

土木構造物の PDCA 型アセットマネジメント手法の開発

成和コンサルタント株式会社 正会員 ○ 鶴田 知己
大成建設株式会社 正会員 堀 倫裕

1. はじめに

近年、土木構造物の維持管理において、アセットマネジメントの導入が急速に進展しつつある。今後、アセットマネジメントの浸透・定着に伴い、単なるアセットマネジメントの導入にとどまらず、PDCA マネジメントサイクルに則った継続的なアセットマネジメントへの移行が求められる。

実際の維持管理における PDCA サイクルは、長期・中期・短期といった複数の計画レベルで構成される階層構造をなしている。そして、アセットマネジメント上の主要な検討課題は、長期的な政策検討レベルから、短期的な実施計画立案レベルまで、階層ごとに異なる。さらに、必要とされる検討手法も、長期的・マクロ的な確率論的検討から、短期的・ミクロ的な確定論的検討まで、階層ごとに異質なものとなっている。したがって、PDCA サイクルに則った持続的なアセットマネジメントを実現するためには、計画問題と検討手法が異なる各階層を整合的・包括的に取り扱うことができるアセットマネジメント手法が必要である。

以上のような問題意識の下、本稿では、長期・中期・短期レベルからなる階層的な PDCA サイクルを持続的かつ整合的に廻していくためのアセットマネジメント手法（PDCA 型 AM 手法）を提案する。さらにケーススタディでは、長期レベルから短期レベルへと至る一連の検討結果の概要と、短期レベルにおける検討結果の詳細を提示し、その適用性と有用性を示す。

2. 本手法の概要

2.1 本手法のねらい

土木構造物の維持管理における PDCA サイクルは、図-1 に示すように、複数階層からなる入れ子構造としてモデル化できる。同図は、AM 問題の検討ステージを、長期（戦略）レベル、中期（戦術）レベル、短期（実施計画）レベルの3レベルに分類して整理したものである。

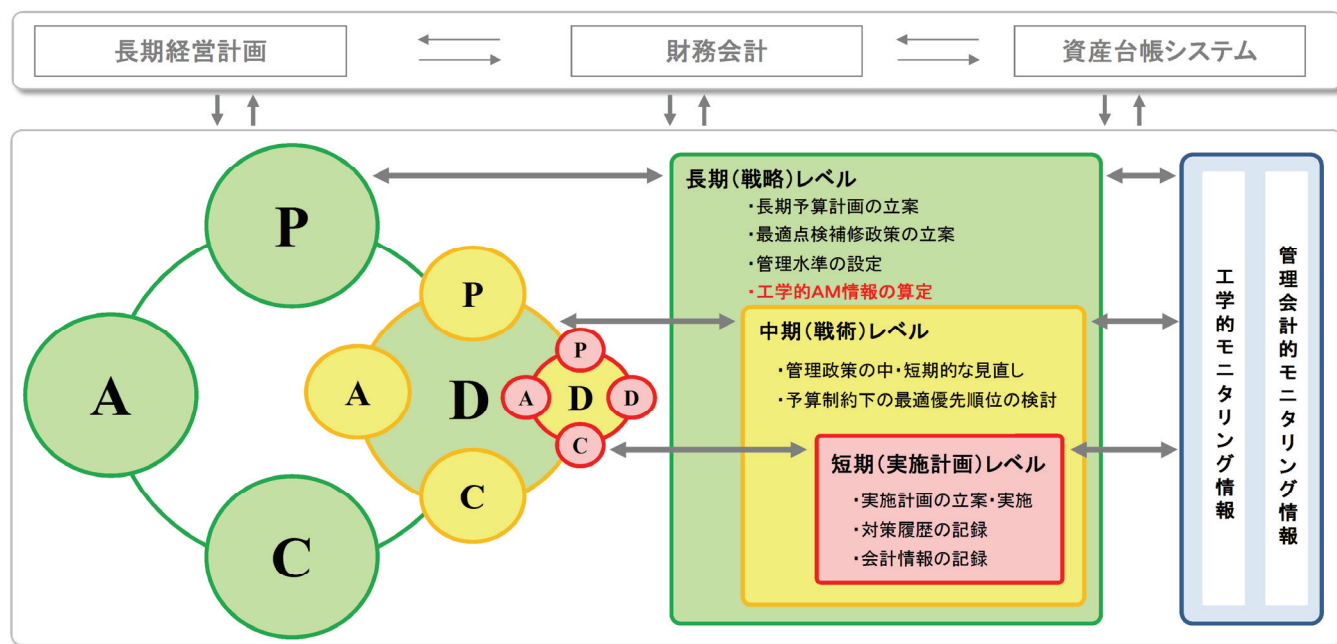


図-1 PDCA 型 AM の概念

キーワード アセットマネジメント、PDCA サイクル、ライフサイクルコスト評価、長寿命化

連絡先 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-18-23 スカイエスタ4F 成和コンサルタント(株) TEL 03-5285-4051

このように、現実のPDCAサイクルは、複雑な階層構造を有するとともに、検討すべきAM問題の特性も階層ごとに異なる。たとえば、長期レベルでは、大量の構造物を対象としたマクロで期待値的な検討（確率論的検討）が求められる一方、短期レベルでは、特定の構造物を対象としたミクロで物的な検討（確定論的検討）が求められる。したがって、PDCAサイクルに対応したAM手法を構築するにあたっては、計画レベルの階層性及び計画レベル間の検討の異質性を包含できる手法が必要である。

従来、AM検討は、時間軸に沿って状態の変化やコストの発生を追跡する時系列シミュレーション手法により実施されるのが一般的である。しかしながら、上記のような階層構造を有する現実のPDCAサイクルを前提とした場合、時系列シミュレーション手法では、長期にわたって継続的に、かつ各階層をまたいで整合的にAM検討を実施していくことは困難である。たとえば、中期レベルにおける予算制約額の変更に伴う長期計画の修正・変更、短期レベルにおける物的な補修計画策定に伴う補修対象および工事費の修正など、通常起こりうる計画変更に対して、再度の長期シミュレーションを行うことなくその影響を再評価することは困難である。また、計画変更の結果を上位計画にフィードバックしたり、各階層をまたいで利用可能なモニタリング情報（資産価額の変動、予算の執行状況、等に関する情報）を提供したりすることも困難である。

そこで本稿では、上記のような階層的なPDCAサイクルの存在を前提として、維持管理のPDCAサイクルを継続的・整合的に廻していくためのPDCA型AM手法を提案する。本手法は、数学的な定常解の解析をベースとして、これに時系列シミュレーション手法をサブシステムとして組み込むことにより、複数階層にわたる複雑なAM問題を包括的に扱おうとするものである。

2.2 本手法の検討フロー

長期から短期に至る一連の検討フローを図-2に示す。

各レベルにおける検討内容を簡単に示すと、次のとおりである。まず、長期（戦略）レベルでは、長期経営計画・財務会計・資産台帳システム等といった基本情報に基づき、各構造物の最適点検・補修政策を立案し、目標となる管理水準を設定して、長期予算計画を立案する。中期（戦術）レベルでは、上位計画である長期レベルの検討結果を受けて、中期的予算見通し等に基づいて、予算制約下の最適優先順位の検討を実施し、必要に応じて管理政策の見直しを行って、中期計画として取りまとめる。短期（実施計画）レベルでは、上位計画である中期計画の策定結果を受けて、現実の補修箇所等を物的に特定して工事単位にまとめた実施計画を立案し、補修工事を実施する。さらに、工事記録を対策履歴として記録するとともに、支出等を会計情報として記録する。

本手法では、まず、長期レベルにおいて、数学的な定常解の解析手法に基づく平均費用法を用いて長期予算計画や最適点検・補修政策を立案するとともに、工学的AM情報を算定する。工学的AM情報には、定常管理状態において1年間に要する維持管理費用（年平均費用）と、健全度の変動がライフサイクルコスト（以下、LCC）に及ぼす影響に関する情報（相対費用）が含まれている。そして、以降の中期・短期レベルでは、この工学的AM情報を一貫して用いることにより、各レベルにおける変更計画代替案の評価を行うとともに、計画変更によって生じる影響（資産健全度や管理会計情報の変化等）をモニタリング情報に逐次フィードバックする。本手法は、以上のような仕組みを通じて、継続的かつ整合的なPDCA型AMの実現を支援するものである。本手法の基本的な考え方や工学的AM情報等の用語の定義については、参考文献1)を参照されたい。

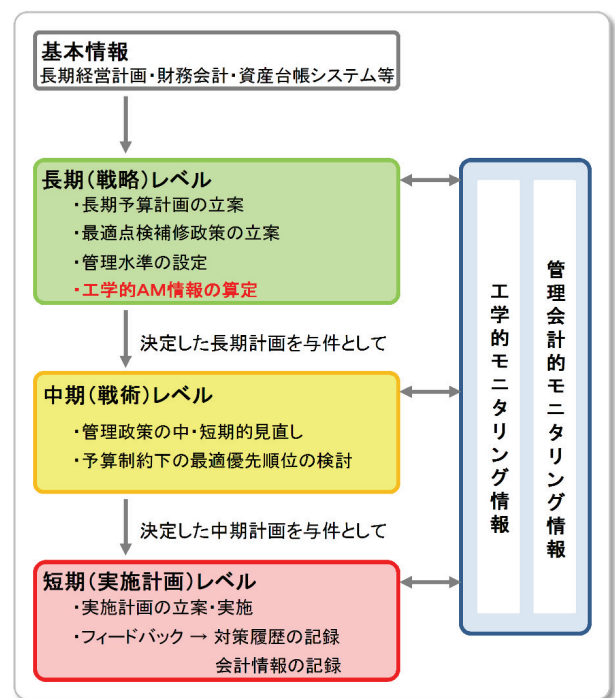


図-2 検討フロー

3. ケーススタディ

3.1 ケーススタディの概要

本ケーススタディでは、検討の見通しを良くするため、橋梁5橋からなる小規模な資産群を対象とした。各橋梁は、床板・主桁・支承・橋台・橋脚といった部材で構成されており、対象部材数は合計23個である。長期・中期・短期レベルの計画期間は、それぞれ30年、15年、5年と設定した。

本稿では、長期・中期・短期とつながる具体的なAM検討事例として、特に実施計画の立案を行う短期レベル検討の手順・結果等について詳述することとし、長・中期レベル検討については、短期レベル検討の与件となる事項のみを記載するととどめる。長・中期レベル検討についての詳細は、参考文献1)を参照されたい。

3.2 長・中期レベル検討

長期レベル検討は、平均費用法を用いて、長期予算計画や最適点検・補修政策を立案するとともに、工学的AM情報を算定するステージである。

本ケーススタディでは、劣化・補修過程を確率論的モデルである斉次マルコフモデルで記述した。同モデルによる状態遷移図の一例を図-3に示す。一方、点検・補修代替案については、点検・補修周期を1~20年間隔の20ケースとし、補修対策代替案としては表-1に示すような4種（○印が補修対象ランクを示す）を想定して、計80ケースの組合せの中で最適点検・補修政策を探索した。

平均費用法を適用して算定した短期レベル検討の与件となる部材毎の最適点検・補修政策と工学的AM情報の一覧を表-2に示す。表中の「平均費用」は、定常管理状態における最適点検・補修戦略下での年平均点検・補修費用を、「相対費用」は、最適点検・補修戦略下で各健全度から定常管理状態に至るまでに追加が必要となるLCC増分を示している。この2つの工学的AM情報は、長期レベルの後続検討および中・短期レベル検討において、健全度分布の変化量からLCCの変動を求める際の原単位として用いられ、各レベルにおけるAM検討の高速化と、検討レベルを跨いだ情報の整合性確保に寄与することになる。

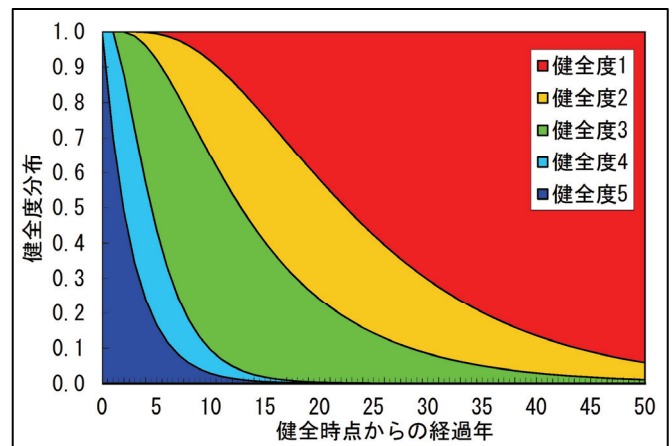


図-3 劣化予測モデルの例

表-1 補修代替案

補修対策	健全度1	健全度2	健全度3	健全度4
補修対策1	○			
補修対策2	○	○		
補修対策3	○	○	○	
補修対策4	○	○	○	○

表-2 最適点検・補修政策と工学的AM情報

橋梁	部材	最適点検・補修政策		工学的AM情報					
		点検・補修 間隔	補修対策	平均費用	相対費用 (健全度5を基準にした値)				
					健全度5	健全度4	健全度3	健全度2	健全度1
橋梁 1	部材A 床版	1期 5年	補修対策3	421	0	1,288	6,969	26,772	38,896
	部材B 桁	1期 4年	補修対策3	484	0	1,350	8,506	23,907	39,063
	部材C 支承	1期 20年	補修対策1	637	0	5,757	7,441	8,133	8,270
	部材D 橋台	1期 10年	補修対策4	293	0	2,983	9,796	15,921	38,074
	部材E 橋脚	1期 7年	補修対策3	369	0	1,387	6,424	12,576	38,415
橋梁 2	部材A 床版	1期 5年	補修対策3	544	0	2,014	10,784	40,584	58,279
	部材B 桁	1期 4年	補修対策3	622	0	2,151	13,292	36,394	58,512
	部材C 支承	1期 20年	補修対策1	637	0	5,757	7,441	8,133	8,270
	部材D 橋台	1期 9年	補修対策4	402	0	4,280	14,096	23,347	57,381
	部材E 橋脚	1期 6年	補修対策3	509	0	1,999	9,111	18,253	57,948
橋梁 3	部材A 床版	1期 9年	補修対策4	295	0	1,516	6,735	15,928	18,344
	部材B 桁	1期 8年	補修対策4	332	0	1,966	9,249	15,323	18,343
	部材C 支承	1期 20年	補修対策1	637	0	5,757	7,441	8,133	8,270
	部材D 橋台	1期 13年	補修対策4	205	0	2,227	6,340	9,101	18,341
	部材E 橋脚	1期 12年	補修対策4	260	0	1,374	5,311	8,154	17,881
橋梁 4	部材A 床版	1期 4年	補修対策3	736	0	2,720	13,929	53,482	78,058
	部材B 桁	1期 3年	補修対策3	859	0	2,896	16,881	47,703	78,423
	部材C 支承	1期 20年	補修対策1	637	0	5,757	7,441	8,133	8,270
	部材D 橋台	1期 6年	補修対策4	581	0	5,834	19,966	33,409	77,515
	部材E 橋脚	1期 2年	補修対策2	1,211	0	2,319	4,309	20,259	78,579
橋梁 5	部材B 桁	1期 2年	補修対策2	1,211	0	2,319	4,309	20,259	78,579
	部材C 支承	1期 20年	補修対策1	637	0	5,757	7,441	8,133	8,270
	部材D 橋台	1期 8年	補修対策4	535	0	5,375	16,927	28,957	76,723
	部材E 橋脚	1期 8年	補修対策4	535	0	5,375	16,927	28,957	76,723
	部材A 床版	1期 2年	補修対策2	1,211	0	2,319	4,309	20,259	78,579

表中費用の単位は 千円

つづく中期レベル検討は、上位計画である長期計画を受けて、予算や管理政策の中期的な見直しを行って、実行可能な中期計画を取りまとめるステージである。

本ケーススタディでは、上記の長期レベルの検討結果を与件とし、中期レベルで予算制約額が変更された場合を想定して、当該予算制約下での最適優先順位検討を行い、中期計画を更新した。中期レベルの検討結果のうち、短期レベル検討の与件となる中期計画の内容を、次章表-3 中に「短期計画原案」として示す。

3.3 短期レベル検討

3.3.1 対象とする AM 問題

AM 問題の検討ステージにおける短期レベルは、中期までの検討結果を受けて、現実の補修箇所等を物的に特定し、さらにこれを工事単位にまとめて、各年度の実施計画を立案・評価するステージである。

長・中期計画は、劣化過程の不確実性を考慮しつつ、大量の構造物を扱うために、確率論的手法に基づくマクロな検討により作成した。得られた計画情報（最適点検・補修政策等）は、合理的な短期レベルの実施計画の立案においてきわめて有用ではあるが、実施計画の立案作業では、各年度に実施する補修工事の対象部材を物的に特定した確定論的検討が求められる。また、実施計画では、単年度予算の平準化と補修時期の同期化等といった相反する事項を同時に考慮する必要もある。そのため、実施計画の立案は、補修工事内容や費用に精通した施設管理技術者の総合的な判断によらざるを得ない。そこで、短期レベル検討では、施設管理技術者の総合的な判断を支援する基礎情報を提供するとともに、施設管理技術者が作成した短期計画代替案を長期 LCC の観点から評価し、より合理的な実施計画を立案するための支援情報を提供することが求められる。

本ケーススタディでは、短期レベルの代表的な AM 問題として、長期レベルで得られた工学的 AM 情報、最適点検・補修政策と、中期レベルで得られた中期計画を与件とする、「単年度予算の平準化と補修時期の同期化を考慮した実施計画代替案の評価」を取り上げる。

3.3.2 検討手順

短期レベル検討の手順を図-4 に示す。

まず、中期計画から得られた直近 5 年の補修計画を短期計画原案として、単年度予算の平準化を勘案しつつ、部材群の補修時期を同期化した実施計画代替案（短期計画代替案）を立案する。次に、立案した短期計画代替案毎の計画期間内の状態変化と点検・補修費用を、時系列シミュレーション手法により算定する。さらに、計画期間末時点の状態分布についての相対費用を、長期レベル検討で得られた工学的 AM 情報を用いて算出する。最後に、短期計画代替案を短期計画原案からの LCC 増分（LCC 変動）によって評価する。

3.3.3 短期計画の立案と比較結果

短期計画原案と原案に修正を加えて立案した 2 つの短期計画代替案を表-3 に示す。表中、左欄（短期計画原案）

は中期計画で得られた直近 5 年間の補修実施時期を示している。本ケーススタディは、現時点ですでに劣化が進行している橋梁群を対象としたものである。そのため、短期計画期間 1 年次に数多くの補修候補が立っている。その一方で 4 年次には補修候補がなく、補修費用の平準化が望ましいと考えられる。そこで、単年度予算の平準化と補修時期同期化を考慮し代替案を作成した。中央欄（短期計画代替案 1）は、橋梁単位での補修時期の同期化を図った中期計画の短期的修正案である。また右欄（短期計画代替案 2）は、橋梁部材を上部工と下部工とに分けて補修時期の同期化を図った中期計画の短期的修正案である。表には補修対策とその費用を示している。矢印始端が原案における補修予定時期を、矢印終端が計画修正後の補修実施時期を表している。

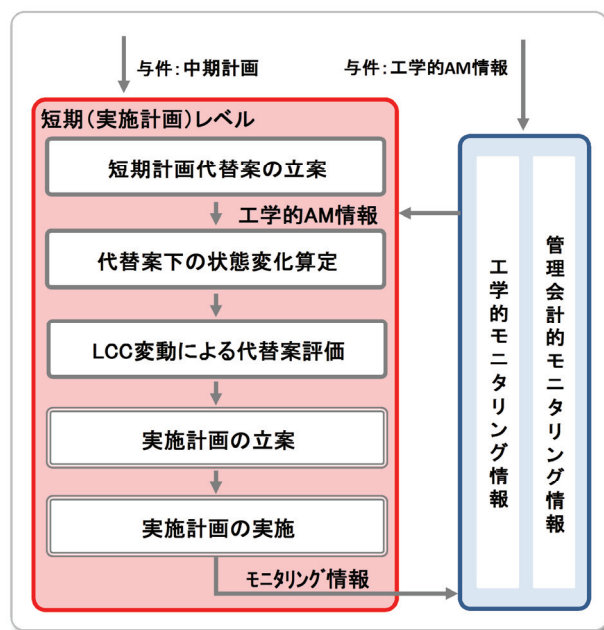


図-4 短期レベル検討の手順

表-3 短期計画代替案

[illegible]

表中費用の単位は 千円

算定した原案と2つの代替案のLCC評価情報を表-4、図-5に示す。図表中の「補修費用」は、時系列シミュレーション手法により算定した期間内の補修費用合計である。「相対費用」は、期間末時点から定常管理状態に至るまでに年平均費用に追加で必要となる累積補修費用である。代替案1・2ともに原案と比較して期間内の補修費用が増加しているのが分かる。一方、相対費用は原案を下回っており、期間末ではより定常管理状態に近づくことができていることを示している。

「LCC 変動」は、短期レベルの計画変更により原案に対して追加で必要となる LCC 増分である。表-4 より、本ケーススタディでは、短期レベルにおける諸条件を加味した実行可能な短期計画案として、LCC 変動がより小さい短期計画代替案 2 が採択されることになる。

表-4 LCC 評価情報

	補修費用 (千円)	相対費用 (千円)	合計 (千円)	LCC変動 (千円)
短期計画原案	161,358	45,364	206,722	—
短期計画代替案 1	182,281	40,351	222,633	15,910
短期計画代替案 2	172,883	39,168	212,051	5,329

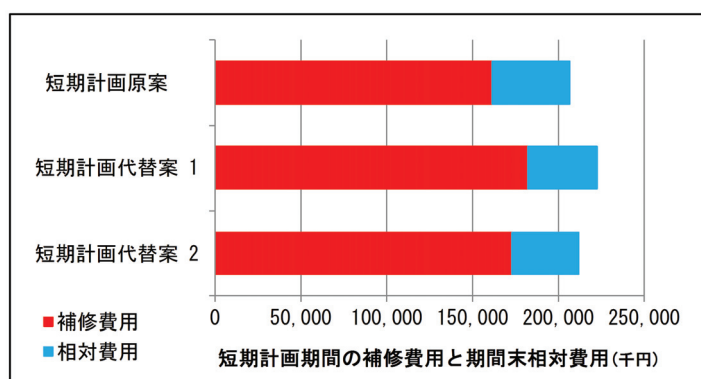


図-5 LCC 評価情報

各代替案の LCC 変動が正であることは、短期レベルでの補修の平準化・同期化修正により、中期レベルで得られた理論上の最適補修実施時期からの‘ずれ’が生じ、コスト増加が発生していることを示している。また、代替案 2 案を比較すると、上部工・下部工を分離して補修時期の同期化を図った代替案 2 が有利となっている。これは、代替案 2 の方が、最適補修時期からの‘ずれ’が小さい変更計画になっていることに起因する。

なお、本事例では、補修工事費用として直接工事費のみを取り扱っているため、補修時期の同期化による間接工事費の縮減効果等は考慮されていない。実際の計画にあたっては、長期レベルの検討で間接工事費を事前に考慮するとともに、補修工事費をより詳細に見積ることにより、各レベル間の費用の整合性を高めるとともに、同期化による費用縮減効果を考慮することが可能になる。

以上のような短期レベル検討手法は、近年の補助制度の創設により計画策定の緊急性が高まっている橋梁や下水道施設に関する長寿命化計画立案の際にも極めて有用である。短期計画の立案においては、施設管理技術者の総合判断を踏まえて作成された実施計画案を、試行錯誤を通じて改善・合理化していくツールが求められるからである。本手法を用いれば、中・長期的最適政策と整合的な実施計画代替案（複数の長寿命化計画案）を容易に立案することができる。さらに、工学的 AM 情報を用いることで、新たな長期シミュレーションを経ることなく、実施計画代替案の LCC 評価を実施して最適な長寿命化計画案を立案するとともに、事後保全政策に対する LCC 削減効果を定量的かつ容易に算定することが可能である。

また、短期レベルにおける計画変更および各年度の工事実施による実績データは、工学的 AM 情報を媒介として、上位計画や実施状況のモニタリング情報にフィードバックし、次の検討サイクルに反映することが可能である。

4. おわりに

本稿では、長期・中期・短期レベルからなる階層的な PDCA サイクルを持続的かつ整合的に廻していくための PDCA 型 AM 手法を提案した。

本手法では、数学的な定常解の解析により得られた工学的 AM 情報を媒介として各階層をつなぐことで、各レベルにおける様々な AM 問題に対する意思決定支援情報を整合的かつ簡便に提供するとともに、計画策定結果を直ちに他の計画階層やモニタリング情報にフィードバックすることができる。これにより、多階層にわたる複雑な AM 問題を包括的に取り扱うことが可能となる。

今後、実務への適用を通じて、より実効性の高い AM 支援システムを構築するとともに、より大規模かつ包括的な AM 問題の検討に本手法を適用していく予定である。また、補助制度の創設により計画策定の緊急性が高まっている長寿命化修繕計画の策定においても、本手法を有効に活用していきたいと考える。

参考文献

- 1) 堀倫裕，鶴田知己：土木構造物の PDCA 型アセットマネジメント手法の開発，大成建設技術センター報 No. 44，pp. 44-1～8，2011.
- 2) 堀倫裕，畑明仁：リスクを考慮したアセットマネジメント支援システムの開発，大成建設技術センター報 No. 43，pp. 47-1～8，2010.
- 3) 小林潔司，2005，分権的ライフサイクル費用評価と集計的効率性，土木学会論文集，No. 793/IV-68，pp. 59-71.
- 4) 津田尚胤，貝戸清之，青木一也，小林潔司，2005，橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推計，土木学会論文集，No. 801/I-73，pp. 69-82.
- 5) 堀倫裕，小濱健吾，貝戸清之，小林潔司：下水道施設の最適点検・補修モデル，土木計画学研究・論文集，Vol. 25，No. 1，pp. 213-224，2008.
- 6) 堀倫裕，鶴田岳志，貝戸清之，小林潔司，2011，下水処理施設の維持管理会計システム，土木学会論文集 F 4（建設マネジメント），Vol. 67，No. 1，pp. 33-52.
- 7) 鶴田知己，堀倫裕，2012，長期維持管理政策と整合的な中期点検・補修政策の立案手法，土木学会第 67 回年次学術講演会 VI-136
- 8) 鶴田知己，堀倫裕，2011，中長期的な維持管理戦略との整合性を考慮した長寿命化計画の立案手法，土木学会第 66 回年次学術講演会 VI