

長期せん断力を受ける あと施工アンカーの構造性能

Structural Performance Caused by Adhesive Post-Installed Anchor Subjected to Sustained Shear Force

田島 祐之
Yuji TAJIMA

キーワード：あと施工アンカー、長期せん断性状、コンクリート圧壊、アンカーピッチ

1. はじめに

愛知淑徳大学論集 - 創造表現学部篇 - 第 11 号¹⁾において、複数本 (3・4 本) の接着系あと施工アンカーに長期せん断荷重を与える実験について同様の試験体における短期実験の結果および 2019 年 11 月 5 日～2020 年 1 月 30 日までの 86 日 (約 3 ヶ月) の期間での長期性能を調査した実験結果について報告した。その結果、長期荷重が小さいことが影響し、アンカー列の本数およびアンカーピッチの違いによる特徴は見受けられなかったが、86 日後の全体のクリープ変形は平均で 0.067 (mm) を示し、67% のせん断変位量の伸展となった。さらに 2020 年 12 月 3 日 (データ採取は 2020 年 9 月 20 日) まで継続した荷重をかけ、同日にこれまでの約 2 倍となる長期せん断荷重に増加し、2021 年 4 月 20 日までの約 138 日の期間での長期せん断性能についての実験結果の検討を行った。本論文においても実験方法は同様であるので詳細は文献 1) を参照されたい。

本論文について、2 章では 2019 年 11 月 5 日～2020 年 9 月 9 日までの途中にデータを採取した約 308 日間における履歴を用いて検討を行う。次に、3 章では、長期せん断荷重を 2 倍にした長期せん断性能について示す。最後に 4 章において、まとめる。なお、本論文では、日本建築防災協会発刊の改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針同解説²⁾における接着系あと施工アンカー筋の最小ピッチ 7.5da より短い 7da と長い 10da について主に検討を行った。

2. 低荷重長期実験

前述したが、本論文は文献 1) にて発表した実験が前提となるため、実験方法および概要を抜粋して示す。

2-1. 試験体概要および計測方法

文献 3) を参考に 1970 年代の鉄筋コンクリート梁の一部を模擬した既存構造躯体を想定し、配筋およびコンクリートを打設した (図 1)。試験体の鉄筋コンクリート断面は 400 × 300mm だが、参考とした既存梁幅の 400mm にあと施工アンカー筋を 2 列打設した。アンカー列は、へ

りあき 125mm で列の離れは 150mm とした。梁主筋は上（下）端の 2-D22（SD345）で、せん断補強筋は D10（SD295A）@150 とした。つまり、既存躯体中央梁の上側若しくは下側のみを想定し試験体を作製した。コンクリート圧縮強度（以下 σ_B ）は 2019 年 11 月 29 日の時点で 11.66(N/mm²)であった。あと施工アンカーの固着剤には、エポキシ系樹脂を使用した。アンカー筋は、異形鉄筋の D10（SD295A）を使用し、材料試験の降伏応力度は平均で 345（N/mm²）であった。埋め込み深さ（ l_e ）は、文献 2）に示される最小値 $7d_a$ とした。アンカー筋の端部（露出部分）は、ネジ加工を施し、実験時にはアンカー筋に引張力が導入されない（純せん断実験に影響がない）程度に治具とアンカー筋を固定した。なお、アンカー筋の打設は、ハンマードリルでコンクリートを穿孔し、孔内をブラシ清掃した後に行った。アンカー筋は、図 1 に示すように 70 と 100（mm）ピッチの組・30 と 50（mm）ピッチの組で治具と PC 鋼棒およびカプラーを用いて繋いでいる。図の背面も同様のセットでアンカー筋と治具を配置したので、4 種のピッチで各々 2 セットの試験体があることになる。

加力は、図 1 に示した試験体中央のキリンジャッキを伸ばすことにより、アンカー群（列）にせん断力を与える仕組みになっている。4 組の PC 鋼棒各々に貼付したひずみゲージの出力から 1 組の荷重負担割合を算出した。試験体中央に設置したロードセルの出力に負担割合を乗じ、その値が 1 つのアンカー列に与えられたせん断力とした。コンクリート部に埋設したインサートに変位計を設置（写真 1 参照）し、治具の端に取り付けた的との離れをせん断（滑り）変位とした。

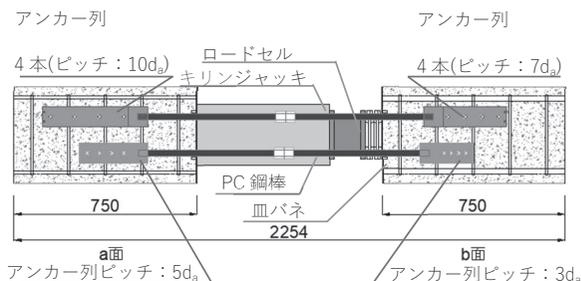


図1 Schematic of test setup

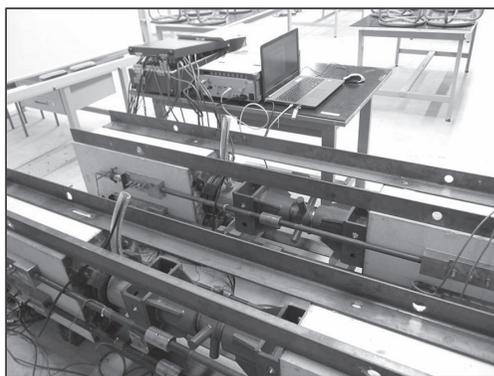


写真1 Photographs of test setup

2-2. 持続荷重と気温の経過

2019年11月5日～2020年9月9日までの途中にデータを採取した約308日間における履歴を示す。図2および図3にせん断持続荷重（1試験体毎）および気温と経過日数における関係を示す。図中の実線は、せん断持続荷重（左縦軸）と経過日数の関係で、点線は、気温（右縦軸）と経過日数の関係を示している。なお、図2は3本のアンカー列試験体、図3は4本のアンカー列試験体の履歴である。せん断持続荷重としては、3・4本の試験体どちらにおいてもクリープ変形が進むにつれて、徐々に荷重が低下している同様の傾向が見られた。せん断荷重は若干の上下を示したものの、気温の上下には大きな影響を受けていないと言える。計測開始と308日後の結果だけを見ると、3本のアンカー列試験体は、44.8 (kN) のせん断荷重から39.6 (kN) を示し、11.6 (%) の荷重減退となった。また4本のアンカー列試験体は、46.4 (kN) のせん断荷重から41.6 (kN) を示し、10.3 (%) の荷重減退となった。

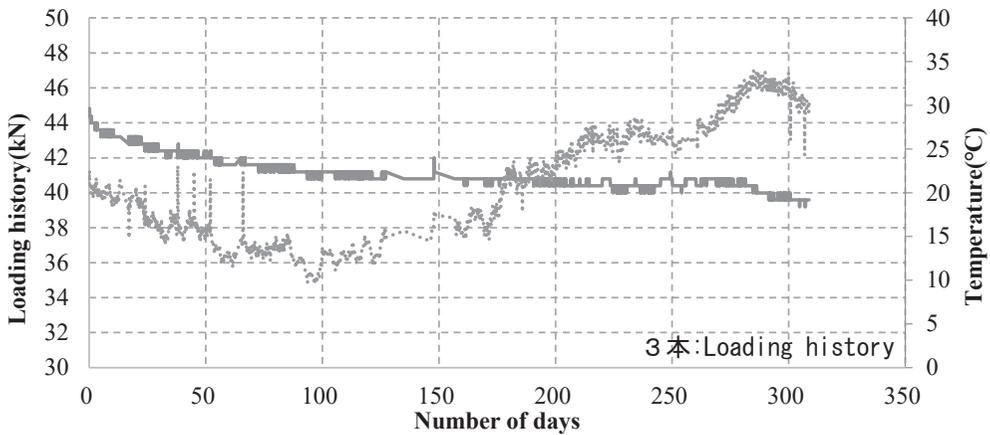


図2 Loading history and temperature-Number of days for three anchors specimen

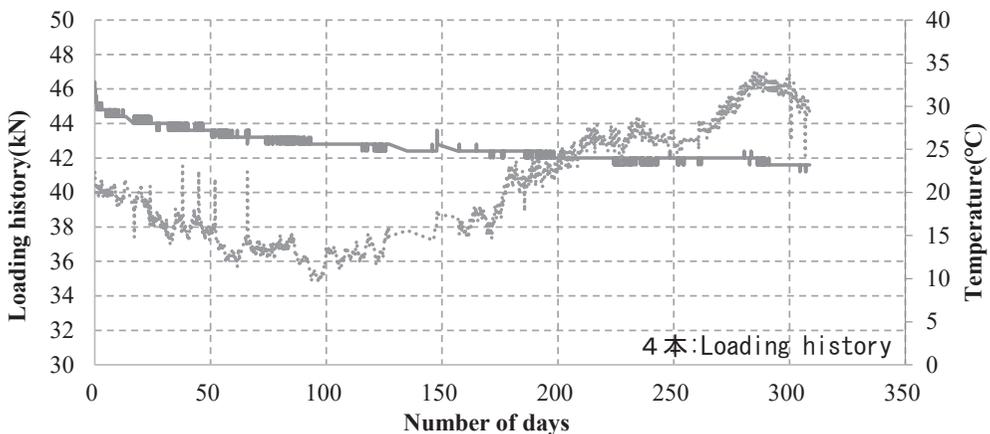


図3 Loading history and temperature-Number of days for four anchors specimen

2-3. クリープ変形と気温の経過

図4・図5にクリープせん断変形および気温と経過日数における関係を示す。図中の実線は、クリープせん断変形（左縦軸）と経過日数の関係で、点線は、気温（右縦軸）と経過日数の関係である。なお、図4は3本のアンカー列試験体でアンカー筋ピッチが70mm（7da）の実験結果を示し、図5は4本のアンカー列試験体でアンカー筋ピッチが70mm（7da）の履歴である。3本および4本の履歴を見ると共に気温下降に対してはせん断変形が上昇し、気温上昇に対してはせん断変形が減退する傾向を示した。この温度変化に対するクリープ変形の相関性は、せん断力を伝えるためのPC鋼棒の熱膨張が原因と当初は考えたが、この結果を受けてアンカー筋自身の熱膨張に関係すると考えている（2-5に後述）。実験開始の気温が約20℃であり、308日後の気温が約30℃であったことより結果的にクリープ変形としては、文献1)で示した89日後のクリープ変形より小さい値を示した。

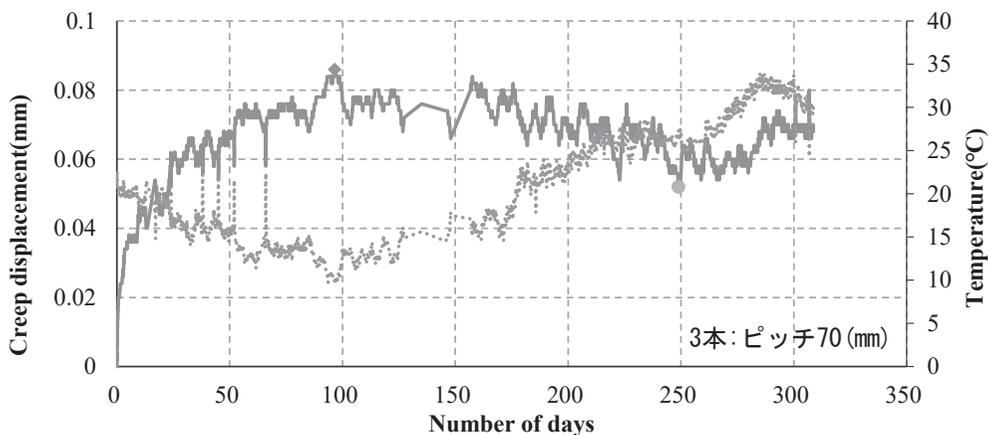


図4 Creep displacement and temperature-Number of days for three anchors specimen (anchor pitch 7da)

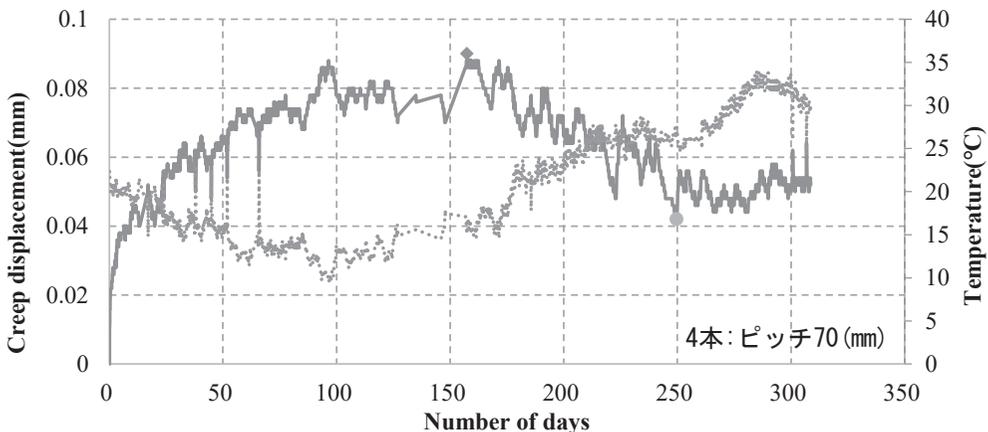


図5 Creep displacement and temperature-Number of days for four anchors specimen (anchor pitch 7da)

2-4. クリープ変形とアンカー列に対する荷重の経過

図6・図7にクリープせん断変形およびせん断荷重と経過日数における関係を示す。図中の実線は、クリープせん断変形（左縦軸）と経過日数の関係で、点線は、せん断荷重（右縦軸）と経過日数の関係である。なお、図6は3本のアンカー列試験体でアンカー筋ピッチが(7da)の実験結果を示し、図7は4本のアンカー列試験体でアンカー筋ピッチが(7da)の履歴である。また、右縦軸のせん断荷重は、ロードセルから得られた荷重をPC鋼棒のひずみゲージ出力の割合から算出した1つのアンカー列に入力されたせん断力である。加力システム上、皿バネを設置しているとはいえ、低荷重であることもあり、クリープ変形が進むと荷重は徐々に減退した。308日後において、3本のピッチ7daにおいてクリープ変形は、0.07mmで、4本のピッチ7daではクリープ変形は、0.05mmという結果であった。308日間の実験結果に関するまとめを2-5で後述する。

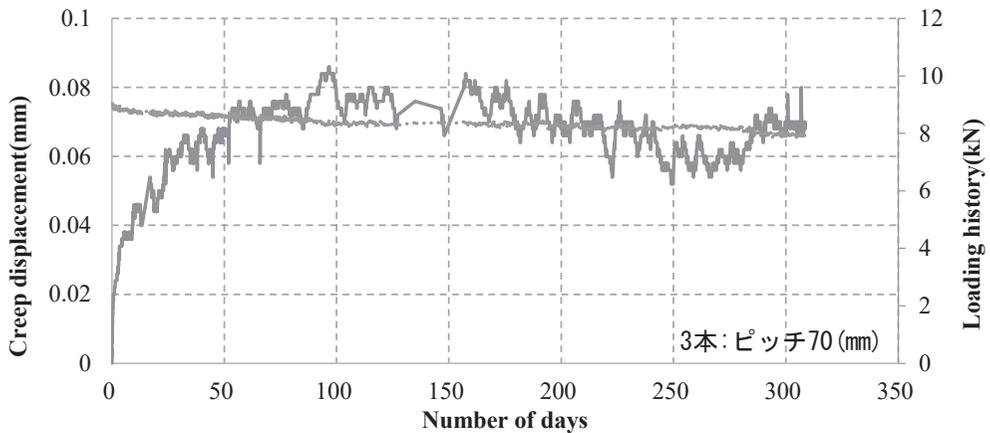


図6 Creep displacement and loading history -Number of days for three anchors specimen (anchor pitch : 7d_a and loading history : per one set)

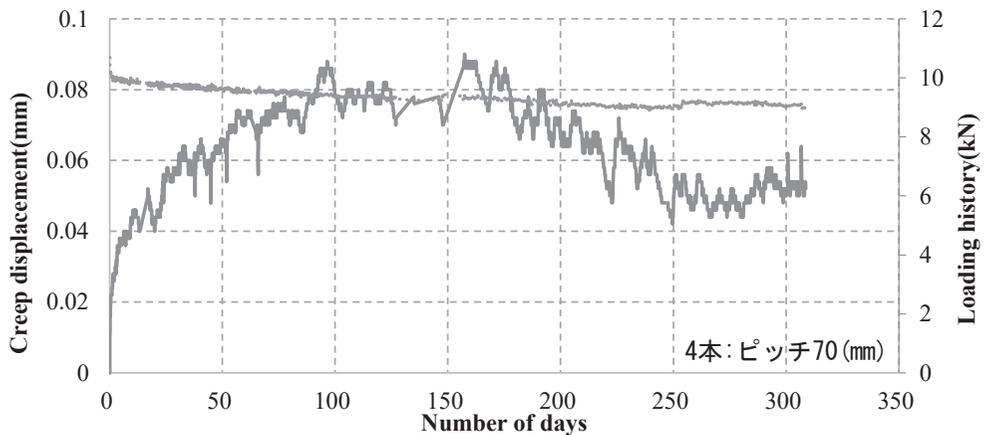


図7 Creep displacement and loading history -Number of days for four anchors specimen (anchor pitch : 7d_a and loading history : per one set)

2-5. 低荷重クリープ変形のみまとめ

日数を経る毎に（クリープ変形が伸展により）、せん断持続荷重は減退していくが、計測日数としては308日間において平均で一列のアンカー群に約9（kN）の持続せん断力を与えた場合のクリープ変形について、3・4本のピッチが7daを対象として得た実験結果をまとめる。載荷して約一か月（30日間）はせん断変形が増大するので、それ以降において最大・最小せん断クリープ変形を軸に気温・経過日数を見る。まず3本のアンカー列において、最大せん断クリープ変形は96日後の0.086（mm）であったが、157日後もほぼ同様のクリープ変形であった。また最小せん断クリープ変形は249日後の0.052（mm）であった。次に4本のアンカー列において、最大せん断クリープ変形は157日後の0.090（mm）であったが、3本と同様96日後もほぼ同様のクリープ変形であった。また最小せん断クリープ変形は249日後の0.042（mm）であった。つまり傾向としては3本も4本も同様であり、気温との関係を見ると、96日後から157日後は、2月上旬から4月中旬に相当し、12℃～15℃程度であった。一方最小せん断クリープ変形時の249日後は、7月中旬に相当し、気温は26℃程度であった（図4・5に最大せん断クリープ変形時を◆・最小せん断クリープ変形時を●で示した）。

前述したが、実験開始当初入力せん断力は、加力システムのPC鋼棒による熱膨張によるものと考えていたが、計測結果よりPC鋼棒の熱膨張の影響は小さいことがわかった。直接計測は行っていないが、アンカー筋自身の熱膨張がせん断変形に影響を与えたと考えられる。しかし、この熱膨張はコンクリートと鉄筋の影響か実験による剥き出し部分の鉄筋による影響か別の実験で調べる必要がある。いずれにしても、気温差10℃で0.03（mm）～0.05（mm）のせん断クリープ変形の差が生じることがわかった。

3. 長期性能実験（荷重増大した実験）

この章では、2章で実施した長期性能実験における加力システムおよび試験体はそのまま、持続せん断力を増大させ、約138日の経過によるせん断クリープ変形を計測した結果について示す。なお、この章でのクリープ変形は、せん断力を増大させた直後のせん断変形を原点にプロットしその後の経過について論ずる。つまり全体変形としては、荷重0からの累加の変形であるが、本実験の対象は一定荷重時のクリープ変形であるため、全体変形としては考慮していない。

この章での対象とした試験体は、3・4本のアンカー列で、100mm（10da）と70mm（7da）である。また、低荷重（2章）のロードセルの出力（全体の荷重）は3本アンカー列と4本アンカー列試験体でそれぞれ44.8および46.4（kN）程度の荷重を初期状態で載荷したが、荷重増大した実験では、ロードセルの出力は3本アンカー列と4本アンカー列試験体でそれぞれ78.4および81.2（kN）程度の荷重を初期状態で載荷した。つまり3・4本のアンカー列試験体において平均で1.7倍の荷重増加を行ったことになる。

3-1. クリープ変形と全体持続せん断力の経過

図8・図9にクリープせん断変形およびせん断荷重と経過日数における関係を示す。図中の実線は、クリープせん断変形（左縦軸）と経過日数の関係で、点線は、せん断荷重（右縦軸）と経過日数の関係である。なお、図8は3本のアンカー列試験体でアンカー筋ピッチが(10d_a)の実験結果を示し、図9は3本のアンカー列試験体でアンカー筋ピッチが(7d_a)の履歴である。また、右縦軸のせん断荷重は、ロードセルから得られた持続せん断荷重（試験体全体荷重）である。138日後の持続荷重減退については、3本のアンカー列試験体は、78.4から74.8(kN)で4.6%の減退であった。気温との関係は後述するが、低荷重と同様に载荷の初期段階（30日後位まで）でせん断変形が進むことが大きな要因で、減退が進んだと考えられる。

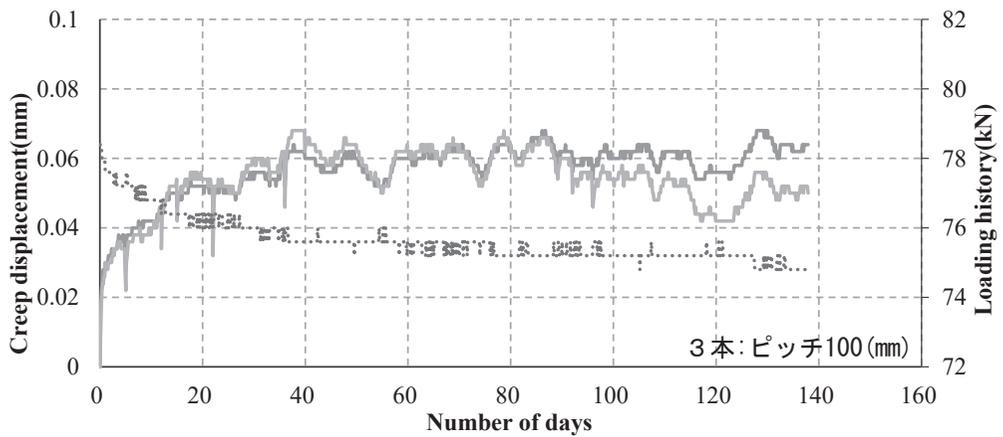


図8 Creep displacement and loading history -Number of days for three anchors specimen (anchor pitch : 10d_a)

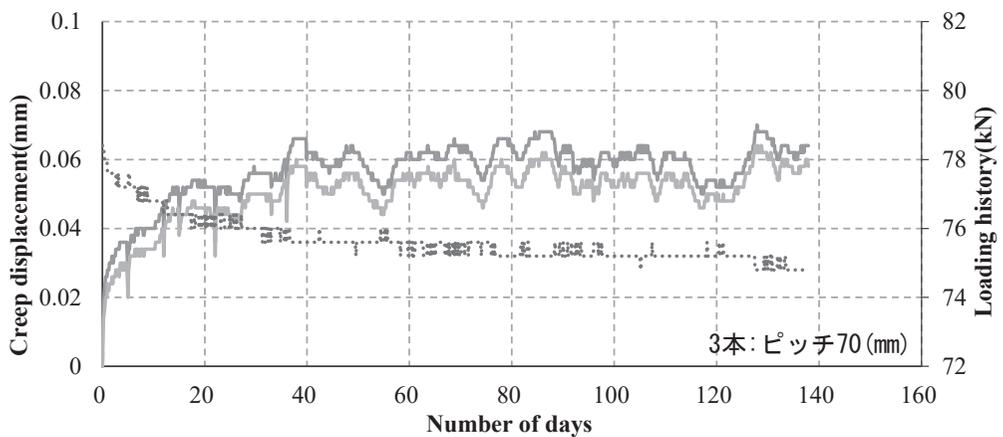


図9 Creep displacement and loading history -Number of days for three anchors specimen (anchor pitch : 7d_a)

図10・図11にクリープせん断変形およびせん断荷重と経過日数における関係を示す。図中の実線は、クリープせん断変形（左縦軸）と経過日数の関係で、点線は、せん断荷重（右縦軸）と経過日数の関係である。なお、図10は4本のアンカー列試験体でアンカー筋ピッチが（10d_a）の実験結果を示し、図11は4本のアンカー列試験体でアンカー筋ピッチが（7d_a）の履歴である。また、右縦軸のせん断荷重は、ロードセルから得られた持続せん断荷重（試験体全体荷重）である。138日後の持続荷重減退については、4本のアンカー列試験体は、81.2から78.0（kN）で3.9%の減退であった。気温との関係は後述するが、低荷重と同様に载荷の初期段階（30日後位まで）でせん断変形が進むことが大きな要因で、減退が進んだと考えられる。

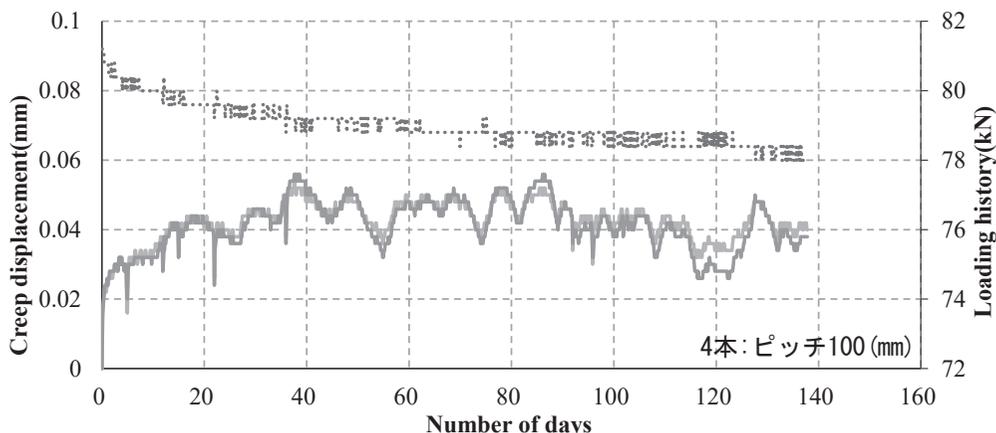


図10 Creep displacement and loading history -Number of days for four anchors specimen (anchor pitch : 10d_a)

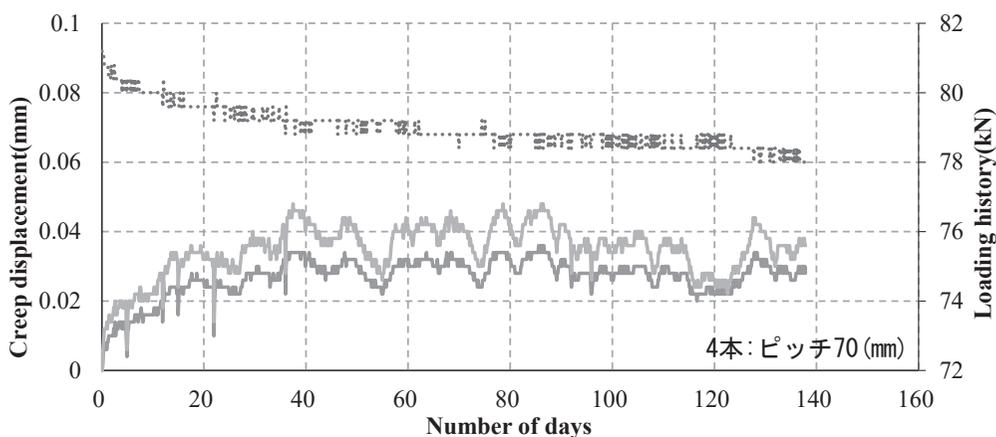


図11 Creep displacement and loading history -Number of days for four anchors specimen (anchor pitch : 7d_a)

3-2. クリープ変形と気温の経過

図12・図13にクリープせん断変形および気温と経過日数における関係を示す。図中の実線は、クリープせん断変形（左縦軸）と経過日数の関係で、点線は、気温と経過日数の関係である。なお、図12は3本のアンカー列試験体でアンカー筋ピッチが（10da）の実験結果を示し、図13は3本のアンカー列試験体でアンカー筋ピッチが（7da）の履歴である。アンカー筋ピッチ10・7da共に120日前後を見ると、気温が19℃程度まで上昇し、せん断変形は短くなっていることが顕著に示されている。しかし、30日後から138日後までを通して見るとアンカー筋ピッチ10・7da共にクリープせん断変形はおおよそ0.06（mm）付近に推移していた。全体についてのまとめは、3-3に後述する。

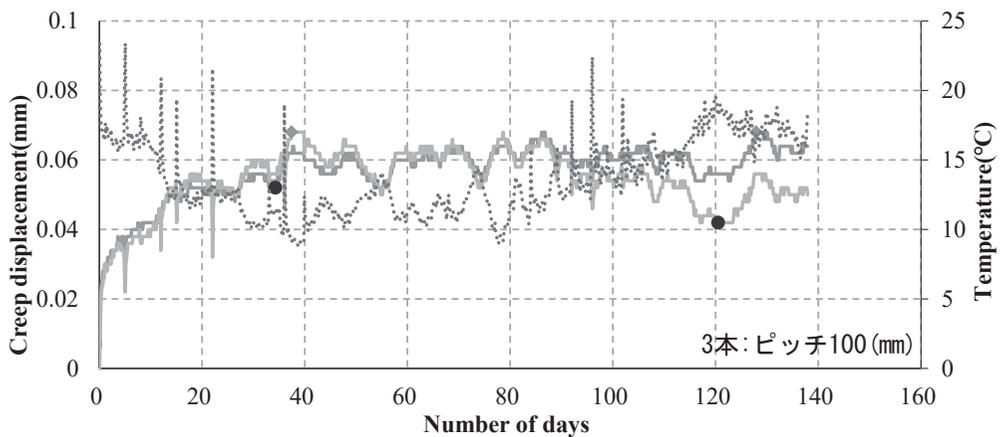


図12 Creep displacement and temperature-Number of days for three anchors specimen (anchor pitch 10d_a)

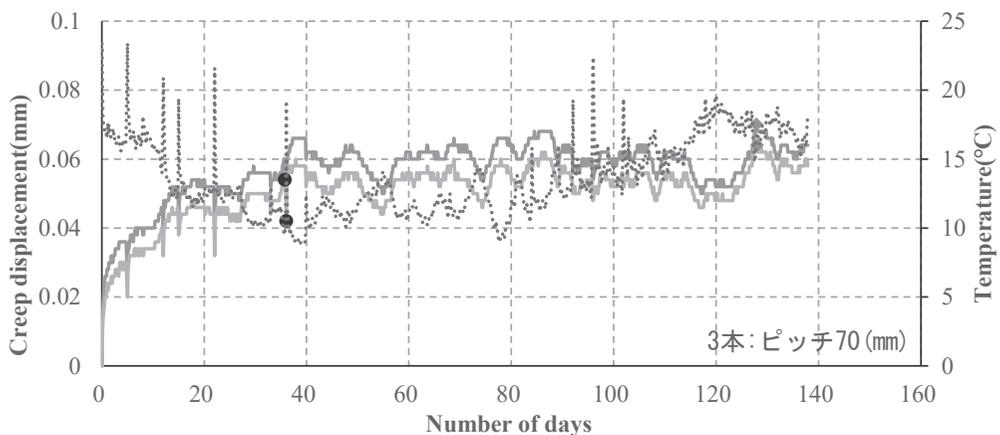


図13 Creep displacement and temperature-Number of days for three anchors specimen (anchor pitch 7d_a)

図14・図15にクリープせん断変形および気温と経過日数における関係を示す。図中の実線は、クリープせん断変形（左縦軸）と経過日数の関係で、点線は、気温と経過日数の関係である。なお、図14は4本のアンカー列試験体でアンカー筋ピッチが（10da）の実験結果を示し、図15は4本のアンカー列試験体でアンカー筋ピッチが（7da）の履歴である。アンカー筋ピッチ10・7da共に3本の場合と少し異なり、90日後から平均気温（計測は3時間おきに行っているので昼夜の気温上下が記録されている）の上昇に伴い、せん断変形が短くなっている。また、30日後から138日後までを通して見るとアンカー筋ピッチ10daではクリープせん断変形はおおよそ0.04～0.05（mm）辺りに推移していた。さらに、アンカー筋ピッチ7daでは2体の平均でクリープせん断変形はおおよそ0.03～0.04（mm）辺りに推移していた。

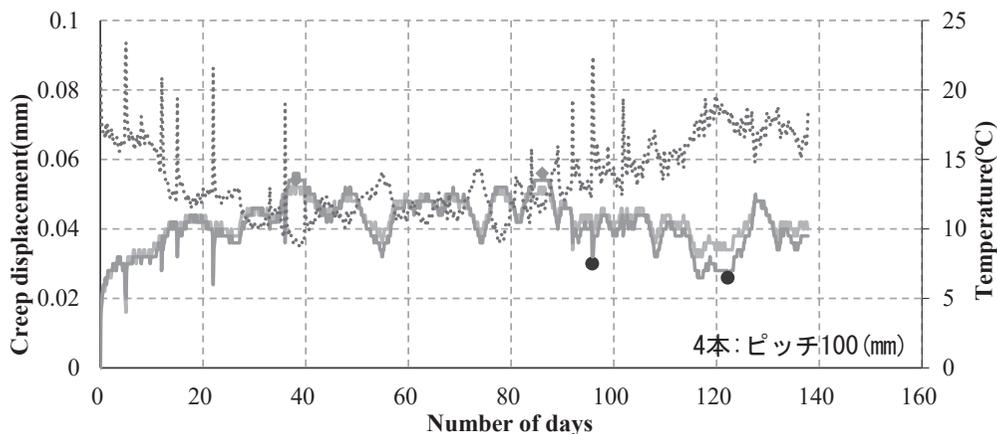


図14 Creep displacement and temperature-Number of days for four anchors specimen (anchor pitch 10da)

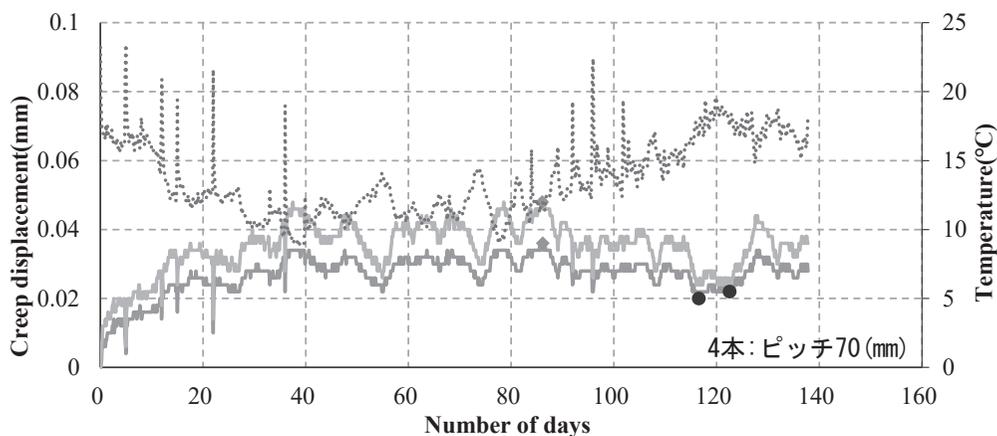


図15 Creep displacement and temperature-Number of days for four anchors specimen (anchor pitch 7da)

3-3. 持続荷重増大クリープ変形のまとめ

約一年間の低荷重長期せん断性能を経て2020年12月3日より荷重を約1.7倍に全体のせん断力を増大したクリープ変形を138日間計測した結果を示した。主には3・4本のアンカー列で規準に近いアンカー筋ピッチの10および7daに着目した。荷重増大と共に、初期段階ではせん断持続荷重は減退していくが、138日後では3・4本のアンカー列試験体の平均で4.3%の減退であった。クリープ変形について、載荷して約一か月(30日間)はせん断変形が増大するので、それ以降において最大・最小せん断クリープ変形を軸に気温・経過日数を見る。

まず3本のアンカー列のアンカー筋ピッチ10daでは、最大せん断クリープ変形について1体目は128日後(気温16.5°C程度)で、もう1体目は38日後(気温10°C程度)であったが値は同じ0.068(mm)であった。また最小せん断クリープ変形について1体目は36日後(気温10°C程度)で値は0.052(mm)、もう1体目は120日後(気温19°C程度)で値は0.042(mm)であった。次に3本のアンカー列のアンカー筋ピッチ7daでは、最大せん断クリープ変形について2体共に128日後で、値は平均で0.067(mm)であった。また最小せん断クリープ変形について2体共に36日後で値は平均で0.045(mm)であった。このことから、発現した経過日数に違いは生じたものの、クリープ変形の最大・最小値だけに着目するとアンカー筋ピッチ10と7daによる顕著な違いは認められなかった。

4本のアンカー列のアンカー筋ピッチ10daでは、最大せん断クリープ変形について1体目は37日後(気温10°C程度)で、もう1体目は86日後(気温11.5°C程度)であったが値は平均で0.055(mm)であった。また最小せん断クリープ変形について1体目は95日後(気温21°C程度)で、もう1体目は122日後(気温18°C程度)で値は平均で0.028(mm)であった。次に4本のアンカー列のアンカー筋ピッチ7daでは、最大せん断クリープ変形について2体共に86日後で、1体目の値は0.036(mm)で、もう1体目の値は0.048(mm)であった。また最小せん断クリープ変形について1体目は116日後(気温18°C程度)で値は0.020(mm)で、もう1体目は122日後(気温18°C程度)で値は0.022(mm)であった。以上より、最大・最小のクリープ変形値で発現した経過日数に違いが生じた試験体があった。クリープ変形の最小値だけに着目するとアンカー筋ピッチ10 daの方が7daより大きいクリープ変形を示したが、この要因は現在も調査中である。なお、最小クリープ変形のアンカー筋ピッチによる顕著な違いは認められなかった。(図12～15に最大せん断クリープ変形時を◆・最小せん断クリープ変形時を●で示した)。(注：2体の試験体のクリープ値に大きな差がないと判断したものは、平均値として示した。)

同じ加力システムで、破断まで(最終破壊はコンクリート破壊)4本のアンカー列で実験を行った最大耐力の42%の持続せん断力を入力し、138日の3本と4本のアンカー列の長期試験体において、個体差は生じたもののアンカー筋ピッチを考慮せず、3本と4本の最大・最小クリープ変形値の平均値を算出した。その結果3本のアンカー列試験体の最大せん断クリープ変形は、0.068(mm)で最小せん断クリープ変形は、0.046(mm)であった。それに対し4本のアンカー列試験体の最大せん断クリープ変形は、0.049(mm)で最小せん断クリープ変形は、0.025(mm)

であった。アンカー筋1本に掛かるせん断変形（荷重でも同様）を換算すると、最大せん断クリープ変形はほぼ同程度であった。しかし、最小せん断クリープ変形は、4本のアンカー列の場合の方が0.01（mm）小さい平均値となった。この要因の追求については今後の課題とした。

4. まとめ

約1年後の2020年11月30日で、 σ_B は12.31（N/mm²）であった。この強度上昇は詳細な検討では必要と考えられるが、本論文では微小と判断し、実験から得られる経過日数・気温・荷重（せん断）およびせん断変位について生データを基準に検討を行った。約1年経過後の性能および荷重を増大した138日後の性能は、それぞれ2-5および3-3にまとめた。

今後の検討課題について、①4本のアンカー列の試験体についてクリープ変形の最小値だけに着目するとアンカー筋ピッチ10daの方が7daより大きいクリープ変形を示したが、この要因を調査すること。②アンカー筋1本に掛かるせん断変形（荷重でも同様）を換算すると、最大せん断クリープ変形はほぼ同程度であった。しかし、最小せん断クリープ変形は、4本のアンカー列の場合の方が0.01（mm）小さい平均値となった。この要因の追求すること。実験の経過観察としては、1年を通して観察する必要性を低荷重の長期せん断実験の際に判明しているため、継続して行いたいと考えている。

参考文献

- 1) 田島祐之：せん断力を受けるあと施工アンカーのコンクリートに与える影響、愛知淑徳大学論集-創造表現学部篇-、第11号、pp.67-80、2021.3
- 2) 日本建築防災協会：2001改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針 同解説、2001
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造校舎の耐震診断方法および補強方法、1975