

鋼製橋脚の減衰性向上に関する実験的研究

宇都宮大学 学生員 ○丸山祥平 フェロー会員 中島章典
 学生員 中川大輔 学生員 Reem Al Sehnawi

1. はじめに

2011年に東北地方太平洋沖地震が発生し、この地震により東北新幹線において脱線事故が発生した。運輸安全委員会の鉄道事故調査報告書¹⁾によると、この事故の原因として事故現場付近の鋼製橋脚の減衰性が低く、地震によって共振現象を引き起こし、橋梁の揺れが増大したことが考えられた。その対策として鋼製橋脚の減衰性を向上させ、共振現象による応答を低減する方法が考えられる。既設鋼製橋脚の減衰性を向上させる有効な方法は検討されていない。

そこで本研究では、鋼製橋脚の減衰性を向上させることを目的とし、橋脚にコンクリートを巻く等の減衰性向上を考え、振動実験を行うことでその効果を確かめる。

2. 試験対象

(1) 試験体詳細

ここでは、図-1の左側に示す試験体を用いた。その詳細を表-1に示す。この試験体の橋脚部材には鋼管を使用し、中を空洞としている。その断面形状は図-2に示すように長方形断面とし、断面の板厚は2.3mmとした。この寸法の試験体を2つ作製し、以後それぞれ橋脚1、橋脚2とする。またおもりを固定する際には、図-3に示すように橋脚部材上部にアングル材を設置し、そこにボルトでおもりを固定する形とした。

表-1 断面諸量

部材	寸法 (mm)	単位体積重量 (kN/m^3)
橋脚部材	1590 × 100 × 50	76.9
下鋼板	19 × 300 × 300	76.5
おもり	48 × 150 × 280	77.1

(2) 減衰性向上案

今回、減衰性を向上させる方法として、実橋脚でも実現可能なようにコンクリートを橋脚部材に巻きつけるという方法を考案した。しかし、この模型では、コンクリートは粗骨材の粒径が大きく、そのことを考慮して施工を行うと、コンクリートを巻く厚さが橋脚に対して非常に厚くなってしまふので、モルタルを用いて実験を行った。モルタルを巻く厚さは、橋脚1で5mm、橋脚2で10mmとし、高さは橋脚1、橋脚2ともに橋脚部材全体の高さの1/3である530mm程度となるようにした。これらの試験体に対し振動実験を行った後、モルタル部の高さが元のモルタル部の高さの2/3である353mm程度となるように高さを減らし、その状態での振動実験を再度行った。その試験体の状況を図-1の中央および右側に示す。

3. 振動実験

(1) 実験方法

橋脚模型の頂部に加速度計を設置し、頂部をハンマーで叩くことにより、微小振幅からより大きな振幅までの大きさの加速度を発生させた。そこから得られた模型頂部の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を行い、減衰性向上の効果の確認を行った。なお振動実験はそれぞれの橋脚に対し、おもりを載せない状態と載せた状態で行った。

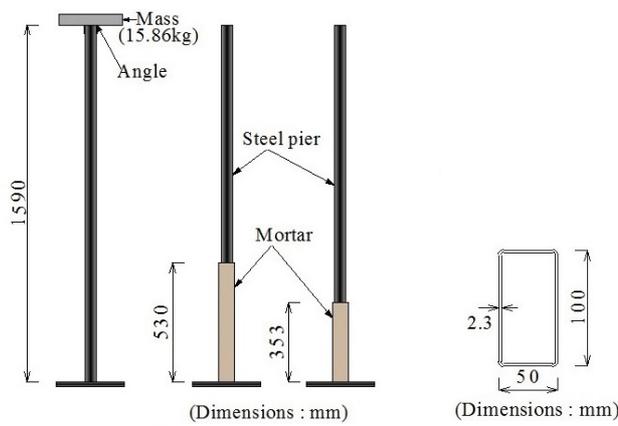


図-1 試験体

図-2 断面図

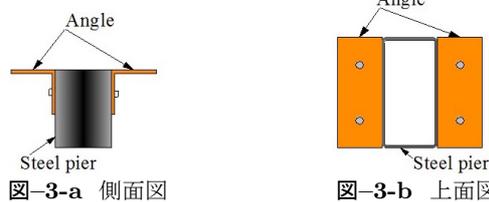


図-3-a 側面図

図-3-b 上面図

図-3 試験体上部拡大図

(2) 実験結果

振動実験で得られた結果を図-4～図-6にまとめる。なお図中のNMがモルタルを巻く前、MHがモルタル部の高さを減らす前、MLがモルタル部の高さを減らした後である。図-4は固有振動数と最大応答加速度の関係を、図-5、図-6は減衰定数と最大応答加速度の関係をそれぞれ示す。図-4よりモルタルを巻く前では固有振動数はほぼ一定であり、モルタルを巻いた状態では最大応答加速度が大きくなるにつれ、小さくなっていくという傾向が見られた。固有振動数はモルタルを巻く厚さが厚い程、高さが高い程大きくなる傾向を示した。これはモルタル量の増加に伴い、橋脚の剛性と質量が増加したが、質量よりも剛性の寄与が大きかったことが原因として考えられる。

また今回の試験体に対して固有値解析を行った。なお解

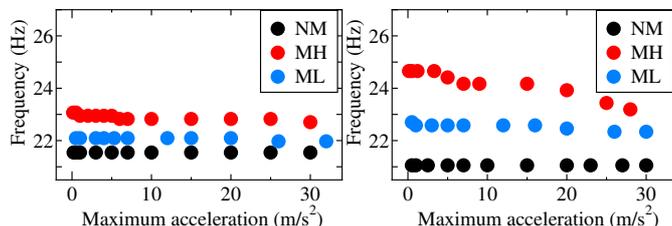


図-4-a 橋脚1-おもりなし

図-4-b 橋脚2-おもりなし

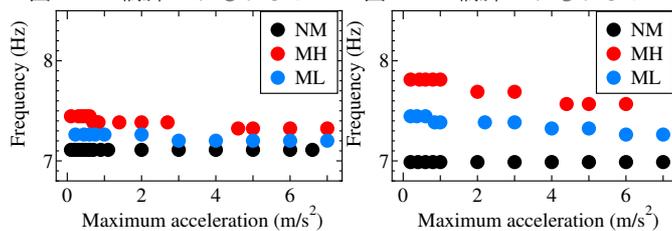


図-4-c 橋脚1-おもりあり

図-4-d 橋脚2-おもりあり

図-4 固有振動数と最大応答加速度の関係

Key Words: 鋼製橋脚 振動実験 減衰性向上 コンクリート巻立て

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6210 Fax.028-689-6210

表-2 固有値解析による固有振動数

	モルタルなし	モルタル厚 5mm		モルタル厚 10mm	
		高さ 530mm	高さ 353mm	高さ 530mm	高さ 353mm
おもりなし	23.81Hz	25.69Hz	25.30Hz	28.18Hz	27.28Hz
おもりあり	7.88Hz	8.42Hz	8.28Hz	9.12Hz	8.81Hz

表-3 固有値解析による固有振動数 (基部付着なし)

	モルタル厚 5mm		モルタル厚 10mm	
	高さ 530mm	高さ 353mm	高さ 530mm	高さ 353mm
おもりなし	25.35Hz	24.98Hz	27.31Hz	26.51Hz
おもりあり	8.34Hz	8.20Hz	8.92Hz	8.62Hz

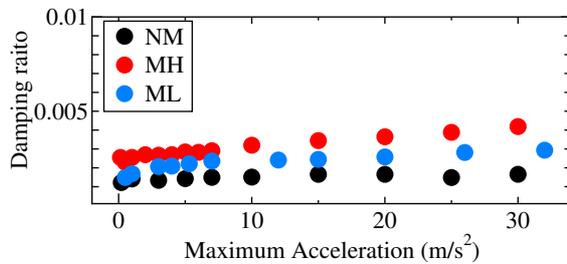


図-5-a おもりなし

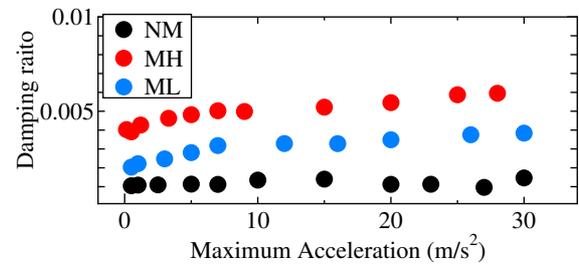


図-6-a おもりなし

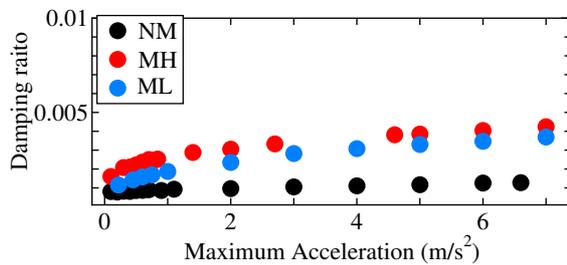


図-5-b おもりあり

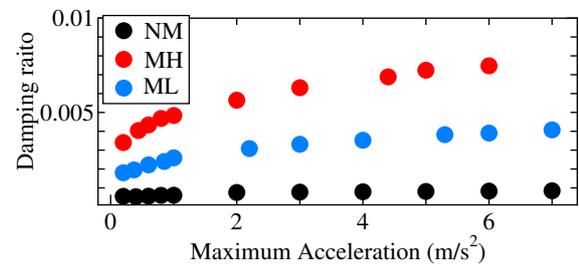


図-6-b おもりあり

図-5 減衰定数と最大応答加速度の関係 (橋脚 1)

図-6 減衰定数と最大応答加速度の関係 (橋脚 2)

析では基部を完全固定とした。表-2にその結果を示す。これより解析においても固有振動数の大きさはモルタルを巻く厚さが厚い程、高さが高い程大きくなる傾向を示した。モルタルの基部への付着が固有振動数に与える影響を検討するため固有値解析において、基部のモルタルの付着をなくした状態で解析を行った。その結果を表-3に示す。これより全てのモデルにおいて固有振動数が低くなる傾向が得られた。また図-4-bより図中のMHの固有振動数が他より大きく下がっていることから橋脚2では固有振動数が大きく変化している最大応答加速度 20m/s^2 付近で基部モルタルの付着が弱くなったと考えられる。また図-4-a、図-4-cより橋脚1では図-4-bほどの変化はないため、付着は弱くなっていないと考えられる。

図-5、図-6より減衰定数はモルタルを巻く前ではおもりなしでほぼ一定、おもりありでは最大応答加速度が大きくなるにつれ、大きくなる傾向を示し、モルタルを巻いた後ではおもりの有無に係わらず、最大応答加速度が大きくなるにつれ、大きくなる傾向を示した。またそれぞれの場合モルタルを巻いた方は減衰定数が大きくなっており、モルタルの高さが高い方がより減衰定数は大きくなった。図-5-a、図-6-aおよび図-5-b、図-6-bをそれぞれ比べると、橋脚2、つまりモルタルを巻く厚さが厚い方が減衰定数は大きくなる傾向を示した。これらの減衰定数の増加率は最大応答加速度が大きくなるにつれ、大きくなった。

モルタルを巻くことで減衰定数は大きくなったが、同時に固有振動数も増大、つまり剛性が高くなったと考えられる。1自由度系において減衰定数 h は、減衰係数 C 、ばね定数 K と質量 M とすると $h = C/2\sqrt{KM}$ で表される。今回はこの式におけるばね定数が増大し、橋脚の低い位置にモルタルを巻いているので、その質量増大の影響は少ない

と考え、減衰定数が大きくなったので減衰係数は大きくなったと考えられる。よってモルタルを巻くことで固有振動数は増大したことを考えても減衰性が向上したと言える。減衰定数が2倍になれば共振による応答を半分にすることができる。つまり減衰定数が、対策を実施する前の2倍以上になれば、その対策が有効であると言える。基部のモルタルの付着が弱くなると、剛性が低くなり、減衰定数も小さくなる考えられる。しかし基部のモルタルの付着が弱くなったと考えられる橋脚2の場合を含めても、今回の実験では全ての試験体において減衰定数がモルタルを巻く前の橋脚のほぼ2倍以上となった。よって鋼製橋脚にモルタルを巻くという対策は有効であると言える。

また橋脚基部付近において鋼管とモルタルのひずみを測定したが、モルタルのひずみが鋼管の2倍~3倍程あった。これは実橋脚で考えると大きすぎるので、実橋脚に適用するためには今後さらに巻く厚さを薄くした場合でも効果があるか確認する必要がある。

4. まとめ

本研究では、鋼製橋脚の減衰性を向上させることを目的とし、鋼製橋脚の基部付近にモルタルを巻くことで減衰性向上策を考え、振動実験を行うことでその効果を確認した。その結果、実験に使用した鋼製橋脚模型において、モルタルを巻くことで橋脚の減衰性を向上することができた。なお本研究では、今回モルタルで実験を行ったが、実橋脚に適用するためには、モルタルをコンクリートにし、巻く厚さを薄くしても効果があるか確認する必要がある。

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) 宇佐美 他: 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, pp.165-167, 技報堂出版, 2006.