

第2回 自立管の試験方法

その2

今回は、「管きよ更生工法の設計・施工管理の手引き（案）」¹⁾に記載されている自立管の試験方法のうち、長期曲げ試験と耐劣化試験について述べる。

なお、試験に関する用語については前回同様、JIS（日本工業規格）用語を使用する。但し、「曲げ強さ」⇒「曲げ強度」、「曲げ弾性率」⇒「曲げ弾性係数」と読み変える。

1. 長期曲げ試験

自立管の長期曲げ強度を求める試験方法は、更生材料がガラス繊維で補強している場合とガラス繊維で補強していない場合とで区別されている。ガラス繊維で補強されている場合は、JIS K 7039：1998試験が選定されている。ガラス繊維で補強していない場合は、短期試験保証値を安全率で除して求めるものとしている。

長期曲げ弾性係数を求める試験方法もガラス繊維での補強の有無で区別されている。ガラス繊維で補強している場合は、JIS K 7035：1998試験が選定され、ガラス繊維で補強していない場合は、平板を用いたJIS K 7116：1999試験が選定されている。表-1に試験区分を示す。

表-1 長期曲げ試験の区分

| 更生材区分 | 長期曲げ強度を求める試験方法 | 長期曲げ弾性係数を求める試験方法 |
|-----------------|----------------|------------------|
| ガラス繊維で補強している場合 | JIS K 7039 | JIS K 7035 |
| ガラス繊維で補強していない場合 | 試験手法無し | JIS K 7116 |

1.1. JIS K 7039：1998試験

ガラス繊維で補強している更生材を用いて、自立管の設計時に確認する長期曲げ強度は、JIS K 7039：1998「プラスチック配管系-ガラス強化熱硬化性プラスチック（GPR）管-湿潤状態下における管の長

期間極限曲げひずみ及び長期間極限相対変位の求め方」²⁾の試験方法を準用して求めた値より算出する。

長期設計値は、算出された長期試験値を安全率（現場硬化による品質のバラツキなどを考慮した値）で除した値とする。

(1) 試験片

- 1) 試験片は、リング形状とし、代表管径とする。
- 2) 長さは、個別規格に既定する寸法とし、その許容誤差は $\pm 5.0\%$ としている。長さについては明確な規定は明示されていないが、試験装置の関係から板または、はりの寸法と等しくしなければならぬとされている。
- 3) 試験数については破壊分布を得るため少なくとも18本以上とする。
- 4) 試験前に、試験片の長さは $\pm 1.0\%$ まで測定する。厚さについては $\pm 0.2\text{mm}$ まで、幅は $\pm 0.1\text{mm}$ まで測定する。
- 5) 試験片断面については滑らかに仕上げなければならず、シールして良いとされている。

(2) 試験方法

JIS K 7039：1998の試験状況の概念図を図-1に示す。

- 1) 試験片の破壊試験をJIS K 7038：1998「プラスチック配管系-ガラス強化熱硬化性プラスチック（GPR）管-リングの初期変位に対する破壊強さの試験方法」³⁾にて行い試験に用いる荷重を設定する。
- 2) 施工現場と同じ方向で、試験片の上下に板または、はりをはさみ、試験装置を水槽内にセットし、水槽に水を入れ試験片を完全に浸す。
- 3) 試験片に荷重を負荷し、破壊に要した時間と荷重を測定する。
- 4) 同様に繰り返し試験を行い、破壊に要した時間と負荷荷重を測定する。
- 5) 少なくとも18個の試験片が、所定の破壊分布内に一致するまで試験を続ける。残り2個が、10,000

時間を超えても壊れない場合はデータに含めるか判断する。

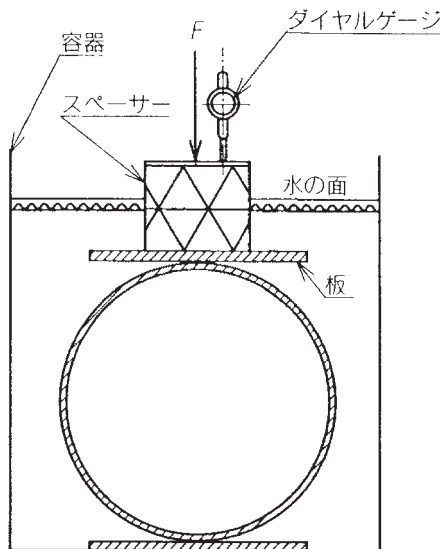


図-1 JIS K 7039 : 1998の試験概要図

(3) 計算および試験結果の表現

JIS K 7039 : 1998に基づく、計算および結果については、以下のように表現する。計測データはJIS K 7020 : 1998「ガラス強化熱硬化性プラスチック (GRP) 管及び継ぎ手-回帰分析及びその使用」⁴⁾に従って、処理する。

算出式については「管きよ更生工法の設計・施工管理の手引き (案)」、「管更生の設計手法2002」⁵⁾による。

- 1) 試験片と同一のパイプから採取した試験片をJIS K 7038にて初期曲げ強度 (V_0) を算出する。

$$V_0 = \frac{0.318QR}{Z}$$

V_0 : 初期曲げ強度 (N/mm^2)

Q : 最大荷重 (N)

R : 管厚中心半径 (mm)

Z : 断面係数 (mm^3/mm)

- 2) 試験片が破壊に要した時間の対数と破壊荷重を用いて一次回帰式 (外挿式) を求める。

一次回帰式 (外挿式)

$$y = a + b \times x$$

y : 曲げ強度の対数 (log)

a : y軸の切辺

b : 直線の傾き

x : 時間、 $t(h)$ の対数 (log)

- 3) 外挿式から50年後の曲げ強度 (V_{50}) を算出する。

$$\log V_{50} = a + (b \times \log t)$$

- 4) 初期曲げ強度 (V_0) の標準偏差 (σ_v) を求める。

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

- 5) 初期曲げ強度 (V_0) のバラツキを考慮した最小値 ($V_{0,min}$) を算出する。1.96は、推定の危険率、2.5%を想定した値である。

$$V_{0,min} = V_0 - 1.96\sigma_v$$

- 6) 長期曲げ強度の最小値 ($V_{50,min}$) を求める。

$$V_{50,min} = V_{0,min} \times \frac{V_{50}}{V_0}$$

- 7) 最小値 ($V_{50,min}$) を長期試験値とし、自立管設計 (応力設計) に用いる設計値を算出する。

1.2. JIS K 7035 : 1998試験

ガラス繊維で補強している更生材を用いて、自立管の設計時に確認する長期の曲げ弾性係数は、JIS K 7035 : 1998「プラスチック配管系-ガラス強化熱硬化性プラスチック (GPR) 管-湿潤条件下でのクリープファクター及び長期偏平剛性の求め方」⁶⁾の試験方法を準用して求めた値より算出する。

長期設計値は、算出された長期試験値を安全率 (現場硬化による品質のバラツキなどを考慮した値) で除した値とする。

(1) 試験片

試験片はJIS K 7039 : 1998試験と同仕様の材料を用いる。

- 1) 試験数については1本以上とする。
- 2) 試験片の長さ、厚さを60°毎に計測し、その平均長を試験片長、平均厚さを試験厚とする。
- 3) 試験片の内径または外径を計測し、その平均値を平均直径 (dm) とする。

(2) 試験方法

JIS K 7035の試験状況の概念図を図-2に示す。

- 1) 試験片の初期の曲げ弾性係数 (E_0) をJIS K 7032 : 1998「プラスチック配管系-ガラス強化熱硬化性プラスチック (GPR) 管-管の初期剛性の求め方」⁷⁾ の試験にて、求める。
- 2) 試験片が、平均直径の98%~98.5%変位になる荷重を求める。
- 3) 施工現場と同じ方向で、試験片の上下に板または、はりをはさみ、試験装置を水槽内にセットし、水槽に水を入れ試験片を完全に浸す。
- 4) 試験片に一定の試験荷重を加え、時間と変位を10,000時間まで測定する。

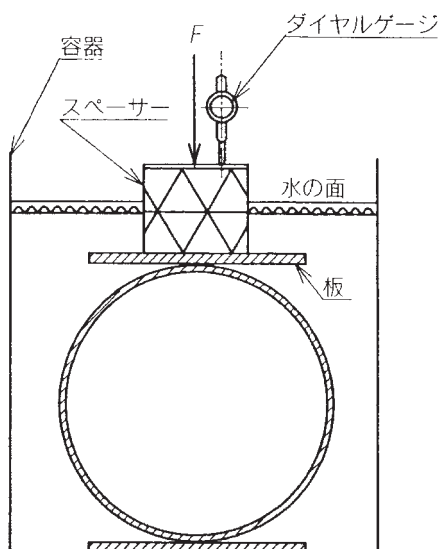


図-2 JIS K 7035 : 1998の試験概要図

(3) 計算および試験結果の表現

JIS K 7035に基づく、計算および結果については、以下のように表現する。計測データはJIS K 7020 : 1998「ガラス強化熱硬化性プラスチック (GRP) 管及び継ぎ手-回帰分析方及びその使用」に従って、処理する。

算出式については「管きよ更生工法の設計・施工管理の手引き (案)」、「管更生の設計手法2002」による。

- 1) 試験時間とその時間における変位量から偏平剛性 (S_x) を算出し、その結果から二次回帰式 (外挿式) を求める。

$$S_x = \frac{f \times F}{L \times y}$$

S_x : 偏平剛性 (N/mm^2)

f : 変位係数

$$f = \left[1860 + \left(2500 \times \frac{y}{dm} \right) \right] \times 10^{-5}$$

dm : 平均直径 (mm)

L : 試料の長さ (mm)

F : 荷重 (N)

y : 変位量 (mm)

二次回帰式 (外挿式)

$$y = c + d \times x + e \times x^2$$

y : 曲げ弾性係数の対数 (log)

c : y軸の切辺

d, e : x の一次及び二次の係数

x : 時間、 $t(h)$ の対数 (log)

- 2) 外挿式から50年後の変位量 (y_{50}) を算出する。

$$\log y_{50} = c + (b \times \log t) + \{e \times (\log t)^2\}$$

- 3) 50年後の変位量 (y_{50}) から50年後の偏平剛性 (S_{50}) を算出する。

$$S_{50} = (f_{50} \times F) / (L \times y_{50})$$

- 4) 50年後の偏平剛性 (S_{50}) から50年後の曲げ弾性係数 (E_{50}) を算出する。

$$E_x = \frac{12 \cdot S_x \cdot dm^3}{t^3}$$

E_x : 曲げ弾性係数 (N/mm^2)

S_x : 偏平剛性 (N/mm^2)

dm : 平均直径 (mm)

- 5) パイプの短期試験からの曲げ弾性係数の標準偏差 (σ_E) を求める。

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

- 6) 短期の曲げ弾性係数の最小値 ($E_{0,min}$) を求める。

1.96は、推定の危険率、2.5%を想定した値である。

$$E_{0,min} = E_0 - 1.96\sigma_E$$

7) 長期曲げ弾性係数の最小値 ($E_{50,\min}$) を求める。

$$E_{50,\min} = E_{o,\min} \times \frac{E_{50}}{E_0}$$

8) 最小値 ($E_{50,\min}$) を長期試験値とし、自立管設計 (たわみ設計) に用いる設計値を算出する。

1.3. JIS K 7116 : 1999試験

ガラス繊維で補強していない更生材を用いて、自立管の設計時に確認する長期曲げ弾性係数は、JIS K 7116 : 1999 「プラスチッククリープ特性の試験方法 - 第2部 : 3点負荷による曲げクリープ」⁸⁾ の試験方法を準用して求めた値より算出する。

長期設計値は、算出された長期試験値を安全率 (現場硬化による品質のバラツキなどを考慮した値) で除した値とする。

(1) 試験片

- 1) 試験片は、平板状のJIS K 7171 : 1994 「プラスチック - 曲げ特性の試験方法」⁹⁾ を準用した同一形状および寸法の試験片を使用する。
- 2) 試験数については、3個以上とする。

(2) 試験方法

JIS K7116 : 1999の試験状況の概念図を図-3に示す。

- 1) 試験片の初期における曲げ弾性係数を求める試験をJIS K 7171にて行い、試験片に負荷する荷重を設定する。
- 2) 気中にて、試験荷重を負荷したまま経過時間における試験片の変位量を測定する。測定時間は、1 min、3 min、6 min、12min、30min、1 h、2 h、5 h、10h、20h、50h、100h、200h、500h、1000hを原則とする。
- 3) 試験時間の対数とその時間における変位量から一次回帰式 (外挿式) を求める。
- 4) 外挿式から50年後の曲げクリープ弾性係数 (E_{50})

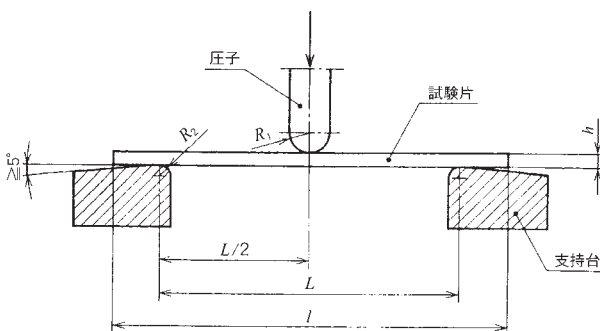


図-3 JIS K 7116 : 1999の試験概要図

を算出する。

(3) 計算および試験結果の表現

JIS K 7116に基づく、計算および結果については、以下のように表現する。

算出式については「管きよ更生工法の設計・施工管理の手引き (案)」、「管更生の設計手法2002」による。

- 1) 試験時間の対数とその時間における変位量から一次回帰式 (外挿式) を求める。

一次回帰式 (外挿式)

$$y = a + b \times x$$

y : クリープ弾性係数の対数 (log)

a : y 軸の切辺

b : 直線の傾き

x : 時間、t(h) の対数 (log)

- 2) 外挿式から50年後の曲げ弾性係数 (E_{50}) を想定する。

$$\log E_{50} = a + (b \times \log t)$$

- 3) 50年後の曲げ弾性係数 (E_{50}) を長期試験値とし、バラツキを考慮した自立管設計 (たわみ設計) に用いる設計値を算出する。

1.4. 長期曲げ試験の課題

- (1) JIS K 7039およびJIS K 7035は、どの公的試験機関でも対応できるものではなく一部の施設に限られている。また、試験期間も試験時間が10,000時間と長く、試験結果の整理を含め、早くても1年半以上の期間を要する。
- (2) 促進試験 (写真-1 参照) など短時間で長期値

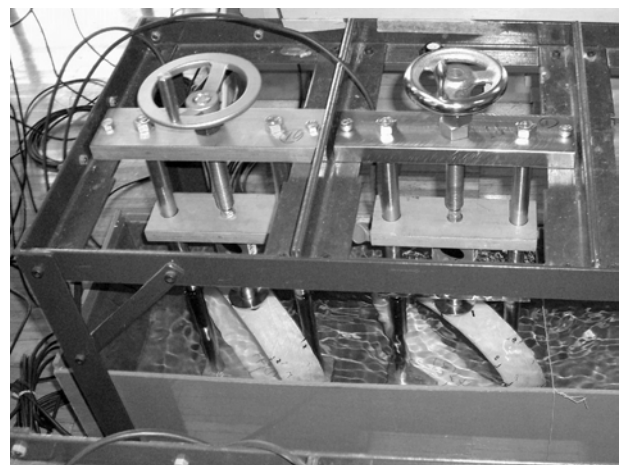


写真-1 促進試験状況

を求める試験の運用を望まれる。

- (3) 竣工時に実施し、平板の曲げ試験 (JIS K 7171) による短期保障値を基準とする値とJIS K 7039 およびJIS K 7035試験等で実施したリングによる長期曲げ試験の算出値との整合性が無く、形状も異なる、これらを明確にする必要がある。

2. 耐劣化性試験

ガラス繊維で補強していない更生材を用いて、自立管の設計値を求める場合は、短期保証値を安全率 (日本下水道協会規格を参照) で除して求めている。

この値が、的確な値であるかこの試験結果によって判断するのが、この試験の目的である。

2.1. 耐劣化性試験

ガラス繊維で補強していない更生材のうち、熱硬化樹脂系の更生材の長期曲げ強度については、JIS K 7116試験を準用した水中曲げクリープ試験結果から外挿された値とする。

一方、熱可塑性系更生材についてはJIS K 7115 : 1999 「プラスチッククリープ特性の試験方法 - 第1部 : 引張クリープ」¹⁰⁾ の試験を準用した水中引張クリープ試験結果から外挿された値とする。

(1) 試験片

- 1) 耐劣化性試験 (熱硬化樹脂系) の場合の試験片は、JIS K 7171 : 1994を準用した形状および寸法の試験片を使用する。試験数については、7個以上とする。別途、試験体から初期曲げ強度試験用に5個以上用意する。
- 2) 耐劣化性試験 (熱可塑性系) の場合の試験片はJIS K 7162 : 1994 「プラスチック引張特性の試験方法 第2部 : 型成形、押出成形及び注型プラスチックの試験条件」¹¹⁾ を準用する同一形状および寸法の試験片を使用する。試験数については、7個以上とする。別途、試験体から初期曲げ強度試験用に5個以上用意する。

(2) 試験方法

耐劣化性の試験状況の概念図を図-4、5に示す。

- 1) 試験体のJIS K 7171を準用する短期曲げ強度、または、JIS K 7161 : 1994 「プラスチック引張特性の試験方法 第1部 : 通則」¹²⁾ を準用する試験を行い、試験片に負荷する荷重を設定する。
- 2) 試験片を試験装置にセットし、水槽に水を入れ完全に浸す。
- 3) 試験片に荷重を負荷し、破壊に要した時間を測

定する。

- 4) 同様に繰り返し試験を行い破壊に要した時間と負荷荷重を測定する。
- 5) 少なくとも7個の試験片が、所定の破壊分布内に一致するまで試験を続ける。1000時間を超えても壊れない場合は、データに含めるか判断する。

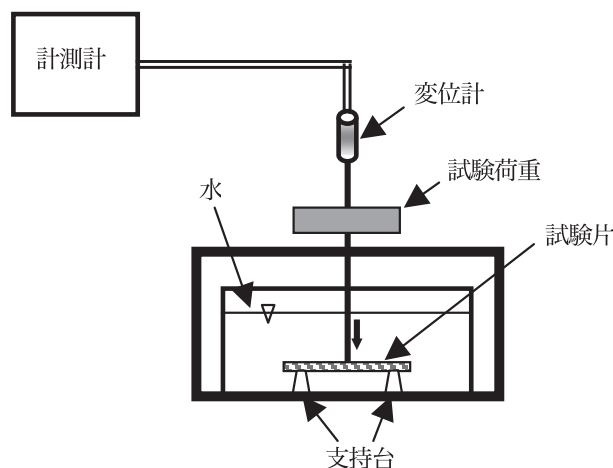


図-4 耐劣化性試験 (熱硬化樹脂系) の試験概要図

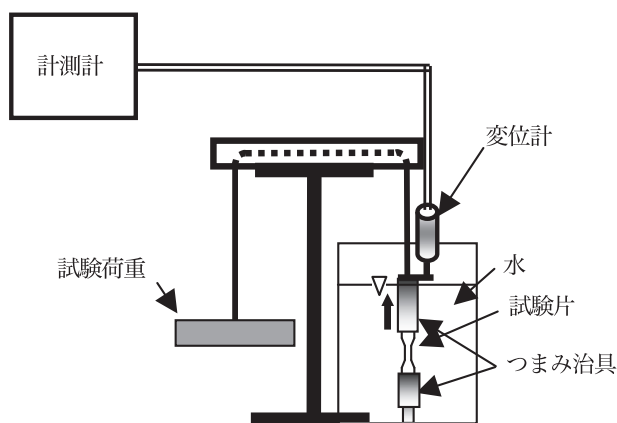


図-5 耐劣化性試験 (熱可塑性系) の試験概要図

(3) 計算および試験結果の表現

耐劣化試験に基づく、計算および結果については、以下のように表現する。

- 1) 短期試験から初期の曲げ強度および引張強度 (σ) を算出する。

JIS K 7171 : 1994

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2}$$

σ_f : 曲げ強度 (MPa)

F : 最大荷重 (N)
 L : 支点間距離 (mm)
 b : 試験片の幅 (mm)
 h : 試験片の厚さ (mm)

JIS K 7161 : 1994

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ : 引張強度 (MPa)
 F : 最大荷重 (N)
 A : 試験片の最小断面積 (mm²)

- 2) 試験片が破壊に要した時間と負荷荷重から一次回帰式 (外挿式) を求める。

一次回帰式 (外挿式)

$$y = a + b \times x$$

y : 曲げ強度の対数 (log)
 a : y軸の切辺
 b : 直線の傾き
 x : 時間、t(h) の対数 (log)

- 3) 外挿式から50年後の曲げ強度および引張強度 (σ_{50}) を算出する。

$$\log \sigma_{50} = a + (b \times \log t)$$

- 4) 50年後の曲げ強度または引張強度 (σ_{50}) と、自立管設計 (応力設計) に用いる設計長期強度と比較する。

2.2. 耐劣化性試験の課題

- (1) 耐劣化性試験については、長期曲げ試験同様の、どの公的試験機関で対応できるものではなく一部の施設に限られている。
- (2) 耐劣化性試験はJIS K 7115 : 1999試験、JIS K 7116 : 1999試験を気中ではなく、単に水中に行っているものである。ガラス繊維で補強していない更生材の長期曲げ強度を求める試験の選定、安全率をどうするのか、また、これらの試

験結果をどう設計に用いるのかなど、明確にする必要がある。

(参考図書)

- 1) 管きょ更生工法の設計・施工管理の手引き (案) 2008年 (社)日本下水道協会
- 2) JIS K 7039 「プラスチック配管系-ガラス強化熱硬化性プラスチック (GPR) 管-湿潤条件下における管の長期間極限曲げひずみ及び長期間極限相対変位の求め方」 1998年 (財)日本規格協会
- 3) JIS K 7038 「プラスチック配管系-ガラス強化熱硬化性プラスチック (GPR) 管-リングの初期変位に対する破壊強さの試験方法」 1998年 (財)日本規格協会
- 4) JIS K 7020 「ガラス強化熱硬化性プラスチック (GPR) 管及び継ぎ手-回帰分析方法とその使用」 1998年 (財)日本規格協会
- 5) 管更生工法の設計手引き 2002年 管路更生工法連絡会
- 6) JIS K 7035 「プラスチック配管系-ガラス強化熱硬化性プラスチック (GPR) 管-湿潤条件下でのクリープファクター及び長期偏平剛性の求め方」 1998年 (財)日本規格協会
- 7) JIS K 7032 「プラスチック配管系-ガラス強化熱硬化性プラスチック (GPR) 管-管の初期剛性の求め方」 1998年 (財)日本規格協会
- 8) JIS K 7116 「プラスチック-クリープ特性の試験方法 - 第2部: 3点負荷による曲げクリープ」 1999年 (財)日本規格協会
- 9) JIS K 7171 「プラスチック-曲げ特性の試験方法」 1994年 (財)日本規格協会
- 10) JIS K 7115 「プラスチック-クリープ特性の試験方法 - 第1部: 引張クリープ」 1999年 (財)日本規格協会
- 11) JIS K 7162 「プラスチック-引張特性の試験方法 第2部: 型成形、押出成形及び注型プラスチックの試験条件」 1994年 (財)日本規格協会
- 12) JIS K 7161 「プラスチック-引張特性の試験方法 第1部: 通則」 1994年 (財)日本規格協会

連載講座小委員会

委員長 安井 聡 FFT工法協会・技術委員
 委員 眞田 和彦 光硬化工法協会・技術委員長
 委員 上垣 潔志 パルテム技術協会・技術部長
 委員 大塚 孝 3SICP協会・技術部長
 委員 池ヶ谷貴之 オールライナー協会・技術委員
 委員 原田 孝知 EX・ダンビー協会・技術委員
 委員 三浦 仁 EX・ダンビー協会・技術委員
 (順不同)