

微小粉体とオイルを混合したビンガムダンパーの耐震性能実験

The seismic performance experiment of bingham material dampers

水野千里*, 青木徹彦**, 鈴木森晶***

Chisato Mizuno, Tetsuhiko Aoki, Moriaki Suzuki

*修(工), (株) オリエンタルコンサルタンツ (〒150-0036 東京都渋谷区南平台町 16-28)

** 工博, 愛知工業大学教授, 工学部都市環境学科 (〒470-0392 愛知県豊田市八草町 1247)

*** 博(工), 愛知工業大学准教授, 工学部都市環境学科 (〒470-0392 愛知県豊田市八草町 1247)

Since Hyougoken-nanbu Earthquake in 1995, improvement of seismic performance of structures comes to significant issues. Installing dampers to structures is recognized as one of effective measures decreasing seismic damage from primary structures. Recently a bingham type damper has been noticed because of its predominant characteristics such as no dependence on both velocity and temperature. In this paper, the bingham dampers with newly composed materials are examined experimentally. Preferable combination between silicon oil and some fillers are found after the dynamic test changing the frequency from one to five Herz.

Key Words: bingham damper, seismic performance test, silicone oil

キーワード: ビンガムダンパー, 耐震性能実験, シリコンオイル

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震以来, 構造物のさまざまな耐震性能の向上が検討されてきた. 特に地震のエネルギーを吸収する部材を構造物に取り入れる方法は耐震性能の向上に非常に有効と言える. 高速道路の高架橋などでは一般的に橋脚と上部構造物の間にダンパーを設置すると効果的と考えられるが, 地震による振動を吸収するオイルダンパーはまだ十分に活用されているとは言えない^{1,2)}.

従来のオイルダンパーでは, 速度依存性と温度依存があり, 耐震性能が安定しないという問題がある. それらの影響を緩和でき, 安定した履歴曲線を得られ, 特殊オイルと極小の粉末体を混ぜ合わせた半固体のビンガムダンパーが近年注目されはじめた. ビンガムダンパーに関する研究にはいくつかがあるが^{3,4,5)}, 土木構造物への応用例はまだ少ないようである.

ビンガムダンパーは, 地震波の繰り返しに対して履歴減衰効果が発揮され, 減衰力の設計精度が高く, 信頼性の高い耐震設計を実現することができるという利点がある. しかしながら, 現在わが国で用いられているビンガム

ダンパーに関しては, その成分や基本的性質が不明であり, またそれらの耐震性能を明らかにした実験的研究は少ない. 小型で高性能ダンパーが開発されれば設計の幅を広げることができ, 既存の構造物にも取り付け可能であり, 耐震補強としても有効であると考えられる.

本研究では, 新素材のビンガムダンパーを開発し, 繰り返し载荷を行い, エネルギー吸収性能などの基本的性能について実験的に明らかにする.

2. 実験計画および方法

2.1 実験装置とダンパー供試体

本研究で用いる実験载荷装置を図-1に示す. ダンパーの性能を調べるため, リニアレールにより水平方向のみ移動する実験装置を製作した. 25tの動的アクチュエーターを1基用いて水平方向に動的荷重を载荷する.

使用したダンパー供試体は全長833mm, 最大ストローク±100mm, 外径φ60mm (内径φ40mm), 内部ピストン外径φ39mm, 隙間0.5mmの供試体 (図-2,3) とし, ダンパーとしての基本的な性能を調べる. また, ビンガム材を充填する鋼管 (図-3 B-B断面及びC-C断面の外側

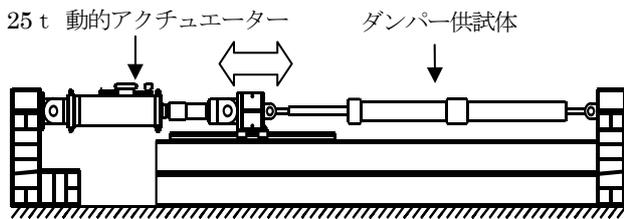


図-1 実験装置概略図



図-2 ダンパー供試体

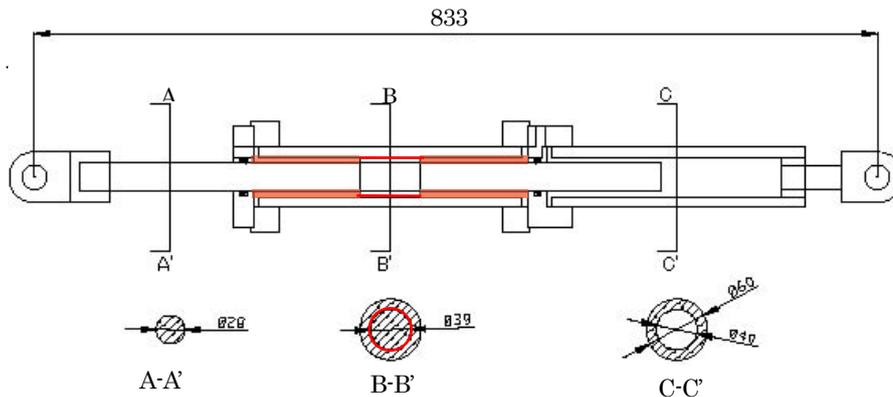


図-3 供試体断面図

鋼管部分)の材質としてSS400より強度の高いSCM415を使用した。これは実験当初にSS400材を用いたが、内部圧力により膨らみを生じたため、より強度の大きい材としたものである。また図-3のA-A'断面の軸部分(外径φ28mm)にはS45Cを用いた。

2.2 ビンガム材

従来のオイルや水、空気などの天然に存在する流体の抵抗力 F は、 $F=CV$ に示すように速度 V に左右される(ニュートン流体、 C :減衰係数)。それらの粘性流体よりも粘度が強く、異なった特性を示す物質がビンガム流体(=非ニュートン流体)である⁵⁾⁶⁾(図-4)。

土木関連でビンガム流体を扱う分野には、下水道の汚水・汚泥の輸送⁷⁾があり、その他、湖沼・河川・海岸の浚渫土砂の管路輸送、生コンクリートの管路輸送、火山の溶岩流等がある。

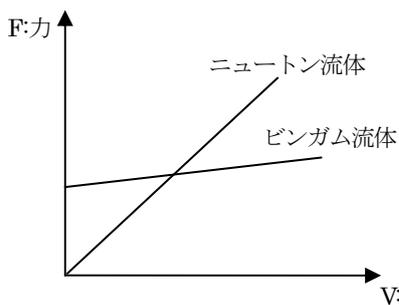


図-4 ニュートン流体とビンガム流体

本研究で用いるダンパーの中の充填材は、ゴム状で半固体状のものとし、オイルや粉末状の充填材(フィラー)の添加量を変えたサンプル材を用意した。

オイルダンパーで一般的に使用されているシリコンオイルを主剤として、フィラーとの組み合わせで5種類8つのビンガム材を用意し、最適な組み合わせを見出すことを目的として実験を行った。オイルとフィラーの組み合わせを表-1に示す。今回の実験に用いたビンガム剤の選定にあたっては、微小粉体状であり、市販され現時点で容易に入手できるものという条件で選んだものである。なおこれらのフィラー材に期待する役目は、微小固体粒子間の摩擦が主なものである。

主剤とフィラーの特徴は以下に示すようである。

- 1) シリコンオイル (主剤)
粘性が低い。耐熱性・耐寒性に優れ、広い温度範囲で粘性変化が少ない。
- 2) 炭酸カルシウム
粒子が大きく、二酸化炭素を酸化カルシウムと反応させたもの。水に溶けにくい性質を持つ。
- 3) ベントナイト
水に対して極めて親和性が高く、水を吸収して容積を増す性質を持つ。
- 4) 酸化チタン
天然に産出する無色・固体の金属酸化物
- 5) 球状黒鉛
潤滑性、導電性、耐熱性、耐酸体アルカリ性に優れて

表-1 ビンガム材の配合表

No.	オイル	フィラー種類	重量 配合比	特性値 (N)
SC-01	シリコーン (300g)	炭酸カルシウム	1:1.5	92
SC-02C		炭酸カルシウム (カップリング処理)	1:2	191
SB-03		ベントナイト	1:1.6	325
SB-04C		ベントナイト (カップリング処理)	1:1.7	356
ST-05		酸化チタン	1:1.6	27
SBL-06		球状黒鉛	1:1.5	261
SBL-07C		球状黒鉛 (カップリング処理)	1:1.7	258
SS-08		シリカ	1:1	83

※カップリング処理：有機物と無機物の混合促進させる処理

おり、軟らかい。

6) シリカケイ素の酸化物で、地殻を形成する物質のひとつであり、圧力・温度の条件により多様な形が存在する。

2.3 カップリング処理

本来、無機物と有機物は交わりくい性質がある。カップリング処理とは、フィラーのような無機材料と有機樹脂（オイルなど）との間で作用する界面活性剤のようなものであり、無機材料（フィラー）の表面をカップリング剤が覆うように付加される（図-5）。今回用いたカップリング剤はシリコーン系材料で、有機樹脂（オイルなど）と相性がよく、結果的にフィラーとオイルをなじみやすくさせる効果がある。また、酸化チタンとシリカはなじみやすい性質があるのでカップリング処理を行っていない。

カップリング処理後は、粘性が低下する。材料特性としては粘性が重要と考えられ、重量比は若干変化するが、処理前と同等の粘性を得るためにフィラーを追加した。

2.4 特性値の評価方法（粘性の数値化）

本実験で使用しているビンガム材は粘性が高く粘度計で測れなかったため、それに代わる方法で粘度計測を行った。評価方法は、受け皿に適量のビンガム材を充填し、

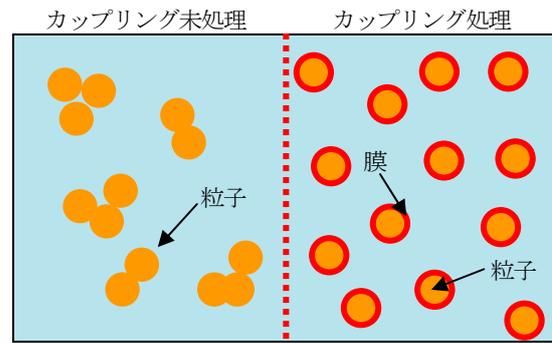


図-5 カップリング作用のイメージ図

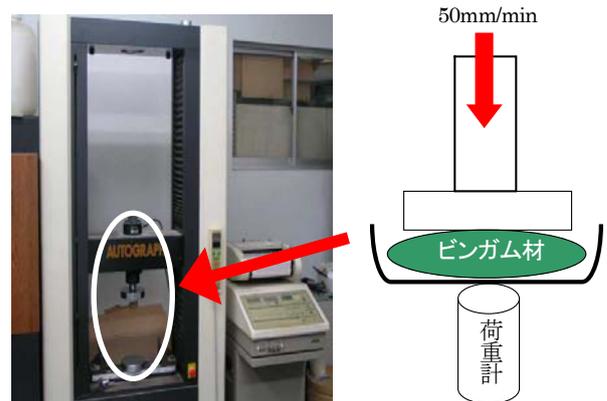


図-6 特性試験の概略図

垂直に方向にピストンを一定速度(50mm/sec)で押し込んだ際の荷重を測定する。このときの最大値を各ビンガム材の粘性を表す特性値として記録した（図-6 参照）。

2.5 载荷計画と方法

図-7は道路橋示方書⁸⁾に示された地震波加速度応答スペクトルである。同図より周期0.2～2秒に着目し振動数1～5Hzの正弦波を入力する。今回は地震時において最もエネルギーを発生させる1.0Hz以上でのダンパーとしての基本的な性能を調べることにし、さらに他の研究事例のない5.0Hzまでの高い振動数でのビンガムダンパーの

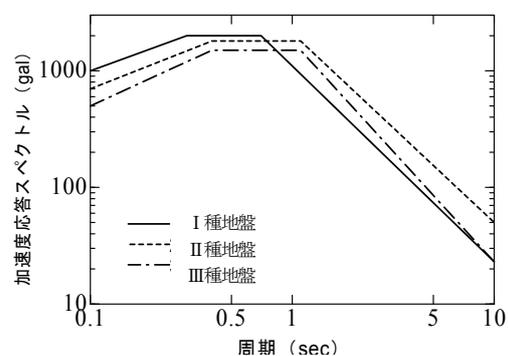


図-7 加速度応答スペクトル

表-2 実験方法

水平加振周波数(Hz)	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
振幅(mm)	50
水平加振回数	11回
測定温度(°C)	一定
荷重, 変位測定	ロードセル レーザー変位計

荷重試験を試みる。実験では温度一定の条件下で振幅と繰り返し回数を固定した。実験計画の詳細を表-2にまとめる。

3. 実験結果

3.1 繰り返し荷重による履歴曲線

表-1に示す試験体 No.SO-01~08の荷重-変位履歴曲線を図-8に示す。なお、データ数が多いため、速度の影響が最も大きく現れた5Hzを代表例として載せた。

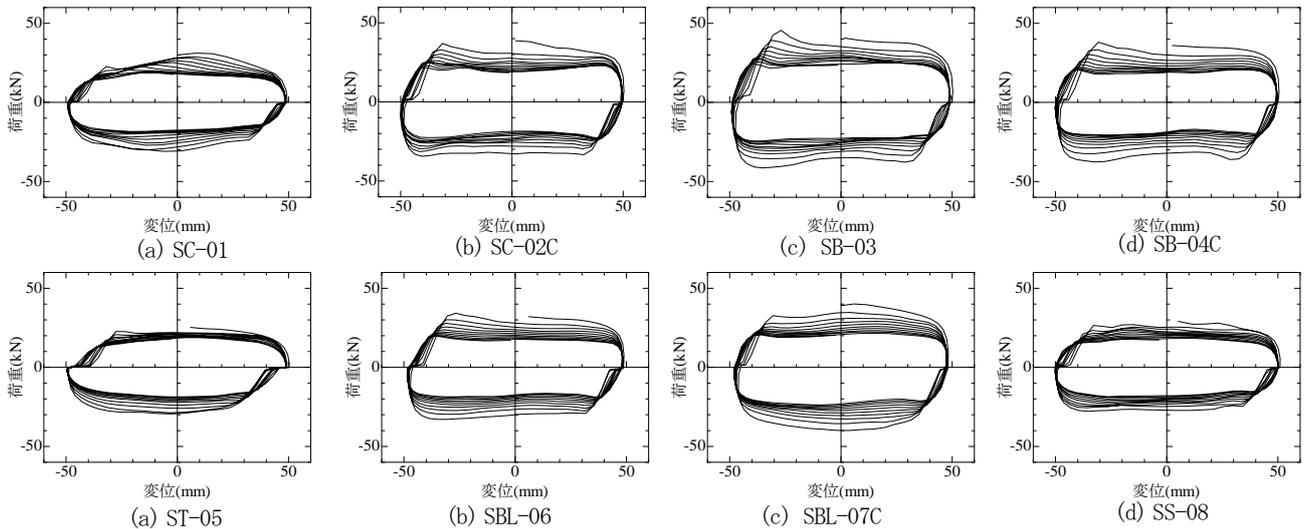


図-8 繰り返し荷重による履歴曲線(5Hz)

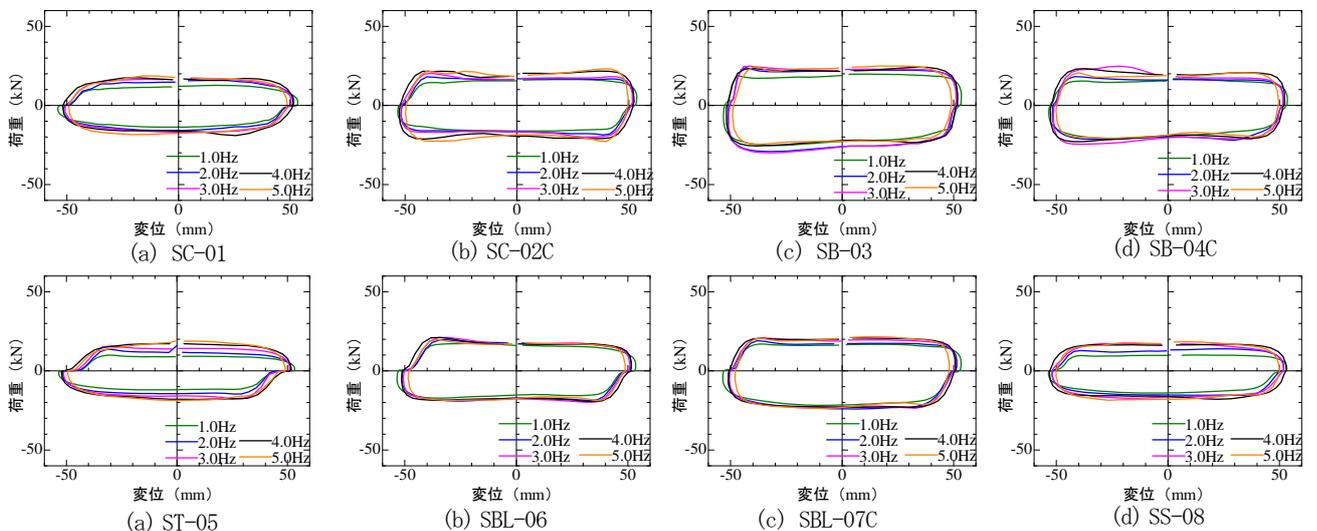


図-9 振動数変化による履歴曲線

図-8を見てわかるように、すべての実験データは繰り返し荷重により外側から内側へと荷重の値がある下限値まで収束した。これは繰り返しによる温度の上昇によるものと考えられる。速度が低い場合にはこの変化は少なかった。試験後、参考までにシリンダーの表面温度を表面温度計により測定してみたところ、100度近くまで上昇したものもあった。シリンダー内部の温度はさらに高くなっているものと思われる。また、左上および右下にわずかに窪みが発生しているものがあるが、これはダンパー内に空気が入ったのが原因と考えられる。

3.2 振動数変化による履歴曲線

1~5Hzまでの履歴曲線を図-9に示す。各振動数でのループは、比較を容易にするために、図-8に示した11回の繰り返しの最終回のループを示している。試験体 No.ST-05(酸化チタン)・SS-08(シリカ)においては、振動数の増加に伴い、荷重が若干上昇しているが、振動数によ

る影響は少なく、ほぼ一定の抵抗力で、長方形形状の荷重履歴曲線が得られた。

3.3 カップリングによる影響

図-10 より、カップリング処理後はエネルギー吸収量が大きくなる傾向にあるが、ベントナイトだけが小さく

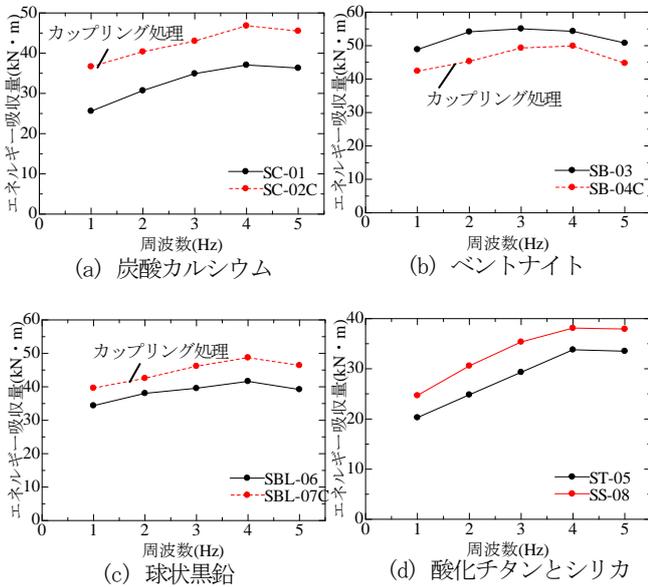


図-10 カップリングによる影響

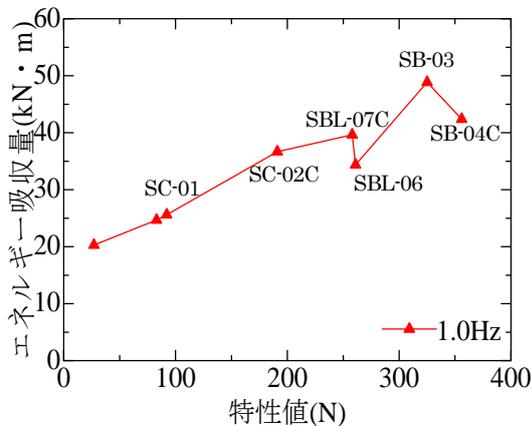


図-11 粘性特性値の影響

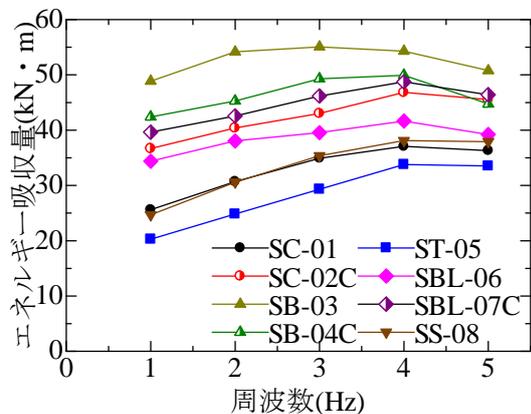


図-12 エネルギー吸収量

なった。これはベントナイト (SB-04C) は粒子の隙間が大きく、カップリング材がその内部に吸収されたものと推察され、そのために粒子表面を滑らかにできなかったと考えられる。

図-11 は粘性特性値の増減によるエネルギー吸収量の変化を示しており、各ビンガム材の振動数による変化が少なかったため 1Hz を代表例とした。同図より、特性値とエネルギー吸収量は比例的な関係にある。しかし、カップリング処理後におけるエネルギー吸収量変化はサンプル数が少ないこともあり規則性が見出せなかった。

炭酸カルシウムをフィラーに用いた場合、カップリング処理後、エネルギー吸収量は増大した。その原因は特性値の上昇か、カップリングによるものかは現在のところ判断できない。

3.4 エネルギー吸収量

図-12 に履歴曲線の面積から求めたエネルギー吸収量を示す。炭酸カルシウム、酸化チタン、シリカは振動数の増加に伴い、エネルギー吸収量も増加傾向にある。ベントナイト、球状黒鉛では安定したエネルギー吸収量を得た。また、もっとも多くエネルギーを吸収したのは SB-03 のカップリング未処理のベントナイトであった。

3.5 速度依存性

動的载荷の周波数を変えることによって速度依存性を調べた。図-12 より ST-05 (酸化チタン) と SS-08 (シリカ) は振動数が大きくなるにつれエネルギー吸収量も大きくなっている。これは速度の影響を受けており、SC-01,02C (炭酸カルシウム) も若干の影響がある。

今回用いたフィラー材として混合された材料は、比較的容易に、安価に入手できるものとしたが、それらの役目は、粘性流体抵抗もあるが、主として粒子間の摩擦抵抗によるものと考えられ、これにより速度依存性が少なくなつたのではないかと考えられるが、現象の把握は現段階では正確にはできていない。

4. まとめ

本研究によって得られた結論は以下のようにまとめられる。

(1) ビンガム材について

今回行った実験より、速度依存性がほとんどなくエネルギー吸収量ももっとも高かった SB-03 (ベントナイト) が最も優れた性能を発揮した。

(2) 履歴曲線が収束する理由

今回の実験から得られた履歴曲線は、すべて繰り返し载荷により荷重値がある下限値に収束した。これは、温度上昇によるものと考えられる。

(3) カップリングの影響

カップリングを行った3種類のうち、2つは処理を行うことで、荷重値が大きくなる傾向にあるが、ベントナイトだけが小さくなった。これはベントナイト(SB-04C)の粒子の隙間が大きく、そのためカップリング材がその内部に吸収されたと推察され、そのために粒子表面を滑らかにできなかったと考えられる。

(4) 粘性特性値

図-11より粘性特性値が大きいほど、荷重も大きくなることがわかった。しかし、フィラーに酸化チタン及びシリカを用いた場合のような粘性特性値の小さいサンプル材は、荷重が小さく、速度依存の影響が大きい結果となった。これは液体の性能が表われたためと思われる。

参考文献

- 1) 沼田征一郎：橋りょうの耐震設計，基礎工 Vol.2, No.12, pp 87-91, 1974
- 2) 磯浪隆一：構造物用油圧緩衝器について，油空圧(季刊誌)，日本油空圧工業会，Vol.8, No.4, pp63-68, 1994.10
- 3) 竹下学, 池永雅良：ビンガムダンパー速度特性試験，日本建築学会学術講演梗概集 B-2 構造 2 Vol. 2000, No. 21431, pp 861-862, 2000. 9
- 4) 藤生重雄：ビンガムダンパーを用いた実大フレーム実験，日本建築学会学術講演梗概集 B-2 構造 2 Vol. 2001, pp 363-364 2001. 09.
- 5) 下田郁夫：ビンガム特性ダンパー，日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集 Vol. 8th, pp69-70 2002. 03.
- 6) 鶴巻有一郎：ビンガム流体と粘性流体，2006.9.4, <http://homepage3.nifty.com/tsuru-y/newpage64.htm> [accessed 2006.12.10]
- 7) 土木学会編：水理公式集，1999年
- 8) 社)日本道路協会，道路橋示方書・同解説，V耐震設計編，2002，3月

(2008年9月18日受付)