

論文 超速硬セメント系注入式あと施工アンカーのクリープ特性

安藤 重裕*1・山田 宏*2・中野 克彦*3・渡辺 一弘*4

要旨: 超速硬セメント系注入式あと施工アンカーについて、異形鉄筋 D13 を用い持続引張荷重下における載荷荷重および母材コンクリート強度がアンカー筋の拔出量に及ぼす影響を検討した。コンクリート強度 24N/mm^2 において、載荷荷重 75kN (載荷荷重/最大耐力比 0.80) では載荷期間 168 日でクリープ破壊を生じ、載荷荷重 30kN (載荷荷重/最大耐力比 0.32) では、載荷期間 50 年でクリープ破壊は生じないものと推測された。また、母材コンクリート強度が高い場合、アンカー材が同一であってもアンカー筋の拔出量は小さくなった。

キーワード: あと施工アンカー、超速硬セメント、接着系アンカー、クリープ、耐久性

1. はじめに

接着系あと施工アンカーの耐久性に関し、持続引張荷重下における付着性能の低下が懸念されている。しかし、あと施工アンカーの引張クリープ試験に関する報告例は少なく¹⁾²⁾、あと施工アンカーのクリープによるアンカー筋の拔出量やクリープ破壊に関する研究は十分とはいえない。

そこで本研究では、超速硬セメント系注入式あと施工アンカーについて、持続引張荷重下におけるクリープ特性を把握するため、載荷荷重および母材コンクリート強度がアンカー筋の拔出量に与える影響について検討を行い、載荷時間とクリープ破壊の関係の把握を目的とした。

$\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱供試体を用い、付着試験実施と同時に測定を行った。

付着試験およびクリープ試験に用いた試験体は、コンクリート割裂防止のため鋼管(外径 216mm , 厚さ 4.5mm) で拘束した。アンカー筋は、D13 の高強度鉄筋を使用し、アンカー筋の埋込み長さは、付着試験時に鉄筋降伏が発生しないと推定される $7d_a$ (d_a : アンカー筋の呼び径) とした。また、テンションロッドを接続するために全ねじ M14 SNB7 (降伏点強度 725N/mm^2) をフラッシュバット溶接でアンカー筋と接合した。

実験要因は、超速硬セメント系注入式アンカー (PO) と先付け異形鉄筋 (CA) の 2 種類とし、PO の試験体穿孔

2. 実験概要

2.1 試験材料

試験に用いた接着系アンカーは、カートリッジ内に超速硬セメント、砂等が配合された粉体に水を注入、攪拌して用いるタイプであり、水結合材比 0.38 で混合して使用した。

2.2 付着強度試験

付着試験に用いた試験材料の物性値を表-1に、付着試験およびクリープ試験に用いた試験体形状を図-1に示す。コンクリートの圧縮試験、静弾性係数の測定は、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱供試体を、アンカー材については

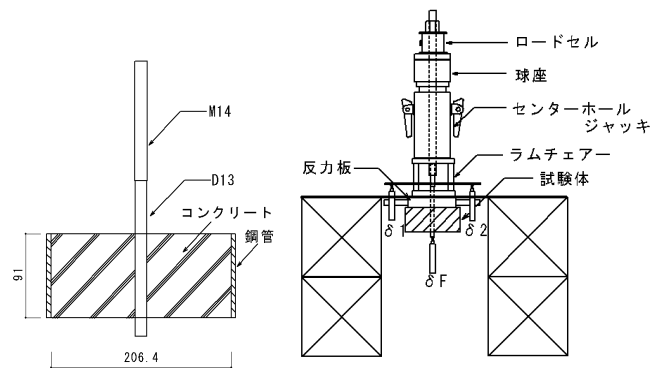


図-1 試験体

図-2 付着試験測定装置

表-1 付着試験およびクリープ試験に用いた試験材料の物性

コンクリート		アンカー材		アンカー筋			
圧縮強度 (N/mm^2)	静弾性係数 (kN/mm^2)	圧縮強度 (N/mm^2)	静弾性係数 (kN/mm^2)	径	種類	引張強度 (N/mm^2)	静弾性係数 (kN/mm^2)
24.3	28.4	62.4	25.0	D13	MK785	791	190
46.2	34.9						

*1 住友大阪セメント (株) セメント・コンクリート研究所 (正会員)

*2 住友大阪セメント (株) 建材事業部技術グループ (正会員)

*3 千葉工業大学 工学部建築都市環境学科教授 博士 (工学) (正会員)

*4 (独) 都市再生機構 技術調査室 (正会員)

は、 $\phi 18\text{mm}$ で湿式コアドリルにて行った。アンカー施工は、コンクリートの打設後 28 日で行い、試験体は室内で養生を行い、コンクリート強度増進が小さくなった 2 カ月以上経過後に付着試験を行い、その後 $20^\circ\text{C}, 60\% \text{R.H.}$ の恒温室内で 24 時間以上静置した後にクリープ試験を開始した。

図-2 に加力・測定装置図を示す。加力は付着破壊を起こさせるために反力板（厚さ 38mm, 孔径 30mm）を試験体の上に設置し、反力板の上にラムチェアーおよび球座を設置し、センターホールジャッキにより試験体に引張力を導入した。測定は荷重、自由端（図-2 の δ_F ）および荷重端側（図-2 の δ_1, δ_2 ）のアンカー筋の拔出量とした。

2. 3 クリープ試験

図-3 にクリープ試験測定装置図を示す。試験体は、装置上部に設置し、加力はコイルばねにより行った。加力の導入は、装置下部に設置した油圧ジャッキによりコ

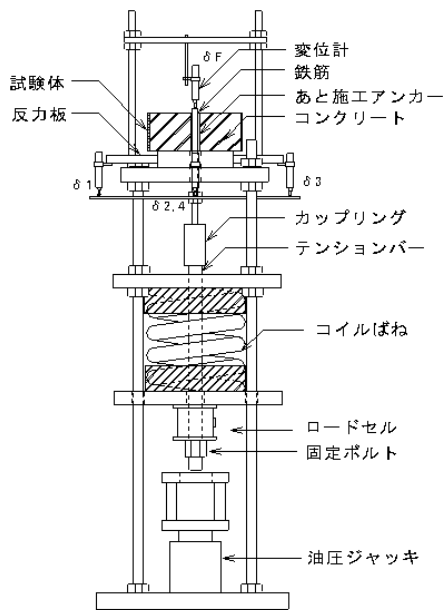


図-3 クリープ試験装置

イルばねに圧縮力を与え、目標の荷重に到達後、下部のボルトを固定し、ジャッキを除荷することにより試験体に引張力を与えた。試験は $20^\circ\text{C}, 60\% \text{R.H.}$ の恒温室内で行い、最大耐力の 1/3 までの荷重と変位の関係を測定した後に、目標荷重へ載荷した。なお、載荷開始した後は、荷重調整は実施しなかった。

表-2 にクリープ試験条件を示す。載荷荷重による影響を確認するため、載荷荷重が最大荷重の 0.3~0.8 になるように載荷した。試験は各 1 本で行い、荷重、自由端（図-3 の δ_F ）および荷重端側（図-3 の $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$, の 4 点）のアンカー筋の拔出量を測定した。荷重比（載荷荷重/最大耐力比）0.65 以下の試験体については、載荷後 3 カ月で除荷し、0.65 より大きい荷重比については、クリープ破壊するまで、載荷した。

また、母材コンクリート強度による影響を確認するため、CA については 30kN, PO については 75kN 載荷し、載荷後 3 カ月で除荷を行った。

2. 4 クリープ試験後付着試験

荷重比 0.65 以下の試験体については、クリープ試験載荷終了後に、クリープ試験前付着強度試験と同様に付着強度およびアンカー筋の拔出量を測定した。

3. 試験結果

3. 1 付着強度試験結果

表-3 に付着試験結果を示す。付着強度 (τ_{bl}) は、最大荷重をアンカー筋の公称直径 (d_{a1}) と埋込長さ (l_b) で除した値とした。

PO の圧縮強度は 62N/mm^2 とコンクリート強度に比べて高く、PO の最大耐力は、CA の 2 倍程度と大きくなった。CA の最大耐力時の自由端変位は $0.7\sim 1.0\text{mm}$, PO の最大耐力時の自由端変位は、 $0.3\sim 0.5\text{mm}$ であり、コンクリート強度 $\sigma_B=24.3\text{N/mm}^2$ における PO の付着強度は、 25.7N/mm^2 であった。 $\sigma_B=46\text{N/mm}^2$ における付着強度は 32.6N/mm^2 であり、鉄筋降伏した後に付着破壊が生じた。

表-2 クリープ試験条件

試験体名	定着方法	コンクリート圧縮強度 (N/mm^2)	載荷荷重 (kN)	荷重比	鉄筋	定着長さ
CA-24-0.33	先付け	24	15	0.33	D13	7da (91mm)
CA-24-0.63		24	30	0.63		
CA-24-0.69		24	33	0.69		
CA-46-0.61		46	30	0.61		
PO-24-0.32	あと施工	24	30	0.32		
PO-24-0.63		24	60	0.63		
PO-24-0.80		24	75	0.80		
PO-46-0.64		46	75	0.64		

3. 2 クリープ試験結果

図-4にクリープ試験における載荷時間と変位の結果を示し、表-4に載荷時間91日における自由端変位および荷重比を示す。荷重比の載荷荷重値はクリープ試験開始と終了時の荷重の平均値とし、最大耐力についても付着試験の最大耐力の平均値とした。また、載荷端の変位はコンクリート表面から変位計測定位置までの鉄筋長さ

分の弾性変形を差し引いたものを示した。

コンクリート強度 $\sigma_B=24\text{N/mm}^2$ において、CA、POともに載荷荷重が大きいほど載荷初期の変位は大きく、載荷時間に伴い、変位の増加量も大きくなる傾向が認められた。

また、CA-24-0.69では載荷時間172日で、PO-24-0.80では168日でクリープ破壊を生じた。クリープ破壊時の自

表-3 付着試験結果

試験体名	コンクリート 圧縮強度 (N/mm^2)	径		埋込 長さ (mm)	最大耐力 (kN)	付着強度*2 (N/mm^2)	拔出量*3 (mm)				
		アンカー 筋*1 (mm)	穿孔 (mm)				Pmax Average	τ_{b1} Average	δF Average	δL Average	
		da1	da2	lb							
		da1	da2	lb							
CA-24 / 先付けアンカー	24.3	12.7	-	91	43.5	46.2	12.0	12.7	0.83	0.81	1.12
		12.7	-	91	46.5						1.18
		12.7	-	91	48.5						1.11
CA-46 / 先付けアンカー	46.2	12.7	-	91	47.5	50.3	13.1	13.8	0.92	0.90	1.16
		12.7	-	91	52.8						1.25
		12.7	-	91	50.6						1.07
PO-24 / あと施工アンカ ー	24.3	12.7	18.4	91	102.2	93.5	28.2	25.7	0.48	0.35	1.47
		12.7	18.5	91	89.0						0.87
		12.7	18.6	91	89.2						1.08
PO-46 / あと施工アンカ ー	46.2	12.7	18.7	91	126.1	118.3	34.7	32.6	0.45	0.41	7.40
		12.7	18.5	91	115.4						3.57
		12.7	18.4	91	113.5						3.34

*1: アンカー筋公称径

*2: $\tau_{b1} = \pi \times \text{アンカー筋径} \times \text{埋込長さ}$

*3: δL は最大耐力時の載荷端拔出量, δF は最大耐力時の自由端拔出量

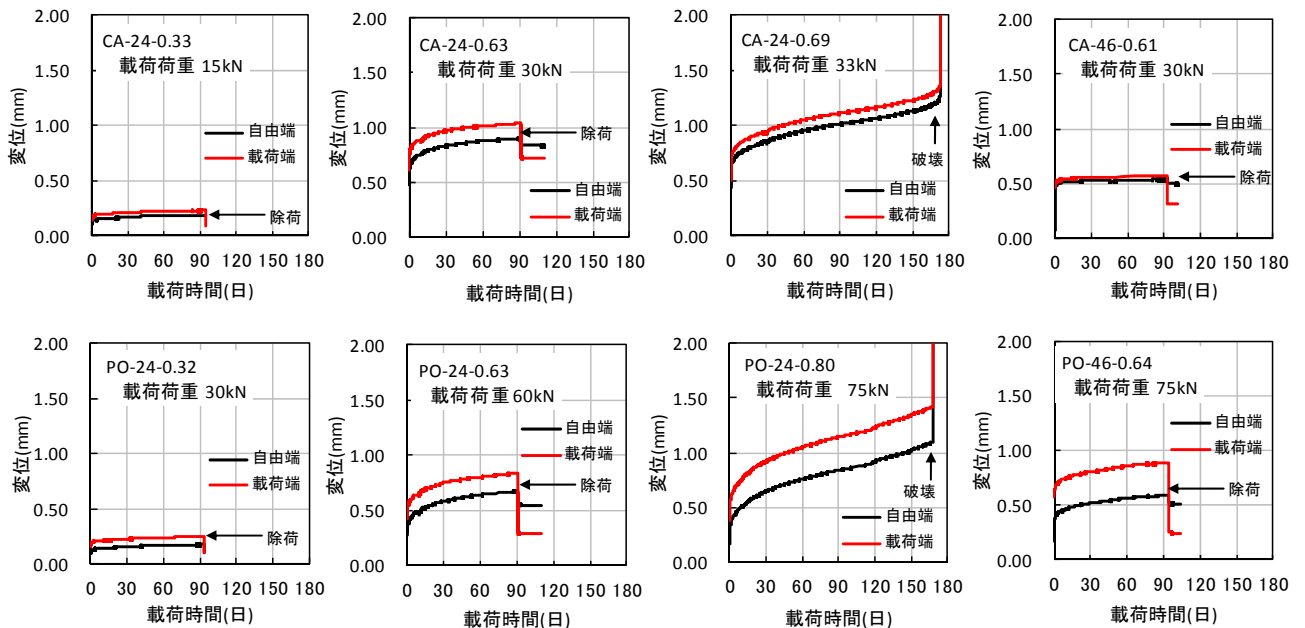


図-4 載荷時間と変位

表-4 載荷後の自由端変位量, 荷重比

試験体		載荷時間 (日)			荷重比
		0 ^{*1}	91	差	
CA-24-0.33	荷重(kN)	15.4	15.4	—	0.33
	変位(mm) ^{*2}	0.063	0.190	0.13	
CA-24-0.63	荷重(kN)	29.5	28.7	—	0.63
	変位(mm) ^{*2}	0.124	0.940	0.82	
CA-24-0.69	荷重(kN)	32.7	31.4	—	0.69
	変位(mm) ^{*2}	0.139	1.016	0.88	
CA-46-0.67	荷重(kN)	31.1	30.5	—	0.61
	変位(mm) ^{*2}	0.101	0.538	0.44	
PO-24-0.32	荷重(kN)	30.2	29.9	—	0.32
	変位(mm) ^{*2}	0.066	0.178	0.11	
PO-24-0.63	荷重(kN)	59.7	58.2	—	0.63
	変位(mm) ^{*2}	0.130	0.676	0.55	
PO-24-0.80	荷重(kN)	75.3	73.5	—	0.80
	変位(mm) ^{*2}	0.163	0.842	0.68	
PO-46-0.64	荷重(kN)	75.9	74.7	—	0.64
	変位(mm) ^{*2}	0.079	0.590	0.51	

*1: 載荷時間 0 日における変位は, 荷重変位曲線より算出

*2: 自由端変位

由端変位は CA では 1.2mm, PO で 1.1mm であり, CA においては, 付着試験時の最大荷重の変位の 1.5 倍, PO においては 3 倍程度大きな値で破壊が生じた。

載荷端変位は載荷荷重が大きくなるほど自由端変位との差が大きくなり, 75kN 載荷時には自由端と載荷端の変位の差は, 0.2mm 以上となった。

コンクリート強度 $\sigma_B=46\text{N/mm}^2$ では, $\sigma_B=24\text{N/mm}^2$ より同一載荷荷重における変位の変化量が CA, PO とともに小さくなっていった。

長期的なクリープ変形量を推定するため, EOTA ETAG 001 Part5³⁾に従い, (1) 式の定数 a, b を求めた。

$$S(t) = S_0 + a \cdot t^b \quad (1)$$

S_0 : 初期変形量

t : 時間

a, b : 定数

図-5, 6 にクリープ変形量推移を示す。CA-24 において, 荷重比 0.63 と 0.69 では, 載荷開始から 30 日程度までの変位に大きな差は認められなかったが, 30 日以降の変位に差が認められ始めた。PO-24 においても, 荷重比 0.63 と 0.80 では載荷時間 10 日程度では差が認められなかったが 30 日以降変位に顕著な差が認められた。

クリープ破壊時の自由端変位は CA では 1.2mm, PO で

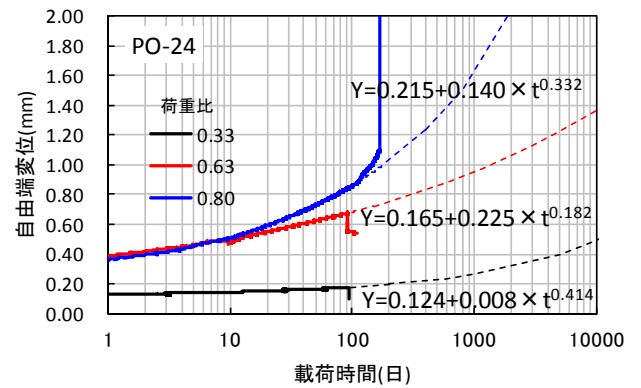
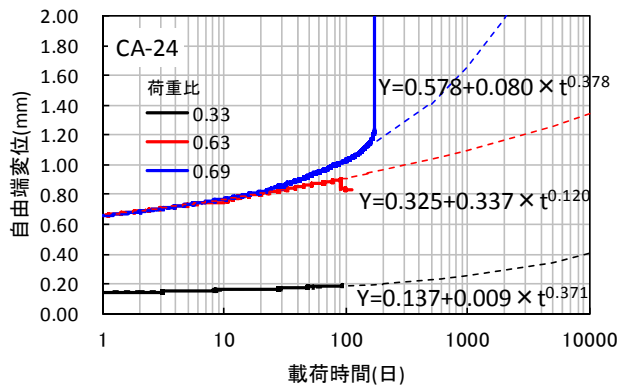


図-5 先付けアンカーおよびあと施工アンカーの自由端変位に及ぼす荷重比の影響

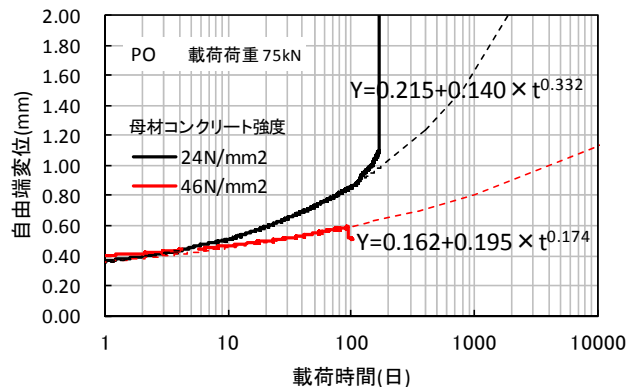
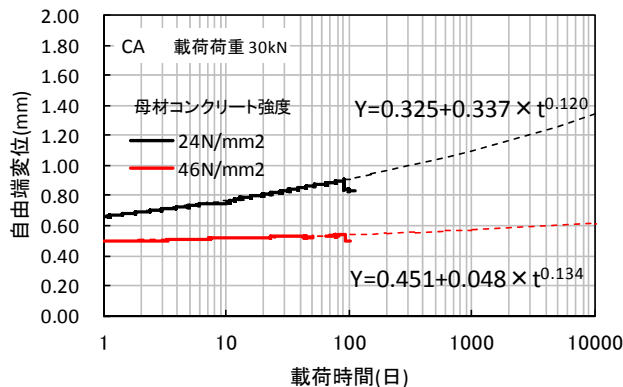


図-6 先付けアンカーおよびあと施工アンカーの自由端変位に及ぼすコンクリート強度の影響

1.1mm であったことから、クリープ破壊が自由端変位で 1.1~1.2mm で発生すると仮定した場合、クリープ変形推定線より自由端変位量が 1.1~1.2mm に到達するには、CA-24-0.63 では 3~8 年で、PO-24-0.63 では 7~12 年となり、荷重比 0.33 では載荷 50 年経過後も CA-24 の自由端変位は 0.5mm 程度、PO-24 では 0.6mm 程度でありクリープ破壊は発生しないものと推測される。

母材コンクリート強度の影響は、CA において載荷開始から自由端変位に大きな差が認められ、コンクリート強度が高い方が変位は小さくなった。また、PO の載荷荷重 75kN において、PO-24 の自由端変位が 1.1mm に達するのに 260 日と推測されるのに対し、PO-46 では 23 年と推測され、アンカー材が同一であっても、アンカー筋の引張変形量は、母材コンクリート強度の影響を大きく受ける事が確認された。

アンカーの引張荷重下においても Davis-Glanville の法則に従い、載荷荷重と自由端変位が比例するものとして、

載荷時間と荷重、変位の関係図を図-7、8に示した。CA-24 の最大荷重の 1/3 である 15kN では、載荷 50 年経過後も自由端変位量は 0.6mm 以下であり、1/2 荷重の 23kN では約 16 年で自由端変位が 1.0mm、約 69 年で 1.2mm になるものと推測される。また、PO-24 においても最大荷重の 1/2 である 47kN では約 21 年で自由端変位は 1.0mm、約 50 年で 1.2mm になるものと推測される。

載荷開始から載荷時間 91 日までの変位量と荷重比の関係を図-9に示した。荷重比 0.33 では、変位量は 0.1mm 程度と非常に小さく、荷重比が大きくなるに伴い自由端変位量は増加し、CA-24 では、PO-24 より傾きが若干大きくなった。また、CA-24 と CA-46 では、同等の荷重比における自由端変位量に差が認められたが、PO-24 と PO-46 ではほとんど変位量に差は認められなかった。これは、PO では載荷荷重が CA に比べて 2 倍以上高いことが影響した事が考えられる。

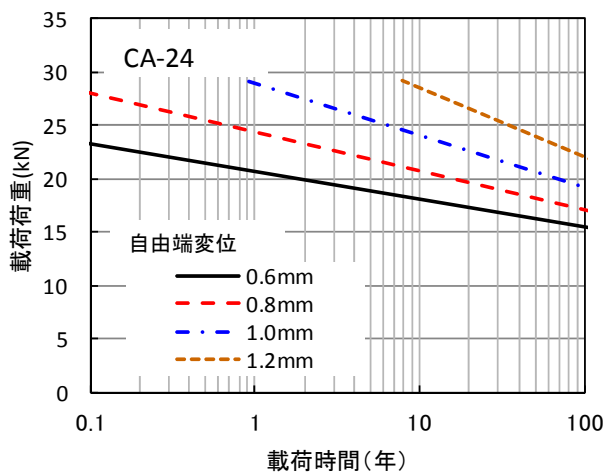


図-7 先付けアンカーの載荷時間と載荷荷重、自由端変位の関係

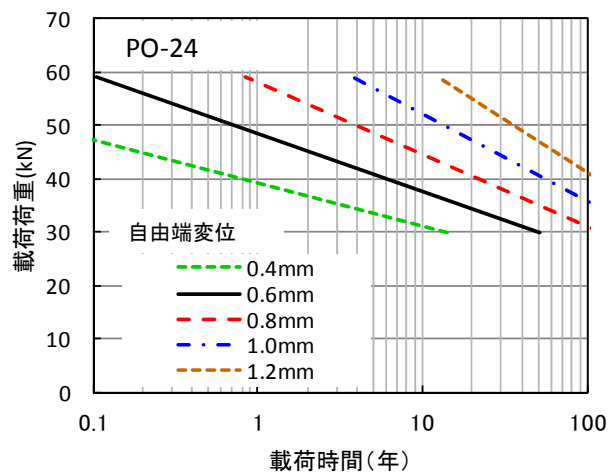


図-8 あと施工アンカーの載荷時間と載荷荷重、自由端変位の関係

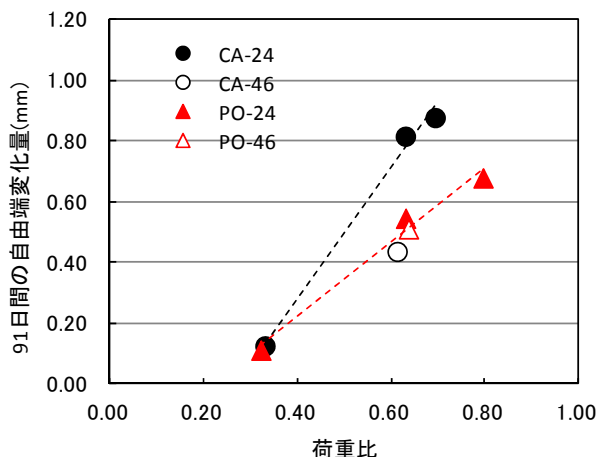


図-9 荷重比と自由端変位量の関係

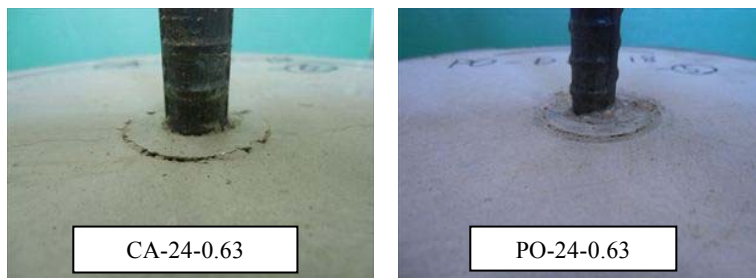


写真-1 クリープ試験後 試験体状況

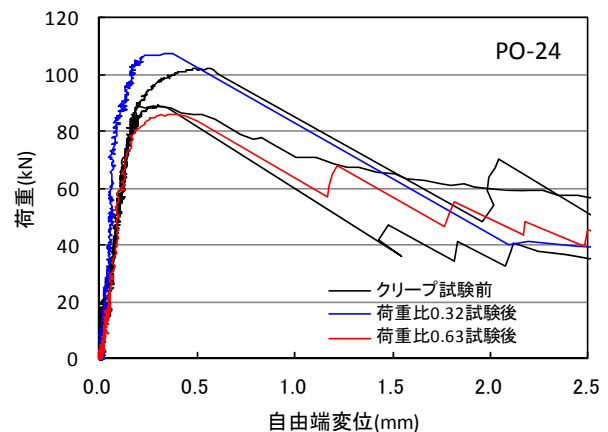
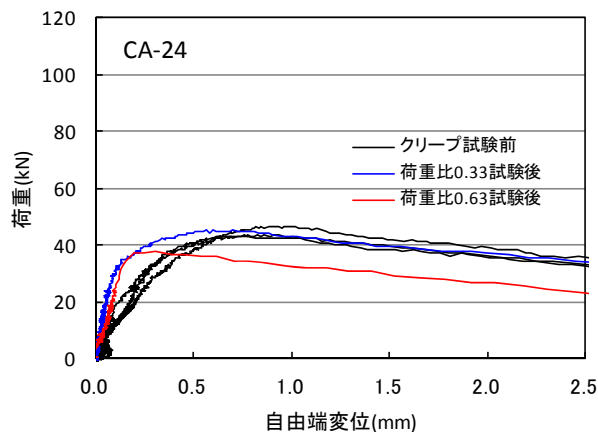


図-10 クリープ試験前後の荷重と自由端変位の関係

3.4 クリープ試験後付着試験

クリープ試験後の試験体の状況を写真-1に示し、クリープ付着試験前後の荷重と自由端変位の関係を図-10に示す。

荷重比0.63で載荷したクリープ試験後の試験体は、載荷端側で、載荷板の孔径と同径で0.2~0.5mm程度コンクリートに浮きが生じていたが、自由端側のアンカー筋周りに変状は認められなかった。

クリープ試験後の付着試験の最大荷重はCA-24-0.33、PO-24-0.32では、クリープ試験前の最大荷重と同等であったが、CA-24-0.63では37kN、PO-24-0.63では86kNであり、クリープ試験前の付着強度の平均値より低下した。

また、CA-24の荷重変位曲線の傾きはクリープ試験前より大きくなっており、剛性に変化が認められたが、PO-24ではCAほど顕著な傾向は認められなかった。POは、CAに比べ剛性が高いため、クリープ試験によるアンカー材に与えた影響が明確に表れた可能性がある。

4. まとめ

超速硬セメント系注入式あと施工アンカーについて、アンカー筋D13、アンカー筋の埋込み長さ7daの条件で持続引張荷重下における載荷荷重および母材コンクリート強度がアンカー筋の引抜き変位に及ぼす影響を検討した。

- (1) 超速硬セメント系あと施工アンカーを用いた場合載荷荷重30kN(荷重比0.32)では、載荷時間50年でクリープ破壊は生じないものと推測される。
- (2) あと施工アンカーにおける載荷荷重75kN(荷重比0.80)では、載荷時間168日でクリープ破壊が生じ、

クリープ破壊直前の自由端変位は、クリープ試験前付着試験の最大耐力時の変位の3倍程度大きな値であった。

- (3) 先付けアンカーでは、載荷荷重33kN(荷重比0.69)でクリープ破壊が生じた。
- (4) 母材コンクリート強度が高いほどアンカー筋の引抜き変位は小さくなり、あと施工アンカーの載荷荷重75kNにおいて $\sigma_B=46\text{N/mm}^2$ では、 $\sigma_B=24\text{N/mm}^2$ より載荷時間91日で0.09mm程度小さくなった。
- (5) 荷重比0.33では先付けアンカー、あと施工アンカーともに変位量が非常に小さく、載荷時間91日における自由端変位は0.2mm程度であった。
- (6) 荷重比0.33のクリープ試験後の試験体の付着強度は、先付けアンカー、あと施工アンカーともにクリープ試験前の付着強度と同等で、クリープによる付着強度の低下は認められなかった。

参考文献

- 1) 矢野明義, 菅家重夫, 松崎育弘: 機器配管用指示構造物(埋込金物)の耐力に関する実験研究-その8 樹脂アンカーの長期持続引張荷重による限界耐力-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1517-1518, 1981.9
- 2) 中野克彦, 松崎育弘, 杉山智昭: あと施工アンカーの長期許容応力度に関する研究-その3 引張クリープ実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造IV, pp.639-640, 2011.8
- 3) European Organisation for Technical Approvals ETAG 001 Part five: BONDED ANCHORS, pp.25, 2008