

13.1 土木機械設備のストックマネジメントに関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：技術推進本部（先端技術）

研究担当者：藤野健一、山尾 昭、上野仁士、
石松 豊

【要旨】

土木機械設備数の増大、土木機械設備の老朽化の進行、減少する維持管理予算といった状況下において、効果的に土木機械設備の整備や更新を実施するには、各々の土木機械設備の状態と社会的影響度を総合的に評価する方法が必要となる。

平成 25 年度は、土木機械設備が故障した場合の社会的影響度を評価するために前年度までに作成した、関連する複数の土木機械設備を有するネットワーク型河川地域のモデルについて、シミュレーション計算の結果、流量が大きく振動する場合や、水位が実績と大きく離れるなど不安定な現象が発生する場合があるため、これを低減するようモデルの改良を行った。また、複雑となっている要素モデルの接続に関して、モデルの構築や変更が容易になるよう検討した。

キーワード：土木機械設備、ネットワーク型河川、CommonMP、シミュレーション、GIS

1. はじめに

河川における土木用機械設備は、日本全国に 1 万箇所以上整備されており、国民の生命財産を守るためには、適切な維持管理を行うことにより十分な機能を発揮させる必要がある。これら各種の土木機械設備については、新設による施設数の増大と維持管理予算の減少による老朽化の進行に伴い、維持管理においてライフサイクルマネジメントの導入が進められてきている。マネジメントを実施するにあたり、複数の土木機械設備が互いに関連して存在しているような地域においては、単に土木機械設備の状態を個々に評価するばかりではなく、それが故障した場合の社会的な影響度や土木機械設備の相互の関連性も含めて総合的に評価することにより、より効果的に維持管理や更新を行うことが可能な手法の研究開発を行う必要がある。

前年度までの研究において、河川流域で複数の排水機場や水門が稼働するモデルを設定し、それらの土木機械設備が故障した場合の社会的影響度を評価するために必要なネットワーク型河川GISモデルを CommonMP を用いて作成した。

本年度は、作成したネットワーク型河川GISモデルを実現場でより容易にかつ速やかに応用できるようにするために、前年度までのモデルの課題であった流量と水位の計算結果に発生する不安定現象、及び要素モデル間の接続が複雑になりやすいという課題についてその対策

を検討した。また、作成した河川GISモデルの作成・利用マニュアルを整理した。

2. 研究内容

2.1 現状のモデルの課題

前年度までに構築したネットワーク型河川GISモデルの課題の例を以下に示す。

1) 流量と水位の計算結果が不安定となる例

シミュレーション計算の結果、水門付近における大きな流量の変動（図1）や排水機場の排水後に起きる大きな水位の変動（図2）などが見られる。



図1 流量の変動の例

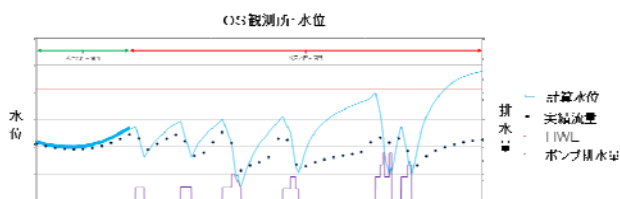


図2 水位の変動の例

2) 要素モデルと河道モデル接続が煩雑な例

現状のモデルで河道に横流入を与える場合、要素モデル間に多数の接続線を設定しており、モデル設定が煩雑となっている。

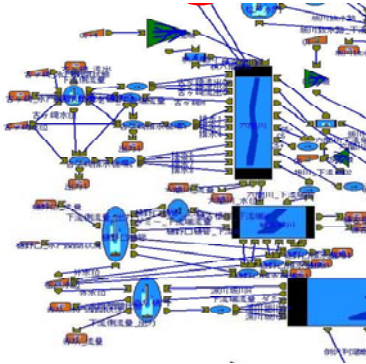


図3 煩雑な接続線の例

2.2 課題の発生要因

1) 計算結果が不安定となる要因

ネットワーク型河川GISモデルにおいて不安定な演算結果が出現する部分は、主に水門や排水機場などにより河道に横流入等の接続がある場合であり、その接続断面付近において流量の変動や水位の急激な上昇・下降などの水理特性として不自然な現象が起きていることが分かった。

計算結果が不安定になる要因としては、河道の流量・水位の数値計算方法、流域貯留関数におけるパラメータの設定、排水機場モデルや水門・堰モデルにおける施設諸元等の設定などの影響が考えられるが、これらのうち、一次元河道不定流モデルの数値計算方法の特性が河道の流量と水位の計算に最も大きく影響するため、数値計算方法について検討した。

2) 要素モデルと河道モデル接続が煩雑な要因

河道に横流入を与える場合の計算結果の安定化のために設定しているものなので、これについても数値計算方法変更後の計算精度を確認しながら検討した。

2.3 一次元河道不定流モデルの改良

課題の発生要因をふまえ、これを改善するため、以下の改良を実施した。

建設省河川砂防技術基準(案)同解説・調査編には、「差分法(陽形式あるいは陰形式)、特性曲線法を用いて数値計算により解くのが不定流計算の基本である」旨の記載がある1)。

一次元河道不定流モデルの数値計方法は、前年度まで

のモデルにおいては差分法を用いていたので、これを特性曲線法に変更した。特性曲線法はこれまでも実河川において適用実績が豊富な方法であり、本モデルにおける基礎式を参考までに以下に示す。

※基礎式(参考)

開水路流れの基礎式は以下のとおり要約される。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\beta}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \lambda \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{dv}{g} \frac{\partial v}{\partial x} = s_o - s_f \quad \dots (1)$$

ここに、A：流水断面積

Q：流量

q：横流入量

θ ：水路床と水平線のなす角

v：断面平均流速

h：水深

g：重力加速度

s_o ：水路勾配

$$s_f : \text{摩擦勾配} = s_f = n^2 v^2 / R^{4/3}$$

α , β ：流速分布形による補正係数、

λ ：圧力補正係数、である。

(2)式に次の全エネルギー水頭Ht

$$H_t = z + \lambda h \cos \theta + \frac{\alpha v^2}{2g} = H + \frac{\alpha v^2}{2g}$$

を導入すれば

$$\frac{\beta}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial H_t}{\partial x} = -s_f \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに、z：基準面から河床までの高さ、

$$H = z + \lambda h \cos \theta \quad \text{：水位}$$

(1)～(3)式によって構成される系は双曲型であるから、次のように特性曲線による表示に改められる。

$$\left(\frac{dx}{dt} \right)_{\pm} = \frac{\alpha + \beta}{2\beta} v \pm c \cong v \pm c \quad \dots \dots (4)$$

2.4 河川GISモデルの再構成

一次元河道不定流モデルの数値計算方法を差分法から特性曲線法に変更したことによる河川GISモデルの妥

当性を検証するため、前年度と同様に実際の出水時のデータを用いてシミュレーション計算を行うとともに、流域貯留関数におけるパラメータの設定や排水機場モデル・水門モデル・堰モデル等における施設諸元等の設定などについて検証した。

3. 研究結果

3. 1 一次元河道不定流モデルの再検証

数値計算方法を差分法から特性曲線法に変更した一次元河道不定流モデルについて、河道モデルを直列接続した場合、二本の河道モデルが一本の河道モデルに接続する場合または一本の河道モデルが二本の河道モデルに分岐する場合、河道モデルに横流入がある場合の各々について仮想のハイドロケースを入力して計算した結果、正しく計算できることが分かり、特性曲線法においてもモデルが構築できることが確認できた。

3. 2 全体モデルの再構成

数値計算方法を変更した一次元河道不定流モデルを使用して、前年度と同様に表1に示す実際の出水時のデータを用いてシミュレーション計算を行い、以下のとおり全体モデルの設定等を変更した。

表1 検討対象期間

No	年月日
1	平成13年9月10～11日
2	平成16年10月8～11日
3	平成16年10月20～21日

1) 流域貯留関数におけるパラメータの設定変更

これまでは流域を詳細に分割して各流域のパラメータを設定していたが、一次元河道不定流モデルの改良に伴いほとんど同じ値に設定でき、変更前に比べ設定が単純化した。

表2 貯留関数のパラメータ設定

流域名	詳細	変更後				変更前			
		1次流出率	貯留係数	貯留指数	遅滞時間	1次流出率	貯留係数	貯留指数	遅滞時間
A	A1	0.46	5	0.6	0.25	0.5	19	0.6	0.5
	A2								
	A3								
B	B1+B3	0.46	5	0.6	0.25	0.5	23	0.6	0
	B2								
	B4								
C	C1	0.46	5	0.6	0.25	0.5	19	0.6	0
	C2								
	C3								
	C4								
	C5								
D		0.46	5	0.6	0.25	0.5	8	0.6	0.5
E		0.46	5	0.6	0.25	0.5	10	0.6	0.5

2) 要素モデル等の変更

一次元河道不定流モデルの改良に伴い、昨年度モデル

からの変更点は以下のとおりである。(番号は図4内の番号に対応)

- ①水位の振動を抑制し水面形を連続させるために γ 川- σ 川間に堰モデルを設定していたが、一次元不定流モデルの改良により水位の振動が起こらなくなったため省略した。(現実には堰は存在しないので実態に即した形になった)
- ② γ 川と ε 川について、既往検討では σ 川および β 川との合流により水面形が不連続となっていたため別の河道としてモデル化していたが、一次元不定流モデルの改良により水面形が連続するようになったため結合して1つの河道モデルとした。
- ③既往検討では水位の振動を抑えるため可動水門モデルの水門幅を小さく設定していたが、一次元不定流モデルの改良により振動が抑制されたため水門幅を実態に即して設定した(表3)
- ④ η 川の上流で急激に河床勾配が変化し、水面形が不連続となる箇所があったため、水面形の連続性を維持するために η 川上流側の断面を一部削除し、モデル化する範囲を狭めた。
- ⑤既往検討では水位の振動を抑え水面形の連続性を維持するために、 γ 川及び γ 川(中流)～ γ 川(下流)間の堰(堰1)の幅を小さく設定していたが、一次元不定流モデルの改良により水位の振動が抑制されたため幅を実態に即して設定した。(表3)

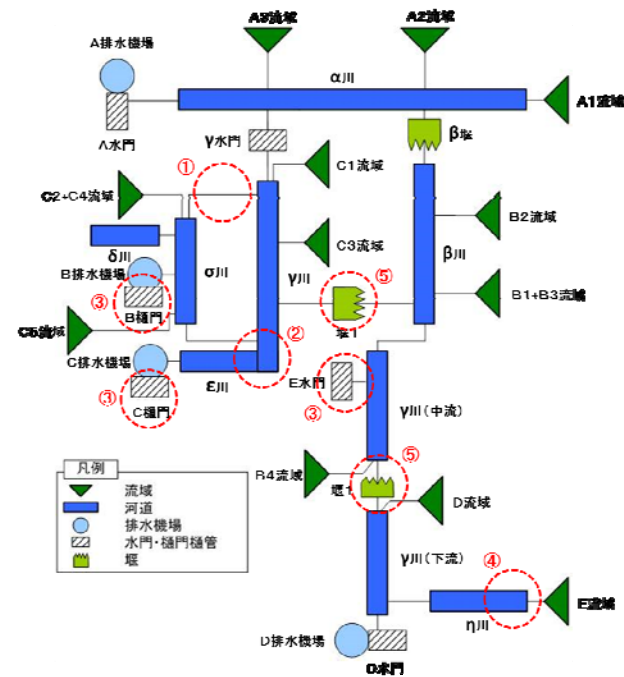


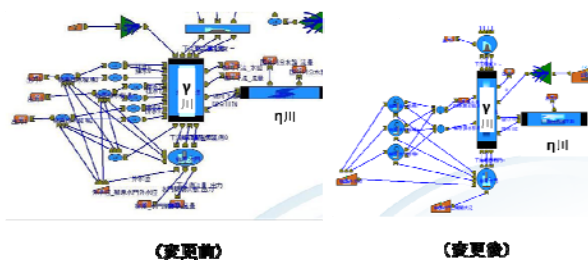
図4 変更後のモデル図

表3 水門・堰モデルの幅の設定

名称	変更前	変更後	備考
B樋門	1m	5.3m	実寸法
C樋門	2m	5.0m	実寸法
E樋門	1m	7.5m	実寸法
堰1	2m	20.0m	実寸法
γ川	1m	20.0m	実寸法

3) 要素モデルと河道モデルの接続

一次元河道不定流モデルの改良及び要素モデルの設定等の変更により、モデル上での接続線の数減らすことが可能になり、モデルの構築を簡素化することができた。

図5 接続線の数の減少例
(同一部分の比較)

3.3 モデル変更による改善点

1) 計算結果の改善

モデル変更による計算結果の不安定現象の発現について、表1に示した3ケースの実際の出水時のデータを用いて確認した。

その結果、水門付近における流量の変動は概ね解消された（図6）。また、排水機場による排水後の急激な水位上昇は、昨年度までのモデルに比べて低減した（図7）。

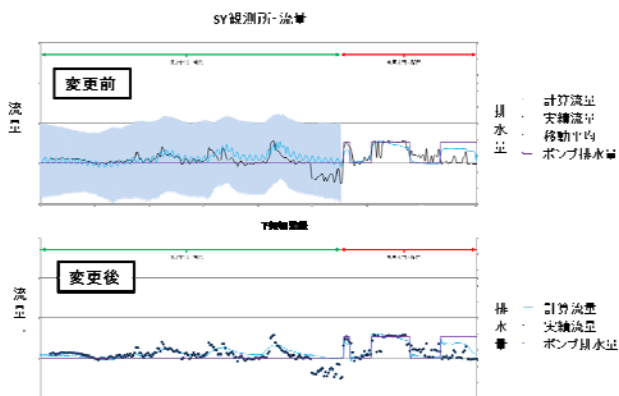


図6 流量変動の低減例

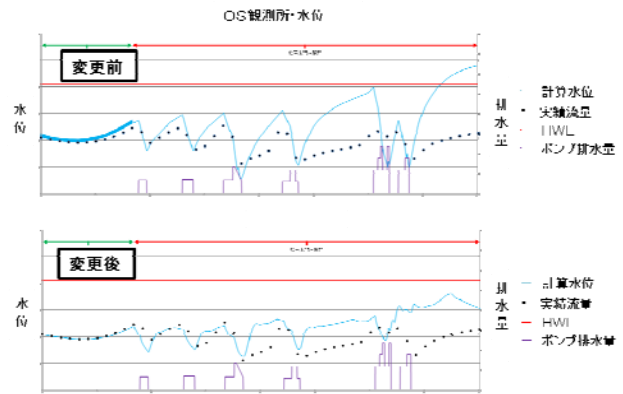


図7 水位上昇の低減例

2) モデル変更による改善度

モデルの変更により、これまでのモデルと比べた場合の流量及び水位の計算結果の改善程度について、代表観測所を選定し、以下の指標に基づき比較した。比較結果を表4～表6に示す。

- ①最高水位における実績値と計算値の差 (cm)
- ②ピーク流量における実績値と計算値の差 (%)
- ③ピーク流量生起時刻の実績値と計算値の差 (min)

表4 最高水位における実績値と計算値の差 (cm)

観測所	No.1出水		No.2出水		No.3出水	
	変更前	変更後	変更前	変更後	変更前	変更後
沈砂池	209	-45	140	-46	197	-8
OS	224	-43	142	-38	199	-18
SM	115	-64	—	—	—	—
U	58	-20	-20	30	109	5
B(堤内)	138	20	-25	70	157	52
N	98	-27	-2	22	61	36
D内水位	156	27	10	-2	82	-8

表5 ピーク流量における実績値と計算値の差 (%)

観測所	No.1出水		No.2出水		No.3出水	
	変更前	変更後	変更前	変更後	変更前	変更後
NTンネル	9	5	-1	-7	-11	-13

表6 ピーク流量生起時刻の実績値と計算値の差 (min)

観測所	No.1出水		No.2出水		No.3出水	
	変更前	変更後	変更前	変更後	変更前	変更後
NTンネル	50	40	30	-20	20	-10

代表観測所の実績値と計算値の比較結果より、最高水位の差及びピーク流量の生起時刻については大きく改善された。また、ピーク流量については改善部分があるが若干差が広がっている部分もあった。

なお、No.2出水時のU観測所、B(堤内)観測所及び

N観測所の最高水位については改善後の方が実績値との差は広がっている。しかしながら、ピーク流量の生起時刻の差を見てみると、表7のように大きく改善されている。シミュレーション計算では、最高水位の差だけでなく、出水波形やピーク流量生起時刻等も含め、総合的に精度が向上するようにパラメータ等の調整が必要である。

表7 ピーク水位の生起時刻における実績値と計算値の差 (min)

	No.2出水	
観測所	変更前	変更後
U	240	20
B(堤内)	240	30
N	210	30

3.3 河川GISモデルの作成・利用マニュアルの整理

本研究において作成した河川GISモデルは、ある地域の河川用土木機械設備の配置を参考に作成したものであり、その作成目的は土木機械設備が故障した場合の社会的影響度を評価するためであるので、河川管理者自らが土木機械設備の配置に基づき、同様に河川GISモデルを作成し、作成したモデルにより社会的影響度の評価を行うことができるようになるのが最善と考えられる。

しかし、CommonMPを使用してモデルを構築し、様々なデータからモデルの精度を検証して妥当性のあるモデルを作成するためには水理学の専門的な知識を要し、また多くの工程を要することから、河川管理者自らがすべてを行うのは現実的ではない。そのため本研究でまとめた河川用GISモデルを適用する場合のマニュアルとして、河川用土木機械設備の配置に基づき河川GISモデルを作成するための「実務者向けマニュアル」と、作成したモデルを使って実際にシミュレーションを行う「利用者向けマニュアル」を作成した。

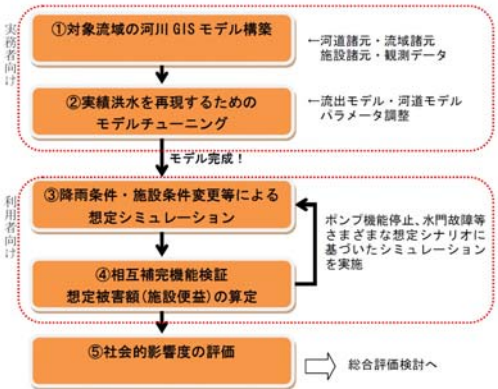


図8 河川GISモデルの作成・利用の流れ

1) 実務者向けマニュアル

対象者は、CommonMP 及び河川計画の知識を有する者(建設コンサルタント等)。

内容は、河川GISモデルを構築し、現場の水理現象が概ね再現可能となるよう調整を完了すること。

2) 利用者向けマニュアル

対象者は、土木機械設備の社会的影響度評価を必要とする者(河川管理者、設備管理者等)。

内容は、作成したモデルを使用して、または、簡易な条件変更(土木機械設備の停止など)を付加してシミュレーションを実施すること。

4. まとめ

1) 1次元河道不定流モデルの改良及びモデルの再構成

1次元河道不定流モデルに関し数値計算方法の変更による改良を行い、昨年度までのモデルで生じていた流量・水位の計算結果の変動は概ね解消された。また、この改良により、既往3洪水に関する実績の水位流量観測値とシミュレーション結果の整合性も改善された。

あわせて、本モデルを活用して他河川においても河川GISモデルを構築・利用できるように、モデルを構築するための「実務者向けマニュアル」及びモデルを利用するための「利用者向けマニュアル」を作成した。

本モデルは、土木機械設備の社会的影響度を評価するために、河川用土木機械設備の稼働状況を適切に反映した河川・はん濫のシミュレーションを行うためのツールとして実用レベルに達したと考えられる。

2) 今後の課題

本研究で作成した河川GISモデルについて、モデルとした流域はもちろん、他の流域における活用を視野に入れ、本研究成果を積極的に発信する。また、本モデルでは計画規模の降雨や超過外力を想定した解析も可能なので、施設効果の把握・分析に活用する等、危機管理面での活用についても検討する。

今後、本モデルを用いて土木機械設備の社会的影響度評価手法の確立を図るとともに、各土木機械設備の健全度等もあわせて総合評価する手法を併用することにより、複数施設を考慮した維持管理計画の立案手法の検討を進めることとする。

参考文献

- 1) 国土交通省監修:建設省河川砂防技術基準(案)同解説 調査編、平成20年7月

RESEARCH ON THE SYSTEMATIC TECHNIQUE OF UTILIZING THE EXISTING MACHINE PLANTS EFFECTIVELY AND ATTAINING EXTENSION OF LIFE-SPAN

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Advanced Technology Research Team

Author : KENICHI Fujino

AKIRA Yamao

HITOSHI Ueno

YUTAKA Ishimatsu

Abstract : The machine plants of rivers and roads(water pumps, gates, jet-fans, etc) take very important role. Those are increasing in number and getting older while the budget for maintenance is decreasing in Japan. According to this background, a method to evaluate comprehensively the social influence degree of each machine plant and its state is needed so as to maintain and replace them effectively.

In fiscal year 2013, we investigated the method to reduce unstable phenomenons on simulation calculation values of the model of the network type river area having the associated plural machine plants. We have made the model by using CommonMP in the previous year, to evaluate a social influence degree when the machine plants broke down.

Key words : machine plants, river network, CommonMP, simulation, GIS