

## 橋梁への適用に向けた慣性接続要素(Inerter)の開発 —一回転動増幅機構の原理成立性の実証—

エム・エムブリッジ(株) 正会員 ○野口 敏広, 正会員 平井 潤  
 東北大学 五十子 幸樹  
 (株)免制震デバイス 木田 英範

### 1. はじめに

著者らは、従来の機構に則った Inerter に対して必要なボールねじ長さを短くすべく、回転動増幅機構を導入した Inerter (以下、改造 Inerter) を橋梁の制震デバイスとして適用することを提案している (図-1)。

本報では、改造 Inerter の縮小模型 (図-2) を製作して、模型実験、および試験対応解析を行い、提案する機構の原理成立性を検証した結果を示す。

### 2. 縮小模型および実験概要

実験に際しては、まず実橋梁への適用を想定した実機版改造 Inerter の試設計を行った。その際、斉藤らの文献<sup>1)</sup>をもとに、制震対象の主系の固有角振動数  $\omega_s$  に対する付加振動系 (改造 Inerter) の固有角振動数  $\omega_d$  の比が、(1)式に示す  $\beta_{opt}$  となるように  $\omega_d$  を定めた。

$$\beta_{opt} = \frac{\omega_d}{\omega_s} = \frac{1}{\sqrt{1-\mu}} \quad (1)$$

ここで、 $\mu$  は主系の一般化質量に対するデバイス等価質量の比であり、ここでは  $\mu=0.09$  とした。また、デバイス等価減衰定数  $h_d$  は、文献1)より、(2)式に示す  $\lambda_{opt}$  となるように定めた。

$$\lambda_{opt} = \frac{\sqrt{3}\mu}{\sqrt{\mu(2-\mu)}} \quad (2)$$

上記に基づき実機版改造 Inerter の試設計を行い、各諸元を決定した。次に、実機と縮小模型の間に相似則が成り立つように、実機に対する縮小模型の縮尺を決定した。ここではまず、模型実験で用いる振動台の寸法・形状から、制震対象とする桁モデルおよび架台 (図-3) の寸法を決定した。そして、本模型実験では Inerter による桁モデル応答変位の低減度合や、ボールねじナット部の変位について着目することから、長さの縮尺を 1/25 と定めて、模型実験時に桁モデルやナット部の挙動を視認できるようにした。また、同様の理由により

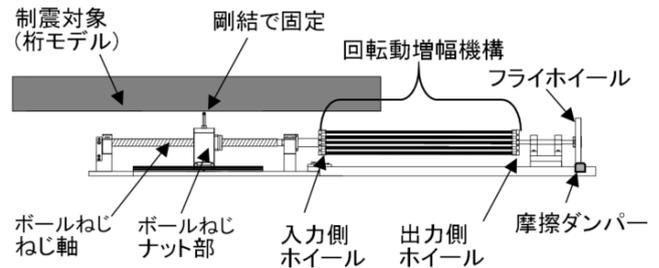


図-1 改造 Inerter 模式図

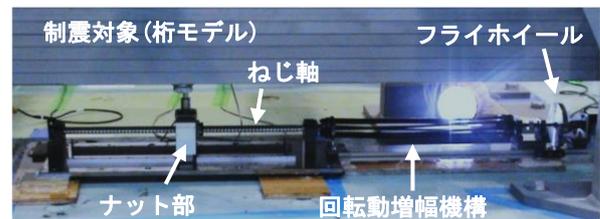


図-2 改造 Inerter の縮小模型

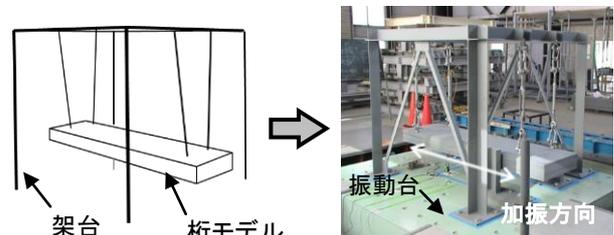


図-3 実験に用いた桁モデルおよび架台

表-1 改造 Inerter の主な諸元比較  
(試設計結果/縮小模型)

項目	実機	縮小模型	単位
ストローク	±1000	±40	mm
対象の一般化質量	312.5	2.0	ton
対象の固有周期	5.0	2.0	sec
等価質量	28.1	0.18	ton
等価剛性	48.8	1.95	kN/m
等価減衰定数	0.376	0.376	-

振動数の縮尺を 2.5 と定めることで、桁モデルの固有周期が著しく短くなることを避けることとした。以上

キーワード 橋梁, 制震デバイス, Inerter, 回転動増幅機構, 模型実験

連絡先 〒733-0036 広島県広島市西区観音新町一丁目 20 番 24 号 エム・エムブリッジ(株) TEL 082-292-1111

をもとに得られた縮小模型の主な諸元を、実機の試設計結果と比較して表-1に示す。

実験に際しては、桁モデルの状態を、(i)非制震時、(ii)従来の機構に則った Inerter（以下、Original Inerter）による制震時、および (iii)改造 Inerter による制震時、といったように区別して加振・計測を行った。なお、入力に用いた地震波は、道路橋示方書に記載のⅢ種地盤、タイプⅠ地震波から、東北地方太平洋沖地震山崎震動観測所波（以下、Type1）、同タイプⅡ地震波から、兵庫県南部地震東神戸大橋周辺地盤波（以下、Type2）とし、加速度振幅についてはオリジナルのそれぞれ 120%、100%、50%の3ケースに相似則を適用したものをを用いた。

### 3. 模型実験結果

図-4に、Type1、加速度振幅 120%の場合における入力加速度を示す。図-5はこれを入力とした時の桁モデル応答変位の計測結果である。これにより、改造 Inerter による制震時では、非制震時に比べて桁モデル応答変位を概ね半減できていることが分かる。なお、Original Inerter においても改造 Inerter と同様の制震効果が確認された。また、図-6よりナット部変位の最大値は、改造 Inerter による制震時においては、Original Inerter による制震時と比べて半分程度となっていることが確認できる。以上の結果は、上述した加振・計測ケースで概ね共通していたが、Type1、Type2ともに加速度振幅 50%のときは、応答変位の低減度合が他のケースよりも小さかった。これは、加速度振幅が小さいことにより摩擦ダンパーの摩擦力が相対的に大きくなり、フライホイールの回転が起こりにくかったことによるものと考えられるが、この場合は応答変位も小さいので問題としない。以上より、改造 Inerter が Original Inerter と同程度の制震効果を保ちながらも、必要なボールねじ長さを短くできることが示された。

### 4. 試験対応解析

次に、制震対象の振動系に、Inerter モデルを連成させた2自由度系モデルに対する地震応答解析を行った。図-7は、Type1、加速度振幅 120%を入力加速度として用いた場合の、改造 Inerter による制震時の桁モデル応答変位の実測値、およびその際の解析結果を比較したものである。これにより、実測値と解析結果の一致度合は概ね良好であることが分かり、本機構の原理成立性を実証できたといえる。

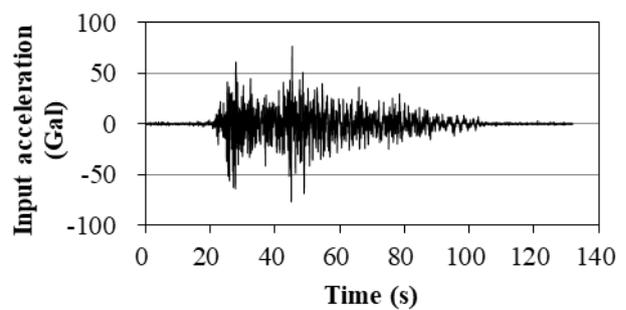


図-4 加振に用いた入力加速度 (Type1, 120%)

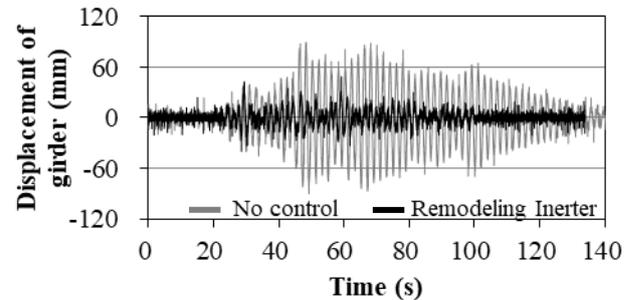


図-5 桁モデル応答変位の比較 (Type1, 120%)  
(非制震/改造 Inerter)

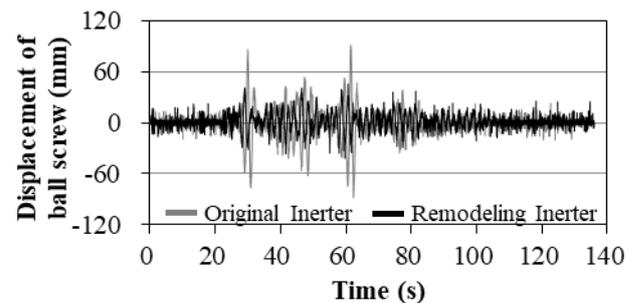


図-6 ナット部変位の比較 (Type1, 120%)  
(Original Inerter/改造 Inerter)

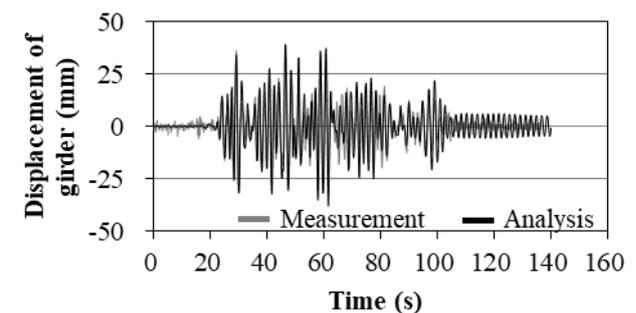


図-7 実測値と解析結果の比較 (Type1, 120%)

### 5. おわりに

実験的・解析的検証により本機構の原理成立性を示した。実用化に向けて今後は、実機版改造 Inerter の性能を、まずは実験的に実証することが必要である。

### 参考文献

- 1) 齊藤ら:慣性接続要素を利用した線形粘性ダンパーによる一質点構造の最適応答制御と Kelvin モデル化手法に関する考察, 日本建築学会, 構造工学論文集, pp.53-66, 2007