

積層連続繊維シートとコンクリートの 付着強さに関する研究

出雲 健司¹・佐伯 昇²・深尾 昌弘³

¹正会員 博士 (工学) 北海道大学大学院助手 工学研究科社会基盤工学専攻
(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

²フェロー会員 工博 北海道大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻

³工修 日本高圧コンクリート(株) PC事業部 札幌支社

著者らは、既報の研究¹⁾で1層貼りでの連続繊維シートとコンクリートの付着特性の検討と付着強さ式の構築を行ってきた。本研究では積層貼りでの連続繊維シートとコンクリートの付着特性を有限要素法を使用して検討し、実験により照査したものである。解析方法は既往の研究で提案した1層貼り時のコンクリートの応力-ひずみ関係を使用することにより、積層の場合でも実験値の付着挙動を有限要素解析によってほぼ評価できた。また、連続繊維シートを積層にすることで、有効付着長が増加すること、および、連続繊維シートとコンクリートの付着強さは増加するがシートの枚数には比例しないことが示された。さらに、積層連続繊維シートとコンクリートの付着強さ式を構築し、ほぼ実験値を評価できた。

Key Words : *bond strength between fiber sheets and concrete, aramid fiber sheet, carbon fiber sheet, multi-layer fiber sheets, effective bond length, non-linear finite element methods*

1. はじめに

近年、連続繊維シートを既存のコンクリート構造物に接着して補強する工法の研究が盛んに行われている。また、それに伴い、連続繊維シートとコンクリートの付着特性の研究も盛んに行われている。

著者らは、これまでの既報の研究¹⁾で1層貼りでの連続繊維シートとコンクリートの付着特性を実験と有限要素解析により検討してきた。しかし、実構造物に適用する場合、連続繊維シートを1層貼りで補強する例より、むしろ積層貼りで補強する例の方が多いためさらなる研究を進展させる必要があった。

本研究では、最も簡単な一軸引張応力下での積層貼りした連続繊維シートとコンクリートの付着挙動を実験と有限要素解析によって検討し、簡易的な積層連続繊維シートとコンクリートの付着強さ式を構築することを目的とした。

一軸応力下での連続繊維シートとコンクリートの付着挙動の研究としては著者らの既報の研究¹⁾でも触れているが多くの研究がある。その中で、既往の研究^{2)~5)}は連続繊維シートとコンクリートの付着構成則を理論および経験則により導き出し、有限要素法にて連続繊維シート

の挙動を定量化しようと試みている。また、この時、連続繊維シートに働く局部せん断力と連続繊維シートが付着強さに寄与する付着長、つまり、有効付着長を検討している。

これらの既往の研究と比較して本研究の特徴は、繊維の種類をアラミド繊維と炭素繊維という2種類を使用しており、繊維の種類で付着特性が大きく異なるので単一では扱えず、それぞれの算定式の構築を行っている。また、他の研究でほとんど扱われていない補強時などに必要なコンクリートの圧縮強度10N/mm²クラスの検討と有効付着長以下の検討も含まれている点である。

また、本研究で求めた連続繊維シートとコンクリートの付着強さ式は既往の研究⁶⁾のシート剥離時のせん断耐力の算定式に適用し、せん断耐力を算定することができる。

2. 実験概要

(1) 使用材料

本研究で使用した炭素繊維シート(以下、CFS)とアラミド繊維シート(以下、AFS)の物性値を表-1に示す。また、この物性値は「JIS K 7073」に準拠して試験

表-1 シート物性値

シリーズ シートの種類	B96		B97		B98	
	CFS96	AFS96	CFS97	AFS97	CFS98	AFS98
全目付量 (縦:横) (g/m ²)	400 (200:200)	400 (200:200)	600 (300:300)	470 (235:235)	300	248
比重	1.79	1.39	1.80	1.39	1.80	1.39
厚さ (mm)	0.112	0.144	0.167	0.169	0.167	0.178
引張強度 (N/mm ²)	3879	2493	3115	2134	4049	2865
引張弾性率 (kN/mm ²)	242	86	222	73	247	75
破断伸度 (%)	2.1	3.1	1.6	3.3	1.6	3.5

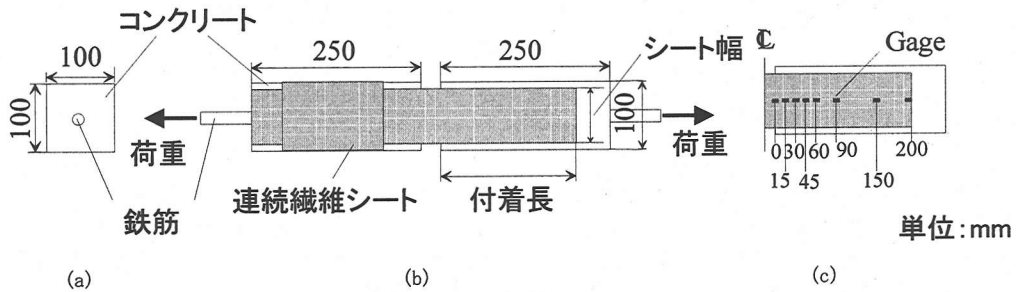


図-1 供試体の概略図とゲージの位置

表-2 接着剤の規格値

試験項目	試験方法	規格値
比重	JIS K 7112	1.16
圧縮降伏強度 (N/mm ²)	JIS K 7208	75
圧縮弾性係数 (N/mm ²)	JIS K 7208	2100
曲げ強度 (N/mm ²)	JIS K 7203	65
引張強度 (N/mm ²)	JIS K 7113	45
引張せん断強度 (N/mm ²)	JIS K 6850	15

表-3 コンクリートの物性値

シリーズ	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
B96-C1	12.3	1.3	14700
B96-C2	25.3	2.1	22800
B96-C3	44.8	2.9	27100
B97-C1	22.9	1.7	22600
B97-C2	31.9	2.5	24500
B97-C3	44.4	2.8	28000
B98-C1	39.8	2.7	28600
B98-C2	31.2	2.6	23300

を行った値である。シートの厚さは目付量/単位体積重量より算定した公称値である。表-1に示すように、使用した連続繊維シートはB96, B97, B98の3シリーズに分かれており、各シリーズごとにCFSとAFSの2種類がある。B96, B97シリーズのシートはCFS, AFS共に縦糸と横糸がそれぞれ1:1の割合で繊維が入っている2方向連続繊維シートである。2方向シートを使用したのは桁のウェブにシートを接着し、横糸はせん断補強筋として、縦糸は軸方向にプレストレスを導入すること

を想定しているためである⁹⁾。B98シリーズではCFS, AFS共に一方のみ繊維が入っている一方連続繊維シートである。積層の実験に使用したのはB98シリーズだけで、B96, B97シリーズは解析のみに使用している。

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。接着剤の規格値を表-2に示す。

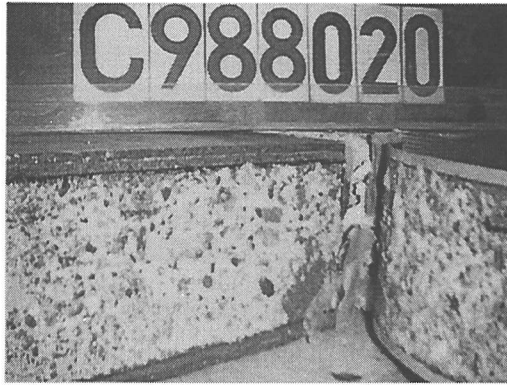
コンクリートの物性値を表-3に示す。コンクリートの引張強度は割裂試験より算定している。

(2) 供試体の形状

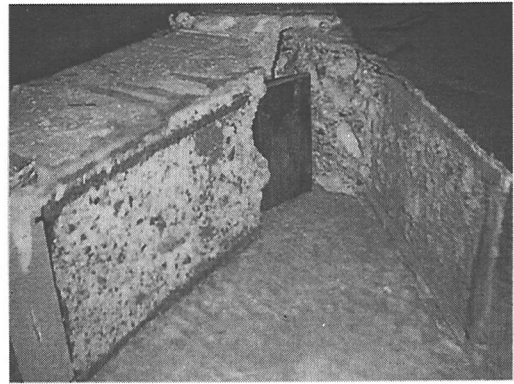
使用した供試体の概要を図-1に示す。シートの接着法はまずコンクリートの接着面をディスクサンダーで削って剥離剤などを除去した後にプライマーを塗布して約一日養生を行った。その後、エポキシ系の接着剤を使用して、シートを接着し、一週間養生した後に実験を行った。シートは全てコンクリート部材の両面に接着した。

表-4に積層連続繊維シートを接着して実験した供試体の一覧を示す。B98-C1シリーズでは、AFS98, CFS98の2種類で、接着したシートの積層数は1, 3層貼り、シートの付着長は200mm、シートの幅は80mmとした。B98-C2シリーズでは、AFS98のみを使用し、連続繊維シートが接着したシートの積層数は1, 2, 3層貼り、シートの付着長は50, 100, 200mm、シートの幅は80mmとした。

実験は、図-1(a), (b)に示されるように、埋め込まれた鉄筋を引張ることによってシートに引張力を与えて行った。なお、鉄筋は中央部分で切断されており、鉄筋



(a)CFS98, 1層貼り



(b)AFS98, 3層貼り

図-2 一軸引張試験供試体の破壊状況

表-4 実験供試体一覧

シリーズ	シートの種類	付着長 (mm)	付着幅 (mm)	積層数
B98-C1	AFS98	200	80	1
	AFS98	200	80	3
	CFS98	200	80	1
	CFS98	200	80	3
B98-C2	AFS98	50	80	1
	AFS98	50	80	2
	AFS98	50	80	3
	AFS98	100	80	1
	AFS98	100	80	2
	AFS98	100	80	3
	AFS98	200	80	1
	AFS98	200	80	2
	AFS98	200	80	3

による分担はなくしている。片側でのみ破壊するように一方を定着端としてシートを端まで接着し、さらにその上からシートを巻いて補強し、この部位からの破壊をなくした。また、ひずみゲージの位置を図-1(c)に示す。載荷方法は変位制御で行い、載荷速度を0.5mm/minとした。

(3)破壊パターン

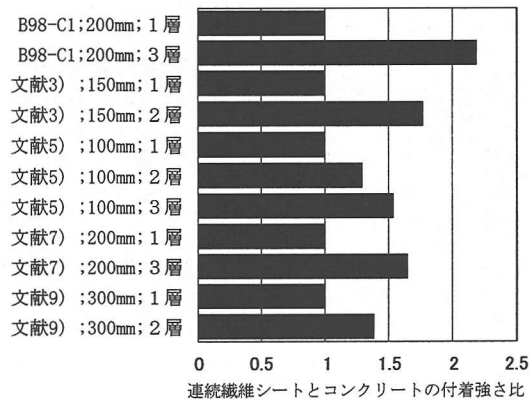
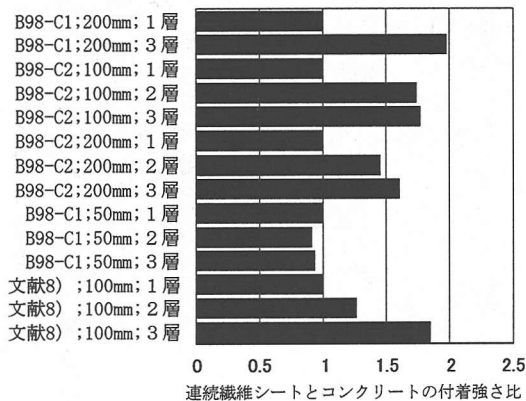
図-2に、一軸引張応力下での付着試験の供試体破壊状況を示す。この図はいずれも代表的なもので、図-2(a)はシートはCFSを使用し、シートの積層数が1層の供試体、図-2(b)はシートはAFSを使用し、シートの積層数が3層の供試体の破壊状況の写真である。本研究では、破壊パターンが図-2に示されるように、シートの種類の違い、シートの積層数にかかわらず、コンクリートの表面が数mmとれる状態でシートが剥離して破壊に至ったものを既報の研究¹⁾と同様に最も付着機能として良好と考え、本研究ではこの破壊パターンのみの考察を行っている。

3. 実験結果と考察

コンクリートの強度がほぼ同程度の供試体で、連続繊維シートの種類、シートの付着長一定の条件下で、シートの1層貼り連続繊維シートとコンクリートの付着強さを1としたときの付着強さ比とシートの積層数の関係を図-3に示す。この図に示されるように、シートの積層数を増やすことにより連続繊維シートとコンクリートの付着強さは増加する傾向にある。ただし、連続繊維シートの付着長とシートの種類によって付着強さの増加幅が異なる。特に、シートの種類に関わらず、付着長が短い供試体については、付着長が長い供試体に比べて、積層数を増やしても相対的に付着強さ比の増加傾向が小さくなっている。

4. 有限要素解析の概要

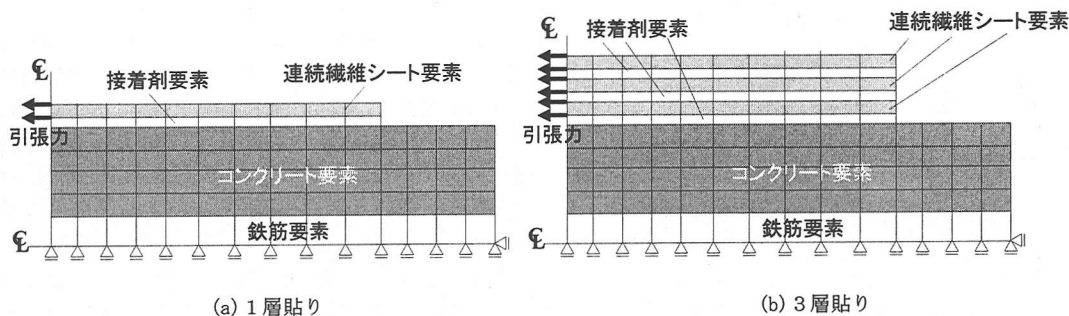
解析方法は既報の研究¹⁾に準じて行っており、ここでは簡単に説明する。解析供試体は供試体の対称性を考えて、図-1(b)に示す供試体の右側の上半分を解析した。また、解析供試体を図-4に示すように、要素分割してモデル化した。連続繊維シートの積層数が1層の供試体は図-4(a)に、積層数が複数の場合はその一例として3層の供試体を図-4(b)に示す。この図に示されるように、コンクリート要素と連続繊維シート要素の間に接着剤の要素を設け、また、図-4(b)に示すように、積層数が複数の場合はそれぞれの連続繊維シート間に接着剤要素を設けた。鉄筋、コンクリート、接着剤、連続繊維シートのポアソン比はそれぞれ0.3, 0.2, 0.4, 0.4とした。要素は全て等方性材料とし、鉄筋の要素の高さは8mm、コンクリート要素の高さは42mm、接着剤要素の厚さは既



(a) AFS

(b) CFS

図-3 連続繊維シートとコンクリートの付着強さ比とシートの積層数の関係 (実験値)



(a) 1層貼り

(b) 3層貼り

図-4 付着の一軸引張試験のメッシュ分割概要図

往の研究⁹⁾を参考に0.1mm, 連続繊維シートの厚さはそれぞれの繊維の物性値を使用した。また, 接着剤要素, 連続繊維シートはそれぞれのシートの物性値を使用して, 完全弾性体と仮定して扱った。本解析はコンクリートの表面で破壊し, 鉄筋が降伏しないので, 鉄筋要素も完全弾性体として扱い, コンクリートと鉄筋は一体として挙動するとして解析を行った。また, 外力は図-4に示すように, 連続繊維シートに強制変位で与えており, 積層の場合は各層とも同じ変位になっていると仮定している。

各材料は図-5に示される引張応力-ひずみ関係を使用し, それぞれの材料の物性値を使用した。ただし, σ_f は連続繊維シートの引張強度, E_f は連続繊維シートの弾性係数, f_c はコンクリートの引張強度, E_c はコンクリートの弾性係数, $\epsilon_{p,c}$ はコンクリートの付着限界ひずみをそれぞれ表す。

コンクリートの付着限界ひずみの算定は既報の研究¹⁾と同様に, 連続繊維シートの付着限界ひずみ $\epsilon_{p,f}$ より算定している。その連続繊維シートの付着限界ひずみの算

定式を式(1)に示す。

$$\epsilon_{p,f} = (b_1 \cdot f_c + b_2) \times 10^{-6} \quad (1)$$

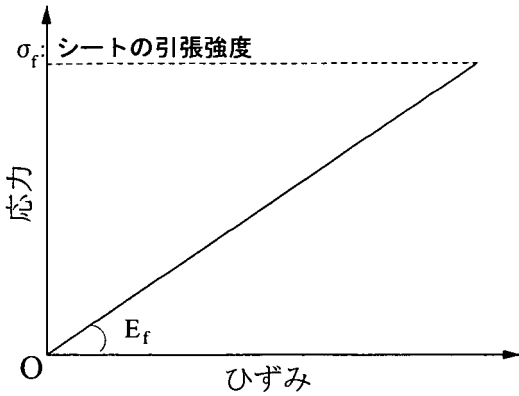
ここで, $\epsilon_{p,f}$: 連続繊維シートの付着限界ひずみ

b_1 : AFSの時, 1390 CFSの時, 1230

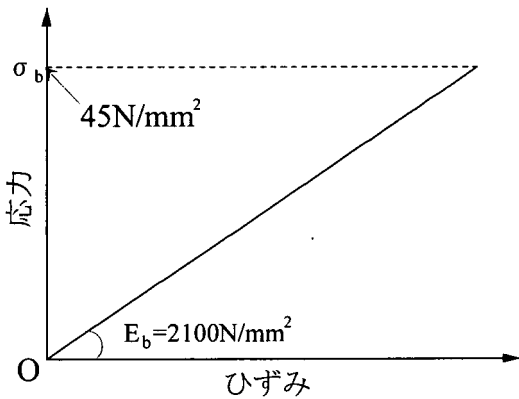
b_2 : AFSの時, 2730 CFSの時, 824

f_c : コンクリートの引張強度(N/mm²)

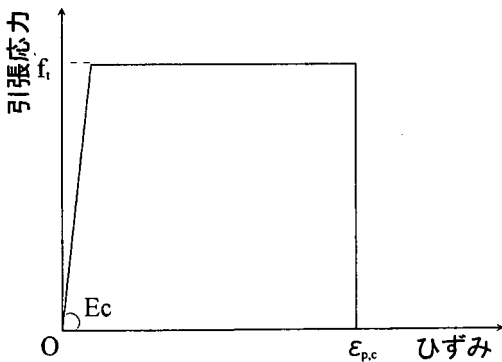
本研究ではこのひずみに連続繊維シートのひずみが到達した場合, シートが剥離したと判定している。ただし, 有限要素法で解析する場合, 連続繊維シートを接着した場合のコンクリートの応力-ひずみ関係が必要である。よって, 本研究ではその関係を求めるために, 連続繊維シートのひずみが付着限界ひずみ $\epsilon_{p,f}$ に達したときのコンクリートのひずみをコンクリートの付着限界ひずみ $\epsilon_{p,c}$ とした。また, 連続繊維シートを接着した場合のコンクリートのひずみが付着限界ひずみ $\epsilon_{p,c}$ に達した後



(a) 連続繊維シート



(b) 接着剤



(c) 連続繊維シートを接着した場合のコンクリート

図-5 各材料の応力-ひずみ関係

は応力を解放している。なお、その時の応力評価は要素の中心で行っている。

本研究では連続繊維シートを接着しているコンクリートのひずみがコンクリートの付着限界ひずみ $\epsilon_{p,c}$ に達した場合、シートの剥離が発生すると仮定して解析を行っている。この時のコンクリートの付着限界ひずみ $\epsilon_{p,c}$ はコンクリートの引張強度によるもので、連続繊維シートの積層数によるものではない。したがって、積層の場合も、1層貼りの解析で得られたコンクリートの応力-ひずみ関係を使用した。解析はB96, B97, B98シリーズの実験供試体の物性値を使用し、連続繊維シートを1~5層貼りに変化させて行った。

5. 解析結果の考察

(1) 実験値と解析値のひずみ分布の比較

実験で得られたひずみゲージ位置での連続繊維シートのひずみを荷重ごとにプロットし、それに解析で得られたシートのひずみを比較したものを図-6に示す。これらの図の(a), (b)は1層貼りの供試体で、(c), (d)は3層貼りの供試体である。3層貼りの供試体は実験値と解析値共に、積層した一番上の連続繊維シートのデータを示している。

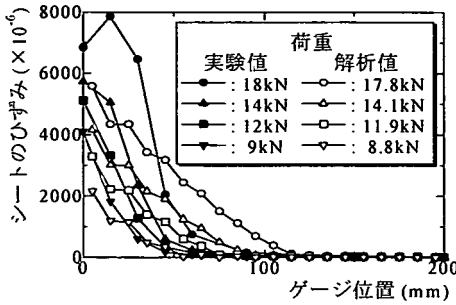
図-6(c)に示されるように、実験の荷重29.9kNと解析の荷重28.7kNを比べると、ややかい離が見られる。また、図-6(d)にも示されるように、実験の荷重56kNと解析の荷重55.6kNを比べると、ややかい離が見られる。既報の研究¹⁾で触れているように、シートが剥離するとき、骨材の影響や局部的に見て付着強さのばらつきなどがあるために、実験値のひずみにも多少のばらつきが見られるが、傾向としては解析値で実験値をほぼ評価できていると思われる。

したがって、連続繊維シートを接着しているコンクリートのひずみがコンクリートの付着限界ひずみ $\epsilon_{p,c}$ に達した場合に剥離するという仮定の下に解析した本研究の解析法で、積層の場合でも1層時と同様に連続繊維シートとコンクリートの付着挙動をほぼシミュレートできるとと思われる。

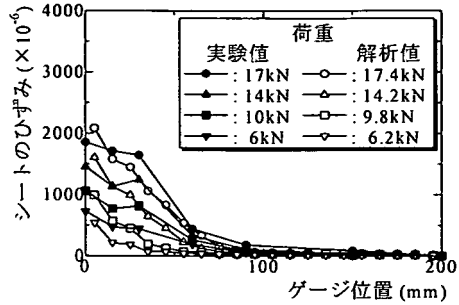
(2) 有効付着長

図-7に解析結果による連続繊維シートのひずみ分布を示す。これらの図はいずれも解析の値で、徐々に荷重を増加させていき、最大荷重に達した時までのひずみ分布を示している。また、3, 5層貼りのデータは積層した連続繊維シートの一番上のシートのひずみである。

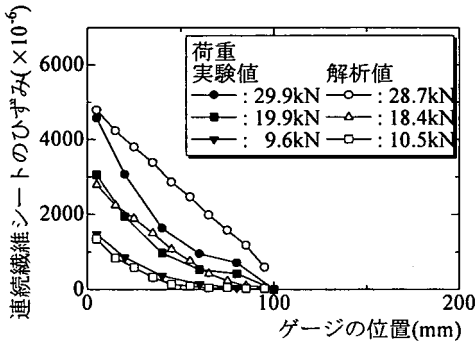
これらの図を説明するために、図-8に連続繊維シート



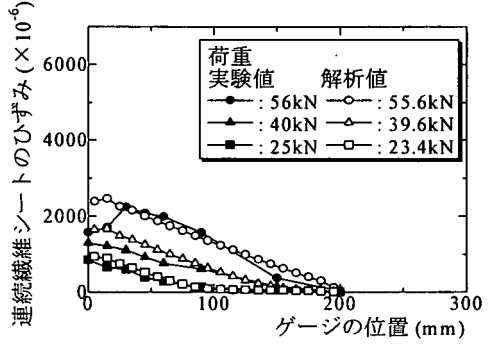
(a) AFS96, 1層貼り



(b) CFS97, 1層貼り



(c) AFS98, 2層貼り



(d) CFS98, 3層貼り

図-6 連続繊維シートのひずみの実験値と解析値の比較

を積層の影響による有効付着長の変化と最大荷重時のひずみ分布の変化の概略を示す。図-7に示されるように、AFS、CFSに関わらず、積層するシートの枚数を増やすことにより、最大荷重における応力の伝達範囲が大きい。つまり、図-8で示されるように、連続繊維シートとコンクリートの付着強さに寄与する有効付着長が大きくなるのが認められる。また、図-7.8に示されるように、シートの種類に関わらず、積層枚数を多くするとひずみ分布の傾きが緩やかになり、シート一枚あたりのひずみが低くなる傾向が見られる。

(3) 積層連続繊維シートとコンクリートの付着強さ

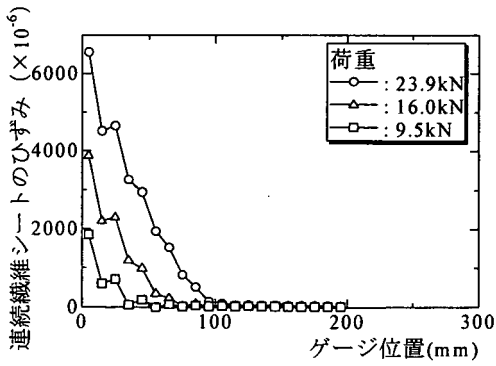
a) 連続繊維シートとコンクリートの付着強さと連続繊維シートの積層数の関係

図-9にシートの付着長ごとに比較した連続繊維シートとコンクリートの付着強さと連続繊維シートの積層枚数の関係を示す。この図に示されるように、積層数を増や

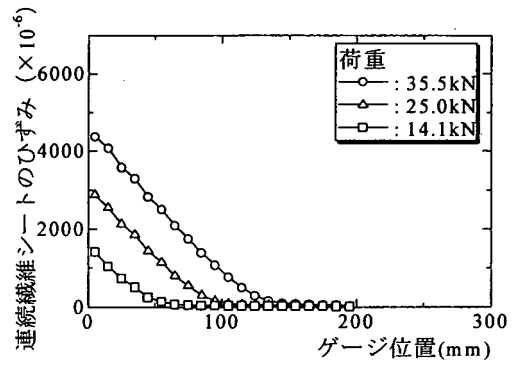
すことにより有効付着長が大きくなる。また、その供試体の付着長が有効付着長以上を有しているならば、積層枚数を増やすことにより、付着強さは大きくなる傾向が見られるが、シートの積層枚数に応じて付着強さが比例的に増加しない。これは、想定している破壊パターンがコンクリートの表面からの連続繊維シートの剥離破壊であり、最大荷重は連続繊維シートの剛性はもとより、コンクリートの強度にも大きく依存するためと思われる。しかし、有効付着長以下の供試体の場合は積層数を増やしても付着強さは有効付着長を有している供試体と比べて付着強さが低く、積層数を増すごとに付着強さが横這いになる傾向が見られ、ほとんど増加しない。

b) 連続繊維シートコンクリートの付着強さと連続繊維シートの付着長の関係

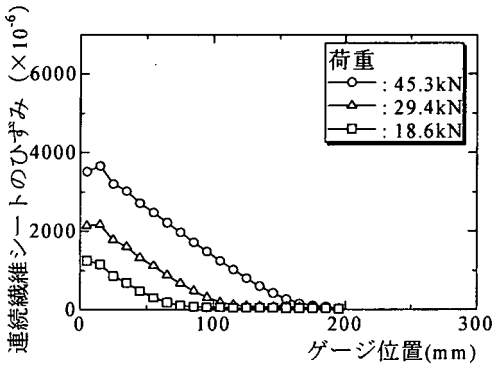
図-10に連続繊維シートとコンクリートの付着強さとシートの付着長の関係をシートの積層数ごとに整理したものを示す。これらの図はいずれも解析結果の図である。これらの図に示されるように、連続繊維シートの付



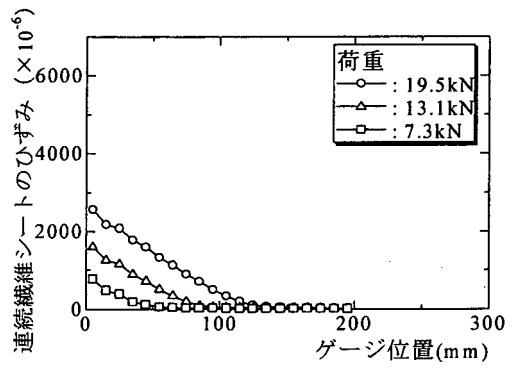
(a) AFS96, 1層貼り, 付着長200mm
コンクリートの圧縮強度44.8N/mm²



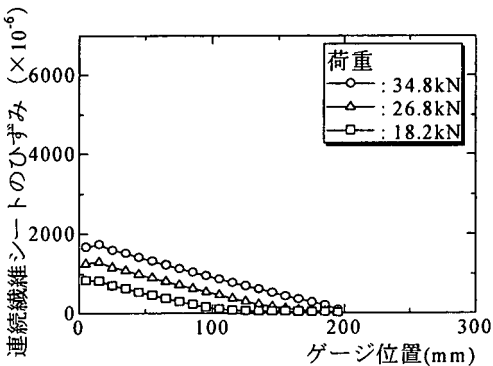
(b) AFS96, 3層貼り, 付着長200mm
コンクリートの圧縮強度44.8N/mm²



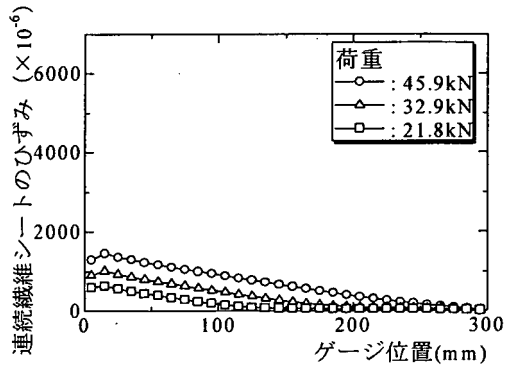
(c) AFS96, 5層貼り, 付着長200mm
コンクリートの圧縮強度44.8N/mm²



(d) CFS97, 1層貼り, 付着長200mm
コンクリートの圧縮強度22.9N/mm²



(e) CFS97, 3層貼り, 付着長200mm
コンクリートの圧縮強度22.9N/mm²



(f) CFS97, 5層貼り, 付着長300mm
コンクリートの圧縮強度22.9N/mm²

図-7 連続繊維シートのひずみ分布 (解析値)

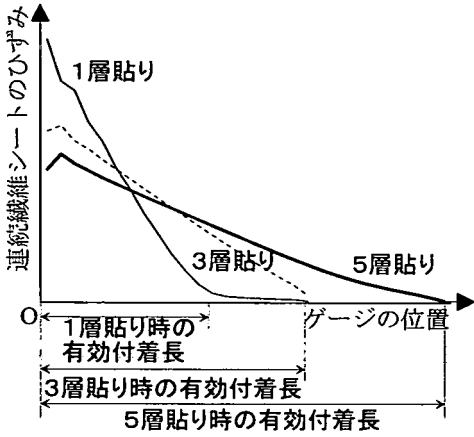
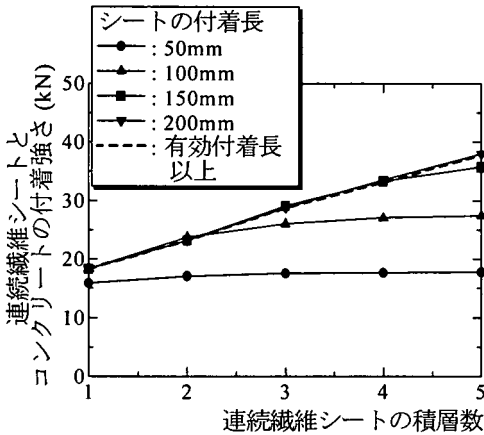


図-8 積層による有効付着長と最大荷重時のひずみ分布の変化の概略図

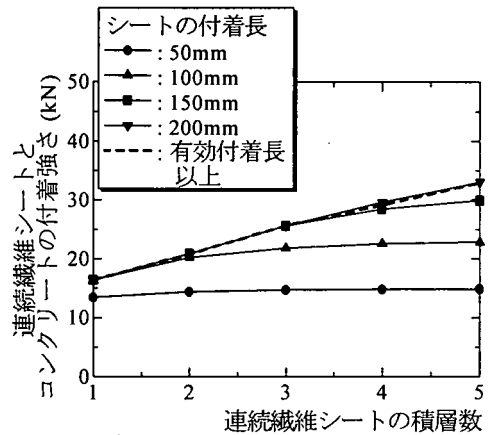
着長が長くなっても付着強さが増加しなくなる付着長が存在し、それは積層数によっても異なる。また、積層数を増やすことによって、連続繊維シートとコンクリートの付着強さが増加するわけではなく、供試体のシートの付着長が有効付着長以上を有しているか、していないかで付着強さの増加幅が大きく異なると思われる。

6. 積層連続繊維シートとコンクリートの簡易付着強さ式の構築

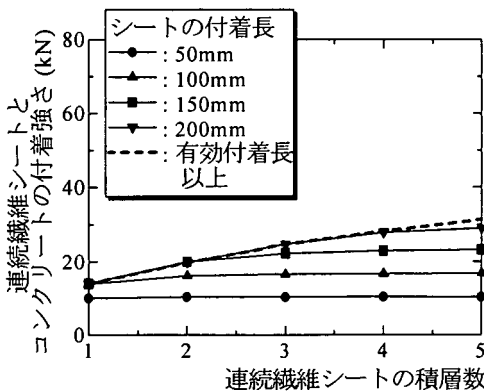
既報の研究¹⁾で得られた1層貼り時の連続繊維シートとコンクリートの付着強さの算定式を次式に示す。



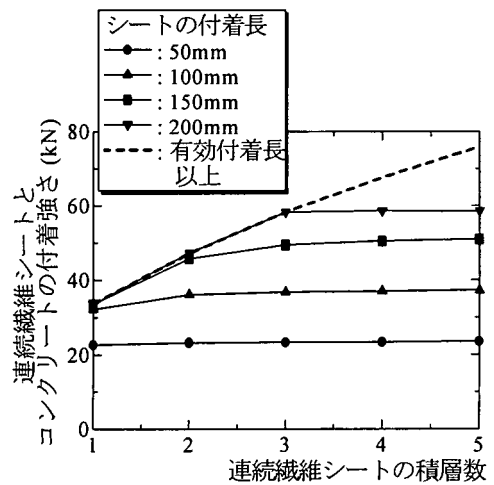
(a) AFS96, コンクリート圧縮強度25.3N/mm²



(b) AFS97, コンクリート圧縮強度22.9N/mm²

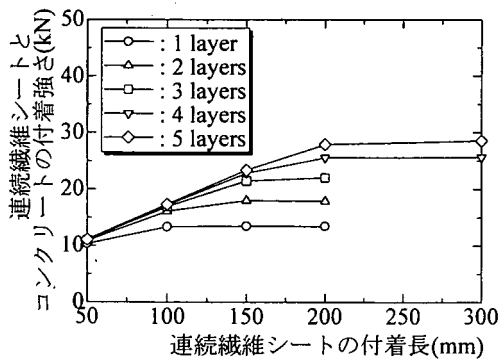


(c) CFS96, コンクリートの圧縮強度12.3N/mm²

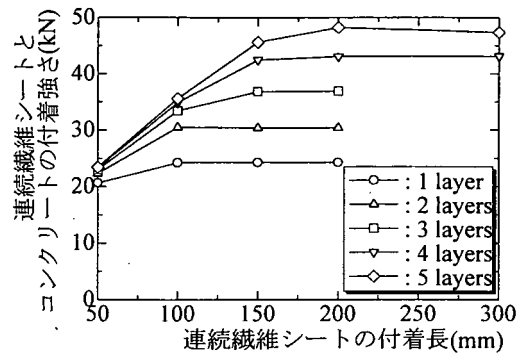


(d) CFS97, コンクリートの圧縮強度44.4N/mm²

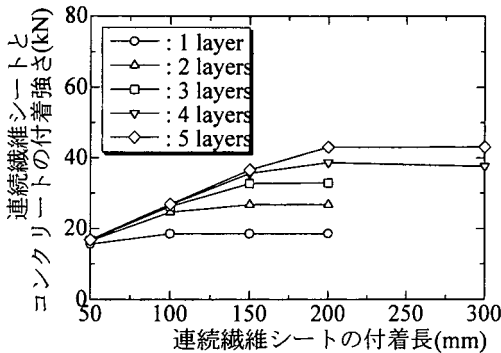
図-9 付着長別での付着強さと積層枚数の関係 (解析値)



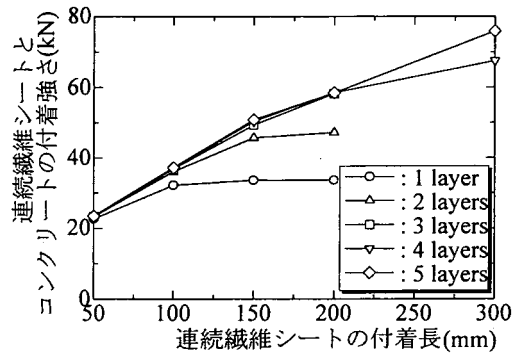
(a) AFS96, コンクリートの圧縮強度12.3N/mm²



(b) AFS98, コンクリートの圧縮強度39.8N/mm²



(c) CFS96, コンクリートの圧縮強度25.3N/mm²



(d) CFS97, コンクリートの圧縮強度44.4N/mm²

図-10 積層数別での付着強さ比とシートへの付着長 (解析値)

$$B_{cal} = F_c \cdot L_f \cdot E_f \cdot B_f \cdot t_f \times 10^{-6} \quad (\text{kN}) \quad (2)$$

ただし, $F_c = (a_1 \cdot f_c^{2/3} + a_2)$

a_1 : AFSは2.6, CFSは2.9

a_2 : AFSは68.7, CFSは11.5

f_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)

L_f : $l_f \geq L_e$ の時, $L_f = L_e$

$l_f < L_e$ の時, $L_f = \alpha(l_f)$

$$\alpha(l_f) = l_f \cdot (3.11 - 0.0420l_f + 2.09l_f^2 \times 10^{-4})$$

l_f : シートの付着長(mm)

E_f : シートの弾性係数(kN/mm²)

B_f : $b_f \geq 80$ の時, $B_f = b_f$

$b_f < 80$ の時, $B_f = \beta(b_f) \cdot b_f$

$$\beta(b_f) = 1.818 - 0.0102 \cdot b_f$$

b_f : シートの幅(mm)

t_f : 一枚当たりのシートの厚さ×接着面数(mm)

本研究はこの式を積層連続繊維シートとコンクリートの付着強さ式に拡張するのが目的である。

まず, 有効付着長以上を有している供試体について考察する。

図-11に有効付着長以上の供試体で, 図-10と同様に付着長100mmの供試体の連続繊維シートコンクリートの付着強さを1としたときの付着強さ比とシートの積層数の関係を示す。この図に示されるように, 各シートの種類ごとに, 次式のように最小二乗法で回帰される。

$$N_f = 1.000 + n_1 \cdot \ln n_f \quad (3)$$

ただし, N_f : 積層による補正係数

n_1 : AFSは0.581, CFSは0.756

n_f : 連続繊維シートの積層数

この式(3)は有効付着長以上の供試体において, 1層貼り時の有効付着長に対しての積層による補正係数と考えるとシートの積層数の関係と, 積層時の有効付着長

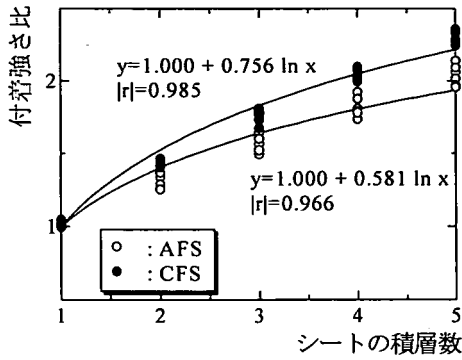


図-11 付着強さ比とシートの積層数の関係 (有効付着以上の供試体) (解析値)

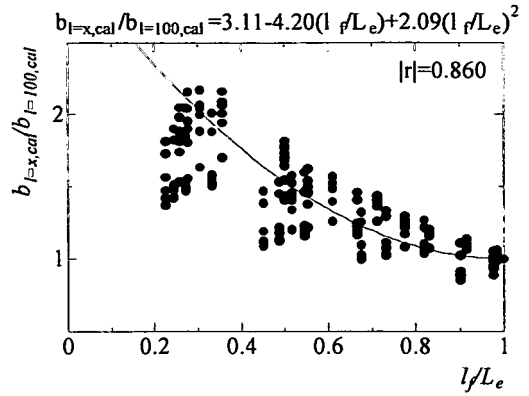


図-12 $b_{l=x,cal}/b_{l=100,cal}$ と l_f/L_e の関係 (解析値)

L_e は次式のようにになる。

$$L_e = 100 \cdot N_f \quad (4)$$

次に有効付着長以下の供試体について考察する。

有効付着長以下の積層時の各供試体の単位付着長当たりの付着強さ $b_{l=x,exp}$ と単位付着長当たりの付着長が 100mm の付着強さ $b_{l=100,exp}$ の比と付着長を有効付着長で除した値の関係を図-12 に示す。この図に重ねた関数は 1 層貼り時の有効付着長以下の補正係数を積層時に適用させるために、付着長を有効付着長の割合の関数に変更したものである。この図に示されるように、 l_f/L_e が低い場合、この関数でやや高めに評価されるが、ほぼこの関数で、 $b_{l=x,cal}/b_{l=100,cal}$ と l_f/L_e の関係が表せる。したがって、積層時の連続繊維シートとコンクリートの付着強さ式における付着長の補正項 L_f は以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} L_f : l_f \geq L_e \text{ の時, } L_f &= L_e \\ l_f < L_e \text{ の時, } L_f &= a(l_f) \end{aligned} \quad (5)$$

$$a(l_f) = l_f \cdot \left\{ 3.11 - 4.20 \frac{l_f}{L_e} + 2.09 \left(\frac{l_f}{L_e} \right)^2 \right\}$$

図-13 に連続繊維シートとコンクリートの付着強さの実験値と本解析で導かれた式で計算した算定値の関係を照査のために示す。この図に示されるように、多少のばらつきはあるものの、算定式によって概ね実験値を評価できている。

なお、式(5)の適用範囲であるが、図-13の実験値は積層数で 1~3 層のものであり、この範囲ではおおむね適

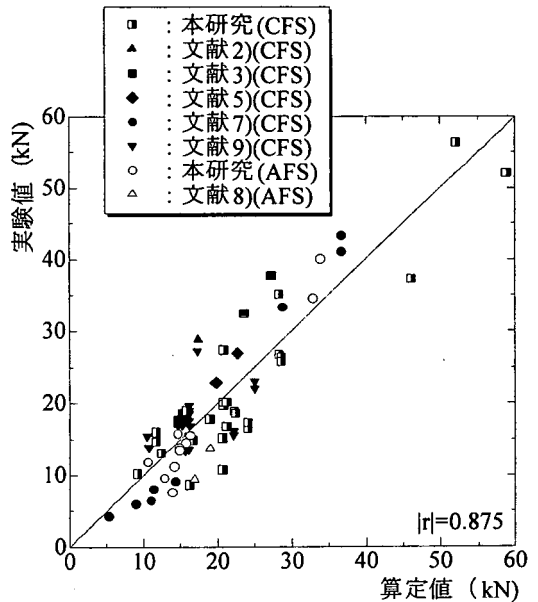


図-13 連続繊維シートとコンクリートの付着強さの実験値と算定値の比較

用が可能と思われる。また、解析は 5 層まで行っているが、現在のところ、4、5 層に関しては実験値が無く、適用がどうかの検討は行っていない。また、本研究で使用した接着剤の物性値は多くの研究や現場で使用されているものに近いものであり、本研究と物性値が近いものであれば、式(5)により連続繊維シートとコンクリートの付着強さを算定することが出来ると思われる。

7. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

(1) 積層時の連続繊維シートの挙動について、1層貼り時に得られたコンクリートの応力-ひずみ関係を準用した結果、本解析法で積層連続繊維シートの場合でも連続繊維シートとコンクリートの付着挙動のシミュレートが可能と思われる。

(2) 接着する連続繊維シートの積層数を増やすことにより、シートの種類に関わらず、有効付着長が大きくなる。

(3) 接着する連続繊維シートの積層数を増やすことにより、連続繊維シートとコンクリートの付着強さは、増加する傾向が見られるが、積層数に比例するわけではない。特に、有効付着長以下の供試体では、積層数を増やしても付着強さはほとんど増加しない。

(4) 本研究で構築した積層連続繊維シートとコンクリートの付着強さの算定式は、実験値を概ね評価できる。

謝辞: 本研究に際し、ご助力を得たショーボンド建設(株)の江口和雄氏に深謝いたします。

参考文献

1) 出雲健司, 佐伯昇, 大沼博志: 連続繊維シートとコンクリートの付着強さの算定, 土木学会論文集, No.

641/V-46, pp.167-178, 2000.

2) 上原子晶久, 下村匠, 丸山久一, 西田浩之: 連続繊維シートとコンクリートの付着・剥離挙動の解析, 土木学会論文集, No. 634/V-45, pp.197-208, 1999.

3) 佐藤靖彦, 浅野靖幸, 上田多門: 炭素繊維シートとコンクリートの付着挙動に関する基礎研究, 土木学会論文集, No. 648/V-47, pp.71-87, 2000.

4) 吉澤弘之, 呉智深, 袁鴻, 金久保利之: 連続繊維シートとコンクリートの付着挙動に関する検討, 土木学会論文集, No. 662/V-49, pp.105-119, 2000.

5) 佐川康貴, 松下博通, 岳尾弘洋: 炭素繊維シート接着工法における付着性状および剥離耐力向上方法に関する研究, 土木学会論文集, No. 669/V-50, pp.71-83, 2000.

6) 出雲健司, 佐伯昇, 大沼博志: 連続繊維シートで補強したRCおよびPRC部材のせん断評価, 土木学会論文集, No. 655/V-48, pp.23-33, 2000.

7) 東燃(株): 炭素繊維シートとコンクリートの定着強度試験, 1995.

8) 三井建設(株): FITS工法技術資料, 1995.

9) 松下博道, 岳尾弘洋, 鶴田浩章: 炭素繊維接着工法の炭素繊維シート剥離耐力向上方法に対する一考察, コンクリート構造物の補強設計に関するシンポジウム, コンクリート技術シリーズ28, 土木学会, pp.1169-76, 1998.

(2001.4.2 受付)

BOND STRENGTH BETWEEN MULTI-LAYER FIBER SHEETS AND CONCRETE

Kenji IZUMO, Noboru SAEKI and Masahiro FUKAO

In our past paper, the bond behaviour between one layer fiber sheets and concrete was investigated, and the bond strength between one layer fiber sheets and concrete was estimated. In this paper, the bond behaviour between multi-layer fiber sheets and concrete was investigated by non-linear finite element method and was checked by these experiments. The stress-strain relation of the concrete with one-layer fiber sheets proposed by our past paper was applied to this analysis, and the bond behaviour between multi-layer fiber sheet and concrete has been estimated mostly. By multi-layer fiber sheets, the effective bond length is increased. Although the bond strength of fiber sheets and concrete increases by multi-layer fiber sheets, it is not proportional to the number of fiber sheets. Furthermore, the bond strength between multi-layer fiber sheets and concrete was calculated, and experiment value has been estimated mostly.