ＵＦＣおよびＣＦを用いた公共構造物の部材の安全性と再生化技術に関する研究グループ

アラミド連続繊維シート補強が割裂引張耐荷力に及ぼす影響に関する実験研究

○澤野利章（日大生産工・教授）
木田哲量（日大生産工・教授）
阿部　忠（日大生産工・教授）
水口和彦（日大生産工・助教）

１．はじめに

日本の経済成長期に建設された土木構造物は、鉄筋コンクリートにより作製されたものが多く存在する。建設当初はメンテナンスフリーの半永久構造物として取り扱われていたが、地球環境の変動や地震の頻発、予想を上回る早さの技術革新による生活環境の進化に伴い、構造物に対する負荷が大きくなり、その対策の時期も早めなければならない状況にある。また、予想を越えて早期に劣化・損傷が顕著になったもの、耐荷力の低下が懸念されるものに対して、補強・補修による延命措置を採らざるを得なくなっている。

現在このような鉄筋コンクリート部材（以下ＲＣ部材と称す）を補強・補修する方法には、連続繊維シート巻き立て工法がある。連続繊維シート巻き立て工法は、炭素繊維シートやアラミド繊維シート(以下　シートと称す)などを、直接ＲＣ部材の表面に接着するとこによって補強を行うものである。補強はシートの繊維方向を変えて接着することで、せん断補強、曲げ補強、引張補強を行うことが可能である。

本研究においては、ＲＣはり部材の補強に着目することとする。ＲＣはりの曲げに対する補強は、ＲＣはり部材の曲げ引張の作用を受ける面部分にシートを直接接着することにより、曲げ作用に伴う引張による部材の伸びを制御して、コンクリートのひび割れの抑制、鉄筋の伸びを軽減することで補強できることは明らかである。一方、せん断に対するに補強は、せん断による引張作用を抑制するために、せん断ひび割れが発生する面に対して行うこととされている。

シートの接着方法は、シートの繊維方向とはり軸方向を直角となるようにしたり、フープ状に巻きつける方法がある。しかし、はりの幅が大きい場合には、せん断補強がどの程度の範囲まで有効であるか、その効果範囲がはっきりしていない。

そこで、シートによるせん断補強の有効性を確認するために円柱供試体に対してシート補強を施した上で、割裂引張試験に準じた引張試験を行い、シート補強効果の有無、その枚数と耐荷力について考察し、シート補強の効果を明らかにする。

２．供試体

供試体は直径100㎜、高さ200㎜のコンクリート円柱を用いる。コンクリートの最大骨材寸法は20㎜、平均圧縮強度は48.3N/㎟である。

シート補強は円柱供試体の円形断面に対して行うこととする。シートの材料特性値をTable １に示す。また、供試体は次の３タイプを各３本ずつ作製する。

Table 1　Mechanical properties of AFS

AFS	Weight	Tensile strength	Elastic modulus	Thickness
	g/㎡	N/㎟	kN/㎟	mm
AK-60	415	2060	118	0.286

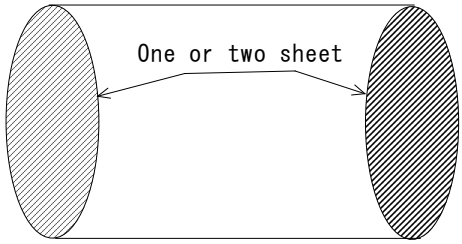
①タイプⅠ：シート補強を行わない。
②タイプⅡ：円柱供試体の両端円形断面にシートを各１枚接着して補強を施す。
③タイプⅢ：タイプⅡと同じく両端円形断面にシートを各２枚接着して補強を施す。

各タイプの補強位置をFig.1に示す。また、補強のタイプに関わらず、供試体円形断面（端面）にFig.2のようにロゼット型ひずみゲージを接着し、各方向のひずみ計測を行う。なお、シート補強が施されている面については、シートの上面にひずみゲージを接着する。

３．実験方法

実験はJIS A1113　コンクリートの割裂強度試験方法に準じて行う。通常割裂強度試験の結果は、割

(a) Non-reinforcement Type Ⅰ



(b) Borth end sides reinforcement
Type Ⅱ or Ⅲ

Fig.1 Reinforcement of specimen type

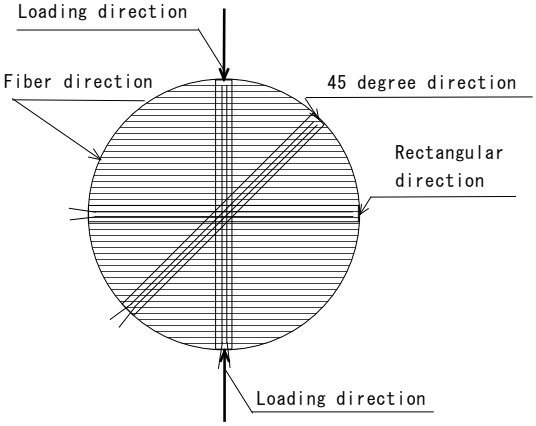


Fig.2 Measuring direction of strain

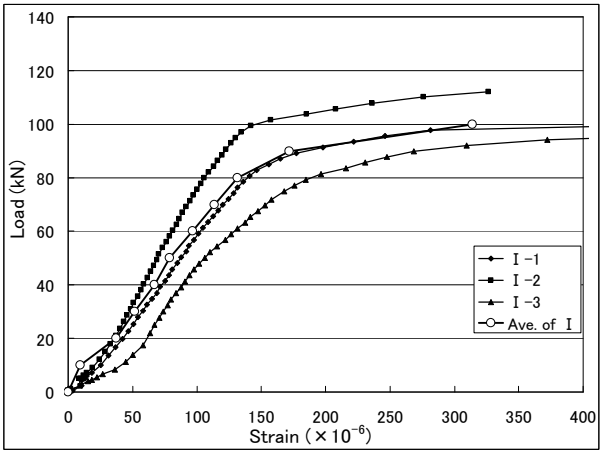
裂引張強度として算出することができるが、端面に補強を施した場合、割裂面の長さを正確に把握することが困難であったため、割裂引張強度は算出せず、載荷荷重の大きさで表現することとする。これはシート補強の効果により、割裂が供試体全長にわたっては発生せず、また、割裂の終始端を決定できなかったからである。供試体をFig.2に示す方向でアムスラーに設置し、荷重制御によって連続的に荷重とひずみの計測を行う。

４．結果および考察

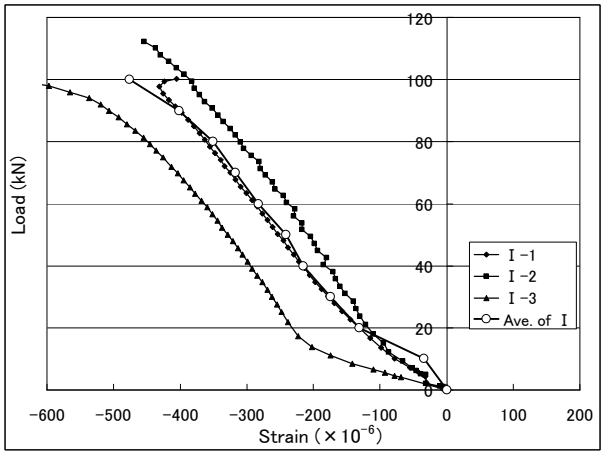
４－１　荷重―ひずみ

各タイプの載荷方向、載荷直角方向のひずみと荷重の関係をFig.3～5に示す。円柱供試体の両端二面においてひずみを計測していることから、それらを平均したものを図示する。各図の (a) に載荷方向のひずみ、(b)に載荷直角方向のひずみを示す。また、両端面のひずみ値を平均したものを、供試体No.1～3毎と全供試体の平均を示したものである。

Fig.3はタイプⅠのひずみと荷重の関係である。図中の平均とは、３本の供試体の平均値を示す。



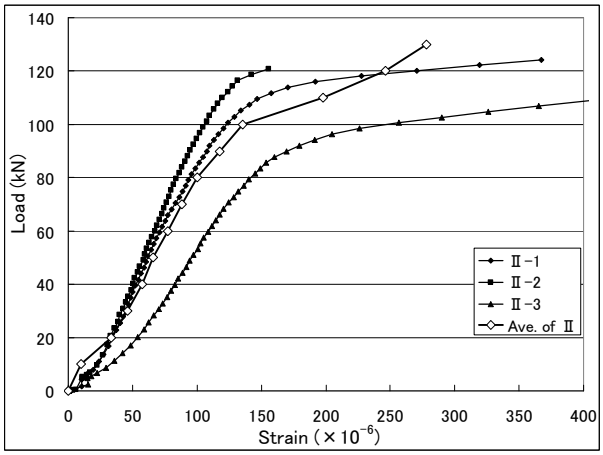
(a)Rectangular to loading direction



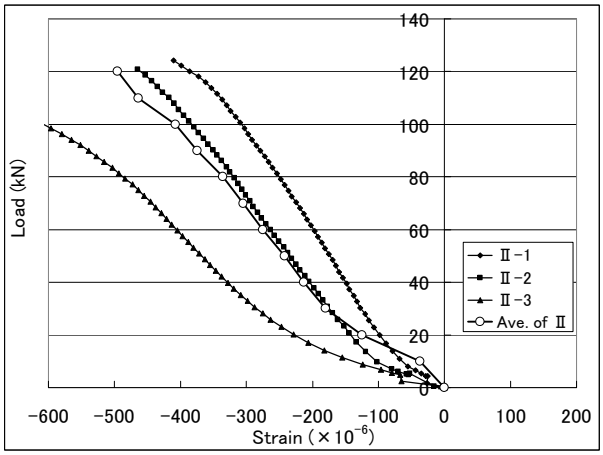
(b)Loading direction

Fig.3 Strain of Type Ⅰ

本実験の耐荷力より割裂引張強度を算出すると、平均3.34N/mm²となり、圧縮強度から算出したコンクリートの引張強度3.06N/mm²とほぼ近い値となった。載荷直角方向の平均引張ひずみは、80kN付近まで直線的な増加であるが、これ以降は急激なひずみ増加に転じており、弾性範囲の限界を超えていることが分かる。一方、載荷方向のひずみは概ね100kN付近まで直線的に増加した後、供試体の破壊によってひず

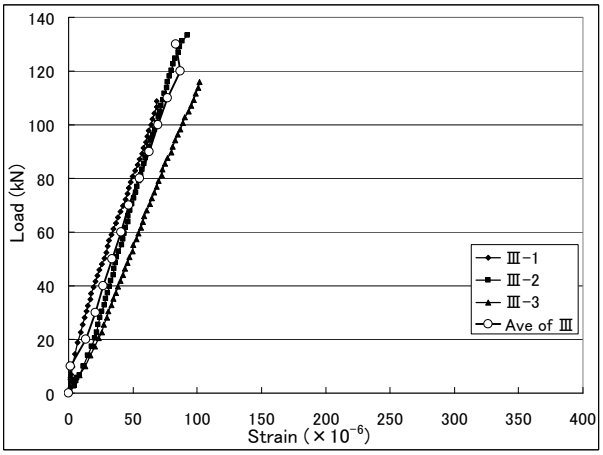


(a)Rectangular to loading direction

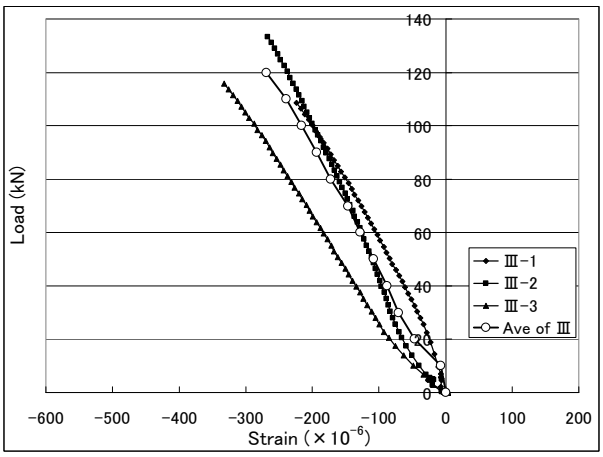


(b)Loading direction

Fig.4 Strain of Type Ⅱ



(a)Rectangular to loading direction



(b)Loading direction

Fig.5 Strain of Type Ⅲ

ゲみージが破断している。供試体は圧縮の弾性範囲限界には達していないことが分かる。

Fig.4は、タイプⅡの場合を同様に示したものである。タイプⅡではシート補強により、載荷直角方向のひずみ増加が少なくなっている。平均ひずみでは、約100kN程度まで直線的な増加を示し、その後塑性的性質へ移行して破壊しており、シート補強により耐荷力を約1.25倍大きくすることができた。載荷方向ひずみも耐荷力が大きくなったことから、破壊が遅れるため最終的に大きな値となっている。しかし、弾性範囲内において破壊する状況はタイプⅠと同様である。

Fig.5は、タイプⅢの場合を示したものである。タイプⅢの場合は、これまでのタイプⅠ、Ⅱとは異なり、引張、圧縮両ひずみが弾性範囲の限界を超える現象は見られない。平均耐荷力は約130kNとなり、無補強時より1.6倍、シート１枚補強時より1.3倍、耐荷力が大きくなっている。しかし、この供試体のゲージ接着面では弾性範囲の限界を超えたひずみの挙動が見られないまま破壊しており、補強面だけを考えた場合には、この面はより大きな荷重による引張力に耐えられるものと考えられる。すなわち、タイプⅠ、Ⅱにおいては端面の補強効果がない、または小さいが、２枚のシートで補強することによって端面の補強は充分なされていることがわかる。しかし、補強効果が及ばない部分において引張破壊が進行し、その破壊が端面にまで進行して破壊していると考えられる。ただし、補強効果範囲がタイプⅠより大きくなることから、耐荷力は向上させることが可能となっている。

タイプⅠにおける耐荷力時の載荷直角方向はひずみ約150μ(以降、μは×10^{-6}を示す)である。これより、割裂破壊は引張ひずみが150μに達すると発生すると仮定する。Fig.4(a)のタイプⅡでは、この150

μに達する荷重が大きくなっていることは、耐荷力が向上していることを示し、さらに150μに達する前に破壊しているのは、端面から破壊が進行しておらず内部からの破壊が、端面に到達して破壊に至っていると考えられる

４－２　破壊形態

タイプＩの破壊形態は、載荷線とその対辺にひび割れが発生し、両端面に達して破壊した。このときに端面のひずみゲージも切断されている。

Fig.6にタイプⅡの破壊状況を示す。割裂引張試験では通常、この状態になる前に試験を終了するが、本図は断面が分割されるまで載荷を行ったものである。

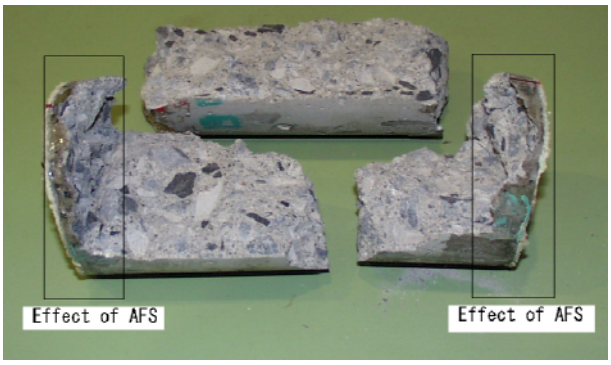


Fig.6 Destruction of type Ⅱ

タイプⅡでは、端面がシートで補強されているためひび割れが端面を貫通することはなく、図中の補強効果範囲を残してひび割れは円周方向に進展して３分割された。

Fig.7も同様にタイプⅡのひび割れ状況である。載荷線に沿ってひび割れは進展しているが、Fig.6と同様に端面の手前でひび割れは消失している。また、図中の上から1/3程度のところで円周方向にひび割れの進展する方向が変わって、裏側の対辺まで到達している。この上部1/3の部分が補強効果の範囲とみられる。

つぎにタイプⅢの破壊状況をFig-8に示す。

タイプⅢでは、シート２枚により補強されているため、補強効果範囲がタイプⅡより大きくなっていることが分かる。ひび割れは載荷線に沿ったものが中央部に発生し、その長さは供試体全長の1/3程度に留まっている。円周方向のひび割れも中央付近で発生し対辺まで到達していた。タイプⅢの荷重とひずみ関係であるFig.5にも現れているように補強効果範囲が大きくなったため、端面のひずみが小さくなる要因でもあることは明らかである。破壊は供試体

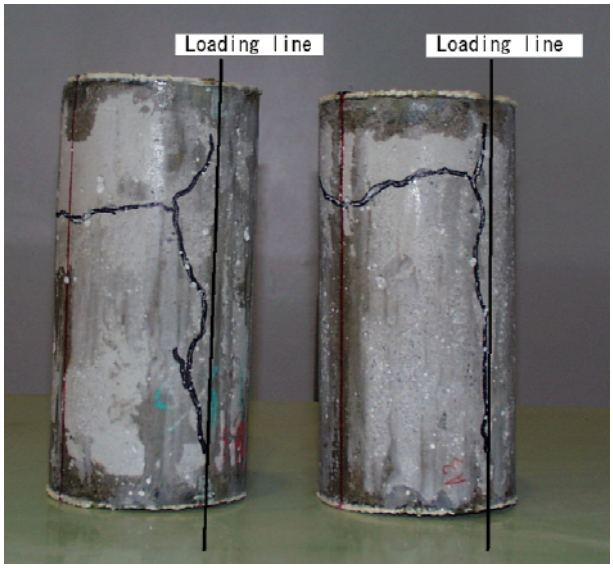


Fig.7 Crack in type Ⅱ

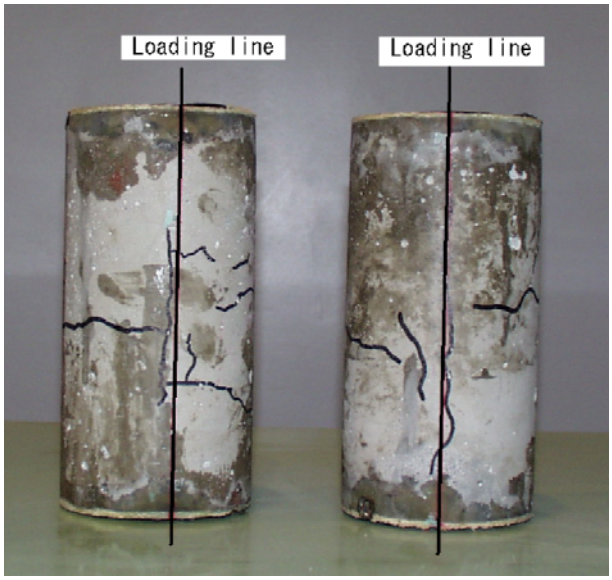


Fig.8 Crack in type Ⅲ

中央部に発生し、この周辺の破壊が進行することにより荷重を支持することができなくなる。

５．まとめ

①割裂引張試験の供試体の破壊形態から、シート補強を施すことによって、割裂引張破壊に対する耐荷力の向上を図ることができる。

②シート補強を施した端面のひずみは抑制できるが、補強効果範囲外では、ある限界のひずみ量に達するとひびわれが発生・進行して破壊に至る。

③シートの使用枚数を増やすことによって、補強効果範囲は広がると考えられるが、その限界については明らかにできなかった。