

越波に伴う埋立地の浸水危険度評価

富樫 宏由*・野口 正人**・中村 武弘***・奥野 隆平****

1. 結 論

わが国は地理的に種々の災害を受け易く、防災への備えを怠ることができない。このような災害の一つに、海岸地域の越波に伴う浸水被害が上げられる。もちろん、暴風時に埋立地を浸水被害から守るためには、まず、防波堤の構造や適切な消波工が重要であることは言うまでもない。しかし、防波堤天端高が十分でないときや破堤の際には、多量の海水が陸地に侵入することも考えられる。したがって、居住地域の安全性を高めるためには、侵入水に対する十分な排除策が講じられるとともに、越波水が氾濫した場合の浸水区域を予知しうる技術を有していなければならない。

ところで、河川防災に関連して豪雨時における氾濫流を模擬する試みは、既にいくつかなされている。簡単なモデルとしては、湛水規模のみを求めようとしたタンクモデルや、浸水領域を数個のタンクで表現しようとしたモデル等がある。一方、岩佐・井上¹⁾は氾濫流を2次元平面流として表し、直接に基礎方程式を解く氾濫解析モデルを提案している。最近、沿川住民の安全性を確保するため避難情報の重要性が再認識されているが、このようなケースに対しても前述されたモデルは有効である²⁾。もちろん、上述されたことは内陸域に限ったことではなく、海に面して新たに埋立地を造成しようとする時には、なおさら、侵入水に対する配慮を欠かすことができない。以上のことから、本論では、越波氾濫に伴う水の挙動を詳細に表現しうるモデルを示し、その適用例について述べる。

2. 数値モデル

越波氾濫水を図-1に示されたような2次元平面流とすれば、連統方程式・運動方程式は次のように表される。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

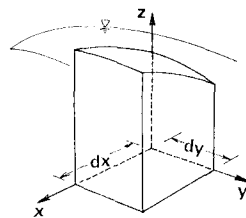


図-1 氾濫流の概念図

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\xi_1 u M) + \frac{\partial}{\partial y}(\xi_2 v M) \\ = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\xi_2 u N) + \frac{\partial}{\partial y}(\xi_3 v N) \\ = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho} \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

ここに、 M, N : x, y 軸方向の流量フラックス、 h : 水深、 H : 水位、 τ_{xb}, τ_{yb} : 路床での摩擦応力、 ξ_1, ξ_2, ξ_3 : 運動量補正係数である。

以下では、上式を用いて越波氾濫水を具体的に模擬する方法について述べる。まず、計算を行うにあたっては、計算対象領域を格子で分割し、各格子での幾何学的・水理学的条件を与える。これには、地盤高、粗度係数、排水路か居住区域かの区別、等がある。ここに、粗度係数は土地利用状況に合わせて定めるが、水路 $n=0.025$ 、宅地 0.040 を基準にした。なお、計算の境界条件としては、防波堤よりの越波流量を与えると同時に、排水路への排水流量を計算させることとする。実際に各時間における浸水の状態を調べるためには、(1)～(3)式を差分方程式に書き改め、陽形式で解くことにより行われるが、運動方程式の離散化は、計算安定化のため、流れに対して後方差分とした。また、氾濫水がドライ・ベッド上を流れるため、その先端を識別せねばならないが、水深 1 mm を基準にして判定を行う。実際の数値計算に際して、時間差分間隔ならびに空間差分間隔は、CFL 条件を満足するように選ばれることは当然であるが、この他にも、計算が発散することを避けるため、適宜、水深・流量フラックスの平滑化が必要である。

* 正会員 工博 長崎大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工博 長崎大学助教授 工学部土木工学科

*** 正会員 長崎大学助手 工学部土木工学科

**** 京都府庁

ところで、海岸付近の埋立地に設けられた排水施設には、長さのスケールが小さいものもあり、通常の空間格子間隔では、越波氾濫水の挙動を精度よく表現し得ない場合がある。それゆえ、浸水区域の予測精度を向上させるためには、排水路における流れを1方向的なものとして表し、氾濫流とは別に計算させればよい。このほか、水路幅が空間格子間隔より狭いために生じる計算誤差を小さくする方法として、流水断面積が等しくなるように水路床の高さを修正し、計算させる方法がある。

3. 越波氾濫域の計算

(1) 越波災害の概要

越波氾濫域を予測する際の数値モデルの有効性について調べるため、実際のデータをもととして氾濫流の数値シミュレーションを行い、計算結果の妥当性について検討する。

計算対象に選ばれたA港埋立地の越波災害は、昭和60年8月の13号台風によって引き起こされたものである。図-2には、このときの気圧、波高（最高波、1/3 有義波）、潮位が示されている〔運輸省第四港湾建設局資料等〕。気圧変化からも明らかなように、この台風は超大型であるとは言えないが、潮位偏差が80 cmにも達する異常潮位を記録しており、防波堤の決壊とも相俟って、埋立地内への越波水の侵入は避けられなかったものと思われる。

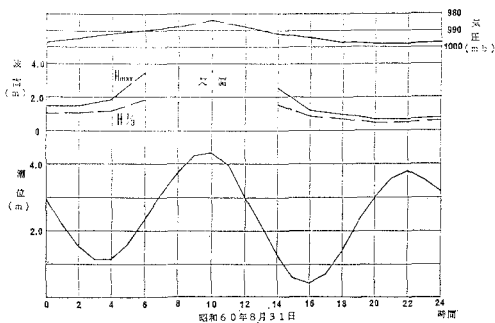


図-2 気圧、波高、潮位の時間的変化

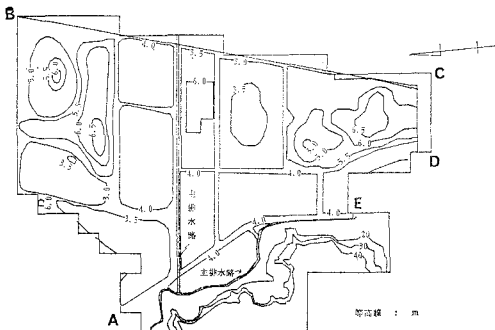


図-3 埋立地の平面図

越波氾濫流の計算を行ったA港埋立地は、図-3に示されたような平面形状をしており、等高線からも分かるように、概ね平坦地である。図中のABCDEの部分は海に面しており、とくにBCDはパラペット構造になっている。これらの防波堤のうち、長さ2 kmのBC部分が主として台風による風波に曝されており、最強時に北側の防波堤が数箇所で決壊した。ところで、埋立地内での越波氾濫流を正しく再現するためには、越波量の計算精度が問題になるが、ここでは便宜的に既往の水理公式を用いて越波量を算定することとした。すなわち、防波堤BC部分は図-4に示されたような構造をしており、堤体前面には消波工としてテトラポッドが置かれている。今回の台風による最高潮位は4.43 mであり（図-2、参照）、消波工は機能していたものと思われる。したがって、消波工のある場合の越波量を合田の図表を使って求める²⁾。ただ、最高潮位時刻付近においては、防波堤決壊箇所で波が埋立地に通過形式で侵入したであろうことを考慮した。以上のようにして計算された越波量が、表-1にまとめられている。

他方、埋立地内への侵入水を排除するための施設としては、図-3に示された主排水路のほか、数箇所に排水管路が埋設されている。なお、前述の台風による総降雨量は約30 mmであり、越波侵入量に比して無視しうる程度のものであった。

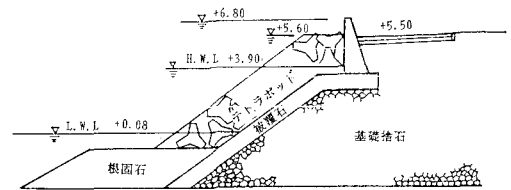


図-4 防波堤の断面図

表-1 越波流量

time (hr)	q_1 (m^2/s)	q_2 (m^2/s)	time (hr)	q_1 (m^2/s)	q_2 (m^2/s)
5	0	0	10	7.2E-1	4.3E-2
6	0	5.5E-4	11	1.04E-1	1.9E-2
7	0	5.1E-3	12	1.6E-2	5.2E-3
8	0	2.0E-2	13	2.3E-3	8.8E-4
9	7.4E-1	4.4E-2	14	0	0

(2) 計算結果

実際の計算は、図-5に示されたように埋立地を100 m間隔の格子で覆い、時間差分間隔を1秒にとって行われた。境界流量としては、東側防波堤からの越波侵入量のみを考慮することとし、雨水による流入量は無視した。図-6には、以上の計算により求められた各時間ごとの流量フラックスと浸水深が示されている。

同図より、越波が激しくなるとともに、防波堤より多

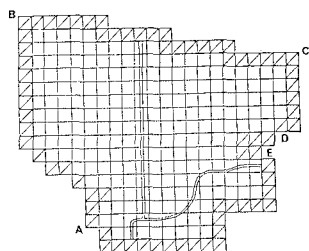


図-5 計算領域

量の海水が埋立地内へ侵入していることがわかる。しかし、埋立地北東端の地盤が高くなっているため、流量フ

ラックスの図より明らかなように、北側部分からの侵入水は直ちに海側に戻されている。それゆえ、防波堤決壊個所が北側部分に集中したことは、決壊度合に比して浸水災害の規模を小さくしたものである。一方、防波堤の中央部ならびに南側部分より侵入した海水は、埋立地内を時計方向に回転し、時間が経つに従い北側に流れ、主排水路に流れ込むとともに、一部は埋立地北端に達し海に戻された。このことは、主排水路北側に隣接した地域の浸水開始時刻が遅かった事実とも符合している。

ところで、浸水が最も激しかった9時から10時に掛

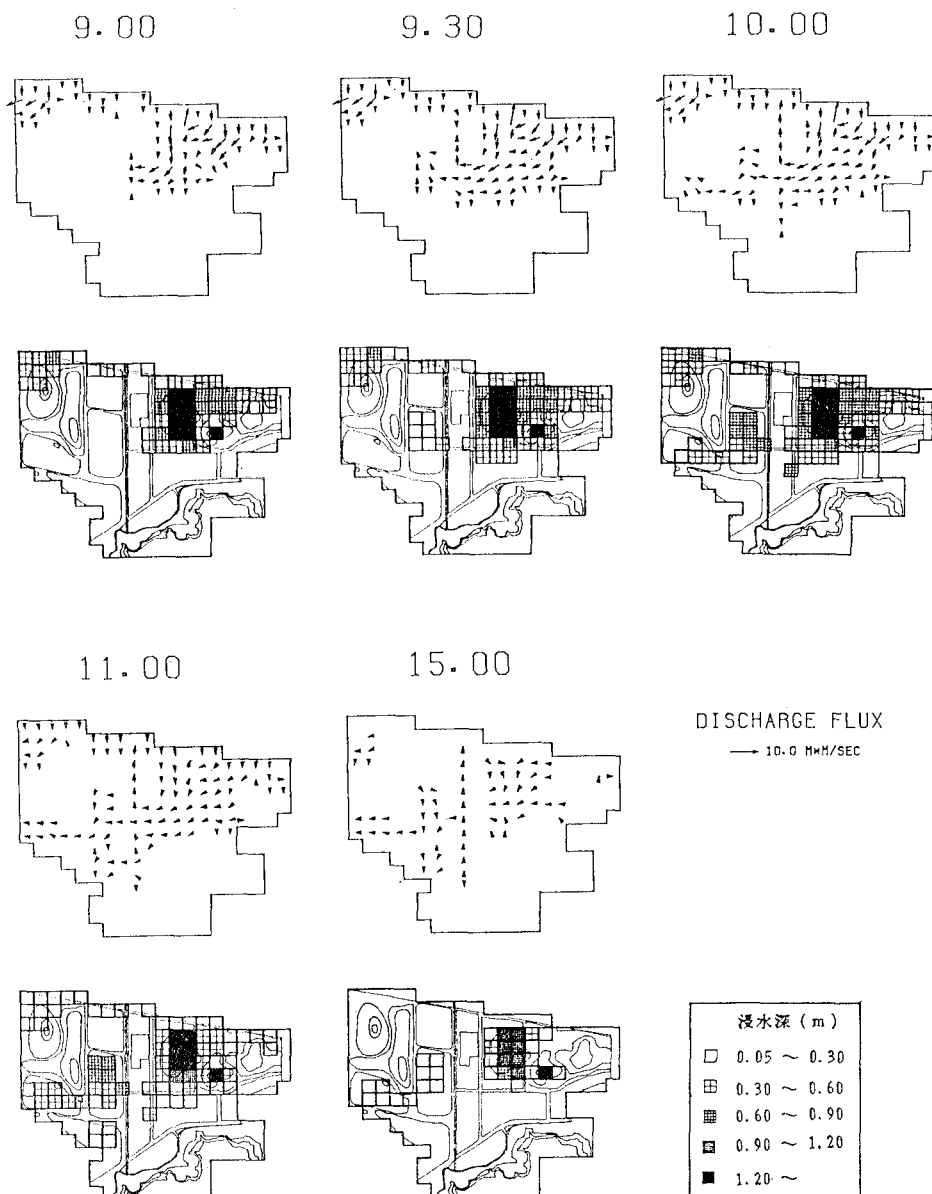


図-6 氾濫流の流量フラックスと浸水深

けては、災害の性格上、当然のことながら外海潮位は高くなっている。そのため、排水路の能力は低下しており、氾濫域が広がったことは否定できない。冒頭にも述べられた如く、防波堤は越波水が極力小さくなるように設計されるべきであるが、不時に備えて越波侵入水の排除策を十分に検討せねばならぬことがわかる。

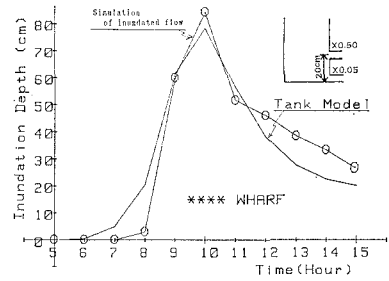
以上の結果からも明らかなように、埋立地内への越波侵入水の流れは2次元平面流として表現することができ。もっとも、今回の計算では排水管路を細部にわたって考慮していないため、実際の越波氾濫流がそのまま模擬された訳ではない。とくに、主排水路南側の低地では、湛水深の計算値は実測値より幾分大きくなった。もちろん、この問題は計算条件に排水管路の存在を考慮すれば解決することである。前述の計算により、越波水の大局的な流況は把握し得たものと思われる。また、空間格子間隔を小さくして計算することにより、さらに詳細な流況を知り得ることは言うまでもない。

(3) 越波氾濫域予測

海岸地域における埋立地の浸水災害では、災害要因は限定され、侵入水を力学的に追跡すれば、被害拡大の機構をある程度まで明らかにすることができる。したがって、海岸地域の防災・減災策を講ずるにあたって、氾濫解析モデルが有効なことは十分に予想される。しかし、実際面では種々の制約があり、簡単な湛水モデルで計算せざるを得ない場合が多い。この種のモデルでは、貯留方程式を解くことにより浸水規模を求めようとしている。以下では、湛水モデルの一つであるタンクモデルを取り上げ、浸水域予測を行う際の問題点について簡単に検討する。

タンクモデルにより埋立地の浸水域予測を行う場合、雨水に対する流出解析と異なり、モデルのパラメーターを同定するに十分な実測資料が無いことが、計算上の難点である。そのため、実際の被災状況を検証するようになるが、ここでは、前述の氾濫解析により求められた湛水量を使って同様のことを行った。当然、以上に述べられたことから明らかなように、タンクの段数を多くすることは差程意味がなく、1段の簡単なタンクで計算を行った。

図一7には、タンクモデルによる湛水量の時間的変化が示されている。同図中には、2次元氾濫解析による計



図一7 湛水深の時間的変化

算結果も併記された。図より明らかなようにタンクの乗数を適当に決めれば、簡単なタンクを使ってさえ、ある範囲で湛水量の時間的変化を予測し得る。もっとも、タンク乗数を決める困難さは依然として残されているが、河川流域の場合と違い、埋立地では排水系統の様子がわかっており、水理学的な検討を行えば乗数の概略値を知ることができる。もちろん、より詳細な浸水域分布の時間的変化を知るためには、2次元氾濫解析に依らねばならぬことは前述されたとおりである。

4. 結 論

越波災害による埋立地の浸水予測を行うにあたって、2次元氾濫解析が有効であることが明らかにされた。また、特定地域の被災状況を解析することにより、計算に用いられる粗度係数等のパラメーターを検討しておけば、他の地域で防災計画を立てる場合にも、上述の方法は効果的であることがわかった。

最後に、A港資料を提供して戴いた関係各位、ならびに、図面の整理を手伝って戴いた本学土木工学科海岸研究室の学生諸氏に謝意を表します。なお、本研究は昭和61年度文部省科学研究費自然災害特別研究（代表者：野口正人）による研究成果の一部である。

参 考 文 献

- 1) 岩佐義朗・井上和也・水鳥雅文：氾濫水の水利の数値解析法，京大防災研年報，第23号 B-2，pp. 305～317，1980。
- 2) Iwasa, Y., K. Inoue, M. Noguchi and T. Nakamura: Simulation of flush flows due to heavy rainfalls in Nagasaki, Urban Drainage Modelling, Pergamon Press, pp. 137～147, 1986。
- 3) 土木学会編：水理公式集，616 p., 1971。