

V-41

ポリアセタール繊維シートを巻き付けたRC橋脚の補強効果について

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	関谷 圭介
北海道大学大学院	正会員	佐藤 靖彦
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き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。特に靱性能について着目し、有限要素法を用いて実験値と比較しながらその特性を明らかにする。

2. 高強度ポリアセタール繊維シートの特徴

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兼ね備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。高強度ポリアセタール繊維シートの特徴を以下に挙げる。

- (1) 引張強度が高い
- (2) 破断伸度が大きい
- (3) 電気を通さない
- (4) 耐磨耗性・耐カット性に優れる
- (5) 耐油性・耐有機溶剤性に優れる
- (6) 吸水率が極めて低い

さらに、高強度ポリアセタール繊維シートはたいへん施工性が優れており、以下のような特徴を有する。

- (1) 隅角部の面取り処理が不要
- (2) 専用特殊接着剤でプライマー・パテが不要
- (3) 複層貼りの際、接着剤の養生時間が不要
- (4) 上記により最短1日施工が可能

また、高強度ポリアセタール繊維シートの材料特性を炭素繊維シートと比較して表1に示す。

表1 シートの力学特性

	引張強度(MPa)	弾性係数(GPa)	破断強度(μ)
ポリアセタール	1760	40	80000
炭素繊維	3480	230	15000

Reinforcing Effect of a RC Pier with Polyacetal Fiber Sheet

By Yoshihiro TORII, Keisuke SEKIYA, Yasuhiko SATO and Tamon UEDA

3. 解析概要

3. 1 解析プログラム

本解析で用いたプログラムはRC部材に適応可能な非線形有限要素解析プログラム「WCOMR」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、橋脚の柱部が基部から抜け出す影響を考慮するために取り入れた。

3. 2 解析供試体

本研究では橋脚に高強度ポリアセタール繊維シートをせん断補強材として巻き付ける。解析供試体は全部で3体である。供試体S1は無補強であり、供試体S2およびS3は高強度ポリアセタール繊維シートが全面に補強されている。供試体S2ではシートを1層巻き付け、供試体S3ではシートを2層巻き付けている。また、供試体S2およびS3はコンクリート表面と高強度ポリアセタール繊維シートとを完全に剛結としている。また、本研究では解析供試体S2の実験も行っている。実験供試体は、断面が250×250mm、基部から載荷点までの高さが650mm、有効高さ219.4mm、せん断スパン比2.96を有する。

以上3体の解析供試体および1体の実験供試体を用いて、高強度ポリアセタール繊維シートを巻き付けた橋脚の靱性能、スターラップの応力、シートの応力、シートのひずみ分布等について検討する。図1、図2に供試体図および要素分割図を、また、表2に供試体諸元を示す。

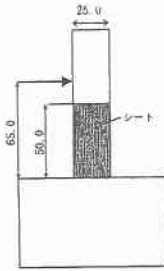


図1 供試体図

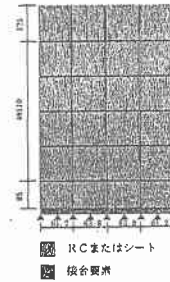


図2 要素分割図

表2 供試体諸元

	f'_c (MPa)	p_t (%)	p_w (%)	p_{sh} (%)	シート補強
S1	25.0	2.82	0.52	0	無補強
S2	25.0	2.82	0.52	0.15	1層巻き
S3	25.0	2.82	0.52	0.29	2層巻き

f'_c : compressive strength of concrete

p_t : tensile reinforcement ratio

p_w : stirrup ratio

p_{sh} : sheet ratio

4. 解析結果

4. 1 実験結果との比較

本研究では解析供試体S2と同じ供試体で実験を行っている。解析供試体S2は主鉄筋降伏後、基部付近で圧壊を起こして計算を終了した。これに対して、実験供試体S2では主鉄筋降伏後、ななめひび割れが拡大してせん断破壊を起こした。表3は実験および解析結果であり、図3は解析供試体S1、S2、S3および実験供試体S2の靱性率と荷重の関係を示したものである。柱の変形量を靱性率で表したのは、解析値と実験値とでは基部の変形等の理由により柱の変位が多少ずれてしまうため、柱の変位を靱性率で表すことに

より両者を比較検討しやすくするためと、靱性能について検討するためである。なお、靱性率 μ は主鉄筋が降伏したときの変位を降伏変位 δ_y 、降伏荷重を下回った時の変位を終局変位 δ_u として以下のように表す。

$$\mu = \delta_u / \delta_y$$

供試体 S 2 の実験値と解析値を比較すると、図 3 より、2 つの挙動が概ね一致することがわかる。また、最大耐力は実験値が 193.6 kN に対して解析値が 178.0 kN であり、靱性率は実験値が 2.86 であるのに対して解析値では 2.77 であった。

図 4 は供試体 S 2 の靱性率とスターラップの応力の関係を示しており、実験値と解析値を比較している。スターラップは斜めひび割れの幅が大きかった基部から 25 cm の位置にあるものの平均応力である。靱性率が 1 におけるスターラップの応力は実験値と解析値の両方とも 200 MPa 前後であり、曲げ降伏後の応力はほぼ横ばいかもしくは緩やかな右上がりである。図 5、図 6 は供試体 S 2 の柱高さ方向のシートのひずみ分布であり、実験値と解析値を比較している。図 5 は靱性率が 1 の場合で、図 6 は靱性率が 2 の場合である。靱性率が 1 の場合は、シートのひずみの最大値は実験値が 2631 μ であり、解析値は 1993 μ である。実験値の方が若干ひずみの値が大きくなった。また、靱性率が 2 の場合はシートひび割れの最大値は実験値が 4889 μ であるのに対して解析値では 2181 μ と大きな違いが生じた。実験では斜めひび割れの幅が大きくなるにつれてシートのひずみも大きくなった。特にひび割れの幅が大きかった基部からの距離が 12.5 cm の位置では、ひずみの増加量が大きくなっている。これに対して、解析値では斜めひび割れがあまり成長せず、斜めひび割れ域のひずみは変形が進行してもあまり変化しなかった。一方、基部付近の圧縮域のひずみは靱性率が 1 の場合と 2 の場合を比較すると、実験値では 800 μ 程度増加し、解析値は 1200 μ 程度増加した。これは、実験と解析の両方とも基部付近のひび割れが拡大していることを示しているが、解析の方が圧縮部のひび割れの成長が早いと言える。そのため実験では起こらなかった基部付近での圧壊が解析において起こったと思われる。

表 3 実験のおよび解析結果

	靱性率 (μ)	降伏変位 (mm)	降伏荷重 (kN)	最大耐力 (kN)	破壊形式
S2(実験値)	2.86	8.81	162.3	193.6	降伏後のせん断
S1(解析値)	1.26	4.65	172.0	175.2	曲げ
S2(解析値)	2.77	4.50	172.8	178.0	曲げ
S3(解析値)	2.83	4.50	173.5	178.6	曲げ

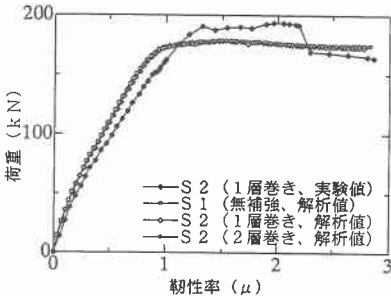


図 3 靱性率－荷重

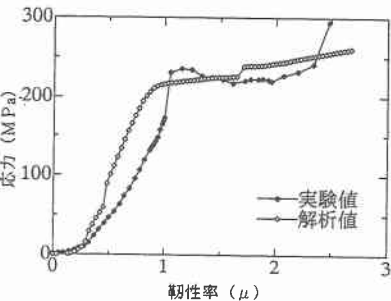


図 4 靱性率－スターラップの
応力

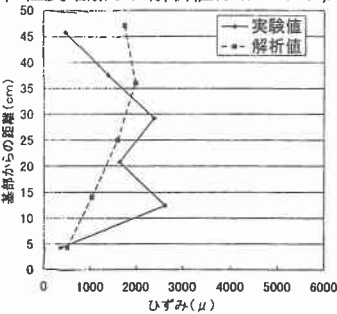


図 5 柱高さ方向のシートの
ひずみ分布 ($\mu=1$)

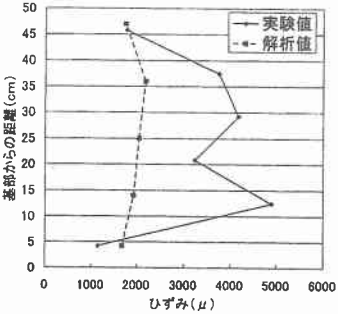


図 6 柱高さ方向のシートの
ひずみ分布 ($\mu=2$)

実験値と解析値を比較した結果、シートのひずみ分布で両者に違いが見られたが、それ以外の結果は概ね一致すると言える。

4. 2 補強量の違いによる影響

本研究では全部で3体の供試体を解析している。すなわち、無補強の供試体S1、シートを1層補強したS2、シートを2層補強したS3である。無補強の供試体S1では、曲げ降伏後すぐに柱の基部部分で圧壊が生じて計算を終了した。これに対して、シートで補強した供試体S2およびS3では、曲げ降伏後も耐力を保ったまま変形が進み、最後は供試体S1同様、柱の基部部分で圧壊を生じて計算を終了した。図3より、無補強の供試体S1に比べ、シートを補強した供試体S2、S3は靱性が向上したことがわかる。しかし、供試体S3では供試体S2の2倍のシートを補強したにもかかわらず、供試体S2に比べて靱性はほとんど向上しなかった。また、最大耐力は供試体S1が175.2kN、供試体S2が178.0kN、供試体S3が178.6kNである。補強量が増しても最大耐力にはあまり影響しなかった。

図7は供試体S1、S2、S3の靱性率とスターラップの応力関係を示している。スターラップの位置は圧壊を生じた柱の基部部分に近いものである。図より、スターラップの応力変化はいずれの供試体でもほぼ同じ挙動を示していることがわかる。これは、いずれの供試体でも斜めひび割れの成長が小さかったことを示している。したがって、シートの補強量を変えても応力に変化が生じず、実験と解析の破壊形式の違いを生んだものと考えられる。

図8は供試体S2、S3の靱性率とシートの応力関係を示している。シートの場合もスターラップの場合と同様、いずれの供試体においても斜めひび割れの成長が小さかったため、シートの応力変化は供試体S2とS3ではほぼ同じ挙動を示している。補強量の少ない供試体S2の方が若干シートの受け持つ応力が大きかった。

無補強の供試体S1とシートにより補強された供試体S2を比較してみると、靱性率が1の場合、荷重はほぼ等しく、スターラップが受け持っている応力も同じである。したがって、供試体S1では圧壊が生じたのに対し供試体S2では圧壊が生じなかったのは、供試体S2ではシートが受け持つ応力がある分、コンクリートの負担する耐力が少なくて済んだからであると考えられる。そして、靱性率が1を越えた以降においても、供試体S2ではスターラップとシートが受け持つ応力が増加しているため、コンクリートの圧壊が起こらず、変形性能が進んだものと考えられる。すなわち、シートを補強することにより靱性能を増すことができたと言える。しかし、1層巻きの供試体S2と2層巻きの供試体S3を比較してみると、各応力に差異があまり見られず靱性もほぼ同じであった。

5. まとめ

- (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、曲げ破壊を遅らせることができ、靱性能を向上できることが確認された。
- (2) 高強度ポリアセタール繊維シートの補強量を2倍にしてもさらなる靱性能の向上は見られなかったが、これは実験と解析の破壊形式の違いによるものと思われる。すなわち、解析においては斜めひび割れの成長が遅いため、せん断破壊を起こさず、曲げによる圧壊が生じたと思われる。

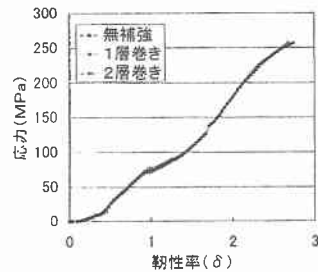


図7 靱性率—スターラップの応力

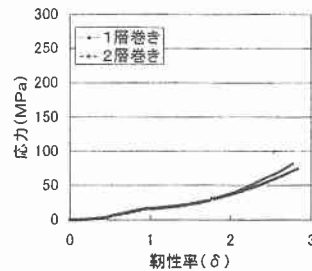


図8 靱性率—シートの応力