

炭素繊維シートとCFアンカーを用いた耐震補強工法 におけるCFアンカー埋込部の定着耐力

Pull-out strength between the concrete and the CF-anchor using seismic strengthening

池谷純一*, 塚越英夫**

Jun'ichi Iketani, Hideo Tsukagoshi

* 研究員, 清水建設(株)技術研究所(〒135-8530 東京都江東区越中島3丁目)

** 工博, 上席研究員, 清水建設(株)技術研究所(〒135-8530 東京都江東区越中島3丁目)

Adhering carbon fiber sheets onto RC piers is one of the seismic strengthening methods. When the pier has an irregular shape, however, carbon fiber sheets cannot be adhered continuously around the pier and the edge of the carbon fiber sheets have to be fixed with steel plates and anchor bolts. This fixing method has shortcomings. For example: (1) The steel plate is heavy, (2) The execution of work is dangerous because a crane must be used to lift the steel plates. Then, an alternative fixing method using CF-anchors, which consists of bundles of carbon fiber strands, was developed, and the equation of pull-out strength between the CF-anchor and the concrete was proposed.

Key Words: Carbon Fiber Sheet, Seismic Strengthening, CF-anchor, Pull-out Strength

キーワード: 炭素繊維シート, 耐震補強, CFアンカー, 定着耐力

1. はじめに

筆者らは炭素繊維シート(以下, CFシートと略称する)の端部定着材料として, CFシートの原材料である炭素繊維ストランド(以下, CFストランドと略称する)を必要量束ねた, 通称CFアンカー¹⁾を提案している(写真-1および図-1参照).

このCFアンカーを実構造物の補強に用いるためには, その仕様をCFシートの補強量に応じて設計する必

要がある. ここで設計上必要となるのは, CFアンカー扇部のCFシートとの接着耐力およびコンクリート埋込部の定着耐力の2つである. これらの耐力に影響する因子は, CFアンカーの扇幅, 扇長さ, CFストランド本数, CFアンカーの埋込深さおよび埋込角度である. 前報²⁾

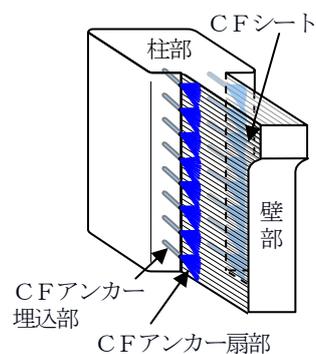
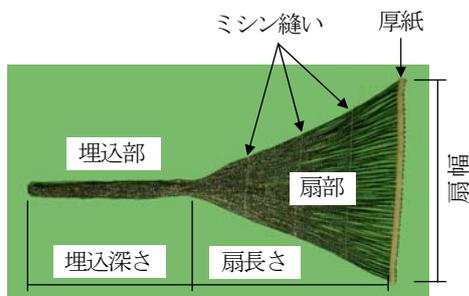


図-1 CFアンカー取付け概念図

では, CFアンカー扇部について接着耐力モデルを仮定し, その妥当性を試験により検証した.

CFアンカーの埋込部は, <4. 2>節の図-7に示すとおり, 一般的なあと施工アンカーと同じく, 孔内へ先だ充填樹脂を注入した後挿入される. このため, CFアンカーの破壊モードとしては, あと施工アンカーと同様に, 1) 樹脂部とコンクリート面との付着破壊, 2) コンクリートのコーン状破壊, 3) アンカー材の母材破断, の3つ³⁾が想定される. しかし, CFアンカー埋込



埋込部: 柱部へ埋め込まれる部分
扇部: 壁部に貼られたCFシート表面へ貼り付けられる部分

写真-1 CFアンカー

部は、あと施工アンカーの埋込部と異なり、鉄筋のヘッド、ふし、リブあるいはネジ等の付着に対して有効な突起がない。このため、CFストランドと樹脂の界面で破壊するモードも考えられるが、埋込まれたCFストランドと樹脂の付着破壊については既往の研究がほとんど見当たらない。そこで、一般的なあと施工アンカーとは異なる破壊モードも含め、本論文は、CFアンカー埋込部の設計定着耐力式を新たに提案するものである。

2. 埋込部の破壊モード

1章で示したCFアンカー埋込部の4種類の破壊モードについて検討する。この時に適用範囲として削孔径はCFストランドの本数の関数として $\phi 14\sim 25\text{mm}$ 、樹脂は破壊モードより先込充填樹脂が支配的となり、表-2に示すような物理的性質の材料を用いるものとする。

2.1 樹脂部のコンクリート面あるいは母材との付着破壊

CFストランド本数および埋込深さが異なるCFアンカー埋込部が「コンクリートと樹脂」あるいは「母材と樹脂」の界面で抜き破壊する場合の耐力を、削孔径またはCFアンカー径と埋込深さから算出した付着面積にそれぞれの界面の接着強さを掛け合わせて求めると、表-1のとおりとなる。表-1に示すとおり、破壊面の違いによる耐力差はほとんどなく、計算上はいずれの界面で破壊してもおかしくはないと考えられる。しかし、写真-2に示すとおり、抜き破壊は母材と樹脂との界面で生じている。施工時には孔奥に粘性の高い先込充填樹脂が入っており、CFアンカーの先端はこの中を移動する。このためCFアンカーにあらかじめ含浸させてある粘性の低い樹脂は孔奥ほど絞り出されやすく、結果として、孔出口近傍より、孔奥側の方が若干細くなっていることが原因として考えられる。また、母材界面には突起がほとんどないのに対し、コンクリート面にはワイヤーブラシで脆弱な部分を取り除くことにより、多少の凹凸が生じているため、耐力が上昇することも挙げられる。なお、一般的なあと施工アンカーでは、突起による表面の凹凸が大きく、樹脂との接着面積が大きいため、コンクリートと樹脂界面で破壊するものと考えられる。

2.2 コンクリートのコーン状破壊

写真-2に示すとおり、付着破壊はCFアンカーの母材界面で生じた。この時に、コンクリートの表面近傍では、コンクリートも小さくコーン状に破壊していた。これは図-2(a)に示すとおり、引抜力の反力を埋込部

表-1 CFストランド本数が異なるCFアンカーの抜出耐力の試算

CFストランドの本数 (本)	CFアンカーの直径 ¹⁾ (mm)	削孔径 ²⁾ (mm)	埋込深さ (mm)	コンクリートと樹脂界面の付着強度 ³⁾ (N/mm ²)	先込充填樹脂の引張せん断接着強さ ⁴⁾ (N/mm ²)	抜出耐力 (kN)	
						コンクリートと樹脂界面	母材と樹脂界面
40	10.8	13.6	100	14.1	18.5	60	63
80	15.3	19.2	200			170	177
130	19.5	24.5	300			325	339

注) 1) $1.83 \cdot (n_{cs} \cdot a_{cs})^{1/2}$, n_{cs} :CFストランド本数, a_{cs} : 0.87mm^2 <文献2より>

2) $2.3 \cdot (n_{cs} \cdot a_{cs})^{1/2}$ <本論文の式(3)より>

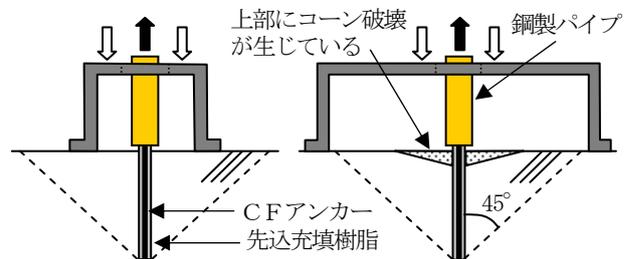
3) 文献4より

4) ミルシートより

の近傍で取っていたためである。そこで、一般的に用いられている埋込部先端から45度の範囲外に反力を取って引抜きを行った。この結果は図-2(b)に示すとおり、上部のコンクリートのコーン状破壊の面積が大きくなったが、埋込部の70%以上は母材の付着破壊となっていた。いずれの場合も母材界面の付着力が小さいために、典型的なコーン状破壊とはなっていなかった。また、その時の定着耐力を図-3に示すが、埋込部近傍で反力を



写真-2 コンクリートから抜出したCFアンカー



(a) 反力を近くした場合 (b) 反力を遠くした場合

図-2. CFアンカー埋込部引抜試験方法

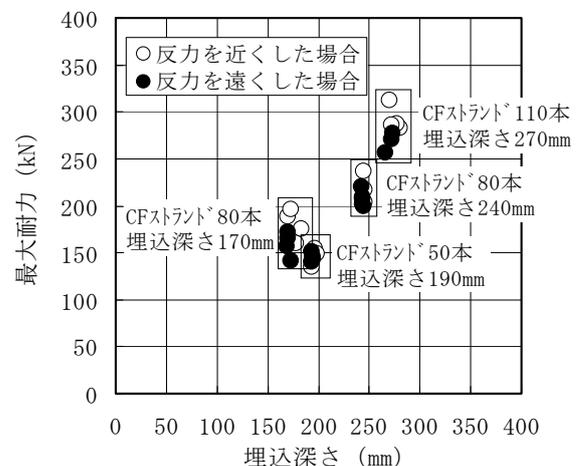


図-3 試験方法の違いによる定着耐力の比較

取ったデータは、そうでないデータに比べて5%程度大きな値を示した。本来は引抜力の反力は遠くで取るべきであるが、試験装置の都合上、埋込部近傍の反力データを集め、設計式については低減をかけることにした。

2. 3 CFアンカーの母材破断

母材破断は、十分な埋込深さを有しているために抜出しを生じない場合の破壊モードである。なお、CFアンカーは、自由に変形が可能なCFストランドを多数本束ねたものであり、これに樹脂を含浸させて孔内へ施工される。このため、CFストランド1本1本の直線性にはばらつきが生じやすく、その破断耐力は、単純にCFアンカーの断面積(=CFストランドの総断面積)にCFストランドの保証引張強度を乗じた値より低くなるのが容易に想像される。また、埋込角度が大きくなると、せん断で破断することもある。

以上の考察より、CFアンカーの破壊モードは、図-4に示す「母材と樹脂の付着破壊(抜出し)」と「CFアンカー母材破断」に集約される。

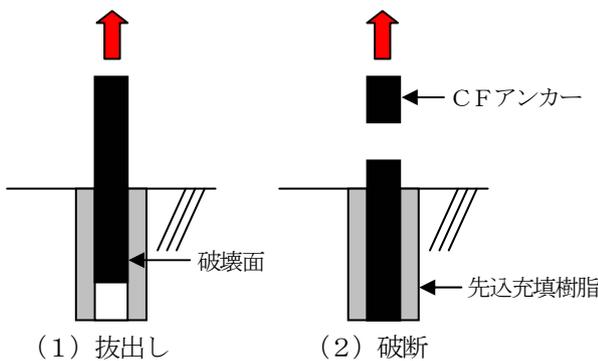


図-4 CFアンカー埋込部の破壊モード

3. 埋込部の耐力

3. 1 抜出し破壊する場合の耐力

図-5に示すとおり、CFアンカーはコンクリート中へある角度 θ を有して埋め込まれる。この場合、図-6に示すように、CFアンカー埋込部に引張力 P が作用すると、露出部との境界位置で埋込角度 θ に対して引張力 T とせん断力 Q の分力が作用することになる。この作用力に対してCFアンカーが抜出し破壊する場合の定着耐力について検討する。

CFアンカー埋込部の直径は、CFアンカーを構成しているCFストランド1本の断面積を a_{cs} 、CFストランドの本数を n_{cs} とすると、文献2より $1.83 \cdot (n_{cs} \cdot a_{cs})^{1/2}$ で表せる。これより、CFアンカー埋込部のCFストランド束と先込充填樹脂との界面の表面積 S_{cs} は、底部を除き式(1)で表せる。

$$S_{cs} = 1.83 \cdot \pi \cdot L_{cs} \cdot (n_{cs} \cdot a_{cs})^{1/2} \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 L_{cs} : CFアンカーの埋込深さ (mm)

n_{cs} : CFストランドの本数 (本)

a_{cs} : CFストランド1本の

断面積 (=0.87mm²)

また、式(1)より、CFアンカーが抜出し破壊する場合の定着耐力 P_1 は、式(2)で表せる。

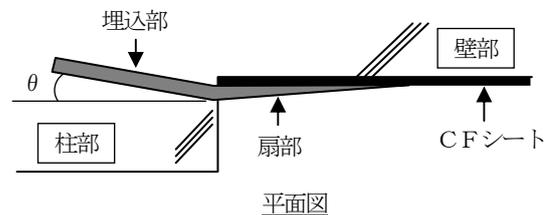
$$P_1 = 1.83 \cdot \pi \cdot \tau_b \cdot L_{cs} \cdot (n_{cs} \cdot a_{cs})^{1/2} \cdot \cos \theta \quad \text{--- (2)}$$

ここに、 τ_b : 先込充填樹脂の引張せん断接着強さ (N/mm²)

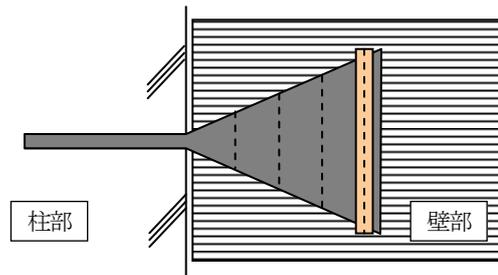
θ : CFアンカーの埋込角度 (°)

3. 2 母材破断する場合の耐力

母材破断は、図-6に示すように、引張力 T とせん断力 Q が作用して、CFアンカーが破断する2軸モデルである。この引張力 T とせん断力 Q によって生じる複合応力がCFアンカーの引張強度あるいはせん断強度に達すると破断に至る。しかし、本モデルによる破断耐力には、折曲がり部の下地コンクリートの平滑度やCFアンカーを構成しているCFストランドの直線性が大きく影響するため、理論的な提案式による評価は困難であると考えた。そこで、破断する場合については、試験データに適合する回帰式から設計定着耐力式を導くこととする。



平面図



側面図

図-5 CFアンカーの取付け状況

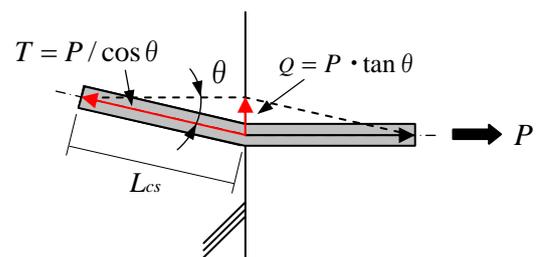


図-6 埋込部の応力

4. CFアンカー埋込部の定着耐力の確認試験

先に述べたように、CFアンカー埋込部は拔出しあるいは破断で最終破壊に至り、典型的なコーン状破壊は示さない。そこで、CFアンカー埋込部の定着耐力確認試験方法として、<4. 2>項に示す試験方法を考案して定着耐力の確認試験を実施した。

4. 1 使用材料

表-2に使用材料の性質を示す。CFストランドにはCFシート同様、PAN系の高強度タイプのものを用いた。ただし、含浸接着樹脂が含浸しやすいよう、炭素繊維素線同士のばらけ防止用に繊維表面へ塗布されているサイジング剤量は、0.2%と低いものとした。

表-2 使用材料の性質

使用材料	性質
コンクリート	呼び強度 18 N/mm ² , 試験時圧縮強度 25N/mm ²
CFストランド	繊維素線数 24000 本, サイジング剤 0.2%, 断面積 0.87mm ² , CF アンカー引張強度 3400N/mm ² 以上, 弾性係数 210~269kN/mm ²
プライマー	混合粘度 2350mPa·s, コンクリート付着強さ 2.5N/mm ²
先込充填樹脂	コンクリート付着強さ 2.8 N/mm ² , 引張せん断接着強さ 18.5N/mm ² , 圧縮弾性係数 2.21kN/mm ²
含浸接着樹脂	混合粘度 2500mPa·s, 引張強さ 49.8N/mm ² , 引張せん断接着強さ 12.8N/mm ² , 圧縮弾性係数 2.04kN/mm ²

4. 2 試験体の作製および試験方法

表-3に試験体一覧を、図-7に試験体の作製手順を、図-8に試験方法をそれぞれ示す。

表-3に示すとおり、試験の要因は、(1) CFスト

表-3 試験体一覧

CFストランドの本数(本)	埋込深さ(mm)	埋込角度(°)	削孔径(mm)	プライマーの有無
40	100	0	14	有
	150			
	200			
	100			無
	150			
200				
50	190		16	有
80	150		20	
	220			
	300			
	150	無		
	170			
	220			
	240			
110	300	25 ¹⁾	有	
	300	23	無	
80	270	10	20	無
	220			
	300			

注) 1) 削孔径の違いが最大耐力に与える影響を確認するため、式(3)で求められる径より大きく設定

ランドの本数、(2)埋込深さ、(3)埋込角度、(4)削孔径および(5)プライマーの有無、の5種類とした。なお、削孔径Dは孔内に充填される樹脂量およびCFアンカー挿入時の施工性から建築物補強時に用いるCFアンカーで規定されている値⁵⁾に準じて設定した式(3)で決定した。

$$D = 2.3 \cdot (n_{cs} \cdot a_{cs})^{1/2} \quad \text{----- (3)}$$

図-7に示すように、CFアンカー埋込部定着耐力確認試験体は、コンクリート孔内へ先込充填樹脂を注入した直後に含浸接着樹脂を含浸させたCFアンカーを挿入して作製した。CFアンカー挿入時には余剰な先込充填樹脂が孔内からあふれ出るため、CFアンカー挿入後にこれを除去した。また、コンクリート外に出ているCFアンカーは棒状に硬化させ、その外側に鋼製パイプを取り付け、隙間に静的破砕材を充填して固定した。図-8に示すように、試験体の加力は、CFアンカーに定着した鋼製パイプを、センターホール型油圧ジャッキを用いて引っ張ることにより行った。

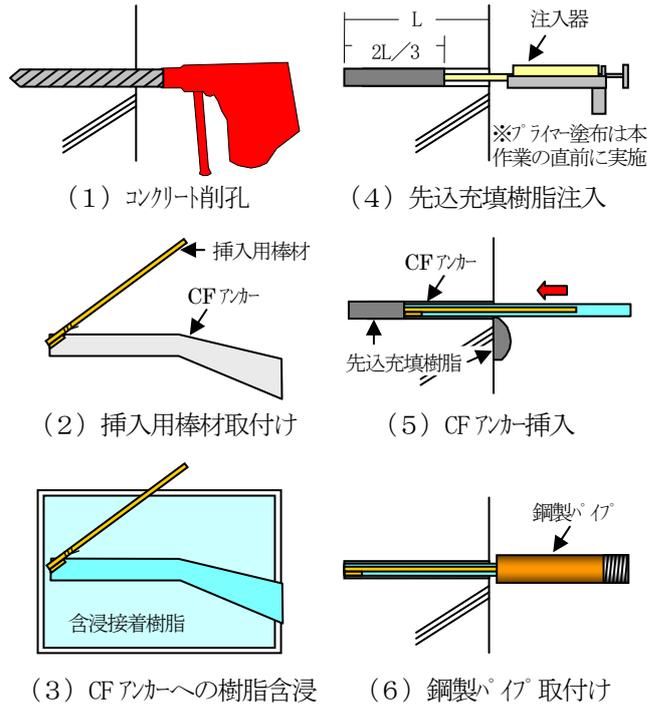


図-7 試験体の作製手順

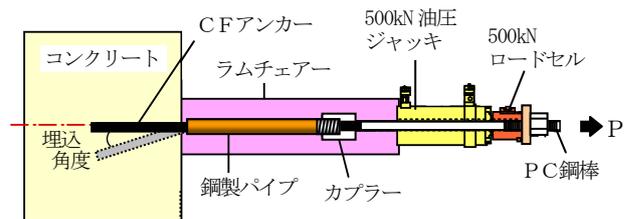


図-8 CFアンカー埋込部の定着耐力確認試験方法

4. 3 試験結果

表-4に試験結果を示す。表-4中の埋込深さ 150mm でCFストランド本数が40本および80本のものの最大耐力を比較すると、埋込深さが同じでも、CFストランド本数が多いほど、耐力は高くなるのが分かる。一方、CFストランド本数が40本のCFアンカー埋込部の最大耐力は、埋込深さが深くなるほど高くなり、その破壊モードは拔出しから破断へ移行していくことが分かる。この傾向はCFストランド本数が80本のCFアンカーでも同様である。なお、CFストランド本数80本、埋込深さ300mmの試験体の結果より、この範囲内での最大耐力は削孔径の相違およびプライマー有無の影響を受けないことが確認できた。

表-4 試験結果

CFストランドの本数(本)	埋込深さ(mm)	埋込角度(°)	削孔径(mm)	プライマーの有無	最大耐力(kN)	破壊モード				
40	100	0	14	有	61.0	拔出し				
					71.0	拔出し				
					67.0	拔出し				
					106.0	拔出し				
					105.0	拔出し				
					111.0	破断				
	—				破断 ¹⁾					
	131.0				破断					
	112.0				破断					
	無				63.3	拔出し				
					65.7	拔出し				
					72.7	拔出し				
				90.8	拔出し					
				105.5	拔出し					
				106.0	拔出し					
				101.7	破断					
				120.3	拔出し					
				114.3	破断					
				50	194	0	16	有	147.3	拔出し
									135.2	拔出し
									154.5	拔出し
	148.8								拔出し	
	無								126.0	拔出し
									104.0	拔出し
135.0		拔出し								
182.0		拔出し								
199.0		拔出し								
162.0		拔出し								
232.0		拔出し								
230.0		破断								
251.0		破断								
230.0		破断								
198.0		破断								
252.0		破断								
80	150	0	20	有	159.3			拔出し		
					140.7			拔出し		
					111.3			拔出し		
					135.8			拔出し		
					136.8			拔出し		
					143.3			拔出し		
	無				188.2			拔出し		
					195.7			拔出し		
					159.7	拔出し				
					175.3	拔出し				
					219.0	拔出し				
					164.8	拔出し				
	223			221	224	224	無	211.0	拔出し	
								219.0	拔出し	
								175.3	拔出し	
								159.7	拔出し	
								195.7	拔出し	
								188.2	拔出し	
143.3								拔出し		
136.8								拔出し		
135.8								拔出し		
111.3								拔出し		
140.7								拔出し		
159.3								拔出し		

225					213.2	拔出し	
					225.0	拔出し	
					220.8	拔出し	
					246	203.8	拔出し
					243	207.2	拔出し
					246	216.5	拔出し
					245	237.2	拔出し
					300	217.0	拔出し
					300	248.0	拔出し
					300	221.0	拔出し
					304	264.5	拔出し
					305	256.8	拔出し
					304	289.3	拔出し
					301	232.8	破断
					300	238.8	破断
301	247.8	破断					
110	0	25	有	259.0	破断		
				145.0	拔出し ²⁾		
				245.0	破断		
270	312.3	拔出し					
280	282.7	拔出し					
277	286.8	拔出し					
272	286.5	拔出し					
80	12	20	無	219	202.7	拔出し	
				220	179.3	拔出し	
				221	159.2	拔出し	
				225	210.8	破断	
				227	214.7	破断	
				224	203.7	拔出し	
	221			177.0	拔出し		
	225			158.8	拔出し		
	224			174.0	拔出し		
	223			160.7	破断		
	224			166.3	破断		
	222			176.2	破断		
	305			167.3	破断		
	303			211.5	破断		
	304			194.8	破断		
	301			161.7	破断		
	300			182.2	破断		
	305			159.7	破断		

注) 1) 計測器の不調によるデータ喪失
2) 鋼製パイプからの拔出しのためデータ分析より除外

5. 設計用定着耐力式の提案

5. 1 拔出し破壊する場合

図-9に試験で得られた拔出し破壊した試験体の

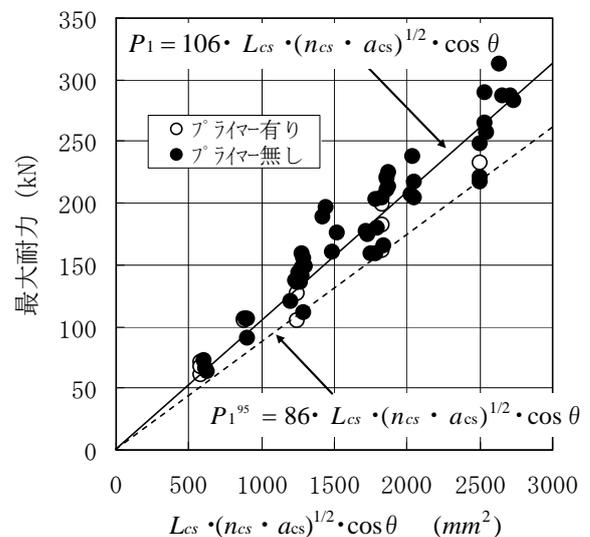


図-9 最大耐力と $L_{cs} \cdot (n_{cs} \cdot a_{cs})^{1/2} \cdot \cos \theta$ の関係

最大耐力と式(2)中の $L_{cs} \cdot (n_{cs} \cdot a_{cs})^{1/2} \cdot \cos \theta$ との関係を示す。図-9に示すとおり、式(2)中の $1.83 \cdot \pi \cdot \tau_b$ が106で、試験で得られた最大耐力と $L_{cs} \cdot (n_{cs} \cdot a_{cs})^{1/2} \cdot \cos \theta$ とは良い相関(相関係数=0.96)を示すことが分かる。この結果から、式(4)は試験データの平均値を表す回帰式として適切であると判断される。

$$P_1 = 106 \cdot L_{cs} \cdot (n_{cs} \cdot a_{cs})^{1/2} \cdot \cos \theta \quad \text{----- (4)}$$

また、式(4)の95%信頼下限である式(5)は、拔出し破壊する場合のCFアンカー埋込部の設計定着耐力式として妥当であると判断される。

$$P_{1^{95}} = 86 \cdot L_{cs} \cdot (n_{cs} \cdot a_{cs})^{1/2} \cdot \cos \theta \quad \text{----- (5)}$$

ちなみに、埋込角度を変化させた試験で抽出した $n_{cs} = 80$ 本、 $L_{cs} = 220\text{mm}$ の試験体の最大耐力を縦軸に、埋込角度 θ を横軸にとってプロットすると図-10のとおりとなり、式(4)および式(5)との適合性は良好であることが確認できる。

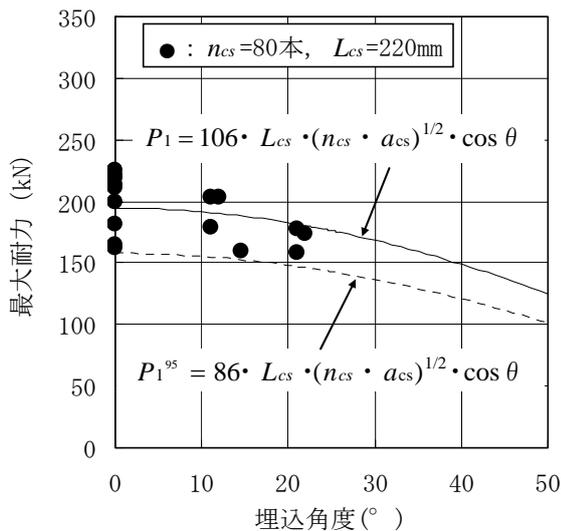


図-10 最大耐力と埋込角度の関係

5. 2 母材破断する場合

次に破断した試験体の結果について分析を行う。分析には、<4. 3>節で得られた破断した試験体の結果の他に、表-5に示す最大50°程度まで埋込角度を設けて行われた試験結果⁶⁾を用いる。両試験で使用しているCFストランドの種類は同一であるが、図-11に示すように、今回の試験で用いているCFストランドの外周には、ポリエステル繊維を巻き付ける織糸処理が施されているが、表-5の試験で用いているCFストランドには織糸処理がなされていない違いがある。両CFストランド中には炭素繊維の素線が同量(24000本)含まれており、全素線の直線性がCFストランドの引張強度に影響を与える。今回の試験で用いたCFストランドの織糸処理

は、この素線の直線性を増す工夫であり、その結果として、織糸処理無しのCFストランドより高い破断耐力を示す。そこで、今回の試験で得られた織糸処理有りデータと表-5に示した織糸処理無しデータを正規化することが有用であると考え、得られたデータを埋込角度0°の破断データの平均値 σ_m (織糸処理有りデータでは 3400 N/mm^2 、織糸処理無しデータでは 2100 N/mm^2) で除した応力度比で検討を行うこととする。応力度比を縦軸に、埋込角度を横軸にプロットすると図-12に示すとおりとなる。

破断する試験データに適合する回帰式モデルとしては、拔出しモデルと同様な $\cos \theta$ で表現できるモデルで、かつ、簡易なモデルが工学的にも有用と考えられることから、 $\cos \theta$ のべき乗で表現できる回帰式を検討した。結果として、図-12に示すような $\cos^3 \theta$ の回帰モデルが良好な適合性を示した。図-13には縦軸を最大強度で表した場合の試験値と回帰式および95%信頼下限式との関係を示す。図-13に示すとおり、破断時の最大強度は、式(6)で、その95%信頼下限は式(7)でそれぞれ表せる。これより、破断する場合のCFアンカー埋込部の定着耐力式およびその95%信頼下限式は、それぞれ、式(6)および式(7)にCFアンカーの断面積を乗じた式(8)および式(9)で表せる。

表-5 試験結果(織糸処理無し)

CFストランドの本数(本)	埋込深さ(mm)	埋込角度(°)	削孔径(mm)	最大耐力(kN)	最大強度 ¹⁾ σ (N/mm ²)
32	149.3	0	12	50.2	1801
	149.5			62.4	2241
	149.4			54.1	1942
	148.4			54.1	1942
	149.2			55.2	1982
	149.1			58.3	2092
	148.8			69.4	2494
	148.1			55.7	1999
	148.8			67.7	2433
	149.2			42.3	1520
	150.9	43.9	1576		
	149.0	36.9	1327		
	148.1	46.2	1658		
	150.7	41.6	1492		
	160.3	23.4	840		
	149.2	24.5	880		
	153.0	21.8	784		
	152.5	23.9	857		
	151.4	18.6	667		

注) 1) 最大耐力 ÷ CFアンカーを構成するCFストランド束の断面積
 ・埋込角度0°の破断データの平均値 = $2103 \text{ N/mm}^2 \approx 2100 \text{ N/mm}^2$
 ・すべて破断破壊

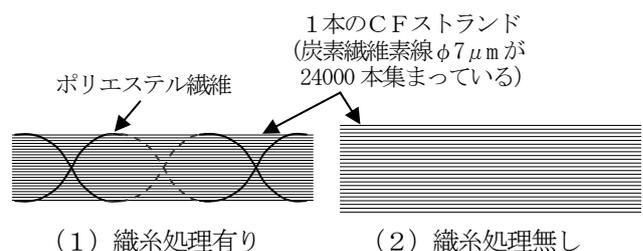


図-11 CFストランドの処理

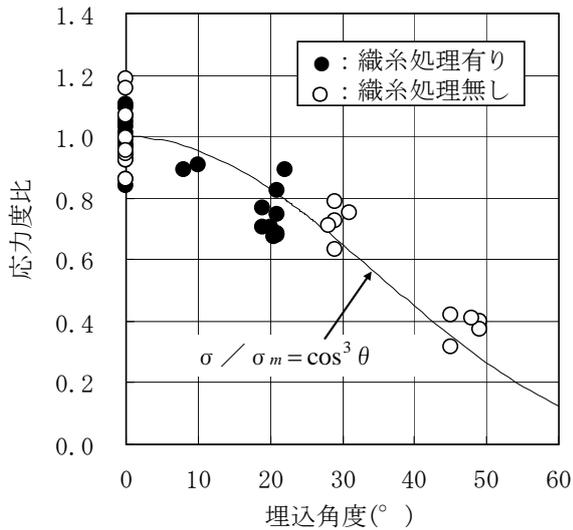


図-12 応力度比と埋込角度の関係

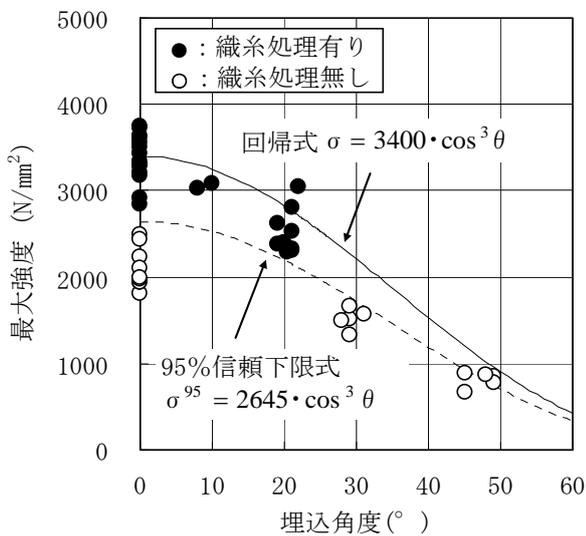


図-13 最大強度と埋込角度の関係

以上のことから、繊維処理したCFアンカーが破断する場合のCFアンカー設計定着耐力式として式(9)が適切であると判断される。

$$\sigma = 3400 \cdot \cos^3 \theta \quad \text{----- (6)}$$

$$\sigma^{95} = 2645 \cdot \cos^3 \theta \quad \text{----- (7)}$$

$$P_2 = 3400 \cdot n_{cs} \cdot a_{cs} \cdot \cos^3 \theta \quad \text{----- (8)}$$

$$P_2^{95} = 2645 \cdot n_{cs} \cdot a_{cs} \cdot \cos^3 \theta \quad \text{----- (9)}$$

5. 3 設計用定着耐力式

< 5. 1 >節で求めた抜出し破壊する場合の定着耐力式と< 5. 2 >節で求めた破断する場合の定着耐力式を重ね合わせると、CFストランド本数 80 本からなるCFアンカーのデータは、図-14に示すとおりとなる。なお、図-14中の●は、CFストランド80本からなるCFアンカーをコンクリート上面へ貼り付けたCFシート上へ貼り付け、CFアンカー埋込部側を引っ張った場

合(図-15参照)のCFアンカーの折曲がり箇所での破断データ⁷⁾である。図-14から、データのばらつきを除けば、 $n_{cs} = 80$ 本で埋込深さが300mmの試験体では、CFアンカーの破断で、 $n_{cs} = 80$ 本で埋込深さが220mmのものでは抜出しでそれぞれ最大耐力が決定されることになる。両データの回帰曲線は埋込角度 24.9° で交差しており、この交点より角度が大きくなると破断しやすくなるものと考えられる。

また、両データの95%信頼下限式を求めると式(10)で表現でき、これをプロットすると図-16の太線となる。確認のため、CFストランド本数40本からなるCFアンカーの同様のデータを図-17に示す。図-17中の●は、繊維処理無し、CFストランド本数32本からなるCFアンカーのデータを繊維処理有り、CFストランド本数40本の場合に補間した結果である。図-16および図-17に示すとおり、試験データはいずれも式(10)で安全側に評価されており、式(10)はCFアンカー埋込部の設計定着耐力式として妥当であると判断される。

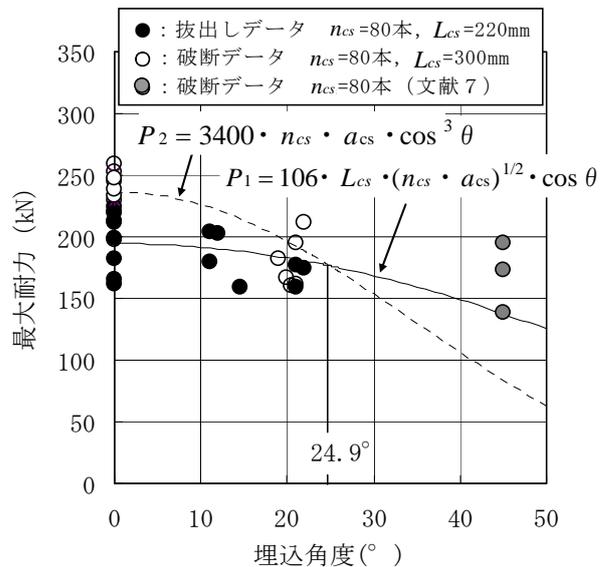


図-14 最大耐力と埋込角度の関係(回帰式)

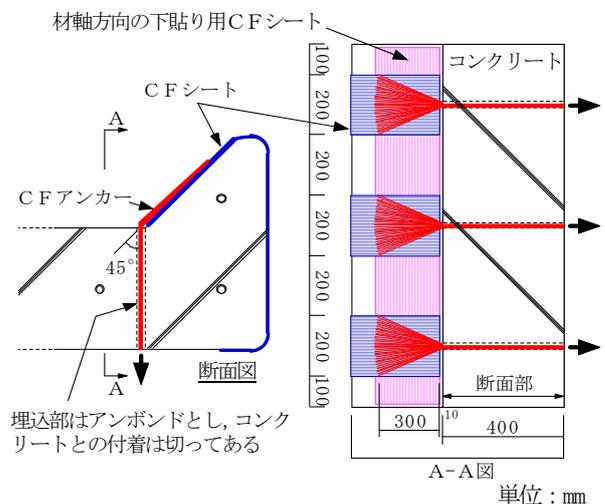


図-15 45° データ用試験体⁷⁾

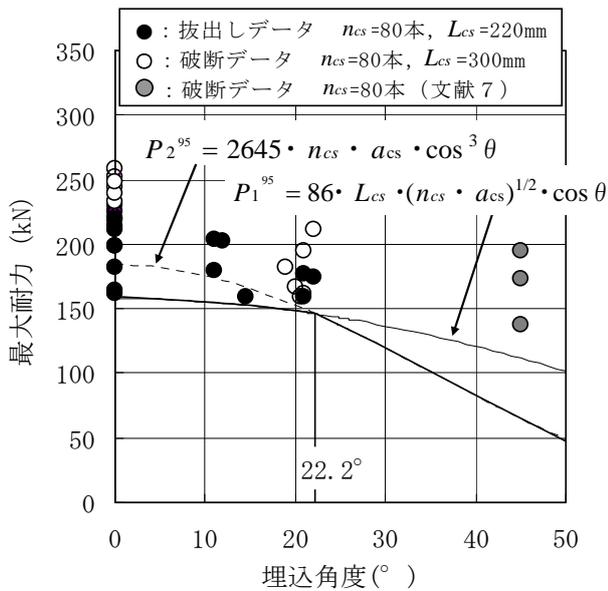


図-16 最大耐力と埋込角度の関係 (95%信頼下限式)

ここで、式(10)はあくまで試験データに基づく回帰式であり、明確な破壊メカニズムによるものでないことから、試験データの範囲である、埋込深さ100~300mm、埋込角度 $0 \leq \theta \leq 50^\circ$ をそれぞれ適用範囲とする。また、コンクリート強度が非常に低い場合には、コンクリートと樹脂界面で破壊が生じることも考えられるため、コンクリートの圧縮強度は 21N/mm^2 以上を適用範囲とする。

なお、 $\langle 2.2 \rangle$ 節で示した反力の取り方による低減を考慮すると、一部のデータが式(10)を若干下回るが、ほとんど問題はないと考える。

$$P_d = \text{Min} \left\{ 86 \cdot L_{cs} \cdot (n_{cs} \cdot a_{cs})^{1/2} \cdot \cos \theta, \quad 2645 \cdot n_{cs} \cdot a_{cs} \cdot \cos^3 \theta \right\} \quad \text{---(10)}$$

ここに、 L_{cs} : 埋込深さ (mm)
 n_{cs} : CFストランド本数 (本)
 a_{cs} : CFストランド1本の断面積 ($\approx 0.87\text{mm}^2$)
 θ : 埋込角度 ($^\circ$)

6. まとめ

CFシート端部を合理的に定着するCFアンカーの破壊モードに準じた埋込部の設計定着耐力式について検討を行った。本試験より得られた知見を以下に示す。

- (1) CFアンカー埋込部は、樹脂部とCFアンカー界面の付着破壊(拔出)あるいはCFアンカー破断のいずれかのモードで破壊する。
- (2) CFアンカー埋込部が拔出しあるいは破断する場合の定着耐力式を導出した

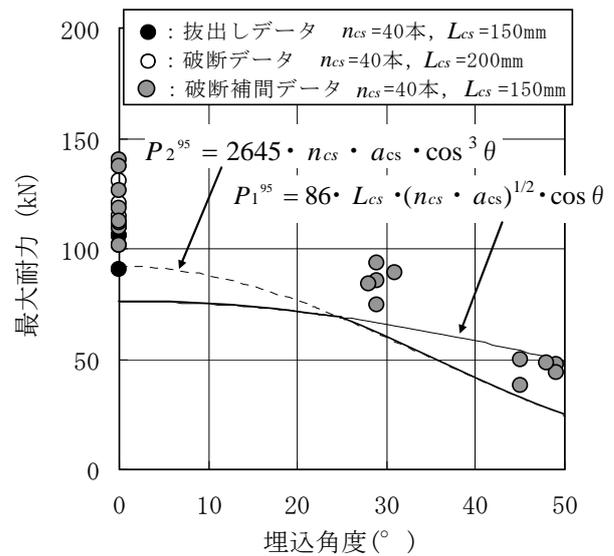


図-17 最大耐力と埋込角度の関係 (CFストランド本数が40本の場合)

- (3) (2) で得られた式の95%信頼下限式を組み合わせ、CFアンカー埋込部設計定着耐力式として提案した。

参考文献

- 1) 清水建設他：炭素繊維シート端部定着材料「CFアンカー」、建設技術審査証明報告書、建技審証第0603号、2006.11
- 2) 池谷純一、塚越英夫：炭素繊維シートとCFアンカーを用いた耐震補強工法におけるCFアンカー扇部の接着耐力、構造工学論文集 Vol. 54A, pp. 353-359, 2008.3
- 3) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説、pp. 210-212, 1985
- 4) 守屋嘉晃、橋本敏男、高橋仁、川上修、伊藤嘉則：接着系あと施工アンカーの引き抜き耐力に及ぼす各影響因子に関する研究(その1 実験結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集C-2, pp. 71-72, 2002.8
- 5) SR-CF工法研究会：既存建築物の耐震改修設計施工指針 SR-CF工法(改訂版)、建築防災協会技術評価書、建防災発第1978号, pp. 8.11-8.12, 2006.6
- 6) 塚越英夫、神野靖夫、池谷純一：炭素繊維ストランドアンカー(CFアンカー)の引抜き性状、日本建築学会大会学術講演梗概集C-2, pp. 421-422, 2000.9
- 7) 池谷純一、塚越英夫、杉山哲也：埋込部との間に角度を有するCFアンカー扇部の接着耐力、土木学会第62回年次学術講演会, pp. 735-736, 2007.9

(2008年9月18日受付)