

目 次

改訂新版発行にあたって

序 文

編集にあたって

日本学術振興会製鋼第 19 委員会超音波探傷法協議会委員名簿

1. は し が き

1.1 非破壊検査	1
1.2 超音波検査法のあらまし	2
1.3 超音波探傷法の発達	3
1.4 国内での超音波探傷法	4

2. 超 音 波

2.1 概 説	5
2.2 波 動 論	6
2.2.1 波	6
2.2.2 波動の種類	8
2.2.3 波長と速度	10

2.2.4	波動の形式	14
2.2.5	波動論と幾何光学	15
2.2.6	音の強さ	16
2.2.7	パルスと連続波とフーリエ解析	18
2.3	音波の放射	20
2.3.1	音波の発生と受信	20
2.3.2	振動子から放射される音波	21
2.3.3	ピストン音源の指向特性	23
2.3.4	格子状音源の指向特性	28
2.4	平面における反射屈折	29
2.4.1	垂直反射および往復通過率	29
2.4.2	層面からの反射	31
2.4.3	定在波と共振	34
2.4.4	屈折と反射	35
2.4.5	斜入射の能率	37
2.4.6	角からの反射	40
2.5	傷の反射率	41
2.5.1	反射率の定義	41
2.5.2	円形平面傷の反射率	43
2.5.3	矩形平面傷の反射率	44
2.5.4	球形傷の反射率	45
2.5.5	円柱形傷の反射率	45
2.5.6	曲面の反射率	47
2.5.7	投影面積が同一な傷の反射率	47
2.5.8	傷の反射指向性と反射率の低下	48
2.5.9	見掛けの反射率	49
2.6	近距離音場と傷の反射率	50
2.6.1	固体中のパルスの取扱い	50
2.6.2	近距離音場（液体中）	51
2.6.3	近距離音場における探傷	54
2.6.4	近距離音場の干渉縞を消失させる方法	62
2.7	板の中の波動	65
2.7.1	板波の種類	65
2.7.2	板波の位相速度	67

2.7.3	パルス波の速度と位相速度	68
2.7.4	板波の変位分布	71
2.8	超音波の減衰	72
2.8.1	減衰の表示	72
2.8.2	減衰の原因	73
2.8.3	散乱減衰	76
2.8.4	液体における減衰	83
2.8.5	高分子物質における減衰	83
2.9	その他の理論	84
2.9.1	トップラー効果	84
2.9.2	レンズ効果	84
2.9.3	回折	91
2.9.4	散乱	93

3. 探 傷 器

3.1	探 触 子	94
3.1.1	探触子の種類	94
3.1.2	垂直探触子	94
3.1.3	斜角探触子・表面波探触子	96
3.1.4	水浸探触子	101
3.1.5	その他の特殊探触子	103
3.1.6	探触子取扱い上の注意	106
3.1.7	高周波ケーブル	106
3.2	電気音響変換	108
3.2.1	圧電気現象	108
3.2.2	振動子材料	109
3.2.3	探触子の電気音響変換能率と振動子の機械的Q	110
3.3	連続波型探傷器	112
3.4	パルス型探傷器	114
3.4.1	同期回路	115
3.4.2	パルス（発振）回路	116

3.4.3 受信回路	120
3.4.4 スイープ回路	127
3.4.5 陰極線管（ブラウン管）.....	128
3.4.6 蓄積管	130
3.4.7 そ の 他	132
3.5 共振型超音波厚さ計.....	140
3.5.1 共振法と超音波厚さ計	140
3.5.2 可聴型超音波厚さ計	140
3.5.3 直視型超音波厚さ計	143
3.5.4 クラックメータ	147
3.5.5 超音波厚さ計の自動連続記録	149
3.6 探傷器の特性	151
3.6.1 探傷器の特性	151
3.6.2 使用目的からみた特性	152
3.6.3 探傷器のもつ電気的特性	157
3.7 減衰測定器	162
3.7.1 コンパレータ方式	162
3.7.2 アッテネータ（抵抗減衰器）方式	167

4. 探 傷 法

4.1 直接接触垂直法	173
4.1.1 各種調度の設定	174
4.1.2 傷の位置の判定法	176
4.1.3 傷の大きさの測定	177
4.1.4 探傷点の決め方	178
4.1.5 注意を要する問題	179
4.1.6 表面近くの傷の探傷法	179
4.1.7 適 用 例	180
4.2 斜角探傷法	180
4.2.1 斜角探傷の基礎	180

4.2.2	装置の校正	184
4.2.3	探傷条件の設定	187
4.2.4	走査方法	188
4.2.5	欠陥の位置の判定	190
4.2.6	欠陥の形状の推定	193
4.2.7	欠陥の大きさの推定	196
4.3	表面波探傷法	199
4.3.1	表面波の性質	200
4.3.2	表面波の発生方法	200
4.3.3	パルスの伝搬状況	202
4.3.4	人工傷からの反射	203
4.3.5	稜線（角）からの反射	205
4.3.6	応用例	208
4.4	板波探傷法	209
4.4.1	板波の発生	209
4.4.2	板波の伝搬	213
4.4.3	連続波による板波探傷法	216
4.4.4	波板による厚さ測定法	217
4.4.5	板波探傷の手続の一例	218
4.4.6	板波探傷法の応用例	219
4.5	水浸法	220
4.5.1	水浸法の原理と特徴	220
4.5.2	水浸法における探傷図形	221
4.5.3	水浸法における音波の屈折と反射	221
4.5.4	水浸法の指向性	223
4.5.5	音響レンズとその効果	224
4.5.6	水浸法適用上の注意	227
4.6	透過法	228
4.6.1	透過法の原理と種類	228
4.6.2	透過法の特徴	230
4.6.3	連続波透過法（単純透過法）	231
4.6.4	共振透過法	236
4.6.5	パルス透過法	238
4.7	共振法	239
4.7.1	超音波厚さ計の動作	239

4.7.2	超音波厚さ計の特徴	242
4.7.3	超音波厚さ計による厚さ測定	244
4.7.4	超音波厚さ計による音速測定と材質判定	247
4.8	デルタ法	249
4.8.1	デルタ法の原理と特徴	249
4.8.2	デルタ法の応用方法	251
4.8.3	デルタ法の応用例	253

5. 図形表示・記録の方式と計装化

5.1	概 論	257
5.2	A スコープによる表示とその変形	258
5.2.1	A スコープ	258
5.2.2	A スコープ図形の見方	260
5.2.3	A スコープの変形	263
5.3	B スコープによる表示とその変形	265
5.3.1	B スコープ	265
5.3.2	B スコープの変形	267
5.4	C スコープによる表示とその変形	268
5.4.1	C スコープ	268
5.4.2	C スコープの変形	269
5.5	その他の表示法	269
5.5.1	立体表示法	269
5.5.2	音像直視法（直像法）	271
5.5.3	計器指示法	271
5.6	自動走査器	272
5.6.1	自動走査法の種類と利点	272
5.6.2	一般用自動走査器	273
5.6.3	らせん走査器	274
5.6.4	平行プログラミング走査器	275

5.6.5	ジグザグ走査器その他	276
5.6.6	同期装置	280
5.7	記録機	282
5.7.1	概要	282
5.7.2	A, B, C スコープ撮影法	285
5.7.3	蓄積型ブラウン管による表示	286
5.7.4	ペン式記録機	286
5.7.5	ファクシミリによる記録	289
	補遺 (5.5.2 音像直視法)	290

6. 測定法

6.1	音速測定	293
6.1.1	パルス反射法による簡易測定法	293
6.1.2	厚さ計による簡易測定法	294
6.1.3	遅れエコーを応用した音速測定法	295
6.1.4	固体弾性定数の測定	296
6.1.5	パルス干渉法による音速測定	297
6.1.6	Sing Around 方式	299
6.2	減衰測定	301
6.2.1	減衰測定の目的	301
6.2.2	減衰を表わす方法	302
6.2.3	減衰定数	303
6.2.4	減衰定数測定法	305
6.2.5	反射損失とその補正	306
6.2.6	音場補正	310
6.2.7	試験片の製作および測定装置における問題点	317
6.2.8	減衰測定用基準片	318
6.2.9	減衰測定の具体的方法	319
6.2.10	丸棒の円柱面から減衰定数を測定する方法	320
6.3	指向特性の測定	321
6.4	屈折角測定	325

6.4.1	屈折角測定方法の種類と一般的注意事項	325
6.4.2	半円形試験片を用いる透過法	326
6.4.3	円穴エコーを用いる反射法	327
6.4.4	板状試験片の角隅部のエコーを用いる反射法	327
6.5	探触子の特性測定	329
6.5.1	振動子の共振周波数	329
6.5.2	探触子の作る近距離音場の測定	331
6.5.3	変換効率測定	332
6.6	探傷器の特性測定	333
6.6.1	追込み特性	333
6.6.2	感 度	335
6.6.3	増幅の直線性	336
6.6.4	時間軸の直線性の測定	340
6.6.5	遠距離分解能	341
6.6.6	周波数の測定	343
6.6.7	その他の特性	344

7. 図形に及ぼす影響因子

7.1	概 論	347
7.2	探 傷 器	349
7.3	探触子および高周波ケーブル	351
7.4	探触子の接触状態	352
7.5	超音波減衰	354
7.5.1	減衰と周波数との関連	354
7.5.2	FエコーおよびBエコー	356
7.5.3	異常反射波	358
7.6	干 渉	358
7.6.1	近距離音場	359
7.6.2	側面の反射	360

7.7 屈 折	361
7.7.1 応力による音速変化	361
7.7.2 超音波の屈折状況	363
7.8 探 傷 面	366
7.8.1 探傷面の仕上状況	366
7.8.2 探傷面の形状	369
7.9 底 面	371
7.9.1 底面の形状による影響	372
7.9.2 傾斜底面	374
7.10 壁 面	375
7.11 欠 陥	377
7.11.1 欠陥の位置の影響	378
7.11.2 欠陥の形状の影響	380
7.11.3 欠陥の質の影響	390
7.11.4 透過性に対する欠陥の影響	394

8. 感 度 標 準 試 験 片

8.1 概 論	399
8.1.1 超音波探傷器の感度表示	399
8.1.2 対比試験片と感度標準試験片	400
8.1.3 標準試験片の諸形式	401
8.1.4 標準試験片の素材	402
8.2 外国の感度標準試験片	404
8.3 国内の感度標準試験片	404
8.4 学振感度標準試験片	406
8.4.1 学振Ⅰ形感度標準試験片	406
8.4.2 学振Ⅱ形感度標準試験片	407
8.4.3 学振Ⅲ形感度標準試験片 (JIS G 形感度標準試験片, STB-G)	408
8.4.4 学振Ⅲ形感度標準試験片 (JIS-STB-G) 使用法	412

8.5 斜角探傷装置特性試験用試験片	417
8.5.1 JIS-STB-A1 (IIW 形試験片)	417
8.5.2 JIS-STB-A1 の使用法	418
8.5.3 小形標準試験片	423
8.5.4 B. S. の標準試験片	424
8.6 斜角探傷用感度標準試験片	426
8.6.1 人工傷の種類と特徴	426
8.6.2 JIS-STB-A2	427
8.6.3 JIS-STB-A2 の使用法	427
8.6.4 JIS-STB-A1 (IIW 形試験片) による探傷感度の調整	432
8.6.5 B. S. 標準試験片	433
8.6.6 平底ドリル穴を用いた感度標準試験片	434
8.6.7 NAVSHIPS (米国海軍) の標準試験片	435
8.6.8 ASME (米国機械学会) の標準試験片	435
8.6.9 車軸用感度標準試験片	437
8.6.10 人工傷の形状・大きさとエコー高さ	438
8.7 板波探傷用標準試験片 NDI-STB-P 1	439
8.7.1 仕様の概要	439
8.7.2 使用法	440

9. 金属材料の探傷

9.1 鍛造品	441
9.1.1 鍛鋼一般	441
9.1.2 軸 類	456
9.1.3 アルミニウムおよびその合金の鍛造品	462
9.1.4 その他の金属の鍛造品	465
9.2 厚 鋼 板	466
9.2.1 厚鋼板探傷の要領	466
9.2.2 厚鋼板の探傷図形	469
9.2.3 切断試験結果との対応	472

9.2.4	機械的性質との関連	474
9.2.5	探傷時の考慮事項	476
9.2.6	厚鋼板探傷の実例	479
9.2.7	検査の方法、規格および基準	482
9.3	薄板および線類の探傷	482
9.3.1	斜角法によるラミネーションの検出	482
9.3.2	垂直透過法による探傷	483
9.3.3	板波法による探傷	484
9.3.4	線材の検査	486
9.3.5	メッキ層厚さの測定	486
9.4	管	486
9.4.1	電弧溶接管の探傷	486
9.4.2	電縫管の探傷	488
9.4.3	継目無鋼管の探傷	490
9.5	溶接部	494
9.5.1	探傷準備	496
9.5.2	突合せ溶接部	502
9.5.3	T型すみ肉溶接部	512
9.5.4	重ねすみ肉溶接部	512
9.5.5	鋼裏当金付T型溶接部	513
9.5.6	その他の溶接部	514
9.5.7	探傷結果の記録	515
9.5.8	探傷面の手入れと接触媒質について NDI 202 小委員会の勧告	520
9.6	接着部およびはめあい部	522
9.6.1	接着部	522
9.6.2	はめあい部	532
9.7	条鋼・型材	533
9.7.1	丸鋼	533
9.7.2	レール	535
9.7.3	ベリリウム銅合金平角棒	536
9.7.4	アルミニウム合金（型、板材）	537
9.7.5	高力アルミニウム合金棒の探傷例	542
9.8	铸造品	542
9.8.1	铸造品の超音波探傷の特異点	542

9.8.2 鋳鋼品	544
9.8.3 鋳鉄品	548
9.8.4 非鉄金属铸造品	549
9.9 結晶組織	553
9.9.1 組織と減衰	553
9.9.2 組織と異常反射波	564
9.9.3 超音波減衰と機械的性質	570
9.10 厚さ測定	571
9.10.1 パルス法と共振法	571
9.10.2 板面の腐食が厚さ測定に及ぼす影響	572
9.10.3 腐食度測定例	576
9.10.4 高温部の厚さ測定	577
9.11 内部応力	578
9.11.1 残留応力の測定	578
9.11.2 内部ひずみ状況の検出	581
9.11.3 応力分布による超音波の屈折	582
9.12 原子炉材料その他特殊金属材料	584
9.12.1 核燃料	584
9.12.2 MA スコープ法による多欠陥材などの検査	590
9.12.3 焼結金属	592

10. 非金属材料の探傷

10.1 概 説	595
10.2 コンクリート	596
10.2.1 共振法による測定	596
10.2.2 打撃法による測定法	598
10.2.3 表面波による道路の検査	599
10.2.4 超音波による測定法	599
10.2.5 温度特性	605

10.3 人造黒鉛	605
10.3.1 パルス幅を小さくすることおよび探触子	606
10.3.2 黒鉛の音速と減衰	607
10.3.3 クラックの検出	608
10.3.4 黒鉛の高温度の特性	610
10.4 磁 器	610
10.5 鉱脈および岩石	613
10.6 木 材	615
10.7 ゴム, プラスチックおよびその他	617
10.8 医学への応用	621

11. 探傷図形・記録とその分類

11.1 探傷図形・記録	629
11.2 探傷図形・記録の分類法	629
11.2.1 エコーの大きさによる分類	630
11.2.2 Aスコープ図形の波形による分類	632
11.2.3 Aスコープ図形の波形およびその変化状況をもとにした分類	632
11.2.4 エコーの大きさとその発生数をもとにした分類	635
11.2.5 エコーの大きさと発生数・分布などを考慮した分類	636
11.2.6 エコー高さとエコー連続長さによる分類	638

12. 超音波探傷検査の考え方

12.1 超音波探傷の問題点	641
12.2 超音波探傷の使い方と考え方	642

12.3 基準作成の考え方	644
---------------------	-----

13. 装置の保守

13.1 故障と保守一般論	647
13.1.1 概説	647
13.1.2 故障の原因	647
13.1.3 故障の一般的性質	649
13.1.4 信頼度	651
13.1.5 保守	653
13.1.6 保守条件	653
13.2 超音波探傷器の保守の実際	654
13.2.1 準備	654
13.2.2 手順と要領	658
13.2.3 探傷器本体の故障発見と処置	659
13.2.4 探触子および高周波ケーブル	662
13.2.5 事前保守の急所	664

14. 自動探傷法

14.1 自動探傷	665
14.2 探傷方式	665
14.2.1 パルス方式	665
14.2.2 連続波方式	666
14.3 自動探傷速度	667
14.4 自動探傷装置の構成と機能	668

14.4.1 探触子により区分される探傷方式	668
14.4.2 探触子およびその保持機構	673
14.4.3 ゲート装置	677
14.4.4 表示部	680
14.5 自動探傷応用例	685
14.5.1 鋼板	685
14.5.2 管	687
14.5.3 型材および条鋼	687
14.5.4 レール探傷	690
14.6 自動化の進め方	691
14.6.1 試料	691
14.6.2 静的実験	691
14.6.3 動的実験	692
14.6.4 実用装置	692

付 録

1. 流体中の波動方程式	693
2. 固体中の波動方程式	693
3. 速度ポテンシャル	694
4. 波動方程式の解	695
5. 平面波の解	695
6. 一般座標軸についての平面波の式	696
7. 複素数表示と記号法	697
8. 円筒波の解	697
9. 球面波の解	698
10. 振動面の音源から任意の点の音場を求める方法	699
11. 円形ピストン音源の中心軸上の音場	699
12. 円形ピストン音源の遠距離音場	700
13. 角形ピストン音源の遠距離音場	701
14. 固体中の指向特性	702
15. 群音源の指向特性	703
16. 流体中の境界面での反射屈折	704
17. 固体中の境界面における反射屈折	706

18. 液体→固体への反射屈折	707
19. 固体→液体への反射屈折	708
20. 固体→真空（≡空気）の反射	709
21. 平面傷からの反射（液体中の剛体）	709
22. 円筒および球形傷からの反射（液体中の剛体）	710
23. 板波の位相速度	711
24. 板波の変位分布	713
25. 丸 棒 の 波 動	714
26. 角 棒 の 波	715
27. ラ ブ 波	715
28. 群 速 度	715
29. 散乱減衰理論	716
30. フーリエ級数	726
31. 異物質の境界に第3の物質の層がある場合の反射と通過	727

資 料

1. 超音波探傷標準用語	729
2. 関 連 用 語	740
2.1 ドイツ規格	740
2.2 国際溶接会議 (I. I. W.) 用語	740
2.3 イギリス規格	740
3. 超音波テーブル	741
3.1 液体中の音速度	741
3.2 液体中の超音波の減衰	743
3.3 固体中の音速度と弾性	745
3.4 固体中の超音波の減衰	750
3.5 固体のポアソン比と音速比 (c_s/c_l)	753
3.6 板波のモードと音速度	756
3.7 超音波送受波用振動子諸定数	761
4. デシベル換算表	762
5. 反射と屈折	763

5.1 斜入射の反射	763
5.2 屈 折	764
5.3 各種の物質の境界面における音圧反射率（平面波・法線入射）.....	766
5.4 各種物質の超音波透過程度（概略値）.....	767
6. 指 向 性	768
6.1 円形振動子	768
6.2 菊型電極振動子	772
6.3 矩形振動子	773
7. 規 格	776
7.1 日本工業規格	776
7.2 日本造船関連工業会（1950）.....	777
7.3 車軸超音波探傷検査基準（1957）国鉄工作局	777
7.4 NDIS 日本非破壊検査協会規格	778
7.5 HPIS 日本高圧力技術協会規格	781
7.6 省令・告示	784
7.7 潜水艦船体部試験検査実施細則（防衛庁）.....	787
7.8 日本鍛鋼会規格	789
7.9 水道管溶接部に対する規格	790
7.10 日本建築学会規準（案）	791
7.11 ASTM (American Society for Testing Materials) 共通規格	792
7.12 ASTM 鋼板関係	795
7.13 ASTM 鍛造品関係	797
7.14 ASTM 鋼管関係	798
7.15 ASME Boiler and Pressure Vessel Code.....	799
7.16 SNT (Society for Nondestructive Testing)	801
7.17 BS (British Standard)	802
7.18 ドイツ規格.....	804
7.19 超音波探傷検査法判定基準研究会暫定規準.....	805
8. 超音波探傷法関係の文献	808
9. 超音波探傷関係特許一覧	809