

土木研究所 ○山村和也

久楽勝行

1. まえがき; 河川の氾濫による災害は, 河川改修工事の進捗によって近年減少してきている。しかし, 土砂で作られた堤防は本質的に水に弱いという欠点を持っており, 特に河川改修の進んでいない中小河川では, 異常出水による越流破堤などの危険性はいぜん残っている。さらに治水経済調査などの結果からも明らかなように河川流域の経済活動が活発化し, 河川の氾濫区域内の国富がいちじるしく増加してきている。これは, 一度氾濫を起こした場合の想定被害額の増大を意味し, 流域の開発による洪水流量の増大とともに, 水害の危険性が増していることに他ならない。このような情勢を考え, 堤防の補強に関する一試みを述べるが, まず堤防補強の必要性について述べたのち, 実施した補強堤防の越流実験について説明する。

2. 破堤の原因; 堤防が出水時に破堤する原因にはいろいろのものがあるが, 重要なものに越流, 洗掘, のり面崩壊, 漏水などがある。戦後, 直轄河川の堤防が破堤したもののうち, 資料の全くないものを除き, 原因別に整理してみると表-1

のようになる。のり面崩壊, 漏水をまとめたのは堤防の裏側の方に弱点があったという意味で, 1つにしてある。この表からもわかる

ように破堤原因の大部分が越流であって, 越流による堤防破壊を防止することができれば, 氾濫の大半を阻止しうることになる。

3. 河川堤防の破堤の確率; 堤防の強さを R , 作用する破壊力を S とする。 R および S ともに, その大きさにはいろいろのものが組み合されており, 確率変数として変化するとする。 S , R の確率変数をそれぞれ $\phi(R)$, $\psi(S)$ とすれば, 破壊の確率は

$$P_F = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(S) \int_{-\infty}^S \phi(R) dR dS \quad \text{----- (1)}$$

となる。

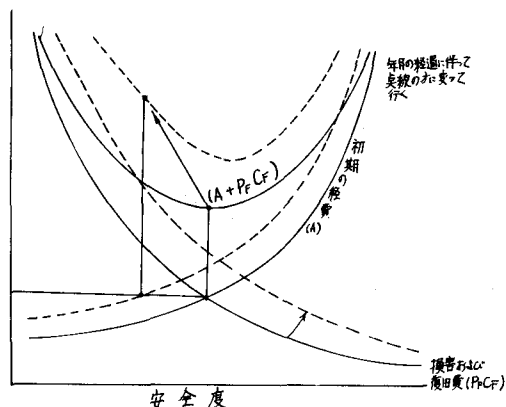
4. 経済的見地からの安全度; 堤防を補強すれば, 当然堤防の破壊の確率は減少する。しかし, その補強が経済的に投資額に見合うものでなければならぬ。*Freudenthal*は破壊の確率を構造物の建設費用と破損することによって必要となる費用(復旧費, 被害額)の和が最小になるように決めていこうとする考え方を示したが, この考え方を河川堤防にも当てはめてみる。すなわち

$$\left. \begin{aligned} A + P_F C_F &\longrightarrow \min \\ \frac{dA}{dP_F} + P_F \frac{dC_F}{dP_F} + C_F &= 0 \end{aligned} \right\} \text{----- (2)}$$

ここで A ; 初期の経費, C_F ; 破壊によってもたらされる費用

堤防のような防災構造物では, その経済効果の算定は極めてむづかしいが, (2)式の関係を示すと図-1のとおりである。これは, ある時点での関係と解されるが, 氾濫区域の国富の増加 Δ , 流量の

増大などの現象が生じているため、年々 $P_r C_f$ および A の線は移動していく。すなわち氾濫区域内の資産の増加は C_f の増加に、また流量の増加は破壊確率の増加ないしは安全度の低下という形ではなかってくる。すなわち実線で示す曲線にかわって経いくと考えられる。過去において経済的に最適な堤防も、現時点では安全性が下るわけで堤防の補強が必要となる。破壊原因で述べたように越流による破壊が多いことから、多少の越流による破壊防止の補強をするだけでも効果が期待できそうなので、次に述べるような堤防補強に関する試みを実施し、補強効果を確認めた。



5. 高分子布による堤防の補強工法； 越流に 図-1 妥当投資の考え方

よって堤防が破壊する状況を考えてみると、まず堤防を越えた水が堤防裏のり面を洗い流し、天端のり肩の部分から破壊が始まる。のりの一部が洗掘されると越流水はその部分に集中し、ますます洗掘は加速されていく。そうして堤防は次第に裏側より痩せていき、遂には全面的な崩壊に到る。堤防の天端を越える流れがたとえ起ったとしても、堤体が全面的に破壊されずにすめば被害も僅少ですむと考えられる。特に中小河川では洪水時間が短かい上、広範囲の堤防から越流するのならば、1箇所での越流流量自体も大した量にならないと思われる。そこで越流堤のように堅固な構造でなくても、越流に対して堤防の補強がある程度期待できれば、水害による被害防止効果はかなりあがると考えられ、取りあえず施工容易で低廉な補強工法を考案した。この補強工法は堤防の土羽土の下に高分子材料で織った布を埋設しておき、洪水時にたとえ越水が起っても、洗掘を高分子布で食い止めるというものである。復旧堤防あるいは重要な個所の堤防などに応急的に施工し、堤防の安全性を増す効果を狙っている。高分子布は一般に紫外線に弱い、地中に埋設した布の耐久性は大きく、ほぼ半永久的にその強度を期待することができると言われている。高分子布を敷いた斜面上に土羽を施工し、その表面には普通の堤防と同様に植生で保護する。しかし、高分子布を埋設した斜面では雨水などの作用により土羽土が崩落しないか、植生の生育が布の存在によって妨げられないかなど解明を要する点がある。このような考えで補強した堤防に対して越流を起こさせ、堤防斜面の洗掘状態を調べる実験はすでに42年に土木研究所構内で実施し、布の効果は一応確かめられている。今回の報告は、実際の工事における布の埋設方法および補強を施した堤防の堤体内に浸透水を作用させた実験の洪水時に近い条件での補強効果などについて実物大の堤防越流実験で検討した結果を述べたものである。

6. 実験に用いた補強堤防；

実験堤防として、揖斐川と牧田川の合流点の導流堤を使用した。図-2は試験箇所の堤防断面である。高分子布は天端の上部から堤防のり先5m外側まで

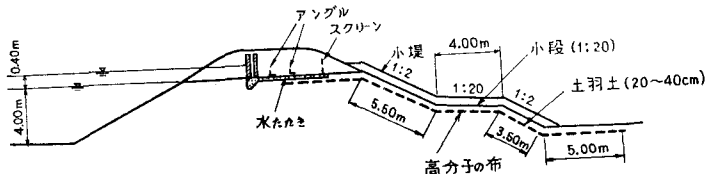


図-2 実験堤防断面図

延長して設置した。また実験堤防の前面には越流させる水を貯めるために図-3に示すような反梯切堤を築造した。同図に示すように越流を起こさせ、実施する箇所を5箇所設け、表-2に示すような条件に作り上げた。強度の異なる高分子布を2種類用い、土羽土の厚さを20cm~40cmの範囲に変えて実験を試みた。試験箇所の幅は4mで天端に水門を設け、ゲートの操作によって、越流量を調節した。また堤体には、多孔管、アルミ管、および間隙水圧計を埋設して、浸潤線、含水比、密度、間隙水圧の変化を測定した。

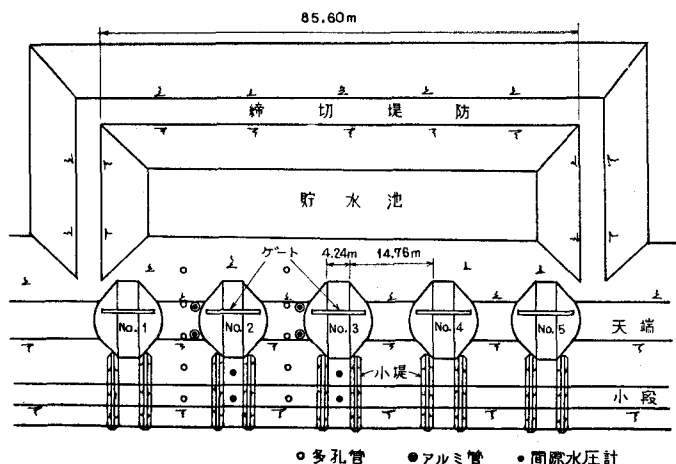


図-3 実験堤防平面図

区分	高分子布の種類	上羽土の厚さ
NO 1	なし	30 cm
NO 2	# 300	20
NO 3	# 300	30
NO 4	# 300	40
NO 5	# 700	40

なお #300 は 平糸 12本×12本/1m² 打込み
引張強度 120~130 kg/5cm
引裂強度 25~30 kg
#700 は 平糸 16本×16本/1m² 打込み
引張強度 150~170 kg/5cm
引裂強度 40~50 kg

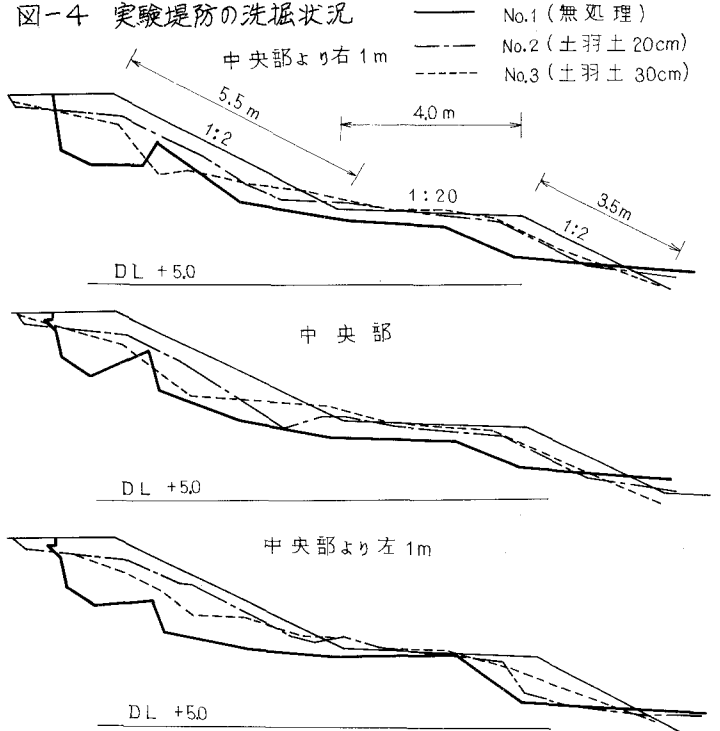
表-2 実験箇所の区分

て、実験に使用した材料、実験堤防に使用した材料は付近の山を掘削して採取した、いわゆる山土である。最大径30cm程度の岩塊を含むかなり荒いスキマじりの土砂である。有効径 D_{10} は0.05mm程度の粗粒材料であるため透水係数は大きい。直径60cm、深さ60cmの供試体で、最大径を5cmにおさえ、乾燥密度 $\rho_d = 1.867 \text{ t/m}^3$ で行なった透水試験結果では透水係数 $k = 1.9 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ の値を示した。実験堤防の乾燥密度は 1.95 t/m^3 で値は大きい、大きい岩塊を含んでいるため、透水係数は同程度と判断される。越流させる水を貯める貯水池を作るために実験堤に平行に築造された反梯切堤防は現地の高水敷に広がっている河床土を用いて作られたもので透水係数は小さく、止水性は大きい、反面含水比が高く、シルト分の多い取り扱いにくい土であった。土羽土の下に埋設した高分子布はPPFシート（ポリプロピレンの布）と呼ばれているもので、PPFの平糸を織って作った布である。PPFシートを選んだ理由は軽量で、めわらかく、折りたたみが簡単にでき、取り扱いが容易なこと、伸び率が小さく、引張り強度が大きく、破損しにくいこと、耐水性、耐アルカリ性、耐酸性で半永久的にその強さを失わないこと、平糸を荒く織った布であるため透水性も大きく、周囲の土になじみ易いことなどがあげられる。

8. 越流実験； 実験では種類の異なるのり面について順次、越流実験を繰り返し、流下する水によるのり面の洗掘状況を観察した。各実験ともまず実験堤防前面の貯水池に水をためた後、天端に設置してある水門のゲートを引き上げ、4mの幅を持つのり面に最大 0.5 m/sec の水を流下させた。これは川の水位が天端の高さよりも約20cm上昇したときに生ずる越流量にほぼ匹敵すると考えられる量である。また実験開始前の貯水池へのたん水の段階ですでにかなり激しい漏水が起こった。この状態での越流実験であったので、実際の洪水時に予想される漏水を併発したかなり厳しい条件の実験となった。実験中、越流水によってのり面はひどく洗掘され、無処理区間の実験では越流時間がわずか9分

30秒で堤体が大きく洗掘され、全面崩壊の危険が起こったため、越流を中止した。このため補強工法を施した区間についても一応9分30秒で打ち切り、いったん洗掘状況を測定したのち、さらに越流を継続させた。

9. 実験結果； 図-4は越流開始後9分30秒経過したときののり面の洗掘状況を示したもので、無処理ののり面と比較すると高分子布の埋設効果がはっきりでている。無処理の場合にはのり肩部の洗掘が特にひどく、小段の洗掘は少ない。このことから小段の存在が洗掘防止に有効であることが認められる。高分子布のある場合には斜面の洗掘も少なく、また小段の上ではほとんど洗掘は認められない。表-3は洗掘土砂量を比較したもので、実験前と実験後に



実験で越流させた4mの幅について横断および縦断測量を行ない土砂量を求めたものである。洗掘土砂量は高分子布より上の部分と下の部分に分けて求めてある。無処理区間についても、高分子布の存在を想定して、布の下部分に相当する位置の洗掘土砂量を算出し、それぞれの高分子布の下部分の洗掘量と比較して洗掘防止の効果を表わしてみた。

表-3 洗掘土砂量の比較

試験区分	① 洗掘土砂量	② 布の上部	③ 布の下部	④ No.1洗掘に對し布を仮想して求めた洗掘量	⑤ ④/①
No.1	28 m ³	— m ³	— m ³	— m ³	—
No.2	18	10	8	19.1	0.42
No.3	18	12	6	16.3	0.37
No.4	21	15	6	13.1	0.46

高分子布の埋設深さより、下の部分の洗掘土砂量は無処理の場合に比べて半分以下になることが明らかになった。高分子布の一部は水と共に流下する土砂によって破れたり、高分子布を堤体に固定している止め金が飛んだりしたが、以上の結果より、高分子布の損傷が多少起こってものり面効果は持続するので、越流時間が比較的短い場合には、堤体の全面崩壊を防ぐ上にかなりの効果が期待できることが明らかとなった。

10. 結語； 建設省で実施している経済調査の結果などから、国土を災害から守り、治水効果を十分あげるためには治水投資がますます必要なことを論じ、その一環として堤防の補強の重要なことを強調し、堤防の安全性について再検討してみた。また中小河川の場合、越流時間も短いため、高分子布を埋設したような補強が施してあれば全面的な破堤に到らずにすむ場合も少なくなく、重要な堤防や築造間もない堤防の強化に有用しうると結論づけた。本実験は建設省中部地方建設局木曽川上流工事々務所、名古屋技術事務所と協同して行なったもので、各関係の方々に謝意を表したい。