

ため池堤体の模型降雨実験と降雨浸透解析

Model tests and seepage analyses for small earth dam during rainfall

○堀俊和* 毛利栄征* 向後雄二* 松島健一*

HORI Toshikazu*, MOHRI Yoshiyuki* KOHGO Yuji and MATSUSHIMA Kenichi*

1. はじめに 築造年代が古い農業用ため池では、豪雨時に下流斜面にすべりが発生する事例が多く報告されている。本研究では、降雨強度の違いに伴う堤体内の間隙水圧分布や破壊形態の違いを実験的に明らかにした。また、降雨浸透解析を行い、降雨浸透によって発生する浸透力を計算し、これが堤体の安定性に与える影響について考察した。

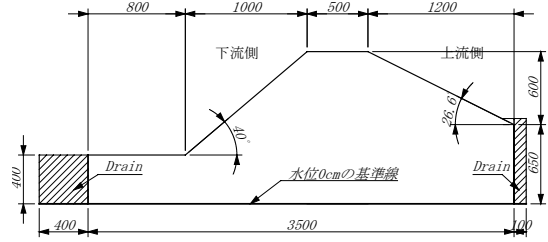


Fig.1 模型の形状 (奥行き 2000) 単位 : mm
Model shape

2. 模型実験の方法 実験に用いた模型の形状を Fig.1 に示す。Table 1 に示す霞ヶ浦砂を用い、含水比 3.5%、乾燥密度 1.520g/cm^3 の堤体模型を作成した。この模型の上流側に模型底から 70cm の高さまで貯水を行い、定常浸透状態となった後に降雨を作用させた。実験は降雨条件を変えた 2 ケース行った。Case1 では、2, 7, 13, 50, 100, 200mm/h の降雨を段階的に作用させ、各段階で定常浸透状態となるまで降雨量を一定に維持した。Case2 では、200mm/h の降雨を急激に作用させた。

Table 1 霞ヶ浦砂の特性
Properties of Kasumigaura sand

sand type	Kasumigaura sand
D_{50} (mm)	0.2998
G_s (g/cm^3)	2.715
$\rho_d \text{ max}$ (g/cm^3)	1.731
$\rho_d \text{ min}$ (g/cm^3)	1.409

3. 降雨浸透解析 水分特性曲線のモデルは、Hayashida¹⁾が提案する Tangential モデルを用いた。Fig.2 のように実験結果 (安中ら²⁾) にフィッティングを行い、パラメータを決定した。また、不飽和透水係数 k_r は、 $k_r = S_r^{*mp}$ (S_r^* は有効飽和度) として、Fig.3 のように実験結果から材料パラメータ mp を決定した。実験と同様に貯水を行った後、堤体表面にフラックスを与えて、FEM による非定常飽和不飽和浸透解析を行った。また、降雨によって堤体表面の間隙水圧が正圧となった場合、流量境界から水圧境界へと変更して計算を行った。

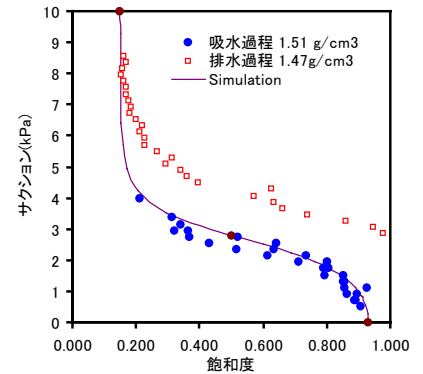


Fig.2 水分特性曲線のフィッティング
Fitting of soil water retention curve

4. 実験結果 Fig.4 は Case1 の降雨前の初期状態であり、堤体上部には 20kPa 以上の高サクシオン領域が存在する。Case2 の初期状態もこれとほぼ同様であった。Case1 では、2mm/hr の段階で高サクシオン領域が消失した (Fig.5)。その後、浸潤線が下流法尻から浸出し始めた降雨量 13mm/hr の段階で、下流法先が変形し始め、降雨量が増えて浸潤線の浸出点が上昇するにつれて、逐次的に崩壊が上部へ進行した (Fig.6(a)(b) 上段)。これに対し、Case2 では、堤体内部に高サクシオン領域が残存している間は、浸潤線が下流斜面に浸出しても、崩壊が発生しなかった (Fig.7(a)(b) 上段)。降雨浸透が進み、サクシオン領域が消失すると同時に急激で大きな崩壊が発生し (Fig.7(c) 上段)、堤体上部へと進展した。

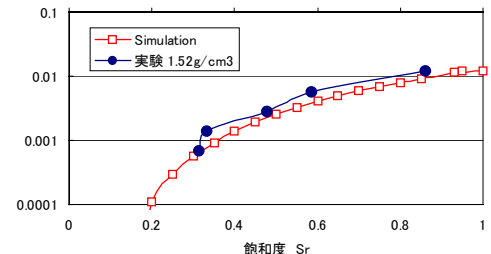


Fig.3 不飽和透水特性のフィッティング
Fitting of unsaturated permeability coefficient

5. 解析結果との比較 Case1, Case2 の降雨浸透解析による間隙水圧と浸透力の計算結果をそれぞれ Fig.6, Fig.7 の中段, 下段に示す。間隙水圧分布の解析結果は、実験結果と良

く一致していることが分かる。浸透力の解析結果から、降雨の初期段階で高サクシオン領域が消失した Case1 では、浸透力が常に下流方向へ作用しているに対し、Case2 では降雨浸透の進展に伴って、浸透力の作用方向が大きく変化していることが分かる。Case2 で透水性の低い高サクシオン領域が存在する間は、この領域を迂回して浸透が進むため、浸透力は堤体内部に向う方向に作用する。したがって、浸潤線が下流斜面に浸出しても、崩壊が発生しなかった原因は、この内向きの浸透力によって堤体の安定性が一時的に高まったためであると考えられる。次に、浸透が進み高サクシオン領域が消失すると、天端直下の浸潤線が急激に上昇し、浸透力の向きが下流方向へと変化するため、堤体の安定性が急激に失われ、大きな崩壊が発生したものと考えられる。

以上のことから、浸潤線の形状が逐次破壊の進行に大きな影響を与えていることが明らかとなった。強い降雨の場合、時間の経過に伴って浸透力の作用方向が変化するため、急激な逐次破壊や規模の大きなすべりが発生する可能性がある。

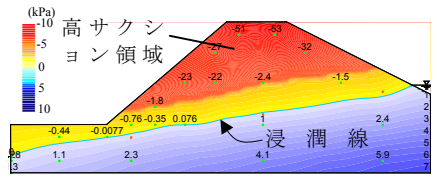


Fig.4 初期状態の間隙水圧 (Case1 実験) Initial condition (Case1)

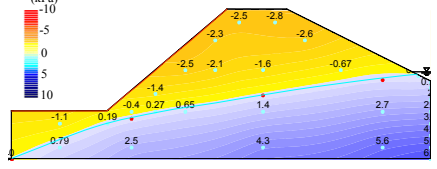
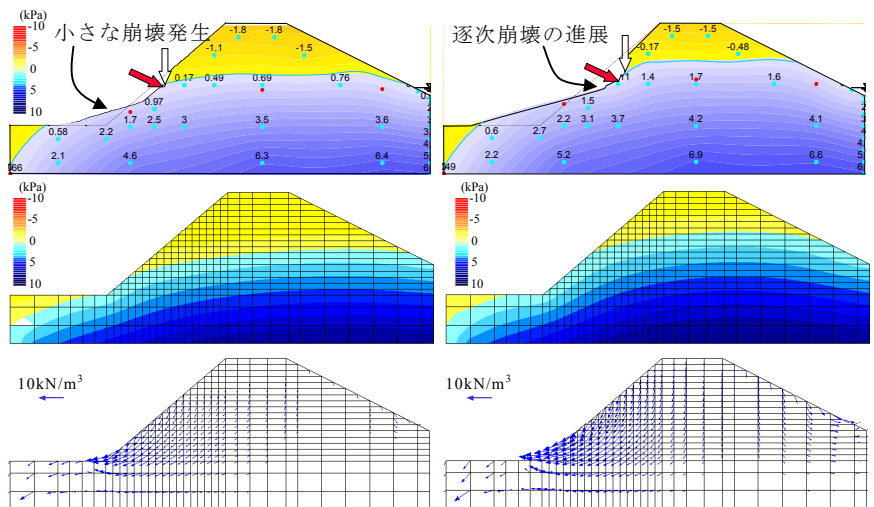


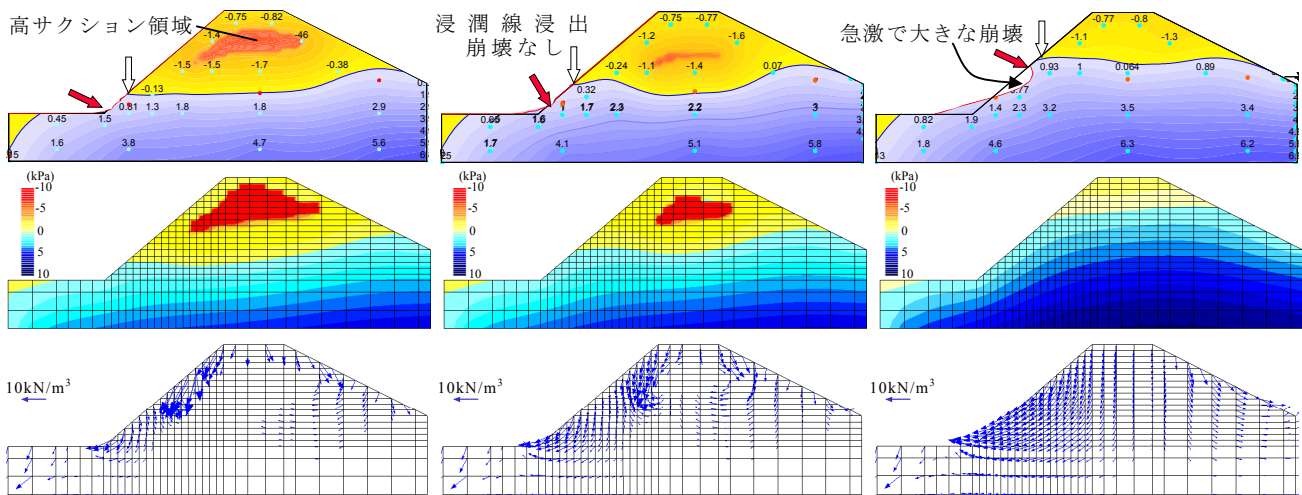
Fig.5 降雨 2mm/h 定常状態 (Case1 実験) Pore pressure distributions (Case1 2mm/h)



(a) 降雨 50mm/hour 定常状態 (b) 降雨 100mm/hour 定常状態

Fig.6 Case1 の実験結果と解析結果

上段：間隙水圧と崩壊形状(実験)、中段：間隙水圧(解析)、下段：浸透力(解析) 上段図の白抜き矢印は浸潤線の浸出点、塗りつぶし矢印は崩壊部の上端点を示す Results of the experiment and analysis (Case1) Top: Experiments, Middle: Pore pressures by analysis, Bottom: seepage force by analysis



(a) 降雨開始 5分後 (b) 降雨開始 24分後 (c) 降雨開始 37分後

Fig.7 Case2 の実験結果と解析結果 上段：間隙水圧と崩壊形状(実験)、中段：間隙水圧(解析)、下段：浸透力(解析) 上段図の白抜き矢印は浸潤線の浸出点、塗りつぶし矢印は崩壊部の上端点を示す

Results of the experiment and analysis (Case2) Top: Experiments, Middle: Pore pressures by analysis, Bottom: seepage force by analysis

参考文献 1) Y. Hayashida, Y.Kohgo & I.Asano (2003) A hysteresis model with continuity of tangential slopes of soil water retention curves, Proc of 2nd Conf. on Unsaturated Soils, pp413-418
2) 安中武幸,三村一仁(2003): 地下水面を有する土槽への降雨浸潤における湿潤状況と土中空気圧挙動、農土学会要旨 pp302-303