

ため池堤体法面内への降雨浸透に関する実験的検討 Experiments of Rainfall Infiltration on Slope of Earthdams

眞木 陸* 阿部春輝* ○松本 赴** 澤田 豊* 河端俊典*

Riku MAKI, Haruki ABE, Takeru MATSUMOTO, Yutaka SAWADA, and Toshinori KAWABATA

1. はじめに 直近 10 年間のため池の被災要因は豪雨によるものが 7 割であり、降雨浸透に伴う堤体内飽和度および浸潤線の上昇が、堤体の安定性を低下させることが指摘されている。本研究では、ため池堤体法面への降雨浸透特性を検討するため、小型模型斜面を対象に降雨実験を実施し、地盤密度と降雨強度が浸透強度に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要 本実験で用いた降雨装置を Fig. 1 に示す。本降雨装置は、タンク内の水をポンプによってノズルまで揚げ、散水することで降雨を模擬できるような機構になっている。また、経路内に設置した流量調節バルブを調節することと降雨強度を調節できる。ノズルの高さは模型地盤中央から 159.1cm の位置に取り付けた。また、実験中はタンク内に水を一定量供給し続け、タンク内の水位が変化しないようにした。ノズルは口径の異なるものを 3 種類 (2mm, 3mm, 4mm) 使用し、ノズルの種類を変えることでも降雨強度の調節をできるようにした。本実験では幅 500mm, 高さ 200mm, 奥行き 200mm のアクリル製の実験土槽を使用した。実験に用いた土質材料は、実際のため池で使用される土質材料に近い粒度のよい粘性土である。地盤物性を Table 1 に、実験ケースを Table 2 に示す。全ての実験ケースで、斜面勾配は 1:1.8 で一定とし降雨継続時間は 6 時間とした。斜面下端にはシートを設けることで、表面流出量を計測した。

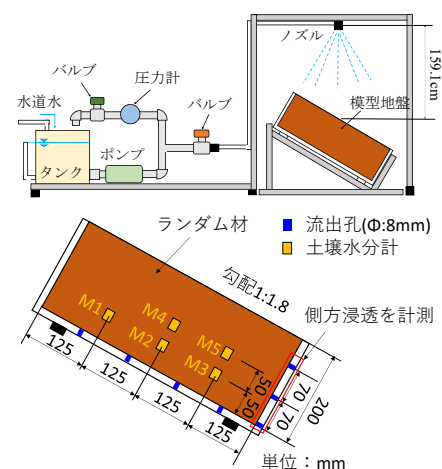


Fig. 1 実験装置概要
Experimental apparatus

Table 1 地盤物性
Soil properties

土粒子密度 (g/cm^3)	2.655
平均粒径 (mm)	0.3
均等係数	224
曲率係数	40.4
最適含水比 (%)	10.4
最大乾燥密度 (g/cm^3)	2.01
透水係数 D_{92} (cm/s)	1.13×10^{-3}
透水係数 D_{85} (cm/s)	2.83×10^{-3}

Table 2 実験ケース
Experimental cases

実験ケース	締固め度 D_c (%)	降雨強度 (mm/h)
Case1		35.5
Case2	92	51.9
Case3		74.9
Case4		35.5
Case5	85	51.9
Case6		74.9

3. 実験結果 降雨強度から計測された単位時間当たりの表面流出量を差し引き、浸透強度を算出した。各ケースの浸透強度の経時変化を Fig. 2 に示す。実験終了時の浸透強度を終期浸透強度と定義する。一般に表面流出が発生している場合、浸透強度は浸透能と等しくなり、一定値となるはずであるが、Fig. 2 を見てわかるように、 $D_c=85\%$ の地盤では表面流出が発生しているにもかかわらず、降雨強度の増加に伴う浸透強度の増加が確認された。このような挙動が確認された理由は、降雨による地盤浸食および土粒子の流亡により、地盤表面の間隙率と粗度係数が増加することで、浸透強度が増加したものと

*神戸大学大学院農学研究科 Graduate School of Agricultural Science, Kobe University

**神戸大学農学部 Faculty of Agriculture, Kobe University キーワード：降雨浸透特性，ため池，降雨実験

考える。浸食率の経時変化を Fig.3 に示す。Fig.2 と Fig.3 のグラフを比較すると、 $D_c=85\%$ の地盤では、降雨強度が増すと浸食率が増加し、終期浸透強度も増加しているが、 $D_c=92\%$ の地盤では降雨強度の増加に伴い浸食率は増加するものの、終期浸透強度には差がないことが分かる。これは、 $D_c=92\%$ の地盤では、初期間隙率が非常に小さかったために、間隙率の増加や粗度係数の増加が浸透強度に影響を及ぼさなかったものと考えられる。本実験結果をもとに終期浸透強度の予測式の検討を行う。既往研究にて、表面流出に働く自重の斜面方向成分 τ_0 は以下の式で求められる。

$$\tau_0 \cong \rho g h S_0 \quad (3.1)$$

$$h = \left(\frac{Q_0 n}{\frac{1}{S_0^2} B} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (3.2)$$

ρ : 水の密度(g/cm^3), g : 重力加速度(m/s^2), h : 表面流の水深(m), S_0 : 斜面勾配(=tan γ), γ : 傾斜角($^\circ$), Q_0 : 単位時間当たりの表面流出量(m^3/s), n : 粗度係数($\text{m}^{-1/3}\text{s}$), B : 斜面の幅(m)である。表面流の水深 h に関しては、マンニングの式により算出している。既往研究で用いられた模型地盤の勾配は小さいため、本研究ではより大きな勾配の斜面に対し適用できる予測式について検討する。Fig.4 に(3.1)式のもととなった実験結果に本実験結果を加えた図を示す。Fig.4 と上式から、 τ_0 の増加に伴い、終期浸透強度の透水係数に対する割合が反比例するという一定の関係性が示された。この関係をもとに、以下の予測式を提案した。 r : 降雨強度(mm/h), k_s : 透水係数(cm/s), Q_d : 浸透強度(m^3/s)。定数は、最小二乗法により求めた。

$$\frac{Q_d}{k_s} = 0.0487 \left(\rho g (r - Q_d)^{\frac{3}{5}} n^{\frac{3}{5}} S_0^{\frac{3}{10}} \right)^{-1} \quad (3.3)$$

4. まとめ 斜面状地盤への降雨浸透特性として、地盤密度が大きい場合は、降雨強度によらず終期浸透強度は一定であり、地盤密度が小さい場合は、降雨強度の増加に伴い終期浸透強度も増加することが分かった。また、既往研究の実験結果も使用し、より幅の広い斜面勾配に対して終期浸透強度の予測式を提案した。

参考文献

1) Morbidelli, R., Saltalippi, C., Flammini, A., Govindaraju, R.S. : Role of slope on infiltration: A review, Journal of Hydrology, Vol.557, pp.878-886, 2018.

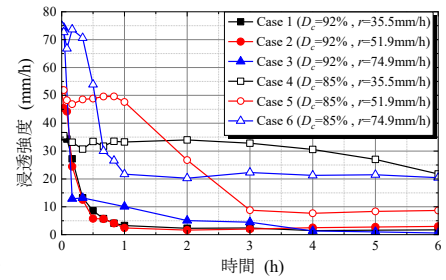


Fig.2 浸透強度の経時変化
Variation of infiltration rate

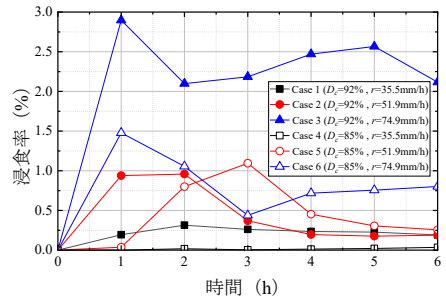


Fig.3 浸食率の経時変化
Variation of erosion rate

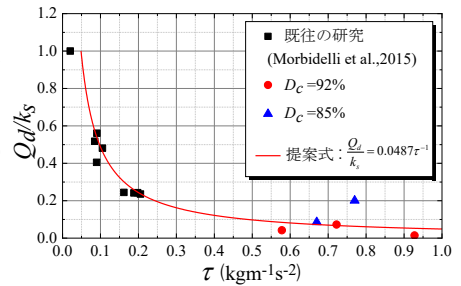


Fig.4 τ_0 と Q_d/k_s の関係
The relationship between τ_0 and Q_d/k_s