鋼製橋脚への鋼繊維補強モルタル巻きつけによる減衰性向上効果

宇都宮大学　学生員　○ 佐藤安有　フェロー会員　中島章典
正会員　NGUYEN MINH HAI　正会員　藤倉修一

1. はじめに

東日本大震災時に新幹線の脱線事故が生じた．理由の一つに鋼製橋脚はコンクリート製橋脚に比べ減衰が低く応答が出やすいことが挙げられる [1]．このような事故を防ぐための対策としてダンパーなどの各種制振デバイスがあるが，これまで橋脚そのものの減衰を高める方法はあまり検討されていない．丸山らの研究 [2] では，減衰を高める対策として鋼製橋脚基部付近にコンクリートを巻きつける方法を橋脚模型の振動実験にて検討した．しかし，この研究では自由振動実験において減衰を大きくすることはできたが強制振動実験では効果が得られなかった．

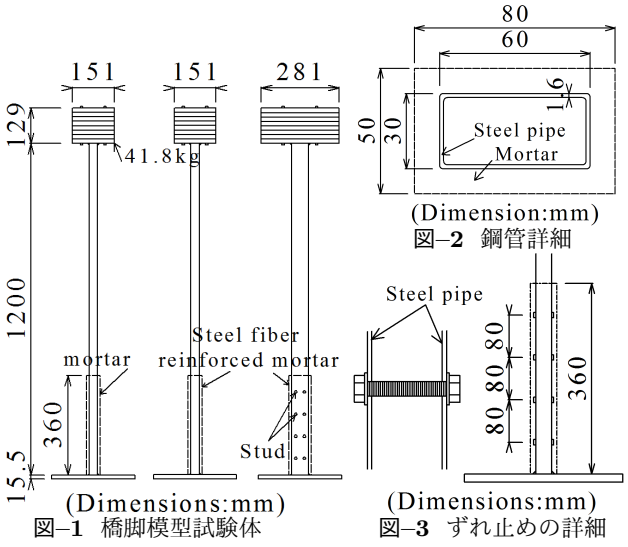
これを踏まえ，本研究では橋脚模型が実橋梁に近い固有振動数を持つよう寸法を設定し，普通モルタルだけでなく鋼繊維補強モルタルを用いた実験も行い，鋼製橋脚の減衰性向上策を検討した．

2. 試験対象

実験で用いた橋脚模型の寸法を**表–1** に示す．**図–1** に示す試験体を 3 体作製し，それぞれモルタルの巻きつけ前後で実験を行った．橋脚部材には厚さ 1.6mm の矩形断面の鋼管を使用した．おもり鋼板 1 枚を隅肉溶接にて橋脚部材頂部に取り付け，さらに 7 枚のおもり鋼板をボルトにて固定した．3 体のうち 1 体は普通モルタルを，他 2 体は鋼繊維補強モルタルを巻きつけた．鋼繊維補強モルタルを巻きつける試験体のうち 1 体にずれ止めを取り付けた．ずれ止めは**図–3** 左に示すように鋼管部にあけた孔に M6 ボルトを通しボルト頭とナットをスタッドに見立て，2 行 4 列で配置した．モルタル巻きつけの高さは 3 体ともに 360mm，厚さは 10mm とした．試験体は橋脚基部の下鋼板を振動台上に M10 ボルト 4 本を用いて固定し，実験を行った．

表–1 試験体寸法

部材	寸法 (mm)	単位体積重量 (N/mm^3)
おもり	151×281×129	74.9×10^{-6}
橋脚部	1200×60×30	72.6×10^{-6}
下鋼板	300×300×15.5	76.5×10^{-6}



図–1 橋脚模型試験体

図–2 鋼管詳細

図–3 ずれ止めの詳細

3. 実験方法

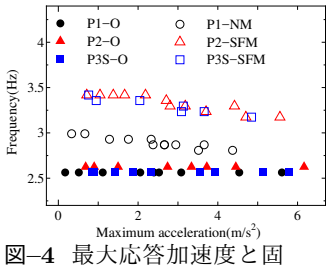
橋脚頂部を水平方向に引張り，強制変位させ手を離すことで加振し，自由振動実験を行った．微小振幅からより大きな振幅までの加速度を発生させ，橋脚天端に設置した加速度計より応答加速度を測定した．こうして得られた橋脚模型天端の時刻歴応答加速度の自由振動波形より減衰定数を求め，その大きさをモルタル打設前後で比較し，減衰性向上の効果を確認した．次に，実地震波を用いて強制振動実験を行った．地震波には 1995 年兵庫県南部地震での JMA 神戸記録と 1993 年釧路沖地震での JMA 釧路記録の振幅を 15 %程に調節し用いた．

4. 実験結果

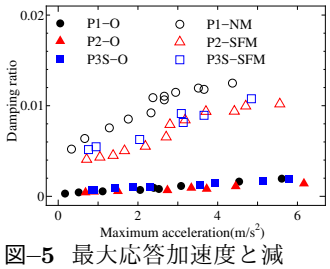
(1) 自由振動実験結果

自由振動実験で得られた各試験体の固有振動数と減衰定数をそれぞれ最大応答加速度を横軸に**図–4**，**図–5** に示す．図中凡例での記号は普通モルタルを巻く前後の試験体を P1-O，P1-NM とし，鋼繊維補強モルタルを巻く前後の試験体を P2-O，P2-SFM とし，ずれ止めを配置した鋼繊維補強モルタルを巻く前後の試験体を P3S-O，P3S-SFM とした．**図–4** より橋脚模型の固有振動数はモルタルを巻かない場合に対して普通モルタルを巻くことで 8%程度，鋼繊維補強モルタルを巻くことで 20%程度大きくなっている．ここで，材料試験より求められた弾性係数は普通モルタルで 21.0kN/mm^2，鋼繊維補強モルタルでは 28.9kN/mm^2 であり，鋼繊維補強モルタルの方が大きいことから P1-NM よりも P2-SFM，P3S-SFM の方が曲げ剛性も高い．このことが要因となって固有振動数に差が生じたと考えられる．また，**図–5** を見れば，モルタル巻きつけによりいずれの試験体も減衰定数が増加しており，減衰性向上の効果が認められる．しかし，鋼繊維補強モルタルを巻いた試験体よりも普通モルタルを巻いた試験体の方が減衰定数は大きく増加している．

ここで 1 自由度系の減衰自由振動において，減衰定数 h は減衰係数 C，ばね定数 K，質量 M とすると，$h = C/2\sqrt{KM}$ で表される．試験体の曲げ剛性が大きくなれば等価な 1 自由度振動系のばね定数 K も大きくなったと考えられる．これによって曲げ剛性の小さい P1-NM の方が P2-SFM，P3S-SFM よりも減衰定数 h が大きくなったものと考えられる．



図–4 最大応答加速度と固有振動数の関係



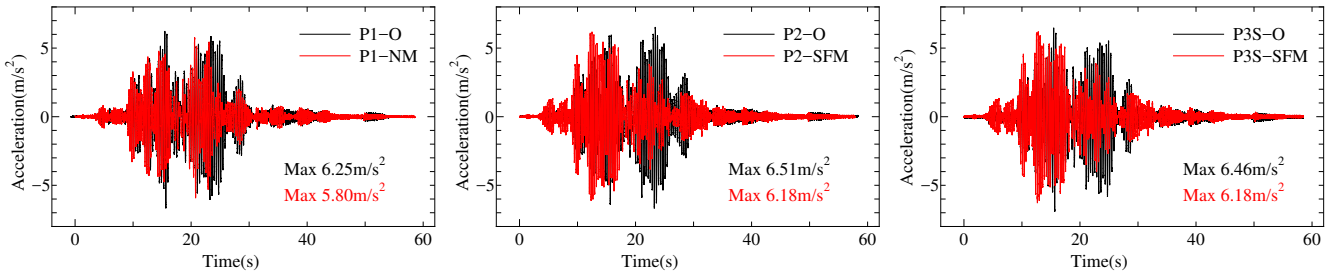
図–5 最大応答加速度と減衰定数の関係

(2) 強制振動実験結果

ここでは入力地震波に JMA 釧路記録を用いた実験に関しての結果について説明する．

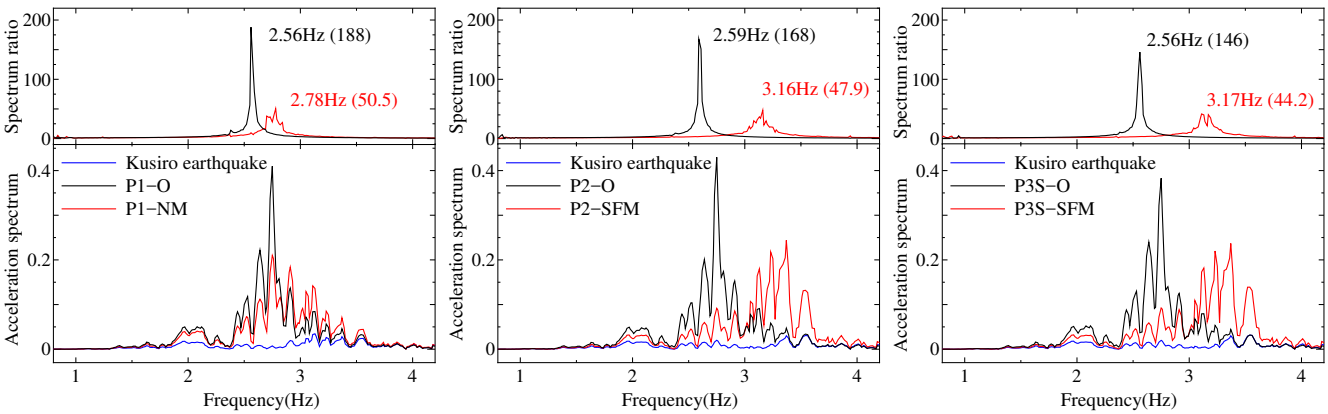
JMA 釧路記録で加振した際の橋脚天端の時刻歴応答加速度波形を**図–6** に示す．各図中には応答加速度の最大値も示

Key Words: 鋼製橋脚，減衰性向上効果，振動実験，鋼繊維補強モルタル，共振
〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部　Tel.028-689-6208　Fax.028-689-6208



図–6-a 普通モルタル試験体　図–6-b 鋼繊維モルタル試験体　図–6-c 鋼繊維モルタル試験体（ずれ止め）

図–6 橋脚天端時刻歴応答加速度波形，入力地震波：JMA 釧路記録



図–7-a 普通モルタル試験体　図–7-b 鋼繊維モルタル試験体　図–7-c 鋼繊維モルタル試験体（ずれ止め）

図–7 フーリエスペクトルと加速度応答倍率，入力地震波：JMA 釧路記録

す．いずれの試験体もモルタルを巻きつける前後の最大応答加速度にはあまり変化がない．ここでこれらの時刻歴応答波形のフーリエスペクトル波形を図–7 の下部に示す．図では縦軸が加速度スペクトル，横軸が振動数である．図–7 の上部には，縦軸に応答スペクトル倍率，横軸に振動数としたグラフも合わせて示している．図中の数字は応答スペクトル倍率のピーク値とその振動数を示す．ここで，応答スペクトル倍率とは，例えば図–7 の下図の青線で示す入力地震波のスペクトルに対する応答加速度スペクトルの比を表している．図–7-a では，P1-NM は 2.78Hz において応答加速度スペクトルは入力地震波スペクトルの 50.5 倍となったことを表している．

図–7 より，いずれの試験体もモルタルを巻きつける前後で，応答加速度スペクトル，応答スペクトル倍率は大きく低減されていると言える．ここで，構造物はその固有振動数付近での応答加速度スペクトルが卓越すると考えられるため，応答スペクトル倍率のピーク値が下がったことは共振による応答加速度が低減されたということである．これは減衰定数 h が大きくなったことによる減衰性向上効果であると考えられる．以上のことから，橋脚基部にモルタルを巻きつけることは減衰性向上策として有効であると確認できる．

P2-SFM，P3S-SFM の減衰定数 h よりも P1-NM の減衰定数 h の方が高いことが自由振動実験の結果から分かっているが，各試験体における応答加速度スペクトルの大きさにはあまり違いがない．加えて，応答スペクトル倍率のピーク値では P1-NM では 50.5，P2-SFM では 47.9，P3S-SFM では 44.2 であり，普通モルタルを巻きつけた試験体と鋼繊維補強モルタルを巻きつけた試験体とでは大きな差は見られない．つまり，減衰性向上効果についてもまた，両者に大きな差はないということが分かる．次に，図–6 において最大応答加速度はあまり低減されなかった理由について説明する．ここで図–7-b，図–7-c より，P2-SFM，P3S-SFM でフーリエスペクトルの最大値をとる振動数は応答スペクトル倍率のピーク値をとる振動数とは一致していない．つまり，この 2 つは共振振動数とは違った振動数での応答加速度スペクトルが大きくなっている．これは，モルタルを巻いたことで変わった固有振動数が地震波の加速度スペクトルの卓越する振動数と近いために応答加速度が大きくなったものと考えられる．反対に，鋼繊維補強モルタルを巻きつけることによって橋脚の固有振動数と共振する地震波の振動数帯からずらし応答を低減することもできると考えられる．宮本 [3] によれば，地震時，軌道の横方向振動がローリングを生じやすい振動数帯であると車両は脱線する可能性があると指摘されている．橋脚基部付近のモルタル巻きつけによってその振動数帯での振動を低減することができれば，車両脱線事故の防止が期待できると言える．

5. まとめ

実験結果から橋脚基部付近に普通モルタルを巻きつけることには，共振現象による共振点の応答倍率を下げることができるという減衰性向上効果があると分かった．また，鋼繊維補強モルタルを巻きつけることは減衰性向上効果に加えて，固有振動数を大きくし新幹線脱線事故を起こす振動数帯からずらす効果も期待できると分かった．

なお，株式会社デイ・シイ様から鋼繊維補強モルタルのご提供いただきました．ここに記して謝意を表します．

参考文献

1) 運輸安全委員会：鉄道事故調査報告書 東日本旅客鉄道株式会社 東北新幹線 仙台駅構内 列車脱線事故，2013.
2) 丸山ら：鋼製橋脚のコンクリート巻立てによる減衰性向上策に関する基礎的研究，土木学会第 69 回年次学術講演会論文概要集 I-071，2014.
3) 宮本岳史：地震時の車両脱線事故防止に向けた取り組み (RRR Vol.69，No.3)，鉄道総研，2012.