

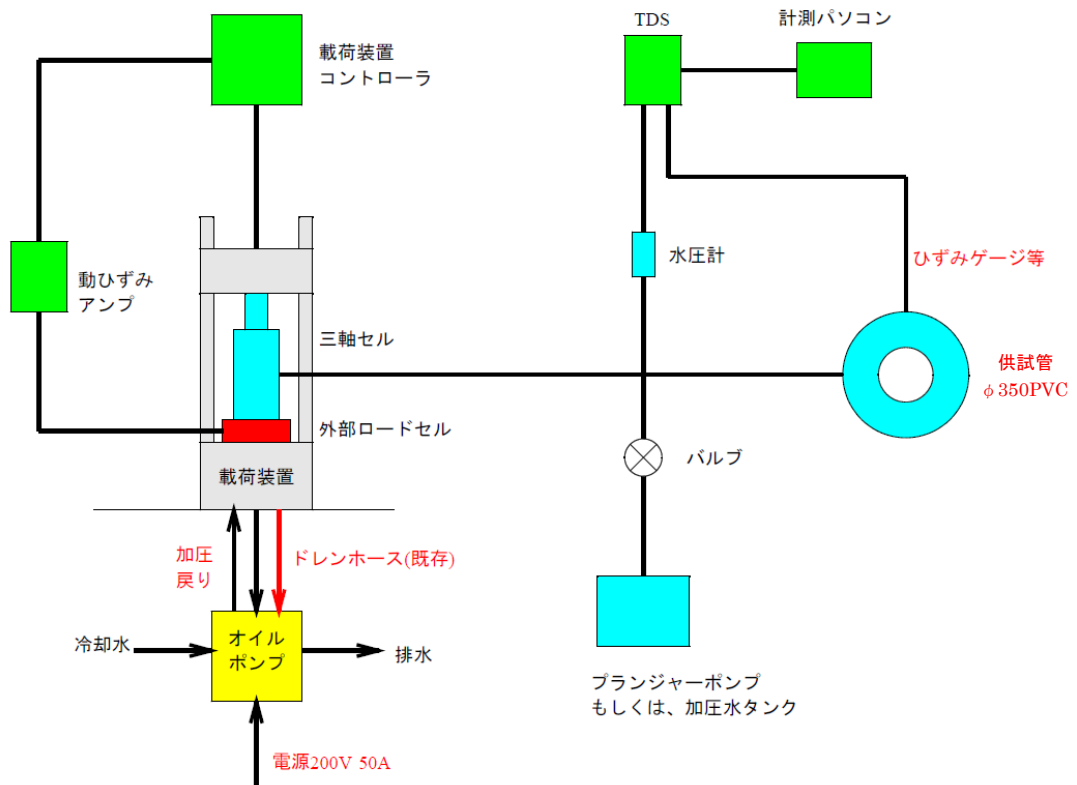


図 4.2 内圧負荷機構および計測システム略図

(2) 試験結果

シリンダーを載荷装置で押し込み、負荷内圧 100kPa ごとに発生ひずみとの関係を計測した。内圧を 1300kPa に昇圧中、内圧負荷用のゴムチューブが破損して漏水したため試験を中止した。内圧と円周方向ひずみの関係を図 4.3 に示す。

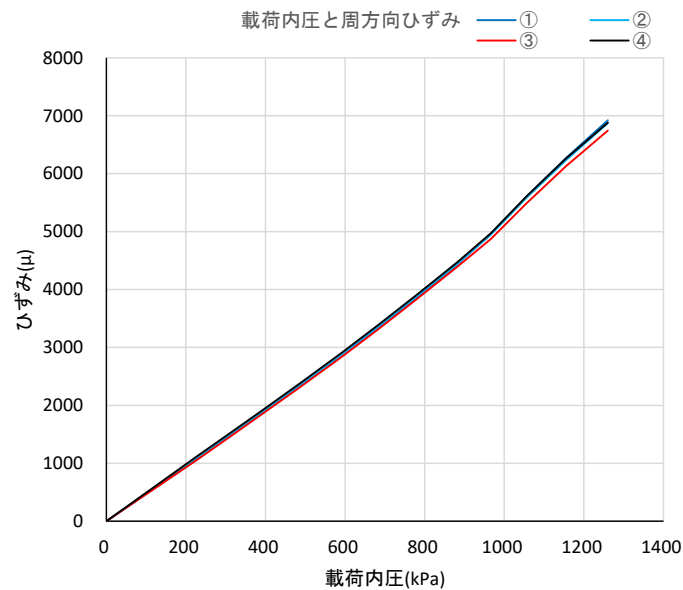


図 4.3 負荷内圧と円周方向ひずみ(4 点)の関係

ここで、円周方向ひずみについて評価する。

φ 350PVC の外径 370mm、厚さ $T=10.5\text{mm}$ 、近似内径 $d=348\text{mm}$ 、ヤング係数 $E=3 \times 10^6 \text{kN/m}^2$ より、

$$\varepsilon = \frac{P \cdot d}{2 \cdot T} / E = \frac{1260 \cdot 0.348}{2 \cdot 0.0105} / 3 \times 10^6 = 0.00696 = 6960\mu$$

図 4.3 より、実測値は円周 4 箇所が均等で、ほぼ計算どおりの引張ひずみを発生していることがわかる。

しかしながら、この試験には下記の課題があることがわかった。

- ・ 供試管を内圧破壊させるには、 $3\text{MPa} \sim 5\text{MPa}$ 以上の水圧負荷が必要であるが、汎用品のゴムチューブは $0.2 \sim 0.3\text{MPa}$ 程度で用いられているため、周囲を拘束した状態であっても常用圧の 10 倍の内圧負荷は難しい。
- ・ ゴムチューブ内に水圧を負荷するためのシリンダーは、呼び径 600 で実施するには大断面のものが必要となる（今回の呼び径 350 では $\phi 80 \times 50\text{mm}$ ）。しかし現有のアクチュエータでは油圧ポンプの吐出量の関係で、高速度での繰り返し負荷が難しい。

2) ノルリングによる周方向引張試験の検討

多くのケースを実施するためには、試験が比較的簡便に行えることが優先事項となる。このことから、ノルリングにより円周方向の引張荷重を負荷する方法を検討する。

管に内圧が作用するときの引張強度を求めるにあたり、供試管に内水圧を負荷する方法と比べて簡易に性能評価できる方法を検討している。

本試験を実施するために参考とした規格は下記のとおりである。

- ・ JIS K 7037 「プラスチック配管系—ガラス強化熱硬化性プラスチック（GRP）管—見掛けの初期周方向引張強さの求め方」
- ・ ASTM D2290-16 「Standard Test Method for Apparent Hoop Tensile Strength of Plastic or Reinforced Plastic Pipe」

（1）試験方法

外圧クリープ試験を実施した 4 管種（φ 600）を対象として、原管から試験片（リング）を切り出し、JIS K 7037 の B 法に準じた図 4.4 の試験装置を用いて供試管の周方向引張試験を行う。

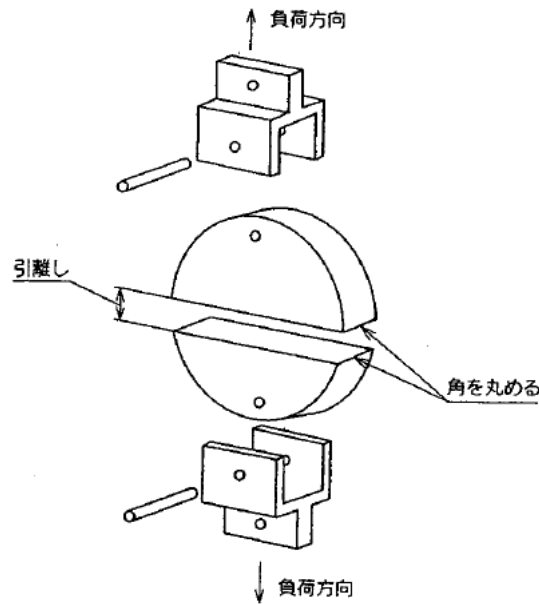


図 4.4 分割板による試験装置

試験手順は下記のとおりである。(試験片に切欠き部を設ける場合はカッコ内を参照)

- ①試験片の断面寸法を（リングの切欠き部の内表面および外表面で測定して平均し）0.1mm の精度で求める。
- ②（切欠き部の位置を考慮して）分割板外周の外側にリングを装着する。
- ③分割板を上下方向に一定速度で引き離し、供試管に引張荷重を負荷する。
- ④荷重負荷過程の変位と荷重を測定する。
 - (a) 供試管を破壊する場合
 - ・荷重負荷後 1 分～3 分で破壊が生じるよう、分割板を一定速度で引張する。
 - ・荷重負荷中の変位と荷重を測定し、破壊までの時間と最大荷重を記録する。（破壊は切欠き部で生じることを確認する）
 - (b) 供試管に繰り返し荷重を負荷する場合
 - ・載荷荷重、載荷速度等の条件を設定し、所定回数の繰り返し荷重を負荷する。

(2) 試験条件

- ①引張による破壊荷重を確認
- ②内圧相当の引張荷重を繰り返し加えた後、偏平試験で曲げ強度の低下度合いを確認
- ③内圧レベル、繰り返し回数を変えて②を実施

(3) 試験片（リング）の形状

原管から幅 40mm で切り出したリングとする。ただし、切欠きを有するリングとするか否か、またその場合の切欠き部の幅は予備試験等により決定する。

3) 内外圧複合状態の評価方法の検討

(1) ゴムチューブを用いた繰り返し内圧負荷試験

供試管が破壊するまでの高内圧負荷を行う試験には適さないが、止水用のフタなどが不要で、長さの短いリング状の供試管に均等な内圧が負荷できる大きな利点がある。そこで、リング状の供試管を扁平させた状態で内圧を負荷する内外圧複合状態の再現試験など、非破壊状態での評価方法に利用できると考えられる。

また、内圧負荷用のシリンダー、アクチュエータを整備することで内圧繰り返し試験にも利用できる。

(2) ノルリングによる周方向引張試験

荷重制御方式の試験装置で引張荷重を負荷する。

所定の繰り返し回数経過後、供試管（リング）を扁平破壊させて荷重の低下度合いを確認する。様々な内圧レベルの試験条件を設定し、内圧繰り返しの評価が可能と考えられる。

(5) 設計マニュアルの作成

研究成果をとりまとめ、設計マニュアルを作成した。

樹脂系材料の長期特性把握に必要な試験項目、方法、手順の標準化を図るとともに、品質管理等の考え方について評価方法の検証を行った。

内容を下記に示す。

1. 目的
2. 長期性能試験と実施手順
 - 2-1 既往資料
 - 2-2 長期外圧強さ
 - 2-3 長期内圧強さ
3. 内外圧繰り返し試験と実施手順
4. 試験環境および試験体
 - 4-1 恒温室と試験装置
 - 4-2 試験体作製の留意点
5. 結果の評価方法
6. 品質管理

2 事業の成果

2. 1 成果の内容

突発事故の増加する樹脂系パイプラインについて、現行の設計基準「パイプライン」に記載された 3 管種（硬質ポリ塩化ビニル管、強化プラスチック複合管、一般用ポリエチレン管）にガラス繊維強化ポリエチレン管を加えた 4 管種を対象として、長期的な性能変化を予測する手法を開発するために性能試験を実施し、以下の成果を得た。

（1）長期外圧剛性の確認

長期性能の基礎となる外圧に関するクリープ特性について、4 管種ともに既往のデータがないことから、試験装置を製作し外圧クリープ試験を実施した。試験環境、口径や設定たわみ率などの試験条件を統一して実施した結果、いずれの管種もクリープ変形を生じ、材料の違いにより異なるクリープ特性を示すことがわかった。変位量の経時変化から外挿される 50 年後の剛性と初期剛性の比からクリープ係数を求めた。

（2）長期強度の評価手法の検討

既往の文献データや製造メーカー保有の長期特性データの再評価を行う場合、あるいは新たな管種の性能を評価する場合などに、その物性値の妥当性を検証するための試験方法を検討した。

管体から採取した切出し片による引張試験、管体からリング状に切り出した環片によるノルリング引張試験について、試験速度を変化させることで引張強度が低下する傾向を確認できた。今後もデータの蓄積と検証が必要であるが、比較的簡易な試験方法で長期特性を推定できる可能性のある方法を見出した。

（3）設計マニュアル

樹脂系材料の長期特性把握のため本研究で実施した試験項目、方法、手順の標準化を図るとともに、品質管理等の考え方について評価方法の検証を行い、マニュアルを作成した。

長期特性に基づく設計の考え方について、研究開発組合内各社の見解を整理して巻末の参考資料に示す。

2. 2 目標の達成度

（1）成果から得られる効果

パイプラインの突発事故の要因としては、施工に起因するもの、材料に起因するもの、管理に起因するもの（バルブ操作に伴う水撃圧等）などが考えられるが、これらを明確に事象としてとらえ、個別に原因を特定することは困難である。

このうちの材料に起因するものについては、長期性能の変化を定量的に予測、把握することで、適切な長期供用の可能性の判断、突発事故リスク低減、補強対策、更新時期の判断などに貢献することができる。

（2）従来技術との比較

1) 比較する従来技術

JIS 規格などを満足する製品品質や施工後のたわみ量の規定は、パイプ製造直後の短期

性能を用いた構造設計であるため、供用期間内で確保されている安全性の低下を定量的に判断できない。本研究は現行の構造設計では用いられていない長期性能を考慮した設計を具体化する役割を果たすものであり、比較すべき従来技術はない。

2) 従来技術に対する優位性

①経済性

供用中の経年・突発事故リスクの低減による経済効果が期待できる。

②工程

構造設計や配管施工に関しては、従来の管布設工と同等である。

③品質

材料特性を踏まえた製品の品質管理、適切な構造設計手法の運用により、経年・突発事故に対する安全性が向上する。

④安全性

材料特性を踏まえた製品の品質管理、適切な構造設計手法の運用により、経年・突発事故に対する安全性が向上する。

⑤施工性

現場での配管施工に関しては、従来の管布設工と同等である。

⑥周辺環境への影響

経年・突発事故リスクの低減により、管路そのものの被害や、漏水に伴う土砂流失による周辺農地被害などを未然に抑止できるため、周辺環境を健全に保つことができる。

2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

本研究の成果は現行の製品について得られたものであるが、今後新たな管種の採用を検討する場合や、新規参入を希望する事業者等に対しても、品質データの取得、検証等の考え方は踏襲できるものとする。

3 普及活動計画

3. 1 想定される利用者

すべての農業用パイプラインの事業発注者ならびに設計技術者

3. 2 利用者への普及啓発等の方法

①技術基準への反映

②設計マニュアルの公表

3. 3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

①公的機関を通じた技術説明会の開催

②設計業務における技術支援活動

3. 4 特許・実用新案等の申請予定

パイプラインの設計施工に広く用いるべき技術と考え、特許出願はしていない。

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)	・既設管の性能変化を把握し、突発事故のリスクを低減する ・新設管の品質向上、供用する全期間を通じた安全性の担保	A : 優れている B : 概ね妥当 C : 不十分	現行の設計に用いられていない長期性能を考慮した設計を具体化するものであり、従来技術はない。
	・信頼性 (品質、精度、安全性、耐久性等)		A : 優れている B : 概ね妥当 C : 不十分	経年・突発事故に関する安全性の向上に資する。
	・適用範囲・適用条件等	PVC、FRPM、PE、PE-GFの4管種を対象とし、その長期的な性能の変化を予測する手法を開発する。	A : 広範囲に適用 B : 概ね妥当 C : 限定的	本研究の成果は対象とした4管種について得られたものであるが、今後新たな管種の採用を検討する場合や、新規参入事業者等に対しても、品質データの取得、検証等の考え方は踏襲できるものとする。
普及の 可能性	・想定される利用者への普及啓発の方法	技術基準への反映、技術資料の整備	A : 十分な利用が見込まれる B : 概ね妥当 C : 限定的	設計基準への反映 設計マニュアルの公表
	・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)		A : 十分に整備されている B : 概ね妥当 C : 改善が必要	技術サポート等については、本研究が対象とした4管種の各メーカーおよび協会が窓口となり、対応する。
総合 コメント ^{注4}	樹脂系のパイプの長期に亘る力学的特性の変化を定量的に明らかにすることができ、製造直後の短期的な性能から供用期間中の品質の基本的な変化を確認することができたことは大きな成果である。 また、長期特性を簡便に試験し評価する試験方法と検証プロセスを確立し、策定した試験・品質評価マニュアルを用いて、新たに開発される管材も含めて統一的に品質確認する道が開けたことは、パイプラインの長期的な安全性を保障することにつながる。			

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

（１）設計基準類への反映

長期供用されるパイプラインの不測の事故や損傷、機能障害を未然に防止するためには、土地改良事業計画設計基準「パイプライン」を適用する事業において、そのパイプに要求する性能を明確にする必要がある。本官民連携事業によって、管材に応じて長期的な力学特性が明らかとなったことから、耐用年数と要求性能の考え方や品質管理基準に適切に反映することが重要である。このためには、実際の事業現場での実証的なモニタリングを継続的に展開することによって多様な現場のデータを蓄積するとともに、事業現場や設計担当者の理解を深めることができれば、設計や施工、維持管理基準類の総合的な革新が図れると考える。

（２）品質管理の向上

管材の短期性能に加えて供用期間中の基本的な性能変化を示すことができた。このことは、事業に供給する管材の品質を長期に亘って保証することにつながり、パイプに対する信頼性を高めるとともに、突発的な事故の削減と水利システム全体に及ぶリスク低減につながる。

さらに、パイプの長期に亘る信頼性を保証するためには、品質管理体制の確立が不可欠である。新たに開発されるパイプについても、この品質管理体制における検証を受けることによって、既往の管材と同等の位置づけとするなどの展開も期待される。このためには、土地改良技術事務所と大学、試験研究機関が一体となって体制を維持し、オープンな受け入れ試験ができることも重要なフォローアップと考える。

長期特性に基づく構造設計の考え方

参考表 1 研究開発組合内 各社の見解（1）

管種	現行基準の設計照査式	クボタ	栗本鐵工所	積水化学工業	ダイプラ	現行基準の諸元
PVC	1. 応力 $t \geq \frac{0.5D \cdot H + \sqrt{(0.5D \cdot H)^2 + 24\alpha \cdot \sigma_a \cdot M}}{2\sigma_a} \dots\dots\dots (9.4.5)$ ここに、 t : 応力計算から求められる必要管厚 (mm) D : 管の内径 (mm) H : 設計水圧 (MPa)、$H=H_1+H_2$ H_1 : 静水圧 (MPa) H_2 : 水撃圧 (MPa) M : 外圧によって延長 1mm 当たりの管体が発生する最大曲げモーメント (N・mm/mm) (表-9.4.2 参照) (単位変換 1kN・m/m=1,000N・mm/mm) α : 引張応力/曲げ応力 ダクタイル鋳鉄管 0.7 鋼管 0.7 硬質ポリ塩化ビニル管 0.55 ポリエチレン管 0.75 σ_a : 許容引張応力度 (N/mm²) 硬質ポリ塩化ビニル管 : 安全率を 3 とし、$\sigma_a=45 \div 3=15\text{N/mm}^2$ ポリエチレン管 : 安全率を 3 とし、$\sigma_a=6.2\text{N/mm}^2$ (MPa)	【応力】 応力の照査は (9.4.5) 式を用いる。 PVC の α (引張応力／曲げ応力) は 0.55 とする。 許容引張応力度 σ_a は、塩ビ管・継手協会の内圧クリープ試験結果より、長期強度 25N/mm² に対して安全率を 2 とする。 【たわみ】 たわみの照査は (9.4.9) ～ (9.4.11) 式を用いる。 管材のヤング係数 E は、初期のヤング係数に外圧クリープ試験 (JIS K 7020 方法 C による二次回帰式) で求めたクリープ係数 α_{50} (PVC では 0.5) を乗じた長期のヤング係数を用いる。 PVC 以外の PE、PE-GF についても上記と同様に考え、長期強度に対する安全率は管種に関わらず 2 とする。		【応力】許容引張応力度は、JISK6741 硬質ポリ塩化ビニル管に示される引張降伏強度 45N/mm² を安全率 3 で除した 15N/mm² を基準とする。 すなわち 50 年後のクリープ引張強度 25N/mm² を安全率 1.66 で除した値 (=15N/mm²) とする。 【たわみ】数十年埋設後の PVC 管の弾性率は現行設計の 3000N/mm² から大きく低下していない。長期の弾性率についても 3000N/mm² を適応すべき。 (第 15 回資料より)		【許容応力】 安全率を 3 とし、 $\sigma_a=45 \div 3=15\text{N/mm}^2$ 【ヤング係数】 $E=3,000\text{N/mm}^2$
PE	2. たわみ $\frac{\Delta X}{2R} \times 100 = \frac{F_1(K \cdot W_v + K_0 \cdot w_0 \cdot R + K_p \cdot W_p) + F_2 \cdot K \cdot W_w}{\frac{E \cdot I}{R^3} + 0.061e'} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (9.4.9)$ ここに、 ΔX : 水平たわみ量 (m) ΔX_1 : 鉛直荷重、管内水重及び管体の自重によるたわみ量 (m) ΔX_2 : 活荷重又は軌道荷重又は施工時荷重によるたわみ量 (m) R : 管厚中心半径 (m) W_v : 土圧、上載荷重による鉛直荷重 (kN/m²) W_w : 活荷重又は軌道荷重又は施工時荷重による鉛直荷重 (kN/m²) w_0 : 水の単位体積重量 (9.8kN/m³) W_p : 管体の単位面積当たりの重量 (長さ方向 1m の環片から円周方向に 1m の間隔で切取ったものの重量) (kN/m²) (管体の自重が示されていない場合は、表-9.4.8 を用いて管体の単位面積当たりの重量を求めてよい。) K、K_0、K_p : 基礎の支持角によって決まる係数 (表-9.4.7 参照) F_1 : 荷重 (活荷重を除く) による変形遅れ係数 (表-9.4.9 参照) F_2 : 活荷重による変形遅れ係数 (ここでは 1.0 とする) E : 管材のヤング係数 (kN/m²) (表-8.2.1 参照) I : 管軸方向を軸とし、管延長 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) (次項 (5) 参照) $I = \frac{R^3}{E} \cdot \left\{ \frac{F_1(K \cdot W_v + K_0 \cdot w_0 \cdot R + K_p \cdot W_p) + F_2 \cdot K \cdot W_w}{\frac{\Delta X}{2R}} - 0.061e' \right\} \dots\dots\dots (9.4.10)$ 次に、断面二次モーメントは $b \cdot t^3 / 12$ であるから、$b=1.0\text{m}$ とすると、式 (9.4.11) により管厚 t (m) が求められる。 $t \geq \sqrt[3]{12 \cdot I} \dots\dots\dots (9.4.11)$			【設計式】上水道・下水道・ガスと同様、内圧と外圧を個別に検討する。 【応力】内圧に対する許容応力 σ_a = 曲げに対する許容応力 σ_b = 10／1.25 = 8MPa 【たわみ】初期弾性率 800～1000MPa を用い、許容たわみ率 5% 以下。 (第 14 回資料に追加)		【許容応力】 安全率を 3 とし、 $\sigma_a=6.2\text{N/mm}^2$ 【ヤング係数】 $E=1,300\text{N/mm}^2$
PE-GF					【設計式】上水道の PE 管と同じ内外圧分離式が妥当と判断。 【応力】許容応力は、熱間内圧クリープ試験に基づく最小要求強度 20MPa に安全率 1.25 を見込んで 16MPa とする。(JIS K 6799 規格を参照) 【たわみ】設計たわみ率は、通水断面の確保を考慮し 5% とする (JSWAS K-2 規格を参照)。ヤング率は、クリープを考慮のではなく、初期の値 2500MPa でよいと判断。(官民連携新技術研究開発事業 No.83 より) (第 14 回資料より)	未掲載

参考表 2 研究開発組合内 各社の見解（2）

管種	設計照査式	クボタ	栗本鐵工所	積水化学工業	ダイプラ	備考
FRPM	1. 応力 $H_p = \frac{H_c}{S} \left\{ 1 - \left(\frac{P_H}{P_c / S} \right)^n \right\} = \frac{H_c}{S} \left\{ 1 - \left(\frac{P_H}{P_c / S} \right)^{2.0} \right\} \dots\dots\dots (9.4.7)$ ここに、 H_p : 外圧が P_H のときの（許容）内圧（MPa） P_c : 内圧が 0 のときの外圧線荷重（kN/m） H_c : 外圧が 0 のときの内圧（MPa） P_H : 内圧が H_p のときの（許容）外圧線荷重（kN/m） S : 安全率（2.0 以上） n : 管の種類や構造等によって決まる係数 （強化プラスチック複合管は 2.0 とする） 2. たわみ PVC、PE、PE-GF と同じ式を用いる。	【応力】 応力の照査は（9.4.7）式を用いる。 内圧が 0 のときの外圧線荷重 P_c および外圧が 0 のときの内圧 H_c は、長期極限曲げひずみ試験 および内圧クリープ試験の結果から、 t=0.1（初期）の観測値と t=438,000（50 年後）の推定値の比率を低減率として 現行の P_c および H_c に乗じ、 長期の P_c および H_c を求める。 【たわみ】 たわみの照査は（9.4.9）～（9.4.11）式を用いる。 管材のヤング係数 E は、初期のヤング係数に外圧クリープ試験（JIS K 7020 方法 C による二次回帰式）で求めたクリープ係数 α_{50} を乗じた長期のヤング係数を用いる。	【応力】 現行の（9.4.7）式を用いて、 内圧が 0 のときの外圧線荷重 P_c は 50 年後の想定破壊外圧＝初期破壊外圧の 50%を、 外圧が 0 のときの内圧 H_c は初期の試験内圧を、 それぞれ用いる。 【たわみ】 50 年後の EI 値は、初期の EI 値にクリープ係数 0.7（2 直線による一次回帰式）を乗じて求める。 （第 13 回資料より）	【応力】 現行の（9.4.7）式を用いて、 内圧が 0 のときの外圧線荷重 P_c は 50 年後の想定破壊外圧を、 外圧が 0 のときの内圧 H_c は 50 年後の想定破壊内圧を、 それぞれ用いる。 【たわみ】 50 年後の EI 値は、初期の EI 値にクリープ係数 0.75（JIS K 7020 方法 B による一次回帰式）を乗じて求める。 （第 14 回資料より） ただし、活荷重に関連する項は初期の EI 値を代入して算出する。		