

論文 クリップ型ばねを用いた注入式接着系あと施工アンカー工法の性能確認試験

山崎 彬*1・波田 雅也*2・劉 翠平*3・牛島 栄*4

要旨: 接着系アンカーは高い固着力を得られるが、施工品質が施工者の技量に依存することが多く、また、上向きや横向き施工の場合、施工効率が落ちる。そこで、施工品質の確保と施工効率の向上に資するべくアンカー筋にクリップ型ばねを装着する工法を開発した。現場での諸条件を考慮した試験体で施工試験と引張試験を行い、開発した工法の施工精度と施工効率の向上に対する有効性を検討した。まず、施工試験で施工精度と施工効率の向上を定量的に評価し、クリップ型ばねの有効性を確認した。さらに、引張試験で耐荷挙動を確認し、開発した工法が現状のあと施工アンカー工法と同等以上の耐荷性能を得られることを確認した。

キーワード: あと施工アンカー, 接着系, 試験, 施工精度, 施工効率, 耐荷性能

1. はじめに

既存のコンクリート構造物に部材などを新たに設置する場合、部材同士の接合法として、あと施工アンカー工法が適用される。また近年では、既存ストックの有効活用による補修・補強工事でも、あと施工アンカーが使用され、その使用頻度は増加傾向にある。中でも、接着系あと施工アンカーは高い固着力が得られるため、土木、建築両分野で幅広く用いられており、接着系あと施工アンカーに関する研究も多く行われている^{1),2),3)}。

土木分野の場合、接着系アンカーは特に D13 以上の異形棒鋼（以下、アンカー筋）が多く使われ、アンカー筋の埋込深さは $7d_a \sim 20d_a$ (d_a はアンカー筋の呼び径) と長く、アンカー筋自体の重さは大きい。そのため、横向き施工、上向き施工においては、接着剤が硬化し固着力を發揮するまでにアンカー筋が自重で下方にずれる、または傾く恐れがあり、施工向きに応じてアンカー筋を固定し、硬化中のずれを防ぐ養生作業（以下、固定養生）が必要となる。その作業はアンカー筋の埋込み作業とは別となるため、施工効率の低下やコストの上昇となる。

それらを解消するため、文献 3) では写真 1 および図 1 に示すような固定部材（以下、クリップ型ばね）の開発を行った。開発したクリップ型ばねをアンカー筋に取付けることで、いずれの施工向きにおいてもアンカー筋のずれ防止の役割（スペーサー機能・ストッパー機能）を果たす。その結果、従来工法が必要であった固定養生が不要となり、施工効率の向上が図れる。これまでは、接着剤無しの条件で性能確認試験を実施し、クリップ型ばねがスペーサー機能とストッパー機能を有することを確認してきた。

本論文は、クリップ型ばねの実施適用に向け、現場で施工される条件を考慮した試験体で性能確認試験（施工試験・引張試験）を実施した結果を示す。まず、施工の向き、接着剤の種類および固定養生方法をパラメータとした試験体用ブロックを製作した。施工試験（接着剤の注入からアンカー筋埋込み、固定養生、接着剤の硬化終了、固定養生取外しまで）では、固着作業時間（接着剤の注入からアンカー筋埋込み、固定養生終了まで）および施工精度（接着剤硬化中の下方へのずれ量、アンカー筋の傾き）を計測し、施工品質および施工効率に関するデータを収集した。次に、引張試験を行い、各試験体の耐荷挙動と各施工条件における平均耐荷力を比較し、クリップ型ばねを用いた場合の耐荷性能を確認した。



写真-1 クリップ型ばねとアンカー筋に取付けた状況

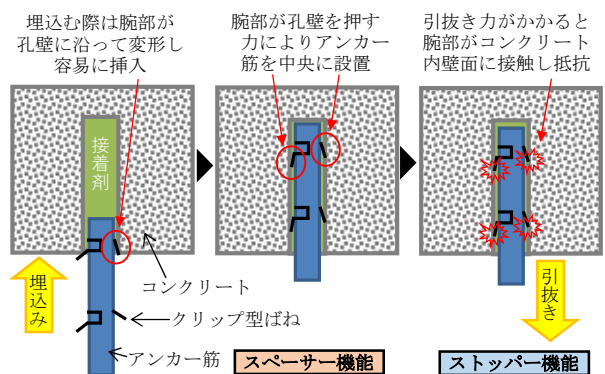


図-1 クリップ型ばねを用いたあと施工アンカー工法の施工手順と各機能のメカニズム

*1 青木あすなろ建設（株） 技術研究所 構造研究部 土木構造研究室 修士（工学）（正会員）
 *2 青木あすなろ建設（株） 技術研究所 構造研究部 土木構造研究室 博士（工学）（正会員）
 *3 青木あすなろ建設（株） 技術研究所 構造研究部 建築構造研究室 博士（工学）（正会員）
 *4 青木あすなろ建設（株） 常務執行役員 技術研究所長 博士（工学）（フェロー会員）

2. 性能確認試験用の試験体

2.1 試験体の諸元

表-1 および図-2 に試験体の諸元を示す。150mm(長)×150mm(幅)×150mm(高)×4.5mm(厚)の角形鋼管を型枠として、呼び強度 18N/mm²のコンクリートを打設し、コンクリートブロックで既設部のコンクリートを模擬した。アンカー筋を異形棒鋼の D16 とし、埋込み深さを 7d_a とした。削孔径は 22mm⁴⁾ とし、ビット呼び径 22mm、実測値 22.1mm のハンマードリルですべての試験体を下向きで穿孔した。

試験体パラメータは、施工向き(上向き, 横向き), 接着剤の種類(エポキシ樹脂, セメント系)および固定養生方法(通常, なし, ばね)とした。なお, 試験体ごとに4体ずつ施工し, 固着作業時間を計測した。施工精度の計測と引張試験は, うち3体に対して実施した。ここで, 通常養生とは, くさびを用いてアンカー筋の位置固定および落下防止を行う, 一般によく用いられる方法とする。また, クリップ型ばねを用いた固定養生方法(以

表-1 試験体

No.	試験体	施工向き	接着剤	固定養生方法
1	D16-U-E-通-1~4	上向き (U)	エポキシ樹脂 (E)	通常(通)
2	D16-U-E-無-1~4			なし(無)
3	D16-U-E-固-1~4			ばね(固)
4	D16-U-C-通-1~4		セメント系 (C)	通常
5	D16-U-C-無-1~4			なし
6	D16-U-C-固-1~4			ばね
7	D16-S-E-通-1~4	横向き (S)	エポキシ樹脂	通常
8	D16-S-E-無-1~4			なし
9	D16-S-E-固-1~4			ばね
10	D16-S-C-通-1~4		セメント系	通常
11	D16-S-C-無-1~4			なし
12	D16-S-C-固-1~4			ばね

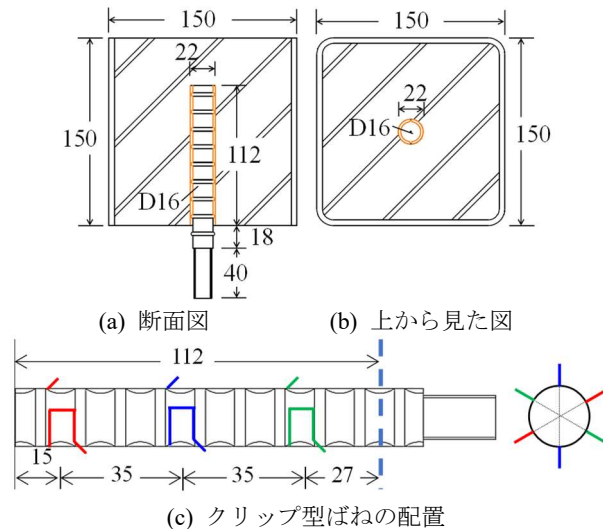


図-2 試験体

下, ばね養生) では, 3個のクリップ型ばねを図-2(c)のように取付けた。なお, 試験に使用したクリップ型ばねの線径は 1.2mm, 腕長さは 6mm, 腕角度は 45度である。

2.2 使用材料

(1) コンクリート

コンクリートの配合, 使用材料などを表-2 から表-3 にそれぞれまとめる。セメントの種類は普通ポルトランドセメント, 水セメント比 W/C が 69.4%, 呼び強度は 18N/mm²であった。粗骨材の最大寸法を 20mm とし, 秩父郡横瀬町生産の砕石を用いた。目標空気量は 4.5%であり, スランプは 15cm とした。表-4 に3本の供試体の圧縮強度の平均値 f_c を示す。

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
		W	C	S	G	混和剤*
69.4	50.5	177	255	417	932	1.91

* 高性能 AE 減水剤である。

表-3 使用材料

使用材料	種類	表乾比重 (g/cm ³)
セメント C	普通ポルトランドセメント	3.16 ^{*1)}
細骨材 S	砕砂: 秩父郡皆野町	2.64
	砂: 千葉県成田市村田	2.57
粗骨材 G ^{*2)}	砕石: 秩父郡横瀬町	2.70
混和剤	AE 減水剤	
水	水道水	

注: *1) 密度を表す。

*2) 最大寸法は 20mm である。

表-4 コンクリートの圧縮強度

材齢 (日)	圧縮強度 f_c (N/mm ²)	
	標準養生	現場封緘養生
27	26.8	23.5
36 ^{*1)}	30.0	27.2
75 ^{*2)}	34.3	34.9

注: *1) 固着作業時の材齢である。*2) 引張試験開始時の材齢である。

(2) 使用した鋼材

表-5 に使用したアンカー筋, ばね用のピアノ線および, 角形鋼管に使用した鋼板の材料特性を示す。ピアノ線は焼きなまし後に JIS G 3522 2014 に従いテストピースを製作し, 引張試験によって得られた試験値である。

表-5 使用した鋼材の材料特性

呼び名	種別	降伏応力度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び率 (%)
D16	SD490	531.0	750.0	17.0
ピアノ線 $\phi 1.2$	SWP-A	1800.7	2001.0	6.0
PL-4.5*	STK400	361.0	468.0	33.0

* \square -150mm×150mm×150mm×4.5mmの角形鋼管に使用した鋼板である。

(3) 接着剤

使用した接着剤は有機系・エポキシ樹脂と無機系・セメント系の2種類とし、施工はメーカーが作成する施工要領書を遵守し施工品質の確保に努めた。接着剤を使用したときの気温は、接着剤の硬化時間（24時間）も含め常に5℃以上であった。表-6に接着剤の品質を示す。

表-6 使用した接着剤の品質

項目	接着剤		
	有機系・エポキシ樹脂*1)	無機系・セメント系*2)	
		1日	28日
圧縮強さ (N/mm ²)	63.0 (≥50.0)	36.6 (≥25.0)	58.0 (≥50.0)
引張強さ (N/mm ²)	29.0 (≥19.6)	—	—
曲げ強さ (N/mm ²)	44.0 (≥29.4)	6.5 (≥3.5)	11.0 (≥7.0)
圧縮弾性係数 (N/mm ²)	2.820×10 ³ (≥9.8×10 ²)	—	—

注：*1) ()内に JCAA 製品認証規格値を示す。*2) 「各種合成構造設計指針・同解説」および JR 東日本「土木工事標準仕様書」の規格値を満足する。

3. 施工試験による施工品質および施工効率の評価

アンカー筋の施工期間は2020年4月6日から4月9日までの4日間で、固着作業は6日、7日、8日の3日に分けて行った。その時のコンクリートブロックの材齢は36日、コンクリートの圧縮強度は18N/mm²以上であった。ここで、固着作業時間、および施工精度を計測し、クリップ型ばねによる施工品質および施工効率の向上を定量的に評価した。

3.1 施工効率の向上

表-7 および図-3 に計測した通常養生とばね養生の固着作業時間を試験体ごとに示す。なお、通常養生の固着作業時間には、固定養生で用いたくさびの撤去時間も含める。ばね養生の場合、ばねの腕部が折れ曲がる抵抗が大きく、人力でのアンカー筋の埋込みは難しいためハンマーで軽く叩きながらの埋込みとなる。しかし、アンカー筋を自動的に孔の中央に設置でき固定養生が不要と

なるため、通常養生と比べ固着作業時間を短縮できた。また、接着剤硬化後のくさびの撤去時間も不要のため、それぞれの試験体1本あたりにおける固着作業時間は、有機系では約1分、無機系では約40秒以上を短縮できる結果となった。建設物価技術資料におけるあと施工アンカー施工量（孔内清掃、接着剤注入、アンカー筋埋込み、固定養生）は50本/人・日²⁾と仮定しており、クリップ型ばねを取付けて施工することで約33分（50本×40秒=33分）以上の施工効率が向上することが分かる。

表-7 固着作業時間の測定結果

試験体	固着作業時間 T1	くさび撤去時間 T2	合計時間 T1+T2	合計時間/本 *
D16-U-E-通	8:29	1:27	9:56	2:29
D16-U-E-固	5:29	-	5:29	1:22
D16-U-C-通	8:10	1:22	9:32	2:23
D16-U-C-固	5:33	-	5:33	1:23
D16-S-E-通	6:19	2:09	8:28	2:07
D16-S-E-固	6:17	-	6:17	1:34
D16-S-C-通	5:29	2:22	7:51	1:58
D16-S-C-固	4:11	-	4:11	1:03

* (T1+T2)/4 で計算した1本あたりの固着作業時間である。

3.2 施工精度の向上

固着作業後、接着剤が硬化するまでのアンカー筋における施工精度を、アンカー筋の突出長さや傾きの角度を計測し比較した。上向き施工の試験体は、接着剤が硬化中の下方へのずれ（変位量）と、接着剤硬化後の傾きと突出長さを計測し、横向き施工の試験体は、接着剤硬化後の傾きと突出長さを計測した。

表-8 にアンカー筋埋込み深さの設計値112mm (7d_a) に対する差異 l_{er} 、X方向およびY方向それぞれのアンカー角度における差異 X_r および Y_r をまとめ、各々の最大値を太字で表示する。埋込み深さのずれとアンカー角度の計測方法を図-4 に示す。表に示すように、D16-U-E-無-1の埋込み深さは14mmの不足が確認されたが、クリップ型ばねで固定養生した試験体は通常養生と同様な施工精度が確保された。また、施工によるアンカー角度に

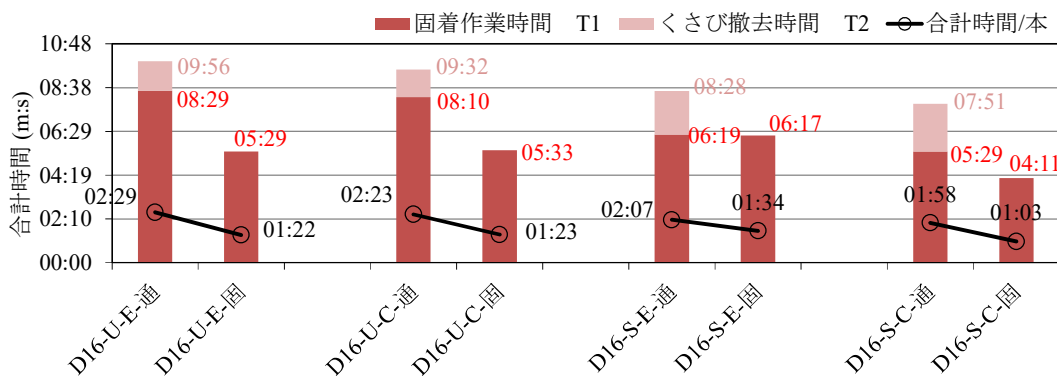


図-3 計測した固着作業時間の比較

表-8 設計値に対する埋込み深さの差異およびアンカー角度の差異

試験体		差異 L_{er} (mm)	差異 X_r (°)	差異 Y_r (°)	試験体	差異 L_{er} (mm)	差異 X_r (°)	差異 Y_r (°)	
D16-U-E-通	1	1	-0.8	1.7	D16-S-E-通	1	1	3.7	
	2	0	0.6	-0.1		2	1	1.2	2.5
	3	-2	-0.7	-0.1		3	1	1.3	1.2
D16-U-E-無	1	14	2.1	-1.6	D16-S-E-無	1	-1	1.8	
	2	4	-0.4	1.7		2	0	2.0	1.0
	3	7	-1.4	0.0		3	1	1.8	0.3
D16-U-E-固	1	-2	2.1	1.2	D16-S-E-固	1	-1	1.9	
	2	0	0.4	-0.7		2	1	-0.1	-1.8
	3	0	-0.3	0.7		3	-1	-0.3	0.3
D16-U-C-通	1	0	3.8	1.4	D16-S-C-通	1	-2	1.3	
	2	0	1.3	0.5		2	-3	1.5	-0.8
	3	-1	0.8	1.4		3	0	0.6	-0.1
D16-U-C-無	1	1	-0.4	-0.4	D16-S-C-無	1	2	-1.8	
	2	0	-0.8	0.9		2	1	3.5	-0.8
	3	-2	2.9	0.7		3	0	1.6	1.9
D16-U-C-固	1	0	2.4	0.7	D16-S-C-固	1	0	-0.4	
	2	1	1.0	0.1		2	0	2.2	0.8
	3	2	-0.9	-0.1		3	-1	0.3	0.3

注：1) 埋込み深さの差異 L_{er} は、アンカー筋全長 $L=170\text{mm}$ から計測した突出長さ L_p と、アンカー筋の埋込み深さ 112mm を差し引いた値である。2) 角度の差異 X_r および Y_r は、デジタル角度計で計測した X 方向および Y 方向におけるアンカー角度から施工面に対して直角である 90 度を差し引いた値である。

対する差異の最大値は 3.8 度であり、どの試験体も 5 度以内（許容範囲 15 度以内）に収まっていた²⁾。

$$T_{a3} = 0.23\sqrt{\sigma_B} \cdot A_c \quad (4)$$

$$\tau_a = 10\sqrt{\sigma_B/21} \quad (5)$$

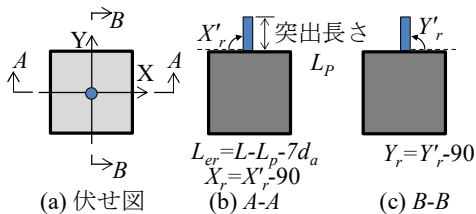


図-4 突出長さおよびアンカー角度の計測

4 引張試験による耐荷性能の確認

4.1 引張力に対する設計式

接着系アンカーの設計強度 T_a は、アンカー筋の強度とそれを基に計算した抵抗機構強度のうち最小の値となる⁹⁾。

$$T_a = \min(T_{a1}, T_{a2}, T_{a3}) \quad (1)$$

ここに、 T_{a1} 、 T_{a2} および T_{a3} はあと施工アンカーの付着破壊耐力、鋼材から求まるあと施工アンカーの破壊耐力、およびあと施工アンカーのコーン破壊耐力をそれぞれ表す（図-5）。 τ_a 、 l_e 、 σ_y 、 a_0 、 σ_B 、および A_c は付着力に対する付着強度 (N/mm^2)、有効埋込深さ (mm)、アンカー筋の規格降伏点 (N/mm^2)、アンカー筋の公称断面積 (mm^2)、コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)、および有効水平面積 (mm^2) をそれぞれ表し、各耐力は次のように算定される。

$$T_{a1} = \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e \quad (2)$$

$$T_{a2} = \sigma_y \times a_0 \quad (3)$$

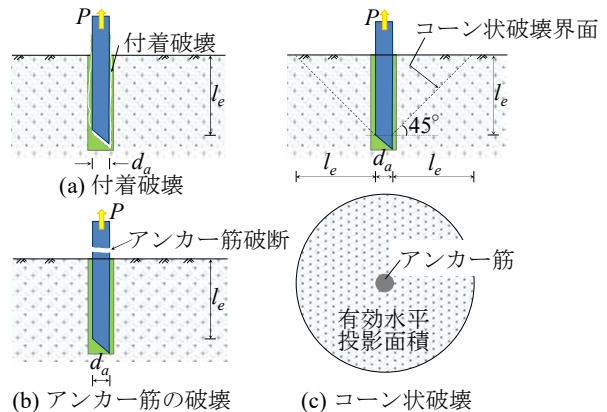


図-5 各抵抗機構

4.2 荷重および変位計測方法

図-6 に試験体の荷重方法を示す。アンカー筋を介して試験体に荷重 P を作用させ、アンカー筋破断あるいは、付着破壊によってアンカー筋がすべて引抜けるまで荷重した。なお、本引張試験ではクリップ型ばねを用いた場合の接着剤の付着状況を通常養生の付着状況と比較するため、接着剤とコンクリート界面での破壊となる付着破壊を卓越させることとし、鋼板プレート（支圧板）を設置してコンクリートのコーン破壊が発生しないようにした。荷重中は荷重 P および相対変位 δ （以下、鉛直変位）を計測した。荷重の様子を写真-2 に示す。

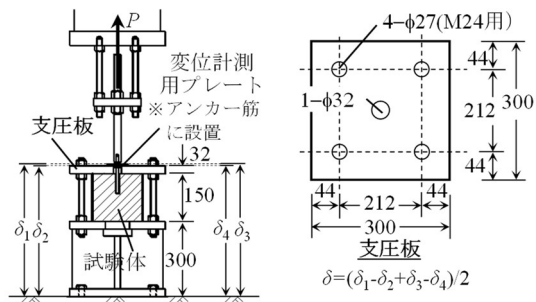


図-6 荷重方法および支圧板

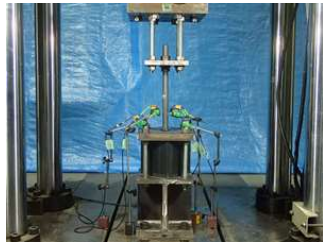


写真-2 荷重中の様子

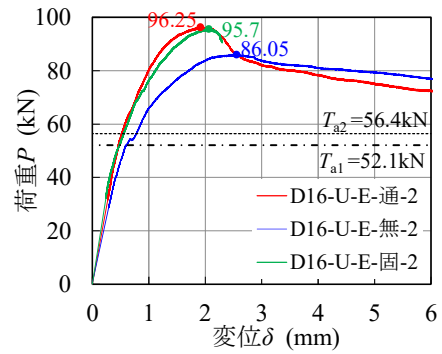


図-7 荷重—鉛直変位の関係曲線(上向き施工, 有機系)

4.3 耐荷挙動

(1) 荷重—変位関係曲線

ここで、図-7に荷重 P —鉛直変位 δ の関係曲線の例として、上向き施工で有機系のシリーズD16-U-Eの各固定養生方法の試験結果を1体ずつ示す。また、式(2)、式(3)より算出したあと施工アンカーの付着破壊耐力 T_{a1} と鋼材から求まるあと施工アンカーの破壊耐力 T_{a2} 、および最大荷重 P_{max} を同図に重ねて示す。

図より、通常養生の試験体D16-U-E-通-2の初期剛性および最大荷重は、固定養生なしの試験体D16-U-E-無-2より大きい。また、ばね養生のD16-U-E-固-2は、試験体D16-U-E-通-2と同程度の初期剛性および最大荷重である。したがって、現状のあと施工アンカー工法でくさびなどを用いて実施していた通常養生をクリップ型ばねで代用しても、初期剛性を含む荷重—変位関係曲線の履歴には影響がないと言える。

(2) 最大荷重の比較

引張試験で得られた各々の試験体の最大荷重 P_{max} 、および破壊モードを表-9にまとめる。試験体3体の最大荷重の平均値を平均耐荷力 P_{ave} と定義し、図-8でその比較を行う。また、バラツキの評価として標準偏差 σ と変動係数 CV を表-9に示す。なお、最大荷重 P_{max} および平均耐荷力 P_{ave} の最小値はそれぞれ62.85kN(D16-U-C-通-3)および69.97kN(D16-U-C-通)で、式(1)から算出された引張力における設計強度 T_a ($T_{a1}=52.1$ kN)に対し約1.2倍および1.3倍であり、すべての試験体で試験値が計算値を上回っていた。従って、今回の試験で用いた試験体は、接着系あと施工アンカーとして必要な耐荷性能を発揮していたと言える。その上で、ばね養生の試験体は、施工向きおよび接着剤の種類によらず、通常養生の試験体と同程度の平均耐荷力が得られていた。

また、通常養生の変動係数 CV は、固定養生無しの変動係数に比べ大きい値もあるのに対し、ばね養生の変動係数は、すべての試験体で固定養生無しより小さい値であった。さらに、コーン破壊を発生させない今回の試験条件において、ばね養生の破壊モードの多くがアンカー筋破断で決まっており、接着剤の付着力がくさびで固定養生を行うより安定していたと言える。

表-9 試験による最大荷重および平均耐荷力

単位：kN

No.	試験体	1体目		2体目		3体目		平均耐荷力 P_{ave}	標準偏差 σ	変動係数 $CV(\%)$
		P_{max}	破壊モード	P_{max}	破壊モード	P_{max}	破壊モード			
1	D16-U-E-通	94.70	アンカー筋破断	96.25	付着破壊	93.10	アンカー筋破断	94.68	1.29	1.36
2	D16-U-E-無	92.70	付着破壊	86.05	付着破壊	86.85	付着破壊	88.53	2.96	3.35
3	D16-U-E-固	94.25	アンカー筋破断	97.50	アンカー筋破断	94.65	アンカー筋破断	94.87	0.61	0.64
4	D16-U-C-通	70.90	付着破壊	76.15	付着破壊	62.85	付着破壊	69.97	5.47	7.82
5	D16-U-C-無	81.60	付着破壊	93.05	付着破壊	90.80	付着破壊	88.48	4.95	5.60
6	D16-U-C-固	94.60	アンカー筋破断	92.50	付着破壊	94.95	アンカー筋破断	94.02	1.08	1.15
7	D16-S-E-通	84.75	付着破壊	94.85	アンカー筋破断	93.65	アンカー筋破断	91.08	4.51	4.95
8	D16-S-E-無	93.65	アンカー筋破断	87.45	付着破壊	94.10	アンカー筋破断	91.73	3.03	3.31
9	D16-S-E-固	90.55	アンカー筋破断	90.65	アンカー筋破断	90.75	アンカー筋破断	90.65	0.08	0.09
10	D16-S-C-通	82.65	付着破壊	79.15	付着破壊	79.15	付着破壊	80.32	1.65	2.05
11	D16-S-C-無	78.00	付着破壊	82.20	付着破壊	88.45	付着破壊	82.88	4.29	5.18
12	D16-S-C-固	91.85	付着破壊	95.55	アンカー筋破断	91.15	アンカー筋破断	92.85	1.93	2.08

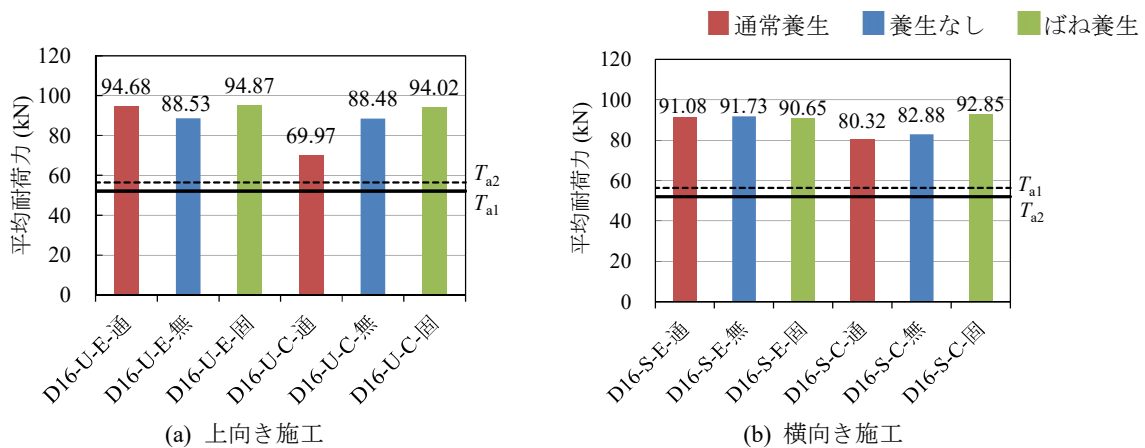


図-8 平均耐力 P_{ave} の比較

引張試験の結果から、クリップ型ばねをアンカー筋に装着することで、施工精度や施工効率を向上させながらも、従来のあと施工アンカー工法（通常養生）と同等以上の耐荷性能を発揮することが確認された。

4.4 孔内の接着剤の充填状況

アンカー筋を引抜き後、試験体を切断し孔内の接着剤の充填状況を確認した。写真-3 に上向き施工で接着剤の硬化中に下方へのずれが 14mm と大きかった試験体 D16-U-E-無-1 を例として示す。写真より、孔の底部にアンカー筋がずれたことによって生じた空隙部が確認された。引張試験の結果からも、硬化中に下方へのずれが確認された D16-U-E-無のシリーズは同じ有機系で比べると耐力が低い。したがって、上向きに施工する際は、接着剤の硬化中にアンカー筋の自重によって埋込深さが不足する恐れがあるため、適切な固定養生が必要である。

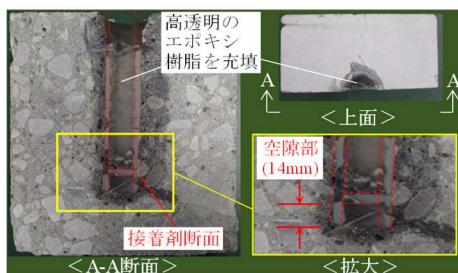


写真-3 切断後の試験体の例 (D16-U-E-無-1)

5. まとめ

注入式接着系アンカーにおいて、クリップ型ばねを用いた工法の施工精度と施工効率の向上に対する有効性を検討するため、現場の諸条件を考慮した試験体を施工し、性能確認試験を行った。今回の試験から得られた結果を以下にまとめる。

(1) クリップ型ばねを用いることで、試験体 1 本あたりにおける固着作業時間は、通常養生と比べ有機系では約 1 分、無機系では約 40 秒以上を短縮でき、施工効率の向上が図れた。

(2) 上向き施工で固定養生なしの試験体は、埋込み深さが設計値の 112mm ($7d_a$) に対して最大約 14mm 不足したケースがあり、最大荷重の平均耐力の低下が確認された。一方、ばね養生の場合、埋込み深さおよびアンカー角度は、くさびによる通常養生と同様の施工精度が得られた。

(3) 試験体 3 体の最大荷重の平均値を比較すると、ばね養生の試験体は、通常養生の試験体と同程度の平均耐力が得られており、かつ、変動係数も小さく付着力が安定していたことから、従来のあと施工アンカー（通常養生）と同等以上の耐荷性能を発揮することが確認された。

これらの結果から、アンカー筋にクリップ型ばねを装着する工法は、施工精度や施工効率を向上させる新たな固定養生方法として有効であると考えられる。

謝辞

本研究は、遠州スプリング（有）と青木あすなろ建設（株）の共同研究の一部である。クリップ型ばねの試作・製作では遠州スプリング（有）の多大なる協力を頂いた。ここに感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所：道路橋等の点検効率化等への計測・非破壊検査技術の適用性検証に関する共同研究（II）—コンクリート後施工アンカーボルトに対する非破壊検査の適用性に関する研究—，国総研資料，第 884 号，2017.3
- 2) 向井智久，他：接着系あと施工アンカーを用いた構造部材の構造性能評価方法に関する検討，建築研究資料，No.200，2020.7
- 3) 山崎 彬，他：注入式接着系あと施工アンカーの施工効率の向上を図る工法の開発，コンクリート工学年次大会論文集，Vol.42，No.2，pp.1315-1320，2020.7
- 4) 山崎 彬，他：注入式接着系あと施工アンカー工法の施工効率の向上を図る固定部材の提案，土木学会第 75 回年次学術講演会，V-638，2020.9
- 5) 日本建築あと施工アンカー協会：あと施工アンカー設計指針（案）・同解説，2005.