

土木研究所 正 山本祐二
正 吉野文雄

1. まえがき

河川の土砂堤防は越流に極めて弱い。堤防は本来越流を考慮していないので、異常出水時の越流に対して破壊する事例が多く、災害を助長する要因ともなっている。しかし適切に管理され表面植生をもつ堤防等では長時間の越流に対しても耐えて、災害を減少させた事例が見られるので、越流に対して強い堤防を建設することが減災に有効であると考えられる。本研究では堤防の越流に対して、土砂堤を強化するのに必要な対策を中心課題としている。ここでは特に越流水による堤体法面の浸食状況の把握を中心として実施した実験を中心にしてその問題を要約して報告する。

2. 実験方法

実験では高さ0.4m、幅0.2mの堤防模型を使って、堤体材料の密度、含水比、越流量そして法面勾配を変化させて実験を行ない、これらの因子が法面の浸食現象にどのような関係しているかを調査した(表-1)。また天端および法面の被覆土の効果が浸食速度や浸食形状にどのような現れられるかを調査した。

実験に使用した装置は片面アクリル張りの水路で、模型製作区間の1.8mを幅60cmから20cmに狭めてある。流量は上流に設けてある三角ゼミにより流量を条件を与えた。模型は小段を有する堤防を、1割と2割勾配の2種類についてアクリル区間中央に製作した。製作にあたっては、乾燥密度を指標として20cmの正方厚板を4.5kgのハンマーで打ち突き固めた。高さ40cmの堤防を4層に分けて、1層の柱上がり厚が10cmになるようにした。ここにハンマーによる打撃回数は、あらかじめ打撃回数と乾燥密度との関係を調べておき、その関係を目安にして突き固めた。

実験中の堤防材料がどのような物理的性質をもっているかというのは、実験直前の堤防の表小較より試料をサンプリングし含水比、乾燥密度を求めて、この2つの値によって代表させた。

判定項目は越水深と越流水による法面の浸食状況である。浸食状況については、アクリル面側から水平に35mmカメラで3~4秒間隔で、8mmカメラでは連続撮影を行なった。

実験に使用した土の種類については、高水数振別土(三角座標分類による分類では砂質ローム)で、土の物理的性質、力学的性質は次の通りである。

- ・均等係数 $U_c = 2.6$
- ・空気間ゼキ率 $U_a = 16.6\%$
- ・最適含水比 $W_{opt} = 25.1\%$
- ・最大乾燥密度 $\gamma_{dmax} = 1.42 \text{ g/cm}^3$
- ・粘着力 $C = 0.02 \text{ g/cm}^2$
- ・透水係数 $k = 3.1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$

実験用土を一般の堤防材料の粒度分布(図-1)と比べると代表的な粒度曲線の範囲には入っているが、加積曲線が立っていること、 $U_c = 2.6$ であることからかなり均一な粒径であることを示す。 $U_a = 16.6\%$ は一般の砂質ロームより間ゼキが大きい。 γ_{dmax} のときの透水係数は $k = 3.1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ で透水性が低い。

3. 実験結果

ケース	含水比	乾燥密度	勾配	流量	de/dt	dA/dt
7	14.00	1.2	1	2.65	2.10	9.10
8	15.41	1.11	1	5.10	14.28	14.28
9	17.07	1.19	2	2.65	0.226	5.33
10	20.73	1.23	2	0.972	9.64	
11	25.80	1.00	2	0.115	6.83	
12	18.62	1.12	1	5.10	0.235	11.77
13	15.52	1.10	2	0.124	12.64	
14	18.97	1.14	2	0.433	27.63	
15	25.04	1.24	2	0.115	5.32	
16	23.28	1.31	1	2.65	0.079	1.11
17	26.36	1.27	2	0.115	6.87	
18	26.42	1.27	2	5.10	0.267	11.50
19	27.22	1.12	2	2.65	0.050	6.75
20	28.20	1.12	2	2.65	0.358	9.84
21	24.04	1.33	2	5.10	0.132	2.66
22	27.22	1.40	2	2.65	0.358	9.84
23	27.87	1.43	2	5.10	0.132	2.66
24	26.61	1.32	1	2.65	0.079	1.11
25	26.00	1.07	2	5.10	0.132	2.66
26	22.15	1.04	2	5.10	0.132	2.66
27	23.37	1.00	2	5.10	0.132	2.66
28	25.50	1.04	2	5.10	0.132	2.66
29	24.21	1.00	2	5.10	0.132	2.66

表-1 実験ケース一覧表

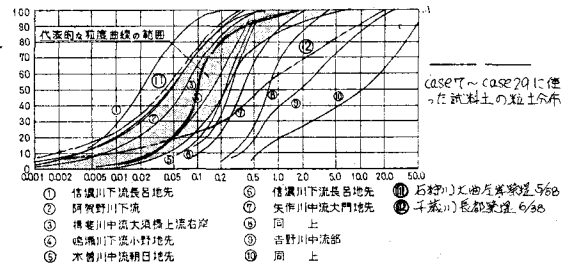


図-1 粒径加積曲線

越流水による浸食量は、2次元実験であるので、水路のアクリル側から観測できる浸食面積 A で表わす。図-2は横軸に越流時間 t 、縦軸に A とし流量、乾燥密度がどの程度浸食量に関与するかを見たいのである。これから推測できることは、浸食速度が越流量 Q と乾燥密度 γ_d に大きく支配され、 Q が大きいほどそして γ_d が小さいほど速い傾向にあるということである。実験は case 7~case 24 の18回行なっているが、浸食実験の際に土がアクリル面に付着し2次元的な現象とならなかつたため正確に観測できなかったケースがある。これらについては図から削除した。

法面勾配が1割と2割の堤防については、1割堤防の初期の浸食速度とその後の浸食速度が変わらないのに比べ、2割堤防の浸食速度は初期の浸食速度が遅く、時間の経過に伴ってやや早くなる傾向にある。

1割と2割の堤防の浸食速度が、通水初期ではその増加過程が違っているものの、通水20秒以後は大体定式で表わせるようである。

$$A = Kt \quad (1)$$

浸食速度は(1)式を t で微分したもので $dA/dt = K$ (2) となる。 K の値は流量と乾燥密度に大きく支配される傾向があることから、 K を単位幅越流量で無次元化し、

$$\frac{dA/dt}{\beta_0} = \frac{K}{\beta_0} = K' \quad (3) \quad \text{とある。}$$

さらにこの値が乾燥密度 γ_d にどのように影響を受けるかを検討するために、図-3のように縦軸に K' を、横軸に γ_d をとって傾向を見た。この図からは、堤体の密度が大きくなると法面の浸食速度は遅くなることがあ

えられる。

法面の被覆工の効果

を調査するため、

case 25~29の5

回実験を行なった。

図-4は被覆工を変

えたことによる浸食

速度を10, 20,

30, 40, 50秒後の浸食形状を要線に記入している。実験では各々乾燥密度が違うために量的な比較はでき

ないが定性的に「浸食域は被覆工の下流側に移り時間が経過しても被覆工の裏側まで浸食される事はない」という傾向がある。従って天端として法面の被覆範囲を抜げるほど、堤防の越水に対する安全度を高くすることになる。しかし天端被覆をせずに法面被覆だけ行なった case 29は、法肩で渦を生じ時間の経過に伴って被覆工の裏側まで水が流れる。実際の現場では肩に渦を生ずるような状況下では、被覆工本体が崩壊するであろう。

今後は、実験用土の種類を変えて実験を行ない、今回報告した浸食特性と比較することにも、天端および法面に植生がある場合の越流実験によって越流水に対する植生の耐越水効果も研究する予定である。

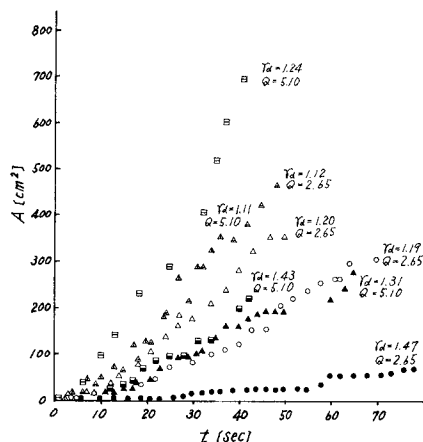


図2. $t-A$ 曲線

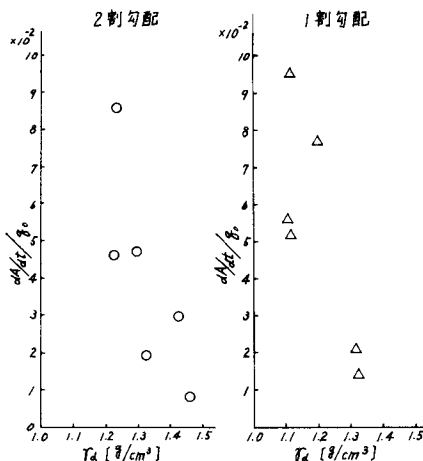


図3. $t-dA/dt$ 曲線

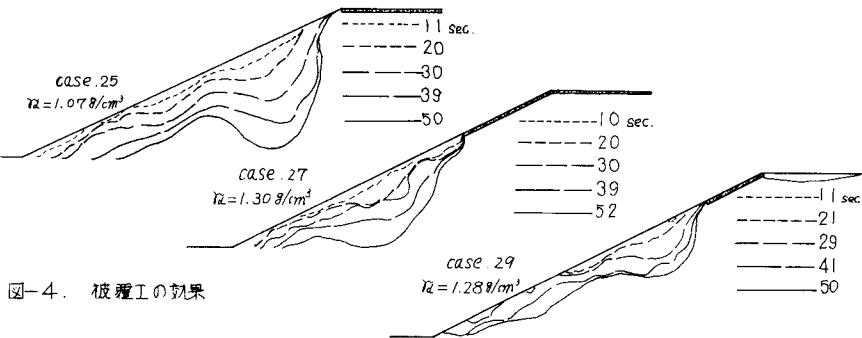


図-4. 被覆工の効果