

## 土木の長期修繕費の平準化をめざした 対策時期の割当て問題

平成21年11月20日  
 (株)ニュージェック 技術開発グループ  
 社会計画チーム 安野貴人



## 背景と動向 : 土木構造物の維持管理

- 国、地方自治体が管理する多数の土木構造物
- 高度成長期に整備した構造物が一斉に老朽化
- 更新時期の集中と修繕費用の発生が財政を圧迫



- 土木施設の「長寿命化」行動方針(2004静岡県)
- 土木の「アセットマネジメント」導入への挑戦(2005)
- 「ストック型社会」の社会資本整備計画(2008~2012)
  - 橋、道路、河川、設備、港、上下水、公園など



## 長寿命化に資する修繕予算の要求

- 役所内外、首長から国へ
- 土木構造物の状態推移に根ざした予算要求

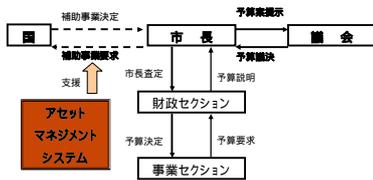
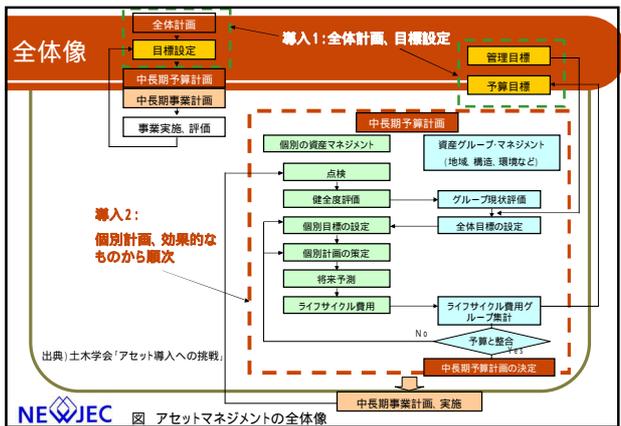


図 アセットマネジメント導入による予算要求のサポート  
 (出典)土木学会「アセット導入への挑戦」、加藤



## 長期修繕計画の最適化技術 : 開発軸



## 費用平準化のアプローチ

- 総当たり、最善抽出法 (計算機の実行可能範囲)

異なるグループ分割

劣化速度、対策単価が異なる

時間と費用の軸方向に分散

全体同質なケースより、ピークの一定の緩和

維持管理シナリオの切り替え

実行可能なシナリオ: 予防保全型、事後保全型、更新型

施設ごとに、シナリオ条件となる対策の年次と単価を切り替え

グループ別のシナリオ適用より、費用分散

### 対策時期の調整

シナリオ規則を守りながら、対策年次の許容範囲内(耐用年数の10%以内)タイミング調整

各々の対策時期を独立調整

第三者被害: 防災施設

は、前倒し推奨

後方シフトは、ゼロ被害・早期修復が可能な施設に限る、過度の長寿命化、先送り、最後の手段

- シナリオ規則を制約、大規模な離散計画問題 (計画期間長、施設の単位数、許容年数の調整幅)



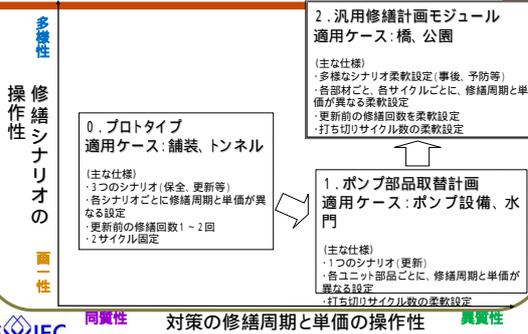
## 費用平準化の目的関数

- 各年度、予算の**超過・余剰の総和**
  - 線形和：整数計画、残差平方和：2次計画
- 超過・余剰のペナルティ量の**最小化**
  - 超過：財政の**圧迫**、余剰：繰り越し
  - 超過の方に大きなペナルティ量を設定
- 対策時期を**経過した老朽施設**
  - 計画初期に、緊急対策期間、手厚い予算方策

## 対策時期の割り当て、コストテーブル

- 補修・更新の対策年次、大小の**コスト・ブロック**
- ピークの山崩し、コスト空白時期の探索
- 前後の許容範囲内、対策時期を割り当て
- 縦軸：施設単位ID番号、横軸：計画年次
- 行列の各セル、補修・更新のコストを埋める
- 多数の施設対象、作成時間と正確さの克服

## 費用平準化モジュールの開発経緯



## 大規模な離散計画問題：実務の定式化でよく現れる

- ラグランジュ緩和を用いた解法
  - 備数理システム、田辺・原田・島田、RAMP2008より
- ヒューリスティクスと厳密解法を協調させること、柔軟なモデルや解法の工夫が可能
- 上界と下界が同時に更新される、停止の目安
- 対象ユニットの数  $K$  が増えると、問題が大規模に
- 典型的な問題
  - ビン・パッキング、配車・送迎、発電機台数など

## 典型的な問題例：ビン・パッキング

- $K$  本のビン、サイズ一定
  - $J$  個のアイテム、異なるサイズ
- 
- 自在に変形して詰められる
- 目的：無駄なく詰める、「使うビンの総数の最小化」

## 定式化：ビン・パッキング

問題P

$$x^k \in \{0,1\} \quad \text{ビン } k \text{ をつかうか}$$

$$y_j^k \in \{0,1\} \quad \text{アイテム } j \text{ をビン } k \text{ に詰めるか}$$

$$k \in \{1, 2, \dots, K\}$$

最小化  $\sum_k x^k$  ビンの使用総数

s. t.  $\sum_j s_j y_j^k \leq x^k L$  詰めたいアイテムはビンに納まる

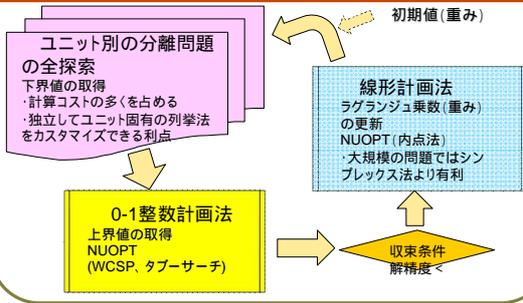
$$k \in \{1, 2, \dots, K\}$$

$$\sum_k y_j^k \geq 1 \quad \text{アイテムはどれかのビンに詰める}$$

$$j \in \{1, 2, \dots, J\}$$

問題の規模  
例、5本のビン、アイテム100  
・ビンの使用変数 5  
・アイテムのビン詰め変数  $5 \times 100 = 500$   
計 505 変数

## 大規模離散計画問題の解法フロー



NEWJEC

## 土木の修繕計画の定式化

### 問題P

$y_t^k$  施設  $k$  を  $t$  年に修繕する費用  $b$  予算目標  
 $p_t$  年次  $t$  の予算超過  
 $q_t$  年次  $t$  の予算余剰  $C^p, C^q$  違反係数  
 $t \in \{1, 2, \dots, T\}, k \in \{1, 2, \dots, K\}$

最小化  $C^p \sum_t p_t + C^q \sum_t q_t$  超過と余剰の総和

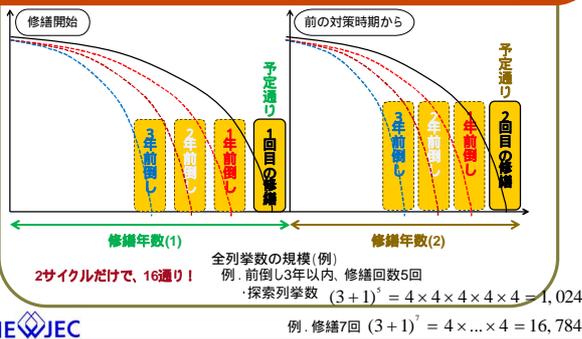
$G(y_1^k, \dots, y_T^k) = 0$  各施設で修繕シナリオを守っている  
 $k \in \{1, 2, \dots, K\}$

$p_t \geq \sum_k y_t^k - b$  予算の超過の定義  
 $q_t \geq b - \sum_k y_t^k$  予算の余剰の定義  
 $t \in \{1, 2, \dots, T\}$

問題の規模

例: 200施設、計画100年  
 ・予算変数  $100 \times 2$   
 ・費用変数  
 $200 \times 100 = 20,000$   
 計 20,100 変数

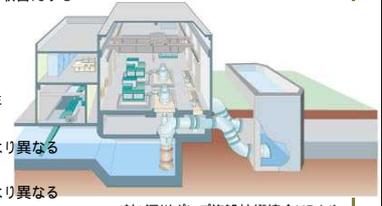
## 土木施設固有の分離問題：修繕シナリオの全探索



NEWJEC

## 適用ケースその1：河川ポンプ設備

- 管理対象：河川ポンプ設備8基、22の機器・部品を修繕または取替える  
 ・  $8 \times 22 = 176$ ユニット
- 計画期間：50年
- 予算目標：7500万円/年
- 修繕単価：機器・部品により異なる
- 修繕年数：機器・部品により異なる



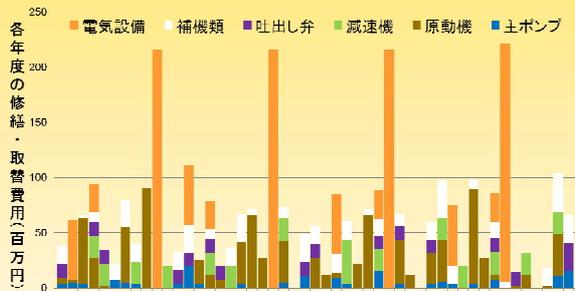
(社)河川ポンプ施設技術協会HPより

NEWJEC

## ポンプ修繕計画の入力：ユニット・データ

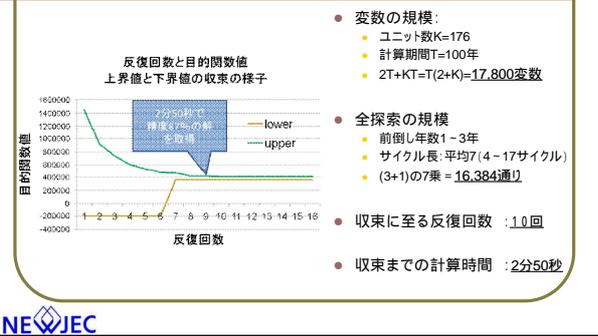
ユニットID (上1桁:基コード 下2桁:機器・部品 コード)	経過年数 (開始時)	修繕費用 (千円)	サイクル長 (100年超まで)	前倒し許容年数 (修繕年数の1割)	修繕年数
201	17	660	5	2	20
202	11	550	7	2	15
203	11	530	7	2	16
204	12	130	8	2	13
205	11	400	7	2	15
206	12	250	6	2	19
207	24	420	4	3	26
208	10	50	6	2	19
209	16	590	5	3	21
210	9	50	8	2	14
211	12	1010	5	3	21
212	13	150	7	2	16
213	13	1490	5	2	20
214	24	1260	4	3	30
215	13	50	7	2	15
216	6	150	17	1	6
217	9	250	9	2	12
218	9	220	12	1	9

## 現状の推移：河川設備のライフサイクル費用

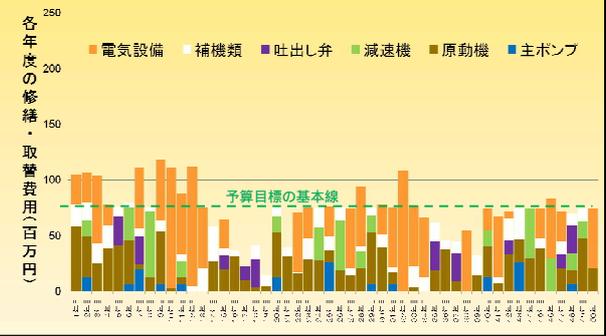


NEWJEC

### ポンプ設備の平準化計算 : 規模、収束、回数、時間



### 費用平準化の結果



### ポンプ修繕計画の出力 : コスト・テーブル

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
201	0	660	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	660
202	0	0	0	0	550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	550
203	0	0	0	0	0	530	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
204	0	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0
205	0	0	0	0	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400
206	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
207	0	420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	0	0	590	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0
211	0	0	0	0	0	0	0	0	1010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
212	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150
213	0	0	0	0	0	1490	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
214	0	0	0	0	0	1260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
215	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0
216	150	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	150	0
217	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0
218	220	0	0	0	0	0	0	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	220	0	0
219	0	0	0	420	0	0	0	0	0	0	0	0	420	0	0	0	0	0	0	0
220	0	0	5400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
221	0	0	0	650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
222	0	1360	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### 適用ケースその2 : 公園施設

- 管理対象 : 広域公園(5箇所)、37種類  
の290ユニットの施設を更新する
- 計画期間 : 60年
- 予算目標 : 1億5,000万円 / 年
- 修繕単価 : 施設の種類ごとに異なる
- 修繕年数 : 施設の種類ごとに異なる

(社)公園施設業協会  
仲良し遊ばっパフレットより

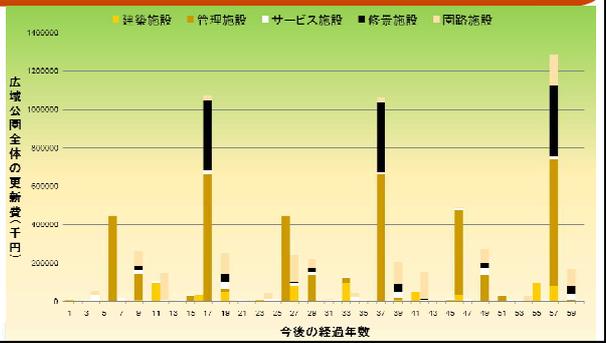
(財)都市緑化技術開発機構  
パフレットより



### 修繕計画の入力 : ユニット・テーブル

ID	年数1	修繕費1	年数2	修繕費2	年数3	修繕費3	年数4	修繕費4	年数5	修繕費5
11010	19	2000	22	2000	22	2000				
13011	27	8000	30	8000	30	8000				
13012	27	8000	30	8000	30	8000				
22010	15	9855	18	9855	18	9855	18	9855		
24011	17	11333	20	11333	20	11333	20	11333		
24012	17	11333	20	11333	20	11333	20	11333		
24013	17	11333	20	11333	20	11333	20	11333		
24014	17	11333	20	11333	20	11333	20	11333		
24015	17	11333	20	11333	20	11333	20	11333		
24016	17	11333	20	11333	20	11333	20	11333		
24017	17	11333	20	11333	20	11333	20	11333		
24018	17	11333	20	11333	20	11333	20	11333		
24019	17	11333	20	11333	20	11333	20	11333		
25011	17	8520	20	8520	20	8520	20	8520		
25012	17	8520	20	8520	20	8520	20	8520		
32010	12	800	15	800	15	800	15	800	15	800
33010	4	360	7	360	7	360	7	360	7	360
34010	4	750	7	750	7	750	7	750	7	750
35010	7	5280	10	5280	10	5280	10	5280	10	5280
42011	17	10000	20	10000	20	10000	20	10000		

### 現状の推移 : 公園施設のライフサイクル費用

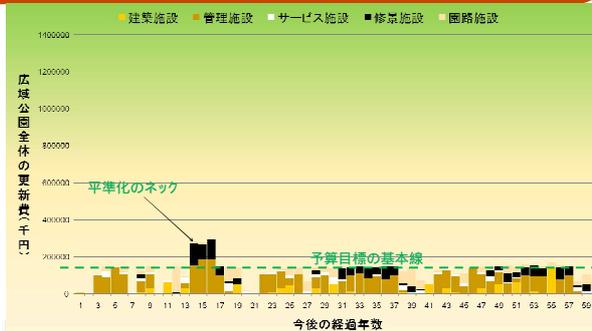


## 公園施設の平準化計算 : 規模、収束、回数、時間



- 変数の規模:
  - ユニット数K=300
  - 計算期間T=最大87年(60年起)
  - $2T+KT=T(2+K)=26,274$ 変数
- 全探索の規模
  - 前倒し年数1-3年
  - サイクル長・6サイクル(3-10)
  - $(3+1)$ の6乗 = 4,096通り
- 収束に至る反復回数 : 14回
- 収束までの計算時間 : 11分40秒

## 費用平準化の結果



## 修繕計画の出力 : コスト・テーブル

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
11010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2000	0
13011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8855	0	0	0	0	0	0	0
24011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11333	0	0	0	0	0	0
24012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11333	0	0	0	0	0
24013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11333	0	0	0	0	0	0
24014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11333	0	0	0	0	0
24015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11333	0	0	0	0	0
24016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11333	0	0	0
24017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11333	0	0	0	0	0
24018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11333	0	0	0
24019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11333	0	0	0
25011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8520	0	0	0	0	0
25012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8520	0	0	0	0	0
32010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0	0	0	0	0
33010	0	0	0	360	0	0	0	0	0	0	0	360	0	0	0	0	0	0	360	0	0
34010	0	0	0	750	0	0	0	0	0	0	0	750	0	0	0	0	0	0	750	0	0
35010	0	0	0	0	0	5280	0	0	0	0	0	5280	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## 今後 : 費用平準化モジュールの応用発展

- 複数の中間年に区切った段階的な予算設定
- 予算の超過・余剰の2次違反の定式化、解法の高速度化
- リスクを考慮した修繕計画、費用とリスクを同時に抑制
- 中期の修繕時期の同期化、一括整備、修繕回数の最小化
- シミュレーション内蔵の修繕計画、修繕年数の不確実性
  - 早期劣化、平均寿命、長寿命など、劣化速度の分散を反映した修繕シナリオの発生・探索

## まとめ : 費用平準化モジュールの実務的な長所

- 100年間、300施設の大規模な長期修繕計画を平準化
- LCC計算時間の大幅な短縮、業務遂行の効率化
- 再計算が容易、寿命・単価を調整した出力の修正
- 長期修繕に要する予算目標の基本線を設計できる
- 平準化を図ってもなお残るネックとなる時期と施設の抽出