

北海道太平洋岸の津波の予測高さについて

北大工 正員 ○佐伯 浩
(株)鴻池組 正員 宮本 康二
北大工 正員 尾崎 晃

1. 結 論 地球上で津波の発生し易い場所は、地震活動の盛んな海域と一致する事は当然である。北海道の太平洋岸にほぼ平行に環太平洋地震帯があるため、北海道の太平洋岸は三陸海岸とならんで、我国においても有数の津波の来襲地帯である。津波の発生原因には、海底火山の爆発、海中への海床土砂の大量崩壊、それに伴って海上、海中爆発それに海底での地震があるが、本研究では、特に海底地震による津波の予測高さについて述べる。また、津波の発生場所については、北海道太平洋岸に影響を与える津波の発生場所は、例えば、1960年5月22日19時11分(G. M. T)に発生したチリ南部沖地震津波(M=8.5)はチリ沿岸のみならず太平洋に面した(図-2) 国々に大きな被害を及ぼした事等を考えると、太平洋で発生した津波は、大小の差こそあれ北海道に影響を与えているが、本研究では、特に北海道の太平洋岸に大きな被害を及ぼす可能性のあるアラスカからアムール列島、千島列島、北海道東岸から三陸海岸沖にかけての地震帯で発生する津波の予測高さについて述べる。

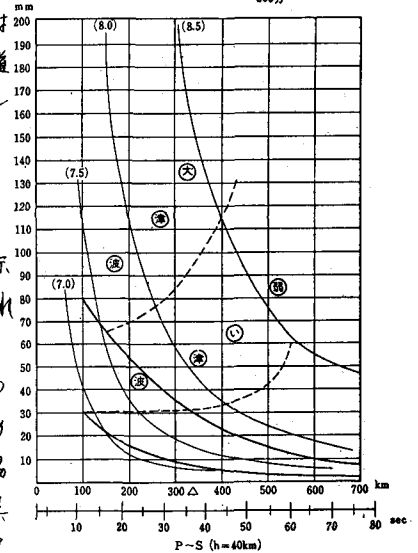
(図-1)



推定潮位

H: 津波高さ

津波予測図 1/500万 地図用



2. 津波高さの予測方法 これから述べる津波高さは(図-1)に示すように、推定潮位面から津波の水位の差の最大値を言う事にし、これは普通 Maximum Tsunami Height と呼ばれるものである。この津波高さの予測方法には大きく分けて、二つあると考えられる。一つは数値計算による数値 simulation であり、もう一つは過去の津波の記録をもとにして推定する方法である。数値 simulation を行なう場合には、地震の発生地帯の設定、波源域の大きさあるいは断層長の決定、波源域の海底の隆起あるいは陥没の規模の決定、隆起、陥没速度の決定等については、未だ未解決の点が多く、過去の地震津波から得られている経験式を用いるほかない。以上の事から、我々は根室の花咲港、釧路港、十勝港、苫小牧港、室蘭港の過去の津波記録を全て集収して、その記録から各港湾の津波高さの予測をこころみた。

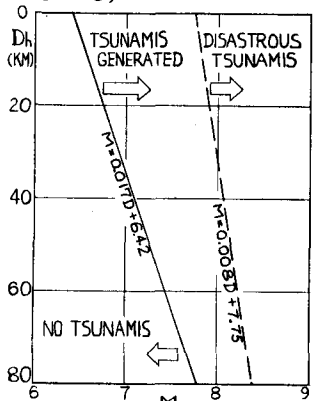
3. 津波高さを決定する要素 北海道の太平洋岸に来襲する地震津波は、地震帯が海岸線にほぼ平行に存在するため、取り扱いが比較的簡単である。このような状態の場合、ある地震の津波高さ H は次式で示される。

$$H = f(M, D_n, L, D_h, S, S') \quad \dots (1)$$

H: 津波高さ (cm)

M: 地震の規模 (マグニチュード) D_n : 震源の方向

(図-3)



L: 震源地までの距離

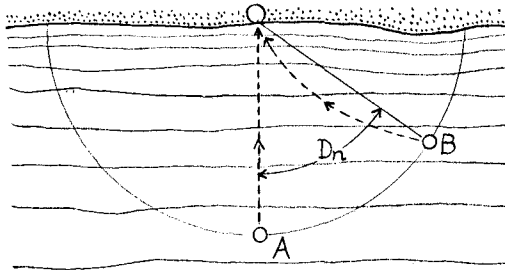
(km)

Dh: 震源の深さ(km)

S: 湾の形状の大きさ

S': 港の形状の大きさ

(図-4)



気象庁による津波の

予報には(図-2)

に示すように、震源地までの距離と、予測地点での地震計の最大全振幅
それに地震の規模Mで、津波の規模を「大津波」、「弱い津波」、「津波なし」
に分け、予報に用いている。しかし、各地災にとってはほとんどの高さ
の津波が来るかも知れないわけで、(図-2)のみでは不完全で

ある。しかし、津波の予測に地震の規模Mと震源地までの
距離Lは津波高の予測に重要である。次に震源の深さDhに
ついては、(図-3)に示すように、IIDA(1958)の調べた結果から、同じ地震の規模(M)であっても、震源の深
さDhによって、津波高さは異なる。このように、津波高
の予測にDhは重要であるが、地震の観測の精度は、位
置については、±5kmまで精度が高まっているにもかかわらず
深さの方は±20kmであり、またDh ≤ 80kmでないと、

津波の発生は、ほとんど起こらないと考えられる事等を

考慮して、ここでは一応、Dhについては考えない事に

する。次に津波の方向Dnについては、北海道の太平洋

岸においては、断層線、地震帯ともに海岸線にほぼ

平行である事から、(図-4)に示すように、震源地

までの距離Lは同じでも、A点が波源域の場合とB

点では、津波の伝播図から考えても、A点の方が起こる

方が、エネルギー密度は大きく、津波高は大きくなる事

から、Dnも、津波高に関係している。湾形と港の形と

大きさも示すS、S'については、今回は考えない事に

する。ここで、まずHとMとLの関係も(図-5)に示す。

図より明らかなように、同一の港においては、同一の

Mであれば、震源地までの距離Lが大きくなればなる

程Hは小さくなり、同一の距離Lでも、Mが大きくな

るにつれてHは大きくなっている。また、同一のM、L

であっても、港によってHの大きさが異なっている。港が

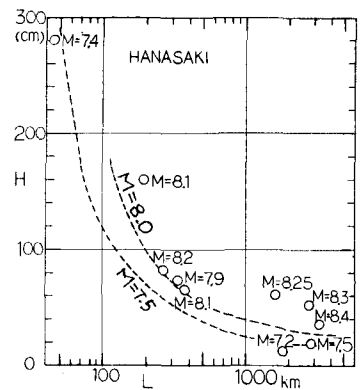
湾の奥にある花咲港、それに津波エネルギーの集中しや

すい位置にある釧路港、十勝港はHが大きいのに対

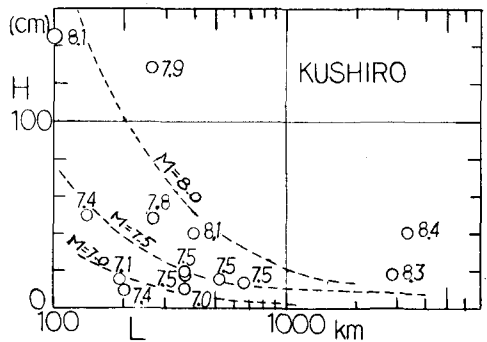
して、エネルギーが分散しやすい位置にある苫小牧港

室蘭港(室蘭港は岬の影にもなっている)ではHは

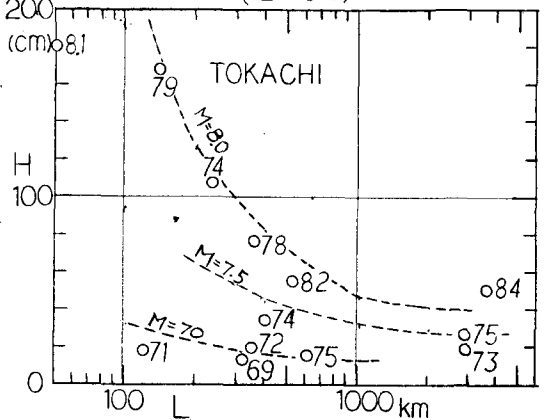
(図-5 a)



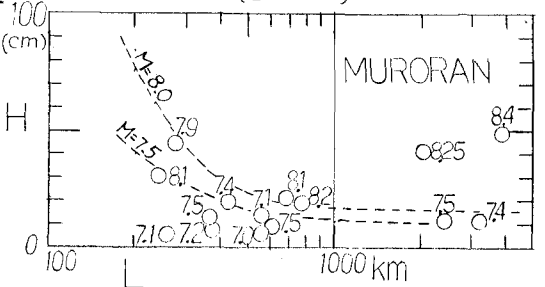
(図-5 b)



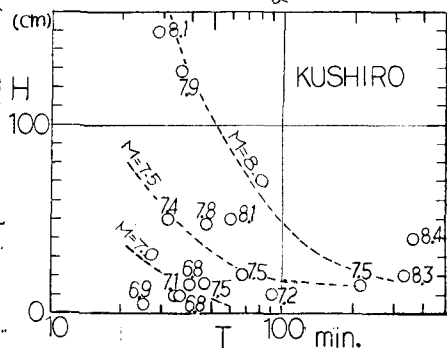
(図-5 c)



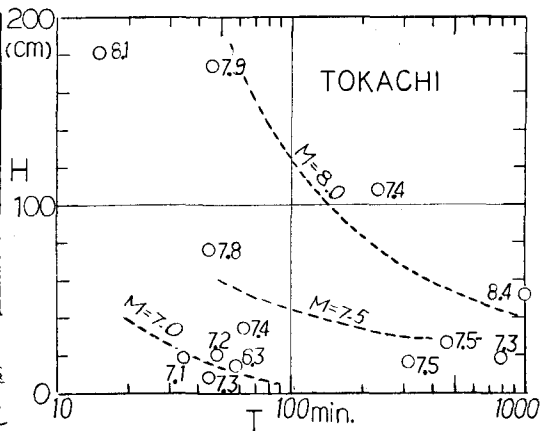
(図-5 d)



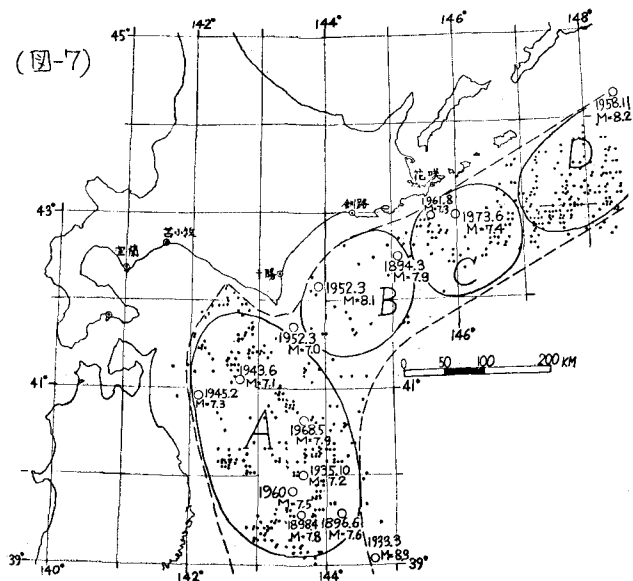
室蘭港のHは (cm)
小さいのは、
湾口の狭い噴H
火湾の中にあ
るためでもあ
る。このH-L
-Mの関係で
は必ずしも
うまく説明で



時間、即 travel time $T \propto H \propto M \propto \text{關係}$



(図-6)に示す。このH-T-Mの関係で表わした方がH-L-Mで表わすより若干すっきりしている。しかし、十勝港のM=7.4の津波はTは大きいに対して他の値に較べて小さい値を示している。これは、1973年の根室半島沖の地震より発生したものであるが、気象庁発表では、M=7.4であるが、その後種種の研究の結果M=7.7と言う説もあり、まだ確定していないが、ここでは一応、気象庁発表のとおりにしておく。このように、単純な方法で完全に表わされないのは、前にも述べたように、 D_h , S , S' の効果は考えてない事と、地震の規模を表わす要素をMだけで表わしているためでもある。逆に言えば、H-L-M, あるいはH-T



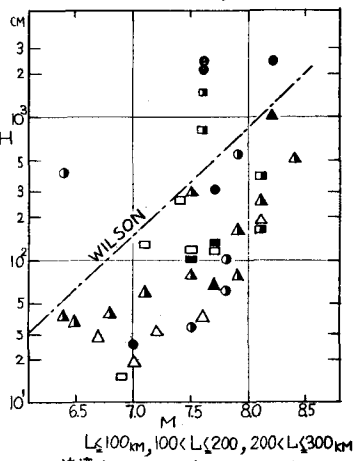
-Mで比較よく説明されているといえる。(図-7)に北海道の太平洋岸に影響を与える地震の発生地点を示したもので(1961~1973年)、津波の発生に影響ある D_h は $D_h \leq 60$ の範囲であり、 M は $5.0 \leq M$ である。この(図-7)によると、地震の発生範囲を图中的破線で囲まれる領域とすると、各港に一番近い震源地は、根室の花咲港では、港から5.70~50 km、釧路港では40~60 km、十勝港では40~50 km、苫小牧では100~115 km、室蘭港では100~120 kmの地点とできる。以上(図-5)(図-6)により、比較的、港から離れた地点で発生する津波については、津波高のおおよその値を知る事ができる。なお(図-7)は、距離を正確にするために、多円座標法で作図したものである。

4. 近距離地震の津波高の推定. 上述したように、津波は、震源地が、ごく近い所を除けば、 $H-L-M$ あるいは $H-T-M$ の関係から、津波高さ H が予測できる。しかし、過去の震源地から探すると、もっとも地震に近い所で大きな地震が発生する可能性は充分にある。Wilson は Iida が日本近海で発生した 1923 ~ 1957 年の間の 35 年間のデータを整理しなおして、その包絡線をとって M と H の関係を導いた。

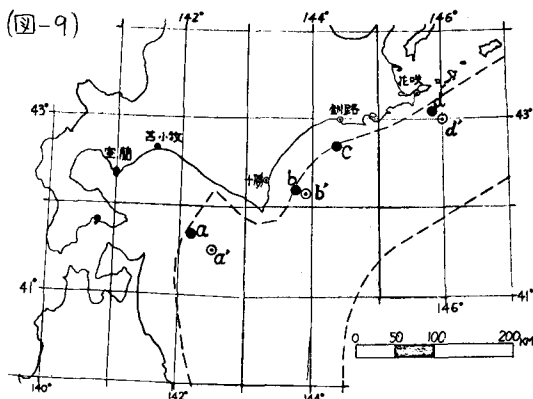
$$\log_{10} H = 0.75 M - 5.07 \quad \dots (2)$$

(図-8)

(図-8)に、北海道の太平洋岸から三陸海岸で測定された地震のマグニチュード M と津波高さ H の関係を示したものである。図は、測定地点と震源地との距離 L については $L \leq 100 \text{ km}$, $100 \text{ km} < L \leq 200 \text{ km}$, $200 < L \leq 300 \text{ km}$, $L > 300 \text{ km}$ で分け、湾の形は、浅湾、中浅湾、奥深湾の三つに分けた。浅湾は、三角形の湾口が直接外海に面した場合に相当し、中浅湾は湾形は三角形で湾口部の幅 (B) と奥行 (L) の比がほぼ $B/L \approx 1$ の場合、奥深湾は $B/L > 1$ の場合である。この(図-8)によると、Wilsonの得た式は海岸線の単調な海岸での最大の津波高さを表わしているようで、中浅湾、奥深湾 $(B/L) \approx 1$ においては越える場合もある。北海道の太平洋岸においては $(B/L) > 1$ のような大きな湾は存在しない。室蘭港は噴火湾の中にあるが噴火湾は円形に近く、湾口は狭いため、湾内では、津波エネルギーが分散するので、津波高は小さくなる。以上の結果から、最終的に各港で予測される最大の津波高さは Wilson 式と(図-5)と震源値までの最小の距離を用いる率によって得る事ができる。その結果を(図-10)に示す。この(図-10)より、 $M=8$ と $L=25 \text{ km}$ の地震が起ると各港の予測最大波高は表-1の如くなる。震源地までの最小距離は(図-9)の a, b, c, d 点とした。ここで、Wilsonの式を一応 $L=25 \text{ km}$ の所に設定している。

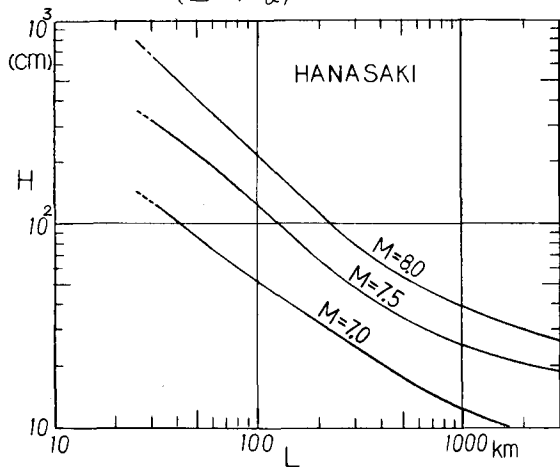


(図-9)

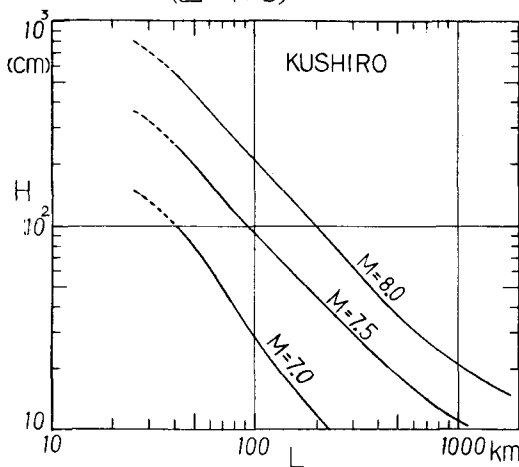


5. 津波の伝播図から H の予測。4までは、過去の津波の記録をそのまま解析して津波高を予測してきたが、ここでは津波の伝播図によって津波高を予測した。予想に用いた津波は 1952年3月4日の十勝沖地震津波、1968年5月16日の十勝沖

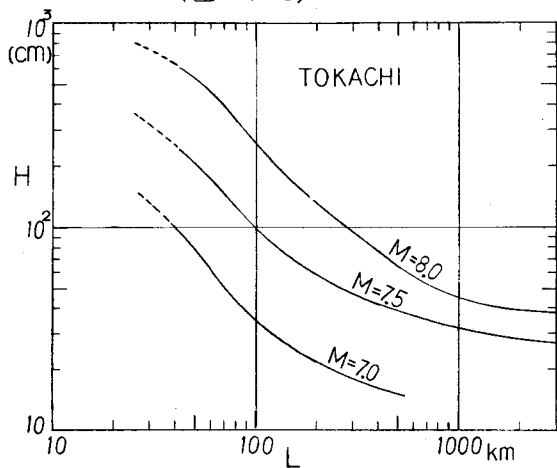
(図-10a)



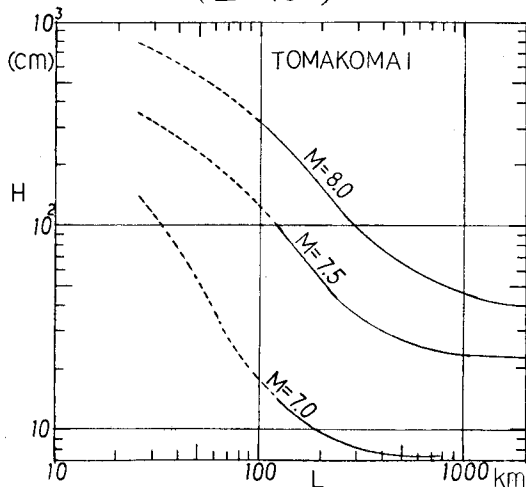
(図-10b)



(図-10c)



(図-10d)



地震津波。それは1973年6月17日の根室半島沖地震津波である。一般に津波の波高変化がGreenの式で表わされるとし、全エネルギー損失が無視できるものとして次式で示される。

$$H/H_0 = (h_0/h)^{1/2} (\delta/\delta_0)^{1/2} \quad (3)$$

このGreenの式を用いると、対称としている各港湾の水深をほぼ同一とすると、あとは津波の屈折によるエネルギーの集中、分散を表す波向線の間隔のみで表わされる事になる。ある港湾を基準とし、各港湾の波向線の間隔を δ とし、津波高さを H_0 とすると、同一の津波に対しては、他の港湾の津波高さは次式で示される。

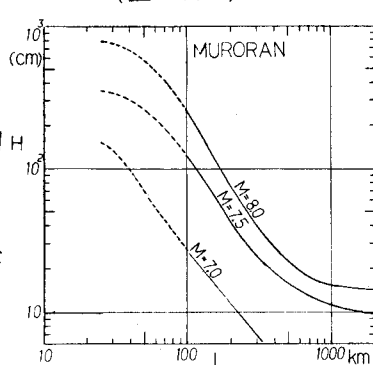
$$H = H_0 \sqrt{\delta/\delta_0} \quad (4)$$

上記の三つの津波に対して、基準の港と十勝港にとって上式で計算したものと実測値と比較した結果が(表-2)である。この方法でもかなり各地々の津波高さを表わしている。室蘭港においては、

1952年の十勝沖地震津波と1973年の根室半島沖地震津波では予測高さが実測値の約2倍の大きさであるが、これは、この二つの地震の震源地の位置が、室蘭港にとって、襟子岬の影になるためと思われる。これは1923年の根室半島沖地震津波の場合の甚い枚の場合にも相当する。このような単純な方法でよく

合うのは、北海道太平洋沿岸の水深線が、海岸にほぼ平行で、単調な事と、対称となった各港湾が、室蘭港を除いて、直接、外海に面しているためと思われる。ここで(図-9)の a' , b' , d' 点で津波を発生させて、津波の屈折図を描き、十勝港を基準にして、各港湾の波高を推定した。基準とする十勝港の津波高 (H_0) は(図-10)から得た。この(図-10)からの H_0 と屈折図から δ を得、(4)式より各地々の H を計算したものと、(図-10)より得た H を比較したものが(表-3)である。この表からみると、津波の伝播図から推定される津波高と、(図-10)から得られる津波高は比較的良好な一致をみている。しかし釧路港と室蘭港では、 $M=8.0$ の場合に限って、かなり差がでているが、これは釧路港においては、三陸沖からエリモ岬にかけて発生した津波は比較的釧路からエリモ岬沖間にかけてエネルギーが集中する傾向がある

(図-10e)



(表-1)

	M=8.0	M=7.5	L
HANASAKI	6.5m	3.3m	30km
KUSHIRO	5.5m	2.6m	40km
TOKACHI	6.0m	2.4m	40km
TOMAKOMAI	3.3m	1.2m	100km
MURORAN	2.3m	1.2m	100km

(表-2)

1952年 十勝沖						
	HANASAKI	KUSHIRO	TOKACHI	TOMAKOMAI	MURORAN	HAKODATE
γ	4.4	1.1	0.3	8.6	8.6	8.6
$\sqrt{X_s}/\gamma$	0.26	0.51	1	0.19	0.19	0.19
H (cm)	47	90	180		34	34
OBS.(cm)		93	180		16	32

1968年 十勝沖						
	HANASAKI	KUSHIRO	TOKACHI	TOMAKOMAI	MURORAN	HAKODATE
γ	4.0	1.5	0.8	9	9	2
$\sqrt{X_s}/\gamma$	0.45	0.73	1	0.30	0.30	0.63
H (cm)	75	122	168	50	50	106
OBS.(cm)	70	138	168	50	41	130

1973年 根室半島沖						
	HANASAKI	KUSHIRO	TOKACHI	TOMAKOMAI	MURORAN	HAKODATE
γ	0.36	8.5	2.0	12.1	12.1	12.1
$\sqrt{X_s}/\gamma$	2.36	0.49	1	0.41	0.41	0.41
H (cm)	256	52	108	44	44	44
OBS.(cm)	280	50	108	23	18	33

ためである。これは(図-7)からも明らかのように、エリモ
岬あたりで地震帯が弯曲しているため、距離 L が大きいわ
りに H が大きくなるためである。以上の事を総合すると
(図-10)は北海道の太平洋岸の海岸、特に花咲港、釧
路港、十勝港、室蘭港とくに苫小牧港の津波高の推定に役立つものと思われる。

6. 津波の発生確率 我が国において津波を伴った地震の発生頻度は、次式で示される。

$$\log_{10} N = -1.15M + 7.36 \dots \dots \dots (5) \quad N: \text{日本付近で発生する津波の1年間の回数}$$

(5) 式によると $M=7.0$ で $N=0.4$, $M=7.5$ で $N=0.19$, $M=8.0$ で $N=0.086$, $M=8.5$ のとき $N=0.039$ となり、これによると $M=7.5$ の地震にみしては 5.3年に1回, $M=8.0$ では 11.6年に1回, $M=8.5$ では 26年に1回となる。北海道の太平洋岸に影響を及ぼす津波は上記の半分以上である事を考えれば、今後ますます津波対策を重要視すべきである。

おわりに

本研究を行なうに当たり、津波記録集収に御協載いただいた 根室測候所、釧路気象台、函館海洋気象台とこれに、北海道開発局の釧路港湾建設事務所、十勝港湾建設事務所、苫小牧港湾建設事務所、室蘭港湾建設事務所、函館港湾建設事務所のオウ、および現北日本港湾コンサルタントの斎藤辰男氏、現 鈴木重業所勤務の大川清尚氏に厚き謝意を表する。

参考文献

B.W.Wilson: The Nature of Tsunami, NESCO Tech. Rept. NO. SN 57-2 (1962), K. Mogi: Some Features of Recent Seismic Activity in and near Japan, Bulletin of the Earthquake Res. Inst. Vol. 47 (1969), 津津徳治: 北海道周近における大地震の活動と根室南支庁地震について, 第8回自然災害科学総合シンポジウム (1971), 北海道庁編: 十勝沖地震史話, (1953), 1968年十勝沖地震調査委員会編: 1968年十勝沖地震調査報告 (1969), 酒井良男編: 1973年6月17日根室半島沖地震調査報告 (1974)

(表-3)

N=41.5° E142.5°						
	$\sqrt{X_s}/\gamma$	M=7.5		M=8.0		L
		EQ.(4)	Fig-10	EQ.(4)	Fig-10	
HANASAKI	0.42	34 ^{CM}	44 ^{CM}	85 ^{CM}	75 ^{CM}	336km
KUSHIRO	0.64	51	38	127	82	236km
TOKACHI	1	80	80	200	200	111km
TOMAKOMAI	1.09	85	82	212	230	145km
MURORAN	1	80	64	200	120	155km

N=42.2° E143.9°						
	$\sqrt{X_s}/\gamma$	M=7.5		M=8.0		L
		EQ.(4)	Fig-10	EQ.(4)	Fig-10	
HANASAKI	0.261	42 ^{CM}	55 ^{CM}	104 ^{CM}	106 ^{CM}	233km
KUSHIRO	0.514	82	70	206	165	124km
TOKACHI	1	160	160	400	400	64km
TOMAKOMAI	0.187	30	41	74	120	242km
MURORAN	0.187	30	25	74	40	296km

N=43.0° E146.0°						
	$\sqrt{X_s}/\gamma$	M=7.5		M=8.0		L
		EQ.(4)	Fig-10	EQ.(4)	Fig-10	
HANASAKI	2.61	136 ^{CM}	200 ^{CM}	313 ^{CM}	360 ^{CM}	55km
KUSHIRO	0.514	27	65	62	160	131km
TOKACHI	1	52	52	120	120	230km
TOMAKOMAI	0.187	10	30	22	80	364km
MURORAN	0.187	10	18	22	27	427km