

GISを用いた広域地盤沈下の洪水時氾濫に及ぼす影響の定量的把握

九州大学工学部 正員 江崎哲郎 正員 蔣 宇静
九州大学工学部 学生員 周 国雲 学生員○永尾龍大

1. 緒言

佐賀平野においては、沖積平野での地下水汲上げによって広域地盤沈下が引き起こされ地盤環境上多くの問題を生じている。昭和32年以来、累積最大沈下量は110cm地盤沈下面積は320km²に及んでいる。建築物の損傷をはじめ、様々な障害をもたらしているとともに、特に地盤沈下の進行に伴って内陸部の自然排水が一層困難になり、洪水発生の危険性も高まっている。しかし、地盤沈下に関する研究は長年継続的に行われてきているが、多くは沈下量の予測を目的としており、沈下の地盤環境に及ぼす影響の評価を含めた総合的な研究はほとんど見当たらない。そこで本研究は、佐賀平野を対象とし、過去の広域地盤沈下調査の結果に基づきGIS(Geographic Information System)を用いた洪水氾濫のモデル化を構築し、過去、現在、未来の佐賀平野の洪水氾濫に対する広域地盤沈下の影響を定量的に把握することを試みる。

2. データの準備

(1) 洪水氾濫計算のためのメッシュ分割

この研究において、洪水氾濫に対する広域地盤沈下の影響を評価するために氾濫を起こす川として六角川が選択された。その理由は六角川の右岸に存在する白石地区では広域地盤沈下が今もまだ続いており地盤沈下量も佐賀平野で最も大きいからである。洪水氾濫の計算域は大きく250m×250mの1081のメッシュ要素に分割される。メッシュの分割図はFigure1に示す。

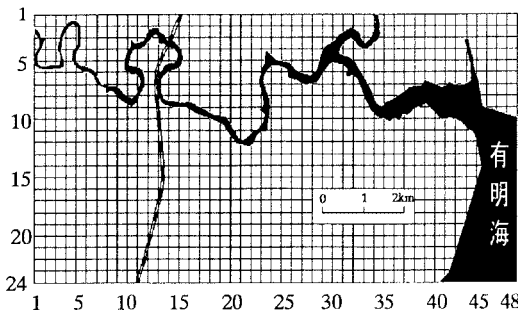


Figure 1. The mesh for flood FDM simulation.

(2) 地盤標高の計算

洪水氾濫に対する広域地盤沈下の影響を評価するとき非常に重要な問題は過去あるいは地盤沈下を考慮した将来の地形図の作り方である。普通この作業は非常に難しく複雑で大変時間のかかるものである。この研究では過去、現在、または未来の地図を作り出すためGISを用いる。ここでは、例として過去(1979年)、現在(1994年)と未来(2013年)について作成した。

A. 現在(1994年)の地盤標高

洪水氾濫で対象とするメッシュ要素(250m×250m)において平均地盤標高を得るために幾つかのGISの手法が用いられる。最初にTIN(Triangle Irregular Network)モデル化された地盤標高は50m×50mのメッシュである。そ

して、ひとつの洪水解析メッシュ要素は幾つかの小さい地盤標高ポリゴンと幾つかの標高値を含んでいる。そこで、メッシュ要素において平均標高値が、GISのARC/INFO機能により自動的に割り当てられる。

B. 過去(1979年)の地盤標高

過去の研究に基づき、1979年から1994年までの広域地盤沈下を解析する。それぞれの沈下のメッシュグリッドにおいて計算した沈下量を用いることによって、TINモデルが確立され広域地盤沈下の空間的分布が得られる。Figure2は計算された1979～1994年の累積地盤沈下分布を示す。

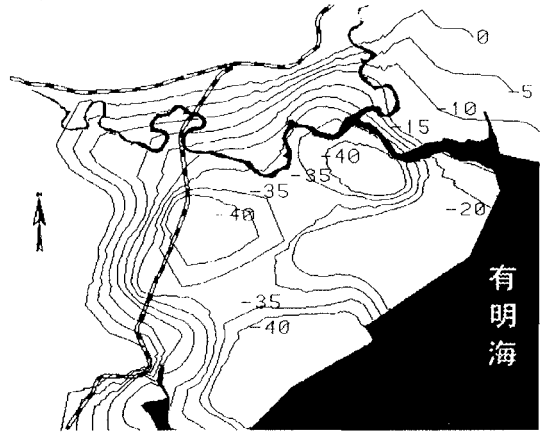


Figure 2. Calculated land subsidence contour(1979-1994) in Shiroishi area (cm).

GRIDの手法によって、1994年の白石地区の地盤標高に過去15年間の地盤沈下量を数学的にプラスして、1979年の地盤標高が再現される。Aで述べたようなGISの手法によって1979年の地盤標高は属性として洪水解析のメッシュに割り与えられる。

C. 将来予測のための2013年の地盤標高

佐賀平野において1994年から2013年の広域地盤沈下予測はcase1(地下水の採取量を現状より20%削減)とcase2(地下水の採取量を削減しない)の2つの場合が考えられ、それによりTINモデル化された地盤沈下の分布を作成する。Bで論じた同じ方法によって2つのケースに対する地盤沈下予測を行い、2013年の地盤標高値は作り出され、また同様にGISの手法によって洪水解析メッシュが割り与えられる。

(3) 洪水氾濫の概要

過去の洪水記録に基づいて、ひとつの破堤点を決定し、洪水氾濫に対する地盤沈下の影響を解析する。

洪水の流れを解明するために、非圧縮性流体の連続の式及びNavier-Stokesの式において静水圧近似を仮定し、水深方向に底面から水面まで積分し、水路底面勾配が小さいとすれば、平面2次元流れに関する基礎式が以下のように与えられる。

連続式

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

x 方向運動量式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_b}{\rho} \quad (2)$$

y 方向運動量式

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_b}{\rho} \quad (3)$$

ただし、

h ; 水深 H ; 水位

u ; x 方向流速 v ; y 方向流速

g ; 重力加速度 ρ ; 水の密度

$M=uh$; x 方向流量フラックス

$N=vh$; y 方向流量フラックス

τ_b ; 流水に働く底面摩擦力

なお、有限差分法によって2つの方向の運動量式は解かれる。

破堤条件は、川の水位がピークに達して破堤すると設定する。また破堤点の川の幅は80mである（破堤地点をFigure 3に示す）。川の水位 H （境界条件）は次の式によって求められる（参考文献1）。

$$Q = 13342.81(H - 2.48)^2 - 3.94 < H < 2.81 \quad (4)$$

$$Q = 1286.33(H - 1.77)^2 \quad 2.81 < H < 3.22$$

Q ; 洪水流量 H ; 川の水位

3. 解析結果及び考察

洪水氾濫解析は、4つの場合（1979、1994及び2013（case1とcase2））で行われる。解析結果はGIS AMLのプログラムによって自動的に読み込まれ、経時的な表示と記録ができる。Figure3～Figure5は1979、1994、また2013年（case1）の地盤標高を用いて計算された最大浸水範囲を示す。また、Table1は最大浸水範囲と浸水深度との比較を示す。

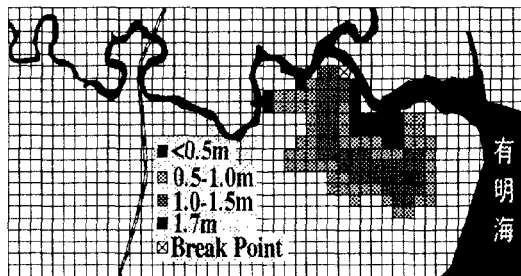


Figure 3. Calculated flood area and flood depth corresponding to land elevation in 1979.

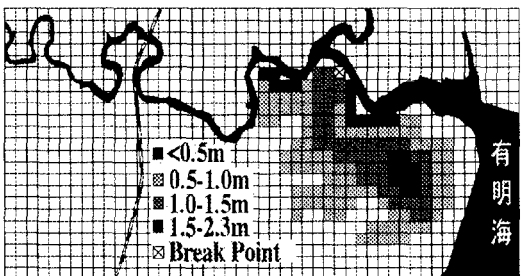


Figure 4. Calculated flood area and flood depth corresponding to land elevation in 1994.

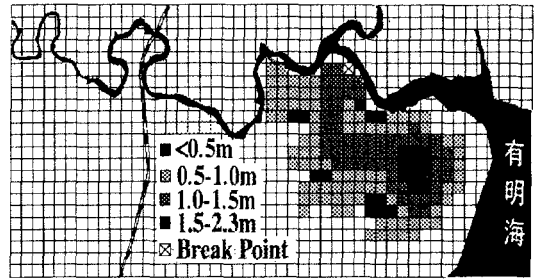


Figure 5. Calculated flood area and flood depth corresponding to land elevation in 2013(case1).

Table 1. The flood area and depth in 1979,1994,and 2013.

year \ depth	1979		1994		2013 (case1)		2013 (case2)	
	area (km ²)	volume (×10 ⁶ m ³)	area (km ²)	volume (×10 ⁶ m ³)	area (km ²)	volume (×10 ⁶ m ³)	area (km ²)	volume (×10 ⁶ m ³)
<0.5m	1.18	0.2968	0.81	0.2031	1.43	0.3593	0.75	0.1875
0.5-1.0m	3.43	2.5781	5.37	4.0312	4.81	3.6093	5.56	4.1718
1.0-1.5m	2.75	3.4375	3.18	3.9843	4.18	5.2343	3.68	4.6093
>1.5m	0.06	0.1093	0.62	1.0937	1.00	1.7500	0.68	1.2031
total	7.43	6.4218	10.0	9.3125	11.43	10.9531	10.68	10.1718
maximum depth	1.7m		2.3m		2.5m		2.3m	

以上の洪水氾濫解析から以下のことが分かる。

(1) 1994年の浸水範囲の計算はFigure 4に示されるようにほとんど建設省武雄事務所の計算（参考文献1）と同様である。本研究で提案した解析処理は信頼できるものと考えられる。

(2) Figure3～5において、長期間に亘る地盤沈下は洪水浸水範囲と浸水深さに以下に示すように、影響を及ぼしていることが分かる。1979年から1994年において、地盤沈下により浸水範囲は広がった。1979年、白石地区では地表面は1995年よりも40～95cm高かった。また1979年の最大浸水範囲は7.4km²である。15年後、1994年の最大浸水範囲は現在10km²にまで35%増加し、最大浸水深も1.4倍になっていることが明らかになった。

(3) 地下水の汲み上げ量が現在のままの状況（Case2）を継続した場合、1994年と同様の洪水条件下で、2013年になると最大浸水範囲はさらに広がると予測される。解析結果によると、2013年の浸水範囲は11.43km²である。一方、代替水源の対策がなされた場合(case1)、浸水範囲は10.68km²と抑えられる。

(4) 本研究で確立された、GISを用いた評価方法は地盤環境保全のための地下水汲み上げの規制値の決定や洪水氾濫防止対策にあたって極めて有効な手段になることが明らかになった。

本研究を進めるにあたり、建設技術研究所の中山比佐雄様、中島隆信様からご協力頂いたことをここに記す。

参考文献

- 建設省武雄工事事務所：六角川洪水氾濫危険区域図作成業務報告書,1995.
- 佐賀県：地盤沈下の概況,1990～1995.
- Guoyu Zhou,A Coupled Groundwater Flow-land Subsidence Simulation and Quantitative Evaluation of its Influence to Flooding by using GIS . Ph.D. dissertation,Kyushu University,1996.