

## 堤体内の土中ガスの挙動に対する表面水の影響

## Influence of surface water on migration of gas in a embankment

日比義彦 (名城大学) : 冨樫聡 (八千代エンジニアリング株式会社)

HIBI Yoshihiko: TOMIGASHI Akira

**Abstract** The purpose of this study was to investigate migration of gas and water in a embankment when surface water overflowed the embankment with a berm. A numerical simulation method for simulation a coupled atmospheric gas – surface water – Groundwater system (ASG method) was employed to simulate the migration of gas and water in porous medium and gas in atmosphere in this study. As the result it was found in this study that gas in the embankment escaped to atmosphere and surface water though gas pressure in the embankment was high when the surface water overflowed the embankment. Finally it was clear from results of the present numerical simulation that upstream surface water and overtopping surface water infiltrated the embankment and then the embankment was almost saturated with water.

**Keywords:** Soil gas; Overtopping; Multi-flow; Porous medium; Surface water; Embankment

## 1. 緒言

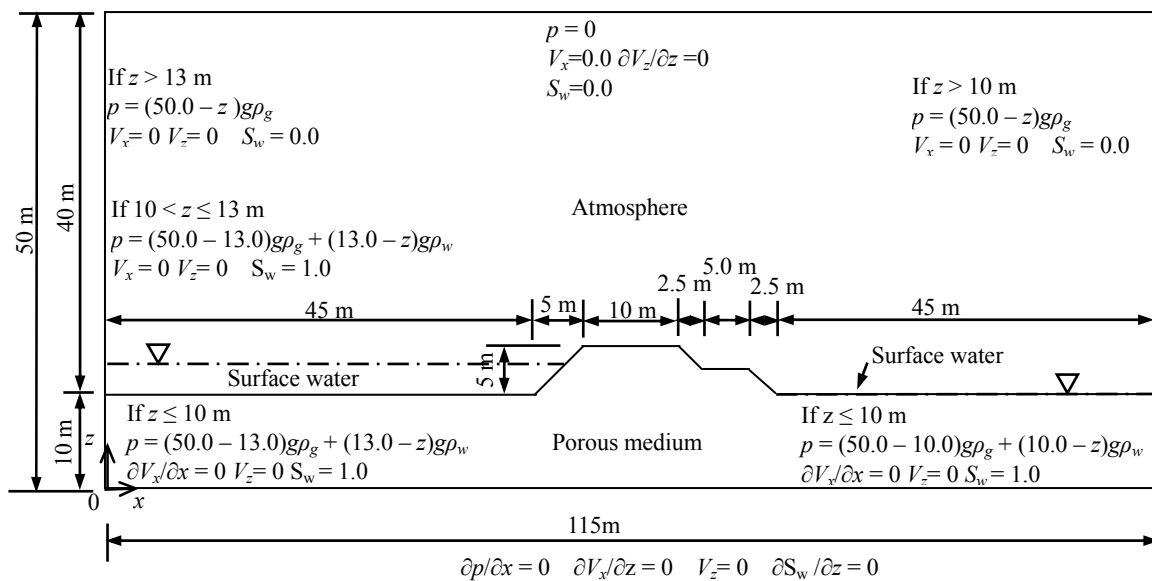
平成 27 年 9 月に発生した関東・東北豪雨では、茨城県常総市内の鬼怒川で破堤が生じた。破堤の原因は、越流水によるガリ侵食、パイピング現象および滑り破壊が挙げられるが、舗装された堤体の天端から越流前に土中ガスの噴出が確認された。しかし、越流時に堤体内のガスが破堤にどのように影響するか、十分に検討されていない。また、越流時の土中ガスの挙動がどのようになるか不明なことも多い。そこで、本研究では、実際の堤体に近い条件となる、小段を有する堤体の越流時の土中ガスの挙動について検討した。検討方法としては、表面水と堤体内の流体の出入りを自然に扱える大気-表面水-多孔質体連成数値解析(ASG 法) [1]を用いた。

## 2. 解析方法

今回の研究では、Fig. 1 に示すように解析領域の中央に堤体を配置し、堤体の下には厚さ 10m の基礎地盤が存在しているものとした。また、小段は越流する下流側に設置した。堤体と基礎地盤は砂質土を想定し、Table 1 に示す物性値を解析に用いた。また、解析に用いたガスと水の物性値を Table 2 に示す。

Fig. 1 に示す領域を節点数 44,958 と要素数 44,540 で分割した。具体的には、堤体を水平方向に 0.125~0.200m、鉛直方向に 0.125m で分割した。

初期条件として、堤体の左側の表面水の水位を基礎地盤の表面より 3m 高い位置(堤体外側、水深 3m)とし、堤体の



$p$ : Pressure,  $g$ : Gravity,  $\rho_g$ : Density of gas,  $\rho_w$ : Density of water,  
 $V_x$ : Total velocity in the direction of  $x$ ,  $V_z$ : Total velocity in the direction of  $z$ ,  
 $S_w$ : Water saturation

Fig. 1 Schema of the analytical domain and the imposed boundary conditions for numerical simulations of overtopping.

右側の水位を基礎地盤の表面（堤内側、水深 0m）とした。この初期条件をもとに経過時間 36000 秒まで解析を行い、越流前の定常状態を再現した。経過時間 36000 秒に、解析領域の左側の境界の水位を初期状態より 3m（基礎地盤の表面より 6m）上昇させて堤体の左側の表面水が堤体を越流するようにした。最終的に堤体内の水の飽和度が定常状態になるまで解析を行った。

### 3. 解析結果

今回の解析結果より得られた、堤体内の水の飽和度の分布と表面水の水位を Fig.2 に示す。Fig.2 (a)によると、堤体の左側の表面水の水位と右側の表面水の水位を直線で結んだ線より上が不飽和状態となり、それ以下は飽和状態となった。水の飽和度が 0.5~1.0 の幅は狭く分布するが、0.5 以下は堤体の上部で広く分布する結果となった。従って、越流直前の堤体内には広い範囲で不飽和領域が存在し、堤体内に多くの土中ガスが残留した状態で越流することになった。

Fig.2 (b)によると、越流後 9000 秒後の堤体内の不飽和領域は、越流前に比較して大幅に減少し、不飽和領域が下に凹に湾曲した形状になった。堤体の左側の表面水が、水位上昇したことにより堤体内に表面水が浸透し、堤体内の水の飽和度が上昇したと考えられる。また、堤体の右寄りの天端付近と小段でも飽和状態となった。本論文では示していないが、この箇所の流体の流向によると、越流水は堤体の右寄りの天端付近と小段の表面から浸透して堤体内を飽和させた。一方、堤体の天端中央付近と堤内側の法面で不飽和状態となった。この箇所の流体の流向は堤体外へ向いており、堤体内のガスを堤体外に噴出する流れとなった。堤体内の土中ガス圧は、越流後 9000 秒後で 10~14kPa、不飽和帯内の水圧は 6~8kPa まで上昇した。堤体内の水圧は、堤体の左側の表面水の水位上昇のために上昇した。一方、越流水が天端、堤内側の法面と小段の表面を覆ってしまい、土中ガスが容易に大気中へ放出されないために堤体内の土中ガス圧が上昇した。土中ガス圧がある程度の値まで上昇すると土中ガスが越流水中へ放出されて不飽和帯が減少した。従って、堤体表面を覆った越流水は土中ガスの大気中への放出を防ぐことはできない。

Fig. 2(c) に示すように、最終的に、堤体内はほぼ水で飽和されてしまう結果が得られた。不飽和状態であれば水で飽和された場合の粘着力より大きい見掛けの粘着力を考慮することができ、滑り破壊に対して有効である。しかし、Fig. 2(c) に示すように堤体内が飽和されると滑り破壊が生じやすく、かつ、パイピング現象も発生しやすくなる。

### 4. 結言

今回の解析結果より、越流により堤体内の水圧は上昇し、かつ、土中ガス圧が上昇した。また、越流前に不飽和帯であった範囲は、越流の上流側の表面水の水位上昇により減少した。また、越流の下流側の堤体の天端、小段と法面を覆う越流水により土中ガスの堤体外への放出を防ぐことはできなかった。ただし、この越流水の効果で土中ガス圧

Table1 Parameter of a porous medium

Intrinsic permeability	$1.737 \times 10^{-11} \text{ m}^2$
Porosity	0.402
Parameter of a water retention curve	$\alpha$
	$\beta$
Residual water saturation	0.187
Residual gas saturation	0.0

Table1 Parameter of Fluids

Water	
Density	$0.998 \text{ g/cm}^3$
Viscosity	$9.327 \times 10^{-7} \text{ kPa s}$
Gas	
Density	$0.0012 \text{ g/cm}^3$
Viscosity	$1.80 \times 10^{-8} \text{ kPa s}$

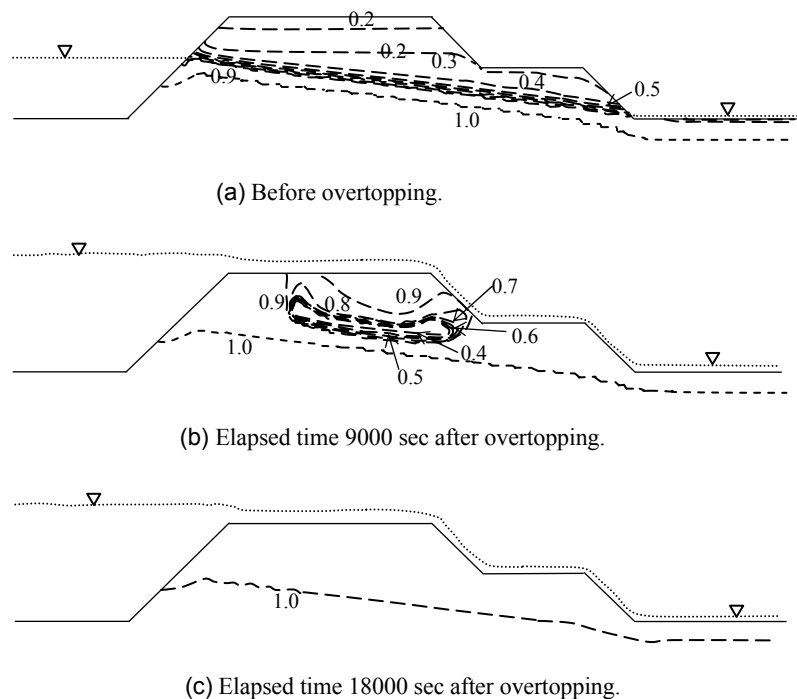


Fig. 2 Distribution of water saturation in an embankment with a berm when surface water overflows the embankment.

は上昇した。しかし、最終的に堤体はほぼ水で満たされた状態となった。模型実験などによると、越流後、数百秒程度で堤体が破壊する。その際の原因として、一般的に、ガリ侵食が主な原因と考えられているが、今回の解析結果のように、かなり早い時点より堤体表面は飽和され、不飽和状態で生じる見掛けの粘着力が作用しない状態となると考えられる。したがって、このような箇所より滑り破壊を生じて破堤する可能性もある。今後は、本解析で用いた ASG 法に破壊を考慮した応力変位解析を組み込むことにより、さらに越流時の破堤について詳細なことが判明する可能性がある。

### 参考文献

- [1] 日比義彦, 富樫聡, 混相流, Vol. 29, pp.326-334 (2015)