

台風 26 号による吉原海岸の災害について

富 永 康 照*・橋 本 宏*・中 村 隆*

1. ま え が き

昭和 41 年 9 月 25 日 午前 1 時頃、台風 26 号により発生した高波によって、駿河湾沿岸一帯はかなりの被害を受けた。とくに吉原海岸では波が海岸堤防を越波して背後地に流入し、一部人家等を破壊したため、13 名の人命を失うに至った。

駿河湾は 1000 m の等深線が湾奥部まで深く入りこんでいる非常に深い湾で、吉原海岸の海底勾配は、約 1/5 程度の急勾配をなしている。したがって波は海岸線のすぐ近くまでエネルギーを失うことなく来襲するので、海岸への遡上も非常に大きい。

このような海岸地形のため、台風季には毎年のようにかなりの高波が来襲するので、過去においても高波により大きな災害を受けたことが記録されている。とくに延宝 8 年と明治 32 年の災害が大きかったようである。

今回の災害の特性は、富士海岸等の一部を除いて、堤防自体にあまり大きな被害はなく、2 回程度の大きな越波により背後地が災害を受けたことである。

従来の海岸堤防の設計基準では、事実上ある程度の越波はやむを得ないものと考えられてきたが、今回のように堤防自体が安全でも、その機能が不十分ではやはり問題であって、駿河湾のような特殊な場所では、越波も十分に考慮して堤防の高さを決めることが必要となろう。

今回の災害では、波の記録が十分に取れなかったもので、水理的にその実体を捉えることは困難であり、種々の問題が残っているが、ここでは一応現地調査、模型実験等の結果をのべ、それらを通じて災害の特性、今後の問題点を明らかにしてゆきたいと考える。

2. 災 害 状 況

吉原海岸は図-1 に示すように、駿河湾の湾奥にあって、その海底勾配が 1/5 程度の非常に急深な海岸である。浜勾配は 1/13 程度で、汀線より約 150 m 離れて天端高が T.P. 13 m の海岸堤防がある。堤防の背後地は比較的平坦な砂丘で、その陸側に古い堤防が残っている。この旧堤付近が一般に砂丘の頂上にあたる部分で、その高さはだいたい T.P. 13~18 m である。旧堤付近は松林となっており、その背後の傾斜地に、民家が

かなり密集している。現在の海岸堤防は砂丘の前斜面につくられており、旧堤との距離は 150 m 前後である。

図-1 吉原海岸位置図

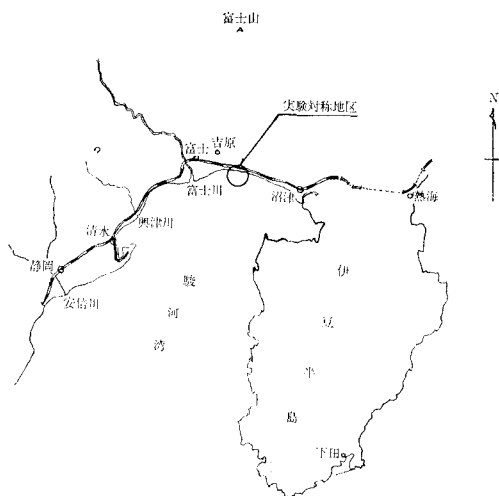


図-2 は波の侵入状況、家屋の被害状況を調査した結果である。

波の侵入限界高は一般に西側が高く、東側が低い。すなわち、西側では T.P. 16~17 m に達しているが、東側では T.P. 14 m 前後である。

波の侵入により大きな被害を受けたのは元吉原小学校付近で、冠水深が 1 m と推定される線が陸側に深く入りこんでいる。侵入した海水は砂丘を乗り越え、背後の斜面を流れて低地に湛水した。そのため一部では斜面にのり崩れを生じた。この小学校付近を除いては、波の侵入はほぼ旧堤で止まっているか、それより奥に侵入しても量的にごくわずかで大きな被害を与えていない。

上述のように、比較的狭い範囲でありながら、場所により波の侵入高、被害状況が異なる原因としては、海底地形による波の収れん、発散、背後地の地形の差異等が考えられる。

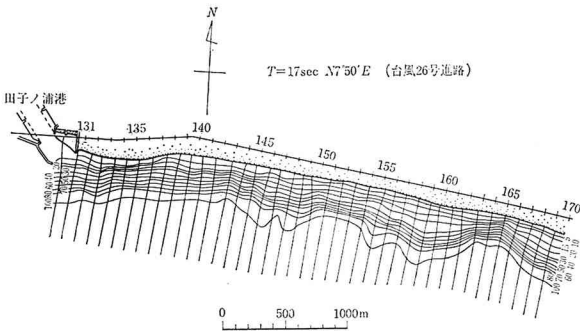
図-3 は吉原海岸前面における波の屈折状況を示したものである。波の周期は 17 sec であるが、海底が急勾配のため、屈折による波の収れん、発散は比較的少ないが、元吉原小学校付近の海岸 (No. 146~149) に波が集中する可能性は多少認められるようである。また No. 150 付近では若干の発散がみられる。

* 正会員 建設省土木研究所河川部海岸研究室

図—2 吉原海岸における波の侵入状況



図-3 吉原海岸における波の屈折



背後地の地形の差異としてまず目につくことは、元吉原小学校付近から西側は一般に背後地が高く、東側は低いことである。海岸堤防の裏側は一般に凹地をなしているが、この凹地の規模が西側と東側とでは相当に異なっており、東側の方がはるかに大きい。等高線で比較しても西側は最低 T.P. 12m であり、東側は T.P. 10m となっている。

元吉原小学校より西側では T.P. 18m に達する高い砂丘により波の侵入が止められたことは明瞭であるが、東側において波の侵入限界をなしている旧堤は、一部高いところもあるが、全般的には小学校付近の旧堤高と大差ないにもかかわらず、波の侵入に相当の差があることを考えると、背後の地盤の高低差も相当に影響したように思われる。

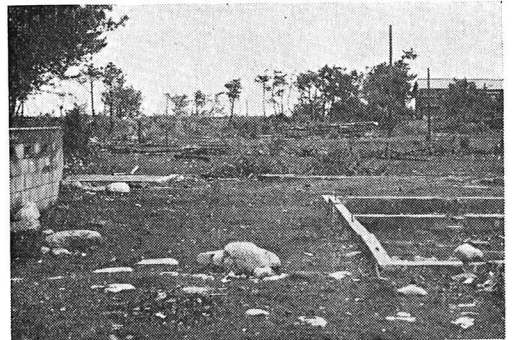
元吉原小学校付近では、その東側と西側とで旧堤内の家屋が流失したが、地形を詳細に調べてみると、いずれ

も流出家屋の前面で旧堤が低く、しかも旧堤に続く背後地が細長い凹地を形成しており、水が集中して流れやすくなっているのが認められる。

まず東側についてみると、波の痕跡高は T.P. 15.5m 前後で、旧堤の高さは低いところで 13.5m ぐらいであったので、この付近の最大水深は 2m 程度と推定される。背後地の地盤高は大部分 T.P. 14~15m であるが、その中に T.P. 13m 以下の細長い凹地があり、そこに越波した海水がある程度集中して流れたため、その水みちに当る人家が流出等の被害を受けたものと推定される。写真-1 は水みちとなった凹地および水みちの末端で、水流の落下により崩れした個所を示したものである。

つぎに西側の災害地点は、全般的に T.P. 13~14m の細長い凹地を形成しているのがわかる。この部分もやはり水が集中して流れたようで、家屋が数軒流失した。写真-2 は旧堤と家屋の流失跡を示す。旧堤に近い2軒

写真-2 元吉原小定校運動場西側一家屋流失跡
(前方に見えるのは旧堤)



のみ流失し、その他は半壊程度で流失をまぬがれた。

写真-3 は元吉原小学校の校舎とその校庭の海側端にある保育園の被害状況を示したものである。海岸の保育園では、窓ガラスが半分ほど割れており、椅子、机等も中庭に流失し

写真-3.1 保育園の被害状況
(元吉原小学校職員撮影)

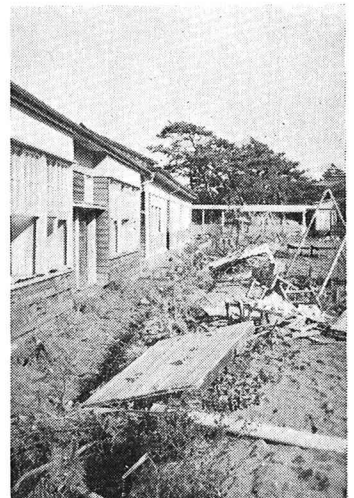
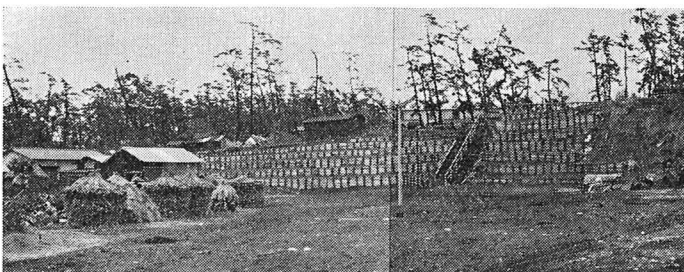


写真-1.1 元吉原小学校東側一水みちとなった凹地



写真-1.2 元吉原小学校東側一水みちの末端部におけるのり崩れ



写真—3.2 元吉原小学校の被害状況
(元吉原小学校職員撮影)



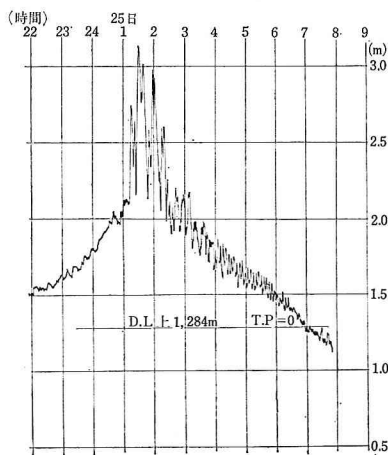
いて、相当の水勢があったことを示している。一方校庭をへだてた小学校の校舎では、窓ガラスの破損もなく、多少浸水した程度で被害が小さかったことがわかる。このようにわずか 100 m 程度の距離の差により、被害状況が著しく異なっている事実は、波が津波のような長周期のものでなく、比較的短周期のものと推定し得る例証とみてよいであろう。また海岸堤防と旧堤との間にあった飯場等は例外なく流失したが、これはこの区域全般にわたって、流勢が相当に強かったことを物語るものと思われる。

3. 潮位と波

(1) 潮位

昭和 41 年台風 26 号の際の潮位は駿河湾内では内浦検潮所（気象庁）、田子ノ浦検潮所（静岡県）、清水港検潮所（気象庁）において記録されている。これらの記録によれば 図—4 に示すように田子ノ浦において最高潮位は T.P. 1.5 m 程度となり、また 5~20 分の周期の副振動が卓越している。

図—4 田子ノ浦港潮位記録



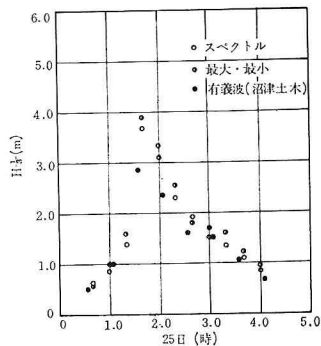
(2) 波 浪

台風 26 号による波浪記録は沼津港において得られて

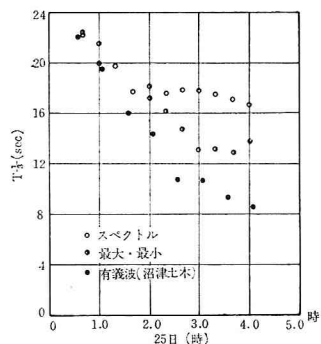
いる。この記録を使用して富士・吉原海岸に来襲した波の推定を行なってみた。

沼津港の波高計は海岸堤防から 350 m 沖、水深 14 m（工事基準面下：工事基準面=T.P.-0.723 m）の海底から 2 m の位置に設置されている。有義波高と周期を計算した結果は図—

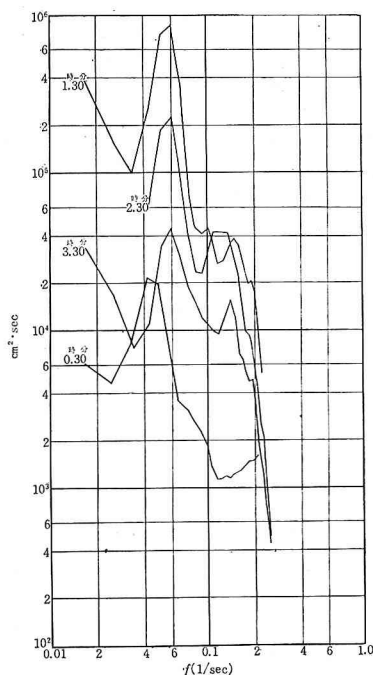
図—5 沼津港における波の有義波高



図—6 沼津港における波の周期



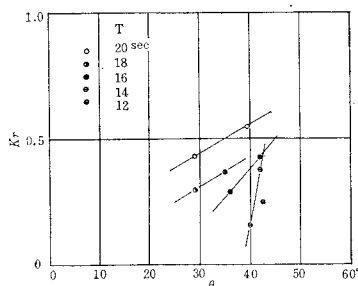
図—7 波のスペクトル



≒18 sec 程度である。またスペクトル解析を行なった結果は図-7に水圧スペクトルとして示されている。なお周期が長い表面波に換算してもエネルギー・スペクトルはほとんど同じである。周期の長い波が始めに到達し、しだいに周期が短くなるとともに波のエネルギーが増加しつつ減衰していることが明らかに表われている。なおスペクトル計算の際にはデータ数 1000, lag の数 50, 記録の読み取り間隔 1.2 sec で行なった。

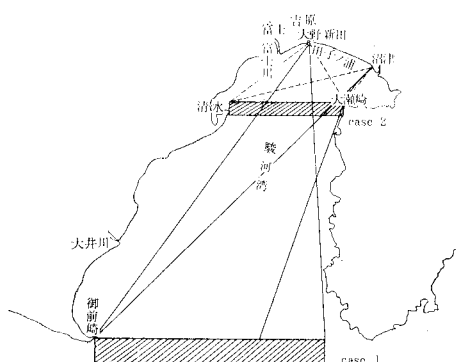
富士・吉原海岸の波を推定するには沼津港で観測される波の変形について知らなければならない。波の変形については屈折・回折、およびうねりとなれば速度分散と方向分散などが生ずる。沼津港で観測される波は屈折と方向分散を受けていると考えられる。これらの大きさについて2つの場合について推定を行ってみた。屈折については入射波の方向によって図-8のような値をと

図-8 屈折係数



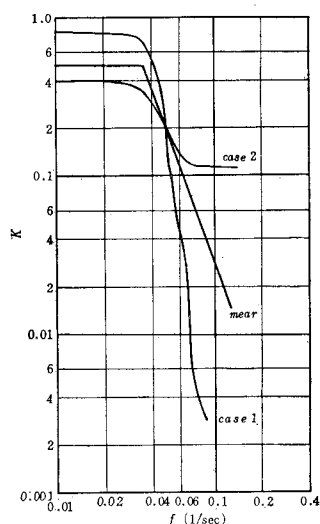
る。これは縮尺 1/30 000 の海図を使用しているため精度はあまりよくないと考えられる。方向分散については各方向の波のエネルギーは $\cos^2 \theta$ に比例すると考える。まず Case 1 として港口において図-9に示すような方向分散を行ない、屈折して観測されるものとする。なお波のエネルギーが最大となる方向はSとする。エネルギー減衰係数 K を $K = K_r^2 \cdot K_d$ (K_r : 屈折係数, K_d : 方向分散係数) として各周波数の波について求めた結果は図-10 になる。これには沼津と富士・吉原海岸との比で示してある。Case 2 としては湾内においても各方向の成分波はエネルギーを持っていると

図-9 方向分散



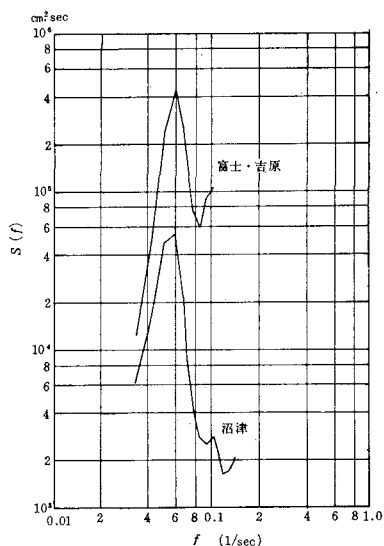
して図-9に示すような方向分散を考える。この場合には $K_r = 0.5$ の方向まで有効として角分散係数を計算すると図-10に示されるようになる。実際の現象はこの両者の中間にあると考えられ図-10に示すような平均曲線を推定することができる。これを使用して沼津港において1時30分～1時

図-10 エネルギー減衰係数



50 分の間に観測されたスペクトルを換算し、富士・吉原海岸のスペクトルを推定すると図-11 になる。これから全エネルギーを求め、有義波高を計算すると約 8 m となる。この計算では高周波・低周波数の成分は除いているため全体のエネルギーは相当小さくなっている。同じ周波数の範囲で沼津港での値を求めると $H_{1/3} = 2.7$ m となり、これはさきの $H_{1/3} = 3.7$ m に対応するものである。この比から富士・吉原海岸の値を推定すると 10~11 m 程度となる。なお周期は 17~20 sec 程度である。

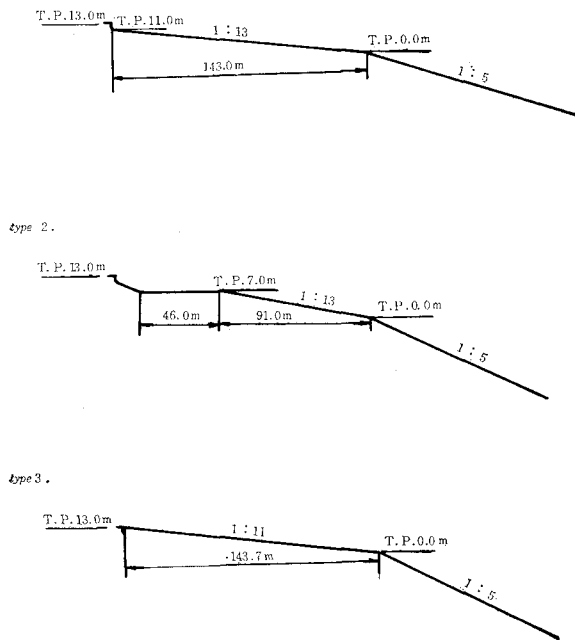
図-11 富士・吉原海岸の波のスペクトル



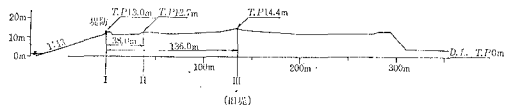
4. 越波量と波の侵入状況

災害状況調査においてのべたように、旧堤と汀線との距離は約 300 m で、しかもその間には T.P. 13 m の堤

図—12 吉原海岸模型の形状



図—13 吉原海岸背後地横断面図



防があったにもかかわらず、波は旧堤内の家屋をも押し流すような破壊力を示した。このような状態を引き起した水理条件がどのようなものであったか、不十分な記録のみから判断することは困難なので、模型実験によりしらべてみた。もちろん実験条件に限られるため、十分な結果を得ることはやはり困難であるが、一応の参考資料とはなるであろう。また災害の直後、堤防前面に砂が著しく堆積していたため、越波が大きくなったのではないかという議論が行なわれたので、この点についても実験により検討した。

(1) 実験条件および実験方法

実験は 図—12 に示すような海滨形状について行なった。

タイプ1：台風が来襲した当時の海滨形状と考えられるもので、海底勾配 1/5、海滨こう配 1/13、堤防高 T.P. 13m、堤防のり先の地盤高 T.P. 11m である。この形状については 図—13 のように堤防背後の地形もつくり、波の侵入状況を調査した。

タイプ2：タイプ1において、T.P. 7m 以上の砂をとりのぞいた形である。

タイプ3：T.P. 13m の堤防天端まで砂が堆積した

状態で、海滨こう配は 1/11 となっている。

上述の各タイプについて、つぎの潮位と波とを組合わせて実験を行なった。

潮位：T.P. 1.5m, 2.5m, 3.5m

周期：17sec, 20sec

波高：10m, 12.5m, 15m, 17.5m, 20m, 22.5m

長さ 110m、幅 1.5m、深さ 2.5m の造波水路の一端に、縮尺 1/40 で海滨および堤防の固定床模型をつくり、これに波を当てて、越波量、背後地への波の侵入状況などを調べた。

(2) 実験結果およびその検討

図—14 および 図—15 は実験結果を示したものである。縦軸に堤防の 1m 当り、1波当りの越波量とり、横軸には沖波波高がとってある。図—14 は(周期 17.0sec)の場合、図—15 は(周期 20.0sec)の場合である。

タイプ1の結果から、潮位、波が与えられたときの越波量が推定できるが、これだけでは現象の理解が困難なので、図—13 のように背後地の形状をつくり、越波の侵入状況を調べた。表—1 にその結果を示す。これによると、潮位 T.P. 1.5m の場合、波高が 20m 以上になると波は旧堤の位置まで達するようになる。周期 20sec で波高が 21~22m の場合、堤防上の越流深は約 5m、旧堤上の越流深は 1.5m になっている。また高速

図—14 波高と越波量との関係(周期 17sec)

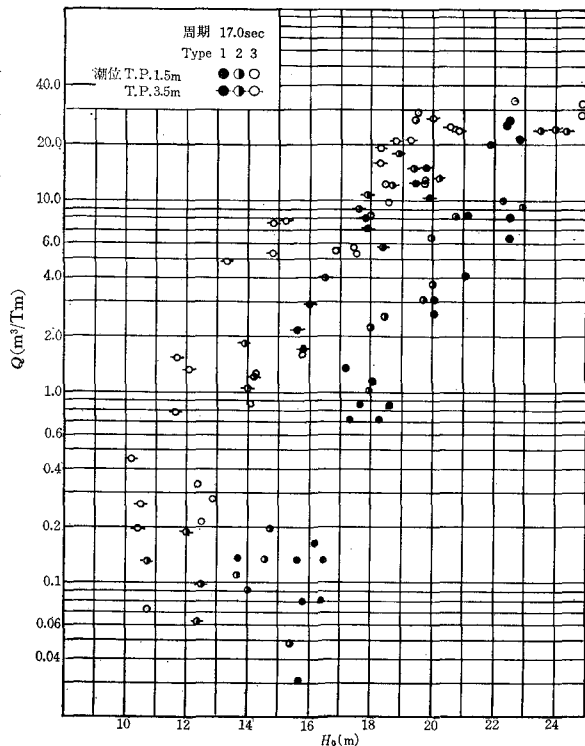


図-15 波高と越波量との関係 (周期 20 sec)

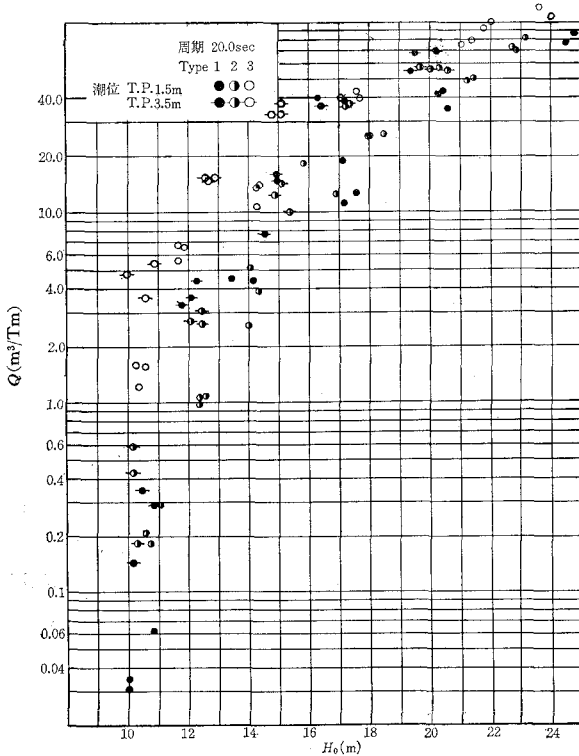


表-1 背後地への波の侵入状況

レ: 冠水しない。—: 冠水するがその値は測定していない。

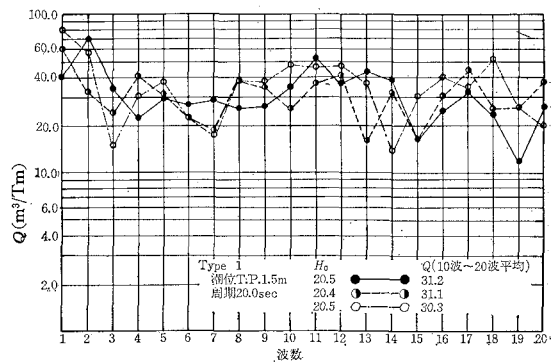
		沖 波		冠 水 厚 (m)		
潮 位	周期(sec)	波高 (m)	堤防前面	I	II	III
T.P. 1.5 m	17.0	18.9	2.0	1.5	レ	レ
"	"	23.3		—	1.3	—
"	"	25.3	4.0	4.0	—	—
"	20.0	14.5	2.0	2.0	レ	レ
"	"	16.7		—	1.5	レ
"	"	18.0	3.0	2.2	—	レ
"	"	21.1	5.0	4.0	—	—
"	"	21.8		—	—	1.55
"	"	21.9		—	3.5	—
"	"	22.2		—	2.8	—
"	"	22.4	6.0	6.0	—	—
"	"	23.4		—	—	1.95
T.P. 2.5 m	17.0	17.4		—	0.8	レ
"	"	17.5	2.0	2.0	—	レ
"	"	20.4	3.7	2.5	—	レ
"	"	23.0	4.5	4.2	—	—
"	"	23.8		—	1.5	—
"	"	24.8		—	—	1.7
"	20.0	14.1	3.0	4.0	—	レ
"	"	14.3		—	1.2	レ
"	"	17.4	3.0	4.0	—	—
"	"	17.4		—	1.6	—
"	"	20.3	2.5	2.8	—	—
"	"	20.3		—	—	1.4
"	"	20.4		—	1.7	—
段波の進行速度 (m/sec)						
潮 位	周期(T)	波高 (m)	堤防前面	I	II	III
T.P. 1.5 m	20.0(sec)	21.1	4.16	7.22		
		21.8				5.47
		21.9			5.55	

度撮影したフィルムより流速を測定してみると、堤防上で約 6 m/sec、旧堤付近で約 5 m/sec となる。

もちろんこれらのデータは十分な精度をもつものではないが、だいたいの状況を推定するには有効であろう。災害調査において、旧堤上の越流深は 1.4~2.0 m と推定されたが、上述の実験結果はこの状態にほぼ近いと考えられる。この場合、波の侵入状況の測定は、堤防による反射波の影響が小さいうちに実施しているので、越波量は 図-14 に示す実験値 (10 波の平均値) より大きくなっている。図-16 は一波ずつ越波量を測定した結果で、これによると、上述の場合の越波量は 70 t/m 程度に達している。この値は 図-14 から得られる値 50 t/m よりかなり大きくなっている。実際の場合には最大波に近い波が連続してくるわけではないであろうから、越波量は孤立波的に来襲した場合と、規則的に入射する場合との中間的な値となるであろうが、より合理的な値は不規則波による実験によらねばならない。

ここでは、このような点で波高と越波量との結び付きが合理性を欠いているが、とにかく災害時に近い状態を生ずるためには、越波量は 70 t/m 程度必要であり、そのときの水理条件は、潮位 T.P. 15 m とすれば、波高 21~22 m となることが推定される。これか

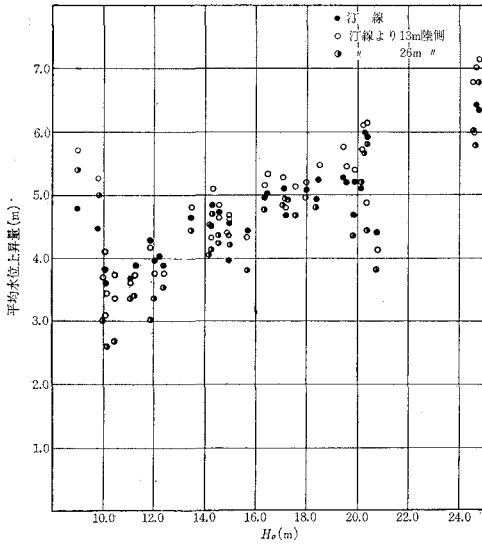
図-16 一波ごとに測定した越波量



ら類推して、潮位 T.P. 3.5 m とすると、波高は 16~17 m 必要となる。

潮位については、 図-4 にみられる副振動をどのようにに評価するかによって変わってくるが、一応平均的なものをとると、T.P. 1.5 m 前後となる。副振動の原因についてははっきりわからないが、波による水位上昇もおそらく一つの原因と考えられる。図-17 はタイプ 1 の実験において、汀線付近の平均水面の上昇を測定したものであるが、その値はかなり大きく、波高 20 m の場合は 5 m 程度に達している。この値は 20 m の波が連続して入射した場合であるから、著しく過大となっているが、波が大きい場合、平均水面はかなり上昇すると予想される。

図一17 波高と平均水位上昇量との関係



つぎに波であるが、まず周期については沼津における観測結果より 17~20 sec 程度と推定してよいであろう。波高は推定が非常に困難で、精度も悪いと思われるが、一応沼津の記録より 10~11 m という値を得た。この値を基礎にして、屈折による若干の収れん (約 15% 程度) を考慮した後、100 波程度の最大波を考えると、波高は約 20 m になる。

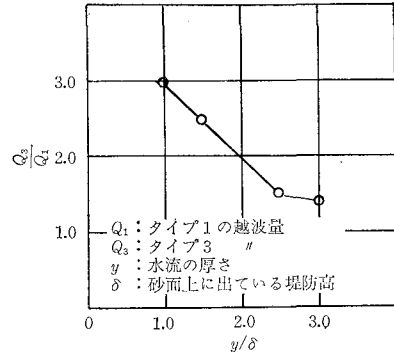
上述のように、実測記録からの推定値と実験結果とを合わせて考えてみると、潮位 T.P. 1.5 m の状態に有義波高約 11 m、周期 20 sec の沖波が来襲したと想定すれば、災害当時の状況をほぼ説明することができる。しかしこれは非常に多くの可能性の中から選ばれた一条件にすぎないので、なお十分に検討するべき問題である。

つぎに堤防前面の砂の堆砂の問題を調べてみる。実験の結果によると、タイプ1とタイプ2の場合は、越波量にほとんど変化はなく、タイプ3の場合、前2者にくらべて明瞭に越波量が大きくなっている。

この結果から、堤防の天端まで砂がつくような状態は避けるべきで、砂面上にある程度壁体を突出させる方がよいということになる。吉原海岸の場合、災害当時堤防の波返し程度、すなわち、1.5~2.0 m は砂浜上に堤防がでていたので、とくに越波が大きくなるような状態ではなかったと考えられる。また突出部を高くするため砂をとることも越波量に対しては効果がないようである。

堤防の高さと波とが与えられた場合、堤防を砂面上どの程度に突出させるべきかは、壁体に衝突する水流の厚さ、流速などに影響されることが大きいと思われるので、一概に規定することはできない。実験の結果より水流の厚さの影響のみを取り出してみると 図一18 のようにな

図一18 砂面上に突出した堤防高と越波量



る。縦軸はタイプ3とタイプ1との越波量の比で、横軸は堤防前面の水流の厚さと突出部の高さとの比である。水流の厚さは高速度撮影したフィルムより読んだのであまり精度はよくないが、だいたいの傾向は推定できよう。この図によると、水流の厚さと堤高との比が3以上になると、壁体の効果はかなり小さくなるようである。

5. 結 論

以上のべてきたことを要約するとつぎのとおりである。

(1) 今回の災害において、潮位、波などの水利条件がいかなるものであったかは非常に重要な問題である。しかし潮位はともかく、波の記録は沼津を除いてはとれなかったため、適確な判断を下すことは困難であるが、実際の水利条件の一つのモデルとして考えられるものをのべるとつぎのとおりである。

最高潮位 T.P. 1.5 m 程度

最大有義波高 約 11 m (沖波)、最大波高 約 20 m (屈折による若干の収れんを考慮する)

周期 約 20 sec

このような水利条件でたまたま最大波が来襲したとき大きな越波が生じた。越波量は 70 t/m 程度と推定される。また旧堤付近の流速は 5 m/sec 程度と推定される。

(2) 現地調査の結果、吉原海岸(元吉原小学校付近)の旧堤付近の越波水深は 1.4~2.0 m である。

(3) 堤内地における災害は、地形の影響も相当に大きいと考えられる。地形的に水みちとなるようなところにあった家屋が流失などの大きな被害を受けた。また海底地形による波の収れん、発散も影響したように認められる。

(4) 吉原海岸の場合、水流の厚さが 4 m、砂浜上に突出した堤防高が 1.5~2.0 m であったので、とくに越波を大きくするような状況ではなかったと推定される。