

ひずみを指標とした 強化プラスチック複合管の診断手法

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門
国立大学法人 茨城大学
株式会社 栗本鐵工所
積水化学工業 株式会社

目次

1 総論	1
1. 1 目的	2
1. 2 適用範囲	3
2 詳細調査	4
2. 1 概要と調査手順	4
2. 2 調査前の準備	6
2. 3 ひずみの測定方法	8
2. 4 データの記録	12
3 評価	13
3. 1 概要	13
3. 2 安全性の判定	14
3. 3 余寿命予測（案）	15
参考資料	16
1 FW 成形管の長期極限曲げひずみ	17
1. 1 試験方法	17
1. 2 試験結果（極限曲げひずみの算定）	18
1. 3 使用時の限界ひずみ	21
2 特許の実施許諾	17
参考文献	23

1 総論

農業の基幹施設であるパイプラインの突発的な破損事故が増加している。パイプラインの破損は農業用水の使用に支障をきたすだけでなく、漏水による地盤流亡や交通障害などの二次被害を引き起こす場合もある。そのため、破損事故を未然に防止することは喫緊の課題である。

地中に埋設された強化プラスチック複合管（FRPM 管）*は土圧を受けて変形をしており、現在は、FRPM 管全体の変形の程度（たわみ率）を測定して、安全性を診断している。しかし、地下水や地盤沈下などの影響で FRPM 管周辺の土が不均一になった場合、FRPM 管全体は変形しなくても、局所的に変形してひび割れが発生し、漏水に至ることがある。そのため、FRPM 管全体の変形を測定するだけでは、安全性を正確に診断することはできない。

そこで、曲率を測定しひずみを求めることにより、局所的な変形を生じた場合でも FRPM 管の安全性を診断できる手法を開発した。診断に用いるひずみのしきい値は、FRPM 管の長期強度に関する試験を実施して求めた。ひずみを指標とした本手法は、たわみ率よりも合理的かつ定量的に安全性を診断することができる。

本手法は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門、国立大学法人茨城大学、株式会社栗本鐵工所及び積水化学工業株式会社が共同で実施した研究の成果である。なお、研究の一部は農林水産省のプロジェクト「農林水産業・食品産業科学技術推進事業（実用技術開発ステージ）（平成 24～26 年度）」の助成を受けて行いました。

*今回対象とする FRPM 管は 1970 年に生産販売が開始された。圧力管については 1971 年に農林水産省 農業土木試験所（現：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門）において行われた各種試験の結果、その特性が評価され 1977 年に農林水産省 土地改良事業計画設計基準 設計 水路工—その 2 パイプライン（現：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」）に採用された。さらに 1984 年には JIS A 5350「強化プラスチック複合管」が制定され、農業用水のパイプライン化の進展に伴い普及した。

1. 1 目的

FRPM 管のひずみを測定し、現在及び長期的な安全性を定量的に診断する。

[解説]

本手法は地中に埋設された FRPM 管の破壊に対する安全性を評価するものである。

現場において、FRPM 管の管体の構造的な安全性は、一般的にたわみ率により評価している。しかしながら、農林水産省土地改良事業計画設計基準「パイプライン」¹⁾で設定しているパイプの許容たわみ率は、管種毎の明確な限界状態（破壊時のたわみ率）から厳密に設定されたものではない。地中に埋設された FRPM 管は、集中的な土圧を受けた場合、許容たわみ率以内でも破壊やひびわれを生じることがある。

そこで、合理的な評価が可能で、局所的な変形を把握できるひずみを求める手法を開発した。ひずみを測定したい箇所で、円周方向の曲率半径を測定し、曲り梁の曲率半径と曲げモーメントの関係などからひずみを計算する。1 つの横断面に対して、管頂・管側・管底などの任意の位置でひずみを求めることができるため、FRPM 管の一部が局所的に変形した場合でもその変形を把握することができる。

また、FRPM 管は長期的な変形やひずみの進行、強度低下などの安全性が十分に解明されておらず、定量的な安全性評価が困難であった。そこで、ISO 規格に準拠した長期的な性能を求める試験（長期極限曲げひずみ試験）を実施して、破壊に対する長期性能を明らかにした。試験結果から、ひずみに基づいて FRPM 管の長期的な安全性を診断する際のしきい値を設定した。しきい値と測定値を比較することで、安全性を定量的に評価することができる。

1. 2 適用範囲

地中に埋設された呼び径 800mm 以上の FRPM 管を対象とする。

[解説]

強化プラスチック複合管 (Fiberglass Reinforced Plastic Mortar Pipes) は、ガラス繊維強化プラスチック (FRP) と樹脂モルタル (Resin Mortar) を複合した管であり、その頭文字をとり FRPM 管という略称で呼ばれている。管の内外層には、引張強度の高いガラス繊維強化層 (以下、FRP 層という) を配置し、その中間層には曲げ剛性を高めるための樹脂モルタル層 (以下、中間層という) を設けたサンドイッチ構造となっている。

また、製造方法には下記の 2 種類があり、各々の成形方法による断面構造を図 1-1 に示す。

(1) フィラメントワインディング成形 (FW 成形 : Filament Winding)

ガラス繊維を切断せずに、長繊維のまま樹脂を含浸させ、芯金上に巻き付けて成形する。

(2) 遠心力成形 (CC 成形 : Centrifugal Casting)

回転する型枠の内側に、切断したガラス繊維、樹脂及び骨材などの原料を連続投入して高速回転させて成形する。

本手法は、既設管内に人が入って作業することを考慮しており、呼び径 800mm 以上について適用する。ただし、トンネルのように土被りが深く、パイプの変形モードが異なる場合は適用除外とする。

小口径のパイプラインに適用する場合については、ロボット等による自動計測とともに、小口径パイプの破壊ひずみについての検証が必要である。

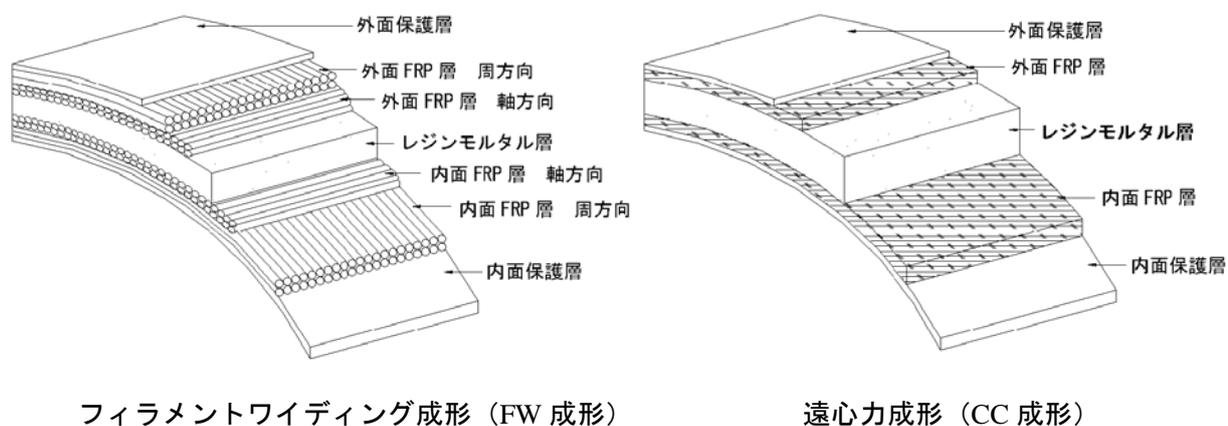


図 1-1 断面構造

2 詳細調査

2. 1 概要と調査手順

詳細調査では、曲率測定装置を用いた方法で、従来のたわみ測定では確認できなかった FRPM 管のひずみを測定する。本項では、調査手順の標準的な方法を示す。

[解説]

FRPM 管の施工や維持管理の各段階で、たわみ、縦断方向の沈下量、継手部の水密性、目視確認などにより、その健全性を総合的に評価してきた。しかし、突発的な破損の防止や健全性を定量的に判断するためには、局所的な変形や劣化の観点等からも、調査を実施することが必要である。

そこで、FRPM 管に発生しているひずみを把握する工程を「詳細調査」及び「詳細調査結果の評価」として導入して、従来から実施している維持管理や調査では把握できなかった局所的な変形に対する安全性や長期的な安全性を診断する。

詳細調査では、曲率測定装置を用いた方法にて FRPM 管内面のひずみを測定する。曲率測定装置は、FRPM 管の内部においてベースを縦断方向と直角に（横断方向と平行に）設置し、デプスゲージの測定用針を管に接触させ、ベース底面からの深さ（デプスゲージの表示値）を読み取り、データとして記録する。

本項では、調査を行うにあたっての必要事項を含めて詳細を述べる。

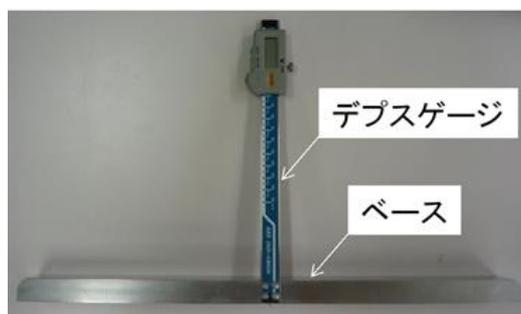


図 2 - 1 曲率測定装置概要

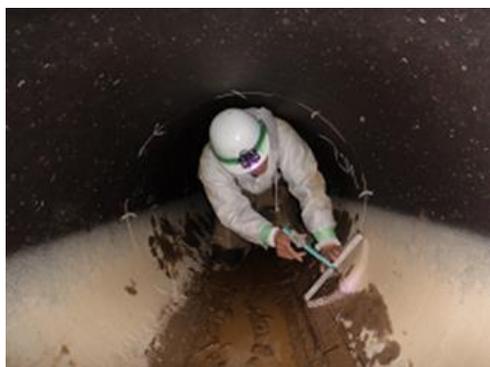


図 2 - 2 FRPM 管内部でのひずみ測定の様子

本マニュアルの調査フローを図2-3に示す。

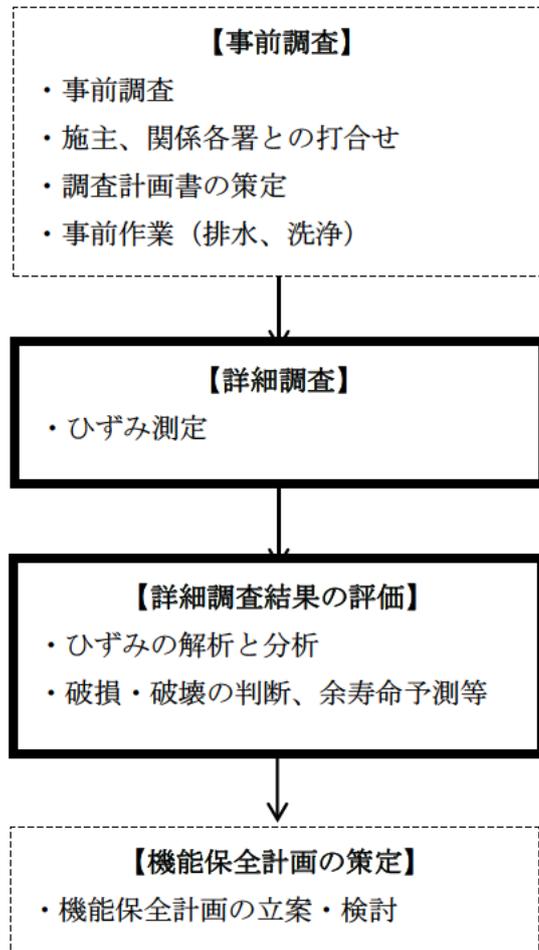


図2-3 FRPM 管の調査・診断手順

2. 2 調査前の準備

詳細調査を実施するにあたり、事前に準備・確認すべき項目を整理する。

[解説]

事前の準備は全体の作業効率を高め、正確な測定と安全性を確保するために実施する。

(1) 事前調査と事前確認・打合せ

調査対象となる現場の地図、埋設されている配管の図面、これまでの調査実績などの確認を実施する。現場を示す地図での確認ポイントは、配管への侵入口、通気用配管、調査対象の配管の高低差、曲り及び距離などの把握を行う。現場によっては、急勾配の配管接続部も存在する。

事前に把握したこれらの箇所を現地調査で確認する。

また、現地調査では可能な限り配管内部の状況を把握しておくことが望ましい。



図 2-4 事前調査の様子



図 2-5 図面による配管埋設状況の把握

(2) 調査計画書の策定・打合せ

現場調査に際して事前に調査計画書の策定を実施し、施主や関係各署との打合せを実施する。調査計画には主に以下の内容を記述し、円滑かつ安全な調査に向けた検討を実施する。

- ① 概要（工事名、概要、目的など）
- ② 調査内容（期間、調査場所、調査区間など）
- ③ 調査方法（工法、手順、注意点など）
- ④ 成果物（データの書式、写真野帳、分析・解析結果の例など）
- ⑤ 調査の体制（現場組織、代表者、管理者など）
- ⑥ 作業フロー（調査の詳細手順など）
- ⑦ 使用機材（調査に使用する機材など）
- ⑧ 安全衛生対策（緊急事態発生時の連絡体制、現場における緊急連絡先など）

(3) 現場調査における事前作業

パイプラインは、中山間地や丘陵地の貯水池、給水施設からの用水供給が行われているため、その用水には泥や砂を含んでいる場合がある。また、路線途中に配管の高低が繰り返されている部分があるために、水溜まりや泥溜まりが発生しやすい。水溜まりの深い所では、5cm から 10cm となるところもあり、浸水状態での作業における危険防止の観点からも、事前の排水作業は必須である。特に、配管内の泥や砂の堆積は、ひずみ測定（曲率測定装置）の測定精度に影響を与え、機器に悪影響を与え故障の原因にもなる可能性があるため注意が必要である。

また、調査作業中の配管への注水は実施しないことを施主及び管轄自治体との連絡や届出と確認が必要である。

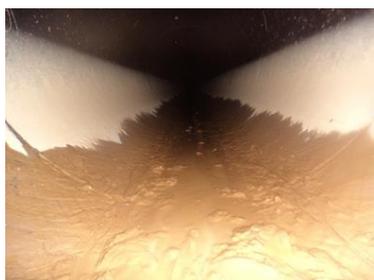


図 2 - 6 泥が堆積した配管内の様子



図 2 - 7 高圧洗浄の様子

2. 3 ひずみの測定方法

ひずみの測定では以下の点に留意する。

- ① ひずみの測定は、デプスゲージとベースにより構成される曲率測定装置を用いて行う。
(但し、正確な曲率半径を求めることができれば、この方法に限定しない。)
- ② ベース長は、FRPM 管の呼び径毎に設定する。
- ③ 局所的な変形を確認するため、横断方向、縦断方向の測定位置に留意する。

[解説]

(1) ひずみの測定方法

- ① 図 2-8 に示す曲率測定装置のベースの両端部を FRPM 管内面に接触させ、デプスゲージによりベース底面から FRPM 管内面の距離 (d) 測定して (図 2-9)、ひずみを算定する。なお、曲率測定装置とは、ベースとデプスゲージが一体化した構造となった機器を示す。

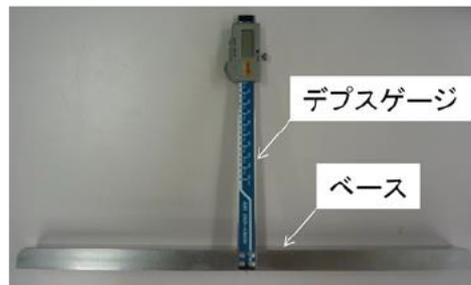


図 2-8 曲率測定装置の概要

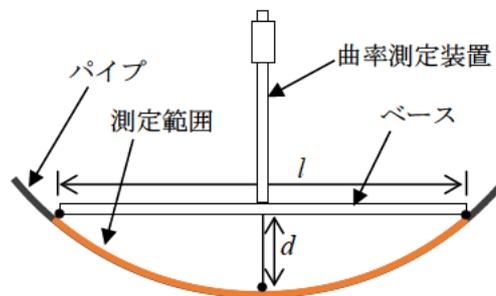


図 2-9 曲率の測定方法

曲率半径及びひずみの算定式を下記に示す。測定点におけるパイプの曲率半径 (管厚中心半径) r_a は下式より計算できる。

$$r_a = \frac{l^2 + 4d^2}{8d} + \frac{t}{2} \quad \dots (1)$$

r_a : パイプの曲率半径 (変形後の管厚中心半径)

l : ベース長

d : 測定長

t : 管厚

パイプ内面のひずみ ε_{in} は、式(1)にて求めた曲率半径「 r_a 」と、変形前の管厚中心半径「 r_b 」を式(2)に代入して計算できる。なお、正が引張方向のひずみである。また、この方法で求めているひずみは、曲げモーメントによって発生したひずみである。理論の詳細については、参考文献²⁾に示している。

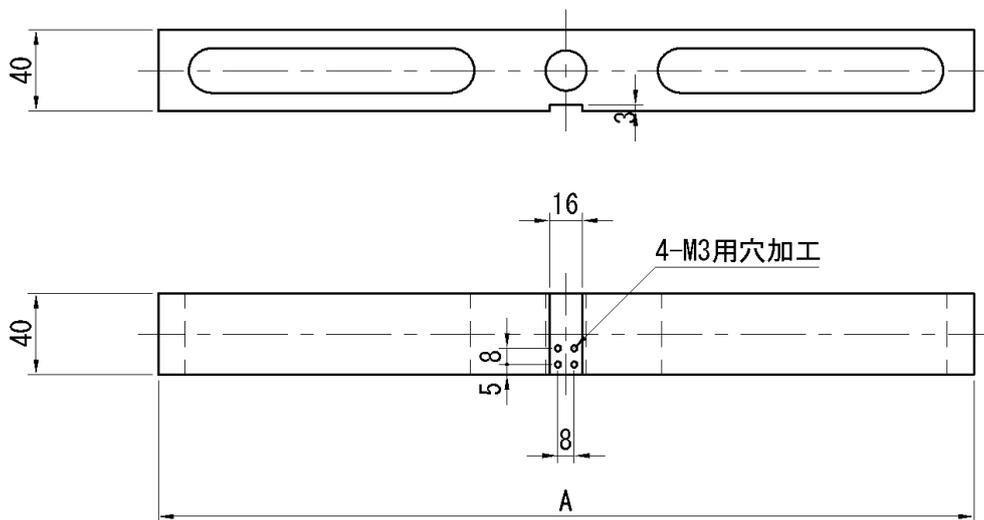
$$\varepsilon_{in} = \frac{t}{2} \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a} \right) \dots (2)$$

ε_{in} : パイプ内面のひずみ
 r_b : 変形前の管厚中心半径

- ② ひずみ測定に用いる機材は、デプスゲージ先端に別途ベースを取り付けたものとする。デプスゲージの先端は一点で当るもので、測定精度は0.1mm程度までのものとする。参考とするデプスゲージとベースの製作図(例)を下記に示す。



図2-10 デプスゲージ外観と先端形状



※ 材質：アルミ 単位：mm
 ※ 軽量化のためベースに孔加工を施している。

図2-11 デプスゲージ用ベース製作図(例)

FRPM 管の呼び径とベース長の関係を表 2-1 のように設定する。なお、設定の根拠については参考文献^{3)~5)}に示している。

表 2-1 呼び径とベース長の関係

呼び径	ベース長 l (mm)
800 ~ 1100	300
1200 ~ 2400	400
2600 ~ 3000	500

(2) 縦断方向の測定位置

測定点は可能な限り多い方が調査の精度は向上するが、費用対効果の観点からはデメリットである。そこで、通常の FRPM 管は 4m、もしくは 6m 管が多いことから、測定を行う縦断方向の位置に関しては、「両端 2ヶ所、及び配管中心地点」の 3 点の測定とする。FRPM 管の中心地点は、埋設状態における土圧や地上物に配置された建物や通行する車両からの圧力がかかるが、FRPM 管の両端部に関しては継手による接続を行うため、中心地点とは違った変状を示す可能性がある。このことから、FRPM 管における測定断面位置は、中心地点及び両端部の 3 点を基本とする。

但し、推定される破損事故原因や調査費用の観点なども考慮して、測定点を選定することが重要である。例えば、他の調査から集中荷重が作用している箇所が特定される場合は、その箇所周辺を重点的に測定したり、調査費用が限定される場合は、たわみ率を指標に測定点を選定したりする（たわみ率 3%以上限定するなど）ことなども考えられる。

(3) 横断方向の測定位置

大きなひずみが生じる管頂・管底・管側に加えて、管底周辺の異物残置などを確認するため、管底から左右 22.5°の 2 点の合計 6 点を基本とする (図 2-13)。下記に測定位置の参考例を示す。

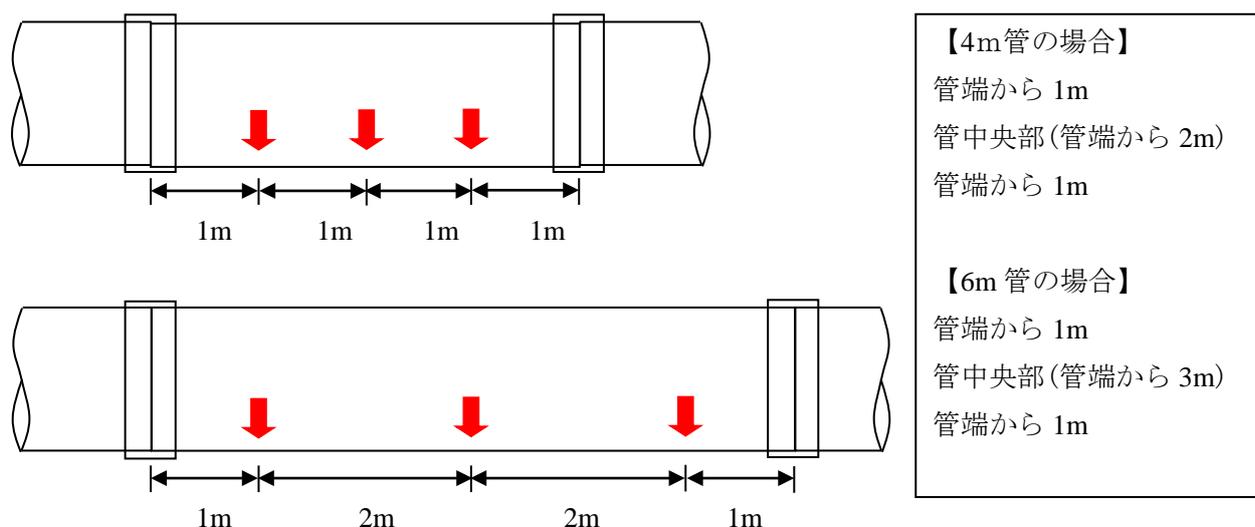
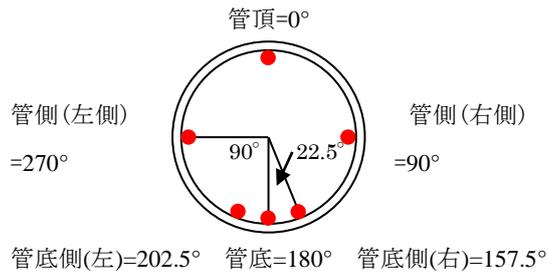


図 2-12 配管の縦断方向における測定点



横断方向の位置は、管頂を0°とし、パイプラインの「上流側」から見た位置で左右位置を定義する。

図 2-13 横断方向における測定点

(4) 連続測定 (案)

詳細調査という位置づけからより多くの点数を測定する必要がある場合、図 2-14 に示す曲率測定装置を用いた調査を実施する。

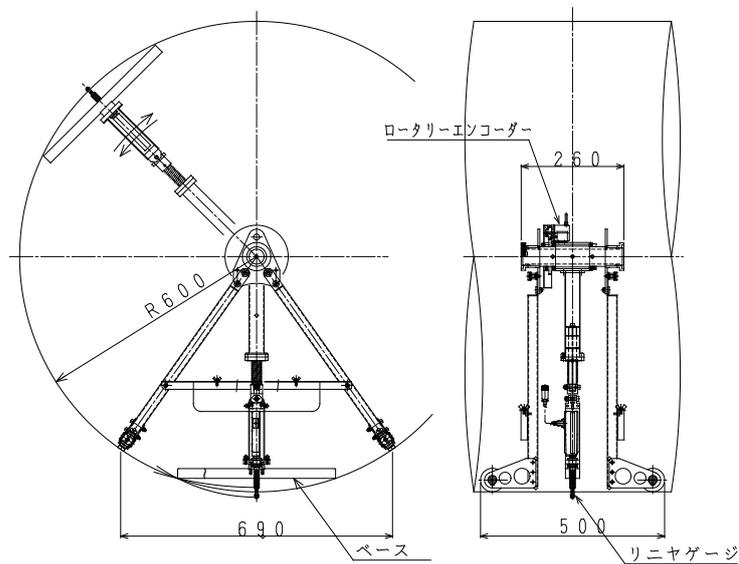


図 2-14 曲率測定装置案 (φ1200 用)

曲率測定装置はベースにリニアゲージを取り付け、管内を手動により回転させながら測定を行う。測定長はリニアゲージ、角度はロータリーエンコーダにより測定を行うため、データロガーを併用することにより、管軸方向や円周方向の測定ピッチを任意に設定することができるため、連続した測定が可能となる。

2. 4 データの記録

測定結果の評価を行うため、測定値から求められるひずみの値や現場で撮影された写真などを用いて下記の様な表を作成する。

[解説]

ひずみ測定のための目的は、FRPM 管の 1 本毎に発生している最大ひずみとその箇所を特定することである。表 2-2 に例として、デプスゲージにて測定した測定長、式(1)にて算出された曲率半径 r_a 、式(2)にて算出されたひずみ値 ε_{in} をまとめた一覧表を提示する。

表 2-2 測定値とひずみの一覧表 (例)

調査区間		〇〇地域 〇〇幹線 ひずみ調査業務								
管割番号		No.〇〇								
呼び径		800								
管種		内圧2種								
成形方法		遠心力成形								
規格管厚t(mm)		20								
管長(mm)		4000								
ベース長L(mm)		300								
変形前の管厚中心半径rb(mm)		410								
測定位置(上流より)		1m			2m			3m		
測定結果		測定長 d(mm)	曲率半径 ra(mm)	内面ひずみ値 ε in(μ)	測定長 d(mm)	曲率半径 ra(mm)	内面ひずみ値 ε in(μ)	測定長 d(mm)	曲率半径 ra(mm)	内面ひずみ値 ε in(μ)
検査角度(度)	0 (管頂)	26.3	451	2213	25.9	457	2523	26.2	452	2290
	90 (右)	32.1	377	-2169	32.5	372	-2462	32.0	378	-2095
	157.5	26.5	448	2058	26.5	448	2066	28.6	418	447
	180 (管底)	24.3	485	3776	25.8	459	2617	19.1	609	7958
	202.5	26.6	446	1980	27.2	437	1510	27.6	431	1210
	270 (左)	32.7	370	-2609	32.5	372	-2462	32.3	374	-2316

また、後からパイプ内の状況を把握するために、写真として記録を残すことが望ましい。

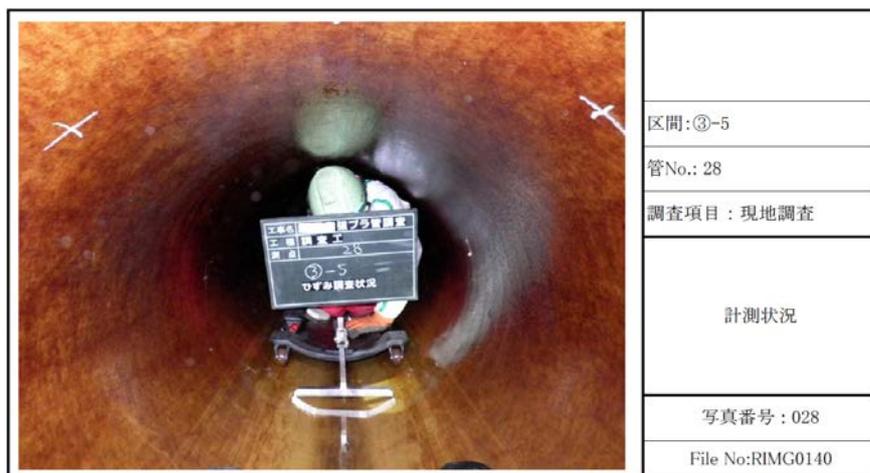


図 2-15 現場写真整理(例)

3 評価

3.1 概要

本章では、測定したひずみの大きさから、FRPM 管の安全性を判定する診断表を提示する。また、長期的な安全性を評価するために、余寿命予測の考え方を示す。

[解説]

FRPM 管の安全性は短期の試験値に基づいて評価することが一般的であるが、FRPM 管の変形はクリープを伴うことなどから、長期の試験値から安全性を評価するほうがより適切である。そこで、ISO の規格に準じた FRPM 管の長期試験を実施して、50 年後の破壊ひずみを求めて、その値に基づいて安全性を診断する際のしきい値を設定した。

また、期間の異なる 2 回の以上の計測値から、FRPM 管の余寿命を予測する方法の考え方を提示した。

3. 2 安全性の判定

本手法で測定したひずみから、表3-1に基づいて、FRPM管の安全性を判定し、対策を実施する。

表3-1 FRPM管における安全性の判定

評価レベル	ひずみ(μ)	対応の目安
M1	6,000 以上	新管による入れ替え／管路更生工法
M2	4,000 以上～6,000 未満	2年毎に点検及び改修時期の検討
M3	2,000 以上～4,000 未満	5年毎に点検
M4	2,000 未満	10年毎に点検

[解説]

使用時の限界ひずみについて、ISO 基準では ISO/TR10465-2「非飽和ポリエステル樹脂ベースのフレキシブルガラス強化熱硬化性樹脂管 (GRP-UP) の地下埋設—第2部：静的計算法の比較」にて長期極限曲げひずみ S_b に対して 1.5 の安全率を考慮するよう規定されている。参考資料 1 に後述するように、FRPM 管の長期極限曲げひずみは 9,866μ ((株) 栗本鐵工所)、9,333μ (積水化学工業 (株))、9,830μ ((株) クボタ) である。そのため、長期極限曲げひずみ S_b から使用時の限界ひずみを求めると、それぞれ、6,577μ、6,222μ、6,553μ となる。

以上のことから、対策の目安として、6,000μ 以上の場合、評価レベル M1 として新管による入れ替え、管路更生工法の適用とした。

評価レベル M2 は、M1 のレベルから安全率 1.5 を考慮してひずみの下限値を 4,000μ に設定した。このため、適用範囲を 4,000～6,000μ に設定した。

評価レベル M3 は、M1 のレベルから安全率 3 を考慮してひずみの下限値を 2,000μ に設定した。このため、適用範囲を 2,000～4,000μ に設定した。

2000μ 以下の評価レベル M4 については、変形量が小さいため、10年毎の点検を目安として位置づけた。

上記を参考に、現場条件に応じて、点検時期や補修などの対策を実施することが重要である。

なお、農水省設計基準の構造計算では試験外圧 (破壊外圧の 80%) に対して 2 の安全率を考慮するよう規定されている。FRPM 管の外圧による破壊ひずみが 14,900μ であることから、使用時の限界ひずみは、 $14,900\mu \times 0.8 \div 2 = 5,960\mu$ となり、評価レベル M1 で設定した 6,000μ と同程度である。

また、CC 成形管は長期試験においてバラツキの大きな製品であることが確認されているため、現場毎に使用している管の性能を把握して、安全性を評価することが重要である。

3. 3 余寿命予測（案）

測定時期が2年以上異なる2回の測定値から外挿し、長期極限曲げひずみ試験で得られた回帰曲線に安全率1.5を考慮した基準線と交差するまでの時間を余寿命とする。

なお、ここでいう余寿命とは、補修計画までの策定に要する期間とする。

[解説]

長期極限曲げひずみ試験で得られた回帰曲線から安全率1.5を考慮した曲線を基準線(赤線)とする。例えば、1回目の測定値(埋設後5年)が $3,000\mu$ (桃色の点)で、さらに5年後(埋設後10年)の測定値が $3,200\mu$ (青色の点)とすると、この2点の測定値から将来発生するひずみ量を直線的に外挿する。(緑色の点線)

この2点の測定値を延長して最終測定から10年後は $3,600\mu$ 、20年後は $4,000\mu$ と算定でき、50年後は 4800μ となり「M2」ランクと予測できる。

ただし、実現場の埋設管は交通荷重や土被りの変化などの影響を強く受けているため、単純なクリープ変形ではない可能性も高い。このため、一定期間毎の継続調査で精度を高めていく事が重要である。

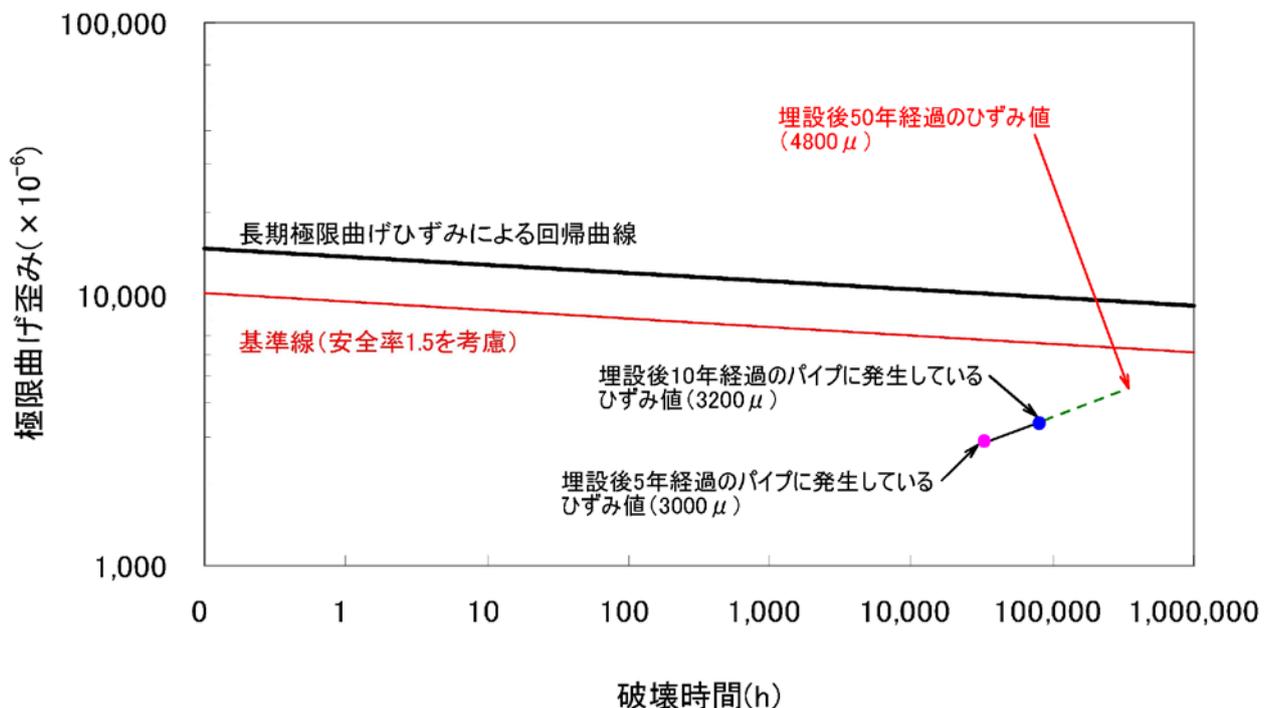


図3-1 余寿命予測シミュレーション参考図

參考資料

1 FW 成形管の長期極限曲げひずみ

FW成形管の長期性能評価を確認するため、ISO規格に基づく長期極限曲げひずみ試験を実施して、パイプのクリープ変形に伴う破壊時間と破壊時のひずみの関係を求めた。また、試験結果から長期極限曲げひずみを求めた。

1. 1 試験方法

試験方法はISO10471「ガラス強化熱硬化性プラスチック（GRP）管—湿潤条件下における長期究極曲げひずみ及び長期究極相対リングたわみの測定」に準拠した。図1-1に示す試験装置を用いて、3種類の供試管を水中に設置し、静的荷重を負荷して破壊に至るまでの時間及び破壊時の円周方向ひずみを測定した。

初期ひずみを変え、破壊に至るまでの時間を10,000時間以上までばらつかせ、ISO 10928「プラスチック配管システム—ガラス繊維強化熱硬化プラスチック（GRP）管及び管継手—回帰分析法及びその利用」に基づき回帰直線を算出し、50年後の長期極限曲げひずみ(破壊ひずみの外挿値)を求めた。なお、試験は気温 $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、水槽の $\text{pH}7\pm 2$ の条件で行うものとした。

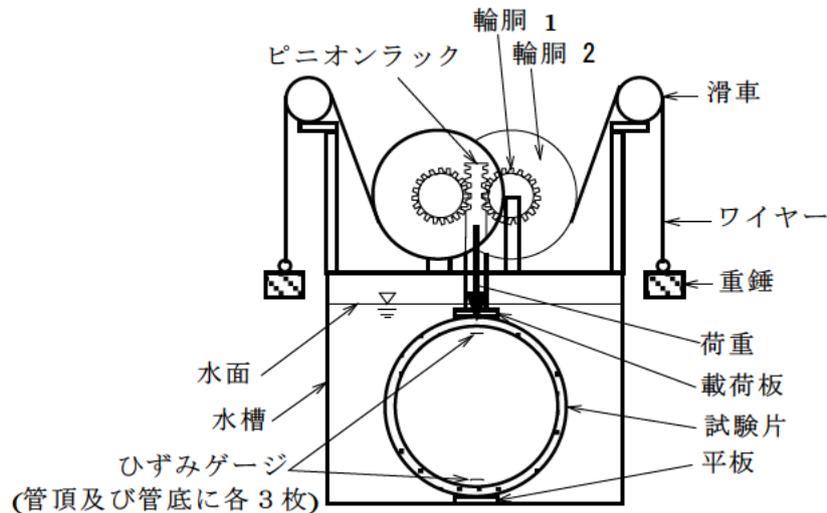


図1-1 長期限界曲げひずみ試験装置

1. 2 試験結果（極限曲げひずみの算定）

(1) 試験パイプ 1（株栗本鐵工所製品、内圧 3 種、φ500）

破壊時間と極限曲げひずみの関係を図 1-2 に示す。なお、得られたデータから、ISO10928 に基づき回帰分析を行った。

回帰分析から得られた回帰直線を①式に示す。

$$y = 0.19614 - 0.03581 \times x \quad \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

ここに、y：観察特性値の常用対数（log）

x：破壊時間の常用対数（log）

①式から、50 年（438,000 時間）後の長期極限曲げひずみ S_b は下記のように算出される。

$$S_b = 10^{-0.00588} = 0.9866 \% = 9,866 \times 10^{-6}$$

以上のことから、50 年後の長期極限曲げひずみ（破壊ひずみの外挿値）は $9,866 \times 10^{-6}$ となった。

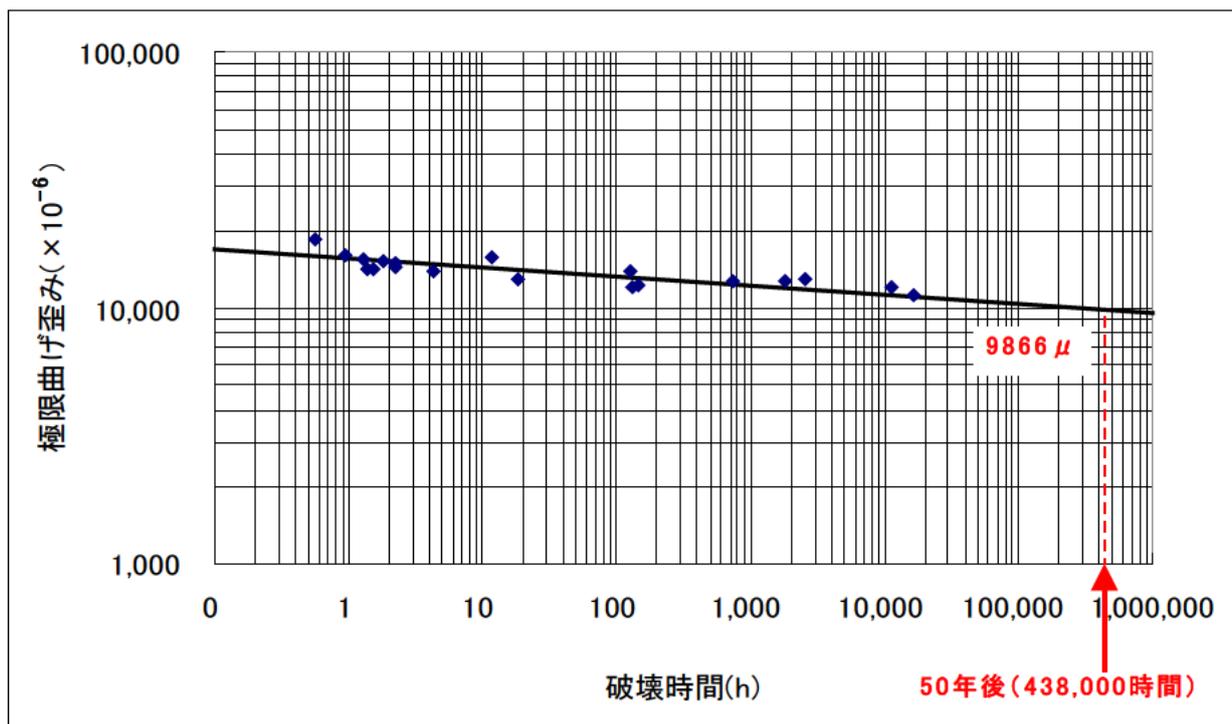


図 1-2 破壊時間と極限曲げひずみの関係

(2) 試験パイプ 2 (積水化学工業(株)製品、内圧 4 種、φ500)

破壊時間と極限曲げひずみの関係を図 1-3 に示す。なお、得られたデータから、ISO10928 に基づき回帰分析を行った。

回帰分析から得られた回帰直線を②式に示す。

$$y = 0.16647 - 0.03482 \times x \quad \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

ここに、y : 観察特性値の常用対数 (log)

x : 破壊時間の常用対数 (log)

②式から、50 年 (438,000 時間) 後の長期極限曲げひずみ S_b は下記のように算出される。

$$S_b = 10^{-0.0299661} = 0.9333 \% = 9,333 \times 10^{-6}$$

以上のことから、50 年後の長期極限曲げひずみ(破壊ひずみの外挿値)は $9,333 \times 10^{-6}$ となった。

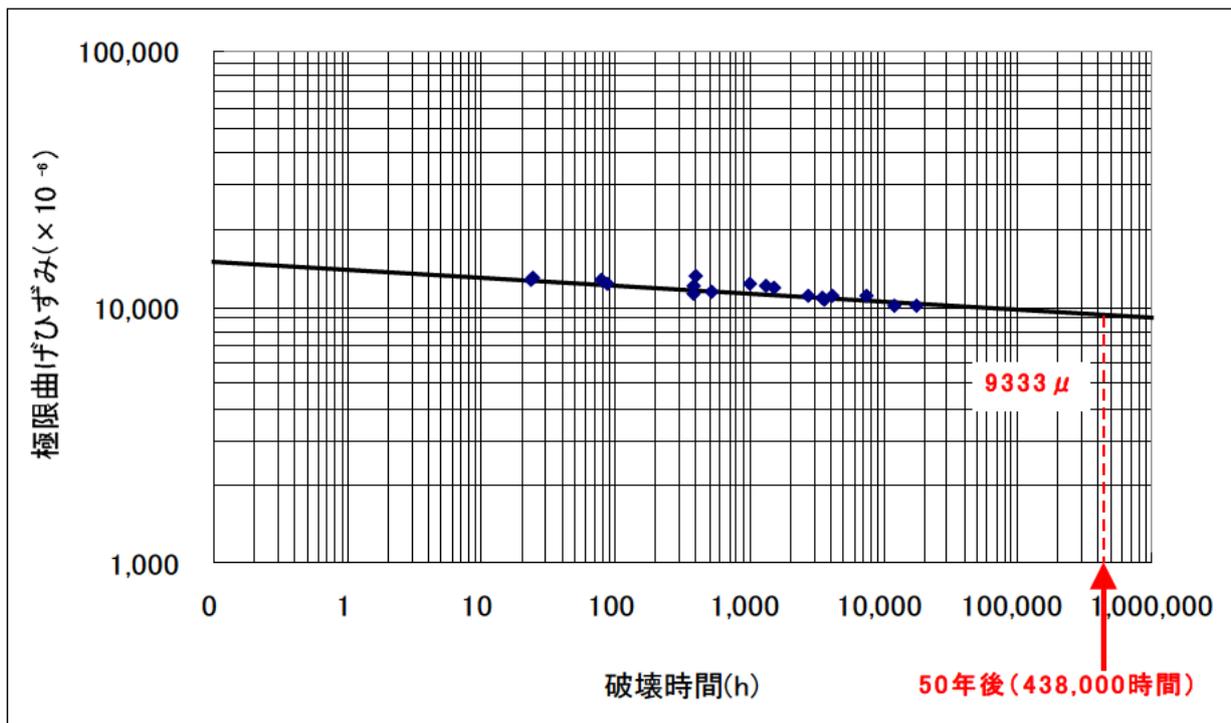


図 1-3 破壊時間と極限曲げひずみの関係

(3) 試験パイプ 3 (株クボタ製品、内圧 4 種、φ600)

破壊時間と極限曲げひずみの関係を **図 1-4** に示す。なお、得られたデータから、ISO10928 に基づき回帰分析を行った。(参考文献 7)

回帰分析から得られた回帰直線を③式に示す。

$$y = 0.24291 - 0.04438 \times x \quad \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

ここに、y : 観察特性値の常用対数 (log)

x : 破壊時間の常用対数 (log)

③式から、50 年 (438,000 時間) 後の長期極限曲げひずみ S_b は下記のように算出される。

$$S_b = 10^{-0.0074598} = 0.9830 \% = 9,830 \times 10^{-6}$$

以上のことから、50 年後の長期極限曲げひずみ (破壊ひずみの外挿値) は $9,830 \times 10^{-6}$ となった。

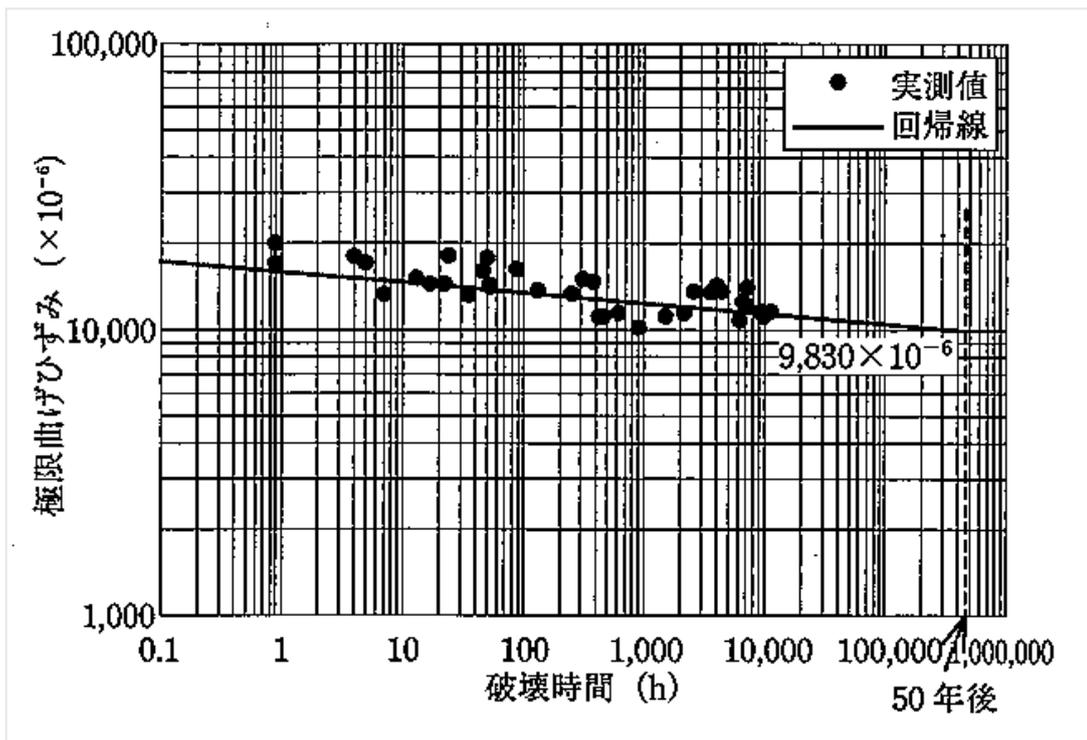


図 1-4 破壊時間と極限曲げひずみの関係

1. 3 使用時の限界ひずみ

使用時の限界ひずみについて、ISO 基準では ISO/TR10465-2「非飽和ポリエステル樹脂ベースのフレキシブルガラス強化熱硬化性樹脂管（GRP-UP）の地下埋設—第2部：静的計算法の比較」にて長期極限曲げひずみ S_b に対して 1.5 の安全率を考慮するよう規定されている。このため、長期極限曲げひずみ S_b から使用時の限界ひずみを求めると以下ようになる。

表 1-1 (使用時) 限界ひずみの算出結果

メーカー	(使用時) 限界ひずみの算出結果
株栗本鐵工所	$6,577 \times 10^{-6}$
積水化学工業(株)	$6,222 \times 10^{-6}$
株クボタ	$6,553 \times 10^{-6}$
農水省の設計基準	$5,960 \times 10^{-6}$

一方、農水省設計基準の構造計算では試験外圧（破壊外圧の 80%）に対して 2 の安全率を考慮するように、規定している。このため、FRPM 管の使用時の限界ひずみは、外圧による破壊ひずみが $14,900 \times 10^{-6}$ であることから、 $14,900 \times 10^{-6} \times 0.8 \div 2 = 5,960 \times 10^{-6}$ となる。この値は、長期的な限界ひずみよりも小さく、耐用年数 50 年を経過した場合でも、安全側である。

2. 特許の実施許諾

本手法には下表に示す特許があります。現場で本手法を利用したい場合は、実施許諾の手続きが必要になりますので、事前にご相談ください。

連絡先

(本手法に関するご相談)

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
農村工学研究部門 技術移転部 技術移転推進室 交流チーム
〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6
TEL:029-838-7677
FAX:029-838-7680
E-mail: nkk-tizai@naro.affrc.go.jp

(実施許諾の手続きに関するご相談)

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
連携広報部 知的財産課 特許ライセンスチーム
〒305-8517 茨城県つくば市観音台 3-1-1
TEL: 029-838-6465
FAX: 029-838-8905
E-mail: naro-kyodaku@naro.affrc.go.jp

関連する特許一覧

番号	発明の名称 (呼称・略称)	登録番号・公開番号 (出願番号)	出願者 (権利者)
①	配管の曲げひずみ推定方法およびその方法を用いた配管の安全率評価方法	特許第 6261365 号 (特開 2015-152403)	農研機構
②	配管の歪み検査装置	(特開 2016-109491)	積水化学工業 (株) (株) 栗本鐵工所 農研機構

②は 2.3(4)連続測定 (案) 等に関する特許

参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局 (2009) : 土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」
- 2) 有吉充、毛利栄征、堀俊和、松島健一、上野和広 (2013) : 埋設パイプラインの安全性照査のための曲げひずみ推定手法、農業農村工学会論文集、81 (4)、349-357
- 3) 有吉充、毛利栄征、裕昌也、久保田健藏 (2016) : 曲げひずみ推定手法の強化プラスチック複合管への適用性の検証、農業農村工学会論文集、84 (3)、I_381-I_389
- 4) 有吉充、毛利栄征、裕昌也、東俊司、堀俊和 (2013) : 曲げひずみによる FRPM 管の構造安全性の評価について、農業農村工学会大会講演会講演要旨集、764-765
- 5) 有吉充、毛利栄征、堀俊和、東俊司、裕昌也 (2013) : 曲率計測による FRPM 管の構造安全性評価について、地盤工学研究発表会発表講演集、1459-1460
- 6) 裕昌也、藤本光伸、久保田健藏、有吉充、毛利栄征 (2015) : 曲率計測による FRPM 管の機能診断調査手法、農業農村工学会大会講演会講演要旨集、798-799
- 7) 井戸本靖史、宮崎徹、矢野博彦、中島賢二郎 (2007) : FW 成形強化プラスチック複合管の長期性能試験、農業土木学会誌、75 (2)、121-124