

新たな侵食試験の開発と河川堤防堤体材料を想定した土質材料の侵食メカニズムに関する一考察

茨城大学 学生会員 谷口雄太 茨城大学 正会員 小峯秀雄  
 茨城大学 フェロー会員 安原一哉 茨城大学 正会員 村上 哲

1. はじめに

温室効果ガスの排出量の増加に伴う地球の平均気温の上昇は、世界の気候システムに影響を与えている。気候変動監視レポート 2007 は、近年の日本における集中豪雨の発生数が顕著な増加傾向を示していることを報告している<sup>1)</sup>。したがって、気候変動が社会基盤施設に及ぼす影響が、一層増加することが懸念される。日本の重要な社会基盤の一つとして河川堤防が挙げられる。集中豪雨の発生数の増加は、河川堤防堤体内への雨水の浸透による飽和度の上昇、河川水流速の増加、水位および堤体内浸潤面の上昇を引き起こす。現在、河川水の流速の増加に伴う堤体材料の侵食現象について、種々の研究報告がされているが、侵食現象のメカニズムおよびこれらの評価手法に関して確立されていないのが現状である<sup>2), 3)</sup>。したがって、本研究では新しい侵食試験を提案すると共に、河川堤防堤体材料を模擬した土質材料の侵食現象について実験的調査を行った。さらに、得られた実験結果に基づき、侵食現象のメカニズムに関する考察を行った。

2. 本研究で使用した土質材料と基本的性質

土質材料の侵食に対する脆弱性は、対象とする土質材料の物理的性質により大きく異なることが知られている<sup>4)</sup>。本研究では、侵食に対する脆弱性と土質材料の物理的性質の相関性を明らかにするために、河川堤防堤体材料を模擬した2種類の材料を混合し、異なる液性限界を有する材料を作製し侵食試験を行った。模擬材料は粘性土(clay)および非塑性シルト(silt)を使用した。模擬材料の性質を表1に示し、clay および silt の粒度組成を表2に示す。なお、上記の土の基本的性質の測定は日本工業規格「土粒子の密度試験方法」(JIS A 1202:1999)<sup>5)</sup>、「土の粒度試験方法」(JIS A 1204:2000)<sup>5)</sup>および「土の液性限界・塑性限界試験方法」(JIS A 1205:1999)<sup>5)</sup>に準拠し行った。

表1 模擬材料の性質

土質材料	液性限界 W <sub>L</sub> (%)	塑性限界 W <sub>P</sub> (%)	塑性指数 I <sub>P</sub> (-)	土粒子密度 ρ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> ) 計算値	土粒子密度 ρ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> ) 実測値
粘性土 (clay)	62.4	26.6	35.8		2.673
clay60%:silt40% (clay60%)	40.5	17.2	23.3	2.665	
clay40%:silt60% (clay40%)	32.8	17.5	15.3	2.660	
clay20%:silt80% (clay20%)	28.7	NP	NP	2.656	
非塑性シルト (silt)	NP	NP	NP		2.652

表2 模擬材料の粒度構成

材料名	clay	silt
粗砂含有率 (%)	0	0
細砂含有率 (%)	6	0
シルト含有率 (%)	15.1	90.2
粘土含有率 (%)	78.5	9.8

3. 本研究で提案した昇降式定水位透水容器を用いた侵食試験

今回新たに提案・製作した侵食試験装置は、土質材料への通水を行う透水円筒、供試体への流入量を測定する流量計および供試体へ水を供給する昇降式定水位透水容器から構成されている。昇降式定水位透水容器により、定圧状態で供試体へ水を流入させ、供試体への流入量の変化および供試体上面からの越流水の採取を行う。採取した材料は恒温乾燥炉で炉乾燥し、供試体から1分間あたりに流出する材料の質量である侵食量(g/min)を測定する。なお侵食量の測定は最小目盛

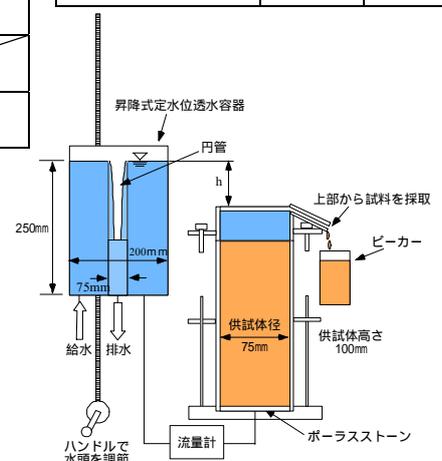


図1 昇降式定水位透水容器を用いた侵食試験装置

キーワード 侵食, メカニズム

連絡先 〒316-5811 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学都市システム工学科 TEL0294-38-5163

0.01(g)の測定器を用いた．試験装置の概要を図1に示す．なお供試体に作用する水頭差は本試験で使用した3種類の模擬材料全てにパイピングが発生する水頭差である400mmを採用した．表3に本試験で使用した材料の供試体作製結果を示す．

4. 侵食試験結果と考察

図2は，侵食試験により得られた侵食量と通水開始からの経過時間の関係を示したものである．パイピング発生時に侵食量が最大となり，パイピング孔の拡大に伴い侵食量が減少傾向を示した．また，clay40%および clay60%は侵食量に大きな差は認められず，侵食量が徐々に減少する挙動を示す一方，clay20%は侵食しやすく，侵食量が減少した後増加し，その後再び減少する傾向を示すことが明らかになった．これらの挙動の原因として，パイピング発生後，パイピング孔壁面の材料が液体状になり，孔の閉塞が発生していると考えられる．また，経過時間500秒からの侵食量の増加は，孔を塞いだ材料が侵食されたためと考えられる．したがって，clay20%の侵食メカニズムは材料が液体状になることによるものと考えられる．一方，clay40%および clay60%は侵食量が増加しておらず，材料は流動化していないと考えられる．図3および図4は経過時間200秒および500秒の供試体上部の様子である．経過時間200秒では供試体上面が侵食された材料により濁りが生じたが，経過時間500秒では濁りが確認されず侵食量の低下が確認された．侵食量の減少は，侵食のメカニズムがパイピング孔内の流速の変化に伴い変化したこと起因すると考えられる．侵食試験初期はパイピング孔が小さいため，流速が大きい．また，パイピング孔壁面の材料は流動化しないため土塊ごとの侵食が発生する<sup>6)</sup>．しかし，孔の拡大に伴い流速が減少すると，掃流力が土塊ごとの侵食を発生させる限界値以下になり，一粒子ごとの侵食へ遷移すると考えられる．これらの結果より，侵食現象に流動化による侵食，土塊ごとの侵食および一粒子ごとの侵食の3種類のメカニズムが存在することが明らかとなった．また流動化による侵食と，土塊および一粒子ごとの侵食の境界となる液性限界の値が存在し，液性限界の値が境界値以下の材料は液体状になりやすく侵食に弱いと考えられる(図5参照)．

5. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す．

1. 土質材料の侵食に対する脆弱性を評価する新たな試験装置の開発および試験方法を提案した．
2. 河川堤防堤体材料の模擬材料を用いた侵食試験の結果，侵食現象に流動化による侵食，土塊ごとの侵食および一粒子ごとの侵食の3種類のメカニズムが存在する．
3. 流動化による侵食と，土塊および一粒子ごとの侵食の境界となる液性限界の値が存在し，液性限界の値が境界値以下の材料は流動化しやすいため侵食に弱い．

参考・引用文献

1) 気象庁:気候変動監視レポート2007, p30, 2007. 2) 今林豊, 山口嘉一, 川崎将生, 吉田等, 長時間通水によるフィルダム遮材料のパイピング抵抗性, 土木学会第52回年次学術講演会, 1997. 3) 関根正人, 熊谷利彦, 尾藤文人:粘性土の浸食特性に関わる諸要因の影響, 水工学論文集, Vol.44, pp.747-752, 2000. 4) 谷口雄太, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 胸組智光, 河川堤防堤体材料における侵食現象の簡易評価法と脆弱性評価, 第44回地盤工学研究発表会(投稿中). 5) 地盤工学会:土質試験の方法と解説-第一回改訂版-, p54, 61, 69, 93, 2000. 6) J.L.Briaud, F.C.K.Ting, H.C.Chen, Y.Cao, S.W.Han, K.W.Kwak:Erosion Function Apparatus For Scour Rate Predictions, ASCE, Vol.127, No.2, 2001.

表3 供試体作製結果

材料名	clay20%	clay40%	clay60%
初期含水比 w(%)	4.7	5.2	5.6
乾燥密度 $\rho_d(g/cm^3)$	1.01	1.00	1.00
間隙比 e	1.62	1.66	1.67
飽和度 $S_r(\%)$	7.7	8.4	8.9

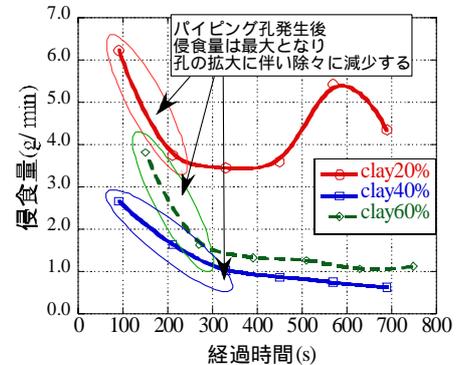


図2 侵食試験結果



図3 200秒後の clay60%供試体上部の様子



図4 500秒後の clay60%供試体上部の様子

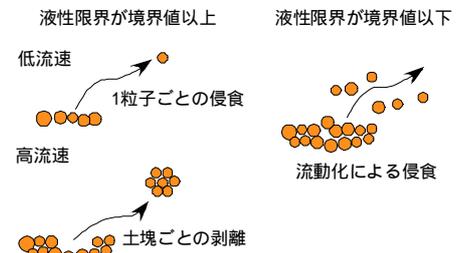


図5 侵食メカニズム