

研究成果報告書

研究開発課題名	超軟弱地盤の農業用パイプラインにおける沈下抑制と環境配慮に関する研究開発
研究総括者	高原源太朗
研究開発組合	タキロンシーアイシビル株式会社 株式会社プライムポリマー
試験研究機関	国立大学法人 神戸大学大学院 農学研究科 国立研究開発法人 農研機構 農村工学研究部門 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

1 事業の実施内容

1. 1 事業の背景及び目的

北海道に広く分布する泥炭を代表とした軟弱地盤は、荷重や地下水位の変動により、地盤沈下や不等沈下等の地盤変状が発生し、農業水利施設に支障が生じるリスクがある。特にパイプラインでは、管体の破損や継手からの漏水により営農に支障をきたす可能性が高い。

したがって、軟弱地盤においては施設の軽量化が地盤沈下を抑制するための重要テーマの一つであり、その対応策として、近年、軽量かつ柔軟で一体化管路を構築でき、耐食性を有する高密度ポリエチレン製のガラス繊維強化ポリエチレン管(JIS K 6799)が徐々に普及している。本研究では、更なる軽量化を目指した新しい管材を開発することを目的とする。

また、管の軽量化は、工期短縮による建設機械の稼働日数低減等のみならず、原料使用料の低減すなわち、CO₂をはじめとした温室効果ガス(GHG)の排出削減や環境配慮に対しての付加価値も期待できる。

さらには、原材料である高密度ポリエチレン樹脂についても、これまでの石油由来のナフサではなく、バイオマス由来のナフサを用いた原材料及びリサイクル樹脂について検討・評価することで、化石燃料の枯渇問題、GHGの排出削減への取組を踏まえた環境への配慮を意識した農業用パイプライン施設の構築に向けた適用性の検討を行う。

1. 2 事業の内容及び実施方法

(1) 内圧用ポリエチレンリブ管の研究開発

ガラス繊維強化ポリエチレン管(JIS K 6799)は、高密度ポリエチレン樹脂を主原料とした**軽量で地盤追従性・耐震性**に優れた管材であり、EF(電気融着)継手により水密性を有した一体化管路を構築できるため、近年、内水圧が作用する農業用パイプライン用途で実績を伸ばしている。しかし軟弱地盤地域の管路設計では、地盤変状を抑えるために現地発生土(泥炭・粘性土系)で埋戻すことが多く見受けられ、鉛直荷重には**管厚を増す**ことで対応してきた。その結果、ポリエチレン管の特長である軽量性が十分に発揮できていないのが現状である。

一方、同じ高密度ポリエチレン樹脂製の耐圧ポリエチレンリブ管(JIS K 6780)は、**軽量性を追求した独自の中空リブ構造**の管壁を呈しており、主として土被り 10m を超える高盛土下のカルバートや軟弱地盤下の埋設管として、大きな外圧が作用する用途で数多くの実績を残している。

そこで、図 1 に示す耐圧ポリエチレンリブ管の管壁構造を内圧用途として用いられる従来管であるガラス繊維強化ポリエチレン管と一体化し、両管の特性を活かした軟弱地盤に適した**研究開発品：内圧用ポリエチレンリブ管**の市場導入を目指す。この管は外圧性能、内水压性能を有しており、その挙動を短期、長期両面で数値的に把握する。また管体としての曲げ性能を数値的に把握する。

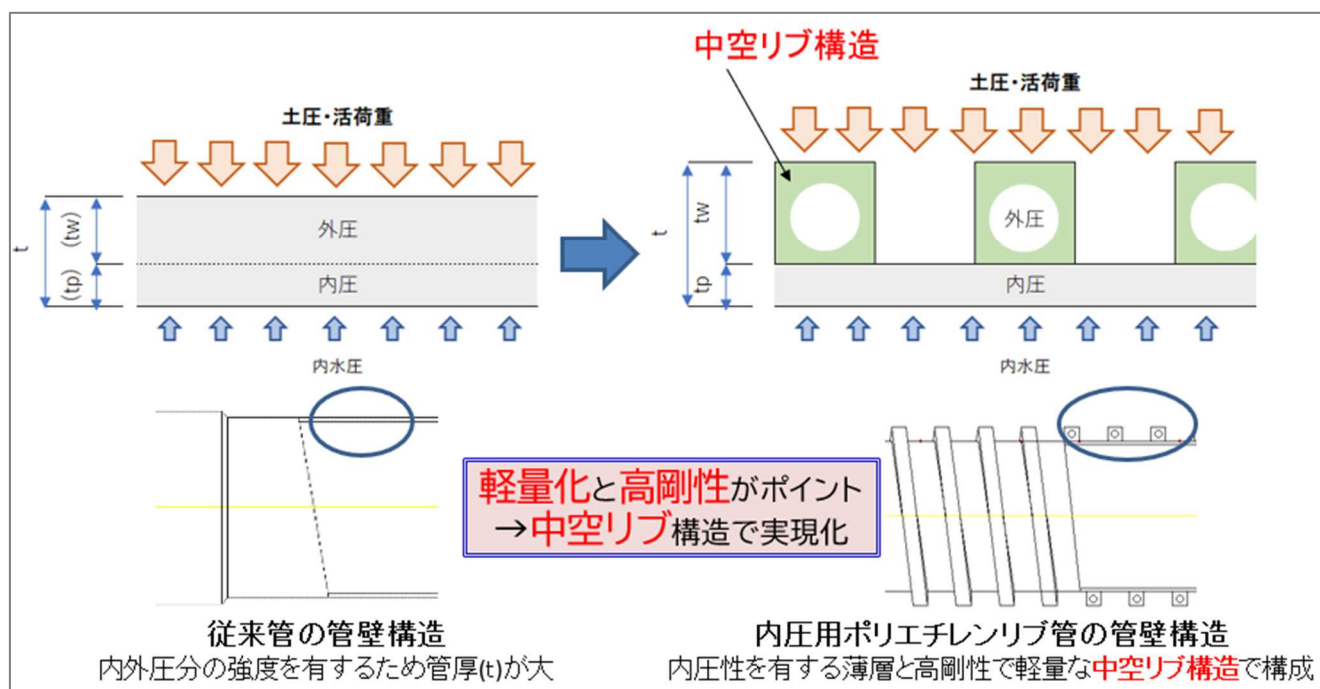


図 1. 研究開発品（内圧用ポリエチレンリブ管）と従来管（ガラス繊維強化ポリエチレン管）の比較

グレー色部材質：ガラス繊維強化ポリエチレン(比重：1.08)

緑色部材質：ポリエチレン(0.94)

中空リブ構造を採用することで、高剛性を維持しながら材料使用量を抑え、比重差を上回る軽量化を実現する

(2) バイオマス由来のナフサを用いた高密度ポリエチレン樹脂及びリサイクル樹脂による GHG 削減効果の研究開発

農業用パイプラインを含めた多岐にわたる用途で用いられてきた高密度ポリエチレン樹脂製の管材は、石油由来のナフサから精製された原料により現在製造されている。近年、地球環境を配慮した取組の 1 つとして、化石燃料の枯渇および GHG 排出削減が重要な課題とされており、プラスチック業界においても、**バイオマス由来のナフサ**を用いたプラスチック製品を市場へ展開している。

そこで、バイオマス由来のナフサを用いた原材料及び**リサイクル樹脂**を使用することで見込まれる GHG 削減量を検証する。

(3) 実証試験

(1) にて研究開発した内圧用ポリエチレンリブ管を軟軟弱地盤地域に埋設し、内圧を負荷するフィールド試験を実施して、その性能および適用性を評価する。

1. 3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

(1) 技術的な問題点

① 内圧用ポリエチレンリブ管の開発

i) 内圧用ポリエチレンリブ管の短期特性

内圧用ポリエチレンリブ管は従来のガラス繊維強化ポリエチレン管のような均等な厚みを持った管壁構造ではなく、中空リブ部をもった異形壁構造である。この構造において、外圧および内水圧に対して従来品と開発品が同様のポテンシャルを有しているか、挙動を把握する必要がある。

また、管軸方向に曲げ応力が作用した際の特異的な応力分布や挙動を把握し、軟弱地盤への適用性を把握する必要がある。

ii) 内圧用ポリエチレンリブ管の長期特性

異形壁構造の管の長期特性として、外圧・内水圧に対してクリープ性能を確認する必要がある。

iii) 内圧用ポリエチレンリブ管の施工および埋設挙動

基礎試験により得られた内圧用ポリエチレンリブ管の特性に基づいて、現地条件から埋設管の設計を行い、施工後の挙動調査から設計の妥当性を検証する。

② バイオマス由来のナフサを用いた原材料及びリサイクル樹脂の GHG 削減効果の検証

石油由来のナフサを使用して製造している既存品では、環境配慮した材料の研究開発が進んでいない。よって、バイオマス由来のナフサを使用することで削減が見込まれる CO₂ 排出量について、以下工程での CO₂ 排出量を算出し、既存品との差異を試算する。

- ・樹脂材料の製造工程
- ・材料の輸送(材料メーカー工場 → パイプメーカー工場)
- ・パイプの製造工程

また、更なる CO₂ 排出量削減を目的とし、リサイクル原料の利用を検討した。

リサイクル樹脂を内圧用ポリエチレンリブ管に適用するためには、新たに

PE100 相当の認証を取得する必要がある。

(2) 対応策

① 内圧用ポリエチレンリブ管の開発

i) 内圧用ポリエチレンリブ管の短期特性

内圧用ポリエチレンリブ管の短期特性を把握するために、外圧に対しては扁平試験により曲げ剛性を、内圧に対しては破壊試験により耐水圧性試験を実施する。

また、管軸方向の曲げ特性を把握するために、3 点曲げ試験を実施し、従来のガラス繊維強化ポリエチレン管との曲げ特性を比較し、適用範囲を明確にする。

ii) 内圧用ポリエチレンリブ管の長期特性

異形壁構造の管の長期特性を把握するために、外圧に対しては外圧クリープ試験を、内圧に対しては熱間内圧クリープ試験を実施する。

iii) 内圧用ポリエチレンリブ管の埋設挙動(実証実験)

基礎試験結果を踏まえ、現地フィールドにおいて内圧用ポリエチレンリブ管を埋設し、超軟弱地盤における埋設挙動を把握するとともに、従来のガラス繊維強化ポリエチレン管との比較を行い、沈下抑制の効果を検証する。

1. 4 事業の実施体制

本事業における試験研究機関と事業実施主体との役割分担

【役割分担表】

個別研究テーマ	試験研究機関			事業主体機関	
	神戸大学	農研機構	寒地土木 研究所	タキロンシー アイシビル(株)	(株)プライ ムポリマー
内圧用ポリエチレン リブ管の短期特性	◎	○	○	◎	○
内圧用ポリエチレン リブ管の長期特性	○	◎	○	◎	○
実証実験	○	○	◎	◎	○
設計施工マニュアル の作成	◎	◎	◎	◎	○
バイオマス由来原料お よびリサイクル樹脂に よるGHG削減効果	◎	◎	◎	○	◎
リサイクル樹脂の物 理特性	◎	◎	○	○	◎

(注) ◎は主担当、○は担当

国立大学法人 神戸大学大学院 農学研究科

[これまでの連携実績]

H27～29 泥炭地等超軟弱地盤における農業用パイプラインの安全性向上技術に関する研究開発(平成27年度官民連携新技術研究開発事業)

[主たる役割]

- ・ 内圧用ポリエチレンリブ管の短期特性に関する室内試験に対する指導、アドバイス
- ・ 内圧用ポリエチレンリブ管の設計、施工方法に関する指導・アドバイス
- ・ GHG削減効果、リサイクル樹脂に対する指導・アドバイス

国立研究開発法人 農研機構 農村工学研究部門

[これまでの連携実績]

H21～23 高耐圧ポリエチレン管の耐久性評価と曲線配管工法の開発(共同研究)

[主たる役割]

- ・ 内圧用ポリエチレンリブ管の長期特性に対する室内試験に対する指導、アドバイス
- ・ 内圧用ポリエチレンリブ管の設計、施工方法に関する指導・アドバイス
- ・ GHG削減効果、リサイクル樹脂に対する指導・アドバイス

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

[これまでの連携実績]

H27～29 泥炭地等超軟弱地盤における農業用パイプラインの安全性向上技術に関する研究開発(平成27年度官民連携新技術研究開発事業)

[主たる役割]

- ・内圧用ポリエチレンリブ管の実証実験に対する指導、アドバイス
- ・内圧用ポリエチレンリブ管の設計、施工方法に関する指導・アドバイス
- ・GHG削減効果に対する指導・アドバイス

1. 5 事業の年度計画と実績

個別研究テーマ	研究内容	2022年度 令和4年度	2023年度 令和5年度	2024年度 令和6年度
内圧用ポリエチレンリブ管の短期特性	・ 偏平試験 ・ 破壊試験 ・ 3点曲げ試験			
内圧用ポリエチレンリブ管の長期特性	・ 熱間内圧クリープ試験 ・ 外圧クリープ試験			
実証実験	・ フィールド試験準備 ・ フィールド試験			
設計施工マニュアルの作成	・ 設計施工マニュアル作成			
バイオマス由来原料によるGHG削減効果	・ GHG 排出量の算定			
リサイクル樹脂によるGHG削減効果	・ GHG 排出量の算定			
リサイクル樹脂の物理特性	・ 各種物理試験			

注) は計画、 は実績。

1. 6 研究開発の概要、結果、課題等

(1) 内圧用ポリエチレンリブ管の開発

① 内圧用ポリエチレンリブ管の短期特性

1) 偏平試験

研究開発品の外圧性能を検証するため偏平試験を実施した。また、外圧性能が同等の従来品と比較し、重量低減の効果を合わせて検証した。

・試験方法

研究開発品を耐圧試験機にて荷重を加え、内径 5%偏平した段階での荷重を読み取る。読み取った荷重を試験片長さより 1m 当たり換算した試験値を **5%たわみ荷重**とする。5%たわみ荷重より式①および式②で **曲げ剛性(EI)**を試験値から計算する。予め設定した設計曲げ剛性と比較して試験より計算される曲げ剛性が大きいことを確認する。偏平試験は破壊するまで継続し、**破壊たわみ率が 50%**

以上であることを確認する。なお試験速度は 10mm/min とした。

$$\text{耐圧荷重} = \frac{1}{0.149} \times \text{内径変位量} \times \text{SR} \cdots \text{式①}$$

$$\text{曲げ剛性(EI)} = \text{SR} \times \text{管中心半径}^3 \cdots \text{式②}$$

※SR：環剛性 (kN/m²)

・試験体

口径：研究開発品 呼び径 600、1000、1500

品種：各口径 SR140 相当品

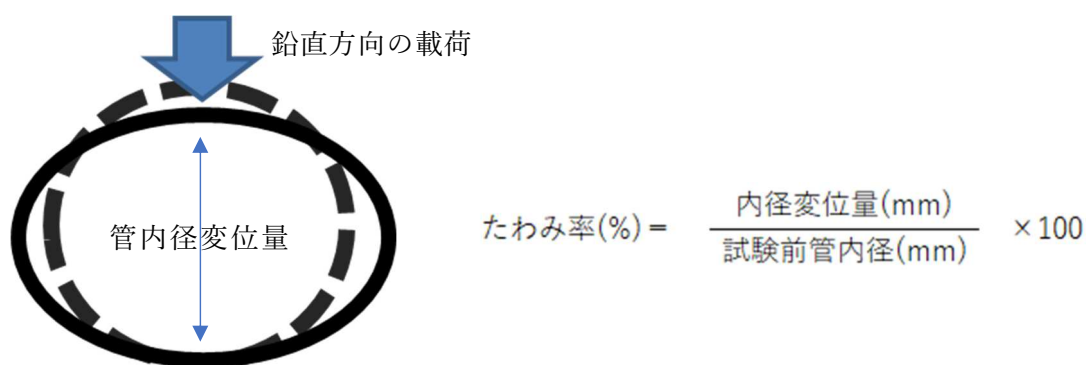


図 2. たわみ率略図

・試験結果

表 1 に各口径ごとの試験値(耐圧強度)と、設計および試験より計算した曲げ剛性を示す。試験を実施した 3 口径すべてにおいて、事前に設計した設計 EI(曲げ剛性)を上回った。3 口径ともたわみ率 50%では破壊は確認できず、それ以上のたわみ率(54~61%)で破壊を確認した。

また、SRが同等のガラス繊維強化ポリエチレン管と重量を比較した結果、およそ 15%軽量化(φ 600 比較 開発品 60kg/m 従来管 75kg/m)を達成した。

表 1. 偏平試験結果

	φ 600	φ 1000	φ 1500
5%たわみ荷重 (KN/m)	試験値：39.6 規格値：28.2	試験値：69.1 規格値：47.0	試験値：71.5 規格値：70.5
Ei値 (KN・m ² /m)	設計EI：4.43 EI逆算：6.28	設計EI：20.34 EI逆算：29.91	設計EI：68.32 EI逆算：69.44
破壊時の破壊面	PEGF部 (たわみ率61%)	PEGF部 (たわみ率55%)	PEGF部 (たわみ率53.8%)

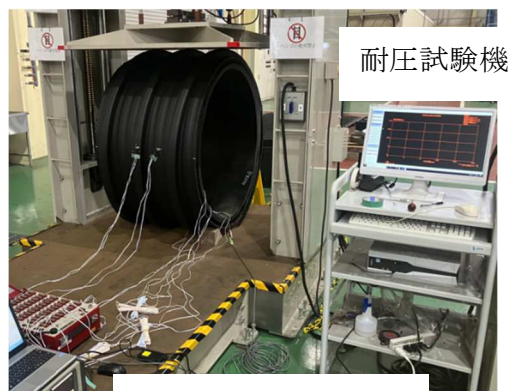
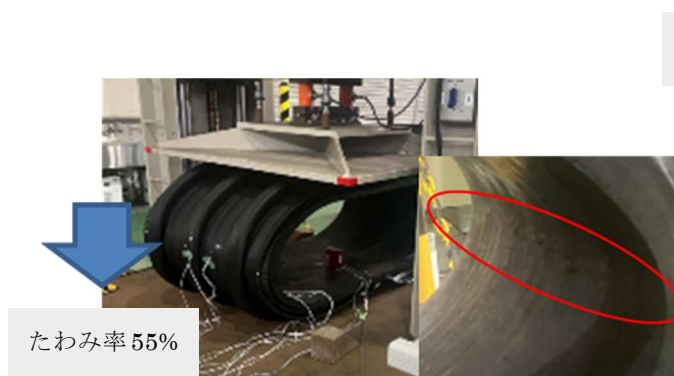
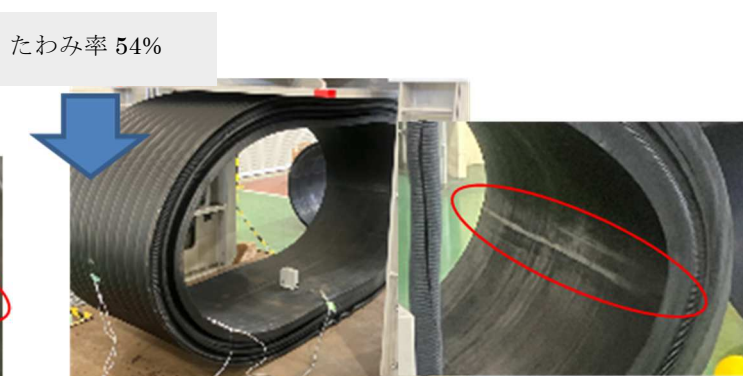


図 3. 偏平試験

図 4. ϕ 1000 偏平試験(破壊面)図 5. ϕ 1500 偏平試験(破壊面)

2) 破壊試験

研究開発品の耐内水圧性能を検証するために破壊試験を実施した。

・試験方法

図 6 に示す通りの EF 継手部を中心に配置して、両側に中空リブ 3 ピッチ分の試験体(両端はフランジで封かん)に一定間隔(0.2MPa/分)で水圧を加える。設計水圧である 0.5MPa 以上に到達した時点で 3 分間保持し、減圧率が 20%以内であることを確認する。その後、同間隔(0.2MPa/分)で管内水圧を上げていき、破壊水圧が設計破壊水圧である 1.92MPa 以上であることを確認する。

また、図 8 で示す位置にひずみゲージを貼付け、応力集中などの影響を確認する。

・試験体

口径：呼び径 ϕ 600

品種：SR140 相当品

長さ：1840mm+両側フランジ部

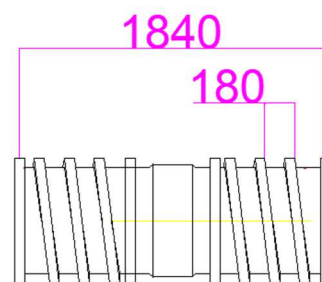


図 6. 破壊試験試験体略図



図 7. 破壊試験試験体

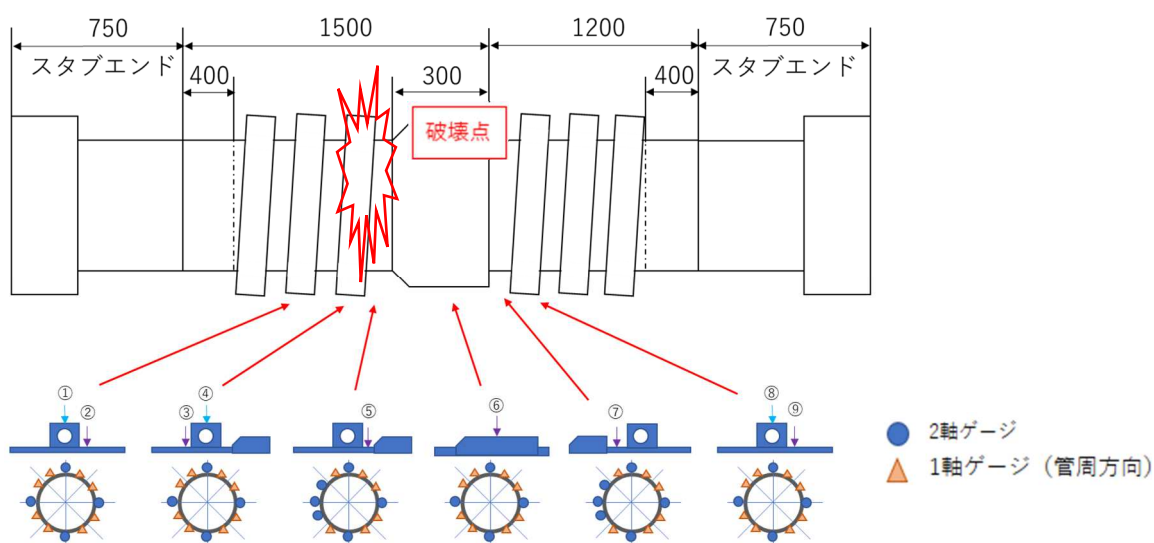


図 8. 破壊試験ひずみゲージ貼付け位置

・試験結果

図 9 に示す通り、3 分保持の試験では 0.75MPa から 0.70MPa の減圧であり減圧率 7% ($0.75\text{MPa} \rightarrow 0.70\text{MPa}$) であり水压保持を確認できた。また破壊水压は 2.7MPa 以上となり **設計破壊水压以上** であることを確認した。

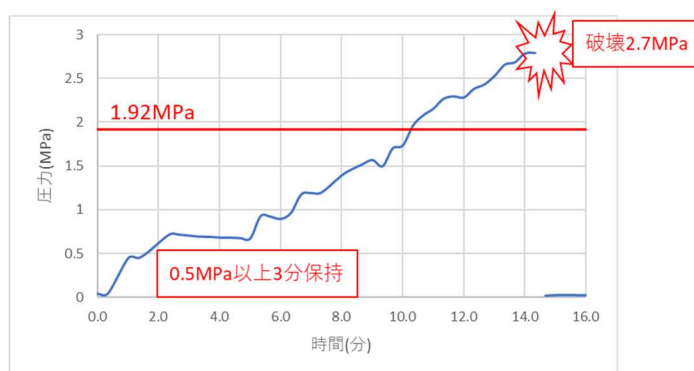


図 9. 破壊試験管内圧力推移

また、破壊部付近のひずみは、破壊部(30 度)より 30 度ズレた 0 度位置の管軸

方向のひずみが高くなっていることが確認でき、更には試験体の破壊モード(管周方向に破断)より管軸方向の引張による破断していることが確認された。これは両端を封かんするフランジに加わる圧力により管軸方向のスラストの影響である。一方、管周方向のひずみは測定位置による差異は見られず、内水圧に対しては中空リブ構造の管では**応力集中が生じていない**ことを確認した。

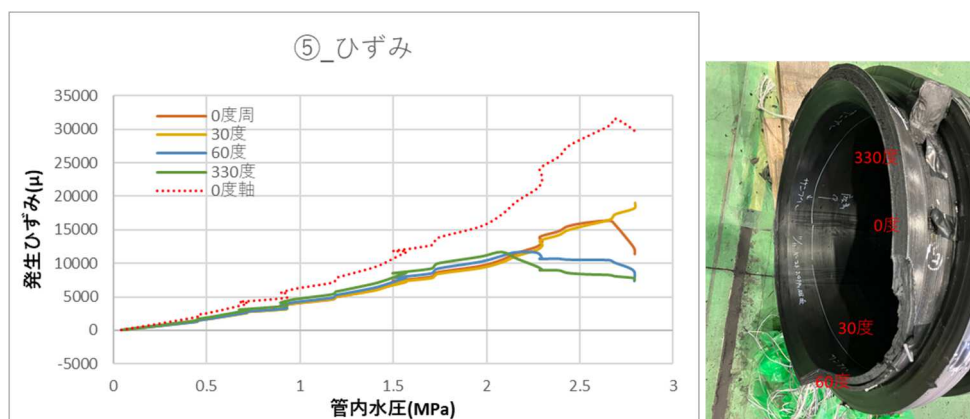


図 10. 破壊試験発生ひずみ推移

3) 3 点曲げ試験

研究開発品の管軸方向曲げに対する曲げ特性を把握するために 3 点曲げ試験を実施した。

・試験方法

図 11、12 に示す通り、試験体の両端部より 1m の位置に支点間距離が 10m になるように試験体を設置し、その中央部を油圧シリンダーにて水平方向に変位させる。研究開発品中央部管軸方向の発生ひずみを測定し許容ひずみである 30,000 μ に達する変位量を確認する。その変位量より図 13 で示す曲率半径を算出する。

・試験体

口径：呼び径 $\phi 600$

品種：SR140 相当品

長さ：12m

① 通常部(1m フランジ管+2.5m 管+5m 管+2.5m 管+1m フランジ管)

隣接する管は butt 融着にて接続し、12m 一体管とする。

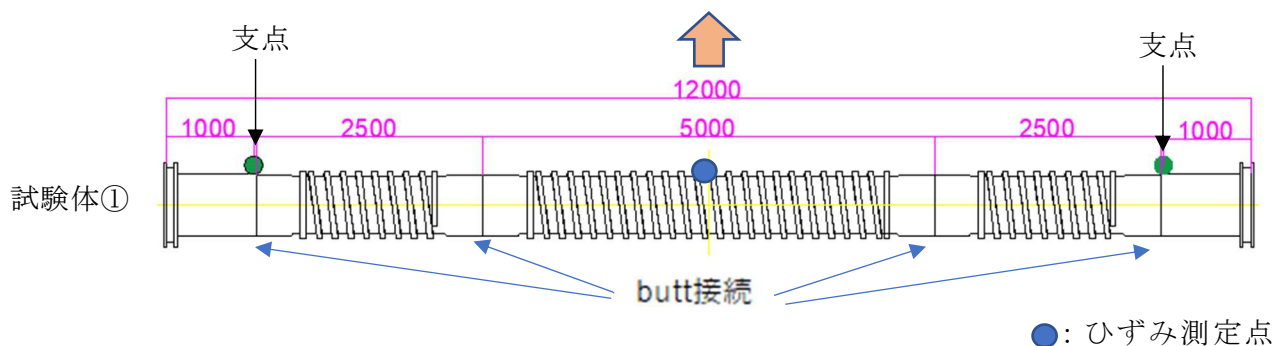


図 11-1. 3 点曲げ試験 試験体①

② EF 継手部(1m フランジ管+5m 管+5m 管+1m フランジ管)

隣接する管は中央部が EF、その他が butt 融着にて接続し、12m 一体管とする。

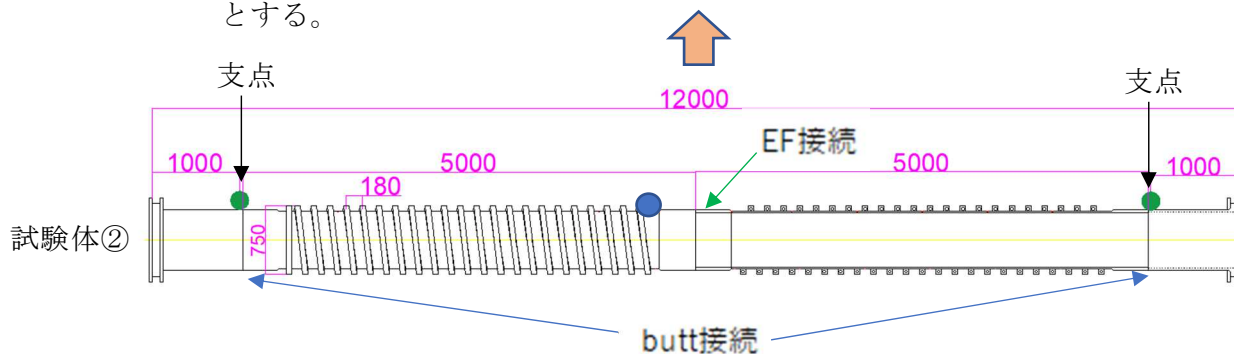


図 11-2. 3点曲げ試験 試験体②



図 12. 3点曲げ試験

油圧ジャッキにて水平方向に変位させる

支点間距離: 10m

R : 曲率半径(mm)
 x : 変位量(mm)
 L : 支点間距離(mm)

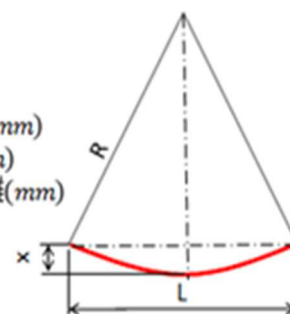


図 13. 曲率半径

・試験結果

図 14 で示す通り、通常部では変位量 520mm で発生ひずみが 30,000 μ に到達した。変位量より、曲率半径を算出すると 33D となる。これより安全率 2 とすると、**70D** までは**許容曲率半径**として安全であることを確認した。

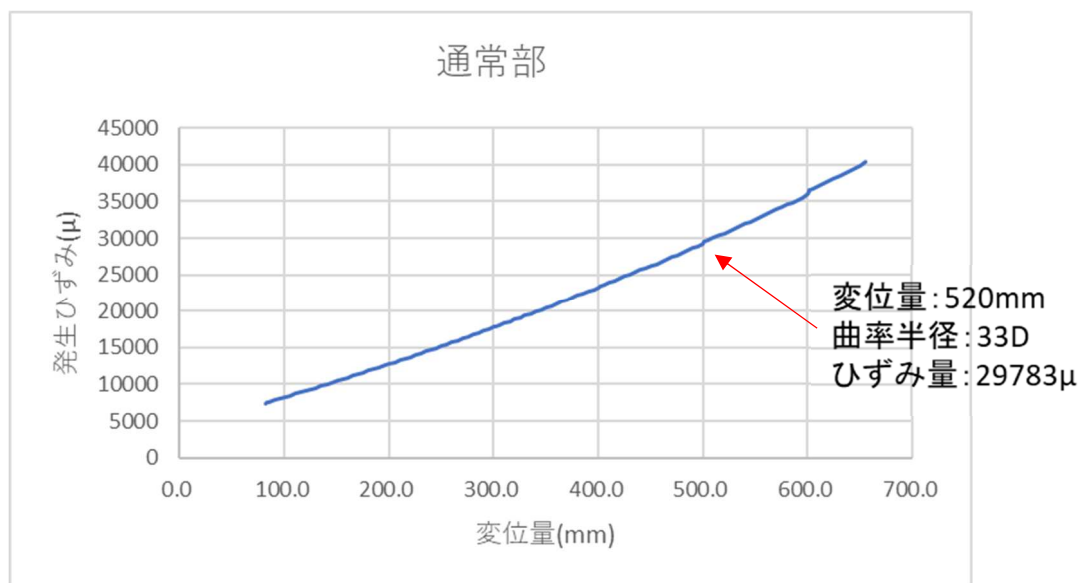


図 14. 3点曲げ試験結果(通常部: 試験体①)

また、EF 継手部の結果を図 15 で示す。変位量 520mm では発生ひずみが 17,400 μ であり、通常部より発生ひずみが少ないことが確認された。また、30,000 μ に到達したのは変位量が 880mm のときであった。

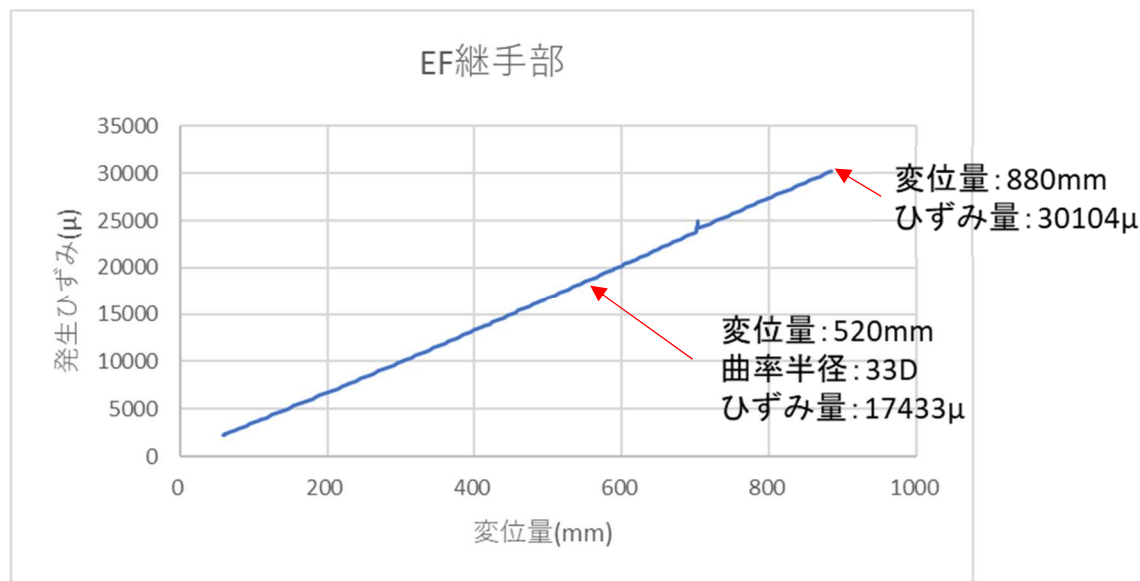


図 15. 3 点曲げ試験結果(EF 継手部：試験体②)

② 内圧用ポリエチレンリブ管の長期特性

1) 熱間内圧クリープ試験

研究開発品の長期内水圧性を検証するため熱間内圧クリープ試験を実施した。

・試験方法

参考で示すガラス繊維強化ポリエチレン管の JIS 規格(JIS K 6799)に準拠した試験条件で実施した。

試験時間：1000h

試験温度：80℃(水槽内水温)

試験圧力：円周応力 7.0MPa(試験水压 1.1MPa)

評価方法：破壊なし

・試験体

口径：呼び径 ϕ 600

品種：SR140 相当品

長さ：2580mm+両側フランジ部

$$P = \frac{2\sigma}{R+1}$$

ここに、
 P ：試験圧力 (MPa)
 σ ：管の円周応力 (MPa)
 R ：内径厚さ比 SDR

表 6-内圧クリープ試験条件

温度 ℃	円周応力 MPa	試験時間 h
20	24	100
80	9	165
80	7	1 000

参考. JISK6799 試験条件

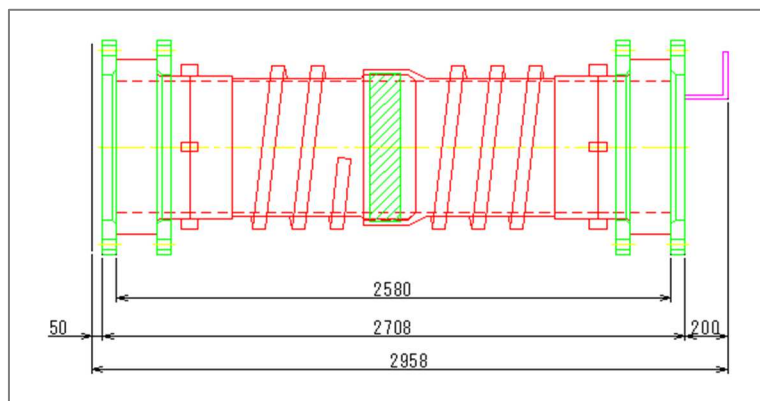


図 16. 熱間内圧クリープ試験試験体

- ・試験結果

1000h 経過後に破壊は確認できなかった。



図 17. 熱間内圧クリープ試験

2) 外圧クリープ試験

研究開発品の長期外圧性能を検証するため外圧クリープ試験を実施した。

- ・試験方法

短期荷重により内径 3%偏平させる荷重を図 18 で示す治具にて瞬間的に加えた後に、10000h 放置し内径変位量を測定した。試験は気中載荷方式とした。

- ・試験体

口径：呼び径 $\phi 600$

品種：SR140 相当品

- ・試験結果

試験結果を図 19 で示す。気中載荷試験であるため、1. 7 実証試験の値と比較すると鉛直変位量の増加量が多い。载荷初期の変位量が想定していた 3 % よりも大きく、試験結果については改めて検討する。



短期 3%初期荷重

図 18. 外圧クリープ試験

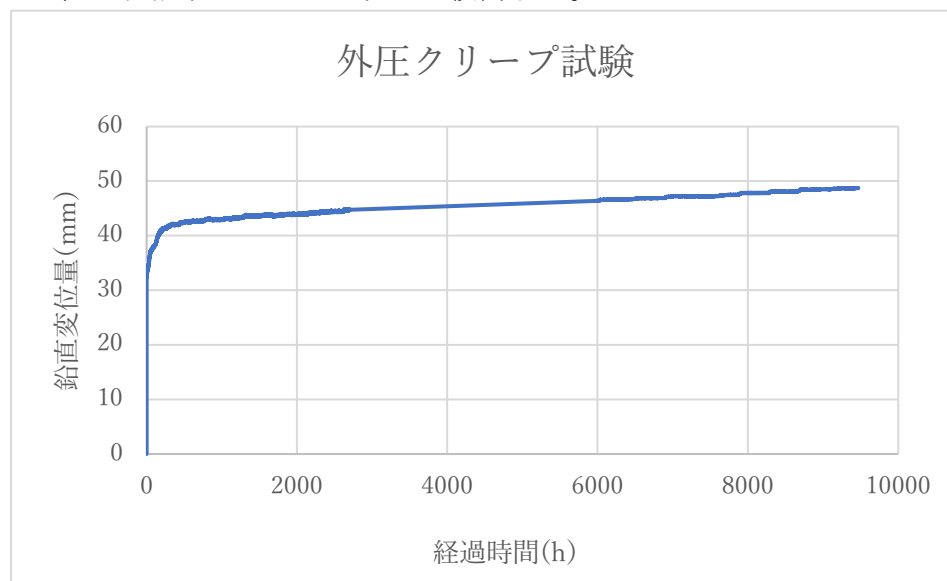


図 19. 外圧クリープ試験結果

1. 7 実証試験（現場適用）の概要、結果、課題等

(1) 概要

実証実験として、北海道の泥炭地盤において研究開発品を埋設し、軟弱地盤における埋設挙動を把握するとともに、従来の PEGF 管との比較を行い、沈下抑制の効果を確認した。また、ひずみゲージにより、管に生じるひずみを長期的に測定した。



図 20. 試験フィールド位置



図 21. 試験施工状況

地盤条件

N 値=3

湿潤密度：0.993g/cm³乾湿密度：0.234g/cm³

含水率：326.3%

施工完了日：2023 年 7 月末日

計測期間：2023 年 8 月～2024 年 10 月

(2) 供試管および施工断面

口径：呼び径 φ 600

品種：SR140 相当品

長さ：32m(1m フランジ管+10m 管+10m 管+10m 管+フランジ管 1m)

10m 管と 10m 管は EF 継手により接続(2 か所)



図 22. 供試管布設状況



図 23. EF 継手部融着状況

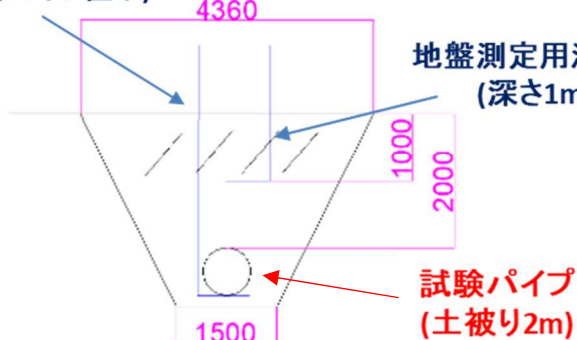
管沈下測定用沈降棒
(試験パイプ直下)

図 24. 施工断面



図 25. 沈下測定棒

試験フィールドには比較用に呼び径φ600-SR 同等のガラス繊維強化ポリエチレン管を並列に敷設し、埋設挙動の比較を行った。



図 26. 供試管埋戻し完了

供試管には、10m 管 1 本当たり管頂、管底 14 か所ずつ(30m で $42 \times 2 = 84$ か所) 管軸方向に 1 軸のひずみゲージを貼付けて、管軸方向挙動を確認した。

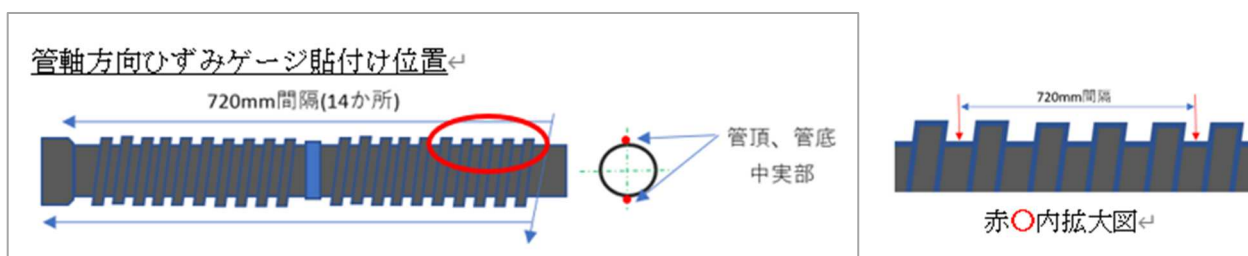


図 27. 供試管 1 本当たりの管軸方向ひずみゲージ位置



図 28. 供試管 1 本当たりの管軸方向ひずみゲージ貼付け状況

32m に接合した試験体の中央には、図 29 で示す位置で管周方向に 1 軸のひずみゲージを貼り付けて挙動を確認した。

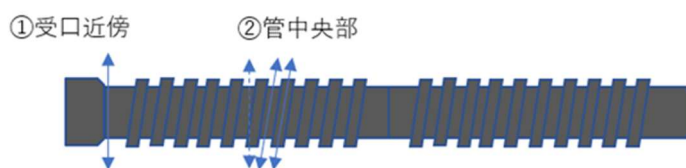


図 29. 管周方向測定用のひずみゲージ貼付位置
(→がひずみゲージを貼り付けた方向)



図 30. 管周方向測定用の
ひずみゲージ貼付状況

(3) 試験結果

1) 管および地盤の沈下と地下水位の状況

地盤変状、管沈下量および地下水位について図 31 に示す。施工直後に研究開発品、既存品の初期沈下や地盤の圧密沈下を観測したが、その後はほぼ沈下は観測されなかった。地下水位については GL 面に非常に近く、地下水位の高い地盤であった。沈下量に関しては、既存品の 0.2m に対し、研究開発品は 0.1m と約 50% となり、軽量化による大幅な沈下抑制効果が確認できた。

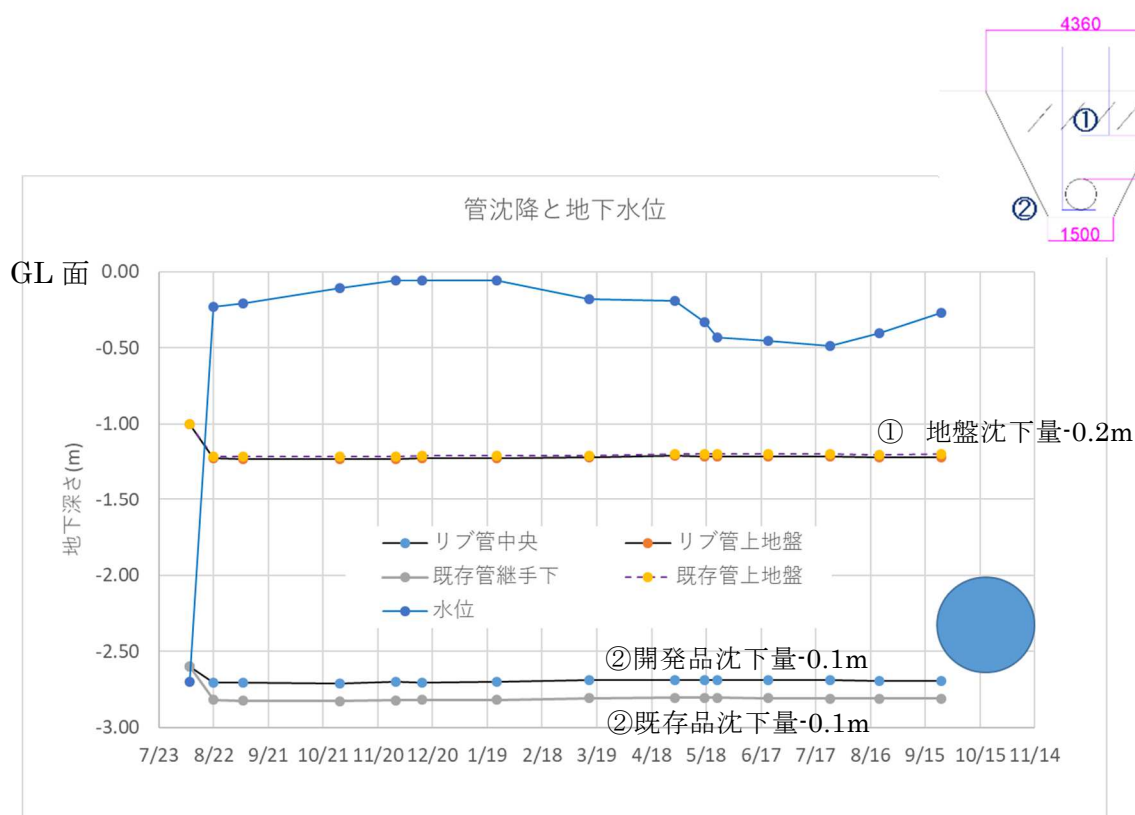


図 31. 管および地盤沈下と地下水位の比較

管周方向ひずみでは、リブ上の管頂で最大ひずみ -2034μ 、観測期間 15 か月で増加したひずみの最大量は 633μ であった。管表面では最大ひずみ 1225μ 、増加したひずみの最大量は 463μ でありリブの方が発生ひずみは大きかった。

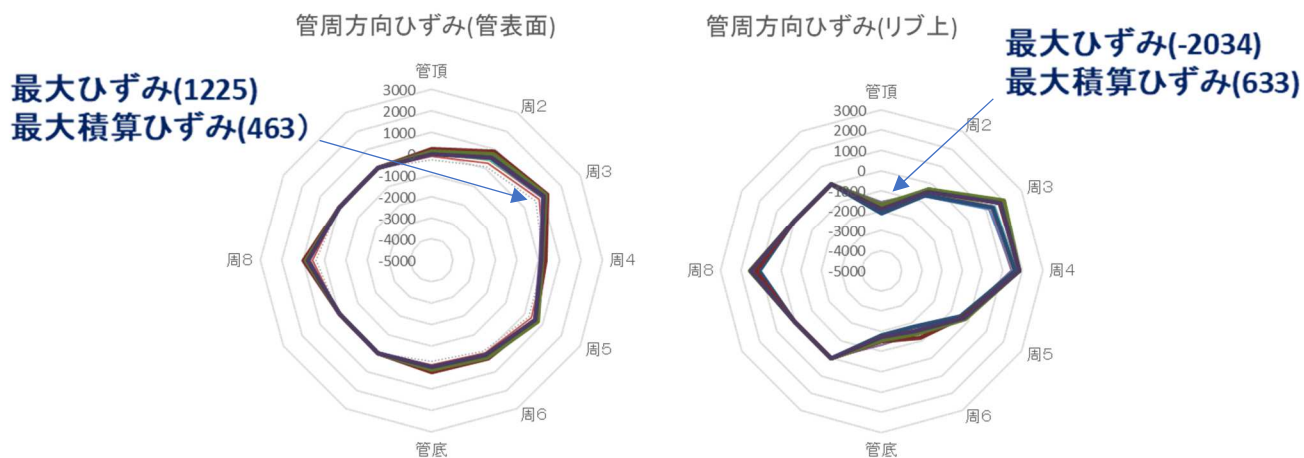


図 32. 管周方向ひずみの発生状況

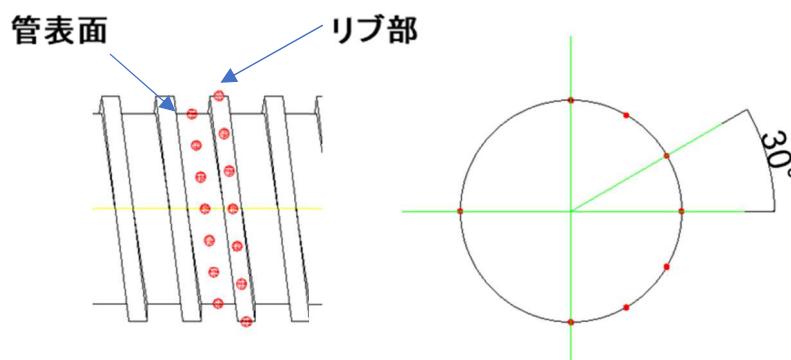


図 33. 管周方向ひずみ測定位置

管軸方向ひずみの挙動を図 34、比較する既存品の管軸方向ひずみを図 35 で示す。いずれにおいても許容ひずみである 30000μ と比較し十分に安全であることを確認した。また、研究開発品と既存品を比較してもほぼ発生ひずみに差異は見られなかった。

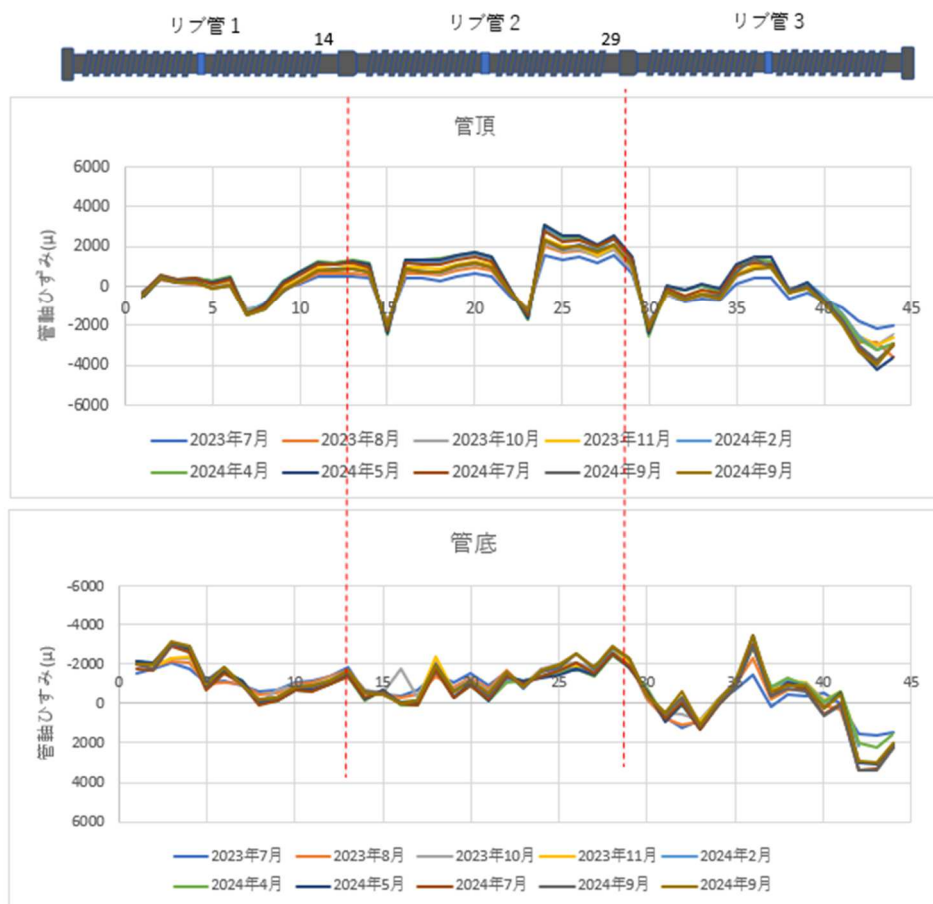


図 34. 管軸方向ひずみ測定結果(研究開発品)

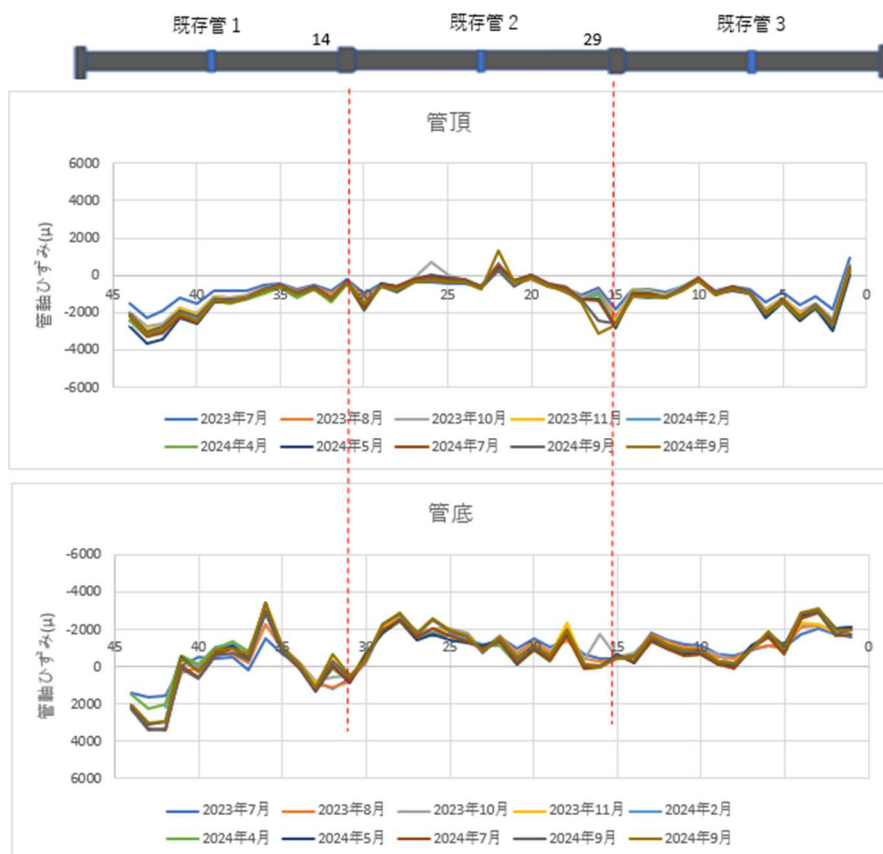


図 35. 管軸方向ひずみ測定結果(既存品)

管たわみについて、図 36 に示す。施工したフィールドにおける測定した地盤条件により算出したたわみ量は 1%であった。実際の管たわみは 0.6%程度であり、設計施工マニュアルに記載予定の設計方法を用いれば、安全な設計が可能であることが確認された。また既存管と比較しても同程度のたわみ量であった。

試算を行った実際の地盤条件

設計水圧：0.2MPa

土被り：2m

土の単位重量：10kN/m³

受動抵抗係数 e' ：1500kN/m²

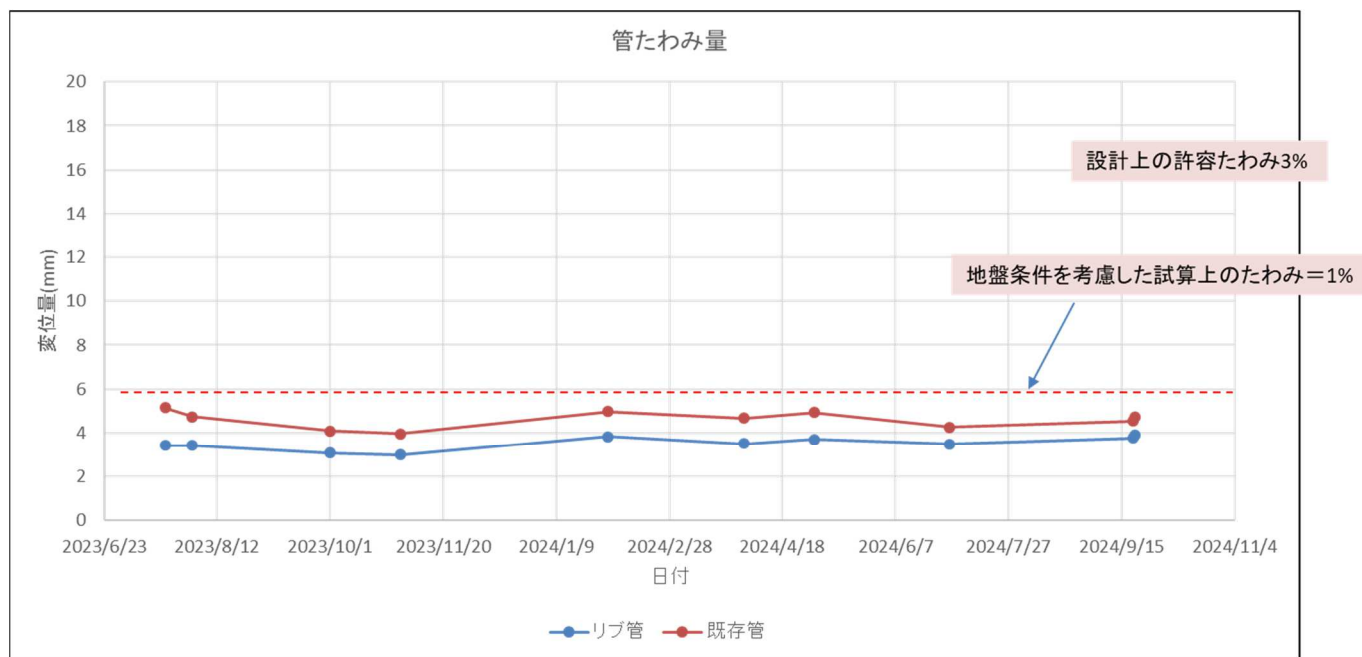


図 36. 管たわみ量の比較

(4) 考察

以上より、高い耐水性・耐圧性を有する軽量なリブ管(内圧用ポリエチレンリブ管)を開発し、軟弱地盤において不等沈下が生じにくく、高耐震性をもつ農業用パイプの敷設が可能となった。以下に研究開発品の特長をまとめる

- ・軽量化(既存品比 15%減)した構造で耐外圧性能を満足。
- ・耐内水圧性能 最大 0.5MPa
- ・許容曲率半径 70D (D：管外径)
- ・地盤内でも上記性能を発揮する
- ・沈下量は既存品の半分

1. 8 バイオマス由来のナフサを用いた原材料及びリサイクル樹脂の GHG 削減効果の検証、およびリサイクル樹脂の管材への適用性確認

今研究では軽量化以外に更なる環境負荷低減効果の取出しとして**バイオマス**を使用した原料および**リサイクル樹脂**の検討を行った。(図 37 参照)

バイオマス由来の原材料については、**マスバランス方式**にて算出する。マスバランス方式とは、原料製造メーカーにおいて原料製造に使用しているバイオマス由来の原料権利を購入する方式であり、実際の使用原料は既存原料にできるというメリットがある。半面、価格が高いというデメリットがあるが今研究では GHG 削減効果を検証するとして、バイオマス由来の原料比率を 100%として算出している。

以下に CO₂ の削減量としての効果イメージを示す。



図 37. バイオマス由来およびリサイクル材を利用した原料イメージ

(1) リサイクル樹脂の管材への適用性確認

リサイクル樹脂として、リサイクル原料を用いた原料物性の評価を行った。

1) リサイクル原料とリサイクル樹脂原料の配合

リサイクル原料としては、研究開発品や既存品であるガラス繊維強化ポリエチレン管とした。研究開発品や既存品の製造工場では工程外へと排出されたパイプ形状の物をカット、粉碎(粉碎機のメッシュ：8 メッシュ)し一定比率(20:80)でバージン原料(未使用・未加工材料)と混練しリサイクル樹脂とした。

2) 性能評価

リサイクル樹脂の性能評価を行った。

・試験体

リサイクル樹脂をリサイクル原料比で 3%および 5%配合しφ 300 ガラス繊維強化ポリエチレン管の成型品を作成後、管壁より試験片を切り出した。

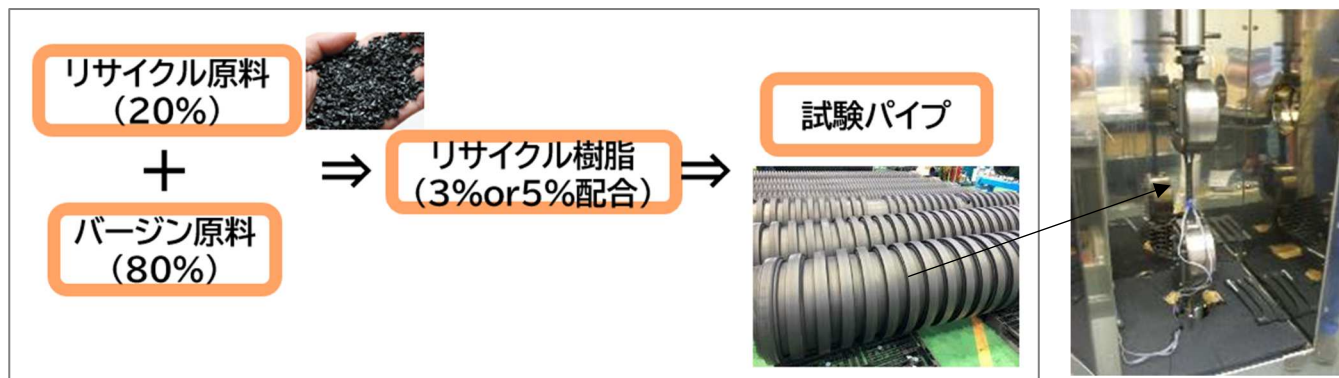


図 38. リサイクル樹脂と試験パイプイメージ

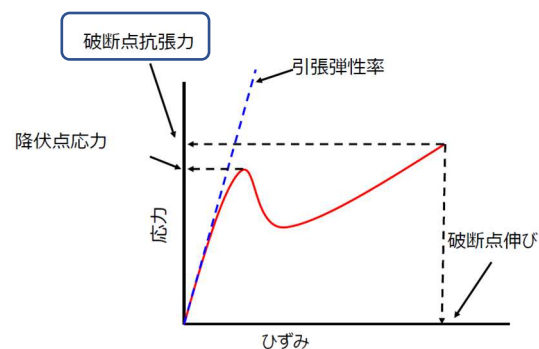
・試験内容

評価として以下を実施した。

○引張強さ(引張試験：JIS K 7161)

試験速度：50mm/min

1号ダンベル形状の試験片を上下に一定速度で引張り、破断点抗張力より引張強さを算出する。



引張強さ＝破断点抗張力÷試験片断面積

図 39. 引張試験 応力-ひずみ曲線例

○衝撃強さ(シャルピー衝撃試験：JIS K 7191)

切り欠きの入った試験片に高速で衝撃を加え試験片を破壊。破壊するのに要したエネルギーより、衝撃強さを算出する。

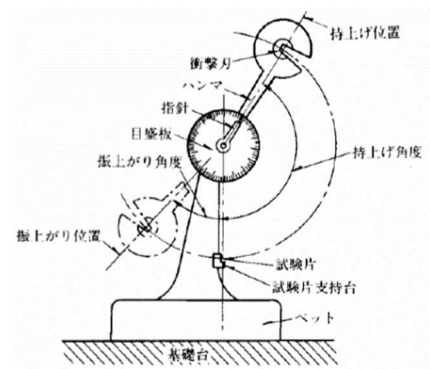


図 40. シャルピー衝撃試験

○曲げ強さ(曲げ試験：JIS K 7121)

両端を支持した試験片の中央に荷重(5mm/min)を加え、試験片のひずみと応力の関係を測定する。

曲げ弾性率：規定されたひずみに対する応力の比



図 41. 曲げ試験

○引張疲労応力(FNFT : JIS K 6774)

6mm 角の試験片中央に深さ 1mm の溝を全周に掘り込み、試験応力ごとの破壊回数をプロット
長期の疲労破壊強度を算出する

試験温度 : 60°C

周波数 : 0.5Hz

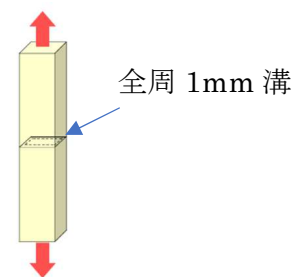


図 41. FNFT 試験片

・試験結果

試験結果を図 42～45 に示す。いずれの項目においても 5%添加で既存材料と同等の性能であった。これより、**リサイクル樹脂 5%添加**しても現状同等のパイプ性能が得られると推測される。

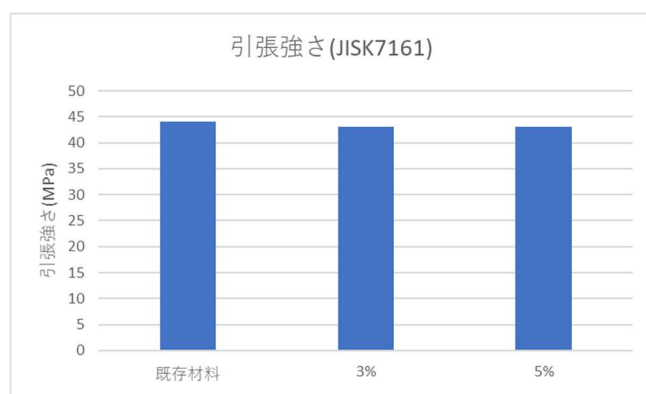


図 42. 引張強さ

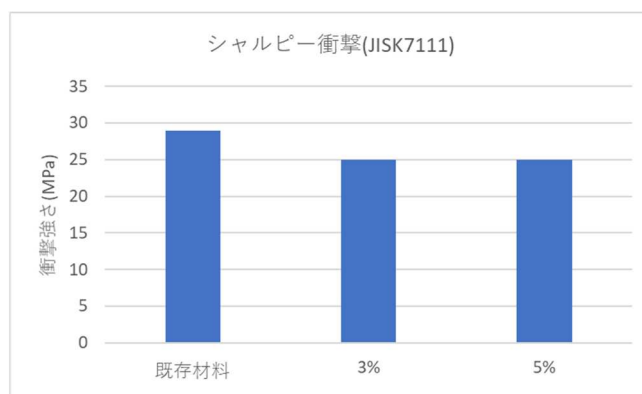


図 43. 衝撃強さ

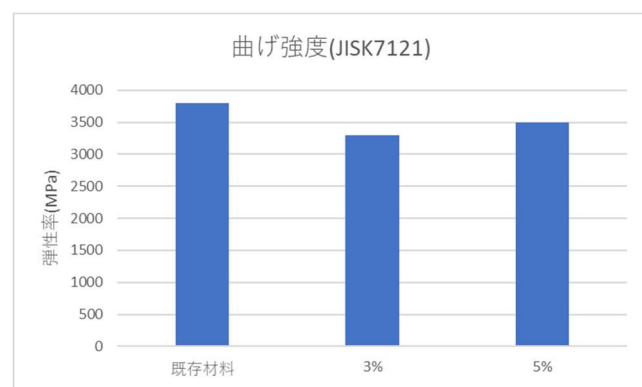


図 44. 曲げ強さ

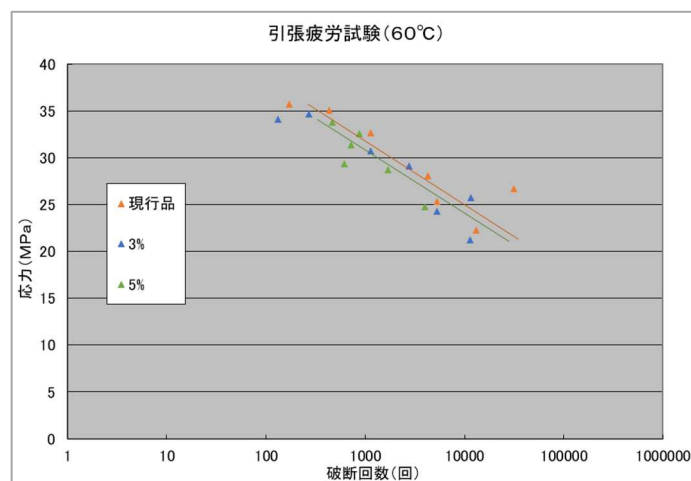


図 44. リサイクル樹脂引張疲労応力

(2) GHG 削減効果の算出

バイオマス原料 100%および、(1)項リサイクル樹脂の評価結果より、リサイクル原料を 5%配合した場合により実施した。算出は CO2 の削減量で評価した。算出条件として、材料生産工場(千葉県)からパイプ製造工場(北海道)まで材料を輸送し、パイプを製造するまでの CO2 排出量とした。

評価した結果を以下に示す。

・バイオマス由来の原料を利用した場合の CO2 排出量

既存材料(石油由来)とバイオマス由来の原料を利用した場合の CO2 排出量を比較した。既存材料では、材料製造に 1.66kg/kg(1kg の材料を製造するのに排出する CO2 排出量 kg)の CO2 を排出するが、バイオマス由来原料では、原料が光合成により二酸化炭素を吸収する効果のため、製造後でも CO2 排出量が -1.69kg/kg になる。その後の輸送やパイプ製造で排出する CO2 の排出量が変わらないため合計で、**-3.35kg/kg** の CO2 排出量削減効果が見込まれる。



図 45. 既存材料とバイオマス由来樹脂を利用した場合の CO2 排出量比較

・リサイクル原料を利用した場合の CO2 排出量

既存材料(石油由来)とリサイクル原料を利用した場合の CO2 排出量を比較した。再生ペレット製造などリサイクル工程での排出量が加算されるため、トータルでは現状より CO2 排出量が増加している。ただし、算出上入らない産業廃棄物の削減や産廃処理時の CO2 排出量(3.14kg/kg)が削減できるので、引き続きリサイクル原料も検討していく。



図 46. 既存材料とリサイクル樹脂を利用した場合の CO2 排出量比較

(3) 考察

バイオマス由来の原料を利用した場合、 -3.35kg/kg と高い効果を持つことが確認できた。また、リサイクル原料を利用した場合は再生ペレット工程などのため CO_2 排出量が増加してしまったが産業廃棄物の削減や産業廃棄物の削減時の CO_2 排出量が削減できるため、試算に現れない効果が見込まれる。これら原料については、パイプ形状における長期評価などを行い、実際に使用できるかを引き続き検討していく。これらより GHG 削減効果が高い内圧用ポリエチレンリブ管へ転用するための基礎的なデータを得ることができた。

2 事業の成果

2. 1 成果の内容

以上より、研究開発品である内圧用ポリエチレンリブ管は軽量化、高剛性の上、安全な設計可能であることが確認された。

また、将来的には更なる GHG 削減効果も見込めることが確認された。

(1) 設計・施工について

開発した管は以下の条件での使用を想定している。

地盤条件：現状の設計基準を元に実施

(地盤条件：測量結果を用いる 受動抵抗係数 e' : 1500kN/m^2)

適用口径：呼び径 $\phi 600 \sim \phi 1500$

許容応力度 10MPa

埋設深さ 5m 以内

設計水圧： 0.5MPa 以内

管設計上の許容ひずみ $30000\mu (=3\%)$

許容曲率半径： $70D$

EF 継手を有した融着による一体化

(2) 設計・施工マニュアルの作成

(1) を踏まえて設計・施工マニュアルを作成した。

(3) GHG 削減効果

バイオマス由来の原料を利用した場合： -3.35kg/kg

リサイクル原料を利用した場合： CO_2 排出量は増加したが、産業廃棄物の削減や産業廃棄物の処理時の CO_2 排出量(3.14kg/kg)を削減できる

2. 2 目標の達成度

(1) 成果から得られる効果

現行と同等の設計条件において設計を行った場合、管沈降量として半分程度になることで、周辺の施設に与える損害を大幅に減少することが可能となった。また、計量化によって、経済性にも好影響を与えることが可能となった。

この結果に基づいた設計・施工マニュアルの作成を行い、研究開発品の安全な設計・施工を広く普及することで、既存品以上に泥炭性軟弱地盤における漏水事故の低減が実現し、補修、修繕に要する費用や時間の削減が期待できる。

(2) 従来技術との比較

1) 比較する従来技術

ガラス繊維強化ポリエチレン管(PE-GF 管)

2) 従来技術に対する優位性

- ①経済性：経済性は従来技術と同等とする。ただし、普及が進めば管材費として軽量化した 15%程度の部材費ダウンが見込める。
直接工事費は、76,500 円/m
(建設物価版北海道より EF 継手 1 か所で試算)
- ②工程：掘削→設置→接合→電気融着(EF)→冷却→埋戻し(既存と同等)
- ③品質：耐圧強度 40kN/m(試験値) 既存品と同等性能
- ④安全性：管沈降量が既存品の半分(施工後 1 年での実測値：10cm)
設計・施工マニュアルによる設計で試算値同等以下のたわみ量
埋設深さ 2m において 0.6%(試算たわみ量 1%)
- ⑤施工性：軽量化した分、重機などの小型化が可能
- ⑥周辺環境への影響：バイオマス材料を使用した場合、CO2 排出量-1.17kg/kg

2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

適用範囲・留意点に関しては、2. 1 (1) 設計・施工についてと同様

3 普及活動計画

3. 1 想定される利用者

泥炭性軟弱地盤にパイプラインを管理、所有する全国の利用者や改良区

3. 2 利用者への普及啓発等の方法

設計施工マニュアルの発行

農業農村工学会での論文発表

将来的な土地改良事業計画設計基準及び運用・解説へ盛り込み活動の実施

3. 3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

タキロンシーアイシビルによる管路設計、施工指導

3. 4 特許・実用新案等の申請予定

(1) 申請者予定者 タキロンシーアイシビル株式会社

(2) 申請予定時期 2021 年 11 月 5 日付願済

4 研究総括者による自己評価

審査の ポイント	着眼点	申請時計画目標	自己評価	自己評価 の理由
目標の 達成度	・効果 (従来技術に 対する優位性)	・軽量化による管路沈下減少 ・GHG 削減	A : 優れている B : 概ね妥当 C : 不十分	・実証実験により沈下量 を従来品と比較。沈下 量が半分となる ・バイオマス由良の試算 において-3kg/kg
	・信頼性 (品質、精度、 安全性、耐久性 等)	・品質:軽量化形状の耐圧強度 の明確化による管仕様の設定 再生原料を用いた既存材料 との比較研究 ・安全性:実証実験による地盤 内挙動の確認 ・耐久性:長期試験の評価	A : 優れている B : 概ね妥当 C : 不十分	・品質:軽量化形状におい て既存品同等の耐圧強度 を確認した 再生材料 5%添加におい ても既存材料と同等の物 性を発現することを確認 ・安全性:実証実験の結 果、管たわみ、発生ひずみ は設計値以内であった ・耐久性:熱間内圧クリー プ試験開始の結果 50 年後 の耐内圧性を確認した。
	・適用範囲・適 用条件等	・泥炭性軟弱地盤における安 全な設計・施工条件の確立	A : 広範囲に適用 B : 概ね妥当 C : 限定的	・埋戻し深さ:5m 以内 ・設計水圧:0.5MPa ・曲率半径:70D
普及の 可能性	・想定される利 用者への普 及啓発の方 法	・設計施工マニュアルの発行 ・論文発表	A : 十分な利用が 見込まれる B : 概ね妥当 C : 限定的	・設計施工マニュアルの 発行および論文発表によ り広く普及する
	・利用者に対す るサポート 体制 (設計・積算・ 施工等の参考 資料、相談窓口 等)	・タキロンシーアイシビルに よる管路設計、施工指導	A : 十分に整備さ れている B : 概ね妥当 C : 改善が必要	・既存品と同等のサポー ト体制を構築。実証実験 においても施工業者によ るスムーズな施工を実施 したため
総 合 コ メント	本研究開発事業では同等性能を保持した軽量化形状の開発および使用する材料の GHG 削減を目的とした材料研究を実施した。形状開発においては、計画の 15%軽量化と性能維持を達成した。また材料評価ではバイオマスを使用することでの GHG 削減や再生材に添加剤を含めることで同等性能の材料開発を実施できた。いずれも環境に配慮した製品展開が可能であり、泥炭性軟弱地盤は元よりその他広い地域への普及が期待できる。			

5 今後の課題及び改善方針

今研究では、軽量化と性能保持を両立する管、設計手法、および GHG 削減やリサイクル材による材料開発の成果方向を行った。今後は更なる環境配慮型製品として普及させるために、以下の研究が必要であると考ええる。

○今後の研究課題：バイオマス材料およびリサイクル材を使用したパイプの評価

研究開発内で表題材用の展開に道筋ができたので、今後はパイプの試作や性能評価(特に長期性能)を進めていき、環境配慮の効果拡大を更に目指す。また、エコマークなど公的認証の取得も目指す。