第十四章　防波堤計算論

第一節　直立部の計算

防波堤の横斷面は、先づ波浪に抵抗して、安全でなければならぬ、從て波力と堤體斷面との計算は、極めて重要である、殊に直立堤或は混成堤に於ける直立部の計算法は、比較的信賴し得るが爲め多く用ひらるゝ、次に混成堤の下部に當る捨石部に就ても計算の方法がある、然し直立部の算式の如く確實でないが爲に、多くは環境の相似たる他の實例を參照して設計せらるゝ、又捨石堤の計算は一層不完全の爲めに、主として實例と經驗とに依つて、其の斷面を決定する。

直立部計算順序　直立部に於ける設計計算の順序を述ぶる。

先づ堤體の概略の斷面を假定して、之が各部の重量等を計算する、次に其の重量と構造とを以てして、最大の波力に抵抗し、後に述ぶる算式を用ひて、轉倒(Overturn)、滑動(Sliding)、耐支(Bearing power)の三要項に就て、安全の可否を檢算する。

其の際に、斷面に大なる過不足なく安全ならば、設計の計算は完了するのであるが、若し當初假定の斷面が不充分なる時は、更に斷面の一部を增大し、或は過大ならば斷面を縮小して、再び同じ樣な檢算を行ふ、かゝる計算を繰返して、漸次安全にして、經濟的の斷面へ近づけるものである。

〔註〕　直立部の堤體に受ける最大の波力を求むるには、既に第三章第二節に述べた如くにして、防波堤の築設の箇所に起る最大の波高(h)を計算推定する。

更に此の波高を、第三章第三節の諸公式へ代入して、堤體側面の單位面積へ直角に當る波力(p)を求める。

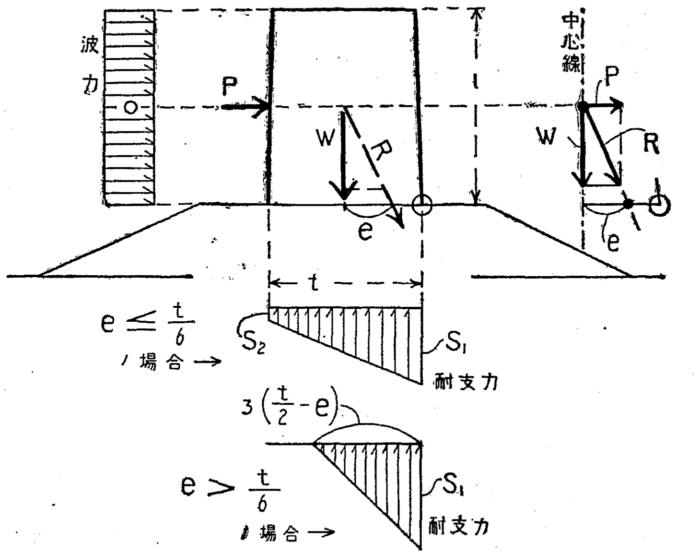
次に此單位面積(例へば $1m^2$)の波力が、直立の堤體の全高へ、均一の大さで働くものと假定して、檢算せんとする基面上の全高へ働く最大の全波力(P)を算出する。

言ふ迄でもなく、防波堤の計算は、防波堤の長手に於て單位長(長 $1m$)に就て、總

ての計算を行ふものであるから、此全波力も前の重量も總て、防波堤の長手に於て單位長に仕切つたものゝ、波力と重量とである。

又直立部の全高へ働く波力を、前記の如く均一と假定するのは、洵に安全で適當と考へるが、特に深い場所で、直立部の大なる特別の場合には、或は、第三章第三節の註に述べた如く、干潮面以下の波力を、直線狀に次第に減じて、海底に於て、之を零に結んで、全波力を求むる人もある。

直立部の算式 直立堤或は混成堤に於ける、直立部計算の要點は、前述の如く轉



直 立 部 計 算 圖

倒、滑動、耐支、の三項に就て安全の可否を檢することであるが、其の中で、轉倒に就ては、堤體重量と波力との合力 R が、堤底の中に落つるならば、安全である。 次に滑動と耐支とに就ては、下に示す式の關係が成り立てば、安全である。 尙ほ詳細は、例題を參照されたい。

滑 動 $fW > P$ ……………………………………(1)

耐 支 $q > S_1$ ……………………………………(2)

記號 P 堤體全高の側面へ働く最大の波力

W 堤體の重量、但し浮力を差引きたるもの

f 堤底と捨石面との摩擦係數、約 0.6~0.7 である

S_1 堤底後端に起る最大壓力

S_2 堤底前端に起る壓力

e W と P との合力 R が底邊と交叉する點より、底邊の中央までの距離

q 堤底後端の基礎の許容耐支力

尙ほ (2) 式に用ひた S_1 は、擁壁等の基礎計算等に屢々用ひらるゝ算式を利用すればよい、卽ち合力 R と底邊との交點の位置が、ミツドルサード以內に在る場合、換言すれば $e \leq (t \div 6)$ の時には、次式を用ひる

$$S_1 = \frac{W}{t}\left(1+\frac{6e}{t}\right) \qquad S_2 = \frac{W}{t}\left(1-\frac{6e}{t}\right)$$

然るに若しミツドルサード以外に出た場合、卽ち $e > (t \div 6)$ の時には、次式を以て S_1 を求める。

$$S_1 = \frac{4W}{3(t-2e)}$$

其の際に堤底後端 O 點から表の方へ向ひ $3\{(t \div 2)-e\}$ の所で壓力は零となるものとして、圖の如き壓力の分布を畫く。

〔註〕 防波堤の計算に於ては、岸壁、護岸等の計算と異なつて、之が外力は、唯だ波の水平の力のみであるが爲めに、(1) 式、或は S_1 S_2 の式へ W と P とを其のまゝ用ひ得る。 但し岸壁、護岸の場合には、合力 R の垂直分力 V と水平分力 H とを用ひた方が、一般的の形となる（第二十章第二節參照）。

〔註〕 堤體の轉倒 (Overturn) を檢するに當つて、合力 R が、堤底以內に落つる場合、卽ち圖に向つて O 點より左方に R が來る時には、O 點卽ち堤底後端を中心とした廻轉力率が、左廻りとなつて、堤體に轉倒の虞が無い。 然るに、若し O 點より外へ R が出る時は、其の廻轉力率が、O 點に對して右廻りとなつて、堤體を後へ倒すことゝなる。 卽ち轉倒の安否は、既述の如く合力 R が堤底內に在ると否とに依つて定まるの

である。

尙ほ、合力 R が堤底內に落つる事を、强て式で表はせば、次の如くなる（尙ほ詳細は、例題 2 を參照されたい）。

$$e<\frac{t}{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

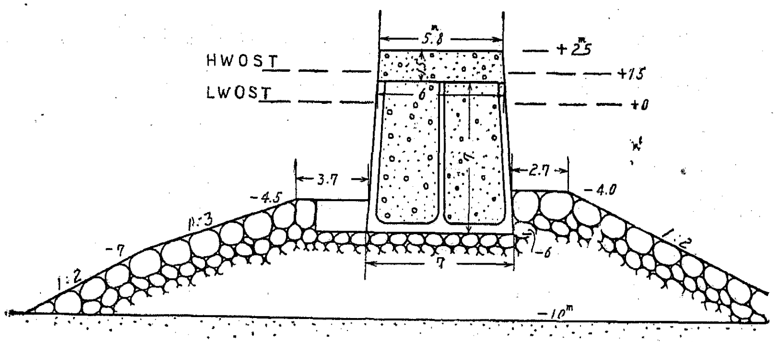
但し普通は、此算式を用ひるまでもなく、既述の如く圖を見て、直に轉倒の安否を斷定してよい。

〔註〕 滑動公式 (1) の起因する理由を說明する、元來堤體の滑動 (Sliding) は波力 P が水平に壓する力に依つて、後ろへ滑り出すものである、而して之に抵抗する力は、底面の摩擦に外ならない、然るに此摩擦抵抗力は、堤體の重量 W へ、底面の摩擦係數 f を乘じたものであるが故に、fW が P より大ならば、滑動に對して安全の理である、卽ち $fW>P$ ならばよい。

〔註〕 耐支公式 (3) の起因する理由を說明する、堤底の中で最大の荷重を起す所が後端であるは言を俟たない、又荷重を支えるものは、基礎の耐支力に外ならない、故に此基礎の許容耐支力 q が若し堤底後端の荷重 S_1 より大ならば、傾き沈むが如き事なく、耐支に就ては安全である、卽ち $q>S_1$ ならばよい。

〔例題 1〕 最大波高 3.6 m の波を、55 度の方向より受ける所に於て、函塊の混成堤を設計せよ、但し潮差 1.5 m、水深約 10 m。

波力 の計算は第三章第三節の公式 (23) (25) (26) に依つて、直立堤體の全高へ働く最大力 P を求むる、但し其の際に堤側面の全高 (i) は後に述ぶる假定斷面に依る 8.5 m を採る。



例題 1 の附圖

$$p_0 = 1.5wh = 1.5\times1.03\times3.6 = 5.56\,\tau/m^2$$

$$p = p_0 \sin^2\alpha = 5.56 \sin^2 55° = 3.73\,\tau/m^2$$

$$P = pA = p(1\times i) = 3.73\times(1\times8.5) = 31.71 \fallingdotseq 32\,\tau$$

卽ち直立體の側面の全高へ、直角に働く最大波力 P は防波堤の長 $1m$ につき 32 瓲となつた。

假定斷面 は圖に示すが如き形とする、此斷面に依つて先づ W を計算すれば、次式の如く防波堤の長 $1m$ につき 72 瓲となる。

$$W = (\text{堤體自重}) - (\text{浮力}) = (\text{混凝土比重} - \text{海水比重})\times(\text{堤體斷面積})$$

$$= (2.35-1.03)\left(\frac{5.8+7}{2}\times8.5\right) = 72\,\tau$$

但し此浮力は、堤頂まで一ぱいに水につかつた場合のものを採つた。

轉倒檢算 應力圖に示すが如く、P と W との合力 R が堤底中に落つるを以て、轉倒に就ては、安全である。

滑動檢算 に必要なる摩擦係數 f は此場合に於て、粗石捨石面と函塊の底面との摩擦であつて、假に之を 0.6 とする。

然る時は　　$fW = 0.6\times72 = 43\,\tau$

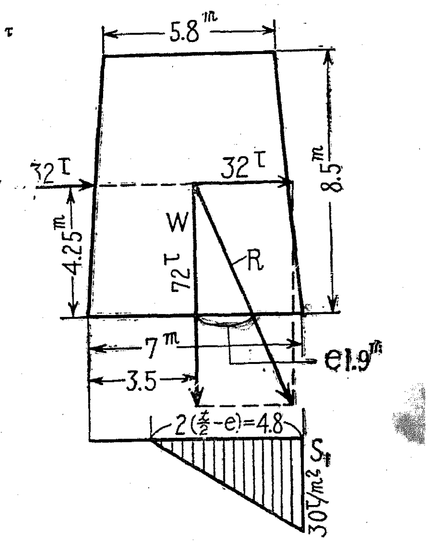
又　　$P = 32\,\tau$

故に　　$fW>P$

が成り立つて、此假定斷面は滑動に就て安全なるを知る。

耐支檢算 に於て必要なるは、基礎の許容耐支力 q の値である、卽ち本題の粗石捨石の耐支力を每平方米につき 33 瓲と假定する。

次に P と W との合力 R が底面と交はる點の位置 e を求める、R は圖に示すが如く P と W との對角線であるが故に、相似三角形の計算に依つて、e は容易に求めらるゝ。 卽ち



例題 1 の應力圖

$$e = \frac{i}{2}\times\frac{P}{W} = \frac{8.5}{2}\ \frac{32}{72} = 1.9\,m$$

$2eW = iP$

此 e は $t\div 6$ より大なるが爲め、ミツドルサードの外へ出る、從て S_1 は次の式に依てつ算出する。

$$S_1 = \frac{4W}{3(t-2e)} = \frac{4\times 72}{3(7-2\times 1.9)} = 30\,\tau/m^2$$

然るに q は $33\,\tau/m^2$ であるが故に

$$q > S_1$$

が成り立つて、此假定斷面は耐支の點に就ても亦安全である。

結論　以上の檢算に依つて、轉倒、滑動、耐支の何れの點に於ても安全であり、且つ又甚しく過大でないが故に、此假定斷面を以て所要の設計斷面として差し支へが無い。

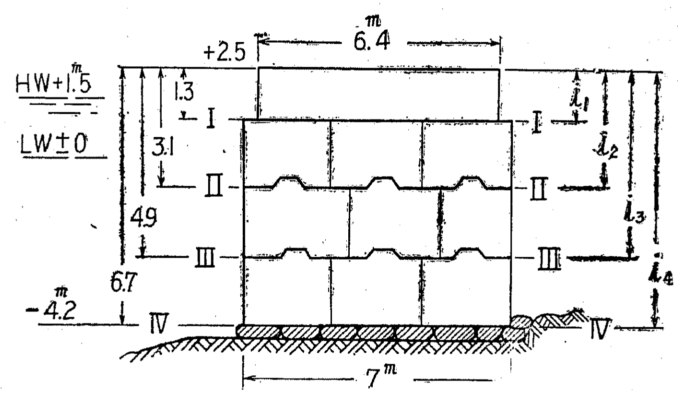
尙ほ下部の捨石部の形狀は、實例に依つて定めたのであるが、次節の (4) 式に依つて例題 (3) に示すが如き檢算を行つて、之が安全を確めるがよい。

注意　前に述べた如く W を算出するに際して、其の浮力 (Buoyancy) が堤體の全斷面に働くものと假定した、然し人に依つては、滿潮面以上の堤體には、浮力が働かざるものとして、それ以下にのみ働くとして、W を算出する事がある。

前者の如く全斷面に働くものと假定すれば、滑動と轉倒との檢算に就ては稍々安全となる、然し耐支の檢算に於ては稍々不安全となる。

次に直立部が函塊の如く單一體的の構造であるならば、之が檢算は底面のみに就て行へばよい、然し次の例題が示す方塊積堤の如く、各層の目筋が弱點となる場合には、其の各層毎に檢算すべきである。

〔例題 2〕　最大波高 $3\,m$ の波を眞ともに受ける場合に於て、圖に示すが如き、方塊積堤



例題 2 の附圖

の安定を檢算せよ。　但し堤體が方塊積なるを以て、各の水平目筋毎に就て、それぞれ計算すべきである。

記號　堤頂より圖に示す水平の目筋 I—I II—II III—III IV—IV 等の各に至るまでの外側に當る波力は、それぞれ P_1 P_2 P_3 P_4 を以て表はす。

又堤頂より水平目筋 I—I II—II III—III IV—IV の各に至る迄での壁體の重量（但し浮力を引けるもの）の各を W_1 W_2 W_3 W_4 とする。

尙ほ水平目筋 I—I II—II III—III IV—IV の各に來る合力の交點と、堤體中心との距離を、それぞれ e_1 e_2 e_3 e_4 とする。　又 i_1 i_2 i_3 i_4 の意味は圖に依つて明かである。

波力　第三章第三節の公式 (23) (26) 等に依つて、各部の波力を求むれば、次の如くなる。

$$p = p_0 = 1.5\,wh = 1.5\times 1.03\times 3 = 4.6\,\tau/m^2$$

故に

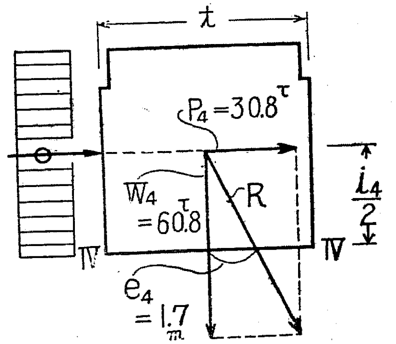
$$P_1 = p(1\times i_1) = 4.6\times 1\times 1.3 = 6.0\,\tau$$
$$P_2 = p(1\times i_2) = 4.6\times 1\times 3.1 = 14.3\,\tau$$
$$P_3 = p(1\times i_3) = 4.6\times 1\times 4.9 = 22.5\,\tau$$
$$P_4 = p(1\times i_4) = 4.6\times 1\times 6.7 = 30.8\,\tau$$

壁體重量　堤頂より各水平目筋に至るまでの壁體重量（但し浮力を引けるもの）は次式に示すが如く計算せらる。　尙ほ此浮力は、安全の爲め、堤頂まで一ぱいに、水がかぶつた場合を採つた。

W_1 =（混凝土比重—海水比重）×（目筋 I—I 上の壁體斷面積）

$$= (2.35-1.03)(6.4\times 1.3) = 11.0\,\tau$$

$$W_2 = (2.35-1.03)(7\times 1.8)+W_1$$
$$= 27.6\,\tau$$
$$W_3 = (2.35-1.03)(7\times \text{[illegible]})+W\text{[illegible]}$$
$$= 44.2\,\tau$$
$$W_4 = (2.35-1.03)(7\times 1.8)+W_3$$
$$= 60.8\,\tau$$



轉倒檢算　應力圖に示すが如く、最も轉倒しやすい堤底 IV—IV の目筋に就ても、P_4 と W_4 との合力 R が堤底中

に落つるを以て、計算する迄でもなく、轉倒に就ては、安全である。尙ほ念の爲めに式 (3) の關係を、各水平目筋毎に就て計算して見ても、何れも次に示すが如く、勿論安全となる。

$$e_1 = \frac{i_1}{2}\times\frac{P_1}{W_1} = \frac{1.3}{2}\times\frac{6.0}{11.0} = 0.35\,m < \frac{6.4}{2} = 3.2\,m$$

$$e_2 = \frac{i_2}{2}\times\frac{P_2}{W_2} = \frac{3.1}{2}\times\frac{14.3}{27.6} = 0.80\,m < \frac{7}{2} = 3.5 = \frac{t}{2}$$

$$e_3 = \frac{i_3}{2}\times\frac{P_3}{W_3} = \frac{4.9}{2}\times\frac{22.5}{44.2} = 1.3\,m < \frac{7}{2} = 3.5 = \frac{t}{2}$$

$$e_4 = \frac{i_4}{2}\times\frac{P_4}{W_4} = \frac{6.7}{2}\times\frac{30.8}{60.8} = 1.7\,m < \frac{7}{2} = 3.5 = \frac{t}{2}$$

滑動檢算　方塊積の各の水平目筋に於て、之が滑動に抵抗するものを、總て便宜、摩擦抵抗と考へ、其の係數は、目筋 I—I に於て $f = 0.7$ 又其の他の目筋に於て、$f' = 0.6$ と假定する、然る時は、式 (1) の關係が、次に示すが如く、各目筋に就て成り立つ。

$$fW_1 = 0.7\times11.0 = 7.7 > P_1 = 6.0\,\tau$$

$$f'W_2 = 0.6\times27.6 = 16.6 > P_2 = 14.3\,\tau$$

$$f'W_3 = 0.6\times44.2 = 26.5 > P_3 = 22.5\,\tau$$

$$f'W_4 = 0.6\times60.8 = 36.5 > P_4 = 30.8\,\tau$$

以上の諸式が成り立つが故に、此等の各水平目筋は、滑動に對して、何れも安全である。

耐支檢算　堤底基礎の耐支力を　$q = 60\,\tau/m^2$　と假定する。尙ほ其の他の水平目筋間の耐支力は、此場合頗る强大で　$q' = 200\sim400\,\tau/m^2$　もあるが故に、此等の計算を一々行ふまでもなく　總て安全である、從て此所では、單に堤底基礎、卽ち IV—IV のみに就て檢算する。

$$e_4 = 1.7 > (t \div 6) = 7 \div 6 = 1.2\,m$$

であるが故に、合力 R は、ミツドルサードの外へ出る、從て堤底後端の最大壓力 S_1 は次式を用ひて求むべきである。

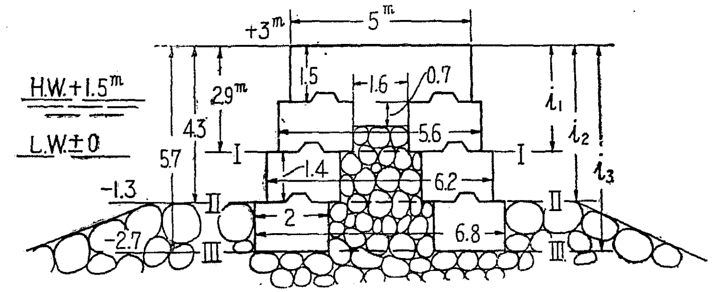
$$S_1 = \frac{4W_4}{3(t-2e_4)} = \frac{4\times60.8}{3(7-2\times1.7)} = 22.5\,\tau/m^2$$

故に、式 (2) の關係は、次に示すが如く成り立つ。

$$q = 60 > S_1 = 22.5\,\tau/m^2$$

卽ち耐支力に於ても亦安全なるを知つた。

〔例題 3〕　最大波高 $2.2\,m$ の波を眞ともに受くる場合に於て、圖に示すが如き、伊太利式の中詰粗石の方塊積堤に就て、其の安定の可否を檢算せよ。但し方塊は、何れも高 $1.4\,m$、幅 $2\,m$ である。



記號　堤頂より圖に示す水平の目筋 I—I II—II III—III 等の各に至るまでの外側に當る波力は、それぞれ $P_1\ P_2\ P_3$ を以て表はす。

又堤頂より前記の水平目筋の各へ至るまでの壁體の重量（但し浮力を引けるもの）の各を $W_1\ W_2\ W_3$ とする。

尙ほ $i_1\ i_2\ i_3$ の意味は、圖に依つて明かである。

波力　第三章第三節の公式 (23) (26) 等に依つて、各部の波力を求むれば、次の如くなる。

$$p = p_0 = 1.5\,wh = 1.5\times1.03\times2.2 = 3.4\,\tau/m^2$$

故に

$$P_1 = p(1\times i_1) = 3.4\times1\times2.9 = 9.9\,\tau$$

$$P_2 = p(1\times i_2) = 3.4\times1\times4.3 = 14.6\,\tau$$

$$P_3 = p(1\times i_3) = 3.4\times1\times5.7 = 19.4\,\tau$$

此中で最下部の方塊は、基礎の粗石中に、深く根入されてあるが、安全の爲め、其の波力を亦、上部のものと同様に、均一に働くものと假定した。

壁體重量　浮力は安全の爲め、堤頂まで一ぱいに、水がかぶつた場合を取つて、壁體の重量を計算する。從て混凝土の部分の單位重量は $2.35-1.03 = 1.32\,\tau/m^3$ であつて、中詰粗石の部分の單位重量は、第五章第三節の粗石重量表を參照して、$1.0\,\tau/m^3$ とする。

以上の單位重量を、各部の體積へ乘ずれば、次の如くなる。

$$W_1 = 1.32\{(5\times1.5)+(5.6\times0.7)+(5.6-1.6)(1.4-0.7)\}$$
$$+1.0\{1.6\times(1.4-0.7)\} = 19.9\,\tau$$
$$W_2 = W_1+2\times1.32(2\times1.4)+1.0(6.2-2\times2) = 29.5\,\tau$$
$$W_3 = W_2+2\times1.32(2\times1.4)+1.0(6.8-2\times2) = 39.7\,\tau$$

滑動檢算　中詰粗石を有する此種の防波堤にあつては、水平目筋毎の滑動の檢算のみが、主要なるものであつて、其の他の轉倒、耐支等の檢算は、後に述ぶるが如く、普通やらなくてもよい。　水平の各目筋に於て、之が滑動に抵抗するものを、便宜總て、摩擦抵抗と考へ、其の係數の値は、充分之を安全に考へて　$f = 0.6$　と假定する、然る時は、(1) 式の關係が、次に示す如く、各目筋に就て成り立つ。

$$fW_1 = 0.6\times19.9 = 11.9 > P_1 = 9.9\,\tau$$
$$fW_2 = 0.6\times29.5 = 17.7 > P_2 = 14.6\,\tau$$
$$fW_3 = 0.6\times39.7 = 23.8 > P_3 = 19.4\,\tau$$

以上の諸式が成り立つが故に、此等の水平目筋は、滑動に對して、何れも安全なるを知る。

轉倒と耐支檢算　此様式の防波堤に於ては、外側の方塊積と、中詰の粗石部とが、一體となつて、轉倒並に耐支に對抗するものと假定する事は、無理である。　從て例題 1 及び 2 の如く、轉倒と耐支との檢算を直に行ふ事が出來ない。　然し單なる參考としては、外側も中詰も一體となるものと假定して、其の檢算をやつて見るのは差し支へがない。　而して此例題に就ては、其の假定に依つて檢算しても、轉倒と耐支と共に安全である。

第二節　混成堤の捨石部計算

混成堤の捨石部算式　此算式は、前記の直立部算式の如く確實でないが、參考にまで玆に記す。

圖に示すが如く、直立部の堤底線を延長して、表法と交はる點を a となし、之と裏法の終點 b とを結べる斜面 ab に於て、次式の關係が成り立てば、此捨石部は何所に於ても、滑出崩壞を起さない。

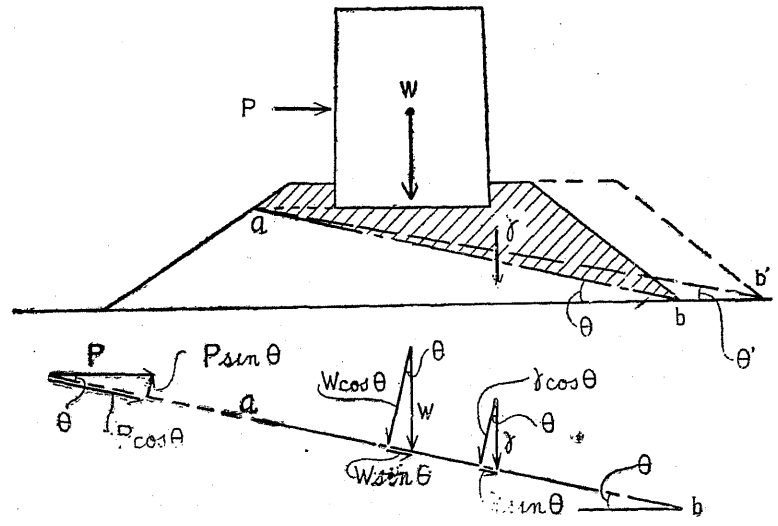
$$f'\{(W+\gamma)\cos\theta-P\sin\theta\} > (W+\gamma)\sin\theta+P\cos\theta \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

或は又　$(W+\gamma)\cos\theta-P\sin\theta > (W+\gamma)\sin\theta+P\cos\theta \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(4')$

記號　θ　斜面 ab が水平面となす角度

γ　斜面 ab 以上の捨石部の重量

f'　捨石の相互間の摩擦係數、その數値は普通約 1.0 である、從て (4) 式は (4′) 式の如くなる。



混成堤捨石部計算圖

猶ほ P と W とは前節に述べたものと同じである。

若し反對に、上式の左邊が右邊より小さい場合には、危險であるから、裏法の背後へ更に捨石を追加し、その新斜面 ab' に就て、前記と同樣の檢算を再び行ふのである。

又若し左邊が右邊に比して、著しく過大ならば、或ひは捨石部の斷面を多少縮小して、再び檢算を行ひ、漸次經濟的の斷面に近寄らしめる事もある。　但し相當の餘裕を取る爲めに (4) 或ひは (4′) の左邊が右邊の二倍乃至三倍ほどの所が適當と思ふ。

〔註〕 前掲 (4) (4′) 式の起因並に斜面 ab のみの檢算にて足る所以を次に說明する。

この斜面 ab に於て、滑動せんとする力より、摩擦抵抗の力が大ならば、此斜面に沿つて滑動崩壞の起らざるは言ふまでもない。

而して滑動せんとする力は、荷重或ひは外力の斜面に沿へる 平行分力の總和であつて、次の摩擦抵抗は、斜面へ働く垂直分力の總和である、從て滑動を起さない爲めには、次の條件を必要とするのである (前圖參照)。

$$f'\{(W+\gamma)\cos\theta-P\sin\theta\}>(W+\gamma)\sin\theta+P\cos\theta$$

又 f' の値を 1.0 と置けば、次式の如き形となる。

$$(W+\gamma)\cos\theta-P\sin\theta>(W+\gamma)\sin\theta+P\cos\theta$$

以上の說明にて (4) (4′) 式の因て來る所を知つたから、次に何故に a と裏法終點 b とを結べる ab のみに就て檢算すれば、他の斜面を檢算するまでも無く安全なるやに就て述べる。

先づ假に ab より緩勾配の他の任意の斜面とを比較する。

此任意の緩斜面の角度は ab の θ より勿論小さい爲め、特に上式の正弦の値に著しく影響して、其の右邊が比較的多く小さくなる、然も其の割合に左邊が減少しない爲め、結局この緩斜面に依る左邊と右邊との差は、ab に於ける差よりも大きく表はれる傾向を持つ、從つて之よりも小さく表はれる ab さへ檢算すれば、此緩斜面に就て更に檢算するの必要を認めない。

尙ほ一方 ab より急勾配の斜面ならば、其の斜面の終端は、捨石基礎内に落ちて勿論安全であるが故に、之に就ても檢算を要しない。

之を要するに ab より緩急何づれの斜面に就ても、檢算するの必要なく、唯だ ab のみの計算にて足るを知る。

〔例題 4〕 前節例題の混成堤の捨石部に就て、滑出崩壞の有無を檢算せよ。

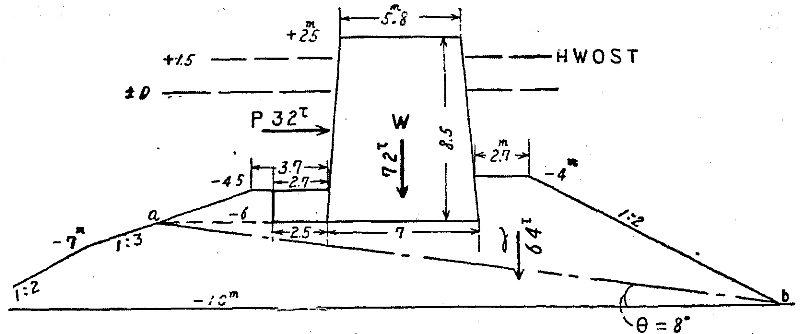
P は 32 瓲、W は 72 瓲、又 ab のなす角度 θ は圖に依つて之を測れば 8 度なるを知る。

次に ab より上の捨石部 (勿論方塊をも含む) の水中重量 γ を計算する、但し其の粗石の部分の斷面積を圖に依つて測れば $60\,m^2$ となり、又方塊の斷面積は $3.9\,m^2$ である。

從て γ は此等の斷面積の各浮力を引ける單位重量を乘ずれば求むる事が出來る、而して浮力を引ける單位重量は、粗石 0.98 瓲、混凝土 (2.35−1.03) 瓲である。

$$\gamma = 0.98\times60+(2.35-1.03)\times3.9 = 64\tau$$

以上の數値を代入して (4′) 式の左右兩邊を各計算すれば、次の如くなる。



例題 4 の附圖

$$\text{左邊} = (W+\gamma)\cos\theta-P\sin\theta = (72+64)\cos8^\circ-32\sin8^\circ$$
$$= 136\times0.99-32\times0.14 = 130\tau$$
$$\text{右邊} = (W+\gamma)\sin\theta+P\cos\theta = (72+64)\sin8^\circ+32\cos8^\circ$$
$$= 136\times0.14+32\times0.99 = 51\tau$$

故に　$(W+\gamma)\cos\theta-P\sin\theta>(W+\gamma)\sin\theta+P\cos\theta$ ……………………(4′)

が成り立つ、從つて此捨石部の斷面は安全であつて、滑出崩壞を起さない。 又左邊が右邊の約 2.5 倍に當るに過ぎない故に、決して過大の斷面でなく、先づ適當のものと思ふ。

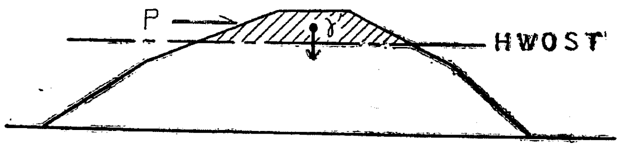
第三節　捨石堤の計算

捨石堤の算式 玆に記す算式は決して完全のものではなく、單に參考に記すに止むる。

元來捨石堤の斷面を設計するには、他の實例を廣く參照して之を決定し、算式に依るは稀である。 殊に側面の法勾配、塊の大さ等は、實例に依つて定めるの外ない、唯だ其の堤體上部に於ける大略の幅員に就て、强て計算を行はんとするならば、次の如き算式を用ひたら如何がかと思ふ。

圖に示すが如く、滿潮面を境界として、其の上の捨石の重量を γ' となし、又

此部分の波力を P とし、尙ほ捨石間の摩擦係數を f' とする、此 f' は既述の如く普通 1.0 である。而して此等の間に次の關係があれば、此堤體の幅員は安全である。



捨石堤計算圖

$$f'\gamma' > P \quad \cdots\cdots\cdots(5)$$

或は又 $$\gamma' > P \quad \cdots\cdots\cdots(5')$$

若し不足ならば γ' を增す爲めに、堤體の幅員を增大すればよい。

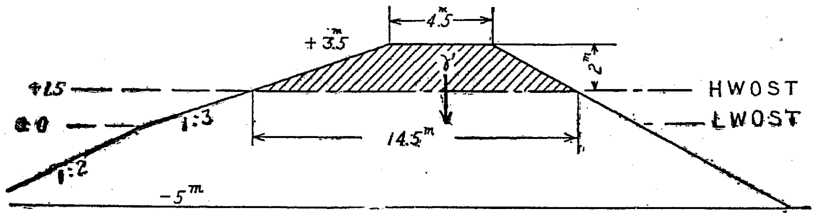
〔註〕 此計算に於て滿潮面（大潮平均滿潮面）を境界としたのは、之より上に於ける實際の波力は、斜面を奔流する爲め、次第に減少する傾向があるが故に、此大凡の滿潮面を以て、實際上に最も危險の箇所と考へた爲である、而して其の危險箇所に於ける、摩擦抵抗力が、水平剪力たる波力より大ならば、此堤體は安全に相違ない、之が算式 (5)(5′) の起因である。

但し計算用の波力 P は安全の爲め、前の直立堤に於けるが如く、最大波力が堤頂まで均一に働くものと假定した。

〔例題 5〕 波高 $3\,m$ の箇所に於ける、捨石堤の斷面を圖の如く假定し、其の安全の可否を試に檢算せよ。

大潮平均滿潮面上の斷面積は、圖に依つて $(4.5+14.5)\div 2\times 2 = 19\,m^2$ なることを知る。

而して捨石の單位重量は安全の爲め、總て水中に在る捨石の如く、浮力を除いたるもの



例題 5 の附圖

卽ち $1\,m^3$ につき 0.98 瓲と假定する、從て滿潮面上の捨石部の重量は次の如くなる。

$$\gamma' = 0.98\times 19 = 18.6\,t$$

又波力の計算は次の如くなる。

$$p_0 = 1.5\,wh = 1.5\times 1.03\times 3 = 4.6\,t$$

故に $$P = p_0\times 高さ = 4.6\times 2 = 9.2\,t$$

故に $$\gamma' > P$$

卽ち (5) 式が成り立つ、故に此捨石堤の假定斷面の幅員は、略々安全なるを知る、又式の右邊が左邊の約二倍に過ぎないが故に、此斷面は特に過大なりとも言ひ得ない。