

地下水の挙動を考慮した洪水防御工法の 評価手法に関する事例研究

武 田 宏*

建設省関東地方建設局荒川上流工事事務所

Case Study on Assessment of Flood Control Countermeasures with Consideration of Groundwater Behaviours

By

H. Takeda

*Arakawa Joryu Work Office, Kanto Regional Bureau,
Ministry of Construction, Japan*

Abstract

The lower reaches of the Agano river consist of a typical alluvial channel. Groundwater heads were surveyed in the areas surrounding the river seven time from 1980 to 1982, while they were numerically simulated by a horizontal two-dimensional model. The results of the simulation were compared with the surveyed groundwater heads. Thus the numerical simulation has proved to be available to assess the groundwater change before executing flood prevention work.

The subject is classified into the four following items and useful results were obtained for each:

1. Comparison of water balance in the river channel with the water yield estimated from the numerical simulation.
2. Assessment of the influence of channel excavation on the change of groundwater.
3. Feasibility study of the control of water leaking through the ground by sheet piling.
4. Estimation of the change of groundwater after shifting a part of the channel.

* 前 国立防災科学技術センター 第一研究部 風水害防災研究室研究員

1. まえがき

従来の河川工学は、洪水や渇水等の表流水を対象にダム・河道・堤防等の計画・設計・施工について研究し災害防止に大きな貢献をなしていた。

近年は、大都市への人口の集中、生活水準の向上、経済社会活動の進展等に伴い、地下水の開発、河床低下、河川の付替、内水排除等が各地で行われるようになった結果地下水が人為的に変化し時には種々の災害が生じていることもある。

したがって今後の河川防災の研究については地下水の流動に着目することが必要であり、本研究はその第一歩として、堤防を守るため河川水と地下水との関係の基礎的な考察を行ったものである。研究の概要はつぎのとおりである。

河川と循環する地下水は浅層である場合が多いので不圧地下水を対象としてシミュレーションモデルを構成し、7回の一斉地下水位観測成果からモデルの同定を行った。

つぎにそのシミュレーションモデルを使用して阿賀野川における河道の水収支、河道掘削による水位低下、破堤の原因となる堤防基盤漏水防止のための矢板打ち込み、支川早出川における一部河道の付け替え等が地下水の流動・循環に与える変化を事前に評価しようと試みたものである。

その結果は、広域的には、扇状地・氾濫原性低地では河川と地下水の関連が強く上述の河川の変化が地下水の流動に影響するが、三角州性低地では比較的影響が少なかった。

2. 対象地域の概要

2.1 地形・地質

研究の対象とした地域は日本海側の阿賀野川下流域で約600km²の範囲である(図1)。阿賀野川下流域は新潟平野の中央部に位置し新潟平野の自然・社会・経済の中枢をなしている。その地形地質の概要はつぎのとおりである。

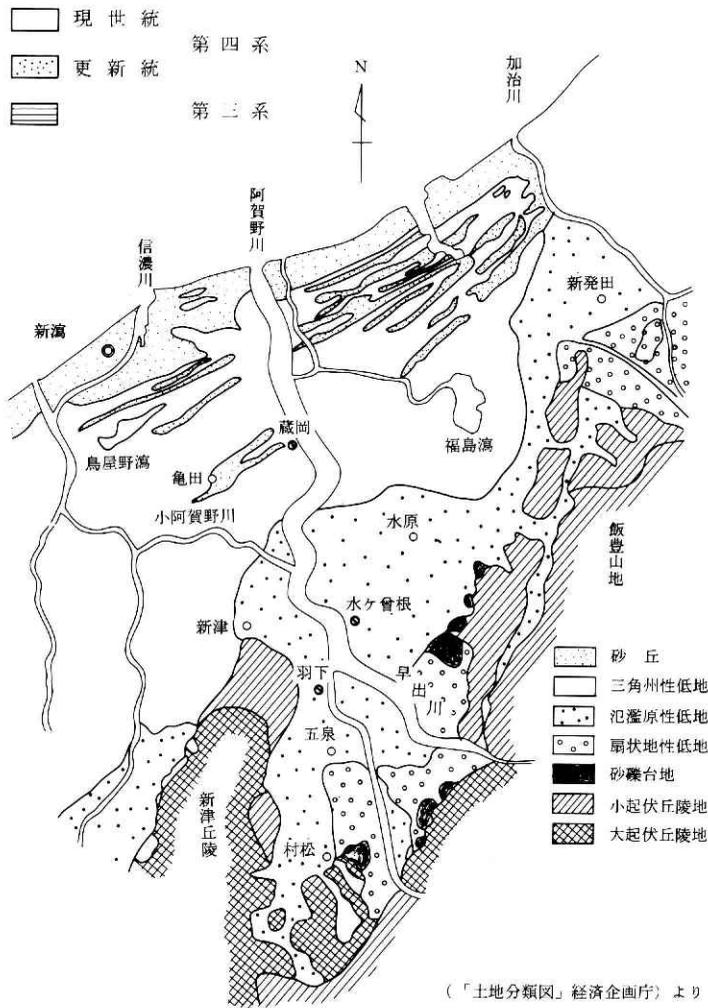
地形は図2のごとく北の日本海沿岸に砂丘が発達し、その内側には数条の砂丘が間歇的に存在している。その南には三角州低地が新津・水原・新発田付近まで広がっている。それから新津丘陵・山地までの大部分は氾濫原性低地が広がっている。山地近くで阿賀野川の左右岸の一部、早出川の五泉付近までの左右岸に扇状地性低地が、山地と氾濫性低地の境界にわずかながら洪積層の砂礫台地が存在している。

三角性低地には福島潟・烏屋野潟に代表される低湿地が、三角性低地及び氾濫性低地の内には多数の自然堤防が存在し集落のほとんどがその上に形成されている(図2)。

地質の平面的な分布は図3のごとく、北の日本海沿岸及びその内側には数条の砂丘堆積物、南の山地は花崗岩、丘陵地は主として矢代田層、扇状地に相当するところは沖積段丘堆積物、



図1 阿賀野川下流域位置図



(「土地分類図」経済企画庁)より

1/200,000

図2 地形分類図

砂丘と山地・丘陵地の間は広大な沖積層となっている。

地質の構造は、新潟平野は羽越地向斜と呼ばれる日本海側第三系を形成した堆積盆地のほぼ中心部に位置している。その地質構成は平野部の中心で地表から160 m位までが沖積層、160 mから800 m位までが洪積層それ以深が新第三紀層である。洪積層から新第三紀層にかけてG₁～G_n層と称される水溶性天然ガス鉱床の滞水層がある。

不圧地下水の流動は沖積層を対象とすれば充分と考えられその代表的な地質断面は図4のとおりである。

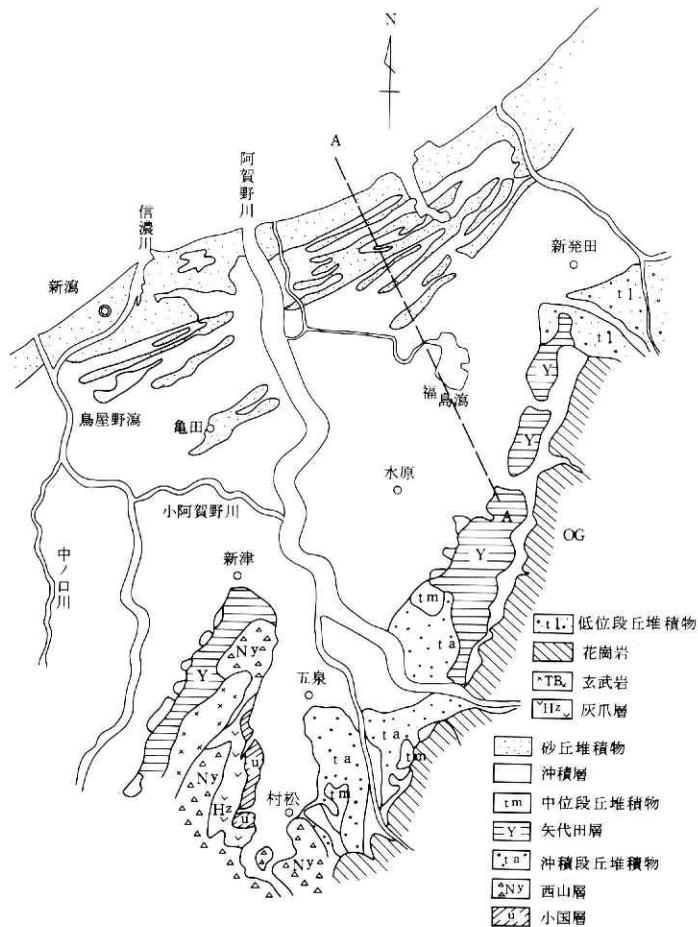


図3 地質図

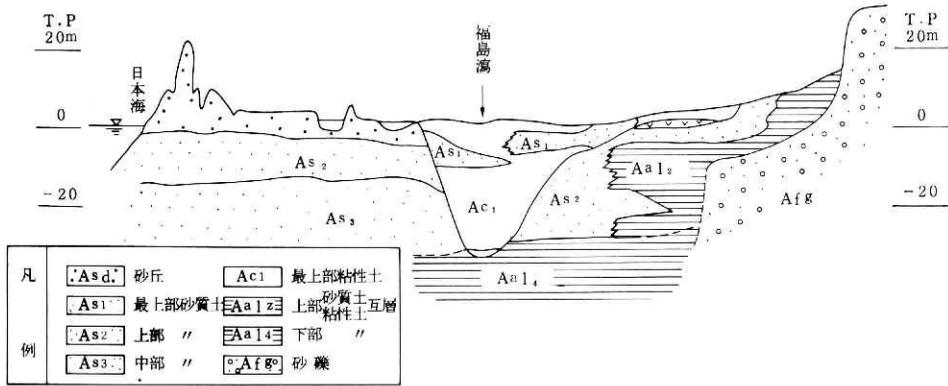


図4 地質断面図(A-A断面)

2.2 地下水

阿賀野川下流域における地下水は、経年的な調査として阿賀野川沿岸に昭和50年から約40カ所の観測井により行われており、代表的な観測井羽下（氾濫原性低地）、水ヶ曾根（氾濫原性低地）、蔵岡（三角州低地）についてみると図5のとおりである。羽下・水ヶ曾根は毎年同じパターンを繰り返しているが大雨の時は急激に上昇している。蔵岡は低平地のためと親松排水機場により烏屋野瀉の水位がコントロールされているために水位変化が小さいと考えられる。

一方平面的な地下水分布の調査として表1のように7回にわたって一斉地下水観測が行われた。観測時期は水文気象・水利用状況および経費等を考慮して決められた。

観測値から地下水位コンターを作成すると図6～12、地下水量等は表2、図13のとおりである。

これによると地下水位の変動は、全体の平均は0.413 m、地形別では扇状地が0.852 m、三角州性低地が0.349 mとなっており当初の予想よりはかなり小さな変動である。また季節別な特徴も見出すことは困難である。

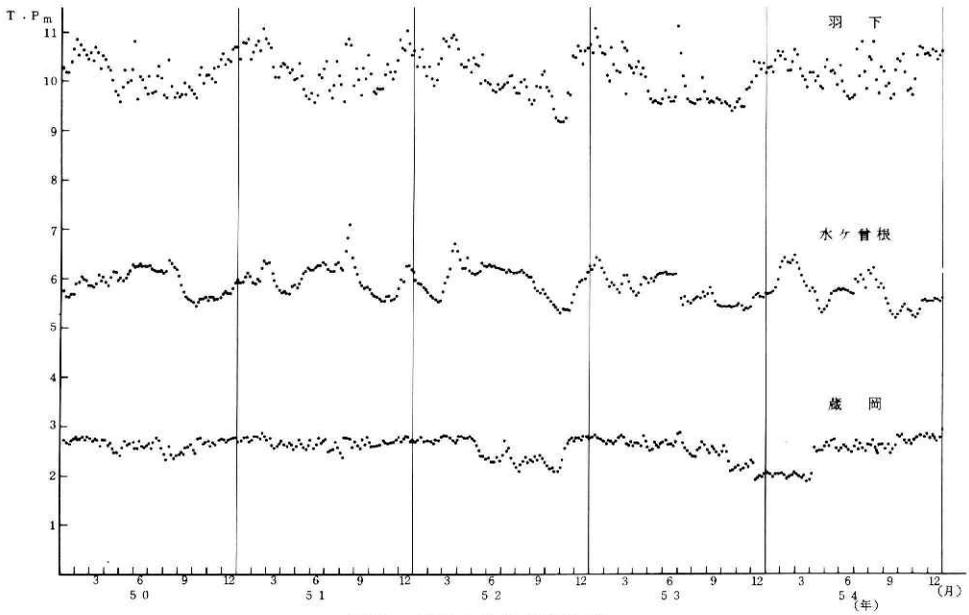


図5 地下水位経年変化図

表1 一斉地下水位観測実施口

回	年 月 日	観測所数	摘 要
1	S・55・8・3	189	かんがい期（出穂期）
2	” 10・5	”	非かんがい期
3	S・56・2・8	”	降雪期
4	” 5・10	197	かんがい期（代かき期）
5	” 8・9	”	”（出穂期）
6	” 11・7	”	非かんがい期
7	S・57・2・13	”	降雪期

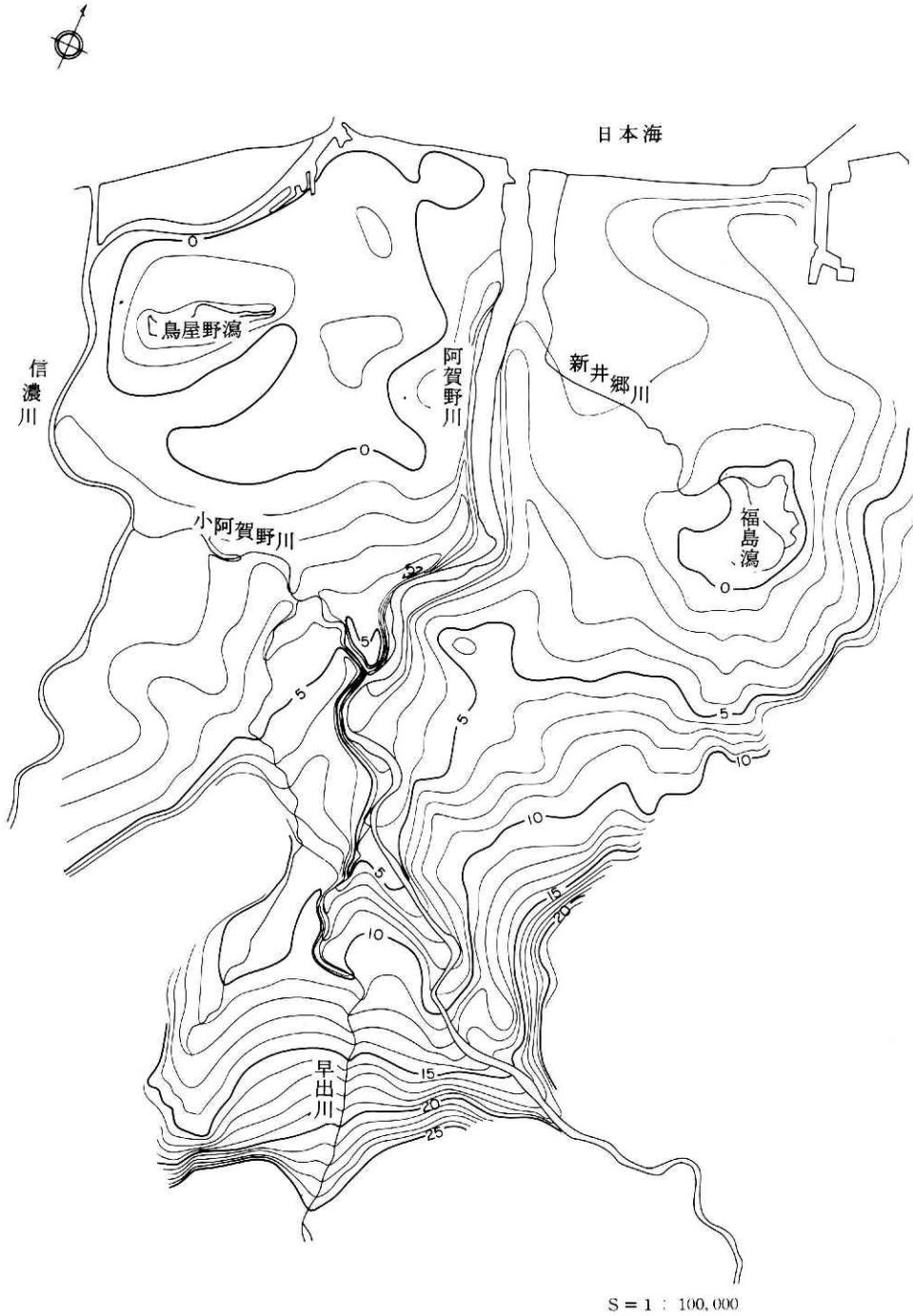


図6 阿賀野川地下水コンター図 昭和55年8月3日



図7 阿賀野川地下水コンター図 昭和55年10月5日



S = 1 : 100,000

図8 阿賀野川地下水コンター図 昭和56年2月8日



図9 阿賀野川地下水コンター図 昭和56年5月10日



図10 阿賀野川地下水コンター図 昭和56年8月9日



図11 阿賀野川地下水コンター図 昭和56年11月7日



図12 阿賀野川地下水コンター図 昭和57年2月13日

表2 一斉地下水水位観測変動表

単位 水量 $\times 10^6$ m³
平均高T・Pm

地形別	水量及 平均高	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回
1. 砂丘	水量	39.5	32.6	46.9	43.4	33.3	51.8	34.7
	平均高	0.658	0.543	0.782	0.723	0.555	0.863	0.578
2. 三角州性 低地	水量	268.0	216.7	272.1	291.4	233.1	293.7	270.9
	平均高	1.252	1.013	1.271	1.362	1.089	1.372	1.266
3. 氾濫原性 低地	水量	1,082.5	1,025.6	1,059.0	1,096.5	1,043.6	1,085.9	1,046.2
	平均高	8.457	8.012	8.273	8.566	8.153	8.484	8.173
4. 扇状地	水量	603.7	587.4	585.3	601.2	575.6	579.7	588.7
	平均高	18.294	17.800	17.736	18.218	17.442	17.567	17.839
5. その他 (河川等)	水量	914.9	901.0	912.2	964.4	909.5	931.0	909.2
	平均高	7.038	6.930	7.017	7.418	6.996	7.162	6.994
6. (1+2 +3+4)	水量	1,993.7	1,862.3	1,963.3	2,032.3	1,885.6	2,011.1	1,940.5
	平均高	4.583	4.281	4.513	4.672	4.335	4.623	4.461
合計	水量	2,908.6	2,763.3	2,875.5	2,996.7	2,795.1	2,942.1	2,849.7
	平均高	5.148	4.891	5.089	5.304	4.947	5.207	5.044

(註 この表の水量とは標高 \times 面積である)

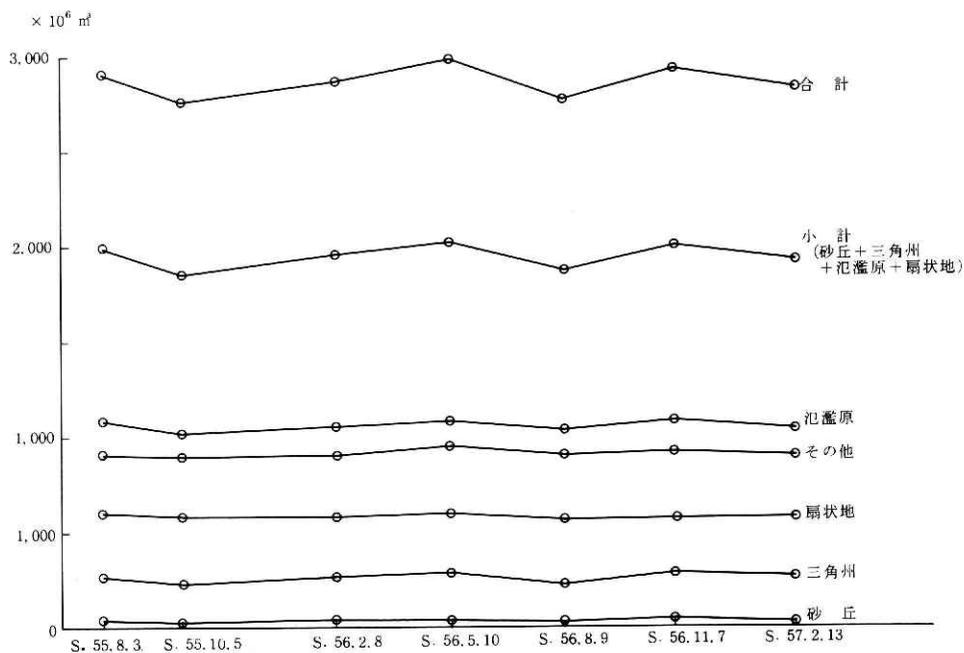


図13 地形分類別地下水変動量図

3. 地下水シミュレーションモデル及び同定

地下水の流動は3次元の流れであるが現在3次元のシミュレーションモデルは開発されていない。現在使用されているシミュレーションモデルはつぎの3種類に大別される。

平面2次元シミュレーションモデル

準3次元シミュレーションモデル

断面2次元シミュレーションモデル

上記3種類のモデルは各々特徴があり各々の目的によって使用されている。本研究は不圧地下水と河川の循環を対象とするので平面2次元シミュレーションモデルを採用するものとし基本式はつぎのとおりである。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + W(x, y, t) \dots\dots\dots (1)$$

h : 水頭 T : 透水量係数 S : 貯留係数

W : 単位面積当りの涵養（降雨・河川・水田等の浸透）及び減少（蒸発散・揚水・河川等への還元）要因

(1) 式の計算にあたっては運動式と連続式に分け差分化して行った。なお運動式にはダルシー式を用いた。

シミュレーション計算に必要な入力条件の主要なものはつぎのとおりである。

① 計算範囲、メッシュ

計算範囲は図14のとおり北は日本海、南は五頭山麓守門山麓の五泉、村松、東は福島潟の東側、西は信濃川の約565km²である。またメッシュは縦横とも1kmとし東西方向26個南北方向33個に分割したが、メッシュの分類は総数858個、その内、山地境界43個、流入境界9個、流出境界1個、河道等77個、水田334個、都市14個、宅地等87個、計算外293個である。なおメッシュ1個は1km²である。

② 計算単位時間、計算時間数

計算単位時間は地下水流速等を考慮し半旬（5日）とした。計算時間数は検証等を考慮し一斉地下水位観測が実施された昭和55年8月～57年2月までの114半旬とした。

③ 地層の設定、各種透水係数

不圧地下水を対象とするので流動範囲は沖積層のみで充分と考えられるので下端をT.P.-200mとしその間を図4を参考に4層に分割した。

地表の第1層は砂丘、第2層は三角州性低地、第3層は氾濫原性低地、第4層は扇状地とし各メッシュで各層の厚さを決めた。

透水係数は地層第1～第4の横透水係数，降雨の浸透，河川等及びかんがい期水田の浸透とした。

降雨の浸透は雨量・浸透量曲線を都市・宅地メッシュ及び水田メッシュ別に作成したほか最大値（飽和雨量）も決めた。また河川等及びかんがい期水田の浸透は減水深方式とした。これらの具体的な数値は表3のとおりである。

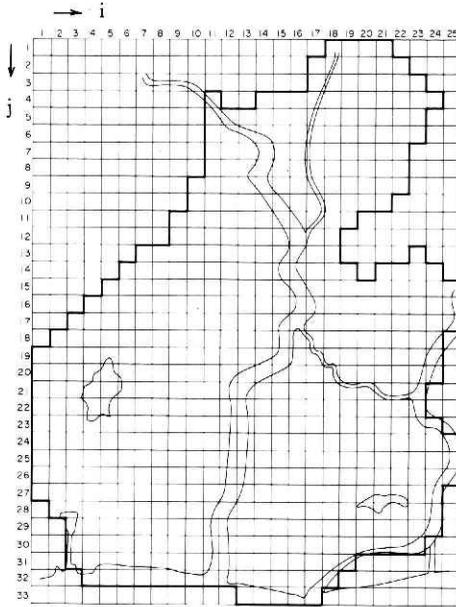


図14 計算範囲及びメッシュ分割

表3 各種透水係数等表

種 別	透水係数等	摘 要
地 層	m/日	
第1層	43.2	中砂～細砂
第2層	0.3888	粘土～微細砂
第3層	3.024	微細砂～細砂
第4層	25.92	中砂～粗砂
降雨浸透量	$R_L = 150[1 - \exp(-2.996 \times R_s / 80)]$	R_L : 浸透量 mm R_s : 雨量 mm
都市・宅地メッシュ	$R_L = 70[1 - \exp(-2.714 \times R_s / 160)]$	
水田メッシュ		土木工学ハンドブック P 2595
最大値	70mm	
河川等及びかんがい期 水田浸透量	10mm/日	北陸農政局 「阿賀野川頭首工水使用計画書」

④ その他

空隙率は地質等を考慮し0.2，雨量・蒸発散量は実績データ，地下水揚水量は上水道・工業用水は実績としたが新井郷川及び烏屋野潟からの内水排水量にも地下水が含まれていると仮定し内水排水量の約1割分（試算により求めた量），河道・潟・海は11カ所の実績データとした。

以上の入力条件でシミュレーション計算を行い一斉地下水位観測値と比較した結果は図15～20のとおりであり比較的良好な結果である。

またこれらの入力条件の妥当性を検討するため特に影響が大きい降雨浸透量，河川等及びかんがい期水田浸透量，地層横透水係数を先の入力数値を基準（1.0倍）とし10倍，0.1倍にしてシミュレーション計算を行い，その計算値と一斉地下水位観測値との2乗平均誤差を求めると表4のとおりである。これをみても最初に設定した入力条件が妥当であると云える。

ただし計算はかんがい期で浸透量の大きい一部地域で振動を起しているがわずかの期間で収束しているので，この解析の主要部分の結論には影響しないと考えている。

表4 入力条件の相違による一斉地下水位観測値と計算値の2乗平均誤差

変化させる条件及観測回数	①	②	③	④	⑤
水田，都市，宅地・畑地の降雨浸透量	1.0 倍	10.0 倍	0.1 倍	1.0 倍	1.0 倍
河川及びかんがい期水田浸透量	1.0 "	10.0 "	0.1 "	1.0 "	1.0 "
各地層横透水係数	1.0 "	1.0 "	1.0 "	10.0 "	0.1 "
第1回一斉観測 (S・55・8・3)	初期条件のため誤差0.0				
第2回 (S・55・10・5)	0.906	2.168	1.544	O・F	0.885
第3回 (S・56・2・8)	1.255	2.371	3.321	"	1.451
第4回 (S・56・5・10)	1.529	2.574	4.440	"	1.890
第5回 (S・56・8・9)	1.910	2.829	5.177	"	2.353
第6回 (S・56・11・7)	1.812	2.561	6.982	"	2.188
第7回 (S・57・2・13)	1.977	2.460	7.502	"	2.509
第2回～第7回までの平均	1.565	2.494	4.828	"	1.879

(註 O・Fは桁がオーバーフローした。)

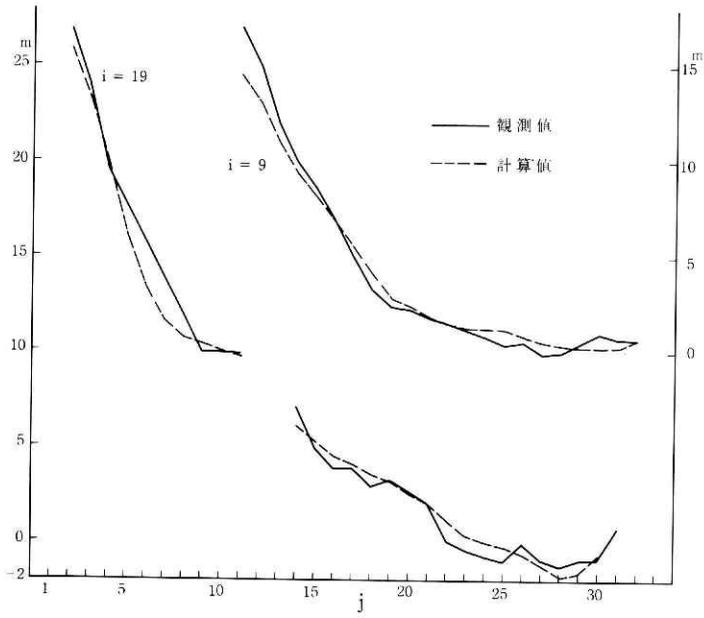


図15 観測値及び計算値比較図 昭和55年10月6日

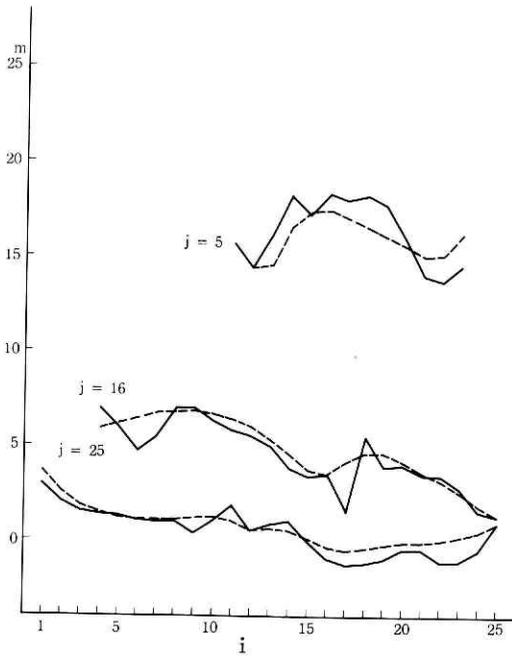


図16 観測値及び計算値比較図 昭和55年10月6日

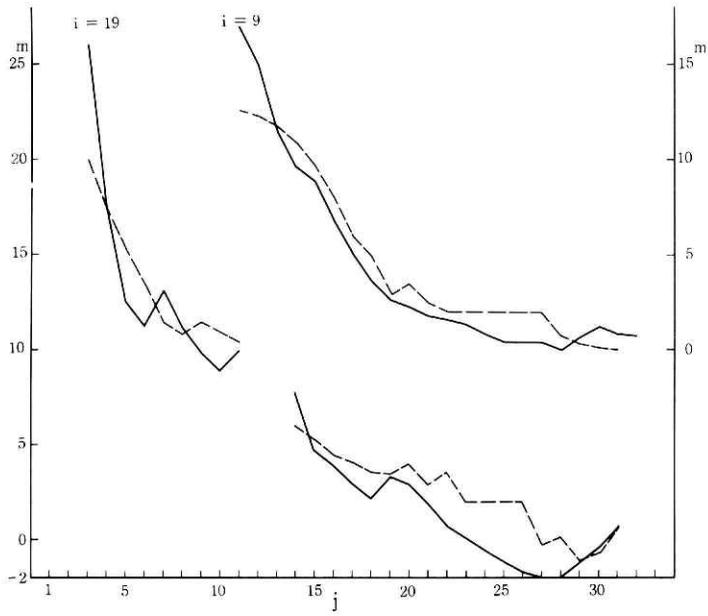


図17 観測値及び計算値比較図 昭和56年8月11日

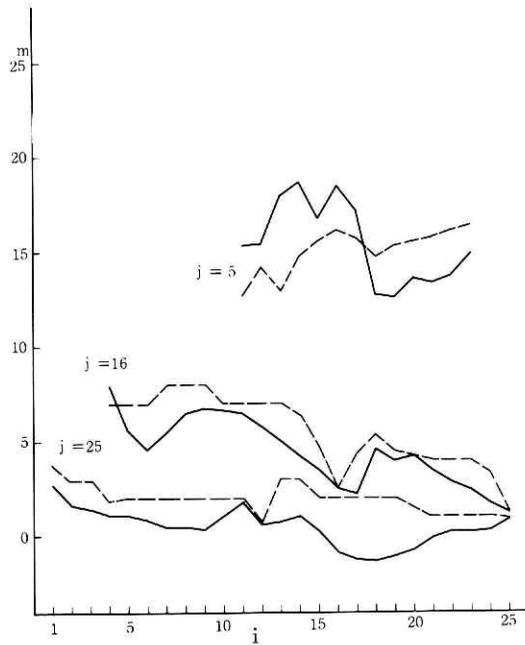


図18 観測値及び計算値比較図 昭和56年8月11日

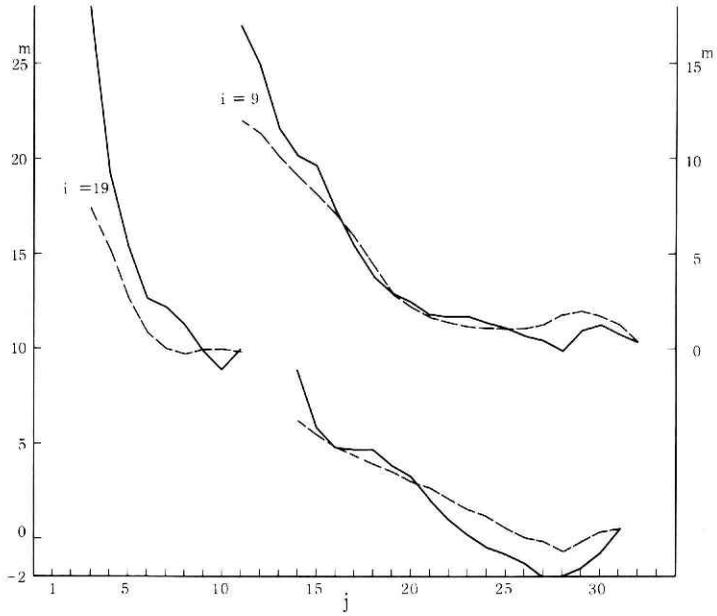


図19 観測値及び計算値比較図 昭和57年2月13日

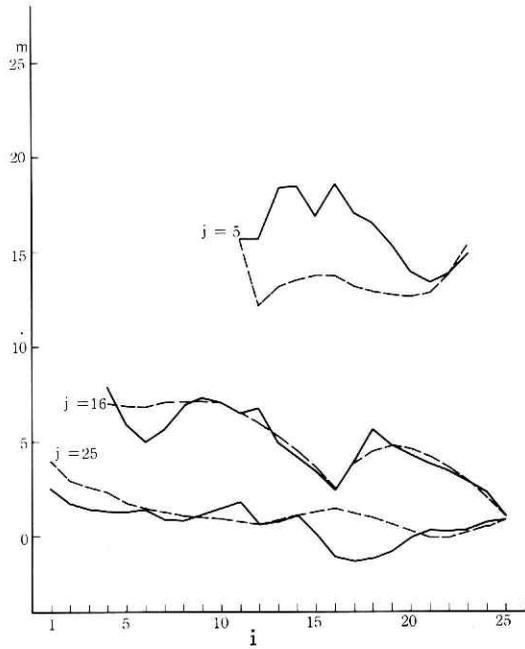


図20 観測値及び計算値比較図 昭和57年2月13日

4. 河川と地下水の循環に関する事例解析

先章までに作成した阿賀野川下流域の地下水シミュレーションモデルを使用して、阿賀野川の河川防災について事例解析、すなわち連続流量観測による河道の水収支、洪水の疎通をはかるための河道掘削、堤防基盤漏水防止のための矢板打込、支川早出川の河道付け替えの4項目について、地下水流動・循環との関係を調べた。

4.1 連続流量観測による河道水収支

阿賀野川本川沿いに、馬下から下流7カ所の地点で昭和55年8月10日・11日及び10月5日の2回にわたり連続流量観測が行われた。この観測値からつぎの検討を行った。

本川沿いの2観測地点間において、上流地点の観測値に両観測地点間の支川等の実測流入量（実測流出量はマイナス値とする）を加算し下流地点の流量を算出する（以降これを河道水収支計算値と云う）。下流地点の観測値からこの河道水収支計算値を減算したところかなり差があるところがあった。その差は一般に地下水から河道への湧出（マイナス値ならば河道から地下水への浸透）と考えられる。そこで先述のシミュレーション計算結果の中より連続流量観測が行われた時期について河道への湧出量を抽出し、先の観測値の水収支計算値との差を表5にまとめた。なお流量観測地点の位置は図21のとおりである。

表5 連続流量観測水収支計算値とシミュレーション計算値比較表

55・8・10～11連続観測				55・8・11シミュレーション計算による河道湧出量	55・10・5連続観測				55・10・6シミュレーション計算による河道湧出量
	最大	平均	最小						
馬下	115.06	99.09	89.17		馬下	131.33	128.47	126.14	
論瀨	観計差 148.99 115.12 +33.79	121.06 99.15 +21.91	109.18 89.22 +19.96	$\begin{pmatrix} 11\cdot4 & 11\cdot5 \\ 12\cdot5 & 12\cdot6 \\ 13\cdot6 & 14\cdot7 \end{pmatrix}$ +1.545	論瀨	観計差 132.96 131.36 +1.60	130.30 128.50 +1.80	128.47 126.17 +2.30	+0.941
高山	観計差 147.24 149.72 -2.48	130.50 121.75 +8.75	120.31 109.83 +10.48	$\begin{pmatrix} 14\cdot8 & 14\cdot9 \end{pmatrix}$ +0.416	高山	観計差 130.37 133.05 -2.68	127.53 130.39 -2.86	123.20 128.56 -5.36	+0.559
千唐仁	観計差 125.77 147.24 -21.47	115.38 130.50 -15.12	107.42 120.31 -12.89	$\begin{pmatrix} 14\cdot10 & 15\cdot10 \\ 15\cdot11 \end{pmatrix}$ +1.083	千唐仁	観計差 147.00 130.37 +16.63	137.57 127.53 +10.04	128.96 123.20 +5.76	+1.101
新郷屋	観計差 135.31 134.11 +1.20	131.57 123.38 +8.19	126.79 115.10 +11.69	$\begin{pmatrix} 16\cdot12 & 16\cdot13 \end{pmatrix}$ +0.538	新郷屋	観計差 144.97 147.00 -2.03	143.52 137.57 +5.95	142.83 128.96 +13.87	+0.587
中新田	観計差 132.96 136.68 -3.72	124.20 132.86 -8.66	110.98 128.00 -17.02	$\begin{pmatrix} 15\cdot14 & 16\cdot15 \\ 16\cdot16 \end{pmatrix}$ +1.082	中新田	観計差 126.90 144.94 -18.04	122.82 143.49 -20.67	117.71 142.80 -25.09	+0.453
沢梅	観計差 126.48 105.38 +21.10	103.21 95.78 +7.43	77.88 80.82 -2.94	$\begin{pmatrix} 16\cdot17 \end{pmatrix}$ -0.107	沢梅	観計差 114.37 102.11 +12.26	103.68 96.93 +6.75	94.96 90.32 +4.64	+0.032
大洲	観計差 135.59 130.99 +4.60	71.46 107.19 -35.73	27.28 81.32 -54.04	$\begin{pmatrix} 15\cdot18 & 15\cdot19 \\ 14\cdot20 & 13\cdot20 \\ 12\cdot21 & 12\cdot22 \\ 12\cdot23 & 12\cdot24 \end{pmatrix}$ +1.080	横越	観計差 117.26 113.60 3.66	101.89 102.91 -1.02	89.26 94.19 -4.93	$\begin{pmatrix} 15.18 & 15.19 \end{pmatrix}$ +0.183

()内の数字はi, jの番号

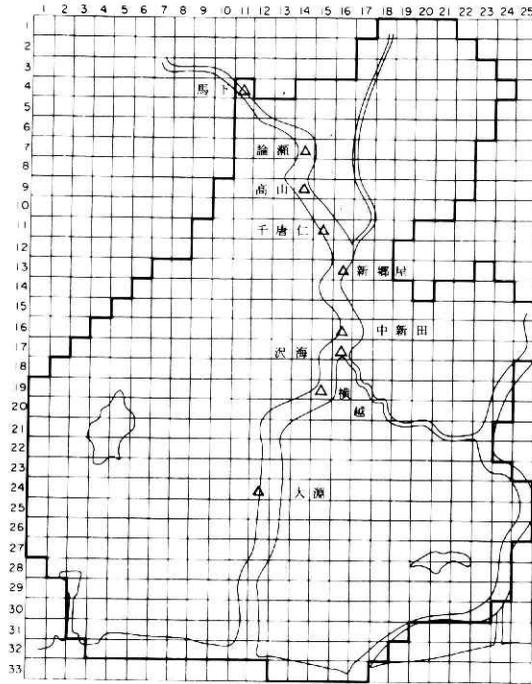


図21 流量観測地点位置図

表5をみるとシミュレーション計算による河道への湧出量は、連続流量観測により期待された地下水湧出量の10%以下のものが大部分である。

連続流量観測値とその水収支計算値の差は観測していない地下水の湧水または河川の浸透と仮定する考え方は水の連続理論から当然の事であるが、今回の連続流量観測への適用についてはあまり良好な結果は得られていない。この原因は流量観測の誤差、シミュレーション計算は半旬の平均的な流動であるのに対し連続流量観測は1日という時間差及び河道付近のメッシュ間隔に起因する精度等が考えられる。

4.2 洪水の疎通をはかるための河道掘削

治水安全度の向上を図る一環として河道掘削により河積の拡大洪水疎通能力の向上が検討される場合がある。その場合河積の拡大により平常時の河川水位が低下するが、それがさらに沿岸の地下水にも影響すると推定される。

阿賀野川で、この影響の程度を地下水シミュレーションモデルを使用して事前に予測しようとした。

計算条件は河道水位を馬下、千唐仁、満願寺が0.75 m、横越が0.375 m下げる他は同じ条件とした。

計算結果を河川に近いメッシュ ($i = 14 \cdot j = 6$, $i = 17 \cdot j = 15$) についてみると図22のとおりとなる。これをみると河川直近メッシュのためか最も影響が大きい時期は河川水位低下分に相当している。また断面でみると図23となり上流扇状地部分は山麓まで影響するが中流氾濫原部分では4~5 km 位までである。

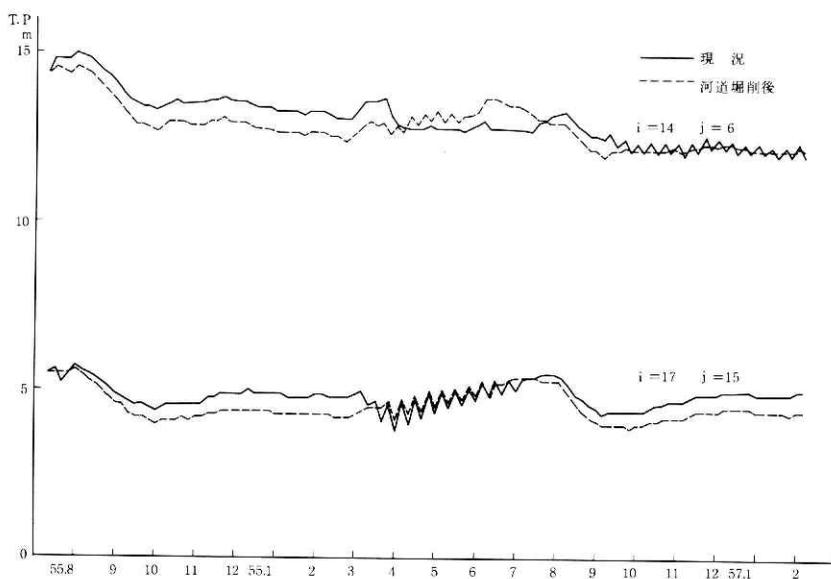


図22 現況及び河道掘削後の地下水位比較図

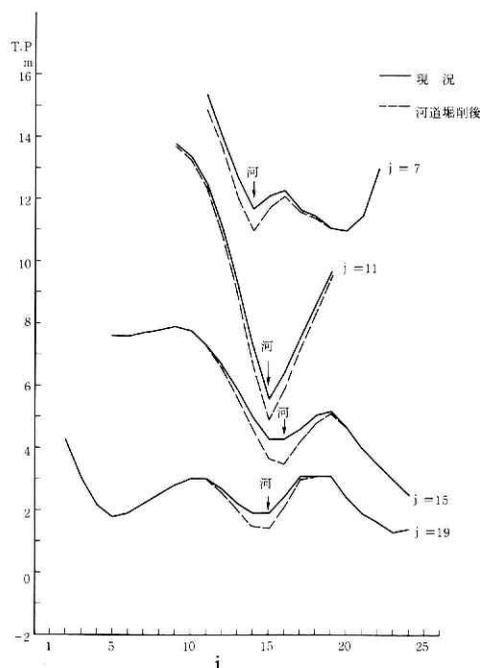


図23 現況及び河道掘削後の地下水位比較図 (昭和55年10月6日)

この程度では季節別変化より小さいので河道掘削による周辺地下水への特別な障害はないものと考えられる。

4.3 堤防基盤漏水防止のための矢板打ち込み

堤防の下で基盤漏水が発生する箇所があるがその大部分は旧河川敷と推定されている。漏水をそのまま放置しておくとは破堤等がしやすくなり充分注意を要する。

そこでこの対策として旧河川敷部分に矢板を打ち込み止水する予定がある。この場合堤内地の地下水がどのように変化するか地下水シミュレーションモデルを使用して予測しようとするものである。

計算条件は4.1と同じ条件で矢板の打ち込み箇所は図24のとおりである。

矢板打ち込みによる流量の低減は表6によった。(阿賀野川工事事務所, 1980)

計算結果を矢板打ち込みの影響が大きいと考えられるメッシュ ($i = 15 \cdot j = 15$, $i = 13 \cdot j = 23$) についてみると図25のとおりとなる。これを見ると矢板締切率にもよるが、河川への流入が抑制されるためか地下水位が高くなる。さらに断面でみると図26のとおりである。

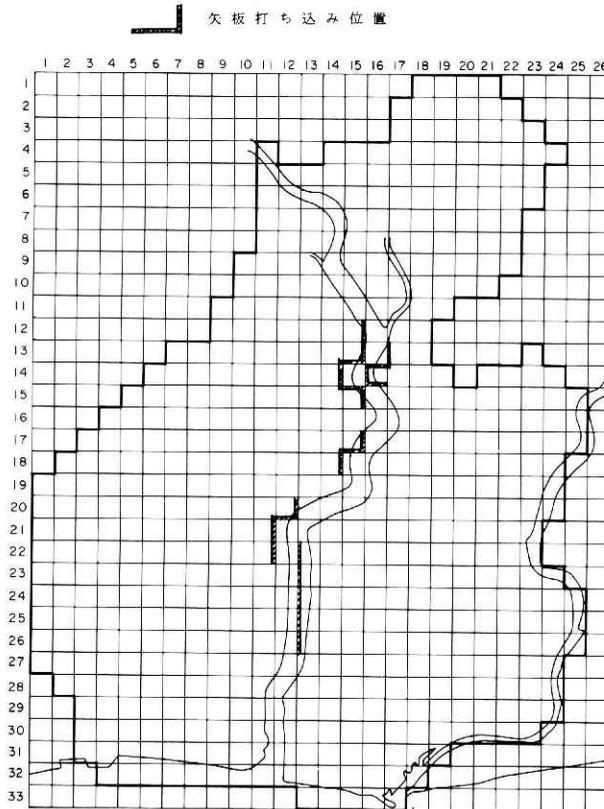


図24 矢板打ち込み位置図

表6 流量低減率表

矢板締切率	流量低減率	摘	要
68%	12%	<p>矢板締切率 = $\frac{a}{b}$</p>	
79%	16%		
89%	22%		
100%	100%		

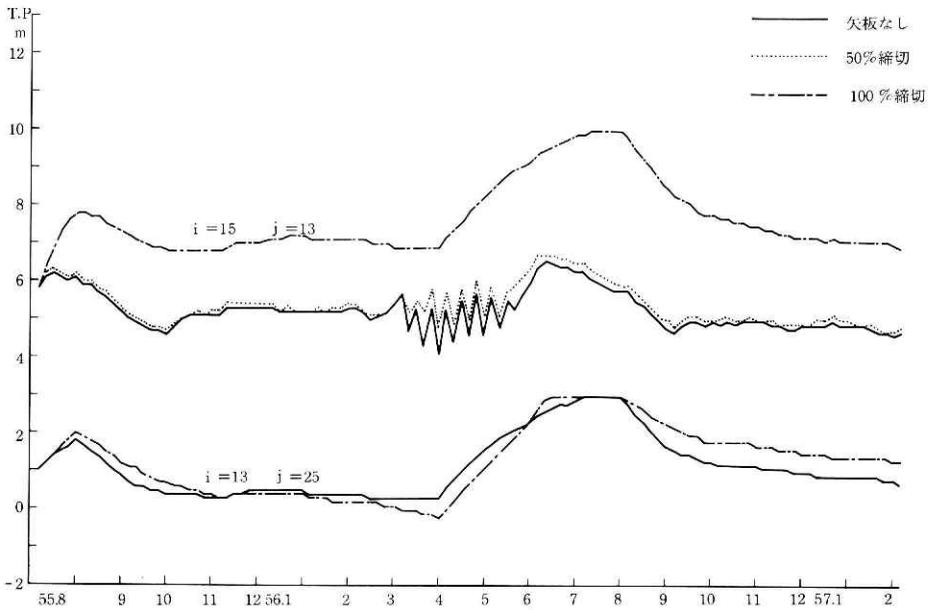


図25 矢板打ち込みによる経年水位変化図

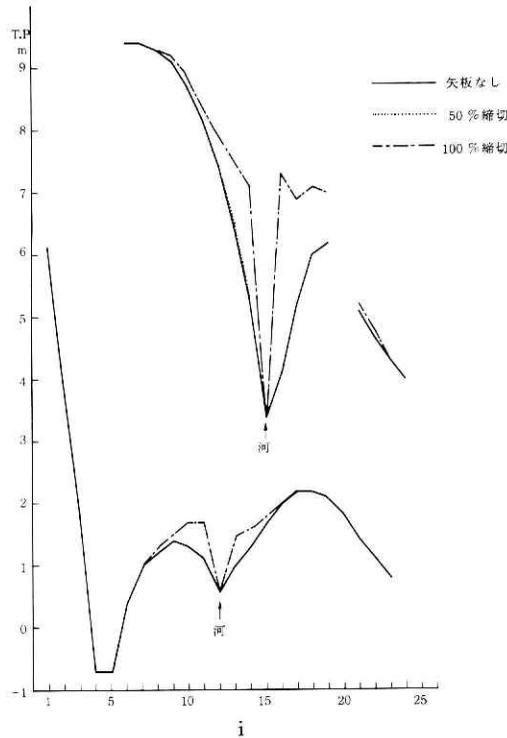


図26 矢板打ち込みによる水位変化図

最も極端な 100%縮切でも数kmの範囲しか影響がなく、50%縮切ではほとんど影響しない。

4.4 支川早出川河道付け替え

支川早出川下流部において流下能力の増大、蛇行部の整正を図るため一部河道を付け替える計画がある。

河道を付け替えると延長が若干短縮され河床高も下げるので洪水対策上は好ましいが、沿岸の地下水に影響が及ぶと推定される。そこでその影響について地下水シミュレーションによって評価しようとするものである。モデルは基本的な部分は先述のものを使用するが変更する条件はつぎのとおりである。

① 計算範囲及びメッシュ分割

計算範囲及びメッシュ分割は河道付け替え部分を重視し図27のとおり一部を細かくした。

② 河道水位は河道付け替え下流端で0.9 m下げるが他は現況の水位とした。

計算は現況と河道付け替えの2ケースについて行い、結果を図示すると図28(1)~(3)のとおりである。

これによると河道付け替えによる地下水の変動は横断方向で約5 km程度の範囲で新しい地下水面形を作り、縦断方向には付け替え部分のみであった。

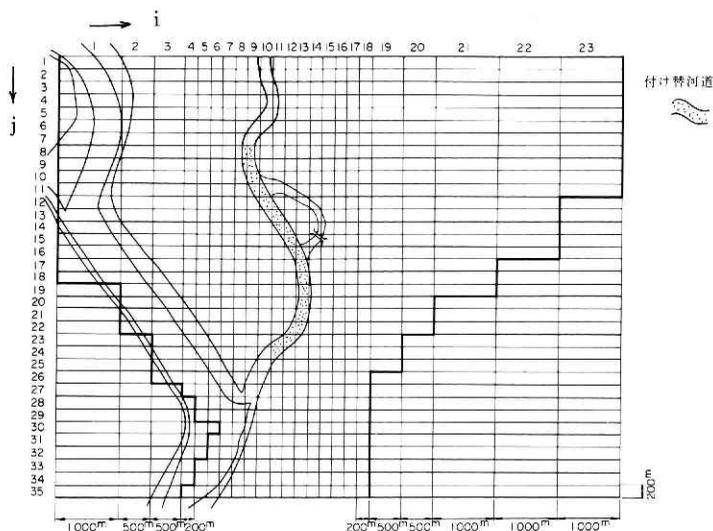


図27 計算範囲及びメッシュ分割

5. あとがき

河川防災については従来までは主として表流水を対象とした研究が行われていた。しかし近年は人為的な地下水の変動が発生するようになり防災対策の研究には地下水の流動が重要な要素として考慮されねばならなくなった。

そこで本研究は、従来まで行われていなかった地下水の挙動を考慮した洪水防御工法についての評価手法を開発した事例研究である。

各洪水防御工法等について地下水の変動等を事前に予測・評価するとつぎのとおりである。

- ① 連続流量観測による河道水収支で差が出る分は未観測の地下水の挙動であるとの考え方は妥当であるが、今回の地下水シミュレーション計算成果より裏付けることは困難で、局地的な影響を考慮する必要がある。
- ② 河道掘削により平常時の河川水位は低下するが、それが堤内地下水に及ぼす影響を検討したところ、扇状地では山麓まで氾濫原では約5 km の範囲と予測された。
- ③ 堤防基盤漏水防止のために矢板を打ち込んで堤内地下水に及ぼす影響を検討したところ、非現実的な100%締切でさえ数km の範囲しか地下水位上昇が認められず、50%締切りではほとんど影響しない。
- ④ 扇状地にある河川の河道を一部付け替えた場合地下水がどの範囲まで変動するか検討したところ河川の縦断方向では付け替えた部分だけで断面方向には数km と予測された。

以上の研究成果は必ずしも満足すべきものばかりではないが、今後は洪水防御工法の検討

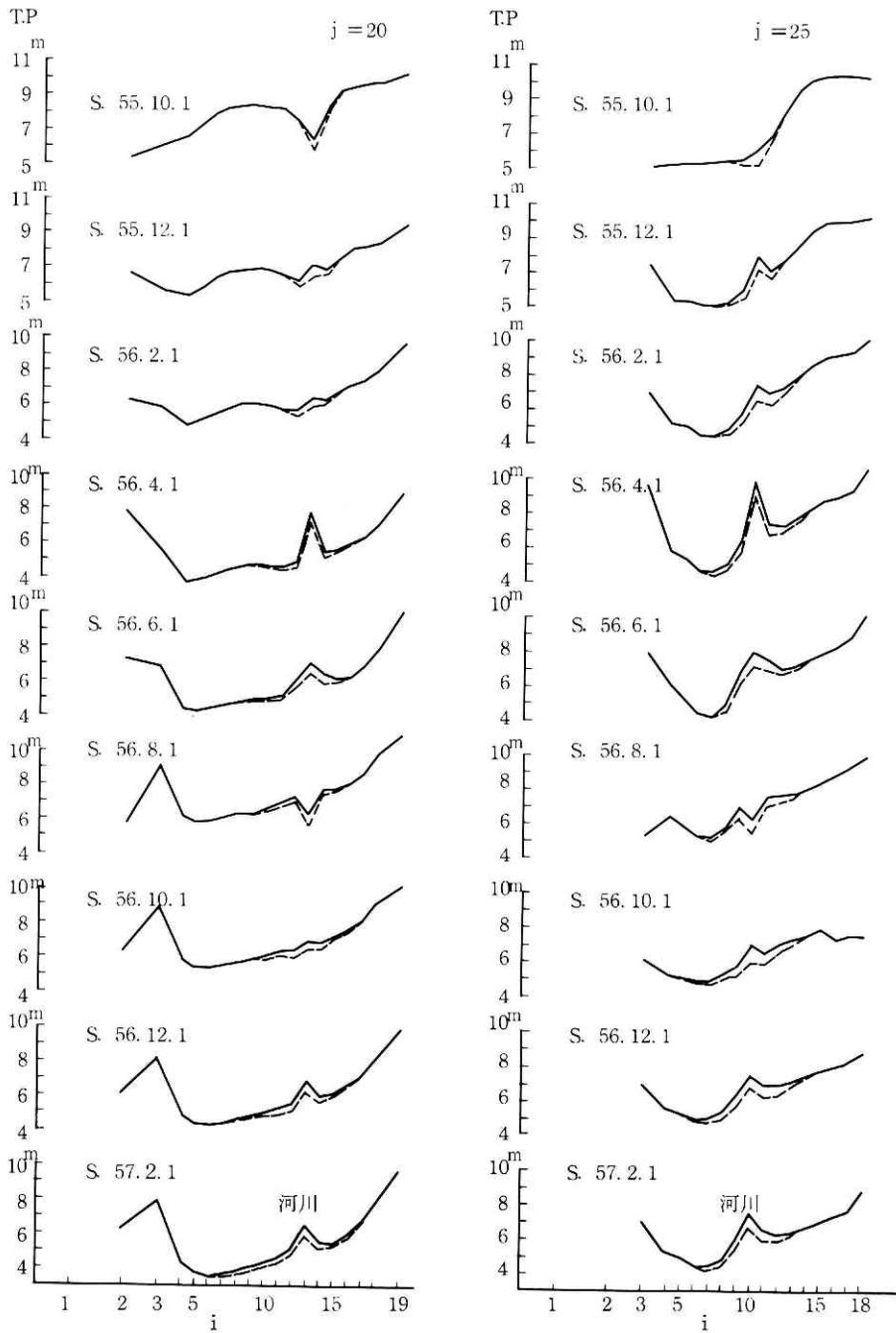


図28(3) 現況及び河道付け替え地下水変化図

にあたっては地下水の挙動に充分配慮して行うことが必要であることを示唆している。

なお、本研究にあたり現地観測ならびに各種の資料を提供して下さった建設省北陸地方建設局阿賀野川工事事務所に対し心からお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 北陸農政局(1976): 阿賀野川頭首工水使用計画書。
- 2) 建設省阿賀野川工事事務所(1980): 阿賀野川地下水解析報告書。
- 3) 土木学会編(1964): 土木工学ハンドブック。技報堂, P2595。
- 4) 経済企画庁(1973): 土地分類図新潟県。

(1982年6月7日 原稿受理)