

# 地盤沈下地帯における内水排除過程の計算

江川 太朗・四俵 正俊

## Calculation of Water Drainage Process in a Subsiding Area

Taro EGAWA and Masatoshi SHIDAWARA

1 km mesh data base on land information of Aichi prefecture was used to calculate the inland water flow during the storm in low and flat small basins in Nikkohgawa area. The area has been suffering from land subsidence.

The numerical calculation of water flow was executed on the 1 km mesh basis. Manning's formula was used to calculate the flow rates of each mesh from or to the neighboring meshes during a time step. The comparison of the calculated and recorded maximum water levels during a storm in 1976 suggests that the equivalent Manning's coefficients of roughness outside the creek might be far greater than the coefficients in the creeks, as has often been pointed out.

The altitudes in 1960s in a basin which has pumping stations at the downstream end to drain water from it were estimated from the result of leveling being put in practice annually. The calculation of drainage process using these estimated altitudes was done to know what might have happened if the subsidence had not occurred. This kind of calculation would be useful to examine the water drainage planning in a subsiding flat basin.

### 1. はじめに

我々は、これまでに愛知県のメッシュデータ<sup>1)</sup>を利用した内水移動の計算を、立田村輪中について行い、一応の結果を得るに至った<sup>2)</sup>。

今回は、他の流域にこの方法を適用した結果について述べる。扱った流域は「一宮・尾西」と「弥富・十四山村」の2カ所である。一宮・尾西はポンプ排水のない例として取上げた。また、弥富・十四山村では地盤沈下が内水被害に与える影響を調べた。

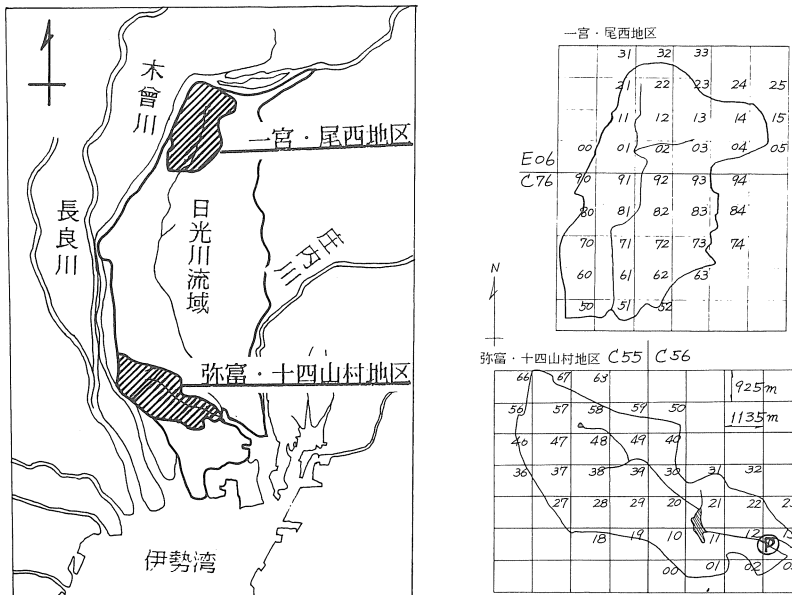
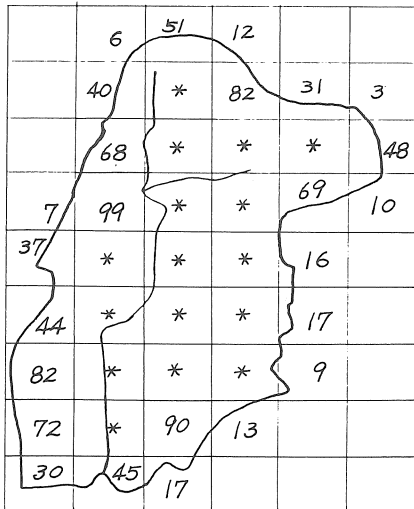


図-1 流域の位置とメッシュ分割

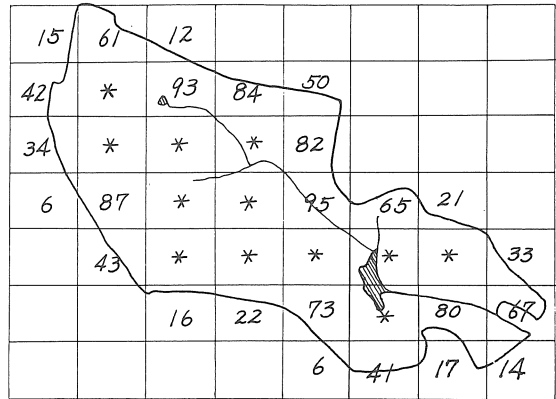
たとえば一宮・尾西地区の南西角のメッシュはC7650と読む

一宮・尾西地区



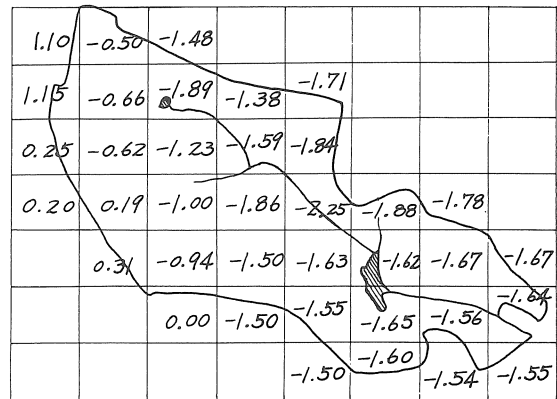
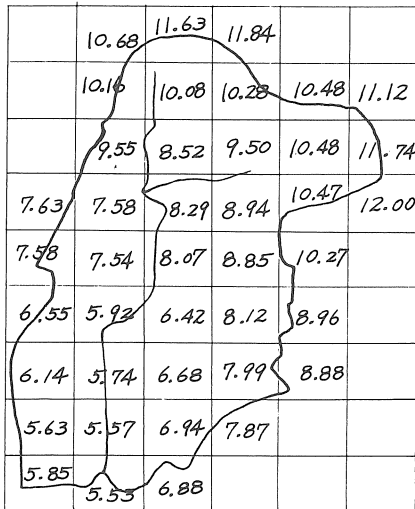
弥富・十四山村地区

面積 (ha)



\* 105

標高 (m)



BE, BS (m)

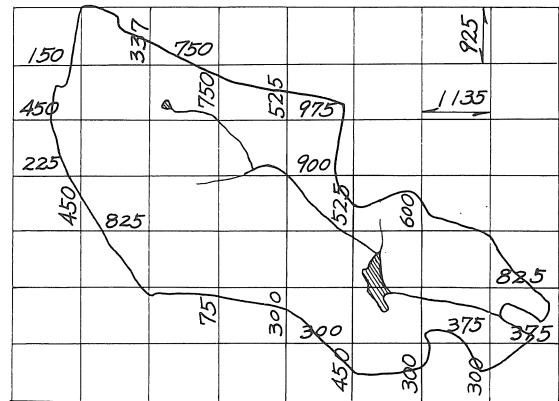
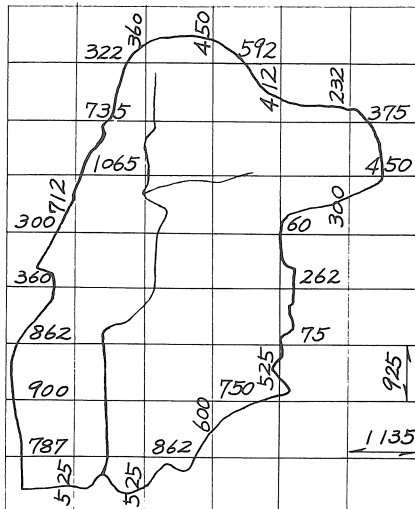


図-2 各メッシュの地形情報

2. 解析対象流域

「一宮・尾西」, 「弥富・十四山村」両流域の位置とそのメッシュ分割を図-1に示す。いずれも日光川流域に含まれる低平地である。両流域とも、立田輪中と同様に、昭和51年9月の台風17号による内水被害を受けており、そのときの湛水の記録が残っている。一宮・尾西流域は、東西約6 km, 南北約8 km, 流域面積約27.7km<sup>2</sup>で、流域のほぼ中央を北から南に野府川が流れている。排水は自然排水のみによっている。

弥富・十四山村流域は、東西約8 km, 南北約6 km, 流域面積22.5km<sup>2</sup>である。流域のほぼ中央を北西から東に宝川が流れている。宝川の下流端には排水機場がある(図-1 弥富・十四村山村地区のⒶ)。

両流域とも、流域内の雨量記録が手に入らないため、昭和51年17号台風の降雨記録は、一宮・尾西流域について

は、一宮観測所(流域南東から西約4 km)の記録を、弥富・一四山村流域については、東船頭平観測所(流域最西端から西へ約1 km)の記録を用いた。

500mメッシュデータの項目の内容が、一部不明とな

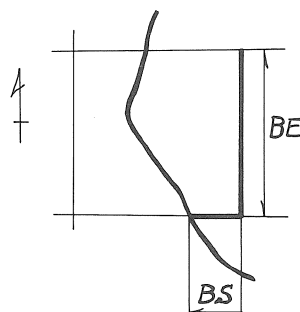


図-3 記号の説明

BE…東隣のメッシュへの(からの)流出幅  
BS…南隣

表-1 各メッシュの土地利用状況(単位はha)

一宮・尾西地区									弥富・十四山村地区								
MESH CODE	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	MESH CODE	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8
	住宅地	商業業務地	工業地	水田	畑 樹園地	山林 原野	公園緑地 文化施設	河川湖沼 養魚池		住宅地	商業業務地	工業地	水田	畑 樹園地	山林 原野	公園緑地 文化施設	河川湖沼 養魚池
E06 30									C55 66	2.278	0.0	0.0	11.391	1.519	0.0	0.0	0.0
31	4.129	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.813	67	6.075	0.0	0.0	42.525	12.150	0.0	0.0	0.0
32	15.188	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.188	68	16.875	0.0	2.109	18.984	4.219	0.0	0.0	0.0
33	0.563	0.0	0.0	0.563	1.688	0.0	0.0	5.063	C56 60								
34									61								
35									62								
20									63								
21	11.813	0.0	0.0	5.906	3.938	1.969	0.0	7.875	C55 56	12.263	0.0	3.066	42.920	3.066	0.0	0.0	0.0
22	20.988	0.0	0.0	78.748	0.0	0.0	5.249	0.0	57	5.249	0.0	5.249	89.239	5.249	0.0	0.0	0.0
23	24.469	0.0	0.0	32.625	20.391	0.0	0.0	4.078	58	0.0	0.0	0.0	92.813	0.0	0.0	0.0	0.0
24	9.281	0.0	0.0	3.094	10.828	0.0	0.0	4.641	59	7.284	0.0	0.0	61.913	0.0	0.0	0.0	3.642
25	0.123	0.0	0.123	0.380	0.253	0.759	0.0	0.0	C56 50	6.075	0.0	0.0	54.675	0.0	0.0	0.0	0.0
10									51								
11	16.875	0.0	3.375	20.250	13.500	10.125	0.0	3.375	52								
12	52.494	0.0	15.748	36.746	0.0	0.0	0.0	0.0	53								
13	36.746	0.0	5.249	31.496	31.496	0.0	0.0	0.0	C55 46	3.403	0.0	5.105	13.613	1.702	0.0	0.0	8.508
14	26.247	0.0	5.249	36.746	36.746	0.0	0.0	0.0	47	26.247	0.0	0.0	78.741	0.0	0.0	0.0	0.0
15	4.781	0.0	0.0	26.297	16.734	0.0	0.0	0.0	48	5.249	0.0	0.0	94.489	0.0	0.0	5.249	0.0
00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.323	1.617	0.0	1.294	49	15.748	0.0	5.249	83.990	0.0	0.0	0.0	0.0
01	5.249	0.0	47.244	36.746	15.748	0.0	0.0	0.0	C56 40	3.234	0.0	1.617	24.258	0.0	0.0	0.0	3.234
02	31.496	5.249	5.249	62.993	0.0	0.0	0.0	0.0	41								
03	20.944	0.0	0.0	73.491	10.499	0.0	0.0	0.0	42								
04	17.227	3.445	0.0	48.234	0.0	0.0	0.0	0.0	43								
05	2.081	0.0	0.0	7.284	1.041	0.0	0.0	0.0	C55 36	0.0	0.0	0.0	0.389	0.0	0.0	0.0	2.475
90	3.684	0.0	3.684	12.895	0.0	5.527	0.0	11.053	37	8.719	0.0	21.797	52.313	0.0	0.0	0.0	4.359
91	26.247	0.0	15.748	62.993	0.0	0.0	0.0	0.0	38	47.244	15.748	0.0	41.995	0.0	0.0	0.0	0.0
92	0.0	0.0	15.748	89.239	0.0	0.0	0.0	0.0	39	5.249	0.0	5.249	94.489	0.0	0.0	0.0	0.0
93	26.247	0.0	0.0	68.242	10.499	0.0	0.0	0.0	C56 30	14.302	9.534	9.534	52.439	0.0	0.0	0.0	9.534
94	1.603	0.0	0.802	9.619	4.008	0.0	0.0	0.0	31	12.994	0.0	0.0	38.981	0.0	0.0	0.0	12.994
95									32	7.481	0.0	0.0	7.481	0.0	0.0	0.0	6.413
80	2.180	0.0	2.180	19.617	19.617	0.0	0.0	0.0	33								
81	20.998	5.249	15.748	62.993	0.0	0.0	0.0	0.0	C55 26								
82	31.496	0.0	5.249	57.743	10.499	0.0	0.0	0.0	27	4.331	4.331	0.0	4.331	0.0	0.0	0.0	17.325
83	41.995	0.0	0.0	31.496	4.388	0.0	0.0	0.0	28	0.0	15.748	10.499	41.995	0.0	0.0	10.499	26.247
84	7.678	0.0	1.097	8.775	0.0	0.0	0.0	0.0	29	4.331	0.0	0.0	62.993	0.0	0.0	5.249	20.998
85									C56 20	15.748	0.0	0.0	89.239	0.0	0.0	0.0	0.0
70	28.547	0.0	16.313	36.703	0.0	0.0	0.0	0.0	21	20.998	0.0	5.249	78.741	0.0	0.0	0.0	0.0
71	10.499	5.249	31.496	52.494	0.0	0.0	5.249	0.0	22	26.247	0.0	0.0	78.741	0.0	0.0	0.0	0.0
72	26.247	0.0	20.998	57.743	0.0	0.0	0.0	0.0	23	13.275	0.0	0.0	9.956	0.0	0.0	0.0	9.956
73	57.743	10.499	31.496	0.0	0.0	0.0	5.249	0.0	C55 16								
74	4.641	4.177	0.0	0.0	0.0	0.0	4.641	0.0	17								
75									18	0.253	0.0	0.0	0.422	0.084	0.0	0.0	0.591
60	25.200	0.0	14.400	32.400	0.0	0.0	0.0	0.0	19	2.222	0.0	0.0	14.422	0.0	0.0	0.0	5.555
61	10.499	5.249	31.496	52.494	0.0	0.0	5.240	0.0	C56 10	14.569	0.0	0.0	47.348	0.0	0.0	0.0	10.927
62	22.500	0.0	18.000	49.500	0.0	0.0	0.0	0.0	11	15.748	0.0	0.0	68.242	0.0	0.0	10.499	15.748
63	7.270	1.322	3.966	0.0	0.0	0.0	0.661	0.0	12	15.919	0.0	0.0	55.716	0.0	0.0	0.0	7.959
64									13	0.675	0.0	0.675	2.363	0.0	0.375	0.0	1.688
65									C55 06								
50	7.383	0.0	0.0	19.195	2.953	0.0	0.0	0.0	07								
51	13.416	0.0	2.236	26.831	2.236	0.0	0.0	0.0	08								
52	0.506	0.0	0.0	1.181	0.0	0.0	0.0	0.0	09								
53									C56 00	0.928	0.0	0.0	3.403	0.0	0.0	0.0	0.591
54									01	4.078	0.0	0.0	28.547	2.039	0.0	0.0	0.0
55									02	0.647	0.0	0.0	5.175	0.647	0.0	0.0	0.0
									03	0.0	0.0	0.0	3.291	0.366	0.0	0.0	0.0

表一 2 土地利用区分毎の流出係数および粗度係数

土地利用区分	D 1 住宅地	D 2 商業業務地	D 3 工業地	D 4 水田	D 5 畑 樹園地	D 6 山林 原野	D 7 公園緑地 文化施設	D 8 河川湖沼 養魚池
流出係数	0.95	0.95	0.95	0.85	0.60	0.60	0.40	1.00
粗度係数	0.020	0.020	0.020	0.035	0.028	0.060	0.060	0.030

だったので、今回の計算では1 km メッシュを用いた。流域はメッシュコードの大分類で、C (20万分1地勢図番号52.36の愛知県における略称)およびE (同じく53.36)に含まれている。メッシュデータから拾った各流域の土地利用状況を表一1に示す。また図一2に、各メッシュの標高、面積等を示す。図一2のBE, BSは図一3に示すような値のことである。標高は、東海三県地盤沈下調査会の「水準点成果表」<sup>3)</sup>から昭和51年11月の値を拾い、その他は地図から読み取った。標高は原則としてメッシュ内の水準点の値を平均して用いたが、水準点が堤防の上にあると推定される場合などには、適宜取捨選択した。当該メッシュに水準点がない場合には、周辺の水準点の標高を利用した。また、後で述べるように、弥富・十四山村流域の標高は、計算結果と浸水記録とを比較して若干の手直しを行ってある。

### 3. 計算について

計算方式は原則的にこれまでと同じである。簡単に説明しておく。

まず、流域を県のメッシュデータと同じメッシュに分割して、これを計算のエレメントとする。各メッシュの標高、土地利用区分毎の面積率をメッシュデータから読みとる。標高は、場合によっては水準測量の成果表から得た値を用いる。メッシュを記入した流域の地図から、(流域の境界にかかる)メッシュの面積、隣接するメッシュとの接線の長さを読みとる。土地利用区分毎に流出率と粗度係数を想定しておく(表一2)、土地利用区分面積率を重みとして各メッシュ毎に平均の流出率および粗度係数を求める。さらに隣り合うメッシュ間の平均粗度係数と勾配を求めておく。以上が計算の準備である。

時間刻み  $\Delta T$  の始まりの時点の水位を使って各メッシュの水収支を計算し、その増減から次の  $\Delta T$  の始めの水位を求める。水収支に係わるのは、そのメッシュへの降雨量、隣接するメッシュへの流出入量、およびポンプアップ量である。隣接するメッシュへの流出入量はマンング則を用いて求めた。 $\Delta T$  が大きすぎると計算が不安定になる。ここで  $\Delta T=15$  分として計算してある。

一宮・尾西流域の排水は自然排水であるため、流域最下流端の水位を境界条件として与えて、これを表現した。

ただし、この水位を推定する根拠となる情報がないので、適当に仮定するしかなかった。

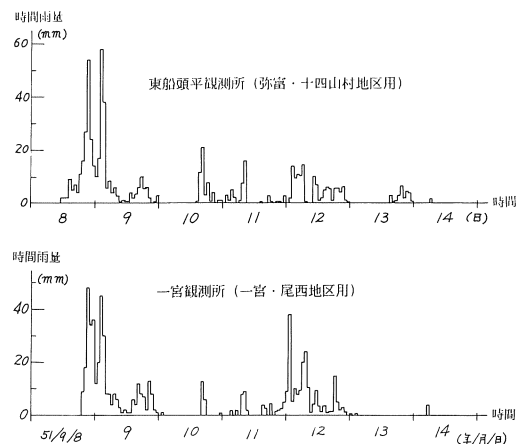
弥富・十四山村流域の排水はポンプ排水であるので、立田輪中のとくと同様にポンプの稼働記録に基づいて時間刻み毎の排水量を与えた。

### 4. S51年17年台風出水の計算結果

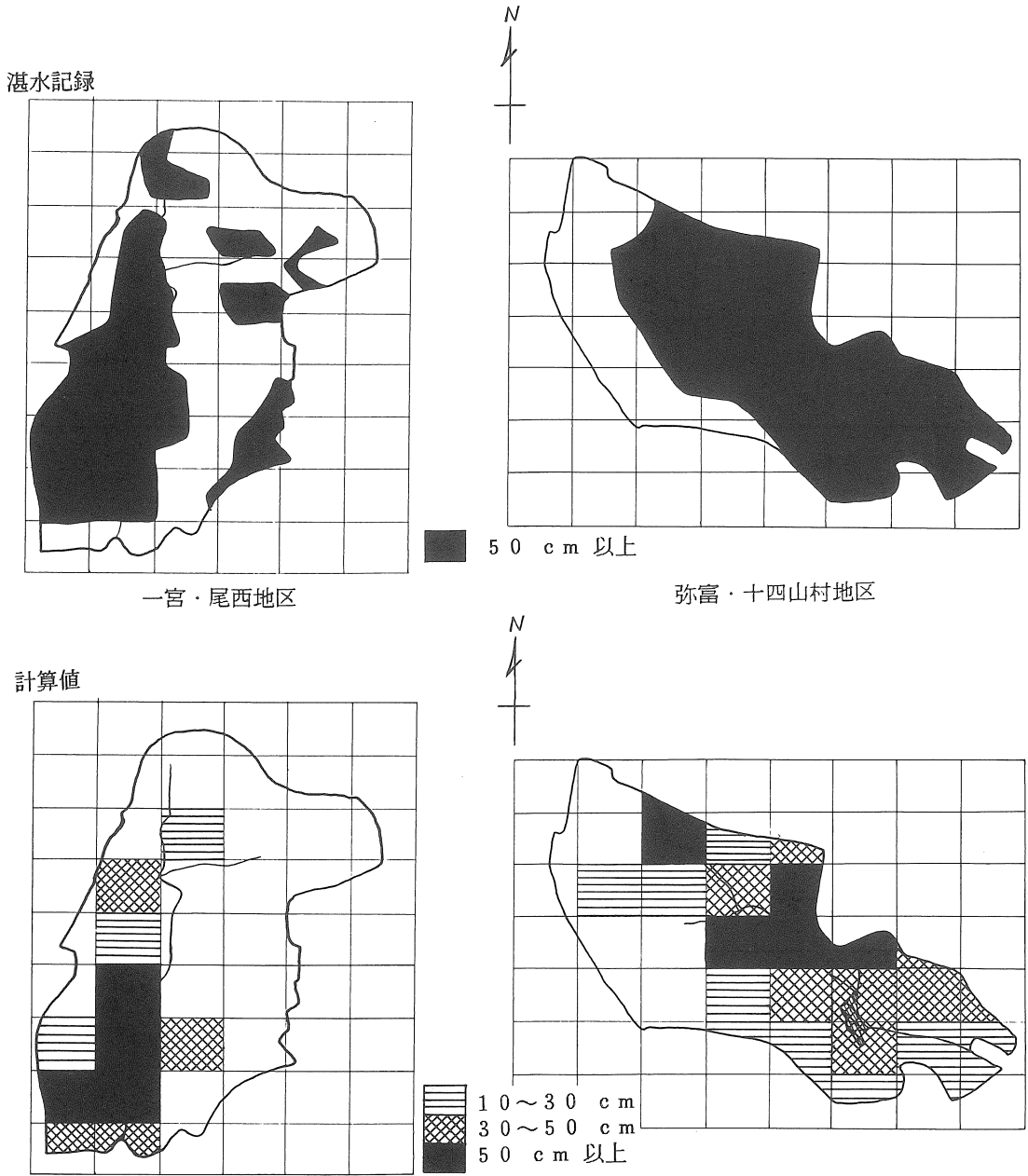
図一4は計算に用いた雨量のグラフである。2に述べたように、一宮・尾西流域については一宮観測所、弥富・十四山村流域については東船頭平観測所の雨量を用いた。

図一5に「昭和51年17号台風湛水状況図」による、50 cm 以上の湛水のあった地域と、計算によって得られた50cm, 30cm, 10cm 以上の湛水区域を、各流域について示す。計算をチェックできるのはこの図のみであるが、これで見ると、湛水域は少な目に見積られる傾向がある。細かい議論をするには、水位の時間的経過の記録が是非とも欲しいのであるが、残念ながらそれが手元にならない。図一6に計算によって得られた、各流域内のいくつかのメッシュにおける水深の時間変化を示しておく。

ところで、我々は計算を水路の流れについて行っているのではない。したがって、粗度係数としては、本来の意味の粗度以外に地表面における滞留などの効果をも織り込んだ、いわゆる相当粗度を用いるべきである、と考



図一 4 計算に用いた雨量



図一五 湛水の記録と計算結果

えるのは自然なことである。我々もこれを検討することにした。

一宮・尾西流域は、先に述べたように自然排水によって、下流端の水位記録がないため、計算条件設定に任意性が生じる。これにたいして、弥富・十四山村流域では一応ポンプ稼働の記録が使えて、そのぶん恣意性がへるので、相当粗度の同定のための計算にはより適している。そこで、弥富・十四山村地区を対象流域として検討を行った。

相当粗度は、一般に水路の粗度係数よりもオーダーが異なるほどに大きいといわれている。そこで、これまで用いていた粗度係数を10倍、および100倍し、他の条件は変えずに計算を行ってみた。図一七に計算の結果えられた湛水深と、記録による50cm以上湛水した地域を示す。この図を見る限り、粗度係数は100倍したものがよさそうである。ところで、図一八はいくつかのメッシュにおける水位一時間曲線である。時間的な記録がないから、直接この曲線の善し悪しについて云々することはできな

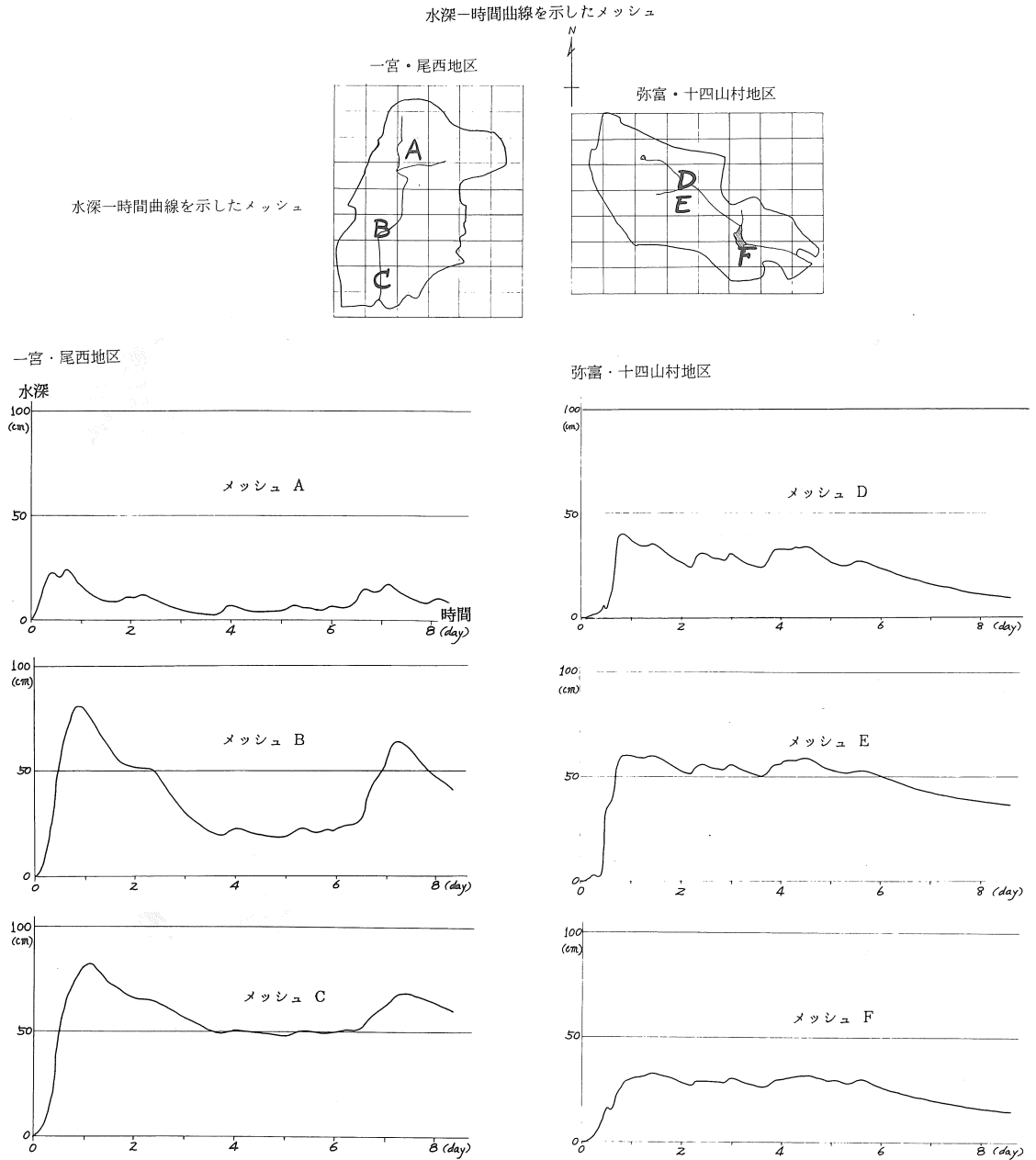


図-6 水深-時間曲線 (計算値)

い。しかし、つぎのようなことが考えられる。計算はポンプの稼働が終了するまでに行っているが、100倍した粗度係数を用いた計算では、計算終了の時点でかなりの深さの水が残っている。どのような条件のもとでポンプの稼働が終了したのか不明であるとか、流域内の河道を考慮していないなどの問題はあるが、やはり100倍の粗度係数の計算では流れが遅すぎるといえる。粗度係数を10倍ないしはそれよりも少し小さくすると良いように思われ

る。結局、一般にいわれていることをも合わせ考えて、流路として推定した粗度係数の10倍を相当粗度として標準的に用いることにした。

また、この相当粗度を用いた計算と湛水記録とを比較して、いくつかのメッシュの標高、とくに周辺の水準点から推定した流域の境界のメッシュの標高を若干手直しした。うえに結果を示した計算も推定し直した地盤高を使っている。

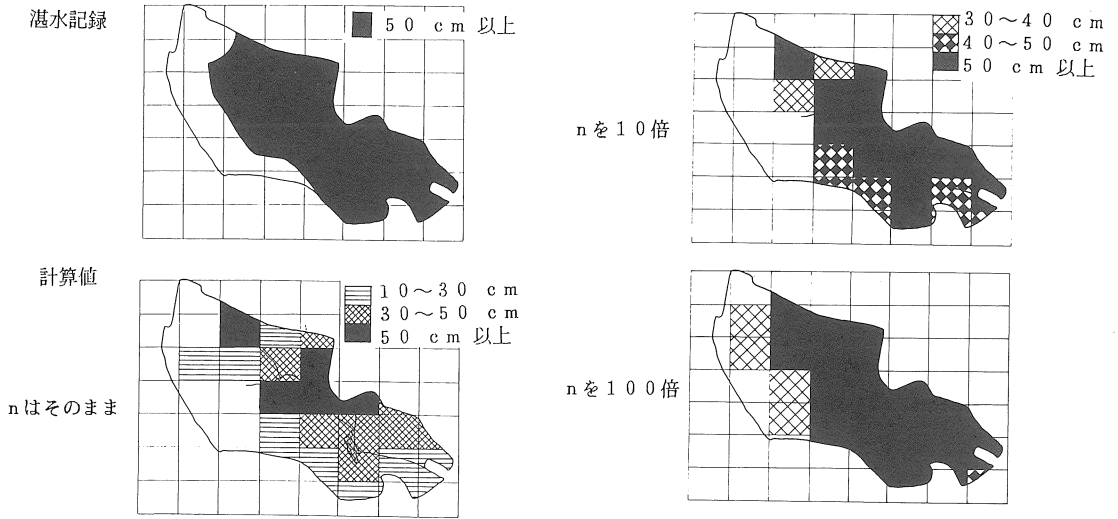


図-7 nの値を変えた場合の計算結果 弥富・十四山村地区

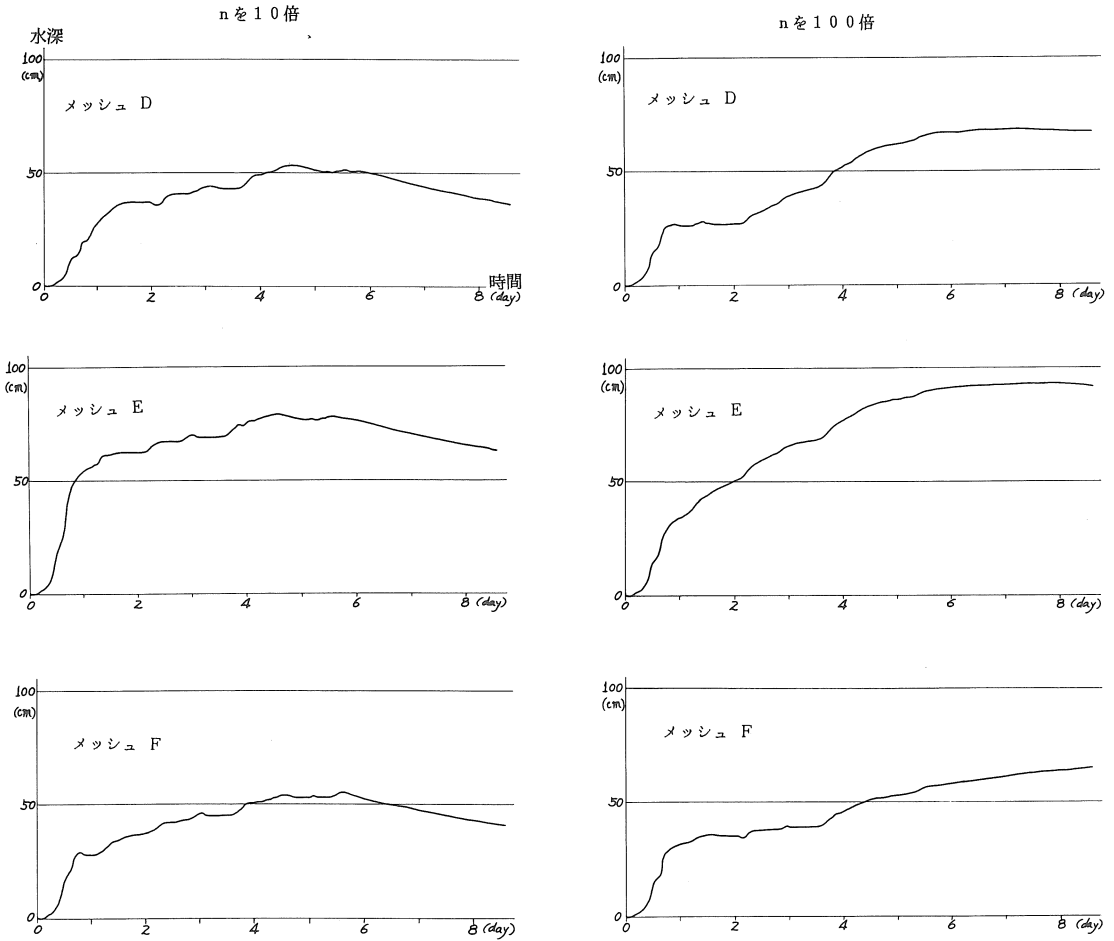


図-8 水深-時間曲線  
nの値を大きくした場合の計算結果

5. 地盤沈下の影響

ところで、弥富・十四山村流域のポンプが設置されたのは昭和30年であるが、それからこの計算を行った昭和51年までの間に、この地域ではかなりの地盤沈下が発生した。しかも、弥富・十四山村流域では、地盤の沈下量が場所によって異なっていることが観測されている。図-9は地盤沈下調査会による昭和49年の地盤沈下等量線図を写したものである。流域の北東部では流域内の他の部分よりも地盤沈下が進んでいる。そこで、この不均一な地盤沈下が内水排除に与える影響をみるため、昭和30年代の地盤高を用いて、同じ降雨による湛水状況を計算してみた。

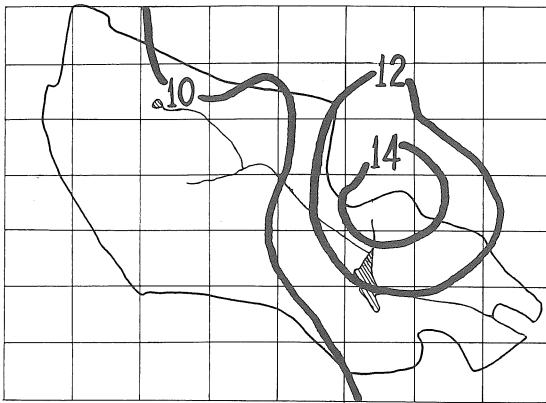


図-9 昭和49年度の地盤沈下等量線図 (単位: cm)  
弥富・十四山村地区

昭和30年代には、この地区の水準点は多くなかった。したがって、水準点成果表に記されている値から当時の各メッシュ毎の標高を読み取るのは不可能である。そこで、つぎのようにして当時の各メッシュの標高を推定した。図-10はこの流域内に古くからある2, 3の水準点の標高の時間的変化のグラフである。これをみると、昭和30年代には地盤沈下はすでに進行中であり、40年代にもっとも激しく、50年代には落ち着いていることが読みとれる。昭和35年頃から51年までの期間の沈下量は、47年から51年までの沈下量の3~4倍といったところである。今回、51年の出水の計算に使用したメッシュの標高を求めするのに用いた水準点の多くでは、47年にはすでに水準測量を始めている。そこで、各水準点の47年から51年までの期間の沈下量の4倍を、51年の標高に加えたものを昭和30年代の標高の推定値として用いることを考えた。しかし、水準点成果表のデータだけでは数が少し不足しているのと、若干データのばらつきがあるため、これを参考にしながら、先に述べた地盤沈下調査会による

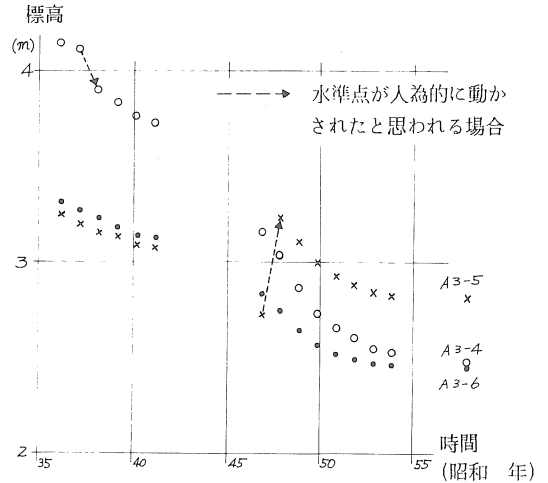


図-10 標高の経年変化

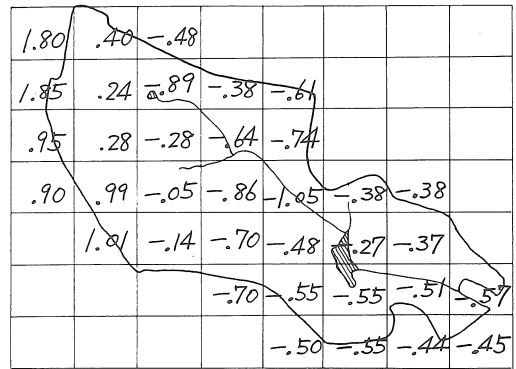


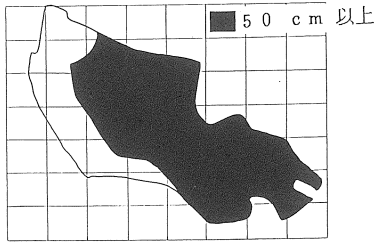
図-11 計算に用いた昭和30年代の推定標高(単位: m)

昭和51年の地盤沈下等量線図から読み取った各メッシュの沈下量を10倍したものを(昭和30年代から51年までの沈下量はおよその程度である)、昭和51年の標高に加え、これを昭和30年代の地盤高として用いることにした(図-11)。他の数値はすべて変えずに計算を行った。つまり、もしポンプ設置後に地盤沈下がおこっていなかったならば、昭和51年17号台風による湛水の状況はどんなものであったかを試算してみたことになる。

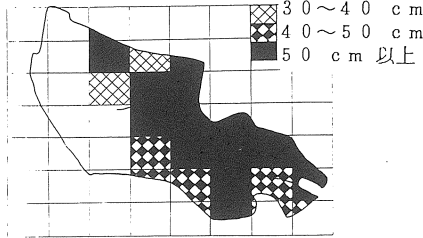
さて、その結果は図-12のようである。この図には、昭和51年の湛水状況、その計算による結果(以上は図-5の再掲)、および30年代推定標高を用いて行った計算結果を示してある。この図で、不均一な地盤沈下を被った結果の悪影響を、地盤沈下の激しかった流域の東部北寄りに見ることができる。



湛水記録



昭和51年の地盤高を用いた計算結果



昭和30年代の推定地盤高を用いた計算結果

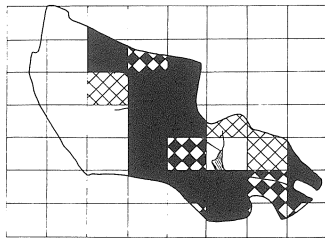


図-12 地盤高を変えた場合の湛水状況の変化

6. 結論

愛知県メッシュデータを利用した内水移動の計算が、立田輪中以外の流域にも適用可能であることを確認した。

自然排水の流域についても、出口の水位を合理的に推定できれば、この手法を使うことに特に問題はない。

流域内の水路をどのように計算に組込むべきかについては、最大湛水深の分布の記録しか利用できない現状で

は、検討することが困難である。この記録のみでは、水路について特に考慮しなければならないということもいえない。(水路、道路を要素として組込んだ計算については、以前の報告で立田輪中における方法と結果を示してある。)

水路の粗度係数をそのまま内水移動の計算に用いたのでは、やはり小さすぎるようである。今回の計算では、オーダーひとつくらい大きめに設定するのが適当であると判断される結果が得られた。

さて、我々の提案した計算を用いることによって、地盤高の変化にともなう内水排除機能の変化の推定が可能であることを示した。とくに、水準測量のデータを用いて、地盤沈下が内水排除に及ぼす影響について定量的に論ずることが可能である。したがって、過去に地盤高の変化した地域、あるいは将来地盤高の変動が予想される地域にこの計算を適用して、様々な条件における内水排除をシミュレートすれば、これらの地域の内水排除対策に際して有用な情報が得られるものと考えられる。

7. 謝辞

本研究は愛知県環境部の援助によって行われた。また、本研究を行うに当っては、愛知工業大学土木工学科昭和59年度卒業研究生の林雅彦、松浦敏之の両君に手伝ってもらった。これらの援助、協力にここで感謝の意を表したい。

文 献

- 1) メッシュ別環境情報報告書, 愛知県環境部, 1980
- 2) 江川太朗, 四俣正俊, 水野健司: 地盤沈下地帯の内水排除計画について, 地盤沈下の実態とその対策に関する調査研究報告書, 第7報, 愛知県環境部, 1981
- 3) 水準点成果表, 東海三県地盤沈下調査会, 1984
- 4) 日光川, 蟹江川排水機場建設誌, 愛知県, 1978

(受理 昭和61年1月25日)