

近畿大学理工学部
熊野工業高専

中野 坦
杉山 武司

1 まえがき

半不透水性の表土に被われた透水層をもつ地盤に堤体を造るとき、洪水時に堤内地でパイピングが生じることがある。そこで、透水層が比較的薄い場合の水理学的考察を行ない、その結果を実験によつて検証した。

また、パイピングの防止対策として、堤体下部に矢板を打設することが一般に行なわれるが、その効果についても考察を行なつた。

2 水理学的考察

図-1に示すように半不透水性の表土と比較的薄い透水層からなる二層地盤について考察する。

表土と透水層の厚さは、それぞれ d' 、 d 、透水係数を k' 、 k とする。X 軸を地表面にとり、Y 軸を堤体底面の中央にとると、 $-(L+B/2) < x < -B/2$ の部分では半不透層に下向きの流れが起こり、 $x > B/2$ の部分では、上向きの流れが起こる。また、堤体下部 $-B/2 < x < B/2$ では、上下流とも起こらないとする。

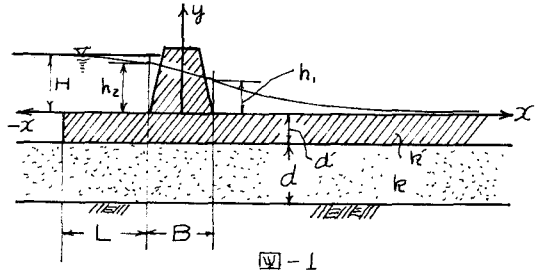


図-1

このように、条件のまったく異なつた3つの部分で構成される透水層の水位曲線を求めれば、堤内地のノリ先きにおける水位 h_1 からクイックサンドが生じるか否かを判定できる。

$$-L < x < -B/2 \text{ の水位: } - \frac{d^2 y}{dx^2} - \alpha^2 y + \beta = 0 \quad \text{ここに、} \alpha = \sqrt{\frac{\alpha'}{d k k'}}, \beta = \frac{k' H}{k d \alpha}$$

を境界条件、 $x = -(L+B/2) \rightarrow y = H$ 、 $x = -B/2 \rightarrow y = h_2$ のもとで解くと

$$y = H + \frac{h_2 - H}{e^{\alpha B/2} - e^{2\alpha(L+B/2)}} \left(e^{-\alpha x} - e^{2\alpha(L+B/2)} \cdot e^{\alpha x} \right) \quad (1)$$

$$-B/2 < x < B/2 \text{ の水位: } - \frac{d^2 y}{dx^2} = 0$$

を境界条件、 $x = -B/2 \rightarrow y = h_2$ 、 $x = B/2 \rightarrow y = h_1$ のもとで解くと、

$$y = \frac{h_1 - h_2}{B} x + \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (2)$$

$$B/2 < x < \infty \text{ の水位: } - \frac{d^2 y}{dx^2} - \alpha^2 y = 0$$

を境界条件、 $x = \infty \rightarrow y = 0$ 、 $x = B/2 \rightarrow y = h_1$ で解くと、

$$y = h_1 e^{-\alpha(x-B/2)} \quad (3)$$

水位曲線の連続性から、 $x = -B/2$ と $x = B/2$ の各接点において、両曲線の微分係数が等しくなければならない。この条件によつて、堤内地のノリ先きの水位 h_1 を求めると次式が得られる

$$h_1 = \frac{H}{1 + \alpha B - 1/\xi} \quad (4)$$

$$\text{ここに、} \frac{1}{\xi} = \frac{1 - \exp(-2\alpha L)}{1 + \exp(-2\alpha L)}, \quad \alpha = \sqrt{\frac{k'}{k d d'}}$$

(4)式によつて、 h_1 を算定すれば同位置におけるクイックサンドに対する安全率は、

$$F = \frac{\gamma' d}{\gamma_w h_1}$$

ここに γ' = 表土の水中単位体積重量

3 検証実験

(4)によつて得られる理論値を検証するために、模型実験を行なつた。実験に使用した水槽は側壁にポテンシャルを測定するためのスタンドパイプを有するもので、寸法は500×500×5000である。実験に使用した土は、透水層に対応するものとしてコンクリート用の細骨材のうち0.42mmフルイに残留するものを、また、表土に対しては標準砂を用いた。各層の厚さは共に10cmとし、間ゲキ比の測定結果から透水係数を推定した。堤体模型は粘土で底面幅 約30cm に仕上げた。なお、使用した水槽が短いこともあつて、堤外地の半不透水層を取り除いた状態、すなわち、 $L=0$ の条件で行なつた。実験の開始前に諸数値を測定し、(4)式の $L=0$ の場合に対する式、すなわち $h_1 = H / (1 + \alpha B)$ によつて検証した。

実験の初期段階(H が小)では、理論値と実測値とがほぼ合致するが水位の上昇と共に、その差が大きくなることがわかつた。この原因は実験を継続していくと、上昇流のために表土がゆるんで、その透水係数 k が次第に大きくなるためであろう。(図-2参照)

このことは、実際の現場においても当然起こるものと思われるから、現地盤の透水係数 k' で設計すれば充分な安全率を持つものと思われる。

4 矢板の打設によるパイピングの防止効果

堤内地のパイピングを防止するために、堤体下部に矢板を打設することが行なわれる。この場合、下部の不透水層まで矢板を打込めばよいが、経済的な理由もあつて、透水層の途中で打ち止める場合も少なくない。

矢板を打つことの本来の目的は、透水距離を長くすることにある。すなわち、矢板の打設は(4)式中の B の値を大きくすることであり、それによつて h_1 を低下させる。そこで、矢板を透水層の途中で打ち止めた場合の効果調べることとした。

いま 堤体下部の透水層の流れは各部において、水平な平行流れを起こすものと仮定する。そして、その一部に矢板を打ち込んで水平流れを遮断するとき、矢板打設によつて生じる透水距離の増加量を B 、矢板の貫入長さを D とすると次の関係式が得られる。

$$B = 2 \eta D$$

ここに、 $\eta = D/d$ によつて定まる定数

そこで、 η 値をリラクゼーション法によつて算定し、その結果を図-3に示す。なお、図-3は水平方向の透水係数 k_h と、鉛直方向の透水係数 k_v とが等しい場合に対するものであるが、 $k_v \neq k_h$ の場合には、図-3の η 値に $\sqrt{k_h/k_v}$ を乗じたものとなる。

