

V-25

コンクリートと連続繊維シートの付着強さ

北海道大学工学部	○学生会員	深尾 昌弘
北海道大学大学院	学生会員	出雲 健司
北海道大学大学院	フェロー	佐伯 昇
北海道大学大学院	正会員	堀口 敬

1. はじめに

近年、既存のコンクリート構造物の塩害などによる劣化や交通荷重、交通量の増加などによる損傷が見受けられるようになってきている。また、設計基準強度の見直しや大震災による被害の反省などにより、既存のコンクリート構造物の安全性の強化が要求されている。このために効率のよい補修、補強技術が重要となり、その研究が盛んに行われている。その工法の一つとして、連続繊維シートの接着工法があるが、これは比較的簡便で、耐久性に優れ、軽量なので死荷重に対する影響が少ないなどの利点がある。しかし、シートとコンクリートの付着に関してはほとんど解明されていない。

既往の研究〔1〕、〔2〕において、シートとコンクリートの付着強さの式が算定され、また、既往の研究〔3〕では、付着幅が小さいと単位幅あたりの付着強さが大きくなるという結果が出ている。よって、付着幅に関する補正が必要と思われる。また、既往の研究〔4〕では、付着長 100mm 以下について、付着強さと付着長が比例の関係ではないと考えられるため、さらに検討の余地がある。本研究では、付着長だけでなく付着幅にも着目し、一軸引張による付着試験を行い、シートとコンクリートの付着挙動を評価し、付着強さの式を新たに算定することを目的とした。

表 - 1 シートの物性値

2. 試験概要

2-1 使用材料

本研究ではアラミド繊維シート（以下、AFS）と炭素繊維シート（以下、CFS）の2種類のシートを使用した。表 - 1 にこれらの物性を示す。なおこれらの物性は樹脂を含めた FRP として JIS K 7073 に準じて試験を行った値である。使用したプライマーと接着剤は共にエポキシ系の樹脂である。

繊維の種類	アラミド	カーボン
目付量 (g/m ²)	248	300
比重	1.39	1.80
厚さ (mm)	0.178	0.167
引張強度 (N/mm ²)	2865	4049
引張弾性率 (kN/mm ²)	75	247
破断伸度(%)	3.5	1.6

2-2 供試体と試験方法

図 - 1 に供試体の概略図を示す。図 - 1(a)(b)に示すような 100×100×250 と図 - 1(c)(d)に示すような 100×200×250 の2種類の角柱コンクリートに連続繊維シートを接着した。シートは接着面をディスクサンダーとプライマーで下地処理した後、エポキシ系接着剤を用いて角柱側面に接着した。荷重は埋め込まれた鉄筋を引っ張ることによってシートに与える。なお鉄筋はコンクリートを貫通しているが、中央部で切断されているので鉄筋による荷重の分担をなくしている。また、片側のみで破壊するように、接着したシートの上からさらにシートを巻いて補強し、ゲージを貼ったシート側で破壊するようにした。なおゲージは 5mm のひずみゲージを用い、図 - 1(e)に示すように両側面のシート上に貼り付けた。

載荷方法は載荷速度は 0.5mm/min として、変位制御試験機を用いて試験を行った。

Study on Bond Strength of Concrete with Fiber Sheet

by Masahiro FUKAO, Kenji IZUMO, Noboru SAEKI, Takashi HORIGUCHI

試験は AFS, CFS の 2 種類のシートを用い付着長を 50, 100, 200mm, 付着幅を 40, 80, 160mm と変化させ、コンクリートの目標圧縮強度は 35N/mm^2 で行った。なお付着幅 40, 80mm の時は図 - 1 (a) (b) に示す供試体を、160mm では図 - 1 (c) (d) に示す供試体を用いる。

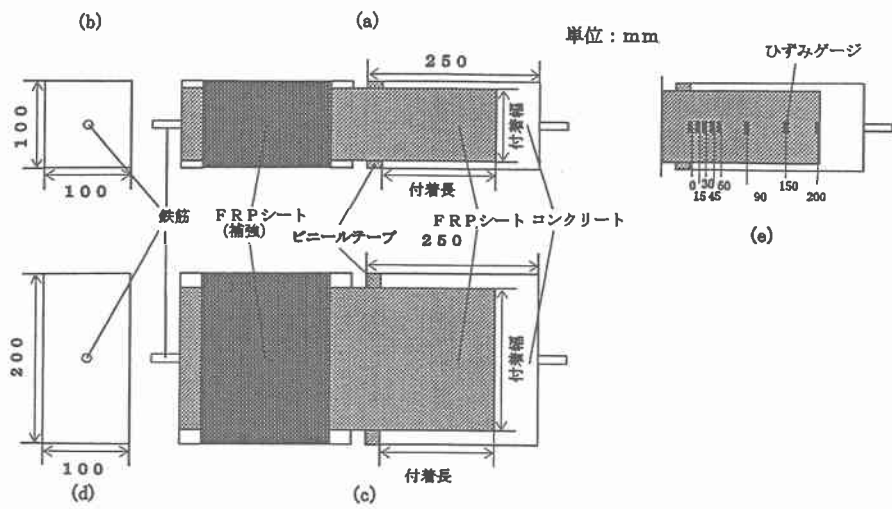
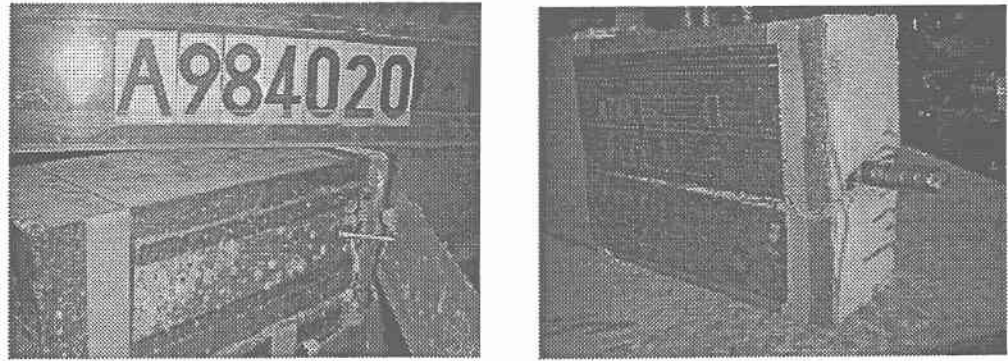


図 - 1 供試体図

3. 試験結果及び考察

3 - 1 破壊パターンについて

一軸引張試験の供試体の破壊状況の写真を図 - 2 に示す。代表的な破壊パターンとして 2 種類のパターンがあった。図 - 2 (a) のようなコンクリートの表面が数 mm とれる状態でシートが剥離して破壊に至るもの (パターン 1) と、図 - 2 (b) のような鉄筋とコンクリートの付着破壊によるもの (パターン 2) である。本研究では、CFS の付着幅 160mm で付着長 100, 200mm の 2 つの供試体でパターン 2 の破壊が見られ、それ以外はパターン 1 であった。今回の付着強さの式の算定において、パターン 1 の破壊が付着機能として最も良好と考えられるので、パターン 1 のみのデータを扱った。



(a)

(b)

図 - 2 供試体の破壊状況図

3 - 2 有効付着長

図 - 3 に有効付着長の算定のための図を示す。まず、図に示す(1)の状態から荷重が増加すると(2)の状態になる。(2)の状態は付着長が L_e に達した状態で、それ以降はあまり荷重が増加せずに剥離領域が進展していき、 L_e が付着長の大きい方にシフトして(3)の状態になり、その後破壊に至る。既往の研究 [3] においても、このような傾向について述べられている。また既往の研究 [1] において、図 - 3 に示す L_e をシートとコンクリートの付着強さに有効に寄与してくる付着長つまり、有効付着長としている。

図 - 1 (e) に示すシート上のゲージ位置とその位置のシートのひずみの関係を荷重ごとにプロットしたものの代表例を図 - 4 に示す。いずれのグラフもゲージ位置 0mm からゲージ位置のプラス方向に応力が伝達していきひずみが増加していき、図 - 3 に示されるものと同じ傾向を示す。これらの図以外の供試体も付着長が 100mm をこえるものは同じように横にシフトする傾向を示している。

ここで図 - 3 に示すように有効付着長を考えると 100mm 程度の値となる。また、既往の研究 [1]、[2] においても、有効付着長を 100mm としており、本研究においても有効付着長 $L_e=100\text{mm}$ として以後の考察を行った。

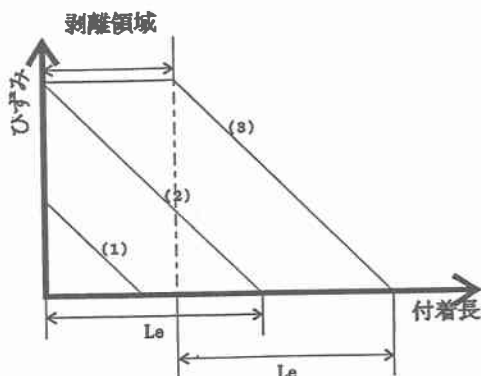


図 - 3 有効付着長の算定図

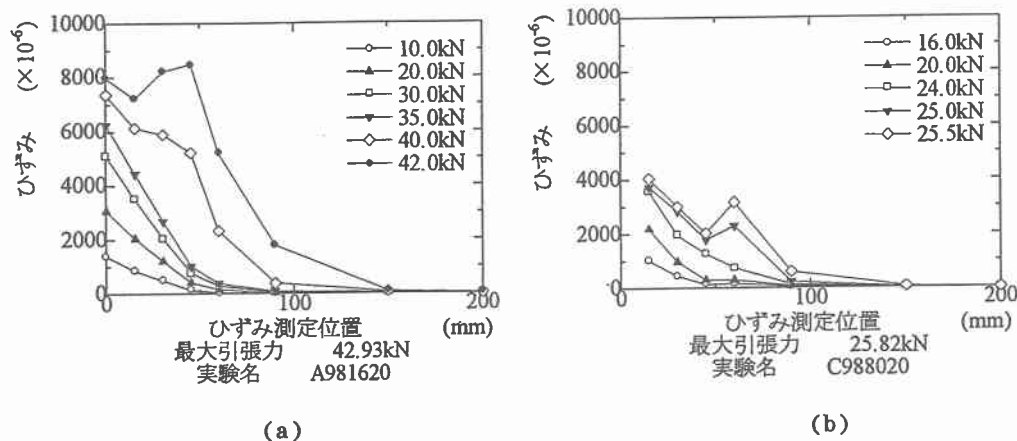


図 - 4 荷重ごとのゲージ位置とその位置でのシートのひずみの関係

4. シートとコンクリートの付着強さの算定

4 - 1 シートとコンクリートの付着強さの算定プロセス

シートとコンクリートの付着強さの算定のための概要を示す。シートとコンクリートの付着強さ B_{cal} は応力とひずみの関係より次式で表せる。

$$B_{cal} = \varepsilon_f \times E_f \times b_f \times t_f \quad (1)$$

ε_f : シートのゲージ位置 0mm における終局ひずみ

E_f : シートの引張弾性係数 (kN/mm^2)

b_f : シートの幅 (mm)

t_f : シートの全厚さ (mm)

既往の研究 [1] において、このパターン 1 の破壊ではコンクリート圧縮強度が高いほど、付着強さが高い傾向があると示されている。また、付着長が有効付着長 L_e 以下の時、付着長が長いほど付着強さは高くなることも示されている。このことから ε_f はコンクリート圧縮強度 f_c と付着長 l_f に依存しているといえる。また、前述したように、既往の研究 [3] より付着幅 b_f に関する補正が必要であると思われる。よって、シートとコンクリートの付着強さ B_{cal} は、 f_c と l_f を考慮して $\varepsilon_{f,cal}$ を求め、 b_f に関する補正を行うことによって算定した。

4 - 2 シートの終局ひずみとコンクリート圧縮強度の関係

既往の研究 [1] と本研究の実験より、繊維別に付着長が L_e 以上で、付着幅が一定 (80mm) の供試体の ε_f と $f_c^{2/3}$ の関係を図 - 5 に示す。付着長 L_e 以上としたのは、本研究では付着長 L_e 以上の付着強さは一定の値を示すと考えているからである。 ε_f は次式によって表せる。

$$\varepsilon_{f,exp} = B_{exp} / (E_f \times b_f \times t_f) \quad (2)$$

B_{exp} : 実験時の付着強さ (kN)

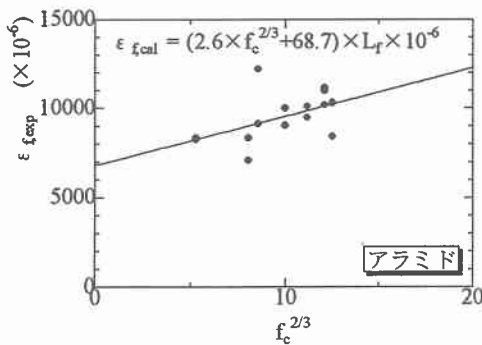
図 - 5 に示されるように、 ε_f と $f_c^{2/3}$ は最小二乗法によって次式に回帰される。

$$\varepsilon_{f,cal} = (2.6 \times f_c^{2/3} + 68.7) \times L_f \times 10^{-6} \quad (AFS) (3a)$$

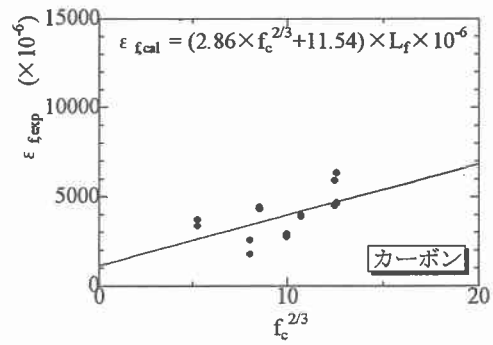
$$\varepsilon_{f,cal} = (2.9 \times f_c^{2/3} + 11.5) \times L_f \times 10^{-6} \quad (CFS) (3b)$$

ただし、 $l_f > 100\text{mm}$ の時 $L_f = 100$

これらの式は、付着長 100mm 以上、付着幅 80mm の場合についてのみ適用できるので、それ以外の場合にも適用できるように補正する必要がある。



(a)



(b)

図 - 5 ε_f と $f_c^{2/3}$ の関係

4 - 3 有効付着長以下の検討

図 - 6 に付着長 L と $q_{exp,L=x} / q_{exp,L=100}$ の関係を示す。データとしては、本研究と既往の研究 [4] のものを用いた。ここで $q_{exp,L=x}$ は単位付着長あたりの実験値の付着強さを表す。同様に $q_{exp,L=100}$ は付着長 100mm の時の単位付着長あたりの実験値の付着強さを表す。ここで $q_{exp,L=x} / q_{exp,L=100}$ はシートの種類、コンクリート圧縮強度、付着幅を一定にして算定した。

図 - 6 に示されるように、最小二乗法によって次式のような二次関数に回帰され、付着長に関する項 L_f が以下ようになる。

$$l_f < 100 \text{ mm}$$

$$L_f = (2.09 \times l_f^2 - 420 \times l_f + 31100) \times l_f \times 10^{-4} \quad (4)$$

$$l_f \geq 100 \text{ mm}$$

$$L_f = 100$$

4-4 付着幅の検討

図-7に付着幅 b_f と $q_{\text{exp},b=x} / q_{\text{exp},b=80}$ の関係を示す。ここで $q_{\text{exp},b=x}$ は単位付着幅あたりの実験値の付着強さを表す。同様に $q_{\text{exp},b=80}$ は付着幅 80mm の時の単位付着幅あたりの実験値の付着強さを表す。ここでも $q_{\text{exp},b=x} / q_{\text{exp},b=80}$ はシートの種類、コンクリート圧縮強度、付着長を一定条件で算定した。なお、この時コンクリート圧縮強度の補正を行った。

図-7に示されるように、付着幅が 80mm 以上の時は単位幅あたり付着強さが一定と考えられ、付着幅が付着強さに比例している。付着幅が 80mm 以下の時は明らかに一定にはならないので、図に示されたように最小二乗法で回帰すると付着幅に関する項 B_f は以下になる。

$$b_f < 80 \text{ mm}$$

$$B_f = (-0.0102 \times b_f + 1.82) \times b_f \quad (5)$$

$$b_f \geq 80 \text{ mm}$$

$$B_f = b_f$$

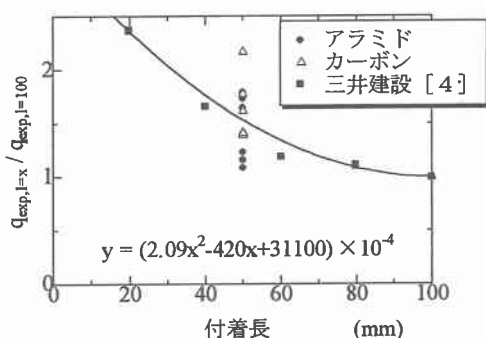


図-6 $q_{\text{exp},l=x} / q_{\text{exp},l=100}$ と付着長の関係

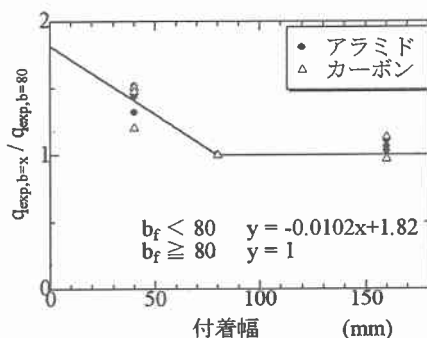


図-7 $q_{\text{exp},b=x} / q_{\text{exp},b=80}$ と付着幅の関係

以上のことから、式(1)(3a)(3b)(4)(5)より付着強さ B_{cal} を求める式は次のようにまとめることができる。

$$B_{\text{cal}} = (2.6 \times f_c^{2/3} + 68.7) \times L_f \times E_f \times B_f \times t_f \times 10^{-6} \quad (\text{AFS}) (6a)$$

$$B_{\text{cal}} = (2.9 \times f_c^{2/3} + 11.5) \times L_f \times E_f \times B_f \times t_f \times 10^{-6} \quad (\text{CFS}) (6b)$$

上式が本研究で提案した、シートとコンクリートの付着強さの算定式である。この式の適用条件としては、まずパターン1の破壊形態であるということがいえる。また、本研究で式の算定に用いたシートの引張弾性係数が、AFSにおいては73~109kN/mm²で、CFSにおいては222~247kN/mm²であるので、これらの値から大きくはずれなければ、適用できるものと思われる。

図-10に今回算定したシートとコンクリートの付着強さ B_{cal} と実験値である付着強さ B_{exp} の関係を表

す。ここには式の算定には考慮していない既往の研究〔3〕、〔4〕のデータもプロットした。図に示されるように、本研究以外のデータでもばらつきがあまりなく相関がよいのではないかとと思われる。

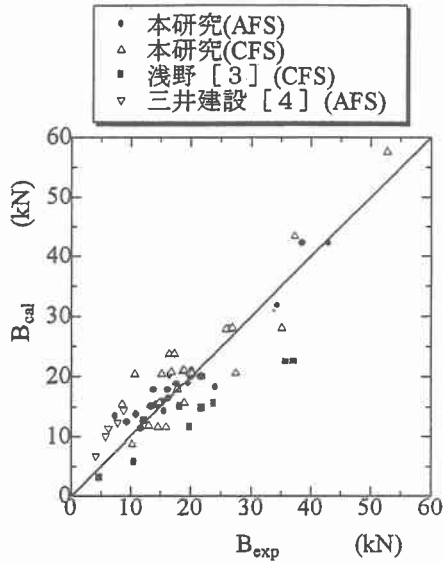


図 - 7 B_{cal} と B_{exp} の関係

5. まとめ

(1) シートとコンクリートの付着試験を行った結果、破壊荷重の直前に剥離領域が進展して、有効付着長がシフトする傾向が見られた。これらを考慮して、本研究の実験結果からも有効付着長が 100mm 程度の値となると考えられる。

(2) 単位付着幅あたりの付着強さは、付着幅が小さいほど大きくなり、付着幅が 80mm 前後より大きくなると、ほぼ一定の値を示すと思われる。

(3) シートとコンクリートの付着強さはコンクリート圧縮強度、付着長、付着幅、シートの物性値によって算定できると思われる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ショーボンド建設株式会社の江口和雄氏に多大なご助力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 〔1〕 出雲健司、浅水俊博、佐伯昇、志村和紀：アラミドおよび炭素連続繊維シートの付着特性、コンクリート工学論文集第9巻第2号、pp.1～7 1998
- 〔2〕 出雲健司、佐伯昇、堀口敬、志村和紀：連続繊維シートの付着強度と挙動について、土木学会第53回年次学術講演会講演概要集第5部、pp.846～847 1998
- 〔3〕 浅野靖幸、前田敏也、佐藤靖彦、角田興史雄：鋼板及びコンクリートに貼付けた炭素繊維シートの付着特性について、土木学会北海道支部論文報告集第54号 (A) 1998
- 〔4〕 三井建設株式会社：アラミド繊維による橋脚の補強工法に関する技術資料、FTTS 工法技術資料