

八木の津波遡上について

東北大学工学部 正員 工博 岩 崎 敏 夫

東北大学工学部 正員 工修 〇富 樫 安 由

§-1. はじめに

従来、津波に関する理論的、実験的研究成果はかなり出されてきているが、これらを実際問題に適用する場合には不明の点が多く、津波理論の現実への適用に当っては諸種の仮定が成されるが、特に問題なのは津波の規模の大小と外洋または湾口における津波の具体的な沖波としての補充の決定であろう。これに関して佐々木氏⁽¹⁾も述べておられるが、現在のところ外洋または湾口の洋上での測定記録がない以上、ある程度想定に頼らざるを得ない。水深5.6mの地点に設置される験潮儀の記録は既に地形変化の影響を受けていると考えられるので、最も必要とする湾口付近の洋上の最深部の侵入波形を推定するには不十分である。この意味で久船渡湾の津波は浪の沖側で水深30m付近に設置される予定になっている津波計のようなものが是非必要とされる。このような測定記録のない現在では、普通湾口で侵入波の補充を仮定して、湾内での変形と陸上への遡上高が計算されている。

今更なるまでもないことであるが、津波問題の主眼は、run-up と back-wash であり、ここでは特に run-up について岩手県九戸郡裡市八木の場合を例として、簡単な理論的取扱いの仕方が説明してある。

§-2. 津波の規模について

八木の津波の規模を決めるには、第一級の大きさと云われている明治29年津波と第二級の大きさの昭和8年津波をとり上げれば十分である。表-1⁽¹⁾に両津波の最大波高を示す。八木については、表-1からわかるように、最大

波高と一口に云って各調査値に非常に大きな違いがあり、明治29年

表-1						
年	被災地	震害調査 士不託	工研報告 (松尾)	内務省	験震時報	東大震 研彙報
明治29年		21.7	18.3	11.6	10.7	
昭和8年		7.5	7.2	6.8	6.0	3.5
						沿岸は殆んど偏平 八木港は強いU字形

以下M.29とする)では11m、昭和8年(以下S.8とする)では4mの差があり、大凡2倍もの違いがある。従って、これらの数値からだけでは如何にも推定の仕様がないうで、出来る限り又般に遡って調べてみる。その前に、「津波の最大波高」なるものの定義を明らかにしておきたい。験震時報⁽²⁾によれば、第一は験潮儀の自記記録、第二は岸に打寄せた大浪の高さを汀線波高としても採すべきもの(震害台ではこれを津波の高さとしてとっている)、そして第三には津波が打上げられた最も遠い地点の海面からの高さで、「浸水地域の最高度」としても採すべきもの、として以上の三種類に分類している。しかし、筆者等は上の第三のものを補正して第四として、「陸上での最大遡上高」を追加する。何故なら、第三でいう「津波が打上げられた(恐らく汀線から)最も遠い地点の遡上高」と「陸上での最大遡上高」とは明らかに異った事象だからである。この異例と計算例を後に示す。以上四つの分類に従って、表-1の値を又般で調べると次のようになる。

1). 震害調査士不説⁽³⁾には「最大侵入高」としか書かれていないので、どの地点の高さを示すものなのか旨が見え方がつかないが、数値の大きさから推して恐らく第四の「陸上での最大侵入高」を示すものと思われる。

2). 土研報告(松尾博士)⁽⁴⁾のものは、S.8については実地調査による各地点の痕跡記録であり、M.29の値は土地の人の言により測定したもの、ようである。侵水区域と各調査地点の侵水高が記入されており、明らかに第四の「陸上での最大遡上高」を示している(図-1)。図-1からオ三の定義による汀線から最も遠い地点の「侵水区域の最高段」は、約6~7^mと読みとれる。

3). 内務省の値は文献が入り来る不明。

4). 験震時報(没巻台)⁽⁵⁾は前述した如く、オ二の定義に基いた調査値であり汀線付近の最大侵入波高と見做される。3)の内務省の値もその値が近いことから恐らくこれに属するものと思われる。

5). 震研集報⁽⁶⁾は、当時の報告状況の実地調査により、「八木付近の海岸には少なくとも3.5~4^m位の波の襲来(たものと思われる)」と推定したものであるから、やはりオ二の分類に属するものであろう。

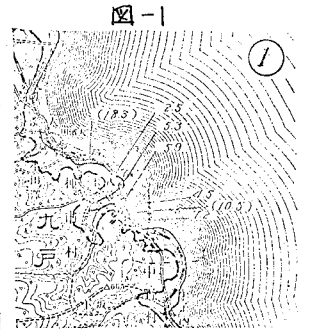


表-1の文献調査の結果は以上のようになっているので、その数値の意味するところが比較的明らかになったと云えるであろう。例えば、M.29では20^m位の大きな値はオ四の定義である「陸上での最大遡上高」、11^m位の小さな値はオ二の定義である「岸に押し寄せた汀線付近での最大侵入波高」と見れば極めて理解し易い。更に、験震時報⁽⁵⁾によれば $H_{M29} \approx 1.7 H_{S8}$ (若干異なり)であり、九戸郡北部海岸での平均波高は $H_{M29} \approx 9.9^m$, $H_{S8} \approx 7.1^m$ となっている。また、震災予防調査会報告⁽⁷⁾によれば、九戸郡北部海岸の洋上で $H_{M29} = 9 \sim 12^m$ となっている。従って、前述の「汀線波高」とそれによる「陸上での最大遡上高」という解釈の仕方、かなり妥当性があることを裏付けると云えよう。

以上を総合して、外洋から八木の岸に押し寄せた最大津波高は、M.29で約10^m、S.8では約6^m位、そして最大遡上高は、M.29で約20^m、S.8では約7^m位と推定出来る。

次に、周期はM.29, S.8共に10~15^{min}で、概して10^{min}内外が最も多かったようである。波向は南東で、オ二波またはオ三波が最大であった。^{(5),(6),(7)}

§-3. 簡単な津波遡上理論⁽⁸⁾による計算.

ここでは陸上への津波遡上を有限長中長波の遡上と見做して、孤立波理論を用いて数波津波の遡上を取扱う。従って、侵入波は洋上の一点で砕けこえる必要があるが、その砕波波高と海底勾配Sと水深hと関係で計算すると次のようになる。まず、八木港の港口から港奥までの最深部と連ねた水深変化図は図-2のようになる。図-2から八木港の海底勾配Sの概略値を示すと次のようになる。

$$-20^m < h \leq -10^m \text{ で } S = 1/100, \quad -10^m < h \leq -6^m \text{ で } S = 1/15, \quad -6^m < h \leq 0 \text{ で } S = 1/30$$

従って、岸博士の実験⁽⁹⁾によれば、 $S = 1/100$ は孤立波理論の適用範囲に入っているようであるから、少なくとも水深10^m以深で砕波点が存在することになる。実験曲線では、 $H_b/h_b \approx 0.9$ となっているようであるから、八木港の港口では $h \approx 12^m$ であって、ここでの砕波波高は $H_b \approx 0.9 \times 12 = 10.8^m$ となる。

M.29の侵入波高は前節のように10^m位であるから

図-2

港口付近では碎波していることになる。また、S.8

の侵入波高は前節のように約6^mであり、 H_b/h_0

≒0.9は既に成り立たないから、少なくとも水深

10^m未満のところで碎けることになる。同様に、

岸博士の実験結果によると、 $\beta = 1/45$ では $H_b/h_0 \approx 1.2$

となっているから、 $h_0 \approx H_b/1.2 = 6/1.2 = 5^m$ となる。

しかし、図-2からわかるように $h = -5^m$ は既に

$S = 1/30$ の領域に入ってくることになるのだが、

$h = -6^m$ 付近では $S \approx 0$ となっている部分があることとから、 $h = -5^m$ で既に碎けていることに留意する

であらう。よって、仮に次のような bore を仮定してみる。bore の波高を η とて $M = \sqrt{1 + \frac{\eta}{2h_0}}$ とおけば、

$$M.29; \quad h_0 = 12^m, \quad \eta = 10.8^m \quad \therefore \eta/h_0 = 0.88 \quad \therefore M = 1.2$$

$$S.8; \quad h_0 = 5^m, \quad \eta = 6.9^m \quad \therefore \eta/h_0 = 1.38 \quad \therefore M = 1.3$$

となる。上に仮定した bore に Whitham⁽¹⁾ の変形理論を適用して汀線流速を求める。Whitham の bore の変形に関する次の近似式は、 $h_0 \rightarrow 0$ なる汀線では非常によい近似を与えるといわれている。

$$\frac{h_0}{A} = f(M) = \frac{(M^2-1) \exp\{a_1 \tan^{-1}(M+a_2)/a_3\}}{(M-1)^{1/2} (M-a_4)^a (M^2+a_5 M+a_6)^b (M+a_7)^c} \quad (1)$$

ここで A は、最初の bore の長さ M から決定される定数である。また、

$$a_1 = 0.2808, \quad a_2 = 0.6769, \quad a_3 = 0.3179, \quad a_4 = 0.7471, \quad a_5 = 1.354$$

$$a_6 = 0.5593, \quad a_7 = 2.393, \quad \alpha = 1.180, \quad \beta = 1.173, \quad \gamma = 1.673$$

(1) 式により、上に仮定した bore の汀線流速を求めるに次のようになる。

$$M.29; \quad h_0 = 12^m, \quad M = 1.2 \quad \therefore \text{から} \quad h_0/A = f(M) = f(1.2) = 3.342 \times 10^{-1}$$

$$\therefore A = \frac{h_0}{f(M)} = \frac{12}{3.342 \times 10^{-1}} = 35.91$$

(1) 式と関連する、 M と bore の長さとの関係は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{U}{\sqrt{gh_0}} &= M \sqrt{2M^2-1}, & \frac{u}{\sqrt{gh_0}} &= \frac{2M(M-1)}{\sqrt{2M^2-1}} \\ \frac{c}{\sqrt{gh_0}} &= \sqrt{2M^2-1}, & \frac{\eta}{h_0} &= 2(M^2-1) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(2) の諸量の定義のもとで、(1) 式より求められた定数 A に基づいて汀線流速 U_0 は、 $M \rightarrow \infty$ として

$$U_0^2 = (1.713)^2 \times 9.8 \times 35.91 = 1093.8, \quad U_0^2 = (U/\sqrt{gh_0})^2 = 1093.8/9.8 \times 12 = 9.3, \quad U_0 = 30.5$$

同様にして、S.8 の bore については、

$$S.8; \quad h_0 = 5, \quad M = 1.38, \quad \therefore A = \frac{6}{2.055 \times 10^{-1}} = 29.2$$

$$U_0^2 = (1.713)^2 \times 9.8 \times 29.2 = 889.43, \quad U_0^2 = 889.43/9.8 \times 6 = 15.13, \quad U_0 = 3.89$$

以上のように求められた U_0 により、図-3で示される陸上断面に対する潮上高を求める。

図-3で点線は各断面の平均勾配を示す。1/10なる急勾配の断面は図-1で「陸上への最大遡上高」を示す点と見做される地点への勾配であり、1/100なる緩勾配の断面は図-1で「河線から最も遠くまで遡上する」と考えられる八木川沿いの縦断面勾配である。

Mihate⁽¹¹⁾によれば、陸上への遡上波に対する断面をさつと考慮した近似式は、

$$\frac{U^2}{2} = \frac{U_0^2}{2} - (S+F)(X-X_0) \quad , \quad F = \frac{f}{\alpha^2} \quad \text{--- (3)}$$

故に、先端付近の最大遡上高は

$$\frac{R}{h_0} = \frac{U_0^2}{2} \cdot \frac{1}{1+F/S} \quad \text{--- (4)}$$

Hall-Watts⁽¹²⁾は瓶を破る鉛直壁に対する遡上実験から、 $F=0.08$ なる値を得ているのでこれを用いて概算する。(1)式で求めた U_0 と(3),(4)式を用い、図-3のよ様な断面での最大遡上高を求める。(4)式は勾配がかわるときには、右図により次式の如き幾何で求められた U を同様に0において、最大遡上高 R が求められる。

$$\frac{U^2}{2} = \frac{U_0^2}{2} - (S_1+F)(X_1-X_0) - (S_2+F)(X-X_1)$$

さて、M.29では、 $h_0=12$, $U_0=3.05$ がかかっているから、

$S_1=0.01$, $F=0.08$, $X_1-X_0=300/12=25$

$$\frac{U_1^2}{2} = \frac{U_0^2}{2} - (S_1+F)(X_1-X_0) = 4.65 - 0.09 \times 25 = 2.4$$

$$R-R_1 = h_0 \cdot \frac{U_1^2}{2} \cdot \frac{1}{1+F/S_2} = 12 \times 2.4 \times \frac{1}{1+0.08/0.01} = 16^m$$

$$\therefore R = 3 + 16 = 19^m$$

$R=19^m$ なる値は、松尾崎上の 18.3^m と殆んど一致する。次に、 $S_1=S_2=1/100$ では、

$$R = 12 \times 4.65 \cdot \frac{1}{1+0.08/0.01} = 6.2^m$$

となり、これは河線より最も速い地点の遡上高の記録 $6\sim 7^m$ と極めてよい近似を示している。

次に、S.8では、 $h_0=5$, $U_0=3.89$ に対して、 $S=1/100$ なる八木川沿いの最大遡上高は、

$$R = h_0 \cdot \frac{U_0^2}{2} \cdot \frac{1}{1+F/S} = 5 \times 15.1 \cdot \frac{1}{1+0.08/0.01} = 4.2^m$$

となり、非常によく近似している。

以上で筆者等は、津波の痕跡記録の解釈の仕方と陸上への津波遡上高の算出は簡単に三つの式を用いて二次元的な取扱いで出来ることを示した。尚、津波は残海域で砕けて fore になること、1で取扱ったが、波形勾配との関係から更に研究を要する問題があると思われるので、今後この点と追求してゆきたい。最後は、この論文を書くに当たって資料の提供その他で種々御援助頂きました。東北地震調査工事事務所の金子所長と菊地課長にこゝに記して謝意を表する。

尚、参考文献は紙面の都合により省略させていただきます。

おわり