

機械式定着繊維バンド巻立て工法による RC橋脚のせん断補強効果に関する実験的検討

堺 淳一* 運上茂樹**

1. はじめに

大規模な地震が発生した場合、鉄筋コンクリート（RC）橋脚をはじめとする橋梁構造物に損傷が生じ、一定期間の交通止めを余儀なくされたという事例がこれまでも報告されている。交通止めの期間を短縮するためには、即効性のある工法により迅速かつ合理的に機能回復を図るための応急復旧技術の開発が必要である。

こうした背景から、土木研究所では既往の地震においても被災事例の多いRC橋脚に対する即効性のある復旧工法として機械式定着繊維バンド巻立て工法を提案し、これまでに柱基部で曲げ破壊するRC橋脚に対する振動台加震実験等によりその復旧効果を検証した¹⁾。しかし、曲げ損傷よりもせん断損傷の方が致命的な被害に至りやすいため、短期的な応急復旧の目的としてはせん断耐力を確保することが重要である。このため、本工法によるせん断補強効果を調べるとともに、本工法の復旧設計法を確立するためにはその効果を適切に評価できる手法を開発することが必要となる。そこで、せん断破壊タイプのRC橋脚模型2体に対して正負くり返し載荷実験を行った。

2. 実験模型と実験セットアップ

図-1に実験模型の柱部の配筋、断面の配筋をそれぞれ示す。橋脚断面は1辺が0.6 mの正方形であり、載荷点高さは1.8 mとした。せん断支間比は3である。バンドを巻立てるため、隅角部は半径30 mmの1/4円形として面取りをした。

実験模型は2体であり、1体はせん断補強筋として帯鉄筋を配置した橋脚模型とし、これに対して正負くり返し載荷実験を行って地震による損傷を模擬した損傷を与えた後、提案工法によって修復し、再度正負交番くり返し載荷実験を行い、これにより提案工法の効果を調べることにした。これを帯筋補強模型と呼ぶ。また、もう1体は繊維

バンドによるせん断補強効果を調べるために、せん断補強筋を配置せず、その代わりに繊維バンドでせん断補強した橋脚模型とした。これを繊維バンド補強模型と呼ぶ。本模型に対する実験により、本工法を耐震補強工法として用いた場合の効果も確認することとした。

配筋は、帯筋補強模型が曲げ損傷からせん断破壊するように決めた。軸方向鉄筋としてはSD345材のD13を52本配置した。帯鉄筋としてはSD295A材のD6を200 mm間隔で配置することとした。軸方向鉄筋比は1.83%であり、帯筋比は0.12%である。コンクリートの設計基準強度は24 N/mm²とした。材料試験に基づく強度は表-1に示すとおりであり、コンクリートの圧縮強度はいずれの模型に対しても31.3 N/mm²であった。軸方向鉄筋、帯鉄筋の降伏強度はそれぞれ371 N/mm²、327 N/mm²であった。

写真-1に実験セットアップを示す。載荷は1方向載荷とし、基準変位の整数倍の同一振幅におけるくり返し回数を1回とした載荷を行った。ここで、載荷の基準変位 δ_0 としては、計算による降伏変位の25%に相当する1.3 mmとした。柱の上部構造重量による軸力を模擬するために、柱基部の軸力が1 N/mm²となるように、柱の頂部には軸力として360 kNを作用させた。

3. 提案工法による応急復旧

帯筋補強模型に対しては、後述のようにせん断破壊が生じた後に提案工法による応急復旧を行った。一方、繊維バンド補強模型に対しては、帯筋の配置されていない無損傷の模型に対して繊維バンドを機械式定着により巻立てた。

提案工法の一般的な手順は以下のとおりである。修復作業の様子を写真-2に示す。

- 1) 損傷したコンクリートの除去、修復部の清掃
- 2) 下地処理剤（プライマー）の塗布
- 3) モルタル等による断面修復
- 4) 機械式定着による繊維バンドの巻立て

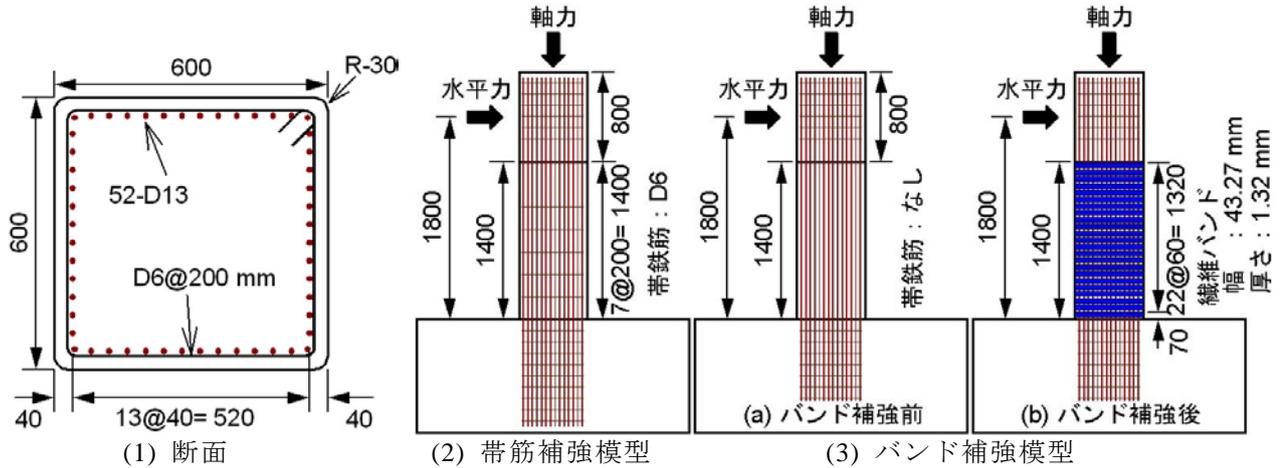


図-1 模型供試体の配筋

表-1 材料試験結果

	弾性係数 (kN/mm ²)	圧縮強度/ 降伏強度 (N/mm ²)
コンクリート (帯筋補強模型)	28.8	31.3
コンクリート (バンド補強模型)	28.6	31.3
軸方向鉄筋 (D13 SD345)	185.7	371.0
帯鉄筋 (D6 SD295A)	172.5	326.6

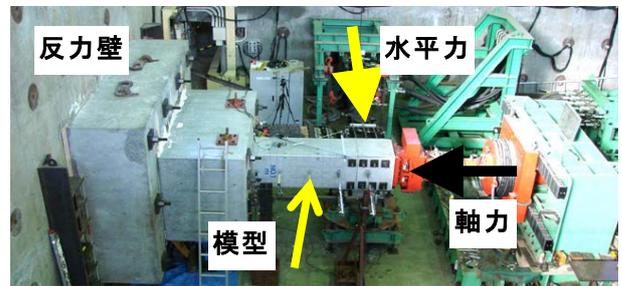
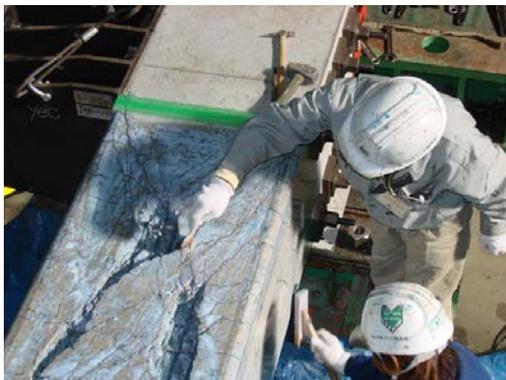


写真-1 実験セットアップ



(a) プライマーの塗布



(b) 繊維バンドの巻立て



(c) 修復完了

写真-2 提案工法による応急復旧

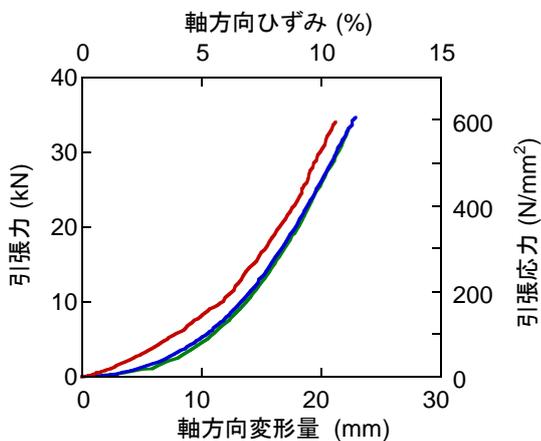


図-2 繊維バンドの引張力～変位関係

機械式定着による繊維バンド巻立てには、アラミド繊維バンドと定着金具を用いた。帯筋補強模型の損傷後の断面修復にはプライマーとして高分子ポリマーエマルジョンシーラーを、断面修復材として超速硬性無収縮モルタルを用いた。

定着金具には、公称破断強度が20 kNである梱包用ベルトに用いられる市販の金具を用いた。

アラミド繊維バンドとしては、厚さ1.32 mm、幅43.27 mmのものを用いた。アラミド繊維バンドの素材としての弾性係数、破断強度はそれぞれ70.5 kN/mm²、2920 N/mm²であるが、これを織ってバンドとした場合の力学的特性は3本の試

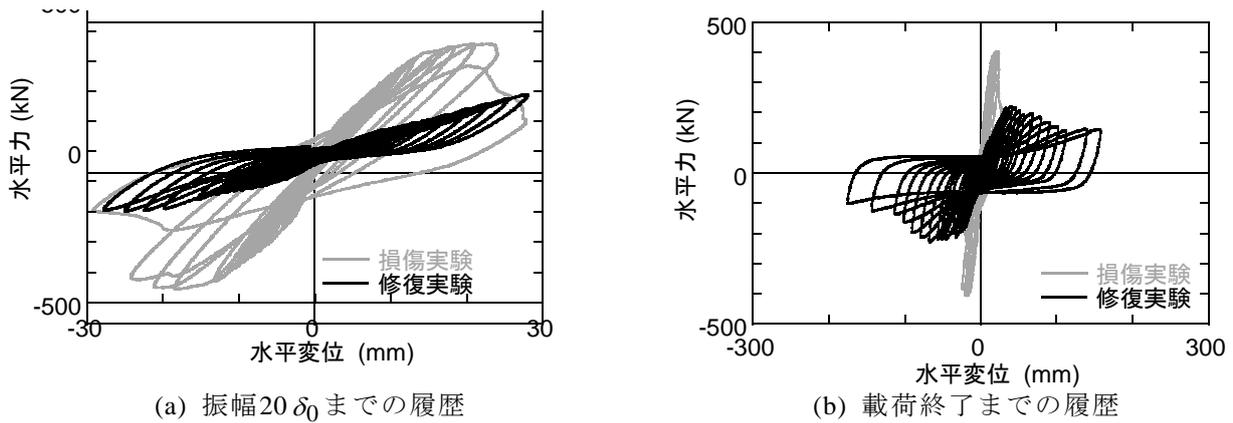


図-3 帯筋補強模型の水平力～水平変位の履歴



写真-3 帯筋補強模型の修復実験後の最終損傷状況

験体に対する引張試験により別途調べた。その結果を図-2に示す。これによれば、繊維材の引張力～変位関係は下に凸の曲線となる。これは、バンドとして織った繊維材が引張力の作用により縮まっていくために剛性が高くなるためである。破断強度は約 600 N/mm^2 、破断ひずみは約10%であった。

超速硬性無収縮モルタルの弾性係数、圧縮強度は、材料試験によれば、それぞれ 10.7 kN/mm^2 、 27.9 N/mm^2 であった。圧縮強度はコンクリートと同程度であるが、弾性係数が低い。

バンドは、出来る限り設置間隔を狭くすることとしたが、定着金具の横幅が 60 mm 程度あり、これよりもバンドの設置間隔を小さくすることは困難であったため、 60 mm とした。

4. 載荷実験による性能評価

4.1 帯筋補強模型

帯筋補強模型に対する損傷を生じさせる実験（損傷実験）と修復後の模型に対する実験（修復実験）で得られた水平力～水平変位の履歴の比較

を図-3に示す。また、写真-3には修復実験後の最終損傷状況を示す。

初期段階の剛性は、修復後には健全な状態に対する実験で得られた剛性の30%程度にまで低下した。振幅が $14\delta_0$ （振幅 20 mm ）の段階で修復前の最終段階の載荷における耐力を上回ったため、これより後の耐力の増加は繊維バンドによる補強効果であると考えられる。この段階でも繊維バンドのひずみは最大でも0.32%程度であった。最大耐力に達したのは $32\delta_0$ （振幅 47 mm ）の載荷の段階で、このときの耐力は 220 kN 程度であり、修復前の最終段階の載荷における耐力からは 80 kN ほど増加した。このとき、繊維バンドには1%のひずみが生じた。

この後は、緩やかに耐力が低下し、最終的には載荷振幅が $120\delta_0$ （振幅 167 mm ）に達した段階で載荷を終了した。この段階では、写真-3(b)に示すように柱断面がほぼ円形に近いような状態になっていたが、バンドが破断したり、定着金具からはずれることはなかった。また、損傷は柱基部に集中していることから、バンド巻立てによる応

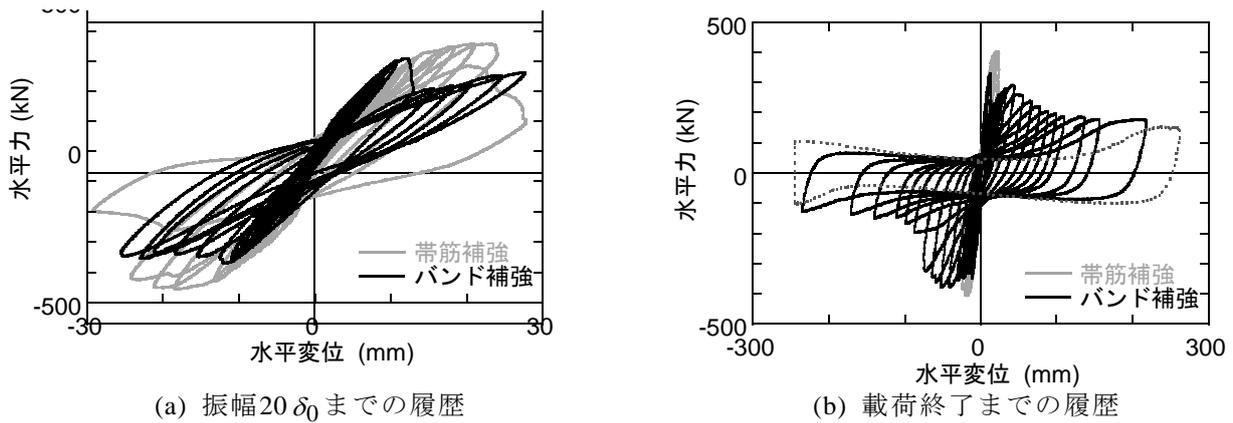


図-4 繊維バンド補強模型の水平力～水平変位の履歴

急復旧により破壊形態は曲げ破壊タイプに変化し、かつ大きな変形性能が確保されたことが分かる。

4.2 繊維バンド補強模型

繊維バンド補強模型の水平力～水平変位の履歴を帯筋補強模型に対する損傷実験の履歴と比較した結果を図-4に示す。初期剛性は、帯筋補強模型と同程度であった。また、載荷初期の段階では、斜めひび割れが進展したこと、バンドのひずみも小さかったこと、振幅 $10\delta_0$ (13 mm) の載荷中に耐力が急激に低下したことから、耐震補強としてのバンド巻立てによるせん断補強効果は大きくないことが分かる。なお、耐力が急激に低下したときにバンドのひずみは急増しており、バンドがせん断補強効果を発揮し始めたことが分かる。この後、載荷振幅が増加するとともに、バンドのひずみが増加し、それにつれて正側の耐力も再び増加する。振幅 $32\delta_0$ (43 mm) の載荷時には耐力が294 kNにまで回復しており、この耐力の増加分がバンドによるせん断補強効果であると推測される。

この後は、コンクリートの損傷による耐力の低下の度合いが大きくなるため、水平耐力は下がり始めるが、バンドの破断、急激な耐力の低下がなかったため、最終的には振幅 $200\delta_0$ (253 mm) まで載荷した。最終損傷状況は、写真-2(b)に示した帯筋補強模型の復旧後の実験と同様であった。

以上より、コンクリートがせん断破壊する段階では機械式定着による繊維バンド巻立ての効果は大きくないが、その後は、脆性的な破壊を防止し、柱基部に損傷が生じ、曲げ破壊タイプに破壊形態が変化した上で、大きな変形性能を確保できており、本工法による補強効果が示された。

5. 結論

本研究では機械式定着繊維バンド巻立て工法のせん断補強効果を調べるために、せん断破壊タイプのRC橋脚に対する正負交番載荷実験を行った。以下に本研究で得られた結論を示す。

- 1) せん断破壊した橋脚模型を提案工法によって修復すると破壊形態は曲げ破壊に変化し、バンドの高い伸び性能により、内部のコンクリートが激しく損傷した状態でも脆性的な破壊は生じず、安定した変形性能を確保できた。
- 2) 耐震補強として本工法を用いる場合、コンクリートがせん断破壊する段階では繊維バンド巻立ての効果は大きくないが、その後は、脆性的な破壊を防止し、柱基部の曲げ破壊タイプに破壊形態が変化した上で、大きな変形性能を確保できた。

参考文献

- 1) 堺 淳一、運上茂樹：震災を受けた道路橋の応急復旧技術の開発に関する振動台加震実験、土木技術資料、50-9、pp. 32-35、2009。

堺 淳一*



独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究
センター橋梁構造研究グ
ループ 主任研究員、博
(工)
Dr. Junichi SAKAI

運上茂樹**



国土交通省国土技術政策
総合研究所危機管理技術
研究センター 地震災害
研究官、工博
Dr. Shigeki UNJOH