

資料Ⅲ 維持管理関連：カルテ様式集

生コンクリート及びコンクリート二次製品の品質記録表										
年度										
工事名										
施工業者										
項目	番号	種類	ポルトランドセメント	高炉セメント				製造会社 工場名	製造年月	摘要
凝結	比表面積 cm ² /g	始発 h-m								
		終結 h-m								
圧縮強さ (N/mm ²)	安定性	1day								
		3day								
		7day								
		28day								
水和熱 (J/g)	三酸化硫黄 (%)	7day								
		28day								
アルミン酸三カルシウム (%)	強熱減量 (%)	酸化マグネシウム (%)								
		三酸化硫黄 (%)								
全アルカリ (%)	硫酸 (%)	強い酸三カルシウム (%)								
		アルミン酸三カルシウム (%)								
備考										
<ul style="list-style-type: none"> 番号は図面対象番号である。 セメントの種類は、普通、早強、高炉A、B等と記入しそれぞれJISに規定された品質項目について記入。 各項目については、セメント会社が生コンクリート製造会社に提出した試験成績表を参考に記入する。 全アルカリ度については、セメント会社が試験しているNa₂O+0.658K₂O-R₂Oの値を記入する。 複数の生コン工場を使用する場合は余白に記入する。 製造年月は試験成績表に記載してある年月。 製造年月が異なるセメントを使用した場合も余白に記入し摘要欄に番号を記入。 製造会社は必ず記入、工場名はわかる範囲で記入。 										
(出典) 「建設材料の品質記録保存業務実施要領(案)」による。										

様式-106									
生コンクリート及びボコンクリート二次製品の品質記録表									
年度									
工事名									
施工業者									
番号	種類	AE剤	撥水剤	AE減水剤	製造会社工場名	製造年月	摘要		
品名	種類								
減水率 (%)									
ブリージング量の比 (%)									
凝結時間の差 (min)	始発								
	終結								
	3day								
圧縮強度比 (%)	7day								
	28day								
長さ変化比 (%)									
凝結融解に対する抵抗性 (相対動弾性係数%)									
CI (重量) (%)									
備考	・番号は図面対象番号を記入。 ・混和剤の種類は、標準形、遅延形、促進形等を記入。 ・各項目については、混和剤メーカーが生コンクリート会社に提出した試験成績表を参考に記入する。 ・製造年月が異なるセメントを使用した場合は余白に記入し摘要欄に番号を記入。 ・製造年月は品質検査、試験成績表に記載してある年月。 「建設材料の品質記録保存業務実施要領(案)」による。								
(出典)									

DBF No. 7101 : 一般情報

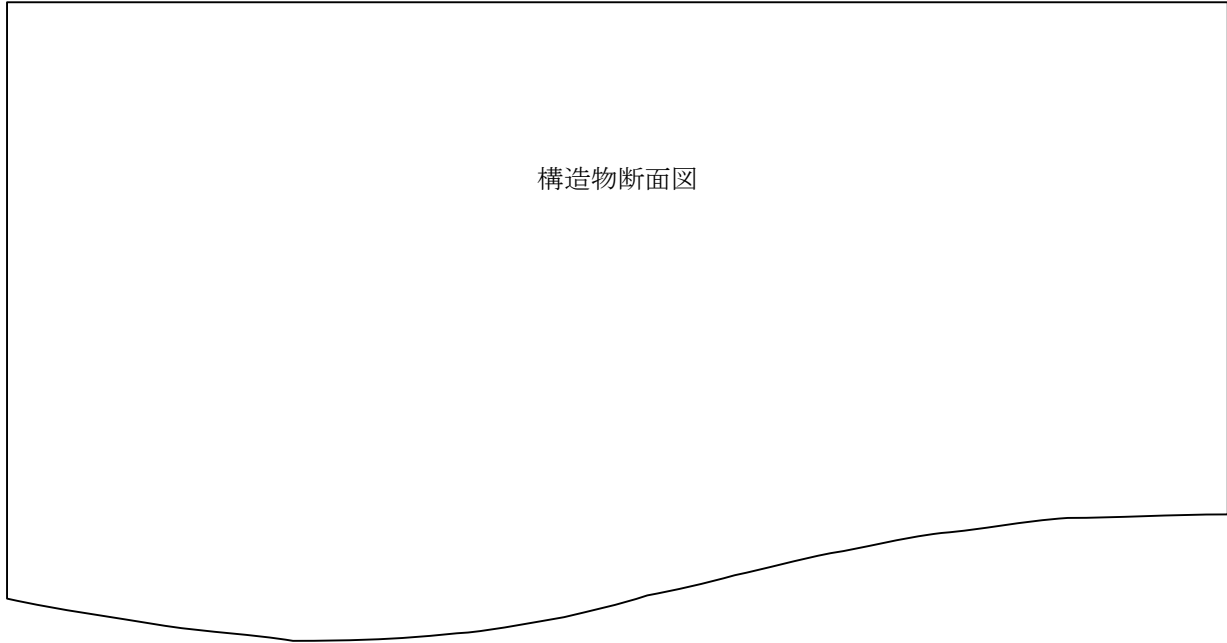
項目	データ
DBF-No.	()
調査年月日	()年()月()日()
担当事務所	()事務所
調査担当者	()課 ()
連絡先	TEL : () (内線)
構造物名	()
所在地	()
路線名・河川名	()
項目	データ
位置	起点からの距離 () km
構造物形式	()
構造物寸法	高さ () m × 幅 () m × 奥行 () m
竣工年	()年
適用仕様書	()
コンクリートの設計基準強度	() N/mm ²
点検の有無 および点検内容	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有 : 最新点検 ()年()月 点検評価内容 ()
補修の有無 および補修内容	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有 : 最新補修 ()年()月 補修内容 ()
海岸からの距離	<input type="checkbox"/> 海上, <input type="checkbox"/> 海岸沿い, <input type="checkbox"/> 海岸から () km
周辺環境①	<input type="checkbox"/> 工場, <input type="checkbox"/> 住宅・商業地, <input type="checkbox"/> 農地, <input type="checkbox"/> 山地, <input type="checkbox"/> その他 ()
周辺環境②	<input type="checkbox"/> 普通地, <input type="checkbox"/> 雪寒地, <input type="checkbox"/> その他 ()
凍結防止剤の使用	<input type="checkbox"/> 無, <input type="checkbox"/> 有 ()年間()日/年程度
直下周辺環境	<input type="checkbox"/> 河川・海, <input type="checkbox"/> 道路, <input type="checkbox"/> その他 ()
標高	海拔 () m
構造物位置図 (1/50000を標準とする)	

DBF No. 7103 : 変状状況

項目	データ	
DBF-No.	()	
外観 (豆板, 変色)	<input type="checkbox"/> 有, <input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 豆板, <input type="checkbox"/> 変色
ひび割れ	<input type="checkbox"/> 有, <input type="checkbox"/> 無	種類: <input type="checkbox"/> 主鉄筋方向, <input type="checkbox"/> 直角方向, <input type="checkbox"/> 両方向
		本数: <input type="checkbox"/> 1~2本, <input type="checkbox"/> 3~5本, <input type="checkbox"/> 多数
		ひび割れ総延長: 約 () m
はく離	<input type="checkbox"/> 有, <input type="checkbox"/> 無	種類: <input type="checkbox"/> うろこ状はく離, <input type="checkbox"/> 角欠け, <input type="checkbox"/> 両方, <input type="checkbox"/> その他 ()
		箇所: <input type="checkbox"/> 1~2ヶ所, <input type="checkbox"/> 3~5ヶ所, <input type="checkbox"/> 多数
		はく離総面積: 約 () m ²
さび汁	<input type="checkbox"/> 有, <input type="checkbox"/> 無	箇所: <input type="checkbox"/> 1~2ヶ所, <input type="checkbox"/> 3~5ヶ所, <input type="checkbox"/> 多数
鋼材露出	<input type="checkbox"/> 有, <input type="checkbox"/> 無	種類: <input type="checkbox"/> スペーサー, <input type="checkbox"/> スターラップ, <input type="checkbox"/> 主鉄筋, <input type="checkbox"/> シース
		箇所: <input type="checkbox"/> 1~2ヶ所, <input type="checkbox"/> 3~5ヶ所, <input type="checkbox"/> 多数
		露出総延長: 約 () m
		腐食: <input type="checkbox"/> 健全, <input type="checkbox"/> 部分的腐食, <input type="checkbox"/> 全面的腐食, <input type="checkbox"/> 断面欠損
ハンマーによる たたき調査	<input type="checkbox"/> 有, <input type="checkbox"/> 無	種類: <input type="checkbox"/> 健全音, <input type="checkbox"/> 異常音 (浮き有り)
		箇所: <input type="checkbox"/> 1~2ヶ所, <input type="checkbox"/> 3~5ヶ所, <input type="checkbox"/> 多数
その他	顕著な損傷, 補修の要否などを記入	
<p>構造物一般図</p>		

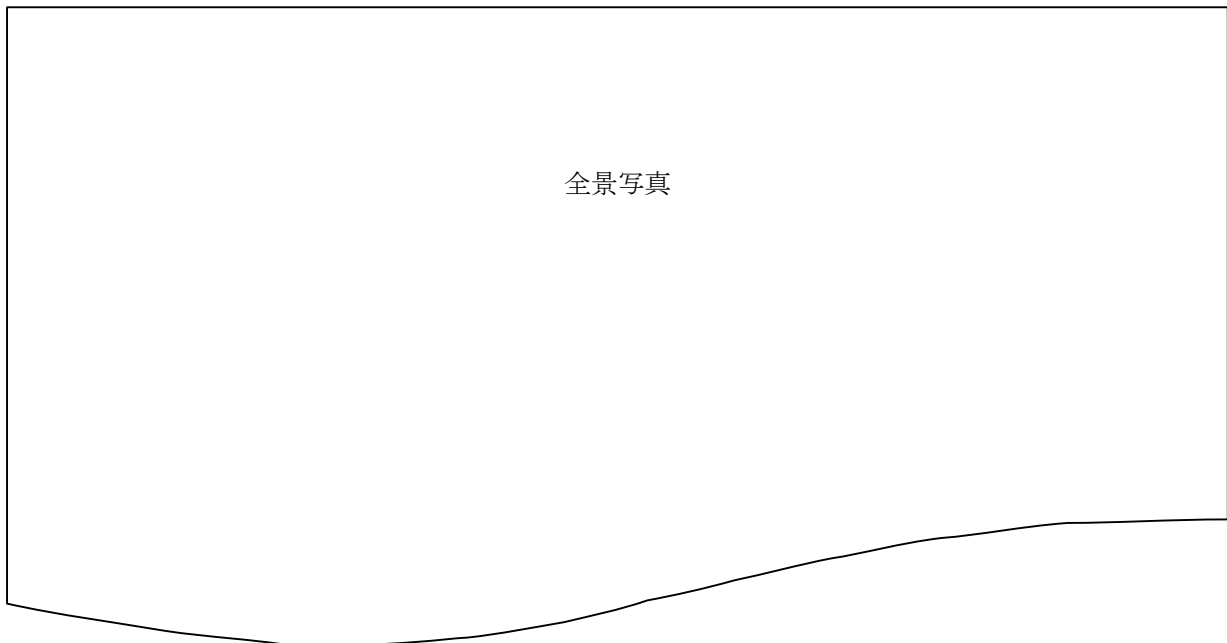
DBF No. 7103 : 変状状況 : 断面図

項目	データ
DBF-No.	()



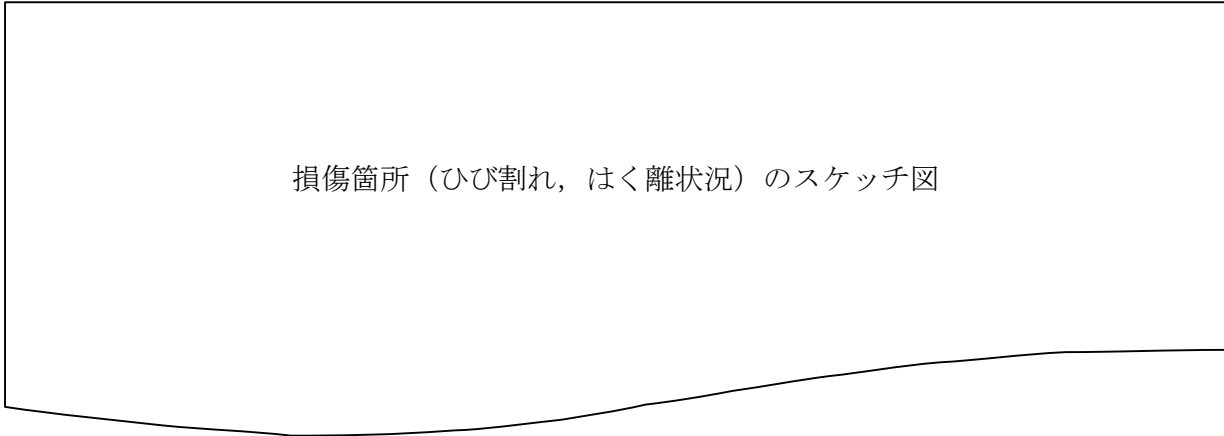
DBF No. 7103 : 変状状況 : 全景写真

項目	データ
DBF-No.	()



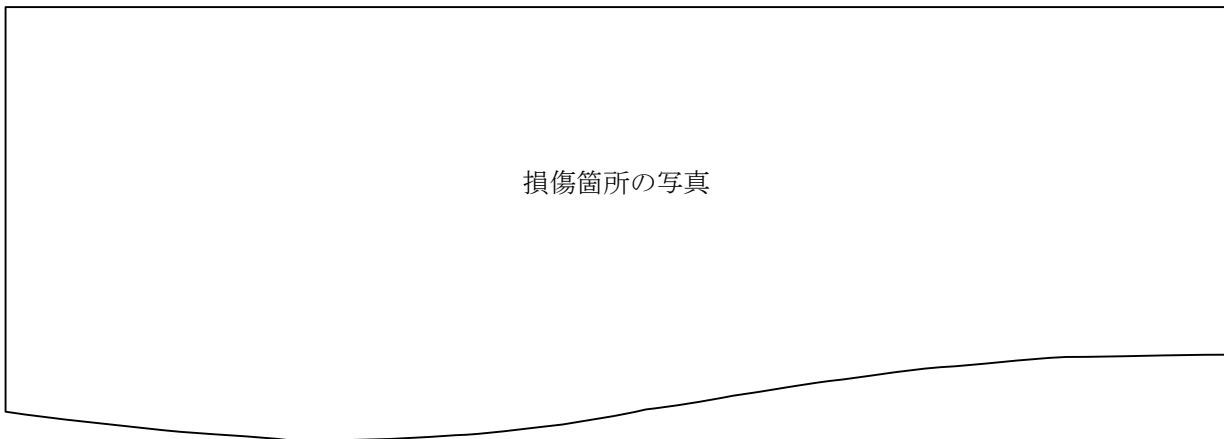
DBF No. 7103 : 変状状況 : 損傷状況図

項目	データ
DBF-No.	()



DBF No. 7103 : 変状状況 : 損傷写真

項目	データ
DBF-No.	()



DBF No. 7104 : 補修情報

項目	データ
DBF-No.	()

補修補強の時期, 種類, 経緯
補修の現状

DBF No. 6101 : 基本 DBF－[ひび割れ注入工法・有機系注入材]

補修後の再劣化に関する情報(グレード1)

	項目	データ
0. DBF-No.		()
1. 補修後の材料劣化	ひび割れの再開口	<input type="checkbox"/> あり：()か所, 計()m, <input type="checkbox"/> なし
	新たなひび割れの発生	<input type="checkbox"/> あり：()か所, 計()m 補修したひび割れからの距離()mm <input type="checkbox"/> なし
	その他	<input type="checkbox"/> あり：(), <input type="checkbox"/> なし

DBF No. 6104 : 基本 DBF－[ひび割れ注入工法・有機系注入材]

補修材料の性能に関する情報(グレード4)

	項目	データ
0. DBF-No.		()
1. 材料	材料名	製品名(), ()系
2. 材料特性	[JSCE-K 541 試験結果]	
	粘度	() Pa・s
	スランプ性	() mm
	硬化収縮率	() %
	引張強さ	() N/mm ²
	引張破壊伸び	() %
	引張弾性率	() %
	曲げ強さ	() N/mm ²
	接着強さ	
	1.標準条件	() N/mm ²
2.湿潤条件	() N/mm ²	
3.水中条件	() N/mm ²	
4.乾湿繰返し条件	() N/mm ²	
5.低温条件	() N/mm ²	
6.耐アルカリ条件	() N/mm ²	
線膨張率	() %	
その他	()	
		注 試験方法も記載
3. 施工状況	コンクリート含水率	() %
	ひび割れ本数	() 本
	最大ひび割れ幅	() mm
	合計施工長さ	() m
	充てん状況の確認方法と結果	コアの割裂() N/mm ² その他()

DBF No. 6111 : 基本 DBF－[ひび割れ注入工法・無機系注入材，ポリマーセメント系注入材]

補修後の再劣化に関する情報(グレード1)

	項目	データ
0. DBF-No.		()
1. 補修後の材料劣化	ひび割れの再開	<input type="checkbox"/> あり：() か所，計 () m， <input type="checkbox"/> なし
	新たなひび割れの発生	<input type="checkbox"/> あり：() か所，計 () m 補修したひび割れからの距離 () mm <input type="checkbox"/> なし
	その他	<input type="checkbox"/> あり：()， <input type="checkbox"/> なし

DBF No. 6114 : 基本 DBF－[ひび割れ注入工法・無機系注入材，ポリマーセメント系注入材]

補修材料の性能に関する情報(グレード4)

	項目	データ
0. DBF-No.		()
1. 材料	材料名	製品名 ()，() 系
2. 材料特性	水セメント比	() %
	ポリマーセメント比	() %
	[JSCE-K 542, 543 試験結果] ロート流下時間	使用ロート種類 ()，() 秒
	保水係数	() %
	膨張収縮率	() %
	圧縮強さ	() N/mm ²
	圧縮弾性係数	() N/mm ²
	引張強さ	() N/mm ²
	曲げ強さ	() N/mm ²
	接着強さ	
	1.標準条件	() N/mm ²
	2.湿潤条件	() N/mm ²
	3.水中条件	() N/mm ²
4.乾湿繰返し条件	() N/mm ²	
5.低温条件	() N/mm ²	
6.耐アルカリ条件	() N/mm ²	
吸水率	() %	
その他	()	
		注 試験方法も記載
3. 施工状況	コンクリート含水率	() %
	ひび割れ本数	() 本
	最大ひび割れ幅	() mm
	合計施工長さ	() m
	充てん状況の確認方法と結果	1. コアの割裂 () N/mm ² 2. その他 ()

DBF No. 6121 : 基本 DBF－[表面処理工法・被覆系材料]補修後の再劣化に関する情報(グレード1)

	項目	データ
0. DBF-No.		()
1. 補修後の材料劣化	補修材の変状	<input type="checkbox"/> 白亜化, <input type="checkbox"/> ふくれ, <input type="checkbox"/> 割れ, <input type="checkbox"/> はがれ <input type="checkbox"/> その他 (), <input type="checkbox"/> 異常なし
	補修部以外のひび割れの発生	<input type="checkbox"/> あり : () 本, 計 () m, <input type="checkbox"/> なし
	その他	<input type="checkbox"/> あり : (), <input type="checkbox"/> なし

DBF No. 6124 : 基本 DBF—[表面処理工法・被覆系材料]補修材料の性能に関する情報(グレード4)

	項目	データ
0. DBF-No.		()
1. 材料	材料名	別表.1 (JSCE-K 511 に準拠)
2. 材料特性	[JSCE-K 511 試験結果] 促進耐候性試験結果 外観評価	<input type="checkbox"/> 白亜化, <input type="checkbox"/> ふくれ, <input type="checkbox"/> 割れ, <input type="checkbox"/> はがれ <input type="checkbox"/> その他 (), <input type="checkbox"/> 異常なし
	光沢	()
	色差	()
	JSCE-K 521 試験結果 酸素透過性試験結果 標準状態供試体	JIS K 7126 の 1-1.差圧法 1-2.等圧法
	酸素透過度	() mol/m ² ・s・Pa
	酸素透過係数	() mol・m/m ² ・s・Pa
	促進耐候性試験後の供試体	JIS K 7126 の 1-1.差圧法 1-2.等圧法
	酸素透過度	() mol/m ² ・s・Pa
	酸素透過係数	() mol・m/m ² ・s・Pa
	JSCE-K 522 試験結果 透湿度試験結果 標準供試体の透湿度	() g/m ² ・24h
	耐候性試験後の透湿度	() g/m ² ・24h
	JSCE-K 523 試験結果 透水量試験結果	() g
	JSCE-K 524 試験結果 塩化物イオンの浸透深さ	() mm
	JSCE-K 531 試験結果 付着強さ 標準状態供試体 耐アルカリ性試験後の供試体 促進耐候性試験後の供試体	() N/mm ² () N/mm ² () N/mm ²
	JSCE-K 532 試験結果 ひび割れ追従性試験結果 標準状態供試体 低温状態供試体 促進耐候性試験後の供試体 耐アルカリ性試験後の供試	() mm, 伸び・応力関係図 () mm, 伸び・応力関係図 () mm, 伸び・応力関係図 () mm, 伸び・応力関係図
	その他の特性	()
3. 併用材料	躯体部処理材	<input type="checkbox"/> あり (), <input type="checkbox"/> なし
4. 施工状況	コンクリート含水率	() %
	下地処理方法	()
	施工面積	() ヶ所, 計 () m ²

別表.1 表面被覆材の種類と被覆仕様

工程	表面被覆材の種類	表面被覆材の調整		塗装条件					
		製品名 混合比	希釈材の種類と 添加率 (%)	塗装 方法	使用量 ¹⁾ (kg/m ³)	可使 時間 ²⁾	被膜厚 ³⁾		塗装間隔 ⁴⁾
							ドライ	ウェット	
前 処 理	下地処理材 [プライマー]								
	不陸調整材 [パテ]								
中 塗 り	主材 ⁵⁾ [中塗り材] (塗り回数)								
上 塗 り	仕上げ材 [上塗り材] (塗り回数)								
断 面 図									

- 注
- 1) 使用前の希釈量を示す。
 - 2) JIS K 5400 の 4.9 (ポットライフ) に規定する方法に準拠する。
 - 3) 被覆した測定値を示す。
 ドライ：JIS K 5400 の 3.5 (塗膜の厚さの測定) に規定する方法に準拠する。
 ウェット：JIS K 5400 の 3.4 (塗膜層の厚さの測定) に規定する方法に準拠する。
 - 4) 作成時に次工程に移るまでの時間を示す。
 - 5) ガラス繊維等の補強材がある場合には、その種類を示す。

DBF No. 6131 : 基本 DBF－[表面処理工法・含浸系塗布材]

補修後の再劣化に関する情報(グレード1)

	項目	データ
0. DBF-No.		()
1. 修後の材料劣化	劣化	<input type="checkbox"/> あり : () , <input type="checkbox"/> なし

DBF No. 6134 : 基本 DBF－[表面処理工法・含浸系塗布材]

補修材料の性能に関する情報(グレード4)

	項目	データ
0. DBF-No.		()
1. 材料	材料名	製品名 () , () 系
2. 材料特性	特性	() 注 試験方法も記載
3. 施工状況	コンクリート含水率	() %
	下地処理方法	()
	施工面積	() ヶ所, 計 () m ²

DBF No. 6141 : 基本 DBF－[断面修復工法・セメントモルタルまたはコンクリート]

補修後の再劣化に関する情報(グレード1)

	項目	内容
0. DBF-No.		()
1. 補修後の材料劣化	補修部のひび割れ	<input type="checkbox"/> あり:()本・計()m, <input type="checkbox"/> なし
	補修部の剥落	<input type="checkbox"/> あり()か所・計()m ² , <input type="checkbox"/> なし
	その他	<input type="checkbox"/> あり(), <input type="checkbox"/> なし

DBF No. 6144 : 基本 DBF－[断面修復工法・セメントモルタルまたはコンクリート]

補修材料の性能に関する情報(グレード4)

	項目	データ
0. DBF-No.		()
1. 材料	材料名	<input type="checkbox"/> 吹付け, <input type="checkbox"/> 吹付けでない
		<input type="checkbox"/> モルタル, <input type="checkbox"/> コンクリート
2. 材料特性	材齢 28 日圧縮強度	() N/mm ²
	単位水量	() kg/m ³
	水セメント比	() %
	セメント種類	() セメント
	混和材の使用の有無	<input type="checkbox"/> あり:種類(), 使用量() kg/m ³ <input type="checkbox"/> なし
	コンクリートのスランプ (またはスランプフロー)	() mm
	モルタルのフロー値	() mm
	空気量	() %
	その他の特性	()
		注 試験方法も記載
3. 併用材料	躯体部処理材	<input type="checkbox"/> あり(), <input type="checkbox"/> なし
	鉄筋防せい材	<input type="checkbox"/> あり(), <input type="checkbox"/> なし
4. 施工状況	コンクリート含水率	() %
	下地処理方法	()
	施工の形態	<input type="checkbox"/> パッチング, <input type="checkbox"/> 全面, <input type="checkbox"/> その他()
	施工面積	()ヶ所, 計() m ²

DBF No. 6151 : 基本 DBF－[断面修復工法・ポリマーセメントモルタルまたはコンクリート]

補修後の再劣化に関する情報(グレード1)

	項目	内容
0. DBF-No.		()
1. 補修後の材料劣化	補修部のひび割れ	<input type="checkbox"/> あり:()本・計()m, <input type="checkbox"/> なし
	補修部の剥落	<input type="checkbox"/> あり()か所・計()m ² , <input type="checkbox"/> なし
	その他	<input type="checkbox"/> あり(), <input type="checkbox"/> なし

DBF No. 6154 : 基本 DBF－[断面修復工法・ポリマーセメントモルタルまたはコンクリート]

補修材料の性能に関する情報(グレード4)

	項目	データ	
0. DBF-No.		()	
1. 材料	材料名	製品名(), ()系	
2. 材料特性	単位水量	() kg/m ³	
	水セメント比	() %	
	ポリマーセメント比	() %	
	スランプ	() mm	
	JIS A 6203 試験結果		
	圧縮強さ	() N/mm ²	
	曲げ強さ	() N/mm ²	
	吸水率	() %	
	透水量	() g	
	長さ変化率	() %	
	中性化深さ	() mm	
	塩化物イオン浸透深さ	() mm	
	接着強さ	() N/mm ²	
	接着耐久性	() N/mm ²	
	凍結融解試験による 相対動弾性係数	()	
透湿度	() g/m ² ・d		
その他の特性	()		
		注 試験方法も記載	
3. 併用材料	躯体部処理材	<input type="checkbox"/> あり(), <input type="checkbox"/> なし	
	鉄筋防せい材	<input type="checkbox"/> あり(), <input type="checkbox"/> なし	
4. 施工状況	コンクリート含水率	() %	
	下地処理方法	()	
	施工の形態	<input type="checkbox"/> パッチング, <input type="checkbox"/> 全面, <input type="checkbox"/> その他()	
	施工面積	()ヶ所, 計()m ²	

DBF No. 6164 : 基本 DBF - [電気化学的防食工法・電気防食]

補修材料の性能に関する情報(グレード4)

	項目	データ
0. DBF-No.		()
1. 装置	電源	<input type="checkbox"/> 外部電源方式, <input type="checkbox"/> 流電陽極方式
	陽極材材料	()
	陽極材形状	<input type="checkbox"/> 面状 <input type="checkbox"/> メッシュ方式, <input type="checkbox"/> パネル方式, <input type="checkbox"/> 導電性塗料方式 <input type="checkbox"/> 溶射方式, <input type="checkbox"/> シート方式, <input type="checkbox"/> その他 () <input type="checkbox"/> 線状 <input type="checkbox"/> リボンメッシュ方式, <input type="checkbox"/> グリッド方式 <input type="checkbox"/> その他 () <input type="checkbox"/> ロッド状 <input type="checkbox"/> その他 ()
	陽極寸法	() m ² , あるいは () m × () 本
2. 施工状況	陽極設置面の下地処理方法	()
	施工面積	() m ²
	通電期間	() 日
	温度	() °C
	湿度	() RH%
	コンクリート含水率	<input type="checkbox"/> 水中, <input type="checkbox"/> 気中 : () %
	防食電位	() mV vs. CSE
	防食電流密度	() mA/m ² (対陽極設置コンクリート表面積)
	インスタントオフ電位	() mV vs. CSE
	電流遮断後の安定電位	() mV vs. CSE
	復極量	() mV
	分極抵抗	() kΩ・cm ²
	コンクリート抵抗	() kΩ/cm
	その他特性	()
		注 試験方法も記載

DBF No. 6174 : 基本 DBF－[電気化学的防食工法・脱塩防食]

補修材料の性能に関する情報(グレード4)

	項目	データ
0. DBF-No.		()
1. 装置	陽極材材料	()
	陽極材形状	<input type="checkbox"/> セルロースファイバー, <input type="checkbox"/> パネル, <input type="checkbox"/> ボンディング <input type="checkbox"/> その他 ()
	電解質種類	()
2. 施工状況	陽極設置面の下地処理方法	()
	施工面積	() m ²
	通電期間	() 日
	温度	() °C
	湿度	() RH%
	コンクリート含水率	<input type="checkbox"/> 水中, <input type="checkbox"/> 気中 () %
	電流密度	() mA/m ² (対陽極設置コンクリート表面積)
3. 施工直後の性状	Cl-量の分布	<input type="checkbox"/> JCI-SC4, <input type="checkbox"/> JCI-SC5 コンクリート表面から () cm () kg/m ³ コンクリート表面から () cm () kg/m ³ コンクリート表面から () cm () kg/m ³ コンクリート表面から () cm () kg/m ³ コンクリート表面から () cm () kg/m ³ コンクリート表面から () cm () kg/m ³ コンクリート表面から () cm () kg/m ³
	自然電位 (JSCE-E 601)	() mV vs. CSE
	分極抵抗	() kΩ・cm ²
	コンクリート抵抗	() kΩ/cm
	その他特性	()
		注 試験方法も記載

DBF No. 6184 : 基本 DBF－[電気化学的防食工法・再アルカリ化工法]

補修材料の性能に関する情報(グレード4)

	項目	データ
0. DBF-No.		()
1. 装置	陽極材材料	()
	陽極材形状	<input type="checkbox"/> セルローズファイバー, <input type="checkbox"/> パネル, <input type="checkbox"/> シート <input type="checkbox"/> その他 ()
	電解質種類	()
2. 施工状況	陽極設置面の下地処理方法	()
	施工面積	() m ²
	通電期間	() 日
	温度	() °C
	湿度	() RH%
	コンクリート含水率	<input type="checkbox"/> 水中, <input type="checkbox"/> 気中 () %
	電流密度	() mA/m ² (対陽極設置コンクリート表面積)
3. 施工直後の状況	中性化深さ	() cm
	自然電位 (JSCE-E 601)	() mV vs. CSE
	分極抵抗	() kΩ・cm ²
	コンクリート抵抗	() kΩ/cm
	その他特性	()
		注 試験方法も記載

DBF No. 6194 : 基本 DBF－[電気化学的防食工法・再アルカリ化工法]

補修材料の性能に関する情報(グレード4)

	項目	データ
0. DBF-No.		()
1. 装置	陽極材材料	()
	陽極材形状	<input type="checkbox"/> 面状, <input type="checkbox"/> 線状, <input type="checkbox"/> その他 ()
	形式	<input type="checkbox"/> 海中通電方式, <input type="checkbox"/> 吸水通電方式(保水材 , 電解質種類)
2. 施工状況	陽極設置面の下地処理方法	()
	施工面積	() m ²
	通電期間	() 日
	温度	() °C
	湿度	() RH%
	コンクリート含水率	() %
	電流密度	() mA/m ² (対陽極設置コンクリート表面積)
3. 施工直後の性状	[電着物の物性]	
	Ca/Mg	()
	密度	() g/cm ³
	硬度	()
	pH	()
	細孔量	()
	厚さ	() μm
	[コンクリートの物性]	
	透水係数	()
	細孔量	()
	Cl-量	<input type="checkbox"/> JCI-SC4, <input type="checkbox"/> JCI-SC5 () kg/m ³
	自然電位 (JSCE-E 601)	() mV vs. CSE
	その他特性	()
		注 試験方法も記載

資料Ⅳ LCC AM

1. アセットマネジメント及びLCC評価の現状と課題
2. ライフサイクルの試算
3. ライフサイクルコストの取組み事例
4. アセットマネジメントの取組み事例

1 アセットマネジメントおよびLCC評価の現状と課題

1.1 我が国におけるライフサイクルコスト評価およびアセットマネジメント導入の背景

我が国においては、社会基盤施設の一斉老朽化、建設投資額の減少といった社会的背景により、構造物の維持管理にあたっては、これまで以上に合理的かつ効率的な手法の導入が不可欠とされている。さらに東北地方では、他地方に比べ、厳しい地象・気象条件、少子高齢化社会・過疎化の加速といった背景が加わり、今後新設される構造物については、設計・施工・維持管理の各段階において、他地方以上に構造物の耐久性に対する配慮がなされる必要がある。こうした背景より近年、ライフサイクルコスト（LCC）評価に基づく維持管理計画の策定や、構造物を資産（アセット）として扱い、構造物および構造物群の将来にわたる状態予測とコスト評価により、合理的かつ効率的にこれらを運用するアセットマネジメントシステムの導入が各組織において進められている。

構造物に対するLCC評価やアセットマネジメントの導入は、将来の維持管理において不可欠なものであり、また導入してもすぐには十分な効果が期待できないことから、早期に準備を進める必要がある。一方、現時点ではLCC、アセットマネジメント共に未成熟な技術であることは否めず、運用上の課題も多く、誤った理解の下でこれらを使用し、得られた結果を鵜呑みにすると、却って構造物の耐久性を低下させたり、場合によっては人命の安全性に関わる問題となりうる危険性も否定できない。

従って、LCC評価やアセットマネジメントシステムの導入を検討している組織では、これらの本質を十分に理解した上で、準備にあたる必要がある。以下にアセットマネジメントおよびLCC評価の現状と課題について整理し、運用上の留意点をまとめる。

1.2 アセットマネジメントの現状と課題

我が国のアセットマネジメントに関する取組みは緒に就いたばかりと言え、本編2.5で述べた通り、現時点ではコンクリート標準示方書[維持管理編：2007年制定]の対象とはなっていないが、今後、図1.2.1に示される構造物群の維持管理計画にアセットマネジメントの導入が期待される。

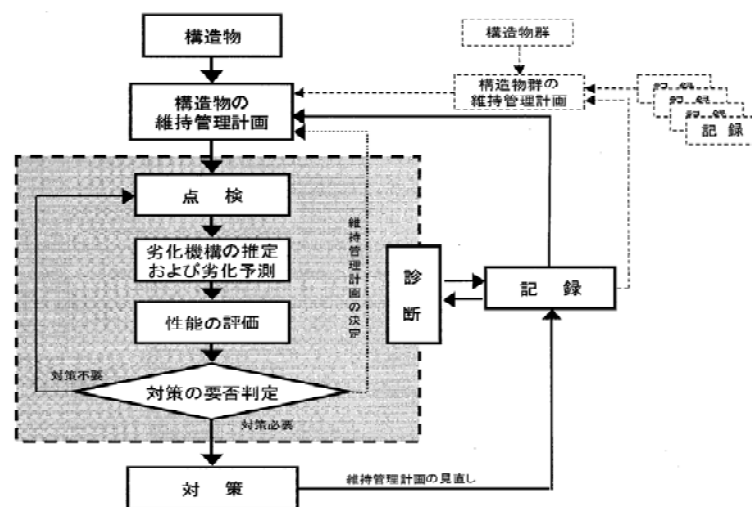


図 1.2.1 構造物の維持管理の手順¹⁾

「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会」(委員長：岡村 甫 前高知工科大学学長)においては、7つの提言の第1にアセットマネジメント導入による総合的なマネジメントシステムの構築を挙げており、維持管理における最重要課題として位置付けられている。その中で、アセットマネジメントとは、「道路を資産としてとらえ、道路構造物の状態を客観的に把握・評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算的制約の中でいつどのような対策をどこに行うのが最適であるかを考慮して、道路構造物を計画的かつ効率的に管理すること」と定義されている。

解説 図 1.2.2 に日本コンクリート工学協会「コンクリート構造物のアセットマネジメント研究委員会」(委員長：宮川豊章京都大学大学院教授)で示されたアセットマネジメント (AM) の手順を示す²⁾。図より、AM の手順は、維持管理計画→点検→劣化(機能低下)予測→性能(機能)評価・照査→ライフサイクルコスト (LCC) 評価→投資計画(判断指標)→予算計画・措置→維持管理計画であり、その運用にあたっては、構造物の仕様を記した台帳や点検結果等によるデータベースの構築が不可欠となる。また、このサイクルの中で、問題が見つかれば適切な対策(例えば、補修・補強等)を施し、点検にフィードバックさせる必要がある。AM の意義は、このようなサイクルを繰り返すことにより、点検データの質・量が向上し、劣化予測の精度が高まり、その結果、システムが高度化することにあるとされている。その概念図を解説 図 1.2.3 に示す²⁾。

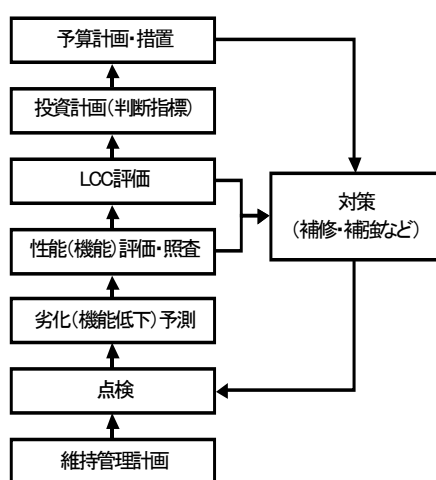


図 1.2.2 アセットマネジメントの手順²⁾

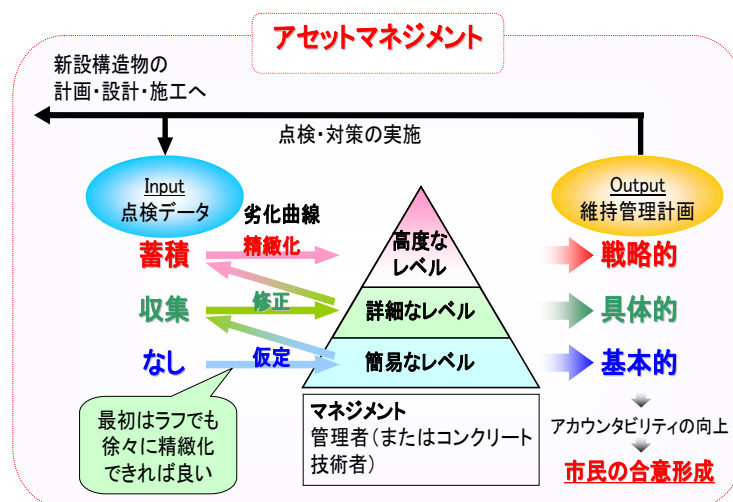


図 1.2.3 アセットマネジメント全体の流れ²⁾

図より、AM は基本的に点検データに基づき行われるものであるが、仮にデータがなくても、土木学会のコンクリート標準示方書に示される性能照査式等を用いれば、劣化予測は可能となり、その結果、簡易な AM と基本的な維持管理計画を策定することが可能になる。そして、点検データを収集すれば、実データに基づくより詳細な AM が可能となり、その結果より具体的な維持管理計画の策定につながる。さらに戦略的な維持管理計画の策定を目指す場合には、点検データの質・量をさらに高め、高度な AM を展開する必要がある。以上のことから、AM は維持管理に関わる要素技術とこれを実行する技術者に支えられており、技術者による点検、劣化予測の精度がその良否を左右することになる。AM の導入を目指している組織は、まず、組織内にどのようなデータ (Input) があるかを考え、それに応じた AM および維持管理計画 (Output) のレベルを設定する必要がある。一方、将来どのレベルの AM を目指す

かによって、これに必要な点検データの質・量を高める必要がある。つまり、Input に応じた Output が期待されることになる。逆に現在は基本的な維持管理計画しか立てられなくても、将来にわたり、点検データを蓄積し、AM のシステムを精緻化することにより、戦略的な維持管理計画の策定も可能になる。つまり、まずは各組織の実状にあった AM から着手することが重要で、目標に応じてその後システム全体を向上させていけば良いということになる。また、前述の通り、AM は適切な維持管理計画の策定を実現するためのツールであり、最終的な判断、すなわち対策の要否とその手法、投資判断は技術者あるいは管理者に委ねられる。技術者は、このことに十分留意し、AM によって得られる結果を鵜呑みにすることなく、的確にデータを分析し、最終的な判断を下す必要がある³⁾。

【参考文献】

- 1) 土木学会, 2007 年制定コンクリート標準示方書[維持管理編], 2007.
- 2) 日本コンクリート工学協会, 技術者向け よくわかるアセットマネジメント, 2006.
- 3) 宮川豊章, 保田敬一, 岩城一郎, 横田弘, 服部篤志, 土木技術者のためのアセットマネジメント -コンクリート構造物を中心として-, 土木学会論文集 F, Vol. 64, No. 1, pp. 24-43, 2008.

1.3 ライフサイクルコスト (LCC) 評価の現状と課題

アセットマネジメントは、各組織で管理する構造物群を対象に、それら全ての構造物から得られる LCC の総和を最小化できる維持管理法の策定や、あるいはそれら構造物群の維持管理に必要な予算の概算を得るためなどに用いられる。このため、アセットマネジメントのスキームの中で実施される LCC 評価では、詳細な劣化予測やコスト算定が必要とされることは少なく、大局的な観点からの問題設定がなされる場合が多い。一方、アセットマネジメントとは別に、個別の構造物を対象に LCC 評価が実施されることも多い。この場合には、構造物群を対象とする場合と異なり、個別の構造物の情報（例えば、構造物が受ける環境・荷重条件や適用設計規準）などを反映できることから、より詳細な LCC 評価が可能になる。

LCC の計算を行う際の基本条件として考慮すべきは次の 3 項目である。

1. 劣化予測手法の選択とそれに必要なパラメータの設定
2. 構造物の維持管理シナリオの策定（点検計画、維持管理の基準（補修の有無の判断指標等）、補修を必要とした場合の補修工法の選定等）
3. LCC 評価期間（構造物の（残存）供用期間）

上記の項目に従い、シナリオごとに各費用を算定することで構造物の LCC が得られる。LCC の算定式には、一般に、式(1.1)と式(1.2)の2つがある^{2),3),4)}。

$$LCC = C_I + C_M + C_R \quad (1.1)$$

$$LCC = C_I + C_M + C_R + C_f \times P_f \quad (1.2)$$

ここに、 C_I は初期建設費用であり、企画、基本設計、実施設計、建設費などの合計である。 C_M は維持管理費用であり、点検に関わる費用や補修に関わる費用などの合計である。場合によっては、機会損失費用（維持管理を実施することにより期待される収入が失われること）を見込む場合もある。 C_R は撤去・更新費用である。 C_f は破壊や損傷によって生じる損失に相当する費用であり、 P_f は供用期間中

の構造物の破壊（損傷）確率である。

式(1.1)と式(1.2)の違いは、構造物の設計や維持管理計画が内包するリスク ($C_f \times P_f$) の考慮の有無である。アセットマネジメントの中で実施される簡易的なLCC評価、あるいは、LCCの算定時に想定する構造物の状態が腐食ひび割れの発生などであり、その状態が生起することで生じる C_f が無視できるような場合には、式(1.1)を用いることになる。一方、構造物の安全性や第三者影響度が関わる維持管理の問題を扱う場合には、式(1.2)が必要となる。安全性を高める投資は C_f の増加要因になるのに対し、 P_f の減少をもたらすことを考慮できるため、安全性と経済性の両者のバランスの中で最適解を見出すことが可能となる。なお、最低限の安全性を確保するために、LCC最小化を求める過程で、 P_f に対してある一定の条件を課すこともある。なお、式(1.2)を用いて得られるLCCは、以下に示すように、 C_f などの算定に多くの問題を抱えており、LCCの算定値自体に絶対的な意味を持たせることは困難である。式(1.2)は、複数の補修・補強対策法の中から最適案を見出すために使用され、LCCは相対比較のための指標と考えるべきである⁴⁾。

式(1.1)や式(1.2)によるLCC評価において、特に留意すべき事項と今後の検討課題について、以下に示す。

- i) 劣化予測の精度向上とそれに伴う不確定性の処理：土木構造物の供用期間は50年や100年の長期にわたる。しかし、50年や100年後の構造物の状態を予測することは大変な困難を伴うし、ある一定の間隔で補修・補強を繰り返す行いを前提とした場合には、補修・補強後の劣化予測（再劣化の問題）を扱わなければならない。LCCにおける C_M の算定に直接的に影響するこれらの予測精度を向上させるとともに、予測に伴う不確定性を適切に考慮することが必要である。前者については、物理・化学モデルの進展とあわせて、今後の予測精度の向上に貢献できる、既存劣化構造物のデータベース化を進める必要がある。また、後者については、信頼性理論などの確率・統計手法の維持管理問題への応用が必要である。
- ii) 材料劣化と構造性能の関係の整理：材料劣化がコンクリート構造物の構造性能に与える影響の整理が必要である¹⁾。構造物の安全性確保の観点から許容できる構造性能の状態を規定し、その状態に留めるための材料劣化の程度を定めた上で、LCCを算定する必要がある。材料劣化の状態と構造性能の関係が不明瞭であると、過度に安全側に許容できる材料劣化の状態を定めることになり、経済的な損失が大きくなる。
- iii) 割引率の設定：LCCの算定では、 C_M などの算定時に割引率を換算して、各年のコストを現在価値に割り戻す必要がある。わが国では、一般に4%程度の値が使用され、例えばアメリカでは2～3%、オーストラリアでは7%などが使用されている。この値により、LCCの算定値は大きく異なり、一般的に、割引率を大きくとった場合には供用期間を短くすることが経済的な設定となる。用いる割引率の値がLCC評価結果に与える感度を検討する必要がある。
- iv) (残存) 供用期間：鉄道橋の鉄筋コンクリート造のもので50年、道路では鉄骨鉄筋コンクリートや鉄筋コンクリート造で30年との目安が示されている⁵⁾。構造物の重要度などを勘案した適切な(残存) 供用期間が必要である。
- v) C_f 算定時に想定するシステムの定義⁶⁾：式(1.2)では、破壊や損傷によって生じる損失に相当する費用 C_f が必要になる。この場合、構造物の破壊や損傷が及ぼす影響度を考慮し、対象とする

システムを適切に定義する必要がある。システム=対象とする個々の構造物，とする場合もあれば，システム=対象構造物を含む道路ネットワーク，の場合もある。これにより，構造物が使用できないことによる社会的損失などが異なるため，式(1.2)でLCC評価を行う場合にはシステムの定義が重要となる。

【参考文献】

1. 土木学会コンクリート委員会：材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能，コンクリート技術シリーズ71，2006.
2. 伊庭孝充，松島学，関博，川田秀夫：塩害を受けるRC構造物のライフサイクルコスト算定手法に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.704/V-55，pp.1-11，2002.
3. Sorensen, J.D., Kroon, I.B. and Falber, M.H.：Optimal Reliability -Based Code Calibration, Structural Safety, 15, pp. 197-208, 1994
4. Val, D. V. and Stewart, M. G.：Life-Cycle Cost Analysis of Reinforced Concrete Structures in Marine Environments, Structural Safety, Vol.25, pp.343-362, 2003.
5. 大蔵省：減価償却資産の耐用年数に関する大蔵省令，1993.
6. Mark G. Stewart and Robert E. Melchers：Probabilistic Risk Assessment of Engineering Systems, Chapman & Hall, 1997.

2. ライフサイクルコストの試算

2.1 概説

「1.4 ライフサイクルコスト (LCC) 評価の現状と課題」で示したように、現状のライフサイクルコストの算出技術には多くの課題が存在する。このため、現段階では、ライフサイクルコストの算出技術はガイドライン等に組み込めるほどの水準には至っていない。

しかしながら、新設コンクリート構造物は性能のみならず経済的にも合理的に設計されるべきとの認識が一般的になりつつあるのも事実であり、構造物の設計に関する欧州規格 (EN1992) では、構造物のライフサイクル (竣工から解体・撤去および再利用まで) における構造物の性能と経済性を考慮して設計することが示されている。

本章では、現段階のコンクリート標準示方書並びに各種指針類に基づく方法により実施可能なライフサイクルコストの積算手順を、海洋からの飛来塩分による塩害劣化が予想される新設 PC 橋梁の上部工に適用し、例示する。

なお、東北地方のコンクリート構造物の主要な劣化原因は、海洋からの飛来塩分による塩害、融雪剤に起因する塩害、および凍害であると考えられるが、本章において対象とした劣化原因は海洋からの飛来塩分による塩害に限定した。これは、ライフサイクルコストを算出する際に必要となる劣化進行速度の予測の精度を考慮し、ライフサイクルコスト試算結果が十分な客観性を有するかを検討した結果である。すなわち、①飛来塩分による塩害では劣化予測手法が他の劣化と比較して確立されつつある、②融雪剤に起因する塩害では劣化予測に必要な境界条件の選定方法が未確立で劣化予測が困難である、③凍害においては凍害深さの予測そのものが極めて困難である、という理由から、試算対象とする劣化現象を限定した。

また、本章に示されるライフサイクルコストの算出方法および積算根拠は一例であり、準用に際しては諸条件をよく吟味するなどの注意が必要である。

2.2 新設構造物のライフサイクルコストの試算

(1) はじめに

本項ではライフサイクルコストの積算手順を例示する。積算手順に関しては、(社)土木学会から刊行されているコンクリートライブラリー119「表面保護工法 設計施工指針(案)」¹⁾および、コンクリート技術シリーズ No. 71「材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能」²⁾を参考にした。また、新設構造物の初期費用、付属物の更新費、および定期点検費に関しては、国土交通省土木研究所共同研究報告書：「ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書 (I) —ライフサイクルコスト算出方法に関する検討—」³⁾を参考にした。本項の内容についてより詳細な情報を必要とされる場合には、これらの図書を参照されたい。

(2) ライフサイクルコストの試算手順の概要

ライフサイクルコストの積算手順の概要を図 2.2.1 に示す。ライフサイクルコストの積算に際しては、まず、構造物の使用条件および諸元を考慮した劣化予測に基づき、図 2.2.2 に示すような構造物

の性能低下曲線を作成する。その後、この性能低下曲線に基づき、ライフサイクルデザインを行う。ここでのライフサイクルデザインとは、維持管理方針や目標性能水準および供用期間中の維持管理シナリオを考慮して構造物の性能の履歴を策定する行為を指す。なお、構造物の補修を念頭に置いたライフサイクルデザインを実施する場合は、補修後の構造物の性能低下曲線を作成する必要がある。この場合、補修直後の構造物の性能を評価するとともに、劣化予測に基づく補修後の構造物の性能の経時変化を予測した上で、補修後の構造物の性能低下曲線を作成し、これをライフサイクルデザインの実施の際に考慮しなければならない。ライフサイクルデザインにより構造物の性能の履歴が決定されれば、新設、補修、および更新の時期が自明となり、ライフサイクルコストの積算が可能になる。

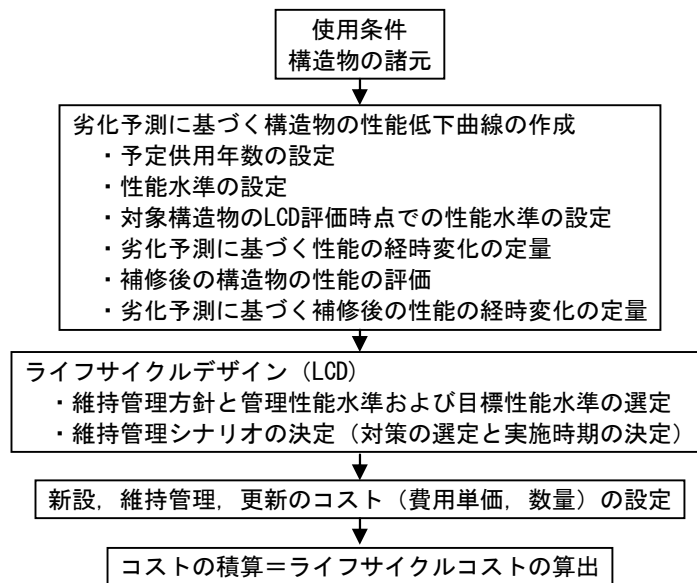


図 2. 2. 1 ライフサイクルコストの積算手順の概要

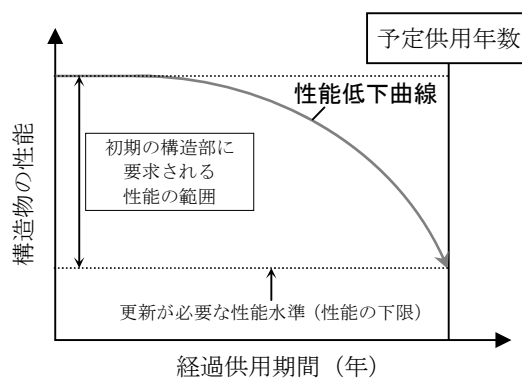


図 2. 2. 2 性能低下曲線の概念図¹⁾

(3) ライフサイクルコストの試算

1) 使用条件および構造物の諸元

試算対象とする構造物の使用条件および諸元を以下に示す。また、橋梁上部工の仕様および材料数量を表 2.2.3 および表 2.2.4 に示す。

供用環境：東北地方日本海沿岸を想定し、構造物の立地条件は汀線付近であるとした。

損傷要因：損傷の主要因は海洋からの飛来塩分による塩害とした。

構造形式：ポストテンション方式 T 桁橋

一般図： 図 2.2.5 を参照

劣化対策：劣化対策は無対策（ケース 1）、表面被覆材による対策（ケース 2）、エポキシ樹脂塗装鋼材による対策（ケース 3）の 3 ケースを想定とした。なお、かぶりの設計値については、全ケース 70 mm とした。

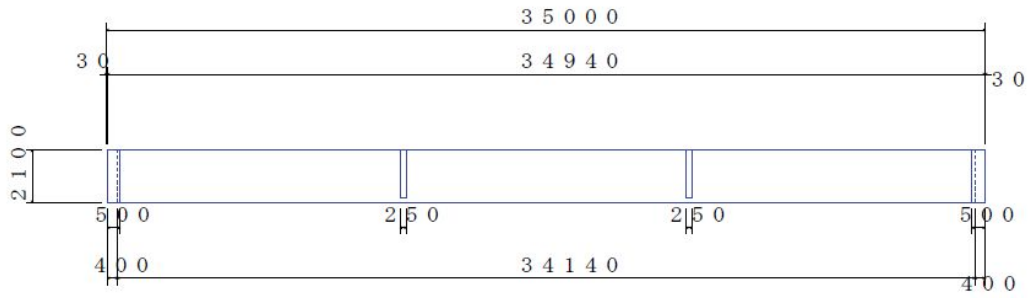
表 2.2.1 新設橋梁上部工の仕様

項目	仕様		
	ケース 1	ケース 2	ケース 3
橋梁形式	ポストテンション方式 T げた橋		
橋長	35 m		
径間数	単径間		
総幅員	14.5 m		
排水柵の個数	2 個		
計算期間	100 年		
環境区分	塩害対策区分 S		
交通量	交通量普通		
塩害補修	行わない		
コンクリート強度	40 N/mm ²		
コンクリート種類	標準(早強)コンクリート		
かぶり	70 mm		
鉄筋	普通鉄筋		エポキシ樹脂塗装鉄筋
PC 鋼材縦締め	普通 PC 鋼材		樹脂塗装 PC 鋼材
PC 鋼材横締め	普通 PC 鋼材		樹脂塗装 PC 鋼材
シース縦締め	鋼製シース		ポリエチレンシース
シース横締め	鋼製シース		ポリエチレンシース
表面塗装	塗装無し	全面塗装	塗装無し
支承	ゴム支承		
地覆	高耐久地覆 (W/C ≤ 50 %, エポキシ樹脂塗装鉄筋使用)		
高欄	鋼製高欄		
舗装	普通アスファルト舗装		
橋面防水	シート防水		
排水柵	FRP 製		

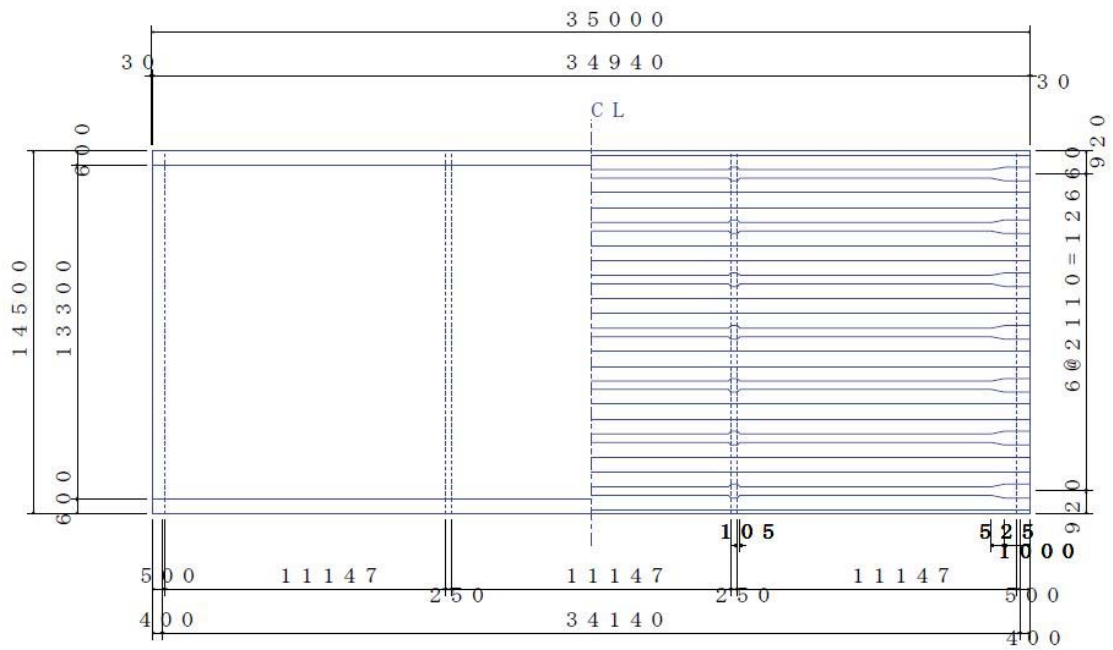
表 2.2.2 材料数量

項目	仕様	単位	数量	摘要
主桁工				
PC桁	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	本	7	
コンクリート		m ³	277.6	w= 99.2t/本
型枠		m ²	1378.5	
鉄筋	SD295A	kg	28994.8	D16, ケース 3 はエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用
縦締めPC鋼材	12S12.7B	m	1222.9	35 本樹脂塗装 PC 鋼材
定着具		組	70	
横組工				
コンクリート	$\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$	m ³	59.8	
型枠		m ²	272.1	
鉄筋	SD295A	kg	4163.2	D13, ケース 3 はエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用
横締めPC鋼材	1S21.8	m	900.5	64 本, ケース 3 は樹脂塗装 PC 鋼材を使用
定着具		組	128	
地覆工				
コンクリート	$\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$	m ³	17.6	
型枠		m ²	82.8	
鉄筋	SD295A	kg	882.2	エポキシ樹脂塗装鉄筋
橋面工				
車道	舗装	m ²	464.7	
高欄		m	69.9	
反力				
支承 1 個	死荷重	kN	590	
	活荷重	kN	267	
	合計	kN	858	14 個

側面図



平面図



標準断面図

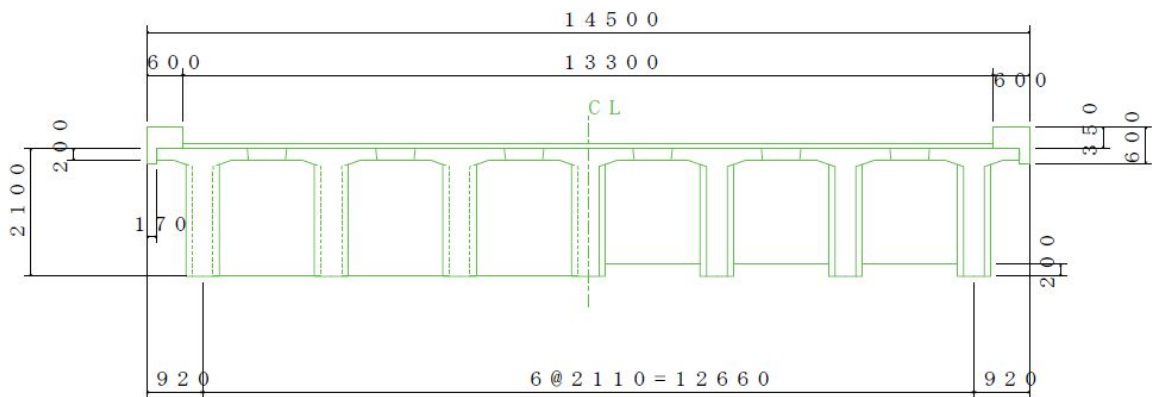


図 2.2.3 対象構造物の一般図

2)劣化予測に基づく構造物の性能低下曲線の作成

2-1) 予定供用年数の設定

本試算における予定供用年数は100年に設定した。

2-2) 性能水準の設定

構造物の性能の履歴を策定するためには、構造物の性能を定量的な数値に置き換えること、および、後述する劣化対策を実施する性能水準（管理性能水準）の設定が必要となる。構造物の性能を定量的な数値に置き換え難い場合は、構造物の性能をグレード分けすることで半定量的な評価が可能になる。例えば、構造物の維持管理を塩害に特化し、コンクリート標準示方書[維持管理編]に示された劣化過程⁴⁾に基づいて性能水準を設定すると、表2.2.3に示すようになる。本試算においても、構造物の性能は、表0に基づき半定量的な評価を行った。

表 2.2.3 各劣化過程の定義（塩害）⁴⁾による性能水準の設定

劣化過程 (性能水準)	定義	期間を決定する主要因
潜伏期	鋼材表面における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達するまでの期間	塩化物イオンの拡散 初期含有塩化物イオン濃度
進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間	鋼材の腐食速度
加速期	腐食ひび割れ発生により腐食速度が増大する期間	ひび割れを有する場合の鋼材の腐食速度
劣化期	腐食量の増加により耐荷力の低下が顕著な期間	

2-3) 対象構造物のライフサイクルデザイン評価時点での性能水準の設定

対象構造物のライフサイクルデザイン評価時点での性能水準は、ライフサイクルデザイン評価時点が新設構造物の設計段階であれば設計によって期待される構造物の性能に、供用開始後の構造物であれば点検結果によって評価される性能に、それぞれ等しくなる。今回の試算では新設構造物を対象にしているため、対象構造物のライフサイクルデザイン評価時点での性能水準は、設計によって期待される構造物の性能となる。

2-4) 劣化予測に基づく性能の経時変化の定量

劣化予測は、供用環境および検証対象とする劣化機構を考慮して、適切な劣化予測モデルを用いて行なう。本試算においては、検証対象の劣化機構は海洋からの飛来塩分による塩害のみを想定している。また、以下に示す予測モデルを用いて構造物の各性能水準に至る期間を算出した。

①潜伏期の劣化予測（塩化物イオンの浸透予測および発錆予測）の方法

潜伏期は、鋼材位置での塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度に至るまでの期間とし、塩化物イオン浸透モデルとしてFickの第2法則、鋼材腐食発生限界濃度としては1.2 kg/m³を用いた。なお、塩化物イオン浸透モデルは、ケース1については式(5.2.1)を、ケース2およびケース3については表面被覆材やエポキシ樹脂塗膜内への塩化物イオンの侵入を拡散現象とみなしてFickの第2法則を解

いた式 (5.2.2) を用いた。

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1 \cdot c_d}{2\sqrt{D_d \cdot t}} \right) \right] \quad (5.2.1)$$

ここに、 C_d : 鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 (kg/m³).

C_0 : コンクリート表面における想定塩化物イオン濃度 (kg/m³).

c_d : 耐久性に関する照査に用いるかぶりの設計値 (mm).

t : 供用開始からの年数 (年).

γ_{cl} : 鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 C_d のばらつきを考慮した安全係数.

D_d : 塩化物イオンに対する設計拡散係数 (cm²/年).

erf: 誤差関数

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1}{2\sqrt{t}} \left(\frac{c_d}{\sqrt{D_d}} + \sqrt{D_{epd}} \right) \right) \right] \quad (5.2.2)$$

ここに、 c_{ep} : 表面被覆材またはエポキシ樹脂塗膜の厚さの期待値 (mm).

D_{epd} : 表面被覆材またはエポキシ樹脂塗膜内への塩化物イオンの侵入を拡散現象とみなした場合の塩化物イオンに対する見掛けの拡散係数の設計用値 (cm²/年).

表 2.2.4 に、本試算で用いた式 (5.2.1) および式 (5.2.2) 内の諸定数について示す。

表 2.2.4 本試算で用いた諸定数

記号	単位	ケース			備考
		1	2	3	
C_0	kg/m ³	9.0	9.0	9.0	コンクリート標準示方書 [設計編: 本編], p. 111 解説 表 8.2.2
c_d	mm	70	70	70	本試算における設計かぶり
t	年	100	100	100	本試算における設計耐用年数
γ_{cl}	—	1.3	1.3	1.3	コンクリート標準示方書 [設計編: 本編], p. 119
D_d	cm ² /年	0.68	0.68	0.68	コンクリート標準示方書 [設計編: 本編], p. 55 および p. 119-122 に基づき, W/C=35% に設定して算出.
c_{ep}	mm	0	0.005 ※1	0.22 ※2	※1: 表面保護工法 設計施工指針 (案), p. 117 表 6.2 ※2: エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針, p. 11, および JSCE-E 102 「エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格」
D_{epd}	cm ² /年	—	1.0 × 10 ⁻⁴ ※3	2.0 × 10 ⁻⁶ ※4	※3: 表面保護工法 設計施工指針 (案), p. 116 ※4: エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針, p. 11

②進展期以降の劣化予測 (鋼材腐食の進行および構造物の耐力低下の予測) の方法

進展期以降の劣化予測は鋼材腐食の進行および構造物の耐力低下について行われる。鋼材腐食進行モデルや耐力低下モデルは種々提案されているが、塩分浸透予測のように一般化されてはいない。こ

ここでは、以下に示す「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会」において提案された手法^{2), 6)}を用いて、各劣化過程の期間を算出することとした。

「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会」においては、塩化物イオンの浸透の予測結果に関連させ、各劣化過程の期間を以下のように算出している。なお、表 2.2.5 の劣化期間の算定方法は現時点において根拠はなく、経験的なものである。また、塩害以外の劣化現象（凍害や疲労など）との複合劣化は考慮されていないため、使用に際しては注意が必要である。

表 2.2.5 各劣化過程の定義および劣化期間の関係⁶⁾

劣化過程	定義	劣化期間
潜伏期	鋼材のかぶり位置における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達するまでの期間	T
進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひびわれ発生までの期間	T の 0.4 倍
加速期	腐食ひびわれ発生により腐食速度が増大する期間	T の 1/10
劣化期	腐食量の増加により対荷力の低下が顕著な期間	T の 0.3 倍

※上表の劣化期間の想定は、現時点において根拠がないため、今後の研究が必要である。

本試算では、上記の方法により、構造物の性能の経時変化を算出した。その結果を図 2.2.4 に示す。なお、ケース 3 の性能下限に至る供用年数は約 195 年と試算された。本試算において、進展期、加速期および劣化期の各期間は、潜伏期の期間に表 2.2.5 に示す係数を乗じて算出している。この手法は必ずしも確立されたものではなく、また、図 2.2.4 はあくまで塩害のみに着目して作成された性能低下曲線であり、他の劣化機構（例えば、凍害や疲労など）の影響は考慮されていない。これらの理由より、実際の性能低下曲線は図 2.2.4 とは異なる可能性があることに注意されたい。

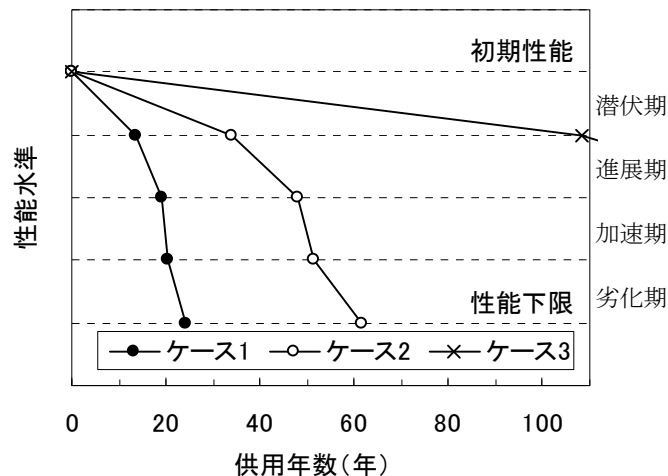


図 2.2.4 性能低下曲線

2-5) 補修後の構造物の性能の評価

本節 3) で述べるように、本試算の維持管理方針は観察維持管理（適宜更新型）とし、補修は実施しないと仮定した。このため、補修後の構造物の性能の評価は実施しない。

2-6) 劣化予測に基づく補修後の性能の経時変化の定量

2-5) で述べたように、本試算では補修を考慮したライフサイクルコストは算出しない。このため、劣化予測に基づく補修後の性能の経時変化の定量は実施しない。

3) ライフサイクルデザイン

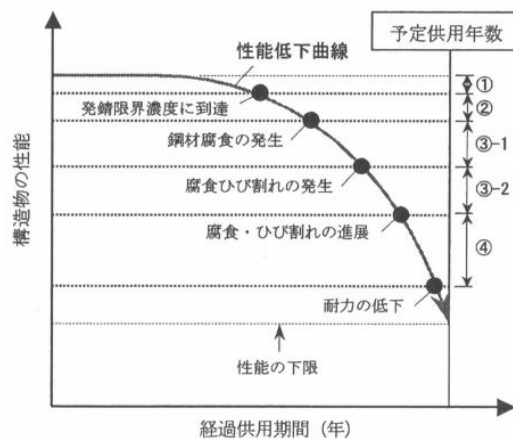
3-1) 維持管理方針と管理性能水準および目標性能水準の選定

維持管理の方針としては、A：予防維持管理（予防保全型、危機管理型）、B：事後維持管理（対症療法型）、C：観察維持管理（適宜更新型）の3種類に区分される。これらの維持管理方針に基づき、管理性能水準および目標性能水準を選定する。

ここで、管理性能水準とは、劣化対策をしなければならない構造物の性能水準のことである。即ち、補修や更新を実施するタイミングは、構造物の性能が管理性能水準に達したときである。塩害における管理性能水準は、以下から選択できる。

[塩害における管理性能水準] (図 2.2.5)

- ① かぶりへの塩化物イオンの侵入は許すものの、鋼材の腐食発生限界に達するのは許さない潜伏期を対策実施の目安とする場合
- ② 鋼材の腐食発生は許すものの、コンクリートの腐食ひび割れは許さないような、進展期を対策実施の目安とする場合
- ③ コンクリートの腐食ひび割れは許すものの、それ以上の腐食の進行を許さないような、加速期を対策の目安とする場合
- ④ ある程度の腐食の進行は許すが、著しい腐食による部材耐力の低下は許さないような、劣化期を対策実施の目安とする場合



注) ③-1 は加速期前期、③-2 は加速期後期を示す。

図 2.2.5 構造物の管理性能水準の例（塩害の場合）¹⁾

管理性能水準は、いずれの維持管理方針との組み合わせも理論的には可能であるが、観察維持管理（適宜更新型）の方針に対して維持管理性能水準を潜伏期の性能レベルで設定するのは過剰な維持管理とみなせる組み合わせであり、合理的ではない。このように、維持管理方針と管理性能水準の組み合わせは、合理的なものを設定することが必要である。

一方、目標性能水準とは、補修や更新によって回復させる構造物の性能の目標値である。すなわち、図 2.2.6 に示すように、構造物の対策を実施する場合の目標性能水準としては、以下のものが考えられる。

- ①初期性能以上のレベルにまで性能を回復させる
- ②初期性能程度のレベルにまで性能を回復させる
- ③現状維持または対策実施以降の性能の低下速度を低減させる

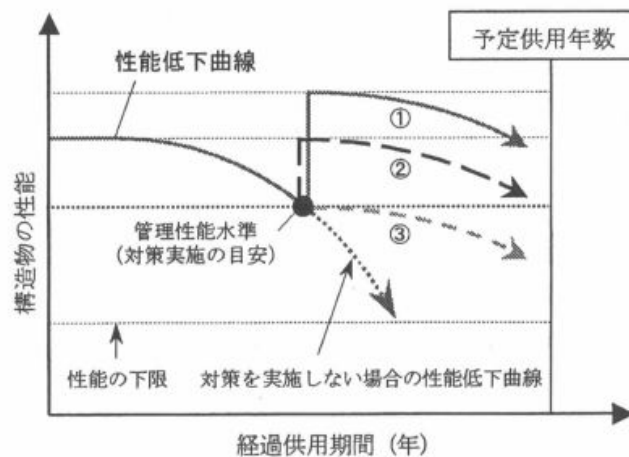


図 2.2.6 構造物の目標性能水準の例¹⁾

目標性能水準はいずれの維持管理方針ならびに管理性能水準との組み合わせも可能であるが、維持管理方針と管理性能水準の組み合わせについて述べたのと同様に、明らかに不経済であったり、技術的に困難であったりする組み合わせもあるので、選定に当たっては注意が必要である。

本試算において、維持管理方針、管理性能水準、および目標性能水準は以下のように選定した。

維持管理方針：観察維持管理（適宜更新型）

管理性能水準：劣化期開始直前の性能レベル

目標性能水準：新設時の初期性能と同等のレベル

3-2)維持管理シナリオの決定

構造物の性能低下曲線が求まり、維持管理方針、管理性能水準および目標性能水準が決まると、対策の実施時期を決定できる。この時、目標性能水準を満足する対策を選定しなければならない。また、対策実施後の性能低下曲線を求めるために対策実施後の劣化予測を行う必要がある。

本試算では、維持管理の方針は観察維持管理（適宜更新型）のみであり、劣化対策は橋梁上部工の

更新のみである。つまり、供用期間中の補修は実施せずに劣化期に至る前に上部工の架け替えを実施するという維持管理シナリオとした。このため、図 2.2.7 に示すように、構造物の性能の履歴は対策実施後（更新実施後）の性能は初期性能まで回復し、同じ形状の性能低下曲線が繰り返すことになる。

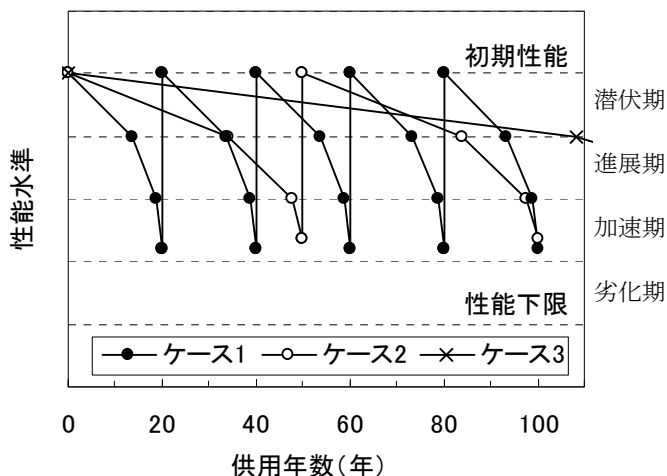


図 2.2.7 ライフサイクルデザインによる構造物の性能の履歴

4) 初期建設費用，維持管理費用，更新費用の設定

ライフサイクルコストを算出するには、構造物の性能の履歴の他に、初期建設費用，維持管理費用，および更新費用を設定する必要がある。本試算における各費用の項目，金額および発生時期は，国土交通省土木研究所共同研究報告書：「ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書（I）—ライフサイクルコスト算出方法に関する検討—」³⁾を参考にして，以下のように設定した。

〔初期建設費用〕

ライフサイクルコストを積算する際に使用する初期建設費用は，橋梁上部工に関する費用に限定した。費用の積算は，国土交通省土木研究所共同研究報告書：「ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書（I）—ライフサイクルコスト算出方法に関する検討—」³⁾，およびその他の土木工事の積算に関連する書籍⁷⁻¹⁵⁾による検討結果をもとに作成されたソフトウェア「新設 PC 橋のライフサイクルコスト」を用いて算出した。なお，同ソフトでは，初期建設費用は概算数量を基に国土交通省の積算基準を用いて計算される。また，初期建設費用は，直接工事費（橋体工，橋面工，支承工）と間接工事費が含まれている。表 2.2.6 に，初期建設費用の内訳をそれぞれ示す。

表 2.2.6 初期建設費の内訳（百万円）

項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3
橋体工	56	56	62
支承工	1	1	1
橋面工	6	12	6
諸経費	31	33	33
合計	94	102	102

[維持管理費用]

維持管理費用は補修，付属物の更新，および点検に関する費用に大別できる．本試算で考慮した費用および発生時期を表 2.2.7 に示す．表 2.2.7 の費用は発生したときの金額であり，累計ではない．付属物の更新の時期についても，国土交通省土木研究所共同研究報告書：「ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書（I）ーライフサイクルコスト算出方法に関する検討ー」³⁾を参考にして設定した．なお，本試算において維持管理費用の項目，金額および発生時期は，全ての試算ケースにおいて同一としている．また，本試算における維持管理方針は観察維持管理であり，供用期間中の補修は実施しない．このため，補修費用は 0 と設定した．さらに，点検費用に関しては定期点検に関するコストのみを考慮することにした．

表 2.2.7 本試算で考慮した維持管理費用の項目と金額および発生時期

項目	金額 (百万円/回)	発生時期
補修コスト	維持管理方針が観察維持管理であるため，供用期間中の補修は実施しない。	
付属物の更新コスト		
支承 (ゴム支承)	—	更新しない
地覆 (高耐久地覆)	4.04	新設または更新後 60 年目
高欄 (鋼製高欄)	3.24	新設または更新後 30 年毎
伸縮装置	6.12	新設または更新後 15 年毎
舗装		
普通アスファルト舗装 (表面)	0.97	新設または更新後 15 年毎
普通アスファルト舗装 (全層)	1.77	新設または更新後 30 年毎
橋面防水 (シート防水)	1.69	新設または更新後 30 年毎
排水柵 (FRP 製)	0.15	新設または更新後 50 年毎
点検コスト		
定期点検	0.41	新設または更新後 2 年目 および 5 年毎

[更新費用]

更新費用は橋梁上部工の架け替えによるものとし，「ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書（I）ーライフサイクルコスト算出手法に関する検討ー」（国土交通省土木研究所共同研究報告書）³⁾を参考にして，新設コストの 3 倍に設定した．

5) ライフサイクルコストの積算

初期建設費用，維持管理費用，および更新（架替え）費用に着目し，100 年間におけるこれらの費用の累積を次式により算出した．

$$LCC = C_I + C_M + C_R \quad (5.2.3)$$

ここに， LCC ：ライフサイクルコスト， C_I ：初期建設費用， C_M ：維持管理費用， C_R ：更新（架替え）費用，である．なお，この LCC では算出対象は橋梁の上部構造とし，廃棄費用，補修工事中の渋滞などによる社会的損失，物価変動，社会的割引率などについては考慮しないこととした．

試算結果を図 2.2.8 に示す．無対策（ケース 1：かぶり 70mm，普通鋼材）よりも，表面被覆材を使用する（ケース 2：かぶり 70mm，普通鋼材，表面被覆使用）またはエポキシ樹脂塗装鋼材を使用する（ケース 3：かぶり 70mm，エポキシ樹脂塗装鋼材使用）ことにより，更新までの期間の長期化および

ライフサイクルコストの大幅な減少を達成できることがわかる。なお、ケース 1 と比較すると、ケース 2 およびケース 3 の初期建設費用はおおよそ 10 %増となるが、100 年後のライフサイクルコストにおいては、ケース 2 および 3 はケース 1 と比較しておおよそ 37 %、14 %となった。

以上より、本試算の範囲では、塩害対策橋は無対策橋と比較すると初期コストはおおよそ 10 %増しとなるが、ライフサイクルコストは大幅に低減可能であることが示され、長期視点に立脚したコンクリート構造物の設計・施工の重要性が再認識される結果となった。

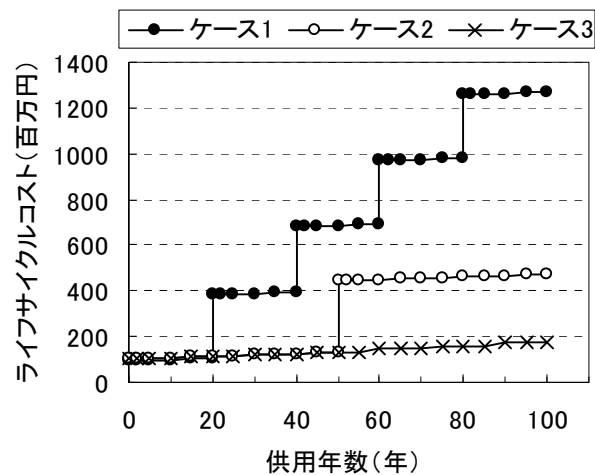


図 2.2.8 ライフサイクルコストの試算結果

【参考文献】

- 1) (社)土木学会：表面保護工法 設計施工指針 (案)，コンクリートライブラリー119
- 2) (社)土木学会：材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能，コンクリート技術シリーズ No. 71
- 3) 国土交通省土木研究所共同研究報告書：「ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書 (I) —ライフサイクルコスト算出方法に関する検討—」
- 4) (社)土木学会：コンクリート標準示方書 [維持管理編]
- 5) (社)土木学会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針 [改訂版]
- 6) 道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会
- 7) 国土交通省：国土交通省土木工事積算基準 (平成 15 年度版)
- 8) (社)日本建設機械化協会：橋梁架設工事の積算 (平成 15 年度版)
- 9) (財)建設物価調査会：土木工事積算基準マニュアル (平成 15 年度版)
- 10) (財)日本建設情報総合センター：国土交通省土木工事標準積算基準書 (平成 16 年度版)
- 11) (財)建設物価調査会：土木コスト情報 (平成 16 年度版)
- 12) (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：標準積算要領 (平成 16 年度版)
- 13) (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC コンボ橋 (PC 合成床版タイプ合成げた橋) 標準積算要領 (平成 10 年版)
- 14) (社)日本建設機械化協会：平成 16 年度建設機械損料算定表
- 15) (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC 道路橋計画マニュアル，平成 9 年 3 月

3. ライフサイクルコストの取組み事例

3.1 概説

9.2 ライフサイクルコストの試算で示したように、ライフサイクルコストを算出するには供用期間、劣化予測による性能低下曲線、性能低下曲線に基づくライフサイクルデザイン（維持管理シナリオ）、諸費用の単価および数量などを適切に設定しなければならない。これらの設定項目を適切かつ客観的に決定するための要素技術は、ライフサイクルコストの重要性の高まりと相まって、徐々に整備されつつあるが、十分であるとは未だ言い難いのが現状である。このため、種々の設定項目の決定に際しては、既往の事例を参考にすることが有用である場合が多い。

また、ライフサイクルコストを算出するには、多数の要素技術を駆使して膨大なデータを処理しなければならないため、ライフサイクルコストの算出方法の全体像が捉えにくいというのも事実である。

そこで本章では、ライフサイクルコストの評価事例を、重要項目に絞って紹介することにした。ここに取り上げた事例は、劣化対策を実施するにあたり、その効用をライフサイクルコストの観点から評価した事例である。

なお、本章において示される事例は、ある設計条件下における一事例である。このため、実際のライフサイクルコストの積算にあたっては、本章に記載される積算根拠をそのまま準用するのではなく、対象となる構造物の設計条件をよく吟味して積算根拠を決定する必要があることに留意されたい。また、各事例には出典を明記しており、事例の詳細についてはそれらの出典を参照されたい。

3.2 ミニмумメンテナンスPC橋¹⁾

(1) 事例の出典

「国土交通省土木研究所：ミニмумメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書（I） - ライフサイクルコスト算出手法に関する検討 -，共同研究報告書第 273 号，2001」を基に記述

(2) 取り組みの背景

我が国の道路橋数は既に膨大な量に達しており、将来の維持管理コストおよび架換えコストの負担が極めて大きくなることが予想される。将来の負担を抑制するための手段の一つとして、橋のライフサイクルコスト（LCC）の最小化があげられるが、そのためには、長寿命でかつ維持管理負担が小さい橋梁（ミニмумメンテナンス橋）を建設していく必要がある。

LCC を最小化させるミニмумメンテナンス橋(以下、MM 橋と呼ぶ)の実現には材料利用技術、設計・施工技術、管理技術の充実と LCC を考慮した適切な評価が必要である。しかし、現時点で、LCC 算出手法の確立までには至っていないのが現状である。

本事例は、平成 11 年度の LCC 評価手法に関連する研究として、既往の文献によりコンクリート橋(PC 橋、RC 橋)の損傷データの整理を行い、架橋位置の環境に対し、劣化要因および損傷状況の設定を行っている。また、既存の要素技術(使用材料と耐久性に関わる項目)の整理を行い、劣化要因および損傷内容に関わる要素技術の評価を行っている。評価の際には、異なる環境条件と橋梁形式を組み合わせたモデル橋を設定し、新設橋梁の建設後 100 年間の LCC 試算を行っている。以下は、これらの成果をとりまとめたものである。

(3) 本事例の目的

本事例では、想定した要素技術の効果を定量的に評価するため、設定した分析期間の中でライフサイクルコストの試算を行っている。

本来、ライフサイクルコスト分析・評価の際の項目として、以下の様なものが挙げられるが、本事例では①、②について着目し試算を行っている。

- ① 初期建設費用（架替えが必要と成る場合には更新費用とする）
- ② 維持管理費用
- ③ 廃棄費用
- ④ 補修工事中の渋滞等による社会的損失
- ⑤ 物価の変動
- ⑥ 新技術の影響
- ⑦ 社会的割引率
- ⑧ その他

(4) 試算対象構造物の諸元

1) 供用環境

本事例では、環境条件の違いを把握するため、解説 表 3.2.1 に示す環境条件のパラメータの設定を行った。

表 3.2.1 環境条件

環境条件	腐食環境	凍結融解剤の散布	交通量	備考
山間部	良好	有り	比較的小	腐食環境は良好であるが、凍結融解剤の散布する地域を想定
都市部	良好	なし	比較的多い	中性化の進行が山間部より若干早いと仮定
海岸部	非常に厳しい	なし	比較的小	飛沫帯を想定

2) 損傷要因

環境条件毎に主たる劣化要因および変状内容について下記の様な想定を行っている。なお、塩害と中性化の複合するような劣化に関しては考慮していない。

山間部・都市部：中性化に起因する鋼材の腐食（山間部は凍結融解剤による塩害腐食を考慮）

海岸部：塩害に起因する鋼材の腐食

3) 一般図

試算対象とした構造物の一般図を図 3.2.1 に示す。

【海岸部】

標準橋の要素技術は、塩害対策指針(案)に準拠して決定し、箱桁橋ではかぶりを70mmとし、T桁橋では標準桁の断面や配筋を変えないこととし、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用する。非常に厳しい腐食環境下でMM橋は、コンクリート塗装、エポキシ樹脂塗装鉄筋とエポキシ樹脂塗装PC鋼材およびポリエチレンシースを採用した。

表 3.2.3 海岸部に関する要素技術

表-3(e) 要素技術表(No.5 海岸部箱桁橋)			表-3(f) 要素技術表(No.6 海岸部T桁橋)		
本体工要素技術項目	標準橋	MM橋	本体工要素技術項目	標準橋	MM橋
主桁コンクリート強度	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	$\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$	主桁コンクリート強度	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	$\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$
スラブ	8cm	12cm	横組工コンクリート強度	$\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$
鉄筋	普通鉄筋	エポキシ塗装鉄筋	スラブ	8cm	12cm
かぶり	70mm	35mm	鉄筋	スタップのみエポキシ鉄筋	エポキシ塗装鉄筋
シース管	鋼製シース	ポリエチレンシース	かぶり	35mm	同左
PC鋼材	普通PC鋼材	エポキシ塗装鋼材	シース管(主桁ウェブ、横桁部)	鋼製シース	ポリエチレンシース
コンクリート塗装	無し	有り	シース管(床版部)	鋼製シース	ポリエチレンシース
橋面防水工	有り	同左	PC鋼材	普通PC鋼材	エポキシ塗装鋼材
			コンクリート塗装	無し	有り
			橋面防水工	有り	同左

(5) 試算方法

①中性化：表面コンクリートの撤去・修復，鉄筋の防錆，目地部のひび割れには樹脂注入工を想定。
また，補修後は全面塗装とした。

1) 補修サイクル

- ・標準橋(かぶり35mm)：都市部で20年，山間部で25年とした。
- ・MM橋(かぶり50mm)：都市部で50年，山間部で60年とした。

2) 補修範囲

- ・標準橋：桁表面積の20%とした。
- ・MM橋：中性化進行の遅延施工(コンクリート強度の増加等)により，10%程度になると想定した。
また，エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いているものについては，桁表面積の5%程度と仮定した。

②塩害：表面コンクリートの撤去・修復，鉄筋の防錆，目地部のひび割れには樹脂注入工を想定。
また，補修後は全面塗装とした。

1) 補修サイクル

- ・標準橋：20年とした。
- ・MM橋：50年とした。

2) 補修範囲

- ・標準橋：桁表面積の100%とし，目地部のひび割れは目地延長の20%とした。
- ・MM橋：桁表面積の5%とし，目地部のひび割れは目地延長の10%とした。

③付属物：補修内容は全交換および全補修とした。

表 3.2.4 付属物と補修サイクル

モデル地域および工種	通常交通地域		重交通地域	
	通常環境	腐食環境	通常環境	腐食環境
モデル地域		山間・海岸部	都市部	
支承工 (ゴム支承)	100年	100年	100年	100年
伸縮装置工 (耐久性向上型)	40年	30年	30年	15年
舗装工 (普通アスファルト)	15年	15年	10年	10年
舗装工 (改質アスファルト)	20年	20年	15年	15年
防水工	舗装工のサイクルと同様			

④橋梁点検工

点検サイクル: 10年に1回とした。また、補修直前には、点検費用と別にコア抜き、中性化試験、塩分試験等の詳細点検費用を考慮した。

⑤補修工コストと点検コスト

表 3.2.5 補修工単価

名称	仕様	単位	単価	適用
人力はつり工	はつり深さ 35mm	m ²	1.4 千円	
WJ はつり工	はつり深さ 50mm	m ²	55.2 千円	
	はつり深さ 70mm		60.0 千円	
鉄筋防錆		m ²	2.0 千円	
断面修復	修復深さ 35mm	m ²	40.0 千円	はつり込み
	修復深さ 50mm		85.0 千円	はつり込み
	修復深さ 70mm		130. 千円	はつり込み
ひび割れ注入工		m	9.0 千円	
コンクリート表面被覆工		m ²	13.0 千円	
表面被覆塗り替え工		m ²	38.0 千円	
足場工	ポスト対応	式	3191.0 千円	上り栈橋含む
	箱桁対応		11891.9 千円	上り栈橋含む
	中空床版橋対応		6567.5 千円	上り栈橋含む

表 3.2.6 付属物と施工単価

工 種	タイプ	施工単価 (千円/m)
伸縮装置工 (耐久性向上型)	標準橋	109
	MM橋	109
舗装工 (普通アスファルト)	標準橋	5.76
	MM橋	6.82
防水工	標準橋	2.5
	MM橋	2.5

表 3.2.7 橋梁形式と点検工費

橋梁形式	タイプ	詳細点検工費 (千円)
単純 T 桁橋	標準橋	1200
	MM橋	1200
PC 箱桁橋	標準橋	4800
	MM橋	4800
中空床版橋	標準橋	3000
	MM橋	3000

⑥更新コスト

更新コストについては、「土木研究所資料 ミニマムメンテナンス橋に関する検討」を参考に新設コストの3倍を考慮した。

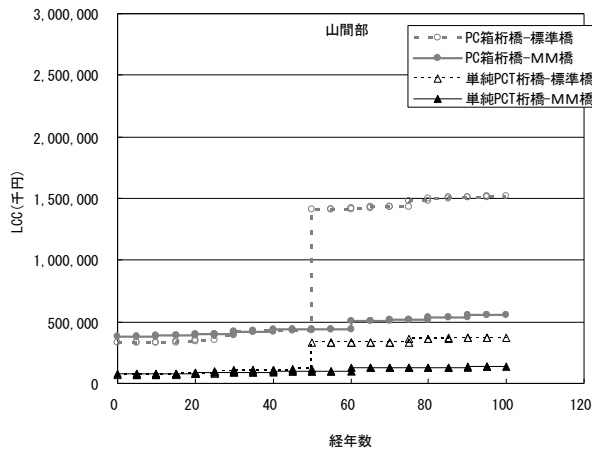
(6) LCC の比較結果

●架橋環境と橋種が同じ場合

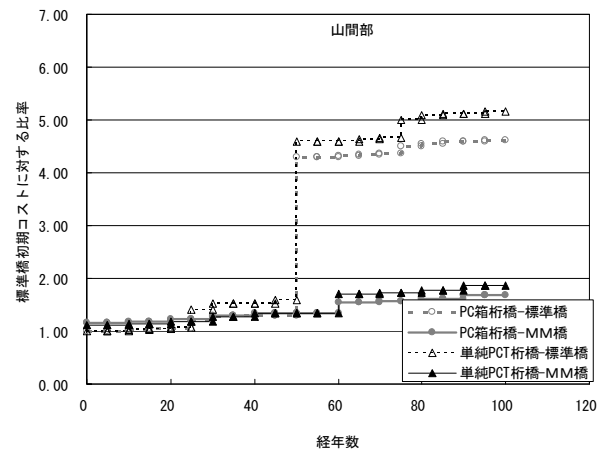
MM 橋は標準橋と比較すると、初期コストは山間部および都市部で9~16%、海岸部で22~38%増加したが、LCC 比率では全てのケースで標準橋を大きく下回り、本試算においては、耐久性向上に関する要素技術を導入して長寿命化を図った MM 橋とすることが正当化される結果となった。これは、架替えの有無(標準橋においては50年目で架替え)が最も影響しており、次に本体補修費の差が影響している。

●橋梁形式の違い

標準橋同士および MM 橋同士の、同環境条件下での T 桁橋とそれ以外の橋梁形式の LCC 比率を比較すると、全ケースで、T 桁橋の LCC 比率がその他の橋種の LCC 比率を上回る結果となった。これは、T 桁橋の場合、他の橋梁形式よりも相対的な表面積が大きく、相対的な補修コストが高くなったことと、T 桁橋は場所打ち部の補修コストを別途計上していることが主な要因である。T 桁橋とは逆に LCC 比率が小さくなったのは、山間部箱桁橋と海岸部箱桁橋の MM 橋である。これは、箱桁橋は相対的な表面積が小さいため、相対的な補修コストが他の橋梁形式よりも低くなったためである。

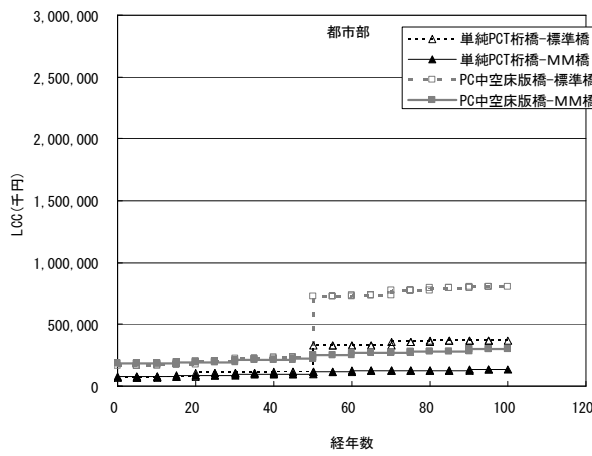


LCC 試算結果

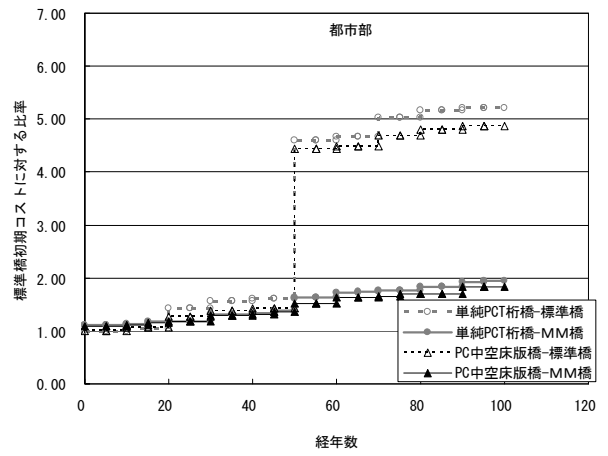


初期コストに対する比率

図 3.2.2 山間部

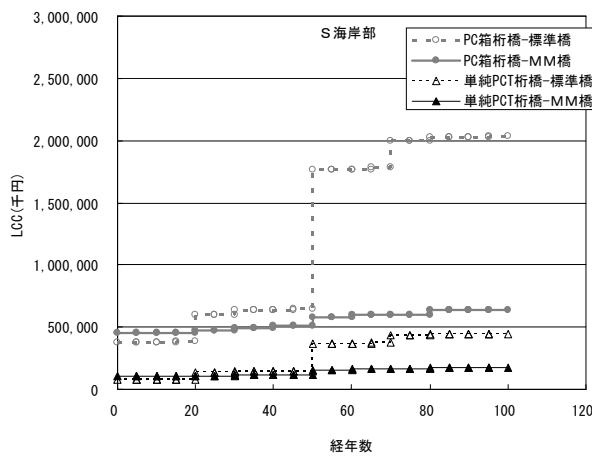


LCC 試算結果

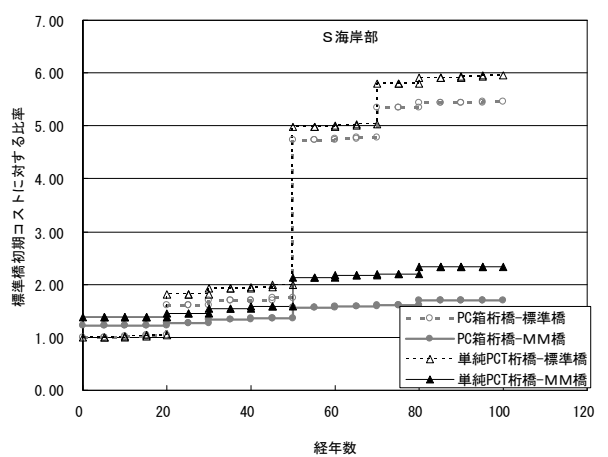


初期コストに対する比率

図 3.2.3 都市部



LCC 試算結果



初期コストに対する比率

図 3.2.4 S海岸部

3.3 高耐食性材料を適用した塩害対策新設PC橋（三瀬陸橋）²⁾

(1) 事例の出典

神田昌幸, 栗根重年, 横山修司, 池田正行: 三瀬陸橋 (高耐久性 PC 橋) の設計と施工 (上), 橋梁と基礎, vol. 37, No. 2, pp. 21-28, 2003. 2

(2) 取り組みの背景

旧三瀬陸橋 (2 径間単純 PC ポステン T 桁橋) は昭和 39 年に漁港上に架設された。供用開始から 10 年程度で塩害が原因と考えられるひび割れや錆汁が発生し, 補修を繰り返し実施して供用を継続したが, 塩害による耐荷力の低下が顕著となり, 平成 11~12 年にかけて架け替え工事が実施された。供用環境が極めて厳しい塩害環境であることは旧三瀬陸橋の損傷度から自明であり, 新橋の設計ではライフサイクルコストを考慮し, 長期的な視点で維持管理および経済性に優れた高耐久性 PC 橋の設計・施工が求められることとなった。

(3) 試算対象構造物の諸元

1) 供用環境

供用地は山形県鶴岡市三瀬地内の一般国道 7 号である。周辺は海岸の岩礁地帯で, 橋梁は海岸よりおおむね 6~10m の高さに位置し, 海からの飛来塩分の影響を受けやすい供用環境である。

2) 損傷要因

損傷の主要因は海洋からの飛来塩分による塩害である。また, 供用地が寒冷地であるため, 凍害も損傷要因として考慮された。

3) 構造形式

ロングラインマッチキャスト方式によるポストテンション方式 PC2 径間単純中空床版橋

4) 一般図

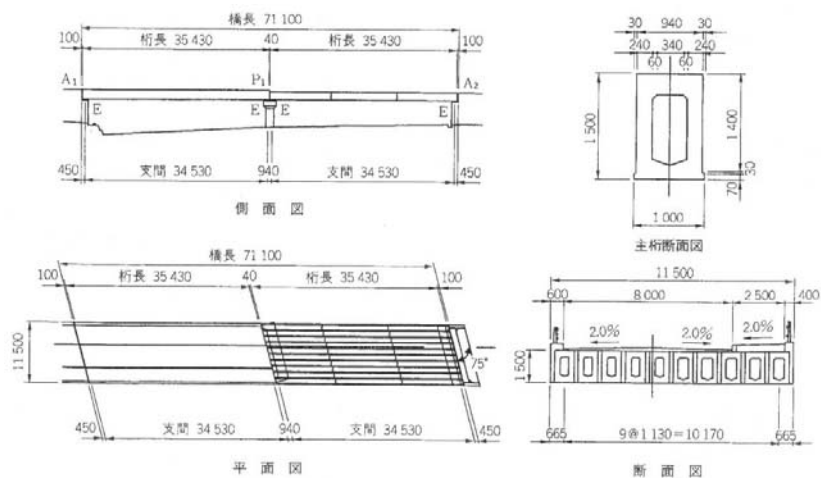


図 3.3.1 三瀬陸橋一般図

5) 劣化対策

構造形状：構造物への塩分の付着および浸透を防ぐために、主桁を塩分付着面積の少ない閉断面の箱桁が採用された。

使用材料, 防食材料：コンクリート中鋼材の防食のために、エポキシ樹脂塗装鉄筋, エポキシ樹脂塗装 PC 鋼材, ポリエチレンシースが採用された。また, 定着具は PC 鋼材を緊張後にエポキシ樹脂塗装が施された。支承は水平分散ゴム支承が採用された。また, 支承および落橋防止装置の金属部分についてはガルバリウム組成溶射を行い, その表面にセラミックス塗装が施された。排水管はステンレス製のものが採用された。

コンクリート配合：コンクリートは耐凍害性を考慮して AE コンクリートとし, 水セメント比は 45% 以下, 空気量は 6.0% とした。

品質管理：現地で確保できる施工ヤードが狭小であること, 冬期間の桁製作が強い季節風により困難であることなどから, 桁製作は工場において製作し, 品質の確保に努めた。

その他：上部構造の鉄筋の純かぶりを 5cm 以上とした。(箱桁内面については 3.5cm 以上。) プレキャストセグメントの継目部の耐食性を向上させるために, コンクリート接合キーが採用された。また, コンクリート桁の密着・一体化と塩分侵入を防止するために, 接合部の外桁側面および桁底面に炭素繊維シートが貼付された。

(4) 試算方法

初期建設費用, 維持管理費用, および更新(架替え)費用に着目し, 100 年間におけるこれらの費用の累積を次式により算出している。

$$LCC = I + M + R$$

ここに, LCC : ライフサイクルコスト, I : 初期建設費用, M : 維持管理費用, R : 更新(架替え)費用, である。なお, この LCC では算出対象は橋梁の上部構造とし, 廃棄費用, 補修工事中の渋滞などによる社会的損失, 物価変動, 社会的割引率などは考慮されていない。また, 維持管理補修費が共通で必要になってくる橋面工(舗装工, 伸縮工, 高欄工, 防水工)については, 工事費の試算から除外されている。更新(架替え)費用については, 「土木研究所資料 ミニマムメンテナンス橋に関する検討」を参考に新設コストの 3 倍としている。

(5) 試算条件

1) 設計供用期間

設計供用期間は 100 年である。

2) 劣化予測および構造物, 部材の寿命

設計供用期間内=100 年において, 本橋は架け替えなしで供用を継続できるとしている。なお, ライフサイクルコスト比較用の橋梁として, 設計かぶりのみで塩害対策を施した標準橋が設定されているが, この標準橋の寿命は便宜的に 50 年と仮定されている。

3) 維持管理のシナリオ

本橋およびライフサイクルコスト比較用の標準橋の維持管理では、定期点検および詳細点検をそれぞれ10年と30年に一度の頻度で実施すると設定されている。また、補修は30年毎に補修が行われる設定となっている。

4) 工事単価

LCCの試算に際し使用した工事単価を下表に示す。補修工法の工事単価については「ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書(I)ーライフサイクルコスト算出手法に関する検討ー」(国土交通省土木研究所共同研究報告書)、および、「コンクリート構造物の補修・補強工事事例集」(コンクリート構造物補修技術協会発刊)を参考にしている。表 3.3.18 に示されるように、本橋の初期建設費用単価は標準橋より約20%ほど高くなるものの、30年毎の実施される維持補修にかかる補修工費は、本橋においては80%強のコストダウンになると設定されている。

表 3.3.1 新設・架替・維持補修費用の単価

形式	初期建設費用単価	維持補修費用単価	架替え費用単価
標準橋： 鋼材のかぶりを大きくする方法	280,352 千円	補修工費 78,000 千円/30年 定期点検 2,500 千円/10年 詳細点検 3,000 千円/30年	841,056 千円 建設後50年毎に架替えが発生。 費用は新設費用の3倍に設定
本橋： 高耐久性PC橋	331,730 千円	補修工費 10,300 千円/30年 定期点検 2,500 千円/10年 詳細点検 3,000 千円/30年	

(6) LCCの比較結果

初期建設コストで比較すると、標準橋の280,352千円に対して耐久性を向上させた本橋は331,730千円となり、本橋が51,378千円ほどコスト高となった。しかしながら、ライフサイクルコストで比較すると、供用開始30年以降で標準橋の方が高コストとなる。そして、供用開始100年後のライフサイクルコストは、標準橋の1,337,908千円に対して本橋は417,630千円であり、耐久性を向上させることによりライフサイクルコストが大幅に低減される試算結果となった。

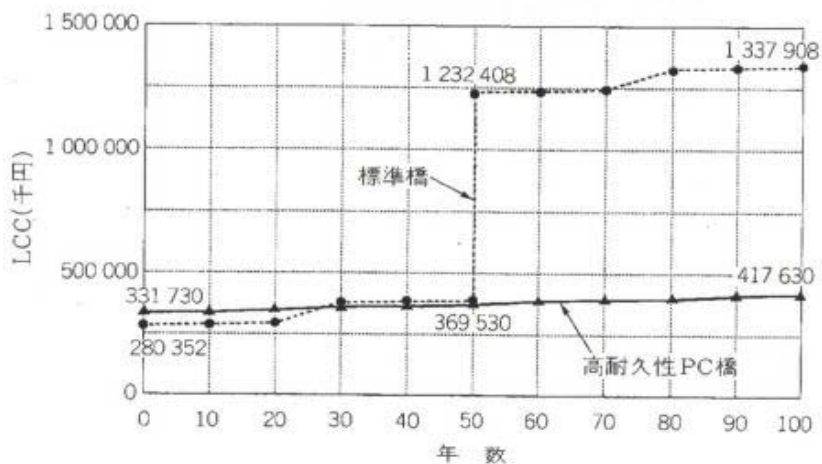


図 3.3.2 ライフサイクルコスト試算結果の比較

3.4 電気防食を適用した塩害対策新設PC橋（新名立大橋）³⁾

(1) 事例の出典

「国土交通省土木研究所：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書 - 新設コンクリート橋への電気防食適用に関する研究成果と新設コンクリート橋の電気防食マニュアル（案） - ，共同研究報告書第 256 号，2000」を基に記述

(2) 取り組みの背景

近年，コンクリート構造物の塩害防止対策としての電気防食法の有効性は広く知られるようになった。その意味では，電気防食は社会的に認知された防食技術の段階に入ったものと考えられる。

一方，この電気防食の実際の適用についてみると，コンクリート構造物に陽極材を設置し，これと防食対象となるコンクリート中の鋼材と直流電源装置まで配線配管するという，従来の土木補修工事とは異なる内容であるため，現状では従来工法（表面被覆工法や断面修復工法などを以下，従来工法とする）と比べて非常に施工コストの高い工法であるとのイメージが一般的である。このような意味から，現状の電気防食は，塩害防止方法として最も信頼性の高い工法であるが，施工コストは従来工法と比較してコスト高い工法と表現できる。

しかし，これは，工法の有効性と初期施工コスト（イニシャルコスト）を取り上げた場合の比較である。電気防食のイニシャルコストが従来の工法と比較して割高であっても，その塩害防止効果が長期間持続し，そのコンクリート構造物の耐久性を維持できるならば，その後のランニングコストは大幅に低減し，最終的にはトータルコストが従来の工法に比べ，低減されることも十分予想される。

本事例は，電気防食のライフサイクルコストについて，そのイニシャルコストとランニングコストを従来工法と比較して検討したものである。なお，新設コンクリート構造物に劣化予防対策として適用する場合と，既に塩害環境下で損傷を受けたコンクリート構造物に塩害防止対策として適用した場合の二つのケースを取り上げ，電気防食のコストパフォーマンスについて，実橋例を用いた検討結果を示したものである。

また，新設時のコンクリート構造物の防食や，劣化初期と劣化進行時といった劣化段階に応じた補修方法における，性能低下曲線の描き方の概念も示されているので，参考にされたい。

(3) 試算対象構造物の諸元

1) 供用環境

塩害環境の厳しい環境にある構造物で，図 3.4.1 に示す形状のポストテンション方式のプレストレストコンクリート橋となっている。

2) 一般図

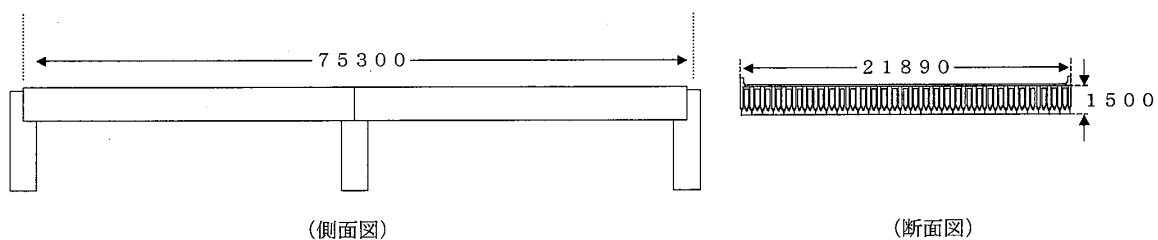


図 3.4.1 新設道路橋 A の概要

(4) 試算条件

- ①電気防食方式の施工費は、配線配管工事費と直流電源設置費を含む
- ②防食対象は、構造物の底面および下フランジ側面である
- ③施工面積合計は、各方法とも 1635.3 m²である
- ④電気防食の電気料金は各工法とも 25 円/m²/年で算出
- ⑤電気防食は、20 年経過毎 (20 年目, 40 年目) に電源装置および配線配管材を取替えるものとした
- ⑥なお、この 20 年経過毎の配線配管工事において、足場を設置することとし、足場面積は配線配管ルートの延長×幅 1.5 m である
- ⑦足場費用は、5,000 円/m²で算出
- ⑧電気防食設備である排流端子、照合電極、陽極は 60 年間取替えない
- ⑨配線配管および電源装置設置以外の作業は、ヤード内で実施するものとし、対象物のヤードからの移動の費用は含まない
- ⑩表面被覆工法の初期工事費は下記のように算出 (施工対象は電気防食と同様)

$$\text{施工費} = \text{表面塗装} + \text{足場費}$$

$$\text{表面塗装費} : 15,000 \text{ 円/m}^2$$

$$\text{足場費用} : 5,000 \text{ 円/m}^2$$

- ⑪表面被覆工法の補修は、10 年経過毎に行う

$$\text{補修費} = \text{塗膜除去} + \text{表面塗装} + \text{足場費}$$

$$\text{塗膜除去} + \text{表面塗装費} : 25,000 \text{ 円/m}^2$$

$$\text{足場費用} : 5,000 \text{ 円/m}^2$$

- ⑫従来工法の補修費は 10 年経過毎に劣化部補修および表面塗装を行う

$$\text{補修費} = \text{劣化部補修} + \text{表面塗装} + \text{足場費} = 50,000 \text{ 円/m}^2$$

- ⑬設計耐用期間は 60 年間として、防食ライフサイクルコストを試算。

(5) LCC の比較結果

表 3.4.1 60 年間の防食ライフサイクルコストの概算

単位：百万円

電気防食工法			表面被覆工法 (初期から塗装)			従来工法 (劣化部補修+塗装)		
費用区分		コスト	費用区分		コスト	費用区分		コスト
初期工事費	施工費 (直工)	104.7	初期工事費	施工費 (直工)	34.6	初期工事費	施工費 (直工)	0.0
維持費	電気料金 (60 年分)	2.6	維持費		-	維持費		-
補修費	電源装置取替費	22.0	補修費	表面塗装費	216.5	補修費	劣化部補修	259.8
	配線配管取替費	28.8		足場費	43.3		表面塗装費	199.2
	足場費	1.9					足場費	43.3
総 計		160.0	総 計		294.4	総 計		502.3

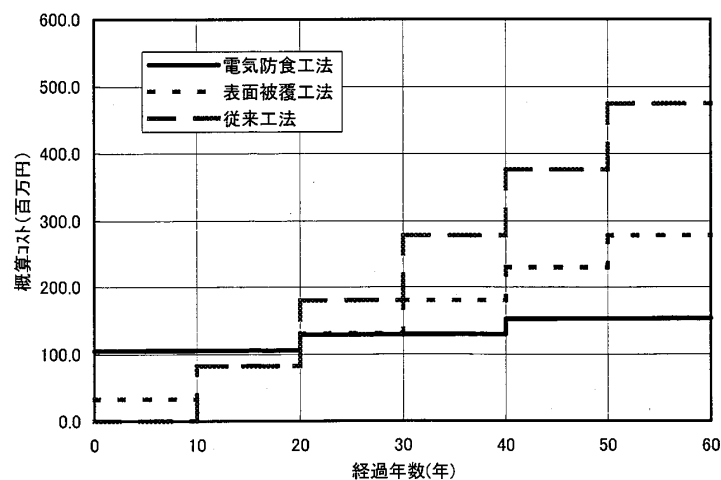


図 3.4.2 60年間の防食ライフサイクルコストの試算結果

3.5 既設地中コンクリート構造物⁴⁾

(1) 事例の出典

「土木学会：2001年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]に基づくコンクリート構造物の維持管理事例集(案)，コンクリートライブラリー116，pp.173-192，2005」

(2) 取り組みの背景

本事例は、地中に埋設された送電線ケーブル用洞道の人孔部を対象構造物とし、2001年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]に準拠して実施された維持管理事例の一部である。対象構造物は、28年間供用され、鉄筋腐食によると思われる劣化が部分的に顕在化しているものである。調査の結果および海岸線に比較的近い位置で供用されていたことから、劣化の主要因は塩害で、対象構造物は早急な補修が必要とされる状態にあると判定された。補修工法の選定にあたっては、そのコストと有用性の関係から、補修費用を最小とする対策の実施が最も望ましいことから、ライフサイクルコストによる適切な補修工法の選定並びに適切な実施時期の検討が必要となった。

(3) 試算対象構造物の諸元

1) 供用環境

供用地は運河に沿った道路下で、比較的海岸線に近い距離に位置する。また、対象構造物は送電線ケーブル用洞道の一部であるため、対象構造物の背面は地下水で満たされた環境であり、一方で中空側は気中環境にある。

2) 損傷要因

人孔中で採取した漏水を化学分析した結果、塩化物イオンが多量に含まれていたこと、および、コンクリートコアの塩化物イオン濃度分布から、損傷の主要因は地下水に含まれる塩化物イオンの浸

透による塩害と判定された。

3) 構造形式

鉄筋コンクリート人孔（現場打ちコンクリート）。

4) 一般図

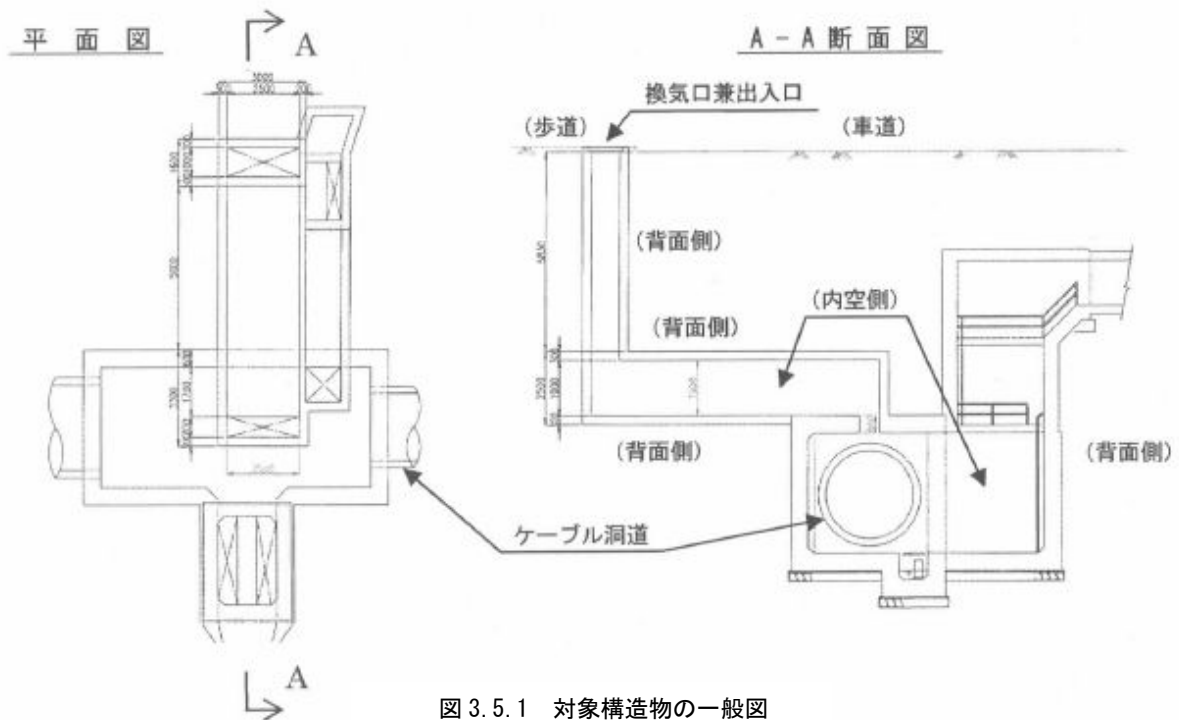


図 3.5.1 対象構造物の一般図

5) 劣化対策

対象構造物は既設構造物であり，劣化対策としては以下の補修工法を対象としている。

- ・コンクリートによる断面修復工法
- ・コンクリートによる断面修復工法+表面被覆工法（エポキシ樹脂）
- ・ポリマーセメントモルタル（吹付工法）による断面修復工法

断面修復工法におけるはつり深さは全体的には 10 cm であるが，鉄筋位置においては鉄筋の裏側まで十分はつることとしている。

(4) 試算方法

本節(5)の試算条件に従い，今後 50 年間における補修費の総額としてライフサイクルコストを算定している。

(5) 試算条件

1) 設計供用期間

設計供用期間は現時点から 50 年（竣工開始から 80 年まで）を一つの目安とした。

2) 劣化予測および構造物、部材の寿命

断面修復を行った部分については、その塩化物イオン濃度は 0 とし、先に実施した点検で得られた塩化物イオンの供給条件に従い、外部から供給される塩化物イオン量を予測している。また、断面修復部より深い位置では、既に塩化物イオンが浸透した既設コンクリートが存在し、それに含まれている塩化物イオンが内部から表面に向かい、断面修復中へと浸透する現象についても定量的に予測している。塩化物イオンの浸透予測方法としては、理論解が適用できないため、差分法による数値解析を採用し、コンクリート中の塩化物イオン濃度分布の経時変化を予測している。

3) 維持管理のシナリオ

本事例における維持管理シナリオは、上記のコンクリート中の塩化物イオン濃度の経時変化の予測結果から決定されている。すなわち、鉄筋位置（部材内面側の鉄筋表面位置）の塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m^3 を超えると予測された時点で全面補修を実施するという維持管理シナリオが設定されている。

4) 工事単価

ライフサイクルコストの試算に際し使用した各工法の単価を表 3.5.1 に示す。

表 3.5.1 各工法の単価

			単価(円/m ²)	備考
仮設工			5,000	
はつり工	人力	深さ 10cm	40,000	
断面修復工	コンクリート	深さ 10cm	20,000	
	ポリマーセメントモルタル	深さ 10cm	65,000	吹付工法
表面被覆工	エポキシ樹脂		20,000	
鉄筋錆落とし			10,000	B 人孔の 1 回目の補修のみ
補修工法の単価				
補修工法 1 = 仮設工 + はつり工 + 断面修復工 (コンクリート)			= 65,000 円/m ²	
補修工法 2 = 補修工法 1 + 表面被覆工			= 85,000 円/m ²	
補修工法 3 = 仮設工 + はつり工 + 断面修復工 (ポリマーセメントモルタル)			= 110,000 円/m ²	
※ B 人孔の 1 回目の補修のみ鉄筋錆落とし (10,000 円/m ²) を考慮し次の単価を使用。				
補修工法 1			= 75,000 円/m ²	
補修工法 2			= 95,000 円/m ²	
補修工法 3			= 120,000 円/m ²	

(6) LCC の比較結果

図 3.5.2 に、鉄筋位置の塩化物イオン濃度の経時変化を、図 3.5.3 にライフサイクルコストの算定結果をそれぞれ示す。図において、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m^3 になった時点で補修を行

うという維持管理シナリオを設定しているため、補修を実施した直後の塩化物イオン濃度は 0 となっている。ライフサイクルコストの計算結果より、補修効果が高く補修回数が少なくなる工法ほど、また、補修回数が等しい場合には安価な工法が、ライフサイクルコストは小さくなる結果となった。なお、今回の試算では今後の供用期間を 50 年と想定して行ったが、供用期間をより長期に設定すると、補修単価が高くて、補修効果の高い工法のライフサイクルコストが最も有利になると考えられる。

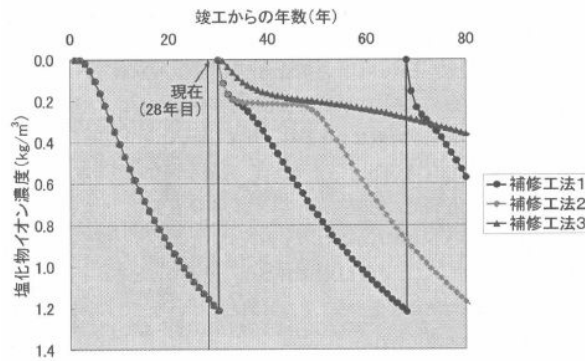


図 3.5.2 鉄筋位置の塩化物イオン濃度の経時変化

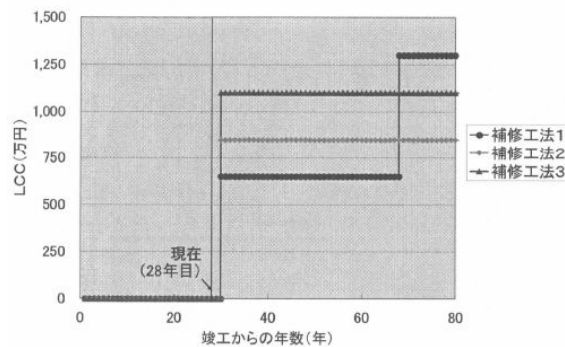


図 3.5.3 ライフサイクルコストの算定結果

【参考文献】

- 1) 国土交通省土木研究所：ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書 (I) - ライフサイクルコスト算出手法に関する検討 -, 共同研究報告書第 273 号, 2001
- 2) 神田昌幸, 栗根重年, 横山修司, 池田正行：三瀬陸橋 (高耐久性 PC 橋) の設計と施工 (上), 橋梁と基礎, vol. 37, No. 2, pp. 21-28, 2003. 2
- 3) 国土交通省土木研究所：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書 - 新設コンクリート橋への電気防食適用に関する研究成果と新設コンクリート橋の電気防食マニュアル (案) -, 共同研究報告書第 256 号, 2000
- 4) 土木学会：2001 年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]に基づくコンクリート構造物の維持管理事例集 (案), コンクリートライブラリー116, pp. 173-192, 2005

4 アセットマネジメントの取組み事例

4.1 概説

アセットマネジメントの目的の一つにインフラの維持管理に関する情報公開とこれによるユーザー（市民）への説明責任が挙げられる。しかしながら現状では各機関で情報公開の程度もまちまちで、アセットマネジメント自体着手したばかりということもあり、市民はその具体的な内容を知ることは難しい。本節ではこのような背景の下、地方自治体としては橋梁を対象としたアセットマネジメント（ブリッジマネジメント）に先駆的に取り組み、比較的情報公開も進んでいる青森県を例にとり、その全体フレームを概説する。また、アセットマネジメントの中で最も重要な要素技術に位置づけられる劣化予測については、劣化機構に基づく事例、統計的処理に基づく事例、確率過程に基づく事例を取り上げ、それぞれの基本的な考え方について概説する。

4.2 全体フレームに関する事例

(1) はじめに

青森県では、高度成長後期に建設された橋梁の近い将来における大量更新時代の到来が想定されることから、橋梁の維持管理を計画的に行うため橋梁アセットマネジメントを導入し、長期的な視点から橋梁を効率的・効果的に管理し、維持更新コストの最小化・平準化を図っていく取り組みを始めている。

(2) 全体フレームの概要

1) 全体フロー

青森県のブリッジマネジメントシステム（BMS）は大きく五つのステップで構成されており、各ステップの概要は次のとおりである（図 4.2.1）

- ①STEP 1：維持管理の基本方針として「基本戦略」を策定。
- ②STEP 2：環境条件、点検結果、道路ネットワークの重要性から「個別橋梁の戦略」を選定し、LCCを算定。
- ③STEP 3：全橋梁のLCCを集計し、予算目標などに合わせて予算の平準化を行い「中長期予算計画」を策定。
- ④STEP 4：決定した中長期の予算に基づき「中期事業計画」を策定し事業を実施。
- ⑤STEP 5：「事後評価」を行いBMSの進行管理や必要な見直しを行う。

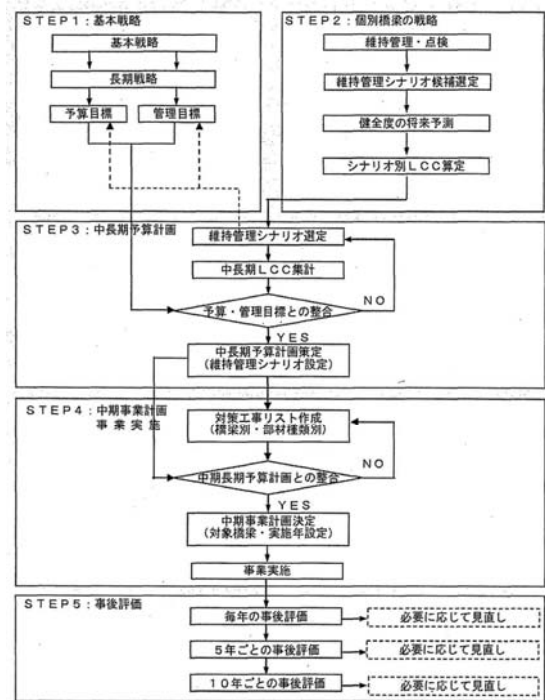


図 4.2.1 青森県橋梁アセットマネジメントフロー

以上のステップを繰り返しながら維持管理を実施している。

2) 点検・健全度評価

システムの特徴としてまず点検データを現場で直接パソコンに入力する「点検支援システム」の活用により点検作業の効率化を図っている(図4.2.2)。

「点検支援システム」はモバイルPCに必要なデータをあらかじめインストールしておき、点検結果を現場で直接モバイルPCに入力し、現場作業終了後はBMSにデータをアップロードすることで自動的に点検結果を出力できる。このため、写真整理や点検調書の作成が不要となり点検作業の省力化が図られ、点検コストを大幅に削減している。地方自治体が、BMSを継続的に行っていくためには、そのためのデータ収集業務のコスト削減を図り効率的に進めていくことが重要であり、この「点検支援システム」は大きな成果となっている。

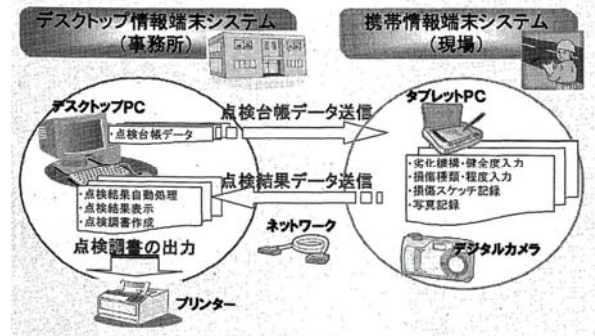


図 4.2.2 点検システムの流れ

橋梁点検で収集するデータは大きく次の二つに分けられる。

- ① 損傷情報：部材に発生している損傷の情報で、損傷の種類や大きさ・程度などの情報。
- ② 基本情報：劣化予測・LCC算定などに使用する情報で、劣化機構と健全度の情報。

点検対象の橋梁数が非常に多いことから、近接目視を主体とする定期点検時に劣化予測やLCC算定に必要なデータを収集し、必要に応じて非破壊検査やサンプリング調査を行っている。

3) 劣化予測

劣化予測はLCC算定のベースとなり、中長期の予算計画・事業計画の精度を左右する重要なものである。劣化予測の精度を向上させるため次の三つの工夫をしている。

- ① 材料別・劣化機構別に劣化予測モデルを設定し、環境条件に応じた複数の劣化速度を設定する。
- ② 点検結果を反映させて、劣化予測式を点検結果が通るように自動修正する(図4.2.3)。
- ③ 点検データの蓄積により、劣化予測モデル式を地域の特徴を反映させてカスタマイズする。

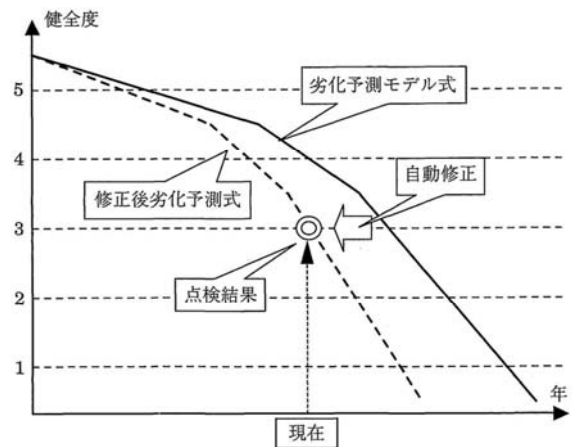


図 4.2.3 劣化予測式の自動修正

4) LCC算定

管理基準を設定し、管理基準に達した時点で所定の補修を繰り返す場合のLCCを算定するには、以下の7項目が必要である。

- ① 劣化予測式、② 管理基準、③ 対策時期、④ 対策工法、⑤ 対策コスト、⑥ 対策後の回復健全度、⑦ 対策後の劣化予測式

5) 維持管理シナリオ

一般的には、劣化が進行すればするほど対策費が高くなる傾向にある。したがって、LCCを低減させようと思えば、劣化が発生する前に予防的に対策を実施したり、劣化過程の初期の段階で早めの手当てをするなど管理水準を多様化して対策実施の選択肢を増やしておくことが必要である。青森県BMSでは、「維持管理シナリオ」という概念を導入し、部材種類ごと・劣化機構ごとに管理水準と対策方法をあらかじめ設定し、それぞれの管理水準・対策方法に必要なLCCを比較

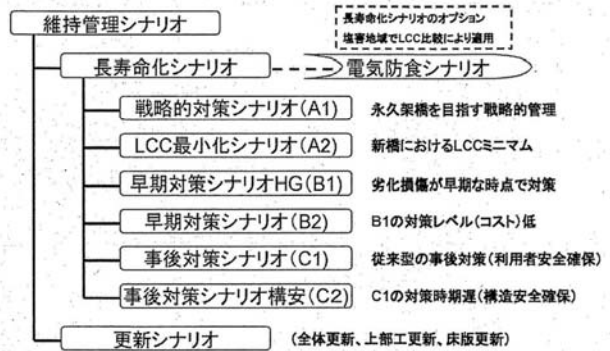


図 4.2.4 維持管理シナリオ

してLCCを低減する維持管理計画を選択できるようにしている(図 4.2.4)。これにより橋梁の重要度・優先度評価に基づいた維持管理ができ、地域の特性を反映した計画の策定ができる。

維持管理シナリオは「長寿命化シナリオ」と「更新シナリオ」に大別される。「長寿命化シナリオ」は、更新を避け、適時適切な補修対策を繰り返し実施して長寿命化するシナリオであり、永久架橋を目指す戦略的な予防保全対策から従来型の事後対策までの6種類を設定している。ただし、塩害地域における橋梁について電気防食シナリオをオプションで用意している。「更新シナリオ」は、所定の時期に更新することを前提に安全性を確認しながら更新計画時期まで維持管理するシナリオであり、劣化・損傷により、全体更新、上部工更新、床版更新を設定している。

シナリオの選定は次の順で行っている(図 4.2.5)。

①河川改修などによる更新が必要な橋梁や劣化・損傷が著しい橋梁を更新シナリオに選定する。

②長寿命化シナリオの絞り込みの第一段階として、超長大橋など特殊な環境条件にあつて更新や大規模補修ができない橋梁を戦略的対策シナリオ(A1)に設定する。

③第二段階として道路ネットワークにおける重要性から絞り込みを行う。④最後に残った橋梁に対してA1シナリオ除くすべてのシナリオの中から選定する。

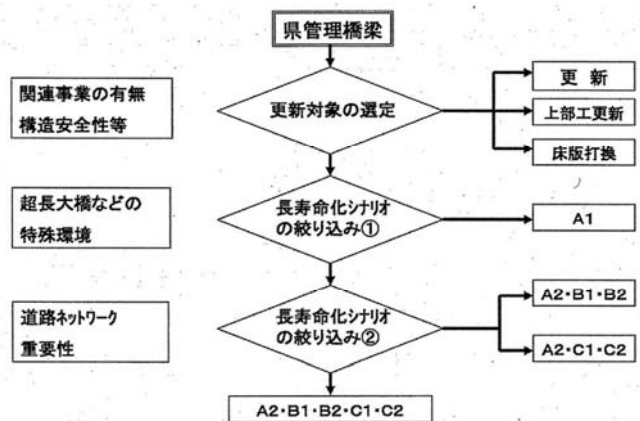


図 4.2.5 維持管理シナリオの選定方法

なお、選定にあたっては適用可能なシナリオを複数選定することになっている。

(3) 中長期予算計画と中期事業計画

青森県のBMSは、橋梁の健全度や重要度などをもとに、予算の最適投資時期と最適補修工法を算出できるシステムになっており、中長期予算計画のシミュレーションを行っている。現行予算規模で従来の対症療法的な補修を行っていった場合、5年後以降は毎年32.4億円の投資を続けて行かな

ければならず、今後50年間では総額1,518億円が必要となる。一方、最初の5年間で集中投資することにより5年後以降は毎年14.5億円で済むことになり、総額で807億円となる(図IV.4.6)。コスト削減額は50年間で711億円となる。

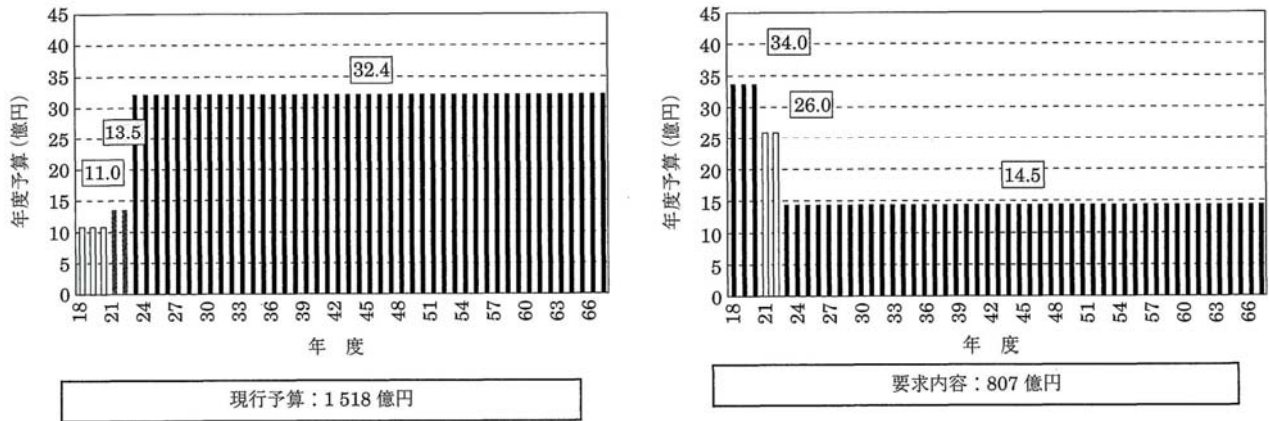


図 4.2.6 中長期予算計画のLCC試算結果

また、中長期予算計画決定と同時に全橋梁の維持管理シナリオが決定され、橋梁ごとのLCCも算定されている。そこで橋梁ごとのLCC情報をベースに中期事業計画を策定している(表4.2.1)。手順

表 4.2.1 中期事業計画 (5 箇年計画)

	H 18	H 19	H 20	H 21	H 22	合計
長寿命化補修	41 億	34 億	34 億	26 億	26 億	154 億
対策橋梁数	67 橋	59 橋	58 橋	64 橋	56 橋	304 橋

は、対策工事を橋梁単位・部材種類単位で集計し、早く実施しなければならない順番に並べ、年度予算を割り振る。この段階で、橋梁ごとの特殊事情を考慮して対策工事の順番や組合せを調整すると、中長期予算計画と整合性があり、かつ現場状況を反映させた実行可能性の高い中期事業計画を立案することができる。

【参考文献】

- 1) 川村宏行:青森県橋梁アセットマネジメントの取り組み,(財)経済調査会 建設マネジメント技術, pp.56-60, 2008年5月号
- 2) 川村宏行:アセットマネジメントの導入と実践—青森県橋梁アセットマネジメント—,(社)プレストレストコンクリート技術協会 プレストレストコンクリート, pp.63-66, Vol.50 No.2 2008年
- 3) 金氏眞:BMSを用いた効率的な橋梁マネジメント—BMSの開発・実用化事例紹介—,(社)プレストレストコンクリート技術協会 プレストレストコンクリート, pp.67-72, Vol.50 No.2 2008年
- 4) 青森県橋梁アセットマネジメントホームページ,
http://www.pref.aomori.lg.jp/douro/asset_1/index.html

4.3 劣化機構に基づく事例

(1) はじめに

ここで、紹介するシステム（以下、BMCE という、Bridge Maintenance Cost rough Estimate system : 橋梁補修・補強概略工事費算出システム）は、個別橋梁ごとの維持管理に対応するものであり、点検結果を利用して最適な補修・補強計画を策定し、補修・補強工法（概略工事費を含む）を管理者に提案することができるシステムである。橋梁データベース（以下、橋梁 DB という）には、これまでに建設した橋梁や点検、補修・補強が行われた橋梁のデータが蓄積されている。点検および補修・補強データは橋梁の補修・補強工事を提案していく上で大きな意義があるものであり、BMCE は、これらのデータを活用するシステムである。

(2) 劣化機構に基づく劣化予測手法の概要

1) BMCE の構成

BMCE は、諸元データおよび橋梁定期点検要領（案）（国土交通省国道・防災課，平成 16 年 3 月，以下，点検要領という）に準拠した点検データを用いて計算を行う。取り扱う劣化要因は、塩害と中性化の 2 種類である。構成を図 4.3.1 に示す。

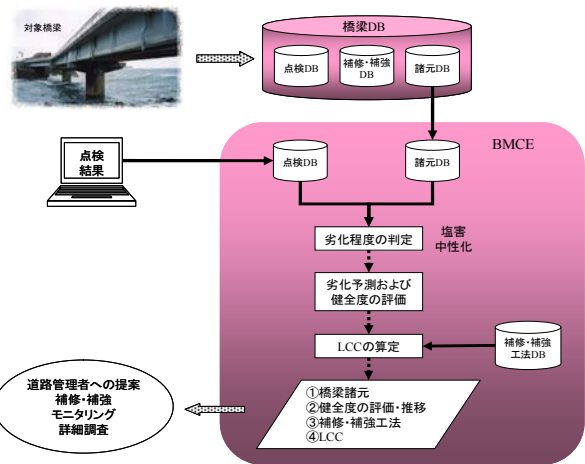


図 4.3.1 BMCE の構成

2) データの入力

・ 諸元データ

- ① 橋梁 DB に格納されているデータを読み込む。または、② BMCE で直接入力する。

・ 点検データ

- ① 外部の点検システムに格納されているデータを読み込む。または、② BMCE で直接入力する。

3) 劣化程度の判定

劣化程度の判定（対象橋梁が現状で、どの時にあるか）は、塩害では PC 鋼材位置の塩化物イオン濃度および損傷要素率を、中性化の場合では PC 鋼材位置の中性化残りおよび損傷要素率を用いて判定する。判定のフローを解説 図 4.3.2 に示す。

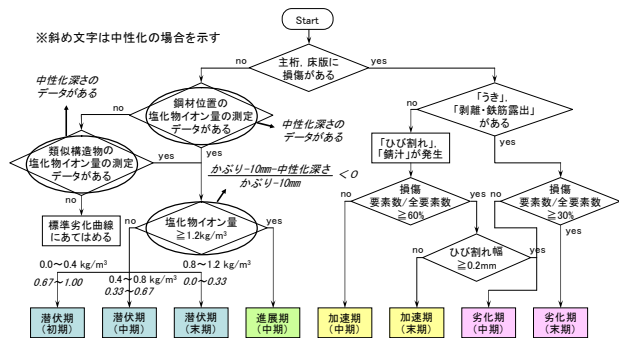


図 4.3.2 健全度判定フロー図

4) 劣化の予測

① 劣化曲線の基本方針

劣化要因ごとに、基本となる標準劣化曲線を備えておき、橋梁ごとにそれらの標準劣化曲線を利用して個々の劣化曲線を設定する方法を採用している。点検結果により健全度の判定を行い、健全度と点検時の橋梁の材齢により、標準劣化曲線と比較することによって標準劣化曲線を個々の橋梁にふさわしい劣化曲線に補正する。

劣化曲線は、耐久性に関する劣化曲線と耐荷性に関する劣化曲線の 2 種類である。塩害および中性

化による劣化過程のイメージは解説 図 4.3.3 に示すような土木学会コンクリート標準示方書 [維持管理編] を取り入れている。塩害と中性化に対する劣化曲線の種類と健全度の考え方の概要を表 4.3.1 に示す。

② 標準劣化曲線の設定

標準劣化曲線の設定は図 4.3.4 にフローを示すように、ある条件下における橋梁を想定し、図 4.3.3 に示す劣化過程を解析的なシミュレーションによって行う。想定した橋梁の条件は、次の通りである。

- ・橋 種：プレテンション方式単純 T 桁橋
- ・かぶり：PC 鋼材，側面 35mm，下面 42.4mm
- ・主 桁：JIS 5313 BG20 (標準桁)
- ・環 境：海岸線より 10m (塩害に対して)
：内陸 (中性化に対して)

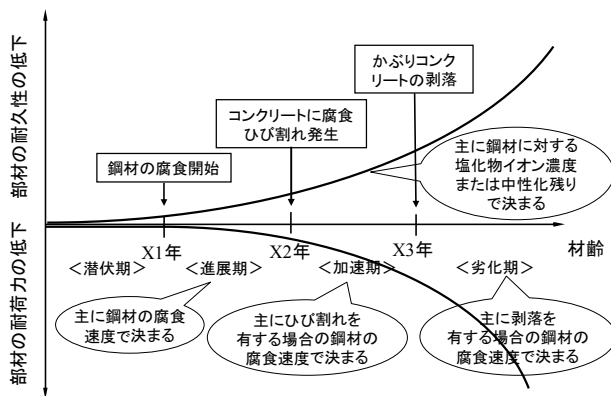


図 4.3.3 劣化曲線のイメージ

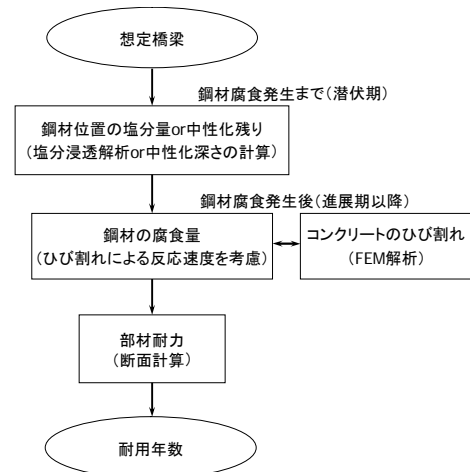


図 4.3.4 標準劣化曲線設定の流れ

表 4.3.1 BMCEで考慮する劣化曲線の種類と健全度

劣化曲線の種類		対象とする健全度	健全度の判定基準	健全度の判定指標	主として要否を判定する対策
耐久性の劣化曲線	塩害	鋼材腐食指標	主に鋼材腐食発生に対する安全度に依存	鋼材位置の塩化物イオン量	補修工法
	中性化			鋼材位置の中性化残り	
耐荷性の劣化曲線	塩害	耐荷安全性指標	主に鋼材腐食量に依存	曲げ耐荷安全度	補強工法
	中性化				

表 4.3.2 BMCEで考慮する評価指標と健全度

対象とする健全度		健全度の判定指標	健全度	
			100	0
鋼材腐食指標	塩害	鋼材位置の塩化物イオン量	0 kg/m ³	1.2 kg/m ³
	中性化	鋼材位置の中性化残り	かぶり	かぶり - 10 mm
耐荷安全性指標	塩害	曲げ耐荷安全度	1.7	1.0
	中性化			

③ 健全度の設定

橋梁の現時点での劣化程度を評価するために健全度を設定する。表 4.3.1 に示すように、耐久性の劣化曲線に対する健全度を鋼材腐食指標、耐荷性の劣化曲線に対する健全度を耐荷安全性指標と定義する。それぞれの劣化曲線に対する健全度は、表 4.3.2 に示す基準で設定する。

想定橋梁に対する劣化過程のシミュレーションと上記の健全度判定基準によって、塩害の場合、図 4.3.5、図 4.3.6 に示す劣化曲線が得られる。塩害の場合は、供用後の材齢 10 年で耐久性の健全度が 0、供用後の材齢 63 年で耐荷性の健全度が 0 となる。これらは、BMCE に備える標準の劣化曲線である。

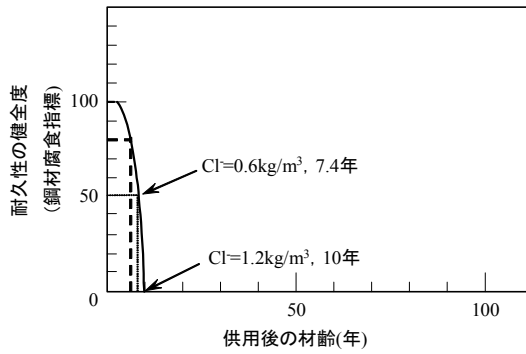


図 4.3.5 耐久性の劣化曲線 (塩害)

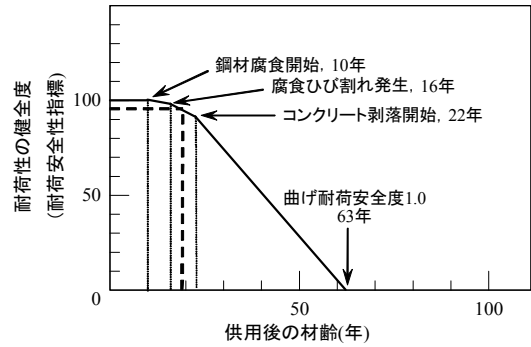


図 4.3.6 耐荷性の劣化曲線 (塩害)

④劣化曲線の補正方法

劣化曲線を補正する方法は点検時の健全度により、解説表 4.3.3 に示すように標準劣化曲線を平行移動するものと、比率により勾配を変更するものの2種類を用意した。解説図 4.3.7 に塩害の場合の進展期の中間期における劣化曲線の補正方法の例を示す。

表 4.3.3 劣化曲線の補正方法

点検時の健全度		劣化曲線の補正方法
潜伏期	初期	平行移動
進展期	中間期	
加速期	末期	
劣化期	初期 中間期	平行移動 または 勾配の変更

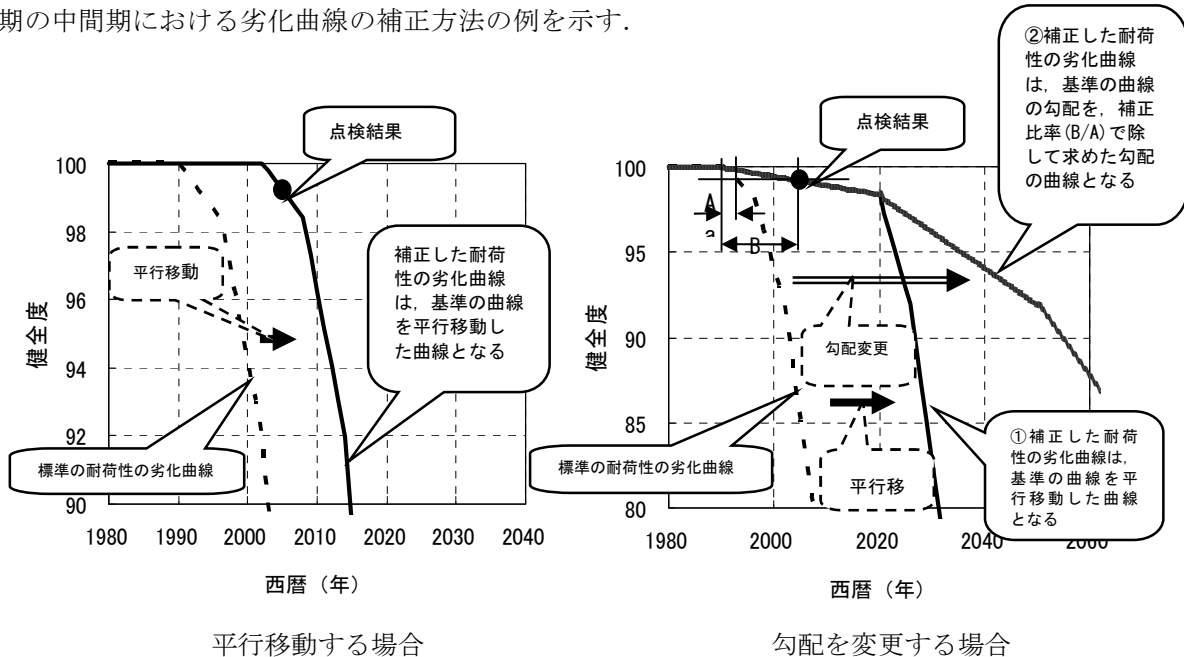


図 4.3.7 劣化曲線の補正 (点検時の健全度が進展期の場合)

5) ライフサイクルコストの算出

①補修・補強工法および工費

補修・補強工法は塩害および中性化とも同様の工法とし、既往の研究成果や補修・補強工事の実績を参考にして決定した。表 4.3.4 に BMCE で設定している補修・補強工法の一覧を示す。

架替費用は、「橋梁の架替に関する調査結果Ⅲ」(建設省土木研究所資料第 3512 号, 平成 9 年 10 月)より、橋長 500m 未満のコンクリート橋, 814 橋の架替費用(総工事費の橋面積 1 m² 当たり)の平均値

とした。

②補修・補強による健全度の推移

補修・補強を実施した場合、適用された工法により性能が回復したり、そのままの性能が維持されたり、補修・補強後の性能の劣化度合が緩やかになったりすることが考えられる。表 4.3.4 に設定している補修・補強後の健全度の推移を示す。

表 4.3.4 補修・補強工法および補修・補強による健全度の推移

	補修・補強工法		健全度の推移	
			耐久性	耐荷性
潜伏期	①	表面被覆	回復しないが、潜伏期が5年延びる	—
	②	電気防食 ¹⁾	現状の健全度で推移する	—
進展期	③	表面被覆	—	進展期が5年延びる
	④	断面修復+表面被覆	100%回復し、潜伏期が5年延びる	—
	④	電気防食 ¹⁾	—	現状の健全度で推移する
加速期	⑤	ひび割れ注入+断面修復+表面被覆	100%回復し、潜伏期が5年延びる	—
	⑥	ひび割れ注入+断面修復+電気防食	—	現状の健全度で推移する
	⑧	断面修復+炭素繊維シート接着	100%回復する	
	⑨	断面修復+下面増厚	100%回復する	
劣化期 I	⑩	断面修復+表面被覆+外ケーブル補強	100%回復し、潜伏期が5年延びる	100%回復する
	⑪	断面修復+炭素繊維シート接着	100%回復する	
	⑫	断面修復+下面増厚	100%回復する	
劣化期 II	⑬	架替	100%回復し、潜伏期が100年となる	100%回復する

注) 1. 電気防食工法を実施した場合には、システムの更新費を20年に1回、LCCに加算する。

2. 架替の場合は、架け替えにより耐久的な橋梁となると考えるため、潜伏期を100年とする。

3. 表面被覆工法により、潜伏期が塩害の場合は15年、中性化の場合は50年となる。

4. 表面被覆工法により、進展期が塩害および中性化とも11年となる。

③ライフサイクルコストの算出

ライフサイクルコスト (Life Cycle Cost, 以下、LCC という) は、BMCE では、既設の橋梁を対象としているため、次式で計算する。

$$LCC=M+R$$

ここに、M：維持管理費（但し、点検・調査費は含まず） R：撤去費（架替の場合のみ考慮）

算出方法は、補修・補強を実施する材齢を分岐点とし、その時点で補修・補強を行うか否かの2方向の分岐を作成し、これを全ての分岐点において同様に行い、前出の補修・補強を組み合わせた全てのシナリオを抽出することとした（以下、分枝（ぶんし）モデルという）。図 4.3.4 に塩害の場合について期間を40年とした場合の分枝モデルを示す。

<LCC の算出方法>

- Step1: 各時期の中間期を分岐点とし、その時に補修・補強 i を行うか否かの(i+1)方向の分枝を作成。
- Step2: Step1 の操作を全ての分岐点において行い、全枝が、計算する期間の終了年に達するまで行う。
- Step3: 全枝における補修・補強費の和を算出する。
- Step4: LCC が最小となる枝を最適なシナリオとする。

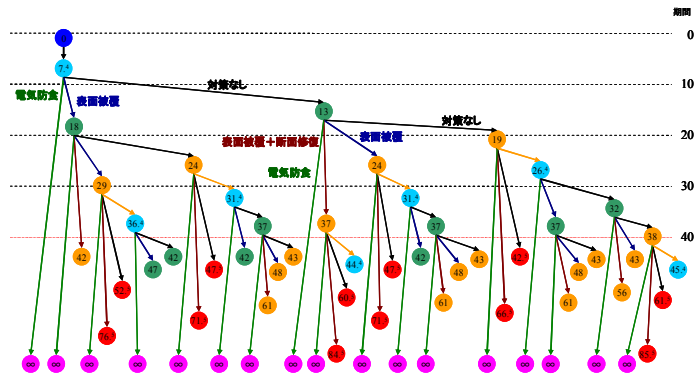


図 4.3.8 分枝モデル (期間を 40 年とした塩害の場合)

6) 結果の出力

あらかじめ入力により設定された個数分 (例えば、LCC が最小となる順番で 5 ケースとか) のシナリオに対して、LCC の推移、健全度の推移および補修・補強の内容を出力する。比較表シートでは、各シナリオの LCC の推移図、各シナリオの健全度の推移図および補修・補強内容を出力する。また、LCC 内訳シートでは、各シナリオにおける補修・補強の実施年の補修・補強工法、費用、補修範囲などの詳細情報を出力する。比較表の出力例を解説 図 4.3.9 に示す。

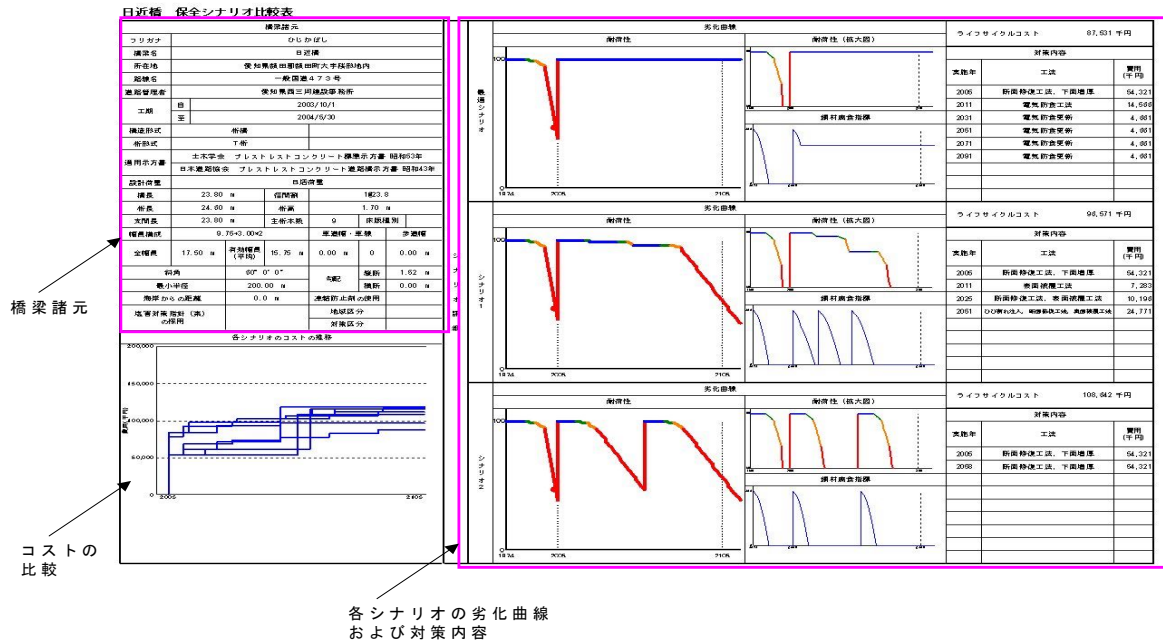


図 4.3.9 結果の出力例 (比較表の場合)

【参考文献】

「大谷悟司, 二井谷教治, 今野将頭, 家入正隆: 橋梁の補修・補強概略工事費算出システムについて, 土木学会年次学術講演概要集 (CD-ROM) vol. 61st, No. Disk2, page. ROMBUNNO. 6-027, (2006. 09. 01)」

4.4 確率過程に基づく事例

(1) はじめに

効果的な AM を実施するためには、将来の不確実な事象を定量的に記述する必要があり、その基本となる数理が確率過程である。確率過程を記述する様々なモデルが存在する中で、それぞれの適用範囲や利用限界、利便性を踏まえた上で、適切なモデルを選定することが重要である。以下では、建設分野における劣化推計で最もよく用いられるマルコフ過程について基本的な考え方や誘導過程を解説する。

将来の状態は現在の状態のみに依存し、過去の状態には依存しないというプロセスをマルコフ過程と呼ぶ。我が国のコンクリート構造物に対して数理モデルによる劣化予測を適用した事例は、稀少であるが、港湾構造物を対象としたプロジェクトにおいて研究開発が進められている。この方法は、マルコフ連鎖モデルにより劣化・変状評価を行うものである。すなわち、ある港湾施設における変状は、例えば 5 段階で評価される独立する変状度のいずれかに存在し、1 年経過すると遷移確率 P_x で変状度が 1 ランク進行し、残りの施設は確率 $1-P_x$ で同じ変状度に留まるというものである。この仮定に基づく予測に際しては、適切な遷移（推移）確率の設定が必要となる²⁾。

一方、ブリッジマネジメントシステム（BMS）の分野では欧米を中心に数理モデルが積極的に適用されており、その一つに Pontis がある。Pontis は、米国の 40 州以上において導入されている橋梁の維持管理及び予算計画のためのシステムである。その劣化評価には状態遷移確率を用いており、マルコフ過程による構造物の劣化予測やコストモデルの作成、メンテナンス計画を構築する機能を持つ。劣化予測やコストに関しては、データベースに保存された検査データや補修・補強履歴を元にモデルを更新する²⁾。その特徴として、橋梁を部材単位で整理し、劣化予測ができる。橋梁の維持管理や補修等に必要な費用を試算でき、個々の環境下にある部材の最適な維持管理計画、道路ネットワークの長期的な推移、個々の橋梁の維持管理計画などが試算できるなどが挙げられる³⁾。Pontis は前述の通り多くの州で使われているものの、その使い方は「橋梁データベース」としての機能に留まっており、劣化予測や維持管理の意思決定の機能はほとんど使われていないのが現状のようである。その理由として、劣化予測がそれぞれの州の橋梁の現状に合致していない、維持管理の意思決定の部分がブラックボックス化されているため現状に合致していない、という点が挙げられている⁴⁾。

(2) マルコフ過程に基づく劣化予測手法の概要

ここではマルコフ過程に基づく劣化予測手法の一例を示し、その概要を説明する⁵⁾。図 4.4.1 より、1 期前の点検結果と今期の点検結果（点検間隔 5 年）を集計した結果、左上表のような結果が得られたとする。これを状態推移確率として整理すると左下表のようになる。例えば、1 期前の健全度 4 が今期も 4 に留まる確率は 0.651、4 から 3 に落ちる確率は 0.311 となる。これを各期（5 年）ごとに求めると、右下図のようになり、これを構造物数の割合と年数の関係で表すと右上図のような結果となる。

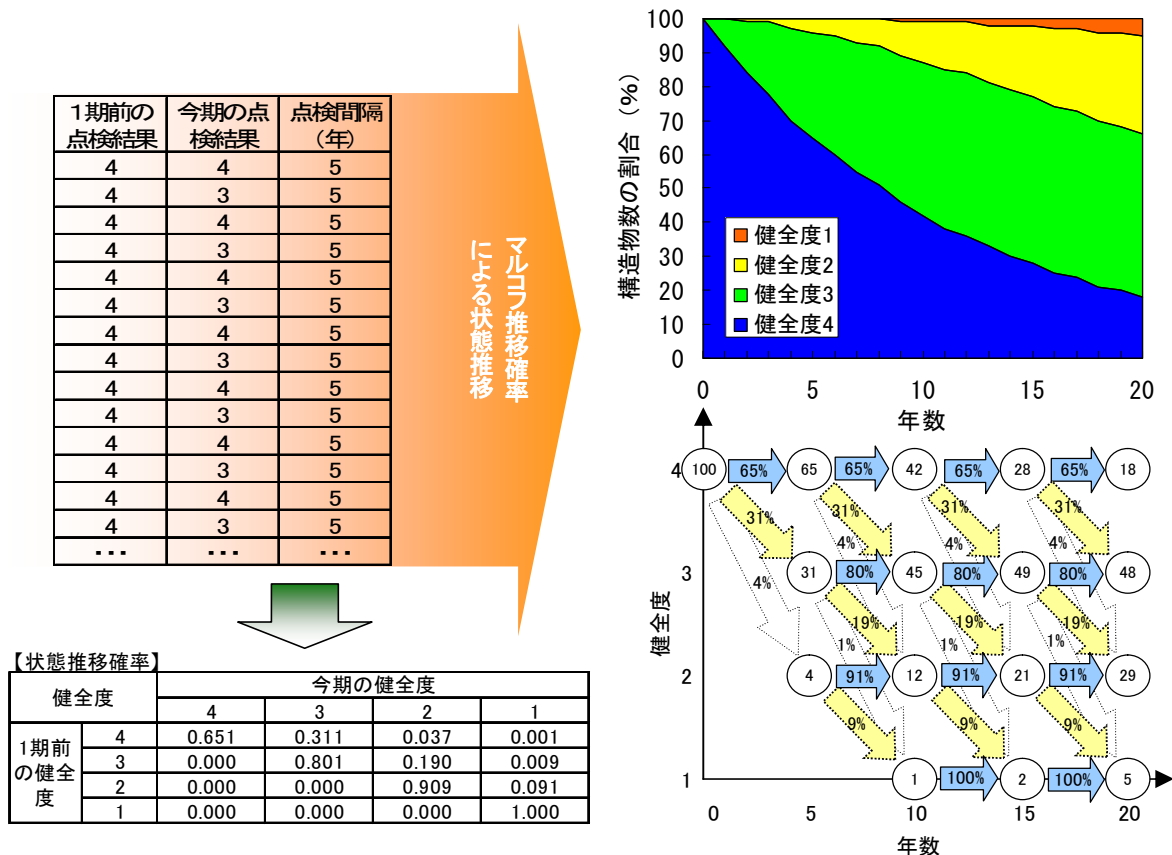


図 4.4.1 マルコフ過程を用いた劣化予測の一例⁵⁾

4.5 統計的処理に基づく事例

(1) はじめに

ここで言う統計的処理に基づく劣化予測とは、目視点検により得られた健全度を構造物の種別・環境条件等によりグルーピングし、健全度ごとの平均供用年数を算出、健全度と供用年数との関係から回帰分析を行うことにより劣化曲線を設定するものである。ここではその一例として福島県におけるアセットマネジメントの導入の経緯とその概要を説明するとともに、統計的処理に基づく一般的な劣化予測手法について解説する。

福島県で管理する国道・県道の延長は約 5600km(全国第 3 位)であり、橋梁数は約 4500 橋に達する。一方で、道路改良率、舗装率は全国 30 位代であり、冬期閉鎖区間も多く、救急車による拠点病院への搬送時間が問題となるなど、質・量ともに不足している。そのため、新規道路事業に対する需要が依然として高い状況にある。しかしながら、県の道路事業費は平成 10 年より減少の一途をたどり、平成 18 年度予算は道路事業費 547 億円、うち維持・補修費はわずか 78 億円という状況である。従って、膨大な既設構造物を抱えているが今後の維持管理を行う上で大きな課題となっている。

このような課題に対処するため、福島県では道路構造物に対する AM に早くから取り組み、平成 18 年度に検討成果をまとめた。その対象は、橋梁、舗装、トンネルに加え、シェッド・シェルター類までも含んでおり、橋梁のみを対象とするブリッジマネジメント (BM) とは異なり、福島県の AM の大き

な特徴と言える。また、橋長によらず全橋梁を対象としている点も特徴である。点検は一次点検を福島県職員（技術者）が行い、異常があれば二次点検を専門技術者が行なう仕組みとなっている。劣化予測手法は、橋梁（およびシェッド・シェルター類）：点検データより健全度を統計処理した回帰曲線，舗装：M.C.I.に基づく健全度を指標としたマルコフ過程，トンネル：劣化予測せずと使い分けて，それぞれ予防保全を前提にライフサイクルコスト（LCC）を算出し，これらを累積した額を平準化し，各年の維持管理費を算出している。このように，福島県では全構造物を対象に点検データと劣化予測に基づくLCC算出，予算の平準化を試みており，今後の地方自治体の一つのモデルケースになるものと期待されている⁶⁾。

(2) 回帰曲線に基づく劣化予測手法の概要

ここでは，統計的処理に基づく劣化予測手法の一般的な手順を以下に示す（図4.4.2参照）。

- 1) 構造物の目視点検により得られた健全度評価結果（5段階評価）を，橋種，部材種別，地域，使用・環境条件などに着目して分類する。
- 2) 1)の分類ごとに，各健全度となる経過年数の頻度分布を作成し，確率密度関数（例えば正規分布）に置き換え，その平均値を求め

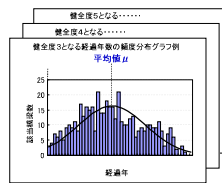
- 3) 2)で求めた経過年数の平均値とこれに対応する健全度をグラフ上にプロットする。

- 4) 3)のグラフより，回帰分析を行い，劣化予測曲線を設定する。

本手法の今後の課題として，使用条件や構造条件などによるグルーピングが難しい点，一般に健全度が低い（健全度ランクが高い）データは数が少ないため，ばらつきの大きなデータ群に対して回帰分析を行うことになる点等が挙げられる。推定精度を上げるためには時間をかけて，これらのデータを蓄積する必要がある。

手順1：供用年より各健全度ランクとなる経過年数の頻度分布グラフを作成

・橋種、部材種別、地域、使用・環境条件などに着目して分類（分類毎に作成）

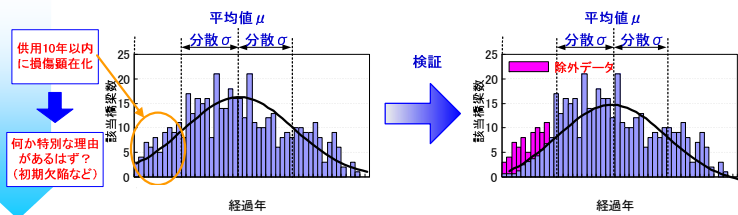


各健全度ランクとなる経過年数の頻度分布グラフ イメージ

手順2：各健全度ランクとなる経過年数の頻度分布グラフを検証

・バラツキの要因分析を実施（個別の点検結果を分析）し、各頻度分布グラフを精査

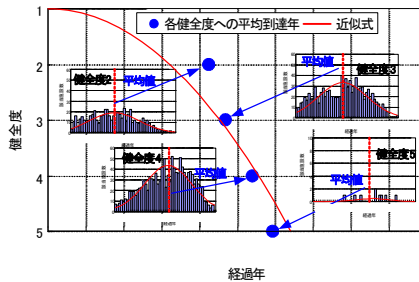
健全度3となる経過年数の頻度分布グラフ例



頻度分布グラフを検証 イメージ

手順3：各健全度ランクの平均到達年数から劣化予測モデルを作成

・各健全度グラフの平均値をプロットし、回帰方程式を設定



各健全度ランクの平均到達年を考慮した劣化予測モデルの検討例

各部材毎の劣化予測モデル（使用・環境条件別）の完成： $Y = ax^2 + b$ （基本的に2次曲線）

図4.4.2 統計的処理に基づく劣化予測⁷⁾

【参考文献】

- 1) 宮川豊章, 保田敬一, 岩城一郎, 横田弘, 服部篤志, 土木技術者のためのアセットマネジメント -コンクリート構造物を中心として-, 土木学会論文集 F, Vol. 64, No. 1, pp. 24-43, 2008.
- 2) 日本コンクリート工学協会, コンクリート構造物のアセットマネジメント研究委員会報告書, 2006.
- 3) 土木学会, コンクリート構造物のインフラマネジメント検討小委員会報告書, 2008.
- 4) 日本建設機械化協会, 2006 米国土木構造物補修・補強調査報告書, 2006.
- 5) 日本コンクリート工学協会, 技術者向け よくわかるアセットマネジメント, 2006.
- 6) 岩城一郎, ベース設計資料, No. 134, pp. 38-40, 2007.
- 7) 福島県道路部, 福島県道路アセットマネジメント報告書より抜粋, 2007.