

綾里湊における津波の数値解析

岩崎敏夫*・真野 明**・荒井 唯***

1. 序 論

岩手県の南部太平洋岸に位置する綾里湊地区は、三陸海岸の各湾の例にもれず、明治 29 年、昭和 8 年の両三陸大津波によって大きな被害を受けた。特に昭和 8 年の津波では、当時あった 117 戸のうち 116 戸が罹災するという壊滅的な被害を受けている。このように被害が大きかったことについて当時の記録は、家屋が海岸線のすぐ近くの低地に密集しており、これらが津波によって次々と薙ぎ倒されていったためであるとしている。このため、昭和 8 年津波の後に、津波最大痕跡高よりも高い所に敷地が造成され、高地移転が行われるとともに、海岸線近くの低地は防波緩衝地帯とされた。しかし今日、海岸線には、昭和 35 年チリ津波の痕跡に基づく津波防潮堤が張りめぐらされたこともあって、当時の教訓は忘れられ、海岸線のすぐ近くまで民家が建てられるようになっている。このような事情から、本論文は、数値解析の手法によって、綾里湊地区での昭和 8 年三陸大津波の再現をはかるとともに、これと同じ津波が、津波防潮堤等を含む現況地形に対して来襲したらどのようなことになるかの予測を行ったものである。

2. 数値解析方法

数値計算方法の概略は、著者らが先に報告した方法（以下前報 I とする）によった¹⁾。

昭和 8 年三陸津波の波源域モデルは、断層面が 185 km × 100 km、すべり角 45°、縦ずれ成分 4.2 m の正断層モデルに対応するものを用いている。計算領域は、前報 I の外海計算領域を A 領域とし、B～F 領域を図-1 に示すようにした。差分格子 ΔS は、A 領域での 10 km から、綾里地区を覆っている F 領域での 10/243 km (≈ 41 m) までの可変格子で構成した。支配方程式は、長波の運動および連続の式を用い、F 領域だけは移流項を考慮した。ここで海底摩擦項は、マニングの式で表現し、 $n = 0.03$ を用いた。

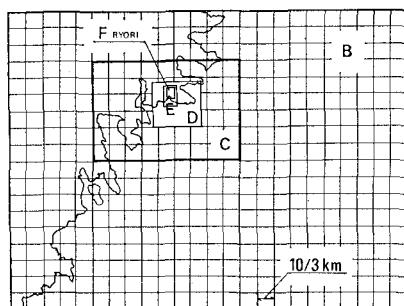


図-1 計算領域の接続図

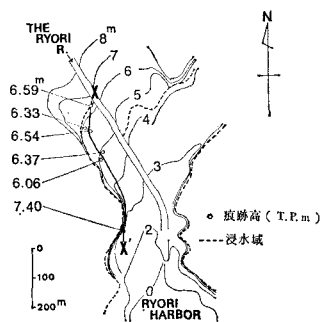


図-2 遡上面の地形と痕跡記録

図-2 に示すように、綾里地区のほぼ中央を綾里川が流れており、図中に破線で示した那須博士の調査による津波痕跡記録は、その両岸で異なった傾向を示している。この河川は、幅が約 20 m であり、差分格子ではこれをうまく表現出来ないため、河川両側の堤防をまとめて一つのせきと見なし、本間博士の越流公式を用いて越流計算を行った²⁾。すなわち、せき頂を基準とする、せき両側の水深を、 h_1, h_2 ($h_1 > h_2$) とした時に、単位幅当りの越流量 Q を、

$$Q = \mu h_1 \sqrt{2gh_1}, \quad h_2 \leq \frac{2}{3} h_1, \quad (\text{完全越流})$$

$$Q = \mu' h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}, \quad h_2 > \frac{2}{3} h_1, \quad (\text{もぐり越流})$$

とした。また、 $h_1 \leq 0$ の場合は $Q = 0$ とし、 $\mu = 0.35$, $\mu'/\mu = 2.6$ とした。

津波来襲前の静水位を E.L. 0 m とし、昭和 8 年津波の場合 E.L. 0 m = T.P. 0.4 m とした。

* 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工博 東北大学講師 工学部土木工学科

*** 学生会員 東北大学大学院工学研究科

数値計算は、昭和8年当時の地形と現況地形の2ケースについて行った。

3. 昭和8年三陸津波の再現性

昭和8年三陸津波については、那須博士による詳しい調査が行われ、浸水域の分布と痕跡高の分布が得られている³⁾。また、内務大臣官房都市計画課の調査による浸水域分布も残されている⁴⁾。これらを各々痕跡(3)、(4)とする。

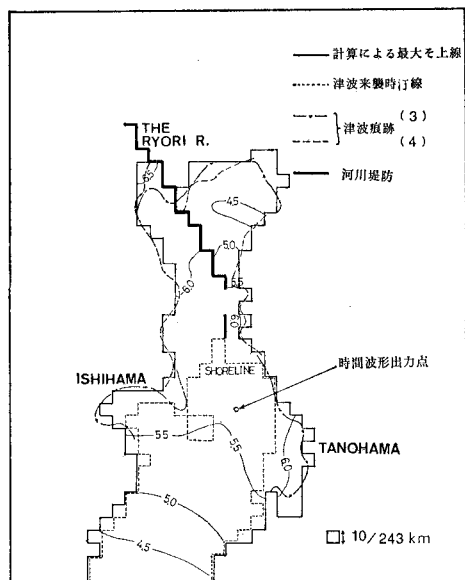


図-3 津波浸水域の比較

図-3は、これらの調査結果と当時の地形での数値解析結果を、浸水域について比較したものである。二つの調査結果は、遡上先端部分で若干異なるものの、両方ともに綾里川を境にして、その両側での浸水域がずれていることがわかる。そして、数値解析結果は、那須博士の調査結果とかなり良く一致しており、計算による最大水位分布は、綾里川の両側で約2mの差が見られ、調査結果による浸水域のずれを良く再現していることがわかる。また、湊地区の南側に位置する石浜地区および田浜地区では、都市計画課の調査結果しかないが、ここでも浸水域を比較的良く再現している。

図-4は、図-2中の、X-X'軸に沿う津波痕跡高の

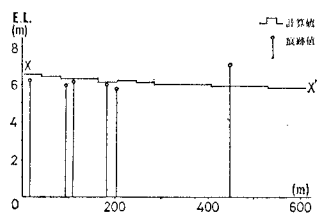


図-4 津波痕跡高との比較

分布を比較したものである。痕跡高の勾配は、遡上先端付近で非常に小さく、綾里川上流側200mの区域では、6%以内の誤差で計算値と痕跡値が一致している。しかし、痕跡値は図中450mの所で、7.5mと遡上先端部分よりも上がっている。この痕跡は図-2の等高線を見ると、急勾配な斜面上のものと思われるが、本数値解析ではこれをうまく表現出来なかった。

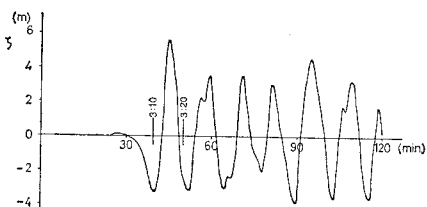


図-5 水位変化

図-5は、図-3中に示した時間波形出力点での、水位の経時変化を、津波発生からの経過時刻で示したものである。この津波の波源域は、正断層モデルであるので、最初は大きな引き波から始まっている。当時の津波来襲状況の記録には、第1回の来襲時刻が3時10分、波高12m、第2回が3時20分、波高不明、第3回が3時50分、波高となっている。この津波を伴った地震の発生時刻が2時32分であるので、この記録による第1波の来襲時刻を、上述の経過時刻に換算して、図中に縦線で示した。記録中の津波来襲時刻とは、津波のどの位相を表わしているのか明らかなでないが、これを押波開始時刻と考えれば、時間的にも本計算は記録と一致しているといえる。しかし、この記録の波高について、第1波12mというのは、陸上に残された痕跡高より考えて過大であり、この点については信憑性に欠ける。また、第3回目については、「第3回目は時間も遅れ勢力も全く減退して大潮の時の如くチワチワ来しました。」という証言が記録されている。時刻を考えると、図中の90分後の押波をさしていると思われるが、この波形を見る限りでは、周期は少し長くなっているものの、波高は5mあり、勢力が減衰しているとは言いがたい。

図-6は、陸上での津波遡上の流況を流速ベクトルで示したものである。津波は綾里川の西側に沿うように遡上しており、綾里川の東側へは、主に河口付近の堤防の低い所から越流していることがわかる。最大流速は、押波時に3m/sに達している。記録によると、民家が傾斜緩やかな海岸近くに密にあったため家屋が薙ぎ倒されて被害が大きくなったとのことであるが、この時の流速がこの程度と考えてよいかは、今後の問題であろう。

以上津波記録と照合した結果では、若干のくいちがいを示す部分はあるものの、全体としては良く再現していると言えよう。

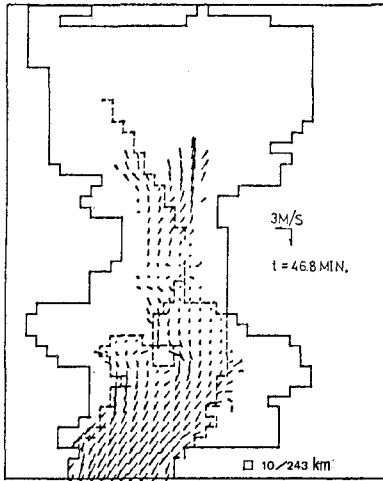


図-6 流況

4. 現況地形における昭和8年津波

昭和8年三陸津波の後、津波防災対策として、この津波より規模の大きい明治29年三陸津波の最大痕跡高(13m)よりもさらに高い所に敷地が造成され、図-7の縦線で示す湊・石浜・田浜地区に各々146戸、20戸、18戸の集団高地移転が行われるとともに、浸水域である綾里川沿一帯の低地は、防波緩衝地帯とされた。しかし現在では、海岸線に昭和35年チリ津波の痕跡高に基づく津波防潮堤(天端高はT.P. 5.3m=E.L. 4.9m)ができたこともあり、昭和8年津波の浸水域内にも数多くの家屋が建てられてきている。図-7中の黒丸は、これら家屋の主なものを模式的に示したものであり、昭和8年津波による痕跡が高かった綾里川西側に集中してい

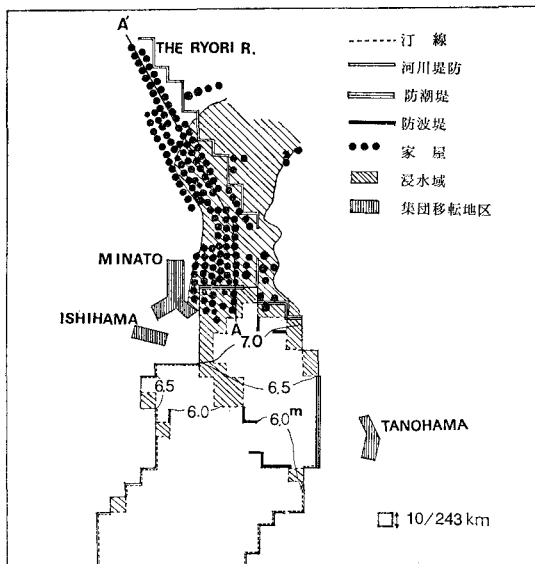


図-7 現地形における浸水予測(平面図)

る。ここには T.P. 4m より低い場所に 72 世帯(1 世帯平均 4 人)、T.P. 5m より低い場所には 87 世帯が住んでいる。ここで特に注意を要するのは、図-7 中に三重線で表わした津波防潮堤の前面にも建物が建てられているということである。

現況地形における本数値解析では、これらの防潮堤で完全反射するものとして計算を行った。この場合の最大水位の分布を、同図中に示してあるが、図-3 と比較すると、港の入口付近で 0.5m 程度、それより奥では、0.5~1.0m 程度の水位上昇が見られる。この上昇は、昭和8年当時の地形で陸上に遡上していた水体积が、津波防潮堤によって陸上遡上を阻止されたための寄与と考えられる。綾里地区では、現在、昭和8年三陸津波の痕跡高まで防潮堤天端高を上げることが計画されているが、防潮堤による完全反射を考える場合には、このように、陸上に遡上していた水体积の寄与による水位の上昇が予想されるため、痕跡による値よりもさらに天端を高くする必要がある。

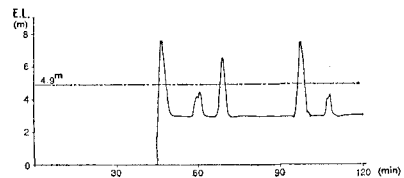


図-8 防潮堤前面での水位変化

図-8 は、湊地区の防潮堤前面の水位の経時変化を示したものであり、図中の一点鎖線は、現在ある防潮堤の天端高を表わしている。この一点鎖線より上の水位で防潮堤を越流すると考えられる。この場合完全越流と考え、防潮堤上でフルード数 1、比エネルギーが変わらないという条件から、次式を用いて単位幅当りの越流量 Q を推定した。

$$Q(t) = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} g^{1/2} \int_0^t D^{3/2}(t) dt$$

ここで、 g は重力加速度、 D は越流水深である。津波 2 時間分を考えると、図-8 からわかるように 3 回の越流がおこり、各回の越流量は、1 回目 340 m^3/m 、2 回目 80 m^3/m 、3 回目 410 m^3/m で、3 回までの合計は 830 m^3/m となる。

綾里川の西側は、ほぼ一定の幅で低地が延びているので、図-7 中の A-A' 断面について、上述の越流量が、防潮堤後背地に静水的に貯留する様子を推察して、図-9 に示した。この図によると、津波発生後 45 分の第 1 回目の越流によって、防潮堤後背地では T.P. 3.9m までが水没することになる。ここで、綾里川河口の綾里橋は津波来襲時には水門となるため、防潮堤後背地に貯留した水は、河口から流出することなく留まると考えられ

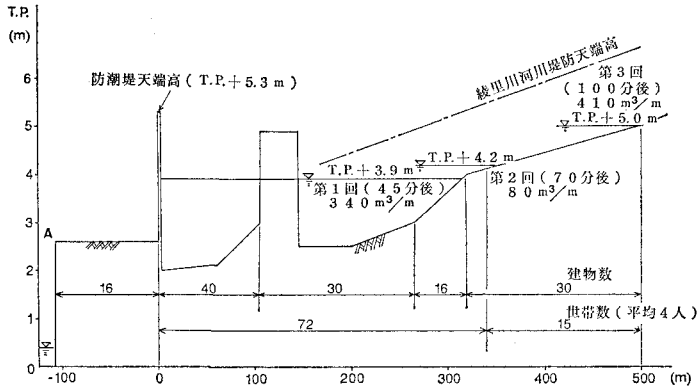


図-9 現地形における浸水予測(縦断面図)

る。この段階で浸水すると考えられるのは、防潮堤から陸側へ約 310 m の所までであり、ここには 86 の建物が存在し、約 70 世帯 (1 世帯平均 4 人) が生活している。この間越流は約 2 分間でおこり、津波到着から越流・浸水までは、かなり急速におこると考えられる。2 回目の越流は、1 回目から約 25 分後であり、貯留水位は T.P. 4.2 m まで上昇することになる。図中に示した綾里川堤防天端高が、東側への流入部分ではほぼ T.P. 4.2 m となっているため、2 回目の越流までは東側への流入はなく、防潮堤を越流した水は、すべて川の西側に貯留されると考えられる。3 回目の越流は、2 回目からさらに 30 分後で、越流量は 3 回のうち最大である。2 回目までの貯留分に加えると、貯留水位は T.P. 5 m まで上昇し、防潮堤から 500 m 陸側までが浸水することになる。ここまでに浸水すると考えられる建物の数は 120 を超え、世帯数も 87 となる。ここで、西側の貯留水位が河川堤防の天端高を上まわるため、東側へも流入すると考えられる。西側と比較して東側は低くなっているため、東側でも家屋の浸水がおこる可能性がある。この時の推定浸水域を 図-7 に斜線で示した。

以上のように見てくると、昭和 8 年津波の浸水域内に建てられた家屋の大部分は、現況でも浸水するという結果になる。ところで、防潮堤を越流した津波は、後背地に貯留した水の上に落下するので、昭和 8 年当時の記録にあるように押波によって海岸近くの家屋がなぎ倒されというようなことはないと考えられ、この点では防潮堤の防災効果が認められる。

以上では、津波来襲時の防潮堤越流による家屋の浸水状況を考えてが、次に、人および船舶の避難について述べる。

図-10 は、現在考えられる、地震発生から津波到着までのタイムテーブルである。

現在の津波警報システムでは、地震発生後に三陸各地の地震観測所からのデータが電報で仙台の気象台に集まるのに約 15 分かかる。気象台では、これらのデータを

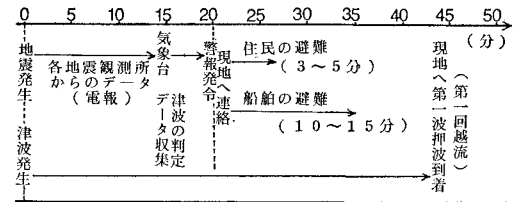


図-10 津波発生時のタイムテーブル

もとに津波の判定を行い、発震後 20 分以内に津波警報を発令する。警報は直ちに現地へ伝えられ、住民および船舶の避難が開始される。綾里湊地区の住民の避難場所は、昭和 8 年津波後につくられた高台の造成地 (図-7 参照) であり、最も遠い所からでも距離にして 200 m であって、地元の避難訓練の結果では、3~5 分で避難できるとされている。したがって、住民の避難は、地震発生後 25 分で終わることになる。また、船舶は、綾里港から湾口まで 10~15 分かかるとされているため、地震発生後 35 分までには避難し終わることになる。地震発生直後に津波が発生したとすると、本計算で扱った昭和 8 年津波の場合には、津波発生後約 45 分で湾内に第 1 波が到着し、第 1 回の防潮堤越流がおこるので、この時点ではすでに住民および船舶の避難は終了していることになる。しかし、以上で述べた避難時間は、平常時において住民が適切に行動したときのものであり、実際の警報発令時に、住民が平常時と同様の行動がとれるとした場合の値である。本計算の昭和 8 年津波の場合でも警報が出されてから津波到着まで約 25 分であり、適切な行動をしない限り、住民および船舶にとって安全な時間とは言いがたい。

5. 結 論

まず、綾里地区における昭和 8 年三陸津波の、数値シミュレーションによる再現を試み、当時の調査結果と浸水域、痕跡高、来襲時刻等についてかなり良く一致する結果を得た。

次に、防潮堤等を含む現況地形に、この同じ津波を照射させ、津波災害の予測を行った。

現在あるチリ地震津波対策の防潮堤の天端は、昭和 8 年津波に対しては低く、海岸線近くの低地に建てられた家屋は、ほとんど浸水する。

住民および船舶の避難に関しては、現在の避難訓練の体制が実行されれば、津波から逃れることが出来る。

最後に、本研究を行うにあたり、東北大学学生（現富山県）の上野興松君には、計算実行・データ整理等

において熱心な助力を得た。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 岩崎敏夫・真野 明：オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算，第 26 回海講，pp. 55~60, 1979.
- 2) 土木学会編：水理公式集，265 p., 1971.
- 3) 東京帝国大学地震研究所編：昭和 8 年三陸津波に関する論文および報告，第 1 編論文，222 p., 1934.
- 4) 内務大臣官房都市計画課編：三陸津波に因る被害町村の復興計画報告書，1934.