

JCI 規準

接着系あと施工アンカー用樹脂の耐アルカリ試験方法

JCI-S-012-2017

Method of test for alkali resistance of resin for post-installed adhesive anchors in concrete

1. 適用範囲

本規準は、接着系あと施工アンカーに用いられる樹脂の耐アルカリ性を調べるために、母材コンクリートのアルカリ環境を想定した水酸化カリウム水溶液に浸漬することによる質量と曲げ強度の変化を測定する試験方法について規定する。

本規準は新たに制定されたものである。対象とする樹脂は、主としてエポキシ樹脂、エポキシアクリレート（ビニルエステル）樹脂、不飽和ポリエステル樹脂である。

2. 引用規格

次に掲げる規格は、本規準に引用されることによって、この規準の規定の一部を構成する。これらの引用規格は、この最新版（追補を含む）を適用する。

JIS K6911 熱硬化性プラスチック一般試験方法

JIS K7171 プラスチック—曲げ特性の求め方

JIS K7139 プラスチック—試験片

JIS K6272 ゴム—引張、曲げ及び圧縮試験機（定速）—仕様

JIS K8574 水酸化カリウム（試薬）

3 試験片の製作

3.1 試験片の製作手順

この試験方法に用いる試験片は、接着系あと施工アンカーに用いられる樹脂を、3.2 に規定する寸法を有する型枠に流し込み成形したもの、多目的試験片（JIS K7139 参照）の中央平行部分から規定する寸法に切り出したもの、若しくは成形部品又は成形板から規定する寸法に切り出したものとする。

試験片は、使用する樹脂の仕様によって製作するものとする。試験片は製作後、所定の養生期間を設けた後に試験溶液に浸漬するものとする。養生期間に特に指定のない場合は、 $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ で4週間以上気中養生する。

3.2 試験片の寸法

推奨試験片の寸法(mm)は、JIS K7171 に従い、次による。

長さ L_p : 80.0 ± 2.0

幅 b : 10.0 ± 2.0

厚さ h : 4.0 ± 0.2

試験片は、長さ方向に三等分した中央部分で測定した厚さ（3点以上測定）のいずれの厚さも平均からの偏差が2%を超えてはならない。また、同様の箇所でも測定した幅は、平均からの偏差が3%を超えてはならない。

3.3 試験片の寸法、質量計測

試験溶液浸漬前に、試験片の長さ、曲げ試験における支持点位置および載荷点位置の幅と厚さおよび試験片質量を計測する。試験片の寸法の計測精度は、JIS K7171 に従い、長さおよび幅を小数第1位まで、厚さを小数第2位までとする。また、試験片の質量の計測精度は小数第2位までとする。

3.4 試験片の個数

試験片の個数は、同一浸漬条件の試験に対して最少5個とする。

4. 試験片の浸漬

4.1 浸漬装置

浸漬装置は、**図1**に示すように、4.2で指定する水酸化カリウム水溶液および蒸留水またはイオン交換水中に、試験片全体を浸漬させることができ、溶液の温度およびpHを制御できる水槽と水温制御装置、pH計測装置からなるものとする。

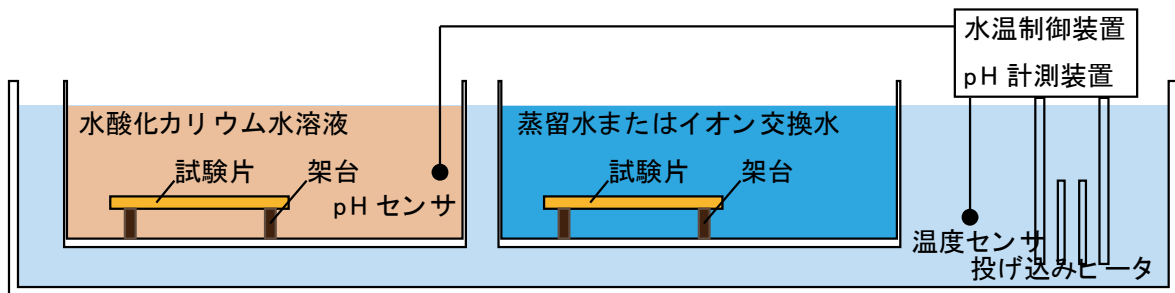


図1 浸漬装置の概要

4.2 試験溶液

試験片を浸漬する溶液は、JIS K 8574に規定する水酸化カリウムを蒸留水またはイオン交換水に溶解しpH 13.2 ± 0.2 に調整した水酸化カリウム水溶液と、蒸留水またはイオン交換水の2種類とし、それぞれの溶液に対し、溶液温度は $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ と $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ の2種類とする。

4.3 浸漬方法

試験片は、4.1に示す各種装置からなる浸漬容器の中に水酸化カリウム水溶液あるいは蒸留水またはイオン交換水を湛し、浸漬溶液が所定の水温に安定するのを確認した後、3の方法で製作した試験片を完全に浸漬する。試験片が、容器床面や側面、別の試験片と接触しないように、適宜架台を設けるものとする。ただし、架台には溶液や樹脂と化学反応しない材料が用いられることとする。

水酸化カリウム水溶液のpHは、1週間に1回の頻度で計測し、pHが 13.2 ± 0.2 の範囲内となるように適宜調整をする。

4.4 浸漬時間

試験片の浸漬時間は 2000 時間および 4000 時間とし、それぞれの浸漬試験を終了後に、試験片を溶液から引き上げる。水酸化カリウム水溶液の pH が 13.0 以下となった場合には、その期間を浸漬時間から除外する。

4.5 浸漬試験終了後の試験片の処理

所要の浸漬時間経過後、溶液から試験片を引き上げ、水洗いをし、試験片表面の水分を拭き取る。温度 $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\%\pm 5\%$ に保った室内において、使用した樹脂で指定される期間気中養生し、試験片を十分に乾燥させる。特に指定のない場合は、乾燥期間を 10 日間とする。

4.6 浸漬試験終了後の試験片の寸法、質量計測

引き上げた試験片の乾燥後に、試験片の長さ、曲げ試験における支持点位置および載荷点位置の幅、厚さ、試験片質量を計測する。

5. 曲げ試験

曲げ試験方法は JIS K7171 に準拠する。

5.1 試験環境

試験装置は JIS K 6272 に規定するもので、力計測系の等級は一級とする。また、次の 5.2 から 5.4 までの規定に適合するものとする。

試験は、JIS K 6911 に従い、原則として、温度 $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\%\pm 5\%$ に保った室内において行われるものとする。

5.2 試験速度

試験速度は、中央部のたわみにおいて $1.6\sim 2.4\text{mm}/\text{min}$ とする。

5.3 支持台および圧子

支持台および中央の圧子は、**図 2** のように置く。支持台と圧子の平行度は $\pm 0.02\text{mm}$ 以内とする。圧子の半径 R_1 と支持台の半径 R_2 は次のとおりとする。

$$R_1 = 5.0 \pm 0.1\text{mm}$$

$$R_2 = 2.0 \pm 0.2\text{mm}$$

支点間距離 L_s は、次の式によって算出した値とする。

$$L_s = (16 \pm 1) \cdot h$$

支点間距離 L_s は 0.5% またはそれと同等以上の精度で測定する。

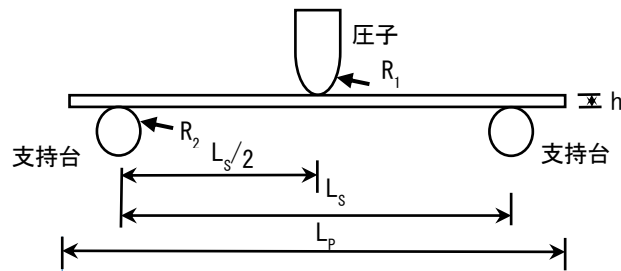


図2 曲げ試験装置

5.4 荷重とたわみの計測

試験中の荷重および中央たわみを計測する。荷重の指示値の誤差は $\pm 1\%$ 、たわみの指示値の誤差はフルスケールの 1% を超えてはならない。

5.5 計算および試験結果の表現

5.5.1 曲げ応力

曲げ応力は次の式(1)によって算出する。

$$\sigma_f = \frac{3FL_s}{2bh^2} \quad (1)$$

ここに、 σ_f : 曲げ応力 (N/mm²)

F : 荷重 (N)

L_s : 支点間距離 (mm)

b : 試験片の幅 (mm)

h : 試験片の厚さ (mm)

5.5.2 曲げひずみ

曲げひずみは次の式(2)によって算出する。

$$\epsilon_f = \frac{6sh}{L_s^2} \quad (2)$$

ここに、 ϵ_f : 曲げひずみ (無次元数)

s : 試験片中央のたわみ (mm)

h : 試験片の厚さ (mm)

L_s : 支点間距離 (mm)

5.5.3 曲げ弾性率

曲げ弾性率を決定するために、次の式(3)によって、曲げひずみが 0.0005 (500μ)および 0.0025 (2500μ)となるときのたわみを算出する。

$$s_i = \frac{\epsilon_{fi} L_s^2}{6h} \quad (i = 1, 2) \quad (3)$$

曲げ弾性率は次の式(4)によって算出する。

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\epsilon_{f2} - \epsilon_{f1}} \quad (4)$$

ここに、 E_f : 曲げ弾性率 (N/mm²)

σ_{f1} : 曲げひずみ 0.0005 (500 μ)時の曲げ応力 (N/mm²)
 σ_{f2} : 曲げひずみ 0.0025 (2500 μ)時の曲げ応力 (N/mm²)
 ϵ_{f1} : =0.0005 (無次元数)
 ϵ_{f2} : =0.0025 (無次元数)

5.5.4 統計処理

試験結果の平均値および標準偏差を計算する。

注¹) 必要に応じ、試験結果の 95%信頼区間を計算する。

5.5.5 有効数字

曲げ応力および曲げ弾性率は小数第 1 位まで、たわみは有効数字 2 桁まで計算する。

6. 結果の整理

6.1 質量保持率

同一試験片の水酸化カリウム水溶液浸漬前後での質量保持率を、次の式(5)により算出する。

$$R_w = \frac{W_{post,dry}}{W_{pre,dry}} \times 100 \quad (5)$$

ここに、 R_w : 水酸化カリウム水溶液浸漬前後での質量保持率 (%)

$W_{pre,dry}$: 水酸化カリウム水溶液浸漬前の質量 (g)

$W_{post,dry}$: 水酸化カリウム水溶液浸漬、乾燥後の質量 (g)

6.2 曲げ強度保持率

水酸化カリウム水溶液浸漬前後での曲げ強度保持率を、次の式(6)により算出する。

$$R_{f1} = \frac{\sigma_{f,post}}{\sigma_{f,pre}} \times 100 \quad (6)$$

ここに、 R_{f1} : 水酸化カリウム水溶液浸漬前後での曲げ強度保持率 (%)

$\sigma_{f,pre}$: 水酸化カリウム水溶液浸漬前の試験片の曲げ強度 (N/mm²)

$\sigma_{f,post}$: 水酸化カリウム水溶液浸漬、乾燥後の試験片の曲げ強度 (N/mm²)

各浸漬条件 (溶液温度、浸漬時間) 毎に、同一浸漬条件での水酸化カリウム水溶液浸漬試験片と蒸留水またはイオン交換水浸漬試験片の曲げ強度を比較し、曲げ強度保持率を次の式(7)により算出する。

$$R_{f2} = \frac{\sigma_{f,KOH}}{\sigma_{f,W}} \times 100 \quad (7)$$

ここに、 R_{f2} : 同一浸漬条件での蒸留水またはイオン交換水浸漬試験片の曲げ強度に対する、水酸化カリウム水溶液浸漬試験片の曲げ強度保持率 (%)

$\sigma_{f,W}$: 蒸留水またはイオン交換水浸漬、乾燥後の試験片の曲げ強度 (N/mm²)

$\sigma_{f,KOH}$: 水酸化カリウム水溶液浸漬、乾燥後の試験片の曲げ強度 (N/mm²)

6.3 弾性率保持率

水酸化カリウム水溶液浸漬前後での弾性率保持率を、次の式(8)により算出する。

$$R_{S1} = \frac{E_{f,post}}{E_{f,pre}} \times 100 \quad (8)$$

ここに、 R_{S1} ：水酸化カリウム水溶液浸漬前後での曲げ弾性率保持率 (%)

$E_{f,pre}$ ：水酸化カリウム水溶液浸漬前の試験片の曲げ弾性率 (N/mm²)

$E_{f,post}$ ：水酸化カリウム水溶液浸漬、乾燥後の試験片の曲げ弾性率 (N/mm²)

各浸漬条件（溶液温度、浸漬時間）毎に、同一浸漬条件での水酸化カリウム水溶液浸漬試験片と蒸留水またはイオン交換水浸漬試験片の曲げ弾性率を比較し、弾性率保持率を次の式(9)により算出する。

$$R_{S2} = \frac{E_{f,KOH}}{E_{f,W}} \times 100 \quad (9)$$

ここに、 R_{S2} ：同一浸漬条件での蒸留水またはイオン交換水浸漬試験片の曲げ弾性率に対する、水酸化カリウム水溶液浸漬試験片の曲げ弾性率保持率 (%)

$E_{f,W}$ ：蒸留水またはイオン交換水浸漬、乾燥後の試験片の曲げ弾性率 (N/mm²)

$E_{f,KOH}$ ：水酸化カリウム水溶液浸漬、乾燥後の試験片の曲げ弾性率 (N/mm²)

6.4 有効数字

質量保持率、強度保持率、弾性率保持率は有効数字 3 桁まで計算する。

7. 報告

試験報告は、次の事項について行う。

7.1 必ず報告する事項

a) 試験片に関する事項

- 1) 試験片に使用する樹脂の名称および品質
- 2) 試験片の幅、厚さおよび長さ、質量（浸漬前、浸漬後の乾燥時）
- 3) 試験片の製作方法
- 4) 骨材（フィラー）の有無および種類、大きさ

b) 浸漬溶液に関する事項

- 1) 浸漬方法および温度、pH の管理方法
- 2) 浸漬温度、浸漬時間
- 3) 浸漬期間における浸漬溶液の温度、pH の測定値（履歴）③曲げ試験方法に関する事項
- 4) 試験日
- 5) 試験機の等級分類
- 6) 試験速度
- 7) 支点間距離
- 8) 曲げ試験実施時の試験機周辺の気温および湿度

c) 曲げ試験結果に関する事項

- 1) 曲げ弾性率、曲げ強度の平均値および標準偏差

- 2) 質量保持率
- 3) 曲げ強度保持率, 弾性率保持率

7.2 必要に応じて報告する事項

a) 試験片に関する事項

- 1) 使用する樹脂の化学分析結果 (浸漬前, 浸漬後の乾燥時)

b) 曲げ試験結果に関する事項

- 1) 個々の曲げ応力-曲げひずみ関係図
- 2) 曲げ強度, 曲げ弾性率の 95%信頼区間
- 3) 破壊状況
- 4) 試験片の外観の変化

解説

「接着系あと施工アンカー用樹脂の耐アルカリ試験方法」

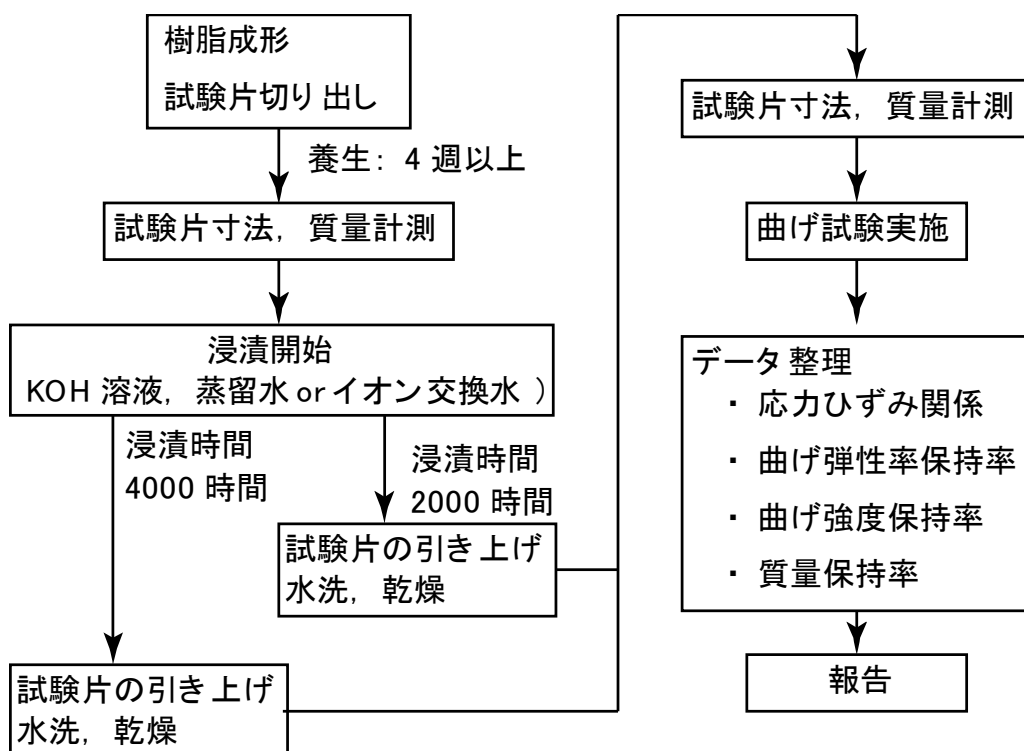
1. 制定の趣旨及び経緯

接着系あと施工アンカーは使用される接着材の耐久性（耐アルカリ性）が問題視されており、社会的な信頼を得るためにその適切な評価が必要である。しかしながら、あと施工アンカーの耐アルカリ性評価手法については、海外にいくつか参考とすべき基準類はあるものの、その適用性については日本国内で必ずしも十分な議論がなされてはならず、我が国で適用すべき基準等の作成についてはほとんど検討が進んでいない状況である。

本規準は、上記を背景に日本コンクリート工学会に設置された「接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性試験方法に関する研究委員会」[1]における調査・研究を基に作成されたものである。本試験方法案では、接着系あと施工アンカーに用いられる樹脂の耐アルカリ性を評価する試験方法を規定するものであり、供用期間に応じた必要評価値等の判断基準は規定しない。

2. 適用範囲

本試験方法では、あと施工アンカーに用いられる樹脂の耐アルカリ性能を評価するための試験方法を提示している。試験フローを解図1に示す。



解図1 試験フロー[1]

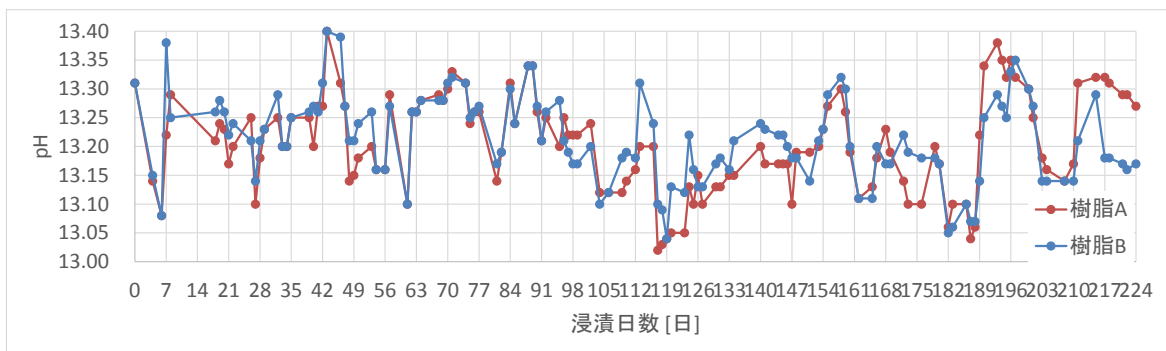
3. 浸漬方法

水酸化カリウム水溶液および蒸留水またはイオン交換水への浸漬例を解写真1に示す。試験片が溶液の床面や側面、別の試験片に触れないように適切な架台を設けることとする。水酸化カリ

ウム水溶液の pH は、1 週間に 1 回の頻度で計測し、 $pH13.2 \pm 0.2$ の範囲内となるように適宜調整する。日本コンクリート工学会「接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性試験方法に関する研究委員会」にて実施した浸漬試験における、溶液の pH の管理状況を**解図 2** に示す。**解図 2** より、溶液の pH は 13.0～13.4 の間で管理されており、1 週間程度では所定の管理範囲を超える変動が生じていないことが確認できる。



解写真 1 試験片の浸漬状況例[1]



解図 2 溶液の pH の管理状況[1]

解写真 2 のように、試験片を浸漬した容器を、所定の水温で管理された水で満たされた大型容器に入れ、所定の温度条件で管理する。大型溶液内の水位が試験片を浸漬している溶液の水位と同程度となるように管理し、蒸発等により大型容器内の水位が下がった場合には、適宜温水を追加する。



解写真 2 温度の管理状況例[1]

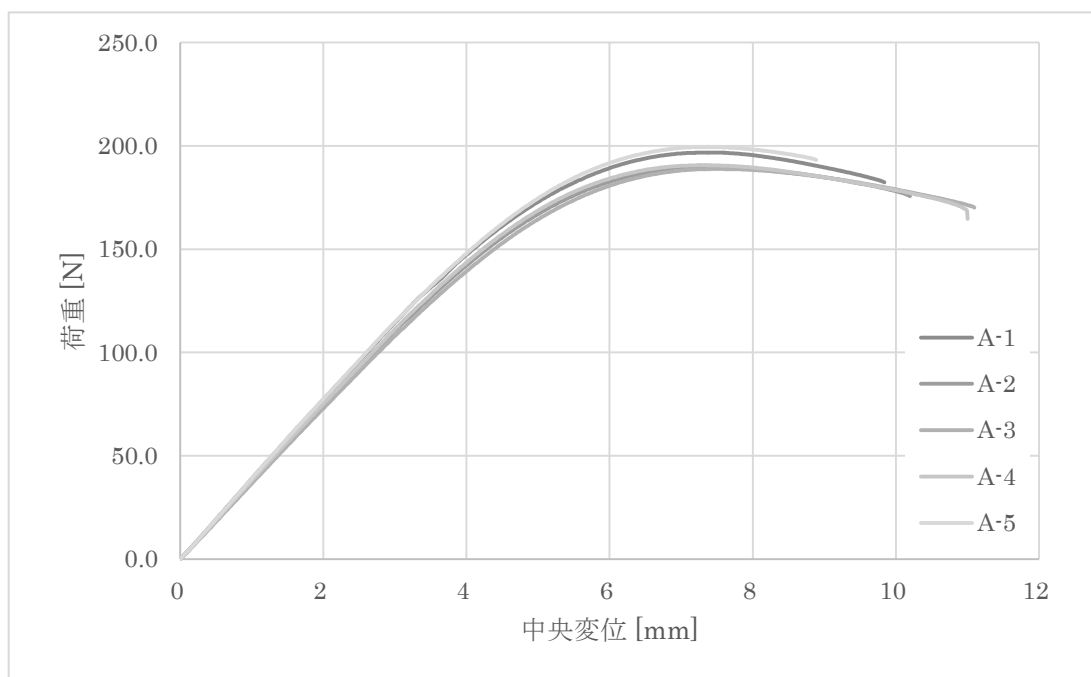
本試験方法では、溶液温度を $35^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ および $60^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ の 2 水準とした。これは、高温溶液による劣化現象の促進を図るためである。また、樹脂のガラス転移温度を超えないように、高温側の水準を 60°C とした。また、浸漬時間は 4000 時間とし、試験片を引き上げる時間は 2000 時間および 4000 時間の 2 水準とした。

4. 曲げ試験結果の整理

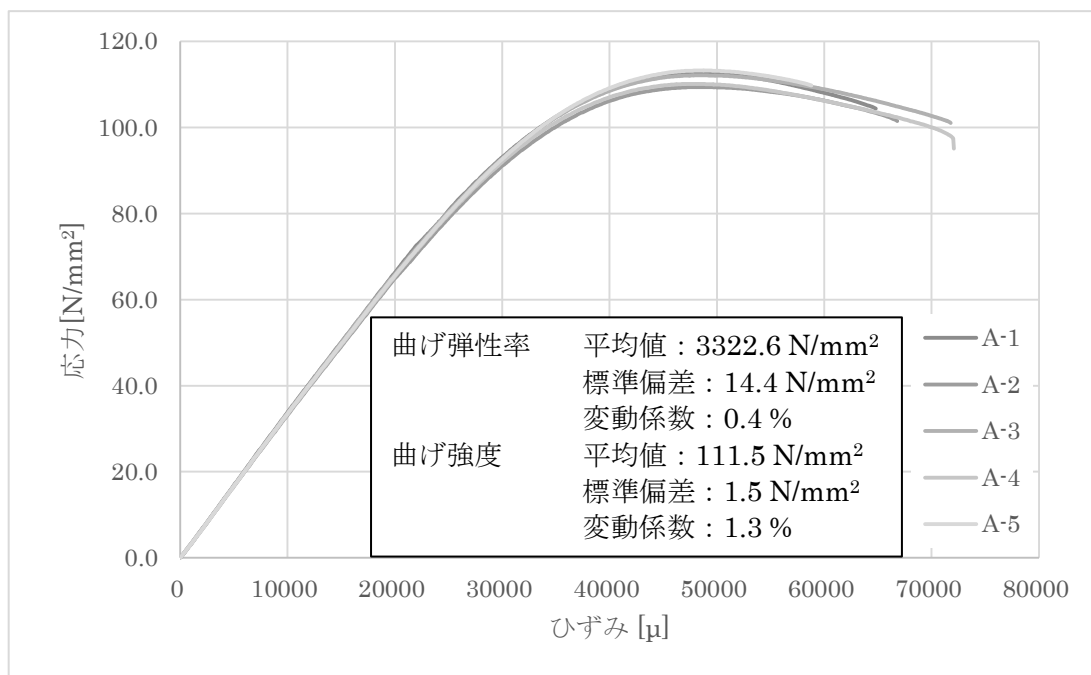
日本コンクリート工学会「接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性試験方法に関する研究委員会」にて実施した、樹脂の曲げ試験結果における荷重と中央変位の関係を**解図 3**に、曲げ応力と曲げひずみの関係を**解図 4**に示す。

本試験方法では、曲げ弾性率を曲げひずみが 500μ から 2500μ の範囲（中央変位で約 0.2mm ～ 0.5mm ）での傾きとして定義している。解図に示すように、樹脂は変形が進むにつれて緩やかに剛性低下する傾向にあるが、 2500μ 以下の微小変形領域ではおおむね線形とみなせる。

また、**解図 2,3** から分かるように、結果のばらつきは小さく抑えられており、同一条件での試験片数が 5 個程度でも精度よく評価が可能であると判断し、本試験方法では試験片の個数を最少 5 個とした。



解図 3 荷重と中央変位の関係の一例[1]



解図 4 曲げ応力と曲げひずみの関係の一例[1]

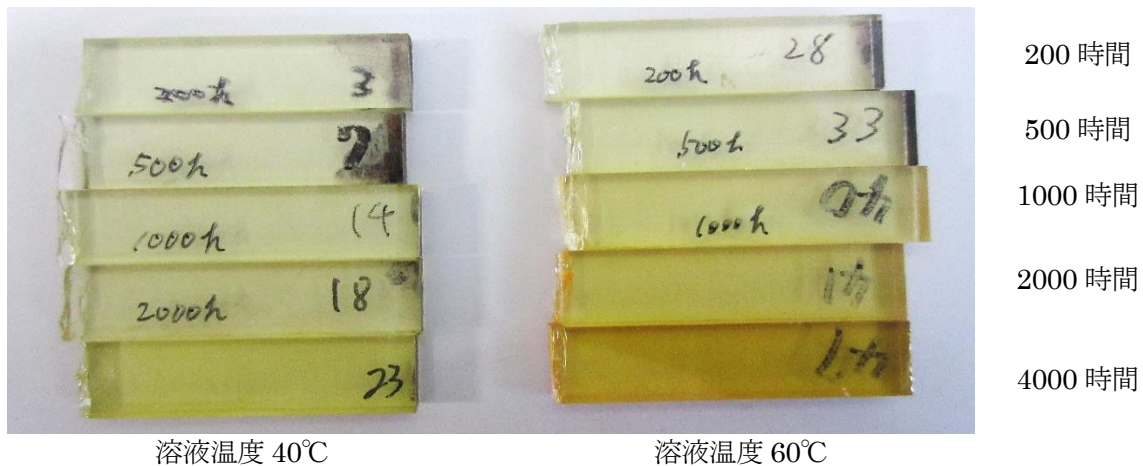
日本コンクリート工学会「接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性試験方法に関する研究委員会」にて実施した樹脂の耐アルカリ性試験結果を一例として報告する。

耐アルカリ性の高い樹脂 A と、耐アルカリ性の低い樹脂 B を対象として、下記の溶液温度、浸漬時間での耐アルカリ性試験を実施した。樹脂は、フィラーを含まないものとした。本試験は、フィラーを含む樹脂の試験は行わなかったが、フィラーを含む場合は試験結果の評価法との対応を考慮して、試験方法の適用の妥当性を判断する必要がある。

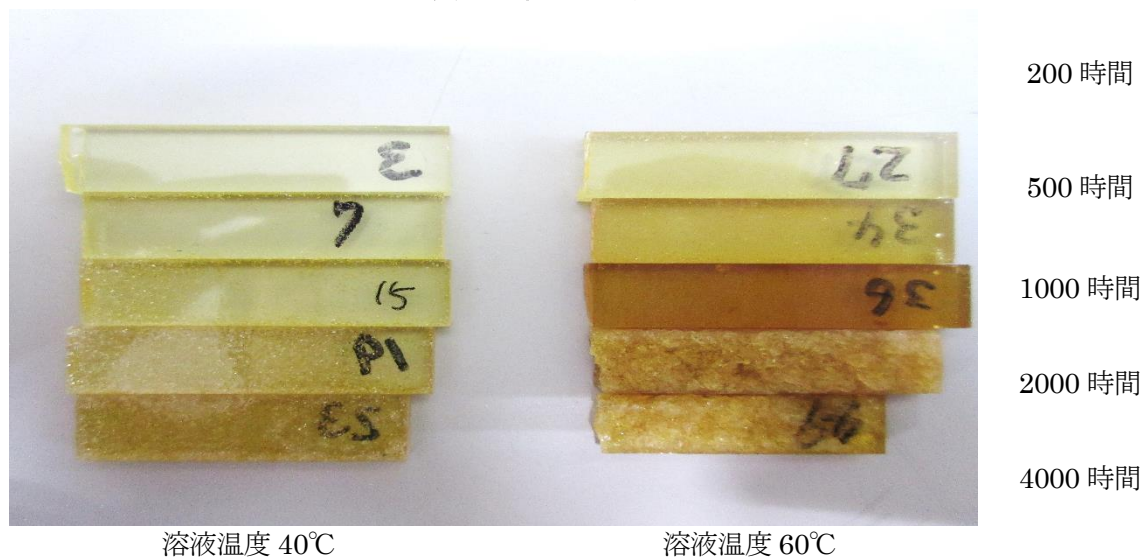
[溶液温度] 20℃, 40℃, 60℃

[浸漬時間] 200 時間, 500 時間, 1000 時間, 2000 時間, 4000 時間

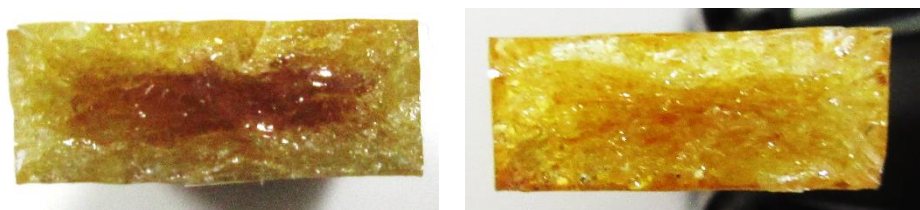
樹脂 A および樹脂 B の劣化状況を解写真 3~5 に示す。樹脂 A は、40℃4000 時間および 60℃1000 時間以上で、試験片の変色が確認された。一方、樹脂 B では、40℃1000 時間以上および 60℃1000 時間以上で、試験片の変色とともに加水分解による気泡状の劣化が確認された。解写真 5 に示すように、樹脂 B の気泡状の劣化は、試験片表面から進行し、60℃4000 時間でほぼ中心部まで劣化が進行した。



解写真 3 樹脂 A の劣化状況 [1]

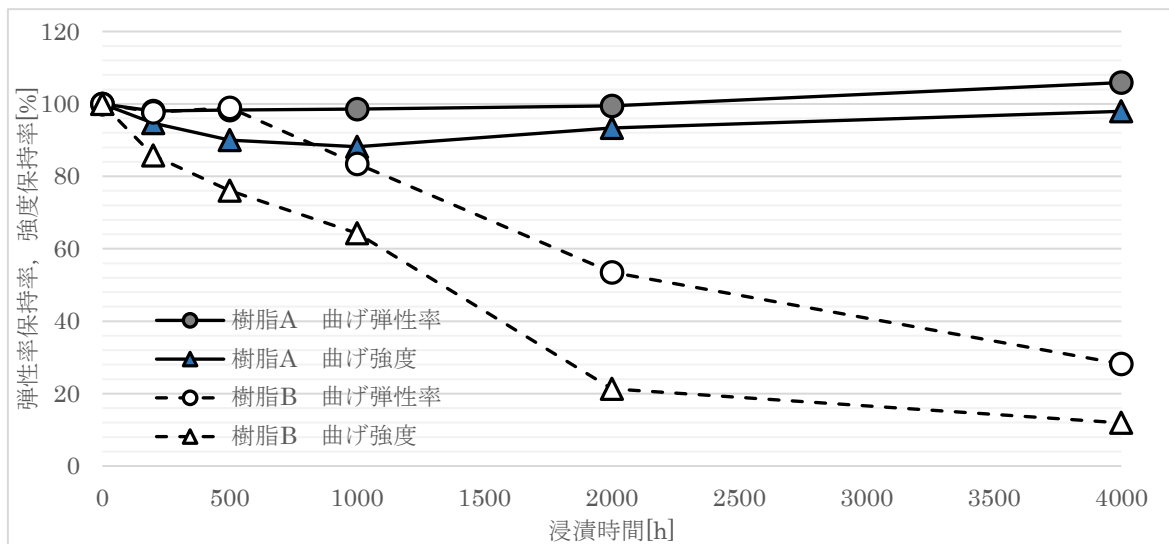


解写真 4 樹脂 B の劣化状況 [1]



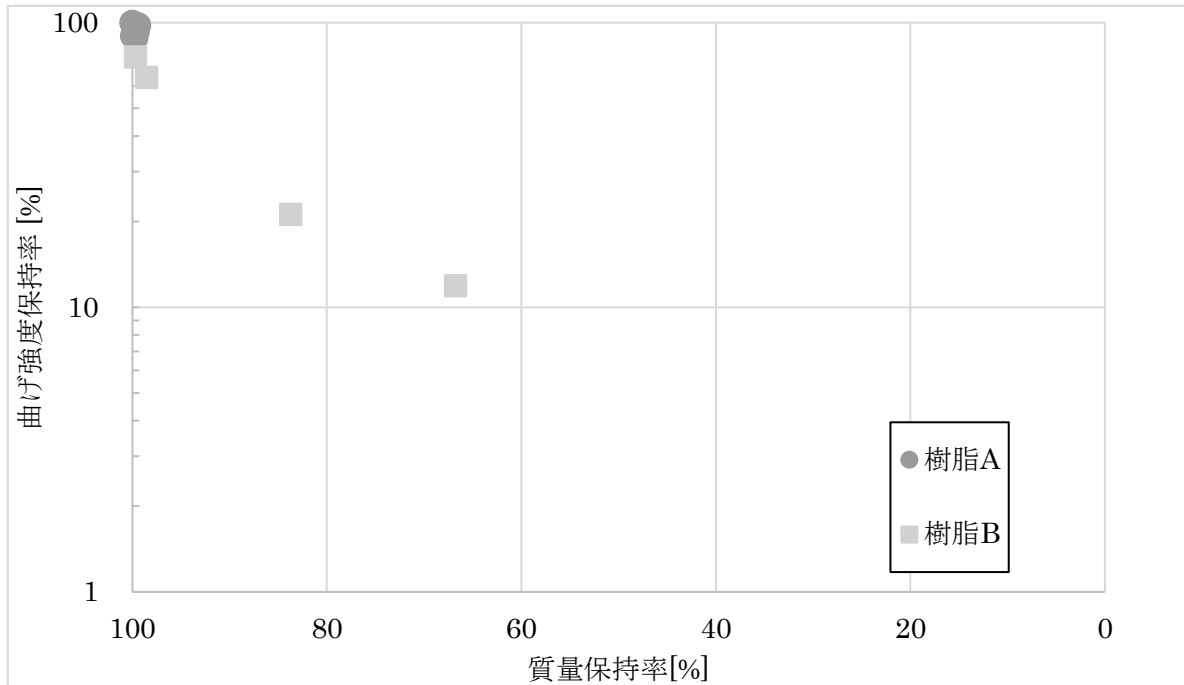
解写真 5 樹脂 B の劣化状況 (断面, 左 : 60°C2000 時間, 右 : 60°C4000 時間) [1]

溶液温度を 60°C とした場合の、曲げ試験結果における曲げ弾性率保持率、曲げ強度保持率と浸漬時間の関係を解図 5 に示す。図より、変色のみの劣化が確認された樹脂 A では曲げ弾性率、曲げ強度とも保持されており、有意な低下は見られない。一方、気泡状の劣化が確認された樹脂 B では、浸漬時間が長くなるほど曲げ強度、曲げ弾性率が低下することが確認できる。また、特に曲げ強度の低下が著しいことも分かる。



解図 5 曲げ強度保持率, 曲げ弾性率保持率と浸漬時間の関係の一例 [1]

質量低下率と曲げ強度保持率の関係を解図 6 に示す。ただし, 図中の縦軸は対数軸としている。図より, 気泡状の劣化が確認された樹脂 B において明確な質量低下が確認され, 質量保持率と曲げ強度保持率には相関関係が見られることが分かる。データ数が限られているため, その相関係数や相関関係式を明示することは困難であるが, 多くの試験を実施することで質量保持率と曲げ強度保持率の関係を定量的に評価することも可能となると考えられる。



解図 6 曲げ強度保持率と質量保持率の関係の一例 [1]

5. 懸案事項

本規準では, 樹脂の耐アルカリ性を試験する方法を規定しているが, 別途規定される樹脂の耐アルカリ性の評価基準において必要とされる評価値や評価精度と齟齬が生じた場合には, 適宜改

正される必要がある。

また、今後整備されるであろう長期性能評価に留意して、本規準で設ける浸漬時間や浸漬温度等の水準値は適宜見直される必要がある。

<参考文献>

- [1] 日本コンクリート工学会：接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性試験方法に関する研究委員会報告書，2016.6

委員会報告書

「接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性試験方法に関する研究委員会報告書」(2016.6)

作成者一覧

(JCI-TC-145C 接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性試験方法に関する研究委員会)
(2014.8～2016.3)

委員長	中村 光	名古屋大学	
幹事	新藤 竹文	大成建設株式会社	
	中村 聡宏	名古屋大学	
委員	青木 圭一	中日本高速道路(株)	(～2015.6)
	広瀬 剛	株式会社高速道路総合技術研究所	(2015.7～)
	石橋 忠良	JR 東日本コンサルタンツ株式会社	
	国枝 稔	岐阜大学	
	久保内 昌敏	東京工業大学	
	佐藤 靖彦	北海道大学	
	中野 克彦	千葉工業大学	
	西崎 到	国立研究開発法人 土木研究所	
	濱崎 仁	芝浦工業大学	
	久田 真	東北大学	
	古市 耕輔	鹿島建設株式会社	
	三浦 泰人	名古屋大学	(2015.5～)
	向井 智久	国立研究開発法人 建築研究所	
	山崎 大輔	ショーボンド建設株式会社	
	大垣 正之	岡部株式会社	
	西田 聖二	旭化成ケミカルズ株式会社	
	櫻井 和人	日本ヒルティ株式会社	(～2015.3)
	寺崎 慎一	前田工織株式会社	(2015.5～)
	藤間 誠司	電気化学工業株式会社	
事務局	高田 和法	公益社団法人日本コンクリート工学会	

(JCI 規準委員会)

委員長	十河 茂幸	広島工業大学	
委員	大久保孝昭	広島大学	
	桜本 文敏	鹿島建設株式会社	
	椿 龍哉	横浜国立大学	
	渡辺 博志	国立研究開発法人 土木研究所	

(学術技術部門担当副会長)

二羽淳一郎 東京工業大学

以上