

インフラ運営等に係る民間提案型「官民連携モデリング」業務

(その4:ファイナンスや予算の最適配分等スキーム)

報 告 書

令和6年3月

国土交通省総合政策局

三井住友信託銀行株式会社

株式会社三井住友トラスト基礎研究所

目 次

第1章 本業務の概要	1
1-1. 業務の目的	1
1-2. 受託者が事業スキームの発案に至った経緯・課題	1
1-2-1. 地方公共団体が抱えている課題	1
1-2-2. 橋梁維持管理の技術的な課題	3
1-2-3. 事業スキームの発案経緯と本業務の対象範囲	5
1-2-4. 本スキームの意義・効果	6
1-3. 実施体制	6
1-3-1. 調査チーム	6
1-3-2. フィールド提供地方公共団体	7
第2章 橋梁の点検・維持修繕の実績	9
2-1. フィールド提供地方公共団体の既存橋梁	9
2-1-1. 浜松市の既存橋梁	9
2-1-2. 熊本市の既存橋梁	12
2-2. 維持・修繕工事の実施実績	14
2-2-1. 浜松市の維持・修繕工事の実施実績	15
2-2-2. 熊本市の維持・修繕工事の実施実績	22
2-3. 修繕実績分析のまとめと費用抑制効果が見込まれる修繕	27
第3章 鋼橋に対する検討	29
3-1. 鋼橋劣化メカニズムの整理と予防保全の定義	29
3-1-1. 劣化メカニズム（変状連鎖）を整理する必要性	29
3-1-2. 塗膜劣化要因の整理	29
3-1-3. 変状連鎖図による劣化メカニズムの整理と予防保全の方針	31
3-1-4. 点検・修繕記録による鋼橋変状の検証	34
3-2. 鋼橋修繕工事の費用分析	37
3-2-1. 工事の費用構造	38
3-2-2. 鋼橋の直接工事費の内訳	39
3-3. 鋼橋における財務的予防保全効果の試算	45
3-3-1. 財務的予防保全効果の定義と評価の考え方	45
3-3-2. 鋼橋における財務的予防保全効果の試算	48
第4章 橋梁への予防保全導入の現状と課題	57
4-1. 地方公共団体における橋梁維持管理の実施状況	57
4-1-1. 浜松市における橋梁維持管理の実施状況	57
4-1-2. 熊本市における橋梁維持管理の実施状況	60

4-2. 橋梁維持管理に関する既存制度	61
4-2-1. 道路法の改正	61
4-2-2. インフラ長寿命化計画	62
4-2-3. 道路メンテナンス事業補助制度	62
4-2-4. 地方債	63
4-3. 橋梁維持管理における既存の官民連携手法	65
4-3-1. 仕様規定と性能規定	65
4-3-2. インフラの PPP 事業方式	66
4-3-3. PPP 事業方式とファイナンスの関係	67
4-4. 橋梁維持管理実施体制	67
4-5. 橋梁への予防保全導入にかかる課題	68
第5章 予防保全ファイナンススキームの検討	70
5-1. スキームに求められる要件	70
5-2. 予防保全ファイナンススキーム案の概要	70
5-3. スキーム案①の検討	72
5-3-1. スキーム案①の特徴	72
5-3-2. スキーム案①の業務概要	73
5-3-3. 本スキーム案のファイナンス・契約	74
5-3-4. 財務的予防保全効果の適用法	76
5-4. スキーム案②の検討	76
5-4-1. スキーム案②の特徴	76
5-4-2. スキーム案②の業務概要	77
5-4-3. ファイナンス・契約	79
5-4-4. 財務的予防保全効果の適用法	81
5-5. 2つのスキームの比較	81
5-5-1. 予防保全にかかる課題への対応	81
5-5-2. メリット・デメリットの整理	82
5-5-3. 包括的民間委託とスキーム案②の関係性	83
第6章 今後の進め方	85
6-1. 実施ステップ	85
6-2. 課題・検討事項	86

附属資料：スキーム案①・②の概要

図

図 1：建設年度別橋梁数	2
図 2：首都圏近郊の経常収支	2
図 3：施設による補修・修繕頻度の違いのイメージ	4
図 4：本業務の対象範囲	5
図 5：想定される効果	6
図 6：調査チーム体制	7
図 7：浜松市管理道路橋の高齢化の推移	9
図 8：浜松市建設年度別の橋梁数	10
図 9：浜松市上部工材料別橋梁数	10
図 10：浜松市構造形式別橋梁数	10
図 11：浜松市上部工使用材料別の道路橋数・延長比率	11
図 12：浜松市構造形式別の道路橋数・延長比率	11
図 13：熊本市管理道路橋の高齢化の推移	12
図 14：熊本市建設年度別の橋梁数	12
図 15：熊本市上部工材料別橋梁数	13
図 16：熊本市構造形式別橋梁数	13
図 17：熊本市上部工使用材料別の道路橋数・延長比率	14
図 18：熊本市構造形式別の道路橋数・延長比率	14
図 19：健全度別の修繕橋梁数	15
図 20：材料別の修繕橋梁数	15
図 21：建設年度別の修繕橋梁数	16
図 22：構造形式別の修繕橋梁数	16
図 23：橋長別の修繕橋梁数（10m 毎の集計）	17
図 24：30m 以上の橋長別の修繕橋梁数	17
図 25：材料別の橋梁修繕費用	18
図 26：建設年度別の橋梁修繕費用	18
図 27：橋長別の橋梁修繕費用	19
図 28：代表工種別の修繕費用（単位：千円）	20
図 29：代表工種の修繕費用と修繕件数の関係性	20
図 30：浜松市の修繕橋梁のマッピング	21
図 31：熊本市の修繕費用データ作成手順	22
図 32：材料別の修繕橋梁数	23
図 33：建設年度別の修繕橋梁数	23
図 34：橋長別の修繕橋梁数	24

図 35：材料別の橋梁修繕費用	25
図 36：建設年度別の橋梁修繕費用	25
図 37：橋長別の橋梁修繕費用	26
図 38：熊本市の修繕橋梁のマッピング	27
図 39：屋外暴露による塗膜劣化の概念図	30
図 40：腐食が生じやすい部位	30
図 41：鋼橋の塗膜に生じる腐食の事例	31
図 42：塗装に着目した変状連鎖図	32
図 43：事後保全と予防保全の関係性（イメージ）	33
図 44：請負工事費の内訳	38
図 45：請負工事費に対する直接工事費の割合	39
図 46：浜松市 26 橋梁の部位別健全度	40
図 47：橋梁別・部位別の健全度	41
図 48：浜松市鋼橋 26 橋の直接工事費の内訳	43
図 49：浜松市橋梁別の鋼橋直接工事費内訳	43
図 50：熊本市鋼橋 8 橋の直接工事費の内訳	44
図 51：熊本市橋梁別の鋼橋直接工事費内訳	45
図 52：日本 10 年物国債の利回り推移	49
図 53：財務的予防保全効果試算のイメージ	51
図 54：延期期間を変化させた時の財務的予防保全効果への影響	52
図 55：修繕費用少・予防保全費用増パターン	53
図 56：長い・短い橋梁パターン	53
図 57：ライフサイクルコストを念頭においた予防保全効果イメージ	56
図 58：浜松市における橋梁の建設年別分布	58
図 59：浜松市の橋梁長寿命化計画内容	59
図 60：熊本市における橋梁の建設後経過年数別分布	60
図 61：インフラ長寿命化基本計画（ロードマップ）	62
図 62：地方公共団体が 2022 年度に実施した橋梁の修繕における充当予算の状況	63
図 63：性能規定化の効果イメージ	66
図 64：地方公共団体の技術系職員数	68
図 65：スキーム案①のイメージ	71
図 66：スキーム案②のイメージ	71
図 67：スキーム案①の想定実施フロー	73
図 68：スキーム案①の対象橋梁イメージ	74
図 69：スキーム案②の想定実施フロー	78
図 70：スキーム案②の対象橋梁イメージ	79

図 71：包括的民間委託とは.....	84
図 72：今後の実施ステップ.....	86

表

表 1：フィールド提供地方公共団体の概要.....	8
表 2：浜松市と熊本市の修繕分析比較まとめ.....	28
表 3：塗膜劣化を中心とした予防保全・事後保全の関係性.....	34
表 4：浜松市における 30m 超鋼橋の主な損傷タイプ.....	36
表 5：塗装塗替工・補強工・支承工の実施状況.....	37
表 6：直接仮設費と共通仮設費.....	38
表 7：直接工事費の集計工種分類.....	41
表 8：予防保全の効果.....	46
表 9：予防保全による損傷の延期と回避の定義.....	47
表 10：効果算出の前提.....	47
表 11：財務的予防保全効果に影響する要素.....	48
表 12：試算する排水施設工実施による財務的予防保全効果のシナリオ.....	49
表 13：浜松市が管理する橋梁の健全性分布.....	58
表 14：浜松市の健全度別修繕実施率.....	59
表 15：熊本市の 1 巡目点検に対する健全度別修繕計画率.....	61
表 16：地方債の資金別の分類.....	64
表 17：地方債の適用事業.....	65
表 18：インフラ整備の主な PPP 事業方式.....	66
表 19：主な事業方式と一般的な資金調達手法.....	67
表 20：予防保全導入にかかる課題と解決の方向性.....	70
表 21：予防保全ファイナンススキーム案の概要.....	71
表 22：スキーム案②の橋梁点検後の分類.....	78
表 23：予防保全にかかる課題への対応.....	81
表 24：2つのスキーム案のメリット・デメリット.....	83
表 25：主な課題・検討事項.....	87

略語集

BOO	Build Own Operate	建設・所有・運営
BOT	Build Operate Transfer	建設・運営・移管
DBO	Design Build Operate	設計・建設・運営
IRI	International Roughness Index	国際ラフネス指数
LCC	Life Cycle Cost	ライフサイクルコスト
MCI	Maintenance Control Index	舗装の維持管理指数
SMTB	Sumitomo Mitsui Trust Bank	三井住友信託銀行
SMTRI	Sumitomo Mitsui Trust Research Institute	三井住友トラスト基礎研究所
PC	Prestressed Concrete	プレストレストコンクリート
PCB	Polychlorinated Biphenyls	ポリ塩化ビフェニル
PPP	Public Private Partnership	官民連携パートナーシップ
PFI	Private Finance Initiative	プライベート・ファイナンス・イニシアティブ
PV	Present Value	現在価値
RC	Reinforced Concrete	鉄筋コンクリート
RESAS	Regional Economy Society Analyzing System	地域経済分析システム
YCC	Yield Curve Control	イールドカーブコントロール

第1章 本業務の概要

1-1. 業務の目的

国土交通省では、経済財政運営と改革の基本方針2022（令和4年6月7日閣議決定）、新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画・フォローアップ（令和4年6月7日閣議決定）、PPP／PFI推進アクションプラン（令和4年改定版）（令和4年6月3日民間資金等活用事業推進会議決定）等に基づき、PPP／PFIを推進している。

PPP／PFI推進アクションプラン（令和4年改定版）では、「インフラの老朽化に加え、地方公共団体職員の不足に対応しつつ、効率的かつ良好な公共サービスの提供を実現するため、キャッシュフローを生み出しにくいインフラ（道路や学校等の公共建築物等）についても積極的にPPP／PFIを導入していく必要がある。」とされている一方、その導入事例はまだ少ない。

こうした状況を踏まえ、従来から公共が担っている利用料金を徴収しないインフラに関し、民間のノウハウ、新技術の活用や業務のデジタル化等を通じ、包括的・広域的・長期的に業務を実施することにより、より効率的・効果的なインフラ運営を進める事業スキームについて導入検討を実施し、導入による課題や効果を明らかにすることを目的とする。

本業務においては、従来より公共が担っている利用料金を徴収しないインフラ（道路、橋梁、河川、公園等）に関して、予防保全型メンテナンスへの早期転換を促す効果的なファイナンスや予算の最適配分など自治体のインフラメンテナンスによるライフサイクルコストを軽減するスキームについて、1以上の自治体に導入検討を実施し、導入による課題や効果を明らかにすることとする。

1-2. 受託者が事業スキームの発案に至った経緯・課題

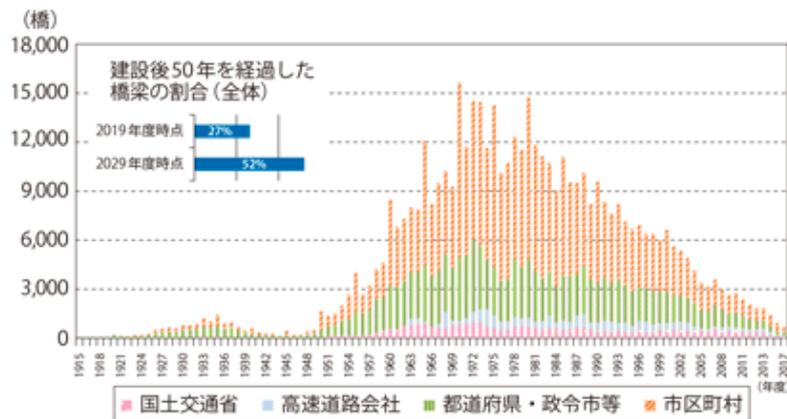
1-2-1. 地方公共団体が抱えている課題

橋梁の維持管理において、地方公共団体が抱えている課題は、各組織によって様々ではあるものの、既存文献等で認識されている課題を以下に示す。

(1) 施設の老朽化

前述の通り、日本の多くの橋梁は高度経済成長期に建設されたため、現在では老朽化が進行している。国土交通白書2020によると、図1に示すとおり、建設後50年を経過する施設の割合は、2019年3月時点では27%であったが、10年後の2029年3月には52%へと急増することが予想されている。また、全国の橋梁について、市区町村が管理する橋梁が66%、都道府県・政令市等が管理する橋梁が26%と、地方公共団体が全体の9割以上を管理している¹ため、地方公共団体による橋梁維持管理の重要性が改めて認識されている。

¹ 国土交通白書2020 (<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r01/hakusho/r02/html/n1212000.html>)

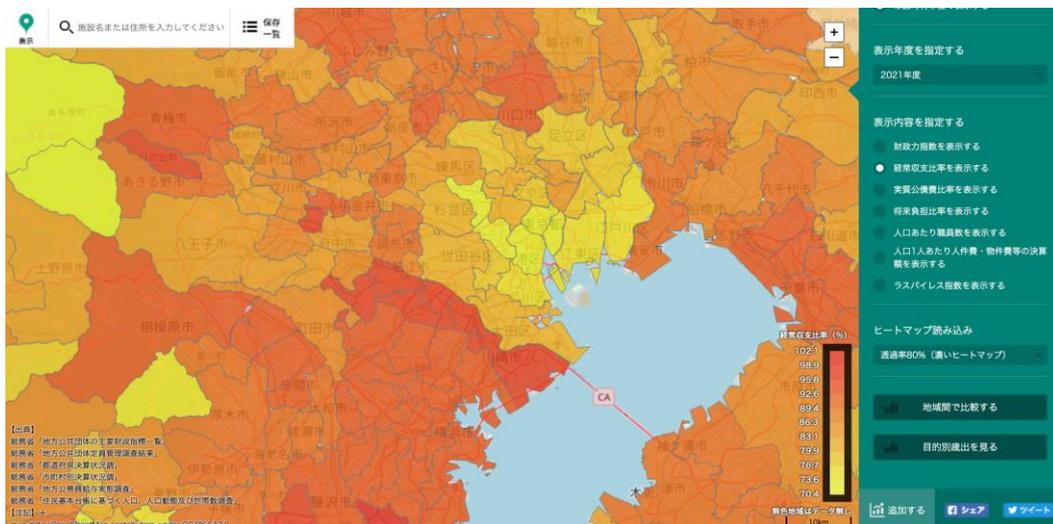


出所：国土交通白書 2020

図 1：建設年度別橋梁数

(2) 財政の制約

高齢化による医療費の増加や労働者人口の減少に伴う税収減などを背景に、財政状況が厳しい地方公共団体も存在する。例えば、図 2 に示すように、経常収支比率²は地方公共団体によって様々であり、首都圏近郊でも 70%程度の健全性が高いところから 100%に近い地方公共団体まで多様である。その状況下で増え続ける橋梁の維持管理に必要な予算を確保していく必要がある。維持管理には定期的な点検に加え、大規模な修繕や更新には 1 橋で多額の資金を要し、これらを賄うための資金を捻出することが大きな課題となっている。



出所：RESAS

図 2：首都圏近郊の経常収支

² 経常収支比率は、地方公共団体の財政健全性を示す指標の一つで、一般会計の経常的な収入（地方税、地方交付税、使用料・手数料など）と経常的な支出（人件費、物件費、公債費など）の比率を示す。経常収支比率が高いほど、その地方公共団体の財政が厳しい状況にあることを意味し、特に 100%を超えると、経常的な収入だけでは支出を賄えない状況にあるとされる。

(3) 技術者不足

橋梁の維持管理には、業務を請け負う建設会社や建設コンサルタントだけでなく、地方公共団体にも専門的な知識と技術を有する職員が必要となる。しかし、地方公共団体ではこれらの専門技術者が不足していることが多く、技術系の職員が配属されていないケースもある。また、若手の技術者が少なく、高齢化が進む現役技術者の後継者問題も深刻である。

1-2-2. 橋梁維持管理の技術的な課題

前述の地方公共団体が抱えている課題に加えて、橋梁維持管理が抱えている技術的な課題も存在する。以下にその要旨を記す。

(1) 橋梁の構造形式や部材、損傷の豊富さ

橋梁は、その構造形式が多様であり、桁橋、床版橋、アーチ橋、吊り橋、斜張橋などが代表的なものとしてあげられる。またその部材も、基礎、橋脚や橋台、桁、床版などから構成されており、それぞれの部材の材種や構造的性質も様々である。さらに、その損傷パターンも部材や材質によって特有である。例えば、橋脚は、地震や洪水による物理的な損傷に加え、塩害や凍害など環境による影響も受けやすい部位である。また、橋台は土圧や水圧による影響を受け、ひび割れや変形が生じることもある。桁や床版は、交通による繰り返し荷重による影響などもある。加えて、橋梁劣化に影響を与える降雨量や海岸からの近さ、気温などの環境要因も橋梁設置位置によって大きく異なる。

上記のように、橋梁の劣化は複合的な要因で成り立っているため、全てに当てはまる劣化予測モデルなどを構築することが困難であり、維持管理を最適化しづらい側面がある。

(2) 統計的データ蓄積の困難さ

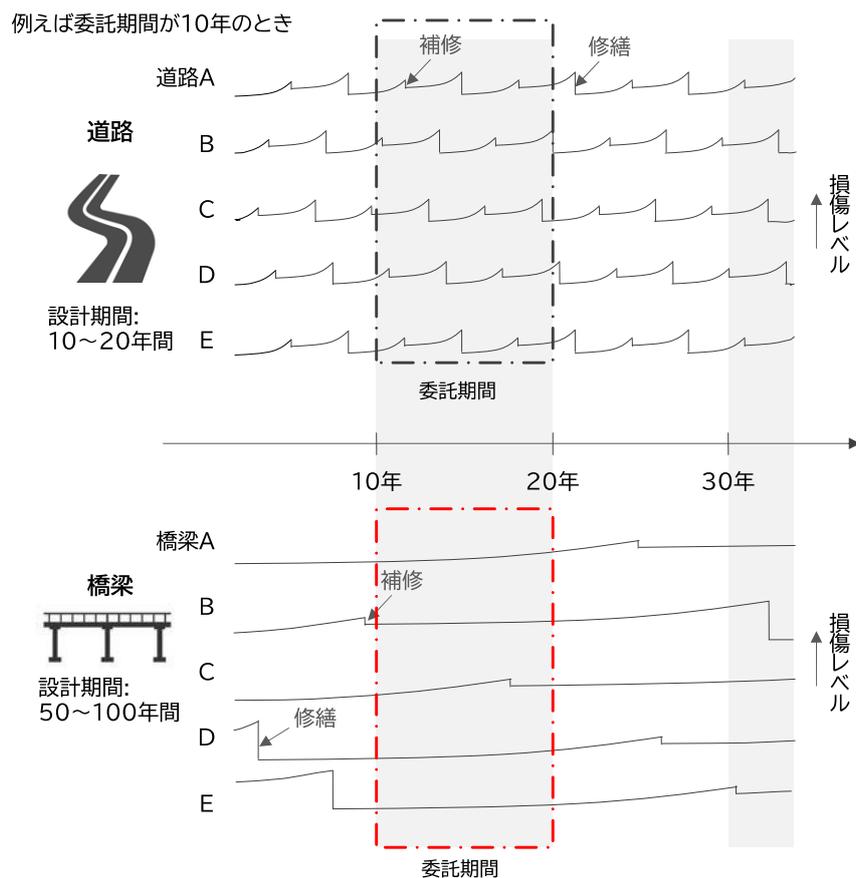
橋梁は、前述の多様性に加えて、構造物全体として長い供用期間を想定しており、損傷の進展・発現に比較的時間を要することから、統計的データを蓄積することが難しくなっており、それによりデータに基づいた施策の決定がしづらくなっている。

図 3 に示すように、道路（舗装）の設計耐用期間が 10~20 年であることに対し、橋梁は 50~100 年の設計耐用期間を通常設定しており、橋梁を架け替える「更新」を実施するまでの期間が長い施設の一つである。また、道路の損傷の程度を表すものとして、Maintenance Control Index (MCI)³や International Roughness Index (IRI)⁴などの連続的な指標を用いることも多いが、橋梁は各部材ごとに健全度 I~IV に評価したのち、橋梁全体の健全度とし

³ MCI (Maintenance Control Index : 舗装の維持管理指数) とは、舗装の供用性を「ひび割れ率」、「わだち掘れ量」及び「平坦性 (σ)」という路面性状値によって定量的に評価するもの。

⁴ IRI (International Roughness Index : 国際ラフネス指数) は、道路の凹凸を評価するために用いられる指標である。IRI は、道路を走行する車両が経験する垂直方向の動きを基にして算出され、道路表面の平滑性を数値化する。低い IRI 値は良好な舗装状態を、高い IRI 値は舗装の悪化を示し、m/km や mm/m の単位が用いられる。

て再び I~IV で評価する離散的な評価が一般的である。これは、性能規定における管理目標（サービスレベル）を設定することの困難さにもつながっている。道路であれば管理する道路を IRI=4 以内にするといった管理目標値を比較的设置しやすいが、橋梁では健全度を管理目標値として設定すると、管理する期間において、補修の発生の有無の変動が大きい。これも計画的な橋梁維持管理を難しくしている要因だと考えられる。



出所：SMTB 作成

図 3：施設による補修・修繕頻度の違いのイメージ

(3) 橋梁の「予防保全効果」の定量化の必要性

橋梁の維持管理を予防保全型に移行することによって、ライフサイクルコストが低減することは様々な文献で提唱されているものの、その効果を定量化したものは極めて少ない。それは、前述の通り、橋梁の構造や部材、またその劣化過程も複雑であり、多様な環境条件や使用状況によって異なることに起因する。予防保全の効果は、これらの条件下での橋梁の反応に基づいて評価されるため、一様な基準の設定が困難である。また、予防保全の効果は直ちに発現するものではなく、長期にわたる観察が必要になることも定量化の困難さに影響を与えている。さらに、経済的な影響の計測も複雑で、直接的な修繕コストだけでなく、間

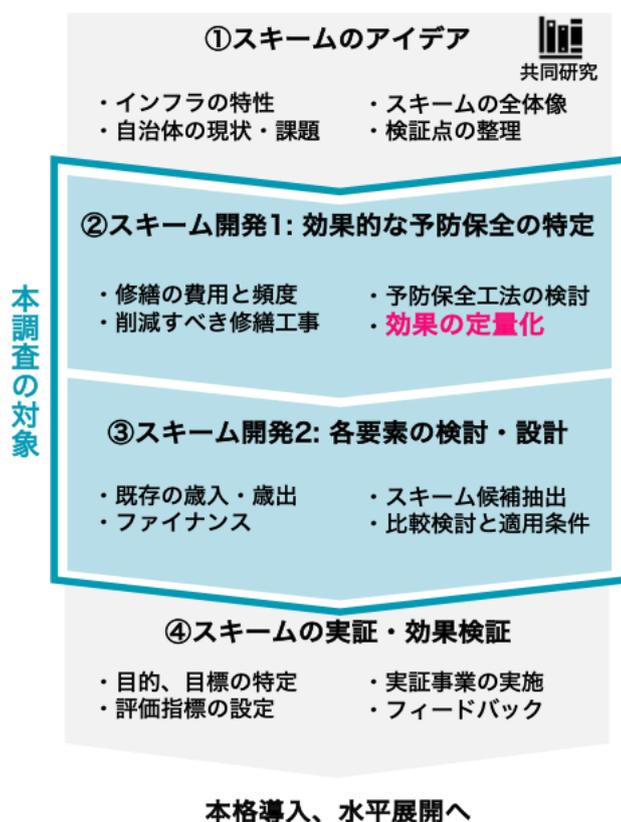
接的な社会経済的影響を考慮する場合には、更なる検討が必要となる。

他方、地方公共団体の視点では、予防保全効果の定量化を実現することによる影響は大きい。今後、増大し続けると見込まれる維持管理需要を効果的な予防保全によって抑制することによって、橋梁維持管理における財政状況の悪化を避けることができる可能性が高まる。

1-2-3. 事業スキームの発案経緯と本業務の対象範囲

前述の課題を踏まえて、2022年12月から東京工業大学と三井住友信託銀行が実施している「橋梁インフラの予防保全スキーム導入に向けた共同研究」において着想したアイデアをもとに、本官民連携モデリング事業におけるシーズ提案を経て、調査・検討したものである。図4に本業務の対象範囲を示す。

スキーム開発の要諦となるのは、予防保全効果の定量化である。この蓋然性を高めるために、フィールド提供して頂ける地方公共団体の点検や修繕データを利用して、理論化した。その定量化した予防保全効果を利用して、効果的な予防保全に資金が流入するスキーム案を検討し、そのメリット・デメリットを整理したのち、関係者と協議して具体化した。



出所：SMTB 作成

図4：本業務の対象範囲

1-2-4. 本スキームの意義・効果

本スキームは、橋梁の予防保全に資金が流入することを企図したものであり、予防保全が実施されることによる様々な効果が期待される。図 5 にその主要な効果を示す。

地方公共団体にとって、一番期待の大きい効果は「ライフサイクルコストの低減」であると考えられる。効果的な予防保全を実施することによって財務上のメリットがあることは、地方公共団体が歳出の予算を配分する上で重要である。ただし前述の通り、橋梁全体の老朽化に伴い今後の維持管理に要する費用は増大することを踏まえると、中長期的な費用の増加を抑制する効果があると見込まれる。

費用増加の抑制以外にも、様々な効果が期待できる。予防保全により健全性の低下を防ぐことは、安全・安心なインフラの提供につながり、予防保全などの対応しやすい工事であれば、地域の建設会社が請け負うことが容易になり、地域への資金循環にもなりうる。また、将来の負担を軽減する仕組みは、世代間公平性の向上にも寄与し、長く橋梁を利用することは、架け替えによって大量に発生する二酸化炭素の発生抑制につながり、脱炭素社会の実現の一助になると考えられる。



出所：SMTB 作成

図 5：想定される効果

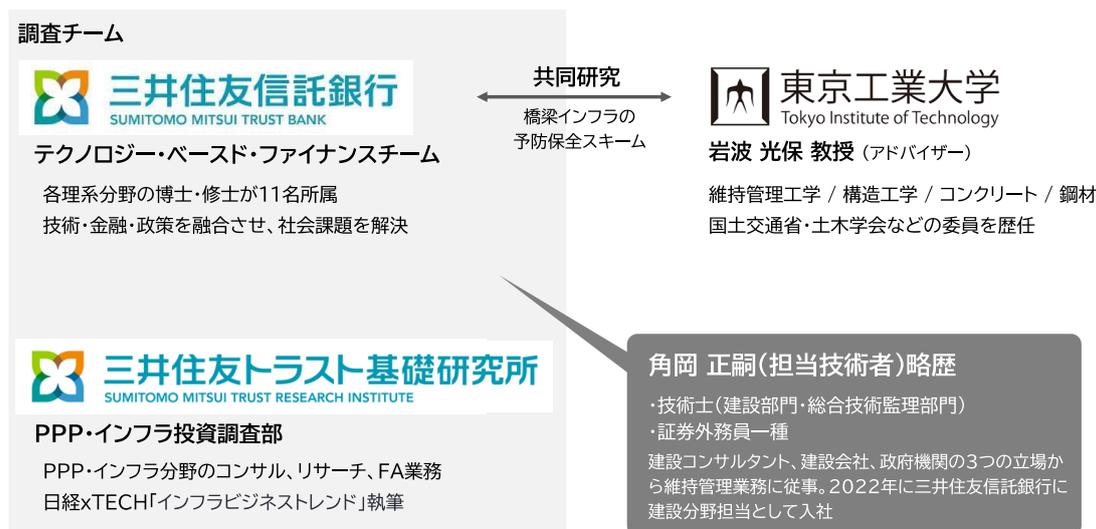
1-3. 実施体制

1-3-1. 調査チーム

本業務は、地方公共団体が持つデータを分析する力から、橋梁維持管理の知見、ファイナンスやスキーム形成など幅広い能力が求められる。よって、図 6 に示すように、三井住友信託銀行（SMTB）とシンクタンクである三井住友トラスト基礎研究所（SMTRI）が共同で実施した。三井住友信託銀行は金融機関ではあるが、サステナビリティ推進部内に設置されているテクノロジー・ベースド・ファイナンスチームという各理系分野の博士・修士号の技術者を集めたチームが本業務に従事した。本業務の取りまとめは、道路・橋梁の維持管理に長年従事していた技術者が担当した。

三井住友トラスト基礎研究所は PPP・インフラ投資ビジネスの調査、コンサルティング、アドバイザーの経験をもとに、橋梁の予防保全導入の現状と課題の整理および本スキームの策定を、三井住友信託銀行と共同で実施した。

加えて、東京工業大学の岩波光保教授がアドバイザーとして従事し、特に橋梁維持管理の技術面を中心とした助言を頂きながら業務を遂行した。



出所：SMTB 作成

図 6：調査チーム体制

1-3-2. フィールド提供地方公共団体

本業務では、予防保全効果の定量化を実施するにあたって、その蓋然性を確認するために橋梁の点検データや修繕データをレビュー、分析することが重要である。そのため、橋梁数が多く、データが蓄積されている地方公共団体である浜松市と熊本市をフィールド地方公共団体とした。両市の概要を表 1 に示す。両市とも政令指定都市で、人口 70 万人を超える大都市である。全国約 1,700 存在する地方公共団体のうち、両市とも面積で 300 位以内に入る大きな地方公共団体であるが、浜松市は極めて広い地方公共団体の一つである。面積の違いに伴い、人口密度は熊本市が高くなっている。

また、面積の違いは管理道路延長にも現れており、浜松市が約 8,400 km あるのに対し、熊本市は約 3,800 km を管理している。管理橋梁数も浜松市が約 5,800 橋、熊本市が約 3,000 橋と両市とも数が極めて大きい。大都市比較統計年表（令和 3 年）によると、大都市である 21 都市中、浜松市が第 2 位の橋梁数、熊本市が第 5 位の橋梁数であり、全国でも橋梁が多い地方公共団体であることがわかる。

前述の通り、橋梁という損傷などの発現に長い時間を要する施設において、数多くの橋梁を管理している両市のデータは極めて貴重であり、ここで確認された傾向や現象は他の地

方公共団体に展開できる可能性を秘めている。

表 1：フィールド提供地方公共団体の概要



大都市制度区分	政令指定都市	政令指定都市
都道府県	静岡県	熊本県
人口 (2023. 11. 1 推計)	779, 641 人	738, 181 人
面積	1, 558. 06 km ²	390. 32 km ²
人口密度	500 人/km ²	1, 891 人/km ²
管理道路延長	約 8, 500 km	約 3, 800 km
管理橋梁数	約 5, 800 橋	約 3, 000 橋
担当部署	土木部 道路保全課	土木部 道路保全課

出所：市ウェブサイトや大都市比較統計年表などを基に、SMTB 作成

第2章 橋梁の点検・維持修繕の実績

本章では、浜松市と熊本市から提供頂いたデータを分析して、過去 10 年程度でどのような維持・修繕が実施されてきたかを明らかにした。特に費用面に着目して、どのような維持修繕に費用がかかっているか、予防保全によってその費用を抑制する余地がありそうかという観点で分析を実施した。

2-1. フィールド提供地方公共団体の既存橋梁

本節では、両市が管理している橋梁を材料種別や構造形式などの視点から分析した。

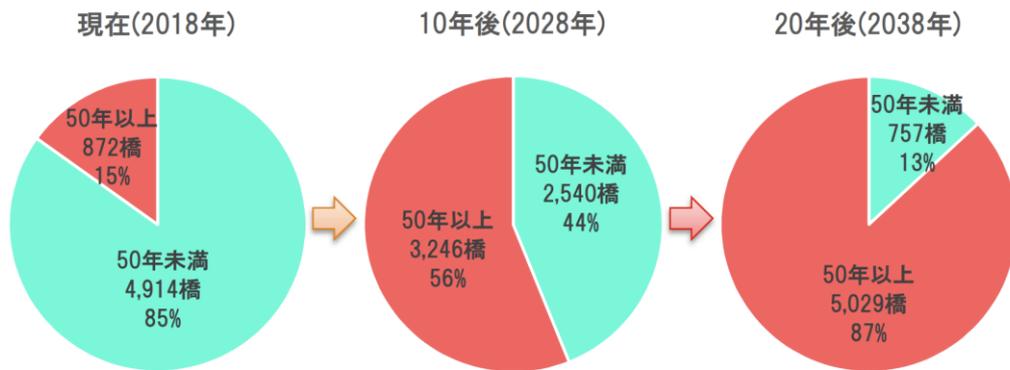
2-1-1. 浜松市の既存橋梁

(1) 浜松市管理道路橋の高齢化の推移

浜松市道路橋長寿命化計画」(以下、「浜松市長寿命化計画」)に記載されている情報から、橋梁の高齢化の推移を把握した。図 7 に示すように、2018 年時点では、約 5,800 橋のうち、15%の 872 橋が建設から 50 年を経過している橋梁であるが、10 年後の 2028 年にはその割合が 56%、20 年後の 2038 年には 87%もの割合に達することが確実である。

その背景としては、図 8 にあるように、昭和 45 年(1970 年)から平成元年(1989 年)の 20 年間で整備された橋梁数が極めて多いため、2020 年以降から建設後 50 年を経過する橋梁が急増するからである。

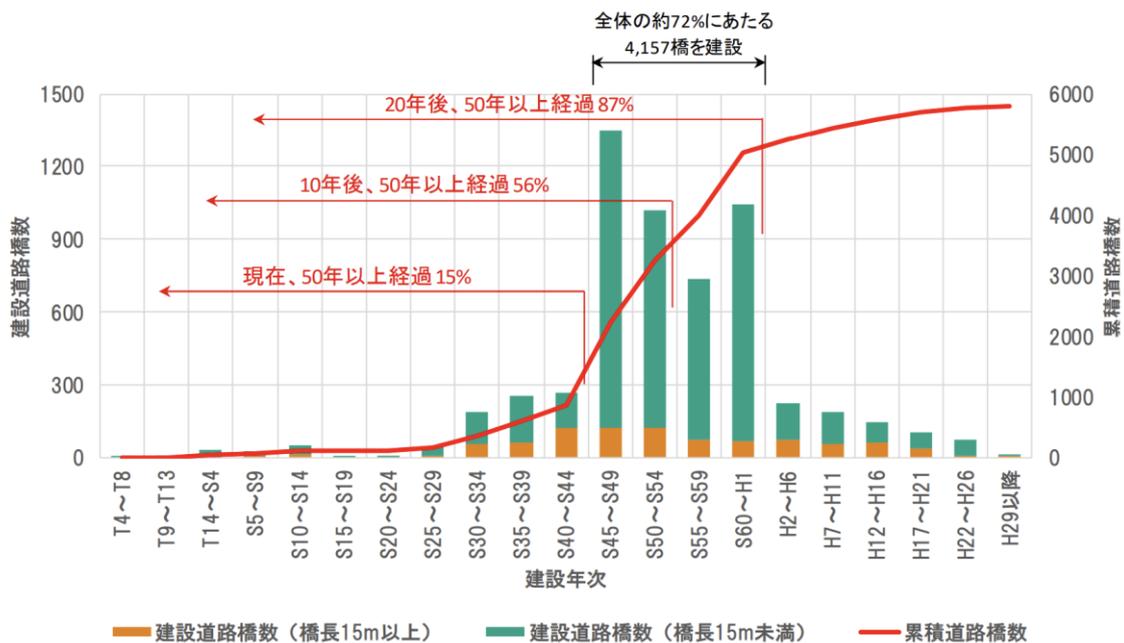
建設後 50 年を経過したからといって、急激に劣化が進むとは限らないものの、以前は設計耐用期間を 50 年とすることが多かったことや、そもそも老朽化が進むにつれて補修や修繕、もしくは更新の費用がかかる可能性が高まることを踏まえると、浜松市として今後の維持管理費用の増加を抑制する必要がある。



※架設年不明橋梁を除く

出所：浜松市道路橋長寿命化計画(改定版) 令和 4 年 11 月

図 7：浜松市管理道路橋の高齢化の推移

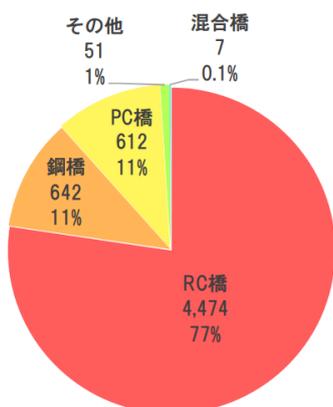


出所：浜松市道路橋長寿命化計画（改定版）令和4年11月

図 8：浜松市建設年度別の橋梁数

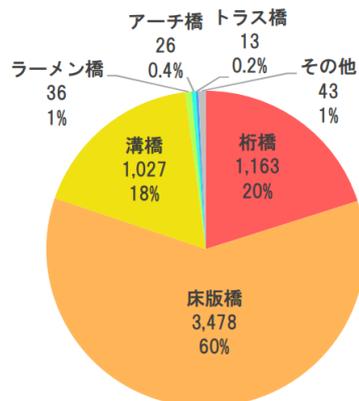
(2) 材料・構造別の橋梁割合

上部工の材料別と構造形式別の既存の橋梁数を図 9 と図 10 にそれぞれ示す。浜松市の約 5,800 橋の大部分を占める 4,400 橋以上の上部工は鉄筋コンクリート (Reinforced Concrete: RC) でできている。次に鋼橋とプレストレスコンクリート (Prestressed Concrete: PC) 橋がほぼ同数で並んでいる。他方、構造形式別に見ると床版橋が半数以上を占め、次に桁橋、溝橋 (ボックスカルバート橋) と続いている。



出所：浜松市道路橋長寿命化計画（改定版）

図 9：浜松市上部工材料別橋梁数



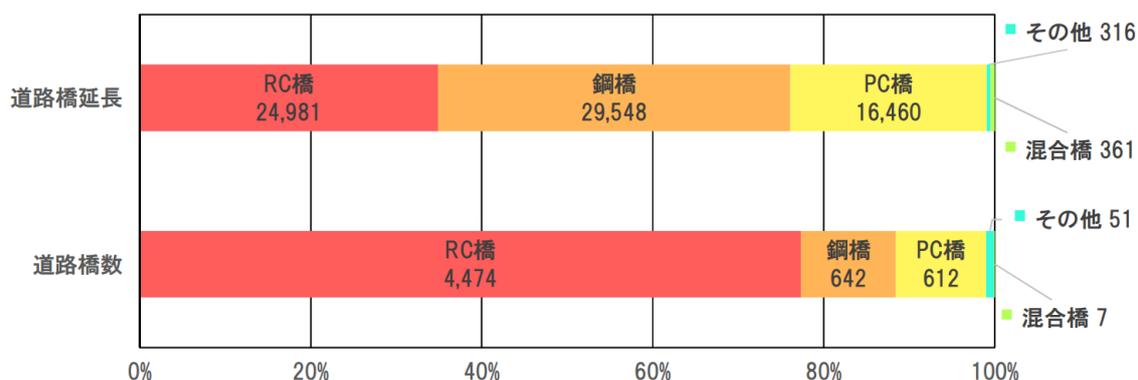
出所：浜松市道路橋長寿命化計画（改定版）

図 10：浜松市構造形式別橋梁数

さらに「橋長」の要素を加えて分析する。図 11 では、上部工材種別の橋梁数と道路橋延長合計がそれぞれ示されている。数は RC 橋が圧倒的に多いものの、橋長合計では鋼橋が最も長く、次に RC 橋、PC 橋となっている。言い換えると、鋼橋は 1 橋あたりの延長が極めて長く、RC 橋は短い橋梁に使われていることがわかる。

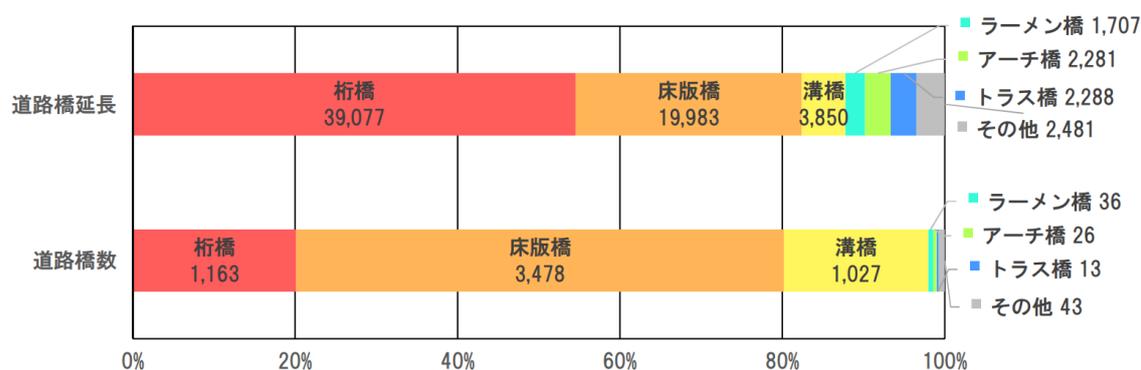
同様に構造形式別の橋梁数と道路橋延長を図 12 に示す。数では床版橋が 6 割を占めていることに対し、橋長合計で見ると桁橋が全体の半数以上を占める。橋梁数での割合に対する橋長での割合を踏まえると、減っている床版橋と溝橋は比較的短い橋梁に適用されていることに対し、桁橋は長い橋梁に適用されていることがわかる。これは、構造別の適用径間長とも一致している。

よって、材種と構造形式を総合して考えると、短い橋梁は、RC 製の床版橋、溝橋が多く、長い橋梁は鋼製や PC 製の桁橋が多いことが推測できる。



出所：浜松市道路橋長寿命化計画（改定版）令和 4 年 11 月

図 11：浜松市上部工使用材料別の道路橋数・延長比率



出所：浜松市道路橋長寿命化計画（改定版）令和 4 年 11 月

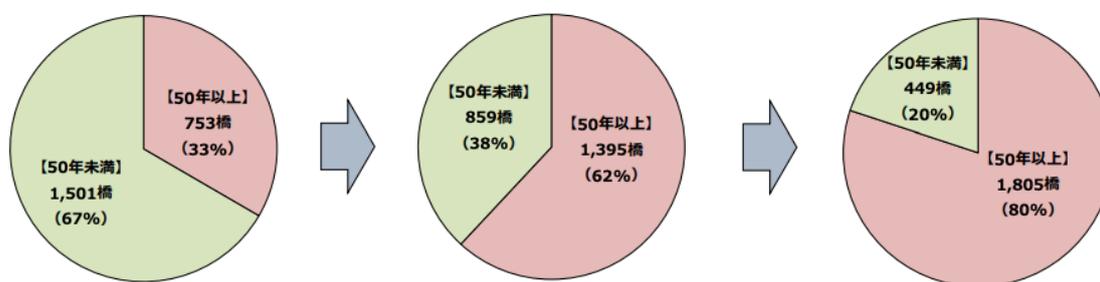
図 12：浜松市構造形式別の道路橋数・延長比率

2-1-2. 熊本市の既存橋梁

(1) 熊本市管理道路橋の高齢化の推移

浜松市と同様に、熊本市の管理道路橋の高齢化の推移を最初に示す。図 13 に示すように、概ね傾向は浜松市と類似しているものの、割合としては既に建設後 50 年を経過している橋梁が比較的多く、33%に達している。次の 10 年間で 6 割近くが 50 年以上経過することになり、20 年経つと 8 割が同時期に達する。

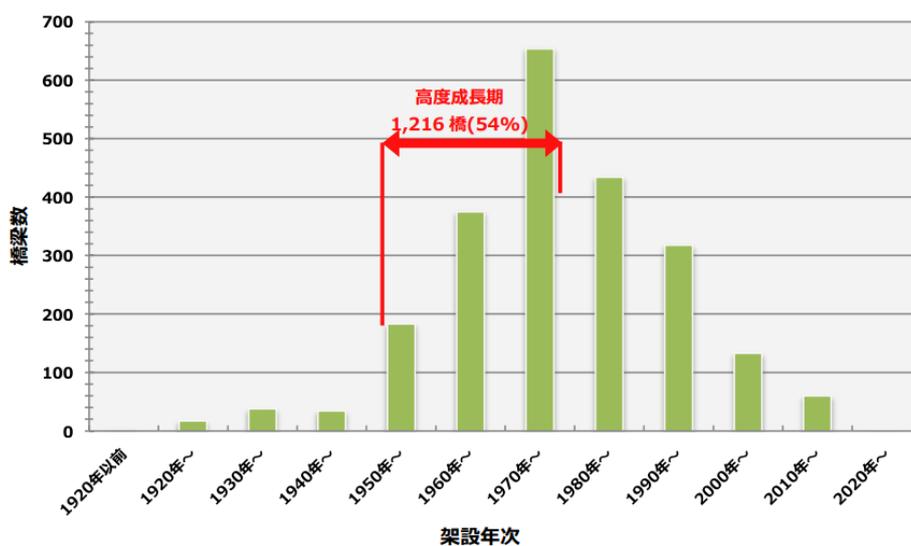
図 14 にあるように、高度成長期に建設した橋梁の数が多いことに起因している。よって、浜松市同様、今後の維持管理費用の増加を抑制する必要がある。



※架設年次不明 765 橋除く 2,254 橋で集計

出所：熊本市 橋梁長寿命化修繕計画（令和 5 年 3 月第 2 回修正）

図 13：熊本市管理道路橋の高齢化の推移



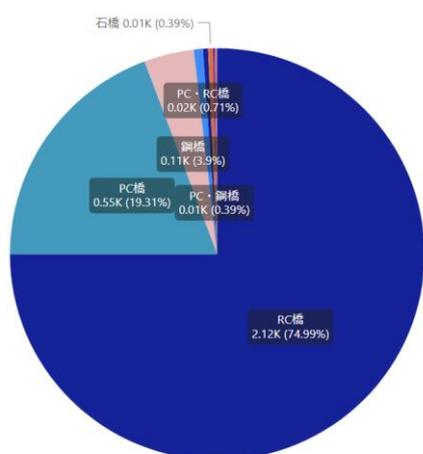
※架設年次不明 765 橋除く 2,254 橋で集計

出所：熊本市 橋梁長寿命化修繕計画（令和 5 年 3 月第 2 回修正）

図 14：熊本市建設年度別の橋梁数

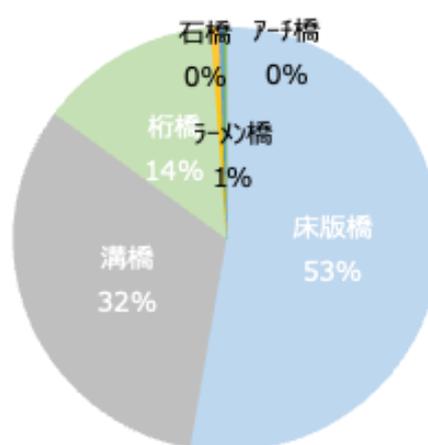
(2) 材料・構造別の橋梁割合

上部工の材料別と構造形式別の既存の橋梁数を図 15 と図 16 にそれぞれ示す。熊本市が管理する約 3,000 橋のうち、3/4 の上部工は RC 製である。次に PC 橋が多く、鋼橋が続く。橋梁数では RC 橋が大部分を占める点は浜松市と共通である一方で、PC 橋の割合が鋼橋よりも多いことが熊本市の違いである。他方、構造形式別に見ると床版橋が半数以上を占め、次に溝橋、桁橋と続いている。床版橋の傾向は浜松市同様であるが、溝橋の数的割合が高い点が異なる。



出所：熊本市データを基に SMTB 作成

図 15：熊本市上部工材料別橋梁数

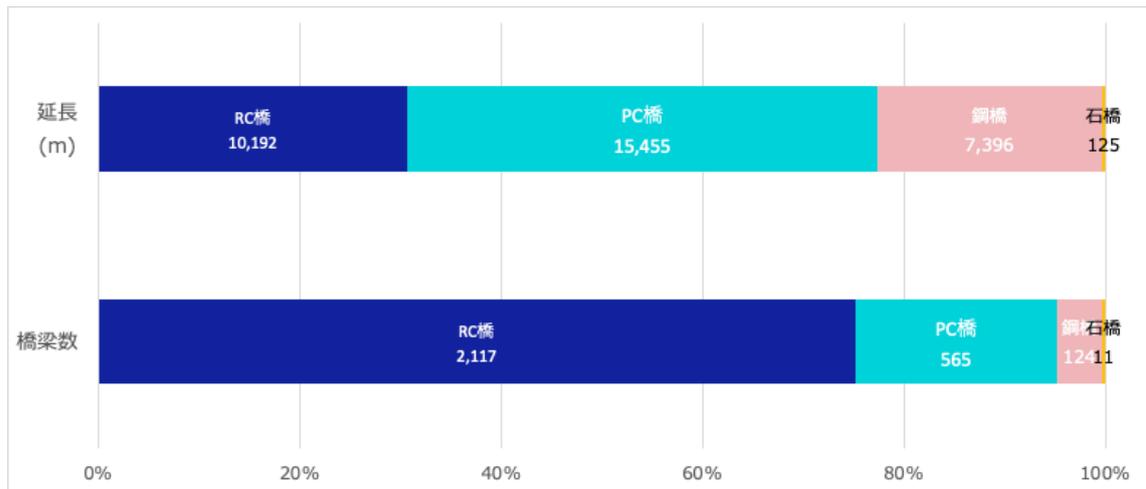


出所：熊本市データを基に SMTB 作成

図 16：熊本市構造形式別橋梁数

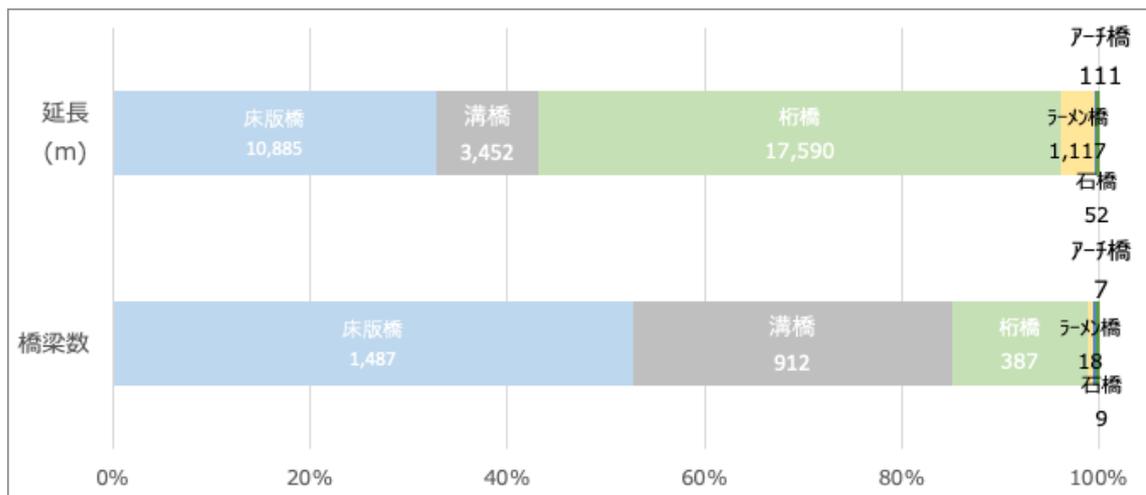
「橋長」を加えて分析したものを、図 17 に示す。総延長で材料別に見た場合、浜松市と異なり、PC 橋の割合が最も多く、半数近くの 15 km 以上の延長となる。次に RC 橋、鋼橋と続き、橋長の総延長割合だと、PC 橋と鋼橋が浜松市の傾向と逆になっている。他方、RC 橋は橋梁数に対して、総延長の割合が減っていることに対して、逆に PC 橋と鋼橋は総延長の割合が増えている傾向は浜松市と同じであり、この 2 つの上部工材料が比較的長い橋梁に適用されていることが同様であることがうかがえる。

次に構造形式別に橋長を加えたものを図 18 に示す。前述の通り、桁橋が数としては少ないものの、橋長としてはおよそ半数を占め、比較的長い橋梁が多いことが推測される。床版橋、溝橋は、橋梁数割合に対して、延長割合が低いことから短い橋梁に適用されている傾向は浜松市と同様である。



出所：熊本市データを基に SMTB 作成

図 17：熊本市上部工使用材料別の道路橋数・延長比率



出所：熊本市データを基に SMTB 作成

図 18：熊本市構造形式別の道路橋数・延長比率

2-2. 維持・修繕工事の実施実績

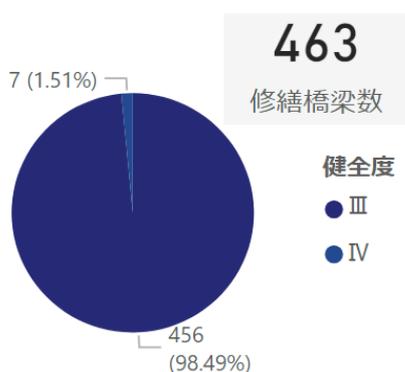
ここからは、2 市に提供頂いたデータもしくは公開情報を加工したデータをもとに、実際の維持・修繕工事がどのような橋梁に実施されていたかを分析する。データソースや形式が異なるため、データの加工方法や位置付けが異なることを付記する。これによって、将来的に維持管理需要を抑制するにあたって、どの分野の橋梁に着目すべきかを明らかにすることを目的とする。

2-2-1. 浜松市の維持・修繕工事の実施実績

2014～2018年の5年間に1巡目の点検を実施して、健全度がⅢ・Ⅳと判定された橋梁に対する修繕概要が一覧となっているデータを浜松市に提供いただき、どのような橋梁に対してどのような修繕が実施されてきたかの現状を把握した。なお、本項における「修繕内容」は修繕の代表工種を示しており、通常の修繕は複数の工種で成り立っている。なお、修繕工事は2017～2023年に完了している工事が対象である。

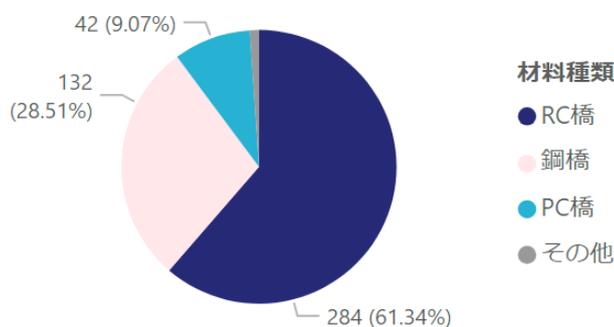
(1) 材料別の修繕橋梁数

図19に示すように、点検した橋梁のうち健全度がⅢ・Ⅳと判定された橋梁に対して修繕が実施され、その大部分が健全度Ⅲになって措置がなされているが、一部に関しては健全度Ⅳの橋梁に対して措置が実施された。また図20にあるように、措置を実施した橋梁の件数では6割がRC橋であり、鋼橋、PC橋と続く。前述の図9に記した浜松市が管理している材料別橋梁数と比較すると、RC橋は管理数77%に対して修繕数61%、鋼橋は管理数11%に対して修繕数28%、PC橋は管理数11%に対して修繕数9%と、鋼橋が管理数に対して修繕数が多い傾向にあることがうかがえる。また、健全度Ⅳと判定された7橋のうち、6橋が鋼橋であった。



出所：浜松市データを基に SMTB 作成

図19：健全度別の修繕橋梁数



出所：浜松市データを基に SMTB 作成

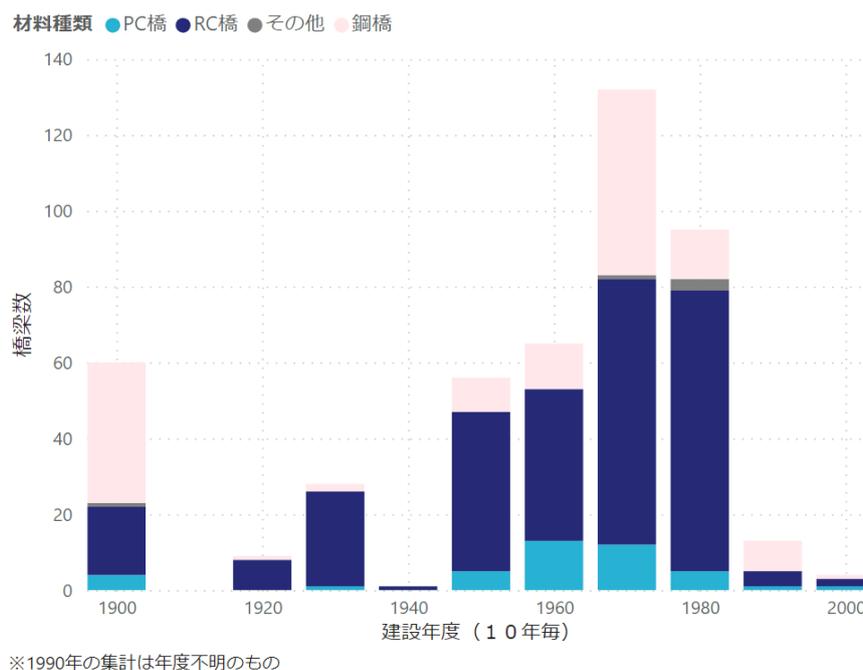
図20：材料別の修繕橋梁数

(2) 建設年度・構造形式別の修繕橋梁数

図21に建設年度別の修繕橋梁数を示す。図8に前述している建設年度別の管理橋梁数と比較すると、1970～1989年の20年間に多くの割合の橋梁が建設されていたことに対し、修繕橋梁数ではその前の年代である1950～1969年に建設された、建設後50年を経過している橋梁の割合が高めになっていることが分かる。これは、将来的な維持管理費用の増加を予測する際に、多くの地方公共団体で建設後50年を経過した橋梁の割合に注視していることの妥当性を示唆する可能性がある。材料種別に見ると、RC橋の割合が多く年代が多いことは管理している橋梁の割合と一致するものの、比較的新しい1990年代に建設され

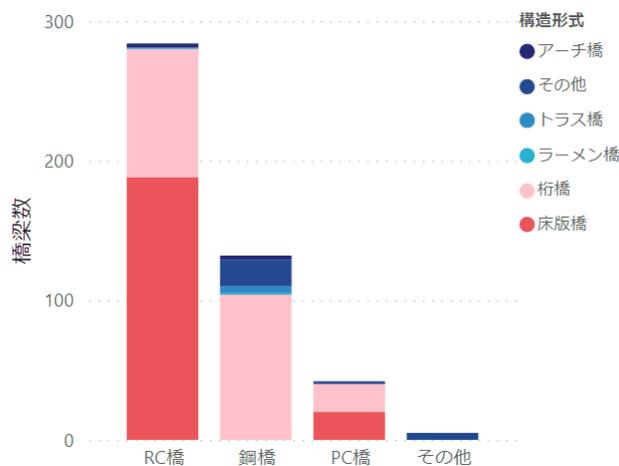
た修繕橋梁は、全体で 13 橋のうち 8 橋が鋼橋であった。

また、材料別・構造形式別に修繕橋梁数を集計したものを図 22 に示す。構造形式別の管理橋梁数の図 10 と比較すると、床版橋がいずれも多いが、次に管理数が多い溝橋の修繕実績は少なく、代わりに管理数が約 1/3 と少ない桁橋の修繕実績が多い。特に、鋼橋はその構造特性上、床版橋は存在せず、修繕した橋梁の多くが桁橋である。



出所：浜松市データを基に SMTB 作成

図 21：建設年度別の修繕橋梁数

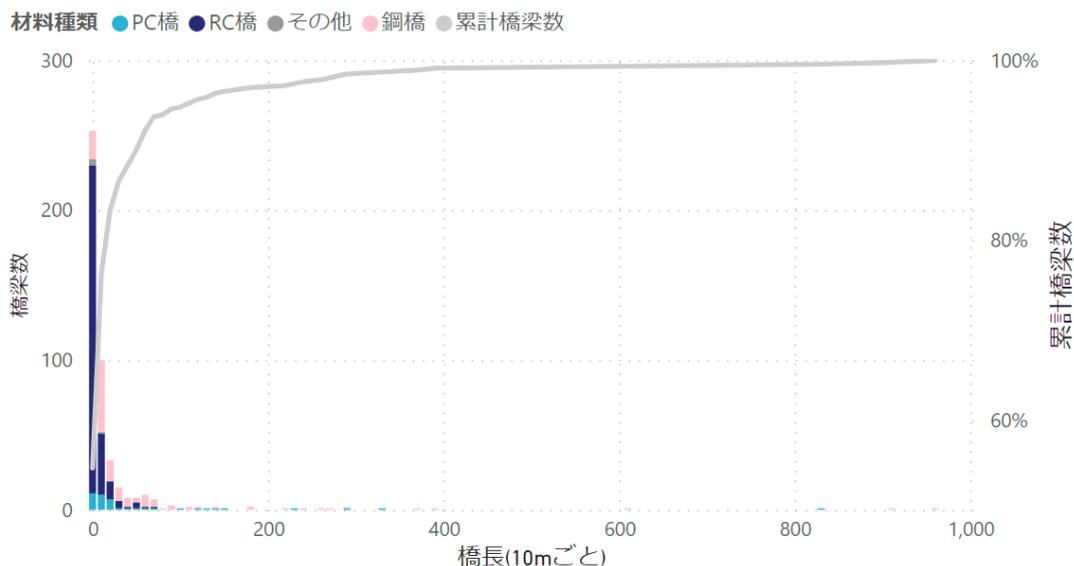


出所：浜松市データを基に SMTB 作成

図 22：構造形式別の修繕橋梁数

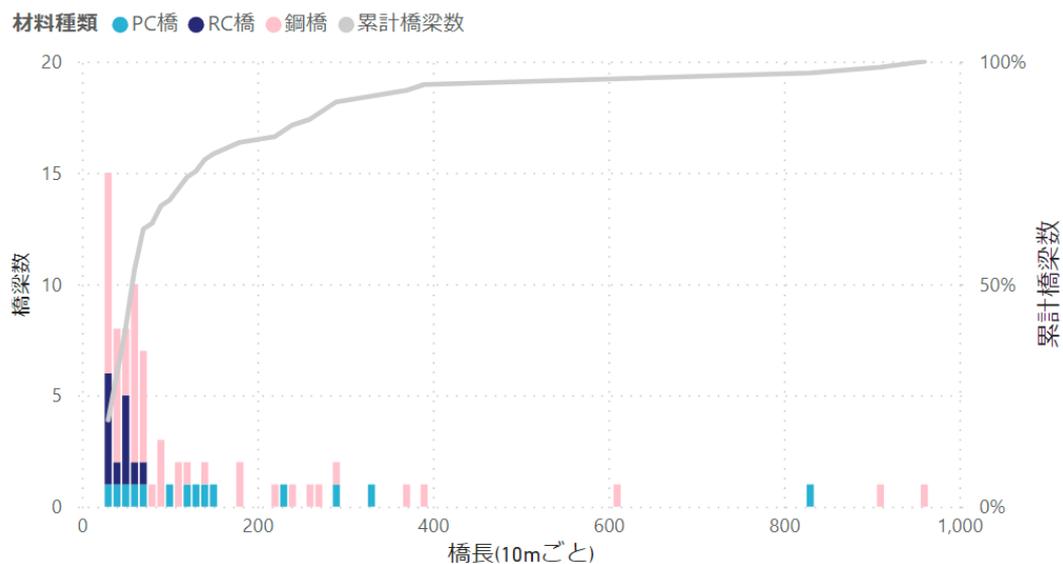
(3) 橋長別の修繕橋梁数

図 23 に橋長 10m 毎に集計した修繕橋梁数を示す。灰色の線は累積修繕橋梁数を表している。0~10m の橋梁が突出して多く合計 253 橋となり、材料種別で見ると RC 橋が多いことがわかる。また、30m までの累計で、累積修繕橋梁数の 83% に達し、修繕橋梁数では短い橋梁が大半を占めることが明らかとなった。30m 以上に絞って集計し直したものが図 24 である。比較的長い橋梁では、鋼橋や PC 橋の割合が高いことがわかる。



出所：浜松市データを基に SMTB 作成

図 23：橋長別の修繕橋梁数（10m 毎の集計）

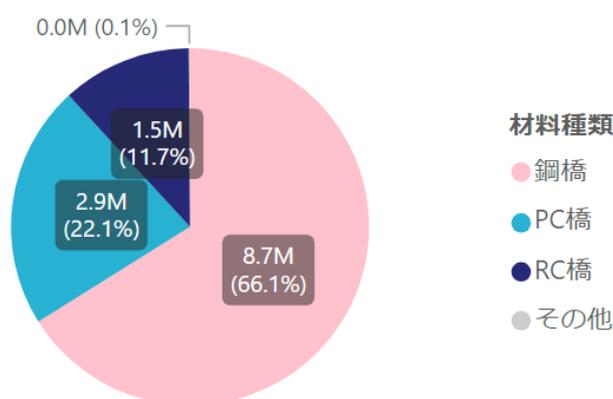


出所：浜松市データを基に SMTB 作成

図 24：30m 以上の橋長別の修繕橋梁数

(4) 材料別の橋梁修繕費用

図 20 は材料別の修繕橋梁数であったことに対し、図 25 では材料別の橋梁修繕費用を示す。比較すると修繕橋梁数では RC 橋が 60%を占めていたものの、費用割合にすると 12%と低く、代わりに 30%弱の修繕橋梁数であった鋼橋が費用の 66%を占める結果となっている。また PC 橋も、修繕橋梁数に対して費用割合は高まっており、1 橋あたりの修繕費用が高額になる傾向が伺える。

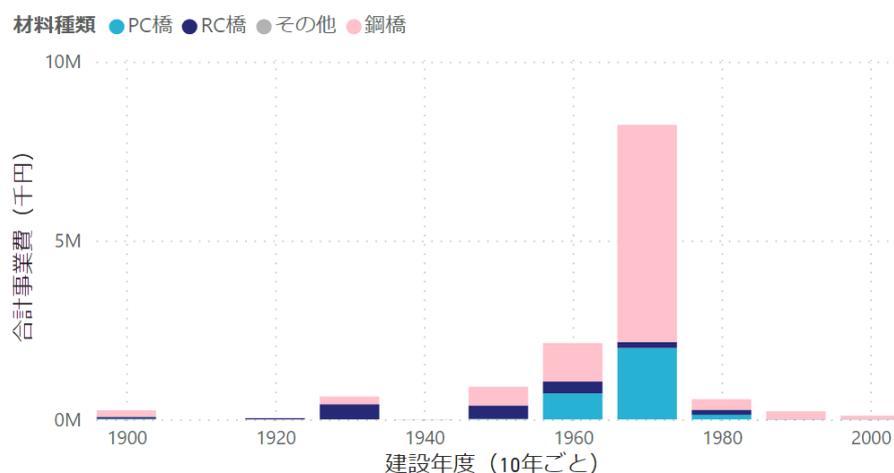


出所：浜松市データを基に SMTB 作成（単位：千円）

図 25：材料別の橋梁修繕費用

(5) 建設年度別の橋梁修繕費用

図 26 に示した建設年度別の橋梁修繕費用でも、鋼橋と PC 橋の割合が高いことがわかる。特に 1960~1980 年までに建設された、建設から 50 年以上経過している橋梁の修繕に費用が発生していることが特徴的である。

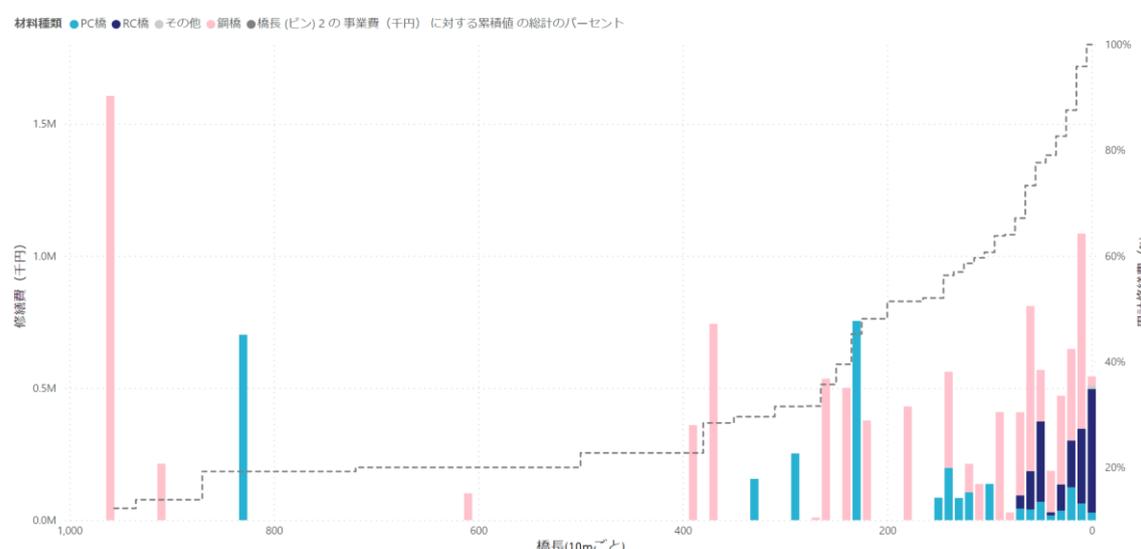


出所：浜松市データを基に SMTB 作成（単位：千円）

図 26：建設年度別の橋梁修繕費用

(6) 橋長別の橋梁修繕費用

橋長別の橋梁修繕費用を図 27 に示す。なお、修繕橋梁数を示した図 23 とは橋長 (X 軸) が左右反対になっている。修繕橋梁数では短い RC 橋が支配的であったが、修繕費用では鋼橋、特に橋長が長いものの負担感が大きいことをこの図から読み取ることができる。また、修繕橋梁数では、30m より短い橋梁で 83% を占めていたことに対して、修繕費用では 30m 以上の橋梁で 83% を占めており、傾向が正反対となっている。よって、数では約 2 割の 30m 以上の修繕橋梁が、約 8 割の修繕費を占める結果となっており、長い橋梁の修繕費用を低減されることが、地方公共団体の橋梁維持管理費用抑制に有用である可能性が示唆された。



出所：浜松市データを基に SMTB 作成 (単位：千円)

図 27：橋長別の橋梁修繕費用

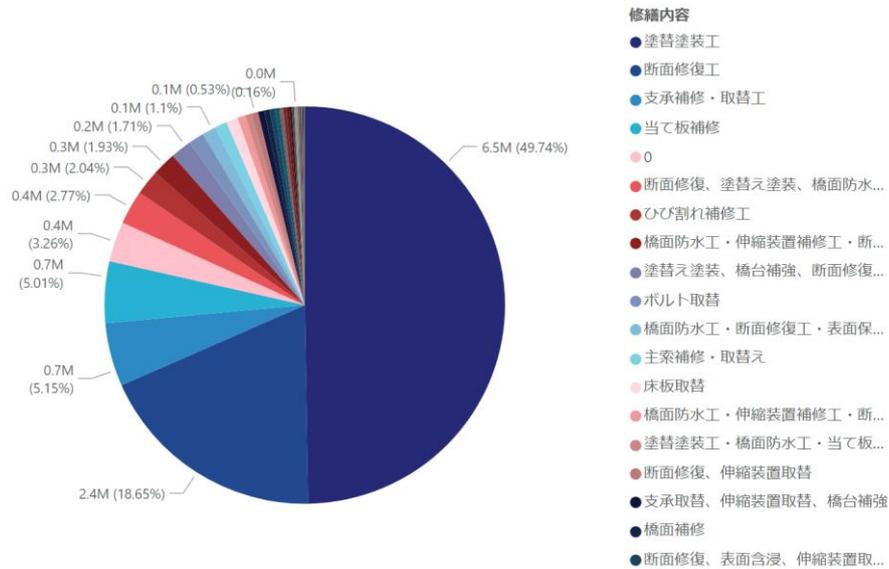
(7) 代表工種別の修繕費用

浜松市には各修繕工事の代表工種を入力したデータを提供して頂いたため、代表工種別に修繕費用を集計したものを図 28 に示す。なお、あくまでも代表工種によって、その修繕工事の請負金額を集計したものであるため、実際の各工種に要した費用とは異なる点に留意する。代表工種のおよそ半分が塗装塗替えとなっていることが特徴的である。図 25 にて、鋼橋が修繕費用の 66% を占めていることも合わせて考えると、修繕費用として鋼橋の塗装塗替えの割合が多い可能性が高い⁵。次に断面修復工が 19%、支承補修・取替が 5%、当て板補修が 5%と続いている。

また、代表工種の修繕費用合計と修繕件数をプロットしたものを図 29 に示す。塗装塗替えと断面修復が際立っており、「件数に対して修繕金額が積み上がっている塗装塗替え」と

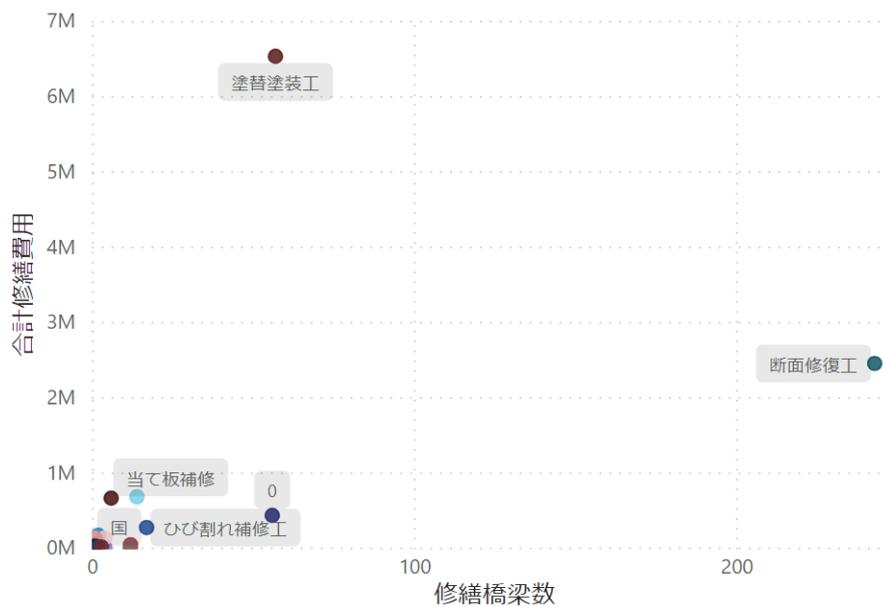
⁵ 実際の修繕工事費の内訳の分析は別途実施するため、ここでは可能性が高いと記載している。

「件数が多いが金額としては比較的少ない断面修復」という特徴が表れている。このことから、何かしらの予防保全措置を実施することによって、将来的な修繕費用を低減させる目的を踏まえると、塗装塗替えに着目することが効果的である可能性が高いことが明らかになった。



注：上記は代表工種で修繕工事請負金額を集計したものであり、実際の内訳とは異なる
出所：浜松市データを基に SMTB 作成（単位：千円）

図 28：代表工種別の修繕費用（単位：千円）



出所：浜松市データを基に SMTB 作成（単位：千円）

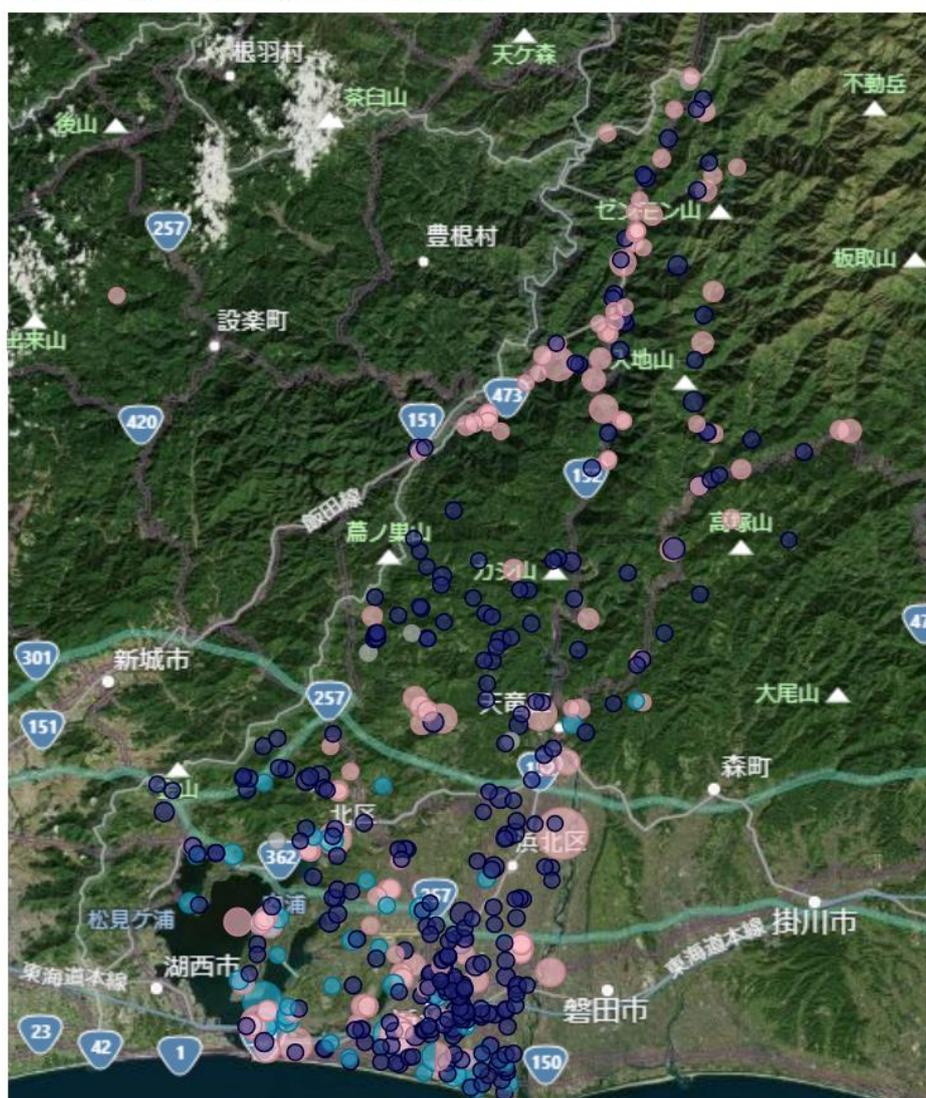
図 29：代表工種の修繕費用と修繕件数の関係性

(8) 修繕橋梁のマッピング

浜松市の修繕橋梁をマッピングしたものを図 30 に示す。浜松市は南部が平地及び沿岸で北部が山地になっていることがうかがえる。数の多い RC 橋は全体的に広がっていることに対して、PC 橋は南部のものを修繕した実績が多い。また鋼橋も市全体に広がっているものの、修繕金額の大きい橋梁は南部のエリアに比較的多いことがわかる。

道路橋示方書では、塩分により劣化が促進される塩害地域が定められており、通常、海岸線から 700m までに地域別、距離別で対策区分が設定される。浜名湖は、遠州灘と繋がっている汽水湖であり塩分濃度が高いため、その周辺橋梁は塩害対策が求められる。

材料種類 ● PC橋 ● RC橋 ● その他 ● 鋼橋



注：円の大きさは修繕金額の多寡を示す

出所：浜松市データを基に SMTB 作成

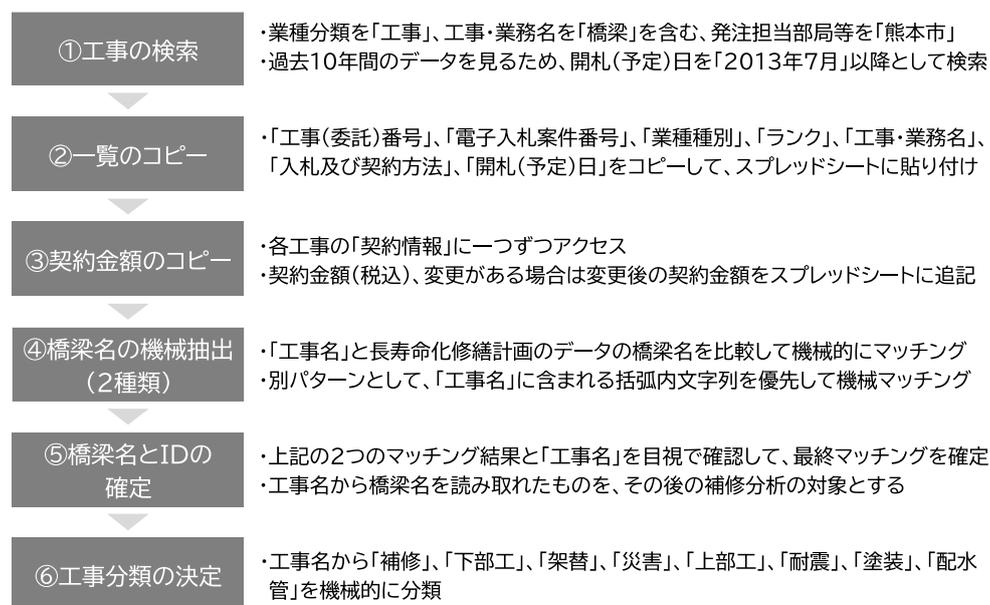
図 30：浜松市の修繕橋梁のマッピング

2-2-2. 熊本市の維持・修繕工事の実施実績

熊本市の維持・修繕費用の分析は、データの作成から開始した。データ作成手順と分析結果を本項に記す。なお、データ作成手法上の制限により、修繕データの全数ではなく抽出可能であったサンプルのみの結果であることに留意する。

(1) データ作成手順

熊本市の修繕実績データの作成手順を図 31 に示す。外部からアクセス可能な入札情報公開サービスシステムの熊本市のサイトから、すべての工事情報を抽出したのち、別途頂いた橋梁台帳として利用可能なマスターデータの「橋梁名」と機械的にマッチングし、かつ工事分類も工事名から機械的に分類した。そのため、マッチングできなかった橋梁はデータに含まれていない。結果として、101 件・約 30 億円分の修繕工事をデータとして抽出した。よって、網羅的ではないものの、全体の傾向を掴むためのデータとして活用する。

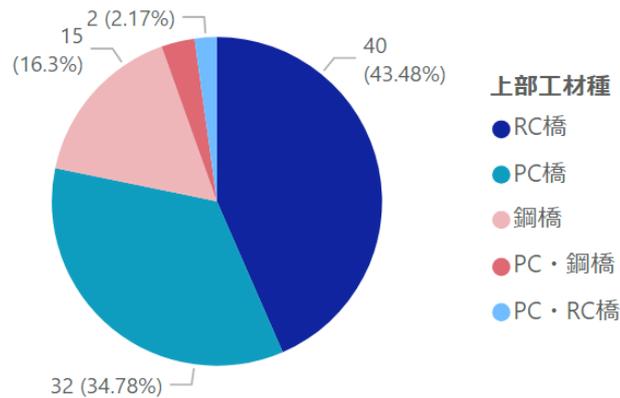


出所：SMTB 作成

図 31：熊本市の修繕費用データ作成手順

(2) 材料別の修繕橋梁数

材料別の修繕橋梁数を図 32 に示す。熊本市が管理する材料別橋梁数を示す図 15 と比較すると、既存橋梁の約 75%は RC 橋であったことに対し、データ分析対象となった修繕 RC 橋数は 43%となった。また、PC 橋は管理橋梁数が 19%に対して修繕数が 35%、鋼橋は管理橋梁数 4%に対して修繕数が 16%となった。RC 橋の数が全体としては多いものの、管理数に対しては少なく、逆に PC 橋・鋼橋は管理数と比較して修繕数が多い結果となった。

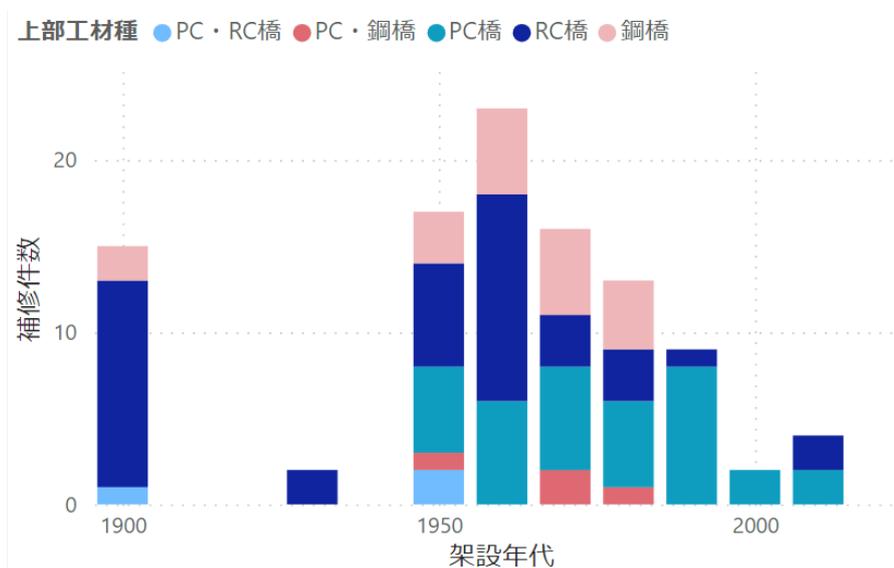


出所：熊本市データを基に SMTB 作成

図 32：材料別の修繕橋梁数

(3) 建設年度別の修繕橋梁数

建設年度別の修繕橋梁数を図 33 に示す。浜松市では 1970 年代に建設した橋梁の修繕数が非常に多かったものの、熊本市ではそこまで大きな傾向はなかった。一方で、建設 50 年以上を経過した比較的古い橋梁の修繕が多い傾向にあることは同様の傾向である。また、PC 橋に関してはどの世代の橋梁も一定数修繕されている。



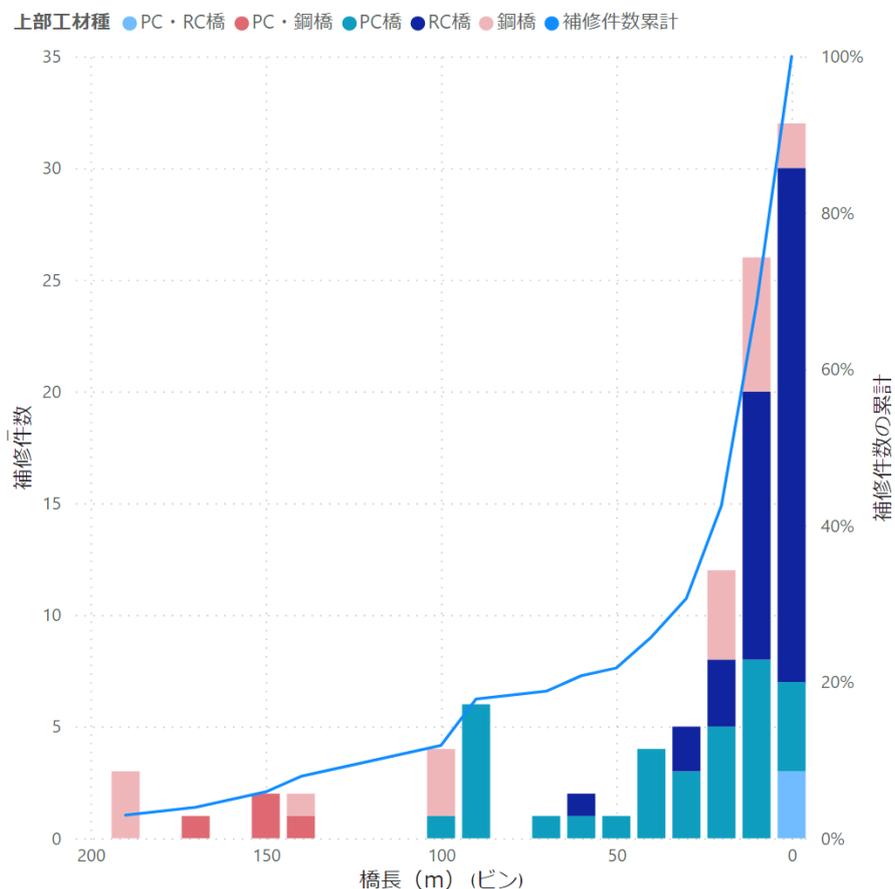
出所：熊本市データを基に SMTB 作成

図 33：建設年度別の修繕橋梁数

(4) 橋長別の修繕橋梁数

次に橋長別の修繕橋梁数を図 34 に示す。浜松市同様に短い橋梁の修繕件数が多い傾向は同じであり 30m までの橋梁が約 70%を占めるものの、その傾向は浜松市と比べて比較的顕

著ではない。また RC 橋は短い橋梁の場合が多い点も同様である。他方、100m ぐらいまでの橋長において、PC 橋の修繕数が多いことに対し、それ以上の橋長だと鋼橋の割合が高まる。

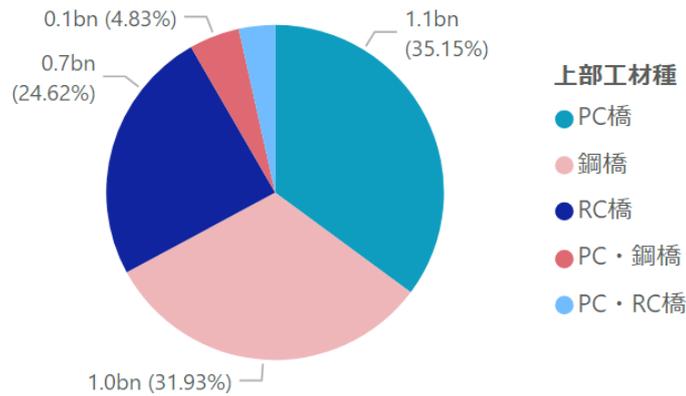


出所：熊本市データを基に SMTB 作成

図 34：橋長別の修繕橋梁数

(5) 材料別の橋梁修繕費用

材料別の橋梁修繕費用を図 35 に示す。修繕橋梁数を集計した図 32 と比べて、RC 橋の費用割合が下がり、鋼橋と PC 橋の割合が高まっている傾向は浜松市と同様である。浜松市と比較して、PC 橋の割合が数でも金額でも大きいことが熊本市の特徴である一方で、数に対する費用の割合が最も高いのは、鋼橋である点は両市に共通した傾向である。鋼橋の修繕件数は、PC 橋のおよそ半分であることに対し、修繕金額では鋼橋と PC 橋がほぼ同額の費用がかかっている。

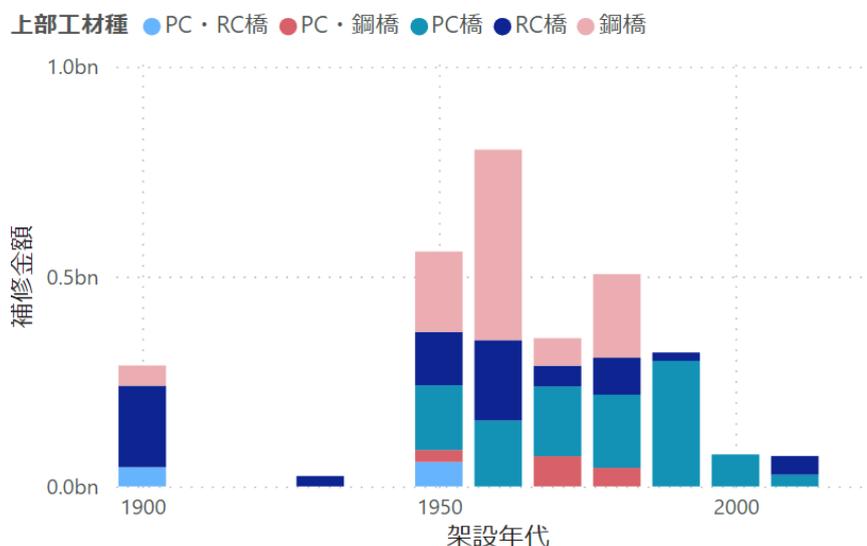


出所：熊本市データを基に SMTB 作成

図 35：材料別の橋梁修繕費用

(6) 建設年度別の橋梁修繕費用

次に建設年度別の橋梁修繕費用を図 36 に示す。橋梁数を表す図 33 と比較して、鋼橋の割合が高まっていることがわかる。また、鋼橋に関して 1960 年代に架設した橋梁の費用の割合が高い。PC 橋に関しては、修繕件数同様に年代によるばらつきが少なかった。



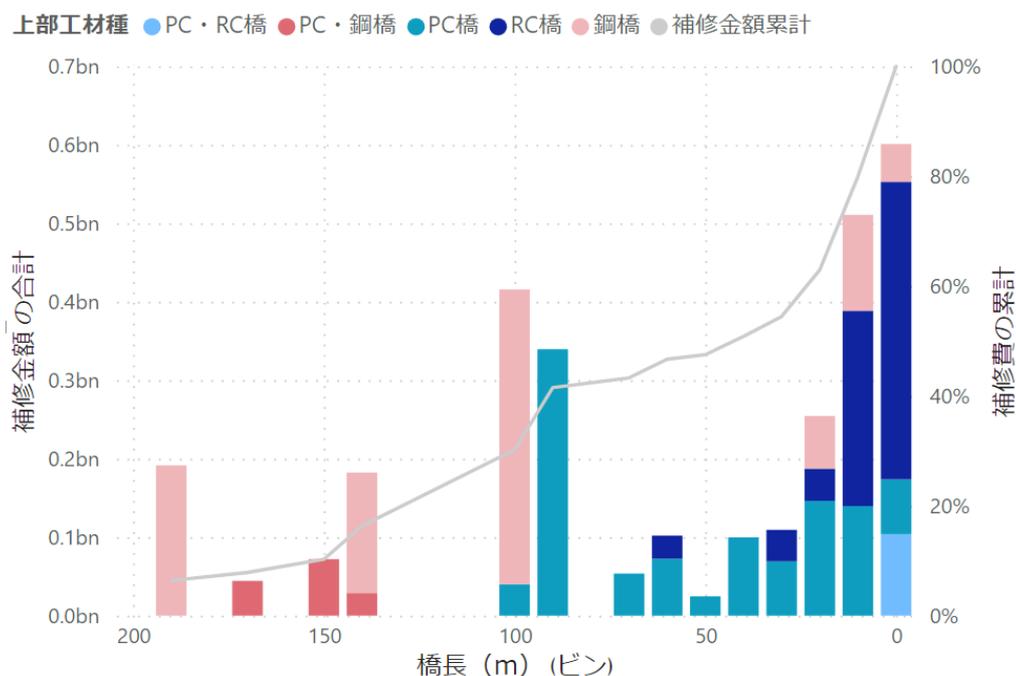
出所：熊本市データを基に SMTB 作成

図 36：建設年度別の橋梁修繕費用

(7) 橋長別の橋梁修繕費用

橋長別の橋梁修繕費用を図 37 に示す。浜松市の図 27 と比較して、比較的橋長が長い橋梁の費用負担が大きい傾向は同じであるものの、短い橋梁の割合が比較的高い。30m 以上の橋梁が占める費用割合は 54%であり、20m 以上で 63%となっている。また、浜松市では

橋長 500m を超える橋梁の修繕も数件あったことに対して、熊本市はすべて 200m 以内であり、PC 橋は 110m 以内の橋梁を修繕しており、比較的長い橋梁の修繕が少ないことが特徴的である。



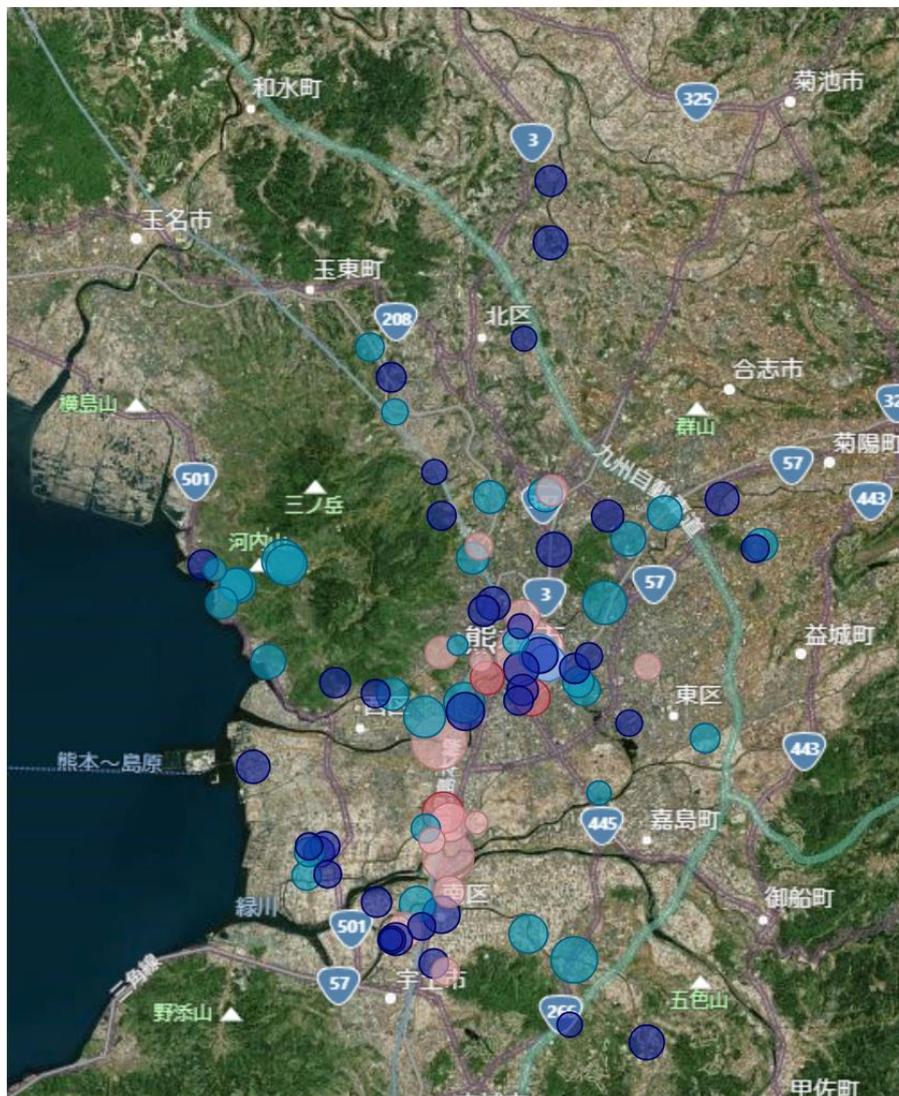
出所：熊本市データを基に SMTB 作成

図 37：橋長別の橋梁修繕費用

(8) 修繕橋梁のマッピング

熊本市の修繕橋梁を航空写真上にプロットしたものを図 38 に示す。熊本市は三ノ岳周辺を除き、比較的平野部に修繕橋梁が広がっている。修繕した RC 橋、PC 橋は市内全域に広がっていることに対して、鋼橋は中心市街地と九州新幹線沿いに比較的集中しているようにも見える。熊本市は西側に海岸線が広がっており、同地域が塩害の影響を受けやすい。

上部工材種 ● PC・RC橋 ● PC・鋼橋 ● PC橋 ● RC橋 ● 鋼橋



注：円の大きさは修繕金額の多寡を示す
出所：熊本市データを基に SMTB 作成

図 38：熊本市の修繕橋梁のマッピング

2-3. 修繕実績分析のまとめと費用抑制効果が見込まれる修繕

ここまで実施した修繕実績の分析の要点を表 2 にまとめた。浜松市がほぼ全数であることに対して、熊本市はサンプルベースのデータでありその特性が異なることに留意する。

この内容から、本業務の目的である将来的な修繕費用の抑制を踏まえた場合、「橋長の長い鋼橋」にまずは着目すべきであることが浮かび上がった。その理由は、1 橋あたりの修繕費用は鋼橋が最も高く、また比較的橋長が長い橋梁の費用負担が大きいことである。また、浜松市の結果からその修繕内容は塗装塗替えが主要工種である可能性が高い。逆に、RC 橋は修繕の件数としては一番多いものの、比較的短い橋梁が多く、1 件あたりの修繕費用も比較的低額であるため、何かしらの対策を講じて費用を抑制する余地が限定的である。また、修

繕費用全体に占める RC 橋の割合も比較的低いことから、将来的な修繕費用の抑制という観点からは優先順位を劣後させることが効率的であると考えられる。

よって、以降の章では鋼橋に重点をおいて調査・分析を進める。

表 2：浜松市と熊本市の修繕分析比較まとめ



修繕分析対象データ	ほぼ全数	サンプル (橋梁名が特定できたもの)
修繕橋梁数の特徴	<ul style="list-style-type: none"> • RC 橋が最も多く、鋼橋、PC 橋が続く 	<ul style="list-style-type: none"> • RC 橋と PC 橋がほぼ同数で、鋼橋が 3 番目
橋梁修繕費用の特徴	<ul style="list-style-type: none"> • 鋼橋の費用割合が高い 	<ul style="list-style-type: none"> • PC 橋と鋼橋がほぼ同額
共通点	<ul style="list-style-type: none"> • 1 橋あたりの修繕費用は鋼橋が高い • 件数は短い橋梁が多いが、費用は長い橋梁の割合が高い • RC 橋の修繕件数は多いが、費用合計は比較的低い 	

出所：SMTB 作成

第3章 鋼橋に対する検討

本章では、1 橋あたりの修繕費用が高額である鋼橋を対象として、将来的な維持管理費用を削減するための措置を検討する。鋼橋の主要な修繕である塗装塗替えに着目して、その劣化メカニズムを分析したのち、点検や修繕記録からその蓋然性を確認する。劣化メカニズムに基づき、事後保全と予防保全の関係性を整理する。次に修繕費用の分析を行い、実費用に基づいた予防保全を実施するケースとしないケースを想定し、「財務的予防保全効果」という概念を用いて、その予防保全の財務面のみの効果を定量化する。

3-1. 鋼橋劣化メカニズムの整理と予防保全の定義

3-1-1. 劣化メカニズム（変状連鎖）を整理する必要性

鋼橋で特徴的な劣化は、上部工の鋼材に生じるものを中心である。その種類には疲労・腐食、塗装の劣化等があり、その要因も環境負荷や橋梁の構造に起因するものなどさまざまである⁶。これらの劣化は互いに影響しあって進行する場合もあり、複雑なメカニズムをもつ。その中で、どの劣化に対して実際に費用負担が大きいかを分析した結果、浜松市においては鋼橋の修繕費用に占める塗装塗替えの費用負担が大きい可能性が高いことを 2 章で述べ、実際の費用分析は 3-2-2 項で後述する。塗装塗替えは、一般的に鋼材の腐食や減肉に起因する構造的な支持力の低下を防ぐための予防保全と捉えられると考える。しかしながら、「塗膜劣化」という損傷（変状）に対する事後保全であると捉えることもできると考えられる。また、浜松市のように全体の修繕費用に占める塗装塗替えの割合が大きい地域においては、将来的な橋梁維持管理費用を抑制するためには、塗装塗替えの頻度を減らすための措置が求められるであろう。この場合、塗膜劣化が生じる前の段階で、塗膜劣化の要因となる負荷の影響を減らすことが塗膜劣化に対する予防保全措置であるといえる。このように、予防保全は連鎖的に生じる変状に対して相対的に定義されるものと考えられ、状況により適切な措置が選択されるべきである。したがって、適切な予防保全を定義し実行するには、まず何の要因によってどのような変状が連鎖的に生じていくのかという変状連鎖を整理することが重要である。

3-1-2. 塗膜劣化要因の整理

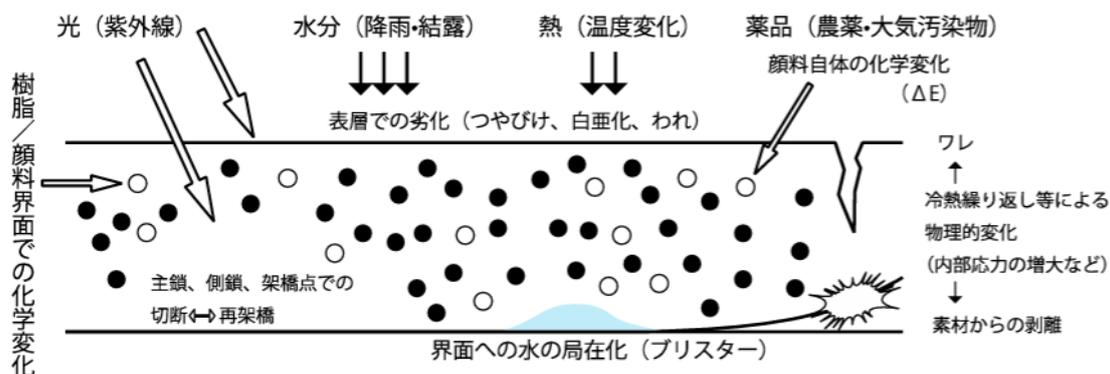
本項では、既存文献によって塗膜劣化の要因を整理する。

(1) 屋外暴露による塗膜劣化メカニズムと要因

鋼橋における塗装の役割は、美観の維持と防食である。鋼材表面に塗膜を形成することにより、腐食を促進する物質（酸素・水・塩化物イオン等）を遮断することで鋼材を保護し、

⁶ 鋼橋の劣化現象と損傷の評価、鋼構造委員会鋼橋の余寿命評価小委員会、土木学会論文集 No. 501/1-29、pp. 21～36、1994. 10 を参照

防食機能や美観を維持することができる⁷。一方で、塗装自体も劣化する。塗装の劣化には、ワレ・ハガレ、塗膜厚減少、変退色、光沢低下、チョーキング等がある。屋外環境に暴露された状態での塗膜劣化の概念図を図 39 に示す。光、水分、熱、薬品等の様々な要因により塗装は劣化する。

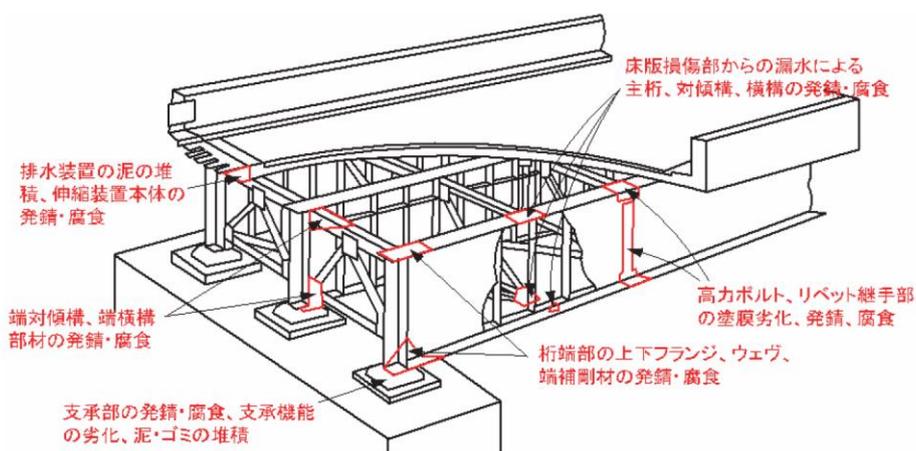


出所：鋼橋の延命化技術の開発、土木研究所、重点研究報告書、2014、No.重 24、2015/03/31

図 39：屋外暴露による塗膜劣化の概念図

(2) 塗膜劣化や腐食が発生しやすい部位

また、橋梁の部位によっても塗膜劣化の進行しやすさは異なる。鋼橋の構造上、特に塗膜劣化や腐食が生じやすい部位を図 40 に示す。雨水などの排水経路となる部分や、水分やゴミ等が滞留しやすい部分、異種金属が接触する部分等で特に腐食が発生しやすくなる。



出所：橋梁補修設計マニュアル インフラ維持管理研究委員会報告書_橋梁分科会補修補強 WG

図 40：腐食が生じやすい部位

⁷ 鋼道路橋防食便覧、日本道路協会、2014.3、第Ⅱ編Ⅱ-1

(3) 全体的な塗膜劣化と局所的な塗膜劣化

図 41 に、通常の経年的な劣化により鋼橋全体に生じた塗膜劣化と塗膜劣化が生じやすい部分で局所的に生じた腐食の例をそれぞれ示す。全体に塗膜劣化が生じる要因としては、その橋梁が置かれている外部環境において避けられない負荷（紫外線、降雨、結露、熱等）によるものが主であり、通常の経年劣化として塗装の設計耐用年数をまっとうしていると考えられる。一方で、局所的に塗膜劣化が生じる箇所は、前述の負荷に加えて局所的な負荷が生じることにより劣化が促進されていると考えられる。異種金属の接触を除けば、前述の通り排水不良や構造に起因する水分の供給過多が要因となっている。よって、水分の供給過多を防ぐことによって、局所的な塗装の劣化を抑制できると考えられる。



(1)全体に生じた塗膜劣化の例

(2)局所的に生じた塗膜劣化の例

出所：橋梁補修設計マニュアル インフラ維持管理研究委員会報告書_橋梁分科会補修補強 WG

図 41：鋼橋の塗膜に生じる腐食の事例

3-1-3. 変状連鎖図による劣化メカニズムの整理と予防保全の方針

本項では、前述した塗膜劣化の要因をもとに、塗装を中心とした劣化メカニズムを変状連鎖図で整理し、塗膜劣化に対する予防保全の方針を記す。

(1) 変状連鎖図による劣化メカニズムの整理

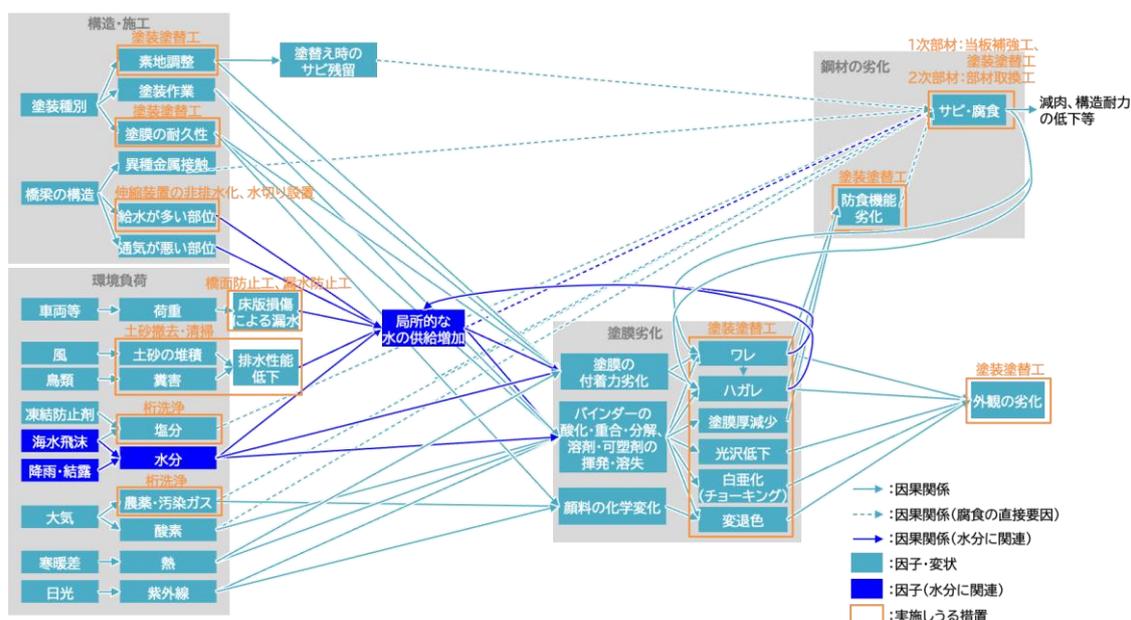
橋を対象とし、塗膜劣化を生じさせる要因や、塗膜劣化から連鎖的に生じる変状を可視化するため、塗装に関する橋梁部材の変状メカニズムを簡易的に表すモデルである変状連鎖図を作成した（図 42）。この変状連鎖図を用いることにより、一次的な環境負荷や構造・施工要因、それにより生じる二次的な変状要因、さらに連鎖的に生じる構造性能低下までの過程をトレースすることができる。また、各要因や変状を抑制・回復するために実施し得る工法や対策などの措置をオレンジ色で併記したことにより、要因ごとの措置候補を抽出することができる。

図の左側には、一次的な環境負荷や構造・施工要因を示した。図の中央部には、塗膜劣化の代表的な変状（ワレ、ハガレ、塗膜厚減少、光沢低下、白亜化、変退色）およびその物理的な直接要因を表示した。図 42 ではこれらをまとめて「塗膜劣化」とした。図の右側には、塗膜劣化が要因となって連鎖的に引き起こされる劣化現象（防食機能劣化、サビ・防食、外観の劣化）を示した。図中の矢印は、各因子同士の因果関係を表している。ここで、水分に

関する要因やその因果関係は特に複雑であるため、見やすさのために青色で強調して示した。

ここで着目すべきは、局所的な水の供給増加である。局所的な水の供給増加は、塗膜の付着力やバインダーの劣化につながるとともに、その水が塗装のワレやハガレにも直接的に作用する。また、防食機能が低下した鋼材に水が供給されることによって、サビ・腐食も促進される。また、サビ・腐食が進むと塗装のワレ・ハガレがさらに促進され、劣化の負のループに陥って局所的な劣化が進行してしまう。なおサビ・腐食以降は、鋼材の減肉、それに伴う構造耐力の低下へと劣化が進行していく。

また、局所的な水の供給増加は、「予防しうる損傷(変状)」であるという点も重要である。図にオレンジ色で示している各変状・因子に対して実施しうる措置に着目すると、紫外線や熱、酸素などは、塗装の劣化要因ではあるもののそれに対する措置が基本的には困難であることに対して、局所的な水の供給増加に関しては、排水設備の補修や水切り設置、伸縮装置の非排水化、橋面防水、土砂撤去・清掃などによって、予防することができる。



出所：SMTB 作成

図 42：塗装に着目した変状連鎖図

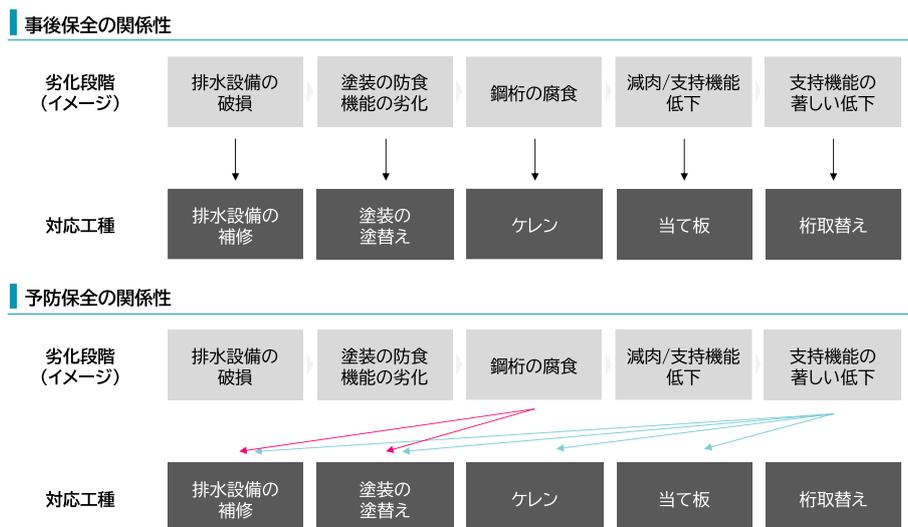
(2) 本報告書における予防保全の定義

ここで改めて本報告書における予防保全を定義する。前述の変状連鎖図にて各変状（損傷や劣化要因）の関係性を整理した。その変状を発生する順に並べたものとそれに対する措置のイメージを図 43 に示す。

上段にあるように、破損した排水設備に対する補修や支持機能が著しく低下した桁に対する桁の取替えは、発生したそれぞれの損傷・変状に対する事後保全であると考えられる。一

方で、下段にあるように、鋼桁の腐食に対しては、それ以前の変状に対する措置である塗装の塗替えや排水設備の補修が予防保全となりうる。さらに、支持機能の著しい低下に対する予防保全と考えれば、当て板やケレンも含めて予防保全として機能していると考えられる。

よって本報告書では、「予防保全は、変状連鎖図において、対象とする変状の因子・要因、またはそれ以前の変状に対する措置」と定義する。よって、対象とする変状によって、何が予防保全となるかその範囲も大きく異なる。



出所：SMTB 作成

図 43：事後保全と予防保全の関係性（イメージ）

(3) 塗装に対する予防保全の方針

ここで、橋梁維持管理において多くの費用を要している塗装に着目して分析し、予防保全の方針を定める。図 42 の変状連鎖図において、ある変状に着目し、その変状に向かう矢印を逆方向にトレースすることで、要因と予防保全措置候補を容易に分析することができる。例えば、塗膜劣化の一つである「塗膜の付着力劣化」に向かう矢印を逆方向にトレースすると、「素地調整」「塗装作業」の質、「塗膜の耐久性」の違いといった構造・施工要因や、「水分」「熱」といった環境要因のほか、「局所的な水の供給増加」（排水時の排水経路となりやすい桁端部・床板漏水部・伸縮装置周辺等からの水分供給）が一因となることがわかる。

また、これらの要因を抑制するために実施する措置（オレンジ色部）を読み取ると、「伸縮装置の非排水化、水切り設置」「橋面防水工・漏水防止工」「排水設備の補修」「土砂撤去・清掃」である。すなわち、これらが「塗膜の付着力劣化」という塗膜劣化に対する予防保全措置の候補である。同様にその他の塗膜劣化要因とその対策措置を分析すると、塗装作業の素地調整種別や塗装系の選定、桁洗浄といった予防保全措置も考えられることがわかる。

このような分析を他の塗膜劣化要因に対しても行い、①塗膜劣化に対する予防保全として機能する措置、②塗装塗替えにより事後保全できる変状、③塗装塗替えにより予防保全でき

る変状を抽出したものを表 3 に示す。①に示す予防保全措置を行うことにより、②の塗装の直接的な劣化および連鎖的に生じる③の変状を予防することができる。

表 3：塗膜劣化を中心とした予防保全・事後保全の関係性

① 塗膜劣化に対する 予防保全	② 塗装塗替えにより 事後保全できる変状	③ 塗装塗替えにより 予防保全できる変状
<ul style="list-style-type: none"> ・ 排水設備の補修 ・ 伸縮装置の非排水化 ・ 橋面防水工 ・ 漏水防止工 ・ 桁洗淨 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 塗膜劣化 ・ 防食機能の劣化 ・ 外観の劣化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ サビ、腐食 ・ 鋼材の減肉 ・ 構造耐力の低下

出所：SMTB 作成

3-1-4. 点検・修繕記録による鋼橋変状の検証

前項の変状連鎖図に基づく分析から、鋼橋の塗膜劣化に着目した場合、効果的な予防保全の方針として、伸縮装置の非排水化、水切り設置、橋面防水工・漏水防止工、土砂撤去・清掃が考えられること、その効果として塗装塗替えの延期が期待されることが示唆された。本項では、点検および修繕記録を用いてその妥当性を検証する。

(1) 点検記録による排水不良・漏水と桁端部・支承腐食の相関

本項においては、実際の橋梁の点検記録をもとに、実橋梁で顕在化している損傷の部位や形態を把握し、変状連鎖図を用いた分析のうち、特に桁端部周辺の局所的な水の供給と腐食との相関を検証した。

浜松市において、2015～2022 年度に修繕工事を実施した鋼橋のうち、「塗装塗替え」と図 28 にて比較的修繕費用を要しており、かつ図 42 において塗膜劣化が進行することによって発生する「当て板補修工」と前述の局所的な水の供給増加の影響を受けると考える「支承補修工」の工種を含む橋梁を対象とし、その中でも「橋長 30m 以上」「跨線橋」「ポリ塩化ビフェニル (PCB⁸) 含有塗料」などのコストが嵩む条件に該当する橋梁を中心に 41 橋を選定した。

各橋梁の点検記録において、桁端部や支承⁹、排水施設などの部材ごとの状況を確認した結果を表 4 にまとめる。表中の「●」は当該の損傷が記録や写真から確認されたことを示している。

表中の「桁端部腐食」は、塗膜劣化が生じている橋梁の中で、主桁端部の腐食状況が他の部位と比較して、相対的に顕著であったことを意味している。「桁端部腐食」が発生してい

⁸ PCB 含有塗膜等の PCB 廃棄物については、PCB 特別措置法に基づき、処分期間内の処分等が義務付けられており、指定の方法で保管や廃棄等が必要となる。

⁹ 支承とは、橋梁の上部工（主桁・主構）と下部工（橋台や橋脚）の間に設置する部材のこと。

た 16 橋のうち、14 橋で「支承腐食」、7 橋で「排水不良・漏水」が同時に確認されている。また、「支承腐食」は 25 橋で確認されており、特に塩害リスクの高い浜名湖周辺の 11 橋全てにおいて「支承腐食」が顕在化していた。

浜松市の鋼橋の点検記録を分析した結果から確認された傾向を以下に記す。

- ・塗装塗替の要因となった劣化や腐食は、桁端部において生じた事例が多い
- ・排水施設の不具合と桁端部の腐食が同時に発生している事例が複数ある
- ・桁端部の腐食と同時に、支承の腐食が顕在している
- ・塩害エリアでは、前述の傾向がより顕著に現れる

これらの実橋梁で確認された塗膜劣化の傾向は、桁端部は路面排水の排水経路に位置していること、降雨等に伴い局所的に水分の供給が増加しやすいことに起因していると考えられる。排水設備の汚れや詰まり・損傷により機能が低下するとさらに水分の供給量が増え、塩分の存在はより過酷な腐食環境を形成することを示しており、3-1 節の変状連鎖に関する分析の妥当性が検証できたと言える。

表 4：浜松市における 30m 超鋼橋の主な損傷タイプ

橋梁名	諸元		各部材の状況(抜粋)			
	架橋年度	浜名湖周辺	塗装劣化	桁端部腐食	支承腐食	排水不良・漏水
草木高架橋	1994		●	●	●	●
池島ランプ橋	1994		●		●	
伊場跨線橋	1970		●			●
東嶋小橋	1984		●		●	
富塚歩道橋	1983		●			●
天竜川橋	1933		●	●	●	●
馬郡跨線橋	1967	●	●		●	
村柳橋	1972	●	●	●	●	
通橋側道橋1	1972	●	●	●	●	
明月橋	1973	●	●		●	
天津橋	1973	●	●	●	●	●
2号橋	1981	●	●		●	
臨江橋	1994		●		●	●
記念橋	1967	●	●		●	●
瀬高橋	1976	●	●	●	●	
朝日橋2	1968	●	●		●	●
観月橋	1968	●	●	●	●	●
向橋2	1978		●	●	●	
若林跨線橋	1970		●		●	●
落合橋1	1977		●		●	
熔烙沢橋	1973					
新田大橋	1973		●			
浜北大橋	1970		●			●
大輪橋	1970		●			
新長久橋	1983		●	●	●	
大井橋	1971		●			
中部大橋	1954		●	●	●	●
塩見渡橋	1973		●	●	●	●
門桁橋	1968					
門島橋2	1959		●			●
河内2号橋	1975		●	●	●	
宮前小橋	1974		●			
中道橋2	1972					
井戸川橋	1964		●			
大原橋1	1986		●			
大屋敷橋	1955		●	●	●	●
長雑橋	不明		●	●		
井口橋2	不明					
池ヶ谷橋	1961		●	●		
宝寿平線1号橋	1974		●		●	
通橋側道橋2	1972	●	●	●	●	

注：浜名湖周辺エリアとして、湖岸から～300m 程度の範囲；緯度 34.806 以下かつ経度 137.657 以下を設定している

出所：浜松市の橋梁の点検記録様式を基に SMTB 作成

(2) 塗装塗替工・補強工・支承工の実施状況

次に上記点検記録に修繕実施状況を付加することにより、実際にどのような点検記録からどのような修繕が実施されているかと、劣化メカニズムの妥当性を検証する。点検記録を基に作成した表 4 に、修繕記録から塗装塗替え、補強工、支承工の実施有無を付加したものを表 5 に示す。

表 5：塗装塗替工・補強工・支承工の実施状況

橋梁名	諸元		各部材の状況(抜粋)				修繕工種(抜粋)		
	架橋年度	浜名湖周辺	塗装劣化	桁端部腐食	支承腐食	排水不良・漏水	塗装塗替工	補強工	支承工
伊場跨線橋	1970		●				●		
東嶋小橋	1984		●				●		金属溶射工
天竜川橋	1933		●	●	●	●	●	当て板補修工等	支承取替工
馬郡跨線橋	1967	●	●		●		●	当て板補修工	
村柳橋	1972	●	●	●	●		●	当て板補修工	
通橋側道橋1	1972	●	●	●	●		●	当て板補修工等	FRPシート工
明月橋	1973	●	●		●		●	当て板補修工	
天津橋	1973	●	●	●	●	●	●	当て板補修工	
2号橋	1981	●	●		●		●	当て板補修工	
記念橋	1967	●	●		●	●	●		支承補修工
瀬高橋	1976	●	●	●	●		●	当て板補修工	
朝日橋2	1968	●	●		●	●	●	当て板補修工	
観月橋	1968	●	●	●	●	●	●	当て板補修工	支承取替工
向橋2	1978		●	●	●		●		
若林跨線橋	1970		●		●	●	●		
落合橋1	1977		●		●		●		
熔烙沢橋	1973								支承取替工
新田大橋	1973		●				●		
浜北大橋	1970		●			●	●		
中部大橋	1954		●	●	●	●	●		
門桁橋	1968								支承取替工
河内2号橋	1975		●	●	●		●	部材取替工	支承補修工
中道橋2	1972								支承補修工
井口橋2	不明								防錆工
宝寿平線1号橋	1974		●		●		●	当て板補修工等	
通橋側道橋2	1972	●	●	●	●		●	当て板補修工	FRPシート工

注1：浜名湖周辺エリアとして、湖岸から～300m程度の範囲；緯度 34.806 以下かつ経度 137.657 以下を設定している

注2：表4のうち、修繕データ（実施設計書）が入手できなかった橋梁は対象外としている
出所：浜松市の橋梁の点検・修繕記録を基に SMTB 作成

「桁端部腐食」が確認された10橋のうち、8橋で補強工（当て板補修工）が施工されており、5橋で支承工が施工されている。特に「桁端部腐食」している橋梁は当て板補修が実施されているケースが多い。これは、桁端部の局所的な塗膜劣化に伴い腐食を生じる場合、腐食範囲も局所的になる傾向があり、鋼材の減肉がより深くまで進行する形態になりやすい¹⁰ことが一因と推定される。

3-1-3 項の変状連鎖図に基づく塗膜劣化に関するメカニズムの整理から、桁端部の局所的な塗膜劣化と腐食は、路面排水等が集中して桁端部に供給されることが一因であることがわかっている。従って、桁端部への局所的な水の供給を防止することで、局所的な塗膜劣化と腐食に対処することができ、塗装塗替えのタイミングを延期することにつながることの蓋然性が確認できたと言える。

3-2. 鋼橋修繕工事の費用分析

第2章にて、代表工種が記入されたデータを用いて、鋼橋では塗装塗替えを主目的として修繕が実施されていることを確認した。しかしながら、通常、橋梁の修繕工事では1つの部

¹⁰ 一般に全面的な腐食と比較して、局所的な腐食は肉厚方向に進行しやすく、塩分の存在によりその傾向はより顕著になると言われている。

位や工種のみを実施することは少なく、複数の部位、工種を組み合わせて実施している。そこで、本節では実際に要した費用が記載されている実施設計書を元に、鋼橋の修繕工事の内訳を明らかにし、費用構造を把握する。

3-2-1. 工事の費用構造

(1) 請負工事費の内訳

橋梁の修繕を含む土木工事は、請負契約で実施されることが多く、その請負金額が各地方公共団体の支出となる。今後、予防保全による財務的効果を金額で定量的に算定する際に、各工事の単価から最終的な支出となる請負金額に簡易的に換算することにより、計算を容易に行うことができる。

図 44 に請負工事費の内訳を示す。工事原価は直接工事費と間接工事費に分解され、また工事原価に一般管理費等を加えたものが工事価格、またそれに消費税等相当額を加えて、請負工事費となる。この内訳構造を念頭に以降の費用分析を行う。

また「仮設費」の違いを表 6 に示す。仮設工とは、目的とする構造物を建設するために必要な工事用の施設で、原則として工事完成後に取り除かれるものを示す。ただし、その性質によって直接仮設費と共通仮設費に分類され、費用内訳の計上場所が異なる。この仮設費の違いも踏まえて費用分析を行う。



出所：土木工事積算基準マニュアル（2023）建設物価調査会

図 44：請負工事費の内訳

表 6：直接仮設費と共通仮設費

直接仮設費	足場や養生など施工を行うために直接必要な仮設物の設置費用で、直接工事費に含めるもの
共通仮設費	作業ごとの仮設物ではなく、工事全体を進めるために必要となる休憩施設やトイレなどの仮設物の設置費用で、間接工事費に含まれるもの

出所：国土交通省中部地方整備局ウェブサイト等を参考に SMTB 作成

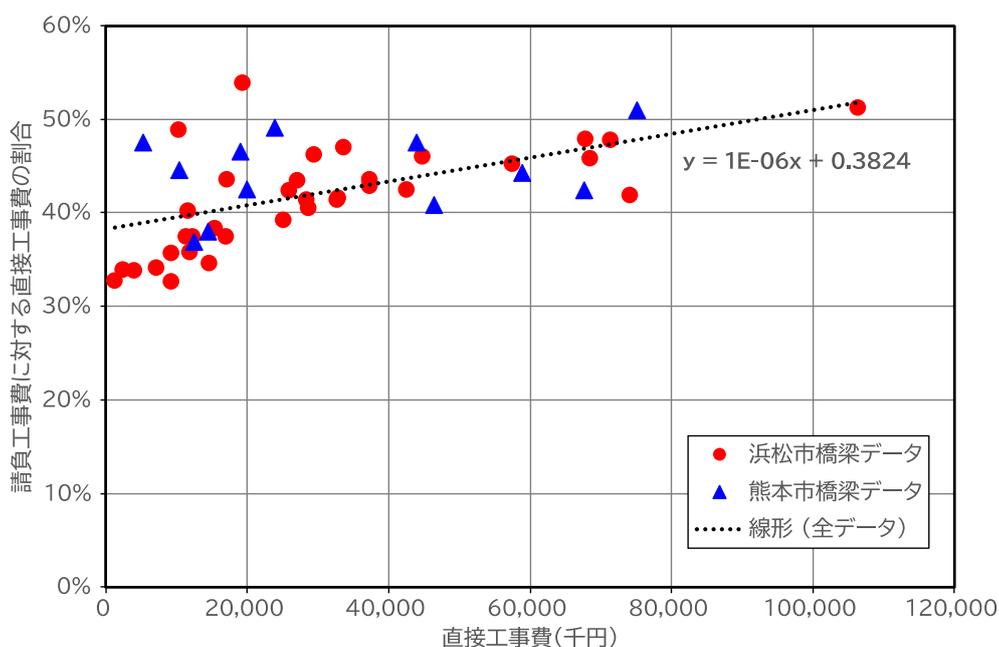
(2) 鋼橋修繕工事費における直接工事費の割合

請負工事費と直接工事費の割合は、工事の種類や条件によって異なるが、「鋼橋の修繕」と

いう同質条件下ではその割合に傾向が出ると考えられる。よって、鋼橋修繕工事の実データを用いて、その関係性を確認する。表 4 で対象とした浜松市の鋼橋 41 橋のうち、詳細費用内訳がない少額の工事等を除く 26 橋と熊本市の鋼橋 12 工事の実施設計書をもとに分析した。

各修繕工事において、直接工事費（塗装塗替えや直接仮設工、補強工等）の合計金額と請負工事費に対する直接工事費の割合を集計し、散布図で表したものを図 45 に示す。直接工事費が高くなるほど、請負工事費に対する直接工事費の割合が大きくなる傾向が認められる。つまり、工事規模が大きくなるほど直接工事費の割合が大きくなり、間接費や管理費の割合が低下する。また、地域間格差は認められなかった。これらのデータの分散は必ずしも大きくなく、またその直接工事費の割合は 30~50% の範囲に概ね収まっている。

よって、以降の分析において直接工事費から請負工事費を概算で算出する際には、直接工事費合計の 2.5 倍（直接工事費割合が 40%）すること基本とし、その影響が大きくなる場合が予測される場合には、回帰直線の式を用いて算出する。



出所：浜松市・熊本市実施設計書を基に SMTB 作成

図 45：請負工事費に対する直接工事費の割合

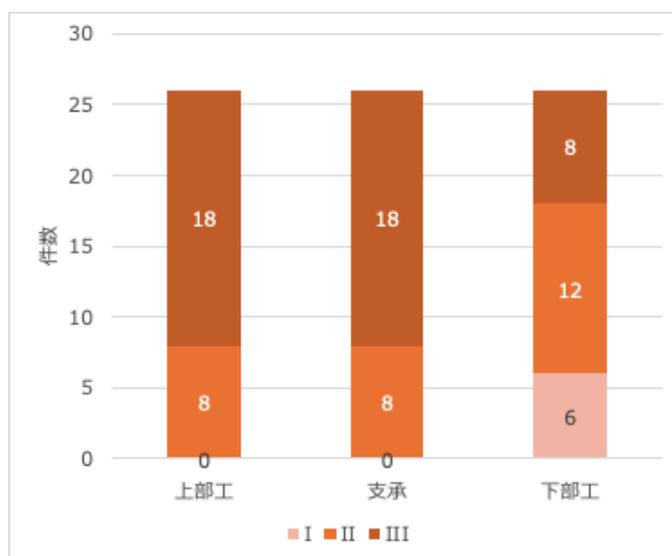
3-2-2. 鋼橋の直接工事費の内訳

本項からは、直接工事費に着目して、実際にどの部位のどのような損傷に対して、どのような補修・修繕が実施されているか分析する。

(1) 部位別の健全度

浜松市では、図 25 にて鋼橋の修繕金額が占める割合が多いこと、図 28 にて鋼橋修繕の代表工種が塗装塗替え、支承補修工、当て板補修工であることを確認した。よってそれらの中から、一定の修繕費用が発生しており、かつのちの分析に必要な実施設計書が入手可能な 26 橋を抽出した。その 26 橋の修繕前の点検データから、部位毎の健全度を集計したものを図 46 に、さらに橋梁別に健全度を入れたものを図 47 に示す。

早期措置段階である健全度Ⅲと判定されるものは、上部工と支承が最も多く 18/26 橋梁となっている。なお、図 47 に示すように、上部工と支承の健全度がⅢの橋梁は必ずしも一致していない。一方で、下部工が健全度Ⅲと判定されるケースは比較的少ないものの、約 1/3 と一定数存在する。



出所：浜松市の点検データを基に SMTB 作成

図 46：浜松市 26 橋梁の部位別健全度

橋梁名	部位毎の健全度		
	上部工	支承	下部工
伊場跨線橋	III	II	III
東嶋小橋	II	III	II
天竜川橋	III	III	II
馬郡跨線橋	II	III	II
村楡橋	III	III	II
通橋側道橋1	III	III	I
明月橋	III	III	III
天津橋	III	III	III
2号橋	III	II	I
記念橋	III	III	II
瀬高橋	III	II	II
朝日橋2	III	III	III
観月橋	III	III	III
向橋2	II	III	II
若林跨線橋	III	II	I
落合橋1	III	III	II
熔烙沢橋	III	III	II
新田大橋	II	III	II
浜北大橋	III	II	II
中部大橋	II	III	II
門桁橋	II	II	III
河内2号橋	II	III	I
中道橋2	III	II	III
井口橋2	II	III	III
宝寿平線1号橋	III	II	I
通橋側道橋2	III	III	I

出所：浜松市の点検データを基に SMTB 作成

図 47：橋梁別・部位別の健全度

(2) 集計・分析用の工種分類

工事・発注ごとに工種名には揺らぎがあるため、統一した基準で集計する必要がある。浜松市・熊本市それぞれの実施設計書を基に表 7 の工種分類を設定した。

表 7：直接工事費の集計工種分類

分類	主要な工種名
塗装塗替工	塗装塗替工 (Rc-1)、塗装塗替工 (Rc-2)、塗装塗替工 (Rc-3)
補強工	当て板補修工、炭素繊維補強工、金属パテ補修、部材取替
舗装工	舗装打替工、橋面防水工、区画線工、段差補修工
伸縮継手工	伸縮継手取替工、目地処理工
支承工	支承取替工、沓座モルタル補修、金属溶射、ボルト補修
高欄・落下防止柵工	高欄取替工、落下防止柵工
排水施設工	水切り材設置工、排水管補修工、排水柵補修工、取付金具補修
断面修復工	断面修復工、乾式吹付
ひび割れ補修工	低圧注入工、充填工
表面被覆工	表面被覆工

分類	主要な工種名
仮設工	足場・養生工、交通管理工、橋梁点検車、高所作業車
その他	構造物撤去工、輸送工、下部工補修

出所：浜松市・熊本市データを基に SMTB 作成

(3) 鋼橋の直接工事費の内訳

■浜松市の直接工事費内訳

表 7 の分類に従って、浜松市の鋼橋 26 橋の直接工事費を集計したものを図 48、橋梁ごとに集計したものを図 49 にそれぞれ示す。

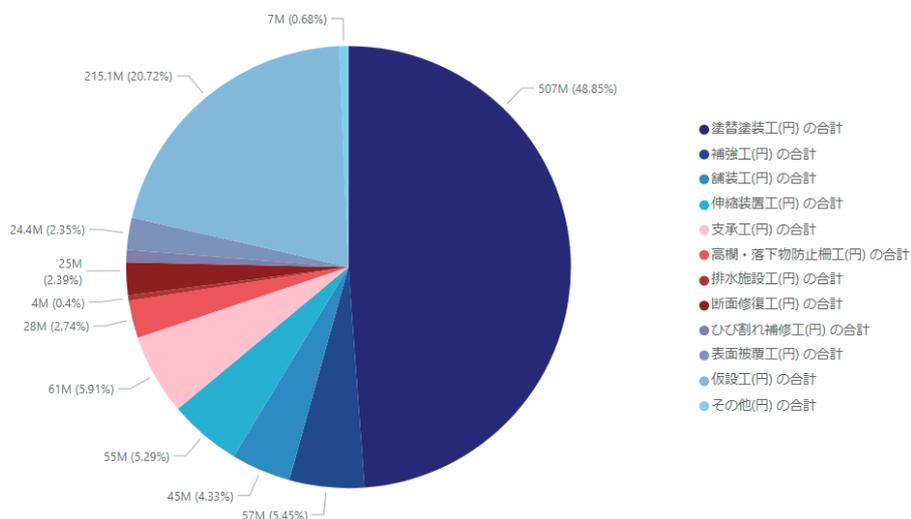
2-2-1 項に記載した通り、浜松市における鋼橋修繕工事の代表的な工種は、塗装塗替えであり、直接工事費に占める割合が 49% とほぼ半分を占めることがわかった。よって、予防保全の意味合いで実施されていることもある塗装塗替え自体を抑制することは、地方公共団体の橋梁維持管理費用の抑制につながる可能性が高い。また、図 49 にて橋梁別に見ると、工事金額が高額な橋梁ほど、塗装塗替えの割合が高い傾向にあるように思われる。例えば、①中部大橋～村櫛橋と②若林跨線橋～明月橋で同様の集計を行うと、工事金額が大きい①では、塗装塗替えが 65%、②では 30% である。損傷度合いが同等の場合、工事金額の多寡は橋長の影響されることを踏まえると、橋長の長い鋼橋の塗装塗替えを抑制する効果が高いことが伺える。

次に費用が多くかかっているものは仮設工であり、21% を占めている。ここで鋼橋修繕工事において、直接仮設（表 6 参照）がどのような目的で利用されているか考察する。表 7 に記載したとおり、鋼橋の修繕工事における直接仮設は、足場・養生や同等の役割を果たす橋梁点検車、高所作業車など、交通管理工以外は作業スペースを確保するものが大半を占めている。また、塗装塗替工と仮設工に続く工種としては、支承工（6%）、補強工（5%）、伸縮継手工（5%）、舗装工（4%）となっており、足場などの空中の作業スペースの必要性が高いものは補強工に限られる。つまり、この仮設工は主に塗装塗替えを実施するために要している費用であり、塗装塗替えを抑制することによって、付随的に仮設工の費用も抑制できる可能性が高い。

また、図 46 と図 48 を合わせて考えると、下部工の健全度が低いものは一定数存在するものの、下部工に対する直接工事費割合は 1% 以下と限定的であることがわかる。また、上部工と支承で健全度Ⅲの橋梁数は同じであるものの、直接工事費割合は上部工にかかるものが極めて多い。よって、鋼橋における修繕費用削減の観点からは、上部工の劣化を抑制することが望ましいことが伺える。

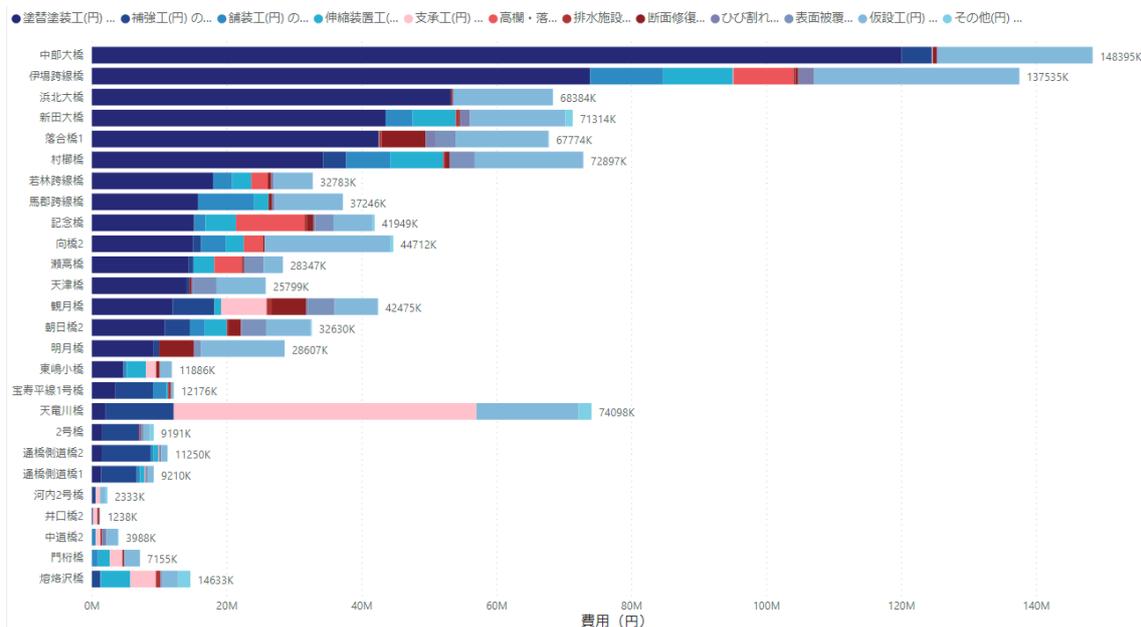
他方、排水施設工（排水設備工、水切り材工等）は件数が多い（15 橋／26 橋中）ものの、修繕工事費用に占める割合は 1% にも満たない。1 件あたりの工事費用が安価であることがその要因である。施工手順を踏まえても必ずしも足場等の仮設設備を必要としないこと、廉価であること、また図 42 で示したように塗装塗替えを延期できる可能性があることから、

予防保全的措置として、有効性が高い可能性がある。



出所：浜松市の実施設計書を基に SMTB 作成

図 48：浜松市鋼橋 26 橋の直接工事費の内訳



注：分割発注しているものは、橋梁ごとに費用を合計した

出所：浜松市の実施設計書を基に SMTB 作成

図 49：浜松市橋梁別の鋼橋直接工事費内訳

■熊本市の直接工事費内訳

表 7 の分類に従って、熊本市の鋼橋 8 橋の直接工事費を集計したものを図 50、橋梁ごと

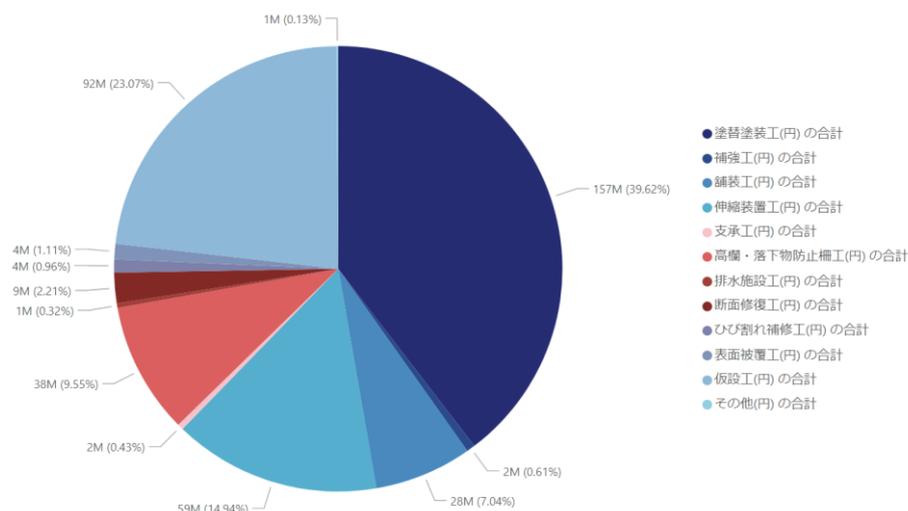
に集計したものを図 51 にそれぞれ示す。

2-2-2 項に示唆されていた通り、熊本市においても 1 橋あたりの修繕費用は鋼橋が最も高く、その代表的な工種は塗装塗替えであり、直接工事費に占める割合が 30%に上ることがわかる。よって、浜松市と同様に、塗装塗替え自体を抑制することは、地方公共団体の橋梁維持管理費用の抑制につながる可能性が高い。また、図 51 にて橋梁別に見ると、工事金額が高額な橋梁ほど、塗装塗替えの割合が高い傾向も浜松市と同様である。

次に費用が多くかかっているものは仮設工であり、23%を占めている。仮設工が 2 番目の費用項目となっている点も浜松市と共通している。また、塗装塗替えと仮設工に続く工種としては、伸縮継手工 (15%)、高欄・落下物防止柵工 (10%)、舗装工 (7%) となっており、足場などの空中の作業スペースの必要性が高いものは高欄・落下物防止柵工に限られ、塗装塗替工を抑制することによって、付随的に仮設工の費用も抑制できる可能性が高い。

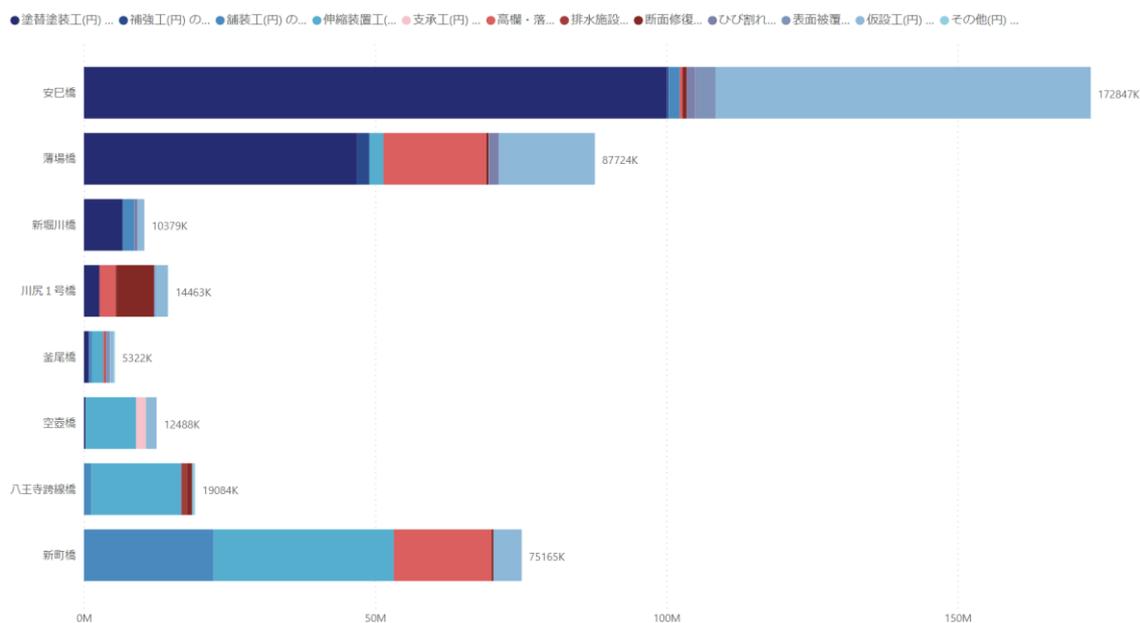
他方、排水施設工は半数 (4 橋/8 橋中) で実施されているものの、修繕工事費用に占める割合は 0.5%にも満たないことから、1 件あたりの工事費用が安価であることがわかる。

したがって、熊本市の実橋梁データからも、排水施設工により塗装塗替えを延期できる可能性があることから、予防保全的措置として有効性が高い可能性があると言える。



出所：熊本市の実施設計書を基に SMTB 作成

図 50：熊本市鋼橋 8 橋の直接工事費の内訳



注：分割発注しているものは、橋梁ごとに費用を合計した

出所：熊本市の実施設計書を基に SMTB 作成

図 51：熊本市橋梁別の鋼橋直接工事費内訳

3-3. 鋼橋における財務的予防保全効果の試算

本節では、前述の塗膜劣化メカニズムとその実修繕費用をベースとしたシナリオを設定して、数ある予防保全効果の中から財務面に着目して、その効果を定量化する。

3-3-1. 財務的予防保全効果の定義と評価の考え方

(1) 予防保全の効果と財務的予防保全効果

ここで、予防保全の効果と、今回用いている財務的予防保全効果について整理する。予防保全の効果は、表 8 に示すように多岐にわたり、ライフサイクルコストの低減だけでなく、施設の長寿命化、工事等による歩行者や車両通行への影響（ダウンタイム）の低減、資産価値の維持、安全性の向上、脱炭素への寄与などがあげられる。

様々な効果がある中で、財務的予防保全効果は、ライフサイクルコストの低減の一部分を切り出して定量化した指標となる。地方公共団体から見た支出面のみに着目して、その予防保全措置 1 回あたりの事後保全措置を延期することにより期待される支出削減効果の金額を示したものである。よって、予防保全を複数回繰り返し、事後保全を回避できるという現象は、予防保全により繰り返し事後保全が延期される形で表現される。

また、表 8 の様々な効用・効果があることを踏まえると、財務的予防保全効果がゼロである予防保全に関しても実施することが望ましいと考えられる。財務的には±ゼロであるが、他の効用により便益が上回ることが期待できるからである。理論上は他の効用・効果も貨幣換算することによって、効果指標に組み込むことも可能である。しかし、計算が複雑になり利用しづらくなるため、財務的予防保全効果として財務面のみの特化した指標としている。

表 8：予防保全の効果

ライフサイクルコストの低減	健全性が大きく下がると大きな費用を必要とする事後保全が発生するが、健全性の低下が小さいうちに低費用の予防保全を複数回実施することによって事後保全を回避でき、結果としてライフサイクルコストが低減する
施設の長寿命化	こまめな補修を繰り返すことによって、橋梁の架替もしくは撤去が必要な主要部材の致命的な損傷を回避またはその発生を抑制することにより、施設の寿命が延びる
ダウンタイムの減少	小規模な補修工事は、歩行者や車両の通行への影響が限定的であり通行機能を維持しやすいことに対し、大規模な修繕工事や更新では車線規制や通行止め、迂回路利用など機能提供が制限される。よって、予防保全によって通行機能の提供時間が延びるといえる
資産価値の維持	施設を資産と捉え、その価値を維持、向上するアセットマネジメントの考え方を適用する場合、適切な予防保全を実施することによって価値低下速度を緩やかにし、資産価値を維持することにつながる
安全性の向上	適切に維持管理されている橋梁は、致命的な損傷の発生を抑制することができ、通行者や車両に対する安全性が向上する。予防保全はその効果を高める
脱炭素への貢献	橋梁の運用時の二酸化炭素排出量は、照明に利用するエネルギーなど限定的である。一方で、建設や更新には、製造時に二酸化炭素を多く排出するコンクリートや鋼材を多く使用する。予防保全によって、橋梁の更新を延期することによって、脱炭素にも貢献しうる

出所：角岡他（2023）道路橋における予防保全措置による費用削減効果の財務的評価法、土木学会第 41 回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集

(2) 予防保全による損傷の延期と回避の定義

予防保全によって損傷を防ぐ効果を、表 9 に示すように延期と回避に分類する。延期は、予防保全の実施有無に関わらず、最終的に損傷が発生することを前提とするものの、ある予防保全を実施することによって、ある損傷の発生を一時的に防ぐ、または遅らせ、先延ばしにすることと定義する。

回避は、橋梁の更新時期を超え、予防保全実施によってある損傷の発生を先延ばしできることと定義する。

なお、ある予防保全を繰り返すことによって、実質的にある損傷の発生を回避できると考えられるケースは、予防保全の延期効果が繰り返されると捉えることとする。

表 9：予防保全による損傷の延期と回避の定義

延期	予防保全によってある損傷の発生を先延ばしできること
回避	橋梁の更新時期を超えて、予防保全により損傷の発生を先延ばしできること

出所：角岡他（2023）道路橋における予防保全措置による費用削減効果の財務的評価法、土木学会第 41 回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集

(3) 財務的予防保全効果の考え方

財務的予防保全効果の算出にあたって、表 10 のように予防保全を実施しない Without ケースと予防保全を実施する With ケースを想定する。

Without ケースでは、ある橋梁において、ある年度に対象とする損傷が発生する場合に、その損傷の修繕に要する費用を算出する。With ケースではある予防保全の実施に要する費用を算出したのち、対象とする損傷が延期できるとする場合は、同様の修繕費用を計上し、回避できるとする場合は修繕費用をゼロとする。

Without ケースの修繕と With ケースの各工種の発生年度が異なるため、割引率を用いてそれぞれの費用を現在価値に割り戻し、Without ケースと With ケースの総現在価値の差を財務的予防保全効果と定義する。

表 10：効果算出の前提

Without ケース	ある年度に対象の損傷が発生して、修繕工事を実施する（事後保全のみ）
With ケース	予防保全の実施によって、ある年度に起こるはずであった対象の損傷の発生が延期され、延期後の年度に修繕を実施する（予防保全＋延期された事後保全）

出所：角岡他（2023）道路橋における予防保全措置による費用削減効果の財務的評価法、土木学会第 41 回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集

(4) 財務的予防保全効果の一般式

前述の財務的予防保全効果を定量化するために数式化する。Without ケースから With ケースを引いて現在価値を算出する財務的予防保全効果 E_p を以下の式で定義する。

$$E_p = \frac{C_{ro}}{(1+r)^T} - \left\{ \frac{C_p}{(1+r)^t} + \frac{C_{rw}}{(1+r)^{T+\alpha}} \right\}$$

ここに、 C_{ro} :予防保全を実施しないときの修繕費用、 C_{rw} :予防保全を実施するときの修繕費用、 C_p :予防保全の費用、 r :割引率、 T :修繕工事の実施年度、 t :予防保全の実施年度、 α :予防保全によって修繕工事が延期された年数とする。

(5) 財務的予防保全効果の要素

前述の式に基づくと、財務的予防保全効果の数値には、表 11 に示す 4 つ要素が影響する。各予防保全について、以下の視点から検討することによって、将来的な費用を抑制する上で効果的な予防保全を選定しやすくなる。

表 11：財務的予防保全効果に影響する要素

延期効果	予防保全によって損傷の発生を遅らせる期間が長いほど、式の α の値が大きくなり、長期にわたって割り引かれるため修繕費用の現在価値が小さくなり、財務的予防保全効果 E_p の値が大きくなる
回避効果	予防保全によって損傷が回避できる場合には、 $(C_{ro} - C_{rw})$ の値が大きくなり、財務的予防保全効果が高まる
修繕と予防保全費用の金額差	修繕費用 C_{ro} に対して、予防保全費用 C_p が小さいほど財務的予防保全効果が高まる
余裕度	修繕工事が発生する年度 T が小さい、つまり修繕が必要となる時期まで余裕がないほど、予防保全により修繕を延期したときの効果が大きくなる。ただし、この T の変化は With/Without ケース双方に作用するため、影響は前述の 3 つと比べて少ない

出所：角岡他（2023）道路橋における予防保全措置による費用削減効果の財務的評価法、土木学会第 41 回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集

3-3-2. 鋼橋における財務的予防保全効果の試算

(1) 割引率の設定

財務的予防保全効果の算定にあたり、延期効果の時間的価値を定量化するために、一定の割引率を用いる。割引率の設定においては、内閣府が発行している「PFI 導入の手引き」をもとに、リスクフリーレートを設定のうえ用いるものとする。本業務における割引率にリスクフリーレートを用いる理由は、例えば地方公共団体が修繕工事を延期する場合、その工事費相当の資金負担が減少するため、理論上は地方公共団体がその工事費減少によって生じた資金を安全に運用する際の想定利回りとして、国債の運用利回りが適切と考えられるためである。リスクフリーレートの明確な定義は存在しないが、内閣府は「例えば、長期国債利回りの過去の平均や長期見通し等を用いる」ことを提案している¹¹。

図 52 に示すように、日本の長期国債の一般的な指標である日本国債 10 年物利回りの過去 10 年間推移をみると、概ね 0%と 1%の間を推移している。特に 2016 年以降は、日本銀行によるイールドカーブコントロール（Yield Curve Control: YCC）¹²の影響で、0%近辺を推移してきた。しかし、長期にわたって継続してきたデフレ環境脱却の可能性が高まってきたことから、YCC は修正する動きがみられている。2023 年には日本国債 10 年物利回りが 1%に到達した時期もあり、今後 YCC がさらに修正される可能性もあることから、本業務ではリスクフリーレートすなわち財務的予防保全効果算定における割引率として、年率 1.0%を用いることとする。

¹¹ 内閣府「PFI 導入の手引き 実務編」2023 年 3 月、P.116

¹² YCC は短期・長期の金利を調整するために中央銀行が実施する施策であり、日本では日本銀行が 2016 年に長期金利が 0%付近で推移するように、長期国債を買い入れるオペレーションを行ってきた。



出所：財務省ホームページ「国債金利情報」をもとに SMTRI 作成

図 52：日本 10 年物国債の利回り推移

(2) 試算するシナリオ

全体的に多くの費用を要している鋼橋の塗装塗替えを例として財務的予防保全効果を試算する。塗装を中心とした劣化メカニズムの分析と実際橋梁の点検及び修繕記録から、排水施設工による水回りの措置を予防保全として実施することで、塗装塗替えの延期につながることを検証した。

そこで、本項では表 12 に記載した、鋼橋の塗膜劣化に関するシナリオを設定し、財務的予防保全効果を試算する。

表 12：試算する排水施設工実施による財務的予防保全効果のシナリオ

	<ul style="list-style-type: none"> シナリオ：排水施設工実施によって、桁の塗装塗替えが延期される 橋種：鋼桁橋
全般	<ul style="list-style-type: none"> 橋長：50m 直接工事費の 2.5 倍を請負費用と想定 割引率：1%
Without ケース	<ul style="list-style-type: none"> 予防保全なし 修繕として、塗装塗替工+仮設工 (=5,000 万円^{*1}) が 5 年目に発生
With ケース	<ul style="list-style-type: none"> 予防保全として、排水施設工；排水設備補修・水切り材設置 (=60 万円^{*2}) を 0 年目に実施 修繕が 5 年延期され、塗装塗替工+仮設工 (5,000 万円) が 10 年目に発生

注：*1 浜松市の天津橋 (L=57.2m) の実績が (塗装塗替工+仮設工の直接工事費) × 2.5 = 5,500 万円だったため、L=50m で 5,000 万円と設定 (請負金額ベース)

*2 浜松市の修繕工事実績を参考に、排水設備補修は直接工事費 4 万円、水切り材設置は直接工事費 2,000 円/m × 施工数量 100m = 20 万円として、60 万円と設定 (請負金額ベース)

出所：SMTB 作成

(3) 財務的予防保全効果の試算

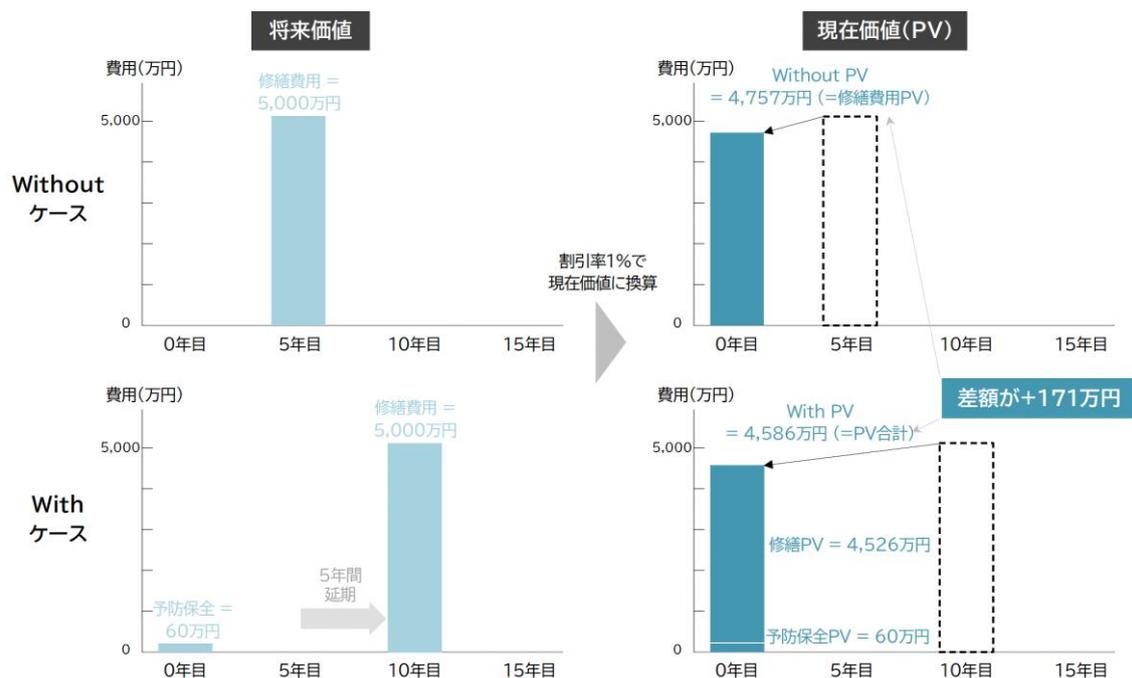
表 12 のシナリオをもとに、3-3-1 項(3)記載の式から財務的予防保全効果 E_p を算定する。

$$\begin{aligned} E_p &= \frac{C_{ro}}{(1+r)^T} - \left\{ \frac{C_p}{(1+r)^t} + \frac{C_{rw}}{(1+r)^{T+\alpha}} \right\} \\ &= \frac{5,000}{(1+0.01)^5} - \left\{ \frac{60}{(1+0.01)^0} + \frac{5,000}{(1+0.01)^{5+5}} \right\} = 171 \text{ (万円)} \end{aligned}$$

予防保全として排水施設工に 60 万円支出することによる財務的効果は+171 万円と算定された。つまり、公共工事にて用いられることも多い経済効果¹³を含めず、金銭的なメリットのみを考慮した場合でも、60 万円の支出のおよそ 3 倍の 171 万円費用削減効果が期待できる。よって、鋼橋への排水施設工は費用対効果が高いケースが多くなると考えられる。

内容をより理解しやすくするため、財務的予防保全効果の試算方法を視覚化したものを図 53 に示す。一般的に、現在の 100 万円は将来の 100 万円より価値が高いと考えられているが、それが同等であると仮定した場合である「将来価値」で考えると、Without ケースでは合計 5,000 万円、With ケースでは予防保全分追加され 5,060 万円となり、一見すると Without ケースの方が優位である。しかし、この計算には資金負担の時間的な価値変化が考慮されていない。ここで割引率を用いて現在価値を算出することによって、時間の概念を加味することができ、修繕を延期した効果を反映することができる。0 年目に実施する仮定のため、予防保全の金額は現在価値でも変わらず、修繕費用が 5 年目で発生する場合と延期されて 10 年目で発生することによって変化し、予防保全を実施する With ケースの価値の方が高くなる。

¹³ 例えば、国道交通省道路局・都市局が発行している費用便益分析マニュアル（2022）では、道路等を整備するにあたっての便益として、料金収入がないため財務面からは存在せず、走行時間短縮、走行経費減少、交通事故減少の 3 つの経済効果を貨幣換算したものをを用いている。予防保全効果についても、走行時間短縮や脱炭素への寄与などが貨幣換算可能な経済効果として考えられ、考慮に入れると数値は大きくなるものの、算出の手間が増えてしまうため、財務的予防保全効果として、財務面に限定した効果定量化手法としている。よって、財務的予防保全効果が 0 でも、実施する意義はあると考えられる。



出所：SMTB 作成

図 53：財務的予防保全効果試算のイメージ

(4) 財務的予防保全効果の感度分析

表 11 にて、財務的予防保全効果に影響を及ぼす主要な要素を 4 つあげた。今回の試算において設定したシナリオでは、修繕の回避は想定していないことから、回避効果を除く以下の 3 つの要素に着目し、その影響を分析した。

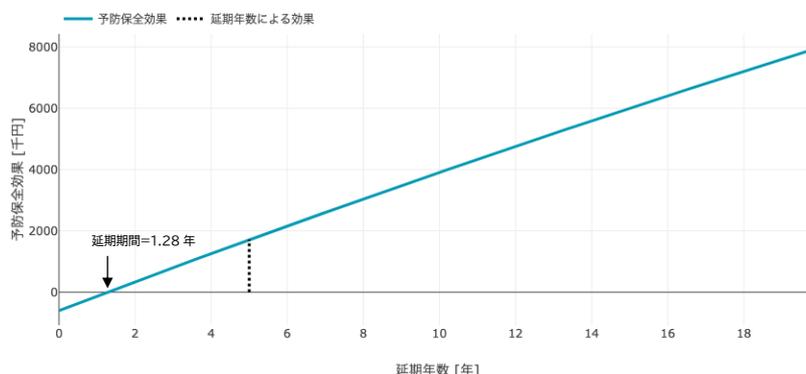
- 延期効果（延期期間）
- 修繕と予防保全費用の金額差
- 余裕度

■延期効果（延期期間）

財務的予防保全効果の算定において、各要素のうち最も技術的に特定の難しい要素が延期効果である。予防保全により「修繕が何年延期されるか」という期間を確定的に設定するには、予防保全の有無により実橋梁の修繕発生頻度の差異に関する十分なデータが必要であり、また橋梁の諸元や周辺の環境などにも影響を受ける。従って、今回の手法・調査においては、不確定性の大きい要素であることを念頭に置き、予防保全により「少なくとも何年程度延期できれば財務的効果がプラスになるか」を把握し、その蓋然性を持って効果を期待できるか否かを評価することが妥当であると考えた。

そこで重要になるのが、シナリオ設定をもとに「何年の延期期間があれば財務的予防保全

効果がプラスになるか」という、「損益分岐点」の概念である。(2)のシナリオ設定において延期期間を変化させた時の財務的予防保全効果への影響を図 54 に示す。



出所：SMTB 作成

図 54：延期期間を変化させた時の財務的予防保全効果への影響

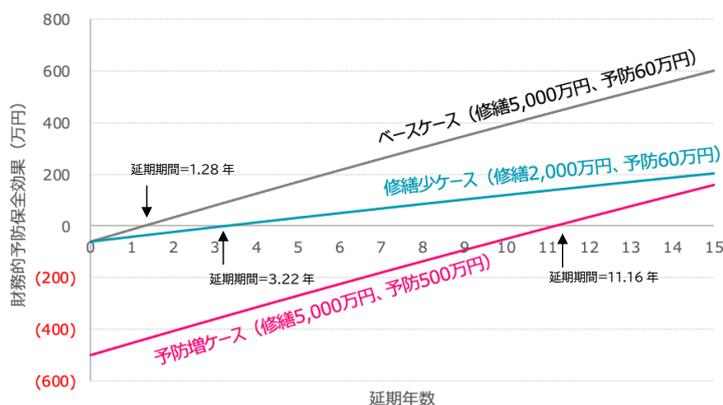
延期期間が 1.28 年であるとき、財務的予防保全効果が 0 になる。すなわち、排水施設工により、鋼桁の塗装塗替えが「少なくとも 1.28 年以上の延期が見込まれる」ことの蓋然性が高いと言えれば、その財務的予防保全効果は十分に期待できると言える。

この延期期間の蓋然性については、今後の調査・検討によりさらなる高度化を目指す課題ではあるものの、その高度化には適切な条件設定のもと経年的なデータの蓄積が必要である。他方、橋梁の維持管理の実務を想定すると、十分に説得力のあるシナリオ設定と財務的予防保全効果の算定手法を実用的なスキームと組み合わせることで、予防保全への転換という目的に対してアプローチできるものとする。

■修繕と予防保全費用の金額差

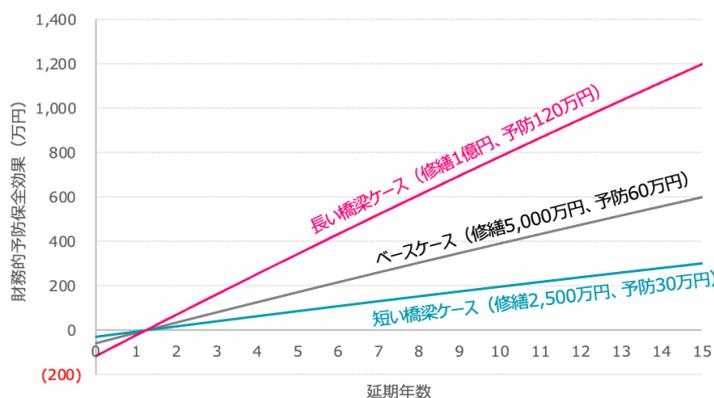
(2)記載のベースケースに対して、以下 2 つパターンを想定した修繕と予防保全の費用を設定して、その影響を分析する。

- | |
|---|
| <p>①修繕費用が少ない/予防保全費用が多いパターン (図 55)</p> <ul style="list-style-type: none"> - ベースケース：修繕 5,000 万円、予防保全 60 万円 - 修繕費用少ケース：<u>修繕 2,000 万円</u>、予防保全 60 万円 - 予防保全増ケース：修繕 5,000 万円、<u>予防保全 500 万円</u> <p>②長い橋梁/短い橋梁のパターン (図 56、修繕/予防保全比率同じ)</p> <ul style="list-style-type: none"> - ベースケース：修繕 5,000 万円、予防保全 60 万円 - 長い橋梁：<u>修繕 1 億円</u>、<u>予防保全 120 万円</u> - 短い橋梁：<u>修繕 2,500 万円</u>、<u>予防保全 30 万円</u> |
|---|



出所：SMTB 作成

図 55：修繕費用少・予防保全費用増パターン



出所：SMTB 作成

図 56：長い・短い橋梁パターン

図 55 を見ると、ベースケースでは 1.28 年以上の延期期間が期待できる場合、財務的予防保全効果が正となっていたが、修繕費用が少なく 2,000 万円としたケースでは直線の傾きが緩くなり、その結果、延期期間が 3.22 年以上となったときに予防保全効果が正となる。一方で、予防保全費用が増加したケースも“損益分岐点”となる延期期間が 11.16 年と長くなっている結果は同じであるものの、直線の傾きはベースケースと同じで、予防保全に要した費用の回収に時間がかかっている構造になっていることがわかる。

図 56 に基づいて、修繕費用と予防保全費用のバランスは全て同じだが、その金額の絶対値が大きくなる長い橋梁と小さくなる短い橋梁のケースについて検討する。全てのケースにおいて、“損益分岐点”延期期間は同じ 1.28 年である。ただし、その直線の傾きは異なり、修繕費用が大きくなる長い橋梁の傾きは急で、小さくなる短い橋梁の傾きは緩やかである。延期期間が仮に 3 年であると関係者で合意できる場合、その財務的予防保全効果は長い橋梁ほど大きくなる。つまり、財務的予防保全効果の観点では、長い橋梁に優先して

予防保全措置を施し、その修繕の発生を延期することに経済合理性があることとなる。他方、修繕費用と予防保全費用の比率が同じであれば、“損益分岐点” 延期期間は同じとなる。

■余裕度

(2)記載のシナリオ（ベース）設定では、予防保全なし（Without ケース）において修繕が5年目に発生すると想定していた。その見込み時期が20年目（ベース+15年後）であった場合の財務的予防保全効果を算定する。

$$\begin{aligned} E_p &= \frac{C_{ro}}{(1+r)^T} - \left\{ \frac{C_p}{(1+r)^t} + \frac{C_{rw}}{(1+r)^{T+\alpha}} \right\} \\ &= \frac{5,000}{(1+0.01)^{20}} - \left\{ \frac{60}{(1+0.01)^0} + \frac{5,000}{(1+0.01)^{20+5}} \right\} = 139 \text{ (万円)} \end{aligned}$$

財務的予防保全効果は+139万円と算定され、ベースシナリオの+171万円と比べて低減するものの、その差異はそこまで大きくない。これは、Without ケースと With ケースともに修繕タイミングが後ろ倒し（15年分）されるものの、どちらの修繕費用に対しても現在価値割引額が変化することから、その差として算定される財務的予防保全効果は大きな変化を生じないことに起因する。

橋梁の予防保全という実務的な視点でこの影響を考えると、なるべく損傷が進行していない早いタイミングで予防保全を実施する方が、より大きな延期効果が期待できることを念頭に置く必要がある。すなわち、修繕の発生が見込まれる時期が多少先のタイミングであっても、財務的予防保全効果が見込まれるのであれば、予防保全をできる限り早期に実施する方が望ましいと言える。

(5) ライフサイクルコストと財務的予防保全効果の関係性

ここで橋梁の予防保全でよく用いられるライフサイクルコスト（LCC）と財務的予防保全効果の関係性について整理する。図 57 に示した富山県の例のように、予防保全を実施することによって、大規模修繕や更新を防げるという前提のもと、一定の分析期間の中で、予防保全型の合計費用の方が小さくなるという説明がなされていることが多い。この LCC 分析を実施する上で、以下の論点を検討すべきと考える。

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">①分析期間を何年と設定するか②どの部材に対するどのような工法を対象としているか③予防保全によって、修繕や更新が回避できるか④橋梁の劣化予測をするためのデータは存在するか |
|---|

「①分析期間の設定方法」については、その設定期間によって、LCCの差が異なってしまいうことがあり、どのように設定するかが難しい。例えば、図 57 の右図において、現在は更新からしばらく経過した時点での LCC を比較しているが、これが更新直後を分析期間の終わりと設定すると予防保全費用は小さくなり、さらに次の更新直前に分析期間を設定すると予防保全費用は大きくなる。このように、期間をどのように設定するかによる分析結果への影響が大きいことがわかる。

「②どの部材に対するどのような工法を対象としているか」と「③予防保全によって、修繕や更新が回避できるか」については、実際に言及されている事例は少ない。上部工、下部工、基礎工と大別したのちに、それぞれについても複数の部材から成り立っている中で、大規模修繕が発生しないようにするための予防保全は、どの部位にどれだけの補修を実施すれば良いかを定めることは極めて困難であることが、事例が少ない理由だと考えられる。よって、下図のようなイメージはあるものの、実際にどの予防保全をどの程度実施すればよいという具体的施策になかなか落とし込めていないと思われる。

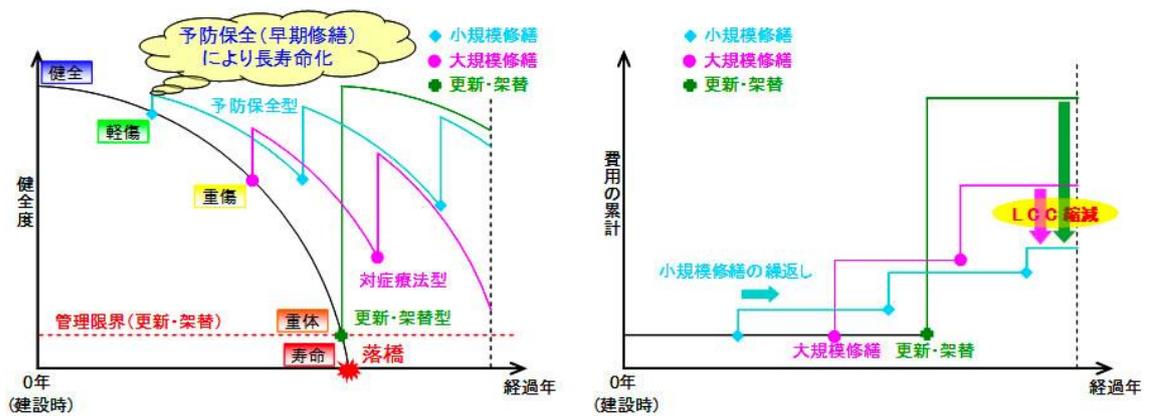
「④橋梁の劣化予測をするためのデータは存在するか」も重要な論点のひとつである。図 57 の左図は、何かしらの劣化予測曲線を設定し、それに基づいてどのような予防保全を実施すればどの程度健全度が回復するか、回復したのちの劣化はどの程度進むのか、を正しく設定する必要がある。

橋梁の劣化予測モデルとしては、過去の目視検査結果に基づいた統計的な劣化予測モデルと、力学的メカニズムに基づいた劣化予測モデルが提案されている¹⁴。管理する土木施設群全体の劣化を対象とし、戦略レベルの意思決定を行う際には、統計的劣化予測モデルが用いられることが多い¹⁵。統計的劣化予測モデルの適用には、点検・修繕データの蓄積が必要であり、これらのデータを基に遷移確率などのパラメータを推定する必要がある。信頼性の高い劣化予測モデルを構築するためには、十分な量のデータが必要である。橋梁点検が義務化されてからデータは蓄積されつつあるものの、自治体が管理する橋梁において LCC を定量的に示した事例は少なく、まだ十分に適用するには至っていない。

このように、LCC 算定には複数の仮定をおく必要があり、その仮定の設定方法に難しさがある。他方、財務的予防保全効果は、橋梁全体の LCC ではなく、対象の劣化・修繕に対して、予防保全を設定し、その 1 回あたりの効果を切り出したものであり、仮定条件を減らしてステークホルダー間の納得感を高めることを目指している。また実データに基づき、実際に地方公共団体が費用を要している劣化・修繕を対象とすることによって、その有効性を高めることを狙っている。

¹⁴ 津田尚胤，貝戸清之，青木一也，小林潔司：橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定，土木学会論文集，No. 801/I-73，pp. 68-82，2005.

¹⁵ 貝戸清之，小林潔司：マルコフ劣化ハザードモデルのベイズ推定，土木学会論文集 A，Vol.63，No.2，pp. 336-355，2007.



出所：富山県橋梁の長寿命化対策の推進について

図 57：ライフサイクルコストを念頭においた予防保全効果イメージ

第4章 橋梁への予防保全導入の現状と課題

本章では、橋梁予防保全の実施状況および関連制度を整理する。その後、予防保全を早期に実施するために解決すべき課題を示す。

4-1. 地方公共団体における橋梁維持管理の実施状況

4-1-1. 浜松市における橋梁維持管理の実施状況

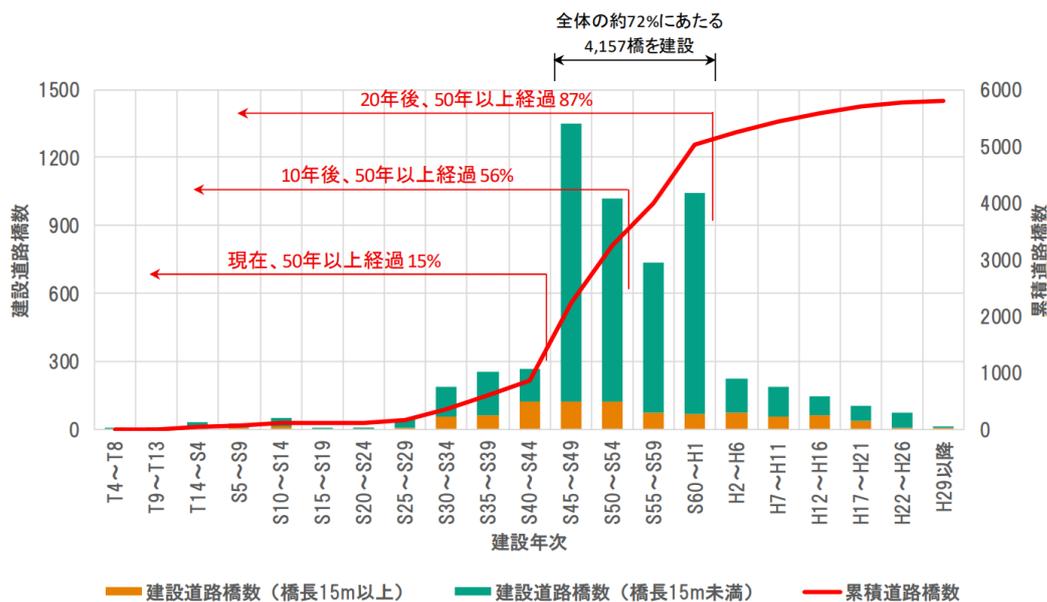
フィールド提供自治体における橋梁維持管理の実施状況を整理する。

浜松市は、2016年3月に「浜松市公共施設等総合管理計画」を策定した。2017年3月には、その下位計画として、橋梁の修繕に関する行動計画である「浜松市長寿命化計画」を策定している。その後、同計画は点検と修繕の進捗を踏まえ、2018年3月、2018年12月、2019年3月、2022年11月に更新されている。以下では、2022年11月に更新された浜松市道路橋長寿命化計画（改定版）をもとに、橋梁長寿命化の実施状況を述べる。

(1) 道路橋の建設年別分布

最初に浜松市の橋梁¹⁶の建設年別分布を確認する。浜松市が管理する橋梁は2019年現在で5,786橋存在する。そのうち87%は1989年以前に建設されたものであり、2019年時点で30年以上経過している（20年後の2039年には50年以上経過する）こととなる。

¹⁶ 浜松市長寿命化計画では、橋梁を説明する用語として「道路橋」が用いられている。本稿では道路橋のみを対象としているため、「橋梁」の用語で統一する。



出所： 浜松市土木部「浜松市道路橋長寿命化計画（改定版）」2022年11月

図 58： 浜松市における橋梁の建設年別分布

(2) 健全性の分布

これら橋梁に対する法定点検の結果、表 13 に示すように、健全性の分布は 2019 年 3 月時点でⅠが 46% (2,652 橋)、Ⅱが 46% (2,635 橋)、Ⅲが 8% (456 橋)、Ⅳが 0.1% (7 橋) となっている。

表 13： 浜松市が管理する橋梁の健全性分布

区分	浜松市管理道路橋		
	橋長 15m 以上	橋長 15m 未満	合計
Ⅰ 健全	135 橋 (2%)	2,517 橋 (44%)	2,652 橋 (46%)
Ⅱ 予防保全段階	629 橋 (11%)	2,006 橋 (35%)	2,635 橋 (46%)
Ⅲ 早期措置段階	139 橋 (2%)	317 橋 (5%)	456 橋 (8%)
Ⅳ 緊急措置段階	0 橋 (0%)	7 橋 (0.1%)	7 橋 (0.1%)
H30 年度未点検	11 橋	21 橋	32 橋
H31 年度初回点検	4 橋	0 橋	4 橋
合計	918 橋	4,868 橋	5,786 橋

出所： 浜松市土木部「浜松市道路橋長寿命化計画（改定版）」2022年11月

(3) 修繕計画・実施状況

以上の状況に対し、図 59 に示す浜松市長寿命化計画では、2019 年度から 2023 年度まで

に、5年間で5,786橋（全橋梁）の定期点検を実施するとともに、417橋の事後保全、6橋の予防保全および58橋の撤去、架替、耐震補強等を実施する計画としている。2023年12月に浜松市土木部へヒアリングしたところ、点検および修繕は概ね計画どおり実施されているとのことであった。

計画区分			2019	2020	2021	2022	2023
	健全性	重要度					
長寿命化計画	点検計画		← 2巡目点検(5,786橋) →				
	IV	A	← 該当無し →				
		B					
		C	← 修繕、撤去(7橋) →				
	III	A	← 修繕(46橋) →				
		B	← 修繕(123橋) →				
		C	← 修繕(248橋) →				
	集約・撤去		← 撤去(4橋) →				
	更新等計画		← 架替(2橋)、耐震補強等(52橋) →				
	予防保全		← 橋面防水・塗装塗替等(6橋) →				
費用 (百万円)	点検		300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
	修繕		3,000.0	3,000.0	3,000.0	3,000.0	3,000.0

出所：浜松市土木部「浜松市道路橋長寿命化計画（改定版）」2022年11月

図 59：浜松市の橋梁長寿命化計画内容

これらの状況を整理すると表 14 のようになる。健全度Ⅲ・Ⅳの橋梁に対して必要な修繕は概ね実施されている一方、健全度Ⅱに対する措置は極めて限定的であることが分かる。

表 14：浜松市の健全度別修繕実施率

健全度	橋梁数 ¹⁷ (A)	修繕計画数(B)	修繕計画率(B÷A)
I	2,652	0	0.0%
II	2,635	6	0.2%
III	456	417	91.4%
IV	7	7	100.0%
合計	5,750	430	7.5%

出所：浜松市道路橋長寿命化計画（土木部）をもとに SMTRI 作成

¹⁷ 橋梁数は、通行止め等の事情により点検できず健全度判定対象外となった36橋を対象外としている。修繕計画数は、2019年度から2022年度の間（5年間）の実施が計画されている案件数。

(4) 浜松市の維持管理の実施状況のまとめ

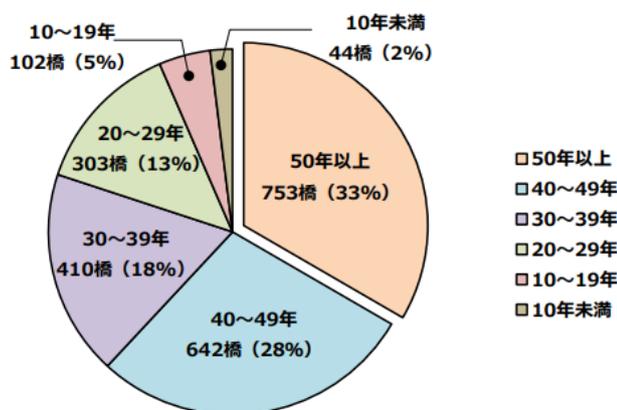
浜松市における橋梁長寿命化の状況を総括する。同市では 5,786 橋にのぼる橋梁の点検、修繕を積極的に推進しており、健全性が低い（健全度Ⅲ・Ⅳの）橋梁への対処は十分に実施されている。しかしながら、健全性は高いが予防保全の観点から措置を講ずるほうが望ましい状態（健全度Ⅱ）の橋梁への対処はこれからという段階である。今後、建設後 30 年以上を経過した橋梁が急速に増加することを考慮すれば、多数を占める現在健全度Ⅱの橋梁がⅢへ移行（老朽化）する前に予防保全を行うことで、同市が管理する橋梁全体のライフサイクルコストの増加を抑制することができる。

4-1-2. 熊本市における橋梁維持管理の実施状況

熊本市は、2017 年 3 月に「熊本市公共施設等総合管理計画」を策定している。この管理計画では公共建築物（庁舎、公営住宅、図書館等）とインフラ施設（道路、橋梁、上下水道、公園等）の点検、修繕計画を包括的にとりまとめている。橋梁に関しては、これに先立ち 2014 年 3 月に、「熊本市橋梁長寿命化修繕計画」（以下、熊本市長寿命化計画）を策定している。その後、熊本市長寿命化計画は、2019 年 12 月と 2023 年 3 月に修正されている。以下では、2023 年 3 月に修正された熊本市長寿命化計画をもとに、橋梁長寿命化の実施状況を述べる。

(1) 管理橋梁の建設年別分布

最初に、熊本市の橋梁の建設年別分布を図 60 にて確認する。熊本市が管理する橋梁は 2023 年 3 月現在で 3,019 橋存在する。建設年次不明の 765 橋を除く 2,254 橋のうち、80% に相当する 1,805 橋が建設後 30 年以上経過している。



出所：熊本市都市建設局土木部道路保全課「熊本市橋梁長寿命化修繕計画」2023 年 3 月

図 60：熊本市における橋梁の建設後経過年数別分布

(2) 点検・修繕状況

熊本市が管理している橋梁のマスターデータをもとに 2014 年度から 2018 年度までの 5 年間に実施された 1 巡目の法定点検に対する修繕計画数を表 15 にまとめた。

点検橋梁の 79.2%が、予防保全も必要としない健全度Ⅰであり、緊急措置が求められる健全度Ⅳはなかった。早期措置が求められる健全度Ⅲは、5.1%の 144 橋にのぼり、2025 年までに順次措置を実施、もしくは実施が計画されている。他方、予防措置段階である健全度Ⅱに対する措置の実施計画は限定的となっている。

表 15：熊本市の 1 巡目点検に対する健全度別修繕計画率¹⁸

健全度	点検橋梁数 (A)	修繕計画数 (B)	修繕計画率 (B÷A)
Ⅰ	2,232	0	0.0%
Ⅱ	441	2	0.4%
Ⅲ	144	144	100.0%
Ⅳ	0	0	-
合計	2,817	55	1.2%

出所：熊本市橋梁マスターデータをもとに SMTB 作成

(3) 熊本市の橋梁維持管理の実施状況のまとめ

熊本市における橋梁長寿命化の状況を総括する。大部分が予防保全も必要としない健全度Ⅰであったものの、早急に修繕が必要とされる健全度Ⅲに対する事後保全は 2025 年までにすべて実施される予定であり、現在はこれら老朽化が進行している橋梁への事後保全を集中的に実施していると推測される。一方で、今後 10 年間で全橋梁の 28%が新たに竣工から 50 年以上経過することになり、健全度Ⅱの橋梁も健全度Ⅲへ移行してしまうケースも相応のペースで増えると予測される。よって、健全度Ⅱに対する予防保全も並行して実施することが必要と考えられる。

4-2. 橋梁維持管理に関する既存制度

本節では、橋梁維持管理に関する既存の主要な制度を整理する。はじめに橋梁維持管理に関する法制度を整理したうえで、予防保全に関連する資金調達手段としての補助制度および地方債の説明を行う。

4-2-1. 道路法の改正

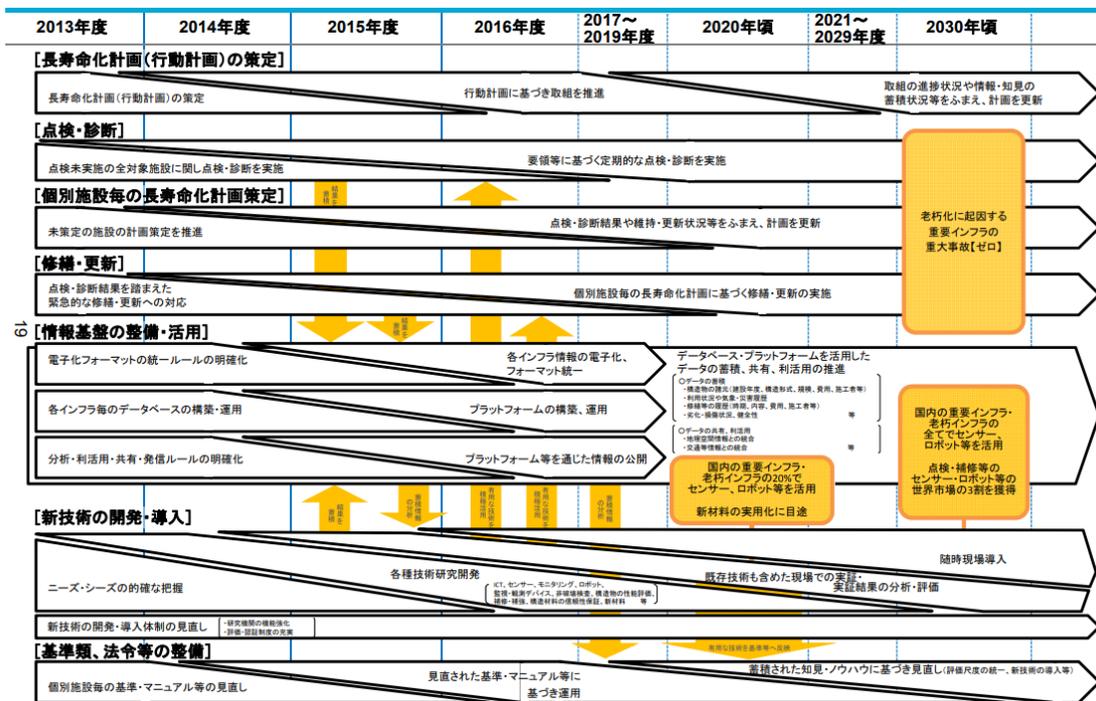
2013 年の道路法改正により、2014 年 7 月から、道路管理者は全ての橋梁、トンネル等について、5 年に 1 度、近接目視で点検を行い、その結果を 4 段階（Ⅰ～Ⅳ）の健全性指標に

¹⁸ 2025 年度までに修繕計画・実績があるものを集計。2 巡目点検以降で健全度がⅢと判定されて、その後修繕が実施されたものは含まれていない

もとづき診断することとなっている。

4-2-2. インフラ長寿命化計画

道路法の改正以後、インフラ全体の老朽化対策に関する政府の基本方針は、「インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議」が2013年11月に策定した「インフラ長寿命化基本計画」で示されている¹⁹。インフラ長寿命化基本計画では、各インフラの管理者が、インフラの機能を維持するためのメンテナンスサイクルを構築するために、各インフラに関する「インフラ長寿命化計画」を策定することが定められた。インフラ長寿命化計画は2013年度から2019年度にかけて国や地方公共団体等の各機関で策定するものとされ、計画にもとづく個別施設の修繕・更新を着手可能なものから2014年度以降に実施することが求められている。



出所：国土交通省道路局「道路メンテナンス年報」2015年11月

図 61：インフラ長寿命化基本計画（ロードマップ）

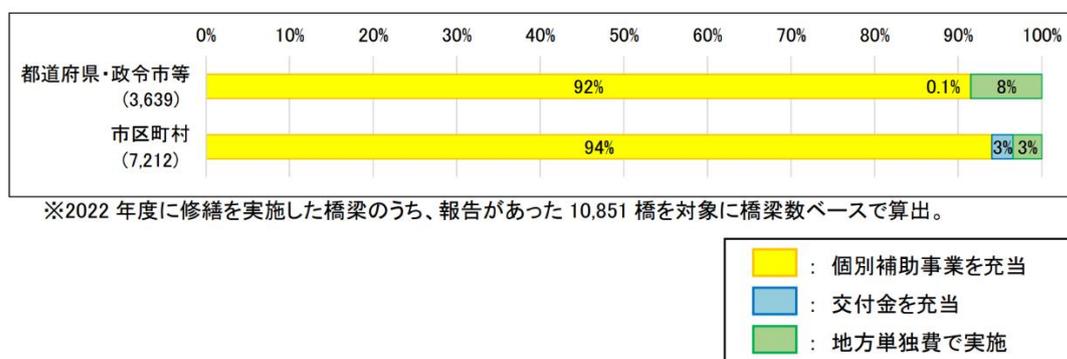
4-2-3. 道路メンテナンス事業補助制度

(1) 道路メンテナンス補助制度の活用状況

2020年度には、「道路メンテナンス事業補助制度」（以下、「補助制度」）が創設された。これは、長寿命化修繕計画にもとづき実施される橋梁、トンネル、道路附属物などのメンテ

¹⁹ インフラ長寿命化基本計画が対象とするインフラ施設の範囲は、道路、河川・ダム、砂防、海岸、水道、港湾、空港、鉄道、公園、公営住宅、公共施設等となっている。

ナンス事業（修繕、更新、撤去）に伴う事業費の一定割合²⁰を、国費で補助するものである。2022年度に地方公共団体が実施した橋梁の修繕費用に補助制度が活用された割合は、都道府県・政令市等では92%、市区町村では94%となっている。



出所：国土交通省 道路局 「道路メンテナンス年報」2023年8月

図 62：地方公共団体が2022年度に実施した橋梁の修繕における充当予算の状況

4-2-4. 地方債

次に地方公共団体の税収に裏付けされた一般財源同様に広く活用されている地方債について概説する。

(1) 地方債とは

地方債とは、地方公共団体が財政上必要とする資金を外部から調達することによって負担する債務で、その履行が一会計年度を超えて行われるものとされている²¹。また地方債は、原則として投資的経費（建設事業関係の経費）の一定部分に充てられる²²。

(2) 地方債の分類

地方債は、その引受先によって性質が異なる。大別して、公的資金と民間等資金があり、公的資金はさらに財政融資資金と地方公共団体金融機構資金に分かれる。また、民間等資金についても銀行等引受資金と市場公募資金に分かれる。銀行等引受債には、証券発行によるものと証書借入によるものがあり、後者は実質的に銀行から地方公共団体に対する融資である。

²⁰ 国費の負担割合は「 $5.5/10 \times \delta$ 」（ δ は各地方公共団体の財政力指数に応じた引上率）とされており、地方公共団体ごとに異なる。一般的には、国費の負担割合は50%から55%の間となり、例外として北海道（国費割合60%）と沖縄県（県道に対する国費割合90%、市町村道に対する国費割合80%）の国費割合が別途定められている。（2021年度現在）

²¹ https://www.mof.go.jp/policy/filp/summary/filp_local/tihousaiseidonogaiyou.htm

²² 総務省ウェブサイト (https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/c-zaisei/chihosai/chihosai_a.html)

表 16：地方債の資金別の分類

公的資金	財政融資資金	財務省が財政融資資金特別会計において財投債（国債）を発行して資金調達した資金
	地方公共団体金融機構資金	すべての都道府県、市町村が共同で設立した地方公共団体金融機構が市場で債券を発行して調達した資金
地方債資金	民間等資金	指定金融機関等や、それ以外の銀行、信用金庫、農協、共済組合等から相対で借入れ又は引受の方法により調達した資金
	市場公募資金	地方公共団体が債券発行市場において公募により調達した資金

出所：財務省ウェブサイト

(3) 地方債適用事業

投資的経費に充てられる地方債の適用事業を表 17 に示す。様々な用途に使われる中で、橋梁維持管理は②長寿命化に当てはまるケースが多い。よって、地方公共団体負担分の 90% に地方債を充当し、地方公共団体の財政力に応じた 30~50%の交付税措置を受ける。

ここで地方債交付税措置とは、国が地方公共団体の代わりに徴収している地方交付税の配分を、地方債償還の際にその交付税措置率に従って増額して配分するものである。よって、地方債の活用も地方公共団体の財政の有効活用の面から合理的である。

現状では、設計を含む修繕事業に対して地方債を適用することが可能であるが、受託者のヒアリングによると、橋梁の法定点検は投資的経費とは認められず、地方債が充当できていない。

表 17：地方債の適用事業

区分	事業名	対象施設 ※1			参考	地方債措置	
		公共施設 ※2	社会 基盤 施設	公用 施設		充当率	交付税措置率
適正管理	①集約化・複合化	○			・ 複数の団体が連携して行う事業や国庫補助事業も対象 ・ グラウンド等の非建築物についても、維持管理経費等が減少すると認められる場合は対象	90%	50%
	②長寿命化	○	○		令和4年度から空港施設、ダム(本体、放流設備)を対象に追加		財政力に応じて 30%~50%
	③転用	○ 他の公共 施設 への転用		○ 公共施設 への転用	①との組合せ(集約化・複合化した残りの施設の転用)も可能		
	④立地適正化	○			・ 国庫補助事業を補完する事業 ・ 国庫補助事業と一体的に実施する事業 } 対象		
	⑤ユニバーサルデザイン化	○	○	○	庁舎などの公用施設における段差解消やトイレの洋式化も対象		
	⑥除却	○	○	○			-
防災・ 減災対策	⑦緊急防災・減災	○		○	社会基盤施設のうち、不特定多数の者が利用する施設の耐震化については対象	100%	70%
	⑧緊急自然災害防止対策		○		「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」と連携して行う単独事業		
	⑨緊急浚渫推進事業		○		各分野での個別計画(河川維持管理計画等)に基づき緊急的に実施する単独事業		

出所：地方公共団体施設・インフラの老朽化対策・防災対策のための地方債活用の手引き（全体版）（2023）

(4) 民間金融機関の概況

民間金融機関の融資姿勢は積極的な状況が続いている。2023年3月現在、国内106銀行の預金と貸出金の差を示す預貸ギャップは、2008年以降で最大の367兆9,414億円（前年比1.4%増）に広がっている²³。預金残高に対する貸出残高の比率である預貸率は62.9%となっており、一定の貸出余力はあると考えられる。融資リスクに見合った利息収入を得られることが前提となるが、インフラの長寿命化を通じたまちづくりや資金循環への貢献という社会的意義に鑑みれば、民間金融機関が地方債を引き受け、地方公共団体が民間資金を得る機会は大いと考えられる。

4-3. 橋梁維持管理における既存の官民連携手法

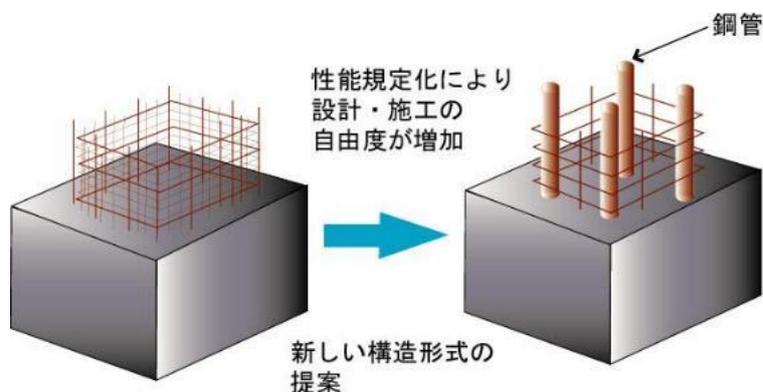
4-3-1. 仕様規定と性能規定

本節では、橋梁の維持管理業務の特徴を述べる。そのうえで、橋梁の予防保全を促すために考えられる官民連携手法の特徴と、一般的な官民連携手法との違いを説明する。

一般的に、土木工事は仕様規定による発注が大半だが、PPPにおいて事業者の創意工夫を促すには図63のように管理水準を定めた性能規定とすることが望ましいとされている。しかしながら、橋梁の維持管理業務においては、適切な管理水準の設定が難しいため、実際には仕様規定での発注を継続している例が多い。こうした事情を勘案し、本報告書で検討する

²³ 株式会社東京商工リサーチホームページ「国内106銀行（単独決算）預貸率62.94%で3年ぶりに上昇業態間で貸出金の伸びに格差」2023年6月19日

予防保全ファイナンススキームでも、仕様規定での発注を前提としている。



出所：国土交通省ウェブサイト

図 63：性能規定化の効果イメージ

4-3-2. インフラの PPP 事業方式

表 18 に示すように、PPP は、公共（国、地方公共団体等）と民間（事業者、金融機関等）の役割に応じて定められた、包括的民間委託、指定管理者制度、Design-Build-Operate（以下「DBO」）、Private Finance Initiative（以下「PFI」）など様々な事業方式の総称である。

これに対し、現時点で財務的予防保全効果が高いと見込まれる予防保全措置を単独で実施する場合、通常の PPP とは異なり、一般的な仕様規定の公共事業として行われることが想定される。その理由は、維持管理業務の特性により性能規定化が難しいことに加え、工事内容自体が比較的簡易だからである。したがって、予防保全を促すための事業方式は、一般的な公共事業または包括的民間委託などとして、民間事業者の役割は限定されたものとするのが合理的であると考えられる。

表 18：インフラ整備の主な PPP 事業方式

事業方式		設計・建設	管理・運営	所有 (期間中)	所有 (期間後)
公共事業		公共	公共	公共	公共
包括的民間委託		民間	民間	公共	公共
指定管理者制度		公共	民間	公共	公共
DBO		民間	民間	公共	公共
PFI	BTO	民間	民間	公共	公共
	BOT	民間	民間	民間	公共
	B00	民間	民間	民間	民間
	コンセッション	公共	民間	公共	公共
民営化		民間	民間	民間	民間

出所：SMTRI 作成

4-3-3. PPP 事業方式とファイナンスの関係

PPP の事業方式は、公共と民間事業者の役割の違いにより類型化され、事業方式により一般的な資金調達手法にも違いがある。前節では、橋梁の予防保全における官民連携において、民間事業者の役割は限定的になると考えられると述べた。そこで本報告書では、公共事業等で一般的な資金調達手法である財政資金や地方債を基本としつつ、その地方債のうち民間等資金の活用を通じて、民間からの新たな資金流入を促す手法を検討する。同手法の具体的なスキームは、第 5 章で説明する。

表 19 : 主な事業方式と一般的な資金調達手法

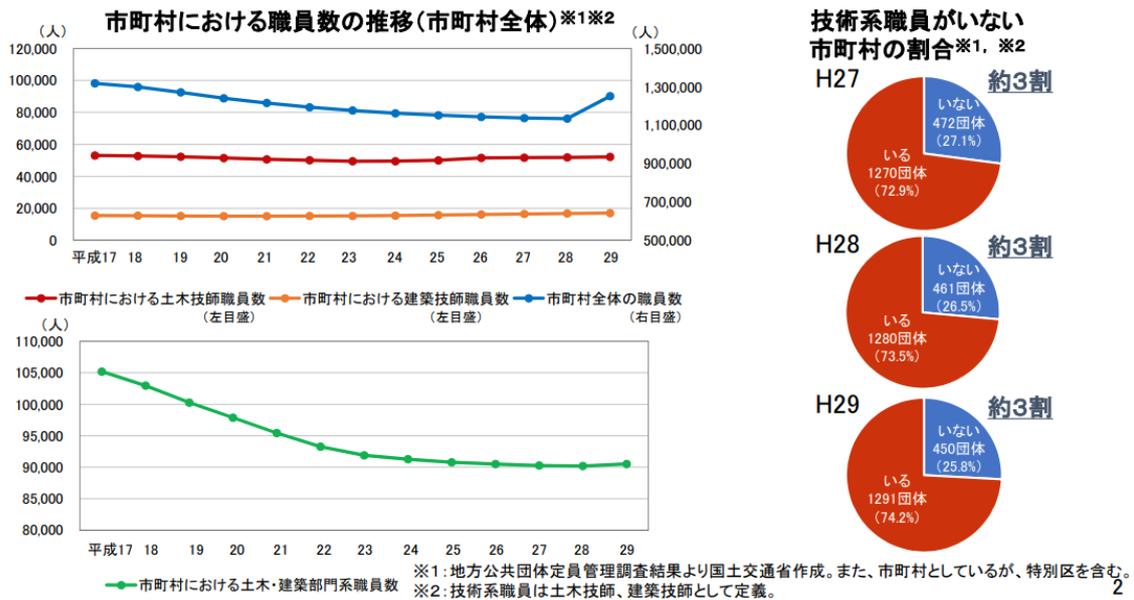
事業方式		一般的な資金調達手法
公共事業		財政資金、地方債
包括的民間委託		財政資金、地方債
指定管理者制度		財政資金、地方債
DBO		財政資金、地方債
PFI	BTO	プロジェクトファイナンス
	BOT	プロジェクトファイナンス
	BOO	プロジェクトファイナンス
	コンセッション	プロジェクトファイナンス
民営化		各種民間資金

出所：SMTRI 作成

4-4. 橋梁維持管理実施体制

予防保全を積極的に推進するにあたり、予算の確保がボトルネックの一つとなっていることはこれまで述べてきたとおりである。さらに近年では、予防保全に従事する人員の不足もボトルネックになっている。

図 64 に示すように、地方公共団体の技術系職員の数はずしも多くなく、今後も減少傾向にある。そのような限られた人数の中で、橋梁維持管理に関する予算措置から入札、契約、施工監理など様々な業務を実施している。したがって、橋梁の予防保全実施にあたっては、人的リソースを有効に活用する仕組みの構築も必要となっている。



出所：維持管理の現状と課題に対する取り組み状況、国土交通省

図 64：地方公共団体の技術系職員数

4-5. 橋梁への予防保全導入にかかる課題

前述の内容をもとに、橋梁への予防保全導入にかかる課題を本節にて整理する。

(1) 予防保全に対して資金が流入しない

通常、地方公共団体が管理する橋梁は収益を生まないインフラであり、その維持管理には国の補助金、地方債および一般財源が充てられているが、主として健全度が低い橋梁に対して資金が流入している状況である。予防保全型への転換のためには、地方公共団体が自主財源を有効に活用する枠組みを維持しつつ、予防保全にも資金が流入する仕組みの構築が必要である。

(2) どの予防保全が効果的なのかがわからない

予防保全の重要性は従来から認識されていたものの、どの施設に対してどのような予防保全を実施すれば良いか、それを定量的に示す手法があまり存在していないのが現状である。

(3) 予防保全の効果（特に延期効果）に対する不確実性

予防保全の効果は、ライフサイクルコストの低減で語られることが多かったが、橋梁の寿命の推定が難しいこともあり、その試算に多くの不確実性が残されていた。今回、対象とする損傷を絞り込み、1回の予防保全事業に対するコスト低減効果を定量化することによって、不確実性を大きく減らした。ただし、その予防保全にて損傷をどの程度延期できるかについては、今後時間の経過とともに検証していく必要がある。

(4) 地方公共団体の人的リソースが不足する懸念

地方公共団体の技術系職員の数は限られており、技術系職員がいない地方公共団体もある。そのような中で予防保全事業を実施するためには、民間のノウハウ活用や業務プロセスの標準化などが対応策となり得る。

(5) 迅速な予防保全の実施

今後、建設後 50 年を経過する橋梁が増え、それに伴い維持管理コストが増大することが懸念されている。優先度の高い事後保全への対応と並行して予防保全も着実に実施していくことによって、維持管理コストの増大を抑制することができる。

(6) 予防保全の実施に対する住民理解の促進

長寿命化計画や定期点検による橋梁の健全度を公表することによって、資金使途に関する住民理解を促している。また、近年は SDGs 地方債²⁴の発行などによって、より調達資金の使用範囲をよりイメージしやすくすることで、アピール効果を高めている事例も存在する。

²⁴ SDGs 地方債は、地方公共団体が発行する SDGs 債を指す。SDGs 債は、一般に、①環境・社会へのポジティブなインパクトを有し、一般的に認められている原則に沿った認証を取得した債券であり、②対象事業全体が SDGs に資すると考えられ、改善効果に関する情報開示が適切になされている債券のこと。SDGs は、Sustainable Development Goals の略称。

第5章 予防保全ファイナンススキームの検討

本章では、効果が高い予防保全に対する適切な資金供給を目的とした具体的なスキームを検討する。はじめに、スキームに求められる要件を整理したのち、新たな指標として財務的予防保全効果を活用した2つのスキーム案を示す。

5-1. スキームに求められる要件

第4章の現状及び課題分析を踏まえて、解決の方向性、もしくは予防保全ファイナンススキームに求められる要件を整理する。

表 20：予防保全導入にかかる課題と解決の方向性

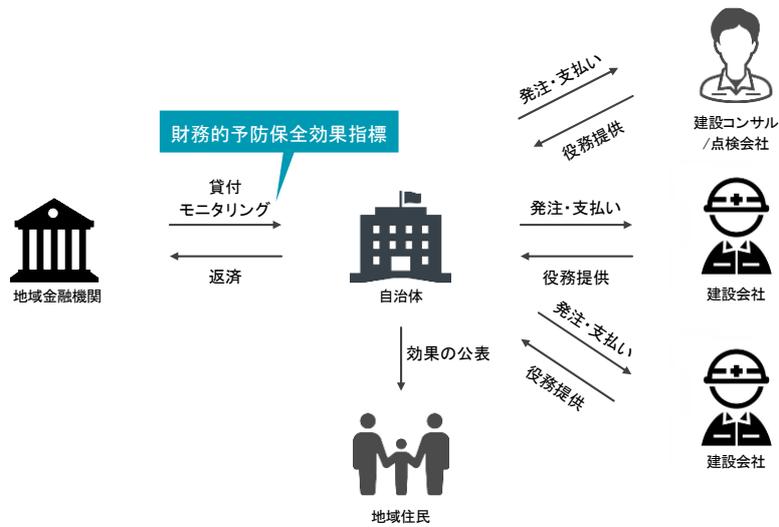
課題	解決の方向性/求められる要件
予防保全に対して資金が流入しない	<ul style="list-style-type: none"> • 修繕工事同様にメンテナンスに対する補助が適用される • 予防保全の効果が可視化される • 投資的経費として、地方債を充当することができる • 一般財源の利用が正当化される
どの予防保全が効果的なのかわからない/効果的な予防保全が実施できる橋梁がわからない	<ul style="list-style-type: none"> • 財務的予防保全効果を算出し、予防保全効果が高い橋梁とその工法を特定する • 定期点検などの際に、予防保全効果が高い橋梁と工法を抽出する仕組み
予防保全の効果(特に延期効果)に対する不確実性、リスクの分担	<ul style="list-style-type: none"> • 予防保全による延期期間が何年以上なら財務的にもプラスになるかという視点で検討する • そのリスクを民間責任とすると大幅なコスト増となるため、仕様発注として行政側のリスクとする
地方公共団体の人的リソースが不足する懸念/発注手続き増加への懸念	<ul style="list-style-type: none"> • 入札図書標準化 • 一部の発注機能を民間が担う仕組み
迅速な予防保全の実施	<ul style="list-style-type: none"> • 予算を確保しやすくする仕組み • 発注を行いやすくする仕組み
予防保全の実施に対する住民理解の促進(アカウンタビリティの向上)	<ul style="list-style-type: none"> • 財務的予防保全効果の算定と公表

出所：SMTB 作成

5-2. 予防保全ファイナンススキーム案の概要

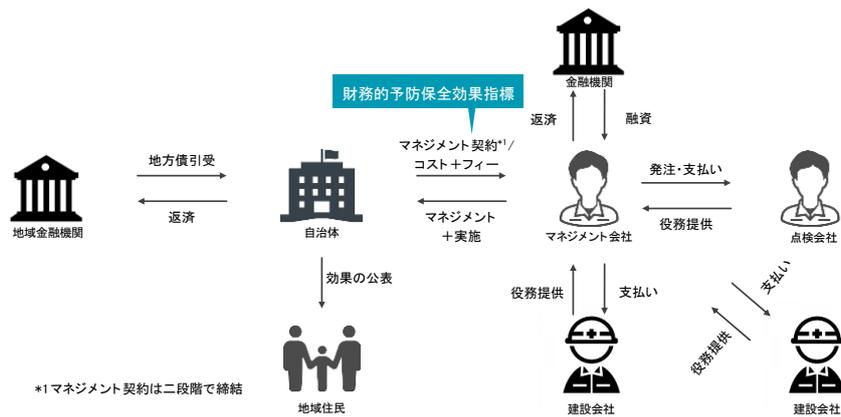
予防保全に資金が流入しづらい根本的な原因の一つは、予防保全の効果を可視化することの難しさであった。その解決の一助となる財務的予防保全効果の活用を軸として、スキーム案を検討する。

ここでは、2つのスキーム案について、イメージを図 65 と図 66、その概要を表 21 にそれぞれ示す。各スキームの詳細は、次項以降に記す。



出所：SMTB 作成

図 65：スキーム案①のイメージ



*1 マネジメント契約は二段階で締結

出所：SMTB 作成

図 66：スキーム案②のイメージ

表 21：予防保全ファイナンススキーム案の概要

項目	スキーム案①	スキーム案②
「財務的予防保全効果」の使い方	<ul style="list-style-type: none"> 対象の橋梁・工法の抽出 予防保全にかかる予算確保の促進 金融機関によるモニタリング指標 	<ul style="list-style-type: none"> 対象の橋梁・工法の抽出 予防保全にかかる予算確保の促進 マネジメント会社へのインセンティブ指標
資金調達	<ul style="list-style-type: none"> 補助金と地方交付税措置は従来通り 発行する地方債に「財務的予防保全効果」をモニタリングする機能をつける 予防保全分を割り増して調達 	<ul style="list-style-type: none"> 基本的に、補助金と地方交付税措置は従来通りであるものの、対象橋梁の抽出業務を投資的経費と捉え、地方債を割り当てられるか検討 見込み値を元に予防保全分を割り増して調達。不足分は翌年分に調達。一時的に民間が負担

項目	スキーム案①	スキーム案②
地方公共団体の契約相手	<ul style="list-style-type: none"> 点検、予防保全事業を担うそれぞれの会社 	<ul style="list-style-type: none"> マネジメント会社（点検後に予防保全施工分を契約変更）
点検業務とその対象範囲	<ul style="list-style-type: none"> 点検対象は従来通り（5年に分割） 点検業者が、従来の定期点検の業務に加えて、予防保全効果が高い橋梁を抽出する 	<ul style="list-style-type: none"> 点検対象を橋長が長い橋梁とする マネジメント会社もしくはその委託先が点検と対象橋梁抽出を実施
予防保全の特定と効果の試算	<ul style="list-style-type: none"> 地方公共団体主体で、作業は委託 	<ul style="list-style-type: none"> マネジメント会社主体で実施し、地方公共団体へ報告
予防保全事業の予算確保	<ul style="list-style-type: none"> 前年度の点検結果に基づき、予算計上 	<ul style="list-style-type: none"> 点検費用と同じタイミングで、見込みで予算計上
予防保全事業の発注	<ul style="list-style-type: none"> 地方公共団体がそれぞれの施工会社に仕様規定で発注 基本的に随意契約 	<ul style="list-style-type: none"> マネジメント会社を通じて施工会社に仕様規定で発注 基本的に随意契約
予防保全事業の実施	<ul style="list-style-type: none"> 地域の建設会社 実施は点検の翌年 1年あたりの予防保全事業の実施量は限定的 	<ul style="list-style-type: none"> 地域の建設会社 確保した枠内で点検と同年に実施 マネジメント会社との契約期間中に多くの予防保全事業を実施する
効果発現リスクの分担	<ul style="list-style-type: none"> 仕様発注により地方公共団体負担 	<ul style="list-style-type: none"> 仕様発注により地方公共団体負担
効果の公表	<ul style="list-style-type: none"> 地方公共団体が取りまとめ、公表 	<ul style="list-style-type: none"> マネジメント会社に取りまとめて、地方公共団体に報告、地方公共団体が公表

出所：SMTB作成

5-3. スキーム案①の検討

本節では、図 65 に示したスキーム案①の各項目の詳細を記す。これらは現時点の案であり、実装までの更なる協議、検討を通じて変更する可能性がある。

5-3-1. スキーム案①の特徴

本スキームは、従来の業務からの変更を最小限にしつつ、予防保全に予算を配分しやすくすることを想定している。従来業務からの主な変更点は以下の3点である。

- ① 従来の点検業務の範囲に、事前に想定した「財務的予防保全効果が高い橋梁とその工法の抽出」を加える
- ② 結果を元に予防保全事業分の費用を上乗せして、地方債発行等を通じて地方公共団体が資金を調達する
- ③ 地方債による資金調達の際に、「財務的予防保全効果」を引受先の金融機関がモニタリングする仕組みを組み込み、予防保全への資金流入（予算措置）を担保する

5-3-2. スキーム案①の業務概要

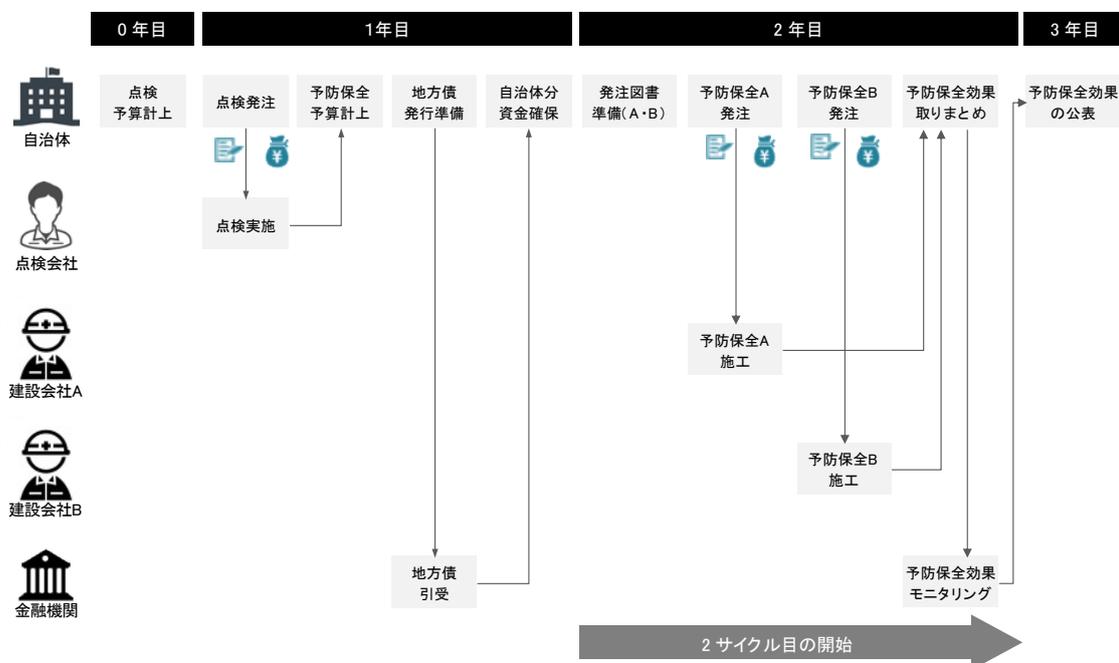
(1) 実施フロー

スキーム案①の想定実施フローを図 67 に示す。マネジメント会社などを使わないため、地方公共団体が主体的に各々の業務を推進、取りまとめていく必要がある。

0 年目で計上しておいた点検予算をもとに、1 年目に橋梁の点検を実施して、その結果をもとに予防保全事業に必要となる金額規模を試算する。その試算結果に基づいて、予算計上・資金確保を行い、2 年目に各建設会社に予防保全事業を発注する。その結果を取りまとめて、金融機関と情報共有を行い、その後財務的予防保全効果を公表することによって、地域住民へのアカウンタビリティの向上を図る。

この時、1 年あたりの予防保全の対象橋梁は少なくなることに留意する。各地方公共団体では、管理橋梁を 5 分割して、5 年で一通りの橋梁が点検されるように計画していることが多い。その際、毎年度の予算を平準化するため、長い橋梁と短い橋梁の割合は毎年度ほぼ一定にしていることが多いと推察される。そのため、高い予防保全効果が期待できる長い橋梁が点検される数は、毎年およそ 1/5 ずつであり、複数年かけて本スキームを実施していくことによって、主要な橋梁の予防保全を実施することができる。

また、点検と予防保全事業はそれぞれ当年度中に契約から支払いまで完了させることとなるため、業務の実施期間は比較的短く、支払いまでの期間も短いと考えられる。よって、点検費用の予算と、予防保全費用の予算を、それぞれ事業実施前に確保しておく必要がある。



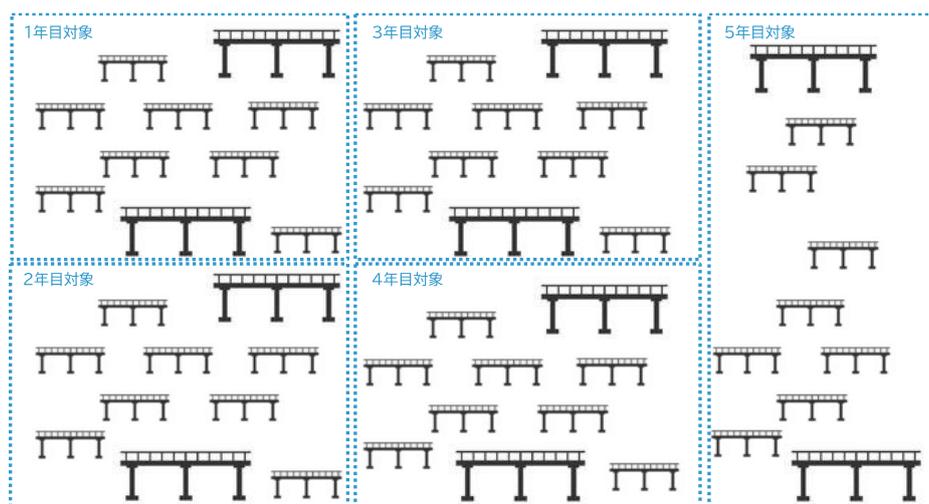
出所：SMTB 作成

図 67：スキーム案①の想定実施フロー

(2) 橋梁点検業務とその対象範囲

橋梁の点検業務は、従来の5年に1度の法令点検に対して、財務的予防保全効果が見込まれる橋梁とその予防保全を特定する業務を追加することを想定している。従来の点検記録用のフォーマットは汎用性が高いものの、そのフォームに沿うのみでは必ずしも予防保全対象の橋梁を特定することができない。そこで、橋長の長い鋼橋など財務的予防保全効果が見込みやすい橋梁の点検には、予防保全の視点での点検項目を追加したフォーマットを用いることを想定する。

また、点検の対象範囲も従来同様であることを想定する。図68に示すように、多くの地方公共団体は管理している橋梁を5つに分け、5年で全ての橋梁を点検できるようにしていると考えられる。さまざまな分け方が想定できるが、毎年度の予算を平準化するため、長い橋梁と短い橋梁の割合は毎年度ほぼ一定にしていることが多いと推察される。橋長が長い橋梁の方が財務的予防保全効果を見込みやすいことを踏まえると、1年で抽出される予防保全業務は必ずしも多くならない可能性がある。



出所：SMTB 作成

図 68：スキーム案①の対象橋梁イメージ

5-3-3. 本スキーム案のファイナンス・契約

(1) 資金調達

地方公共団体が調達する資金の範囲は、従来の健全度Ⅲ・Ⅳの橋梁の事後保全費用に、前年の点検結果に基づいた少額の予防保全事業を加えたものを想定する。その調達先としては、従来通り①国の補助金、②地方債（地方交付税措置含む）、③地方公共団体の一般財源を組み合わせたものを想定している。よって、前述の通り、現在の国の補助金は健全度Ⅲ・Ⅳの橋梁の事後保全に優先的に割り当てられているものの、将来的な維持管理需要の増加を踏まえると、その財務的予防保全効果が期待できる事業に対しても、補助金が割り当てら

れることを想定する。

また、地方公共団体側の予算措置についても同様である。地方債を引き受ける際に、後日金融機関が財務的予防保全効果を指標としてモニタリングする仕組みにすることにより、地方公共団体は財務的保全効果がより高い事業に予算を配分しやすくなり、結果的に将来的な維持管理費用の抑制につながることを期待できる。

(2) 予防保全事業の予算確保と実施時期

スキーム案①では、前年度の橋梁点検結果に基づいて、予防保全事業分の予算を確保することを想定する。それに伴い、予防保全事業の実施は翌年となることを想定する。管理している橋梁を 5 つに分けて毎年橋梁を点検していると仮定すると、毎年少しずつの予防保全事業が特定され、毎年少しずつその分の予算を確保していく、という業務フローを想定している。

上記に従い、点検の翌年度に予防保全事業を順次実施していくことを想定している。予防保全事業が各地に点在していると発注の集約がしづらいので、財務的予防保全効果が見込めそうな近隣の橋梁は、同じ点検業務の対象橋梁に入れておくことが望ましい。

(3) 地方公共団体の契約相手と発注

図 65 に示す通り、地方公共団体は業務それぞれについて別の契約相手に発注する必要がある。橋梁の点検業務は建設コンサルタント等を含む点検会社、予防保全業務の実施はその業務ごとに地域の建設会社に発注する必要がある。これにより、民間に委託する費用の最小化が図れる。

一方で、同時並行で予防保全事業を行う分だけ従来よりも発注業務が増加し、地方公共団体の負担が増える可能性が懸念される。その影響を最小化するために設計図書の標準化や随意契約を活用することを想定する。前述の通り、財務的予防保全効果が見込まれる予防保全事業は一部特定されており、その仕様を汎用性が様式で標準化しておくことにより、設計図書の準備の手間を削減できる。また、地方公共団体による調達是一般競争入札を行うことを基本とするものの、少額の契約まで全て競争入札を行うと事務量が增大してしまうことから、一定金額以内のものは随意契約にできることが地方自治法に定められている。一橋あたりの予防保全業務の費用は必ずしも大きくないことから、この随意契約を活用することによって地方公共団体業務負担を軽減できる。

(4) 効果未発現リスクの分担

性能規定発注方式では、発注者が定めたサービスレベルを維持できるように、受注者は生じた劣化や不具合の措置を行う。よって、劣化の発生リスクや措置をした効果が持続するかのリスクは受注者が負っていると考えられる。

他方、本スキームでは、予防保全事業は基本的に仕様規定で発注することを想定している。

これは、予防保全にコストがかかりすぎると財務的予防保全効果を期待するハードルが上がるため、施工不良以外の要因による効果未発現リスクを仕様規定により発注者側が負担し、低価格での予防保全事業の実施を行うためである。

5-3-4. 財務的予防保全効果の適用法

(1) 財務的予防保全効果の主な使い方

両スキームに共通して、財務的予防保全効果は有効な予防保全事業の特定に使われる。他方、スキーム案①に特徴的な財務的予防保全効果の使い方は、地方債を引き受ける金融機関のモニタリング指標とすることによって、有効な予防保全事業に資金流入もしくは予算措置をすることを地方公共団体の財務部局の視点でも促すことができる点である。これにより、地方公共団体内の事業部局と財政部局で共通の理解のもと、資金の調達およびその使用を行うことができると考えられる。

(2) 財務的予防保全効果を算定する主体と効果の公表

スキーム案①では、地方公共団体が財務的予防保全効果を主体的に算定して、取りまとめることを想定している。ただし、その作業自体は、地方公共団体職員が自ら行うことも建設コンサルタント等に委託することも、各地方公共団体の事情に応じて選択することができる。

地方債を引き受けた金融機関は、その地方債がどれだけ予防保全に割り当てられたか地方公共団体とともに確認し、最終的な財務的予防保全効果を書面に記載する。このモニタリング機能を活用することによって、地方公共団体は効果的な予防保全に予算を配分しやすくなることを狙っている。また、取りまとめた財務的予防保全効果を住民に公表することによるアカウンタビリティの向上を図ることも考えられる。

5-4. スキーム案②の検討

5-4-1. スキーム案②の特徴

本スキームは、行政の業務負荷の増加を最小化しつつ、迅速に予防保全措置を実施することを目的としている。スキームの主な特徴は以下の5点である。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">① 地方公共団体は「マネジメント会社」と契約して業務を進める② マネジメント会社は、比較的長い橋梁を対象として点検業務を行い、効果的な予防保全が見込める橋梁については、財務的予防保全効果を算定する③ 地方公共団体とマネジメント会社が協議のうえ、実施する予防保全を決定する。また、予防保全事業の施工も含めた金額に契約を変更する④ マネジメント会社は、予防保全事業を建設会社に発注して、実施する |
|--|

- ⑤ マネジメント会社は、点検や予防保全事業のコストに加え、財務的予防保全効果の多寡に応じたインセンティブを加えたフィーを受け取る

5-4-2. スキーム案②の業務概要

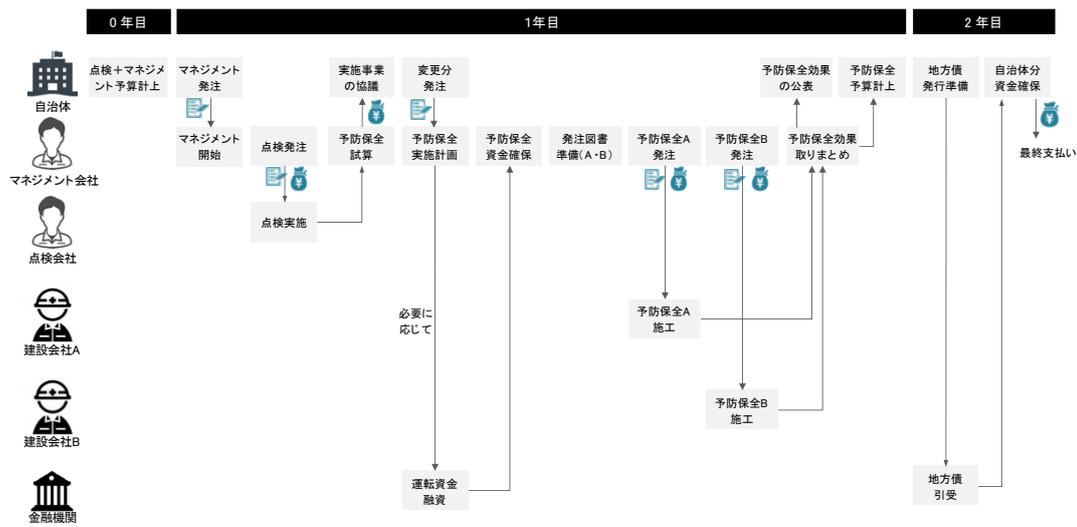
(1) 実施フロー

スキーム案②の想定実施フローを図 69 に示す。地方公共団体視点では、マネジメント会社を入れることによって、業務負荷の低減が図られていることが特徴である。

0 年目で計上しておいた長い橋梁を対象とした点検とマネジメントの予算をもとに、まずはマネジメント会社を選定する。当初のマネジメント会社のスコープは、点検～財務的予防保全効果の算定となる。点検業務は、マネジメント会社が直営で実施するもしくは点検業務の実績がある会社に委託することを想定する。

点検結果をもとに予防保全事業に必要な金額規模とその効果を試算する。その試算結果を地方公共団体とマネジメント会社が協議して、予防保全事業の実施範囲を合意する。それに伴い、予防保全事業の実施をスコープに含め、契約変更を行う。この時、地方公共団体は必ずしも資金を確保できていないことが考えられ、必要に応じてマネジメント会社の資金、もしくはマネジメント会社が金融機関から調達した資金をもとに先行して発注を行うことが考えられる。それぞれの予防保全事業を建設会社に発注して実施し、マネジメント会社は最終的な結果を取りまとめ、地方公共団体に報告する。地方公共団体は必要に応じて公表することによりアカウンタビリティの向上を図ることができる。

マネジメント会社は自治体との契約金額の範囲内で建設会社に予防保全事業を発注する。マネジメント契約に基づく自治体からマネジメント会社への最終支払いは自治体の資金確保後となるため、それより先に予防保全事業が終了すれば、建設会社への支払いをマネジメント会社が一時的に立て替える。こうした仕組みにより、迅速な予防保全の実施が可能となる。



出所：SMTB 作成

図 69：スキーム案②の想定実施フロー

(2) 橋梁点検業務とその対象範囲

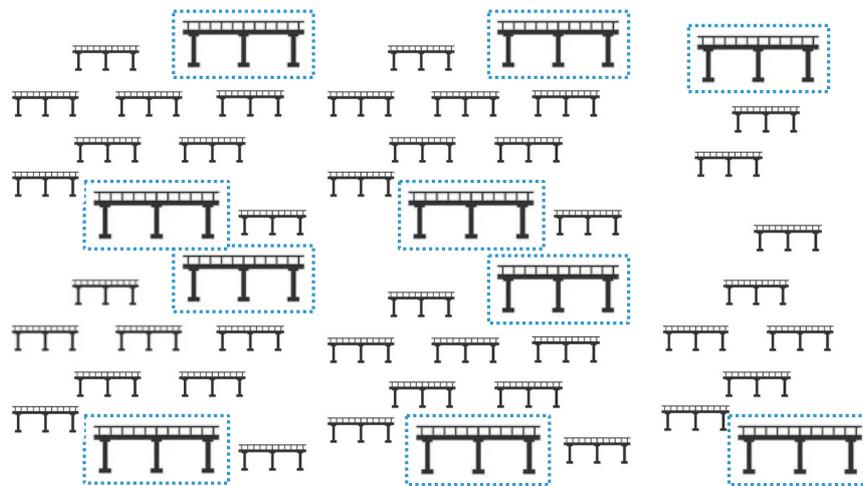
スキーム案①と同様に、予防保全の視点で必要となる点検項目を追記したフォームの利用を想定する。一方でスキーム案②では、図 70 に示すように、点検の対象は比較的長い橋梁に限定して実施することを想定する。将来的な維持管理費用の削減を目的とした場合、前述の通り長い橋梁にコストがかかるケースが多いことを踏まえれば、効率の向上が期待できる。橋梁によっては、点検間隔が 5 年より短くなることも考えられるが、費用削減効果が高いことを踏まえると対象橋梁に含めることに合理性があると考えている。

点検によって、従来の健全度の判定とともに、橋梁を表 22 の 3 つに分類することを想定している。ここで、できるだけ③の橋梁、もしくは②だが事後保全とともに実施し有効な予防保全を抽出することにより、地方公共団体としては将来的な費用削減につながり、マネジメント会社としてはフィーの増加が見込まれる。基本的には③の施工費用を含めた形で地方公共団体とマネジメント会社との契約を変更する。

表 22：スキーム案②の橋梁点検後の分類

分類	条件	後続作業
①措置を実施しない橋梁	<ul style="list-style-type: none"> 健全度Ⅰ・Ⅱ 財務的予防保全効果が見込める予防保全がない 	次回点検待ち
②事後保全を実施する橋梁	<ul style="list-style-type: none"> 健全度Ⅲ・Ⅳ 事後保全の修繕に加え、効果的な予防保全がある場合、マネジメント会社が地方公共団体に提案・協議 	従来通りの事後保全のフローに基づき診断・補修設計
③予防保全を実施する橋梁	<ul style="list-style-type: none"> 健全度Ⅰ・Ⅱ 財務的予防保全効果が見込める予防保全がある 	マネジメント会社の変更契約の対象

出所：SMTB 作成



出所：SMTB 作成

図 70：スキーム案②の対象橋梁イメージ

5-4-3. ファイナンス・契約

(1) 資金調達

地方公共団体が当初調達する資金の範囲は、従来の健全度Ⅲ・Ⅳの橋梁の事後保全費用に、比較的長い橋梁の点検費用とマネジメント会社のフィーを加えたものを想定する。その調達費用としては、従来通りの①国の補助金、②地方債（地方交付税措置含む）、③地方公共団体の一般財源を組み合わせたものとなることを想定している。

地方公共団体とマネジメント会社で合意した予防保全事業は、翌年度の予算に計上して、資金確保できた時点でマネジメント会社に支払うことを想定する。一方で、予防保全事業自体は、マネジメント期間が長くなると両者にとって望ましくないため、当年度に順次実施することを想定する。

上記に伴い、スキーム案②では民間側の位置付けであるマネジメント会社でも一時的に資金需要が生じる可能性がある。マネジメント会社は、橋梁の点検業務や予防保全事業を監理することが求められるため、建設コンサルタントや建設会社等が受注者として想定される。予防保全費用は一時的にマネジメント会社が負担するため、仮に比較的財務基盤が弱い建設コンサルタントがマネジメント会社となった場合、金融機関からの借入で運転資金を賄う必要が生じる可能性がある。この時、地域金融機関と連携して、適宜融資が実施されるように準備しておくことにより、地域の建設コンサルタントや建設会社などが受注する可能性を広げ、地域経済の活性化に寄与することを図る。

(2) 予防保全事業の予算確保と実施時期

スキーム案②では、マネジメント会社との契約期間内で迅速に点検と予防保全事業を実施することを目指しているが、地方公共団体視点での予算確保のタイミングと実施時期が異なる可能性がある。地方公共団体は、点検の対象となる橋長の長い橋梁の点検予算とマネジ

メント会社のフィーを当年度に確保して、マネジメント会社に発注する。橋梁点検結果にもとづき決定される予防保全事業の費用がマネジメント会社へ支払われる時期は、地方債が発行される年すなわち予防保全事業実施の翌年となる。しかし、予防保全は早期に実施することで効果が高まるため、マネジメント会社の資金を用いて、年度内に点検から予防保全まで完結させることを想定する。よって、マネジメント会社の視点では、一時的に予防保全事業を自己資金もしくは借入資金で実施し、翌年度に地方公共団体から支払いを受ける形となる。これにより、迅速な予防保全の実施が可能になると想定している。

(3) 地方公共団体の契約相手と発注

図 66 に示す通り、地方公共団体はマネジメント会社と契約を締結する。各々の点検や予防保全業務は、マネジメント会社から建設会社へ発注することによって、地方公共団体の業務負担を低減することを想定している。

地方公共団体とマネジメント会社の契約は、途中で契約変更を行うことを前提として、以下の二段階で締結することを想定している。

第一段階：対象橋梁の点検～財務的予防保全効果の見込まれる橋梁の抽出

第二段階：予防保全事業の発注、施工監理

第一段階では、対象の橋梁の点検をマネジメント会社自ら、もしくは地域の点検事業者に外注して実施し、その際に財務的予防保全効果を算出しながら、予防保全効果の見込める橋梁を抽出する。それによって、予防保全事業に必要な予算を見積ることができる。この時、マネジメント会社としては、財務的予防保全効果の多寡によってフィーの水準が変わるため、最新技術等も参照しながら、高い財務的予防保全効果が見込まれる工法を積極的に提案することが期待できる。

第一段階にて、予防保全事業に必要な予算が定まったのち、地方公共団体とマネジメント会社は予防保全事業の実施を含めたスコープに契約変更を行い、第二段階に移行する。マネジメント会社は、各種入札図書等を準備して、施工会社の調達を行い、予防保全を実施する。スキーム案①同様に、入札図書や仕様を標準化しておくことによって、マネジメント会社の発注工数を低減しておくことは、マネジメント会社の費用を最適化するうえでも重要である。また、発注方式についても同様で、特に金額が小さい場合には簡易に発注できる方式とする必要がある。

また、地方公共団体とマネジメント会社間での支払い条件についても検討する。点検費用とマネジメントフィーは事前に確保されていると想定するものの、予防保全事業は、マネジメント会社が自己資金もしくは金融機関から調達した資金にて実施しつつ、翌年度に地方公共団体が予算を確保して、マネジメント会社に支払いをする仕組みとすることによって、マネジメント会社の契約期間内で連続的に執行できるものとする。

(4) 効果未発現リスクの分担

スキーム案②では、マネジメント会社経由にて予防保全事業を建設会社に発注するものの、スキーム案①同様に、基本的に仕様規定で発注することを想定する。マネジメント会社に委託する範囲は、発注作業と予算確保できなかった分の事業費を一時的に負担することであり、予防保全の効果について、マネジメント会社ないしマネジメント会社が発注する建設会社のリスクとしないことによってコストを最適化する。

5-4-4. 財務的予防保全効果の適用法

(1) 財務的予防保全効果の主な使い方

スキーム案①と同様に、財務的予防保全効果を用いて有効な予防保全事業を特定する。他方、スキーム案②に特徴的な財務的予防保全効果の使い方は、その多寡により、マネジメント会社のフィーにインセンティブを加える点である。これにより、マネジメント会社が、より多くの予防保全を特定または提案することが期待できる。これにより民間のノウハウを取り入れたより効率的な予防保全が実施できる可能性がある。

(2) 財務的予防保全効果を算定する主体と効果の公表

スキーム案②では、マネジメント会社が主体的に財務的予防保全効果を算定し、取りまとめることを想定しているため、地方公共団体の業務負荷を最小化できる。地方公共団体としては、取りまとめた財務的予防保全効果を住民に公表することでアカウンタビリティの向上を図れる点は、スキーム案①と同様である。

5-5. 2つのスキームの比較

本節では前述の2つのスキーム案を比較する。

5-5-1. 予防保全にかかる課題への対応

前述の表 20 で整理した予防保全導入にかかる課題に対するそれぞれのスキームの対応を表 23 に示す。スキーム案①、②ともに、予防保全に対する資金流入を促すために、財務的予防保全効果の指標とその活用を組み込んでいる。

ただしスキーム案①は、人的リソース不足への対応や迅速な予防保全の実施への対応は限定的である。2つのスキーム案の比較は、次項に記す。

表 23：予防保全にかかる課題への対応

課題	スキーム案①	スキーム案②
予防保全に対して資金が流入しない		○ (財務的予防保全効果が期待できる橋梁を特定して資金調達をすることにより、予算を確保しやすくなるが見込まれる)

課題	スキーム案①	スキーム案②
どの予防保全が効果的なのかわからない/効果的な予防保全が実施できる橋梁がわからない	○ (橋梁点検時に予防保全効果が期待できる橋梁を特定するプロセスを組み込んでいる)	
予防保全の効果(特に延期効果)に対する不確実性、リスクの分担	○ (施工会社に仕様規定で発注することにより、過度に民間にリスク分担を求めることによるコスト増を回避)	
地方公共団体の人的リソースが不足する懸念/発注手続き増加への懸念	△ (発注の標準化・簡易化などは行いつつも、発注数自体は増加)	○ (マネジメント会社が発注業務を主導する)
迅速な予防保全の実施	△ (5年間で実施する点検の翌年)	○ (効果が高そうな橋梁に集中して実施)
予防保全の実施に対する住民理解の促進(アカウントビリティの向上)	○ (財務的予防保全効果を算定して公表することによりアカウントビリティの向上が期待できる)	

出所：SMTB作成

5-5-2. メリット・デメリットの整理

2つのスキーム案を比較して、それぞれのメリット・デメリットを表24に整理した。前述の通り、予防保全への資金流入を促せること、効果を算定することによるアカウントビリティの向上などの共通のメリットがある一方で、2つのスキームには以下のようなそれぞれ独自のメリットとデメリットがある。

スキーム案①の最大のメリットは、コストの最小化と、従来業務からの変更が少ないことによる導入のしやすさである。定期点検をもとに、予算を確保して、各建設会社や建設コンサルタント、点検会社に発注する点は従来同様であり、業務フローはほぼ同じである。定期点検の際に予防保全効果が期待できる劣化をピックアップし、その効果を試算するところが従来と若干異なる。業務従事者の数も従来と同じであり、必要な追加コストも限定的である。一方で、デメリットとしては、業務負荷の増加と、実施までに相応の時間を要することがあげられる。予防保全業務の発注も加わるため、その調達手続きが地方公共団体の負担になることが懸念される。また、すべての橋梁の点検が終わるには通常5年かかり、予防保全の実施まで考えるとさらに1年必要とする。前述の通り、予防保全は極力早期に実施することで効果が高まる可能性があるものの、実施までに時間を要することで、本来負担しなかったはずの修繕費が必要となってしまう可能性がある。

スキーム案②については、マネジメント会社を入れることによって、スキーム案①のデメリットを最小化することを狙っている。スキーム案①で懸念されていた発注などの地方公共団体の負担となる業務をマネジメント会社に委託することによって、より効率的な予防保全の実施が期待できる。また、スキーム案②では、点検の対象を長めの橋梁に絞ることによって、効果的な予防保全を効率的に抽出することができる。予防保全費用をマネジメント

会社が一時的に負担し、予算措置ができてから地方公共団体がマネジメント会社に報酬等を支払う仕組みとすることによって、迅速に予防保全を実施する。加えて、スキーム案①では、排水設備の補修など事前に想定した効果的な予防保全を抽出するものの、スキーム案②ではマネジメント会社が効果的な予防保全を提案する余地とそのインセンティブを設計することによって、より効果の高い予防保全の件数を増やすことを想定している。

一方で、スキーム案②のデメリットとしては、マネジメント会社への費用があげられる。地方公共団体の業務を一部民間が実施することになる分、費用が増加する。ただし、将来的な維持管理費用の削減や地方公共団体の人件費の節減につながる部分もあり、そのバランスを見る必要がある。また後述するように、スキーム案②は包括的民間委託の一形態と考えられ、導入に際してはステークホルダーやその他関係者への理解促進が重要である。通常の包括的民間委託と同様に、リスクの分担なども含めた丁寧な協議や事前の導入可能性調査を行う必要がある。

表 24：2つのスキーム案のメリット・デメリット

項目	スキーム案①	スキーム案②
メリット	<ul style="list-style-type: none"> •コストを最小化できる •従来業務からの変更が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> •地方公共団体の業務負担が抑えられる •マネジメント会社の創意工夫を引き出せる可能性 •効率よく効果が高い予防保全を抽出し、迅速に実施できる
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> •地方公共団体の業務負担が増加する可能性 •予防保全実施までに時間を要する 	<ul style="list-style-type: none"> •マネジメント会社への費用が発生する •関係者の理解促進を必要とする

出所：SMTB 作成

5-5-3. 包括的民間委託とスキーム案②の関係性

「インフラメンテナンスにおける包括的民間委託導入の手引き」によると、包括的民間委託は、「公共施設の管理・運営を受託した民間事業者が創意工夫やノウハウの活用により効率的・効果的に管理・運営を実施できるよう、複数の業務や施設を包括的に委託すること」と定義されている。

スキーム案②では、マネジメント会社が複数エリアの長い橋梁を対象として、点検を行い、効果的な予防保全を特定して、予防保全を発注・施工監理することを想定しており、上記の定義に当てはまるため、スキーム案②は包括的民間委託の一形態であると考えている。一方で、事例集等にて図 71 のように紹介されている府中市や三条市の例とは、点検部分と予防保全事業部分で契約変更を前提として進めるなど、リスク配分や契約形態などで異なる部分がある。

東京都府中市のケース(道路)				新潟県三条市のケース(道路・公園・排水路)			
	地区A	地区B	...		道路	公園	排水路
巡回				巡回			
維持		包括範囲		維持作業		包括範囲	
補修・修繕				点検			
...				...			

出所：国土交通省「インフラメンテナンスにおける包括的民間委託導入の手引き」令和 5 年 3 月

図 71：包括的民間委託とは

第6章 今後の進め方

第5章までに、浜松市と熊本市に提供頂いたデータをもとに、財務的予防保全効果という概念の有効性を確認し、それをを用いたスキーム案を2つ提案した。本章では、実証・実装に向けての現時点の想定を記す。

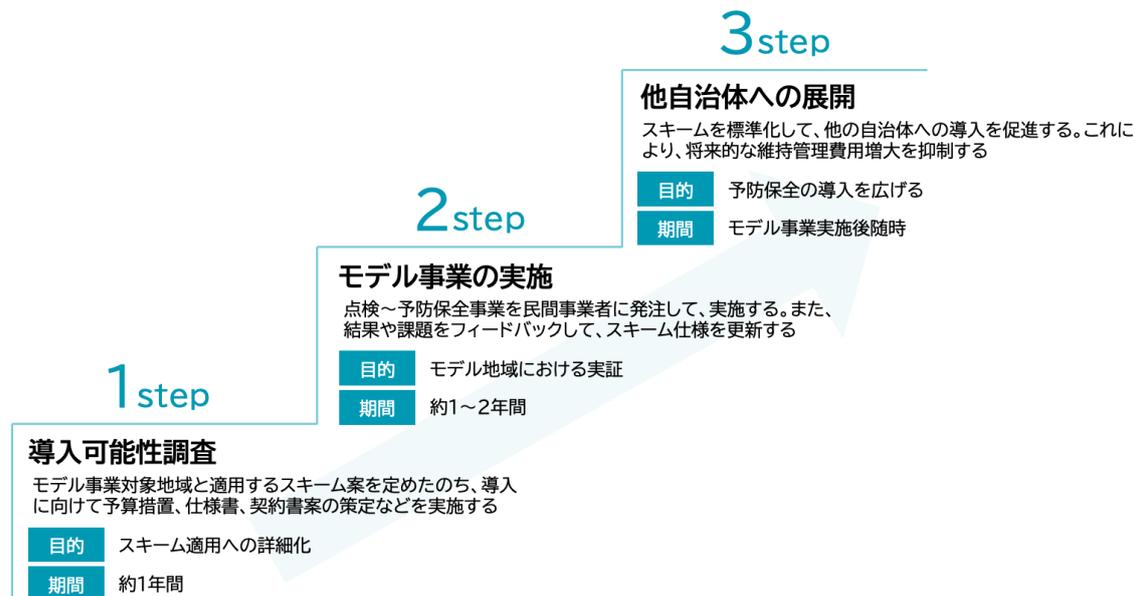
6-1. 実施ステップ

図4の本業務の位置付けにて示したように、本業務ではスキーム開発までを実施した。今後、導入・普及にあたっての実施ステップを図72に示す。

第1ステップは、導入可能性調査である。モデル地域対象地域を定めたのち、その地方公共団体と協力して、適用するスキーム、対象橋梁の選定、事業規模の推定、予算措置、仕様書案の作成、契約書案の作成、入札要件の整理などを実施していく必要がある。特に、事業実施にあたってのリスクを洗い出し、当事者間のリスク分担について、十分な協議をすることが必要となる。

第2ステップは、モデル事業の実施である。導入可能性調査で準備した入札図書等を用いて、実際に民間事業者に発注して実施する。このモデル事業実施の際にも、どのような結果・課題が発生するかを地方公共団体と伴走し、それらを解決していくとともに、スキームのあり方、仕様にフィードバックして、幅広く展開しやすいようにブラッシュアップを行う。

第3ステップは、他の地方公共団体への展開である。モデル事業にて、他地方公共団体に展開しやすいように標準化を行い、様々な地方公共団体が導入できるように支援する。この第3ステップで展開していく際には、複数のステークホルダーと協議して、展開しやすい体制づくりも重要となってくる。そして、広く展開することによって予防保全の導入を促進し、将来的な増加が見込まれている橋梁の維持管理費用を抑制することを目指している。



出所：SMTB 作成

図 72：今後の実施ステップ

6-2. 課題・検討事項

本業務を通じてスキーム開発をしていく中で、様々な課題・検討事項が浮かび上がった。主要なものを表 25 にまとめた。

橋梁の維持管理における技術面の課題は、大別して 2 つある。1 つ目は PC 橋の予防保全の方向性の検討である。本業務では、最も削減効果が見込みやすい鋼橋を対象に分析したが、PC 橋も比較的長い橋梁に適用されるケースが多く、修繕費用も増大しやすいため、財務的にも効果的な予防保全が見つかる可能性がある。2 つ目は予防保全による延期期間の妥当性の向上である。変状連鎖図でも示したように、塗膜劣化においても複合的な要因により劣化が促進される。今回、排水設備の補修や水切りの設置などによる財務的予防保全効果の試算を、延期期間に幅を持たせて評価することにより、納得感のある指標を提供しているが、この延期期間がより定量的かつ妥当性をもって算出できると、指標の信頼性が向上する。

また、制度面での検討事項も 2 点あげられる。1 つ目が国の支援制度への適格性である。財務的予防保全効果がプラスになる予防保全事業について、事例づくりができると、予防保全の実施が促進されると考える。2 つ目の検討事項は、スキーム案②における橋梁点検費用への地方債適用可能性である。現状では、点検業務には地方債を充当していないため、全て一般財源で賄う必要がある。

図 72 にあるように次のステップに進むためには、モデル事業実施地域と適用するスキーム案を決定することが重要である。それによって、以降の各スキームのより詳細な内容を協議・検討していくことができる。スキーム案①にかかる検討事項は主に予防保全への資金使

途を優先する地方債の詳細化とその主要な違いである財務的予防保全効果の算定及び確認を行う業務フローが主な検討点である。銀行等引受債を想定しているため、モデル事業実施地域の地域金融機関とも協議しながら詳細化していく必要がある。

スキーム案②にかかる検討事項は、多岐にわたる。財政面においては、地方公共団体の予算措置の業務フローや民間事業者側に必要となりうる短～中期の融資が成立するための条件を整理する必要がある。また、重要な点であるマネジメント会社の業務スコープの具体化やインセンティブ設計、支払い条件の設定なども極めて重要である。また、それに付随するリスクを洗い出し、誰がどこまでリスクを分担するかを適切に設定することによって、適正な価格での入札を促すことが可能となる。

これらの課題・検討事項の多くを導入可能性調査にて検討する。

表 25：主な課題・検討事項

項目	スキーム	概要	考えられる関係者
PC 橋の予防保全の方向性検討	①・②	鋼橋と同様に費用が高額になりうる PC 橋についても、どのような予防保全実施により財務的效果が得られるか算定	学術機関/ 民間事業者
延期期間の妥当性向上	①・②	予防保全による延期期間が定量的に求められるようになると、財務的予防保全効果の信頼性が高めることができる	学術機関/ 民間事業者
補助制度への適格性	①・②	補助制度の財務的予防保全効果が高い橋梁への適用可能性	国土交通省 等
地方債の適用範囲	②	スキーム案②の橋梁点検業務は、予防保全事業の設計的側面も強い。よって、投資的経費と位置付け、地方債を充当することが可能か検討する	総務省/ 地方公共団体
モデル事業実施地域決定	①or②	協力頂ける地方公共団体とモデル事業の実施地域及び対象橋梁を決定する	地方公共団体/ 国土交通省
スキーム案の選定	①or②	上記の地域選定と並行して、検討を進めるスキーム案を①か②に選択する	地方公共団体
予防保全債(仮)の詳細化	①	財務的予防保全効果が高い予防保全事業に優先的に利用される地方債の発行条件・償還期間等について検討する	総務省/ 地域金融機関/ 地方公共団体
資金使途確認(財務的予防保全効果)業務フロー	①	誰が財務的予防保全効果を取りまとめ、地方債引受銀行がどのタイミングで確認するか業務フローを明確化する	地方公共団体/ 地域金融機関
地方公共団体の予算措置フローの確立	②	現時点では、点検費用+マネジメントフィーの予算確保したのち、翌年の点検実施後に予防保全事業の予算を確保することを想定しているがそのようなフローが可能か確認する	地方公共団体/ 国土交通省
予防保全事業実	②	マネジメント会社が一時的に予防保全事	地域金融機

項目	スキーム	概要	考えられる関係者
施への民間への融資条件の整理		業の資金を調達する場合、どのような条件なら融資可能か、地域金融機関と協議する	関/地方公共団体
リスクの洗い出し・分担	②	点検～予防保全事業の実施まで実施するにあたってのリスクを洗い出し、地方公共団体、マネジメント会社、点検会社、施工会社それぞれの分担を明確化する	国土交通省/地方公共団体/各民間事業者
マネジメント会社のスコープ詳細化	②	キーとなるマネジメント会社の業務範囲を詳細化、明確化する。特に、予防保全事業では、発注・施工監理にとどめ、施工瑕疵等は従来通り建設会社に帰属する想定	国土交通省/地方公共団体/各民間事業者
マネジメント会社へのインセンティブ設計	②	マネジメント会社の創意工夫を引き出し、予防保全効果を最大化するためにインセンティブを設計する	国土交通省/地方公共団体/各民間事業者
マネジメント会社への支払い条件の設計	②	点検や予算措置のタイミングを鑑みて、地方公共団体からマネジメント会社への支払い条件を設計する	国土交通省/地方公共団体/各民間事業者
参加資格の整理	②	マネジメント会社自体や、点検会社・施工会社への発注を地元企業に限るなど地域経済に配慮した参加資格を検討する	国土交通省/地方公共団体/各民間事業者
入札図書の作成	①・②	汎用的に使えるように、入札図書のフォーマットを整備しつつ、適用箇所に合わせて修正する箇所を明確化する	国土交通省/地方公共団体

出所：SMTB 作成

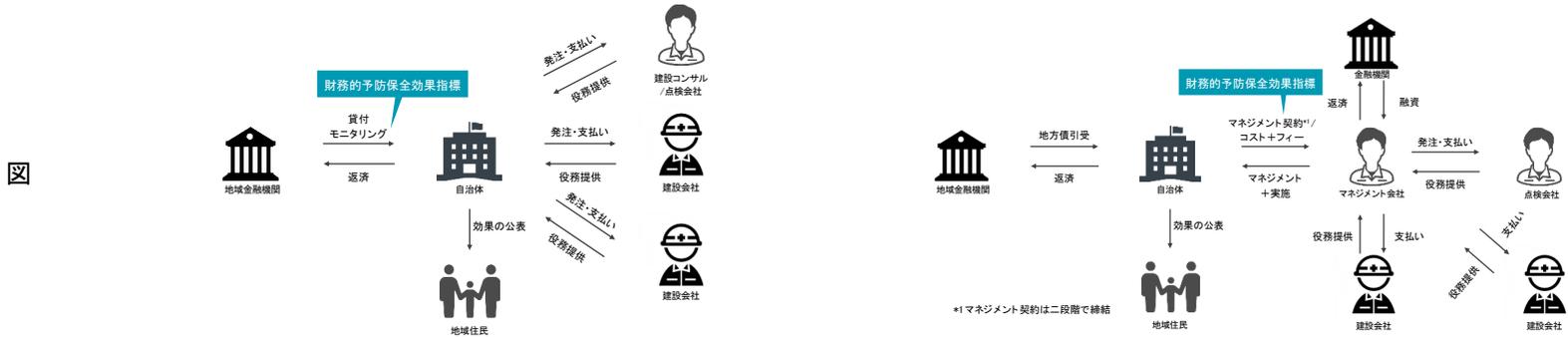
以上

附属資料

スキーム案①・②の概要

スキーム案①

スキーム案②



対象橋梁	<ul style="list-style-type: none"> 従来の定期点検と同じ 	<ul style="list-style-type: none"> 長い橋梁に絞って点検を実施
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 従来点検業務に、事前に想定した「財務的予防保全効果が高い橋梁とその工法の抽出」を加える 結果を元に予防保全事業分の費用を上乗せして、地方債発行等を通じて地方公共団体が資金を調達する 地方債による資金調達の際に、「財務的予防保全効果」を引受先の金融機関がモニタリングする仕組みを組み込み、予防保全への資金流入（予算措置）を担保する 	<ul style="list-style-type: none"> 地方公共団体は「マネジメント会社」と契約して業務を進める マネジメント会社は、比較的長い橋梁を対象として点検業務を行い、効果的な予防保全が見込める橋梁については、財務的予防保全効果を算定する 地方公共団体とマネジメント会社が協議のうえ、実施する予防保全を決定する。また、予防保全事業の施工も含めた金額に契約を変更する マネジメント会社は、予防保全事業を建設会社に発注して、実施する マネジメント会社は、点検や予防保全事業のコストに加え、財務的予防保全効果の多寡に応じたインセンティブを加えたフィーを受け取る
メリット	<ul style="list-style-type: none"> コストを最小化できる 従来業務からの変更が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> 地方公共団体の業務負担が抑えられる マネジメント会社の創意工夫を引き出せる可能性 効率よく効果が高い予防保全を抽出し、迅速に予防保全を実施できる
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 地方公共団体の業務負担が増加する可能性 予防保全実施までに時間を要する 	<ul style="list-style-type: none"> マネジメント会社への費用が発生する 関係者の理解促進を必要とする