ゆるく堆積した不飽和土の浸水に伴う沈下現象に関する実験

東北学院大学工学部環境建設工学科　学生会員　○渡邊拓野
東北学院大学工学部環境建設工学科　武田遼大
東北学院大学工学部環境建設工学科　フェロー会員　飛田善雄
東北学院大学工学部環境建設工学科　斎藤孝一

１．序論

2015 年の関東・東北豪雨では河川堤防の破堤による大規模な浸水被害が発生した．越流による破堤の他に，堤体内の浸水による沈下（コラプス沈下）が越流を容易にすることや水道の発生（パイピング現象）も破壊原因の可能性がある．本研究は，浸水沈下に対する基本的知見を得ることを目的とし，簡単な実験装置を用いて不飽和土に水を浸透させ，沈下までの供試体の変状・水膜の移動を観察する．試料は豊浦標準砂および細粒分を含む供試体を用いて様々なケースで実験を行い水膜の発生・進展，それに伴う供試体の沈下量の傾向を把握する．また実際の堤防の形状を想定したモデルを作製し水を流入させた時の破壊挙動を観察する．

２．渋井川の被害状況

宮城県土木部河川課によると [1]，関東・東北豪雨で破堤した渋井川では，9 月 10 日の 22:00 頃から 11 日 4:00 頃まで強い雨が継続的に降り左岸側で 21 箇所、右岸側では 3 箇所で被災が確認された．噴砂・亀裂・法すべり・陥没が発生した．本研究では，特に，浸水沈下の影響と考えられる陥没現象に着目した．

図 1　渋井川被災状況　陥没

３．渋井川堤体土における基本的性質

地盤工学会－土質試験の方法と解説 [2] に基づき，渋井川より採取した堤体土の基本的性質を求めた．試験項目は以下の通りである．①物理的性質を求める試験（土粒子の密度試験，土の粒度試験，土の液性・塑性限界試験），②土の強熱減量試験，③突固めによる土の締固め試験．試験結果を以下に記す．

土粒子密度 : 2.410 g/cm^3．土粒子の密度が低い値になっているため，土の強熱減量試験を行い 14.3%の値を得た．粒度は以下の通りである : 礫分（2～4.75 ㎜）: 2%，砂分（0.075～2 ㎜）: 34%，細粒分（75μm 以下）: 64%．2 ㎜を通過した試料を利用した締固め試験は（繰返し乾燥法）行い，最大乾燥密度 : 1.163g/cm^3，最適含水比 : 41.7%が得られた．液性・塑性試験は NP であった．粒度試験の結果から，FS（砂質細粒土）と分類される．

４．浸水による沈下現象実験

豊浦砂を用いたときの浸水による沈下の様子を観察する簡単な装置を図 2 に示す．直径は 6.0cm で，高さは 9.0cm を標準とした．水を土の浸潤面と平行を保ちながら流入させ，沈下量と側方ガラス面で観察される亀裂および水膜の発生状況を観察した．実験から得られた沈下量と初期間隙比の関係を図 3，4 に示す．

豊浦砂の場合 : 間隙比 0.7<e<1.0 では亀裂は発生しなかった．1.1<e<1.4 で横方向に大きな水膜が形成され急激な沈下が発生した．渋井川堤体土の場合 : 間隙比 e<2.4

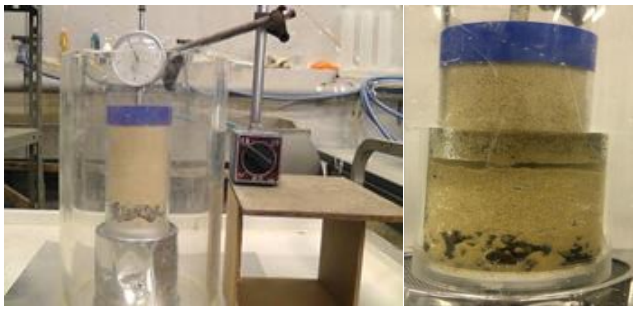

図 2　実験装置と水膜発生の様子

キーワード : 堤防の決壊，コラプス，パイピング，安定性
東北学院大学　〒985-8537　多賀城市中央一丁目 13-1，Tel : 022-368-7396

で沈下は発生せず亀裂や水膜も見られなかった．e>2.5で縦方向の水道が発生しそれに伴い大きな沈下が発生した．細粒分が多いため，水の浸透速度は遅く，沈下は緩慢に発生した．ゆるく詰めた渋井川採取土では，沈下量は大きいもので元の供試体高さの 24.1%に及んだ．ゆるく堆積した堤体土では浸透に伴う堤体の沈下と引き続いての越水の可能性についても考慮する必要がある．

本実験のような高い間隙比を有する土が実際に存在するとは考えにくい．より信頼性の高い実験を行うためには，サイズの大きい装置を用いる必要がある．

５．河川堤防を想定したモデル実験

豪雨による堤防の被害は越水，浸透，浸食により起こる．渋井川の河川堤防を参考にモデルを作製し，水の流入による破壊挙動を観察した．堤体土には豊浦標準砂を用いて作製した．

今回の実験において，急勾配斜面でゆるく堆積した堤体では表法面ですべり破壊（図 5）が生じた．これはメニスカスの作用によって支えられていた斜面が，水の浸透によるメニスカスの消失で安定性を無くしたと考えられる．一方，緩勾配斜面でゆるく堆積させた堤体でも裏法面で浸透によるすべり破壊が見られた（図 6）．締固めを 3 層で行い，密に堆積した堤体では浸透による破壊はなく，越流にいたるまで破堤はしなかった．

今回の実験の結果から，堤体を構成する土の密度によって破壊の形態は異なり，密度の管理と施工時の十分な締固めが必要であると分かった．

堤防の断面構造や築堤履歴は複雑であり，堤防をモデル化し室内試験で破壊形態を検討することは困難を極めるが，堤防モデルをさらに精緻化し実験条件を明確にして、さらに研究を継続していきたい．

６．参考文献

1） 宮城県土木部河川課：平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による洪水被害について

2）社団法人 地盤工学会－土質試験の方法と解説－第一回改訂版

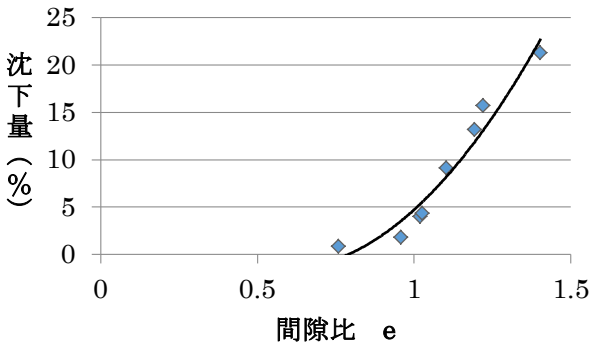

図 3 間隙比と沈下量の関係（豊浦砂）

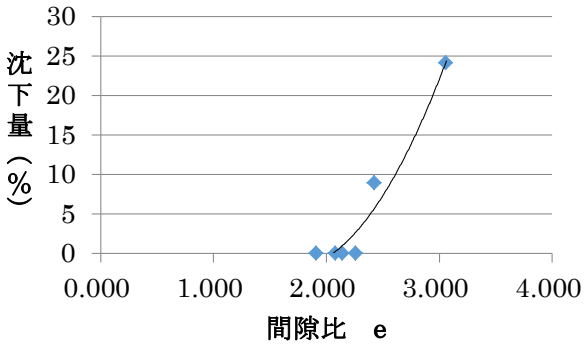

図 4 間隙比と沈下量の関係（渋井川堤体土）

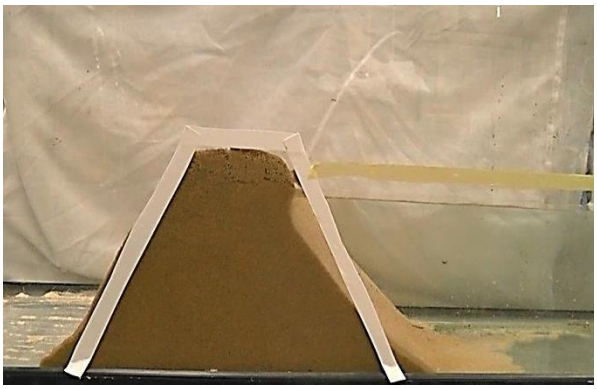

図 5 浸透によるすべり破壊（急勾配）

図 6 浸透によるすべり破壊（緩勾配）