

V-19

有限要素解析による新繊維を巻き付けたRC橋脚のせん断耐力について

北海道大学大学院 学生員 鳥居良寛

北海道大学工学部 学生員 大橋考暁

北海道大学大学院 正会員 上田多門

1. はじめに

兵庫県南部沖地震(1995年1月17日発生)は大都市を直撃した直下型地震で、橋梁をはじめとする数多くの土木構造物が被害を受けた。32ヶ所で落橋したほか、多数の鉄筋コンクリート製高架橋柱で損壊が発生した。その教訓により、現行の耐震設計の基本概念の正当性や、現在考慮されている地震動よりさらに大きな地震動に対する対策の必要性が明らかになり、耐震補強の重要性が注目されるようになった。

既存の構造物に対する補強に関しては、これまでに様々な研究がなされており、鋼板や連続繊維シートの巻立てをはじめとして、鋼製橋脚等に対してはコンクリートを充填して補強がなされている。連続繊維シートに関していえば軽量かつ錆びないという利点を有しており、また、新しい素材の開発も進んでいる。

本研究では、新しく開発された高強度ポリアセタール繊維シートの実用化に向けて、その補強効果を検討することを目的としており、特にシートのひずみ性状に着目する。繊維の補強量、付着の有無を変数として有限要素解析を用いて補強効果を検討するとともに、現在幅広く使われている炭素繊維シートと比較することによりその特性を明らかにする。さらに、今後新しい素材のシートを開発するにあたり、一般的にシートの性状をどのようなものにすればよいかを考察する。

2. 解析手法

2. 1 解析プログラム

本解析で用いたプログラムはRCはりの静的せん断問題用に開発された有限要素解析プログラム「WCO MR」である。8接点アイソパラメトリック要素を用いており、各要素の応力は9個のガウス積分点で評価されるものである。本解析において用いた要素の種類はRC要素、高強度ポリアセタールの要素および炭素繊維シートの要素、接合要素の3つに分けられる。接合要素は、橋脚の柱部が基部に食い込む影響を考慮するために橋脚の基部に取り入れた。

2. 2 解析供試体

本研究で用いる高強度ポリアセタール繊維シートは靱性と剛性をかねそなえたポリアセタール樹脂という高分子体を超延伸したものである。その材料特性を炭素繊維シートとともに表1に示す。本研究では橋脚に高強度ポリアセタール繊維シートおよび炭素繊維シートをせん断補強材として巻き付ける。本研究で用いた供試体は、断面が250×250mm、基部から載荷点までの高さが650mm、有効高さ227.5mm、せん断スパン比2.9を有する。解析供試体は全部で9体ある。供試体P1は無補強であり、供試体C1は

表1 シートの力学的特性

	Tensile Strength(tf/cm ²)	Young's Modulus(x10 ⁶ kg/cm ²)	Failure Strain(μ)	Design Thickness(cm)
Polyacetal	17.6	0.22~0.40	80000	0.036
Carbon	35.5	2.35	15000	0.011

Study on Shear Strength of RC Pier with New Material Sheet by Finite Element Analysis

By Yoshihiro TORII, Yoshiaki OHASHI and Tamon UEDA

炭素繊維シートにより、また、供試体T 1、T 2、T 3は高強度ポリアセタール繊維シートにより補強されている。また、供試体T 1、T 2、T 3にはコンクリートの表面とシートとの間に付着があるものかないものがある。すなわち、供試体C 1では炭素繊維シートとコンクリート表面を完全に剛結としているのに対し、供試体T 1、T 2、T 3では高強度ポリアセタール繊維シートとコンクリート表面を完全に剛結としているものと剛結とせず柱断面の隅部だけを固定しているものがある。これは付着の有無による影響を検討するためである。供試体T 1およびT 2ではそれぞれ50mm、25mm幅のシートが95mm間隔で貼り付けられており、供試体T 3では柱の全面にシートが貼り付けられており、供試体C 1は、20mm幅のシートが95mm間隔で貼り付けられている。また、供試体T 2の剛性が供試体C 1の剛性の約1.4倍と比較的近い値となっているため、この2つの供試体を比較することで高強度ポリアセタール繊維シートと炭素繊維シートを比較することができる。以上9体の解析供試体を用いて高強度ポリアセタール繊維シートの補強量の違いによる影響、素材の違い（高強度ポリアセタール繊維シートと炭素繊維シート）による影響、コンクリートとシートとの間の付着の有無による影響を検討する。表2に供試体諸元を、また、図1、図2に供試体図および要素分割図を示す。

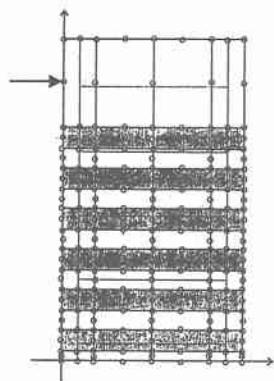
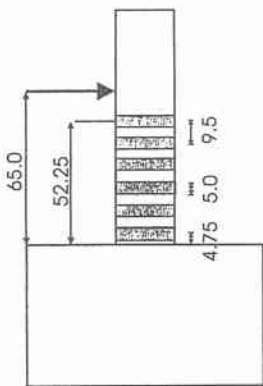
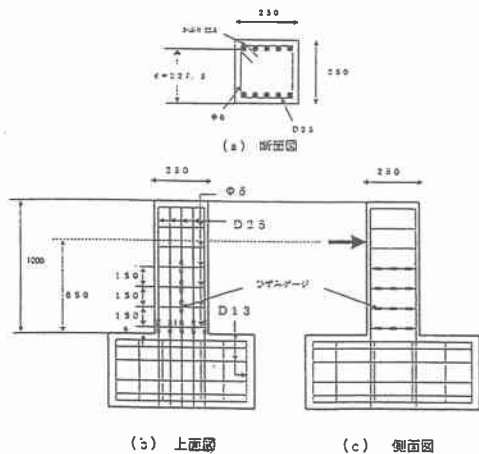


図1 供試体図

図2 要素分割図

表2 供試体諸元

	$f'_c(\text{Mpa})$	$p_t(\%)$	$p_w(\%)$	$p_{sh}(\%)$	Material	Bond
P1	25.0	4.5	0.15	0	—	—
C1B	25.0	4.5	0.15	0.019	Carbon	Bond
T1B	25.0	4.5	0.15	0.077	Polyacetal	Bond
T2B	25.0	4.5	0.15	0.153	Polyacetal	Bond
T3B	25.0	4.5	0.15	0.292	Polyacetal	Bond
T1U	25.0	4.5	0.15	0.077	Polyacetal	Un-bond
T2U	25.0	4.5	0.15	0.153	Polyacetal	Un-bond
T3U	25.0	4.5	0.15	0.292	Polyacetal	Un-bond

f'_c : compressive strength of concrete

p_t : tensile reinforcement ratio

p_w : stirrup ratio

p_{sh} : sheet ratio

3. 解析結果

3. 1 実験結果と解析結果の比較

本研究では解析供試体と同じ供試体で実験を行っている。図3、図4はそれぞれ実験および解析で得られた供試体P1、C1、T1、T2、T3の荷重変位曲線である。解析結果はすべてコンクリート表面とシートとの間の付着があるものを使用している。どちらの図においても高強度ポリアセタール繊維シートの補強量が増すにつれて終局耐力が増加していることがわかる。また、供試体T2は供試体C1の約1.4倍の剛性であるが、この2体を比較すると実験結果および解析結果のどちらにおいても供試体T2の方が高い剛性となっていることがわかる。

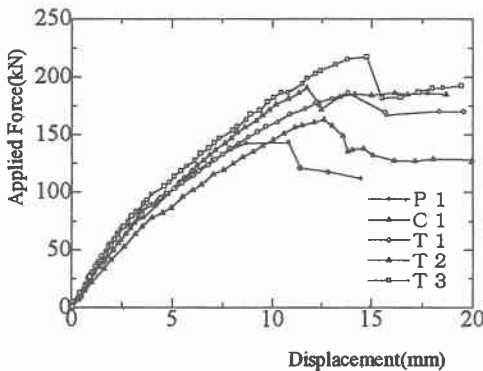


図3 荷重変位曲線(実験結果)

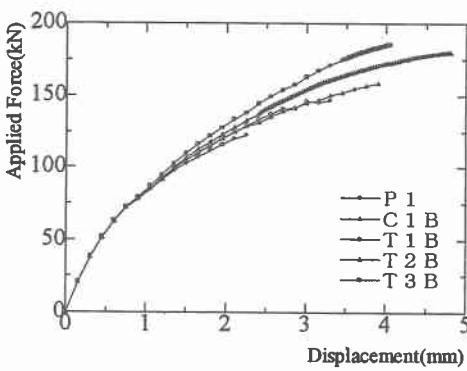


図4 荷重変位曲線(解析結果)

図5は供試体T1の実験により得られた高さ方向のシートのひずみ分布であり、図6は供試体T1Bの解析で得られた高さ方向のシートのひずみ分布である。各高さにおけるシートのひずみは最大値を使用した。供試体T1の実験結果と解析結果を比較すると、それぞれの分布は類似した形状をしており、最大耐力時におけるひずみの値も概ね一致している。

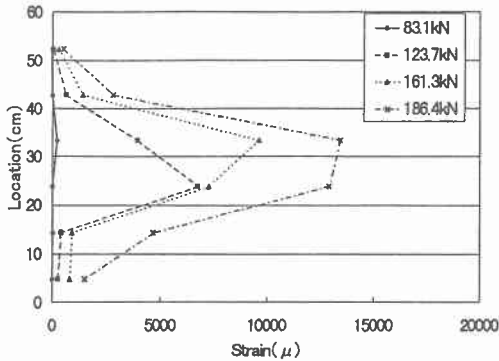


図5 T1高さ方向のひずみ分布(実験値)

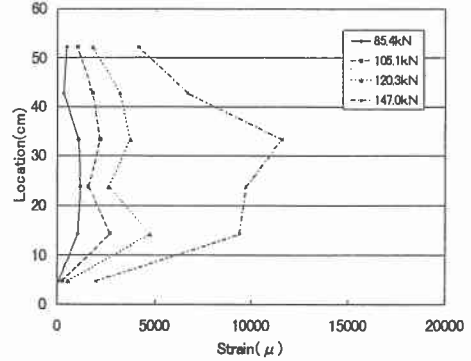


図6 T1B高さ方向のひずみ分布(解析値)

3. 2 補強量の違いによる影響

前述のとおり、高強度ポリアセタール繊維シートを補強した供試体はその補強量が増すにつれて終局耐力が増加した。無補強の供試体P1の終局耐力が122.6kNなのに対して供試体T1Bでは147.0kNと24.4kN(約20%)終局耐力が増加している。また、供試体T1Bの2倍の補強量である供試体T2Bの終局耐力は181.0kNであり、供試体P1よりも58.4kN(48%)増加した。しかし、全面補強の供試体T3Bでは終局耐力は185.8kNとなり供試体T2Bと比べてあまり変わらない結果となった。また、図4より、補強量を増すことにより剛性が大きくなることがわかる。

図7は供試体T1B、T2B、T3Bの荷重が約140kNのときの高さ方向のシートのひずみ分布である。各高さにおけるシートのひずみは最大値を使用した。図より、補強量が増すにつれてシートのひずみが小さくなっていることがわかる。

3. 3 力学的性状の違いによる影響

図8は供試体C1B、T2B、T2Uの荷重変位曲線である。図より、供試体T2Bは供試体C1Bよりわずかに剛性が高くなっている。これは先に述べたように、供試体T2の剛性が供試体C1の剛性の約1.4倍であるためだと思われる。一方、付着をきっている供試体T2Uは、付着のある供試体T2Bと比べて剛性が低く、供試体C1Bよりも低い剛性となっている。付着のある場合とない場合とで終局耐力を比較すると、付着がある供試体T2Bが181.0kNなのに対して、付着のない供試体T2Uは152.4kNと供試体T2Bの方が大きい値となった。このことより、コンクリートとシートの間に着がある場合のほうが終局耐力が高くなると言える。

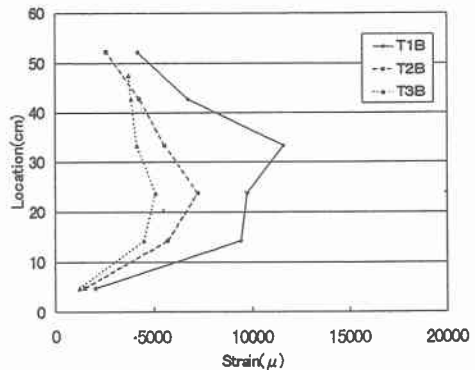


図7 高さ方向のひずみ分布

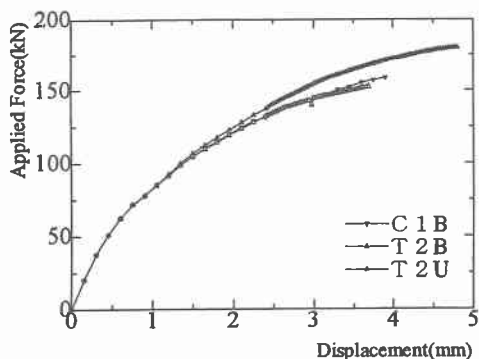


図 8 荷重変位曲線

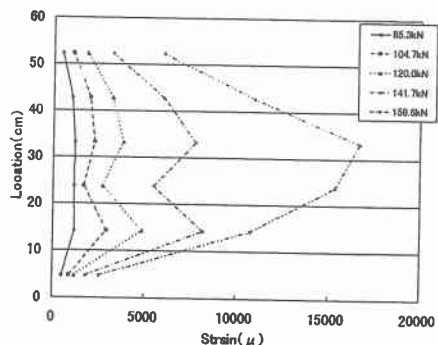


図9-1 C1B 高さ方向のひずみ分布

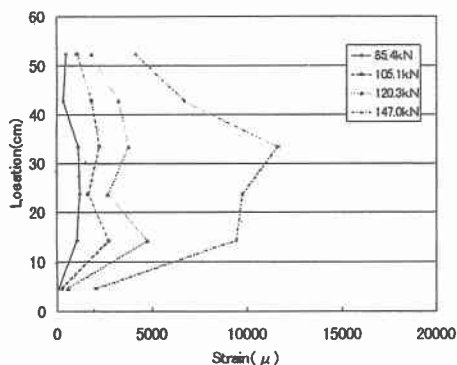


図9-2 T2B高さ方向のひずみ分布

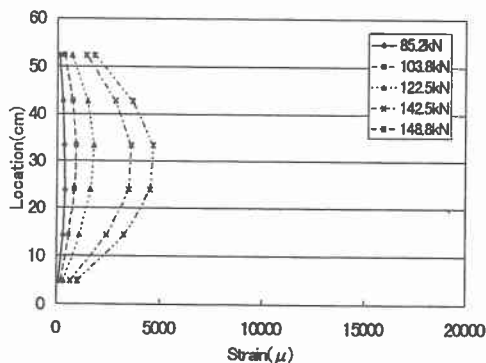


図9-3 T2U高さ方向のひずみ分布

図9-1、2、3は、供試体C1B、T2B、T2Uの各荷重段階における高さ方向のひずみ分布を示している。各高さにおけるシートのひずみは最大値を使用した。図より、供試体C1BとT2Bは同ような分布形状を示しており、最大ひずみはともに17000 μ を超えていることがわかる。しかし、本解析で用いた「WCOMR」ではシートの破断を考慮していない。炭素繊維シートの破断ひずみは15000 μ であり、供試体C1Bは計算された最大荷重に到達する前にシートが破断してしまう可能性が高い。そのため、終局耐力は計算結果より小さくなることが予想される。一方、高強度ポリアセタール繊維シートは、破断ひずみが80000 μ と非常に大きい。そのためシートは破断しないと考えられる。したがって、供試体T2Bの終局耐力は計算結果と一致すると思われる。つまり、計算結果では供試体C1Bの終局耐力が158.6kNで、供試体T2Bの終局耐力が181.0kNと22.4kNほど供試体T2Bのほうが大きい、シートの破断ひずみを考慮するとこれ以上の差が出る可能性が高いといえる。

図9-3は付着のない供試体T2Uの高さ方向のひずみ分布であるが、最大耐力時のひずみは5000 μ 弱で付着のある供試体T2Bと比べると小さい値となっている。これは、付着がある場合は斜めひび割れ上で局部的にひずみが大きくなるのに対して、付着がない場合はひずみの大きさは斜めひび割れの位置に影響されず、高さ方向のひずみ分布が一様になるためである。そのため、付着がない場合はひずみの値は小さくなり、破断を遅らせることができる。すなわち、コンクリートとシート間に付着がない場合、破断が遅れるというメリットと、終局耐力が小さくなるというデメリットがあるといえる。

4. 新素材の開発

本研究では高強度ポリアセタール繊維シートという新しい素材の補強効果について検討した。その結果、コンクリートとシート間に付着がある場合において、高強度ポリアセタール繊維シートは破断ひずみが大きいため、炭素繊維シートでは破断してしまう耐力下でも破断せずに補強効果があることが確認できた。今後、高強度ポリアセタール以外にも新しい素材の補強材が開発されることが予想されるが、開発にあたり一般的にシートの性状をどのようなものにすればよいかが考察できた。すなわち、コンクリートとシートの間の付着を接着剤によりしっかりととり、破断ひずみが大きい素材にすれば良いと思われる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 高強度ポリアセタール繊維シートを補強することにより、せん断耐力および剛性を増加させる効果が実験的かつ解析的に確認された。
- (2) 一般的に、コンクリートとシートの間の付着をきると、シートの破断を遅らせることはできるが、終局耐力は付着がある場合に比べて小さくなる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、施工のご指導をはじめ数多くの助言を頂いた旭化成建材株式会社の飯星力氏に深く感謝の意を表します。