

II-62

降雨浸透水による土堤防内の
間隙空気圧変動

東海大学 大学院 学生員 山形知生
東海大学海洋学部 正 員 豊島 修
東海大学海洋学部 正 員 福江正治

1. まえがき

最近になって我が国の河川堤防は、堤体断面が次第に大型化、法は緩傾斜化しつつある。これは越水による破堤例が減少する一方で、裏法のすべりや崩壊による欠壊・破堤が顕在化し、それが主として浸潤線による堤体の不安定化が原因と考えられているためと思われる。

しかしながら、実際の破堤の例では、浸潤線効果よりも降雨が主要原因ではないかと思われるケースが少なくない。そこで筆者らは1次元浸透模型を用い、堤体の安定度に極めて重要と思われる、降雨浸透水と浸潤線が堤体内間隙水圧に及ぼす影響について実験的研究を行った。

2. 実験装置と方法・条件

(1) 実験装置

装置は薄肉の鋼管（ $\phi=48.5\text{cm}$ ・高さ $H=100\text{cm}$ ）と、これより径が大きい鋼管（ $\phi=60\text{cm}$ ・高さ $H=80\text{cm}$ ）を図1のように配置し、内側の筒に土試料を一樣に詰めて堤体模型とした。土中には間隙空気圧を測定するため、図示する位置に間隙水圧計を埋設した。なおモデル地盤の底には、内・外側の筒それぞれに約7.5cm厚の砂利を敷き排水時の土試料の流出を防ぐようにした。また図2に見られる人工降雨装置は、透明なアクリル板製で、容積7.5ℓの容器の底部に18本の注射針が取り付けられており、これに水頭が一定であるタンクから水を供給して降雨を発生させた。同様に、外筒への注水についても別の水頭が一定であるタンクから供給する。人工雨量強度、外筒水位の上昇速度はタンクと装置の水頭差により変化させた。

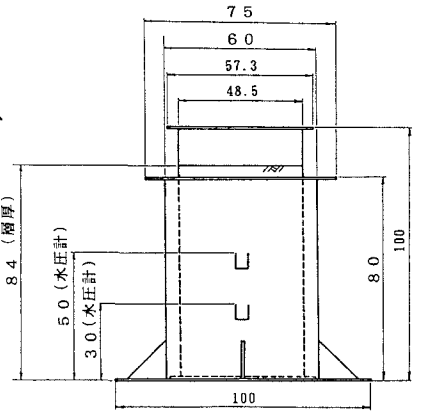
(2) 実験方法・条件

実験に用いた土試料は、表1に示すような透水係数の異なる大礫・中礫・珪砂の3種類で、実験に用いた代表的な条件は表2に示す。基本的にはこれと同様な条件で地表から人工降雨、底部からは外筒の水（以下、河川水と呼ぶ）の浸透を行った。実験の手順は外筒が満水（地盤内水位はこれに等しい）の状態から排水し、そのまま12時間放置した状態をモデル地盤の初期状態とした。

これによって実験開始前の堤体内は、不飽和状態となり地盤内水位は存在しない。この状態から人工降雨や河川水を供給し始め、水圧や空気圧を測定した。

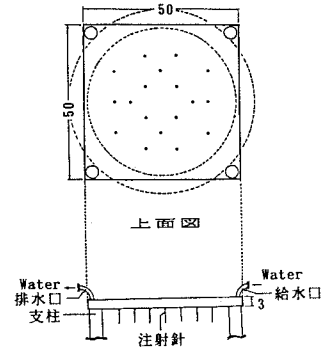
表2 実験に用いた条件

雨量強度	140 mm/h
時間	60分間
水位上昇速度	45 cm/h
時間	60分間



[単位: cm]

図1 堤体模型



[単位: cm]

図2 人工降雨装置

表1 試料土の透水係数

試料	透水係数
珪砂	$K = 7.6 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$
中礫	$K = 1.04 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$
大礫	$K > 10^{-1} \text{ cm/s}$

3. 結果と考察

(1) 大礫および中礫を用いた実験結果

図3は大礫を用いたときの実験結果を示す。水圧計の読みは a) 河川水浸潤を行った場合、b) 降雨浸透を行った場合、c) それらを複合させた場合のいずれも静水圧と一致した。

これは透水係数が大きいために堤体への浸透および堤体からの排水が容易になるためと考えられる。つまり水圧変動は地下水面の上昇速度に依存することになる。

一方、中礫を用いた場合（図4）、a) の河川水浸潤を行った場合には水圧計の読みが静水圧と一致しているが、他のb) c) では地下水面より上の位置で過剰空気圧が測定された。

つまり下方と上方からのwetting front に挟まれた空気が圧縮され降雨浸透の影響が現われたと考えられる。この傾向は後に述べる珪砂の場合に顕著に現われる。ただし、図に見られるようにこの過剰空気圧は時間とともに消散してその後は静水圧に一致する傾向にある。

(2) 珪砂を用いた実験結果

珪砂を用いた実験（図5）では、a) に見られるように外筒に水を入れると同時に地盤内の間隙水圧が反応し始め、静水圧に比較して相対的に高い圧力が測定された。時間的に考えて圧力計の位置まで水位が上昇していることは考えられないので、この圧力は過剰空気圧と考えられるものである。さらに圧力計の位置 30cm・50cm共にほぼ同じ値となっている。このことから透水係数が低くなると下方からの浸潤でも空気が抜け切れず堤体内に圧縮空気として残留すると考えられる。

またb) の条件で、降雨浸透による過剰空気圧と考えられる圧力が計測され、高さ50cmのほうが高い値となった。さらに降雨浸透と河川水浸潤を複合させた場合の条件 c) では、a) b) の条件に比べて過剰空気圧は相当高い値を示した。そしてa) b) c) のいずれの条件においても、発生した過剰空気圧は24時間経っても消散しなかった。

(3) 河川水浸潤と降雨浸透の複合効果

大礫のような透水係数 ($k > 10^{-1} \text{cm/s}$) では降雨の影響が過剰空気圧として発生せず、中礫 ($k = 10^{-1} \text{cm/s}$) や珪砂 ($k = 10^{-3} \text{cm/s}$) において発生した。またこの過剰空気圧は中礫では時間とともに消散したが、珪砂では消散せず相当高いものとなった。

降雨による過剰空気圧の値は、雨量強度 (50mm/h~150mm/h) の範囲で) が大きくなるほど高くなり、降雨開始と同時に過剰空気圧が発生した。

4. まとめ

透水係数が 10^{-3}cm/s 程度になると浸潤でも空気は抜けきれず、土内部に圧縮空気として残留し、この過剰空気圧は短期間では消散しない。また浸潤に降雨浸透が加わった場合、

過剰空気圧はより高くなる。したがって、今後河川堤防の安定問題を考える際、このような効果を考慮する必要がある。本研究を行うに当たって一部、東海大学総合研究機構の研究奨励補助金を受けた。

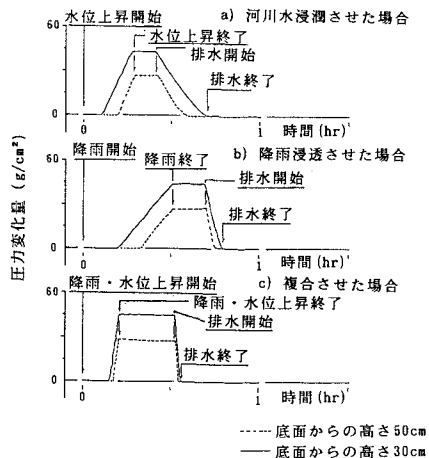


図3 大礫における間隙水圧の変化

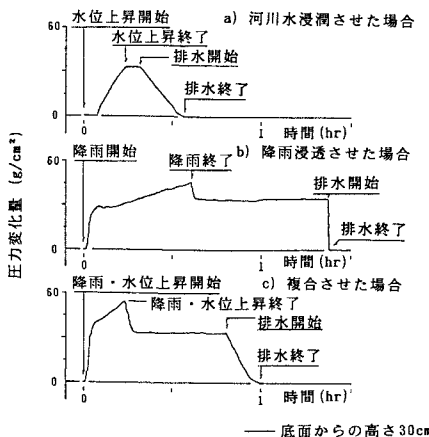


図4 中礫における間隙水圧の変化

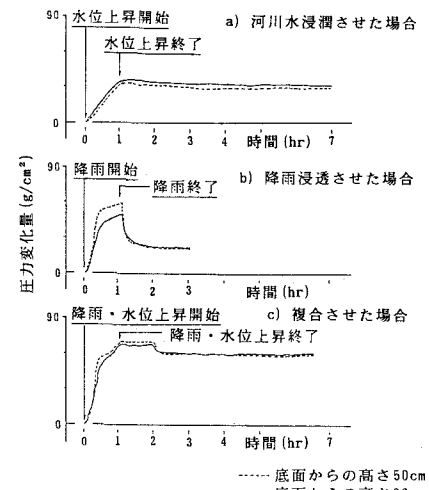


図5 珪砂における間隙水圧の変化