

52. ネットワーク型河川 GIS モデルを用いたシミュレーション による土木機械設備の社会的影響度評価手法の検討

独立行政法人土木研究所 藤野 健一
(現)国土交通省関東地方整備局 竹田 英之
独立行政法人土木研究所 ○ 山尾 昭

1. はじめに

土木施設には各種の機械設備が多数導入されている。これらの機械設備について限られた予算内で適切な管理を行っていくためには、個々の施設の評価だけではなく、関連する複数の施設についても社会的な影響度と設備のコンディションを総合評価し、効果的に更新や整備を行っていくことが必要である。

本報告は、河川系土木機械設備を対象とした関連する複数施設の社会的影響度の評価手法について、モデル施設群を用いた検討を行ったので、その概要を報告するものである。

2. 目的

国土交通省では、平成 20 年 3 月に「河川用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)」(以下「河 G 検討マニュアル」という)、「河川ポンプ設備点検・整備更新検討マニュアル(案)」(以下「河 P 検討マニュアル」という)を、また、平成 23 年 4 月には「ダム用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)」(以下「ダム G 検討マニュアル」という)をそれぞれ策定し運用を開始した。

これらのマニュアルに基づき維持管理を進める場合には、各施設の構成機器・部品毎に健全度(物理的耐用限界)を評価するとともに、施設毎に設備区分の評価(機能を喪失した場合の社会への影響度)を行い、それらの各要素を総合評価して対処の優先順位を決定していくことになる。

しかしながら今後、維持管理予算の増加が見込めない中で老朽化施設が増大していくと、同じ治水機能を有する設備においては、大都市、郊外、農村部といった地域特性や設備の大小という区分だけでは差別化が難しくなることが予想される。本質的には、個別設備の絶対的評価だけでなく、関連する施設群でその重要度を評価することができれば、施設群の中での優先順位付けの根拠が明確になると考えられる。

そこで、関連する施設群として、排水機場を中心とした河川の機械設備を選定し、当該流域内に

おける機械設備の機能が喪失した場合に毀損される便益の算定を行うとともに、各々の機能の補完性を検討することにより、社会への影響度を定量的に評価する手法について検討するものである。

3. 社会への影響度を定量的に評価する手法

実際に各施設が稼働したときの便益を計算するために、流域でネットワークを構成している水路に複数の排水機場が設置されているケースを想定し、当該流域における流出解析、水路の水位解析を行う水文・水理解析プログラムを作成した。

当該プログラムの作成にあたっては、過去の出水事例における各施設の稼働状況及び水文データと照合・調整し、解析の精度を高めるとともに、各々の施設が機能を失った場合の内水側湛水状況を予測可能なものとした。

あわせて、河川 GIS に地域の資産情報を重畳させて、出水事例毎に施設がカバーした内水側湛水域の資産額を積み上げ可能なものとした。

また、排水機場については、当該プログラムを用いて他の排水機場が機能しない場合の補完機能があるかどうかを模擬的に検証することができるものとし、便益と合わせて補完機能の大小などの評価から、施設群の中における社会的な影響度の評価に資することができるものとした。

4. 水門・水理解析プログラムの作成

4.1 モデル流域の選定

機械設備の維持管理情報及び過去の出水事例における各施設の稼働状況及び水文データ等の提供を受ける国土交通省と協議した結果、モデル施設群の条件を満足する現場として、図-1 に示すネットワーク型水路を有する流域を選定した。

4.2 水文・水理プログラムの選定

作成する水文・水理プログラムについては、機械設備を実際に管理している現場事務所等において容易に活用できることを考慮し、当該プログラムが具備する条件について下記のとおり整理した。

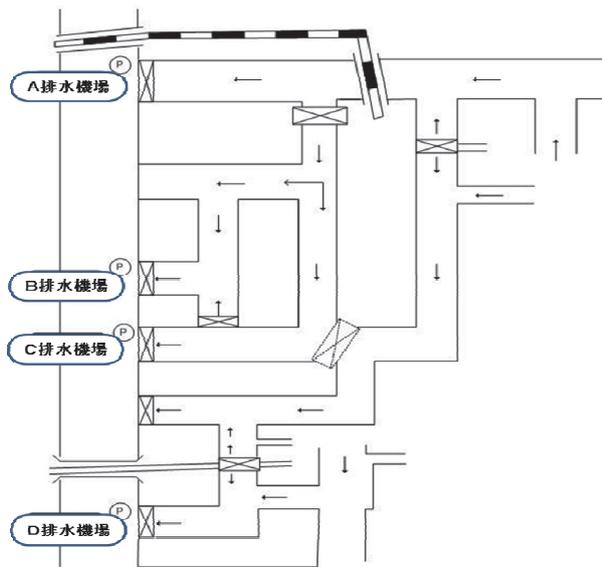


図-1 モデル施設群の排水系統図

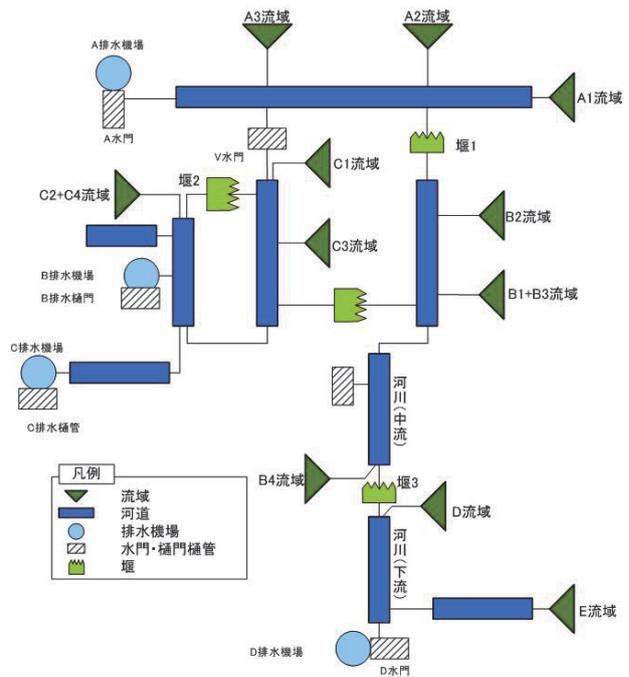


図-2 ネットワーク型河川モデル図

表1 各要素モデルの主な機能

要素モデル名	主な機能
1次元不定流	①河道内の水面形(水位・流量)の追跡が可能である。 ②上下流の区別が無く河道内の流向が1方向に限定されない機能。 ③複数河川の分派と合流が可能である。 ④設備要素モデル(水門、排水機場、堰)が接続できる。 ⑤越水・破堤モデルが接続できる。
Nilim 氾濫解析	①氾濫原における浸水深の追跡。 ②河道破堤地点と氾濫原の接続関係の指示。 ③氾濫原の接続地点の水位の出力。
越水・破堤	①越水と破堤の選択。 ②横越流時及び正面越流時の越流量の算出。 ③破堤開始と破堤幅。 ④破堤開始水位及び破堤数高の設定。 ⑤戻り流量の考慮。
排水機場	①一定量の排水の設定。 ②内水位・外水位によって、排水開始と停止を制御する設定。
水門	①水門からの流量を算出(潜り流出、中間流出、自由流出)。 ②上流側水位・下流側水位によって、水門の開閉を制御する設定。 ③水門の河床高の設定。
可動堰	①越流公式による越流量の算出。 ②上流側及び下流側水位によって数高を制御する設定。

表2 排水機場主要諸元

排水機場名	A		B		C		D	
排水ポンプ号機	1, 2	3	1, 2	1, 2	3	1	2, 3	
排水ポンプ	吐出力(m ³ /秒)	25	50	7.5	2.5	10	8.7	8.7
	口径(mm)	3,300	4,600	1,800	1,000	2,000	2,000	2,000
主原動機	出力(PS)	2,700	5,600	720	200	1,250	800	800
	形式	ディーゼル機関					ディーゼル機関 + 電動機	ディーゼル 機関

回作成する水門・水理プログラムに必要となる機能は表-1 のとおりである。

- ①ソフトウェアの改良を自由にできること。
 - ②モデル施設群の解析結果を基に、他の施設群へ応用が可能となること
 - ③将来的な拡張機能の増強が可能であること
- これらの条件に対し、最も活用効果が高い解析プログラムを検討した結果、CommonMP を採用することとした。

CommonMP とは、水文・水理などの複合現象を解析するために、異なった機能を有する要素モデルを一体的に協調・稼働させるためのプラットフォームであり、国土交通省・国土技術政策総合研究所・土木学会・建設コンサルタンツ協会等が連携し、技術開発・普及を推進しているものである。

4.3 要素モデルの作成

CommonMP 上で稼働させる要素モデルとして、今

4.5 ネットワーク型河川 GIS モデルの作成

図 1 に示した実際の河川の流域に基づいて、各要素モデルを組み合わせて接続することにより、ネットワーク型河川モデルを作成した(図-2)。

あわせて、河川 GIS に地域の資産情報を重ねさせ、出水事例毎に施設がカバーした内水側湛水域の資産額を積み上げ可能なものとした。

表-2 にモデル施設群に含まれる排水機場の主要諸元を示す。

4.6 はん濫モデルとの接続

各々の施設が機能を失った場合の内水側湛水状況のシミュレーションを行うため、ネットワーク型河川モデルとはん濫モデル(NILIM)を接続した。

5. 水文・水理プログラムの精度確認

シミュレーションの精度については、当該流域

表3 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

表4 検討ケースにおける排水機場の排水量

検討対象 降雨期間	排水 機場名	No	検討 ケース 番号	排水ポンプ号機 と稼働・機能喪失				排水機場の排水量(m3)				合計排水量 (m3)	A~D
				1	2	3	A	B	C	D			
平成13年 9月 10～11日	A	1	H13①-1-0	○	○	○	1,894.5	376.2	390.6	242.5	2,903.8		
			H13①-1-1	×	○	○	1,894.5	376.2	390.6	242.5	2,903.8		
			H13①-1-2	×	×	○	2,037.0	369.5	406.8	234.8	3,048.1		
			H13①-1-3	×	○	×	1,894.5	376.2	390.6	242.5	2,903.8		
			H13①-1-4	×	×	×	0.0	377.6	727.8	494.3	1,599.7	→越水発生	
	B	6	H13②-1	×	○	○	1,894.5	376.2	390.6	242.5	2,903.8		
			H13②-2	×	×	○	1,891.5	0.0	705.0	243.0	2,839.5		
			H13②-3	×	×	○	1,894.5	376.2	390.6	242.5	2,903.8		
	C	8	H13③-1	×	×	○	1,894.5	376.2	390.6	242.5	2,903.8		
			H13③-2	×	×	×	1,894.5	594.5	0.0	266.5	2,755.5		
			H13③-3	×	×	○	1,894.5	376.2	390.6	243.6	2,904.9		
	D	10	H13④-1	×	○	○	1,894.5	376.2	390.6	243.6	2,903.4		
H13④-2			×	×	○	1,893.0	376.2	390.6	243.6	2,903.4			
H13④-3			×	×	×	2,022.0	413.6	405.0	0.0	2,840.6			
平成16年 10月 8～11日	A	13	H16①-1-0	○	○	○	4,725.0	814.5	486.0	160.0	6,185.5		
			H16①-1-1	×	○	○	4,800.0	823.5	459.6	162.0	6,245.1		
			H16①-1-2	×	×	○	4,758.0	852.8	445.2	156.9	6,212.9		
			H16①-1-3	×	×	○	4,335.0	999.0	393.6	165.6	5,893.2	→越水発生	
			H16①-1-4	×	×	×	0.0	1,645.7	618.6	219.8	2,484.1	→越水発生	
	B	18	H16②-1	×	×	○	4,725.0	814.5	486.0	160.0	6,185.5		
			H16②-2	×	×	×	4,647.0	0.0	702.3	153.8	5,503.1	→越水発生	
			H16②-3	×	×	○	4,725.0	814.5	486.0	160.0	6,185.5		
	C	21	H16③-1	×	×	×	4,663.5	1,284.8	0.0	160.0	6,108.3		
			H16③-2	×	×	○	4,725.0	815.0	487.8	158.4	6,186.2		
			H16③-3	×	×	×	4,726.5	813.6	523.8	155.8	6,219.7		
	D	24	H16④-1	×	×	×	4,762.5	775.4	0.0	0.0	5,537.9		
H16④-2			×	×	○	1,935.0	424.4	0.0	165.1	2,524.5			
H16④-3			×	×	○	1,885.5	425.7	0.0	166.7	2,477.9			
平成16年 10月 20～21日	A	25	H16⑤-1-0	○	○	○	1,872.0	423.0	0.0	168.7	2,463.7		
			H16⑤-1-1	×	○	○	1,882.5	424.4	0.0	170.3	2,495.2		
			H16⑤-1-2	×	×	○	1,872.0	423.0	0.0	168.7	2,463.7		
			H16⑤-1-3	×	×	○	1,882.5	424.4	0.0	170.3	2,495.2		
			H16⑤-1-4	×	×	×	0.0	701.1	0.0	210.5	911.6	→越水発生	
	B	31	H16⑥-1	×	×	○	1,935.0	424.4	406.8	165.1	2,931.3		
			H16⑥-2	×	×	×	1,933.5	0.0	0.0	168.7	2,102.2		
			H16⑥-3	×	×	○	1,935.0	424.4	0.0	165.1	2,524.5		
	C	32	H16⑦-1	×	×	×	1,935.0	424.4	0.0	165.1	2,524.5		
			H16⑦-2	×	×	×	1,935.0	424.4	0.0	165.1	2,524.5		
			H16⑦-3	×	×	○	1,935.0	424.4	0.0	165.1	2,524.5		
	D	34	H16⑧-1	×	×	○	1,935.0	424.4	0.0	163.1	2,522.5		
H16⑧-2			×	×	○	1,935.0	424.4	0.0	163.1	2,522.5			
H16⑧-3			×	×	×	1,960.5	450.0	0.0	0.0	2,410.5			

凡例 ○: 操作規則通り稼働、×: 排水ポンプ機能喪失状態

表5 各排水機場の稼働時間の差

検討対象 降雨期間	排水 機場名	No	検討 ケース 番号	排水ポンプ号機 と稼働・機能喪失	各排水機場の排水ポンプの稼働時間(分)														
					A			B			C			D					
					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
平成13年 9月 10～11日	A	1	H13①-1-0	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			H13①-1-1	×	○	○	-1,263	1,263	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			H13①-1-2	×	×	○	-1,263	0	679	-15	0	0	0	27	-5	-5	-5	-5	-5
			H13①-1-3	×	○	×	-1,263	1,263	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			H13①-1-4	×	×	×	-1,263	0	0	3	0	0	226	562	162	163	163	163	163
	B	6	H13②-1	×	○	○	0	0	0	-838	838	0	0	0	0	0	0	0	
			H13②-2	×	×	○	-2	0	0	-838	0	0	0	524	1	0	0	0	
			H13②-3	×	×	○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	C	8	H13③-1	×	×	○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			H13③-2	×	×	×	0	0	0	485	0	0	0	-65	13	21	12	12	
			H13③-3	×	○	○	0	0	0	0	0	0	0	0	-181	91	92		
	D	10	H13④-1	×	○	○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
H13④-2			×	×	○	-1	0	0	0	0	0	0	0	-181	-157	240			
H13④-3			×	×	×	85	0	0	83	0	0	0	24	-181	-157	-132			
平成16年 10月 8～11日	A	13	H16①-1-0	○	○	○	-2,445	1,639	426	20	0	0	-44	3	0	1	1		
			H16①-1-1	×	×	○	-2,445	-883	1,527	85	0	0	0	-68	-2	-2			
			H16①-1-2	×	×	○	-2,445	2,303	-59	410	0	0	308	-154	7	4	0		
			H16①-1-3	×	×	○	-2,445	-587	-59	1,797	50	0	350	221	95	16	5		
			H16①-1-4	×	×	×	0	0	0	-1,810	1,810	0	0	0	0	0	0		
	B	18	H16②-1	×	×	○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			H16②-2	×	×	×	94	-28	-59	-1,810	0	205	205	258	-11	0	-1		
			H16②-3	×	×	○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	C	21	H16③-1	×	×	○	96	-19	-59	638	407	0	0	-810	1	0	-1		
			H16③-2	×	×	○	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-242	187	53	
			H16③-3	×	×	○	1	0	0	-2	0	0	0	0	0	-243	-99	234	
	D	24	H16④-1	×	×	○	19	6	0	-67	0	0	0	63	-246	-60	38		
H16④-2			×	×	○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
H16④-3			×	×	○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
平成16年 10月 20～21日	A	25	H16⑤-1-0	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			H16⑤-1-1	×	○	○	-1,036	751	126	3	0	0	0	0	4	-1	0		
			H16⑤-1-2	×	×	○	-1,036	-254	624	-3	0	0	0	0	0	7	0		
			H16⑤-1-3	×	×	○	-1,036	1,001	0	40	0	0	0	0	0	9	1		
			H16⑤-1-4	×	×	×	-1,036	-254	-59	615	0	0	0	0	0	65	23		
	B	30	H16⑥-1	×	×	○	0	0	0	-943	943	0	0	0	0	0	0		
			H16⑥-2	×	×	×	-2	1	0	-943	0	0	0	0	678	6	1		
			H16⑥-3	×	×	○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	C	32	H16⑦-1	×	×	○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			H16⑦-2	×	×	×	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			H16⑦-3	×	×	○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	D	34	H16⑧-1	×	×	○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-288	256	32	
H16⑧-2			×	×	○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-268	-32	316		
H16⑧-3			×	×	×	13	4	0	57	0	0	0	0	0	-288	-32	0		

(備考) 〇: ポンプ機能喪失(稼働無し)

(1) はん濫の可能性

A排水機場の全てのポンプの排水機能が喪失した場合、流域全体の水位が上昇した。また、検討で使用した表-3の3つの出水期間の全てにおいて越水が生じる結果となった。

これはA排水機場の排水能力が他の排水機場と比較して非常に大きいため、A排水機場が喪失した排水量を他の排水機場が補完することが困難であったためと考えられる。

(2) 排水機場の代替性

B排水機場の全てのポンプの排水機能が喪失した場合、C排水機場のポンプの稼働時間が増加した。逆にC排水機場の全てのポンプの排水機能が喪失した場合、B排水機場のポンプの稼働時間が増加した。

このことからC排水機場がB排水機場の排水を補完しているだろうことが想定できる結果となった。

また、D排水機場の全てのポンプの排水機能が喪失した場合、A～C排水機場の稼働時間及び排水量に増加が見られた。しかし、D排水機場は排水能力が他の排水機場と比べて小さいことから、D排水機場が流域全体に与える影響は他の機場と比べて小さいことが分かった。

6.2 被害総額の算定

はん濫計算を行った検討ケースについて、浸水はん濫計算を行った検討ケースについて、浸水深及び浸水範囲を算定した。浸水範囲は50mメッシュ形式で整理した。

その結果、シミュレーション対象出水No.1において、A排水機場の3台全ての排水ポンプの排水機能が喪失した場合(検討ケース H16①-1-4: 図-

内の流量、水位、流向の各データが揃っている箇所それぞれ確認した。

流量については、計算結果が大きく振動する傾向が見られたが、位相は概ね揃っており、概して降雨に対する流出傾向は再現出来ているものとなった。

水位については、実績水位に対して計算結果が過大となる傾向があった。特に排水ポンプの排水後に水位が大きく上昇する傾向が見られた。

水位の時間変化については、概ね同調し整合していた。

流向については、流量のピーク時付近において、流向は実績と計算結果でほぼ整合していた。

6. シミュレーション結果

表6 はん濫による浸水メッシュ数の比較

検討ケース 番号	メッシュ数					
	はん濫 無し	床下 浸水	床上			
			50cm以下	50-100cm	100-150cm	150cm以上
H13-1-4	39,635	319	46	0	0	0
H16①-1-3	39,983	17	0	0	0	0
H16①-1-4	39,187	648	165	0	0	0
H16①-1-4 (V水門開)	39,938	49	13	0	0	0

表7 被害算定結果(参考)

	H16①-1-3	H16①-1-4	H16①-1-4 (V水門開時)
一般被害計	69.6	14,239.5	19.4
直接被害			
農作物被害(水稻)	0.0	0.2	2.5
農作物被害(畑作)	0.0	2.7	0.0
公共土木被害	117.8	24,121.7	32.8
間接被害			
営業停止損失	15.0	824.3	3.8
清掃労働対価	15.3	683.1	0.5
代替活動等の出費	29.4	1,291.4	1.0
事務所代替活動	8.0	411.8	2.3
合計	255.1	41,574.7	62.3



図-3 はん濫計算結果(検討ケースH16①-1-3)

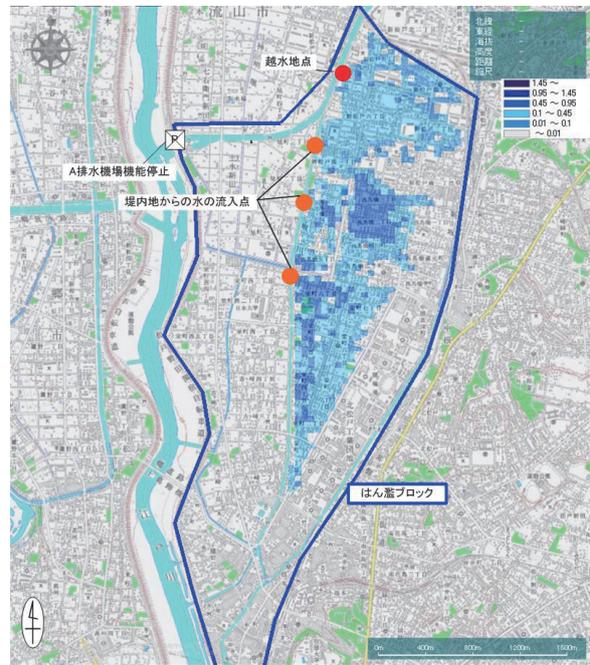


図-4 はん濫計算結果(検討ケースH16①-1-4)

6) と2号ポンプ(25m³/s)1台のみ稼動していた場合(検討ケースH16①-1-3:図-5)のシミュレーション結果を比較すると、表-6より床下及び床上を合わせた浸水面積比で約48倍、面積で約199万m²程度、表7より浸水による被害では約160倍程度の差が生じる結果となった。

この結果から、当該流域におけるA排水機場の防災効果が特に大きいことが裏付けられた。

7. まとめ

7-1 ネットワーク型河川 GIS モデルを用いたシミュレーション

CommonMPを用いてネットワーク型河川をモデル化し、実際の出水期間のデータを用いて、土木機械設備のうち、排水機場の排水機能喪失時のシミュレーションを行い、その結果に基づき被害想定額の算出を行った結果、実際の出水現象に近い水位・流量をシミュレーションすることができた。また、ネットワーク内の各排水機場の相互補完機能の確認や社会的に与える被害の算定を行うことができた。

この手法に基づく社会的影響度の評価にある程

度の目処がつけば、いろいろな条件の降雨による社会的影響度について、その有無や大小を把握することも可能であると思われる。

7-2 今後の課題

今回構築したネットワーク型河川モデル及び水文・水理ソフトウェアを現場で活用しやすいものにするためには、ソフトウェアの簡便化、要素モデルの改良及び実施手順のマニュアル化などが必要である。

また、ネットワーク型河川モデルには水門や堰も存在しており、これらの土木機械設備が停止することによってもはん濫被害の有無または拡大が想定されることから、水門や堰の機能が停止した場合のシミュレーションも必要である。

今後、構築したネットワーク型河川モデル及び水文・水理ソフトウェアを用いて土木機械設備の便益算定手法の確立を図るとともに、各土木機械設備の健全度を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についても検討を進めたい。