

III-117

河川堤防の安定性に及ぼす事前降雨の影響

日本大学生産工学部 学生会員

朱 偉

日本大学生産工学部 正会員

山村和也

1. はじめに

河川堤防のり面の破壊事例の多くは降雨浸透の影響を受けている。崩壊を引き起こすいくつかの外力要因があるが、それらの中で降雨の影響はかなり大きい。洪水時には必ず先行して多量の降雨があるのが通常であるため、これらの降雨がいつまで、どの位程度まで堤防の安定性を影響することを究明する必要がある。本論文は江戸川堤防で行われた浸透実験を実例に取り上げ、事前降雨の影響を検討した。

2. 江戸川実験堤防及び飽和-不飽和浸透解析

江戸川実験堤防は1986年3月4日に作り上げられた。築堤材料はシルト混じり粘性土で、断面は図-1のようであった。実験堤防において3年間にわたって降雨浸透実験や湛水実験などを行ったが、ここでは1986年8月4日10号台風の186mm豪雨で崩壊しなかった実験堤防が、1986年10月2日からの降雨浸透実験で降雨量105mmで浸透崩壊が起こしたことや1988年1月26日からの降雨湛水実験で241mmの事前調節降雨でのり面崩壊した事実に着目し、事前降雨の影響を追究してみた。

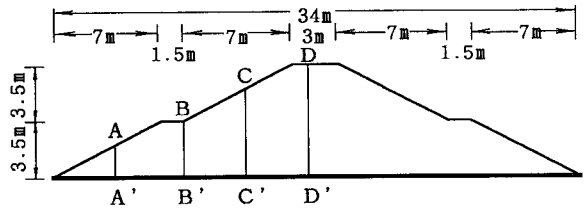


図-1 江戸川実験堤防の断面

まず、飽和-不飽和浸透解析プログラムUNSAFを用い、降雨浸透中の浸透流を有限要素法によって解析し、実測結果との比較することによって、解析に用いる諸定数の妥当性を確認した。地盤を含め堤防を438要素、472節点に分割し、透水係数は現場透水試験の結果を用い、堤防は 5.0×10^{-3} cm/s、地盤は 5.0×10^{-1} cm/s、堤防と地盤の異方性を考え、水平方向は5倍の値を用いた。さらに堤防表面からの蒸発散が2mm/dayを考え、降雨後の堤体内水分変化及び影響期間などを解析した。

3. 降雨後の堤体内水分変化

降雨パターンの違いによる降雨後の堤体内の水分変化を検討するため、表-1のようにcase-1~case-3までは同じ降雨量であるが異なる降雨強度、case-4~case-7までは同じ降雨強度であるが異なる降雨量を設定し、図-1に示すA-A'~D-D'断面における降雨後の飽和度の経時変化を求めた。

パターン	降雨強度 (mm/h)	降雨時間 (hour)	総降雨量 (mm)
case-1	5	30	150
case-2	10	15	150
case-3	15	10	150
case-4	10	2.5	25
case-5	10	5	50
case-6	10	15	150
case-7	10	25	250

表-1 解析降雨パターン

図-2は同じ降雨量で降雨強度の影響を検討した結果である。降雨直後のA-A'での飽和度や浸潤線に差があったが、60日経つとおおむね初期の状態に戻った。

図-3は同じ降雨強度で降雨量の影響を検討した結果である。降雨直後のり尻での飽和度や浸潤線は降雨量が多いほど高くなって、初期状態に戻るのにかかる時間も長くなる。

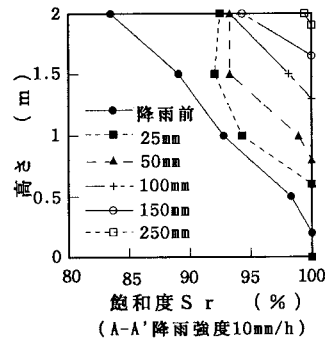
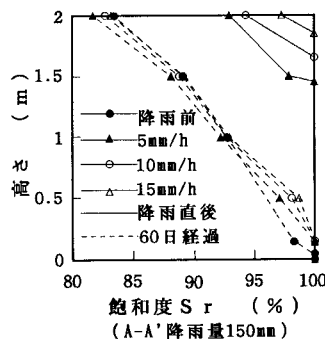


図-4は堤防中心部D-D'における降雨後飽和度の経時変化を示している。雨

図-2 降雨強度と飽和度の変化

図-3 降雨量と飽和度

が止んでから、堤防表層部は割合速く飽和度が減少していくが、浸透水が上部から浸透してくる底部では10日間までは飽和度や浸潤線が高くなり、それ以後は低下する。しかし動水勾配が小さいため、のり尻付近よりの流出が遅く、初期の浸潤線状態に戻るのに長い時間が必要となる。

4. 事前降雨の残留雨量

1つの雨が降るとその影響が一定の期間に残留する。ある時間における事前降雨を量的に評価するため、事前降雨が残った影響の大きさを等価の雨量に換算し、それを残留雨量と名づけた。計算には事前降雨として第一次降雨 R_1 を降らせ、降雨終了後、5, 10, 20, 30, 45, 60日の間隔において第二次降雨を降らす。そうして第一次降雨直後の水分状態になるのに必要な二次降雨量 R_2 をそれぞれについて求めた。残留雨量は $R = R_1 - R_2$ で表される。降雨量が降雨強度よりも飽和度の変化に大きく影響するので降雨強度10mm/hとして、降雨量を25mm, 50mm, 100mm, 150mm, 250mmと変化させて経過時間と残留雨量の関係を求めた。もちろんA-A', B-B', C-C', D-D'の位置によって、残留雨量に差が出るが、ここでは、堤防の安定性を大きく影響するのり尻(A-A')での浸潤線の高さを基準にし、残留雨量を求めた。図-5の結果によれば、事前降雨の影響は降雨の直後は比較的速く減っていくが、時間が経つに従い緩やかになる。降雨量が少ないと低減するスピードも小さい。

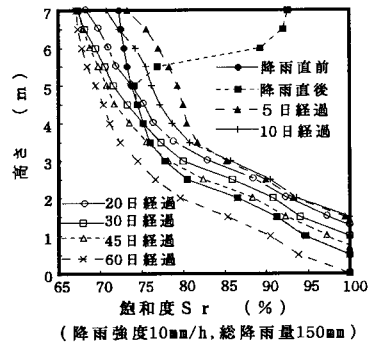


図-4 D-D'における飽和度の変化

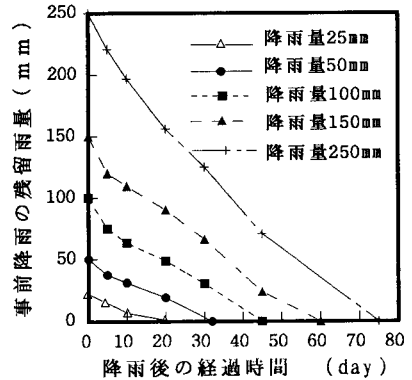


図-5 事前降雨の残留雨量の経時的変化

5. 江戸川実験堤防における事前降雨の影響

図-5の結果を用いて、江戸川実験堤防における実効雨量を計算してみた。(図-6)実効雨量とはある時点における残留雨量に降雨量を加えたもので降雨のない期間は減少する。8月4日に台風10号の大雨の影響は、降雨の少ない8月(累積雨量205mm)には一度大きく低下したが、9月の降雨(累

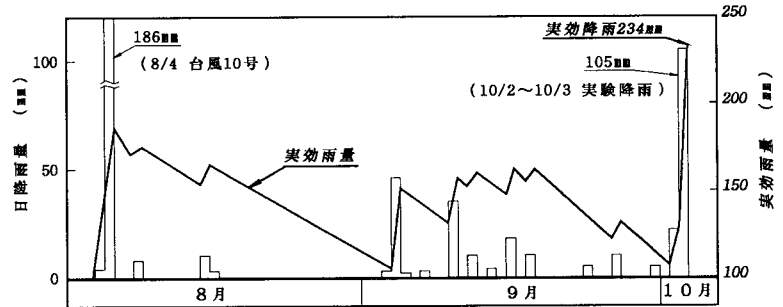


図-6 実験堤防における日降雨量と実効雨量

積雨量151mm)により再度上昇し、降雨浸透実験直前にはなお100mmを越す実効雨量が残された、それに105mmの実験降雨を加えると、実験堤防の安定性に影響した実効雨量が234mm位に達し、堤防が崩れたと考えられる。8月4日以前の6月(累積雨量136mm), 7月(累積雨量78mm)には雨量が少なく、事前降雨の影響が小さいため、186mmの豪雨でも堤防が崩れなかった。1988年1月26日に実施した降雨湛水実験では、前年の11月(累積雨量15mm), 12月(累積雨量0mm)および1月(累積雨量42mm)は降雨の少ない期間であり、前期降雨の影響がほとんどなかったため、堤防が降雨量241mmまで耐えたと考えられる。

6. おわりに

江戸川実験堤防の実験データを分析することによって、河川堤防の崩壊に及ぼす事前降雨の影響が軽視できないことが明らかになった。堤防の安定性は一度だけの降雨あるいは洪水に左右されるだけでなく、一連の外力の作用によって変動するものと考えられる。