

II - 6

パイピングの発生発達特性に関する基礎的研究

東北大学大学院 学生会員 ○佐野 晃
 東北大学大学院 学生会員 市花 圭一朗
 東北大学大学院 正会員 真野 明

1. はじめに

地すべりを引き起こす要因で降雨が主要なものは、降雨が浸透し地下水位の上昇に伴う間隙水圧の作用により崩壊を起こしたと考えられる。そして、間隙水圧の作用に伴う地すべり要因のひとつとしてパイピングも挙げられる。実際に地すべり跡でパイピングによる穴が多数認められ、地すべり後も数週間湧水があったことが報告されている。¹⁾パイピングとは地割れの存在や地表面下の流量増加、不透水層の存在などにより地表面下で浸透流により土粒子が洗い出され、パイプが発達し、複雑なパイプネットワークを形成する現象のことである。この様なことからパイピングの重要性が指摘されてきたが、パイピング現象は地盤の不均一性や地質条件の変化によるものが多く、理論的取り扱いが困難な場合が多く²⁾発達過程に関してはあまり研究がなされていない。

本研究ではパイピング実験によりパイピングの発達特性を探り、パイピングの基礎的な発達メカニズムをモデル化することを目的としている。最終的には、その結果を実際に現地で観測されたパイピングにより検証を行い、パイピングの発達特性を解明することを目的としている。

2. パイピング実験

2.1 実験装置・方法

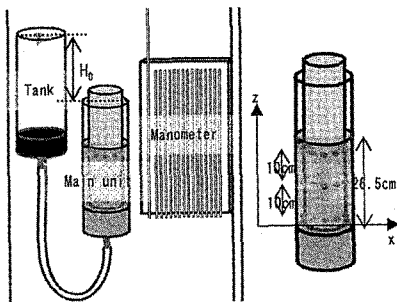


Fig.1 Experimental setup

実験に用いた装置をFig.1に示す。この装置は、鉛直一次元上向きの浸透場における砂の挙動を見ることが出来る。浸透方向には締め切っていないので詰まりが発生することは無い。また、鉛直方向なので土圧を考慮することも容

易に出来る。また、砂層中15箇所にマンメータを取り付けており、砂層中のピエゾ水頭を測定することができる。実験方法は、まず本体に水をはり、サンプルとなる乾燥させた砂を流し込み詰める。そして、タンクの水位を一定に保ちながら徐々に上げていき、サンプルに加わる水頭を変化させ、サンプルの様子とマンメータの様子を観察する。サンプル中に横方向の亀裂が生じ、砂粒子の移動が確認される直前の動水勾配を限界動水勾配とする。サンプル全体の崩壊となったところで実験終了とする。

2.2 砂の特性

実験に用いた砂の粒径加積曲線をFig.2に示す。土粒子密度は混合砂が 2.717g/cm^3 、豊浦砂が 2.641g/cm^3 である。これより混合砂は豊浦砂に比べて粒径分布の幅が広いことが分かる。

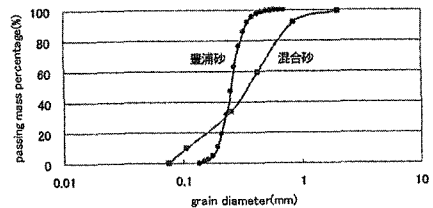


Fig.2 Grain size accumulation curve

3. 実験結果

3.1 限界動水勾配の理論値

限界動水勾配 i_c の理論値は、次に示すTerzaghiの理論式より求められる。

$$i_c = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (1)$$

G_s : 土粒子の比重 e : 間隙比

実験試料の間隙比はそれぞれ、混合砂が1.01、豊浦砂が1.02である。これより砂の限界動水勾配は混合砂が0.85、豊浦砂が0.81となった。

3.2 結果

Fig.3にそれぞれの砂のピエゾ水頭分布をタンクの高さ

ごとにしめす。また、限界動水勾配 i_c は混合砂が1.38、豊浦砂が1.12となった。

見られた現象は、まず混合砂は亀裂が生じ砂粒子の移動が認められた ($H_0=29.0\text{cm}$ ($t=0\text{s}$ とする)) 後、その亀裂が上昇していき、サンプル全体の崩壊となった ($H_0=29.0\text{cm}$ ($t=230\text{s}$))。亀裂の他にも鉛直上向きの砂粒子の移動によるパイプが出来るも確認された。サンプル崩壊の際のタンクの高さは限界動水勾配の時と同じである。次に豊浦砂は亀裂が見られ砂粒子の移動は確認できる ($H_0=24.5\text{cm}$) が、その後亀裂が塞がり砂粒子の移動も確認できなくなる。この繰り返しで、サンプル崩壊となるのは限界動水勾配の時のタンクの高さよりもさらに上げた時 ($H_0=29.0\text{cm}$) である。

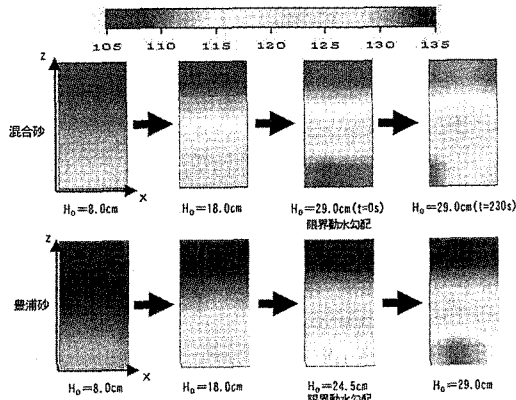


Fig. 3 Piezometric head's distribution

3.3考察

まず、混合砂について考察する。混合砂は限界動水勾配に達すると、まずヒービングが起こり、それに伴って持ち上げられた砂層の底面から砂粒子が崩落することで亀裂が上昇するように見える。この砂粒子の崩落の際、比較的大きな粒子が崩落し細粒分は持ち上げられていく。この様に現象が進行するにつれて、サンプル低層で細粒分が流失することによって間隙が大きくなりパイプが発達し、サンプル全体の崩壊につながる。これはFig. 3の $H_0=29.0\text{cm}$ ($t=230\text{s}$)で亀裂が発生しパイプの発達が見られた中央部下層でピエゾ水頭が下がり、中～上層で上がっている、つまり水が流れやすくなっていることから分かる。

次に豊浦砂について考察する。豊浦砂も限界動水勾配に達するとヒービングが生じることに変わりないが、粒径にあまり差が無く、また動水勾配は上部に行くにつれ、そして水が通りやすくなるにつれて小さくなってしまいうため

崩落し堆積した砂粒子を持ち上げられなくなりヒービングが中断してしまう。よって、サンプル全体の崩壊には限界動水勾配を大きく超えなければならない。このときの動水勾配は1.55である。

これらのことから、パイピングの発達には細粒分の存在、間隙の存在が重要なことが分かった。

限界動水勾配の実験値はどちらの砂においても理論値より大きくなった。これは、一般的にこのような実験では、限界動水勾配は水頭を徐々に変化させていったときの流出流量の急激な変化を基準として求めるが、今回の実験では目視できる程度の粒子が移動したときの動水勾配としたことが大きな原因であると考えられる。

4.まとめ

- 2種の砂を用いた実験により、粒径分布の違いによる現象の違いを比較し、粒径分布の幅が広い砂のほうが、パイピング（トンネリング）が発達しやすいことが分かった。
- 砂層中で大きな粒子の間隙を抜けて細かな粒子が流失することが、パイピング（トンネリング）発達の大きな要因であることが分かった。

参考文献

- 1) 梅村順・森芳信：福島県南部で発生した土砂災害、1998年南東北・北関東の集中豪雨災害に関する調査研究，pp.182-196，1999。
- 2) 鈴木雄太郎，谷頭部における地すべりポテンシャルの評価，東北大学大学院工学研究科土木工学専攻修士論文，2004。
- 3) 大野睦雄，山崎彌，トランデュック・フィ・オアン：砂のパイピング特性に関する実験的研究，第19回土質工学研究発表会，pp.1335-1336，1984。
- 4) 寺嶋智巳：パイピングと土砂生産，水文地形学-山地の水循環と地形変化の相互作用-，pp.119-131。
- 5) J. Holden, T.P. Burt : Piping and pipeflow in a deep peat catchment, Catena 48, pp.163-199, 2002。