

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04776

研究課題名（和文）接着系あと施工アンカーを適用したRC構造物の長期変形特性予測手法の開発

研究課題名（英文）Development of prediction method for long-term deformation RC structures applying post-installed adhesive anchor

研究代表者

濱崎 仁（Hamasaki, Hitoshi）

芝浦工業大学・建築学部・教授

研究者番号：30370703

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、接着系あと施工アンカーの長期的な変形について、実環境における温度変動などを考慮した簡易的な予測手法の開発を行った。

クリープ特性の温度依存性を評価するため、高ナットとボルトを試験体とし、鋼製のフレームで持続荷重を載荷することのできる超小型のクリープ試験装置（質量約20kg・高さ約30cm）を開発した。これにより恒温恒湿槽内で比較的短期間でクリープ特性の評価が可能となった。

また、これらの試験で得られる結果を、4要素の粘弾性モデル（Voigtモデル）に外挿し、レオロジー特性値の温度依存性を定式化した。これにより、様々な温度条件での長期変形量を予測する手法を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

接着系あと施工アンカーは、既存建築物における構造部材の接合などに適用可能であるが、長期荷重に対するクリープ特性の評価が必要不可欠である。従来の評価方法では、装置が大きく時間も要することから様々な温度条件下で試験を行うことは困難であったが、本研究で開発した試験装置および評価の考え方により、実環境下での長期変形量が簡易的に実施可能であり、既存建築物の長期利活用に有効な評価手法となる。

研究成果の概要（英文）：In this study, a simple prediction method for long-term deformation of adhesive post-installed anchors was developed, taking into account temperature fluctuations in real environments.

To evaluate the temperature dependence of creep properties, an ultra-compact creep test apparatus (mass: approx. 20 kg, height: approx. 30 cm) was developed, in which high nuts and bolts were used as test specimens and a sustained load was applied with a steel frame. This enables evaluation of creep properties in a relatively short period of time in a constant-temperature, constant-humidity chamber.

The results obtained from these tests were extrapolated to a four-element viscoelastic model (Voigt model), and the temperature dependence of rheological property values was formulated. This has demonstrated a method for predicting long-term deformation under a variety of temperature conditions.

研究分野：建築材料・施工

キーワード：接着系あと施工アンカー クリープ特性 温度依存性 小型試験装置 変形予測

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

接着系あと施工アンカーは、既存の建築物における短期荷重に対する耐震要素の付与、長期荷重を負担する構造部材の接合などに適用が可能であり、既存建築物の長期利活用のために必要不可欠な技術・工法である。適用において留意すべき点として、長期荷重を負担する部材の接合に用いる場合には、クリープ変形による接合部の変位を考慮した設計を行う必要がある。特に接着系のアンカーでは、接着剤によるクリープ変形が生じ、また温度依存性があることから、温度を考慮したクリープ特性の評価が必要になる。

これらのクリープ特性の評価については、研究実施者らの検討を踏まえた評価方法が提案されているが、装置が大きくなること、評価に数ヶ月以上の時間が掛かることなどが問題となっている。また、実環境では様々な温度環境下に晒されることから、これらの温度依存性を考慮し、かつ簡易的な長期変形量の評価手法が求められている。

### 2. 研究の目的

本研究においては、前述の背景および課題を踏まえ、接着剤の温度依存性と実環境下の温度変動を考慮したあと施工アンカーの接着剤のクリープ特性の簡易的な評価方法の開発と、それを適用した構造物の変形特性の予測手法について開発する。本研究で得られる成果により、接着系あと施工アンカーに使用される接着剤の変形特性を簡易的に評価し、これにより実際の使用環境下における長期的な変形特性を評価することが可能となり、あと施工アンカーを適用した構造部材の長期的な安全性の確認や新たな適用方法の検討が可能となる。また、これらることにより、既存の建築ストックのさらなる有効活用が促進することが期待される。

### 3. 研究の方法

本研究では、以下の3つのテーマを設定し検討をおこなった。

#### (1) 接着剤の温度依存性を考慮したクリープ特性の評価手法の開発

簡易かつ小型の恒温恒湿槽でも試験が可能な簡易クリープ試験装置を開発・製作し、各種の恒温環境、変動環境における接着剤のクリープ試験を実施することにより、接着剤の温度依存性の評価方法を提案した。

#### (2) 各種温度条件下におけるクリープ変形量の長期予測手法

各種温度条件下での粘弾性特性値の温度依存性とアンカー内部の応力状態を考慮した変形予測手法を開発する。温度依存性の評価は、課題(1)のクリープ試験から得られる結果を、4要素の Voigt モデルに外挿し、ずり粘性・弾性係数、遅延時間等を求め、これを環境温度の関数として定式化する。

### 4. 研究成果

#### 4.1 クリープ特性の簡易評価手法の開発

図1に本研究で提案・作製した超小型クリープ試験装置の図面、写真1に載荷荷重の導入の状況を示す。簡易試験クリープ治具は、通常のコイルバネ式の試験装置（質量約100kg・高さ約150cm）と比較して相当に小型化（質量約10kg・高さ約25cm）できた。このため、恒温恒湿槽内で試験が可能になり、温湿度条件を変化させた載荷が簡易的に実施可能となった。また、当初は載荷荷重の導入にトルクレンチを用いていたが、強度試験機と皿ばねとの組み合わせにより正確な荷重の導入が可能となった。

クリープ特性の評価は、従来ではコンクリート打設したアンカーによる試験体を用いていたが、本研究では、M20×50mmの高ナット中にM12の全ねじを挿入した試験体とし、接着剤のみのクリープ特性を評価することとした。従来型試験装置と本課題で提案した装置の比較は、(国研)建築研究所および(一社)日本建築あと施工アンカー協会と共同で実験を行い文献<sup>1)</sup>等に紹介している。

#### 4.2 各種温度条件下におけるクリープ特性の評価

本研究では、樹脂の種類および温度条件がクリープ特性に及ぼす影響を評価するため、開発した装置を用いてクリープ試験を行った。導入した荷重は付着応力  $\tau=15\text{N}/\text{mm}^2$  相当、付着長さは36mm、温度条件は表1の条件とし、恒温環境と繰返しの変温環境を設定し恒温恒湿槽内で再現した。

図2に変温条件下におけるクリープ試験結果と図3にこれらに基づくクリープ変位の長期予測結果を示す。

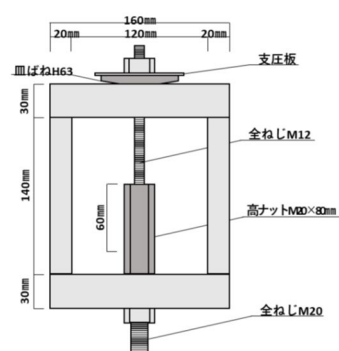


図1 小型クリープ試験装置

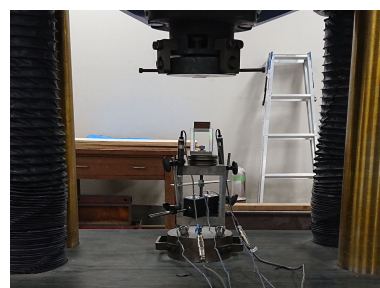


写真1 クリープ荷重の載荷状況

図2に示すとおり、変温環境下ではクリープ変形量に振幅が見られ、恒温条件では概ね一定の変形を示す。変温条件下では、温度の変動に従って振幅は大きくなり、温度の平均値が同じであっても振幅が大きいほど変形量も大きくなることが明らかとなった。これらのことから、実環境における変形量の評価において恒温条件を設定する場合には、恒温側の温度設定を行うことが求められる。

また、接着剤の種類と比較では、セメント系と比較してエポキシ樹脂系の変形量は大きく接着剤の温度依存性の違いを評価できている。

図3に示すクリープ変形の予測値は、各種温度条件における変形量を(1)式により予測したものである。

$$S_{(t)} = S_0 + a \cdot t^b \quad (1)$$

$S(t)$ : 時間  $t$  における変位,  $S_0$ : 載荷直後の変位,  $t$ : 試験材齢,  $a, b$ : 実験定数

従来のクリープ試験方法では、少なくとも90日間の載荷が必要であるが、本研究で提案した方法では、20日間程度の載荷で十分評価ができることを確認しており、試験装置の小型化とともに試験時間の大幅な短縮が可能となった。

#### 4.3 レオロジーモデルによる温度依存性の評価とクリープ変形量の予測

クリープ変形量の温度依存性をレオロジーモデルによりモデル化し、クリープ変形量の予測手法を提案するため、式(2)に示す4要素のVoigtモデルを想定した。

$$\varepsilon_{(t)} = S \left\{ \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} (1 - e^{-t/\lambda_2}) + \frac{t}{\eta_3} \right\} \quad (2)$$

$\varepsilon(t)$  クリープひずみ,  $t$ : 載荷時間,  $G_1, G_2$ : せん断弾性係数,  $\lambda_2$ : 遅延時間( $=\eta_2/G_2$ ),  $\eta_2, \eta_3$ : せん断粘性係数

図4に上記の実験結果を温度条件の異なる実験結果に当てはめて求めたレオロジー特性値を示す。G1は主に弾性変形を負担するため温度による影響はほとんど受けないが、その他の特性値は温度により大きく変化する。粘性係数については温度依存性を表現するAndrade式を用い、温度依存性を表す関係式を図4の図中に示した。これらの特性値は接着剤ごとの固有のものとなるが、本研究で提案した簡易的なクリープ試験によって得られることになる。

また、(2)式より求めた長期変形量の予測値の例を図5に示す。このような手法を適用することで、簡易的なクリープ試験の結果から、様々な温度条件における長期的な変形量を予測することが可能となることを示した。

#### 参考文献:

- 高橋宗臣ほか: 接着系あと施工アンカーのクリープ試験装置の小型化に関する実験的検討 その2・その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造, 2021, 2022

表1 クリープ試験の条件

試験体名	接着剤	温度(°C)	時間
C-0	セメント系	0	7日
C-20		20	
C-40		40	
C-60		60	
EP-0	エポキシ系	0	
EP-20		20	
EP-40		40	
EP-60	60		
C10 30	セメント系	10 30	3日(9サイクル)
C0 40		0 40	
C-10 50		-10 50	
C0 40	エポキシ系	0 40	5日(5サイクル)
EP10 30		10 30	
EP0 40		0 40	
EP-10 50	-10 50	3日(9サイクル)	
EP0 40	0 40		
		0 40	5日(5サイクル)

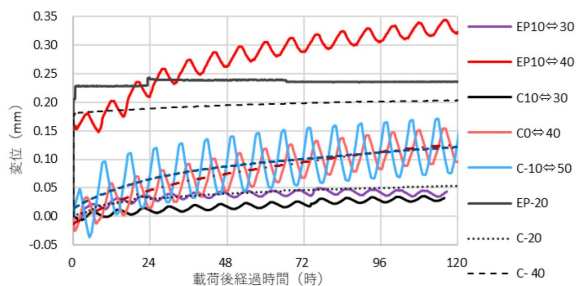


図2 クリープ試験結果 (変温条件)

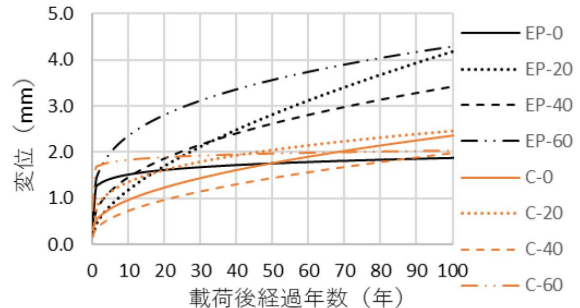


図3 クリープ変形量の予測結果

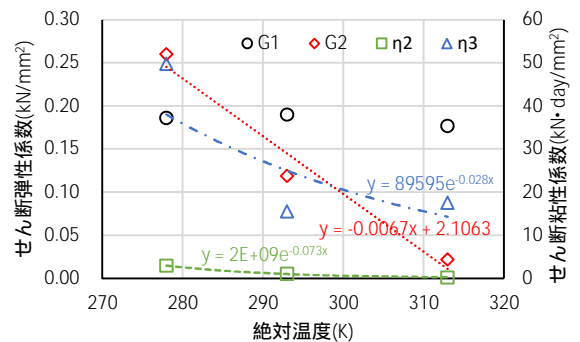


図4 レオロジー特性値の温度依存性

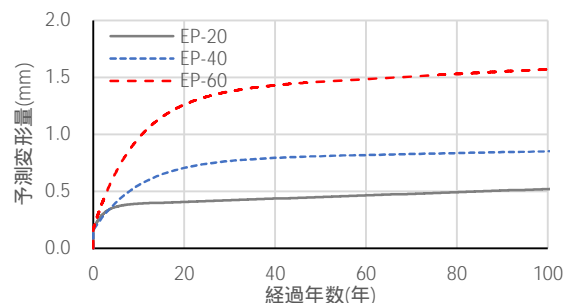


図5 長期変形量の予測結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 高橋宗臣・松沢晃一・大垣正之・安藤重裕・寺崎慎一・小林学・鎌田晃輔・宋昌錫・濱 崎仁・中野克彦・佐藤滉起・中田清史	4. 巻 構造
2. 論文標題 接着系あと施工アンカーのクリーブ試験装置の小型化に関する実験的検討 その2	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 99-100
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高橋宗臣・松沢晃一・大垣正之・安藤重裕・寺崎慎一・小林学・鎌田晃輔・宋昌錫・濱 崎仁・中野克彦・佐藤滉起・中田清史
2. 発表標題 接着系あと施工アンカーのクリーブ試験装置の小型化に関する実験的検討 その2
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------