

研究成果報告書

研究開発課題名	管路更生工法の性能規定化における照査技術の開発
研究総括者	一般社団法人日本管路更生工法品質確保協会
研究開発組合	一般社団法人日本管路更生工法品質確保協会、アクアインテック株式会社(旧:旭テック環境ソリューション株式会社)、芦森工業株式会社、株式会社湘南合成樹脂製作所、積水化学工業株式会社、東亜グラウト工業株式会社
試験研究機関	神戸大学、島根大学、三重大学

1 事業の実施内容

1.1 事業の背景及び目的

近年、老朽化したパイプラインの保全対策方法として、管路更生工法の適用が進んでいるが、材料や施工の要求性能規定が必ずしも十分でなく、照査時における混乱や施工後に所定の性能を満たさないなど、適切な品質を確保出来ていない状況も見受けられる。管路更生工法によって増大するパイプラインの機能保全に適切かつ効率的に対応するためには、農業分野特有の要求性能や施工条件などを考慮した適切・確実な施工実施とともに、品質の向上と確保に向けた取り組みを進める必要がある。そこで、本研究開発事業では、管路更生工法によってパイプラインの性能を確保するために保有すべき材料・工法の性能と照査可能な性能項目を規定するとともに、工法横断的な評価試験などを通じて性能照査型設計における照査技術の開発を行い、もってパイプラインの適切な機能保全の推進とともに対策工事等の品質の向上に資することを目的とする。

1.2 事業の内容及び実施方法

(1) 管路更生工法の性能規定化における照査技術の開発

管路更生工法が保有すべき材料・工法の要求性能と照査可能な性能項目の規定化と、工法横断的な評価試験による照査技術の開発を行い、管路更生工法の設計及び施工管理に関する技術指針案の作成を目指すものである。

本研究開発を達成するために、研究開発の段階を以下のように設定して実施した。

1) 管路更生工法の要求性能の検討

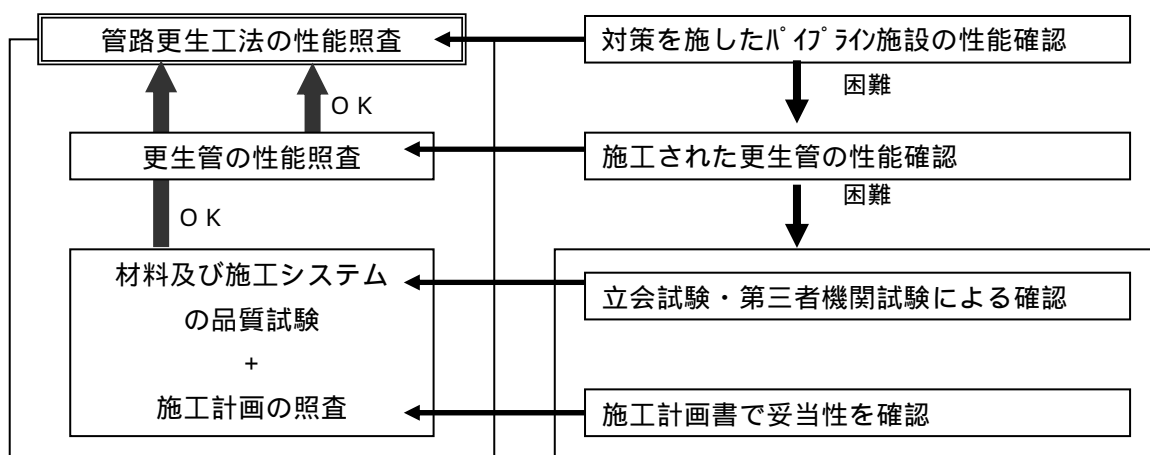
パイプラインへ管路更生工法を適用する場合には、対策工法実施後のパイプラインに要求される性能を明確にするとともに、対策工法を施したパイプライン施設は、少なくとも対策工法に期待される効果の持続期間中、対象となる変状や劣化作用に対して所要の性能を有しなければならない。また、管路更生工法を施したパイプライン施設が、所要の性能を有していることを確保するため、管路更生工法に適用する材料の特性およびその施工方法などを考慮して、実現可能な範囲内から管路更生工法に期待あるいは要求する性能を決定し、それらを明確にする必要がある。

そこで、管路更生工法に係る材料・工法に対する要求性能について、水理機能である

通水性、構造機能である力学的安全性、耐久性に加え、施工システムの観点から要求される施工性に着目して検討を行った。

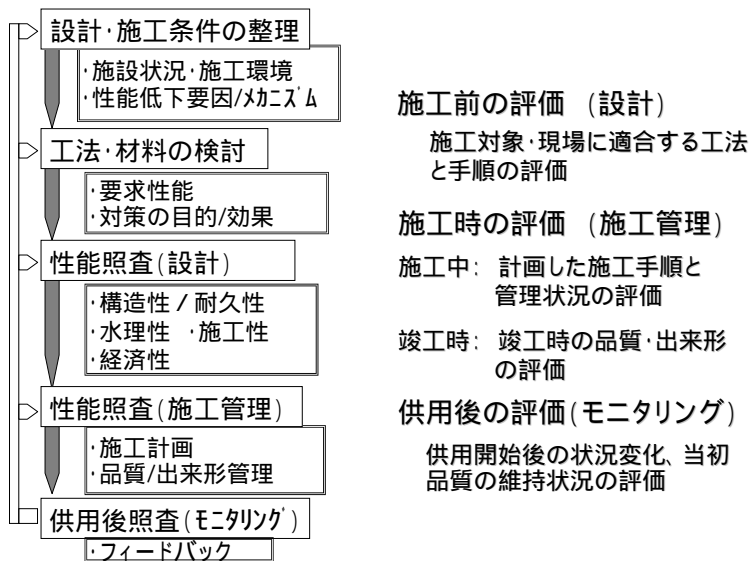
2) 管路更生工法の照査技術の開発

管路更生工法の性能照査は、管路更生工法に期待される耐用期間中に、管路更生工法を施したパイプライン施設が所要の要求性能を満足することを確認しなければならない。しかし、施工対象のパイプライン施設に対して試験施工を行うことや管路更生工法に要求される性能を一つの試験で直接的に正しく評価することは、一般に困難である。このため、管路更生工法の性能照査にあたっては、管路更生工法に係る材料及び施工システムに要求される性能を定量的な性能項目に変換し、その性能項目の試験値が基準値を満足することを標準的な試験などで確認する方法が妥当である。



管路更生工法の性能照査の考え方

そこで、管路更生工法が所要の性能を有することを確認するための、標準的な評価項目と試験方法、及び基準値に関して検討を行った。また、工法横断的な施工性評価試験を実施することで、性能照査技術の適用性の確認を行った。



管路更生工法の性能照査の枠組み

3) 管路更生工法の設計手法の検討

管路更生工法の設計検討にあたっては、農業用パイプラインの特性を十分に考慮のうえ、必要な機能や性能、目的、現場条件、耐久性、維持管理対策、施工の難易度、経済性等を総合的に勘案する必要がある。具体的には、機能診断調査の結果から、施設の性能低下要因、性能低下の状態・程度を把握し、施設の状態に応じて要求性能に適合した工法・材料の選定を行う。しかし現状では、調査結果から得られる施設情報と設計照査手法との整合性が十分ではなく、調査結果を十分に踏まえた性能照査を行えていない事例もみられる。

そこで、管路更生工法に応じた施設状態の適用条件や設計照査手法との整合性について検討を行った。さらに、管路更生工法の設計検討で留意すべき、既設管の条件、更生材の条件、荷重条件、水理条件、既設構造物への影響、施工条件、維持管理条件等の事項を適切に考慮できるような、設計手順の検討を行った。

4) 管路更生工法の施工管理・品質管理基準の検討

管路更生工法が所要の性能を有することを確認するためには、標準試験による確認に加えて、管路更生が仕様通りに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ施工計画の照査に基づいて確認し、さらに施工後品質の確認を行う必要がある。

そこで、管路更生工法に応じた施工出来形の管理基準値、測定基準、管理方式について検討を行うとともに、施工時におけるチェックポイント等を記載したマニュアル案の検討を行った。

(2) 実証試験

性能照査に関する試験方法の確立に際して、各試験方法の地上評価を実施した。

なお、本研究開発事業では管路更生工法の照査技術の開発を主とするので、試験装置による試験ならびに地上模擬管路評価以外の現場適用実証実験は実施していない。

1.3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

技術的問題点	対応
管路更生工法の要求性能の検討	農業用パイプラインは、圧力管路による水利システムとして機能する、単位施工距離が長い、路線に屈曲部や傾斜部が多い、附帯施設がある、といった特徴を有し、パイプライン施設に要求される性能を管路更生工法によって確保するためには、これらパイプラインの特性を踏まえ、管路更生工法に要求される性能を適切に設定する必要がある。このため、パイプラインの特性を踏まえた機能保全の基本的な考え方を整理するとともに、管路更生工法に係る材料・工法に対する要求性能に関しては、パイプラインシステム、更生材料、施工システムの観点から整理を行った。
管路更生工法の性能照査における試験方法の確立	管路更生工法の性能照査にあたっては、管路更生工法に係る材料及び施工システムに要求される性能を定量的な性能項目に変換し、その性能項目の試験値が基準値を満足することを標準的な試験などで確認する方法が妥当である。しかし、圧力管路や路線の屈曲といったパイプライン特有の条件を考慮した評価項目と試験方法等は確立されておらず、また材料特性に対して製造、施工のパラッキ（安全率）や長期特性等に関して体系的に整備されていない。このため、管路更生工法が所要の性能を有することを確認するための、標準的な評価項目と試験方法、及び基準値に関して検討を行った。
管路更生工法の更生管材料に係る評価確認	更生管材料に係る評価項目及び試験方法について、材料構成や施工方法が異なる複数の更生管材料による工法横断的な性能評価試験を実施し、照査手法の適用性の検討と設計・施工管理に資する技術情報の体系化を図った。
管路更生工法の施工システムに係る評価確認	施工システムに係る評価項目及び試験方法について、施工方法が異なる複数の施工システムによる工法横断的な性能評価試験を模擬管路を用いて実施し、照査手法の適用性の検討と設計・施工管理に資する技術情報の体系化を図った。
管路更生工法の設計手法の検討	パイプラインの特性を踏まえた適切な管路更生工法の品質を確保するためには、施設の状態に応じて要求性能に適合した工法・材料の選定を行うことが重要である。設計検討にあたっては、効率かつ合理的な工法の選定と詳細設計を行ううえで、既設管の条件（具体的には、既設管の状態と材料物性）、更生断面（更生材の設計と材料物性）、荷重条件（土圧、地盤反力と内水圧）、水理条件（粗度と最大流量）、既設構造物への影響、施工条件、維持管理条件等の事項を考慮しなければならない。これを可能とするために、設計の考え方を整理した。
管路更生工法の施工管理・品質管理基準の検討	管路更生工法が適切な施工品質を確保するためには、仕様通りに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ施工計画の照査に基づいて確認し、さらに施工後品質の確認を行う必要がある。施工システムに応じた管理手法を検討するとともに、施工時における留意点として、工事の段階ごとに検査すべき箇所、方法等を記載したマニュアル案の検討を行った。

1.4 事業の実施体制

(1) 研究開発組合内の役割分担

個別研究テーマ	事業実施主体		
	一般社団法人 日本管路更生工法品質 確保協会	単独管構造	複合管構造
		芦森工業・積水化学工業・ アクアインテック・ 東亜グラウト工業	湘南合成樹脂製作所
管路更生工法の要求性能の検討			
管路更生工法の性能照査における 試験方法の確立			
管路更生工法の更生管材料に係る 評価確認			
管路更生工法の施工システムに係る 評価確認			
管路更生工法の設計手法の検討			
管路更生工法の施工管理・品質管理 基準の検討			

(2) 試験研究機関と研究開発組合の役割分担

個別研究テーマ	〔研究機関〕 三重大学 石黒教授 鳥根大学 野中教授 石井准教授 神戸大学 河端教授	事業実施主体		
		一般社団法人 日本管路更生工法 品質確保協会	単独管構造	複合管構造
			芦森工業・積水化学工業・ アクアインテック・ 東亜グラウト工業	
管路更生工法の要求性能の検討				
管路更生工法の性能照査における試験方法の確立				
管路更生工法の更生管材料に係る評価確認				
管路更生工法の施工システムに係る評価確認				
管路更生工法の設計手法の検討				
管路更生工法の施工管理・品質管理基準の検討				

1 . 5 事業の年度計画と実績

個別研究テーマ	研究内容	平成 22 年	平成 23 年		平成 24 年	
		下	上	下	上	下
管路更生工法の要求性能の検討	・パイプラインの機能保全の考え方の整理 ・管路更生工法の要求性能の検討	■	■			
管路更生工法の性能照査における試験方法の確立	・要求性能に対する評価項目・試験(照査)方法の確立	■	■	■		
管路更生工法の更生管材料に係る評価確認	・構成の異なる複数の更生管材料による性能評価確認 ・技術情報の体系化		■	■	■	■
管路更生工法の施工システムに係る評価確認	・模擬管路を用いた複数の施工システムによる性能評価確認 ・技術情報の体系化			■	■	■
管路更生工法の設計手法の検討	・管路更生工法の設計に係る技術指針の策定			■	■	■
管路更生工法の施工管理・品質管理基準の検討	・管路更生工法の施工・品質管理に係る技術指針の策定			■	■	■

注) ■ は計画、■ は実績。

1.6 研究開発の概要、結果、課題等

(1) 管路更生工法の要求性能の検討

農業用パイプラインは、圧力管路による水利システムとして機能する、単位施工距離が長い、路線に屈曲部や傾斜部が多い、附帯施設がある、といった特徴を有する。これらパイプラインの特性を踏まえた機能保全の考え方を整理するとともに、管路更生工法に係る材料・工法に対する要求性能に関し、パイプラインシステム、更生材料、施工システムの観点から整理を行った。表 - 1 に管路更生工法の要求性能案を整理した結果を示す。

表 - 1 管路更生工法の要求性能(案)

要求性能		性能項目	性能規定の例	反 転/ 形 成 工 法	製 管 工 法	鞘 管 工 法
基本的性能	水利用性	水密性	所定の水密性がある。所要の減水量(漏水量)(/日・cm・km)以下である。			
	水理性	通水性	所要の送配水量が確保できる断面及び流速係数 (C)/粗度係数(n)の関係を有する。			
	構造的性	耐荷性	所定の内・外圧に対する強度を確保する。 長期的な強度低下を考慮している。			
		耐摩耗性	所定の耐摩耗性がある。			
		付着一体性	耐用年数期間中に母材との一体性がある。	-		-
個別的性能	構造的性	地盤追従性	地盤の不同沈下や地震動の影響による挙動に追従 する変形能力を有する。			
	社会・環境性	水質適合性	有害物質を溶出しない			
	施工性	管内構造適用性	段差・ズレ・継手隙間の施工性			
		管内状態適用性	滞水状態の施工性			
		線形適用性	施工可能延長、曲がり・勾配線形の施工性			
	環境適用性	周辺環境へ配慮 (粉塵/臭気/騒音/振動/防爆等)				

基本的性能：標準的な工事に共通して求められる性能

個別的性能：施工条件や環境条件などにより個々の工事に個別的に求められる性能

：基本的に要求される性能

：設置環境、施工条件により必要とされる性能

(2) 管路更生工法の材料・施工システムに係る評価確認

管路更生工法の性能照査における試験方法を確立するため、各種の性能試験を実施した。以下の1)～7)に概要を示す。

1) 単独管 流下能力試験：

流下能力試験により曲管部に生じるシワが通水性に与える影響（損失係数、流況）を確認した。曲管部シワの損失係数の概略推定式を導き、通水性の設計照査の基礎的検討を実施した。（図 - 1）



図 - 1 単独管流下能力試験状況

2) 単独管 内外圧試験および基礎物性試験：

水密性の評価手法の確立と継手部の曲げ変形性能を把握するため、水密性の考え方及び試験方法の確立、継手変形性能の考え方及び標準試験方法の確立、材料諸元、設計照査への反映、を目標に、試験方法の規定化及び試験を実施した。（図 - 2）

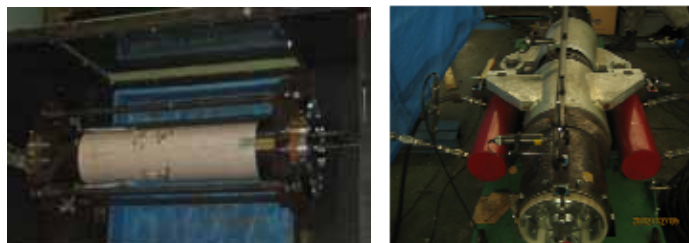


図 - 2 単独管内圧試験状況

3) 単独管 材料長期試験：

長期性能の明確化及び評価手法を確立するため、長期引張試験を規定化し、複数の構成材料によるクリープ特性試験を実施した。（試験時間～10000時間：一部継続中）（図 - 3）



図 - 3 単独管材料長期試験状況

4) 単独管 施工性試験 :

施工性の評価確認を行うため、評価項目、評価方法の確立(段差・曲がり等)、施工システムのグレード分け、施工管理・品質管理の妥当性確認(温度管理等)を目標に模擬配管施工性試験を実施した。管理項目の評価とともに、安全率への反映に向けて現場形成に伴うバラツキ評価等も実施した。(図 - 4)

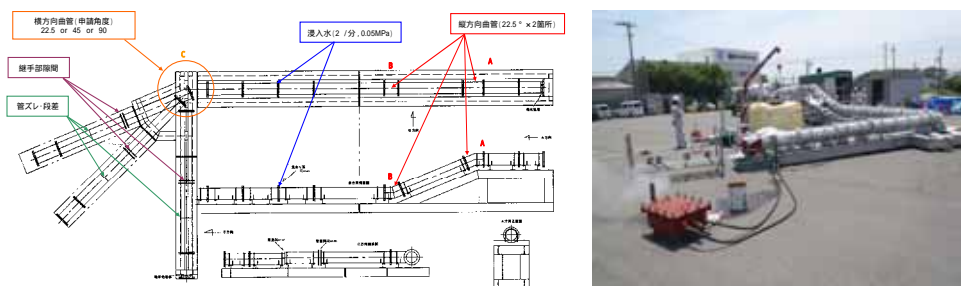


図 - 4 単独管施工性試験状況

5) 複合管 内外圧試験 :

複合管構造設計手法を確立するため、内外圧合成式の適用に関する検証、水密性の考え方及び試験方法の確立、材料諸元、耐荷性、設計照査への反映を目標にジャッキ方式による内外圧同時載荷試験を実施し、内外圧合成式の適用性、限度状態の考え方、及び解析モデルの検証を実施した。(図 - 5)

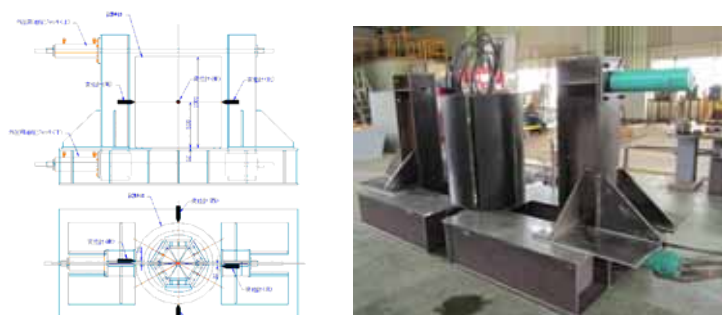


図 - 5 複合管内外圧試験状況

6) 複合管 材料長期試験 :

長期性能の明確化及び評価手法を確立するため、長期繰り返し載荷試験を規定化し、各工法における 200 万回の繰り返し載荷試験と載荷前後の耐荷力の比較検討を実施した。(図 - 6)

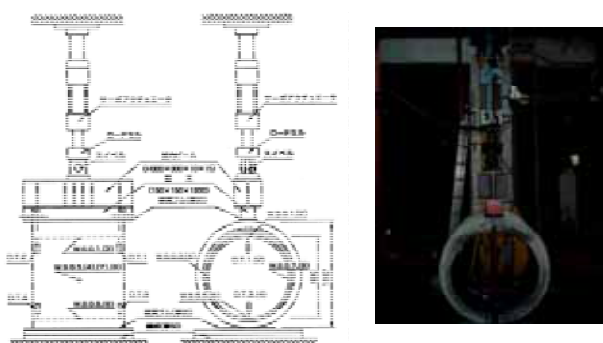


図 - 6 複合管材料長期試験状況

7) 複合管 施工性試験：

施工性の評価確認を行うため、評価項目、評価方法の確立（段差、滞水等）
 施工管理・品質管理の妥当性確認を目標に、模擬配管施工性試験により充てん材の施工性と充てん状況確認を実施した。（図 - 7）

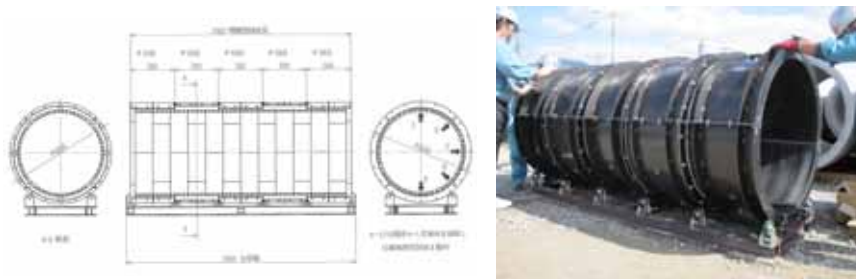


図 - 7 複合管施工性試験状況

(3) 管路更生工法の性能照査における試験方法の確立

各種試験を実施した結果を鑑み、管路更生工法の性能照査（施工前評価）の案を策定し、その一部の項目については試験方法の確認のため、各工法に対し実際の試験を実施し試験方法と照査内容について確認した。表 - 2、3 に策定した性能照査試験案を示す。また表中の欄に（2）1）～7）の各種試験との対応を示す。

表 - 2 管路更生工法（単独管）の性能照査試験（案）

要求性能	性能項目	照査項目	性能照査試験		
			試験項目	試験方法	
水理性	通水性	流速係数(c) 粗度係数(n)	流下能力試験	更生管路による流下性能の確認 (流速・流量)	1)
構造的性	水密性	材料の水密性	内水圧に対する水密性試験	内水圧試験	2)
	耐荷性	耐荷強度	扁平強度(外圧)試験	JIS K 7013に準拠	2)
			曲げ強度	短期曲げ試験	JIS K 7171に準拠
		曲げ弾性	長期(ガラス繊維ありのみ)	JIS K 7039に準拠	
			長期(ガラス繊維なし)	短期試験(短期値 / SF)	
	引張強度	短期	JIS K 7171に準拠	2)	
		長期(ガラス繊維あり)	JIS K 7035に準拠		
	長期(ガラス繊維なし)	JIS K 7116に準拠			
	短期引張試験	JIS K 7161に準拠	2)		
	長期	JIS K 7115に準拠	3)		
耐摩耗性		耐摩耗試験	水流摩耗試験		
地盤追従性	継手部の 曲げ変形性能	継手変形性能試験	既設管曲げ許容角度での水密性試験	2)	
社会・環境性	水質適合性	有害物質の溶出	浸出(溶出)試験	各種溶出試験	
施工性	管内構造 適用性	段差・ズレ・継手 隙間の施工性	施工性試験	条件を設けた模擬管路での施工性試験	4)
	管内状態 適用性	滞水状態の施工性	施工性試験	条件を設けた模擬管路での施工性試験	4)
	線形 適用性	曲がり・勾配線形 における施工性	模擬管路施工性試験	条件を設けた模擬管路での施工性試験	4)
	環境 適用性	粉塵/臭気/騒音/振 動/防爆等の配慮	関連法等を遵守できることの確 認	-	

表 - 3 管路更生工法（複合管）の性能照査試験（案）

要求性能	性能項目	照査項目	性能照査試験		
			試験項目	試験方法	
水理性	通水性	流速係数(c) 粗度係数(n)	流下能力試験確認 (建設技術審査証明等)	更生管路による流下性能の確認 (流速・流量)	
構造的性	水密性	材料の水密性	内水圧に対する水密性試験	材料水密性試験	5)
	耐荷性	耐荷強度	複合管断面の(内/外圧)試験	内外圧試験	5)
		鋼材の引張強度	引張強度試験	鋼材引張試験	
		充填材の圧縮強度	圧縮試験	圧縮強度試験JSCE-G521等に準拠	7)
	耐摩耗性		耐摩耗試験	水流摩耗試験	
付着一体性	付着一体性	付着一体化	付着一体化試験		
	耐疲労性	(長期)繰り返し載荷試験	繰り返し載荷試験前後の外圧破壊試験	6)	
社会・環境性	水質適合性	有害物質の溶出	浸出(溶出)試験	各種溶出試験	
施工性	管内構造 適用性	段差・ズレ・継手隙間の施工性	模擬管路施工性試験確認 (建設技術審査証明等)	条件を設けた模擬管路での施工性試験	7)
	管内状態 適用性	滞水状態の施工性	模擬管路施工性試験	条件を設けた模擬管路での施工性試験	7)
	線形 適用性	曲がり・勾配線形における施工性	模擬管路施工性試験確認 (建設技術審査証明等)	条件を設けた模擬管路での施工性試験	
	環境 適用性	粉塵/騒音/振動等の配慮	試験、建設技術審査証明や関連法等を遵守できることの確認	-	

(4) 管路更生工法の設計手法の検討

構造設計上の工法分類について、形成タイプ別の分類を示すとともに、更生材料の特性、既設管の耐荷力評価、及びそれら相互の関係性から分類のあり方を提示し、それぞれの照査方法の考え方を検討し、その一部について試験により確認した。また単独管の曲管部に生じるシワについての水理性能に与える影響について試験および考察を行った。

1) 単独管の材料物性の確認

単独管における管厚算定式に適用する各工法の物性を確認した。図 - 8 ~ 10、表 - 4 に長期引張クリープ試験による破壊応力と破壊時間の線図（クリープ線図）の例を示す。

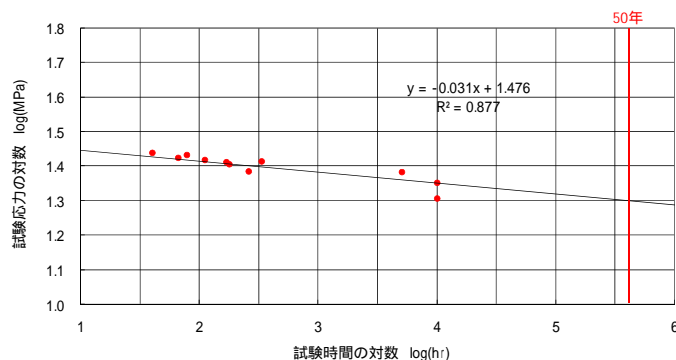


図 - 8 長期引張クリープ試験結果（例）

< なお、一部長期試験に関して完了していないため継続実施中 >

表 - 4 試験結果（曲げ・引張試験：抜粋）

工法略名	種類	曲げ強さ（MPa）	曲げ弾性率（MPa）	引張強さ（MPa）
HLF	熱硬化・非ガラス	54.5	2510	32.6
SGF	熱硬化・非ガラス	82.5	3430	32.6
NPH	熱硬化・ガラス	375	17500	270
ALZ	熱硬化・ガラス	182	7400	60.3
INP	熱硬化・ガラス	85	4060	56.3
SLS	熱硬化・ガラス	184	6330	92.6
PEP	熱可塑・ポリエチ	25.9	1060	24.3



図 - 9 曲げ試験状況



図 - 10 引張試験状況

2) 複合管の内外圧合成式の適用性検討

複合管内外圧試験により複合管に対して内外圧を同時载荷することにより、複合管における内外圧合成式の適用性を確認した。図 - 11 に内外圧試験概要を図 - 12 に結果の例を示す。

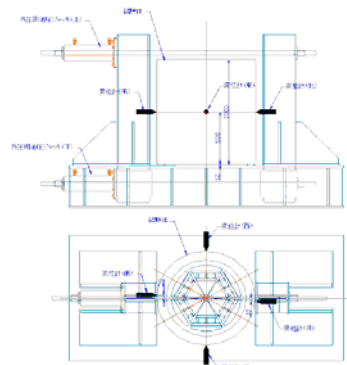


図 - 11 内外圧試験概要

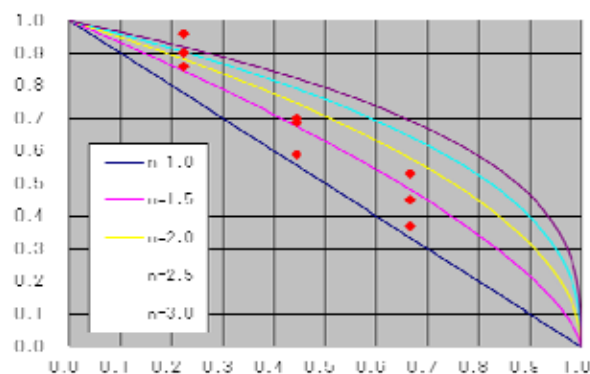


図 - 12 内外圧合成曲線（例）

内外圧合成式

$$\left(\frac{P_H}{P_C/S}\right)^n + \left(\frac{H_p}{H_C/S}\right) = 1$$

3) 単独管の曲管部のシワの水理性能への影響に関する検討

既設管路や屈曲や内周長の局所的な減少等が存在する場合、更生管内面にシワが形成されることがあるが、特に曲管部のシワによる流水阻害の影響は明らかになっていない。そこで本研究ではシワを模した実験管路による水理実験を行い、曲管部内面シワの水理特性からシワ損失水頭を推定するための基礎的検討を行った。図 - 1 3 に測定状況の概要を、図 - 1 4 に測定結果の例を示す。

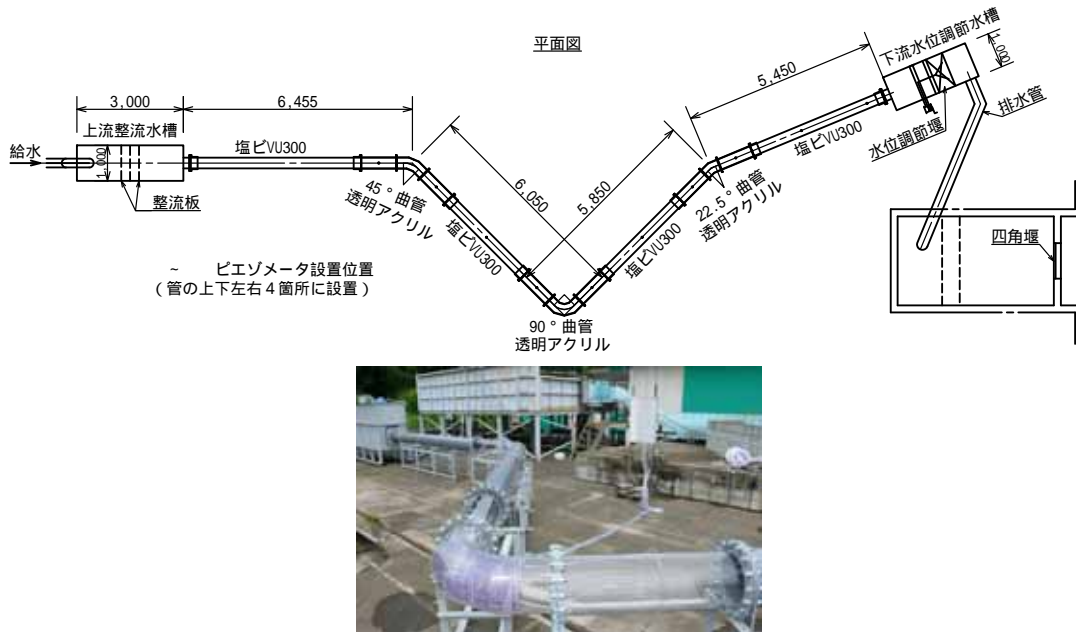


図 - 1 3 水理性能試験概要

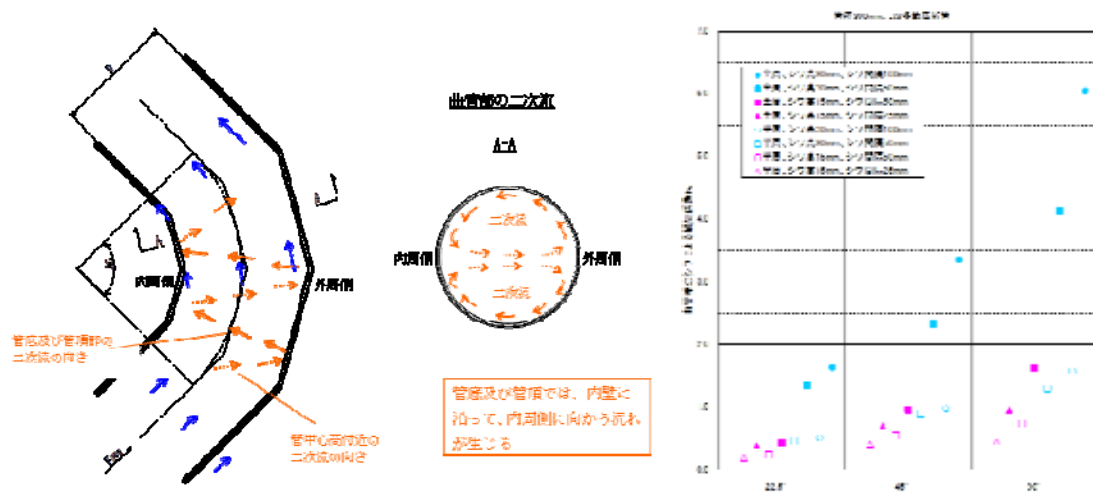


図 - 1 4 曲管部の流況観察結果と損失係数の算定例

2) 複合管について

複合管については充填材に関する長距離圧送試験と模擬管路への注入試験を実施した。

充填材長距離圧送試験

300メートルの距離を圧送した充填材の性状変化（フロー値、圧縮強度等）がないことを確認する。図 - 16 に試験状況を示す。



図 - 16 充填材長距離圧送試験概要

充填材注入試験

充填材が確実に注入され、既設管と更生材が一体化することを確認する。図 - 17 に試験状況を示す。

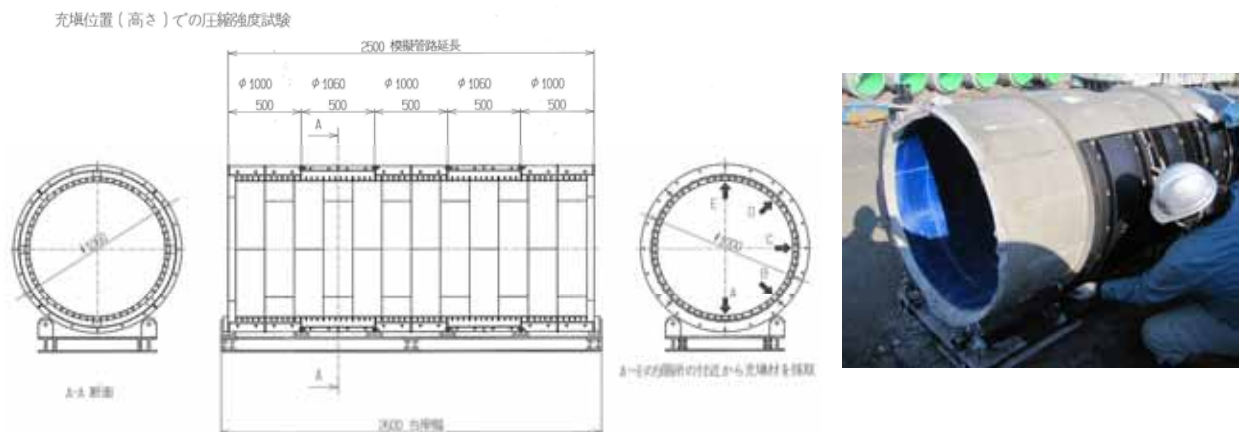


図 - 17 充填材注入試験概要

施工管理マニュアル案

上記結果より、複合管についての施工管理マニュアル（案）を策定し提案した。

1.7 実証試験（現場適用）の概要、結果、課題等

照査技術の開発を主とするので、地上模擬管路評価以外の現場適用実証実験は実施していない。今後、本開発内容をベースとして管更生工法の実現場において本技術が有効であるかの検証を実施していく予定。

2 事業の成果

2.1 成果の内容

1) 管路更生工法の要求性能

管路更生工法の要求性能の項目について示すとともに性能規定の例を示した。

表 - 5 に示す。

表 - 5 管路更生工法の要求性能 (案)

要求性能		性能項目	性能規定の例	反 転/ 形 成 工 法	製 管 工 法	鞘 管 工 法
基本的性能	水利用性	水密性	所定の水密性がある。所要の減水量(漏水量)(/日・cm・km)以下である。			
	水理性	通水性	所要の送配水量が確保できる断面及び流速係数 (C) / 粗度係数(n)の関係を有する。			
	構造的性	耐荷性	所定の内・外圧に対する強度を確保する。 長期的な強度低下を考慮している。			
		耐摩耗性	所定の耐摩耗性がある。			
		付着一体性	耐用年数期間中に母材との一体性がある。	-	-	
個別的性能	構造的性	地盤追従性	地盤の不同沈下や地震動の影響による挙動に追従 する変形能力を有する。			
	社会・環境性	水質適合性	有害物質を溶出しない			
	施工性	管内構造適用性	段差・ズレ・継手隙間の施工性			
		管内状態適用性	滞水状態の施工性			
		線形適用性	施工可能延長、曲がり・勾配線形の施工性			
	環境適用性	周辺環境へ配慮 (粉塵/臭気/騒音/振動/防爆等)				

2) 管路更生工法の照査技術の開発

管路更生工法の照査技術（各要求性能における具体的な照査試験方法）の案を提案した。表 - 6、7 に示す。

表 - 6 管路更生工法（単独管）の性能照査試験（案）

要求性能	性能項目	照査項目	性能照査試験	
			試験方法	照査内容
水理性	通水性	流速係数(c) 粗度係数(n)	流下能力試験	・申告値の確認 ・初期値から勘案される特性値の標準値による水理計算
構造的性	水密性	材料の水密性	内水圧に対する水密性試験	・工法の適正を確認 ・所定の水圧で漏水がない
	耐荷性	耐荷強度	扁平強度(外圧)試験 JIS K 7013	・申告値の確認 ・構造計算による確認
		曲げ強度	短期 JIS K 7171	・申告値の確認 ・構造計算による確認
			長期(ガラス繊維ありのみ) JIS K 7039	・申告値の確認 ・構造計算による確認
			長期(ガラス繊維なし) 短期値 / SF	・申告値の確認 ・構造計算による確認
	曲げ弾性	短期 JIS K 7171	・申告値の確認 ・構造計算による確認	
		長期(ガラス繊維あり) JIS K 7035	・申告値の確認 ・構造計算による確認	
		長期(ガラス繊維なし) JIS K 7116	・申告値の確認 ・構造計算による確認	
	引張強度	短期 JIS K 7161	・申告値の確認 ・構造計算による確認	
		長期 JIS K 7115	・申告値の確認 ・構造計算による確認	
耐摩耗性		水流摩耗試験	・所定の期間相当における所定時間の平均摩耗深さを考慮	
	地盤追従性	継手部の曲げ変形性能	継手変形性能試験	・既設管曲げ許容角度での水密性の確認
社会・環境性	水質適合性	有害物質の溶出	浸出(溶出)試験	・有害物質の検出有無
施工性	管内構造 適用性	段差・ズレ・継手隙間の施工性	模擬管路施工性試験	・許容限度状態に対する施工安定性の確認
	管内状態 適用性	滞水状態の施工性	模擬管路施工性試験	・許容限度状態に対する施工安定性の確認
	線形 適用性	曲がり・勾配線形における施工性	模擬管路施工性試験	・許容限度状態に対する施工安定性の確認
	環境 適用性	粉塵/臭気/騒音/振動/防爆等の配慮	関連法等を遵守できることの確認	・遵守できることなど使用方法の確認 ・施工計画書の妥当性

網掛けの項目は本事業の中での検証は実施していない。

表 - 7 管路更生工法（複合管）の性能照査試験（案）

要求性能	性能項目	照査項目	性能照査試験	
			試験方法	照査内容
水理性	通水性	流速係数(c) 粗度係数(n)	流下能力試験	・申告値の確認 ・初期値から勘案される特性値の標準値による水理計算
構造的性	水密性	材料の水密性	内水圧に対する水密性試験	・工法の適正を確認 ・所定の水圧で漏水がない
	耐荷性	耐荷強度	複合管断面の(内/外圧)試験	・申告値の確認 ・構造計算による確認
		鋼材の引張強度	引張強度試験	・申告値の確認 ・構造計算による確認
		充填材の圧縮強度	圧縮試験	・申告値の確認 ・構造計算による確認
	耐摩耗性		水流摩耗試験	・所定の期間相当における所定時間の平均摩耗深さを考慮
	付着一体性	付着一体性	付着一体化に関する試験確認 建設技術審査証明	・使用限界まで界面が剥離しない
耐疲労性		{長期}繰返し載荷試験	・繰返し載荷後、既設管強度規格値を確保出来る	
社会・環境性	水質適合性	有害物質の溶出	浸出(溶出)試験	・有害物質の検出有無
施工性	管内構造 適用性	段差・ズレ・継手隙間の施工性	模擬管路施工性試験	・許容限度状態に対する施工安定性の確認
	管内状態 適用性	滞水状態の施工性	模擬管路施工性試験	・許容限度状態に対する施工安定性の確認
	線形 適用性	曲がり・勾配線形における施工性	試験確認 建設技術審査証明	・許容限度状態に対する施工安定性の確認
	環境 適用性	粉塵/騒音/振動等の配慮	試験、建設技術審査証明や関連法等を遵守できることの確認	・遵守できることなど使用方法の確認 ・施工計画書の妥当性

網掛けの項目は本事業の中での検証は実施していない。

3) 管路更生工法の設計手法の検討

構造設計上の分類にあたっては、構造部材となる更生管材料の材料特性、既設管路の耐荷力(もしくは剛性)評価、それら相互の関係性、により構成分類を行った。具体的には、主要な構造部材となる更生管材料から区分(表-8)を提案した。

表 - 8 主要な構造部材となる更生管材料の区分

とう性管材料	: FRP・熱可塑性樹脂等
不とう性管材料	: コンクリート系材料

また次に設計上で仮定する既設管の残存耐荷力もしくは残存剛性から区分を提案した。表-9に区分を示す。ただし考え方を提示したものであり、既設管変状と構造性能の関係性について具体的指標を明示するものでない。

表 - 9 既設管の耐荷力(剛性)評価

A	既設管の耐荷力、もしくは剛性を見込まない
B	既設管の耐荷力、もしくは剛性を見込み、更生管とは相互に作用、もしくは一体化する
C	既設管の構造性能に支障はないが、通水・水理面に影響がある(継手部含む)

また、とう性管の構造設計式（応力・たわみ設計式）ならびに不とう性管の構造設計式（内外圧合成式）の基礎検討について、試験結果との整合性も含めて検討した。

3) - 1 とう性管の構造設計式及び設計諸元の検討

単独管で用いる更生材料は偏平試験の結果から直径の数%までたわんでも実質的に損傷を起こさない特性を有していると判断できるため、埋設強度設計は設計「パイプライン」(社)農業農村工学会)のとう性管の設計手法に準拠して算定することとし、用いる設計諸元の検討を行った。以下に計算方法・条件を示す。

a. 内外圧から求める管厚

内外圧から求める管厚は下式により求めるが、更生管には長期にわたって水圧に起因する管周方向の引張応力が作用するため、許容引張応力度として長期引張破断試験から求めた長期（50年）の強度特性を用いることとした。

$$t \geq \frac{0.5D \cdot H + \sqrt{(0.5D \cdot H)^2 + 24\alpha \cdot \sigma_a \cdot M}}{2\sigma_a}$$

- ここに、 t : 応力計算から求められる必要管厚 (mm)
 D : 更生管の内径 (mm)
 H : 設計水圧 (MPa) = 静水圧(MPa) + 水撃圧(MPa) (1MPa = 1N/mm²)
 M : 外圧によって延長 1mm 当たりの管体に発生する最大曲げモーメント (N・mm/mm)
 α : 引張応力/曲げ応力
 σ_a : 許容引張応力度 (N/mm²)
 = 長期引張破断試験から求めた減衰比 × 引張強度の短期保証値 (N/mm²)

b. たわみ率から求める管厚

たわみ率から求める管厚は下式により求める。更生管では基本的に周辺土壌は締め固められているとの考えに基づき、計算に用いるヤング係数は曲げ弾性係数の短期保証値を用いれば良いと結論付けた。その他の諸元については、設計「パイプライン」に準拠する。

$$I = \frac{R^3}{E} \cdot \left\{ \frac{F_1(K \cdot W_v + K_0 \cdot w_0 \cdot R + K_p \cdot W_p) + F_2 \cdot K \cdot W_w - 0.061e'}{\frac{\Delta X}{2R}} \right\}$$

$$t \geq \sqrt[3]{12 \cdot I}$$

- ここに、 X : 水平たわみ量 (m)
 R : 管厚中心半径 (m)
 W_v : 土圧、上載荷重による鉛直土圧 (kN/m²)
 w_0 : 水の単位体積重量 (9.8kN/m³)
 W_p : 更生管の単位面積当たり重量 (kN/m²)

- K, K_0, K_p : 基礎の支持角によって決まる係数
 F_1 : 荷重（活荷重を除く）による変形遅れ係数
 F_2 : 活荷重による変形遅れ係数（ここでは 1.0 とする）
 E : 更生材料のヤング係数 (kN/m²)
 = 曲げ弾性係数の短期保証値 (kN/m²)
 I : 管軸方向を軸とし管長 1m 当たりの管壁の断面二次モーメント (m⁴/m)
 e' : 基礎材の反力係数 (kN/m²)

以上より、とう性管の構造設計においては、内外圧から求める管厚とたわみ率から求める管厚の両方を求め、両方を満足する管厚を採用することとする。

3) - 2 不とう性管の構造設計式及び設計諸元の検討

a. 一般事項

埋設管路では内圧と外圧は同時に作用するのが常であり、内外圧を考慮した合成荷重について設計するのが妥当である。複合管の構造設計においても内外圧合成荷重について検討するものとする。

なお、ここで対象としている複合管は、剛性管であるコンクリート系管路を構造の一部とし、またモルタル等の充填材を使用することから「不とう性管」として検討を行うものとする。

設計基準「パイプライン」における不とう性管は、不とう性管に内外圧が同時に作用するときの関係式である内外圧合成式を用いて許容内水圧を求めるものとされており、複合管の設計にあたっては、内外圧合成式を用いるものとする。

$$\left(\frac{P_H}{P_C/S}\right)^n + \left(\frac{H_P}{H_C/S}\right) = 1 \quad \dots \dots \dots (内外圧合成式)$$

ここに、

P_C : 内圧が 0 のとき、限度状態に至る外圧線荷重(kN/m)

H_C : 外圧が 0 のとき、限度状態に至る内圧(MPa)

P_H : 内圧が H_P のとき、限度状態に至る(許容)外圧線荷重(kN/m)

H_P : 外圧が P_H のとき、限度状態に至る(許容)内圧 (MPa)

S : 安全率

n : 管の種類や構造等によって決まる係数

b. 限度状態の再定義

パイプラインでは貫通ひび割れが生じると漏水や圧力低下に至る。このため内外圧合成式では、一般にひび割れ発生荷重を安全率で除したものが設計に用いられる。

しかし、複合管では水密性の確保は主に表面部材で構築した内管で行い、耐荷性能は既設管路、充填材及び補強部材で確保される。そのため、既設管や充填材にひび割れが発生しても、ただちに漏水や圧力低下に至らない。

そこで、複合管における限度状態の設定にあたっては、一般的に行われているひび割れを限度状態と設定するのではなく、構造物に損傷が生じ、そのまま使用するのが不適当となる状態（損傷（機能維持）の限界状態）と定義し、鉄筋降伏を指標

とするものとした。

c. 照査手法の提案

複合管の許容内水圧は、内外圧合成式をもとに次の手順に沿って算定し、管路に負荷される設計内圧と比較することにより管路の安全性を検討する。

設計水圧と嵌合部の水密性の対比から適用する更生管を仮定する。

嵌合部の耐水圧強度は、耐水圧強度 設計内圧（安全率を含む）の条件を満足するものとする。この場合の安全率は 2 以上とする。

仮定した更生管の外圧強度 P_C 及び内圧強度 H_C の値を求める。

P_C の値は、外圧線荷重（kN/m）とし、構造解析もしくは実験により上記限度状態に至る最大荷重を求める。同様に内圧強度 H_C も構造解析もしくは実験により上記限度状態に至る最大内圧を求める。

なお、ここで用いる外圧強度 P_C 及び内圧強度 H_C は、規格管における規格値に対応するものであり、求められた最大荷重に対して余裕度（ $S_m = 1.2$ ないしは 1.5：検討中）で低減した値を用いる。

埋設条件から複合管に発生する外圧線荷重 P_H の値を求める

管の埋設条件から管体に発生する最大曲げモーメント M を計算し、この最大曲げモーメント M の値を下式により線荷重に換算し P_H とする。

$$P_H = \frac{\pi \cdot M}{R} = \frac{M}{0.318R}$$

ここに、

P_H ：外圧線荷重(kN/m)

M ：外圧によって延長 1m 当りの管体に発生する最大曲げモーメント(kN・m/m)

R ：管厚中心半径 (m)

更生管の許容内圧 H_P を内外圧合成式の関係から求める。

$$H_P = \frac{H_C}{S} \left\{ 1 - \left(\frac{P_H}{P_C / S} \right)^n \right\}$$

ここに、

n ：管の種類や構造等によって変わる係数（1.5～2.0：検討中）

本分会内での試験結果及び解析結果により、 $n=1.5 \sim 2.0$ を採用する。

S ：安全率（1.5 または 2.0：検討中）

長期耐荷性能に影響がないこと（複合管長期分会報告）及び充填材の性状変化及び未充填による耐荷性能に影響がないこと（複合管施工性分会報告）から、「パイプライン」に準拠し 1.5（または 2.0）を採用する。

（継手水密性の場合には 2.0 との規定もあり）

水理設計により求められる設計水圧が H_P に等しいか、若しくは小さければ設定条件を満足するので、仮定した更生管を使用すれば安全である。

もし、設定条件を満足しない場合は、改めて更生管（工法ないしは更生管径）を仮定し、満足するまで上記の手順を繰り返す。

4) 管路更生工法の施工管理・品質管理基準の検討

単独管について

単独管施工性試験の結果を踏まえて施工管理マニュアル（案）を策定。工法種別毎の

- ・品質管理
- ・施工管理
- ・出来形管理

について規定。表 - 11 にその概要を示す。

表 - 11 施工管理マニュアル（案）概要【単独管（反転・形成工法）】

管理種別	管理項目		管理内容
施工管理	施工手順		1) 施工前現場実測工 2) 施工前管路内調査工 3) 事前処理工 4) 施工前管路内洗浄工 5) 更生材挿入工（反転・形成・熱形成） 6) 硬化工 / 加熱・拡径工 7) 冷却工 8) 端部（管口）処理工
	施工管理手法	熱硬化タイプ	・反転時および拡径時の圧力管理 ・硬化時の圧力管理 ・硬化温度管理および硬化時間管理 ・冷却養生時間管理
		光硬化タイプ	・反転時および拡径時の圧力管理 ・硬化時の電源管理 ・硬化時の圧力管理 ・硬化温度管理および硬化時間管理 ・冷却養生時間管理
		熱形成タイプ	・蒸気加熱時の温度管理および圧力管理 ・拡径・冷却時の温度管理および圧力管理
		管口仕上げ（共通）	・自然流下に分けて規定
品質管理	施工前	現場硬化タイプ	硬化性樹脂 / 含浸用基材 / 内外面フィルム等について原材料の受入検査等を実施し、製造証明書を提出
		熱形成タイプ	熱可塑性樹脂について原材料の受入検査等を実施し、製造証明書を提出
	保管 / 搬送・搬入	現場硬化タイプ	材料に応じた保冷 / 遮光措置を講じる 火気等に注意する 等
		熱形成タイプ	長期間の紫外線暴露を避ける 極端な高温 / 低温での保管を避ける 等
	工事記録写真等		工事記録写真撮影要領を記載
出来形管理	出来形検査項目	寸法管理	内径・延長・厚み
		厚み・内径管理	測定手順を記載
		内面仕上がり状況	目視もしくはTVカメラにて検査 シヤや異常の有無を確認

複合管について

複合管施工性試験の結果を踏まえて施工管理マニュアル（案）を策定。工法種別毎の

- ・品質管理
- ・施工管理
- ・出来形管理

について規定。表 - 1 2 にその概要を示す。

表 - 1 2 施工管理マニュアル（案）概要【複合管（製管工法）】

管理種別	管理項目		管理内容
施工管理	施工手順		1) 施工前現場実測工 2) 施工前管路内調査工 3) 事前処理工 4) 施工前管路内洗浄工 5) 製管工 6) 充てん材注入工 7) 端部（管口）処理工
	施工管理手法		・ 嵌合状態の確認 ・ 充てん材性状確認 ・ 充てん材注入圧力管理 ・ 充てん材注入量管理 ・ 完全充てんの確認
品質管理	施工前		表面部材 / 充てん材 / 金属部材について原材料の受入検査等を実施し、製造証明書を提出
	保管 / 搬送・搬入	表面部材	長期間の紫外線暴露を避ける 極端な高温 / 低温での保管を避ける 等
		充てん材	水濡れや結露が無きよう保管する 等
		金属部材	著しい発錆が無きよう保管する 等
	工事記録写真等		工事記録写真撮影要領を記載
施工中	充てん材	試験片を採取し圧縮強度の確認を実施する	
出来形管理	出来形検査項目	寸法管理	内径（高さ・幅）・延長・充てん材厚さ
		厚み・内径管理	測定手順を記載
		内面仕上がり状況	目視もしくはTVカメラにて検査 変形や異常の有無を確認

2.2 目標の達成度

(1) 成果から得られる効果

パイプラインの特性を踏まえた管路更生工法の性能照査型設計における照査技術を開発することで、以下の事業の効果が得られる。

パイプラインの特性を踏まえた、適切な対策工法の内容等を検討した機能保全計画の立案

施設性能に応じた効率的かつ合理的な対策工法の選定による対策コストの縮減設計、施工管理における照査技術の最適化による工事等の品質の向上

(2) 従来技術との比較

1) 比較する従来技術

開削布設替え工法

2) 従来技術に対する優位性

本事業で対象とした管路更生技術は十数工法に及ぶため、各工法での技術のバラツキがあり定量的な優位性は述べにくい。一般的/平均的な技術レベルでの従来技術との優位性を以下に示す。

経済性 一般に開削を伴う布設替え工事に比べ、仮設工事や測量等の規模が縮小出来るため、管路更生工法は経済性に優れる。

工 程 同じく仮設工事や調査設計等の工期が短縮されるとともに、管路布設工程も大幅に削減される。

品 質 管路更生工法は適切な品質管理を行うことで、工場製品と同等の品質を確保出来る。またほとんど掘削を伴わないため埋め戻しに関する品質管理が不要。

安全性 掘削作業が最小限に出来る、もしくは不要であり、工事中の転落や地山の崩落などの危険性が小さい。また近傍埋設管路への影響もほとんど無い。

施工性 地上での作業が最小限であり、占有面積や時間が少ない。ただし施工性は既設管路の状況に影響される場合がある。

周辺環境への影響

地上交通への影響、騒音や振動が最小限に出来るとともに、重機の使用が少ないため、CO₂の排出量も非常に少ない。また布設替えと異なり、既設管路などの廃棄物も最小限に出来る。

2.3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

本研究の適用対象は現在のところ、参画した工法に限定される。よってそれ以外の方法や材料を使用した管路更生工法については別途検討が必要となる。

また本研究成果はパイプラインの補修・補強に関する技術指針の基礎資料として活用可能であるが、上記事項や対象管種、施設状態によっては再検討を要する。

3 普及活動計画

3.1 想定される利用者

- ・国営 / 県営 / 団体営などの土地改良事業者等
- ・設計コンサルタント
- ・管路更生工法施工業者
- ・工法開発者 等

3.2 利用者への普及啓発等の方法

本研究成果をパイプラインの補修・補強に関する技術指針に反映するとともに、官・民主催の各種説明会や講習会等において内容の周知を実施していく予定。

3.3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

3.2 で述べたとおり技術指針の検討や説明会、講習会等のなかで問い合わせ等に対応していく。またそれ以外でも研究開発組合としても今後の各種問い合わせに対応していく予定である。

3.4 特許・実用新案等の申請予定

- (1) 申請者予定者 特になし
- (2) 申請予定時期 同上

4 研究総括者による自己評価

項目	自己評価	自己評価の理由
研究計画の効率性・妥当性	A	管路更生工法への要求事項を、本研究に概ね網羅させることが出来た
目標の達成度	B	ほぼ目標は達成したが、一部計画していた試験において、試験方法の見直し（特に長期試験）等による未完了案件が発生した
研究成果の普及可能性	A	今後管路更生工法は土地改良事業にとって必要不可欠になっていくものと考えられ、本研究成果はその礎となるものである
総合コメント 未完了の試験等、計画からの遅れは多少発生したが、研究の意義は非常に高く、そのなかで目標は概ね達成出来たと考えている		

注) 評価結果欄は、A、B、Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入する。

5 今後の課題及び改善方針

今回の研究対象であるパイプラインは地中埋設構造物であるため、埋設環境や敷設条件等の影響も考慮する必要がある、継続的に構造状態を把握することは技術的、経済的に困難な場合が多い。また、材料の劣化現象を予測する等の材料分野と、健全な管路の挙動を予測する等の構造(力学)分野は、それぞれの分野のなかで研究が進展しており、両分野をまたがる「変状を生じた管路の構造性能」の整理は不足している。これらの問題は、パイプラインの長寿命化技術の体系化にあたり、施設の「性能」に着目し、構造物の耐荷力や耐久性に関わる事項をより合理的に設計していくため、避けられない事項である。

ただし、一足飛びに「構造性能を時間関数として精緻に予測し、構造性の低下を限界状態とした性能照査を行う」ことは困難であり、現段階ではまず、変状が生じたら構造性能にどのように影響するのか、何がどこまで予測可能かを理解することが重要であると考えられる。

よって具体的には以下のような検討の実施が必要になってくると考えている。

1) 管路の変状と構造性能の関係把握

- ・埋設された実管路における具体的な被害からの整理
- ・変状を生じた実管路による試験体や変状を導入した試験体による実験検証

2) 設計・施工計画に供する調査技術

- ・構造性能を評価するための解析法や性能項目、調査項目の整理
- ・調査データのバラツキについて検討
- ・土圧、内水圧等の荷重作用や環境作用の評価方法の検討
- ・設計に供するための調査技術の評価、開発

3) 敷設後経年管に対する作用土圧の考え方

- ・変状を導入した試験体による模型土槽試験による挙動、及び作用土圧の検証

以上