

土工部に設置された曲線を有する角型情報板支柱の振動制御の検討

中日本高速道路(株) ※ 正会員 ○瀬戸大輔 中央大学 正会員 平野廣和
中日本高速道路(株) 正会員 山本浩司 (株) むらじ 正会員 連重俊
※研究当時中央大学大学院理工学研究科

1. 序論

道路情報板は、利用者に道路情報を伝える重要な高速道路付属物である。情報板には、張出し構造の支柱を持つものがあり、中日本高速道路管内でも 6,000 本余りが設置されている。これらは情報板仕様、道路構造を考慮し、数々の形式が採用されている。その中から中日本高速道路で実施した日常点検で交通振動等による繰り返し振動が確認されている曲線形状を有する角型溶接構造支柱（以下、逆 L 型柱）に着目し、筆者らは現地計測と固有値解析を行ってきた¹⁾。この結果から土工部に設置された逆 L 型柱の振動と地盤との相互作用の可能性を示している。

ところで、高速道路付属物に施される非衝撃振動対策として、同調質量ダンパー(TMD:Tuned Mass Damper)²⁾、同調液体ダンパー(TLD:Tuned Liquid Damper)³⁾、転動型質量ダンパー(TRMD:Tuned Rolling Mass Damper)⁴⁾などがあり、それぞれ成果が示されている。特に TLD は液体の揺動による制振で、小加速度にも有効であると知られており、道路付属物の常時動に効果的であると考えられる。

本報では、振動が見られる逆 L 型柱の情報板内に TLD を設置し、その性能を検討・評価することを目的とする。このために、制振装置設置前後で加速度を計測し、減衰定数、発生加速度の比較を行う。この結果、明確な制振効果が確認できたのでこれを報告する。

2. 対象情報板支柱

図-1 は、本報で検討する逆 L 型の A 型情報板である。支柱の構造は、高さ 7,300mm、断面 350mm×350mm、板厚 9mm、角型溶接構造である。情報板は、高さ 1,950mm、幅 4,810mm、奥行き 1,000mm、質量は 1,500kg である。また、基礎は土工部に設置されており、場所打ち杭工法が採用されている。図-2 に示すように、幅 400mm、板厚 12.7mm の H 型鋼で根入れ深さは 5,500mm である。杭上部 1,500mm には進行方向に幅 838mm の抵抗板が付いている。また、根巻きコンクリートは高さ 350mm、幅 850mm であり、地中に全体が埋まっている。

3. 現地計測による検討

(1) 制振装置の概要

図-3 に示すように、情報板先端部にアクリル製矩形水槽を 2 機設置する。この水槽に 170mm の深さまで水を入れる。図-4 に水槽の模式図を示す。水槽の大きさは内寸 340mm×340mm×340mm、板厚 5mm で、深さ 170mm まで水を入れる。また、写真-1 に示す様に、浮体式の波動抑制装置⁵⁾を水槽内に入れる。

(2) 制振原理

TLD の原理は図-5 に示す 2 自由度系モデルに置き換えられる。制振原理は、情報板の振動によって生じた液体の運動エネルギーが減衰係数 c_2 によって消費され、結果的に系全体の減衰が付加されるというものである。ここで重要であるのは、以下の 2 点である。

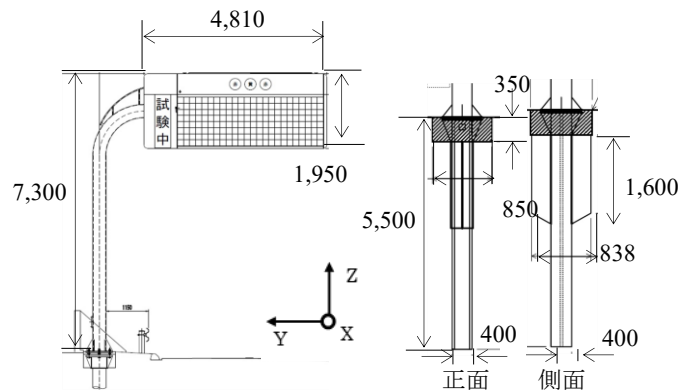


図-1 逆 L 型柱上部構造図面

図-2 逆 L 型柱杭基礎

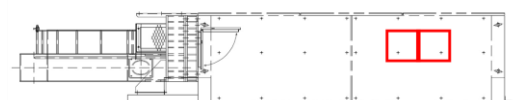


図-3 TLD 設置位置

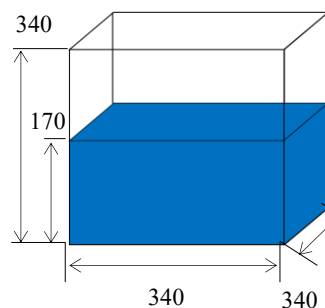


図-4 水槽(値は内寸)



写真-1 波動抑制装置

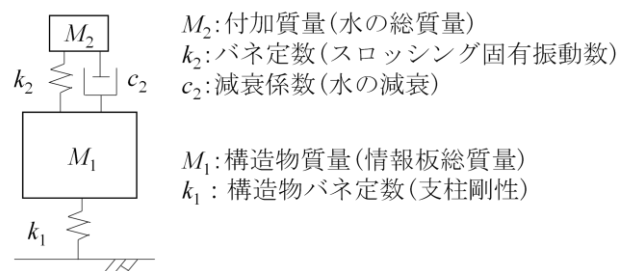


図-5 2 自由度系制振モデル

キーワード 情報板支柱、現地計測、減衰定数、同調液体ダンパー

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL:03-3817-1816 FAX:03-3817-1803

①液体の運動エネルギーを大きくする

②液体の減衰を早くする

①のため、液体と構造物の固有振動数を合わせ、液面揺動(スロッシング現象)を起こす。水槽内の水の固有振動数は式(1)に示す Housner の式⁶⁾により推定する。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(2n-1) \cdot \pi \cdot g}{L} \cdot \tanh\left\{\frac{(2n-1) \cdot \pi \cdot H}{L}\right\}} \quad (1)$$

f はスロッシング固有振動数、 n はスロッシング次数、 L は水槽の幅、 H は水位をそれぞれ表す。ここでは、経験的³⁾にターゲットの1.52Hzよりも低い $f=1.45\text{Hz}$ として、式(1)から水位を計算する。また、②のため、スロッシング減衰効果に実績がある波動抑制装置⁵⁾を使用する。

(3) 計測結果と制振効果の評価

以下の2種類の計測を非制振(TLD未設置)、制振(TLD設置済)それぞれに対して行う。

a) X, Y, Z方向に人力で加振(以下、人力加振)

b) 一般交通

a)の加速度からは、式(2)を用い、人力加振時時刻歴変位波形の極大値を結ぶ包絡線に近似する減衰定数 h を、最小二乗法により算出する。

$$y = A \times e^{-\omega h t} \quad (2)$$

ここで、 y は減衰曲線、 A は初期変位、 ω は角振動数、 t は時間をそれぞれ表す。

表-1に減衰定数平均値(非制振:3 ケース、制振:3 ケース)を示す。X方向の減衰定数は非制振時は1%程度であるのに対し、制振時は3%を越えており、明確な減衰効果が付与されていることが分かる。一方でY方向、Z方向は大きな変化が見られない。

表-2に一般交通時の最大加速度平均値(非制振:3 ケース、制振:8 ケース)を示す。全方向においてTLD設置による加速度の低減が見られる。特に減衰効果が確認できたX方向は56%まで低減されており、顕著に加速度低減効果が得られている。図-7にX方向における一般交通時加速度時刻歴グラフの代表を示す。非制振時は3秒付近で最大加速度発生後、減衰しきらずに22秒付近で次のピークが発生している。一方で、制振時はピーク発生後、速やかに減衰し、再加振は発生していない。

以上から、TLDによってX方向に制振効果が付与されたことがわかる。一方でY方向すなわち面内モードには明確な効果が見られないことも確認された。X方向の振動数(1.52Hz)にTLDを調整したため、Y方向の振動数(1.84Hz)と同調しにくかったと考えられる。この対策として、面内1次モード振動数(1.84Hz)に調整したTLDを併設することで、各方向を制振することが可能である。

4. 結論

本研究では逆L型柱の制振対策として実機に同調液体ダンパーを設置し、その効果を確認した。結果をまとめると以下の様になる。

- ・TLD設置によって減衰定数が、非制振時約1%から制振時約3%と3倍に増加しており、逆L型柱面外モードへの減衰付与が確認された。

- ・常時振動の加速度結果から、X方向最大値比較で非制振時29.3Galから、制振時16.5Galと6割程度に低減され

表-1 減衰定数平均値比較

方向	非制振時[%]	制振時[%]	制振/非制振
X方向	0.93	3.23	3.47
Y方向	0.93	1.13	1.22
Z方向	0.93	0.80	0.86

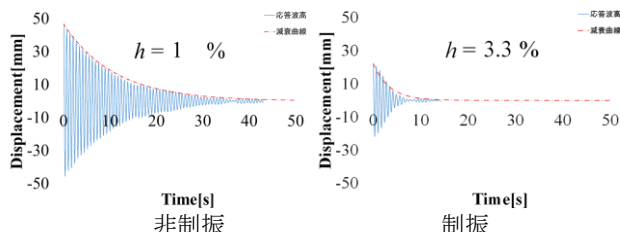


図-6 X方向減衰曲線(非制振・制振)

表-2 一般交通時最大加速度平均値の比較

方向	非制振時[Gal]	制振時[Gal]	制振/非制振
X方向	29.3	16.5	0.56
Y方向	9.44	8.37	0.89
Z方向	15.7	13.3	0.85

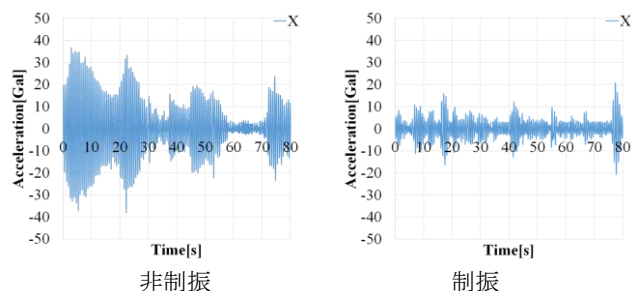


図-7 一般交通時情報板先端加速度時刻歴(非制振・制振)

ることを示した。このことから、TLDは30Gal程度の小さな加速度のレベルも抑えられることが確認された。

謝辞：TLD製作に際し、(株)十川ゴム井田剛史博士ならびに河田彰氏の協力を得た。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 瀬戸他：LED情報板が設置された角型支柱の振動減衰特性の検討，土木学会関東支部第44回技術研究発表，1-05，2017
- 2) 藤野陽三：構造物の制振対策(土木分野)，日本風工学会誌，44号，1990
- 3) 野路他：水のスロッシングを利用した制振装置の研究(その1)装置の流体力特性と制振効果の特性，日本建築学会構造系論文報告集，第411号，1990
- 4) 井田他：多方向転動型同調質量ダンパーを用いた都市高架橋上ITV柱の制振対策と耐久性確認現地試験，応用力学論文集Vol.10，pp1071-1080，2007
- 5) 小野他：貯水槽の耐震化向上のための8の字型浮体式制振装置の開発，地震工学論文集，Vol.37，2018掲載予定
- 6) G.W.Housner：Dynamic Pressure on Accelerated Fluid Containers，Bulletin of The Seismological Society of America，Vol.47，1957