

参考資料 2 部分更生工法に係る課題と考察

1. 部分更生工法の課題

現在、管渠の更生工法による管渠の改築については、スパン単位で行うことが社会資本整備総合交付金等の交付要件となっている¹⁾。しかしながら、管渠に発生している異常の状況によっては、スパン単位の改築よりも、部分更生工法による対応（図 1-1）の方がライフサイクルコストの面で有利となる場合も考えられる。そのため、部分更生工法を改築として位置づけることの課題について以下 4 つの論点で整理する。

- ① 統一的な設計手法の確立
- ② 品質評価手法の確立
- ③ 流下機能を阻害しない材料および施工方法の開発
- ④ 延命化効果の評価手法の確立
- ⑤ 経済比較手法の確立

なお、以下、スパン全体の改築に位置づけられている更生を「スパン更生」と呼ぶ。

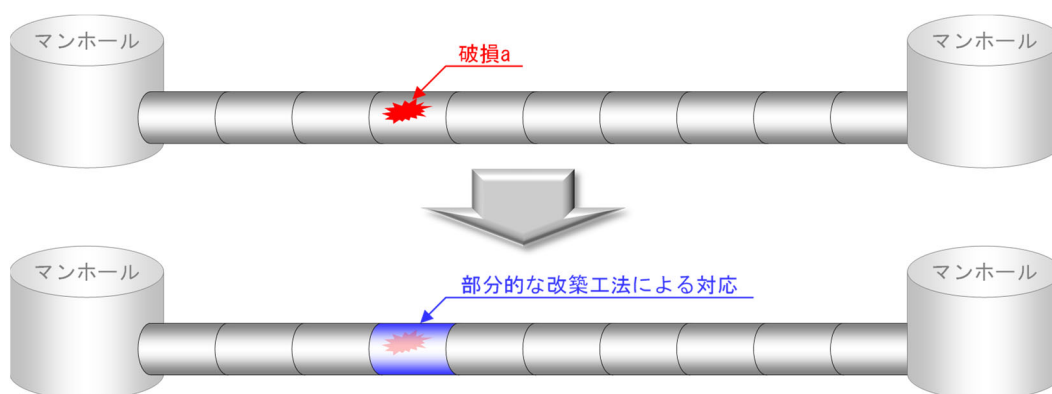


図 1-1 部分的な改築工法によりスパン全体の健全性を回復させるイメージ

1.1 統一的设计手法の確立

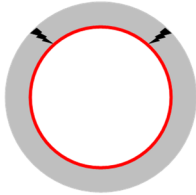
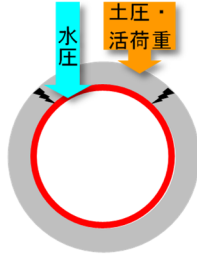
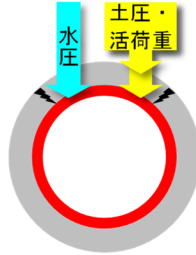
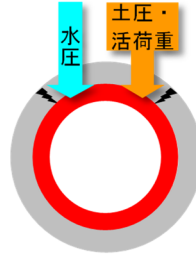
【課題①】

部分更生を二層構造管として適用する場合には、二層構造管の設計手法について統一した技術評価方法を確立する必要がある。

(解説)

部分更生の機能を構造形式（負担する外力）により区分すると表 1-1 のとおりとなる。

表 1-1 部分更生の機能

機能区分	修繕	二層構造管		自立管	
		水圧のみ	すべての外力		
	①	②	③	④	
負担する外力	概説	● 損傷箇所を構成材で覆い隠すことのみを目的としたもの。 ● 更生管はすべての外力（土圧・活荷重と外水圧）を負担しない。	● 既設管は土圧・活荷重を負担する。 ● 更生管は外水圧のみを負担する。	● 既設管は土圧・活荷重の一部を既設管が負担する。 ● 更生管は既設管が負担しない土圧・活荷重と外水圧を負担する。	● 更生管はすべての外力（土圧・活荷重と外水圧）を負担する。
	土圧・活荷重	×	×	△ 既設管と更生管	○ 更生管
	外水圧	×	○ 更生管	○ 更生管	○ 更生管
	イメージ				
強度評価 (管厚計算)	概説	● 計算なし。	● 外水圧に対してチモシェンコの薄肉円筒の座屈公式から必要更生管厚を計算。	● 土圧・活荷重に対して曲げ強度とたわみ率による必要更生管厚を計算。なお、曲げ強度とたわみ率は既設管の外力負担分を考慮して低減。 ● 外水圧に対してチモシェンコの薄肉円筒の座屈公式から必要更生管厚を計算。 ● 上記の3つの計算結果のうち最大値を採用。	● 土圧・活荷重に対して曲げ強度とたわみ率による必要更生管厚を計算。 ● 上記の2つの計算結果のうち最大値を採用。
	管厚・強度	薄い(1枚) なし	【更生管厚】 小さい 【強度】 大きい		厚い(複数枚) 完全
	耐震計算方法※	—	なし	なし	確立済
採用事例	少ない	多い	少ない	ほとんどない	

※ スパン更生が対象

表 1-1 に示すとおり、部分更生材が負担する外力（土圧・活荷重、外水圧）の違いにより、「修繕」「二層構造管」「自立管」に機能を区分できる。さらに、二層構造管の場合、負

担する外力を「水圧のみ」と「すべての外力」に区分できる。

部分更生で機能回復を期待する場合、表 1-1 の機能区分の③または④が相応である。

④の自立管は技術評価手法が確立され、「更生工法ガイドライン²⁾」の適用対象となっているのに対し、③の二層構造管は「統一的な技術評価がなされるまでに至らなかった。」ということで「更生工法ガイドライン」の適用対象外となっている（図 1-2 及び図 1-3）。

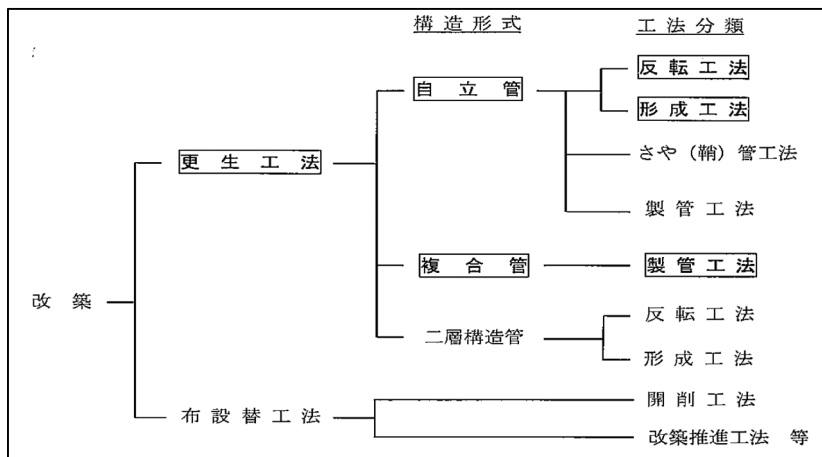


図 1-2 改築工法の種類

（「更生工法ガイドライン²⁾」 p.1-7 より引用・加工）

自立管

自立管は、更生材単独で自立できるだけの強度を發揮させ、新管と同等以上の耐荷性能及び耐久性能等を有するものである。

二層構造管

二層構造管は、残存強度を有する既設管きよを対象とし、残存強度を有する既設管きよとその内側の樹脂等の更生材で二層構造を構築するものである。

管路更生工法検討調査専門委員会では、二層構造管の設計手法について、荷重条件、安全照査、耐震性等に関して、自立管と比較して検討を行った。その結果、終局状態において、自立管ではたわみや曲げにより照査を行うのに対し、二層構造管は、座屈（バックリング）による照査を行っていることや、二層構造管では更生直後に水圧のみ作用させた座屈の照査を行っていること、さらに、損傷状態によって終局時の荷重のかけ方にも違いがあることが確認できたが、設計手法について統一的な技術評価をするまでには至らなかった。

自立管の概念

二層構造管の概念

図 1-3 自立管と二層構造管の違い

（「更生工法ガイドライン²⁾」 p.1-8～10 より引用・加工）

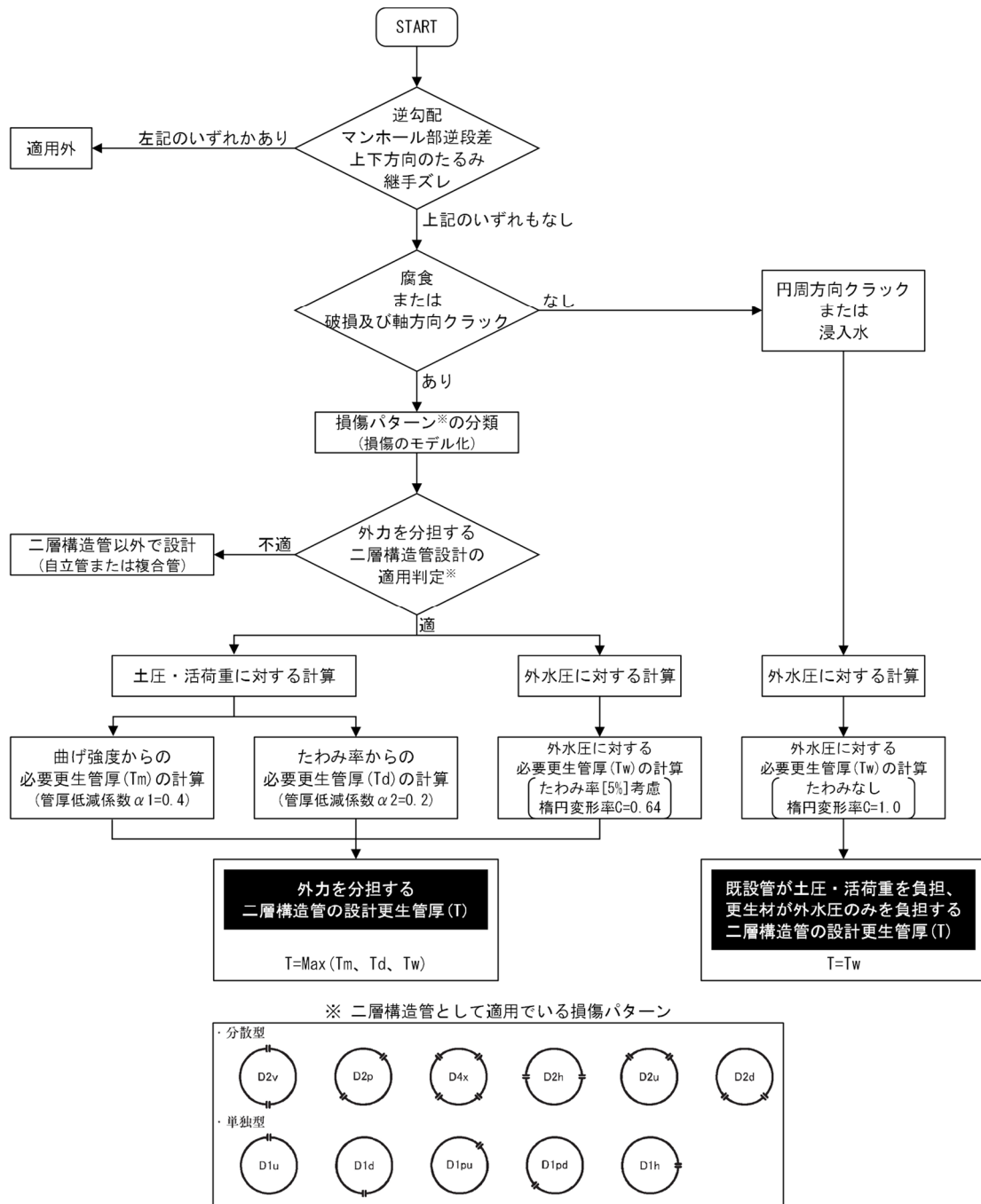


図 1-4 二層構造管設計フロー

(「二層構造管技術資料³⁾」 p.16、22 を参考に作成)

1.2 品質評価手法の確立

【課題②】

部分更生の耐用年数を保証するためには、長期試験のほかスパン更生と同等の品質評価手法の確立が必要である。

(解説)

スパン更生の要求性能項目に対する試験または確認方法を表 1-2 に示す。

表 1-2 スパン更生の評価項目と要求性能【自立管】

要求性能項目		対象		試験または確認方法		評価指標			
耐荷性能	扁平強さ	φ600mm以下		JSWAS K-1 による扁平試験		新管と同等以上			
	外圧強さ	φ700mm以上		JSWAS K-2 による外圧試験		新管(2種)と同等以上の強度			
	曲げ強さ	短期	密着管	高密度* リフレク樹脂 硬質塩化ビニル樹脂	JIS K 7171 JIS K 7171 (試験速度2mm/min)		申告値以上		
			現場硬化管	JIS K 7171			〃		
		長期	密着管	高密度* リフレク樹脂 硬質塩化ビニル樹脂	JIS K 7116 (水中、1,000時間) JIS K 7115 または JIS K 7116 (水中、1,000時間)			〃	
			現場硬化管	ガラス繊維あり ガラス繊維なし	JIS K 7039 (水中、10,000時間) JIS K 7116 (水中、10,000時間、試験片の数25以上)			〃	
	曲げ弾性率	短期	密着管	高密度* リフレク樹脂 硬質塩化ビニル樹脂	JIS K 7171 (試験速度2mm/min) JIS K 7171		〃		
			現場硬化管	JIS K 7171			〃		
		長期	密着管	高密度* リフレク樹脂 硬質塩化ビニル樹脂	JIS K 7116 (水中、1,000時間) JIS K 7115 または JIS K 7116 (水中、1,000時間)			〃	
			現場硬化管	ガラス繊維あり ガラス繊維なし	JIS K 7035 (水中、10,000時間) JIS K 7511 附属書D (水中、10,000時間)			〃	
	耐久性能	耐薬品性	現場硬化管	現場硬化管	JSWAS K-1, JSWAS K-14 による耐薬品性試験	浸漬後曲げ試験	基本試験	浸漬させる試験液：8種 温度：23℃ 期間：28日	試験液浸漬28日後の 曲げ強さ保持率および 曲げ弾性保持率80%以上
							常温試験	浸漬させる試験液：2種 温度：23℃ 期間：6ヶ月、1年	試験液浸漬1年後の 曲げ弾性保持率70%以上
促進試験							浸漬させる試験液：2種 温度：60℃ 期間：28日、6ヶ月、1年	試験液浸漬28日後の 曲げ弾性保持率70%以上	
長期曲げ弾性率を推定							50年後の長期曲げ弾性率が 設計値(換算値)を下回らない		
耐摩耗性							すべて	JIS K 7204 または JIS A 1452 等	硬質塩化ビニル管(新管)と 同等程度の耐摩耗性
耐ストレイコージョン性		現場硬化管のガラス繊維あり	JIS K 7034	試験結果から求める50年後の 最小外挿破壊ひずみ0.45%以上					
水密性		すべて	JSWAS K-2 による外圧試験	内外水圧(0.1MPa以上：3分間保持) に対する水密性(漏水なし)を確保					
耐劣化性	すべて	—	長期曲げ強さにより評価						
耐震性能	曲げ強さ	短期	密着管	高密度* リフレク樹脂 硬質塩化ビニル樹脂	JIS K 7171 JIS K 7171 (試験速度2mm/min)	申告値以上			
			現場硬化管	JIS K 7171		〃			
			現場硬化管	JIS K 7171		最大荷重時の曲げ応力度が申告値以上			
	曲げ弾性率	短期	密着管	高密度* リフレク樹脂 硬質塩化ビニル樹脂	JIS K 7171 JIS K 7171 (試験速度2mm/min)	申告値以上			
			現場硬化管	JIS K 7171		〃			
			現場硬化管	JIS K 7161		〃			
	引張強さ	短期	密着管	現場硬化管	ISO 8513(A) または ISO 8513(B) または JIS K 7161 JIS K 7161	申告値または規格値以上			
			現場硬化管	JIS K 7161		〃			
	引張伸び率	短期	密着管	高密度* リフレク樹脂 硬質塩化ビニル樹脂	JIS K 6815-3 JIS K 7161	〃			
			現場硬化管	ISO 8513(A) または ISO 8513(B) または JIS K 7161 JIS K 7161		〃			
圧縮強さ	短期	すべて	JIS K 7181		〃				
		すべて	JIS K 7181		〃				
水理性能	粗度係数	すべて	水理試験等		0.010以下				
	耐劣化性	すべて	成形後に体積収縮を伴う場合、 軸方向および周方向の収縮を検査		申告値以下				
環境安全性能	粉じん対策	すべて	施工計画書等		大気汚染防止法等の関連法令 および条例を遵守				
	臭気対策	すべて	施工計画書等		悪臭防止法等の関連法令 および条例を遵守				
	騒音振動対策	すべて	施工計画書等		騒音規制法および振動規制法等の 関連法令および条例を遵守				
	防爆性	すべて	技術検討書等		引火・爆発性を有する溶媒等が材料に 使用される場合には、施工中に爆発等 事故が発生しないこと				
	その他	すべて	施工計画書等		温水等の熱排出が行われる場合には、 条例に定める温度に冷却して放流				
その他	適用許容範囲*	すべて	技術保有者の資料または審査証明等の資料		現場条件に適用可能であること				
	施工可能延長	すべて	〃		〃				
	適用管種・管断面	すべて	〃		〃				
	更生管きよの厚み 更生管きよのしわ	すべて	現場硬化管 材料の品質管理および竣工時の品質管理		〃				

※ 内面状況 (段差、ずれ、曲がり、継手隙間、破損状況、腐食状況、浸入水圧、浸入水量、たるみ、滞水深)

(「更生工法ガイドライン」²⁾ p.1-17~24 を参考に作成)

これに対し、部分更生に関する既存の要求性能項目は表 1-3 のとおりである。スパン更生の耐用年数を保証するための長期試験(表 1-2 の黄色部分)を実施している部分更生は、1 工法のみである(表 1-3 の黄色着色)。このほか、スパン更生に対して部分工法のほうが、要求性能項目が少ないことが読み取れる。

表 1-3 主要な部分更生に関する要求性能評価項目

代表工法(硬化方法) 要求性能項目		A工法	B工法	C工法	D工法	E工法	F工法	
		常温	常温	常温 または 熱	熱	光	光	
耐荷性能	扁平強さ							
	外圧強さ							
	曲げ強さ	短期	○	○	○			○
		長期						○
	曲げ弾性率	短期	○	○	○	○	○	○
長期							○	
耐久性能	耐薬品性	○	○	○	○	○	○	
	耐摩耗性	○	○	○		○	○	
	耐スレインコロシ ^o ン性						○	
	水密性	○	○	○	○	○	○	
	耐高圧洗浄性 [※]	○	○	○	○	○	○	
	耐劣化性							
	防食性 [※]						○	
耐震性能	引張強さ	短期					○	
		長期					○	
	引張弾性率	短期						○
		長期						○
	圧縮強さ	短期						○
		長期						○
追従性 [※]						○		

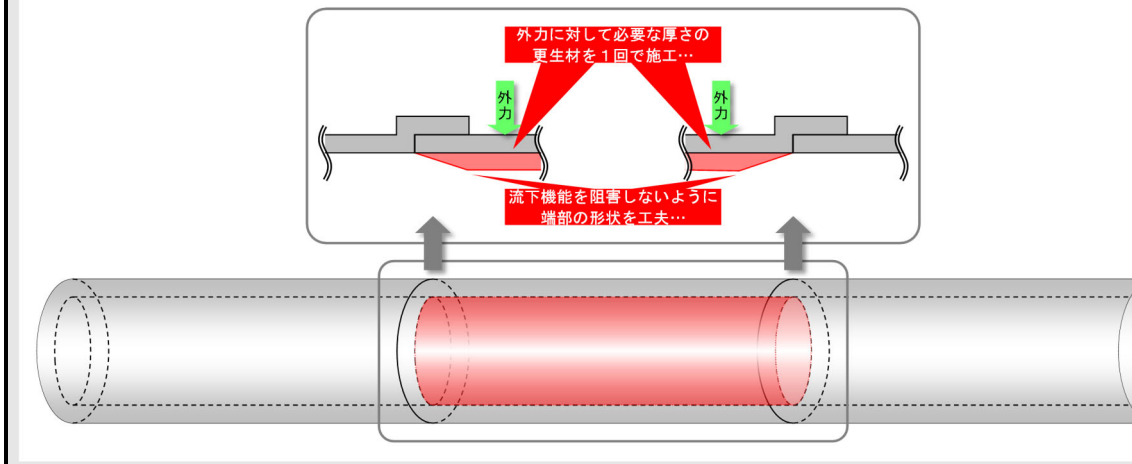
※ 更生工法(自立管)の要求性能項目にはないもの。

(建設技術審査証明書記載事項を参考に作成)

1.3 流下機能を阻害しない材料および施工方法の開発

【課題③】

管渠内面に生じる段差により、流下機能が阻害されない部分更生材および施工方法の開発が望まれる。



(解説)

部分更生を施した場合、管内面に段差が生じるため、流下機能が阻害されることが懸念される。

部分更生は、更生材1枚当たりの施工幅が各工法技術により定められている。損傷幅が更生材1枚当たりの施工幅を上回る場合には、複数枚の更生材を継ぎ施工するため、継ぎ部分に段差が生じる(図1-5)。

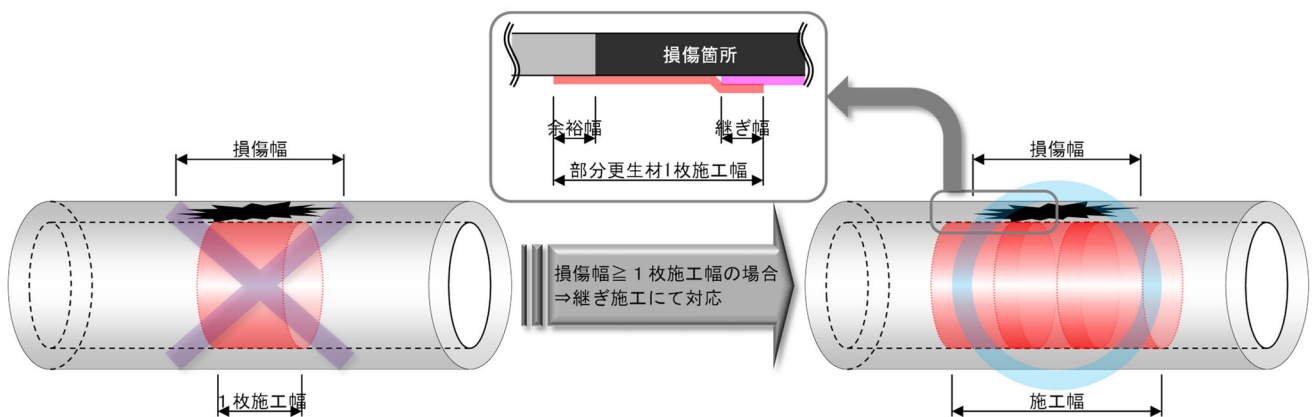


図 1-5 部分更生の継ぎ施工のイメージ

また、部分更生箇所に外力を負担させる場合には、複数枚の更生材を重ね施工する。その場合、部分更生材の端部が1箇所に集中して大きな段差になることが懸念される。これに対しては、余裕幅をもたせて端部をなだらかになるように仕上げる等が考えられる(図1-6)。

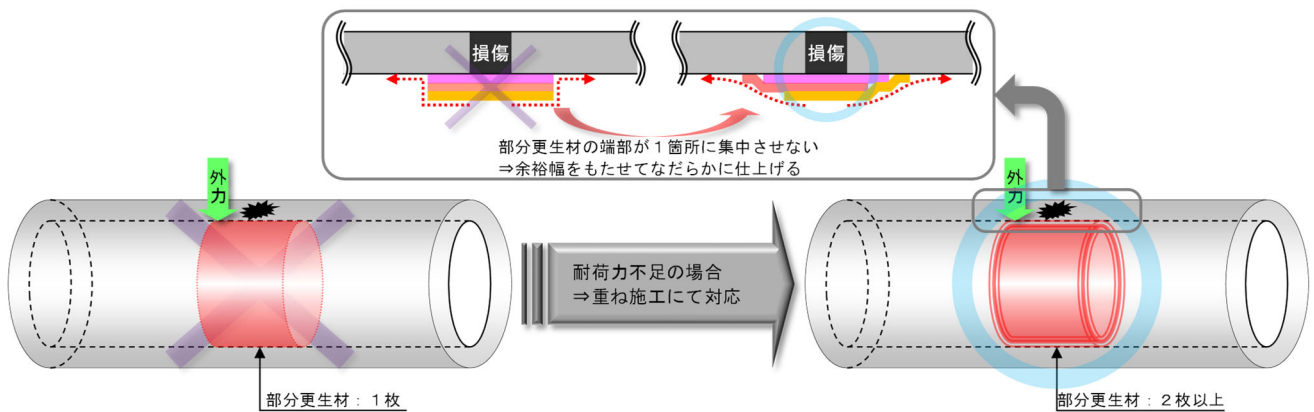


図 1-6 部分更生の重ね施工のイメージ

このほか、管単位で健全性を回復させることを考慮した場合、損傷箇所だけでなく管単位で更生を行うことで段差を生じさせない対応が妥当と考えられる（図 1-7）。

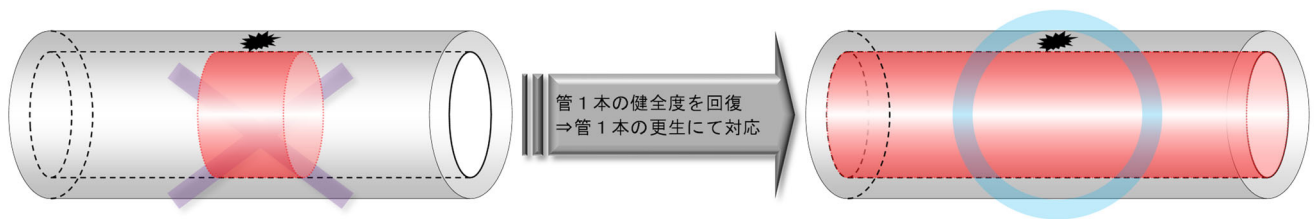


図 1-7 管単位の更生のイメージ

このように、1枚の部分更生材を現場において複数回施工することで、流下機能の阻害を低減することは可能と考えられるが、作業効率が低下することが課題である。

1.4 延命化効果の評価手法の確立

【課題④】

部分更生がスパンの延命化に資する効果を適切に評価する手法の確立が必要である。

(解説)

部分更生を改築として位置付けるためには、部分的な更生がスパン全体をどの程度延命化する（健全度を向上させる）効果があるかを客観的に評価する必要がある。

全国的に広く採用されている下水道維持管理指針⁴⁾に基づく緊急度判定では、管単位の異常の程度を「a」「b」「c」といった形でランク化した上で、スパン全体の緊急度（劣化なし～緊急度Ⅰの4段階）を判定している。この手法は、4段階という大まかな評価であるため、管単位の更生の影響を感度よく評価することが難しい。

このため、図1-8のように、管の健全度をより細分化（健全度1～5）したうえで、スパン全体の健全度を「数値」で示すことで、管の更生の影響を感度よく評価する手法などが考えられる。

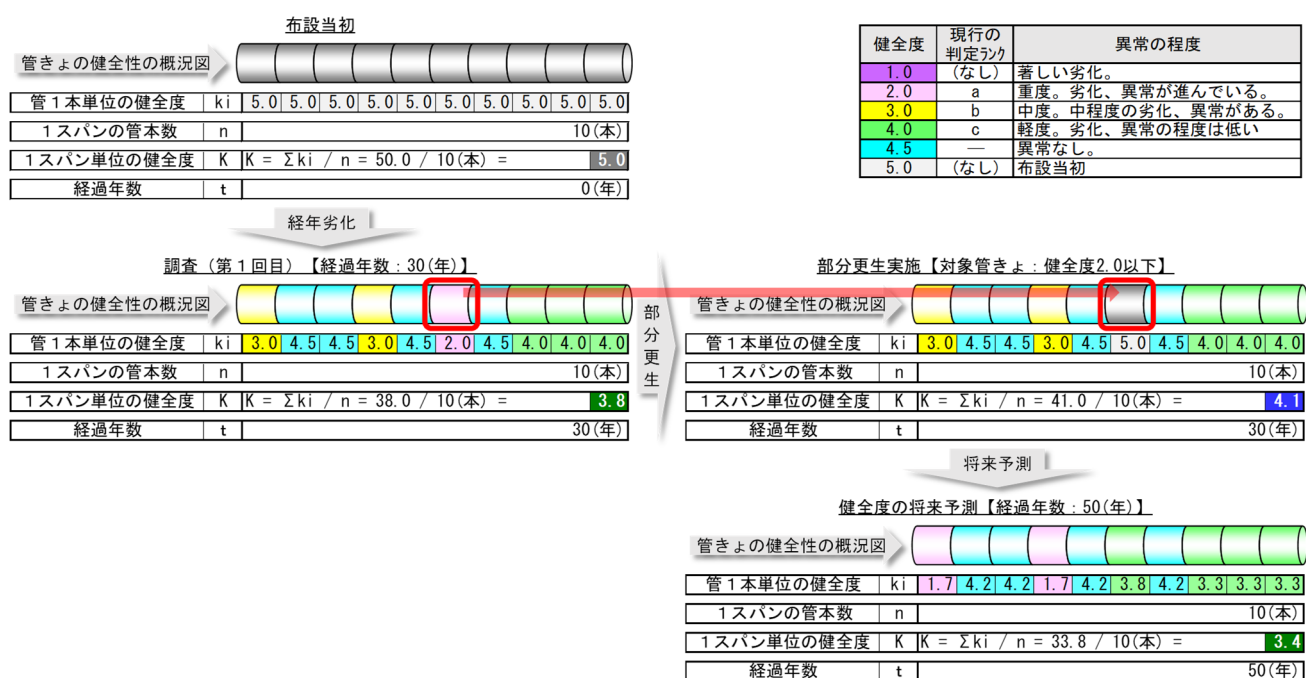


図 1-8 管単位の健全度の評価からスパン全体の健全度を評価するイメージ

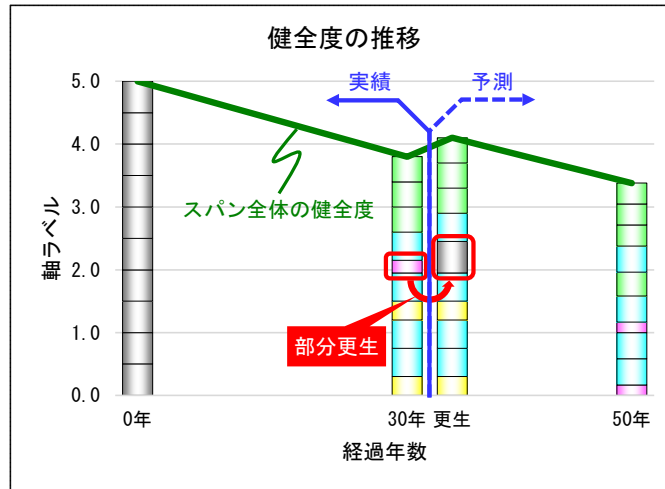


図 1-9 健全度の推移のイメージ（実績と予測）

1.5 経済比較手法の確立

【課題⑤】

部分更生を経済比較に基づいて選定するにあたっては、管単位およびスパン全体の健全度の評価に基づき、LCC を算出する方法を確立していくことが望まれる。

このほか、全国的に広く採用されている更新（布設替え）の耐用年数は標準耐用年数（50年）となっているが、目標耐用年数の適用についても併せて検討していくべきと考える。

部分更生もしくはスパン更生の選択は、LCC（ライフサイクルコスト）の比較を行い判断する必要がある。ただし、3.2.5 経済比較（LCC 比較）は、スパン全体を捉えた評価方法であり、部分更生により管単位で改築する場合には、前項で示したように、管単位およびスパン全体の健全度の評価に基づき、LCC を算出する必要がある。そこで、「stromanegaidorain」の「第3章 処理場・ポンプ場施設⁵⁾」の p.95 以降に示されている『対策の検討及びコスト改善額の算定例』を参考に、以下の条件に対する「布設替え」「スパン更生」「部分更生」の3つの対策方法について経済比較を行うイメージを例示する。この例では、部分更生がスパン更生より LCC が約 5% 小さく評価された。

- 【条件】① 布設後 60 年を経過した 10 本の管で構成される管渠を調査
 ② 部分的に（5 本目、6 本目）の管が健全度 2（対策の必要性あり）

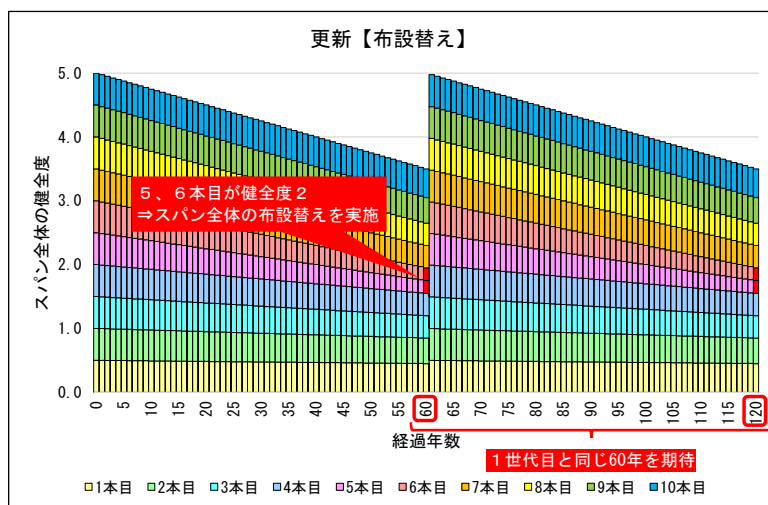


図 1-10 管単位およびスパン全体の健全度の推移のイメージ【布設替え】

表 1-4 LCC 年価計算のイメージ【布設替え】

項目		摘要	
年数	長寿命化対策	一年	
	更新	60年	1世代目と同じ年数
	計	60年	
費用	長寿命化対策	一千円	
	更新	2,500千円	[単価]125千円/m × [延長]20m
	維持管理	72千円	[単価]60円/m・年 × [延長]20m × 60年
	計	2,572千円	2,500円 + 72円
年価	費用 ÷ 年数	42.87千円/年	2,572円 ÷ 60年

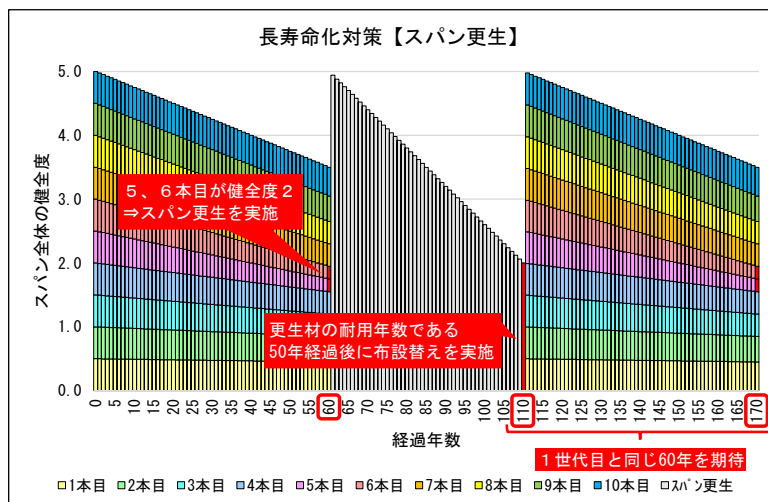


図 1-11 管単位およびスパン全体の健全度の推移のイメージ【スパン更生】

表 1-5 LCC 年価計算のイメージ【スパン更生】

項目		摘要	
年数	長寿命化対策	50 年	更生材の耐用年数
	更新	60 年	1 世代目と同じ年数
	計	110 年	50年 + 60年
費用	長寿命化対策	2,000 千円	[単価]100千円/m × [延長]20m
	更新	2,500 千円	[単価]125千円/m × [延長]20m
	維持管理	132 千円	[単価]60円/m・年 × [延長]20m × 110年
	計	4,632 千円	2,000円 + 2,500円 + 132円
年価	費用 ÷ 年数	42.11 千円/年	4,632円 ÷ 110年

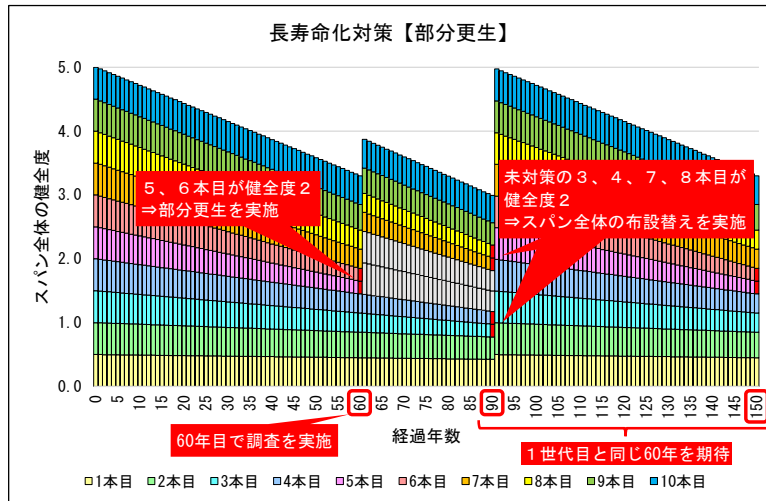


図 1-12 管単位およびスパン全体の健全度の推移のイメージ【部分更生】

表 1-6 LCC 年価計算のイメージ【部分更生】

項目		摘要	
年数	長寿命化対策	30 年※	部分更生実施～他の管きよの健全度 2 まで※
	更新	60 年	1 世代目と同じ年数
	計	90 年	30年 + 60年
費用	長寿命化対策	1,000 千円	[単価]500千円/箇所 × [箇所数] 2 箇所
	更新	2,500 千円	[単価]125千円/m × [延長]20m
	維持管理	108 千円	[単価]60円/m・年 × [延長]20m × 90年
	計	3,608 千円	1,000円 + 2,500円 + 108円
年価	費用 ÷ 年数	40.089 千円/年	3,608円 ÷ 90年

※ 他の管きよが健全度 2 になる期間：30年 ≤ 更生材の耐用年数：50年 より。

表 1-7 経済比較 (LCC 年価比較) のイメージ

		長寿命化対策		
		更新 布設替え	スパン更生	部分更生
年数	長寿命化対策	一年	50 年	30 年
	更新	60 年	60 年	60 年
	計	60 年	110 年	90 年
費用	長寿命化対策	一 千円	2,000 千円	1,000 千円
	更新	2,500 千円	2,500 千円	2,500 千円
	維持管理	72 千円	132 千円	108 千円
	計	2,572 千円	4,632 千円	3,608 千円
年価	費用 ÷ 年数	42.87 千円/年	42.11 千円/年	40.09 千円/年
	評価			○

【参考文献】

- 1) 令和元.7.3 国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道事業課事業マネジメント推進室課長補佐事務連絡 「下水道管きよの更生工法による改築に関する交付対象の運用について」
- 2) 公益社団法人日本下水道協会：管きよ更生工法における設計・施工管理ガイドライン - 2017年版-
- 3) 公益財団法人下水道新技術推進機構：管きよ更生工法（二層構造管） -2006年3月-
- 4) 公益社団法人日本下水道協会：下水道維持管理指針（実務編）-2014年版-
- 5) 国土交通省下水道部；国総研下水道研究部. 維持管理情報を起点としたマネジメントサイクル確立に向けたガイドライン（管路施設編）-2020年版-