

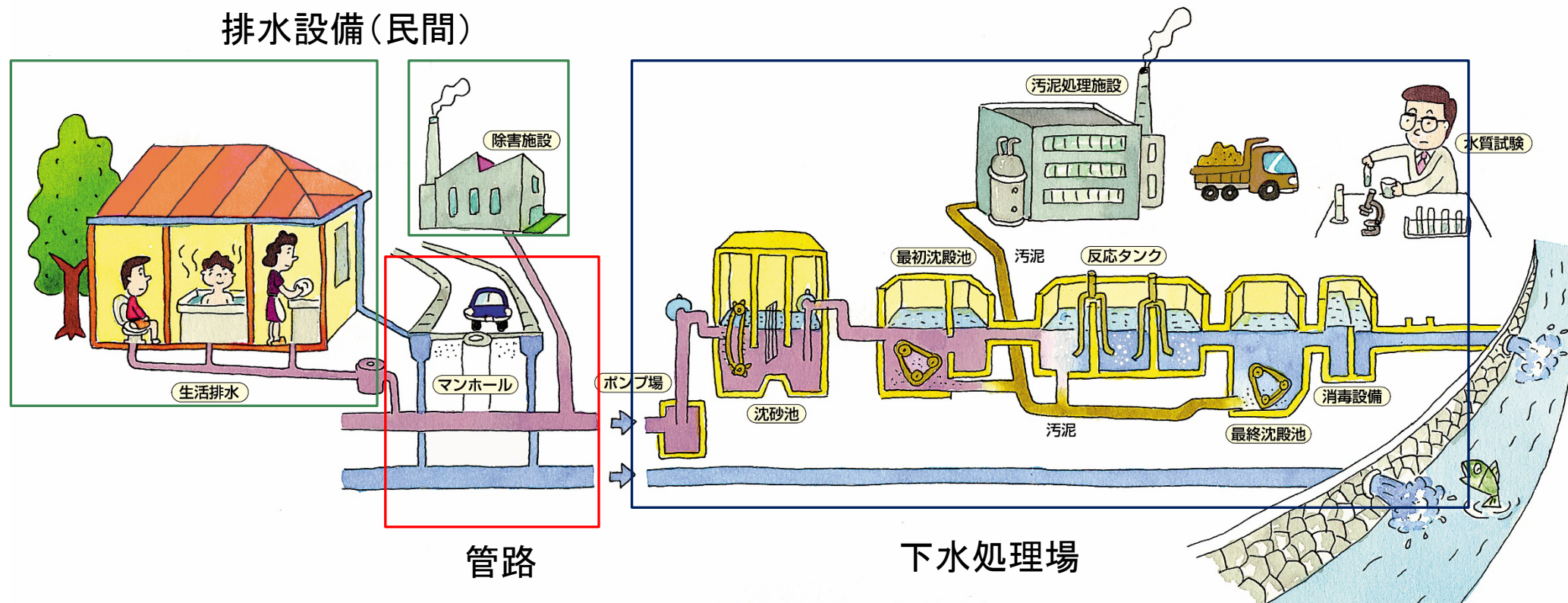
下水道更生管の長期強度予測の新展開 ～50年後の耐久性を約1年で評価～

国立研究開発法人 土木研究所
宮本 豊尚

1. 下水道管路とその特徴
2. 下水道管路の劣化と再構築
3. 長期的な更生管の耐久性の考え方と新しいアプローチ
4. まとめと今後の展開

下水道施設の概要

下水道施設は、（排水設備）、管路、処理場 に大別



「21世紀の下水道を考える会」協議会HP

https://www.21stgesui.jp/kankyo-kyoiku/material/download/download_illust/thumb-nail.html

下水道施設の特徴

- ・ 下水道の目的は、「浸水防除」、「公衆衛生の向上」、「公共用水域の水質保全」
(雨水排除と汚水処理)
- ・ 止まらない/止められない流入
- ・ 様々な微生物の影響を常に受け、また微生物の代謝物に伴う化学的な影響を受ける
- ・ 市民生活だけでなく、地上や地盤、地下水、構造の影響を受ける
→ 場所により環境が異なる

1. 下水道管路とその特徴
2. 下水道管路の劣化と再構築
3. 長期的な更生管の耐久性の考え方と新しいアプローチ
4. まとめと今後の展開

コンクリート管の不良事例

公社 日本下水道管路管理業協会:下水道管路管理マニュアルより



腐食(鉄筋露出)



接手ずれ(脱却)



浸入水



たるみ



クラック(円周方向)

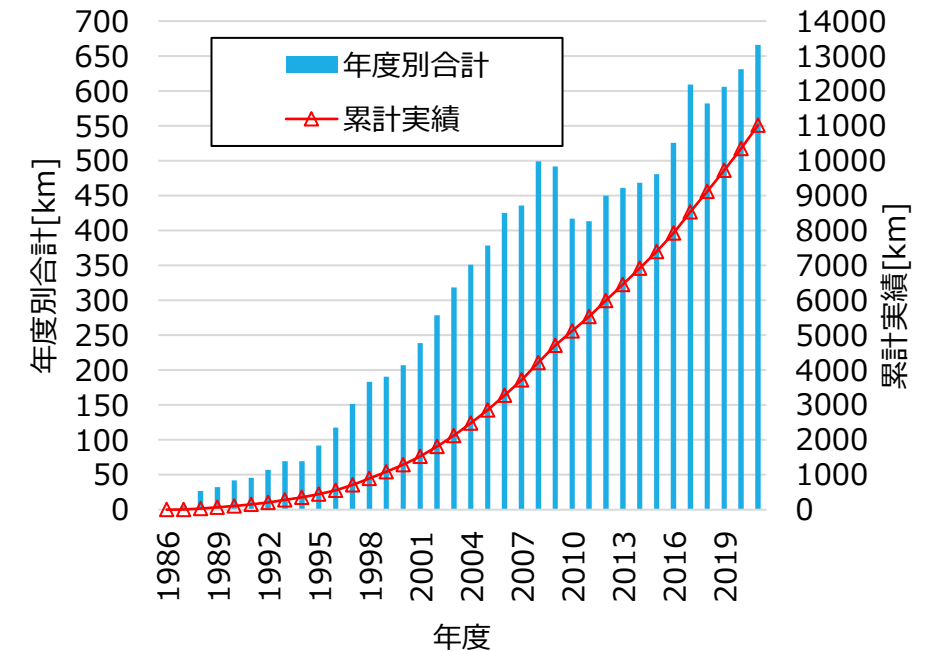


木根侵入

更生管の現状と課題

全国約50万kmの下水道管渠のうち、
約2%（約1万km）で施工済み
現在、年間約500kmの管渠が更生工法を実施。

- ・ 2000年頃から急速に普及
- ・ 最も古いもので施工後約40年経過
- ・ 点検の優先度は低くなっている
- ・ 材質は、FRPと塩化ビニルが多い
（これらは比較的新しい材料）



更生管の施工延長

一般社団法人 日本管路更生工法品質確保協会HP:
<https://hinkakukyo.jp/results/index.html>

更生管の耐久性について、5年間の試験が実施
5年を超える長期的な影響については、さらに検討が必要と課題が示されている

【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-】（公社）日本下水道協会

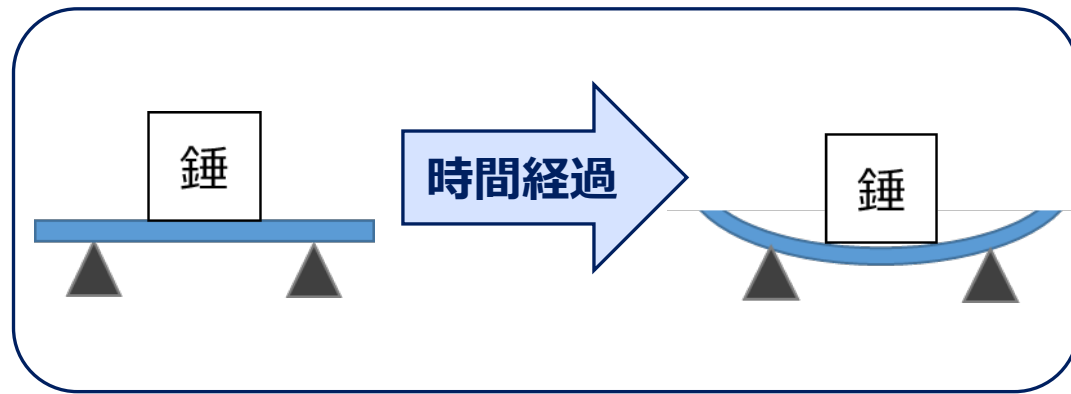
1. 下水道管路とその特徴
2. 下水道管路の劣化と再構築
3. 長期的な更生管の耐久性の考え方と新しいアプローチ
4. まとめと今後の展開

更生管の劣化とクリープ現象

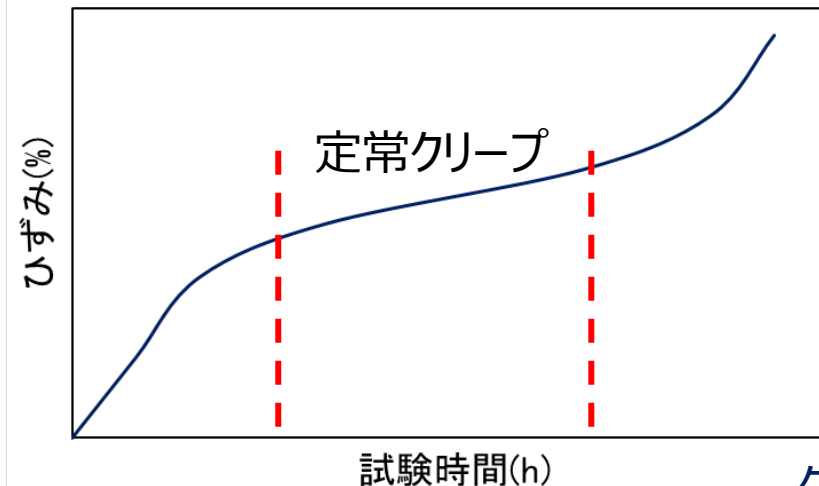
- 更生管に使用される高分子材料は、耐酸性/耐アルカリ性などの耐薬品性の基準をクリアしたものが使用されている
- 一方で、高分子材料は時間依存型の**クリープ現象**が進行する。

※クリープ現象

材料に一定荷重を長時間掛けた場合、時間経過と共に材料の変形量が増加する現象



クリープ変形



クリープ線図

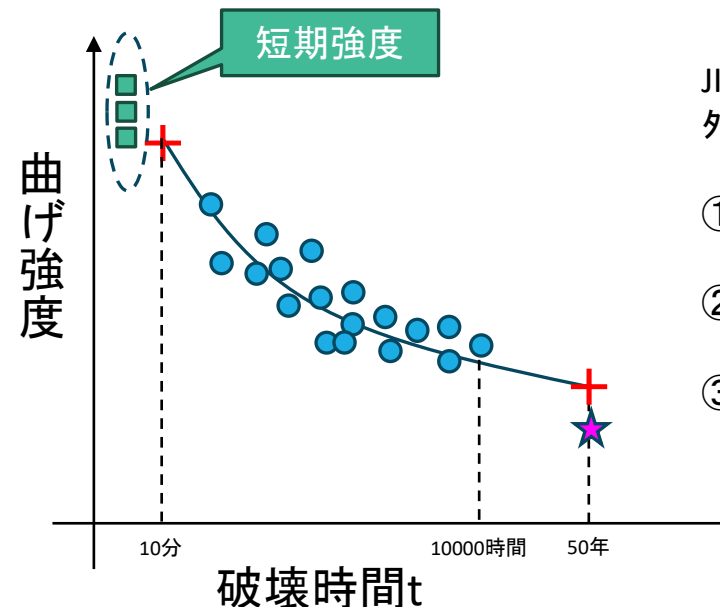
長期的な耐久性に関する現状の考え方

- 現在の設計では、**23℃水中**での応力負荷試験から耐用年数**50年後**の長期曲げ強さや曲げ弾性率を推定し、これらを用いた構造計算が行われている。
(※耐薬品性については別途試験有)



公益社団法人 日本下水道協会発行 管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン-2017年度版-

- これまでの手法は10,000時間(1年数カ月)までの応力負荷試験から外挿して50年後の応力を推定しているにすぎず、
長期的な耐久性に関する評価は十分とはいえない。
また技術開発の律速になっている。



JIS K7039の結果を踏まえた JIS K 7020 より外挿法による50年後の曲げ強さの計算

- ① **23℃でのクリープ試験に基づく近似曲線** (最大10,000 hまで N=18以上から算出)
- ② **6分後と50年後外挿値**を①で求めた近似曲線により計算
- ③ ②で求めた外挿値及び**短期強度**の最小値から推定される**50年後の曲げ強さの最小値**を計算

試験結果の外挿方法

- ①（現行の方法） 供用を想定する環境温度で得られた応力破断曲線を
そのまま長期側へ延長し、外挿する方法

②パラメータPを用いて外挿する方法

⇒**Larson-MillerのパラメータP**を活用

- 異なる温度におけるクリープ破断データ（破断応力と時間の関係）を統一的に整理し、破断応力-材料温度-破断時間の相関関係を簡単な数式で表現

$$P = T (C + \log t) \quad C = \frac{T_1 \log t_1 - T_2 \log t_2}{T_2 - T_1}$$

- Pは温度と時間がクリープ破壊に与える影響を表すパラメータであり、Pと応力の関係が試験温度に依らず、一つの関係式で表せることを利用
- 高温・短時間のクリープ破断データから、低温・長時間のクリープ破断を予測**

課題解決に向けた新たなアプローチ

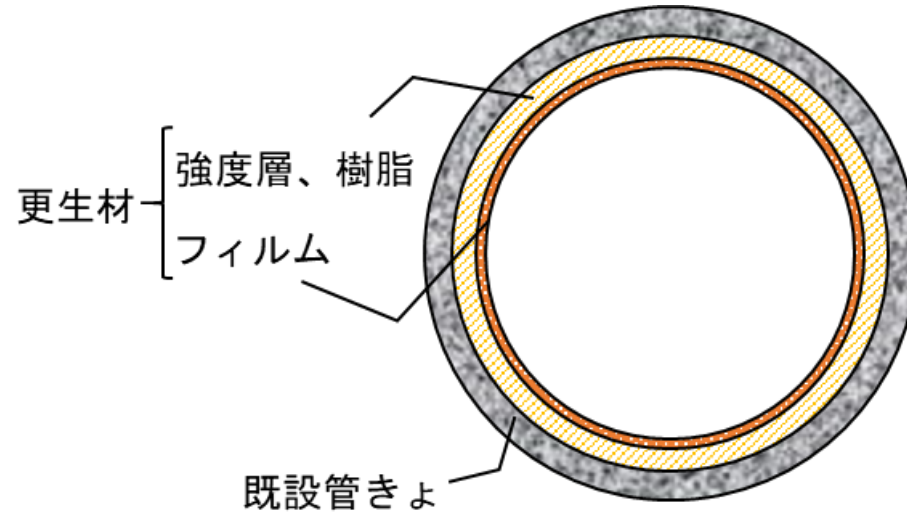
- 長期曲げ強さを算出する**クリープ試験**に着目。
⇒この試験を「**加速**」することで試験時間の短縮や長期的に起こる現象の把握を行う。
- 本研究では「**温度**」を促進因子とした加速試験の適用性把握を目的とした。
- 60℃および45℃の水中で更生管のクリープ試験を実施。
クリープ変形挙動および耐久性評価の短時間化について確認した。

実験方法(試験片の作製)

➤使用更生材

工法Aの特徴

- ・強化繊維からなる強度層
- ・不飽和ポリエステル系の硬化性樹脂
- ・現場硬化管



硬化管の概念図

➤作製手順

- ①既設管きよを模擬したφ300mmボイド管に6mm仕様の更生材ライナーを引き込む。



ボイド管に製作した硬化サンプルイメージ

- ②更生材ライナーを加圧、拡張・圧着後に硬化させ、リング（管）状の硬化サンプルを得る。

- ③硬化サンプルを所定長さで切り出す。

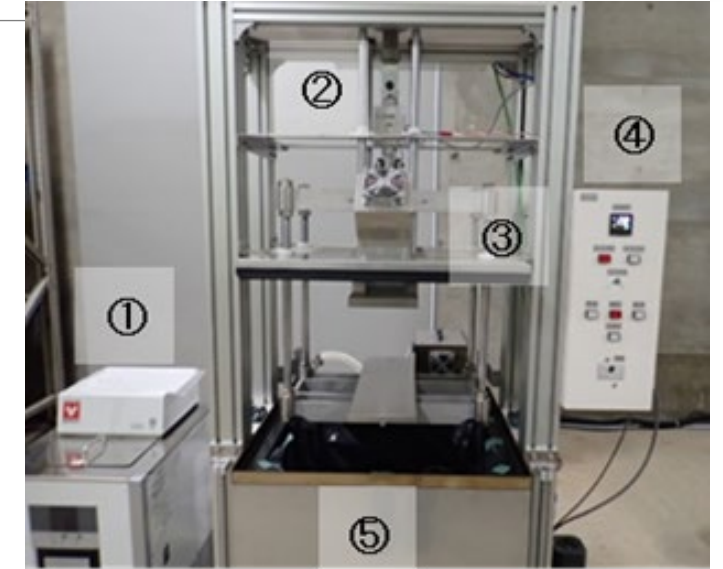
リング状の試験片



実験方法(クリープ試験)

➤ 試験条件

項目	詳細
クリープ試験装置	①外部チャラー、②ロードセル (50kN)、③圧縮板上下 (下板が上下に駆動)、④操作盤、⑤水槽
環境温度	45℃、60℃
環境液	水

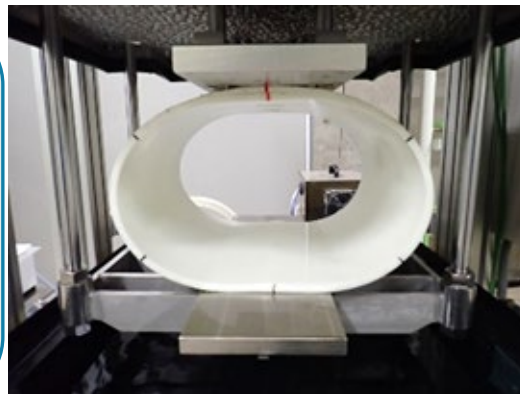


クリープ試験装置

➤ 試験手順

① 試験片の初期曲げ強さを測定

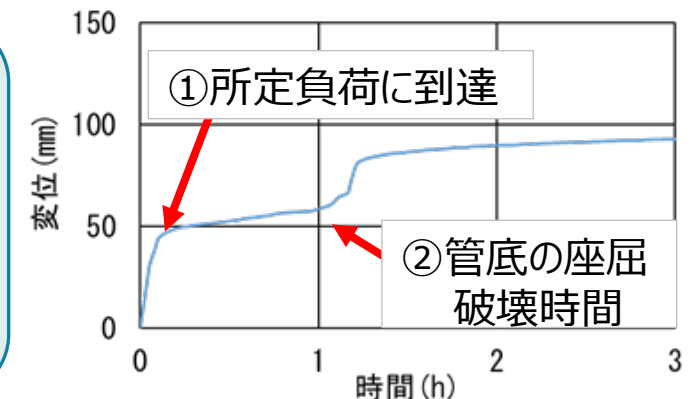
- ・試験片の直径方向に圧縮荷重を負荷
- ・破壊変位・荷重を測定



試験片破壊状況 (気中)

② クリープ試験を実施

- ・50～80%の初期曲げ強さとなる载荷条件を設定
- ・試験片の破壊時間を測定



変位-時間曲線 (一例)

実験結果

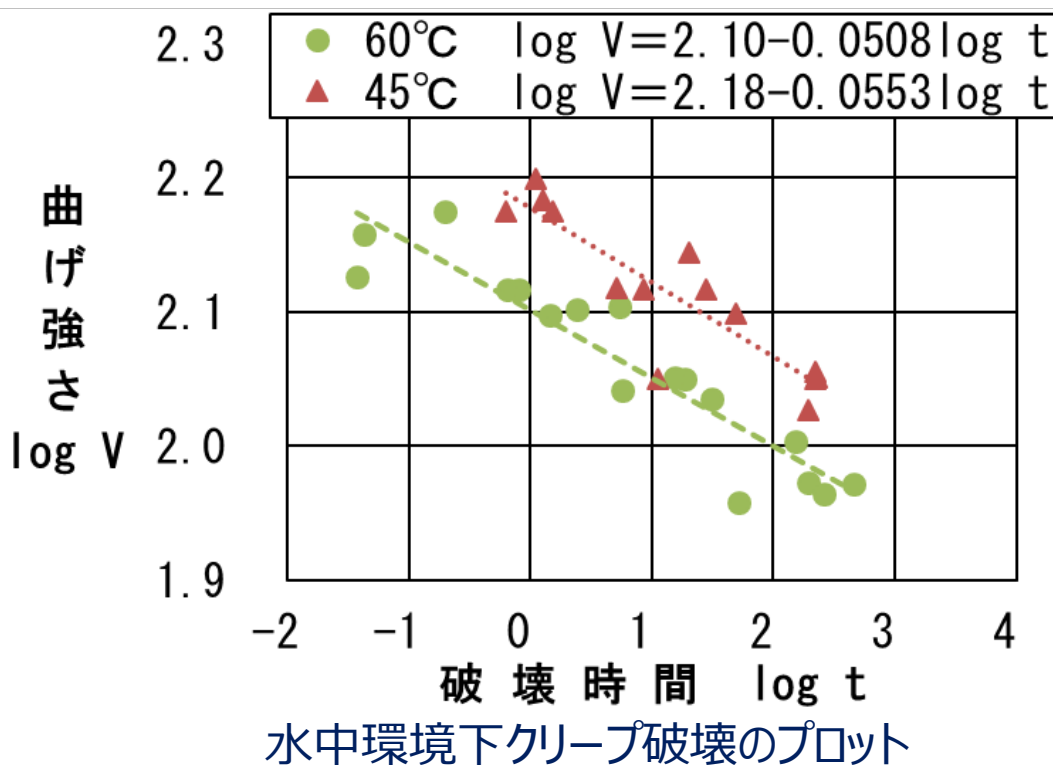
➤ JIS K7039を参照したクリープ破壊のプロット

縦軸：負荷荷重から算出した曲げ強さ V に対する対数曲げ強さ $\log V$

横軸：破壊に至るまでの破壊時間 t に対する対数時間 $\log t$

$$V = \frac{6 \times 0.318 \times (F/L) \times (d_m/2)}{e^2}$$

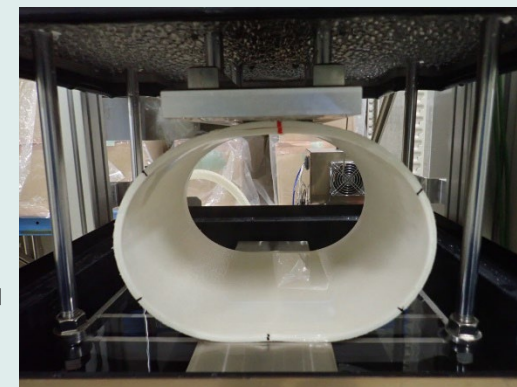
負荷荷重： F (N) 長さ： L (mm)
平均直径： d_m (mm) 厚さ： e (mm)



試験片破壊状況（水中から取り出し時）

破壊形状

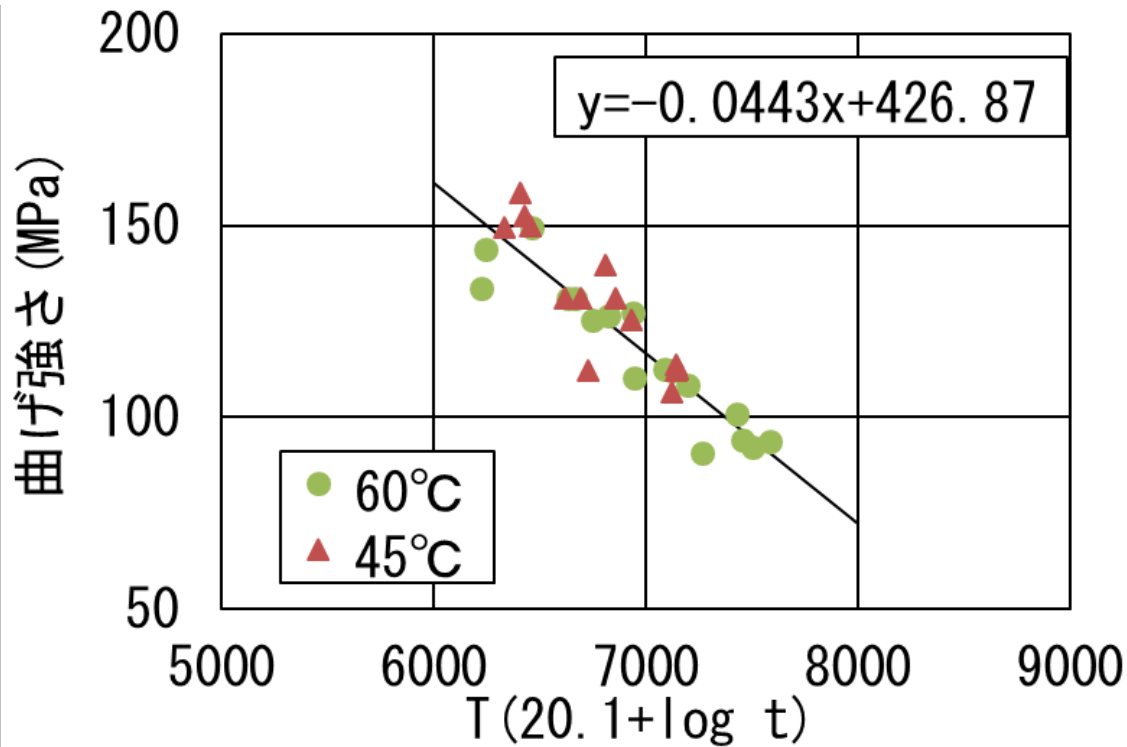
→ 気中と同じく試験片管底の座屈



試験温度が上がると、同じ曲げ強さでの破壊時間が早まる。

Larson-Millerのパラメータを用いたマスターカーブ

加速試験の適用性を確認するため、高分子材料のクリープ破壊の予測モデルとして知られている **Larson-MillerのパラメータPを用いた、マスターカーブ**を作成。



Larson-Millerパラメータによるクリープ破壊曲線

縦軸 y : 曲げ強さ
横軸 x : $T(C + \log t)$

パラメータ $P = T(C + \log t)$

t : 時間(h)

T : 絶対温度(K)

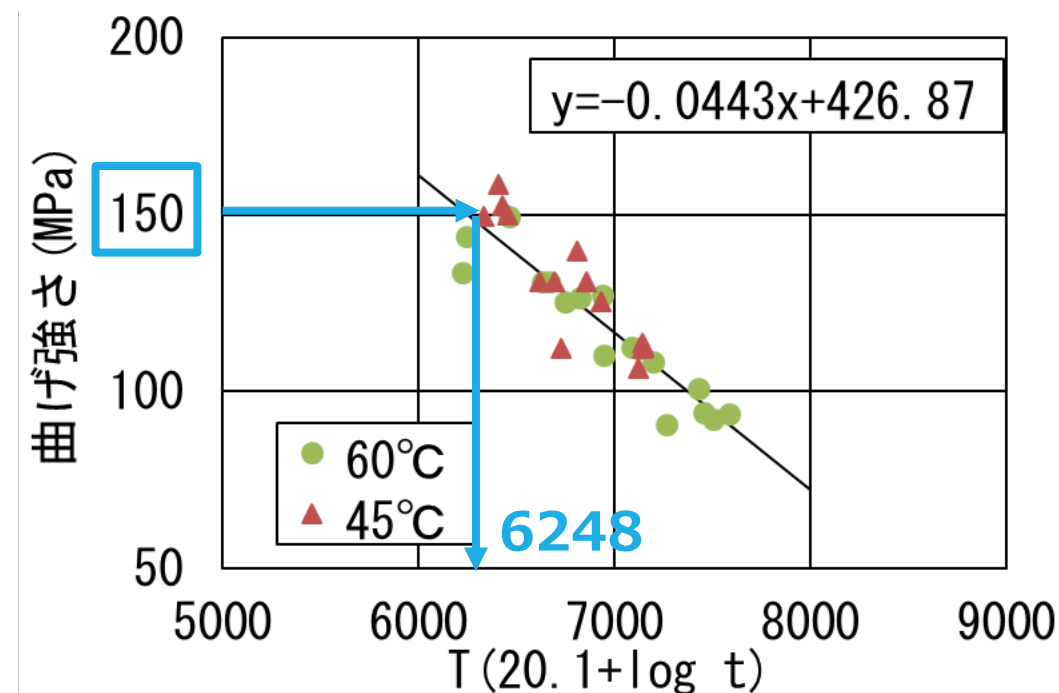
C : Larson-Miller定数

材料定数C : 今回試験の結果から工法Aの最適値として20.1を採用

マスターカーブの妥当性確認

縦軸 y : 曲げ強さ

横軸 x : $T(C + \log t) = P$



Larson-Millerパラメータによるクリープ破壊曲線

例 : 曲げ強さ(y)が150MPaの場合、

$$150 = -0.0443x + 426.87 \quad x = 6248 (=P)$$

$$23^\circ\text{C} \text{ のとき、} (273.15 + 23) \times (20.1 + \log t) = 6248$$

$$\log t \doteq 1.00$$

$$t = 10.0 \text{ hr}$$

曲げ強さ	測定温度	予測破壊時間	実測破壊時間
150MPa	23°C	10.0hr	4.6hr、27.3hr
130MPa	45°C	9.1hr	5.1hr、28.1hr

高温下のクリープ破壊時間を測定

⇒ 低温・低応力側の破壊時間を推定

マスターカーブを用いた50年後の長期曲げ強さの推定

Larson-Millerのクリープ破壊曲線から23℃での50年後長期曲げ強さを算出、その設定荷重での60℃破壊時間を測定する。

縦軸 y : 曲げ強さ、横軸 x : $T(C + \log t) = P$

23℃、50年後(438000時間)のパラメータPは
 $P = (273.15 + 23) \times (20.1 + \log 438000) = 7627$

この時の曲げ強さ y は

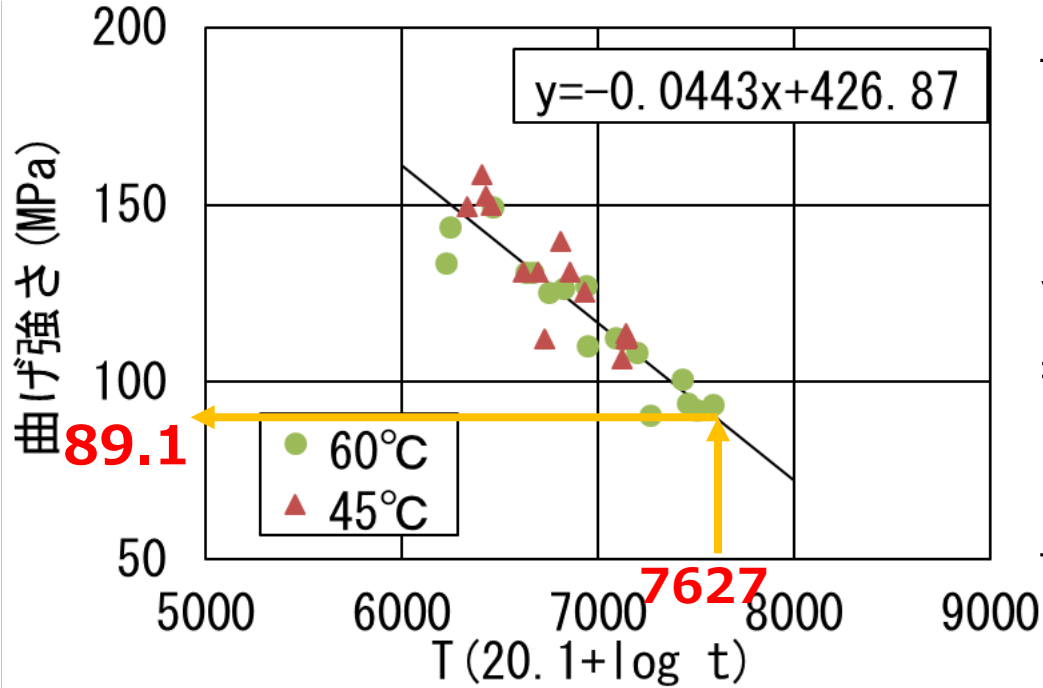
$y = -0.0443 \times 7627 + 426.87 = 89.1 \text{ MPa}$ と予測
 $\Rightarrow$ これは初期曲げ強さ(約190MPa)の約半分に相当

60℃、89.1MPaでの予測破壊時間は、

$$89.1 = -0.0443x + 426.87 \quad x = 7627$$

$$(273.15 + 60)(20.1 + \log t) = 7627$$

$$\log t \div 2.78 \quad \therefore t = 604 \text{ hr} \div 25 \text{ 日}$$



4. まとめと今後の展開

- 老朽化が進む下水道管において、再構築手法である更生工法は重要な技術
- 更生管の長期強度を把握するため、本研究では「**温度**」をクリープの促進因子とした**加速試験の適用性**と、**Larson-Millerのパラメータを用いた予測**を実施
- 本試算ではLarson-Millerのパラメータを用いたマスターカーブにより、23℃環境で50年間経過するとクリープにより曲げ強度は初期強度の約半分になるという結果が得られた
- 現在、**硬化方法や管の構成/材質が異なる更生管についても挙動を確認中**
- 成果については管路更生工法における設計・施工管理ガイドライン（日本下水道協会）に反映予定

ご清聴ありがとうございました

主な参考文献

- 中河 礼,宮本 豊尚,高橋 啓太, 富山 禎仁, 阿部 千雅 : 高温・薬品環境下における管きょ更生管のクリープ挙動, 第62回下水道研究発表会講演集, pp.689-691, 2025
- (公社) 日本下水道協会 : 管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン-2017年版-
- 仲山和海 : 高分子材料の寿命評価法,ぶんせき5 月号, p.188-193, 2023