では、従来手法も併用して診断精度の向上を図ることも重要である。

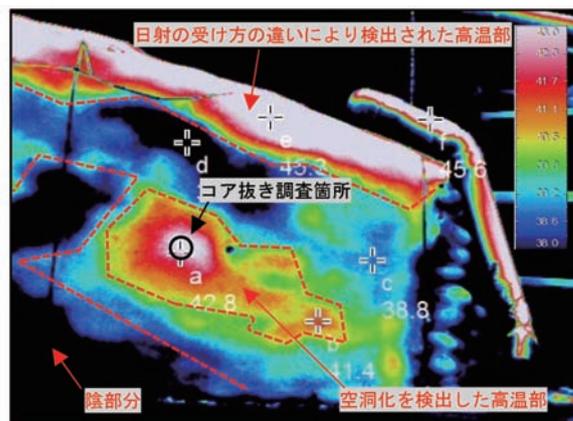


図-5 日中の熱画像



図-6 コア抜きによる観察結果

5.おわりに

ドローンを活用した熱赤外線調査は、吹付け背後の空洞部を非破壊、非接触で推定できる赤外線サーモグラフィを搭載したドローンによって、人間が容易に行くことのできない急崖部などでの高所撮影を可能にし、安全性や効率性の向上を図っている。また、熱赤外線調査法は、老朽化した法面の健全度を把握するための有効な手法の一つであるが、条件によっては本手法が適用できない場合やドローン自体が飛行できない場所もあるなど、適用場所が限られてくるのが実状である。しかしながら、適用可能な条件が揃えば、その有効性は大きいと考える。

また、熱赤外線調査法は、非常に簡易に吹付のり面背後の概況を知ることができる手法であるが、本調査法は吹付のり面の老朽化診断の概査にあたるもので、維持管理上の優先順位決定などストックマネジメントでの活用にも期待される。

熱赤外線調査の診断精度は様々な条件に影響されるため、今後も調査実績や従来の診断手法との検証を重ねて、診断精度の向上に努めていきたい。

引用・参考文献

- 1) 建設省土木研究所:熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化マニュアル, pp.1~16, 1996.1.