

東京大学大学院

東京大学生産技術研究所

斎藤 考夫

三木五三郎

1. はじめに

浸透流による土の破壊は、現象が複雑なために、理論的に解析することが難しい。そこで、粒度、粒子形状の異なる3種類の砂、すなわち豊浦砂、川砂、シラスを用いて、鉛直上昇流による浸透破壊の機構を調べるために、2, 3の実験を行なった。その結果、砂が密に詰まっていれば、破壊が始まる時の臨界動水傾度は、浸透水圧と水中にある土粒子の重量との釣り合いから計算される臨界動水傾度 $(G_s - 1)/(1 + e)$ より大きいこと、湿った試料をモールドに詰めてから水を通した不飽和なシラスの臨界動水傾度は、あらかじめ水を満たしたモールドに試料を徐々落としてつくった飽和したシラスの臨界動水傾度より大きかったが、豊浦砂、川砂の場合には、飽和状態の違いによって臨界動水傾度に差が生じないこと、などがわかった。

2. 実験

供試体は、図1の直径6cm、高さ15cmのモールドに高さ7cmとなるように砂を詰めて作った。砂の詰め方は、あらかじめ水を満たしたモールドに砂を徐々に落させて詰める方法と、湿った砂をモールドに詰めてから水を通す方法の二つで、便宜上、前者を飽和、後者を不飽和供試体と称する。なお、供試体の上面には、水頭を加えた時にモールド周辺から砂が湧きでてくるのを防ぐために、幅5mm、網目間隔0.4mmの金網をモールドの周辺に敷いた。図2に、実験に用いた砂の粒度と比重を示す。

また、臨界動水傾度を求めるために、任意の動水傾度と与えた時の越流量を測定してダルシーの法則から透水係数を算出し、図3の動水傾度・透水係数の関係図を作った。破壊は、瞬間に生じるが、動水傾度の増加とともに供試体の表面が徐々にふくらんでこわれ始めるかであり、臨界動水傾度は、破壊が生ずる直前の動水傾度と破壊が生じ始めた時の動水傾度を平均したものである。

3. 実験結果および考察

図4に、間けギ比と臨界動水傾度の関係を示す。図中には、豊浦砂、川砂、シラスについて計算式 $(G_s - 1)/(1 + e)$ より求めた臨界動水傾度が実線で記入してある。これによれば、飽和供試体については、間けギ比が豊浦砂で0.70、川砂で0.83、シラスで1.10より小さいならば、臨界動水傾度は計算式で求まるものより大きくなる。また、不飽和の豊浦砂、川砂の臨界動水傾度は飽和のものと同じ大きさであるが、不飽和のシラスの臨界動水傾度は、飽和のものより比較して大きい。このように、試料が密に詰まると臨界動水傾度が $(G_s - 1)/(1 + e)$ で与えられる臨界動水傾度より大きく

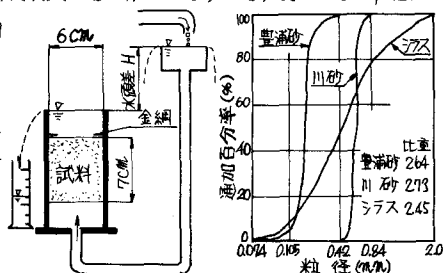


図1 実験装置の概略

図2 実験に用いた試料の粒度と比重

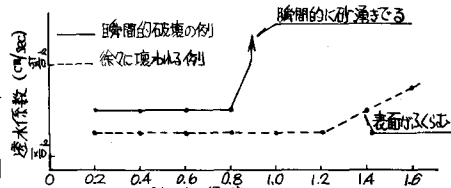


図3 臨界動水傾度決定のための動水傾度と透水係数の関係図

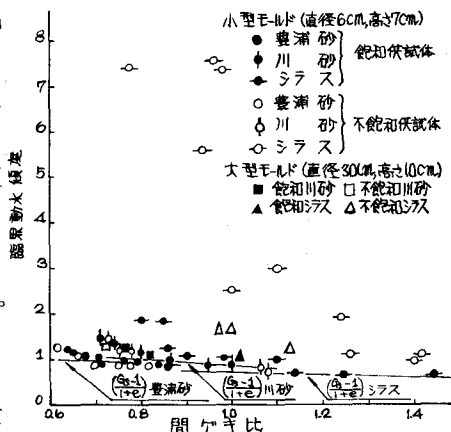


図4 間けギ比と臨界動水傾度の関係

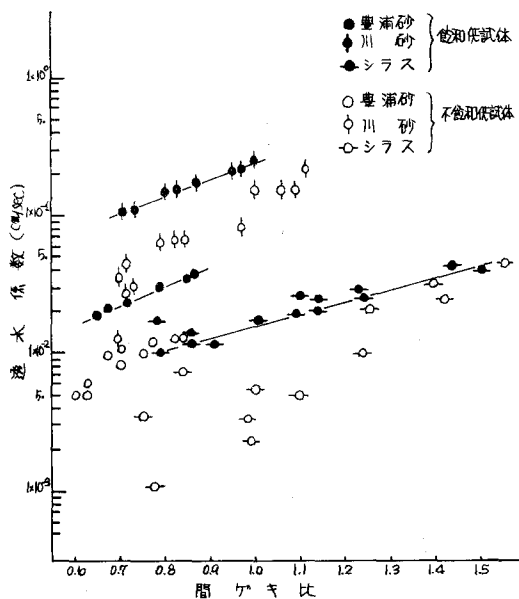


図-5 浸透破壊を生ずるまでの供試体の間ケキ比と透水係数の関係

なるのは、粒子間のかみ合いによるものであり、シラスのように不飽和供試体の臨界動水傾度が飽和のものより大きいのは、粒子間の間ケキに含まれる微少な空気の泡が粒子の動きを拘束して粒子間のかみ合いを強くするためと考えられる。

図-5に、間ケキ比と破壊する以前の供試体の透水係数との関係を示す。これより、湿った砂をモールドに詰めて水を通した供試体の透水係数は、あらかじめ水を満たしたモールドに砂を徐々に落下して詰めた供試体の透水係数の $\frac{1}{2}$ から $\frac{1}{3}$ の大きさである。このことは、湿った砂をモールドに詰めて水を通した後でも、間ケキ中に気泡が残留していることを意味するが、地下水面および地盤上に盛り立てた現地の砂が長期間にわたって浸透流の作用を受けるときに、土壌中に気泡が残留するかどうかについて、この実験結果から述べることはできない。

図-6から図-11には、動水傾度が臨界動水傾度に達するまでは透水係数が一定であるが、臨界動水傾度に達すると瞬間的に、または、表面から徐々に盛りあがり始めて供試体が破壊にいたる様子を示す。しかし、動水傾度がある値より大きくなるとともに供試体が表面から徐々に破壊する現象は、実験に用いたモールドの内径が6cmと小さいことによるモールド周辺の拘束効果が大きく影響していると思われる。そこで、モールド周辺の拘束による影響を少なくするために、直径30cm、高さ10cmの川砂およびシラスの供試体について小型モールドとおなじ実験を行なった。その結果、川砂および飽和シラスの臨界動水傾度については、小型モールドの時とおなじ結果が得られたが、不飽和シラスの臨界動水傾度は小型モールドの値より小さかった。また、供試体の表面から徐々に盛りあがり始めて破壊する現象は、小型モールドの場合のように顕著には観測されなかった。

4. 結論

これまで述べたことより、次の事柄が明らかになった。

(1) 砂が密に詰まっていれば、砂が浸透破壊を生ずるときの臨界動水傾度は、計算で求めた臨界動水傾度($G_{cr}/(1+e)$)より大きく、このときの間ケキ比は豊満砂で0.70、川砂で0.83、シラスで1.10である。また、不飽和シラスの臨界動水傾度は、飽和のときの臨界動水傾度と比較して全体として大きい。

(2) 湿った砂をモールドに詰めて短時間水を通した後の供試体の透水係数は、あらかじめ水を満たしたモールドに砂を徐々に落下して詰めた供試体の透水係数の $\frac{1}{2}$ から $\frac{1}{3}$ である。

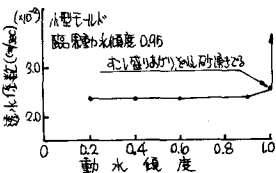


図-6 飽和川砂の動水傾度と透水係数 ($e=0.71$)

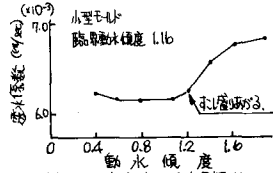


図-7 不飽和豊満砂の動水傾度と透水係数 ($e=0.83$)

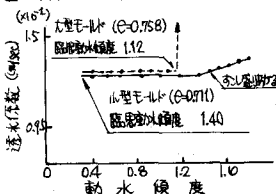


図-8 飽和川砂の動水傾度と透水係数

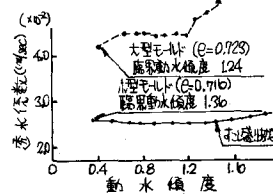


図-9 不飽和川砂の動水傾度と透水係数

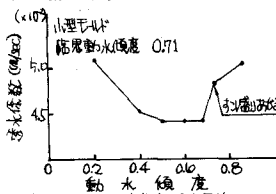


図-10 飽和川の動水傾度と透水係数 ($e=1.49$)

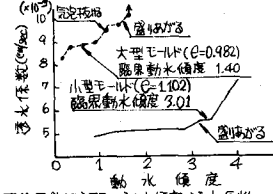


図-11 不飽和シラスの動水傾度と透水係数