

2方向入力を受けるTLD付き3層ラーメン模型の定常応答実験

九州共立大学工学部 正員 小坪 清真, 正員○成富 勝

九州工業大学工学部 正員 高西 照彦, 正員 多田 浩, 荒木 信博

1. まえがき 近年、長大橋梁、超高層タワー、超高層ビルなどのいわゆる柔構造物が数多く建設されてきている。この種の構造物の弱点として、風や地震による揺れがあげられ、そこで生活をする人や作業をしている人に不安感を抱かせたりすることがある。このような揺れを低減するための有効な制振装置として、液体の揺れ（スロッシング）を利用した同調液体ダンパー（TLD）が使われ始めている。このTLDの特長は、構造が単純で、維持管理が容易にできること、TLDの水深を変えるだけでその固有周期を変えることができること、そして他の制振装置と比べて安価なことなどがあげられる。これまでの著者らの実験では、1方向入力に対しての動特性を求めてきたが、本実験では、入力波の方向性が動特性にどのような影響を与えるかを検討するために、TLD付き立体3層ラーメン模型を作成し、振動台の加振方向に対して適当な角度回転させ、2方向から入力した場合について定常振動実験を行いその応答を求めた。

2. 実験概要 実験に用いたTLD付き3層ラーメン模型は、図-1に示すように、高さ1500mm、幅512mm、奥行406mmのステンレス製の3次元模型で、板厚12mmの鋼板を3層の頂板として使用した。また、頂板上には厚さ10mmのアクリル樹脂板で作られた内寸140mm×

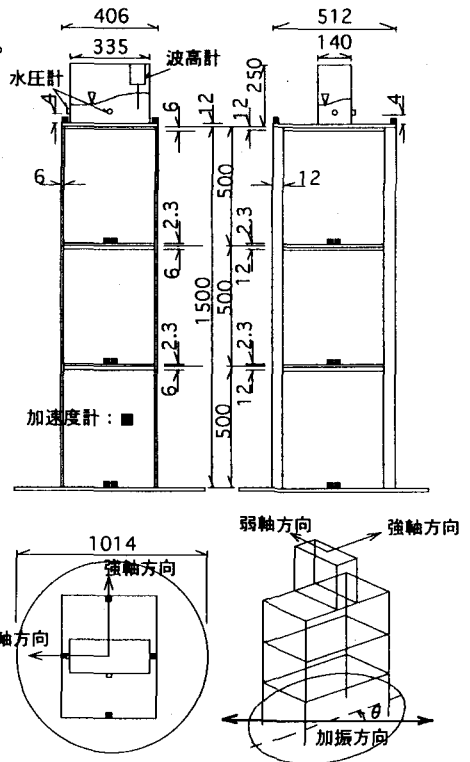


図-1 TLD付き3層ラーメン模型(単位mm)

335mm×250mm(高さ)のTLDを設置した。そしてこのTLDには、図-1に示すように波高計と水圧計を取り付けた。また、3層ラーメン模型の各層上および振動台上には2方向の振動を測定できるように加速度計を設置した。ここで、図-1に示すように、模型の水平剛性の大きい方向を強軸方向、小さい方向を弱軸方向と呼ぶこととする。実験は、線形の範囲で以下のとおり行った。まず、それぞれ単体としての振動特性を把握するために、(1)TLDの減衰自由振動実験、(2)3層ラーメン模型本体の共振振動実験と減衰自由振動実験を行った。次に、3層ラーメン模型を図-1に示すように $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ と 15° ずつ回転させて加振したときの

弱軸方向、強軸方向の2方向について、(3)空のTLDを付けた3層ラーメン模型、(4)TLDを付けた3層ラーメン模型に対して共振振動実験と減衰自由振動実験を行った。

表-1 TLDの固有振動数と減衰定数

		実験値	理論値
弱軸	固有振動数(Hz)	1.318	1.307
	減衰定数	0.0064	-----
強軸	固有振動数(Hz)	2.344	2.334
	減衰定数	0.0037	-----

表-2 空のTLD付き3層ラーメンの振動特性

		1 (f_1)		2	
		実験値	理論値	実験値	理論値
弱軸	固有振動数(Hz)	1.379	1.376	7.361	7.302
	減衰定数	0.0024	-----	0.1231	-----
強軸	固有振動数(Hz)	2.570	2.575	13.030	13.489
	減衰定数	0.0011	-----	0.1923	-----

表-3 TLD付き3層ラーメンの固有振動数

振動次数	1		2	
	実験値	理論値	実験値	理論値
弱軸方向の固有振動数(Hz)	1.123	1.135	1.514	1.546
強軸方向の固有振動数(Hz)	2.100	2.140	2.637	2.678

3. 結果および考察 表-1に、TLDが3層ラーメン模型と同調するために必要な水深が9.98cmのときの、弱軸方向と強軸方向の固有振動数と減衰定数を理論値と共に示した。減衰定数は両方向とも小さい値となっているが、弱軸方向の減衰定数は強軸方向の約2倍程度の大きさとなっている。また、表-2は空のTLD付き3層ラーメン模型の固有振動数と減衰定数を示したもので、弱軸方向、強軸方向共に、固有振動数は実験値と理論値はよく一致しているといえる。図-2は、 $\theta = 90^\circ$ のときの弱軸方向における、空のTLDを付けた3層ラーメン模型の頂板の加速度の応答倍率と振動台加速度に対する位相差曲線である。横軸には、表-2に示す1次の固有振動数 f_1 に対する加振振動数 f の比 f/f_1 をとった。この図より $f/f_1 = 1$ で応答倍率はピーク値となっており、そのときの位相差はほぼ 90° となり、ラーメンは共振状態となっていることがわかる。表-3は、TLD付き3層ラーメン模型の固有振動数で、弱軸、強軸両方向について実験値と理論値はよく比較的良好一致しているといえる。図-3、4、5に、 $\theta = 45^\circ$ のときの弱軸方向の振動における、TLD付き3層ラーメン模型頂板、TLDの波高および動水圧に対する共振曲線の一例を示す。応答倍率については、図-2（TLDが働かない場合）と図-3（TLDが働く場合）の結果を比べると、共振点において、後者は $\theta = 45^\circ$ と入力方向が変わっているにも拘らず前者に比べてかなり小さくなっており、TLDの制振効果が認められる。図-3より、ラーメン頂板の2つの共振点において、位相差が 90° となっていることは当然のことであるが、 $f/f_1 = 1$ においても位相差が 90° となっていることは注目すべきことである。図-4から、 $f/f_1 = 1$ において、動水圧と振動台加速度の位相差は 180° となっており両者は逆位相で振動していることがわかる。図-5より、 $f/f_1 = 1$ において、頂板加速度と動水圧の位相差が 90° で、動水圧が頂板に対して減衰力として働いていることがわかる。以上、図-3、4、5は $\theta = 45^\circ$ のときの弱軸方向振動の結果を示したが、応答は入力波の入射角 θ の如何に拘らず、強軸方向と弱軸方向とで同様な結果が得られることがわかった。

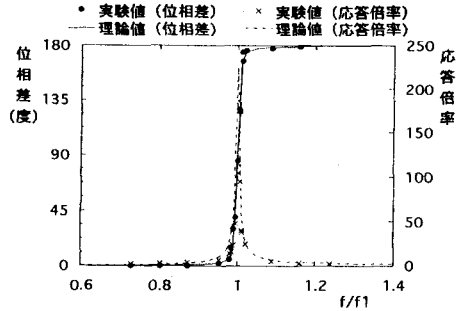


図-2 空のTLD付き3層ラーメン模型頂板の加速度の応答倍率および振動台加速度との位相差

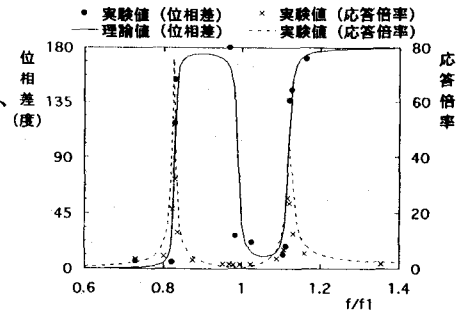


図-3 ラーメン模型頂板の加速度の応答倍率および振動台加速度との位相差

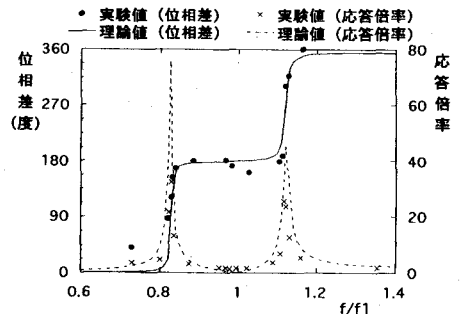


図-4 ラーメン模型頂板の加速度の応答倍率およびTLDの壁面動水圧と振動台加速度との位相差

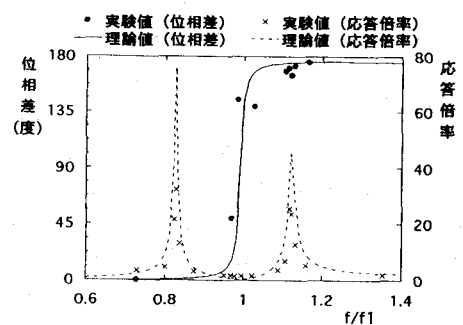


図-5 ラーメン模型頂板の加速度の応答倍率およびTLD壁面動水圧との位相差