

クレイドル型制振装置の実験と解析による制振効果の検証

東海大学 学生会員 ○武井 啓充

東海大学 正会員 島崎 洋治

1. 緒言

地震や風などによる自然の力、土木・建築工事や自動車・列車の交通による人為的な力など、様々な要因により、構造物は振動する。このような動的外力による振動は、構造物の信頼性、精度、品質、寿命などを損なうばかりでなく、安全性や居住空間の快適性など、私達の日常生活に支障をきたすような、様々な問題を引き起こす¹⁾。これらの振動による問題を解決する有効な手段の1つとして、制振がある。制振手法には多くの種類があり、分類の仕方も多様であるが、大きく分けてパッシブ型制振とアクティブ型制振の2つがある。また、これら2つの手法を組み合わせたハイブリッド型と呼ばれるものもある。パッシブ型制振装置は、外部供給エネルギーを必要とせず構造物の揺れに応じて自然に稼働し、振動を低減する。また、アクティブ型制振装置は、外部供給エネルギーを利用して振動を制御する装置で、このエネルギー供給には電動式や油圧式などのアクチュエータを利用している¹⁾。

ここで提案する制振装置は、パッシブ型に属するクレイドル(ゆりかご)型制振装置で、振り子のように長い紐を必要とせず、構造が単純でコンパクトなため、従来の制振装置よりも格段に低コストで製作が可能である。また、多分割して設置することも可能なので、施工も容易である。本研究では1Hz程度の固有振動数をもつ、ペンシルビルや吊り型式の歩道橋などの制振を目標に、クレイドル型制振装置の自由振動に対する減衰効果をラーメン構造模型により実験的に確認し、数値解析によりこの効果を理論的に検証した結果を示す。

2. 実験模型

2.1 ラーメン構造模型

図-1に、実験で使用したラーメン構造模型を示す。この模型は、支柱材としてPL-60×4.5の鋼材(SS400)を4本使用しており、長さは1250mmで一方向のみにせん断型の振動をする。支柱材4本分のバネ定数は $k=1.754\text{kgf/cm}$ で、構造模型と制振装置を合わせた梁部分の有効質量は約50kgである。

2.2 クレイドル型制振装置

図-2は、実験で用いたクレイドル型制振装置である。このクレイドルは2枚の鉄板に3つの車輪を取り付け、アクリル製の3つの円弧のレール上を1秒間に1回程度の速さで揺れる。本実験で使用したクレイドルの質量は603gで、レールの円弧の半径は約30cm、クレイドルの固有振動数は振幅が微小の時 $f_2=0.925\text{Hz}$ である。揺れの速さは振り子の原理と同じように円弧の半径や車輪の径を変えることにより調節できる。中央レール側面には非鉄金属であるアルミニウム板を貼り付けてあり、クレイドルにはネオジウム磁石を取り付けてある。クレイドルが揺れている際、磁石と中央レール側面のアルミニウム面との間に渦電流が生じ、クレイドルに減衰を与えることができる。クレイドルの減衰の強さ(減衰定数 h_2)は、磁石の取り付けの個数により、調節することができる。



図-1 ラーメン構造模型



図-2 クレイドル型制振装置

キーワード：制振，TMD，パッシブ型，クレイドル型制振装置，解析

連絡先：〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117 東海大学工学部土木工学科

TEL 0463(58)1211 FAX 0463(50)2045

3. 実験・解析方法

実験では、ラーメン構造模型にクレイドル型制振装置を取り付け、この装置を稼働させた制振時と稼働させない非制振時の自由振動実験を行う。実験は、構造模型の梁部分を水平方向に引張り、初期変位を与えて、自由振動させる。この時の構造模型およびクレイドルの時刻歴変位振幅をレーザー変位センサーにより、30 秒間計測する。制振時では、クレイドルの減衰定数 h_2 、構造模型の固有振動数 f_1 および初期変位を変化させ、計 300 通りの実験を行った。ここでクレイドルの減衰定数 h_2 は、装置単独での自由振動実験により求めた。図-3 にクレイドルに取り付けた磁石数とクレイドルの減衰定数 h_2 の関係を示す。磁石の数が増えると減衰定数 h_2 も直線的に大きくなっていることが分かる。次に、構造模型と制振装置の固有振動数 ($f_2=0.925\text{Hz}$) が最も近くなるように、振動する梁部分の重さを調節した。その梁部分の重さを実験開始時の基準とした。表-1 には梁部分の基準となる重さから 1kgf 刻みで最大 $\pm 2\text{kgf}$ 増減させたことによる構造模型の固有振動数の変化を示す。また、構造模型の梁部分を引張る水平方向の力を 2 ～ 6kgf まで 1kgf 刻みで変化させ、初期変位を与えた。

解析では変位応答解析を行うために、クレイドル・構造物の連成方程式を作成し、MATLAB 言語を用いて、ルンゲ・クッタ法により数値積分を行った。解析で使用した構造模型の支柱材のバネ定数および固有振動数、クレイドルの減衰定数などは実験より得られた値を用いた。

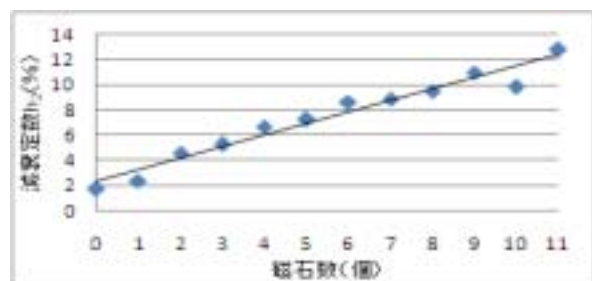


図-3 クレイドルの磁石数と減衰定数 h_2

表-1 梁部分重量増減による構造模型の固有振動数の変化

梁部分の 重さ増減(kgf)	+2	+1	基準	-1	-2
構造模型の 固有振動数(Hz)	0.897	0.909	0.922	0.934	0.946

4. 実験・解析結果

実験により得られた、制振装置を稼働させない非制振時における構造模型の変位応答波形を図-4 に示した。この時の初期変位は約 24mm で、梁部分を引張った力は 4kgf である。また、構造模型の固有振動数は表-1 に示した基準値の $f_1=0.922\text{Hz}$ である。図を見れば分かるように、構造模型の減衰が小さいため 30 秒経過してもほとんど揺れの振幅が変わっていないことが分かる。この時の構造模型の減衰定数は極めて小さい値で $h_1=0.12\%$ であった。この条件で装置を稼働させ、クレイドルの減衰定数 h_2 を変化させた時の変位応答波形が図-5, 6, 7 の a) である。a-1) は構造模型、a-2) はクレイドルの変位応答波形となっている。また図-5, 6, 7 の b) は、a) の実験結果を検証するために行った理論解析結果である。ここで図-5 a-1) の構造模型の変位応答波形は、減衰定数 h_2 が小さいため、ビート現象が観察できる。図-6 a-1) は、減衰定数 h_2 が適当であったため格段な減衰効果を確認できる。次に図-7 a-1) を見ると、減衰定数 h_2 が大きい場合、図-6 a-1) の結果に比べて構造模型の減衰効果は劣り、装置が静止したにもかかわらず構造模型に小さな振動が残っているのが観察できる。また図 a-2) のクレイドルの変位応答波形については、減衰定数 h_2 が大きくなるほど変位振幅が小さくなっているのが確認できる。図-8 は、減衰定数 h_2 を変えた時の構造模型の減衰定数 h_1 の変化を示したものである。この図から磁石の個数が 7 個 ($h_2=8.9\%$) のとき、最適な減衰効果が得られることが分かる。また図-9 は、減衰定数 $h_2=8.9\%$ の際、構造模型の固有振動数 f_1 を変えた時の減衰定数 h_1 の変化を示したものである。構造模型と制振装置の固有振動数 ($f_2=0.925\text{Hz}$) が近いほど減衰効果が高いことが分かる。解析については b) 図を見ればわかるように、実験とほぼ同様の結果が得られた。

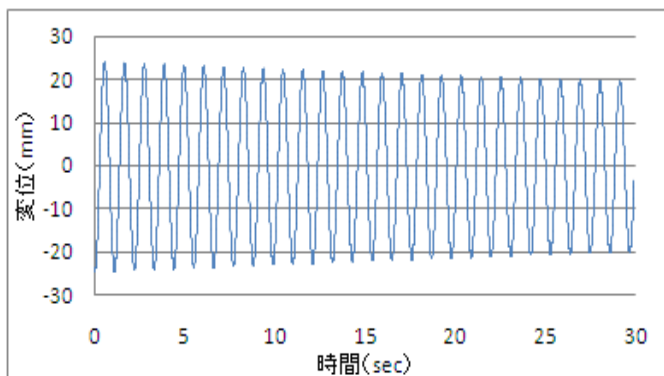
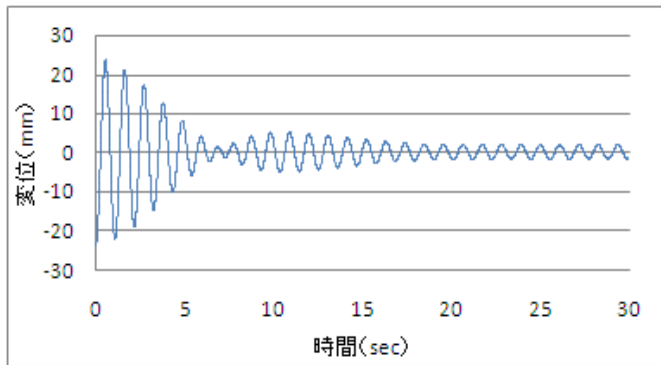
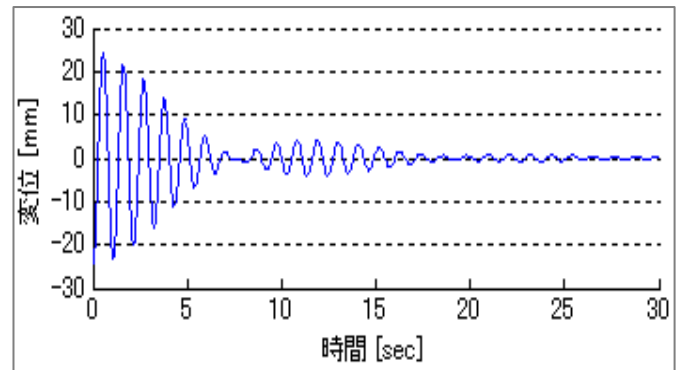


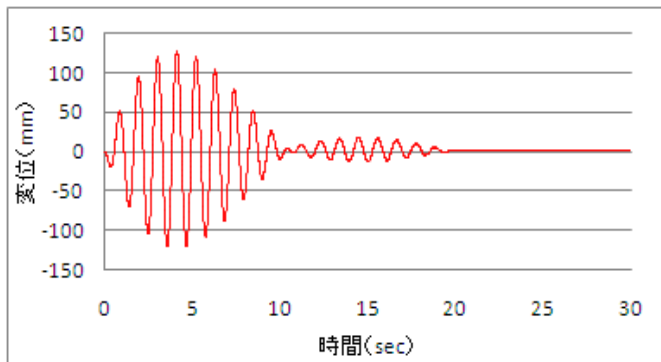
図-4 構造模型（非制振時）【実験】



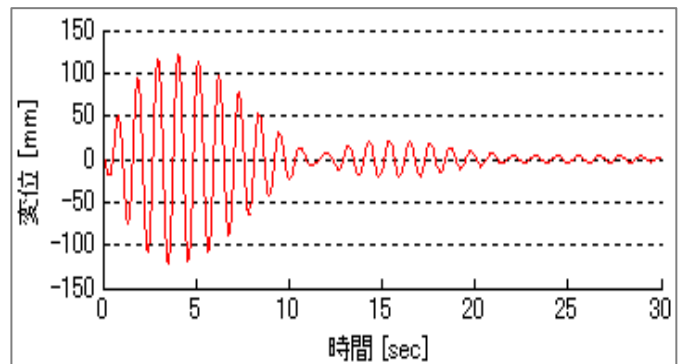
a-1) 構造模型【実験】



b-1) 構造模型【解析】

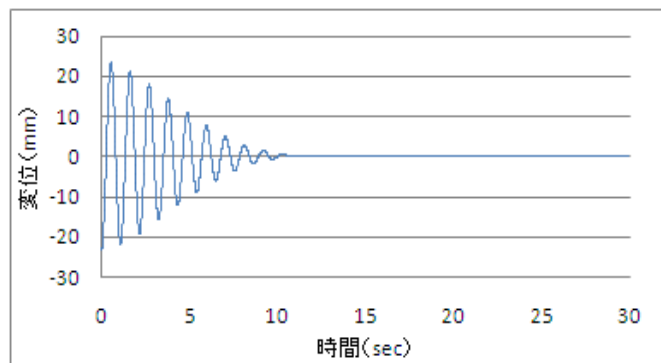


a-2) クレイドル【実験】

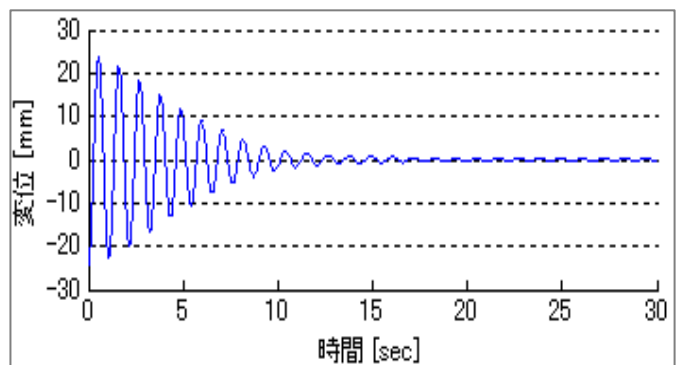


b-2) クレイドル【解析】

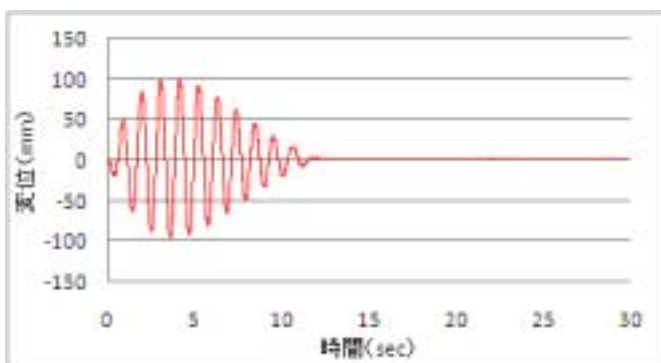
図-5 $h_2=5.3\%$ (磁石 3 個)



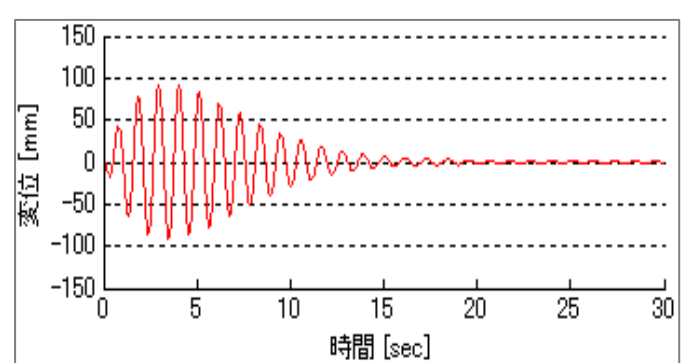
a-1) 構造模型【実験】



b-1) 構造模型【解析】

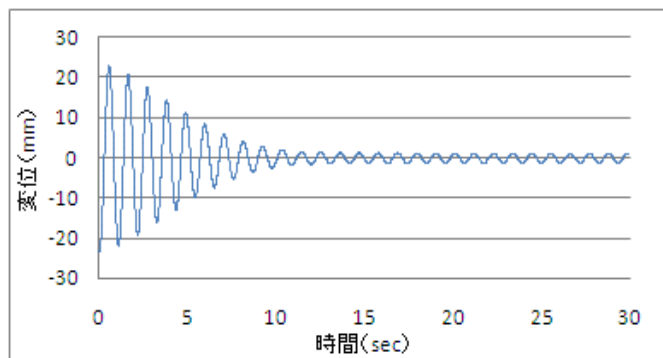


a-2) クレイドル【実験】

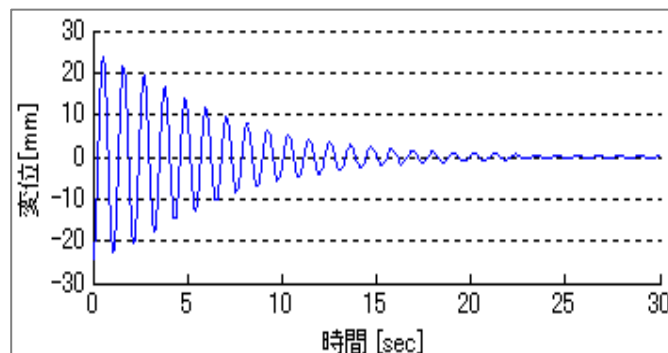


b-2) クレイドル【解析】

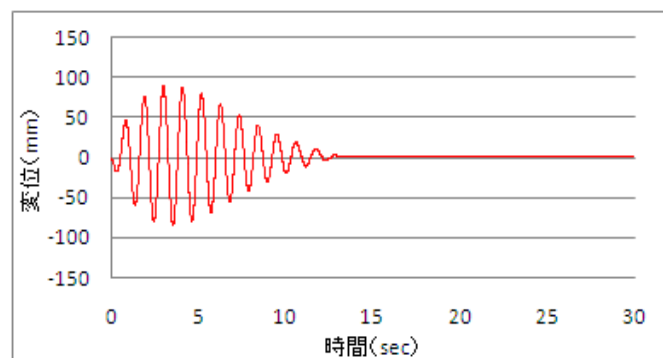
図-6 $h_2=8.9\%$ (磁石 7 個)



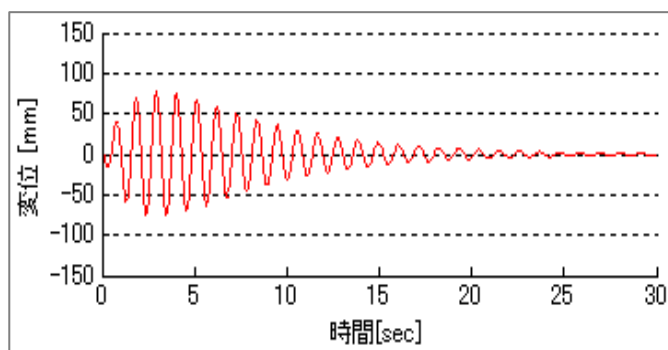
a-1) 構造模型【実験】



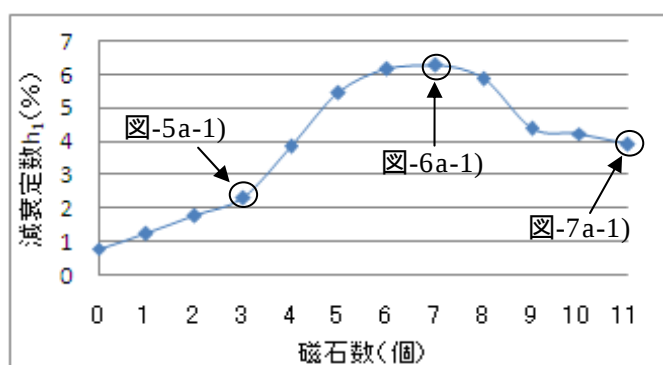
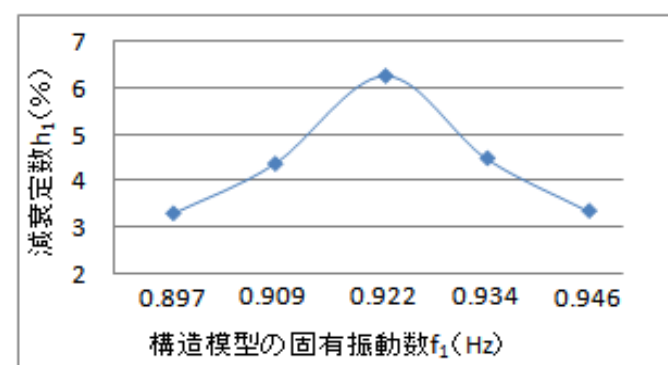
b-1) 構造模型【解析】



a-2) クレイドル【実験】



b-2) クレイドル【解析】

図-7 $h_2=12.7\%$ (磁石 11 個)図-8 減衰定数 h_1 と磁石数 (減衰定数 h_2)図-9 減衰定数 h_1 と構造模型の固有振動数 f_1

5. 結言

本研究では、1Hz 程度で揺れる構造物のためのクレイドル型制振装置を提案し、実験結果から構造模型におけるこの装置の格段な減衰効果を確認することができた。また、数値解析においても実験同様の結果が得ることができた。解析によりクレイドル型制振装置の減衰効果を再現できたことから、実際にこの装置を設計・製作する可能性を示すことができた。今後、実際の構造物への応用を目標に研究を行っていく計画である。

【謝辞】

本研究は、JST (科学技術振興機構) 平成 20 年度シーズ発掘試験「クレイドル型制振装置の開発と評価」の一環として実施したものである。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 尾畑守夫, 森尻渉, 島崎洋治: 転動型制振装置の自由振動における制振効果, 構造工学論文集
- 2) 武井啓充, 島崎洋治: クレイドル型制振装置における実験と解析, 第 63 回年次学術講演会概要集