

第45回下水道研究発表会

韓国セッション基調講演

2008年度

会場 パシフィコ横浜

社団法人 日本下水道協会

龍潭ダム上流下水処理施設統合運営事例

韓 庚 傳
韓国水資源公社下水道事業チーム長

目 次

1. ダム上流下水処理の現況及び問題点
2. 7箇ダム上流下水道拡充事業推進
3. 韓国水資源公社のダム貯水池水質改善努力
4. 韓国水資源公社のダム上流下水道統合運営事例
 - 1) 統合運営管理の必要性
 - 2) 国外統合運営事例
 - 3) 龍潭(龍潭)ダム上流統合運営事例
5. 今後の計画

参照資料：韓国水資源公社の下水道事業推進現況
1) 建設・運営事業推進現況
2) 大清ダム上流(報恩郡) 運営事例

1. ダム上流下水処理の現況及び問題点

国内全国下水道普及率は '04年度81.4%、'05年度83.0%、'06年度85.5%で国外色々な国と比べて見れば、あまり低い水準ではないが、主要上水源になっているダム上流の下水道普及率は '04年度 41.8%、'05年度 47.3%、'06年度 48.2%で全国下水道普及率の60%にも及ばない位低調な実情である。(表1参照)

このように国内の場合ダム上流下水道普及率が全国下水道普及率に比べて相対的に極めて低調な理由はさまざまがあるが、重要な理由の中で一つはダム上流自治体の財政劣悪とダム上流水質汚染度低減による実質的な恩恵がダム下流自治体に帰るということである。

ダム上流に位した自治体の大部分が他の自治体との財政を比べて見る時、相対的に劣悪だということがダム上流地域の下水処理施設不足現象を起こさせた。

このような問題点を解決しようと政府は劣悪な自治体の財政都合を考慮して下水処理施設設置計画を樹立すればこれを審査して事業費の70%を国庫で支援しているがこの制度があっても該当の自治体の財政都合が極めて難しく国庫支援予算の執行率がめっきり低い都合である。

それだけではなくダム上流汚染度が低減されても実質的な恩恵はダム下流自治体に帰るからダム上流自治体の主要関心事から脱するしかないことである。

貯水池は水が停滞されているから一度汚染すれば易しく水質が改善しないことを勘案して見れば、ダム内への汚物流入を事前に遮断しなければ国家上水源中の一つの貯水池の水質は易しく回復することができないし、清くてきれいな水を供給するための処理費用もたくさん必要となる。

それでダム上流の下水処理施設建設が必要なことで、それに合わせる体系的な管理が至急だと言わざるを得ない。

表1. 国内下水道普及率現況

区分	2001年度	2002年度	2003年度	2004年度	2005年度	2006年度
全国平均	73.2	75.8	78.8	81.4	83.0	85.5
ダム上流地域	34.3	36.4	39.2	41.8	47.3	48.2

* 資料：2006下水道統計(環境部)及び多目的ダム水質年鑑(韓国水資源公社)

* 下水道普及率：総人口中下水処理施設を通して処理される下水処理区域中下水処理人口比率

2. 7箇ダム上流拡充事業推進

ここに政府(環境部)ではすべて事業費13,115億ウォンを投資して2011年度までダム上流下水道普及率を75%まで進めるために『7箇ダム上流下水道拡充事業』を用意、推進中にある。

多目的ダム上流国家上水源の根源的水質保護のための今度事業は情報技術(IT)と環境技術(ET)を組み合わせた統合下水管理体系構築で手広く分散した下水道施設を効率的に管理するために、圏域別下水道施設を一括整備して統合管理体系構築試験事業を実施することを骨子にしたものだ。すなわち、下水処理場(小規模施設含み)及び下水管路を含んだ下水道の拡充と既存下水処理施設の改良、下水管きょ整備及び統合運営管理システム構築がそれである。

本の事業が国家主要上水源であるダム貯水池の水質改善はもちろん環境生態学的に元気な水資源を確保して利用するのに直接的な影響を与えることができるという点で見ると、とても画期的で計画された期間内に成功的に遂行されるように願っている。

3. 韓国水資源公社のダム貯水池水質改善努力

韓国水資源公社は政府とダム上流自治体の下水道施設設置及び運営管理と並行してダム貯水池水原管理者として水質改善のための努力を次のようにしているし、今後とも持続的に拡大努力して行くことになる。

1) 水質測定網運営

ダム貯水池及び流入河川の水質現況などを測定する105ヶ所の水質測定網を運営しているしCODなど32個項目に対して月1回実施している。

2) 水監視員運営

ダム周辺地域住民を対象に運営される「水監視員」の人員は322人に達して週3回現場汚染行為等に対する監視を実施するようになる。

主要任務では廃水(畜産、工場、鉱山)無断放流行為監視、生活汚・下水無断排出行為監視、魚の養殖場関連水質汚染行為監視、各種ごみ投げ捨て及び不法埋め立て行為監視、釣り及び不法魚路行為監視、油流出行為監視、貯水池水質以上発生状況監視、その他水質汚染を惹起させることができる行為監視、無許可施設物監視及び申告、ダム中の少量発生ごみ収去、貯水池内立看板及び施設物点検などがある。(図1)



図1. 汚染行為監視及びごみ収去作業

3) 浮遊ごみ収去

台風など集中雨降りの時毎年発生する浮遊ごみはダム汚染の主犯で迅速な収去が必要なのに浮遊

ごみの収去は韓国水資源公社が担当して最終処理は関する自治体が担当している。発生される浮遊ごみは草木類86%、生活ごみ 11%、リサイクル製品3%であり、最近3年間収去及び処理現況は '05年度32千m³、'06年度178千m³、'07年度41千m³、で収去費用は年間27億～66億ウォンが必要となった。(図2)
 ここにごみ遮断網及び収去装備を運営してダム流入河川ごみを合同点検するなど前もって流入防止のためにも努力している。



ごみ遮断網設置

収去装備運営

ごみ収去

図2. 浮遊ごみ収去作業

4) 藻類発生低減努力

栄養塩類であるイン(P)と窒素(N)の流入によるダム貯水池内藻類発生を低減させるために湖内にばっき装置(336台)及び遮光網設置及び黄土撒布、良質の原水取水のために藻類流入防止膜の設置及び選択取水をしているし、13個ダムを対象で藻類予報制運営と連携した浄水処理時工程管理強化など良質の水道水生産に最善をつくしている。(図3)



水中ばっき装置設置

藻類流入防止膜設置

黄土撒布

図3. 藻類発生低減努力

5) 油類流出など水質汚染事故対処

大淸、住岩、宝令ダム10個道路には油類、有毒物車両を通行止めさせて前もって油類流出などによる水質汚染を予防して、取水塔近所水域にはオイルフェンスを常時設置・運営中にあり非常時油類除去のためのオイルフェンス(6, 650m以上)、油吸着制(3, 100kg以上)などを常時確保している。

6) 水生植物栽培地運営

9ヶダム17ヶ所に未処理になった下水を自然的に処理するためにタマノカンザシ、葦、せりなどの水生植物栽培地を運営している。(図 4)



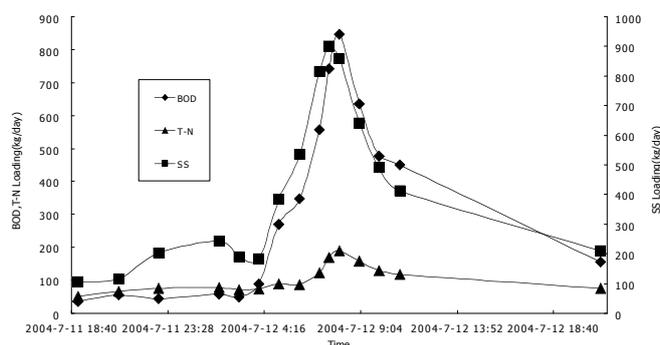
図4. 水生植物栽培地運営

7) 雨降りの時農耕地、畜舎など非点汚染源管理

非点汚染源の主要発生原因は農耕地肥料などの流出、雨ふさがり無しに野積みされた畜糞、雨降りの時の堆積有機物流入等があり、非点汚染源は全体の63%に当たる量が主に6～8月期間に流入されて発生 20時間以内に80%が流入される特性がある。

これに対する対策を樹立するために韓国水資源公社では '02年度から非点汚染源の調査及び対策樹立を施行して地域学界と連携した共同研究を施行した。

非点汚染源管理事業は大清、横城、竜胆、臨河、南江ダムを対象で実施しているのに、その低減事業で貯留池、湿地、貯留+植生水路、装置型、植生濾過台を検討・施行しているし(図5)ダム上流地域は政府計画に反映してダム貯水区域は韓国水資源公社で自体的に推進している。



降雨時汚染物質流入特性



植生水路+人工湿地

図5. 非点汚染源発生特性及び管理対策

8) 藻類防止新技術導入

夏期栄養塩類の流入でダム貯水池藻類繁盛を阻むために上流流入藻類遮断(表面～10m垂直遮断：不透明遮断膜)及び流入水重層排除と表層への河川水移動防止でイン(P)供給を制限するなど新技術を導入妥当性研究を遂行している。

9) ダム周辺地域生態環境の調査

ダム周辺地域に対する生態環境を7個分野(植生、藻類、両生類・遊虫類、哺乳類、魚類、昆虫類)で分けて調査を実施したが、昭陽江ダム、南江ダム、安東ダム、臨河ダム、住岩ダム、忠州ダム、大清ダム、往川ダム、扶安ダム、宝令ダムなど総15個多目的ダムの中で10ヶダムに対してはの調査が完了したし、龍潭ダム、密陽ダムは現在施行中にある。

10) 稚魚放流及び産卵場設置

水棲生態保全と土着魚種保護など水生生態系環境保全ために年間稚魚2百万匹を放流したし産卵場を設置した。(図 6)



図6. 稚魚放流及び産卵場設置

11) 水質管理のための民官協議体構成

ダム流域水質管理のために‘02年度から「大清湖保全運動本部」を創立して現在大田、忠南北地域35個市民団体、10個自治体、金江流域環境庁、韓国水資源公社など50個機関400人余りが参加しているし、安東・臨河ダム、昭陽江ダム、忠州ダム、織津江ダム、住岩ダム、洛東江河口堤など総 6ヶ所に対して「水資源環境協議会」を運営している。

4. 韓国水資源公社のダム上流下水道統合運営事例

1) 統合運営の必要性

政府の「水の管理総合対策」などで多数の環境基礎施設が設置されるによって体系的な管理と施設費、運営人力及び運営費節減などのための統合運営管理が切実に要求されているし、環境部の「下水道施設設置事業業務処理一般指針」、「下水道施設運営管理業務処理統合指針」、「村下水道事業統合指針」によって体系的で効率的な運営管理を具現して円滑な課業推進をはかるために統合監視制御システム構築の必要性が上げられている。

2) 国外統合運営事例

先に世界的な統合管理の動向把握のためにアメリカとイギリスの統合管理システム構築事例をよく見ようとする。

統合水資源管理(IWRM : Intergrated Water Resources Management)は限定された水資源をその地域の目的に符合するように効率的に利用または保存するために流域単位統合水資源管理のためにその必要性が上げられた。

統合管理を効率的に具現しようとするれば各機関で分析管理しているだけではなく各地域に相当な距離で散在している各環境基礎施設(糞尿処理場、浄水場、下水処理場など)の水資源情報を効率的に情報共有することができる統合水情報管理体系を構築して、流域の数量と水質状況をリアルタイムで分析・予測することができる道具(模型)を利用して流域内上下流河川と貯水池群の効率的連携運営をはかるための意思決定支援システムの開発をしなければならない。

特にダム上流地域の下水処理施設が他の地域より相対的に不足なところ、村住民によって非専門的に運営される村下水道とその他環境基礎施設の設備を効率的に管理するために先端有・無線、インターネット、通信等を活用した統合管理が必要である。

アメリカの場合TVA(テネシ川流域開発公社) 主観で49個ダムに対する統合管理が施行されているのに、洪水管理、電力生産、国土利用及び余暇活用など公共目的のために運営されている。

イギリスの統合管理は効率的な環境基礎施設の監視及び制御のためにICA(Instrumentation Control and Automation)関連技術の必要性を認識して20余年度間多い投資と技術開発を成したし、W

essex Water Authorityの場合すべての処理施設を24時間完全無人運転している。
 対象施設では浄水施設599ヶ所、下水道施設542ヶ所、汚水処理施設593ヶ所を遠隔官制しているのに、運営管理者は9個地域に設置されているVDU workstationsを利用してシステムに近付くことができるし、中央官制所ですべての地域を24時間見張っている。
 その結果すべての環境基礎施設に安全事故発生率を減らすことができたし、汚・廃水処理施設処理水質が50%から98.6%で向上した。
 12時間で最大24時間以内に浄水供給需要を予測してオフラインシステムと連携して浄水供給システムを運営することができるようになった。また多様な分野の技術を統合する専門人材を養成するのに役に立ったし需要者である国民に信頼性ある情報提供効果を極大化させた。

3) 龍潭ダム上流統合運営事例

国内最初にダム流域別統合運営で広域化システムを構築した龍潭ダム上流下水処理施設統合運営を紹介しようとする。

龍潭ダム統合運営管理事業は龍潭ダム上流3ヶ郡に分散して運営中の環境基礎施設64ヶ所をダム管理者である韓国水資源公社がダムと連携して統合運営・管理することで、ダム貯水池の水質を改善して、運営の効率性向上で処理水質の信頼度向上及び維持管理費用を節減するための目的に始まった。

‘03年度6月23日韓国水資源公社と全北道、鎮安郡、茂朱郡、長寿郡は“統合運営管委・受託基本協約書”を締結したし、翌年の‘04年度7月3ヶ郡が約12億ウォンを投資して統合監視制御システム構築が完了(‘05.3)になりながら本格的な統合運営管理が始まった。

①事業推進背景

龍潭ダム上流地域3ヶ郡にかけて既運営されている環境基礎施設たちを調査した結果、今までこの地域の環境基礎施設の設置は人口増加による下水道設備の必要によって連携方案なしに設置されながら処理用量に比べて他の市・郡より多い所要労働力を要してこれによって計測制御設備の構成も隣近地域の環境基礎施設と統合を考慮しないで自体処理場の監視制御システムだけ力点を置いて構築されていて経済性及び維持管理の効率性などを考慮する時、統合運営管理の必要性が上げられた。

②統合運営管理対象施設

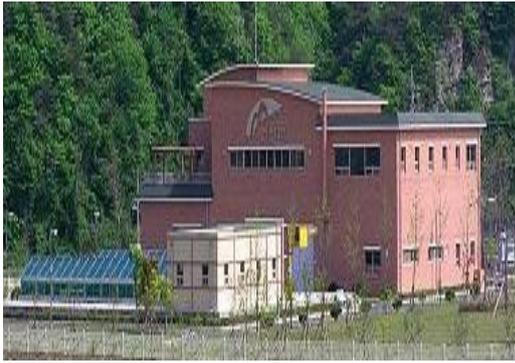
龍潭ダム上流3ヶ郡(鎮安郡、茂朱郡、長寿郡)に散在されている小規模環境基礎施設(下水、畜産、糞尿処理施設及び村下水道) 64ヶ所を対象(表 2)にした。

表2. 統合運営管理対象施設

区分	全体		下水終末処理場		村下水道など	
	箇所	容量(m ³ /日)	箇所	容量(m ³ /日)	箇所	容量(m ³ /日)
系	64	17,175	8	13,500	56	3,675
鎮安郡	32	6,099	2	3,600	30	2,499
茂朱郡	13	6,273	4	5,900	9	373
長寿郡	19	4,803	2	4,000	17	803

③統合中心下水処理場選定

統合中心下水処理場は龍潭ダム上流の全体環境基礎施設の運営管理を総括することができる所で地理的な与件と施設投資が最小化されて運転手の各種便宜施設の具備可否を比較評価して鎮安下水処理場で選定した。(図 7)



処理場全景



中央管理室

図7. 統合中心下水処理場

④統合運営管理方案

統合中心下水処理場、郡中心下水処理場及びその他処理場の運営管理方法は表3及び図8と一緒に統合中心下水処理場を中心に運営管理が体系的に成り立つように設定した。

表3. 運営管理方案

施設名	運営方法
統合中心下水処理場	<ul style="list-style-type: none"> ◦地域統合監視システムを運営 ◦統合監視システムの運営人員と処理場内の固有の運営管理人員の業務領域を分離して運営管理
郡中心下水処理場	<ul style="list-style-type: none"> ◦郡内の環境基礎施設の総括業務 ◦管内の水質実験室及び村下水道巡視点検
単位下水処理場	◦中心下水処理場で遠隔監視・制御（無人運転）
畜産・糞尿処理場	◦中心下水処理場で遠隔監視・制御
村下水道	<ul style="list-style-type: none"> ◦中心下水処理場で運転状態監視（無人運転） ◦非常駐管理員が周期的に施設を巡視・点検

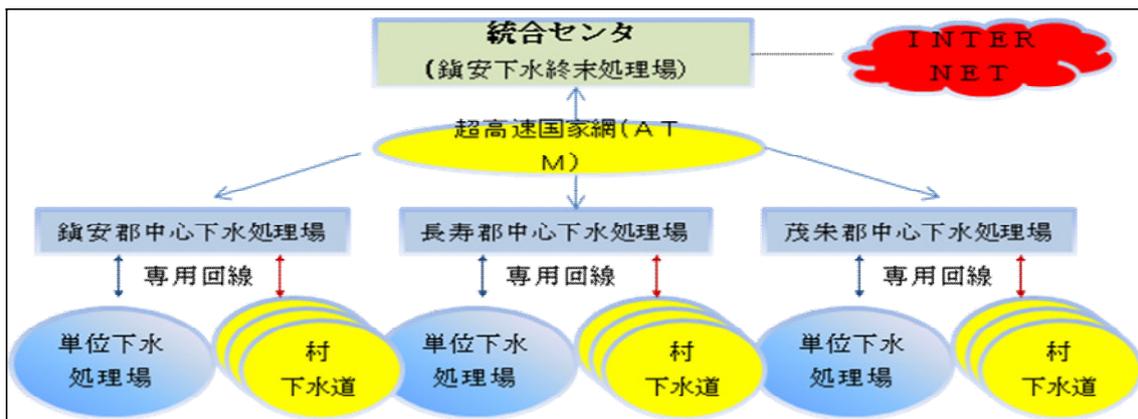


図8. 統合運営構成図

運営管理組織は各処理場別で業務が重複されて不必要な人力の無駄使いを最小化してチーム別で専門性をいかすように表4と一緒に構成したし、運営人力は最初個別運営、軍別統合運営、流域統合運営の場合別で所要人員を算出した結果流域統合運営の時一番少ない人員が必要となることを分かったし(表5)、現在33箇施設、24人運営で今後の施設が追加されるによって人力を増員させる予定である。

また運営人力の勤務形態は統合中心下水処理場の場合24時間勤務を原則で交代勤務を実施しているし、郡中心処理場は週間勤務、その他単位処理場及び村下水道は無人運転をしている。

表4. 運営管理組織

組織		業務内容
所長		・単位処理場を含めた処理場の総括管理
統合 中心 下水 処理場	行政チーム	・処理場行政業務担当 ・一般書類及び保安書類担当 ・予算会計及び支出担当
	運営管理チーム	・中心下水処理場運営及び電算設備の管理 ・各処理場以上発生時、統合施設管理チーム及び各処理場担当者連絡 ・通信網の周期的な点検
	水質管理チーム	・実験室運営及び機器に関する事項 ・水質測定及び試験分析 ・水質データの分析及び工程改善業務 ・その他水質に関する業務全般
	施設管理チーム	・定期的な現場点検(巡視管理) ・施設物情報(機械、電気、計測)による維持補修及び設備の交替など ・装備履歴(故障、交替など)管理 ・機械、電気及び計測機器などの管理

表5. 所要人員比較

(単位：人)

区分	個別運営	郡別統合運営	流域統合運営
鎮安郡	28	18	8
茂朱郡	23	19	9
長寿郡	33	18	9
統合中心下水処理場	-	-	15
系	84	55	41

⑤統合監視制御システム構築

統合システムは統合中心下水処理場で郡中心下水処理場と単位下水処理場を監視制御して夜間無人運転が可能で村下水道は監視が可能になるように構築したし、郡中心下水処理場を含んだ単位下水処理場では自主的でも監視制御が可能になるように構成した。

また今後の単位下水処理場と村下水道の新設の時にも統合中心下水処理場で少ない設備(H/W及びS/W)の補完でも拡張が可能になるように互換性を取り揃えるようにした。

統合監視制御システムの主要設備及び通信網は次のようで特に通信網は超高速国家網(ATM網)を使って全体設備のリアルタイム監視制御機能が保障されるようにすることと同時に回線の統合で(DATA+映像)安全性と経済的な面で有利にさせた。

統合監視制御システムの機能は各郡中心下水処理場、単位下水処理場及び村下水道のシステムを監視、制御することでシステムに対する専門的な知識がなしも運営者たちが施設運営を易しくして対外広報もできるように監視、制御、記録、Data蓄積、非常運転、Down loading、警報、保安、ウェブサービス機能たちを取り揃えて置いた。

⑥統合運営管理結果

龍潭ダム上流環境基礎施設の統合監視制御システムを構築して統合運営することで下のような効果を果たした。

□水質改善効果(表6)

- 技術支援および技術診断を通じる処理効率向上
- '07年現在 '03年度対比処理効率は BOD、SS、T-Nが鎮安下水処理場の場合それぞれ58%、56%、45% 向上
- 長寿下水処理場の場合 82%、87%、71% 向上

表6. 水質改善効果

処理場	項目	BOD	SS	T-N
	水質基準	10	10	20
鎮安	'03年度	2.6	3.2	6.873
	'04年度	1.5	2.4	4.733
	'05年度	1.3	2.4	4.465
	'06年度	0.8	1.1	4.073
	'07年度	1.1	1.4	3.773
	'03年度対比 処理効率	58%	56%	45%
	長寿	'03年度	3.3	5.3
'04年度		1.6	3.1	9.492
'05年度		1.3	2.0	5.630
'06年度		1.3	2.7	6.410
'07年度		0.6	0.7	3.800
'03年度対比 処理効率		82%	87%	71%

□施設の体系的管理及び工程改善で運営効率の向上と設備の寿命延長効果

- 韓国水資源公社が受託運営中の村下水道中21個村下水道(鎮安郡4ヶ所、長寿郡17ヶ所)施設現況調査及び工程改善(除去効率 30~50% 向上)

□お客様満足のための大民広報及びサービス向上

- 公務員、住民、学生、環境団体、教職員などの来訪人を対象で下水処理場見学及び広報活動 ('04年度 742人、'05年度 2,015人、'06年度 1,122人、'07年度 430人)
- 地域住民のための散歩路及び運動施設(指圧歩道など)設置で休息空間提供
- 造景樹追加植栽で周辺環境改善
- 住民運動便宜施設設置
- 長寿郡溪北面大規模水害被害の時バトルウォーター及び水害復旧装備支援
- 長寿下水処理場精密点検を外部用役によらないで韓国水資源公社で支援

□その他定性的定量的効果

- ▶ 定性的効果
 - ダム管理及び水供給者として根本的な貯水池水質改善積極実践
 - 水質管理責任性及び公共性確保
 - 中央集中式管理及び運営で効率性向上
 - リアルタイム監視で高い信頼度の運営体制確立
 - 統合センター(中心下水処理場)ですべての運営資料の評価分析を通じる公正最適化で処理効率向上及び知識基盤構築用意

- 施設物運営DB構築で今後の全国的に施行される下水道情報化基本計画の土台提供
- ▶ 定量的効果
- 中心下水処理場人力集中配置及び最小化で人件費節減
- 無人自動制御システムと連携して運営されるので薬品費及び全力費の節減効果期待
- 警報システム導入で非常時より迅速な対応が可能で事故発生率減少及び事後処理費用節減
- 技術支援を通じる公正の安全性及び水質改善効果

□経済的効果

今後の10年度間施設費と運営費(人件費)を個別運営の時、郡統合運営の時及び流域統合運営の時の場合で比べた結果、表9と一緒に流域統合運営の時最大の費用節減があることを予測することが可能で、流域統合運営の時は個別運営対比40~45%を、郡統合運営対比15~20%の予算節減効果を期待することができる。

表7. 経済性比較(10年度間)

(単位：百万ウォン)

区分	個別運営(A)	郡統合運営(B)	流域統合運営(C)	節減額		
				個別運営対比(A-C)	郡統合運営対比(B-C)	
施設費	システム構築	-	1,854	2,832	-2,832	-978
	管理棟設置	568	-	-	568	-
	実験室設置	1,749	954	954	795	-
	小計	2,317	2,808	3,786	-1,469	-978
運営費(人件費)	29,952	19,730	14,714	15,238	5,016	
総計	32,269	22,538	18,500	13,769	4,038	

また '07年度には韓国水資源公社自体予算を投入して下水道行政業務の効率性向上と下水道施設及び資料の体系的で効率的な運営管理のために経営情報、施設運営管理、リアルタイム運営情報、運営効率化、外部情報連携、環境の6個部門で構成された『下水道情報システム』を構築して現場に適用している。

5. 今後の計画

韓国水資源公社はダム貯水池管理及び広域上水道供給者として多目的ダムなど広域上水源及び河川水質改善を通じる水質問題の根本的な解決案用意のために下水道事業を推進中にある。汚染した生活下水などがダムの方に流入されれば長期間滞留するによって富栄養化が促進されるのでダム上流下水を捨ておいてからはダム水質保全是根本的に不可能であり、ダムは一応汚染すれば回復に莫大な費用と時間が必要となるのでダム上流下水処理場は最大限淡水前に完備して運営することが効率的とする。

それで政府ではダム法を改正して今後の新規で建設予定である多目的ダム及び用水専用ダムなどに対してダム建設事業者が公共下水道管理庁から下水道の設置を委託受けて取付費の中で地方費を負担してダム建設期間中に設置することで淡水と同時にダムの機能を直ちに発揮、良質の用水を供給するようにした。

(ダム建設および周辺地域支援などに関する法律第44条：公布 '04. 1. 29、施行 '04. 7. 30)

ダム貯水池内の水量と水質を管理している韓国水資源公社ではダム上流下水道施設を統合して運営管理することで水質管理効率性と上水源保護の公共性を確保しようと政府(環境部)で推進している7ヶダム上流下水道拡充事業運営部門に対して積極参加しようとする。

具体的な参加目的と期待効果をよく見れば第一、ダム管理及び用水供給者として根本的な貯水池水質改善積極実践しようとする。

上流汚染源遮断だけでなく、上流河川の水量と水質を一緒に分析管理することで貯水池水質改善効果を増大して、ダム貯水池管理と上流下水処理施設を統合運営管理することで国庫損失(貯水池水質改善費用)を減らして管理効率性を増大する。

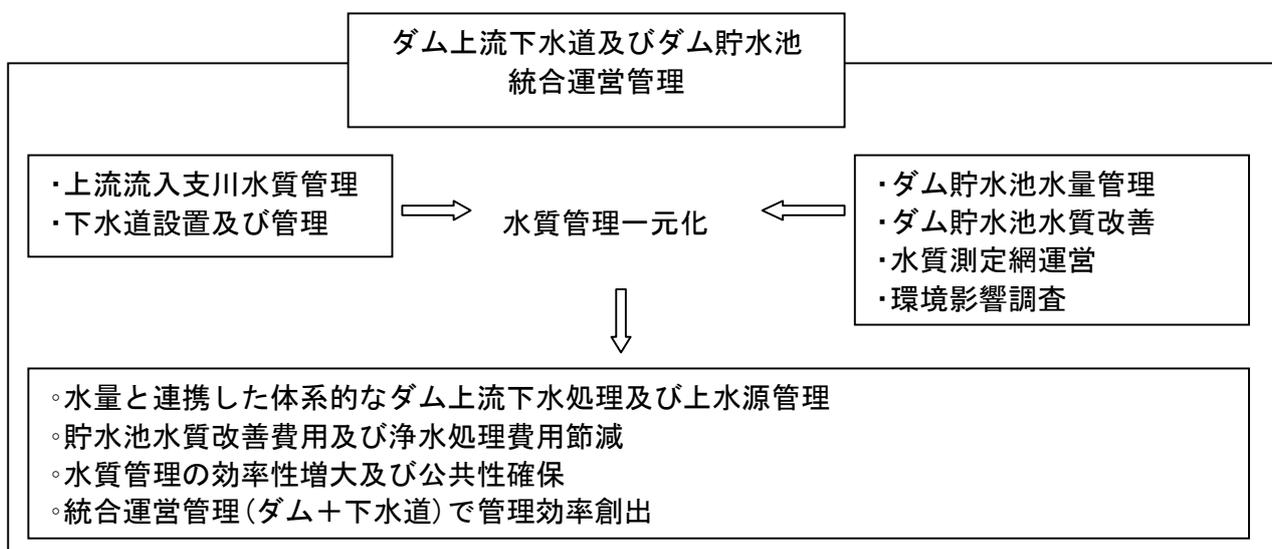
第二、水質管理の公共性及び責任性を確保する。

ダム貯水池管理者として利潤追求よりは水質管理に重点運営して、広い地域に散在されている小規模施設を責任ありげに管理(隣近ダム及び水道管理団と連携管理)しようとする。

第三、貯水池水質管理の経験と統合運営技術力を積極活用しようとする。

15個多目的ダム貯水池の多様な水質管理経験と龍潭ダム、長興ダム上流下水処理施設統合運営のノウハウのみならず、ダム発展統合運営、広域上水道統合運営経験とノウハウも積極活用しようとする。

第四、ダム流域別環境・生態を含んだ水質改善を通じて統合水管理を実現することで対国民サービスを進めて水資源総合管理の国家政策に積極応じようとする。



連絡先： 韓庚傳、韓国水資源公社 下水道事業チーム、San6-2, Yeonchuk-dong, Daedeok-gu, Daejeon-city, Korea, +82-42-629-2690、gjhan@kwater.or.kr

諸外国と日本のアセットマネジメントの導入事例及び既往研究

国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水道研究官 藤生 和也

1 社会資本全般・住宅

(1) 英国

1980年代の半ば以降、経済の停滞、少子高齢化に伴う財政悪化・公的負債増加、公共部門のサービス効率低下等の問題を背景として、英国、ニュージーランド等を中心にニュー・パブリック・マネジメント(NPM)と呼ばれ、公的部門に民間企業の経営管理手法を幅広く導入して効率化や質的向上を図る行政経営手法が開発された。¹⁾

英国の道路公団(Highway Agency)では、完成後30から40年を経過し老朽化した道路構造物が大量に発生している状況を踏まえ、アセットマネジメントの導入を試みている。その内容は、個々の構造物の現況詳細データを集め、劣化予測し、補修の時期・規模に優先順位を付け、長期的コストを最小とする対策案を選択・実行するというものである。また、橋梁、トンネルなど構造物のマネジメントのため、HAと維持管理受託業者をネットワークで結び、点検結果の評価、維持作業の内容・優先順位の決定、長期計画策定などを可能とするSMIS(Structures Management Information System)が開発された。²⁾

(2) 米国

米国では、1970～1980年代の経済不況下における道路等公共投資の縮減のため、死者46名を出した1967年のシルバー橋、1983年のマイアナス橋の落橋事故など、社会資本の荒廃が進んだ。これらを背景として連邦道路局(FHWA: Federal Highway Administration)は1971年、全米橋梁検査プログラム(NBIP: National Bridge Inspection Program)を策定し、2007年度には57万5,000橋の情報が収録されることとなる全米橋梁台帳(National Bridge Inventory)を整備・公開し、1990年代には重要部材の目視検査方法と検査結果に基づく劣化予測を含む橋梁マネジメント支援システム(PONTIS)を開発した。^{3),4)}

サンフランシスコ湾に架かるカルキネス橋(Carquinez bridges)は、PONTISを用いたライフサイクルコスト分析等により、旧橋廃棄・新橋建設の事業が認可・実施された。⁵⁾

PONTISはアメリカ国内で50の道路管理者が利用しており、全ての橋梁点検データは情報公開法により誰でも入手でき、PONTISという共通の健全度評価基準に基づいたデータにより劣化予測式が構築され、その更新が定期的に行われているようである。⁶⁾

1992年に誕生したクリントン政権における「連邦政府全体をより低費用かつ効率化すること」を目標の一つとした行政改革の流れの中で、1997年、米国行政管理予算局によって資本的資産に関する指針として「資本プログラミングガイド(Capital Programming Guide)」が策定された。1998年には米国会計検査院は資産取得とマネジメントに関する意志決定の

ガイドとなる「実行／実践ガイド 資本意志決定における先進的な実践(Executive Guide Leading Practices in Capital Decision-Making)」を策定した。これらに基づいて米国省庁では資本的資産に関するマネジメントが導入されている。さらに、1999年、道路など公共財の資本的資産価値を財務報告に反映させることを州政府や地方自治体に義務づける会計制度「州政府と地方自治体の基本的な財務報告；GASB34(Governmental Accounting Standards Boards Statement No.34)」が策定された。^{7),8)}

米国の橋梁については、NBIPが検査員の主観的判断に依存する定性的な検査基準であるため、ウィスコンシン州 Hoan 橋(2000年)の主桁破断、ペンシルバニア州 I-90 号線 PC 跨線橋(2005年)落橋など、検査直後に事故が発生する例も見られたので、連邦道路局は客観的、定量的な手法を開発するため、2006年度から20年間の研究プロジェクト「長期橋梁性能プログラム(LTBPP: Long Term Bridge Performance Program)」を発足させた。³⁾

米国では1980年代後半から道路投資額が回復し、1990年代以降、欠陥橋梁の割合は次第に減少したが、⁴⁾ 2007年8月1日のミネアポリス市のミシシッピ川に架かる州間高速道路35W号線の落橋事故は記憶に新しい。

また、米国ではアセットマネジメントを民間委託する動きもある。バージニア運輸局(VDOT: Virginia Department of Transportation)は1996年、ハイウェイ402km、インターステート全長の25%に及ぶ1億3,200万ドルの道路資産のアセットマネジメントをリッチモンドのVMS社に委託する契約をし、それ以前に18億ドルであった州の年間道路管理支出を44%、8億ドル縮減した。同社は、高解像度ビデオカメラを1マイルごとに設置して舗装と側道の状況を捕捉し、レーダーを道路状況把握に使い、管理作業水準を定め、常時資産を保有せず、必要な時に必要な量だけ優れた企業に外注する方法によりこれを達成した。⁹⁾

(3) オーストラリア、ニュージーランド等

オーストラリアとニュージーランドでは、運輸・交通行政機関で構成される Austroads が道路に係るアセットマネジメントの共通技術基準、マニュアル、ガイドラインを提示している。²⁾ また、オーストラリアのみならず、英国、ニュージーランドでも道路など社会資本ストックを取得原価ではなく再取得価額により評価する会計制度の取り組みが行われている。¹⁰⁾

(4) 日本

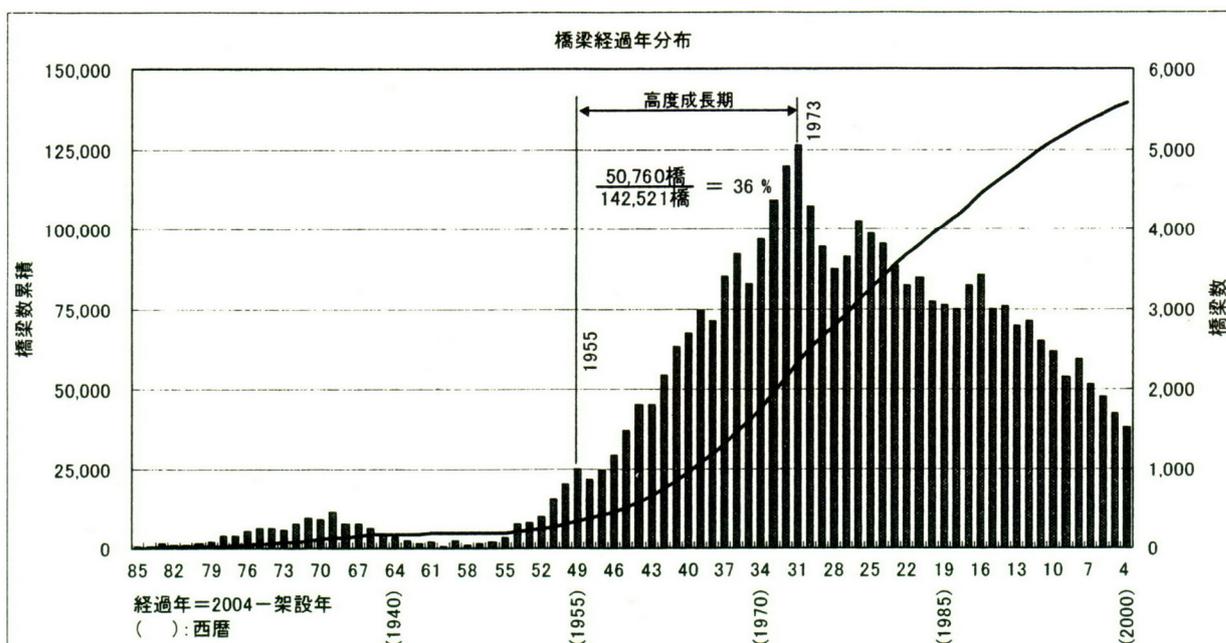
日本国内では国、自治体、公団において道路資産管理へのアセットマネジメント導入が進んでいる。

国土交通省は、2002年度重点施策において「トータルコストの縮減などを目指して、道路管理手法にアセットマネジメントの考え方などを導入し、効率的・計画的な維持管理を行うこと」を提示し、2003年4月には「道路構造物の今後の管理・更新のあり方に関する委員会」の提言を公表、アセットマネジメント導入による管理の効率化のイメージを提示している。また、道路を効率的に管理するためには、道路の安全性や健全性を維持しつつ、道路構造物の建設と管理に必要な中期的な費用(ライフサイクルコスト)を最小化するこ

とが必要であるとしている。¹¹⁾

また、同省国土技術政策総合研究所は、2001～2004 年度、プロジェクト研究「住宅・社会資本の管理運営技術の開発」において「戦略的ストックマネジメント手法」の研究開発を行った。同研究は、道路、ダム、下水道、公共建築、公営住宅などの住宅・社会資本について、多方面への影響（財政・環境・経済・景観）を考慮しつつ、建設・更新時期の集中を回避するため、これらを地域・ネットワークを単位とした「群」としてとらえ、補修・改修・転用等の各種長寿命化技術を積極的に活用する管理運営技術を検討するものである。¹²⁾

日本の道路構造物は高度成長期に大量に建設され、その割合は橋梁では全橋梁数の約 4 割、トンネルでは全トンネル数の約 25%を占めている。¹³⁾ 建設年度別橋梁数分布を図 1 に示す。



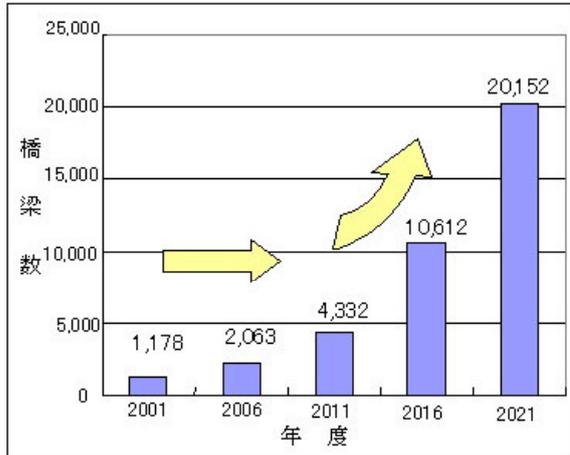
出典：玉越隆史、中州啓太、石尾真理、武田達也：道路橋の寿命推計に関する調査研究、国土技術政策総合研究所資料第223号、p.1、2004/12

図 1 建設年度別橋梁数分布¹⁴⁾

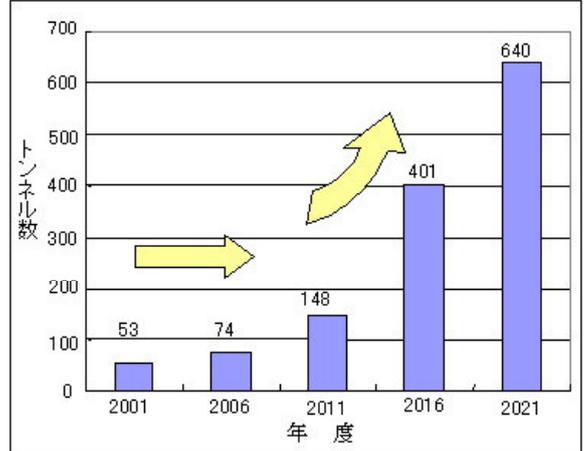
また、図 2 に示すように建設後 50 年以上経過した橋梁は 10 年後には現在の約 4 倍、20 年後には約 17 倍に達し、建設後 50 年以上経過したトンネルは、10 年後には現在の約 3 倍、20 年後には約 12 倍に達するなど、道路構造物の高齢化が今後集中的に進むことになる。この状況を米国と比較すると、日本の道路構造物は、1980 年代の「荒廃するアメリカ」と呼ばれた状況に近づきつつあり、10 年後には当時の米国を上回る道路構造物の高齢化が進み、深刻な事態となることが予想されている。¹⁵⁾

高齢化する道路構造物は10年後から20年後にかけて飛躍的に増加

建設後50年以上の橋梁の推移
(直轄国道+4公団)



建設後50年以上のトンネルの推移
(直轄国道+4公団)



出典：国土交通省 道路構造物の今後の管理・更新等のあり方 提言(2003/04)

図2 建設後50年以上の橋梁・トンネルの推移¹⁵⁾

橋梁の寿命は、「減価償却資産の耐用年数等に関する大蔵省令」等を引用して一般に50年程度と言われることがあるが、国土交通省が定期的実施している橋梁の架替えに関する実態調査結果から、建設年代によって違いが見られることがわかってきている。国土交通省国土技術政策総合研究所は、架替総数が4,860となる同調査結果データに正規分布の寿命曲線を近似して当てはめ、全橋について表1及び図3の結果を算出した。物資が不足していた第二次大戦中から戦後にかけての寿命が30~40年程度と短く、その後徐々に長くなり、近年では100年程度と推定された。^{16), 17)}

表1 建設年代別の道路橋寿命の推定結果¹⁶⁾

架設年次	平均(年)	標準偏差(年)
1921~1930	40	10
1931~1940	40	10
1941~1950	30	10
1951~1960	60	20
1961~1970	70	20
1971~1980	70	20
1981~1990	100	30
1991~2000	100	30
2000~	100	30

出典：国総研プロジェクト研究報告第4号、p.538

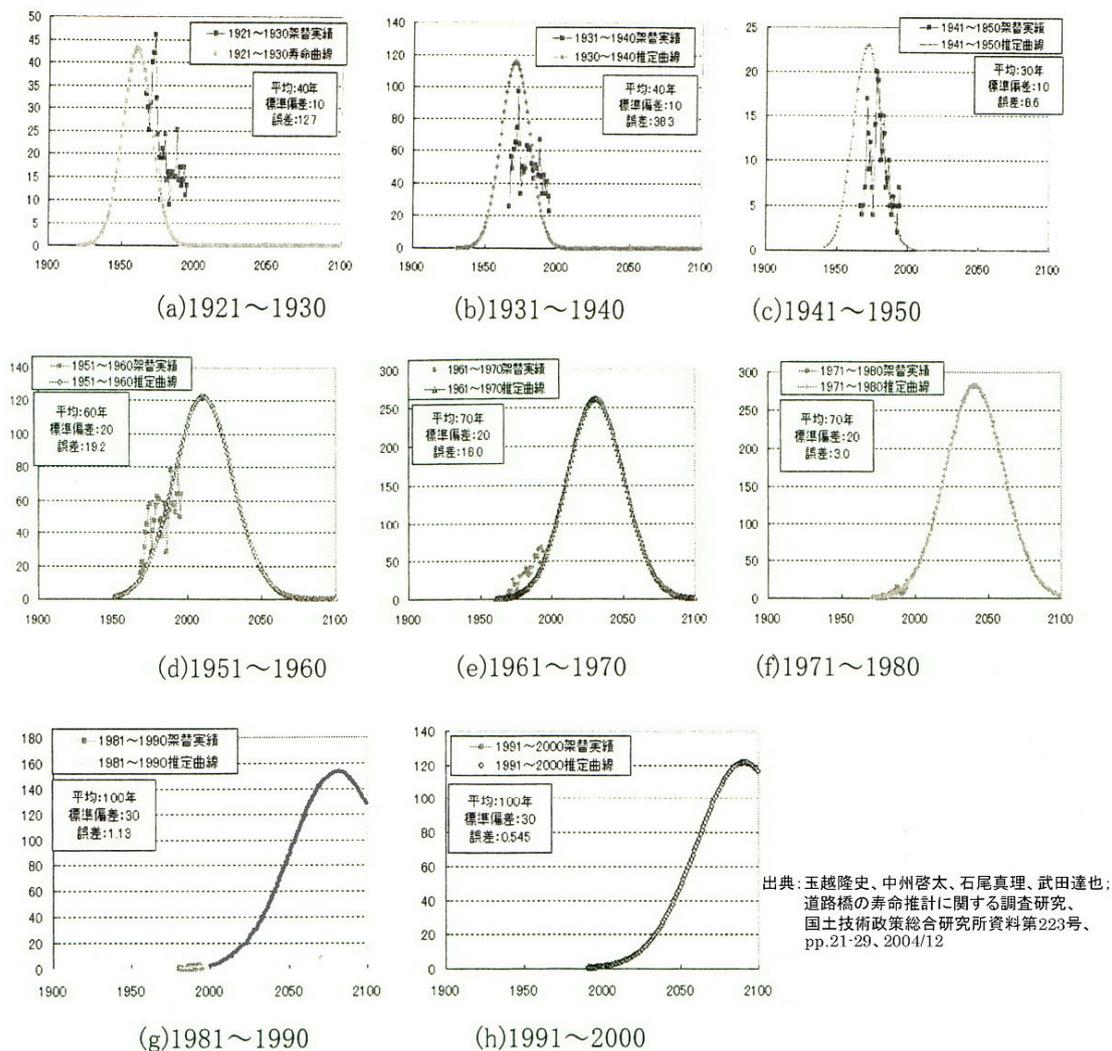


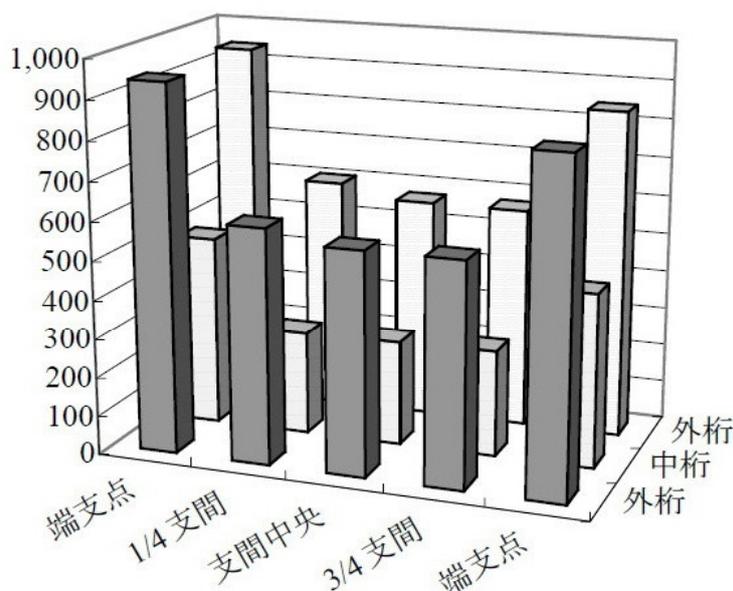
図3 年代別の寿命曲線の推定¹⁷⁾

国管理の道路橋梁においては、1988年に策定された「橋梁点検要領(案)」に基づいて定期的な点検が行われ、損傷の種類・状態、損傷ランクなどが記録、収集されてきた。さらに2004年に策定された「橋梁定期点検要領(案)」により、近接点検が概ね5年毎に行われている。2007年、国総研・道路構造物管理研究室は、損傷事例や過去の点検結果から道路橋の劣化傾向等に関する分析結果をとりまとめ、道路橋の健全度の把握に最低限必要な基礎的情報を収集する手法として「道路橋に関する基礎データ収集要領(案)」を公表した。分析結果例と手法の概要を次の表2及び図4に示す。¹⁸⁾

表2 定期点検要領(案)と道路橋の健全度に関する基礎データ収集要領(案)の比較

定期点検要領(案)	基礎データ収集要領(案)
26損傷×5段階評価 =130区分	12損傷×2~5段階評価 =33区分(25%)
橋梁全体	腐食:桁端部 等
近接目視	下部工:遠望目視 等
損傷程度の評価	約5割以上の削減
対策区分の判定	対象外

(出典:国土交通省国土技術政策総合研究所資料)



出典:玉越隆史、小林寛、武田達也、平塚慶達、道路橋の健全度に関する基礎的調査に関する研究、国土交通省国土技術政策総合研究所資料、No.381、p.40、2007/04

図4 腐食の部位別損傷点数¹⁸⁾

(鋼橋 I 桁、H 形鋼 (非合成+合成) 単純桁)

また、橋梁マネジメントシステム(BMS)として米国でNBIP や PONTIS が開発されたように、日本では PWRI BMS (国土交通省)、JH-BMS (日本道路公団)、北海道 BMS (北海道開発土木研究所) が開発されている。¹⁹⁾ しかし、目視による点検が中心であり、構造物内部や水中・土中等、目視できない部位については点検及び点検手法の確立が十分にできていない。したがって、BMS は個別橋梁の劣化予測、将来補修補強時期、必要費用をシミュレーションできるものの、橋全体の健全性に影響を及ぼすような局部的損傷を必要な精度で取り込めていないことが課題となっている。²⁰⁾

舗装の健全性については、旧建設省が開発した維持管理指数 MCI(Maintenance Control

Index)がある。路面のひび割れ、わだち掘れ、平坦性等を測定し、3 要因を組み合わせる路面損傷を評価するものである。日本の舗装マネジメントシステム(PMS)として、補修の工法、時期、規模を最適化する北海道開発土木研究所の PMS、LCC を見据えつつ保全業務の全プロセスを支援する日本道路公団の RIMS がある。²¹⁾

東京都は、高度成長期に大量に建設された道路施設の更新ピークが間近に迫っていることを背景とし、下記状況を踏まえ、2004 年度から道路アセットマネジメントを実施中である。

①橋梁については 1987 年度から 5 年に一度の頻度で点検し、蓄積した点検データにより施設の環境や構造別の劣化診断や予測が可能となったこと。舗装についても 1991 年度から東京都独自の MNI 診断 (Maintenance Necessity Index、路面性状調査) を行い、その結果から大型車通行量、舗装材料・構造との関連によりある程度、劣化推移予測が可能となったこと。

②2006 年度から民間企業と同様な会計方式の導入を目標とする公会計制度改革が実施されたこと。

③長寿命化に関し、材料・工法データの蓄積及び疲労試験など機能確認方法の開発により、適切な判断基準を整備したこと。^{11), 22), 23)}

日本道路公団は、供用年数の大きい路線で当初予想されていた以上に交通量が増大し、車両が大型化し、多くの部分的損傷・劣化が事後的に修繕されている実態に鑑み、2003 年度から、道路構造物の延命化、維持管理費用の平準化、トータルコストの縮減を目指し、顧客満足度や費用便益分析を取り入れたマネジメントシステムの構築・実施に取り組んでいる。²⁴⁾

青森県は、2004-2005 年度の 2 か年で橋梁アセットマネジメントシステムを構築し、2006 年度から運用を開始した。同システムは大きく次の 5 つの STEP で構成される。

STEP1 維持管理の基本方針「基本戦略」を策定

STEP2 環境条件、点検結果、道路ネットワークの重要性から「個別橋梁の戦略」を選定。

STEP3 全橋梁の LCC を集計し、予算目標などに合わせて予算を平準化。

STEP4 前 STEP の予算に基づき、「中期事業計画」を策定・実施。

STEP5 事後評価と見直し。

健全度の将来予測は、部材、材質、劣化機構、仕様、環境条件により細分化され、青森県で蓄積された点検データのみでは回帰式による劣化速度の設定は困難であったので、既存の研究成果、学識経験者の知見等により部材、劣化機構別に 275 種類、環境条件別に 1,022 種類の予測式が設定された。(図 5 参照)²⁵⁾

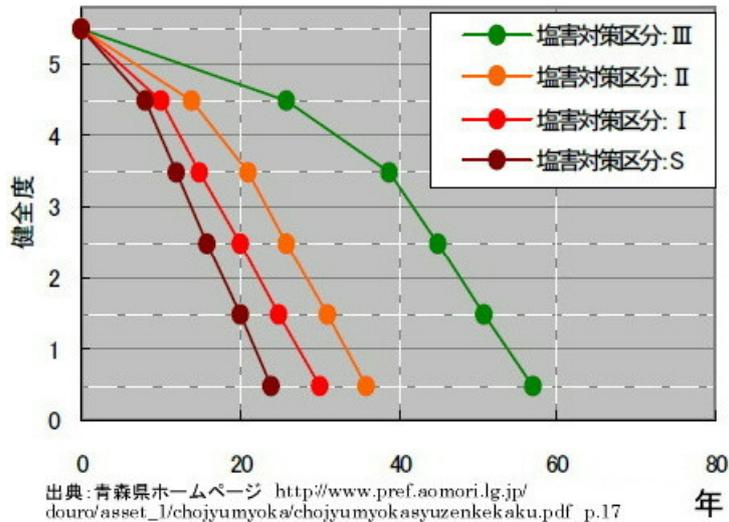
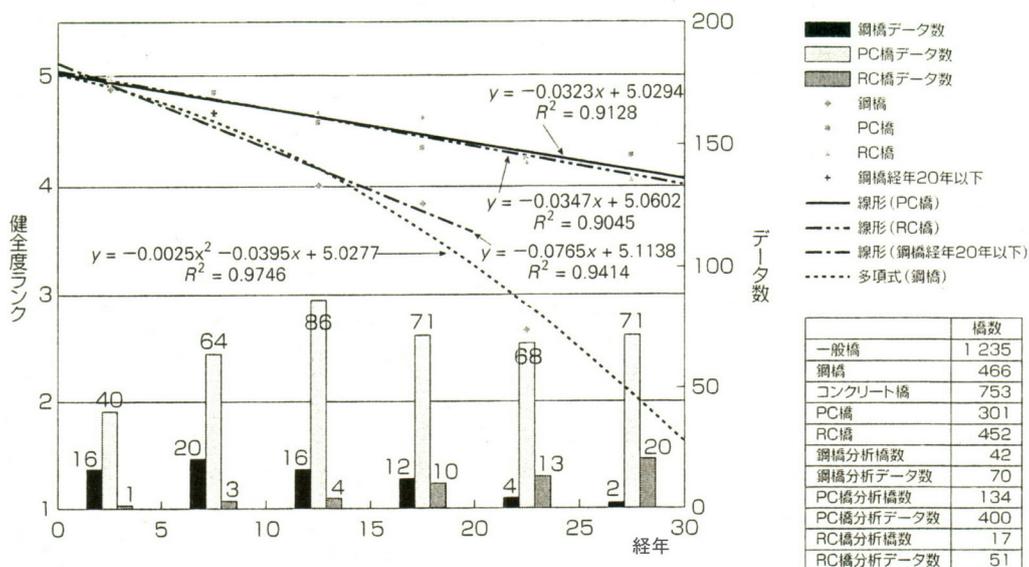


図5 劣化予測式（青森県資料）

なお、橋梁健全度の劣化曲線については、青森県、後述の大阪府の他、主要地方道に架かる道路橋の点検結果から算出した図6の事例がある。²⁶⁾



(出典：(社)土木学会：アセットマネジメント導入への挑戦、技報堂出版、p.139、2005/11)

図6 一般橋梁パフォーマンスグラフ²⁶⁾

青森県はアセットマネジメント検討の結果、図7のように、今後50年間について、対症的補修を行った場合、1,518億円かかる場所、アセットマネジメントを導入した場合、807億円にまで縮減できると算出した。²⁷⁾

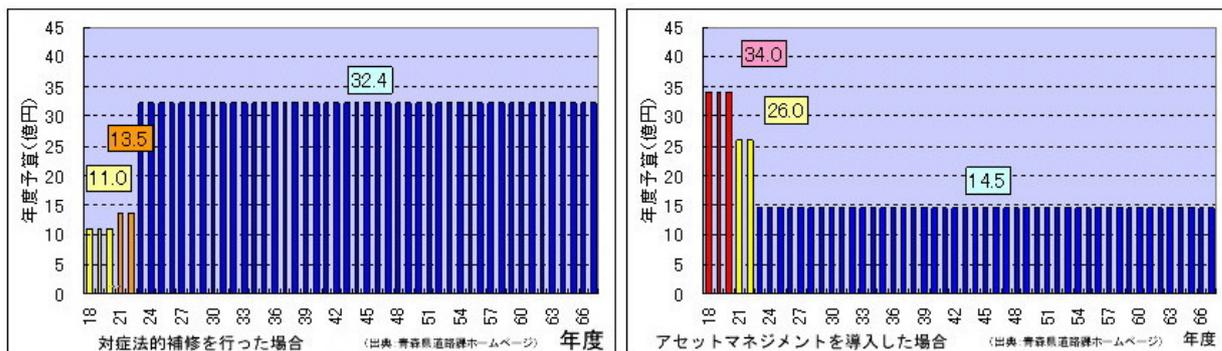
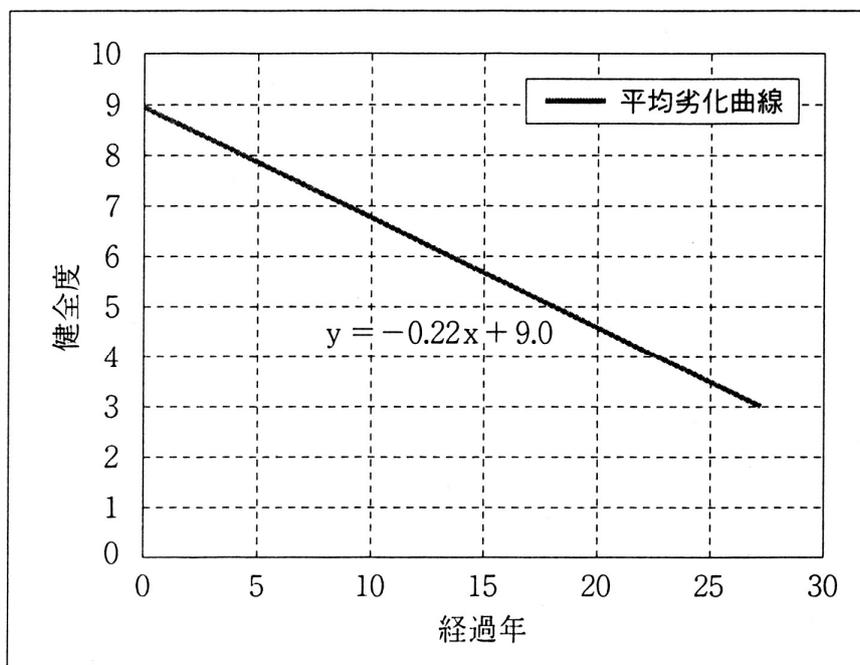


図7 青森県道路橋梁のアセットマネジメント効果

青森県では、2006 年度には劣化曲線の精度向上のため、著しい損傷により撤去する橋梁を使用し、目視点検、コンクリート材料試験、鋼材腐食測定、各種部材強度試験及び補修履歴により、健全度評価と残存耐力の検証及び各健全度で適正となる補修・補強工法の検討が行われた。^{28), 29)}

大阪府では 2001 年、構造物管理について厳しい財政状況の中での大量更新時代に備えて従来型からの脱却を目指し、「土木部維持管理計画（案）」を策定した。その具体的保全計画として、2002 年度に道路施設へのアセットマネジメント手法の導入検討をした。舗装及び 15m 以上の橋梁を将来予測の対象施設とし、点検調査データを数値化して健全度を算出した。データから得られた舗装劣化曲線の例が図8に示されている。³⁰⁾



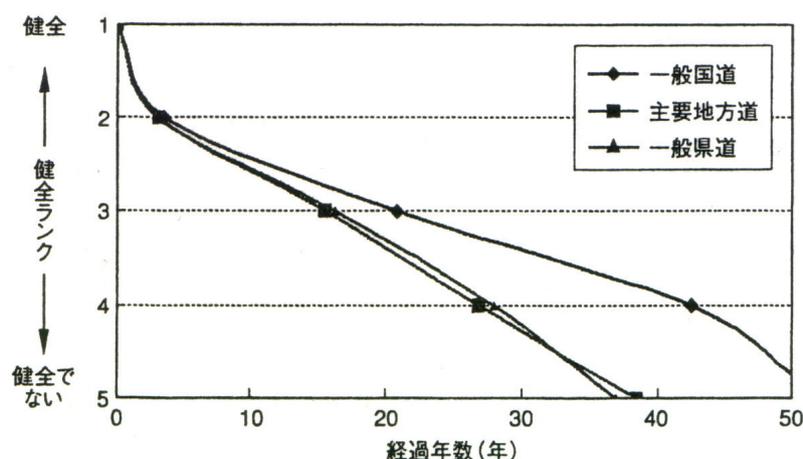
出典：竹内廣行：アセットマネジメントとは何か—大阪府の道路における取組み事例—、月刊下水道、Vol.29、No.5、p.50、2006/04

図8 舗装劣化曲線の例³⁰⁾

補修により健全度は供用時レベルに回復すると仮定し、施設劣化による利便損失や工事

中の交通規制の損失をコストに加算し、通常各年度の予算制約を考慮しつつ、50年間でLCCが最適となる補修期間を選定した。試算の結果、将来予算を2002年度の76億円に固定した場合、約15年後から健全度が保たれず供用制限・供用停止に至る施設が急増すること、健全度を保つためには予算を段階的に約110億円まで増加させる必要があることが示された。³⁰⁾

なお、舗装の劣化曲線について小林は図9を事例として示し、「ライフサイクル費用評価のために必要となるマクロなレベルでの劣化予測モデルに関しては、実用的には十分な水準にまで発達したといってもいいだろう。」とコメントしている。³¹⁾



舗装のパフォーマンスカーブ(劣化曲線)の例(わだち掘れの平均的進展速度を表している。健全度ランクは、5mm刻みで定義している。わだち掘れが進展するほど健全度ランクが大きくなる。健全度5は、わだち掘れが20mm以上であることを示している)

(出典:小林潔司:社会インフラのリニューアル時代の本格的到来、土木学会誌、Vol.92、No.12、p.15、2007/12)

図9 一般国道等の舗装の劣化曲線³¹⁾

水道事業は地方公営企業法が適用され、独立採算の企業会計が古くから行われてきた。「水道施設更新指針(社)日本水道協会、2005/05」や「水道維持管理指針(社)日本水道協会、2006)」にはアセットマネジメント的施設管理方法が詳述されている。健全度が法定耐用年数で新築時の半分に低下するとした劣化曲線の考え方や、LCCを最小化する経済的耐用年数の考え方や、受電設備、ポンプなど機械電気設備及び流量計、監視制御設備など計装設備について61設備・機器ごとの実績更新年数の平均値及び標準偏差が示されている。

港湾構造物については、目視を主体とする一次点検及び必要に応じてこれを補完するため潜水土、機器等により目視困難な部位を点検する二次点検を実施し、A、B、C、Dの4段階で健全性を総合評価することが行われており、日本の係留施設のサンプル調査では、最も劣化の進んだA判定が10%超とされている。また、劣化曲線については、マルコフ連

鎖モデルを用いた研究が進められている。³²⁾

公共建築については、中長期修繕計画がストック単体の全ての部位・設備について「建築物のライフサイクルコスト（(財)建築保全センター・経済調査会)」等により標準的とされる画一的な修繕・更新周期から LCC を積み上げる方法によるものが多く、膨大な労力を要しているとともに、個別の立地条件や使用状況等が反映されていない。そこで国土交通省国土技術政策総合研究所は、部位・設備等の劣化を庁舎全体の安全性、執務等に及ぼす影響の大小により、「危機管理方式」、「対症療法方式」、「適宜措置方式」に3分類し、「危機管理方式」では機能損失が見つからなくても定期的に行う修繕・更新で、「対症療法方式」では劣化兆候に応じて早めに行う修繕・更新で、「適宜措置方式」では劣化・機能停止の発生後の更新・修繕で管理する考え方を提案している。³³⁾

定式化を主体とする理論的研究としては、以下のものがある。

青木・山本・小林は、トンネル照明ランプの修繕データを事例として不完全なモニタリング情報にワイブルハザードモデルを適用する方法を提案した。³⁴⁾

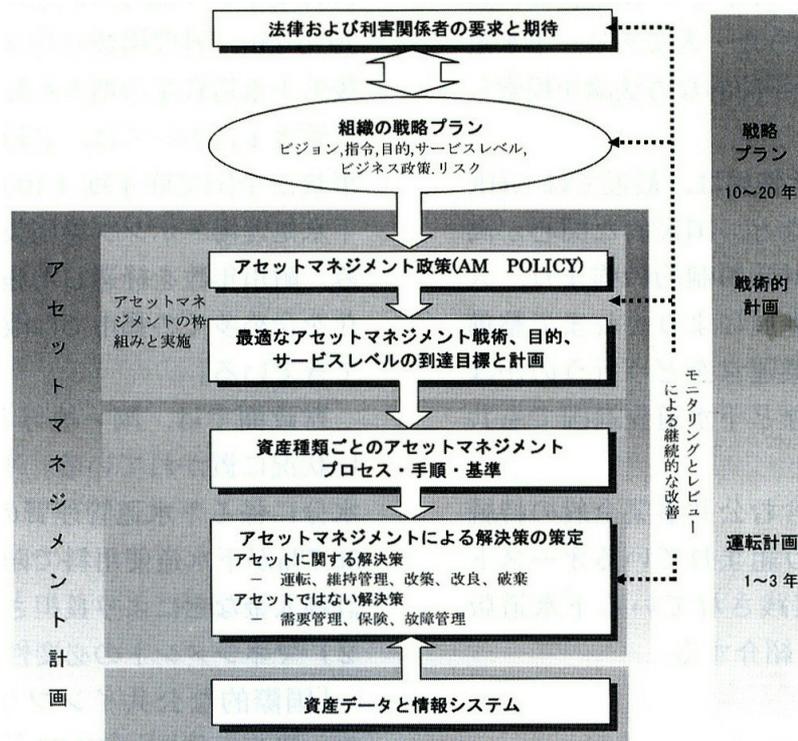
また、青木・山本・津田・小林は、トンネル照明灯具の目視点検データを事例とし、多段階ワイブル劣化ハザードモデルがマルコフ連鎖モデルよりも良好に健全度推移を表現できるとした。³⁵⁾

さらに、津田・貝戸・山本・小林は、劣化点検データが少なく劣化予測モデルの推計精度が十分でない場合、将来に得られるデータでモデル推計精度を逐次改良するためベイズ推計を用いる方法を論じている。³⁶⁾

2 下水道

(1) 諸外国

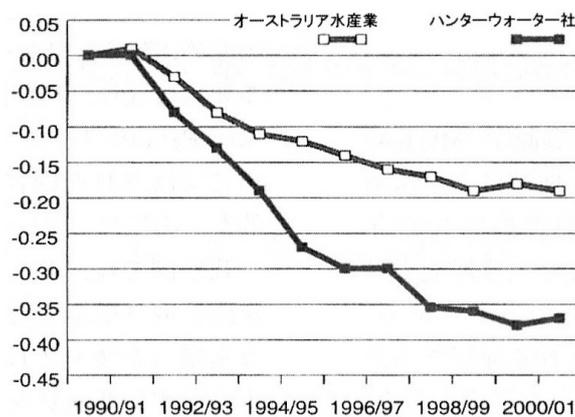
オーストラリアでは 1990 年代、上下水道事業は収益事業とされ、地方自治法と競争法の管轄下に置かれ、フルコスト・リカバリー（料金で工事費や維持管理費などを全て賄うこと）が義務づけられた。1993 年、連邦政府により新会計基準 AAS27 が導入されて資産の再評価が義務づけられ、取得原価ではなく再取得価格を用い、及び画一的でなく事業者ごとに決定する耐用年数を用いて正しく減価償却費を算出し、情報公開することが義務づけられた。また、アセットマネジメント計画を策定し、認可された上下水道事業に対してのみ新規又は再構築の事業費に対して 40%の補助金が交付されることとなり、自治体へのアセットマネジメントの導入が進んだ。オーストラリア全国アセットマネジメント協会は、ニュージーランド、米国、英国、南アフリカと協力して「国際的な公共インフラ事業に関する管理マニュアル(IIMM: International Infrastructure Management Manual 2006 Edition)」を発行し、その中でトータルアセットマネジメントプロセスの概念が図 10 のように示されている。^{37), 38)}



出典：石川高輝、海外におけるアセットマネジメント、下水道協会誌、Vol.45、No.547、p.36、2008/05

図10 トータルアセットマネジメントの概念図 (IIMM)³⁷⁾

オーストラリア東海岸で50万人以上に上下水道サービスを提供するハンターウォーター社は、アセットマネジメント導入により顧客サービスレベルを向上させつつLCCとリスク被害を低減させ、同社の試算では1990～2001年の間に対象施設の運転経費を約40%削減し、計画資本費支出の4年分を削減し、実経費を34%削減したとのことである。また、この期間のオーストラリア水産業全体の運転経費削減率は約19%と示されている。(図11参照) これらの削減率はアセットマネジメント導入効果の目安として参考になるものと考えられる。³⁷⁾



出典：石川高輝、海外におけるアセットマネジメント、下水道協会誌、Vol.45、No.547、p.37、2008/05

図11 運転経費の削減率³⁷⁾

(2) 日本

日本では、アセットマネジメント関連として、まず、(社)日本下水道協会から各種指針、ガイドライン、マニュアル類が多数発行されており、以下に例示する。

- ① 管きょ更生工法における設計・施工管理の手引き (暫定版) (2007)
- ② 下水道管路施設腐食対策の手引き (案) (2002)
- ③ 下水道管路施設テレビカメラ調査マニュアル(案)(2000)
- ④ 下水道維持管理指針(2003)
- ⑤ 下水道台帳管理システム標準仕様 (案)・導入の手引き(2002)
- ⑥ 下水道維持管理サービス向上のためのガイドライン(2007)

この他、日本下水道事業団から「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル」(2007)及び「下水道構造物に対するコンクリート腐食抑制技術及び防食技術の評価に関する報告書」(2001)が発行されている。

コンクリートの硫化水素又は硫酸による腐食については、上述の手引き、マニュアル等の他、土木学会・コンクリート委員会・化学的侵食・溶脱研究小委員会が報告を取りまとめ、腐食深さは腐食層が剥離しない場合、時間の平方根に比例し、腐食層が剥離する場合、時間に比例すると結論づけている。³⁹⁾

また、森田らは、硫化水素の挙動について、下水液相中での硫化物の生成、硫化水素ガスの下水液相から下水管内気相への放散、気相中での移動・拡散、気相中から管壁コンクリート表面への吸着・酸化、硫酸のコンクリート内部への侵入という非常に複雑かつ多くの段階を詳細に追跡する Wastewater Aerobic/anaerobic Transformations in Sewers (WATS)モデルの日本の下水道への適用性を検討している。^{40), 41), 42)}

下水道のアセットマネジメントの導入事例及び研究については、日本下水道事業団が静岡市と共同研究し、同市下水道事業のアセットマネジメント計画を立案し、その概要が公表されている。同事業団はデータベース・システムを含め、アセットマネジメントに関連する一連の取り組みをビジネス方法特許として出願している。^{43), 44), 45)}

アセットマネジメント的観点からの管路劣化損傷研究については、大阪市の藤澤・大杉・山口が研究成果を公表しており、現場実績データから施工後経過年数と道路陥没発生率の関係を算出し、併せて道路陥没による各種損害額をいくつかの仮定・設定を基に算出し、改築事業費と改築による損害軽減額の関係性を導き出している。⁴⁶⁾

管渠の耐用年数については、行方らが実態調査の統計値として平均年間改築率 0.5~0.6%を報告した。⁴⁷⁾ 同様の研究として、Breyse らがフランスの下水管約 8,240km の劣化状況について下水道事業体へ質問調査を行い、同改築率を 0.5%と算出したものがある。Breyse らは調査データにワイブル分布を適用しており、最も劣化が進んだ State4 に至るワイブル係数として記された数値を用いて筆者が平均、標準偏差を算出したところ、藤生・宮内による日本全国についての算出結果の 93 年、35 年⁴⁸⁾よりもやや小さめの 80 年、29 年となった。

⁴⁹⁾

下水道でのLCC及び経済的耐用年数の検討事例としては東京都⁵⁰⁾、川崎市⁵¹⁾、京都市⁵²⁾、広島市⁵³⁾の報告がある。また、平成10年3月及び平成18年10月に国土交通省から「下水道事業における費用効果分析マニュアル(案)」が公表され、LCC検討と同様の現在価値化の計算手順が示されている。⁵⁴⁾

LCC検討の大きな課題は将来各年度の維持修繕費の設定であり、経済的耐用年数の値がこれによって大きく変化する。にもかかわらず使用条件や環境条件に応じた十分な過去実績値を収集することは容易でなく、しかも技術革新された新製品は実績値がない。

定式化を主体とする理論的研究としては、堀・小濱・貝戸・小林が下水処理場の水処理施設の躯体コンクリートにマルコフ劣化ハザードモデルを適用する定式化を行っている。⁵⁵⁾

また、マルコフモデルについては、これを下水管渠の現場データに適用し、劣化区分ごとの割合の経年推移を算出した中根の研究例がある。⁵⁶⁾

以上のように、下水道については現在までのところ、アセットマネジメントのパーツとなりうる知見の導入事例や研究成果は存在するものの、アセットマネジメントを意識し、事業への導入の実現性を踏まえたものは少数である。

【国土技術政策総合研究所下水道研究部の研究】

社会資本へのアセットマネジメントの導入は、橋梁と舗装で先行している。それら分野では劣化曲線がともかく設定され、実績データの蓄積により検証されつつある。劣化曲線は資産状態の将来予測の基礎であり、アセットマネジメントにおいて中核となるものと考えられる。

しかし、劣化曲線は材料・種別、施工方法、使用環境、維持修繕方法等により異なると考えられるので、信頼性の高い劣化曲線を得るには多数の実績データ、とりわけ経過年数の大きなデータを必要とする。また、点検後ほどなく落橋する事例が幾つか生じた米国のPONTISのように、健全度として用いた測定項目が危機的劣化を的確に反映できているかが議論となることもある。その意味で、青森県が廃橋部材を利用して健全度評価値及び補修履歴と物理的各種強度との関係を調査しているが、検証方法として注目される。

アセットマネジメントの下水道への導入は始まったばかりであり、事業現場で利用できるデータや知見は皆無に近い。下水道の各施設の健全度として何が適当であるかも十分に明確ではなく、また、過去のデータ蓄積がないので当面の大胆な割り切りとして直線や二次曲線が劣化曲線として使われている。下水道施設の各種分類ごとに精確な劣化曲線を得るには長い時間と多大な労力を要するものと考えられる。

筆者はこのような個々の施設の劣化状況を検討対象とするマイクロマネジメントではなく、個々の施設の健全度を供用継続か改築撤去かなどの二者択一で捉え、施設群について耐用年数分布を統計的に算出するマクロマネジメントに重点を置いて研究している。耐用年数分布が得られれば、施設群について、

- ①劣化の速さ・態様が将来も変わらないこと

②改築により健全度が新築と同じレベルにまで回復すること

を前提とした改築必要量等の将来予測ができ、これに基づいた改築計画や財政計画が立案できるものと考えられる。また、実態に即した耐用年数を会計処理に反映させ、これを適正化することも可能と考えられる。ただし、コンクリートの硫化水素腐食については前述のように劣化メカニズムの研究がある程度進んでおり、筆者もこれを利用した研究を行った。

筆者の研究の該当するカテゴリを下水道施設区分及びマイクロ、マクロマネジメント区分の観点から表3に示す。筆者は主にマクロマネジメントについて研究を行っており、その計算結果をアセットマネジメントに取り組みようとする下水道事業者が参考値として利用できるよう、できるだけ全国データを使用している。

空欄となった機電設備・マイクロマネジメントのカテゴリについては、種類数が非常に多く、技術進歩も比較的速く、コンクリート構造物に比べて耐用年数がかなり短いため、各種設備の劣化曲線及び将来維持修繕費を精確・機敏に、かつ、資産額や故障時影響の観点から主要なものを抽出して調査・設定する必要があると考えられる。

表3 筆者の研究の該当カテゴリ

下水道施設区分	全般	管渠	処理場コンクリート施設	機電設備
マイクロマネジメント	△②	△③	△③	
マクロマネジメント	◎(②, ④)	◎(①, ③, ⑤, ⑥)	○③	△

◎、○、△は研究取組の大きさを示す。丸数字は下記のそれらに対応する。

最後に、筆者及び下水道研究室の既報、近報論文の概要を記す。

① 統計的手法による下水管渠の耐用年数確率分布推定及び将来改築必要量予測

2005 年度における日本全国の管渠の年齢別供用延長及び改築延長を調査し、そのデータを統計処理して耐用年数分布を平均 93 年、標準偏差 35 年と算出し、これにより将来改築量予測を行った。(図 1 2 参照)⁴⁸⁾

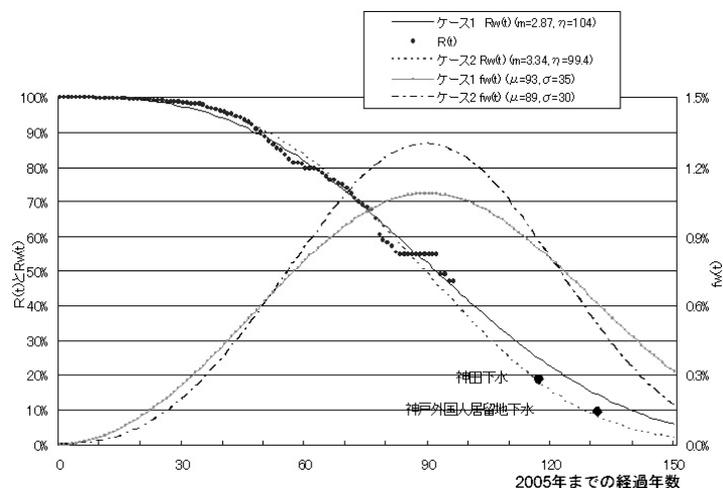


図 1 2 管渠の経過年数に応じた残存曲線及び耐用年数曲線

② 割引率を用いた下水管渠に係る耐用年数と許容コストの関係の考察

日本における費用対効果分析や LCC 分析で社会的割引率及び利子率として広く用いられている 4% について比較検討した。また、利子率の大小に応じ、管材を高級化して耐用年数を伸ばすことの効率性の大小を検討した。⁵⁷⁾

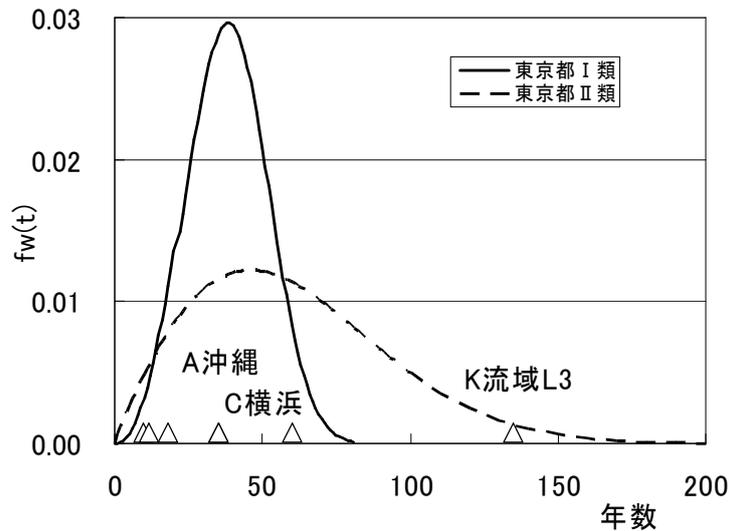


図 1 3 コンクリート施設の劣化環境別及び年齢別の耐用年数分布

③ 下水道現場コンクリートの硫化水素腐食に対する耐用年数

東京都下水道局からご提供いただいた処理場コンクリート改修データを分析し、劣化環境分類別の耐用年数分布を I 類、平均 38 年、標準偏差 13 年などと算出した。(図 1 3 参照) また、コンクリートの長期腐食実験データを収集・解析し、個々の現場における劣化予測式の決定方法を提案した。(図 1 4 参照)⁵⁸⁾

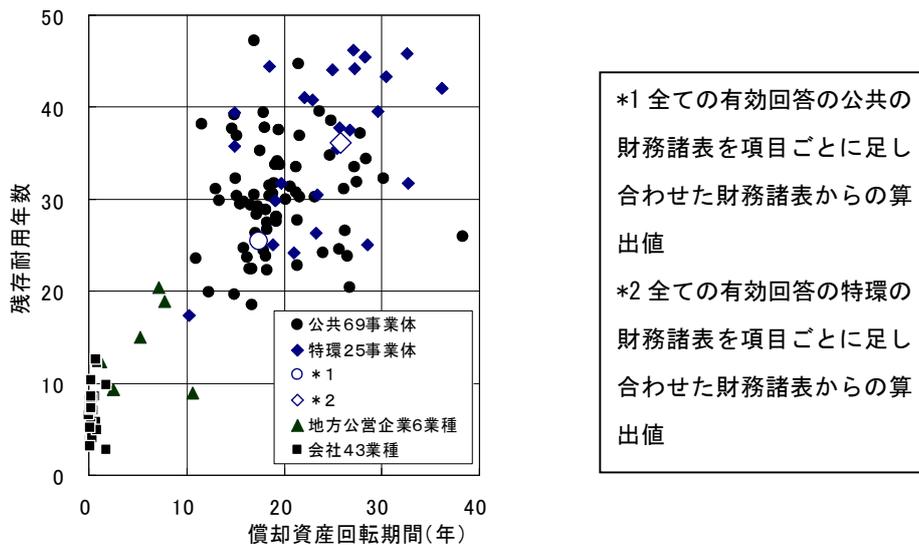


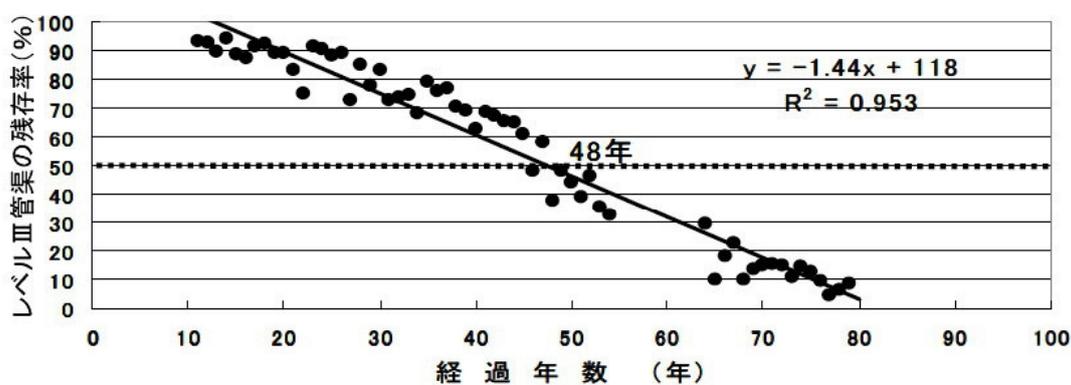
図 1 4 公共下水道、特環下水道、下水道以外の地方公営企業、会社の指標値分布

④ 下水道事業においてストックが財務に与える影響度の指標

地方公営企業法を適用する下水道 94 事業者の財務諸表を、他の公営企業 6 業種及び重厚長大産業を含む会社 43 業種のそれらと比較し、下水道事業は経営における償却性固定資産の影響度が極端に大きく、耐用年数を伸ばしてコスト縮減を図るアセットマネジメントの必要度も大きいことを明らかにした。⁵⁹⁾

⑤ 管渠の劣化曲線に関する調査

管渠の健全度をレベルⅠ(直ちに対策が必要)、Ⅱ(対策が必要)、Ⅲ(当面对策の必要なし)に3分類し、7都市(大都市3 団体、中小都市4 団体)のデータについてレベルⅢの管渠の経過年数別残存率を算出し、残存率50%の経過年数を48年と算出した。(図15参照)⁶⁰⁾

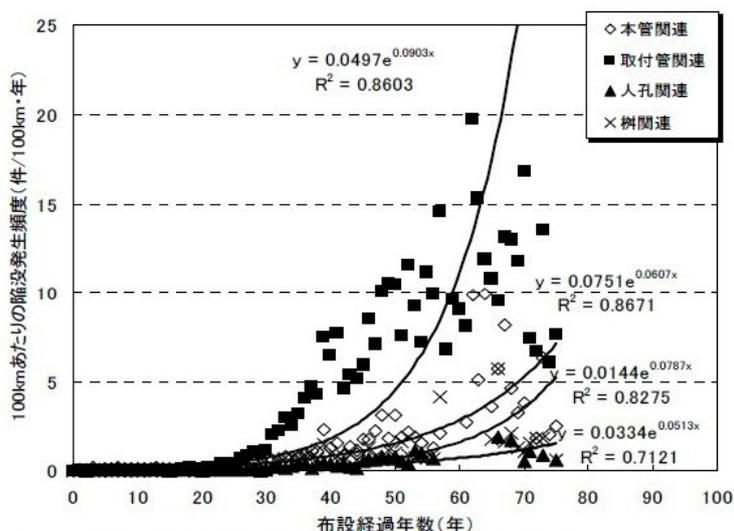


出典:松宮洋介、福田康雄、西村秀士、管渠の劣化曲線に関する調査、第45回下水道研究発表会、1・10・7、2008/07

図15 経過年数別のレベルⅢ管渠の残存率分布⁶⁰⁾

⑥ 下水道管きょ施設に起因する道路陥没の特性に関する調査

2006 年度に発生した道路陥没 4,411 件について原因管渠を本管、取付管、人孔、枿に区分し、経過年数別の陥没発生頻度を算出した。(図16参照)⁶¹⁾



出典:福田康雄、松宮洋介、榊原隆、下水道管きょ施設に起因する道路陥没の特性に関する調査、第45回下水道研究発表会、1・10・8、2008/07

図16 本管、取付管、人孔、枿の経過年数別陥没発生率⁶¹⁾

〈参 考 文 献〉

- 1) 土木学会建設マネジメント委員会アセットマネジメント小委員会（委員長 小澤一雅東京大学大学院教授）：アセットマネジメント導入への挑戦、技報堂出版、p.8、2005/11
- 2) 1)に同じ。p.162
- 3) 藤野陽三、阿部雅人：橋梁マネジメントにおけるアメリカでの新たな挑戦、土木学会誌、Vol.92、No.6、pp.70-73、2007/06
- 4) 牛島栄：社会資本の維持管理に求められるアセットマネジメント、セメント・コンクリート、No.719、p.38-43、2007/01
- 5) 1)に同じ。p.47
- 6) 1)に同じ。p.79
- 7) 1)に同じ。pp.12-13
- 8) 横山正樹：諸外国における取組みの現状（加速する公共資産の効率的管理への動き）、土木学会誌、Vol.89、No.8、pp.32-34、2004/08
- 9) 1)に同じ。pp.165-166
- 10) 益山高幸、竹内恭一：社会資本の管理に会計的視点を取り込んだインフラ会計、土木学会誌、Vol.89、No.8、p.21、2004
- 11) 1)に同じ。p.158-159
- 12) 国土交通省国土技術政策総合研究所：住宅・社会資本の管理運営技術の開発、プロジェクト研究報告第4号、p.iii、2006/01 又は国土技術政策総合研究所ホームページ、<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoku/kpr/prn0004pdf/kp0004003.pdf>
- 13) 12)前段に同じ。p.5, p.7
- 14) 玉越隆史、中州啓太、石尾真理、武田達也：道路橋の寿命推計に関する調査研究、国土技術政策総合研究所資料第223号、p.1、2004/12
- 15) 国土交通省ホームページ、<http://www.mlit.go.jp/road/current/kouzou/1-2.html>
- 16) 12)前段に同じ。pp.538-539
- 17) 14)に同じ。p.5, p.7, pp.21-29
- 18) 玉越隆史、小林寛、武田達也、平塚慶達：道路橋の健全度に関する基礎的調査に関する研究、国土交通省国土技術政策総合研究所資料、No.381、2007/04
<http://www.nilim.go.jp/lab/gcg/report/ks0381.pdf>
- 19) 12)前段に同じ。pp.31-32
- 20) 玉越隆史、七澤利明：道路橋の維持管理に関する研究開発、地質と調査、No.115、pp.7-12、2008/03
- 21) 12)前段に同じ。pp.28-29
- 22) 高木千太郎：東京都の道路現況と道路アセットマネジメント、Vol.89、No.8、pp.30-31、2004/08

- 23) 国土交通省ホームページ、<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/maintenance/2pdf/1.pdf>
p.3
- 24) 1)に同じ。pp.160-161
- 25) 青森県ホームページ、http://www.pref.aomori.lg.jp/douro/asset_1/system/system.html
- 26) 1)に同じ。pp.138-139
- 27) 青森県ホームページ、http://www.pref.aomori.lg.jp/douro/asset_1/keii/keii.html
- 28) 川村宏行：青森県橋梁アセットマネジメントの取組み、地質と調査、No.115、pp.37-42、
2008/03
- 29) 青森県ホームページ、https://www.pref.aomori.jp/douro/asset_1/keii/chijihoukoku.pdf
- 30) 竹内廣行：アセットマネジメントとは何か—大阪府の道路における取組み事例—、月刊
下水道、Vol.29、No.5、pp.49-52、2006/04
- 31) 小林潔司：社会インフラのリニューアル時代の本格的到来、土木学会誌、Vol.92、No.12、
p.15、2007/12
- 32) 12)前段に同じ。p.44
- 33) 12)前段に同じ。pp.204-217
- 34) 青木一也、山本浩司、小林潔司：劣化予測のためのハザードモデルの推計、土木学会論
文集、No.791／VI-67、pp.111-124、2005/06
- 35) 青木一也、山本浩司、津田尚胤、小林潔司：多段階ワイブル劣化ハザードモデル、土木
学会論文集、No.798／VI-68、pp.125-136、2005/09
- 36) 津田尚胤、貝戸清之、山本浩司、小林潔司：ワイブル劣化ハザードモデルのベイズ推計
法、土木学会誌、Vol.62、No.3、pp.473-491、2006/07
- 37) 石川高輝：海外におけるアセットマネジメント、下水道協会誌、Vol.45、No.547、pp.35-38、
2008/05
- 38) 水谷哲也：オーストラリアにおけるアセットマネジメントの調査報告（第一部）、下水
道協会誌、Vol.44、No.534、pp.56-61、2007/04
- 39) 土木学会コンクリート委員会化学的侵食・溶脱研究小委員会（323委員会）：コンクリー
トの化学的侵食・溶脱に関する研究の現状、pp.76-77、2003/06
- 40) 森田弘昭、森一夫、越智孝敏、行方馨：下水管渠における硫化物の挙動再現に関する
WATS モデルの適用性について、下水道協会誌、Vol.41、No.497、pp.73-85、2004/03
- 41) 越智孝敏、吉田綾子、森一夫、森田弘昭、行方馨：下水管渠における硫化物酸化に関す
る研究、下水道協会誌、Vol.41、No.506、pp.129-140、2004/12
- 42) 越智孝敏、森田弘昭、吉田綾子：下水管渠段差部での硫化水素放散および再曝気に関す
る研究、下水道協会誌、Vol.42、No.517、pp.128-138、2005/11
- 43) 望月茂：静岡市の下水道再構築事業におけるアセットマネジメント手法の導入、地質と
調査、No.1、pp.25-29、2008/03
- 44) 日本下水道事業団：アセットマネジメント手法導入検討委員会最終報告書、2007/03

- 45) 日本下水道事業団ホームページ：
<http://www.jswa.go.jp/oshirase/kisyahapyo/h19/200212kisyas.pdf>
- 46) 藤澤寿則、大杉朗隆、山口波奈江：大阪市における管渠再構築事業の効率的実施手法の検討、日本下水道新聞、pp.2-3、2007/01/01
- 47) 行方馨・藤生和也・森田弘昭・吉田綾子・高橋正宏：下水道管渠の布設及び改修状況に関する実態調査、下水道協会誌、Vol.42、No.518、pp.115-125、2005
- 48) 藤生和也、宮内千里：統計的手法による下水管渠の耐用年数確率分布推定及び将来改築必要量予測、土木学会、建設マネジメント論文集、Vol.14、pp.65-72、2007/11
- 49) Breysse Denys, Vasconcelos Elisio, Le Gauffre Pascal：Decision making in sewer maintenance strategies:simulation as a practical tool、International Forum on Engineering Decision Making (IFED) ホームページ、First Forum(2004/12)
http://www.ifed.ethz.ch/events/Forum04/Breysse_paper.pdf
- 50) 神山守：ライフサイクルコスト分析に基づく計画的な再構築、月刊下水道、Vol.21、No.3、pp.26-28、1998/03
- 51) 大川昌俊：川崎市の改築・更新計画、月刊下水道、Vol.21、No.3、pp.29-33、1998/03
- 52) 渡辺尚之、鈴木秀男、山内智：京都市における LCC を考慮した改築・更新事業について、月刊下水道、Vol.21、No.3、pp.43-47、1998/03
- 53) 伊澤眞昭：トータルコストを考え、改築更新は計画的に、月刊下水道、Vol.21、No.3、pp.55-58、1998/03
- 54) (社)日本下水道協会：下水道事業における費用効果分析マニュアル(案)、pp.29-31,70-72、2006/11
- 55) 堀倫裕、小濱健吾、貝戸清之、小林潔司：下水処理施設の最適点検・補修モデル、第36回土木計画学研究講演集、土木学会、IV-10、2007/11、
http://psa2.kuciv.kyoto-u.ac.jp/joomlaJP/images/stories/users/obama/papers/sewage_system.pdf
- 56) 中根進：テレビカメラ調査診断結果による下水管きよの劣化予測、下水道協会誌、Vol.44、No.539、2007/09
- 57) 藤生和也、岩元誠：割引率を用いた下水管渠に係る耐用年数と許容コストの関係の考察、下水道協会誌 Vol.44、No.542、pp.115-123、2007/12
- 58) 藤生和也：下水道現場コンクリートの硫化水素腐食に対する耐用年数、下水道協会誌 Vol.45、No.547、pp.104-113、2008/05
- 59) 藤生和也：下水道事業においてストックが財務に与える影響度の指標、下水道協会誌 Vol.45、No.549、pp.92-98、2008/07
- 60) 松宮洋介、福田康雄、西村秀士：管渠の劣化曲線に関する調査、第45回下水道研究発表会、I-10-7、2008/07
- 61) 福田康雄、松宮洋介、榊原隆：下水道管きよ施設に起因する道路陥没の特性に関する調査、第45回下水道研究発表会、I-10-8、2008/07