

I - B 467

重泥水を利用した同調液体ダンパー（TLD）

（株）大林組 正会員 ○孫 利民 菊地敏男 後藤洋三
東海大学 正会員 林 正夫

1. はじめに 重泥水TLDは構造制振用の同調液体ダンパー（Tuned Liquid Damper=TLD）¹⁾の一種で、容器内の液体のスロッシングを利用したパッシブ系制振装置である。構造物に設置することによって、風や地震などの外乱による振動を低減し、対象構造物の使用性、安全性または施工性を確保できる。TLDには最適な液体スロッシング減衰が要求される。また、制振効果はダンパー質量比（TLD内液体質量／構造物のモード質量）の増大に従って高まる。従来、TLDは水を用いる場合が殆どで、水の粘性のみによるスロッシング減衰は要求される最適減衰値より小さいため、付加の減衰増加装置が必要となる場合が多い。重泥水を用いたTLDの液体として用いると、最適減衰と高い質量比によるTLDの制振効果の向上と合わせて構造の単純化や小型化が期待できる。

2. 重泥水について 石油や天然ガスの掘削においては、以前から泥水が使用されていた²⁾。今回用いた重泥水は水をベースとしたベントナイト泥水に高比重を維持するための加重剤とその他の調泥剤（増粘剤、分散剤）を加えたものであり、粘性のコントロールが容易で、性質が安定などの諸機能のほかに、無毒性、無公害、使用後の廃泥水が回収処理し易いなどの特徴がある。

重泥水は、非常に複雑な流動特性や界面現象を示す流体であるため、TLDに使用するには、基本性質（比重、レオロジー（rheology）特性）を把握するのが重要である。公称比重1.4の重泥水の粘性をファンVGメーター（Fann VG Meter Model 35）により測定した（図1）。重泥水は非ニュートン流体のため、せん断歪み速度によって水の粘性（1cp）の数十倍から数百倍となるのが分かる。

水—粘土の懸濁液である重泥水をTLDの液体として長期使用する場合、沈降現象が起これずに安定な比重と粘性を保つ性能が要求される。林ら³⁾の研究によると、新製泥水は6ヶ月以内なら大きな性質変化がないものの技術が確立されている。2～3年連続観測した結果、若干沈降を起こるが、攪拌すれば、泥水の性質がほぼもと通りに回復する。重泥水TLDを施工時などの数ヶ月間の仮設ダンパーとして使用する場合には問題がないが、長期間使用の場合の適用性については更に検討する必要がある。

3 模型実験と数値解析 重泥水TLDのスロッシング共振実験（図2、4）及び重泥水TLDを設置した1自由度構造模型の自由振動実験（図3、5）や加振実験（図6、7）を行った。

模型実験用TLDは長さ50cm×高さ25cm×幅25cmの長方形容器に比重1.4の重泥水を6.9cmの深さに入れ、固有振動数0.8Hzを有するものである。共振点付近で片振幅10galの正弦波でスイープ加振し、振動方向の容器端部壁付近の液面応答を計測した。共振曲線（図2）から分かるように、重泥水の減衰が高いため、液面の応答が小さく、曲線の形状もフラットになっている。線形の共振点で（ $f/f_s=1.0$ 、 f :加振振動数； f_s :TLD固有振動数）の応答波形（図4）から、重泥水のスロッシングの非線形（上下振幅が対称ではない）挙動が分かる。

波動理論を用いた数値解析^{1),4)}を行った。ここで、重泥水粒子の応答速度のオーダーを予測し重泥水の粘性は約500～800cPの範囲にあると推定した。700cPの値を用いた解析結果は実験値とよく一致した（図2、4）。

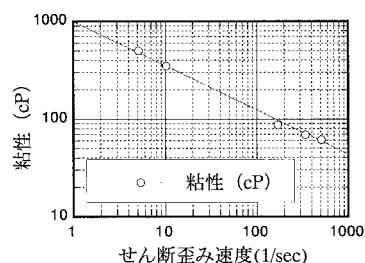


図1 重泥水の粘性

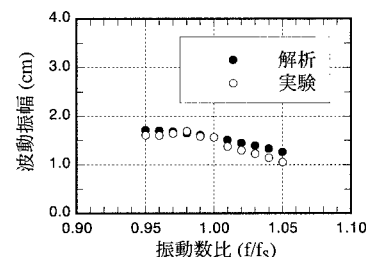


図2 共振実験結果

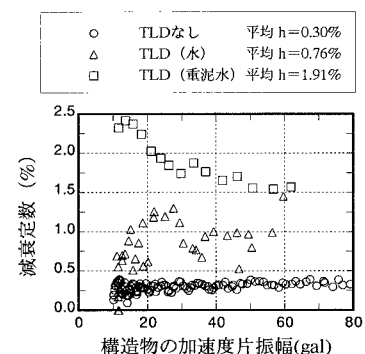


図3 自由振動から求めた減衰定数

制振, TLD, 重泥水

連絡先: 〒204-0011 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組技術研究所 Tel: 0424-95-0956 Fax: 0424-95-0909

重泥水TLD模型を重さ1.03t、固有振動数0.8Hzの一自由度構造模型に設置し自由振動実験を行った（図5）。TLDの質量比は1.1%である。図3に示すように、構造の平均減衰定数は重泥水TLDの設置によって、0.30%から1.91%まで増大し、水を用いる従来型のTLDの付加減衰の約2.5倍を有することを確認した。

構造模型の地震入力による加振実験（図6）より重泥水TLDの地震時の制振性能を検討した。パッシブダンパーである重泥水TLDは初動段階（液面動揺の振幅がある程度の大きさになるまで）の制振効果があり期待できないため、応答加速度の最大値で評価すると、入力地震波の特性によって制振効果は変わってくる。EL CENTRO NS波（最大加速度 80gal）で加振の場合、構造最大応答加速度が約30sec前後に出現したため、最大値が2/3位（117galから70gal位）にまで低減された。制振効果があった。神戸海洋気象台NS波（最大加速度50gal）で加振の場合、構造最大応答加速度が初動段階（約10sec前後）に出現したため、最大値が僅かしか低減されなかった。ただし、20sec以後の波形を見ると、重泥水TLDは地震の後揺れに対して良い制振効果があったと言える。

風振動に対する制振効果を検討するため、80sec間＋無入力40sec間の模擬入力で構造模型を加振した（図7）。風に対する居住性向上を制振目的としたため、入力レベルを無制振時最大応答加速度が約4galになるように設定した。応答加速度のRMS値は無制振時の1.379に対し、水を用いたTLDの場合が1.224で、重泥水TLDの場合が0.895となっており、従来TLDより制振性能が向上しているのが分かる。

又、重泥水TLDを高橋脚の施工時の制振へ適用した。自由振動実験の結果から重泥水TLDを設置することによって、減衰定数は3倍程度増大したことが分かった⁵⁾。

4. まとめ

重泥水TLDの挙動について模型実験により検討した結果、重泥水TLDは水を用いる従来型のTLDの付加減衰の2～3倍を有することを確認できた。非線形波動理論を用いた解析結果は実験値とよく整合しており、用いた解析手法は妥当であることを確認した。

非ニュートン流体である重泥水の粘性はせん断歪み速度に依存するので、TLDを設計する段階で、最適減衰を得られるためにはTLD内重泥水のせん断歪み速度のオーダーを予測することが重要である。

参考文献

- 1) Sun, L. M. et. al.: Nonlinear waves and dynamic pressures in rectangular Tuned Liquid Damper (TLD), JSCE, Strul. Eng./Earthq. Eng., Vol.6. No.2, p251s-262s, Oct., 1989.
- 2) 沖野文吉：『ボーリング用泥水＜新版＞』、技報堂、1981。
- 3) 林正夫ら：重泥水により作動する高出力CASEに関する物性の基礎実験、第10回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、p275-280、1998年。
- 4) Sun, L. M.: Semi-analysis modelling of Tuned Liquid Damper (TLD) with emphasis on damping of liquid sloshing, Doctoral dissertation, Civil Eng. Dept. of Tokyo Univ., 1991.
- 5) 孫利民ら：質点系モデルを用いた被災橋脚の非線形地震応答解析。第10回日本地震工学シンポジウム、1998年（投稿中）。

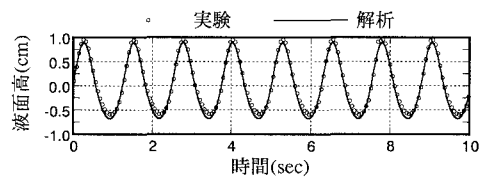


図4 共振実験の共振点での波形

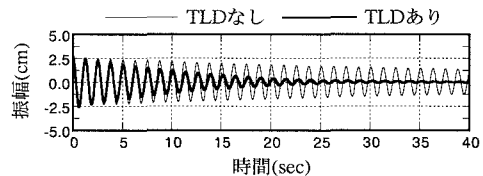


図5 自由振動実験の波形

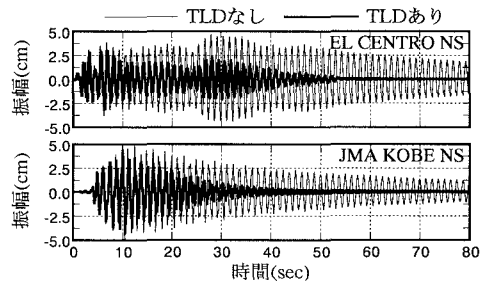


図6 地震入力の応答波形

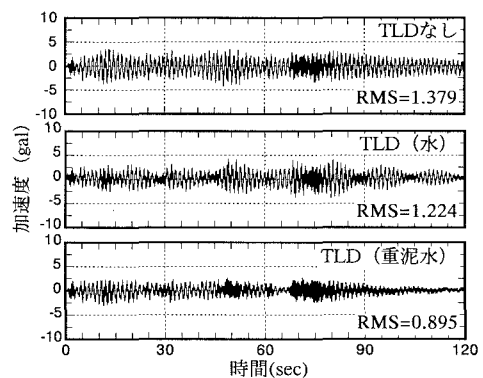


図7 風入力の入力の応答波形