

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

Adhesive strength between CF-anchor and carbon fiber sheet using seismic strengthening

池谷純一*, 塚越英夫**

Jun'ichi Iketani and 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 many 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, and (3) The construction period is long because after fixing the steel plates and anchor bolts, resin should be injected between the carbon fiber sheets and the steel plates. Then, an alternative fixing method using CF-anchors, which consists of bundles of carbon fiber strands, was developed, the equation of adhesive strength between CF-anchor and carbon fiber sheet was proposed and compared the calculation adhesive strengths with the experimental data. The result said that the experimental strengths were good agreement with adhesive strengths calculated using the proposal equation.

Keywords : Carbon Fiber Sheet, Seismic Strengthening, CF-anchor, Adhesive Strength

炭素繊維シート, 耐震補強, CFアンカー, 接着耐力

1. はじめに

図1に示す2柱I型断面形状を有する橋脚の壁部を炭素繊維シート(以下, CFシートと略称する)を用いてせん断補強を施す場合は, 従来, 図2および写真1に示す鋼製ブラケット^{1)~3)}を用いたCFシート端部の定着方法が採用されてきた。鋼製ブラケットによる端部定着は, 図3に示すように, 壁部CFシートの引張力 P_s に対して, 鋼製ブラケットの柱面端部を支点とした力($=P_s \cdot B/A$)がアンカーボルトに作用することとなり, 大きな定着耐力が必要となる。このためアンカーボルト径は太くなり, 埋込深さも長くなるため, 躯体内部の鉄筋や鉄骨が削孔の妨げになることも多い。また, 鋼製ブラケットは重量が重く, その取付けには揚重機を必要とするため作業には危険が伴う。更に, 躯体コンクリート表面には多少の凹凸があり, 貼り付けられたCFシート表面も十分な平滑面とはならない。その結果, 取り付けられ

る鋼製ブラケットとCFシートとの間にはすき間が生じ, このすき間を埋める目的で, 鋼製ブラケットとCFシートとの間には樹脂注入が必要となり, 作業工程が多くなるために工期も長くなる。これらの背景から, CFシート端部の効率的な定着工法の開発が求められている。

以上を鑑み, 筆者らは写真2に示す, 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」をCFシートの端部定着材料として新たに開発した⁴⁾。このCFアンカーは, 使用しているCFストランドの外側をポリエステル繊維で螺旋状に巻き付けて, 構成している炭素繊維素線の直線性を良くし, 扇部先端は厚紙で挟み

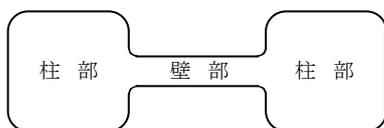


図1. 橋脚断面形状

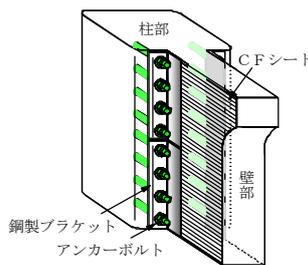


図2. 鋼製ブラケットによる定着



写真1. 鋼製ブラケット

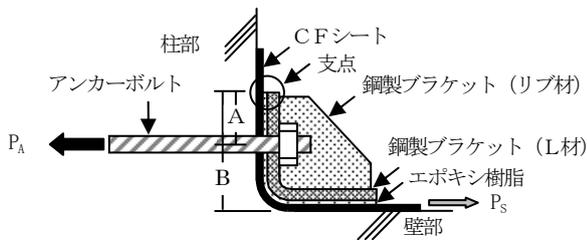


図3. 鋼製ブラケットを用いた場合のアンカー部への応力伝達

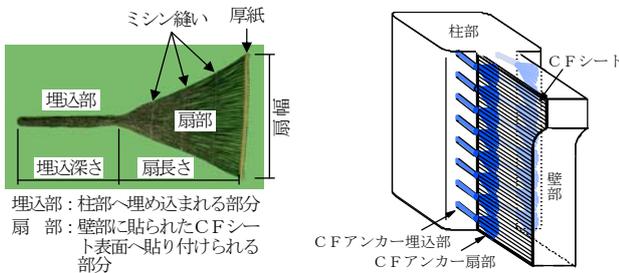


写真2. CFアンカー 図4. CFアンカー取付け概念図

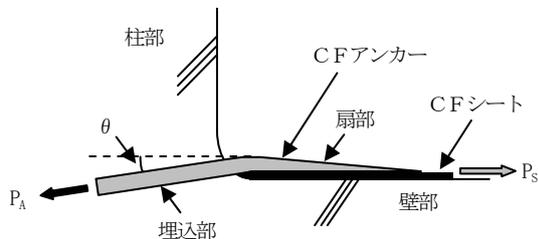


図5. CFアンカーを用いた場合の埋込部への応力伝達

込んでミシン縫いして、CFストランドの配列密度を均一にし、かつ、扇先端部の幅を一定に保つようになっている。また、扇部を構成しているCFストランドの直線性を確保するため、扇部の数箇所にも厚紙と平行に特殊なミシン縫いを施してある。2柱I型断面橋脚の壁部CFシート端部は、図4に示すような状態でCFアンカーによって定着される。ここで、図5に示すように、壁部CFシートに引張力 P_S が作用した場合は、CFアンカー埋込部には角度 θ に起因した力($P_S/\cos\theta$)が作用することとなるが、これは、鋼製ブラケットの場合のアンカーボルトに作用する力に比べて小さく、効率的である。

このCFアンカーを実構造物に使用するには、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アンカー扇部の幅、長さ、CFストランド本数およびCFアンカー埋込部の埋込深さである。従って、CFアンカーを適用するためには、CFシートとの接着耐力および埋込部のコンクリートとの定着耐力の2つの設計式を構築する必要がある。本論文では、この内の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ている。

なお、筆者らは既に建築構造物の補強に用いるCFアンカーを開発⁵⁾しており、数多くの建築案件に適用して

きた。しかし、建築用のCFアンカーは、CFストランドを作業者の手によって必要量束ねて作製すると共に、扇長さ200mm、扇幅200mmを最大寸法としていた。そこで、規模の大きな土木構造物の補強が効率的に行えるよう、施工や品質管理が容易な工場製作CFアンカーを新たに開発すると共に、大きなCFアンカー扇部を使用可能とするため、新たな試験を実施した。

2. CFアンカー扇部の接着耐力モデルの仮定

これまでに行った試験^{6), 7)}により、以下の知見が得られている。

(1) CFシート上面へ貼り付けたCFアンカー扇部に引張力を作用させると、CFアンカーはCFシート上面から剥離して破壊に至る。ここで、扇幅100mm、扇長さ750mm、CFストランド本数20本の試験体の破壊過程をみると、ある荷重に達した時点でCFアンカーは扇部の要から扇先端側のある領域まで音を立てて剥離破壊し、荷重は一旦低下するが、剥離していない次の領域に応力が移り、再び荷重を増しながら剥離破壊を繰り返す。その後、荷重は増加することなく、ほぼ一定の荷重に到達する毎に、はく離破壊を繰り返して最終破壊に至る。これより、CFアンカー扇部には、接着有効長さが存在すると仮定できる。

(2) 同一の扇形状であっても、CFアンカーを構成するCFストランド本数が増すと最大耐力は大きくなる傾向にある。しかし、CFストランド1本当当たりの接着強度はCFストランド本数の増加とともに低下する。このことから、CFストランド1本がその接着力を有効にCFシート側へ伝達する有効幅が存在し、CFストランド密度が疎である場合にはその有効幅は十分に取れるが、CFストランドが過密になってくるとその有効幅が重なり合い、接着幅を分け合うことが考えられる。すなわち、CFストランド1本当当たりの接着有効幅が存在すると考えられる。

(3) CFアンカー扇部剥離後の剥離面には、写真3に示すようなひび割れが認められる。これは、扇部貼付けに用いた含浸接着樹脂に引張試験時の応力伝達状況が映し出されたものであり、このひび割れは扇部左右両端近傍では、CFストランドに対してほぼ 90° の角度で表れている。このことは、扇部に作用する引張応力は、扇部から先端方向へ左右一直線上に伝達されるのではなく、円弧状に伝達されていることを示している。この扇部角度に起因する引張応力の伝達面積 $\triangle ABH$ は、左右一直線上に伝達される場合の面積 $\triangle ABC$ の $\cos^2(\alpha/2)$ 倍となる。これは、扇部角度が大きくなるに従い、CFアンカー扇部の引張応力伝達面積が小さくなる、すなわち、扇部の接着耐力が低下することを意味している。

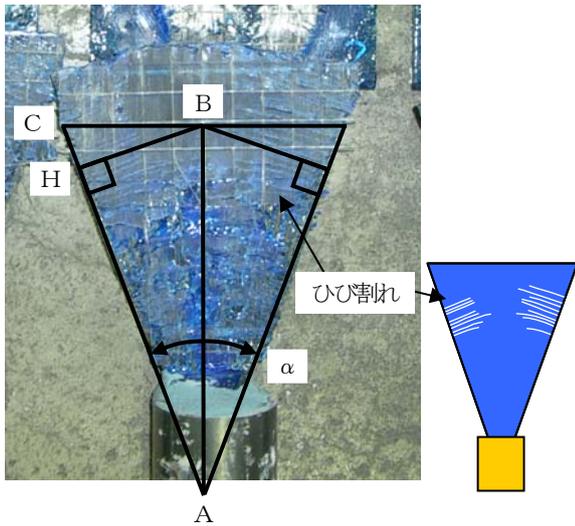
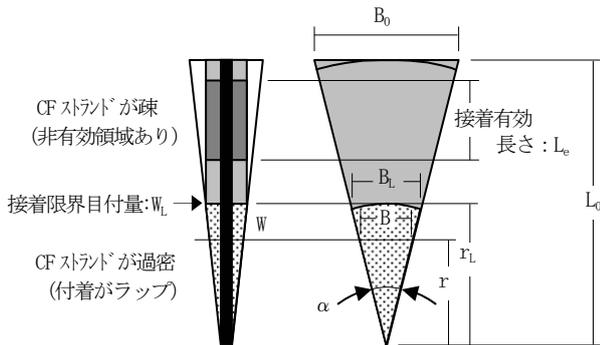


写真3. CFアンカー扇部剥離面に生じたひび割れ

(1) ~ (3) の知見に準じて接着耐力式の誘導を試みる。CFアンカーの長さ方向に接着有効長さを設け、その中のCFストランドの接着有効面積を算出し、これに含浸接着樹脂の引張せん断接着強さを乗じ、更には、CFアンカー扇要部の角度に起因する接着耐力低減量を加味した図6に示すようなモデルを仮定する。



CFストランド1本イメージ 扇全体イメージ
図6. CFアンカー扇部の接着有効面積イメージ図

ここに、

- B_0 : CFアンカー扇部の配置ピッチ (mm)
- n_{cs} : CFアンカー扇部に配置するCFストランド本数 (本)
- a_{cs} : CFストランド1本の断面積 ($=0.87\text{mm}^2$)
- ρ_f : 炭素繊維密度 ($=1.8\text{ g/cm}^3$)
- d_{cs} : n_{cs} 本のCFストランドを含浸接着樹脂で硬化させた時の扇部要の直径 ($=1.83 \cdot (n_{cs} \cdot a_{cs})^{1/2}\text{ mm}$)
- L_0 : CFアンカー扇部の扇長さ (mm)
- L_e : 接着有効長さ (mm)
- r : CFアンカー扇部の要からの距離 (mm)
- B : CFアンカー扇部の要からの距離 r における扇幅 (mm)
- W : CFアンカー扇部の要からの距離 r における目付量 (g/mm^2)

前記のモデルに対して、接着耐力式を誘導すると、 $r=0$: $B=d_{cs}$, かつ、 $r=L_0$: $B=B_0$ であることから、CFアンカー扇部の要からの距離 r における扇幅 B および目付量 W は、

$$B = (B_0 - d_{cs}) \cdot r / L_0 + d_{cs} \quad \dots \quad (1)$$

$$W = 1000 \cdot n_{cs} \cdot a_{cs} \cdot \rho_f / B$$

$$\therefore W = 1000 \cdot n_{cs} \cdot a_{cs} \cdot \rho_f / \{(B_0 - d_{cs}) \cdot r / L_0 + d_{cs}\} \quad \dots \quad (2)$$

となる。

ここで、CFストランド n_{cs} 本が接着有効幅間隔で配置された場合の目付量を接着限界目付量 W_L と定義し、CFアンカー扇部の要から目付量 W_L となる位置までの距離を r_L 、その位置での扇幅を接着限界幅 B_L とおけば、

$$W_L = 1000 \cdot n_{cs} \cdot a_{cs} \cdot \rho_f / B_L$$

$$\therefore B_L = 1000 \cdot n_{cs} \cdot a_{cs} \cdot \rho_f / W_L \quad \dots \quad (3)$$

$$W_L = 1000 \cdot n_{cs} \cdot a_{cs} \cdot \rho_f / \{(B_0 - d_{cs}) \cdot r_L / L_0 + d_{cs}\}$$

$$\therefore r_L = \{(1000 \cdot n_{cs} \cdot a_{cs} \cdot \rho_f) / W_L - d_{cs}\} \cdot L_0 / (B_0 - d_{cs}) \quad \dots \quad (4)$$

となる。

よって、CFアンカー扇部の要からの距離 r におけるCFストランド n_{cs} 本の扇幅 B は、

$$r \leq r_L : B = (B_L - d_{cs}) \cdot r / r_L + d_{cs}$$

$$r \geq r_L : B = B_L$$

となる。

実用上の観点から、扇長さ L_0 を接着有効長さ L_e より大きくすることを前提とすれば、CFアンカー扇部接着耐力を算出するのに必要な接着有効面積 A_{be} は、扇先端から接着有効長さ L_e までの範囲として、

$$L_e \leq L_0, \text{ かつ、 } r_L \leq L_0 - L_e \text{ の場合}$$

$$A_{be} = B_L \cdot L_e \quad \dots \quad (5)$$

$$L_e \leq L_0, \text{ かつ、 } L_0 - L_e \leq r_L \leq L_0 \text{ の場合}$$

$$A_{be} = B_L \cdot \{(L_0 - r_L) + \{(B_L - d_{cs}) \cdot (L_0 - L_e) / r_L + d_{cs} + B_L\} \cdot (r_L - L_0 + L_e) / 2\} \quad \dots \quad (6)$$

$$L_e \leq L_0, \text{ かつ、 } L_0 \leq r_L \text{ の場合}$$

$$A_{be} = \{(B_L - d_{cs}) \cdot (2 \cdot L_0 - L_e) / r_L + 2 \cdot d_{cs}\} \cdot L_e / 2 \quad \dots \quad (7)$$

となる。

従って、CFアンカー扇部角度 α に起因する接着耐力低減量も考慮すると、CFアンカー扇部接着耐力 P_{bl} は、次式で表せる。

$$P_{bl} = \tau_p \cdot A_{be} \cdot \cos^2(\alpha/2) \quad \dots \quad (8)$$

ここに、 τ_p : 含浸接着樹脂の引張せん断接着強さ ($=12.8\text{ N/mm}^2$, メーカー規格値の最低値を採用)

仮定したモデルでは、接着限界目付量 W_L と接着有効長さ L_e を決定する必要があるが、これらはCFアンカー扇部貼付けに用いる含浸接着樹脂の接着特性によるため、次章に示す試験結果を基に、別途算出することとする。

3. CFアンカー扇部の接着耐力の検証試験

CFアンカー扇部のCFシートとの接着耐力を確認す

る試験方法の基準はない。そこで、〈3. 2. 1〉項に示すコンクリートを用いた試験方法を考案した。しかし、この方法は実際の使用状況をほぼ再現しているが、その製作や加力方法が大がかりになるため、前章に示した扇部接着耐力モデルの妥当性を確認するのに十分な数の試験を実施するのは困難である。そこで、〈3. 2. 2〉項に示す鋼板を用いた試験を実施し、その結果からCFアンカー扇部の接着耐力式の妥当性を検証することとした。ただし、鋼板下地は実際の使用状況とは異なるため、標準的な試験をコンクリート下地と鋼板下地の両方で実施して両者の最大耐力比（コンクリート下地の耐力／鋼板下地の耐力）を求め、鋼板下地で得られた接着耐力式を、この最大耐力比により補正して、実際の使用状況（コンクリート下地）における接着部の設計接着耐力式にすることとした。なお、既設構造物のコンクリート表面は、適切な施工により補修されていることを前提とする。

3. 1 使用材料

表1に使用材料の性質を示す。

表1. 使用材料の性質

使用材料	性質
CFシート	引張強度 3400N/mm ² 以上, 弾性係数 210 ~ 269kN/mm ²
CFストランド	繊維素線数 24K, 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
CFシート用含浸接着樹脂	引張強度 29N/mm ² 以上, 曲げ強度 39N/mm ² 以上, 引張せん断接着強さ 9.8N/mm ² 以上
CFアンカー用含浸接着樹脂	引張強度 29N/mm ² 以上, 曲げ強度 39N/mm ² 以上, 引張せん断接着強さ 12.8N/mm ² 以上
プライマー	コンクリート付着強度 1.9N/mm ² 以上
コンクリート	呼び強度 18 N/mm ² , 試験時圧縮強度 31.1N/mm ²

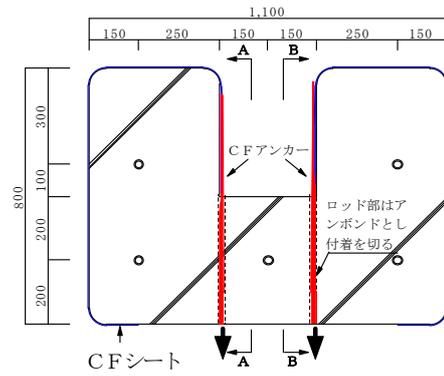
3. 2 試験体の作製および試験方法

3. 2. 1 コンクリート下地の場合

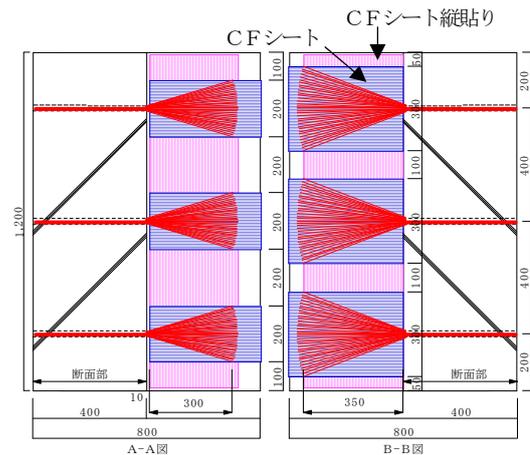
表2に試験体一覧を、図7に試験体の形状をそれぞれ示す。図8に示すように、試験体の加力は、コンクリートを貫通させ、裏面へ突き出させたCFアンカー埋込部に定着した鋼製パイプを、センターホール型油圧ジャッキを用いて引っ張ることにより行った。なお、CFアンカーを構成するCFストランド束の断面積($n_{cs} \cdot a_{cs}$)は、CFアンカーの扇幅に対応するCFシートの断面積とほぼ同程度とした。

表2. 試験体一覧 (コンクリート下地, 各3体)

CFシート		CFアンカー		
目付量 (g/m ²)	層数 (層)	CF ストランド 本数 (本)	扇幅 (mm)	扇長さ (mm)
300	2	80	200	300
200			300	350



(1) 平面図



(2) 断面図

図7. CFアンカー扇部接着耐力確認試験体 (コンクリート下地)

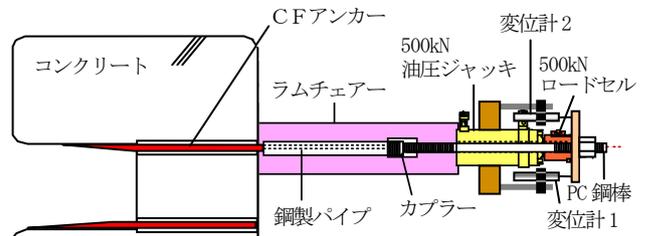


図8. CFアンカー扇部接着耐力確認試験方法 (コンクリート下地)

3. 2. 2 鋼板下地の場合

表3に試験体一覧を、図9に試験体の形状をそれぞれ示す。写真4に示すように、試験体の加力は、アムスラー型万能試験機を用いて行った。なお、CFアンカーを構成するCFストランド束の断面積($n_{cs} \cdot a_{cs}$)は、図9(2)試験体ではCFアンカーの扇幅に対応するCFシートの断面積とほぼ同程度、(1)試験体ではCFシートの破断を避けるため、CFシートの断面積以下とした。

4. 試験結果

4. 1 コンクリート下地の場合

表4に試験結果を示すが、最大耐力の平均値は、扇幅 200mm/扇長さ 300mm で 169.4N/mm², 扇幅 300mm/扇長さ

表3. 試験体一覧 (鋼板下地, 各3~8体)

CFシート		CFアンカー		
目付量 (g/m ²)	層数 (層)	CFスラット 本数 (本)	扇幅 B ₀ (mm)	扇長さ L ₀ (mm)
300	2	20	100	200
300	3	40	100	200
300	2	40	100	300
300	3	40	100	300
300	2	40	100	400
300	2	40	100	500
300	3	40	100	500
300	2	40	100	750
200	2	50	200	200
300	3	60	100	200
300	3	60	100	300
300	3	60	100	500
300	3	60	100	750
300	3	80	200	200
300	2	80	200	300
300	2	80	200	400
200	2	80	300	350
200	2	90	350	350
200	2	110	400	350

注) 表中の網掛けの試験体は図9(1), その他は(2)の構成の試験体

□ は, コンクリート下地との比較用試験体

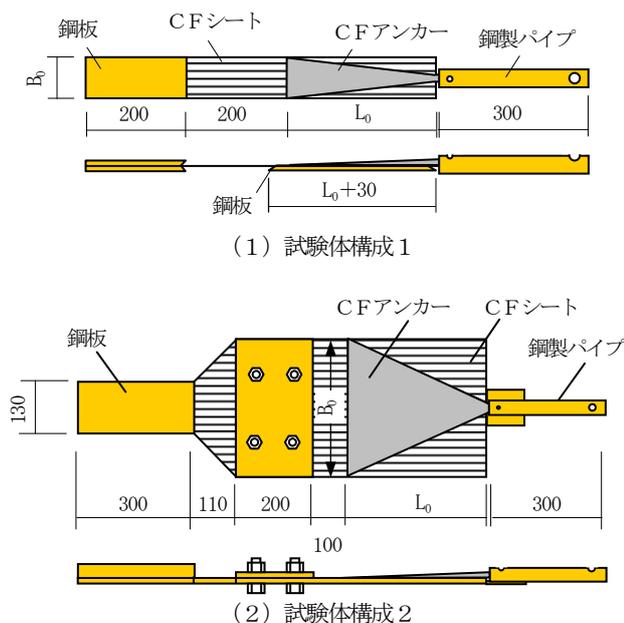


図9. CFアンカー扇部接着耐力確認試験体 (鋼板下地)

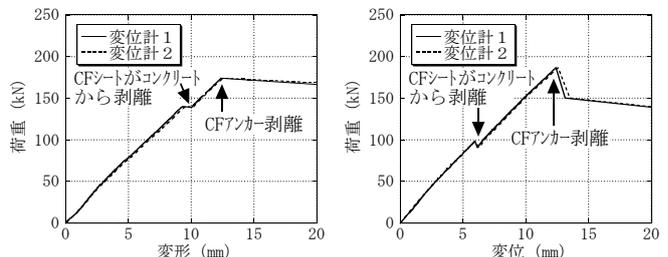


写真4. CFアンカー扇部接着耐力確認試験方法 (鋼板下地)

350mmで182.5N/mm²をそれぞれ記録した. 図10は試験時の荷重-変形関係の一例を, CFアンカー扇部の形状別に示したものである. 図10に示すように, 本試験での破壊の進展は, まずCFシートが下地コンクリートから逐次剥離し, その後, CFアンカーがCFシートから徐々に剥離する順序で生じた. ここで, CFシートのコンクリートからの剥離荷重は, 扇形状によって異なっているが, これは, 主にCFアンカー扇部が貼り付けられているCFシートの厚さ, すなわち, 剛性の違いによるものと考えられる. なお, 図11に示すように, 他の試験⁷⁾で得られたCFアンカー扇部近傍のCFシートの荷重-ひずみ関係では, CFシートのコンクリートからの全体剥離は, 0.4%程度のひずみで生じている. これに対し, 最大耐力は0.9%程度で記録しているため, コンクリート強度が最大耐力に与える影響は小さいものと考えられる.

表4. CFアンカー扇部接着耐力試験結果 (コンクリート下地)

CFスラット本数 (本)	扇幅 (mm)	扇長さ (mm)	扇要 角度 (°)	最大 耐力 (kN)	平均 耐力 (kN)	破壊状況
80	200	300	37	160.5	169.4	CFアンカー剥離
				173.5		CFアンカー剥離
				174.1		CFアンカー剥離
	300	350	46	186.5		CFアンカー剥離
				179.9		CFアンカー剥離
				181.2		CFアンカー剥離



(1) 扇幅200mm/扇長さ300mm (2) 扇幅300mm/扇長さ350mm

図10. 荷重-変形関係

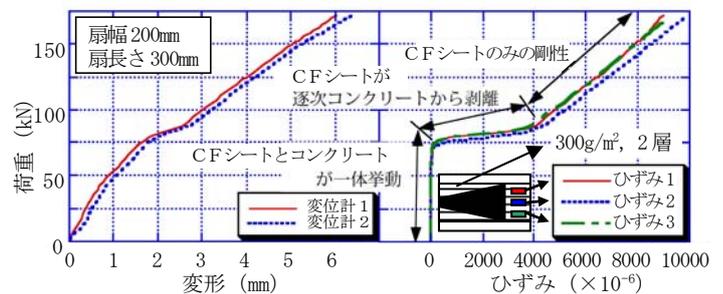


図11. 荷重-変形およびひずみ関係⁷⁾

4. 2 鋼板下地の場合

表5に試験結果を示すが, 破壊状況はすべてCFアンカーの剥離となった. 本試験では, コンクリート下地で認められた最大耐力到達前のCFシートの下地材からの剥離は認められず, 最大耐力を記録した後にCFアンカ

一がCFシートから剥離して最終破壊に至った。表5中の網掛け箇所は、<4.1>節のコンクリート下地の試験と同仕様のCFアンカーを用いた試験体の結果である。鋼板下地による試験結果とコンクリート下地試験結果の最大耐力比を計算すると、扇幅200mmの試験体で「0.81」、

扇幅300mmの試験体で「0.92」とコンクリート下地の方が小さい。これは、コンクリート下地試験体においては、鋼板下地試験体では認められなかった、最終破壊前のCFシートの下地材（コンクリート）からの剥離により、CFシートの面外方向の剛性が低下したことに起因するものと考えられる。以上より、CFアンカー扇部設計接着耐力式を求める際は、最大耐力比の小さい値を丸めた「0.8」を鋼板下地から得られた耐力式に乗じることとした。なお、「0.8」は、少ない試験結果から得られた平均値を丸めて求めたものであり、必ずしも安全側の評価になっているとはいえない。しかし、扇部設計接着耐力は、CFシートのメーカー保証引張強度3400N/mm²を95%信頼下限で満足するよう設定することとしているため、CFシートの実設計引張強度（通常は2300N/mm²程度）に対しては十分安全側の評価となることから、「0.8」をそのまま補正值として採用することとした。

表5. CFアンカー扇部接着耐力試験結果（鋼板下地）

CFストランド本数(本)	扇幅(mm)	扇長さ(mm)	扇要角度(°)	最大耐力(kN)	平均耐力(kN)	破壊状況				
20	200	200	28	64.2	61.5	CFアンカー剥離				
				59.7		CFアンカー剥離				
				60.5		CFアンカー剥離				
				100.5	105.6	CFアンカー剥離				
				108.8		CFアンカー剥離				
				107.4		CFアンカー剥離				
	40	100	300	19	133.2	119.1	CFアンカー剥離			
					135.5		CFアンカー剥離			
					92.4		CFアンカー剥離			
					127.0	106.8	CFアンカー剥離			
					113.2		CFアンカー剥離			
					113.4		CFアンカー剥離			
400		14	14	107.4	106.8	CFアンカー剥離				
				101.8		CFアンカー剥離				
				111.2		CFアンカー剥離				
				132.0	124.3	CFアンカー剥離				
				135.6		CFアンカー剥離				
				149.2		CFアンカー剥離				
500	11	11	98.6	124.3	CFアンカー剥離					
			109.2		CFアンカー剥離					
			121.2		CFアンカー剥離					
			750	8	8	107.2	100.1	CFアンカー剥離		
						95.0		CFアンカー剥離		
						98.0		CFアンカー剥離		
50	200	200				53	120.4	127.2	CFアンカー剥離	
							134.2		CFアンカー剥離	
							132.4		CFアンカー剥離	
			118.0	125.2	CFアンカー剥離					
			131.0		CFアンカー剥離					
			117.4		CFアンカー剥離					
	60	100	300	19	125.4	127.7	CFアンカー剥離			
					129.6		CFアンカー剥離			
					155.4		CFアンカー剥離			
					500	11	11	138.6	141.0	CFアンカー剥離
								129.0		CFアンカー剥離
								143.8		CFアンカー剥離
80	200	200	53	123.1				133.6	CFアンカー剥離	
				134.0					CFアンカー剥離	
				172.0					CFアンカー剥離	
				80	200	300	37	160.5	165.2	CFアンカー剥離
								163.0		CFアンカー剥離
								210.0		CFアンカー剥離
80	200	400	28					214.0	208.0	CFアンカー剥離
								200.0		CFアンカー剥離
								247.0		CFアンカー剥離
				80	200	350	46	257.0	246.3	CFアンカー剥離
								235.0		CFアンカー剥離
								175.0		CFアンカー剥離
80	300	350	46					197.5	197.5	CFアンカー剥離
								202.5		CFアンカー剥離
								203.0		CFアンカー剥離
				90	350	350	53	209.5	204.3	CFアンカー剥離
								217.0		CFアンカー剥離
								210.0		CFアンカー剥離
110	400	350	59					195.0	228.5	CFアンカー剥離
								195.0		CFアンカー剥離
								189.0		CFアンカー剥離
				220.0	228.5	CFアンカー剥離				
				190.0		CFアンカー剥離				
				218.0		CFアンカー剥離				
110	400	350	59	220.5	228.5	CFアンカー剥離				
				222.5		CFアンカー剥離				
				231.0		CFアンカー剥離				
				110	400	350	59	248.5	228.5	CFアンカー剥離
								220.0		CFアンカー剥離
								220.0		CFアンカー剥離

注) 表中の網掛け箇所のCFアンカーの仕様は、<4.1>節と同じ

5. CFアンカー扇部設計接着耐力式

2章で仮定したモデルに対して、CFアンカー扇部の貼付けに用いる含浸接着樹脂の接着特性によって決まる、接着限界目付量 W_L と接着有効長さ L_e を決定する必要がある。そこで、4章で得られた試験データによる W_L および L_e の各種組合せにおけるCFアンカー扇部接着耐力（計算値）と試験で得られた接着耐力（試験値）の相関を求め、相関係数が最大となる W_L および L_e の組合せの検討を行った。その結果、 $W_L=840\text{g/m}^2$ 、 $L_e=125\text{mm}$ とすることで、図12に示すような相関が得られた。この結果から、2章で仮定したCFアンカー扇部接着耐力モデルは、鋼板試験体による試験結果を良く推定できているとみなせる。このときの回帰式の片側95%信頼下限式は、式(9)となる。

$$P_{bl}^{95}=0.83 \cdot \tau_p \cdot A_{be} \cdot \cos^2(\alpha/2) \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここで、式(9)に前節で算出した最大耐力比「0.8」を乗じた式(10)を実施工されるCFアンカー扇部の設計接着耐力式とする。

$$P_{bd1}=0.66 \cdot \tau_p \cdot A_{be} \cdot \cos^2(\alpha/2) \quad \dots\dots\dots (10)$$

図13に得られた W_L と L_e の組合せ（接着限界目付量 $W_L=840\text{g/m}^2$ 、接着有効長さ $L_e=125\text{mm}$ ）で、目付量300g/m²のCFシート1～3層相当（1層相当：CFストランド本数20本/扇幅100mm、2層相当：CFストランド本数40本/扇幅100mm、3層相当：CFストランド本数60本/扇幅100mm）のCFアンカーの接着耐力ならびに接着強度の試験値と計算結果の関係を示す。ここで、接着強度は、試験で得られた接着耐力をCFアンカーを構成するCFストランド束の断面積で除して応力度としたものである。結果として、得られた式は、CFシートの保証引張強度と等しい3400N/mm²を接着強度上限値に設定して

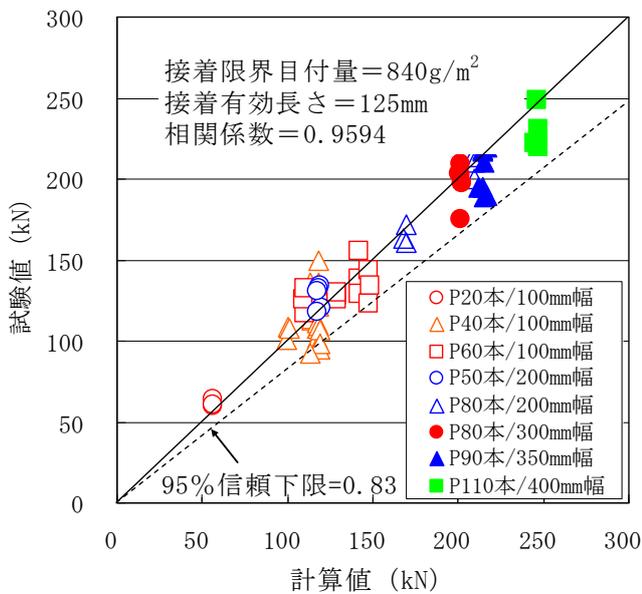
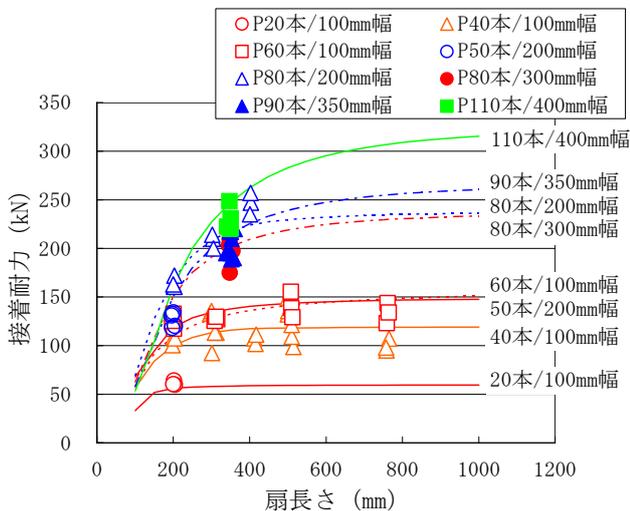
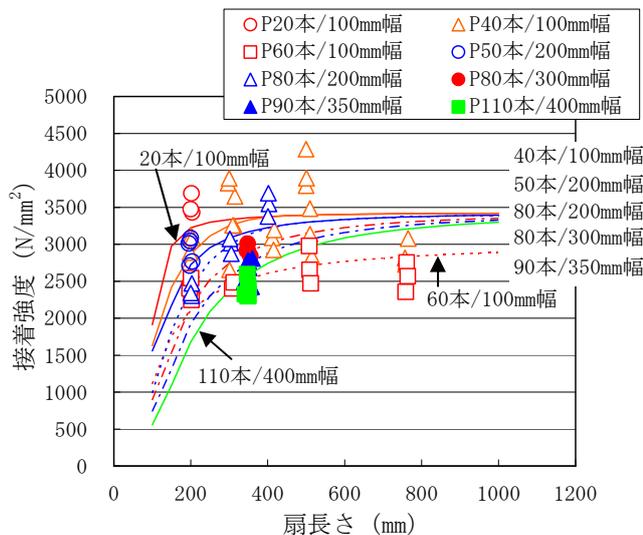


図12. CFアンカー扇部接着耐力試験値と計算値の関係



(1) 接着耐力と扇長さの関係



(2) 接着強度と扇長さの関係

図13. 接着耐力ならびに接着強度の試験値と計算値の関係

おり、1層相当 (CFストランド20本, 扇幅100mm) で扇長さ300mm, 2層相当 (CFストランド本数40本, 扇幅100mm) では400mmでほぼ上限値に達し, それ以上に扇長さを長くしても効果は少なくなることが確認できる。

6. まとめ

CFシート端部を合理的に定着するCFアンカーの扇部設計接着耐力式算定のためのモデルを提案し, その妥当性を試験により検証した. この結果により得られた知見を以下に示す.

(1) CFアンカー扇部のCFシートからの剥離破壊メカニズムから, CFアンカー扇部接着耐力モデルを仮定し, 接着耐力式を導出した.

(2) (1) で得られた接着耐力式から求められる接着耐力計算値は, CFシート下地に鋼板を用いて実施した試験値と良い相関が得られた.

(3) CFシート下地にコンクリートを用いて実施した試験から得られた接着耐力試験値は, 鋼板下地による試験値に0.8を乗じた値として評価できる.

以上のことから, CFアンカー扇部設計接着耐力式として, 式(10)が提案できる.

次は, CFアンカー埋込部設計定着耐力式算定のためのモデルを提案し, その妥当性を試験により確認する予定である.

参考文献

- 1) 有留義朗他, CFRPシートで補強したT型梁の靱性性能, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 20, No. 1, pp. 455-460, 1998
- 2) 堀越貴子他, アラミド繊維シートの端部定着に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 2, pp. 1369-1374, 2002
- 3) 金久保利之他, アラミド繊維シートを用いたRC造T型梁の耐震補強, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 2, pp. 1549-1554, 2003
- 4) 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
- 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, 2006.6
- 6) 杉山哲也他, CFアンカーの定着特性に関する実験的研究 (その1. 鋼板上で定着する場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集C-2, pp. 703-704, 2003.9
- 7) 塚越英夫他, 改良型CFアンカーの定着特性に関する実験的研究 (その2. コンクリート上で定着する場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集C-2, pp. 705-706, 2003.9

(2007年9月18日受付)