

# 論文 接着系アンカーのクリープ特性に関する実験的検討

高山 充直\*1・大野 貴信\*2・井口 重信\*3・松田 芳範\*4

**要旨:** 接着系あと施工アンカーの耐久性に関する性能の確認方法が課題となっている。道路関係では金属系アンカーを主として使用することとなったが、鉄道関係では列車振動等による緩みを懸念し、接着系アンカーを用いることが多い。そのため、耐久性に関する基準の整備が求められている。欧米では、一部基準化されているものの、その試験方法の詳細や試験結果については非公表のものが多い。そこで、接着系あと施工アンカーのクリープ特性について、欧米の試験方法を参考に検討を行った。その結果、試験方法の差異により試験結果への影響があるものの、一定の評価が可能であることが分かった。

**キーワード:** 接着系あと施工アンカー, 耐久性, クリープ特性

## 1. はじめに

2012年12月、中央自動車道笹子トンネルにおいて天井板崩落事故が発生した。トンネル天井板落下事故に関する調査・検討委員会の報告では、あと施工アンカーの定着長不足のほか、充填剤の経年による劣化を事故原因の一つとして取り上げている。土木学会からは2014年3月に「コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針(案) 1)」が発刊されたが、「本編」では耐久性等の性能を確認した上で使用してよいこととされている。しかしながら、その確認方法については明記されていない。同「標準編」では適用範囲が制限されており、実務上は比較的簡易なアンカーにのみ適用が限られてしまう。特に、長期持続荷重を受ける箇所については適用範囲外となっている。道路関係においては、事故以降、長期に引張り荷重がかかるような箇所については、原則、金属系アンカーを用いることとなっている。鉄道関係では、従前から、列車走行に伴う振動の影響を受けやすいことから、金属系アンカーではなく接着系アンカーを優先して使うことが多いのが現状である。欧州ではETAG<sup>2)</sup>、米ではACI<sup>3)</sup>などで、接着系あと施工アンカーのクリープ特性についての基準が存在するが、その試験方法や各材料の試験結果などについては非公表のものが多い。

そこで、これら欧米の基準を参考に、接着系あと施工アンカーのクリープ特性に関して検討を行ったので、以下にその概要を記す。

## 2. 試験方法

### 2.1 試験パラメータ

ETAGによれば、クリープ特性の評価は、アンカー筋を打設した試験体に一定荷重を一定期間以上荷重し続け、

その間の抜き出し量や載荷後に実施する静的引抜き試験における最大荷重などにより評価することとしている。本検討では、充填剤の種類のほか、クリープ荷重、載荷日数、温湿度条件、支圧板の拘束径(25mm:拘束, 150mm:非拘束)をパラメータとして試験を行った。試験パラメータを表-1に示す。また、表中に各試験体の充填剤種別および、同一条件で試験を実施した試験体数も併せて示した。ここで、同一条件の試験体については各々を区別するため、SU-1シリーズであればSU-1-1A・SU-1-2Aのように充填剤の種別および枝番を付与して区別することとした。

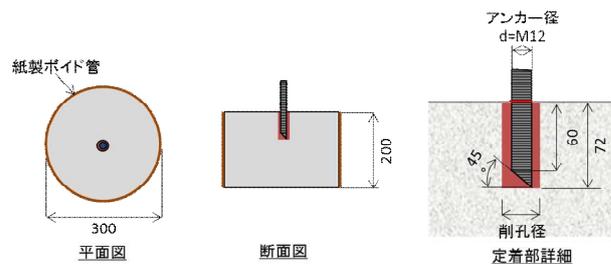


図-1 試験体の形状

### 2.2 試験体

試験体の形状を図-1に示す。試験体は、紙製ボイド管に打設したコンクリートの中央にハンマードリルを用いて下向きに穿孔した後、下向きにアンカー筋を打設したものである。アンカー筋の材質はSNB7(降伏強度の規格値725N/mm<sup>2</sup>)を使用し、アンカー径はM12を用いた。なお、コンクリート強度は、後述する基準試験時(材齢1.5ヶ月)で28.9N/mm<sup>2</sup>、クリープ載荷試験後の引抜き試験時(材齢約4.5ヶ月)で34.0N/mm<sup>2</sup>であった。

\*1 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター (正会員)  
 \*2 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター (非会員)  
 \*3 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター (正会員)  
 \*4 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター 工博 (正会員)

表-1 試験パラメータ (クリープ試験)

試験体	拘束径 (mm)	クリープ荷重/ 基準荷重	载荷日数 (day)	温湿度	充填剤種別および各試験体数 (体)				
					有機				無機
					A	B	C	D	E
SU-1	25	0.55	90	室内	2	1	2	1	1
SU-2	150	0.55	90	室内	2	1	1	1	1
			365		—	—	1	—	—
SU-3	150	0.55	90	20°C60%	1	—	—	—	—
		0.45			—	—	1	—	—
SU-4	150	0.55	45	室内	1	—	1	—	—
SU-5	150	0.55	180	室内	1	—	1	—	—
SU-6	150	0.55	365	室内	1	—	—	—	—
		0.45	90		—	—	1	—	—
SU-7	150	0.45	90	室内	1	—	—	—	—
		0.55			—	—	1	—	—
SU-8	150	0.70	90	室内	1	—	1	—	—
SU-9	150	0.90	90	室内	1	—	1	—	—

2.3 試験方法

クリープ载荷試験時に载荷する荷重の基準となる荷重 (以下, 基準荷重) を定めるために, 図-2 に示す試験装置を用いて静的引抜き試験を各3体以上実施し, その最大荷重の平均値を基準荷重とした。試験は, 支圧版の拘束条件および充填剤の種別をパラメータとして実施した。静的载荷試験より得られた基準荷重の集計を表-2 に示す。

表-2 静的引抜き試験結果 (基準荷重)

拘束径 (mm)	充填剤の種別毎の基準荷重 (kN)				
	有機				無機
	A	B	C	D	E
25 (拘束)	68.1	65.2	80.3	61.9	23.7
150 (非拘束)	49.1	46.7	57.9	43.0	17.1

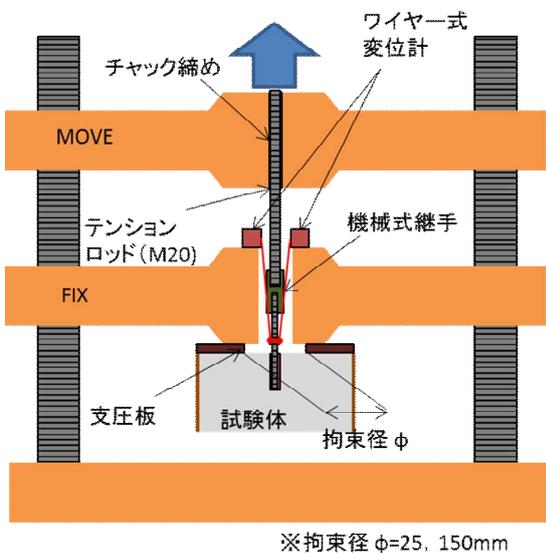


図-2 静的引抜き試験装置

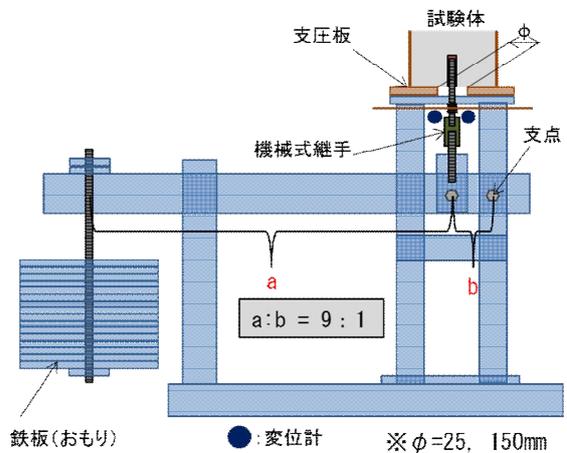


図-3 クリープ载荷試験装置

クリープ载荷試験装置の概要を図-3 に示す。この装置は, 载荷梁の支点からのスパンの比により, 試験体アンカーにはおもりの 10 倍の引抜き力が载荷出来る構造となっている。クリープ载荷荷重  $P_{sust}$  は, 基準荷重の 55% を基本とし, 45%, 70%, 90% などの荷重を所定日数载荷

した。載荷日数は90日を基本に45日、180日、365日に設定した。載荷中は、アンカー筋の根元付近に固定した帯鋼板の変位を2個の変位計（ダイヤルゲージ）で計測し、その平均を取ることでアンカー筋の拔出し量とした。所定日数クリープ荷重載荷終了後、静的引抜き試験を行い、残存耐力を求めた。

### 3. 試験結果

#### 3.1 クリープ荷重載荷中の拔出し量の推移

表-1 に示す各種試験パラメータのうち、クリープ荷重載荷中のクリープ拔出し量に影響を与えるパラメータを確認した。ここで、クリープ拔出し量とは、クリープ載荷荷重を載荷した直後からの拔出し量を表したものである。以下にその結果を示す。

##### (1) 充填剤の種類および拘束条件による影響

支圧板の拘束条件が異なる2種の試験体SU-1（拘束径25mm；拘束）・SU-2（拘束径150mm；非拘束）について、異なる樹脂系充填剤A・Cを使用した試験体のクリープ荷重載荷中におけるクリープ拔出し量の推移を図-4 および図-5 に示す。なお、図には載荷年数の累乗で近似した曲線を合わせて示す。

クリープ拔出し量は、充填剤AおよびCによって異なる推移を示したが、どの試験体も載荷年数の累乗近似曲線と高い相関が見られた。しかし、SU-1-1とSU-1-2、SU-2-1とSU-2-2等の同一試験条件であっても、それぞれの試験体でクリープ拔出し量に大きな差があり、試験値のばらつきが大きい結果となった。特に、非拘束であるSU-2シリーズの方がその傾向が顕著に表れた。

##### (2) 試験時の温湿度による影響

試験時の温湿度の影響を確認するため、20℃60%の恒温恒湿室内でクリープ載荷を行ったSU-3-Aと、温湿度変化の影響を受ける室内環境下でクリープ載荷を行った、SU-2-1-AおよびSU-2-2-Aのクリープ拔出し量の推移を図-6にて比較した。SU-3-Aは、温湿度の変動影響を受けず累乗近似の曲線との相関が非常に良い結果となった。一方、SU-2-1-Aはデータの変動があり、累乗近似との相関がSU-3-Aに劣る。このことから、クリープ載荷試験は温湿度の影響を少なからず受けるようである。しかし、90日間の傾向から拔出し量の近似式を導出するのであれば、温湿度を制御しない室温環境下で行っても、実用上は問題ないと思われる。

##### (3) クリープ載荷荷重による影響

支圧板による拘束条件と荷重載荷日数および温湿度環境、充填剤種別を一定とし、クリープ載荷荷重 $P_{sust}$ を変化させた試験体SU-2-A(55%)・SU-7-A(45%)・SU-8-A(70%)・SU-9-A(90%)について、クリープ拔出し量の推移の違いを確認した。図-7にその結果を示す。

ここで、SU-2-Aは、図-5で示した2試験体（SU-2-1-Aおよび2-2-A）の平均値を採用している。クリープ荷重載荷初期では、SU-9-A<SU-2-A<SU-7-Aの順で、載荷荷重が小さいほどクリープ拔出し量が大きくなる傾向を示していたが、載荷期間が増加するに伴い、クリープ載荷荷重90%のクリープ拔出し量が最も増加する傾向を示した。測定データは載荷年数の累乗近似曲線と相関のある結果となった。なお、SU-8の試験データについては、測定に不備があったため、不採用とした。

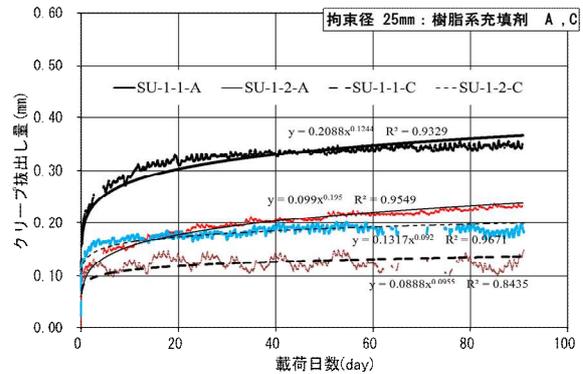


図-4 クリープ載荷中の拔出し量の推移（その1）

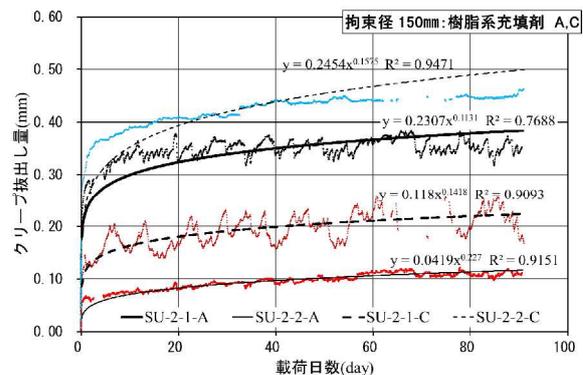


図-5 クリープ載荷中の拔出し量の推移（その2）

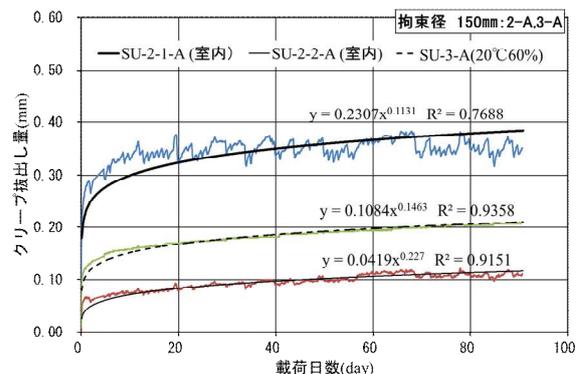


図-6 クリープ載荷中の拔出し量の推移（その3）

### 3.2 クリープ荷重試験後の残存耐力

次に、クリープ荷重試験後の残存耐力に着目し、残存耐力に影響を与えるパラメータについて検証を行った。なお、図中の試験体 SU-1-A, SU-1-C および SU-2-A については、2 試験体の平均値を採用している。

#### (1) 充填剤の種類および拘束条件による影響

クリープ荷重試験（荷重期間 90 日）後の静的引抜き試験における最大荷重  $P_{90day}$  と基準荷重  $P_{max}$  の比（以下、残存強度比）を図-8 に示す。残存強度比が 1.0 以上であれば、長期間クリープ荷重を載荷させても、接着系あと施工アンカーの付着力が低下していないことを示している。図では、充填剤の種類と拘束条件をパラメータとして変化させた。また、基準試験を行った時期とクリープ荷重試験後の静的引抜き試験を行った時期で、コンクリート強度や充填剤の材齢が異なる影響も含んだ結果となっている。

試験の結果、いずれの試験体においても残存強度比は 1.0 以上であり、クリープ荷重により付着力が低下するようなものは見られなかった。また、拘束条件の違いによる優位な差は見られない。充填剤の種類に着目すると、樹脂系 A~D では残存強度比に差が見られないが、無機系 E は他と比べ、やや高い残存強度比を示す結果となった。

#### (2) クリープ荷重荷重および荷重期間の影響

クリープ荷重の荷重期間を 90 日一定とし、クリープ荷重荷重  $P_{sust}$  を変化させた試験体を図-9 に比較した。なお、充填剤は A および C を使用した。図より、荷重期間 90 日では、クリープ荷重荷重  $P_{sust}$  の有意差は見られない結果となった。

次に、クリープ荷重荷重を 55% 一定とし、荷重日数を変化させ比較検討を行った結果を図-10 に示す。同じ荷重日数であってもデータのバラつきがあるほか、荷重日数による有意差は見られない結果となった。

## 4. 考察

### 4.1 クリープ荷重載荷中の抜き出し量の差

3.1 において、クリープ荷重載荷中のクリープ抜き出し量を測定した。その結果、同一条件の試験体においてもクリープ抜き出し量に差があることがわかった。この理由として、今回の試験では、所定の荷重を載荷させた時点を実験の原点として、クリープ抜き出し量を測定しているが、各試験体によって、クリープ変形を開始する時点に違いがあることが推測される。また、各試験体の製作時の品質差が影響していることも考えられる。

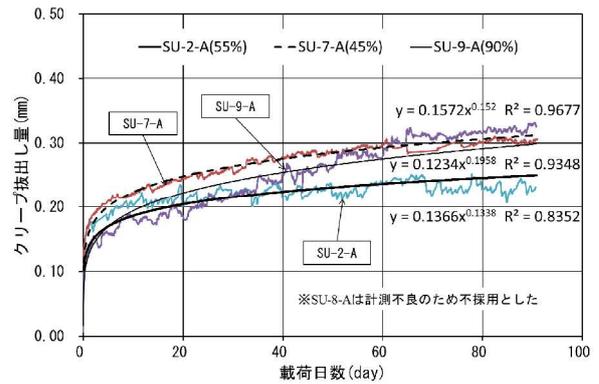


図-7 クリープ荷重中の抜き出し量の推移（その4）

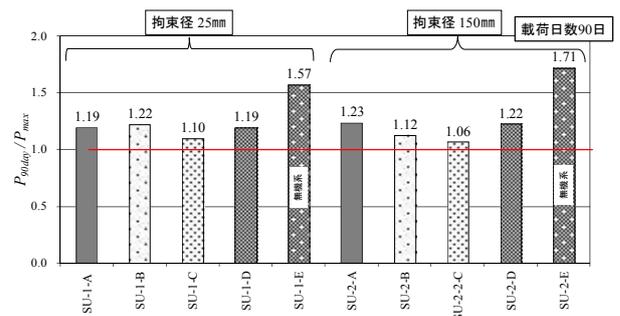


図-8 拘束条件と充填剤種別による残存強度比

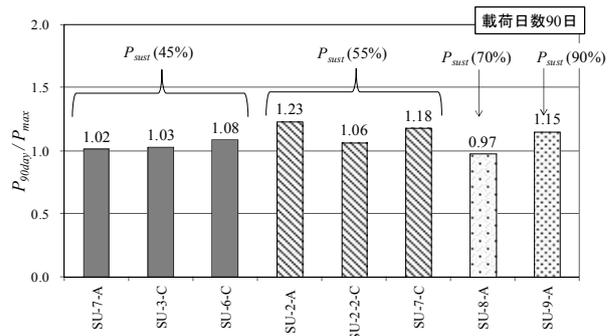


図-9 クリープ荷重荷重による残存強度比の影響

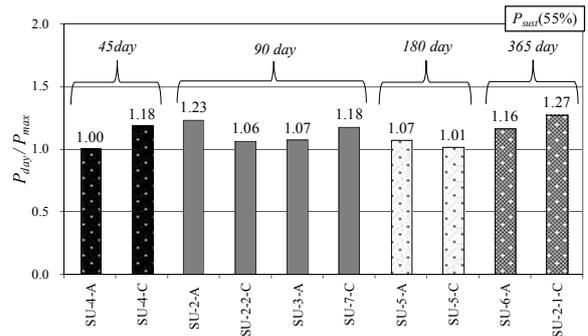


図-10 荷重載荷期間による残存強度比の影響

## 4.2 試験時の温湿度による影響

3.1(2)において、クリープ拔出し量の温湿度による影響について確認を行った。図-6では、20℃60%の恒温恒湿室内でクリープ載荷試験を行なうことで、温湿度変化の影響を受ける室内環境下と比べて、安定した試験値が得られることが解った。一方で、温度と湿度のどちらが試験値に影響を与える要因となるのかは明らかとなっていない。実際の試験では試験時の環境条件が測定値に影響を与えることも十分に考えられるため、温度と湿度の影響についても確認することとした。

図-4より、データのばらつきの多い試験体 SU-1-1-C について、クリープ拔出し量と試験時の外気温度および湿度の影響について確認を行った。図-11に拔出し量と温度を、図-12に拔出し量と湿度の関係を示す。図-11より、クリープ拔出し量は外気温度にはあまり影響を受けないことがわかる。一方、図-12によると、クリープ拔出し量の増減は、湿度の変化に影響を受ける傾向が見られる。したがって、測定値のバラつきを抑えるためには、室内湿度変化を少なくした環境で試験を行う必要があるが、図-6のように拔出し量の傾向から近似式を求める場合であれば、湿度の影響を含んでも累乗近似曲線との相関係数は低下していないため、実用上ではあまり問題とはならない程度の影響であると考えられる。

## 4.3 拘束径による影響

3.2(1)では、クリープ載荷試験後の残存耐力が、充填剤の種類や支圧版の拘束条件による有意差が見られないことが確認された。この場合、クリープ荷重の載荷期間が90日の試験体に対して残存強度比を算出しているため、長期的な載荷条件でも同様の結果となるのか確認が必要であると考えた。そのため、90日間のクリープ載荷試験から得られたクリープ拔出し量の近似曲線から、基準荷重時の拔出し量に達するまでのクリープ載荷年数を予測し、拘束条件の影響を確認した。その結果を図-13に示す。試験体 SU-1-A、SU-1-C および SU-2-A にはそれぞれ2試験体が存在するが、本検討では安全側の評価を行うため、予測値の小さな値を採用している。この結果、拘束径 25 mm の SU-1 シリーズに比べ、拘束径 150 mm の SU-2 シリーズの方が早期に基準荷重まで達する傾向が認められた。この要因として、拘束径の広い SU-2 シリーズの試験体では、アンカー筋周辺のコンクリートのクリープ変形の影響を受けていることが推測される。ETAG 等では、拘束径が小さい状態での試験値を採用して評価することとしているが、実構造物では、拘束径が小さい応力状態であと施工アンカーが使用されることは少ないものとする。以上のことから、クリープ載荷試験を行う場合には、安全側の評価を行うために拘束径の大きい状態での試験を行うのが良いと考えられる。

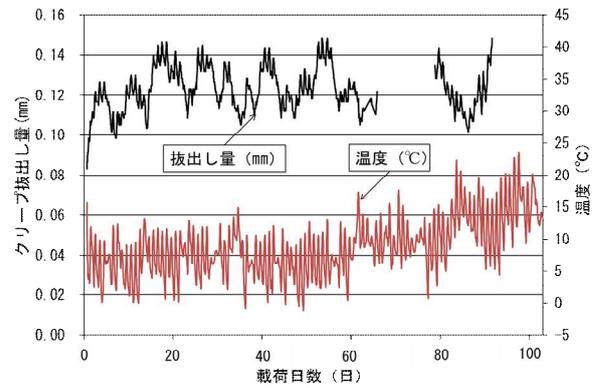


図-11 クリープ拔出し量と温度の関係

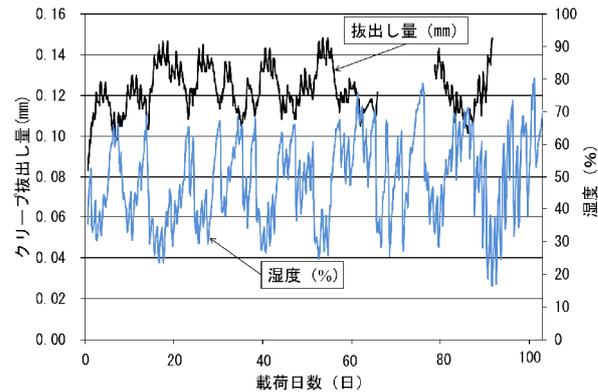


図-12 クリープ拔出し量と湿度の関係

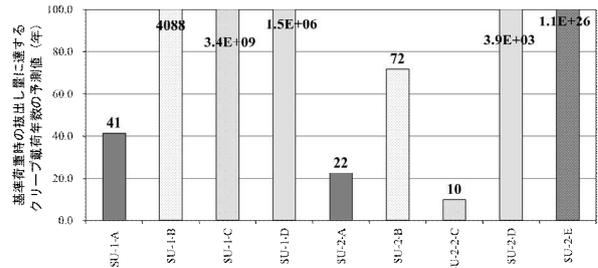


図-13 基準荷重時の拔出し量に達する  
クリープ載荷年数の予測値

## 4.4 クリープ載荷荷重の大きさによる影響

90日間のクリープ載荷試験から得られたクリープ拔出し量の近似曲線から、基準荷重時の拔出し量に達するまでのクリープ載荷年数を予測し、各種クリープ載荷荷重との関係を確認することとした。図-14に結果を示す。白抜きのプロットは90日間の載荷期間中に拔出したもの、それ以外のプロットは90日間の載荷試験結果からの予測値である。

充填剤ごとに差異はあるが、クリープ載荷荷重は載荷年数の対数近似と相関が良いことが分かる。ETAG 等で規定されている基準荷重の55%というクリープ載荷荷重は、載荷年数が10年から1000年時に基準荷重に達する載荷年数となっている。これは、あと施工アンカーに要

求する設計耐用オーダーとほぼ合致することから、基準荷重の55%を用いて性能を確認するのが良いと考えられる。

#### 4.5 クリープ載荷荷重と残存強度比の関係

試験から得られたクリープ載荷荷重  $P_{sust}(\%)$  と残存強度比の関係から、残存強度比 1.0 が確保できるクリープ載荷荷重  $P_{sust}(\%)$  の範囲を検証した。図-15 に両者の関係の図を示す。図中の破線は、測定の下限值を示している。図から、荷重載荷期間 90 日の場合に残存強度比 1.0 を確保できるクリープ載荷荷重は 50%程度であることが分かる。この結果は、図-14 で検証した長期間載荷の結果と概ね一致するものとなった。

#### 5. まとめ

本試験により得られた知見を以下に示す。

- 1) クリープ載荷荷重を基準荷重の 55%とし、90 日間載荷させた場合のクリープ抽出量は、充填剤の種類、拘束条件に関わらず、載荷年数の累乗近似曲線と高い相関が認められた。
- 2) SU-1-1 と SU-1-2, SU-2-1 と SU-2-2 等の同一試験条件でもクリープ抽出量には大きな差や測定値のばらつきが生じていた。この傾向は、非拘束条件で顕著であった。
- 3) 試験中の温湿度の影響は、特に、試験時の湿度の変化が温度変化に比べ、測定値に与える影響が大きい。しかし、クリープ抽出量の累乗近似曲線から近似式を算出する場合であれば、湿度の影響を受けた測定値であっても曲線との相関が良いことから、実用ではあまり問題とならないものと考えられる。
- 4) 非拘束状態でクリープ載荷荷重を変化させた場合、載荷日数の経過とともに載荷荷重が大きなものほどクリープ抽出量が増加する傾向がある。
- 5) クリープ載荷試験後の残存強度比は、拘束条件や材料に関わらず、概ね 1.0 以上が確保されている。また、長期間クリープ荷重を載荷させても、接着系あと施工アンカーの付着力が低下していないことが確認された。
- 6) 拘束条件による影響は、90 日から 365 日程度の短期間では強度への影響がほとんど見られず、基準荷重時の抽出量に達するまでのクリープ載荷年数を検証すると、非拘束条件の多くの試験体で早期に基準荷重まで達する傾向があることが分かった。
- 7) ETAG 等では拘束径が小さい条件での試験値を採用しているが、上記の理由から長期載荷試験では、拘束径の大きな（非拘束）状態で試験を行うのが安全側の検討となる。
- 8) クリープ載荷荷重は載荷年数の対数近似と相関が

良い。ETAG 等で規定されている基準荷重の 55% というクリープ載荷荷重は、載荷年数が 10 年から 1000 年時に基準荷重に達する載荷年数となることが分かった。これは、あと施工アンカーに要求する設計耐用オーダーとほぼ合致することから、長期載荷試験では、基準荷重の 55%を用いて性能を確認するのが合理的である。

- 9) 本検討では、ETAG 等欧米の基準を参考に、接着系あと施工アンカーのクリープ特性に関して各種検討を行った。その結果、拘束条件の違いなど試験条件による試験値への影響があることが明らかとなったが、一定の評価が可能である。

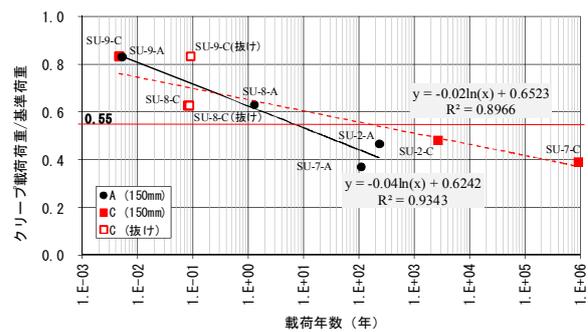


図-14 クリープ載荷荷重と載荷年数の関係

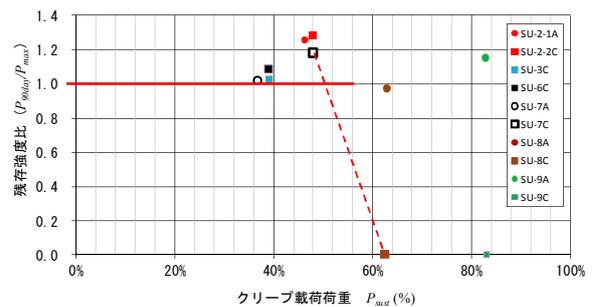


図-15 クリープ載荷荷重と残存強度比の関係

#### 6. おわりに

本検討結果は日本建築あと施工アンカー協会（JCAA）ならびに参加メーカーのご協力のもとに得られたものである。ここに記して御礼申し上げる。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針（案），2014
- 2) EOTA：ETAG001 Part five: BONDED ANCHORS, Apr.2013
- 3) American Concrete Institute: 355.4-11 Qualification of Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete and Commentary, 2011