

中部工業大学 土木工学科 正員 高田 彰
中部工業大学 大学院 学生員 ○大野 陽男

1. まえがき 一つの災害によって生じた決壊堤防をいろんな角度から徹底的に検討することは今後の堤防の安全性を高める上でも有益な方法と考えられる。この研究は、昭和51年台風17号による長良川堤防の決壊メカニズムを明らかにするために、決壊堤防の円弧すべりの安定計算、堤体漏水の浸透速度・斜面崩壊の実験、地盤漏水によるクイックサンド・パイピングの発生(実験と計算)なども検討したものである。

2. 地盤漏水 決壊現場付近の地盤はシルト層、砂層および粘土層の互層から成っていると推測されるので、この砂層からの漏水が表層にクイックサンド・パイピングを発生させるかどうかをこれまでに発表された種々の判別方法によって検討する。いま、図-7に示すように、決壊堤防をモデル化して、のり尻付近の浸透流の水頭 h_0 を見積る。

$r \in L, L = 50m, B = 50m, D_1 = 7m, D_2 = 5.5m, D = 10m, g_1 = 22m, g_2 = 15.5m, k_1 = k_2 = 10^{-4} \text{ cm/sec}, K = 10^{-2} \text{ cm/sec}, D'_2 = 2.0m$ とする。

(1) 山村・久保 (1972) の方法

以上の諸数値を山村・久柴の推算式に代入すれば、 $f_0 = 2.5 \text{ m}$ が得られる。

(2) Turnbull の (1959) の方法

同様にして、Turnbullらの推算式に代入すれば、 $h_0 = 2.9 \text{ m}$ 、漏水量 $Q_s = 0.039 \text{ l/sec m}$ 、を得

る。一方、表層がクイックサンド・パイピングを生じる限界動水勾配 h_0/z , (z :浸透経路長)は理論的には1.17~1.01, 実例では0.5程度以上の値で土砂の噴き出しが生じている。以上より、 $D_2=5.5$ mのところは、 $h_0/D_2=0.45\sim0.53$, $D_2'=2.0$ mのところは $h_0/D_2'=1.25\sim1.45$ となるので、表層の厚さ5 m前後でもクイックサンドの発生があったと考えられる。しかし、これだけでは土砂の噴き出しの程度が分らず、洪水継続時間との関連で今後検討しなければならない。

(3) Bligh (1910)の方法 クリープ比と計算すれば、 $CB = 23.6 \sim 16.2$ であり、これに対し、シルト層の安全限界クリープ比は18, 細砂の場合は15であるので、計算値は一般に限界クリープ比より大きいがフイックサンド・パイピングの発生限界付近にあることが示唆される。

(4) Lane (1935) の方法 加量クリーブ比を計算すれば、 $CL = 8.5 \sim 6.0$ であり、これに対し、シルト層の安全限界の値は 8.5、細砂の場合は 7.0 である。これらより、計算値は限界加量クリーブ比前後に位置づけられ、クイックサンド、パイピング発生が示唆される。しかしその程度は、それほど激しいものではないと推測されるが、それらについては今後の課題である。

(5) 著者らの実験 透水性地盤上の自然乾燥状態の堤体は地盤漏水によってこのり尻より崩壊

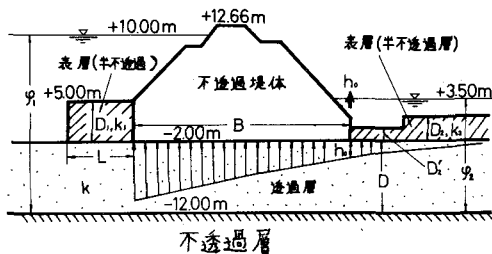


図-1 フリックサンド発生モデル化
(山村・久榮およびTurnbullの方法)

が始まり、漸次天端へと波及し地盤漏水の程度によっては決壊に至る場合もあるが、崩壊の程度が一般に緩慢であり、かなりの時間を要することがわかった。

以上(1)～(5)までの検討の結果、フックサンドの発生が示唆されるが、予想される地盤漏水の程度では決壊に至るまでには長時間を要するようで、地盤漏水が単独では決壊の原因とはなり得ず、そこには、堤防上の降雨などの誘因を考えなければ説明が付き難い。これらは過去の災害例として九州の遠賀川の決壊原因(1953)にも関連することといえよう。

3. 裏のり面の安定計算 洪水の有無、降雨の有無、池の有無が裏のり面の安定性をフェレニウス法(簡便法)を用いて検討した。計算では間隙水圧を考慮し、浸潤線以下の単位体積重量 $\gamma_2 = 2.0 \text{ t/m}^3$ 、浸潤線以上の「降雨なし」の場合に $\gamma_1 = 1.6 \text{ t/m}^3$ 、「降雨あり」の場合に $\gamma_1 = 1.8 \text{ t/m}^3$ とした。また、浸潤線は洪水位とのり尻とを直線と結び、土の特性は、「降雨なし」の場合の粘着力 $C = 2.0 \text{ t/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi = 35^\circ$ 、「降雨あり」の場合には $C = 0 \text{ t/m}^2$ 、 $\phi = 20^\circ$ とする。

(1) 洪水時の場合 円弧すべり面が矢張り、小段、天端(表のり面)を通ると仮定して、安定計算を行い最小の安全率を求めた。その結果、「池(堤内地のり尻付近)あり」の場合の「降雨なし」とときの安全率 $F_s = 2.56 \sim 3.16$ 、「降雨あり」の状態では $F_s = 0.77 \sim 0.85$ と著しく減少する。「池なし」の場合の「降雨なし」とときの F_s は $2.92 \sim 4.65$ であり、「降雨あり」の状態では $F_s = 1.01 \sim 1.07$ に減少する。このように、堤防高さの相違による安全率がかなり異なるとともに、降雨による安全率の低下の著しいことがわかる。これらの結果は、宇野ら(1973, 1974)の研究とほぼ同一傾向にある。

(2) 平水時の場合 「池あり」で「降雨なし」の状況では $F_s = 3.06 \sim 3.43$ 、「降雨あり」の状況で $0.88 \sim 1.10$ となる。一方、「池なし」で「降雨なし」の状況では $F_s = 4.08 \sim 4.44$ 、「降雨あり」の状況で $1.26 \sim 1.37$ となる。これらの結果は南部・川瀬・杉浦(1965)の研究とほぼ同一傾向にある。以上より、洪水時は平水時に比べ安全率が低下し、降雨のある場合には更に低下することが決壊に大きく関係していると考えられる。

4. 堤防上の降雨実験 堤防上に降雨を考えない場合の堤体漏水の実験ではパイピング作用が弱く、裏のり面の崩壊が途中で平衡に達するか、あるいは決壊まで波及するには120日以上(以上)の長期間の水位の継続が必要であることがわかった。一方、堤防上に降雨を考える場合の堤体漏水実験ではのり尻付近の崩壊速度はかなり速いが、流動した土砂の勾配が緩くなるにしたがい、崩壊速度は減少する傾向にある。堤防上の「降雨あり」の実験は「降雨なし」の実験と比較して急速に崩壊が進み、決壊にまで至るが、それにしても20～30時間(以上)かかり、実際の決壊当時のような急激な崩落・地すべり現象は見られなくて、現象そのものは緩慢である。したがって、堤防上の降雨の影響の他に、地盤漏水、粘土コア材などの誘因・要因が競合していると考えられる。

5. あとがき 堤防上の降雨を考えない条件の地盤漏水の実験および地盤漏水を考えない条件の堤体漏水の実験は、いずれも決壊に至るまでの時間がかなり過ぎることがわかった。したがって決壊メカニズムとして、降雨浸透、堤体漏水、地盤漏水などの誘因が競合した現象として推論できる。なお、地盤漏水によるフックサンド・パイピングの発生限界とその程度と時間の関数として推算する方法が今後の研究課題となろう。本研究は昭和51年度卒業生(小笠原、楢垣、太田、植村、田中、仙田)、昭和52年度卒業生(河村、佐々木、佐藤、伊藤、野呂、西井)諸君の絶大な助力を得た。