

2層形制振材料の振動減衰特性試験および考察

— 試験・評価方法のJIS 化に向けて —



2009年1月
改定第1版

制振工学研究会

計測・評価技術分科会
2層形制振材料 JIS 規格化検討 WG

はじめに

我が国では、制振鋼板に関する振動減衰特性の試験方法が、JIS G 0602 として既に制定されている。しかし、2層形制振材料に関する振動減衰特性の試験方法については、規定されたものはまだ無い。このため、制振工学研究会では2層形制振材料JIS規格化検討ワーキンググループ(WG)を設置して、制振工学に関する最新の知見から再考察し、将来の2層形制振材料の振動減衰特性試験のJIS化を目指して活動を続けてきた。

この活動は、制振工学研究会 計測評価技術分科会に所属する3つのWG(制振材料勉強会WG、2層形制振材料JIS規格化検討WG、構造物制振特性WG)の共同作業として実施したものである。つまり、制振材料勉強会WGで「塩ビ系シート」と「ブチルゴム」の材料を製作し、2層形制振材料JIS規格化検討WGではこれらを用いて2層形試験片を作成、各種制振特性試験・数値計算及び材料の換算周波数ノモグラムを作成して解析と評価を行った。さらに構造物制振特性WGにて、これらの材料をダクトに適用し、構造物の減衰特性試験とシミュレーションを行っている。

本報告は、2層形制振材料JIS規格化検討WGにおいて検討してきた単層および2層形制振材料の、両端自由はり及び、片持ちはりの曲げ振動に関して最新の振動減衰特性試験方法について、実験と解析をまじえて解説したものである。また、材料の損失係数と弾性係数を表示する方法としての換算周波数ノモグラム理論についても言及した。

2層形制振材料JIS規格化検討WG活動は1998年7月から2004年8月まで延べ35回に渡って実施され、本報告はその検討の成果を纏めたものである。



本報告の内容が基になり、2008年8月20日に、JIS K 7391:2008 ”非拘束形制振複合はりの振動減衰特性試験方法”が制定されたのに伴い、内容の一部見直しを行い、今回、改訂版として発行する。

目次

1. 適用範囲	-----	1
2. 用語の定義		
2.1 振動減衰	-----	2
2.1.1 ダンピング	-----	2
2.1.2 エネルギー消散	-----	2
2.1.3 減衰比 ζ	-----	2
2.1.4 共振倍率 Q	-----	2
2.1.5 対数減衰率 δ	-----	3
2.1.6 減衰速度 Δt	-----	3
2.1.7 残響時間 T_{60}	-----	3
2.1.8 減衰能力 ϕ	-----	3
2.1.9 損失係数 η	-----	3
2.1.10 複素剛性、複素弾性係数 E	-----	3
2.2 両端自由はり、片持ちはりを用いた損失係数の測定	-----	4
2.2.1 共振・反共振	-----	4
2.2.2 FFT	-----	4
2.2.3 加振信号	-----	5
2.2.4 コンタクトチップ	-----	5
2.2.5 マスキャンセル	-----	5
2.3 損失係数測定結果の整理方法	-----	6
2.3.1 温度周波数換算則	-----	6
2.3.2 合成曲線、シフトファクター、換算周波数	-----	6
2.3.3 WLFの式	-----	6
2.3.4 換算周波数ノモグラム	-----	6
3. 試験方法の種類と構成機器	-----	6
4. 試験装置		
4.1 片持ちはり法	-----	8
4.2 中央加振法	-----	9
4.3 マスキャンセルアンプ	-----	10
4.4 デジタルマスキャンセル	-----	10
4.5 周波数分析装置	-----	10
4.6 恒温槽	-----	12
5. 試験片		
5.1 試験片の種類	-----	13
5.2 形状	-----	13

5.3 基 材	-----	14
5.3.1 材質	-----	14
5.3.2 厚み	-----	14
5.3.3 加工精度	-----	14
5.4 基材と制振材の接着	-----	14
5.5 コンタクトチップの先端形状・材質	-----	14
5.6 注意事項	-----	15
6. 損失係数の測定		
6.1 振動モード次数の確認	-----	16
6.2 測定周波数範囲	-----	16
6.3 損失係数測定精度	-----	16
6.4 加振信号	-----	16
6.5 加振力 (加振振幅)	-----	17
6.6 不要共振の除去	-----	17
6.7 コヒーレンスの確保	-----	18
6.8 共振・反共振	-----	18
6.8.1 共振と反共振の物理的意味	-----	18
6.8.2 共振点	-----	18
6.8.3 反共振点	-----	18
6.8.4 共振点と反共振点での損失係数	-----	18
6.9 加振点と受信(観測)点の影響	-----	18
6.10 周波数応答関数	-----	19
6.11 FFT 分析器設定	-----	19
6.11.1 周波数帯域 (f_m)	-----	19
6.11.2 分解能周波数 (Δf)	-----	19
6.11.3 FFT 分析器への入力	-----	19
6.11.4 加振信号と窓(ウィンドウ) 関数	-----	20
6.11.5 コヒーレンス関数	-----	20
6.11.6 平均回数	-----	20
6.12 測定温度	-----	21
7. 損失係数の算出方法		
7.1 損失係数算出のための粘弾性モデル	-----	21
7.2 周波数応答関数	-----	21
7.3 周波数応答関数をゆがめる要素	-----	22
7.3.1 付加マス (付加質量)	-----	22
7.3.2 モード重畳	-----	23
7.4 損失係数の算出方法	-----	23
7.4.1 半値幅法	-----	24
7.4.2 サークルフィット法	-----	25

7.4.3	周波数応答関数の虚部から損失係数を算出する方法	-----	28
7.4.4	正規円法	-----	28
7.4.5	極零モデルフィット法	-----	29
8.	換算周波数ノモグラム		
8.1	換算周波数ノモグラム	-----	31
8.2	換算周波数ノモグラムの背景	-----	31
8.3	換算周波数ノモグラムの作成	-----	31
8.4	逆U字プロットの作成	-----	31
8.5	換算周波数ノモグラムの読み方	-----	32
8.6	逆U字プロット	-----	33
8.7	ノモグラム作成時の注意点	-----	33
9.	報告		
9.1	損失係数測定システム	-----	34
9.2	試験片の寸法	-----	34
9.3	試験方法	-----	34
9.4	試験条件	-----	34
9.4.1	試験温度	-----	34
9.4.2	試験片固定方法	-----	34
9.4.3	加振方法	-----	35
9.4.4	加振信号	-----	35
9.4.5	損失係数算出方法	-----	35
9.4.6	損失係数算出方法	-----	35
9.4.7	ズーム分析	-----	35
9.4.8	マスキャンセル	-----	35
9.4.9	加振信号	-----	35
9.5	共振周波数、損失係数データ	-----	35
9.6	報告書例	-----	36
10.	解説		
10.1	用語	-----	37
10.1.1	振動減衰	-----	37
10.1.2	エネルギー消散メカニズム	-----	38
10.1.3	ダンピングの大きさを表す指標	-----	38
10.2	測定機器	-----	42
10.2.1	電動型加振器	-----	42
10.2.2	インピーダンスヘッド	-----	45
10.2.3	非接触電磁加振器	-----	46
10.2.4	非接触電磁速度センサー	-----	49
10.2.5	静電容量センサー	-----	50
10.2.6	加速度センサー	-----	50
10.2.7	レーザードップラー振動計	-----	51

10.3	試験片固定ジグ	-----	52
10.3.1	コンタクトチップの種類	-----	52
10.3.2	基材と制振材の接着	-----	53
10.4	試験片のバラツキ	-----	53
10.5	温度管理	-----	53
10.6	測定周波数範囲	-----	54
10.7	試験片の振動モードと損失係数	-----	54
10.7.1	共振	-----	54
10.7.2	反共振	-----	56
10.7.3	共振点と反共振点における損失係数	-----	56
10.7.4	加振点と受信観測点の損失係数に与える影響	-----	58
10.8	高速フーリエ変換 (FFT)	-----	59
10.9	加振信号	-----	61
10.9.1	ランダムノイズ	-----	61
10.9.2	疑似ランダムノイズ	-----	62
10.9.3	スエプトサイン	-----	62
10.10	周波数応答関数	-----	62
10.10.1	損失係数算出に適した周波数応答関数	-----	62
10.10.2	算出モデルの自由度	-----	63
10.10.3	損失係数算出モデル	-----	64
10.11	マスキャンセル	-----	65
10.11.1	マスキャンセルアンプ	-----	66
10.11.2	デジタルマスキャンセル	-----	66
10.12	モード重畳	-----	67
10.12.1	モード重畳の影響 (連続はりモデル)	-----	67
10.12.2	モード依存性 (連続はりモデル)	-----	68
10.13	損失係数算出法	-----	69
10.13.1	半値幅法	-----	69
10.13.2	正規円法	-----	72
10.13.3	極零モデルフィット法	-----	75
10.14	換算周波数ノモグラム	-----	79
10.14.1	粘弾性材料の物理特性	-----	79
10.14.2	材料単体特性への換算	-----	80
10.14.3	温度-周波数換算則	-----	84
10.14.4	換算周波数ノモグラムの作成	-----	86
10.14.5	材料動特性の近似式表現	-----	89
10.14.6	換算周波数ノモグラムの読み方	-----	91
10.14.7	逆U字ノモグラム	-----	92
10.14.8	損失係数とヤング率の簡略表現	-----	92
10.14.9	材料動特性の推定	-----	93
	参考文献	-----	94