

研究成果報告書

研究開発課題名	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
研究総括者	日野林 譲二
研究開発組合	大日本プラスチック(株) 北海土地改良区
試験研究機関	国立大学法人 神戸大学大学院 国立大学法人 茨城大学 国立研究開発法人 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

農業水利施設における突発事故の約70%がパイプライン(管水路)で発生している。事故原因は既存管(鋼管、FRPM管など)の管路老朽化だけでなく、軟弱地盤における腐食、不均一地盤、液状化などの地盤条件下で起こっており、特に北海道地区は超軟弱地盤と呼ばれる“泥炭性軟弱地盤”を抱え、毎年事故の修復に多額の事業費が費やされている。事故の発生個所としてはジョイント部や構造物近傍で多く発生し、事象としては「継手の抜け出し」、「フランジ部からの漏水」や「大変形による破損」が多い。一方、ポリエチレン管は阪神淡路大震災や東日本大震災において耐震性(地盤追従性)に優れた管であることが認められており、この特性を活かし北海土地改良区管内では試験的にパイプラインとしても採用され始めている。しかしながら、図-1.3で示す通り土地改良事業計画設計基準「パイプライン」ではポリエチレン管の適用範囲は小口径のφ300以下となっており、修復費用の大半を占める中大口径に関してはポリエチレン管での設計や施工の指針がないのが現状である。例えば、泥炭性軟弱地盤におけるパイプラインの事故は北海土地改良区内に限っても年間50～60件発生し、その修復に費やす事業費は250万円/1工事当たり

(φ600以上)におよんでおり、この金額は総事業費の約2.5%に相当する。全国的にも軟弱地盤は各地に存在し、本技術開発を通して中大口径のポリエチレン管の管路の設計・施

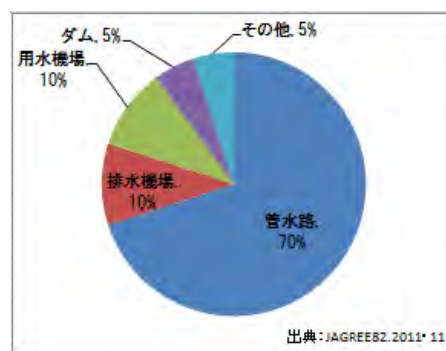


図-1.1 突発事故工種別割合

図-1.2 構造物近傍での漏水
(北海土地改良区内)

管種	φ75	φ200	φ300	φ1000	φ2000	φ3000
ポリエチレン管						
ダクタイル鋳鉄管						
強化プラスチック複合管						
鋼管						

図-1.3 「パイプライン」管種と適用口径例

■ : 基準外(今回検討範囲)

■ : 基準適用範囲

工技術を構築することにより、泥炭性軟弱地盤のみならず全国の軟弱地盤に対して安全でライフサイクルコストに優れた管路を提供することができる。

1. 2 事業の内容及び実施方法

本テーマでは、泥炭性軟弱地盤での中大口径ポリエチレン管の挙動解明、構造物近傍も含めた管路の設計・施工課題の検討などを総合的に取り組み、「一体管路化」により継手部の不具合を解消するとともに、性能試験により得られた結果から導かれる安全な曲げ性能を設計に落とし込み、ライフサイクルコストに優れたパイプラインの設計・施工技術を構築する。

(1) 中大口径ポリエチレン管の設計手法の研究開発

中大口径ポリエチレン管においては沈下による管軸方向の曲げ性能や耐震設計を行うため現状では小口径($\phi 100$ 程度)の数値を用いて行われている。また、構造上応力が異なると推定される継手部も検証データが少ない。今テーマでは以下の内容で性能を検証する。

・ 模型実験

- ①地盤の沈下、上載荷重による管軸方向と管周方向の挙動解析
- ②ガラス繊維強化ポリエチレン管の効果検証
- ③構造物近傍の影響

・ 実物大実験

- ①3点曲げ試験による管軸方向と管周方向の挙動解析
- ②中大口径ポリエチレン管の弾性領域の検証
- ③継手部の弾性領域の検証
- ④②③の結果より管路としての弾性領域と曲率半径の検証

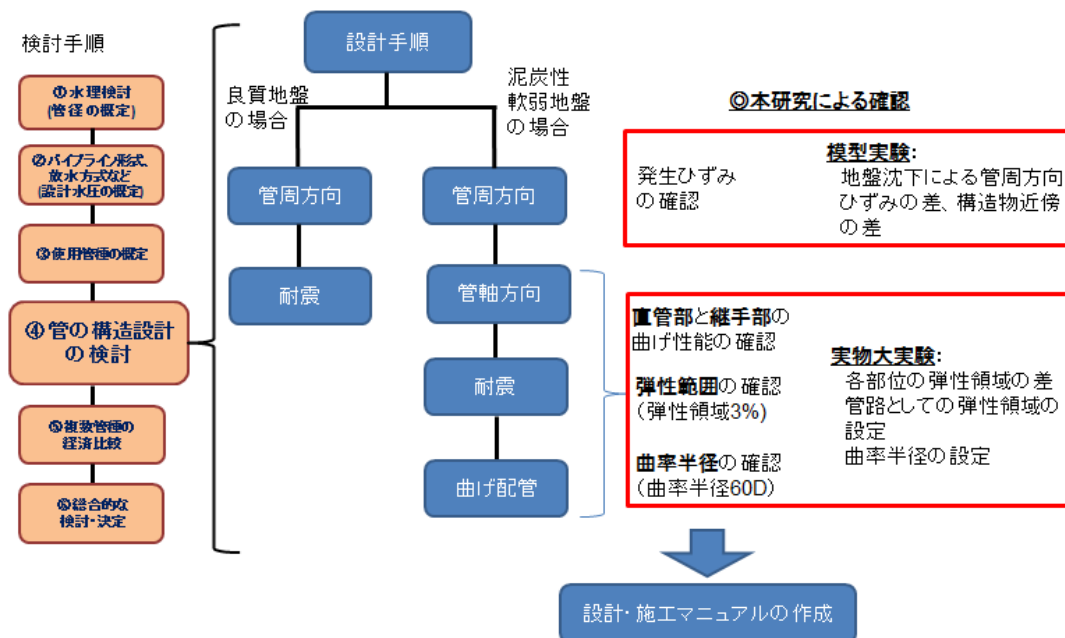


図-1.4 各種実験と設計項目の関連図

(2) 中大口径ポリエチレン管の現場施工方法（施工管理含む）の研究開発

ポリエチレン管の長所である地盤追従性は、熱融着による「一体管路化」により発現されるが、寒冷地などの外部環境や口径により適切な融着条件の確保が困難となる。従って、寒冷地での使用を睨んだ中大口径ポリエチレン管の現場施工方法を開発する。

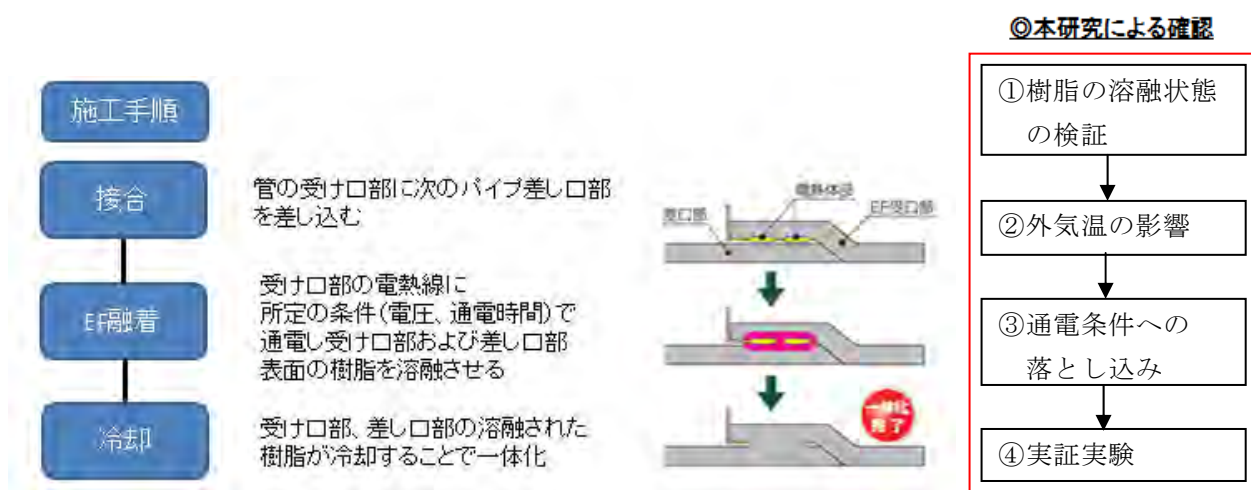


図-1.5 EF 融着 施工手順

(3) 実証試験

(1)、(2)の成果を実際の泥炭性軟弱地盤内に埋設した管路で検証し、実験との整合性や現場適用における課題を抽出する。

また、これら研究開発成果は対外的に論文等で発表するとともに、設計・施工マニュアル(技術資料)として取り纏め、全国で問題を抱えている泥炭性軟弱地盤内での安全なパイプラインの構築工法として普及させる。

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
以下の研究事例が少なく、設計に十分反映できていない。 ① 泥炭性軟弱地盤におけるポリエチレン管の変形挙動、および構造物近傍の変形集中部などの変形挙動。 ② 設計基準「パイプライン」におけるポリエチレン管の適用範囲(φ300)を超える中大口径のポリエチレン管の変形挙動	模型実験および実物大実験による泥炭性軟弱地盤のポリエチレン管の挙動説明 ① 型土槽による模型実験で、地盤沈降させ、構造物近傍を模擬した落し戸実験によりポリエチレン管の変形挙動を把握。 ② 実物大での载荷試験を実施し、中大口径ポリエチレン管の適用性を検証
施工においては以下の点が課題となる。 ・施工コストが高い ・寒冷地での施工技術が確立されていない	コストが安く汎用性の高い「EF 融着接合」による中大口径ポリエチレン管の接合技術確立 「EF 融着接合」による低温下での融着条件を含む現場接合技術の開発



図-1.6 模型実験概略図

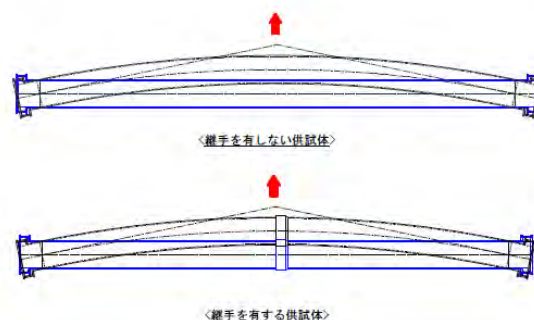


図-1.7 実物大実験概略図



管軸方向
ひずみゲージ

図-1.8 冬季の実証実験(施工確認、計測準備)

1. 4 事業の実施体制

- ・試験研究機関と研究開発組合の役割分担

【役割分担表】

個別研究テーマ	研究開発組合		試験研究機関		
	大日本プラスチック	北海道改良区	神戸大学	茨城大学	寒地土木研究所
模型実験および実物大実験による泥炭性軟弱地盤内のポリエチレン管の挙動解明	◎	○	◎	◎	○
E F 融着接合による中大口径ポリエチレン管の継手一体化技術の開発	◎	○	◎	○	○
設計・施工マニュアルの作成	◎	○	○	◎	○
実証試験	○	◎	○	○	◎
まとめ	◎	◎	○	○	○

【神戸大学】農業用パイプラインの研究では国内外で数多くの実績あり。材料面から施工面に至るパイプラインの総合的研究を実施している。本研究開発においては模型実験の実施、非破壊検査に対するアドバイスをお願いする。

【茨城大学】農村工学研究部門と連携し、農業用パイプラインに関する研究実績が多数あり。パイプラインの設計基準作成にも関与しており、総合的な見地から適応範囲の見極めや設計・施工マニュアルへの落とし込みへの協力をお願いする。

【寒地土木研究所】北海道における農業土木の基幹研究機関であり、寒地特有の条件下での研究実績がある。本テーマにおいて北海道特有の“泥炭性軟弱地盤”という特殊な地盤条件下でも数々の知見を保有しており、地盤工学的な見地での協力ならびに実証実験での協力をお願いする。

1. 5 事業の年度計画と実績

研究項目	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
① 模型実験および実物大実験による泥炭性軟弱地盤内のポリエチレン管の挙動解明	—	—	—
② EF 融着接合による中大口径ポリエチレン管の継手一体化技術の開発	—	—	—
③ 実証試験	—	—	—
④ 設計・施工マニュアルの作成	—	—	—
⑤ まとめ	—	—	—

注) — は計画、— は実績。

1. 6 研究開発の概要、結果、課題等

研究開発実施にあたり、今研究ではポリエチレン管の地盤追従性を活かした検証を行うが、その地盤追従性は管軸方向には有利に働く半面、大口径になると図-1.9 で示すように管周方向には自重変形という課題が出てくる。これらを解消するためには管軸方向の柔軟性を保持したまま、管周方向のみ補強することが要求される。このため図-1.10 で示す管軸方向と管周方向に異方性をもつガラス繊維強化ポリエチレン管（以下 PE-GF 管とする）を用いた。



図-1.9 PE 管の自重変形

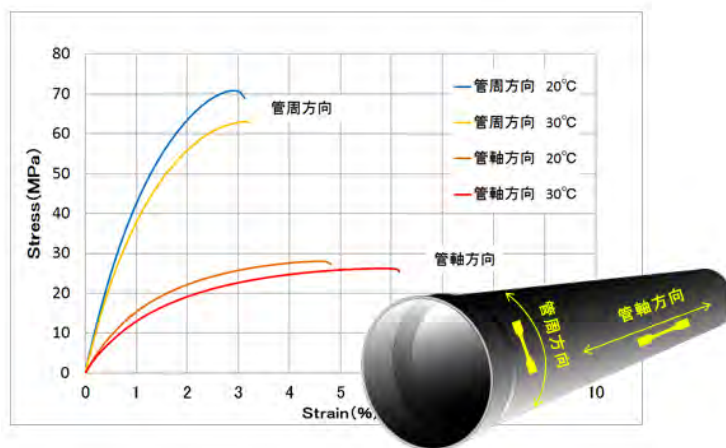


図-1.10 PE-GF 管の管軸および管周方向の強度差

(1) 模型実験

1) 概要

図-1.11 に示す後述する設計の供試管を設置した。埋め戻しには 6-7 号混合珪砂を用いて軟弱地盤を想定し転圧を行わず相対密度 25% になるように埋戻した。埋戻し後、油圧ジャッキにて 55.9kN/m^2 の上載

【模型試験供試管の設計諸元】

荷重を加えた状態で空気バネを減圧させて土槽底面を沈降させることで地盤沈下を再現

	弾性係数 $E(\text{MPa})$	口径	管厚 (mm)	環剛性(管周方向) $EI/D^3(\text{kN/m})$	剛性(管軸方向) $EI(\text{kN}\cdot\text{m}^2)$
PE-GF 管	2500(管周方向) 1300(管軸方向)	$\phi 200$	8.5	12.7	42.2
PE 管	980	$\phi 200$	11.5	12.4	45.0

し、パイプの挙動を検証した。供試管は①PE-GF 管の直管，②中央部に BUTT 継手，③中央部に EF 継手，④PE 管の直管の 4 種類とした。測定は管中央部の沈降量，管軸方向ひずみと管周方向ひずみとし，管軸方向ひずみは管軸方向に管頂部，管底部の各々 18 カ所，管周方向ひずみは，供試管中央部と構造物近傍を模擬した土槽壁の直近部の各々 1 断面 24 カ所設置した。試験では，内水圧の影響を確認するため内水圧無負荷と 0.5MPa の 2 条件を実施した。

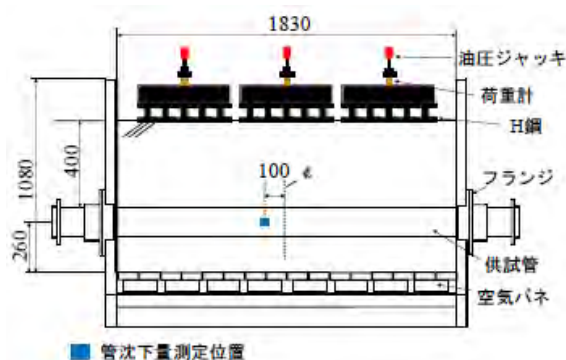


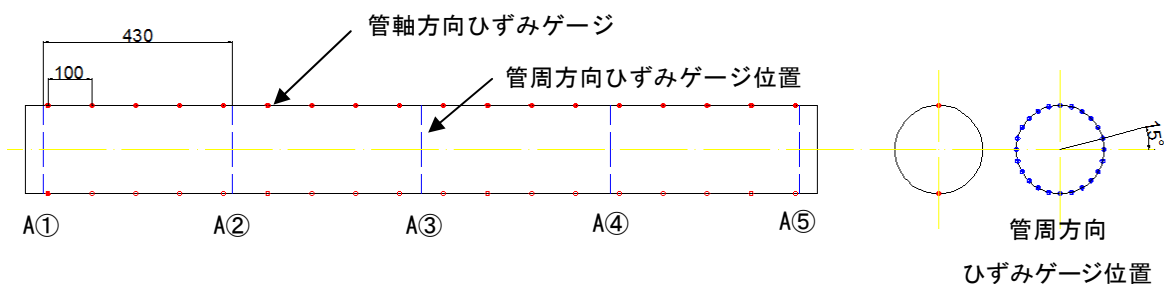
図-1.11 模型試験概要



図-1.12 土槽底面 沈下構造

ひずみゲージは図-1.13 に示すような配置とし、管周方向には 5 断面(430mm 間隔)24 分割、管軸方向には 2 断面 18 分割(100mm 間隔)した位置に貼り付けた。

- ・ 供試管①、②、④ひずみゲージ位置



- ・ 供試管③ひずみゲージ位置(管周方向 6 断面)

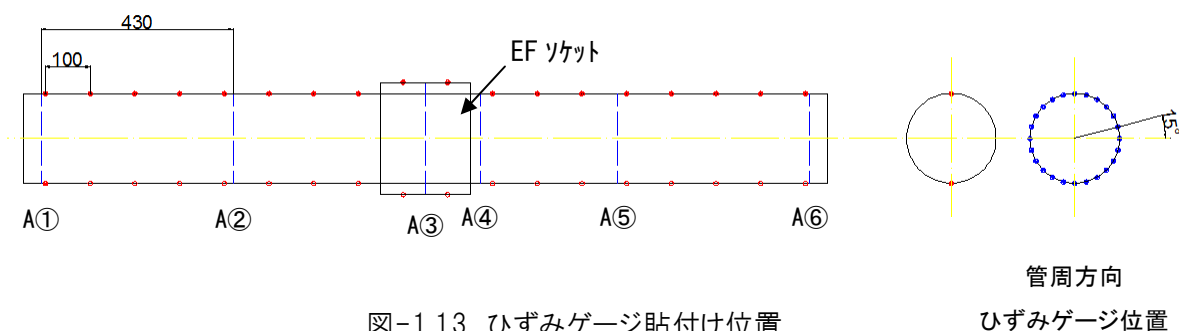


図-1.13 ひずみゲージ貼付け位置

2) 結果

①と③の内水圧無し条件での比較を図-1.14.1～-1.14.6 に示す。

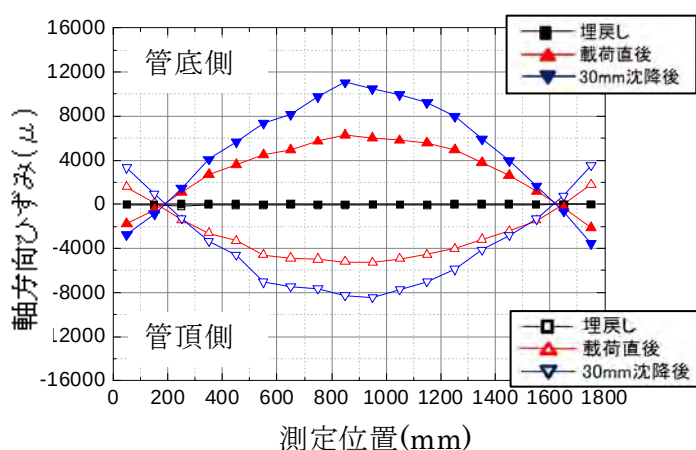


図-1.14.1:①PE-GF 管(管軸方向ひずみ)

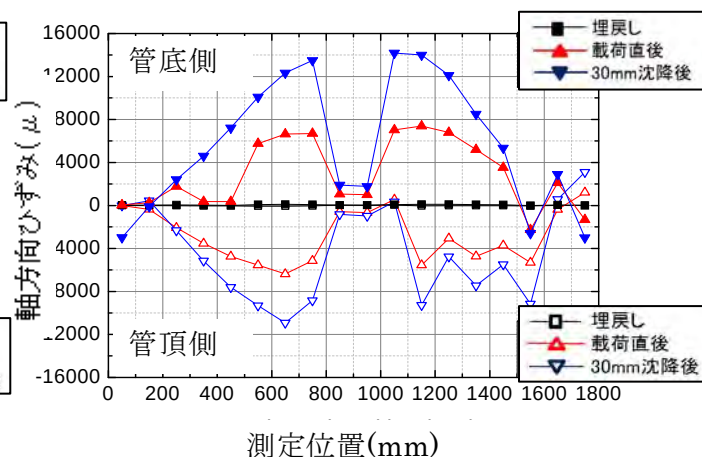


図-1.14.2:③EF 継手(管軸方向ひずみ)

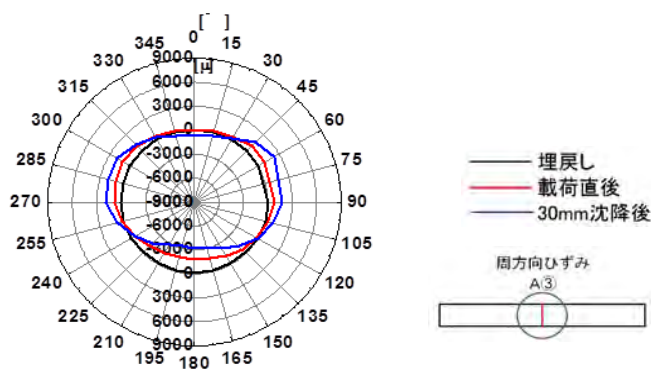


図-1.14.3:①PE-GF 管(管周方向ひずみ)

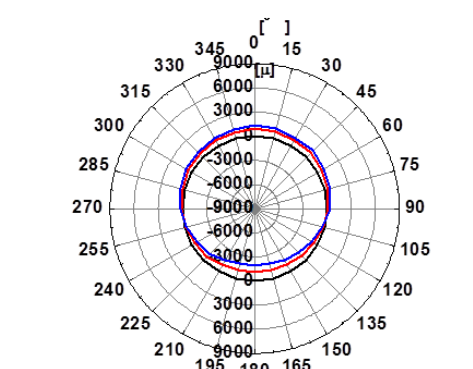


図-1.14.4:③EF 継手(管周方向ひずみ)

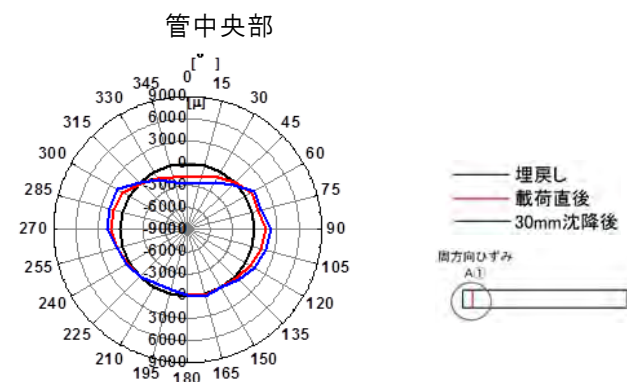


図-1.14.5:①PE-GF 管(管周方向ひずみ)

構造物近傍

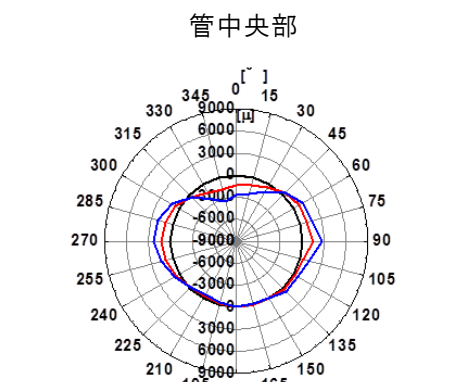


図-1.14.6:③EF 継手(管周方向ひずみ)

構造物近傍

載荷荷重によってパイプ管軸方向のひずみが発生しており、地盤が緩い状態では管が軸方向に変位していることが確認された。その後に地盤沈下では更に管軸方向ひずみが増加しており沈下による軸曲げも確認された。その時の管中央部における管周方向ひずみの発生量は -3000μ 程度であった。EF 継手部では管軸方向での応力集中が見られたが、図-1.14.4 で示す通り管周方向には継手分の剛性が増加するため管周方向ひずみは減少した。Butt 融着の管周方向発生ひずみは管中央部、構造物近傍ともに①管本体部とほぼ同等であった。構造物近傍では、継手部より距離が遠く（ $\ell=5D$ ）管周方向ひずみには

影響が出なかった。

次に①と④の比較を図-1.15.1～1.15.3 に示す。

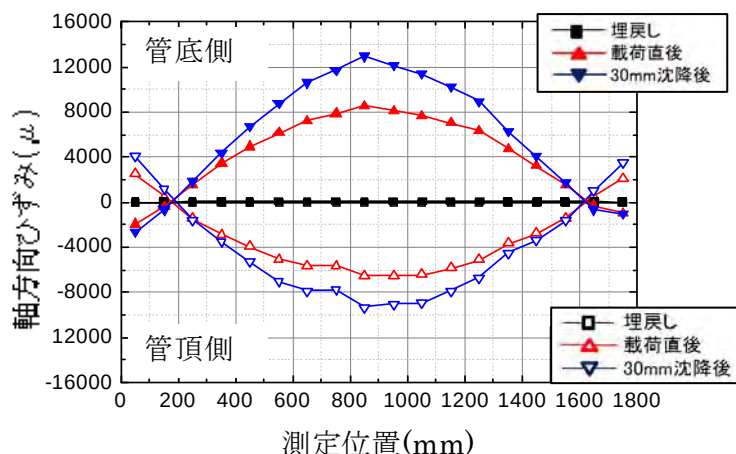


図-1.15.1:④PE 管(管軸方向ひずみ)

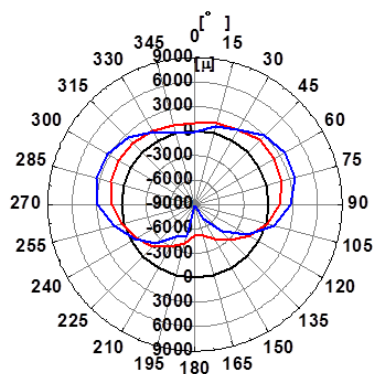


図-1.15.2:④PE 管(管周方向ひずみ)
管中央部

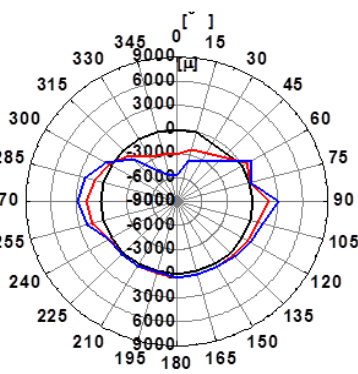


図-1.15.3:④PE 管(管周方向ひずみ)
構造物近傍

④PE 管では、PE-GF 管と比較して弾性係数 E が小さいので供試管厚みを厚くして環剛性を合わせたが管周方向ひずみが PE-GF 管より大きくなった。一般的に高分子であるポリエチレンは、応力増加に伴い発生ひずみの割合が増加する。PE-GF 管ではガラス繊維の補強効果により管周方向の発生ひずみのみ増加割合を PE 管より抑えているため、PE 管より発生ひずみが小さかったと思われる。この結果より、PE-GF 管は PE 管と比較して地盤追従性を維持しながら管周方向の剛性が大きくしていることが確認できた。

次に内水圧 0.5MPa 時の①と④の管周方向ひずみを図-1.16.1～1.16.4 に示す。

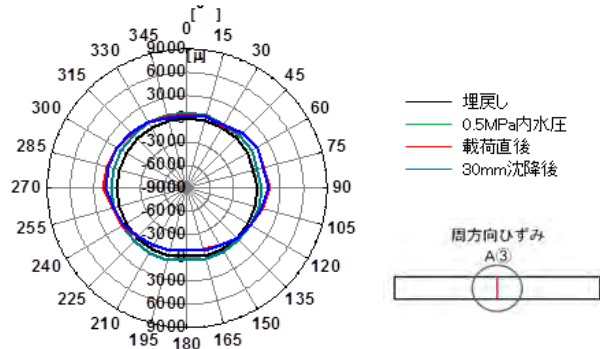


図-1.16.1:①PE-GF 管(管周方向ひずみ)
管中央部 内水圧 0.5MPa

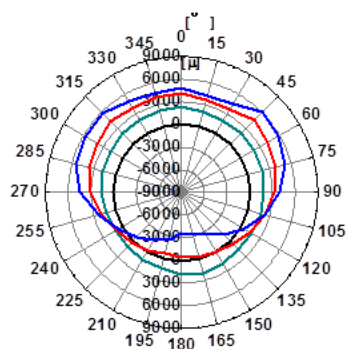


図-1.16.2:④PE 管(管周方向ひずみ)
管中央部 内水圧 0.5MPa

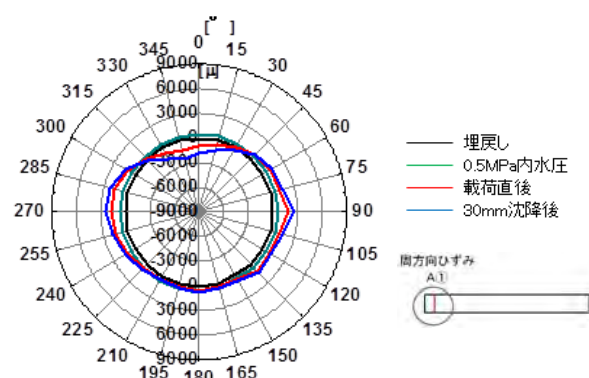


図-1.16.3:①PE-GF 管(管周方向ひずみ)
構造物近傍 内水圧 0.5MPa

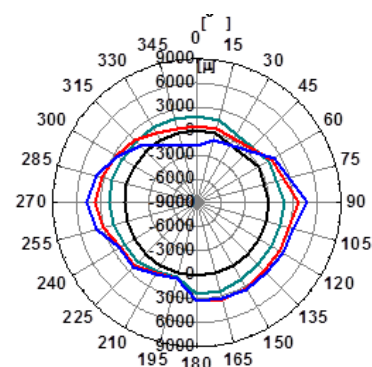


図-1.16.4:④PE 管(管周方向ひずみ)
構造物近傍 内水圧 0.5MPa

①PE-GF 管は、管中央部、構造物近傍ともに内水圧の影響はほぼ無かった。④PE 管は管中央部、構造物近傍ともに内水圧により管周方向ひずみが全体的に増加しており、パイプが膨張していることが確認できる。実際のパイプラインでは、通水と落水が毎年実施されるが、PE 管はその都度、管周方向に大きな変形を起こす。一方、PE-GF 管は内水圧による管周方向変形はほぼなく、内水圧の影響に関してもガラス繊維の補強効果が確認できた。

(2) 実物大 3 点曲げ試験

1) 概要

呼び口径 600mm, 有効長 10m の PE-GF 管を EF 継手もしくは, Butt 融着により接続し長さ 12m の PE-GF 管を供試管とした図-1.17 に示す三点曲げ試験を実施した。管の設計諸元を下表に示した。

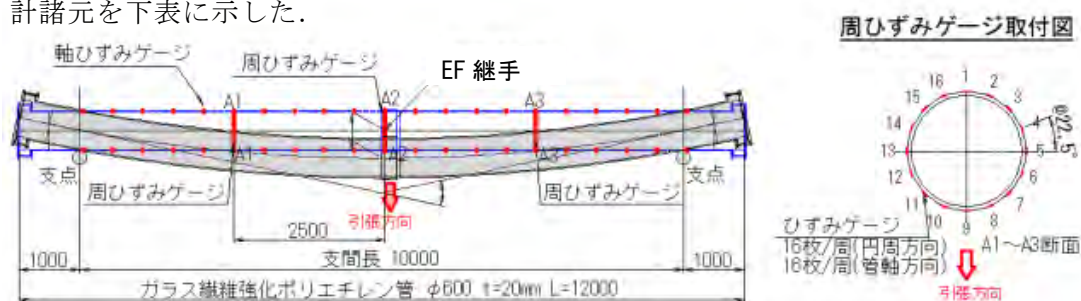


図-1.17 3 点曲げ試験概要



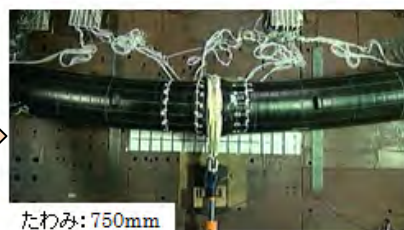
図-1.18 3 点曲げ試験(供試管:PE-GF 直管)

【3点曲げ試験供試管の設計諸元】

内径	610	mm	
管厚	20	mm	
長さ	12.0	m	支点間距離10.0m
弾性率 (管軸方向)	1300	MPa	
弾性率 (管周方向)	2500	MPa	

三点曲げ試験は、両端自由支持、支持点間距離10m 条件とし、供試管は①中央部に管を配したものの、②中央部に EF 継手と Butt 融着部を配したものの3種類とし、水平方向に強制変位を与えた。このとき、A2 断面の管の円周方向、及び管軸方向の管外面ひずみをひずみゲージで計測した。また、A1～A3 断面の水平移動量（たわみ量）を変位計で計測し、管の鉛直たわみ及び水平たわみを A2 断面内面位置に取付けた変位計によって計測した。供試管両端はフランジにより封緘し、随時、0.15MPa～0.30MPa の空気圧（3 分間保持）载荷により、管の気密性を確認した。

○EF継手



○Butt融着

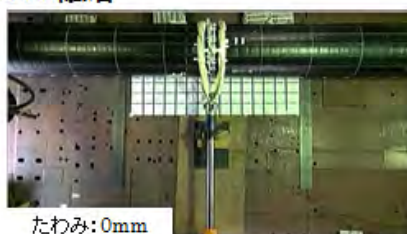


図-1.19 3点曲げ試験状況

2) 結果

(a) 発生ひずみ

3点曲げ試験において得られた各々3供試管の管軸方向の最大ひずみ発生位置である A2 断面-周 9 の管軸方向ひずみを図-1.20 に示す。

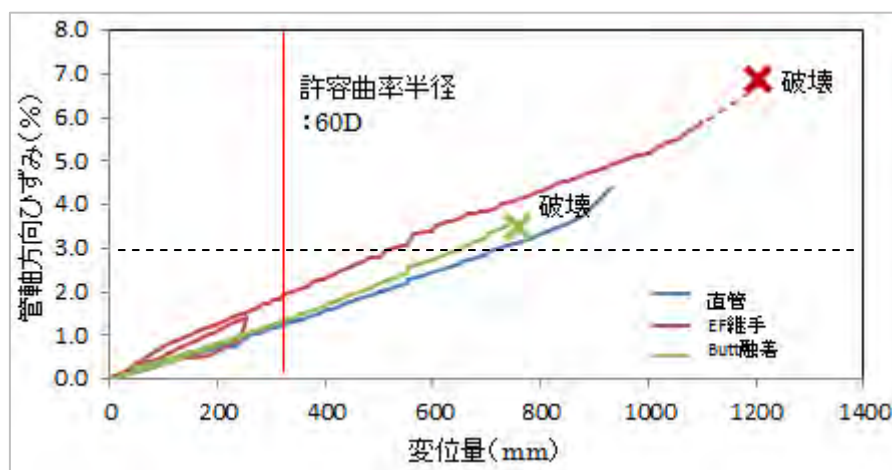


図-1.20 3点曲げ試験変位量と管軸方向ひずみ

どの供試管も変位量の増加に伴い直線的に管軸方向ひずみが増加しており、①直管では変位量約 250mm ごとに 1%ひずみが増加した。

また、管軸方向ひずみと管周方向ひずみの発生度合を比較するために、①直管の A2 断面の管軸方向および管周方向のひずみの分布を変位量 250mm ごとに図-1.21 に示す。

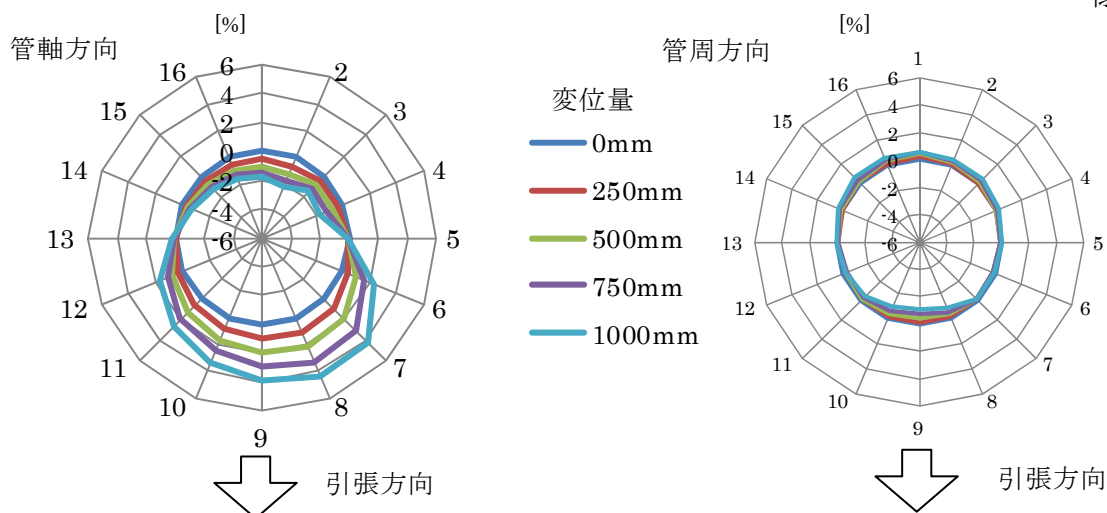


図-1.21 3点曲げ試験における ①中央部に管 ひずみ分布

管周方向ひずみはほとんど発生しておらず、管の剛性は維持されており、座屈変形がなく円形断面に大きな変化が見られない。このことから、PE-GF 管では今検証で実施した範囲内での管軸方向の変位が起きても断面形状を維持しているが分かった。

(b) 許容ひずみ

次に A2 断面が直管である時の A2 断面-周 9 の軸方向曲げひずみについて計算値と実測値の関係を図-1.22 に示した。このとき計算ひずみは、円柱を両端自由支持、集中载荷した場合として求めた。結果は両者のひずみは 3% まで直線応答していたことから、3% までは管周断面が円形を保っていることが分かった。また、管軸方向ひずみ 3.8% の状態より除荷すると、残存ひずみ 0.8% はあった。これらより、3% までは弾性変形とみなせる。3% 以降の実測値の低下は塑性変形によるものと考えられるが、気密試験より気密性が保たれていたことから、大規模な損傷を伴う塑性変形でないことが推定できる。

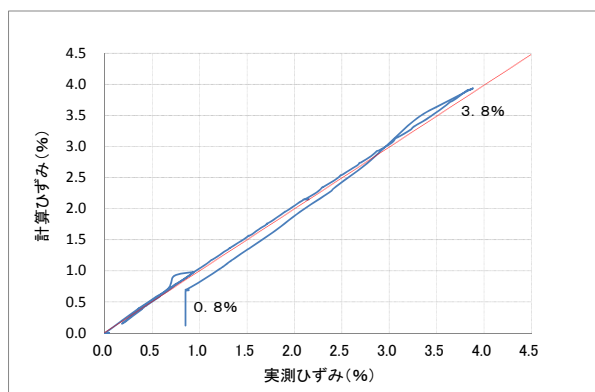


図-1.22 計算ひずみと実測ひずみの変化(直管部)

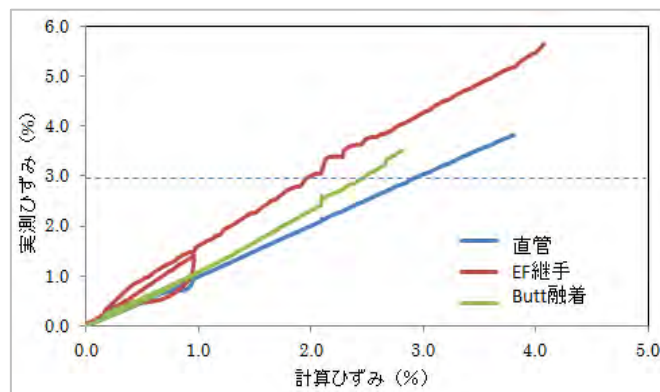


図-1.23 計算ひずみと実測ひずみの変化(EF、Butt 部)

他方、A2 断面を EF 継手部および Butt 融着部とした場合の A2-9 断面の計算ひずみと実測ひずみの変化を図-1.23 に示した。EF 継手部を用いた三点曲げ試験でも 3% までは直線応答しており、EF 継手部においても管軸方向ひずみ 3% が弾性範囲とみなせる。同様に Butt 融着部も 3% まで弾性範囲となっている。これより、PE-GF 管の耐震設計をする場合、レベル 2 における許容ひずみは 3% とする。

(c) 曲率半径

変位量ごとに発生している管軸方向ひずみと図-1.22 により算出した曲率半径を表【ひずみー曲率半径比較】で示す。

【ひずみ・曲率半径比較】

変位量(mm)	管軸方向ひずみ(%)	曲率半径
120	0.5	159D
257	1.0	74D
316	1.2	60D
387	1.5	49D
512	2.0	38D
638	2.5	30D
786	3.0	26D

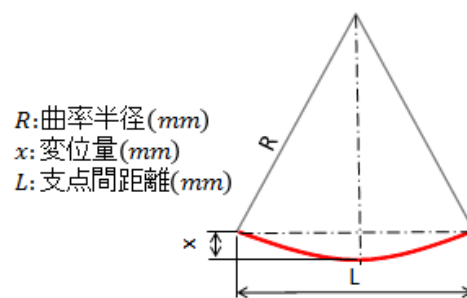


図-1.24 変位量と曲率半径

許容曲率半径は「海洋パイプラインハンドブック」に基づき算出式①により算出する場合、元となる断面係数などは対象物が円形であることが前提である。図-1.22 で示した通り PE-GF 管は弾性領域である 3%以内では円形を保持しており、3%が許容曲率半径であると言える。またその時の曲率半径は 26D であり、安全率を 2 とすると許容曲率半径は 52D となる。安全率は「パイプライン」基準書 P318 の管体縦断方向の設計で規定する“2”を用いた。設計曲率半径は更なる安全・設計の煩雑さを避けるため 60D とする。また図-1.20 に示す通り、曲率半径が 60D 時の EF 継手部、Butt 融着部の管軸方向ひずみは各々 1.8%、1.2%であり、それぞれの弾性領域である 3%以内であったことが確認できた。よって、PE-GF 管の管路としての設計曲率半径を 60D とする。

$$\text{【算出式①】}\rho = \frac{E \cdot D}{2 \cdot \sigma}$$

ここに、 ρ : 許容曲率半径(mm)
 E : 管軸方向ヤング係数(N/mm²)
 D : 管外径(mm)
 σ : 許容曲げ応力度(N/mm²)

(3) EF 融着接合による中大口径ポリエチレン管の継手一体化技術の開発

1) 概要

PE-GF 管の施工方法（融着）には図-1.25 で示す EF 継手と Butt 融着がある。それぞれの長所・短所はあるが、泥炭性軟弱地盤が多い北海道では収穫期の落水後から積雪期が始まる短い期間にパイプラインの施工が実施されるので、低温下でも安定的に施工できる方法が望まれている。Butt 融着はパイプの加工が少ないが、外気温による影響を

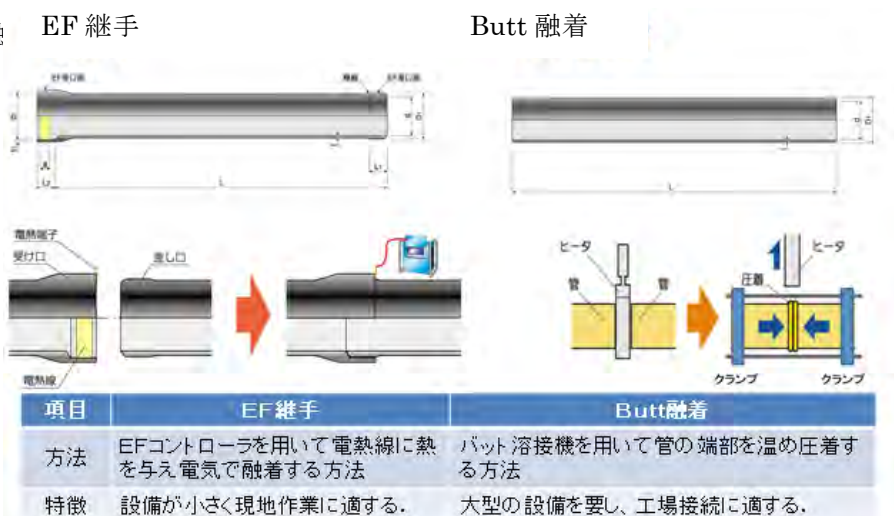


図-1.25 PE-GF 管の融着方法

大きく受けるので、環境を整えることができる工場作業に適している反面、現地での融着

は融着条件の管理が難しい。一方、EF 継手は予めパイプに電熱線の取付が必要だが通電に用いる設備は持ち運び可能な小型の物で、現地での作業性が良い。

今研究では現地での施工性を考慮し、EF 継手を用いて以下の 2 点を検証した。

①北海道など寒冷地での適用性

②大口径での適用性

①に関しては、常温（23℃）時の EF 継手部温度上昇を見極めた後に、外気温による影響を恒温室内の温度を変化させて確認した。その結果から EF 継手が外気温から受ける影響が通電条件を変更する必要があるかを検証した。

②に関しては、①で得られた条件をもって実際に大口径 EF 継手を実施した後に、融着部の水密性を確認することで外気温から受ける影響を通電条件の変更により標準化できるか検証した。

2) 結果

恒温室内の設定温度を凡例別に実施した①の結果を図-1.26 に示す。

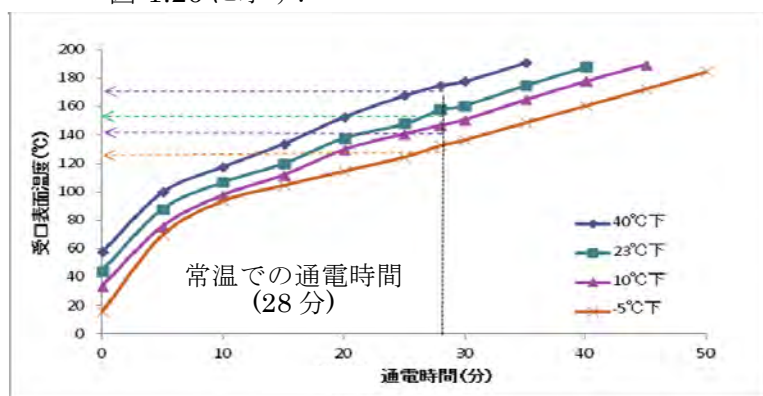


図-1.26 EF 継手 外気温の影響

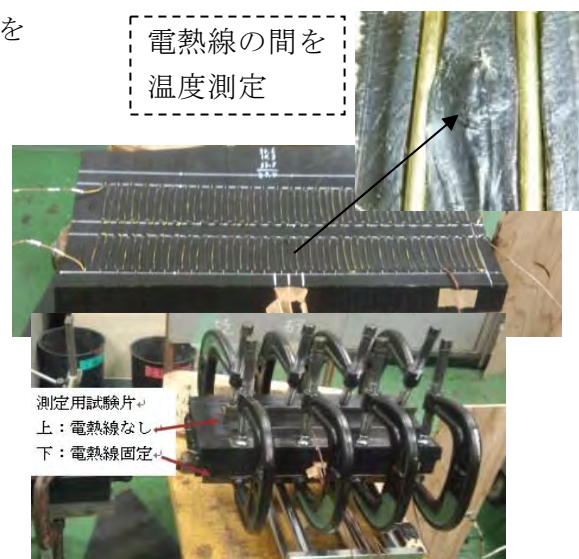


図-1.27 EF 融着 外気温試験概要

PE-GF 管は外気温により管温度が異なる。また、EF 継手部の温度は通電により一定の温度上昇を続けるが、その温度上昇率は外気温に影響されない。よって、外気温の温度差分だけ通電条件を変更すれば安定した融着条件なる。PE-GF 管では、通電時間を増減（23℃を基準に温度差 1℃につき 15 秒）させることで外気温に沿った融着を行う。

次に、上記条件を用いて実管の EF 融着を実施した結果を図-1.28 29 に示す。

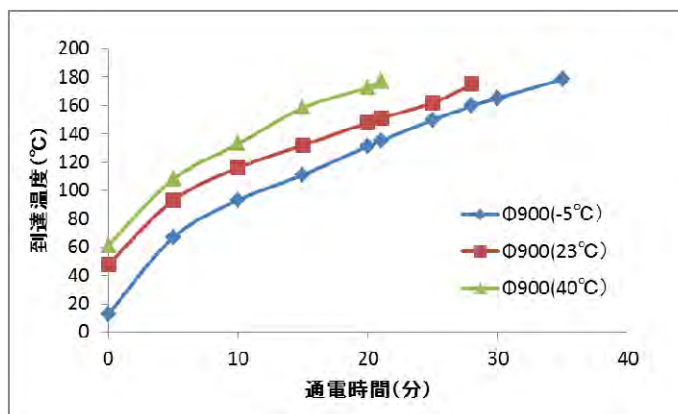


図-1.28 EF 融着試験(φ900)

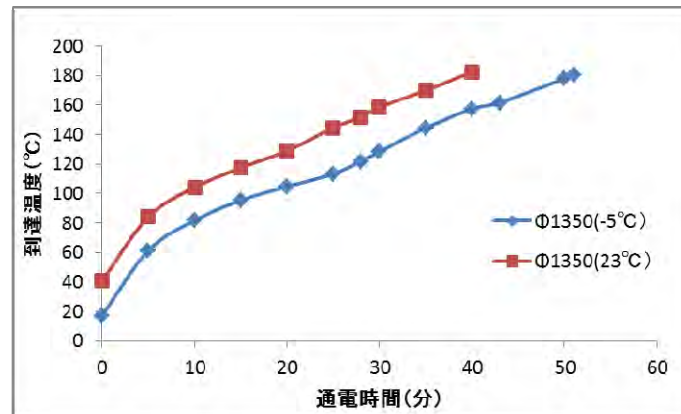


図-1.29 EF 融着試験(φ1350)

中大口径（φ900、1350）においても図-1.26 と同様の傾向であった。よって、通電

時間を変更すれば安定した融着条件となる。また、水密性や物性確認した結果を【水密性試験結果】および【強度試験結果】に示す。試験圧力 1.0MPa で継ぎ目試験を実施したが、継手部の漏水は無かった。また、強度試験では管に対して上下側面と同じ融着強度を示し、安定した融着技術であることを立証した。

【水密性試験結果】

EF 試験温度	φ 900	φ 1350
-10℃	合格	合格
23℃	合格	合格
40℃	合格	—

【強度試験結果】 φ 1350

	引抜剥離強度 (MPa)	引張強度 (MPa)
上	13.3	25.0
横	13.3	24.6
下	13.5	26.0



図-1.30 EF 融着試験(φ1350)
および強度試験位置



図-1.31 EF 継手部 継ぎ目試験

1. 7 実証試験（現場適用）の概要、結果、課題等

(1) 概要

1. 6 項で報告した成果を用いて、冬季間に北海道美唄市内の泥炭性軟弱地盤において実際に共用されるパイプラインとして PE-GF 管を施工し現場での適用性を検証した。また施工したパイプには管軸方向および管周方向にひずみゲージを貼り付けて、長期的に PE-GF 管の発生ひずみと沈降量を測定した。

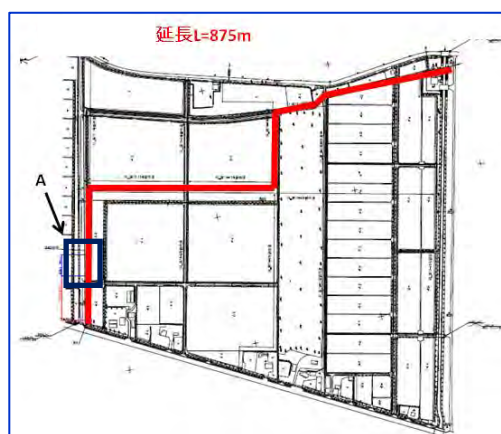


図-1.32 実証現場(北海道美唄市)
長期測定:青口内 30m

【実証現場の地盤特性】

分類		現地盤
土粒子密度	(g/cm ³)	1.742
乾燥密度	(g/cm ³)	0.169
湿潤密度	(g/cm ³)	0.984
一軸圧縮強さ qu	(kN/m ²)	20.0
N 値		0~1

供試管、および EF 継手の環境は以下の通りであった。

(a) 供試管

φ600(t=29)：大沼 2P 幹線内で実施

測定長さ：30m(10m×3 本)

(全 875mPE-GF 管 EF 継手で施工：EF 継手数 90 か所)

(b) 外気温および通電方法

施工時期：平成 28 年 10 月～12 月

最低気温：氷点下 5℃ (平成 28 年 11 月 26 日)

通電方法：EF コントローラーによるバーコード条件読み込みにより実施

通電時間：35 分(28 分：基準時間＋7 分：補正時間分 28℃×15 秒)

現場作業としては、温度補正の条件を入力したバーコードを用いて図-1.32 に示す EF コントローラーを使用して EF 継手を実施した。



図-1.33 EF コントローラー

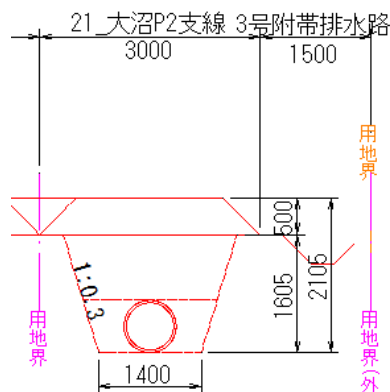


図-1.34 施工断面図

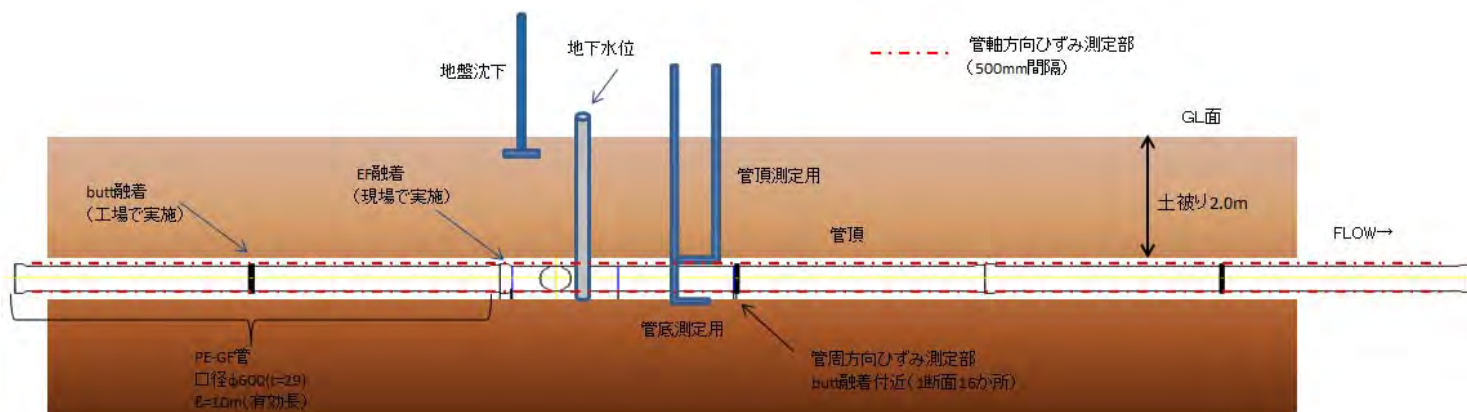


図-1.35 フィールド試験 概略(測定部 30m 区間)

(2) 検証結果

(a) 施工性および漏水確認

EF 継手部に関して、施工と通水による漏水の有無を確認した。

施工検証：通電はすべて正常に完了した。

漏水確認：日時平成 29 年 5 月 10 日 通水

8 月 26 日 落水

全継手部からの漏水なし

→冬季間における施工の安全性が確認できた。



図-1.36 フィールド試験 (EF 継手施工)

(b) ひずみ測定結果

管周方向ひずみを図-1.36 に示す。埋め戻し後、1 年経過した通水や落水による管内水重 (300kg/m) の変化などを経たが管周方向ひずみの増減は微小であった。また、力学の公式より理論たわみ率を算出したが、1%程度であり、管形状を保っていた。

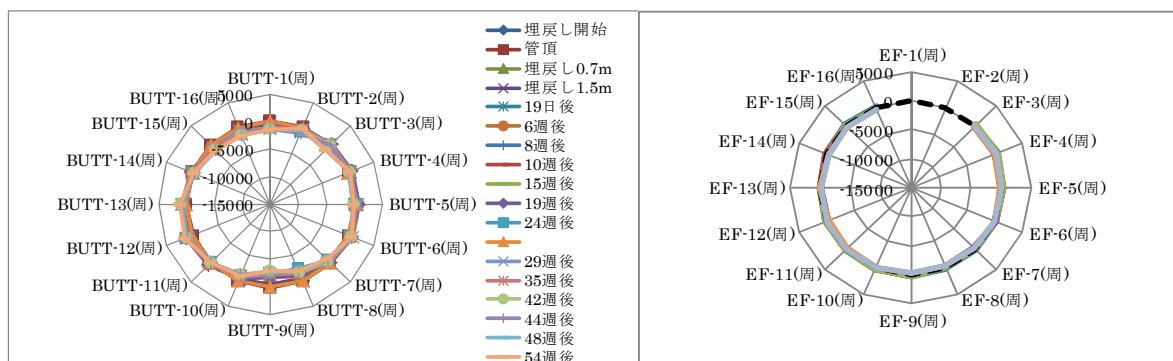


図-1.37 フィールド試験 管周方向ひずみ

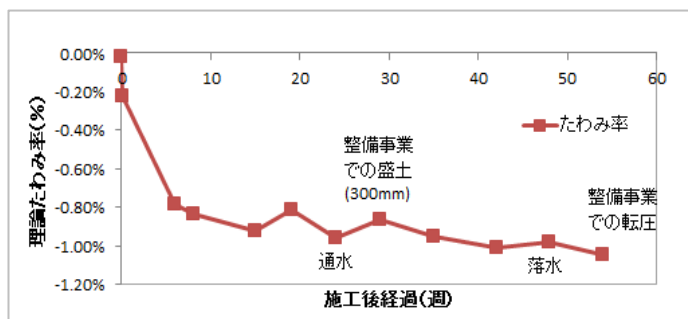


図-1.38 たわみ率の推移

次に管軸方向ひずみを図-1.39 に示す。

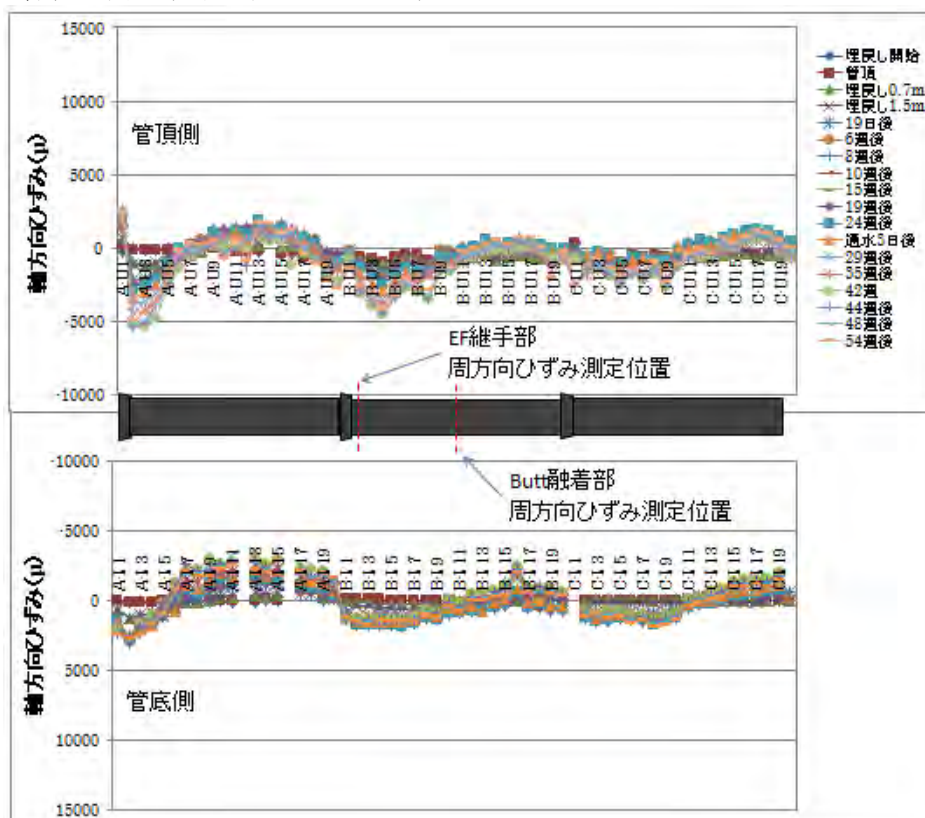


図-1.39 フィールド試験 管軸方向ひずみ

管軸方向ひずみも 1 年経過したが、弾性領域である 3%(30000 μ)と比較すると小さい値であった。

また、パイプ沈降量と管軸方向ひずみの関係を図-1.40 に示す。

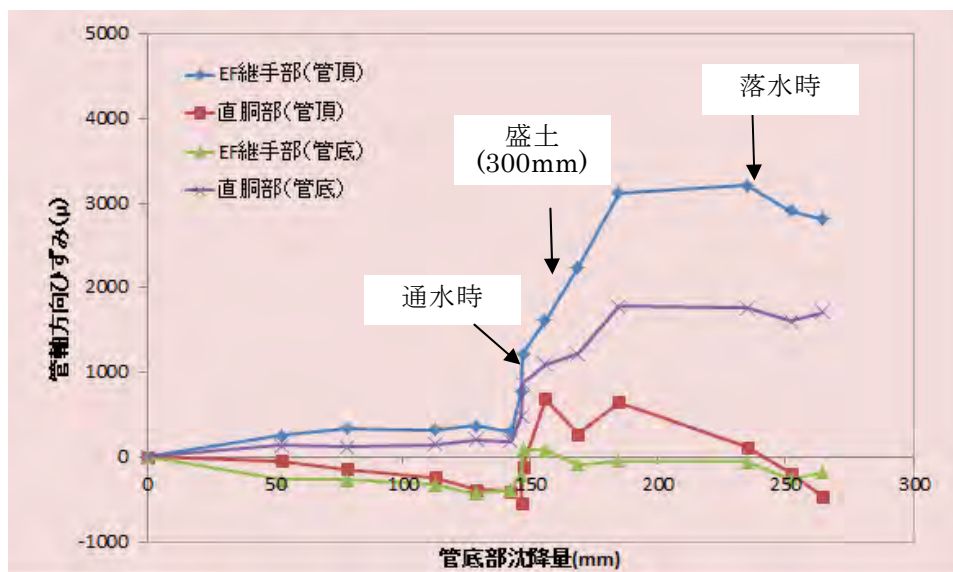


図-1.40 フィールド試験 管軸方向ひずみと沈降量の比較

管沈降に対して管軸方向ひずみの増加はほぼ無かった。一方、管軸方向ひずみの増加は、通水や整備事業が要因で発生しており、特に EF 継手部が大きかった。通水による管軸方向ひずみの増加は 1000 μ 程度で落水により 500 μ 減少するので、年間の増加量としては 500 μ 程度と推測できる。また、整備事業は初年度のみであり、今後は影響されないと推測できる。よって、毎年 500 μ ずつ管軸方向ひずみが蓄積しても 40 年後では 20000 μ (2%) であり、PE-GF 管の弾性領域内(3%)であると考えられる。

(c) 設計条件の検証

上記で得られた管周方向ひずみと設計条件の整合性を確認する。

設計条件を以下に記す。

◎設計条件（抜粋）

設計水圧	0.1MPa	許容たわみ率 (V_a)	3%
管径	$\phi 600$	許容曲げ応力度 (σ_a)	13300kN/m ²
ヤング係数 (E)	2500MPa		
土の単位重量	18kN/m ³		
車両荷重	T-10		
水の単位重量	10kN/m ³		
施工支持角 (2θ)	60°		
受働抵抗係数 (e')	1500kN/m ²		
変形遅れ係数 (F1)	1.5		
土被り	2.2m		

管厚 29mm
たわみ率 2.8%
発生応力 8327kN/m²

以上より管厚を 29mm と設定した。

また、施工後 10 週後に測定した管周方向ひずみの①実測値と②現場条件より発生応力を試算する。

①実測からの発生応力＝実測ひずみ×ヤング係数

②土質試験（土の単位重量など）、外圧条件などを測定時の条件に変更して発生応力を再試算

試算結果を以下に示す。

①実測ひずみ -1824μ ×ヤング係数 2500MPa → 発生応力 4560kN/m²

②現場条件に合わせる → 試算応力 2239 kN/m²

①と②を比較すると 2 倍近い差異が生じている。発生応力に影響を与える設計条件において受働抵抗係数のみが条件変更していない。

よって、発生応力が等しくなるような受働抵抗係数を試算すると、

○設計条件（抜粋）

	構造設計時	実測時
設計水圧	0.1	0 (空)
受働抵抗係数 e'	1500	2600
雪荷重 (実測値)	0	1.5kN/m ²
浮力	0	4.97kN/m ²
変形遅れ係数	1.5	1.5
引張/曲げ α	0.75	1 (外圧のみ)

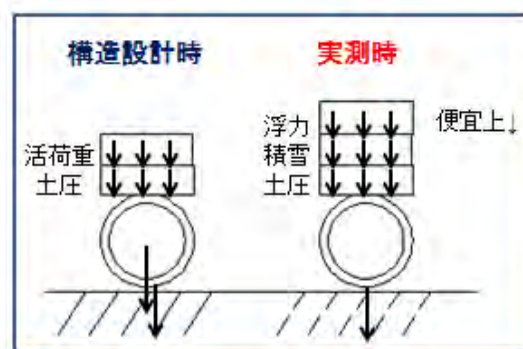


図-1.41 条件モデル

受働抵抗係数 $e' = 2600 \text{ kN/m}^2$ の場合、試算応力が 4540kN/m² となり実測値に近似する。

この結果より、地盤条件などは元の設計条件を用いて設計を行えば安全であることが確認できた。

「技術書 パイプライン」P305 表-9.4.11 基準反力係数 e'_0 (kN/m²)

施工方法	矢板施工		素掘り施工	
基礎素材 現地盤の土質	砂質土	礫質土	砂質土	礫質土
礫質土	3,500	5,000	4,500	6,000
砂質土	3,000	4,000	4,000	5,500
粘性土	2,500	3,500	3,000	4,000
その他	1,000	1,500	1,500	2,000

- 注 1) 管側部における現地盤区分が 2 層以上となる場合は、管心レベルに占める割合により判定する。
 2) その他の地盤とは、高有機質土や N 値が 0 程度の極めて軟弱な膨潤するような地盤をいう。
 3) 岩盤は礫質土を参照する。
 4) 簡易土留工法は素掘り施工と同等とする。
 5) 鋼矢板の引き抜きをせず存置する場合は素掘り施工と同等とする。

2 事業の成果

2. 1 成果の内容

以上より、PE-GF 管の設計条件および施工条件は以下で実施すれば安全であることが確認できた。

(1) 設計について

地盤条件：現状の設計基準を元に実施。

(地盤条件は測量結果、受働抵抗係数は 1500kN/m^2 など)

許容ひずみ：3%

曲率半径：60D

(2) 施工について

EF 融着を用いた中大口径の PE-GF 管の施工

外気温ごとの EF 融着条件の補正 (通電時間の変更： 23°C を基準に $15\text{sec}/^\circ\text{C}$)

(3) 設計施工マニュアルの作成

(1)、(2) を踏まえ設計施工マニュアルを作成した。

2. 2 目標の達成度

(1) 成果から得られる効果

現行の基準書ではポリエチレン管の適用範囲は $\phi 300$ 以下であるが、継手部を含む PE-GF 管を用いた中大口径での検証により、地盤条件、許容たわみ率、曲率半径が明確になり PE-GF 管 $\phi 300$ 以上の設計手法を設定できた。また、施工では外気温による影響を加味した EF 継手技術を確立したことで泥炭性軟弱地盤が多く分布する北海道での施工において、時期的に氷点下での実施となるが継手抜けや漏水が無い安定した融着が可能となった。

この結果に基づいた設計施工マニュアルの作成を行い、PE-GF 管の安全な設計施工を広めることで、泥炭性軟弱地盤における漏水事故などの低減が実現し、補修、修繕に要してい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

軟弱地盤で使用する中大口径の代表的な管種 (FRPM 管)

2) 従来技術に対する優位性

① 経済性

・イニシャルコスト

図-2.1 に $\phi 600$ 設計内圧 1.0MPa での 10m 当たりの管材費、施工費を示す。

管材費、施工費ともに従来技術と比較すると 2 倍程度であった。

・ランニングコスト (補修費用)

過去の実績より FRPM 管は不同沈下により突発事故が 39 か所/7km で発生してい

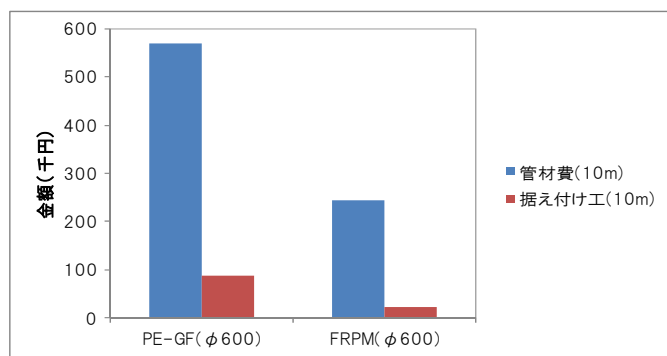


図-2.1 PE-GF 管と従来技術 (FRPM 管) の経済性比較

る。(長崎県内の土地改良区実績) これは 180m に 1 か所の割合となり、今回フィールド試験を実施したパイプラインにおいては今後 4～5 か所の突発事故が起こることとなる。

PE-GF 管はこの事故を“0”とする。

②工程

図-2.2 に PE-GF 管と従来技術(FRPM 管)との施工手順を示す。



図-2.2 PE-GF 管と従来技術 (FRPM 管) の施工手順比較

PE-GF 管では、FRPM 管と比較して EF 継手とそれに伴う冷却工程が増える。

③品質

PE-GF 管と、FRPM 管 (定尺品 4m、6m) の曲率半径を比較する。

PE-GF 管 : 60D

→ φ 600 支点間距離 10m とすると沈降量 316mm

FRPM 管 : 153D(管長 4m、許容曲げ角度 2° 30′ で試算)

→ φ 600 支点間距離 10m とすると沈降量 125mm

230D(管長 6m、許容曲げ角度 2° 30′ で試算)

→ φ 600 支点間距離 10m とすると沈降量 83mm

上記比較より、PE-GF 管の地盤追従性が優れていることが分かった。

また耐薬品性においては、PE-GF 管はほとんどの薬品に対して耐性があるのに対し FRPM 管は酸、アルカリによる加水分解を受けやすい。

④安全性

PE-GF 管は EF 継手により継手部が一体化しているので継手部の抜けが発生しない。今研究テーマの課題の一つが継手部からの漏水であり、PE-GF 管を使用すれば継手部からの漏水は“0”になる。

⑤施工性

PE-GF 管は FRPM 管の 1/2 の重量である。よって施工時に PE-GF 管は FRPM 管より小型の重機で施工ができ、施工上の優位性がある。

⑥周辺環境への影響

PE-GF 管も FRPM 管も周辺環境への影響はない。

2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

①適用範囲

管種 : 「ガラス繊維強化ポリエチレン管」のみ

口径 : φ 300～φ 1500

許容応力度：13.3MPa
 埋戻し深さ：0.6~5.0m
 設計内圧：1.4MPa 以内（1 種管）
 外気温：-20℃以上
 許容ひずみ：3%以下
 曲率半径：60D 以内

②留意点

地盤条件：泥炭性軟弱地盤における地盤条件に関しては施工現場の土質調査の結果を反映させること

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、所有する使用者や改良区

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

空知地区での施工実績を元にした全国営業

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

JIS 規格化（制定予定）

大日本プラスチックによる管路設計、施工指導

3. 4 特許・実用新案等の申請予定

今研究に使用した「ガラス繊維強化ポリエチレン管」は、広く普及を目指すものである。また、新規に JIS 制定される予定である汎用性の高い製品であるため、特許などの申請予定はない。

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 ^{注1}	自己評価 ^{注2}	自己評価 の理由 ^{注3}
目標の 達成度	・効果 (従来技術に対する優位性)	・EF 継手を使用した一体管路化による漏水“0”	Ⓐ: 優れている B: 概ね妥当 C: 不十分	継ぎ目試験による検証、および実パイプラインでの通水試験において漏水“0”を確認
	・信頼性 (品質、精度、安全性、耐久性等)	・品質：許容曲率半径の明確化による設計曲率半径の設定 ・精度：低温下における施工方法の確立 ・耐久性：施工 40 年に対する評価	Ⓐ: 優れている B: 概ね妥当 C: 不十分	・品質：設計曲率半径 60D ・精度：通電時間を変更することで安定した融着が可能 ・耐久性：フィールド試験により 40 年後の積算ひずみは 2%と推測(弾性領域 3%以内)

	・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: 0.6~5.0m ・設計内圧: 1.4MPa 以内 (1 種管) ・外気温: -20℃以上 ・曲率半径: 60D 以内
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、および国内外における論文発表にて、PE-GF 管の効果が広く普及したため
	・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)	・JIS 規格化 (制定予定) ・大日本プラスチックによる管路設計、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	JIS 規格化では経済産業省の高機能 JIS 事業に登録し、スケジュール通り平成 30 年度中に JIS 番号が付帯されるため
総合コメント 注 4	本研究開発事業は泥炭地等超軟弱地盤での課題解決を目的として実施したが、一連の研究開発を通じて、現行設計基準の適用範囲外である中大口径のポリエチレン管の適用性を確認することができた。今後、本研究開発事業の成果を設計基準に反映し、泥炭地等超軟弱地盤における安全な中大口径パイプラインとしてポリエチレン管 (PE-GF 管) の適用を期待する。			

注 1) 成果報告書に記載の研究開発目標を記載する。

注 2) 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 (○付け) する。

注 3) 自己評価の理由を記載する。

注 4) 総合的なコメントを記載する。

5. 今後の課題及び改善方針

今研究開発では、泥炭性軟弱地盤でも適用できる $\phi 300$ 以上の中大口径 PE-GF 管の検証を行い、成果を報告できた。ただし、以下の面に関しては課題として残っており今後の改善が必要と考えている。

①施工後の簡易検査方法

管路上の継手部の試験は $\phi 900$ 以下において方法が確立されていない。($\phi 900$ 以上はテストバンドによる試験実施) よって、今後は $\phi 900$ 以下の検査方法の確立を目指す。

②大口径の FEM 解析

今検証では実物大である $\phi 600$ を使用して試験を行ったが、それ以上の口径に関しては検証が残っている。(PE-GF 管は $\phi 600$ 以上になるとガラス繊維の配向角度が急になり大口径になるほど弾性率が上がるので、理論上は問題ない)

よって、今後は FEM 解析を通じて大口径側の実証も目指す。