

論文

RC 部材の上面増厚補強工法による補強効果のモニタリングに関する研究

中鉢竜太*, 大西弘志**, 岩崎正二***, 出戸秀明***, 大久保藤和****

*岩手大学大学院, 工学研究科社会環境工学専攻 (〒020-0066 岩手県盛岡市上田 4 丁目 3-5)

**工博, 岩手大学准教授, 工学部社会環境工学科 (〒020-0066 岩手県盛岡市上田 4 丁目 3-5)

***工博, 岩手大学教授, 工学部社会環境工学科 (〒020-0066 岩手県盛岡市上田 4 丁目 3-5)

****太平洋マテリアル株式会社 (〒135-0064 東京都江東区青海 2-4-24)

構造物の状態を把握する方法として、構造物の固有振動数の変化を利用する構造ヘルスマニタリング技術がある。本研究では、程度の異なる損傷を与えた RC 梁にポリマーセメントモルタルで上面増厚補強を行った試験体を用意し、これらの梁に対して静的載荷試験を行うと同時に衝撃振動試験を行った。これより、補強前の劣化状態と補強効果との関連性や、試験体の状態に応じて固有振動数がどのような値を示すのかを試験した。

キーワード：上面増厚, ポリマーセメントモルタル, 固有振動数, ヘルスマニタリング

1. はじめに

我が国で高度成長期に建設された橋梁は供用開始から 40～50 年を経過しており、今後、補修・補強を必要とする橋梁は増加するものと予想されている。これらの橋梁を維持管理するために実施される点検は目視により行われることが多いが、目視により全ての劣化現象を定量的に評価できるわけではない。そのため、橋梁の劣化程度を簡易かつ定量的に把握する方法を確立することが重要である。

構造物の状況を客観的かつ定量的に把握するための手法として、構造物の振動特性の変化を利用して損傷を評価する構造ヘルスマニタリング技術は、有効な手法の一つとして注目されている。構造物に認められる振動特性のうち、固有振動数は最も基本的な要素であり、現状の固有振動数を初期状態の固有振動数と比較することで、性能の現状評価が可能となることが分かっている。

今後、橋梁の維持管理業務ではその数量が増大すると予想されている。現状において橋梁の維持管理に用いることのできる人的・経済的資源は限定的であり、市民生活を支える道路網を維持し続けるためには最適な時期に補修・補強を実施する必要がある。

本研究では、程度の異なる損傷を与えた RC 梁にポリマーセメントモルタル（以下、PCM）で上面増厚補強を行った試験体を用意した。これらの梁に対して静的載荷試験を行い、補強前の劣化状態と補強効果の間に関連性があるのかどうかを確認すると同時に、載荷途中で衝撃振動試験を実施し、各時点における固有振動数を求めることにより、固有振動数が試験体の状況に応じてどのよ

うに変化するのかを調査した。

2. 試験概要

2.1 試験体概要

図 - 1, 2 に示す形状を有する RC 梁に対して、PCM で上面増厚した梁（図 - 3）を製作した。この試験体の RC 部の寸法は幅 100mm×長さ 1200mm×高さ 150mm であり、増厚材料の厚さは 20mm である。各試験体の支点付近と 1/4 断面、中央断面の位置において鉄筋にひずみゲージを貼り付け、試験の際にひずみを計測した。表 - 1 にそれぞれの材料試験結果を示す。

試験体は、上面増厚をしないものを 5 体、PCM で上面増厚したものを 10 体用いた。これら上面増厚をした 10 体の内 8 体は、支間中央の鉄筋のひずみが 500 μ 、1000 μ 、2000 μ に至るまで 4 点曲げ載荷を行い、上面増厚を施工する前に初期損傷を与えた。また、支間中央の鉄筋のひずみが 2000 μ の時の支間中央変位を δ とし、支間中央の変位が 2 倍の 2 δ に至るまで同様に初期損傷を与えた。残りの 2 体は初期損傷を与えず健全な状態とした。これより上面増厚前の初期損傷が異なる試験体を 5 パターン、それぞれのパターンで 2 体ずつ用意した。

2.2 試験方法

本試験では 4 点曲げで載荷を行い、所定の時点で除荷と載荷を繰り返した。今回の試験では、支間中央の鉄筋のひずみが 500 μ ・1000 μ ・2000 μ と支間中央の変位が 2 δ に達した時点で除荷と載荷を繰り返した。除荷時には、荷重が抜けた時点でテストハンマーによる衝撃振動試

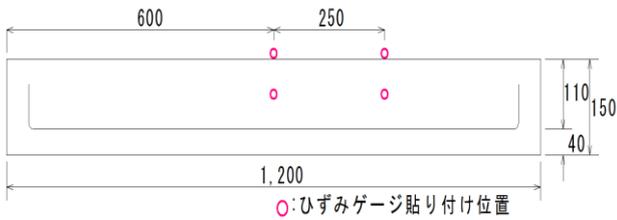


図 - 2 RC 梁側面図 (単位: mm)

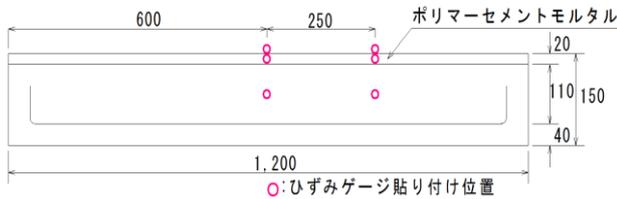


図 - 3 上面増厚試験体側面図 (単位: mm)

表 - 1 材料試験結果

材料	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
コンクリート	67.23		35.64
鉄筋 (D13)		576.95	200.00
PCM	47.71		31.70

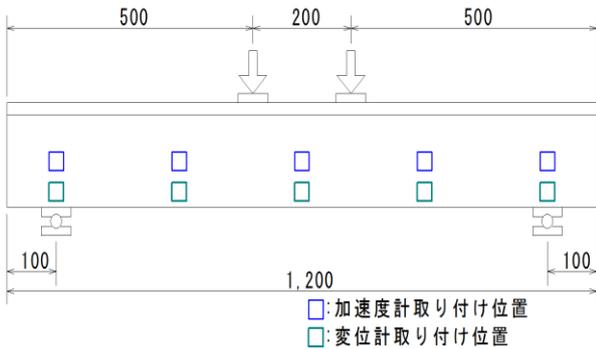


図 - 4 試験時の状況 (単位: mm)

験を行い、加速度波形の計測を実施している。この時の打撃位置は試験体上面の支間中央、4分の1点、支点部の3か所である。図-4に加速度計と変位計の取り付け位置を示す。

3. 試験結果

3.1 荷重 - 変位の関係

図-5, 6は静的載荷試験より、各試験体の破壊までの荷重と変位の関係を示す。これらの図から、上面増厚を行うことにより曲げ耐力が向上していることがわかる。また今回の試験では、上面増厚前に鉄筋のひずみを2000 μ まで損傷を与えた試験体が、上面増厚による補強効果をより得られたという結果となった。

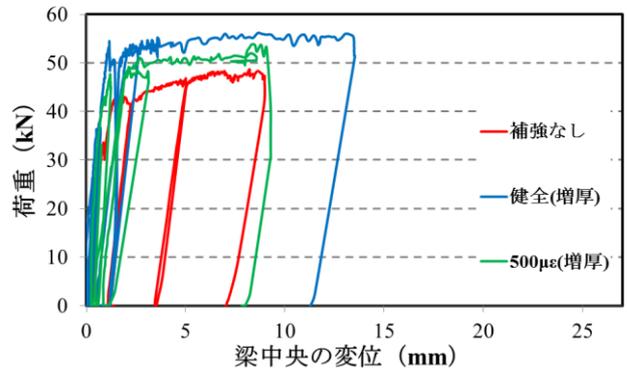


図 - 5 静的載荷試験結果

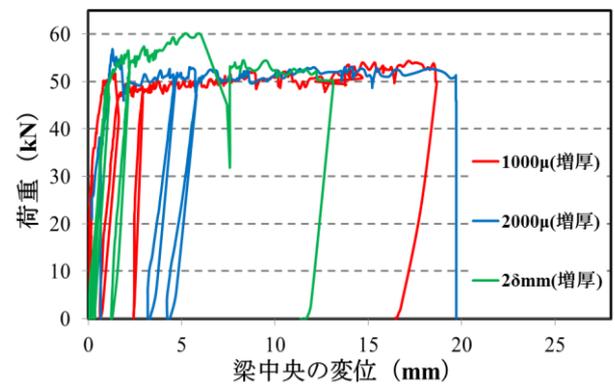


図 - 6 静的載荷試験結果

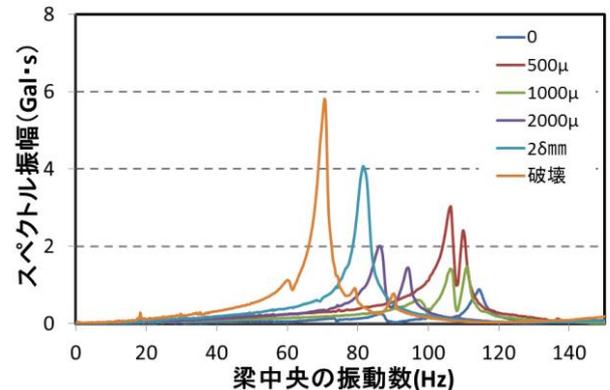


図 - 7 衝撃振動試験結果 (補強なし)

3.2 フーリエスペクトルの推移

図-7には衝撃振動試験で得られた加速度データにFFTを行うことにより得られるスペクトルの分布を示している。この図から、載荷試験の進行に伴いRC梁試験体の固有振動数が低下しており、RC梁の剛性低下に伴う固有振動数の低下を確認できることがわかる。

3.3 初期状態、上面増厚前後のフーリエスペクトル

衝撃振動試験の結果より得られる、各試験体の初期状態と上面増厚前後のフーリエスペクトル分布を図-8, 9, 10で示す。上面増厚前の初期損傷の程度が1000 μ ・2000 μ の場合、試験体の上面増厚後の固有振動数は、初期状態と同等もしくは初期よりも高い値を示していることが

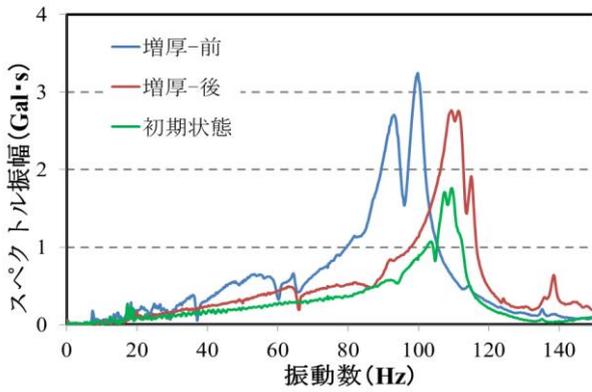


図 - 8 スペクトル分布 (1000 μ まで損傷後増厚)

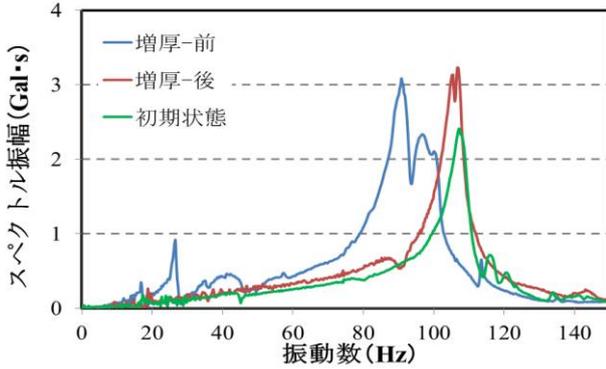


図 - 9 スペクトル分布 (2000 μ まで損傷後増厚)

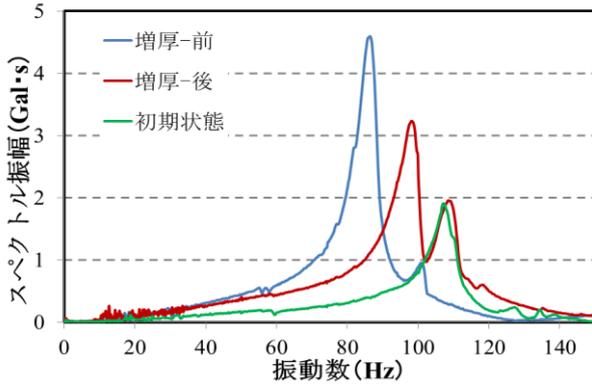


図 - 10 スペクトル分布 (2 δ まで損傷後増厚)

わかる。これより、試験体の剛性が初期状態と同等の水準まで回復もしくはそれ以上に向上しているものと推定される。上面増厚前の初期損傷として2 δ の変位を与えた場合では、上面増厚後の固有振動数は、初期状態と比べ低い値を示し、剛性が初期状態まで回復していないことが推察される。

3.4 各ひずみ時点の固有振動数

繰返し載荷試験での、各除荷の時点における衝撃振動試験の結果より求められた、各試験体のフーリエスペクトル分布を図 - 11, 12, 13, 14 に示す。載荷試験で支間中央の鉄筋のひずみが1000 μ に至るまでは、各試験体の固有振動数に大きな差は見られない。これらの結果は、

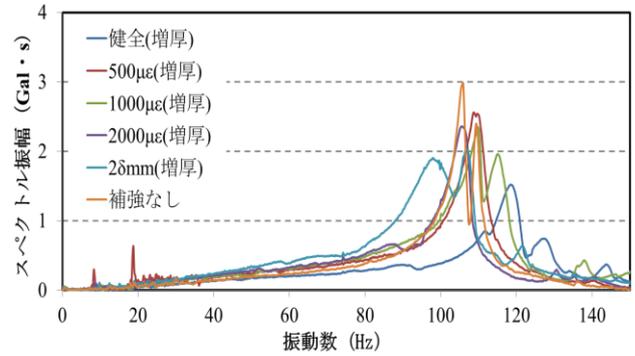


図 - 11 スペクトル分布
(支間中央の鉄筋のひずみ：500 μ)

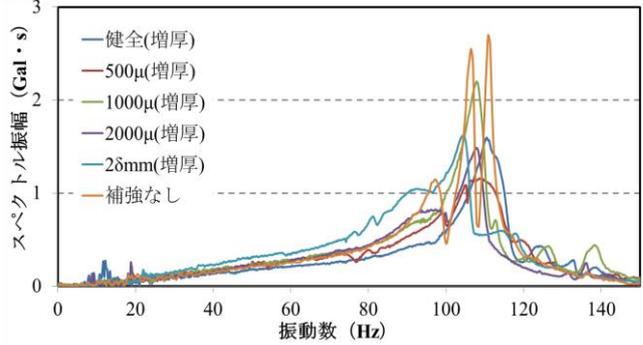


図 - 12 スペクトル分布
(支間中央の鉄筋のひずみ：1000 μ)

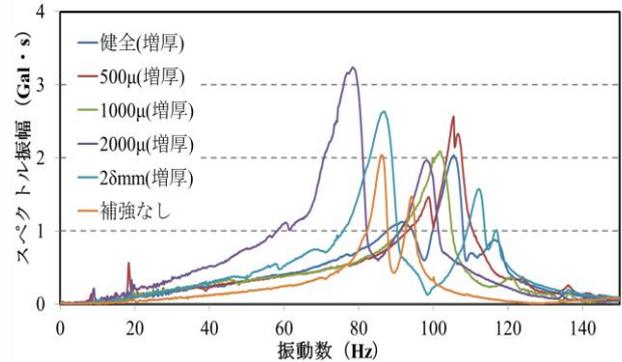


図 - 13 スペクトル分布
(支間中央の鉄筋のひずみ：2000 μ)

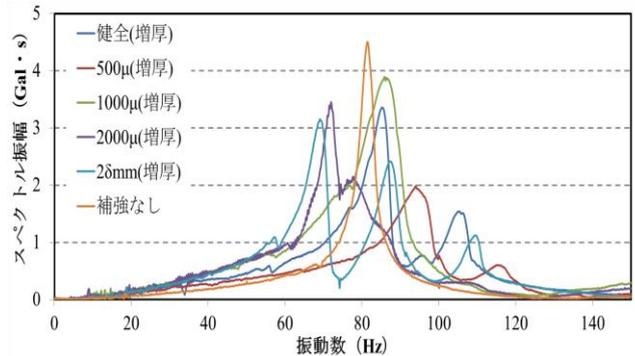


図 - 14 スペクトル分布
(支間中央の鉄筋のひずみ：2 δ)

載荷の初期段階では上面増厚補強が有効に機能し、RC梁の見かけの剛性が初期状態と同等に保たれているこ

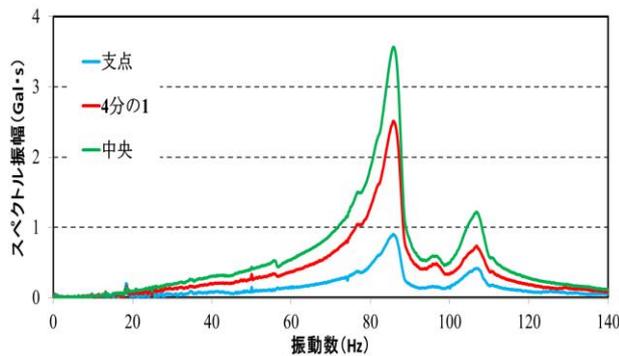


図 - 15 スペクトル分布
(支間中央の鉄筋のひずみ：2000 μ)

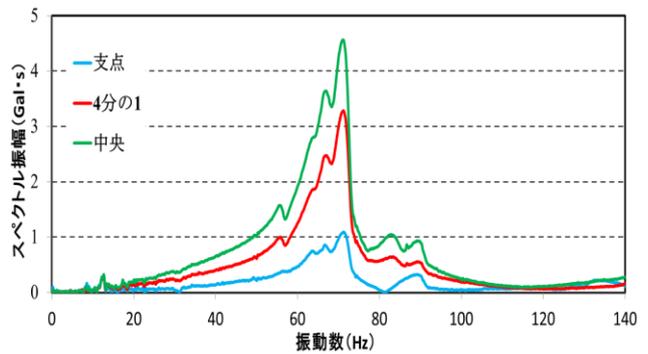


図 - 17 スペクトル分布 (破壊)

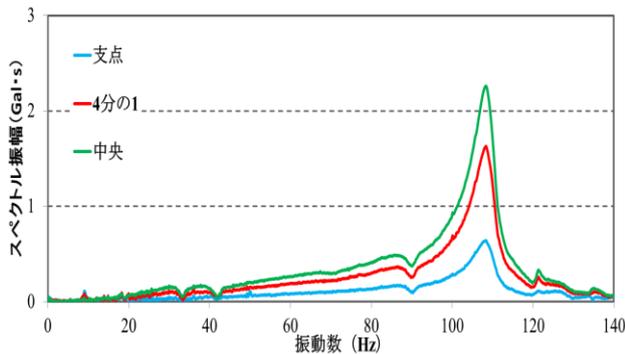


図 - 16 スペクトル分布
(支間中央の鉄筋の変位：2 δ)

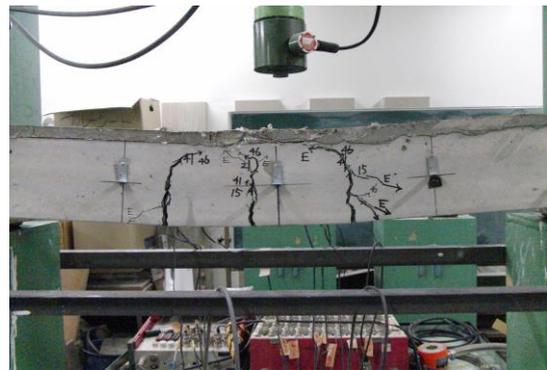


図 - 18 ひび割れ発生状況

とを示しているものと考えられる。支間中央の鉄筋のひずみが 2000 μ (変位 δ) に至った時点や支間中央の変位が 2 δ に至る時点では試験体間で固有振動数にばらつきが見られる。これは、ある一定の程度の劣化を生じてしまうと補強を行っても大きな作用を受けたときには補強の効果が小さくなってしまふことを示している。このことから、損傷の軽微な状態で補強を行うことにより、より大きな補強効果を得ることができるということがわかる。

3.5 ひび割れによる固有振動数への影響

図 - 15, 16, 17 は上面増厚前に初期損傷を与えずに破壊まで载荷した試験体で支間中央の鉄筋のひずみが 2000 μ , 2 δ の状態と、破壊に至った時点で衝撃振動して得られた支間中央・支間4分の1点・支点部でのフーリエスペクトル分布を示す。打撃位置は支間中央である。図 - 17 には試験終了後の試験体に確認されたひび割れの発生状況を示す。支間中央と4分の1点の間にひび割れが発生していることがわかるが、ひび割れを挟んで固有振動数に変化は見られない。今回の試験では、ひび割れによる固有振動数への影響を明らかにするまでには至らなかったことがわかる。

4. まとめ

本研究で行った上面増厚補強 RC 梁に対する試験により、次のような知見を得ることができた。

- (1) RC 梁の損傷進展に伴い、固有振動数の低下を確認することができる。
- (2) 衝撃振動試験を行うことにより、上面増厚補強の効果を確認することができた。
- (3) 補強のタイミングを変化させて上面増厚補強を行った結果、より損傷の軽い時点で補強を行うことにより補強の効果を確保できることが確認できた。

参考文献

- 1) 中野聡：コンクリート構造物の固有振動数を用いた初期性能評価に関する研究，2007. 1
- 2) 杉野雄亮，佐竹紳也，大久保藤和：床板補修用ポリマーセメントモルタルの強度特性および耐久性に関する検討，太平洋セメント研究報告第 163 号，p. 49-58，2012
- 3) 小林健二：音響テクノロジーシリーズ 6 音・振動による診断工学，日本音響学会，2000. 10. 27