20721 高減衰制振材を用いた動吸振器の歩道橋への適用に関する研究

(ストップ構造による衝突振動の影響)

A study on applicability of dynamic damper using high damping alloy to footbridge

(Effects of collision vibration at stopper on vibration control performance)

○学 濱田 隆正 (湘南工科大院)

正 藤本 滋(湘南工科大)

Takamasa HAMADA and Shigeru FUJIMOTO

Shonan Institute of Technology, 1-1-25 Tsujido-Nishikaigan, Fujisawa, Kanagawa

A dynamic damper using Mn-Cu alloy is proposed to reduce vertical vibration of long-span footbridges. This paper presents an analytical study for evaluating effect of collision vibrations of the dynamic damper weight at the stopper on vibration control performances of the dynamic damper for the footbridge. In the analysis, seismic response analysis using 2 kinds of non-linear dynamic damper model with collision gaps and a linear dynamic damper model without collisions are carried out. Effects of collision spring constants, restitution coefficients at the stopper and seismic acceleration levels on the seismic control performances of the dynamic damper are evaluated.

Key words: Dynamic damper, Mn-Cu alloy, Footbridge, Collision, Non liner model, Analytical, Earthquake

1. はじめに

長スパンの歩道橋は固有振動数が低いため路面振動や人の歩行に対して揺れやすい。特に高齢者にとっては歩行時の障害になることがある。また大地震により歩道橋が損傷すれば歩行者を危険な状態にするだけではなく、重大事故につながりかねない。筆者らは歩道橋の振動低減を目的として Mn-Cu 系高減衰制振材²⁾をばね材に用いた動吸振器型制振装置を提案した^{2) 3)}。この動吸振器は錘、ばね、減衰装置およびストップ構造から構成されている。ばね材には減衰要素を兼ねることが可能な Mn-Cu 合金材を使用した。Mn-Cu 系高減衰制振材は大きな減衰性能を有しているばかりでなく、アルミ材程度の強度を有し、耐腐食性、成形性、及び加工性に優れているといった特徴がある。動吸振器においては、大地震時には動吸振器部おもり振幅が増幅するためストップ部でおもりが衝突し、制振性能が低下する恐れがある。本稿では、ストップ構造の基本特性であるストップばね定数および反発係数が地震時の制振性能に及ぼす影響を調べるため、歩道橋に提案の制振装置を設置した場合の地震応答解析を行った結果を述べる。

Fig. 1 Footbridge structure

Fig. 2 Structure of the dynamic damper

2. 振動解析モデル

解析対象とした歩道橋⁴⁾と制振装置の構造概念を図1に示す。橋の支柱間スパンは23.5m、質量は約19400 kgである。鉛直方向の1次固有振動数は2.76Hzである。この1次モードの振動低減を図るため動吸振器最適設計を行い、以下の基本諸元を得た。錘質量 $m=194$ kg、最適ばね定数 $k_{opt}=56$ kN/m である。また減衰要素については Mn-Cu 合金材の特性^{2) 3)}を考慮し線形減衰として0.04を仮定した。このような考えに基づいた制振装置の構造を図2に示す。歩道橋と制振装置の全体の解析モデルを図3に示す。制振装置は歩道橋中央部に設置し、おもりを支えるばね要素と減衰要素は線形とした。ストップ部の詳細解析モデルを図4に示す。ストップ部ではおもり変位の負および正側に δ_1 および δ_2 のギャップを持ち、衝突時には衝突ばね力および反発係数に等価な線形減衰力が作用するモデルとした。ここではギャップが $|\delta_1|=|\delta_2|=60$ mm の場合の対称モデルと、重力変形を考慮し実際のばね要素の許容変位である $|\delta_1|=-60$ mm $|\delta_2|=120$ mm の非対称モデルを用いた。さらに衝突しない線形モデルも考慮した。本稿ではこれら3種類の解析モデルを用いた地震応答解析を行い、比較することにより衝突部での衝突振動が制振性能に及ぼす影響を考察した。

Fig. 3 The analytical model of the footbridge with the dynamic damper

Fig. 4 The collision model of the stopper of the dynamic damper

3. 地震応答解析

図3及び図4に示す解析モデルを用いて地震応答時刻歴解析を行った。地震入力力は6種類の上下方向地震波(①EL: El Centro 地震波, ②TAI: 台湾 921 集集地震波, ③KB: 兵庫県南部地震波, ④TF: Taft 地震波, ⑤HC: 十勝沖地震八戸波, ⑥AK: 日本海中部地震秋田波)を用いた解析を行った。ここではストップ構造の特性として衝突ばね定数 k_{col} を動吸振器最適ばね定数 k_{opt} の 2, 5, 10, 15, 20, 40 倍の 6 種類, また反発係数 e を 0.25, 0.5, 0.75 の 3 種類を考慮した。地震波についてはそれぞれの振幅レベルを 0.5 倍から 3 倍までの 6 ケースとした。

応答解析例として台湾 921 集集地震波に対する解析結果を示す。図5に台湾地震波上下振動の時刻歴波形を示す。台湾地震波入力レベルに対する歩道橋中心部上下方向の応答加速度の時刻歴を図6に示す。左から線形モデル, 衝突ギャップが $|\delta_1|=|\delta_2|=60\text{mm}$ の対称モデル及び $\delta_1=-60\text{mm}$, $\delta_2=120\text{mm}$ の非対称モデルの場合の結果を示している。図7に非対称モデル($e=0.5$)の衝突ばね定数に対する加速度の変化を示す。衝突ばね定数が大きくなるほど応答加速度は増加する傾向にある。図8に3種類の解析モデルにおける地震波種類及び入力レベルに対する歩道橋中央部最大応答加速度を示す。ここでは地震波は El Centro 地震波, 台湾 921 集集地震波, 兵庫県南部地震波の3種類を例として示した。入力レベルは1倍及び2倍の場合を示している。解析の結果, 対称モデルよりも非対称モデルの方が応答は増加傾向にある。また入力レベルが増加すると衝突により制振性能が低下する。図9は反発係数 e に対する歩道橋中央部最大応答加速度の変化を示す。反発係数が小さいほうが応答加速度は増加傾向にある。解析では6種類の地震波を用いたが, どの地震波でも原波形(1倍入力)程度であれば衝突振動の影響は小さい。入力レベルが1.5倍を超えると, 衝突振動応答が増幅し制振性能の低下が顕著になる。

これらの結果より以下のことが明らかとなった。

- ①衝突振動の影響は入力レベル約1.5倍より大きくなると制振性能の低下が顕著になる。
- ②衝突ばね定数は $k_{col}=10k_{opt}$ より小さくすることにより, 衝突による影響を低減することができる。また, 反発係数を大きくするほうが制振性能の劣化を抑制することができる。

Fig. 5 The time history of the acceleration of Taiwan vertical seismic wave (TC78)

Fig. 6 The time history of response accelerations, velocities, displacements of the footbridge center in 3 type analytical models

Fig. 7 Maximum response accelerations of the footbridge center for Taiwan seismic wave levels

Fig. 8 Maximum response accelerations of the footbridge center for collision gaps and seismic waves and levels

Fig. 9 Effects of the restitution coefficients of the stopper on the maximum response accelerations of the footbridge center for TAIWAN seismic wave levels

4. おわりに

提案した制振装置は, 衝突振動に関する主要ストップ諸元の影響を明らかにした。地震動などの大振幅応答時のストップ衝突の影響を考慮しても, 歩道橋に対する制振性能を確保できる見通しが得られた。

参考文献

- 1)川原他, 金属学会誌, Vol57, No9, (1993), p. 108.
- 2)村山達也他, 日本機械学会関東学生会第44回学生会卒業研究発表講演前刷集, (2005-3), Pp. 139-134.
- 3)藤本他 D&D. 2005 CD-ROM, Nb446. (2005).
- 4)建設省制定土木構造物標準設計, 全日本建設技術協会, Vol. 5, (1985).