

NDIS 意見受付

NDIS2426-2 コンクリートの非破壊試験—弾性波法— 第2部：衝撃弾性波法
原案作成委員会

この NDIS は「日本非破壊検査協会規格（NDIS）制定等に関する規則」に基づき関係者に NDIS の
改正前の意見提出期間を設けるために掲載するものです。

意見は規格原案決定の際の参考として取り扱いさせていただきます。

掲載されている NDIS についての意見提出は次に示すメールアドレスまでお願いいたします。

意見受付締切日：2025 年 1 月 14 日（火）

意見提出先：Email：bsn@jsndi.or.jp

目 次

1	適用範囲	1
2	引用規格	1
3	用語及び定義	1
4	試験技術者	2
5	試験装置	2
6	試験装置の校正及び点検	3
6.1	試験装置の校正	3
6.2	試験装置の点検	3
7	測定の準備	3
8	弾性波伝搬速度の測定方法	3
8.1	伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法	3
8.2	多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法	3
9	コンクリートの部材厚さの試験方法	3
10	構造体コンクリートの圧縮強度の推定方法	3
11	受信点での時刻歴波形の初動に着目したひび割れ深さの試験方法	4
12	伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法	4
13	附属書 A, B, C で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法	4
14	報告	4
	附属書 A (規定) 伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法	5
	附属書 B (規定) 多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法	10
	附属書 C (規定) コンクリートの部材厚さの試験方法	15
	附属書 D (規定) 構造体コンクリートの圧縮強度の推定方法	23
	附属書 E (規定) 受信点での時刻歴波形の初動に着目したひび割れ深さの試験方法	34
	附属書 F (規定) 伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法	38
	附属書 G (参考) 附属書 A, B, C で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法	44
	解説	46

まえがき

この規格は、日本非破壊検査協会規格（NDIS）制定等に関する規則に基づき、標準化委員会の審議を経て、一般社団法人日本非破壊検査協会が制定したものである。この規格は、著作権法で保護対象となっている著作物である。

この規格の一部が、技術的性質をもつ特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権又は出願公開後の実用新案登録出願に抵触する可能性があることに注意を喚起する。一般社団法人日本非破壊検査協会は、このような技術的性質をもつ特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権又は出願公開後の実用新案登録出願に関わる確認について、責任はもたない。

この規格を適用する責任は、この規格の使用者に帰する。また、この規格を適用した場合に生じるかもしれない安全上又は衛生上の諸問題に関しては、この規格の適用範囲外である。この規格の適用に際して、安全上又は衛生上の規定が必要な場合は、この規格の使用者の責任で、安全又は衛生に関する規定又は指針などを併用しなければならない。

1 日本非破壊検査協会規格

2 NDIS 2426-2 : 202X

3 コンクリートの非破壊試験—弾性波法—

4 第2部：衝撃弾性波法

5 Non-destructive testing of concrete — elastic wave method —

6 Part 2: Impact elastic wave method

7 1 適用範囲

8 この規格は、衝撃弾性波法によるコンクリートの弾性波伝搬速度の測定、並びにコンクリートの部材厚
9 さの試験方法、構造体コンクリートの圧縮強度の推定方法、及びコンクリートのひび割れ深さの試験方法
10 について規定する。

11 2 引用規格

12 次に掲げる引用規格は、この規格に引用されることによって、その一部又は全部がこの規格の要求事項
13 を構成している。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

14 **JIS A 0203** コンクリート用語15 **JIS Z 2300** 非破壊試験用語16 **NDIS 3418** コンクリート構造物の目視試験方法

17 3 用語及び定義

18 この規格で用いる主な用語及び定義は、次によるほか、**JIS A 0203**、**JIS Z 2300** 及び **NDIS 3418** による。

19 3.1

20 衝撃弾性波法

21 物理的な衝撃で発生させた弾性波を、コンクリート表面又は内部の振動として、振動センサによって検
22 出する非破壊試験

23 3.2

24 構造体コンクリート

25 構造体を構成するコンクリート

26 3.3

27 多重反射

28 対向する平行なコンクリート表面において、伝搬する弾性波が複数回の反射を生じる現象
29
30

31 3.4

32 **入力装置**

33 物理的な衝撃によって弾性波を入力する装置

34 **注釈 1** 物理的な衝撃を与える方法には、ハンマ、鋼球を用いた打撃による機械的な方法、励磁コイル
35 による磁気的な方法などがある。

36 3.5

37 **振動センサ**

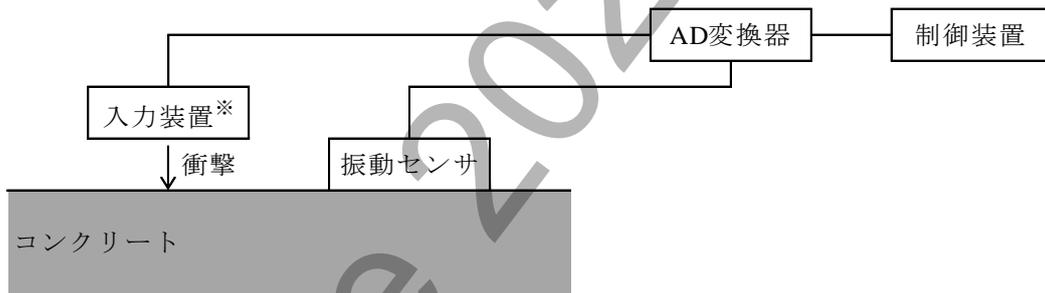
38 弾性波による表面振動の変位、速度又は加速度を電気信号に変換する装置

39 **4 試験技術者**

40 この規格を適用して試験を行う技術者は、試験方法の原理及び試験装置に関する十分な知識並びにコン
41 クリートに関する基礎的知識をもつ者とする。

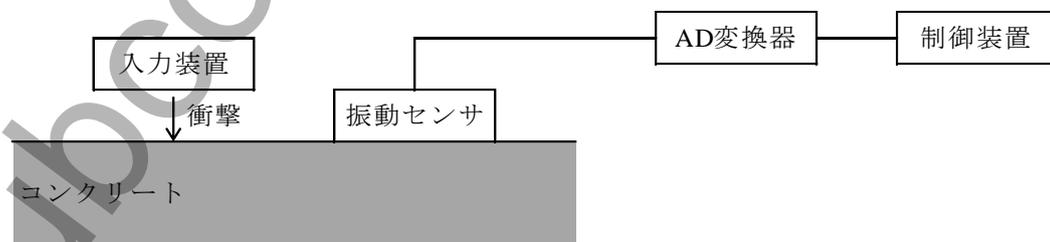
42 **5 試験装置**

43 試験装置は入力装置、振動センサ、AD変換器、制御装置から構成し、(図 1 参照)、各試験で要求される
44 精度及び、各測定での設定内容を満足するように構成する。



※弾性波の入力のタイミングを出力できる入力装置を使用。

a)弾性波の入力のタイミングを出力する場合



b)弾性波の入力のタイミングを出力しない場合

図 1—試験装置の構成例

45

46 6 試験装置の校正及び点検

47 6.1 試験装置の校正

48 試験技術者は、定められた期間ごと又は異常が確認された場合に、試験装置の校正を製造業者又はその
49 代理者に依頼して行う。

50 6.2 試験装置の点検

51 試験技術者は、試験前後に試験装置の動作に異常のないことを確認する。

52 7 測定の準備

53 弾性波の入力箇所及び振動センサを設置する箇所は、ゴミ、ほこり、余分な水分などを取り除いておく。

54 コンクリート表面が非常に粗い場合は、弾性波を安定して入力することが可能であり、かつ、振動セン
55 サの接触状態が十分となるように、表面を研磨する。また、表面に残っている緩んだ骨材（モルタルとの
56 界面における付着不良が生じた粗骨材）などは事前に取り除いておく。

57 8 弾性波伝搬速度の測定方法

58 8.1 伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法

59 コンクリート表面において物理的な衝撃によって弾性波を入力し、振動センサを用いてコンクリートを
60 伝搬する弾性波の到達時刻を読み取る。2 個の振動センサにおける到達時刻の差が弾性波の伝搬時間とな
61 る。弾性波の入力点から各振動センサまでの距離の差を弾性波の伝搬時間で除して弾性波伝搬速度を求め
62 る。ただし、弾性波の入力のタイミングを出力できる入力装置を使用する場合は、この装置及び1 個の振
63 動センサを用いて、弾性波の入力時刻及び到達時刻をそれぞれ読み取り、弾性波伝搬速度を算出する。こ
64 の測定方法については、**附属書 A** による。

65 8.2 多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法

66 1 組の平行な面をもつコンクリート部材の一方の面から物理的な衝撃によって弾性波を入力し、対向す
67 る面との間で多重反射する弾性波を、振動センサによって入力点付近において表面の振動として制御装置
68 に記録する。記録した時刻歴波形を周波数スペクトルに変換し、多重反射によってスペクトルの振幅が最
69 大となるピークの位置から卓越周波数を読み取る。この卓越周波数と入力面から対向する面までとの距離
70 を用いて、弾性波伝搬速度を算出する。この測定方法については、**附属書 B** による。

71 9 コンクリートの部材厚さの試験方法

72 **附属書 A** の同一面で測定した弾性波伝搬速度及び**附属書 B** で算出した卓越周波数を用いてコンクリー
73 トの部材厚さを推定する。この試験方法については、**附属書 C** による。

74 10 構造体コンクリートの圧縮強度の推定方法

75 **附属書 A** の同一面で測定した弾性波伝搬速度に基づき、圧縮強度推定式を用いて構造体コンクリートの

76 圧縮強度を推定する。この試験方法については、**附属書 D**による。

77 **11 受信点での時刻歴波形の初動に着目したひび割れ深さの試験方法**

78 ひび割れ先端での回折波による時刻歴波形の初動に着目し、ひび割れ深さを推定する。この試験方法に
79 ついては、**附属書 E**による。

80 **12 伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法**

81 ひび割れ先端での回折波の伝搬時間を利用し、ひび割れ深さを推定する。この試験方法については、**附
82 属書 F**による。

83 **13 附属書 A, B, C で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法**

84 **附属書 A, 附属書 B** 及び**附属書 C** で規定された方法を利用し、変状の有無を推定する。この試験方法に
85 ついては、**附属書 G** (参考) による。

86 **14 報告**

87 報告は、各附属書の様式による。
88

附属書 A (規定)

伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法

89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122

A.1 適用範囲

この附属書は、衝撃弾性波法によって、コンクリート中を伝搬する弾性波の伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度を測定する方法について規定する。

適用可能な範囲は、測定する弾性波の伝搬経路中にひび割れ、豆板などの変状が存在していない、かつ、弾性波伝搬速度が 2 500 m/s～5 000 m/s 程度のコンクリートである。

A.2 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は、次によるほか、JIS A 0203、JIS Z 2300 及び NDIS 3418 による。

A.2.1

衝撃弾性波法

物理的な衝撃で発生させた弾性波を、コンクリート表面又は内部の振動として、振動センサによって検出する非破壊試験

A.2.2

入力装置

物理的な衝撃によって弾性波を入力する装置

注釈 1 物理的な衝撃を与える方法には、ハンマ、鋼球を用いた打撃による機械的な方法、励磁コイルによる磁気的な方法などがある。

A.2.3

振動センサ

弾性波による表面振動の変位、速度又は加速度を電気信号に変換する装置

A.2.4

伝搬距離の差

弾性波の入力点から振動の測定点 1 までの距離と弾性波の入力点から振動の測定点 2 までの距離との差 (図 A.1 の ΔL)

A.3 試験装置

試験装置は入力装置、振動センサ、AD 変換器、及び制御装置から構成し、A.5.1 での設定内容を満足するように構成する。

A.4 測定の準備

弾性波の入力点及び振動の測定点は、測定結果に影響を及ぼすと考えられるような気泡、ひび割れなどがある箇所を避け、表面が可能な限り平滑な箇所を選定する。弾性波の入力点及び振動の測定点のコンクリート表面が非常に粗い場合、及び測定に影響を及ぼす表面上の凹凸、付着物、被覆などがある場合は、

- 137 d) 試験装置の電圧範囲及びトリガは、振動の測定点 1 及び測定点 2 で弾性波の到達時刻が精度よく読み
 138 取れるよう設定する。
- 139 e) 試験装置のサンプリング数は、測定時間長が測定点 2 での弾性波の到達時刻より大きくなるように設
 140 定する。

141 **A.5.2 伝搬距離の差の測定**

142 伝搬距離の差 (m) を有効数字 3 桁で測定する。

143 **A.5.3 弾性波の入力及び伝搬時間の測定**

144 弾性波の入力及び伝搬時間の測定は、次の手順で実施する。

- 145 a) 入力装置を用いて、コンクリート表面から弾性波を入力する。
- 146 b) 振動の測定点 1 における時刻歴波形の立上り時刻及び振動の測定点 2 における時刻歴波形の立上り時
 147 刻を読み取り、これらの差を有効数字 3 桁で求め、両測定点間での弾性波の伝搬時間 Δt (s) とする。
 148 なお、時刻歴波形での立上り時刻の特定が不可能な場合は、入力点、測定点及びその周辺の状態を確
 149 認し、測定をし直す。

150 **A.6 計算**

151 弾性波伝搬速度 (m/s) は、式(A.1)から算出し、四捨五入によって有効数字 3 桁に丸める。

152
$$V_{\text{time}} = \frac{L_2 - L_1}{\Delta t} = \frac{\Delta L}{\Delta t} \dots\dots\dots (A.1)$$

- 153 ここで、 V_{time} : 伝搬時間を利用して測定した弾性波伝搬速度 (m/s)
- 154 Δt : 測定から求めた弾性波の伝搬時間 (s)
- 155 L_1 : 弾性波の入力点から振動の測定点 1 までの距離 (m)
- 156 ただし、弾性波の入力のタイミングを出力できる入力装置を使用する場合は
 157 0 m とする。
- 158 L_2 : 弾性波の入力点から振動の測定点 2 までの距離 (m)
- 159 ΔL : 伝搬距離の差 (m)

160 **A.7 報告**

161 報告内容は、次の事項について行うことを標準とする。また、**表 A.1** に参考の報告様式を示す。

- 162 a) 試験年月日及び試験場所
- 163 b) 試験技術者
- 164 c) 使用した試験装置
- 165 1) 入力装置の仕様
- 166 2) 振動センサの仕様
- 167 3) AD 変換器の仕様
- 168 4) 校正及び点検状況
- 169 d) 対象物
- 170 1) 名称及び構造

- 171 2) 竣工年月日
- 172 e) 測定箇所の状況
- 173 1) 測定位置
- 174 2) 弾性波の入力点及び振動の測定点の配置状況
- 175 3) 表面状況（平滑さ，変状の有無及びその他必要な情報）
- 176 f) 測定パラメータ（サンプリング時間間隔及び測定時間長）
- 177 g) 測定結果
- 178 1) 弾性波の入力点から振動の測定点 1 までの距離
- 179 2) 弾性波の入力点から振動の測定点 2 までの距離
- 180 3) 伝搬距離の差
- 181 4) 測定から求めた弾性波の伝搬時間
- 182 5) 測定した弾性波伝搬速度
- 183 h) その他
- 184

表 A.1—報告に用いる様式例（伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定用）

試験年月日		年 月 日 曜日	測定時刻	~	
試験場所		都道府県	市町村		
天候・気温など		天 候 :	気 温 :	°C	
試験技術者		氏名 :		所属 :	
		保有資格1)	資格名称・認証番号 :		
		保有資格2)	資格名称・認証番号 :		
		保有資格3)	資格名称・認証番号 :		
試験装置	入力装置	種類 :	材質 :	質量 (直径) :	
		種類 :	材質 :	質量 (直径) :	
	振動センサ	製造会社 :	形式 :	製造番号 :	
		周波数範囲 (±10%) :			
	AD変換器	製造会社 :	形式 :		
		製造番号 :			
測定パラメータ		サンプリング時間間隔 :			
		測定時間長 :			
試験装置の点検状況		前回点検年月日 :	点検者 :		
		点検内容 :			
対象物		名称 :	竣工年月日 :		
		構造 :			
測定箇所 及び 測定結果	弾性波の入力点 及び 振動の測定点の 配置状況 (図示)				
	表面状況 (平滑さ、変状の有無及 びその他特記事項)				
	測定箇所名称		1	2	3
	弾性波の入力点から振動 の測定点1までの距離				
	弾性波の入力点から振動 の測定点2までの距離				
	伝搬距離の差				
	測定から求めた 弾性波の伝搬時間				
	測定した 弾性波伝搬速度				
その他					

附属書 B (規定)

多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法

188

189 B.1 適用範囲

190 この附属書は、衝撃弾性波法によって、多重反射の周波数特性を利用して弾性波伝搬速度を測定する方
191 法について規定する。多重反射は、弾性波を入力する面及びこれと対向する面のそれぞれが自由に振動す
192 ることが可能であり、かつ、両面が平行と見なし得る場合に、これらの両面間で生じるものを対象とする。

193 適用可能な範囲は、測定する弾性波の伝搬経路中にひび割れ、豆板などの変状が存在していない、かつ、
194 弾性波伝搬速度が 2 500 m/s～5 000 m/s 程度のコンクリートである。

195 B.2 用語及び定義

196 この規格で用いる主な用語及び定義は、次によるほか、JISA 0203、JIS Z 2300 及び NDIS 3418 による。

197 B.2.1

198 多重反射

199 対向する平行なコンクリート表面において、伝搬する弾性波が複数回の反射を生じる現象

200 B.2.2

201 入力装置

202 物理的な衝撃によって弾性波を入力する装置

203 **注釈 1** 物理的な衝撃を与える方法には、ハンマ、鋼球を用いた打撃による機械的な方法、励磁コイル
204 による磁気的な方法などがある。

205 B.2.3

206 振動センサ

207 弾性波による表面振動の変位、速度又は加速度を電気信号に変換する装置

208 B.2.4

209 卓越周波数

210 測定した振動の周波数スペクトルにおいて振幅が最大となる周波数

211 B.2.5

212 基本周波数

213 弾性波の入力面とこれに対向する面とがそれぞれ振動の腹となり、かつ、両面から等距離となる中央点
214 が節となり、さらに、波長が入力面と対向する面との距離の 2 倍となる振動の周波数

215 B.2.6

216 上限周波数

217 入力装置からコンクリート内部に入力される弾性波の周波数の上限値

218

219

220

221 B.3 試験装置

222 試験装置は入力装置、振動センサ、AD変換器、及び制御装置から構成し、**B.5.1**での設定内容を満足す
 223 るように構成する。なお、入力装置は上限周波数が測定対象のコンクリートの基本周波数よりも高くなる
 224 装置を使用する。弾性波伝搬速度を4 000 m/sとしたときの各部材厚さでの測定対象のコンクリートの基
 225 本周波数を**表 B.1**に、各入力装置での上限周波数を**表 B.2**に示す。

226

227

表 B.1—測定対象のコンクリートの基本周波数

部材厚さ (mm)	基本周波数 ^{a)} (kHz)
100	20.0
150	13.3
200	10.0
300	6.7
450	4.4
700	2.9
1 250	1.6
2 500	0.8

注^{a)} 弾性波伝搬速度を4 000 m/sとして計算。

228

229

表 B.2—各入力装置（鋼球の場合）での上限周波数

直径 (mm)	上限周波数 (kHz)
10	29.1
15	19.4
20	14.5
30	9.7
40	7.3
75	3.9
145	2.0

230 B.4 測定箇所の処理

231 弾性波の入力点及び振動の測定点のコンクリート表面が非常に粗い場合、及び測定に影響を及ぼす表面
 232 上の凹凸、付着物、被覆などがある場合は、コンクリート表面を研磨して影響物を取り除いておく。また、
 233 表面にゴミ、ほこり、余分な水分、緩んだ骨材などがある場合も事前に取り除いておく。

234 B.5 測定方法

235 B.5.1 試験装置の設定

236 試験装置の設定は、次の手順で実施する。

- 237 a) 試験装置の動作に異常のないことを確認し、製造業者推奨の方法又は適切な方法によって調整を行う。
 238 b) 測定対象物のコンクリート表面において、測定対象及び測定の目的に応じて、弾性波の入力点及び振
 239 動の測定点を設定する（**図 B.1**参照）。

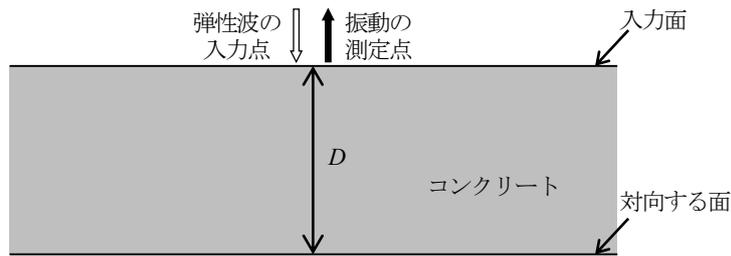


図 B.1—弾性波の入力点及び振動の測定点の配置例
(多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法)

240

241 c) 試験装置のサンプリング時間間隔は式(B.1)の条件となるように設定する。

242
$$\Delta T \leq \frac{2 \cdot D}{5 \cdot V_{PD}} \dots\dots\dots (B.1)$$

243 ここで、 ΔT : サンプリング時間間隔 (s)

244 D : 測定対象のコンクリートの部材厚さ (m)

245 V_{PD} : 測定対象のコンクリートの部材厚さ (m)

246 ただし、想定が困難な場合は 4 000 m/s としよ。

247 d) 試験装置の電圧範囲、及びトリガは、入力された弾性波の多重反射を入力面で振動として受信が可能
248 となるように設定する。

249 e) 試験装置のサンプリング数は、測定時間長が式(B.2)の条件となるように設定する。

250
$$T \geq \frac{8 \cdot D}{V_{PD}} \dots\dots\dots (B.2)$$

251 ここで、 T : 測定時間長 (s)

252 D : 測定対象のコンクリートの部材厚さ (m)

253 V_{PD} : 想定される弾性波伝搬速度 (m/s)

254 ただし、想定が困難な場合は 4 000 m/s としよ。

255 **B.5.2 入力面から対向する面までの距離の測定**

256 入力面から対向する面までの距離 (m) を有効数字 3 桁で測定する。

257 **B.5.3 弾性波の入力及び基本周波数の決定**

258 弾性波の入力及び基本周波数の決定は、次の手順で実施する。

259 a) 入力装置を用いてコンクリート表面から弾性波を入力し、試験装置によって時刻歴波形及びその周波
260 数スペクトルを求める。周波数スペクトルでの周波数の分解能を測定される弾性波伝搬速度の分解能
261 を考慮して設定する。

262 b) 周波数スペクトルにおける卓越周波数から基本周波数 f_0 (Hz) を決定し、これを有効数字 3 桁で求め
263 る。なお、周波数スペクトルにおいて複数の周波数の振幅が大きくなる場合又は B.6 によって算出さ
264 れる弾性波伝搬速度が 2 500 m/s～5 000 m/s 程度の範囲外となる周波数が卓越周波数となる場合は、入

265 力装置を変更して、再度手順 **a)** から実施する。

266 **B.6 計算**

267 弾性波伝搬速度 (m/s) は、式(B.3)から算出し、四捨五入によって有効数字 3 桁に丸める。

$$268 \quad V_{\text{fre}} = 2 \cdot D \cdot f_0 \dots\dots\dots (B.3)$$

269 ここで、 V_{fre} : 多重反射の周波数特性を利用して測定した弾性波伝搬速度 (m/s)

270 D : 測定対象のコンクリートの部材厚さ (m)

271 f_0 : 基本周波数 (Hz)

272 **B.7 報告**

273 報告内容は、次の事項について行うことを標準とする。また、**表 B.3** に参考の報告様式を示す。

274 **a)** 試験年月日及び試験場所

275 **b)** 試験技術者

276 **c)** 使用した試験装置

277 1) 入力装置の仕様

278 2) 振動センサの仕様

279 3) AD 変換器の仕様

280 4) 校正及び点検状況

281 **d)** 対象物

282 1) 名称及び構造

283 2) 竣工年月日

284 **e)** 測定箇所の状況

285 1) 測定位置

286 2) 弾性波の入力点及び振動の測定点の配置

287 3) 表面状況 (平滑さ、変状の有無及びその他必要な情報)

288 **f)** 測定パラメータ (サンプリング時間間隔及び測定時間長)

289 **g)** 測定結果

290 1) 測定対象のコンクリートの部材厚さ

291 2) 測定した基本周波数

292 3) 測定した弾性波伝搬速度

293 **h)** その他

294

表 B.3—報告に用いる様式例（多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定用）

試験年月日		年 月 日 曜日	測定時刻	~	
試験場所		都道府県	市町村		
天候・気温など		天 候 :	気 温 :	°C	
試験技術者		氏名 :		所属 :	
		保有資格1)	資格名称・認証番号 :		
		保有資格2)	資格名称・認証番号 :		
		保有資格3)	資格名称・認証番号 :		
試験装置	入力装置	種類 :	材質 :	質量 (直径) :	
		種類 :	材質 :	質量 (直径) :	
	振動センサ	製造会社 :	形式 :	製造番号 :	
		周波数範囲 (±10%) :			
	AD変換器	製造会社 :	形式 :		
		製造番号 :			
測定パラメータ		サンプリング時間間隔 :			
		測定時間長 :			
試験装置の点検状況		前回点検年月日 :	点検者 :		
		点検内容 :			
対象物		名称 :	竣工年月日 :		
		構造 :			
測定箇所 及び 測定結果	弾性波の入力点 及び 振動の測定点の 配置状況 (図示)				
	表面状況 (平滑さ、変状の有無及 びその他特記事項)				
	測定箇所名称	1	2	3	
	測定対象の コンクリートの部材厚さ				
	測定した基本周波数				
	測定した 弾性波伝搬速度				
その他					

附属書 C (規定)

コンクリートの部材厚さの試験方法

295
296
297
298

299 C.1 適用範囲

300 この附属書は、弾性波伝搬速度及び基本周波数の測定結果からコンクリートの部材厚さを試験する方法
301 について規定する。弾性波を入力する面及びこれと対向する面のそれぞれが自由に振動することが可能で
302 あり、かつ、両面が平行と見なし得るコンクリートを対象としている。なお、コンクリート表層部と内部
303 の条件との違いによって表層部付近の弾性波伝搬速度が低下している場合、又はコンクリートの部材厚さ
304 の測定位置内部に空洞、剝離、豆板などの変状部がある場合は、これらの影響が含まれた試験結果が得ら
305 れることに注意する必要がある。

306 C.2 用語及び定義

307 この規格で用いる主な用語及び定義は、次によるほか、JIS A 0203、JIS Z 2300 及び NDIS 3418 による。

308 C.2.1

309 多重反射

310 対向する平行なコンクリート表面において、伝搬する弾性波が複数回の反射を生じる現象

311 C.2.2

312 入力装置

313 物理的な衝撃によって弾性波を入力する装置

314 **注釈 1** 物理的な衝撃を与える方法には、ハンマ、鋼球を用いた打撃による機械的な方法、励磁コイル
315 による磁気的な方法などがある。

316 C.2.3

317 振動センサ

318 弾性波による表面振動の変位、速度又は加速度を電気信号に変換する装置

319 C.2.4

320 伝搬距離の差

321 弾性波の入力点から振動の測定点 1 までの距離と弾性波の入力点から振動の測定点 2 までの距離との差
322 (図 C.2 の ΔL)

323 C.2.5

324 卓越周波数

325 測定した振動の周波数スペクトルにおいて振幅が最大となる周波数

326 C.2.6

327 基本周波数

328 入力面とこれに対向する面とがそれぞれ振動の腹となり、かつ、両面から等距離となる中央点が節とな
329 り、さらに、波長が入力面と対向する面との距離の 2 倍となる振動の周波数

330

331 C.2.7

332 上限周波数

333 入力装置からコンクリート内部に入力される弾性波の周波数の上限値

334 C.3 測定の準備

335 弾性波の入力点及び振動の測定点は、測定結果に影響を及ぼすと考えられるような気泡、ひび割れなど
 336 がある箇所を避け、表面が可能な限り平滑な箇所を選定する。弾性波の入力点及び振動の測定点のコンク
 337 リート表面が非常に粗い場合、及び測定に影響を及ぼす表面上の凹凸、付着物、被覆などがある場合は、
 338 コンクリート表面を研磨して影響物を取り除いておく。また、表面にゴミ、ほこり、余分な水分、緩んだ
 339 骨材などがある場合も事前に取り除いておく。

340 C.4 部材厚さの試験方法の手順

341 図 C.1 にコンクリートの部材厚さの試験方法の手順を示す。弾性波伝搬速度の測定及び基本周波数の測
 342 定から構成されている。

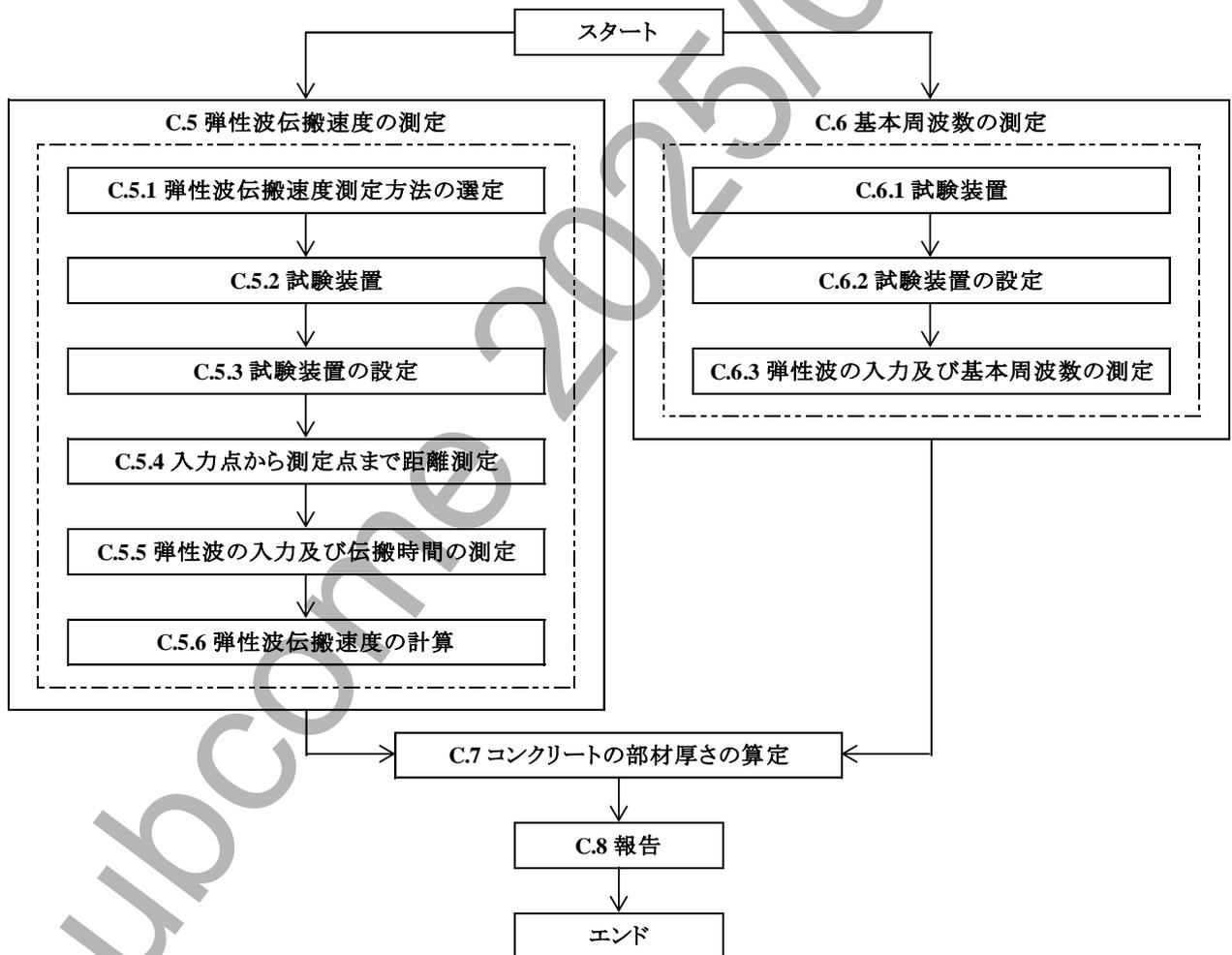


図 C.1—部材厚さの試験方法の手順

343

344

345 **C.5 弾性波伝搬速度の測定**

346 **C.5.1 弾性波伝搬速度の測定方法の選定**

347 弾性波伝搬速度の測定は、C.5.2～C.5.6 によって実施する。ほかの方法（超音波法など）によって測定し
 348 てはならない。

349 **C.5.2 試験装置**

350 試験装置は入力装置、振動センサ、AD 変換器、及び制御装置から構成し、C.5.3 での設定内容を満足す
 351 るように構成する。

352 **C.5.3 試験装置の選定**

353 試験装置の設定は、次の手順で実施する。

- 354 a) 試験装置の動作に異常のないことを確認し、製造業者推奨の方法又は適切な方法によって調整を行う。
- 355 b) 測定対象物のコンクリートの同一面に、弾性波の入力点及び測定点を、それらが一直線上になるよう
 356 に設定する（図 C.2 a)及び図 C.2 b)参照）。なお、伝搬距離の差が測定される弾性波伝搬速度の分解能
 357 及び測定される部材厚さの分解能を決定することに十分留意し、弾性波の入力点及び振動の測定点を
 358 設定する。

359 また、鉄筋が測定点の近傍にある場合は、弾性波の入力箇所と振動の測定点とを結ぶ直線が、鉄筋
 360 に対して斜め（45°）になるように振動センサを配置する（図 C.2 c)参照）。

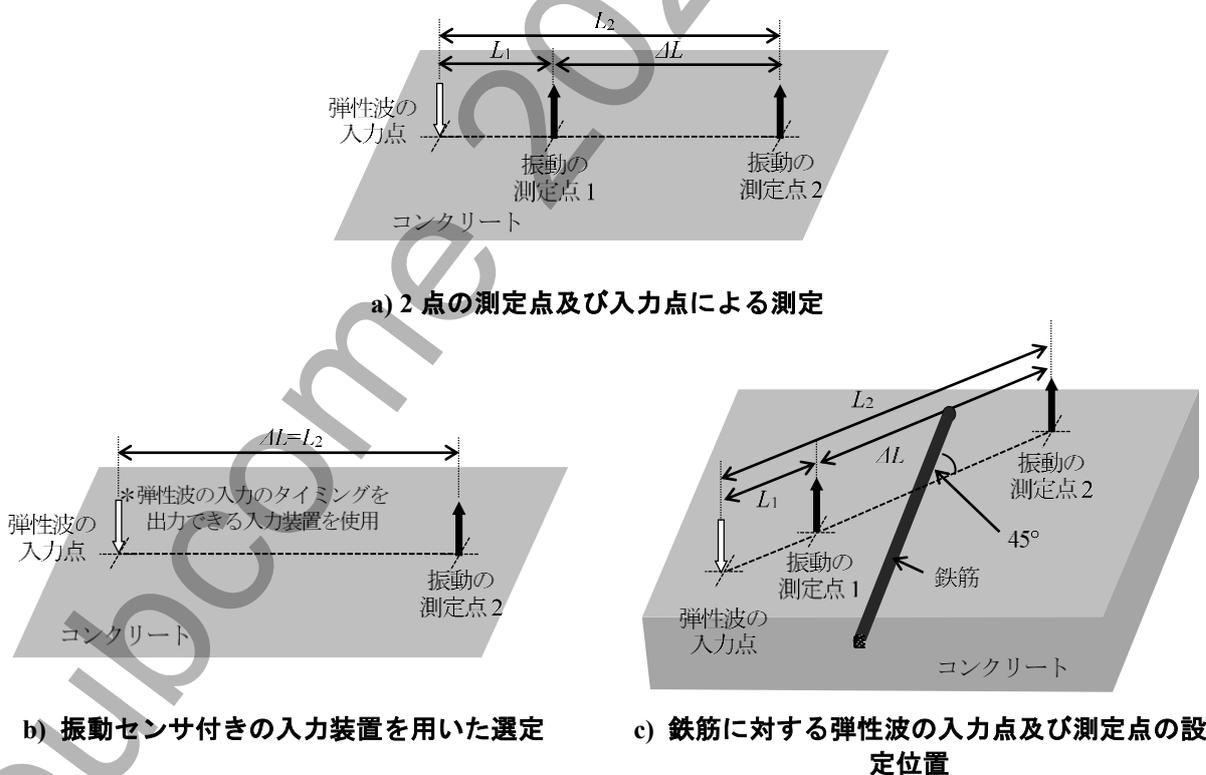


図 C.2—弾性波伝搬速度の測定での弾性波の入力点及び振動の測定点の配置例

- 361
- 362 c) 試験装置のサンプリング時間間隔は測定される弾性波伝搬速度の分解能及び測定される部材厚さの分
 363 解能を考慮して設定する。

- 364 d) 試験装置の電圧範囲，トリガは，振動の測定点 1 及び測定点 2 で弾性波の到達時刻が精度よく読み取
 365 れるよう設定する。
- 366 e) 試験装置のサンプリング数は，測定時間長が測定点 2 での弾性波の到達時刻より大きくなるように設
 367 定する。

368 **C.5.4 入力点から測定点までの距離測定**

369 弾性波の入力点から振動の測定点までの距離（m）を有効数字 3 桁で測定する。

370 **C.5.5 弾性波の入力及び伝搬時間の測定**

371 弾性波の入力及び伝搬時間の測定は，次の手順で実施する。

- 372 a) 入力装置を用いて，コンクリート表面から弾性波を入力する。
- 373 b) 振動の測定点 1 における時刻歴波形の立上り時刻及び振動の測定点 2 における時刻歴波形の立上り時
 374 刻を読み取り，これらの差を有効数字 3 桁で求め，両測定点間での弾性波の伝搬時間 Δt (s) とする。
 375 なお，時刻歴波形での立上り時刻の特定が不可能な場合は，入力点，測定点及びその周辺の状態を確
 376 認し，測定をし直す。

377 **C.5.6 弾性波伝搬速度の計算**

378 弾性波伝搬速度（m/s）は，式(C.1)から算出し，四捨五入によって有効数字 3 桁に丸める。

379
$$V_{\text{time}} = \frac{L_2 - L_1}{\Delta t} = \frac{\Delta L}{\Delta t} \dots\dots\dots(C.1)$$

- 380 ここで， V_{time} : 伝搬時間を利用して測定した弾性波伝搬速度（m/s）
- 381 Δt : 測定から求めた弾性波の伝搬時間（s）
- 382 L_1 : 弾性波の入力点から振動の測定点 1 までの距離（m）
- 383 ただし，弾性波の入力のタイミングを出力できる入力装置を使用する場合は
- 384 0 m とする。
- 385 L_2 : 弾性波の入力位置から振動の測定点 2 までの距離（m）
- 386 ΔL : 伝搬距離の差（m）

387 **C.6 基本周波数の測定**

388 **C.6.1 試験装置**

389 試験装置は入力装置，振動センサ，AD 変換器，制御装置から構成し，**C.6.2** での設定内容を満足するよ
 390 うに構成する。なお，入力装置は上限周波数が測定対象のコンクリートの基本周波数よりも高くなる装置
 391 を使用する。弾性波伝搬速度を 4 000 m/s としたときの各部材厚さでの測定対象のコンクリートの基本周
 392 波数を表 C.1 に，各入力装置での上限周波数を表 C.2 に示す。

393
 394
 395

396
397

表 C.1—測定対象のコンクリートの基本周波数

部材厚さ (mm)	基本周波数 ^{a)} (kHz)
100	20.0
150	13.3
200	10.0
300	6.7
450	4.4
700	2.9
1 250	1.6
2 500	0.8

注^{a)} 弾性波伝搬速度を 4 000 m/s とし計算。

398
399

表 C.2—各入力装置（鋼球の場合）での上限周波数

直径 (mm)	上限周波数 (kHz)
10	29.1
15	19.4
20	14.5
30	9.7
40	7.3
75	3.9
145	2.0

400 C.6.2 試験装置の設定

401 試験装置の設定は、次の手順で実施する。

- 402 a) 試験装置の動作に異常のないことを確認し、製造業者推奨又は最適な方法によって調整を行う。
- 403 b) 測定対象物のコンクリート表面において、弾性波の入力点及び振動の測定点を設定する（図 C.3 参照）。

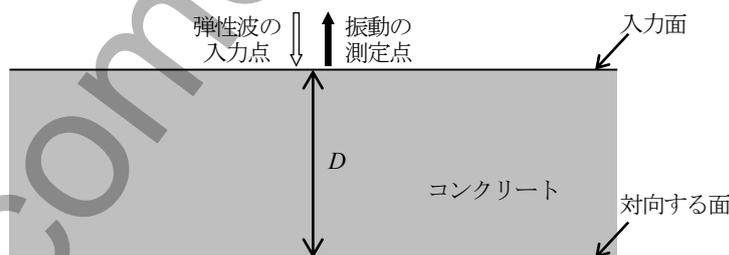


図 C.3—基本周波数の測定での弾性波の入力点及び振動の測定点の配置例

- 404 c) 試験装置のサンプリング時間間隔は式(C.2)の条件となるように設定する。

405
$$\Delta T \leq \frac{2 \cdot D_0}{5 \cdot V_{time}} \dots\dots\dots (C.2)$$

406 ここで、 ΔT : サンプリング時間間隔 (s)

407 D_0 : 想定される試験対象の部材厚さ (m)

408 V_{time} : C.5.6 節で式(C.1)によって算出した、伝搬時間を利用して測定した弾性波伝搬
 409 速 度 (m/s)

410 d) 試験装置の電圧範囲、及びトリガは、入力された弾性波の多重反射を、入力面で振動として受信が可
 411 能となるように設定する。

412 e) 試験装置のサンプリング数は、測定時間長が式(C.3)の条件となるように設定する。

413
$$T \geq \frac{8 \cdot D_0}{V_{time}} \dots\dots\dots (C.3)$$

414 ここで、 T : 測定時間長 (s)

415 D_0 : 想定される試験対象の部材厚さ (m)

416 V_{time} : C.5.6 の式(C.1)によって算出した、伝搬時間を利用して測定した弾性波伝搬速
 417 度 (m/s)

418 **C.6.3 弾性波の入力及び基本周波数の測定**

419 弾性波の入力及び基本周波数の測定は、次の手順で実施する。

420 a) 入力装置を用いてコンクリート表面から弾性波を入力し、試験装置によって時刻歴波形及びその周波
 421 数スペクトルを求める。周波数スペクトルでの周波数の分解能は、測定される部材厚さの分解能を考
 422 慮して設定する。

423 b) 上限周波数が異なる複数の入力装置で a)の測定を行う。

424 c) 複数の入力装置を用いて得られた周波数スペクトルで共通した卓越周波数となる周波数を基本周波数
 425 f_0 (Hz) とし、有効数字 3 桁で読む。

426 **C.7 コンクリートの部材厚さの算定**

427 部材厚さ (m) は、式(C.4)から算出し、四捨五入によって有効数字 3 桁に丸める。

428
$$D = \frac{V_{time}}{2 \cdot f_0} \dots\dots\dots (C.4)$$

429 ここで、 D : 測定した部材厚さ (m)

430 V_{time} : C.5.6 の式(C.1)によって算出した、伝搬時間を利用して測定した弾性波伝搬速
 431 度 (m/s)

432 f_0 : 基本周波数 (Hz)

433 **C.8 報告**

434 報告内容は、次の事項について行うことを標準とする。また、表 C.2 に報告様式の例を示す。

435 a) 試験年月日及び試験場所

436 b) 試験技術者

437 c) 使用した試験装置

438 1) 入力装置の仕様

439 2) 振動センサの仕様

440 3) AD 変換器の仕様

- 441 4) 校正及び点検状況
- 442 d) 対象物
 - 443 1) 名称及び構造
 - 444 2) 竣工年月日
- 445 e) 測定箇所の状況
 - 446 1) 測定位置
 - 447 2) 弾性波の入力点及び振動の測定点の配置
 - 448 3) 表面状況（平滑さ，変状の有無及びその他必要な情報）
- 449 f) 測定パラメータ（サンプリング時間間隔及び測定時間長）
- 450 g) 測定結果
 - 451 1) 弾性波の入力点から振動の測定点 1 までの距離
 - 452 2) 弾性波の入力点から振動の測定点 2 までの距離
 - 453 3) 伝搬距離の差
 - 454 4) 測定から求めた弾性波の伝搬時間
 - 455 5) 測定した弾性波伝搬速度
 - 456 6) 測定した基本周波数
 - 457 7) 測定した部材厚さ
- 458 h) その他
- 459

表 C.2—報告に用いる様式例（コンクリートの部材厚さの試験方法用）

試験年月日		年 月 日 曜日		測定時刻	～	
試験場所		都道府県		市町村		
天候・気温など		天 候： 気 温： °C				
試験技術者		氏名：		所属：		
		保有資格1)	資格名称・認証番号：			
		保有資格2)	資格名称・認証番号：			
		保有資格3)	資格名称・認証番号：			
試験装置	入力装置	種類：		材質：	質量（直径）：	
		種類：		材質：	質量（直径）：	
	振動センサ	製造会社：		形式：	製造番号：	
		周波数範囲（±10%）：				
	AD変換器	製造会社：		形式：		
		製造番号：				
測定パラメータ		サンプリング時間間隔：				
		測定時間長：				
試験装置の点検状況		前回点検年月日：			点検者：	
		点検内容：				
対象物		名称：			竣工年月日：	
		構造：				
測定箇所 及び 測定結果	弾性波の入力点 及び 振動の測定点の 配置状況 (図示)					
	表面状況 (平滑さ、変状の有無及び その他特記事項)					
	測定箇所名称		1	2	3	
	弾性波伝搬速度測定距離の頭	弾性波の入力点から 振動の測定点1まで の距離				
		弾性波の入力点から 振動の測定点2まで の距離				
		伝搬距離の差				
		測定から求めた 弾性波の伝搬時間				
		測定した 弾性波伝搬速度				
	測定した基本周波数					
	測定した部材厚さ					
その他						

附属書 D (規定)

構造体コンクリートの圧縮強度の推定方法

463

464 D.1 適用範囲

465 この附属書は、新設コンクリート構造物における構造体コンクリートの圧縮強度を、衝撃弾性波法によ
466 る弾性波伝搬速度の測定結果に基づき、圧縮強度推定式を用いて推定する方法について規定する。

467 適用可能な範囲は、圧縮強度推定式の作成時に測定した円柱供試体の弾性波伝搬速度の範囲、かつ、コ
468 ンクリートの圧縮強度 60 N/mm^2 を上限とする。

469 D.2 引用規格

470 次にあげる規格は、この試験方法に引用されることによって、この試験方法の一部を構成する。これら
471 の引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

472 **JIS A 1108** コンクリートの圧縮強度試験方法

473 **JIS A 1132** コンクリート強度試験用供試体の作り方

474 D.3 用語及び定義

475 この規格で用いる主な用語及び定義は、次による。

476 D.3.1

477 構造体コンクリート

478 構造体を構成するコンクリート

479 D.3.2

480 圧縮強度推定式

481 弾性波伝搬速度から圧縮強度を推定する式

482 D.3.3

483 多重反射

484 対向する平行なコンクリート表面において、伝搬する弾性波が複数回の反射を生じる現象

485 D.3.4

486 入力装置

487 物理的な衝撃によって弾性波を入力する装置

488 **注釈 1** 物理的な衝撃を与える方法には、ハンマ、鋼球を用いた打撃による機械的な方法、励磁コイル
489 による磁気的な方法などがある。

490 D.3.5

491 振動センサ

492 弾性波による表面振動の変位、速度又は加速度を電気信号に変換する装置

493

494 **D.3.6**

495 **卓越周波数**

496 測定した振動の周波数スペクトルにおいて振幅が最大となる周波数

497 **D.3.7**

498 **基本周波数**

499 入力面とこれに対向する面とがそれぞれ振動の腹となり、かつ、両面から等距離となる中央点が節とな
500 り、さらに、波長が入力面と対向する面との距離の2倍となる振動の周波数

501 **D.3.8**

502 **伝搬距離の差**

503 弾性波の入力点から振動の測定点1までの距離と弾性波の入力点から振動の測定点2までの距離との差
504 (図 D.2 の ΔL)

505 **D.4 圧縮強度試験方法の手順**

506 図 D.1 に構造体コンクリートの圧縮強度の推定方法の手順を示す。圧縮強度推定式の作成及び構造体コ
507 ンクリートの弾性波伝搬速度の測定から構成されている。

508 圧縮強度推定式は、図 D.1 の左側の手順のように、試験に必要な数の円柱供試体を作製し、予定した材
509 齢時に円柱供試体の弾性波伝搬速度の測定及び圧縮強度試験を行い、両者の関係から作成する。

510 構造体コンクリートの弾性波伝搬速度の測定を行い、圧縮強度推定式を用いて構造体コンクリートの圧
511 縮強度を推定する。

512

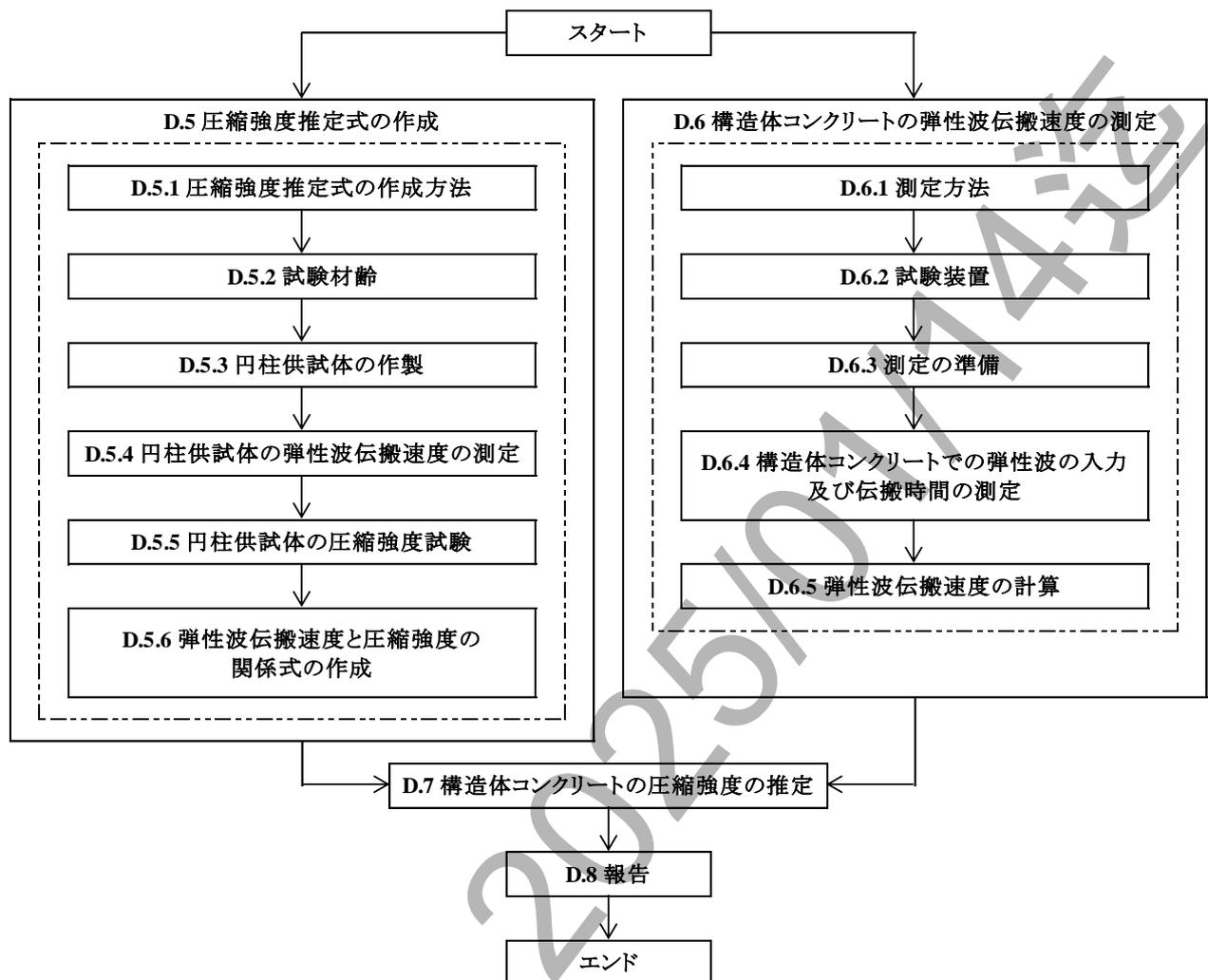


図 D.1—圧縮強度の推定方法の手順

513 **D.5 圧縮強度推定式の作成**

514 **D.5.1 圧縮強度推定式の作成方法**

515 圧縮強度推定式は、測定対象となる構造体コンクリート及び使用材料、配（調）合などが同じコンクリートを使用して作製した円柱供試体の弾性波伝搬速度及び圧縮強度を材齢の進行に応じて測定し、各測定結果を用いて作成する。

518 なお、圧縮強度推定式は、コンクリートの使用材料、配（調）合などが異なるごとに作成する。

519 **D.5.2 試験材齢**

520 円柱供試体における弾性波伝搬速度の測定及び圧縮強度試験を実施する材齢は、3～4 材齢以上とする。この材齢は、強度発現の初期段階からほぼ収束する段階までを予定することが望ましい。各セメント種類における測定及び試験を実施する材齢の例を**表 D.1**に示す。

523

524

525 **表 D.1—弾性波伝搬速度の測定及び圧縮強度試験を実施する材齢の例**

セメント種類	測定及び試験を実施する材齢
普通ポルトランドセメント	7日, 14日, 28日及び56日又は91日
高炉セメントB種	7日, 14日, 28日及び56日又は91日
早強ポルトランドセメント	3日, 7日, 28日及び56日又は91日

526 **D.5.3 円柱供試体の作製**

527 圧縮強度推定式を作成するために、事前に試験に用いる円柱供試体を作製する。供試体の数は、1回の
 528 試験に用いる供試体個数を3個とし、合計で（試験材齢数×3）個とする。円柱供試体は、縦横比を2のもの
 529 のとし、JISA 1132 に準じて試験対象コンクリートの種類ごとに作製して水中養生又は封かん養生を行う。

530 **D.5.4 円柱供試体の弾性波伝搬速度の測定**

531 **D.5.4.1 測定方法**

532 円柱供試体の弾性波伝搬速度の測定は、**附属書 B** によるほか、**D.5.4.2～D.5.4.5** による。

533 **D.5.4.2 試験装置**

534 試験装置は入力装置、振動センサ、AD変換器、及び制御装置から構成し、**D.5.4.4.1** の設定内容を満足す
 535 るように構成する。入力装置は**表 D.2** に示す鋼球とすることを基本とする。

536 **表 D.2—使用する入力装置**

円柱供試体の高さ	入力装置として使用する鋼球の直径
200 mm	10 mm
250 mm	15 mm

537 **D.5.4.3 測定の準備**

538 **D.5.4.3.1 円柱供試体の整形**

539 予定した試験材齢において、コンクリートの使用材料、配（調）合などが異なるごとに円柱供試体を3
 540 個ずつ用意する。円柱供試体の端面は、圧縮強度試験に必要とされる、キャッピング又は研磨による整形
 541 処理を施す。

542 **D.5.4.3.2 円柱供試体の寸法などの測定**

543 円柱供試体の高さ、直径及び質量を有効数字3桁で測定する。

544 **D.5.4.4 弾性波伝搬速度の測定**

545 **D.5.4.4.1 試験装置の設定**

546 試験装置の設定は、次の手順で実施する。

- 547 a) 試験装置の動作に異常のないことを確認し、製造業者推奨の方法又は適切な方法によって調整を行う。
- 548 b) 円柱供試体の一方の端面（キャッピングを施した場合は下面。）において、弾性波の入力点及び振動の
 549 測定点を設定する。
- 550 c) 試験装置のサンプリング時間間隔は、円柱供試体の高さに応じて式 (D.1) の条件となるように設定す
 551 る (**表 D.3** 参照)。

552
$$\Delta T \leq \frac{2 \cdot L}{5 \cdot V_{PD}} \dots\dots\dots (D.1)$$

553 ここで、 ΔT : サンプリング時間間隔 (s)
 554 L : 円柱供試体の高さ (多重反射面間距離) (m)
 555 V_{PD} : 想定される弾性波伝搬速度 (m/s)
 556 ただし、想定が困難な場合は 4 000 m/s としてよい。

558 **表 D.3—設定するサンプリング時間間隔の例 (想定される弾性波伝搬速度が 4 000m/s の場合)**

円柱供試体の高さ	設定するサンプリング時間間隔
200 mm	20.0 μ s 以下
250 mm	25.0 μ s 以下

- 559
- 560 d) 試験装置の電圧範囲、及びトリガは、入力された弾性波の多重反射を、入力面で振動として受信が可能となるように設定する。
- 561
- 562 e) 試験装置のサンプリング数は、測定時間長が式(D.2)の条件となるように円柱供試体の高さに応じて設定する (表 D.4 参照)。
- 563

564
$$T \geq \frac{8 \cdot L}{V_{PD}} \dots\dots\dots (D.2)$$

565 ここで、 T : 測定時間長 (s)
 566 L : 円柱供試体の高さ (多重反射面間距離) (m)
 567 V_{PD} : 想定される弾性波伝搬速度 (m/s)
 568 ただし、想定が困難な場合は 4 000 m/s としてよい。

570 **表 D.4—設定する測定時間長の例 (想定される弾性波伝搬速度が 4 000 m/s の場合)**

円柱供試体の高さ	測定時間長
200 mm	400 μ s 以上
250 mm	500 μ s 以上

571 **D.5.4.4.2 弾性波の入力及び基本周波数の決定**

572 弾性波の入力及び基本周波数の決定は、次の手順で実施する。

- 573 a) 入力装置を用いてコンクリート表面から弾性波を入力し、試験装置によって時刻歴波形を得て、その
 574 周波数スペクトルを求める。周波数スペクトルでの周波数の分解能は式(D.3)の条件となるように円柱
 575 供試体の高さに応じて設定する (表 D.5 参照)。

576
$$\Delta f \leq \frac{V_{PD}}{200 \cdot L} \dots\dots\dots (D.3)$$

577 ここで、 Δf : 周波数スペクトルでの周波数の分解能 (Hz)
 578 L : 円柱供試体の高さ (多重反射面間距離) (m)
 579 V_{PD} : 想定される弾性波伝搬速度 (m/s)

ただし、想定が困難な場合は 4 000 m/s としてよい。

表 D.5—設定する周波数スペクトルでの周波数の分解能の例
(想定される弾性波伝搬速度が 4 000 m/s の場合)

円柱供試体の高さ	周波数スペクトルでの周波数の分解能
200 mm	100 Hz 以上
250 mm	80.0 Hz 以上

- b) 周波数スペクトルにおける卓越周波数から基本周波数 f_0 (Hz) を決定し、これを有効数字 3 桁で求める。

D.5.4.5 計算

弾性波伝搬速度 (m/s) は、式(D.4)から算出し、四捨五入によって有効数字 3 桁に丸める。

$$V = 2 \cdot L \cdot f_0 \dots\dots\dots (D.4)$$

ここで、 V : 多重反射の周波数特性を利用して測定した弾性波伝搬速度 (m/s)

L : 円柱供試体の高さ (多重反射面間距離) (m)

f_0 : 基本周波数 (Hz)

D.5.5 円柱供試体の圧縮強度試験

円柱供試体の圧縮強度試験は、JIS A 1108 による。

D.5.6 弾性波伝搬速度と圧縮強度の関係式の作成

円柱供試体での弾性波伝搬速度と圧縮強度の測定結果とを用いて弾性波伝搬速度と圧縮強度との関係式を作成し、この式を圧縮強度推定式とする。

D.6 構造体コンクリートの弾性波伝搬速度の測定

D.6.1 測定方法

構造体コンクリートの弾性波伝搬速度の測定は、**附属書 A** によるほか、**D.6.2~D.6.5** による。

D.6.2 試験装置

試験装置は入力装置、振動センサ、AD 変換器、及び制御装置から構成し、**D.6.4.1** での設定内容を満足するように構成する。

D.6.3 測定の準備

弾性波の入力点及び振動の測定点は、測定結果に影響を及ぼすと考えられるような気泡、ひび割れなどがある箇所を避け、表面が可能な限り平滑な箇所を選定する。弾性波の入力点及び振動の測定点のコンクリート表面が非常に粗い場合、及び測定に影響を及ぼす表面上の凹凸、付着物、被覆などがある場合は、コンクリート表面を研磨して影響物を取り除いておく。また、表面にゴミ、ほこり、余分な水分、緩んだ骨材などがある場合も事前に取り除いておく。

610 D.6.4 構造体コンクリートでの弾性波の入力及び伝搬時間の測定

611 D.6.4.1 試験装置の設定

612 試験装置の設定は、次の手順で実施する。

- 613 a) 試験装置の動作に異常のないことを確認し、製造業者推奨の方法又は適切な方法によって調整を行う。
- 614 b) 測定対象物のコンクリート表面において、同一面に弾性波の入力点と2点の測定点とを設け、それら
- 615 が一直線上になるように設定する（図 D.2 の a)及び b)参照）。なお、伝搬距離の差が測定される弾性
- 616 波伝搬速度の分解能を決定することに十分留意し、弾性波の入力点及び振動の測定点を設定する（表
- 617 D.6 参照）。また、鉄筋が測定点の近傍にある場合は、弾性波の入力点と振動の測定点とを結ぶ直線が、
- 618 鉄筋に対して斜め（ 45° ）になるように振動センサを配置する（図 D.2 の c)参照）。

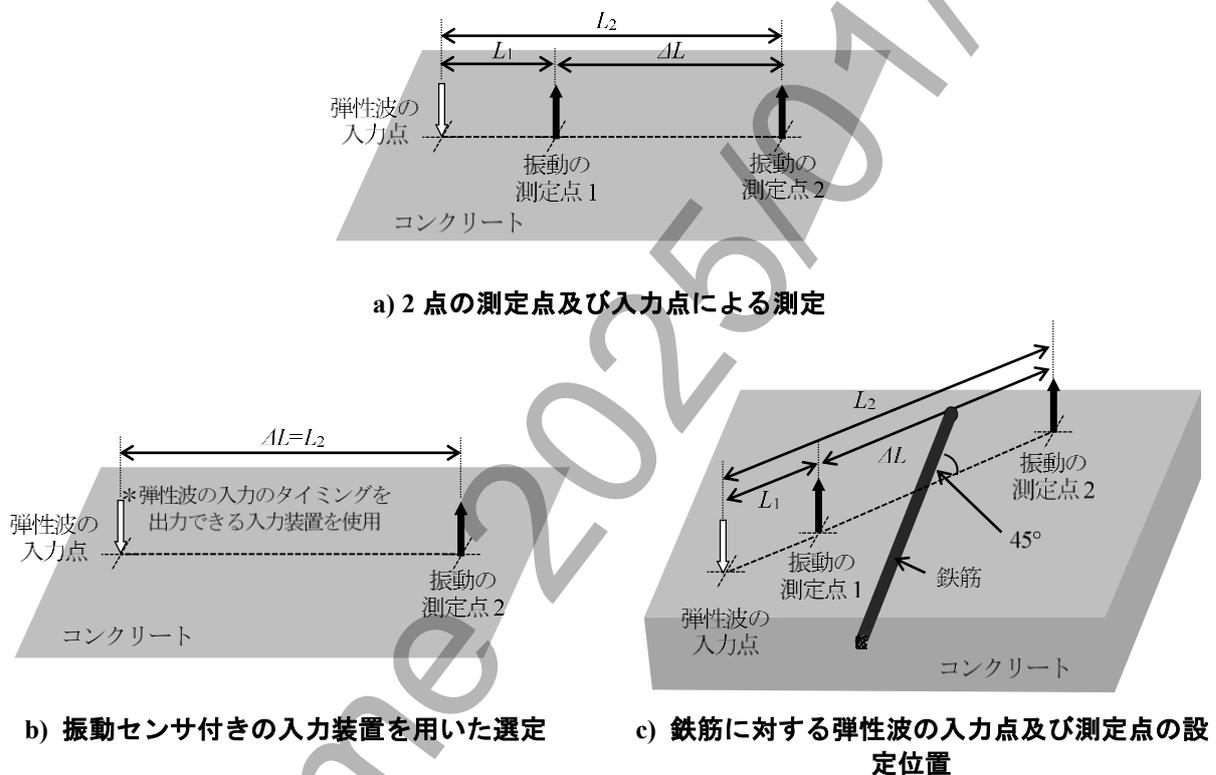


図 D.2—弾性波の入力点及び振動の測定点の配置例

- 619 c) 試験装置のサンプリング時間間隔は、測定される弾性波伝搬速度の分解能を考慮して設定する。
- 620 d) 試験装置の電圧範囲、及びトリガは、振動の測定点1及び測定点2で弾性波の到達時刻が精度よく読
- 621 み取れるよう設定する。
- 622
- 623 e) 試験装置のサンプリング数は、測定時間長が測定点2での弾性波の到達時刻より大きくなるように設
- 624 定する。

625 D.6.4.2 入力点から測定点までの距離測定

626 弾性波の入力点から振動の測定点までの距離（m）を有効数字3桁で測定する。

627 D.6.4.3 弾性波の入力及び伝搬時間の測定

628 弾性波の入力及び伝搬時間の測定は、次の手順で実施する。

- 629 a) 入力装置を用いて、コンクリート表面から弾性波を入力する。
- 630 b) 振動の測定点 1 における時刻歴波形の立上りの時刻及び振動の測定点 2 における時刻歴波形の立上り
- 631 の時刻を読み取り、これらの差を有効数字 3 桁で求め、両測定点間での弾性波の伝搬時間 Δt (s) とす
- 632 る。なお、時刻歴波形での立上り時刻の特定が不可能な場合は、入力点、測定点及びその周辺の状態
- 633 を確認し、測定をし直す。

634 **D.6.5 弾性波伝搬速度の計算**

635 弾性波伝搬速度 (m/s) は、式(D.5)から算出し、四捨五入によって有効数字 3 桁に丸める。

636
$$V_{\text{time}} = \frac{L_2 - L_1}{\Delta t} = \frac{\Delta L}{\Delta t} \dots\dots\dots (D.5)$$

- 637 ここで、 V_{time} : 伝搬時間を利用して測定した弾性波伝搬速度 (m/s)
- 638 Δt : 測定から求めた弾性波の伝搬時間 (s)
- 639 L_1 : 弾性波の入力点から振動の測定点 1 までの距離 (m)
- 640 ただし、弾性波の入力のタイミングを出力できる入力装置を使用する場合は、
- 641 0 m となる。
- 642 L_2 : 弾性波の入力点から振動の測定点 2 までの距離 (m)
- 643 ΔL : 伝搬距離の差 (m)

644 **D.7 構造体コンクリートの圧縮強度の推定**

645 構造体コンクリートの圧縮強度 (N/mm²) は、**D.6.5** で算出した弾性波伝搬速度を **D.5.6** で決定した圧縮

646 強度推定式に代入して推定する。推定結果は、四捨五入によって有効数字 3 桁に丸める。

647 **D.8 報告**

648 報告は、構造体コンクリートの圧縮強度の推定結果及び圧縮強度推定式の作成結果について行うことを

649 標準とする。

650 **D.8.1 構造体コンクリートの圧縮強度の推定結果**

651 構造体コンクリートの圧縮強度試験に関する報告内容は、次の事項について行うことを標準とする。ま

652 た、**表 D.7** に参考の報告様式を示す。

- 653 a) 試験年月日及び試験場所
- 654 b) 試験技術者
- 655 c) 使用した試験装置
 - 656 1) 入力装置の仕様
 - 657 2) 振動センサの仕様
 - 658 3) AD 変換器の仕様
 - 659 4) 校正及び点検状況
- 660 d) 対象物
 - 661 1) 名称及び構造
 - 662 2) 竣工年月日

- 663 e) 測定箇所の状況
- 664 1) 測定位置
- 665 2) 弾性波の入力点及び振動の測定点の配置
- 666 3) 表面状況（平滑さ、変状の有無及びその他必要な情報）
- 667 f) 測定パラメータ（サンプリング時間間隔及び測定時間長）
- 668 g) 測定結果
- 669 1) 弾性波の入力点から振動の測定点 1 までの距離
- 670 2) 弾性波の入力点から振動の測定点 2 までの距離
- 671 3) 伝搬距離の差
- 672 4) 測定から求めた弾性波の伝搬時間
- 673 5) 測定した弾性波伝搬速度
- 674 6) 使用した圧縮強度推定式
- 675 7) 推定した構造体コンクリートの圧縮強度
- 676 h) その他

677 **D.8.2 圧縮強度推定式の作成結果**

678 圧縮強度推定式の作成に関する報告内容は、次の事項について行うことを標準とする。また、**表 D.8** に
679 参考の報告様式を示す。

- 680 a) 円柱供試体の作成年月日，作製場所，養生方法，セメント種類，呼び強度，スランプ，骨材最大寸法
- 681 b) 試験技術者
- 682 c) 使用した試験装置
- 683 1) 入力装置の仕様
- 684 2) 振動センサの仕様
- 685 3) AD 変換器の仕様
- 686 4) 校正及び点検状況
- 687 d) 測定パラメータ（サンプリング時間間隔及び測定時間長）
- 688 e) 円柱供試体での測定結果
- 689 1) 試験年月日及び試験時の材齢
- 690 2) 円柱供試体の高さ
- 691 3) 円柱供試体の直径
- 692 4) 測定した基本周波数
- 693 5) 測定した弾性波伝搬速度
- 694 6) 最大荷重
- 695 7) 圧縮強度
- 696 f) 圧縮強度推定式の作成結果
- 697 g) その他
- 698

表 D.7—報告に用いる様式例（構造体コンクリートの圧縮強度の推定用）

試験年月日		年 月 日 曜日		測定時刻	~	
試験場所		都道府県		市町村		
天候・気温など		天 候： 気 温： °C				
試験技術者		氏名：		所属：		
		保有資格1)	資格名称・認証番号：			
		保有資格2)	資格名称・認証番号：			
		保有資格3)	資格名称・認証番号：			
試験装置	入力装置	種類：		材質：	質量（直径）：	
		種類：		材質：	質量（直径）：	
	振動センサ	製造会社：		形式：	製造番号：	
		周波数範囲（±10%）：				
	AD変換器	製造会社：		形式：		
		製造番号：				
測定パラメータ		サンプリング時間間隔：				
		測定時間長：				
試験装置の点検状況		前回点検年月日：			点検者：	
		点検内容：				
対象物		名称：			竣工年月日：	
		構造：				
測定箇所 及び 測定結果	弾性波の入力点 及び 振動の測定点の 配置状況 (図示)					
	表面状況 (平滑さ、変状の有無及び その他特記事項)					
	測定箇所名称		1	2	3	
	試験装置の 使用状況	弾性波の入力点から 振動の測定点1まで の距離				
		弾性波の入力点から 振動の測定点2まで の距離				
		伝搬距離の差				
		測定から求めた 弾性波の伝搬時間				
		測定した 弾性波伝搬速度				
	使用した圧縮強度推定式					
	推定した 構造体コンクリートの 圧縮強度					
その他						

表 D.8—報告に用いる様式例（圧縮強度推定式の作成用）

円柱供試体	作製年月日	年 月 日 曜日			養生方法		
	作製場所	都道府県		市町村			
	コンクリート種類	セメント種類： 呼び強度： スランプ： 骨材最大寸法：					
試験技術者		氏名：			所属：		
		保有資格1)	資格名称・認証番号：				
		保有資格2)	資格名称・認証番号：				
		保有資格3)	資格名称・認証番号：				
試験装置	入力装置	種類：	材質：		質量（直径）：		
		種類：	材質：		質量（直径）：		
	振動センサ	製造会社：		形式：		製造番号：	
		周波数範囲（±10%）：					
	AD変換器	製造会社：			形式：		
		製造番号：					
測定パラメータ		サンプリング時間間隔：					
		測定時間長：					
試験装置の点検状況		前回点検年月日：			点検者：		
		点検内容：					
円柱供試体での測定結果	測定回数	1回目	2回目	3回目	4回目		
	試験年月日						
	材齢						
	供試体No						
	円柱供試体の高さ						
	円柱供試体の直径						
	測定した基本周波数						
	測定した弾性波伝搬速度						
	最大荷重						
	圧縮強度						
圧縮強度推定式の作成結果							
その他							

附属書 E (規定)

受信点での時刻歴波形の初動に着目したひび割れ深さの試験方法

699
700
701
702

703 E.1 適用範囲

704 この附属書は、ひび割れ先端での回折波による時刻歴波形の初動に着目し、ひび割れ深さを試験する方
705 法について規定する。

706 E.2 用語及び定義

707 この規格で用いる主な用語及び定義は、次による。

708 E.2.1

709 入力装置

710 物理的な衝撃によって弾性波を入力する装置

711 **注釈 1** 物理的な衝撃を与える方法には、ハンマ、鋼球を用いた打撃による機械的な方法などがある。

712 E.2.2

713 振動センサ

714 弾性波による表面振動の変位、速度又は加速度を電気信号に変換する装置

715 E.3 試験装置

716 試験装置は入力装置、振動センサ、AD 変換器、及び制御装置から構成する。

717 E.4 測定の準備

718 入力点及び受信点には、測定結果に影響を及ぼすと考えられるような気泡、測定対象としないひび割れ
719 などがある箇所を避け、表面が可能な限り平滑な箇所を選定する。入力点及び受信点のコンクリート表面
720 に、測定に影響を及ぼす凹凸、付着物、被覆などがある場合は、コンクリート表面を研磨して、その影響
721 を取り除く。また、表面にゴミ、ほこり、余分な水分、緩んだ骨材などがある場合、あるいは、ひび割れ
722 内にゴミ、ほこり、緩んだ骨材、骨材のかけらなどがある場合には、事前に清掃し、可能な限りそれら
723 を取り除く。

724 E.5 測定方法

725 次の手順で測定する。

- 726 a) 試験装置の動作に異常がないことを確認し、製造業者推奨の方法又は適切な方法によって調整を行う。
- 727 b) 受信点で回折波による時刻歴波形の初動を精度よく測定することが可能となるよう、試験装置のサン
728 プリング時間間隔、電圧範囲、トリガ、測定時間長を適切に設定する。
- 729 c) 入力点及び受信点は、測定対象のひび割れを挟み、ひび割れと直交する直線上でひび割れから等距離
730 の点に設定 (図 E.1 参照) する。
- 731 d) 受信点に振動センサを設置する。なお、設置する振動センサの感度軸は、コンクリート表面に対して
732 垂直とする。さらに、振動センサは、コンクリート内部からコンクリート表面に向けて力が生じたと

- 733 きに、測定される時刻歴波形の初動が上向きとなる方向に設置する。
- 734 e) 入力装置を用いて入力点から弾性波を入力する。
- 735 f) 受信点の時刻歴波形の初動が上向きであるのか、又は、下向きであるのかを確認する。
- 736 g) f)の結果で初動が下向きであれば、入力点と受信点との距離が大きくなるように、入力点及び受信点
737 を移動させて d)～f)の手順で測定する。この測定を初動が下向きから上向きに変化するまで繰り返し
738 行う。
- 739 h) f)の結果で初動が上向きであれば、入力点と受信点との距離が小さくなるように、入力点及び受信点
740 を移動させて、d)～f)の手順で測定する。この測定を初動が上向きから下向きに変化するまで繰り返し
741 行う。
- 742 i) g)又は h)の測定結果から、受信点の時刻歴波形の初動の向きが下向きから上向きに変化する入力点と
743 受信点との距離を決定する。

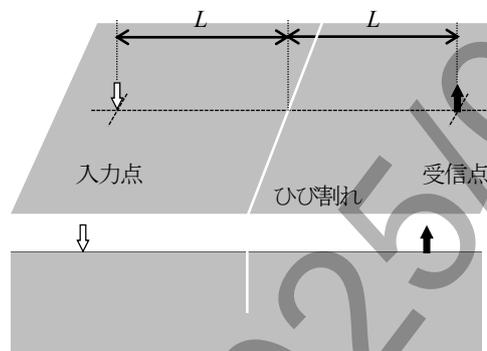


図 E.1—受信点での時刻歴波形の初動に着目したひび割れ深さの試験方法での入力点及び受信点の配置

744 E.6 ひび割れ深さの計算

745 E.5.2 i)で決定した距離の 1/2 をひび割れ深さとする。

746 E.7 報告

747 報告内容は、次の事項について行うことを標準とする。また、表 E.1 に参考の報告様式を示す。

- 748 a) 試験年月日及び試験場所
- 749 b) 試験技術者
- 750 c) 使用した試験装置
- 751 1) 入力装置の仕様
- 752 2) 振動センサの仕様
- 753 3) AD 変換器の仕様
- 754 4) 校正及び点検状況
- 755 d) 対象物
- 756 1) 名称及び構造
- 757 2) 竣工年月日
- 758 e) 測定箇所の状況
- 759 1) 測定位置 (ひび割れとの位置関係及びその状況)

- 760 **2)** 入力点及び受信点の配置状況
- 761 **3)** 表面状況（平滑さ、変状の有無及びその他必要な情報）
- 762 **f)** 測定パラメータ（サンプリング時間間隔及び測定時間長）
- 763 **g)** 測定方法及び測定結果
- 764 **1)** 測定した時刻歴波形及び受信点の時刻歴波形の初動の向き（上向きであるのか、又は、下向きであるのか）
- 765
- 766 **2)** 受信点の時刻歴波形の初動の向きが下向きから上向きに変化する入力点と受信点との距離
- 767 **3)** ひび割れ深さの計算結果
- 768 **h)** その他
- 769

Pubcome 2025/07/17

表 E.1—報告に用いる様式例（初動波形に着目したひび割れ深さの試験方法用）

試験年月日		年 月 日 曜日			測定時刻	~		
試験場所		都道府県			市町村			
天候・気温など		天 候 :			気 温 : °C			
試験技術者		氏名 :			所属 :			
		保有資格1)	資格名称・認証番号 :					
		保有資格2)	資格名称・認証番号 :					
		保有資格3)	資格名称・認証番号 :					
試験装置	入力装置	種類 :		材質 :		質量 (直径) :		
		種類 :		材質 :		質量 (直径) :		
	振動センサ	製造会社 :		形式 :		製造番号 :		
		周波数範囲 (±10%) :						
	AD変換器	製造会社 :		形式 :				
		製造番号 :						
測定パラメータ		サンプリング時間間隔 :						
		測定時間長 :						
試験装置の点検状況		前回点検年月日 :			点検者 :			
		点検内容 :						
対象物		名称 :			竣工年月日 :			
		構造 :						
測定箇所 及び 測定結果	入力点及び受信点の 配置状況 (図示)							
	表面状況 (平滑さ、変状の有無及 びその他特記事項)							
	測定箇所名称		1	2	3	4	5	6
	時刻歴波形の 初動の向き							
	初動の向きが下向きから 上向きに変化する 入力点と受信点との 距離							
	ひび割れ深さの 計算結果							
その他								

770 附属書 F
771 (規定)

772 伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法

773

774 **F.1 適用範囲**

775 この附属書は、ひび割れ先端での回折波の伝搬時間を利用し、ひび割れ深さを試験する方法について規
776 定する。

777 **F.2 用語及び定義**

778 この規格で用いる主な用語及び定義は、次による。

779 **F.2.1**

780 **入力装置**

781 物理的な衝撃によって弾性波を入力する装置

782 **注釈 1** 物理的な衝撃を与える方法には、ハンマ、鋼球を用いた打撃による機械的な方法などがある。

783 **F.2.2**

784 **振動センサ**

785 弾性波による表面振動の変位、速度又は加速度を電気信号に変換する装置

786 **F.3 試験装置**

787 試験装置は入力装置、振動センサ、AD 変換器、制御装置から構成し、**F.5.3** 及び **F.6.2** の設定内容を満足
788 するように構成する。なお、入力装置は弾性波の入力のタイミングを出力できる装置とする。

789 **F.4 ひび割れ深さの試験方法の手順**

790 **図 F.1** に伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法の手順を示す。弾性波伝搬速度の測定及び回折波
791 の伝搬時間の測定から構成されている。

792

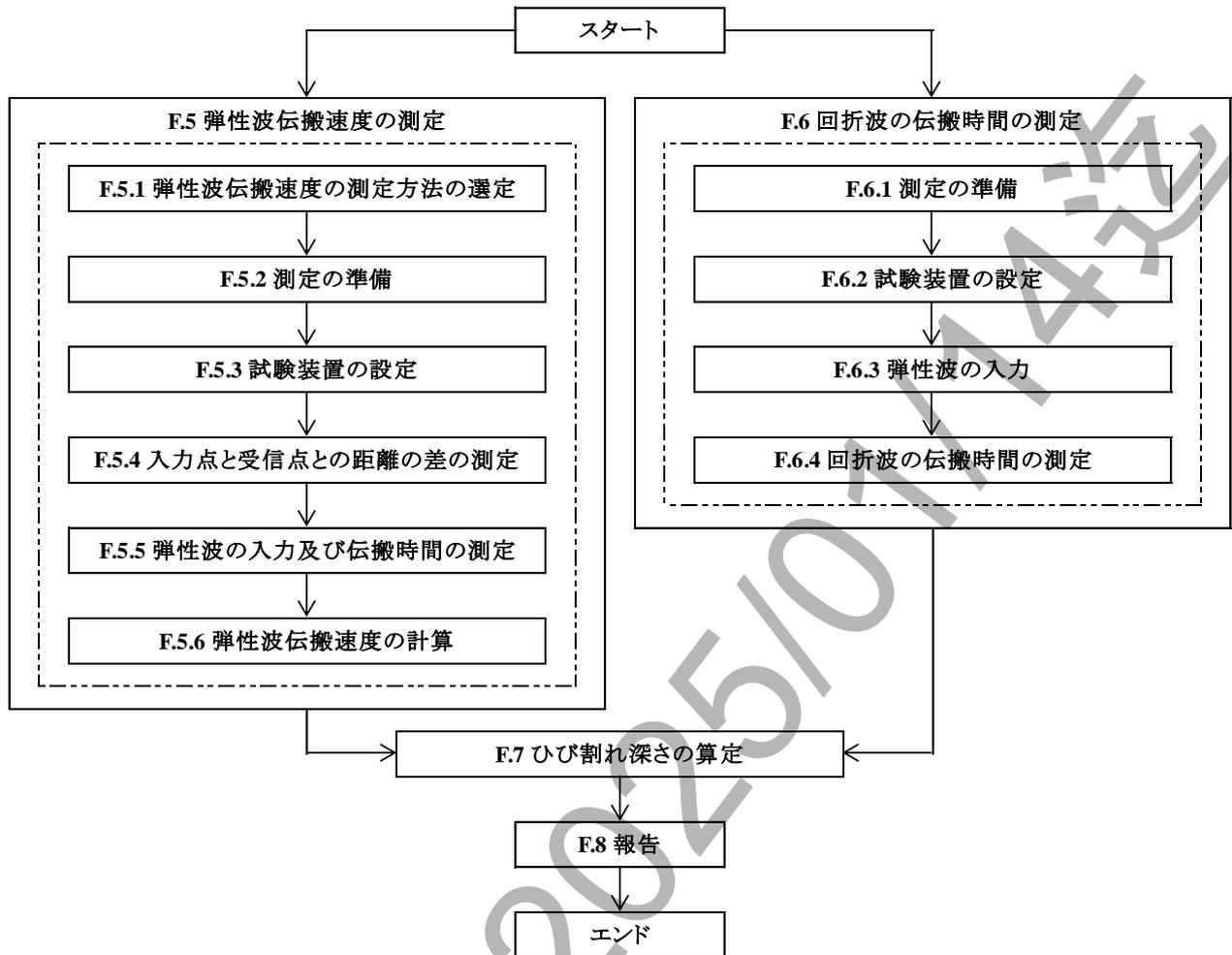


図 F.1—伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法の手順

793 **F.5 弾性波伝搬速度の測定**

794 **F.5.1 弾性波伝搬速度の測定方法の選定**

795 弾性波伝搬速度の測定は、F.5.2～F.5.6によって実施する。

796 **F.5.2 測定の準備**

797 弾性波伝搬速度の測定は、試験対象のひび割れの可能な限り近傍で実施する。入力点及び受信点は、測
 798 定結果に影響を及ぼすと考えられるような気泡、ひび割れなどがある箇所を避け、表面が可能な限り平滑
 799 な箇所を選定する。入力点及び受信点のコンクリート表面が非常に粗い場合、及び測定に影響を及ぼす表
 800 面上の凹凸、付着物、被覆などがある場合は、コンクリート表面を研磨して影響物を取り除いておく。ま
 801 た、表面にゴミ、ほこり、余分な水分、緩んだ骨材などがある場合も事前に取り除いておく。

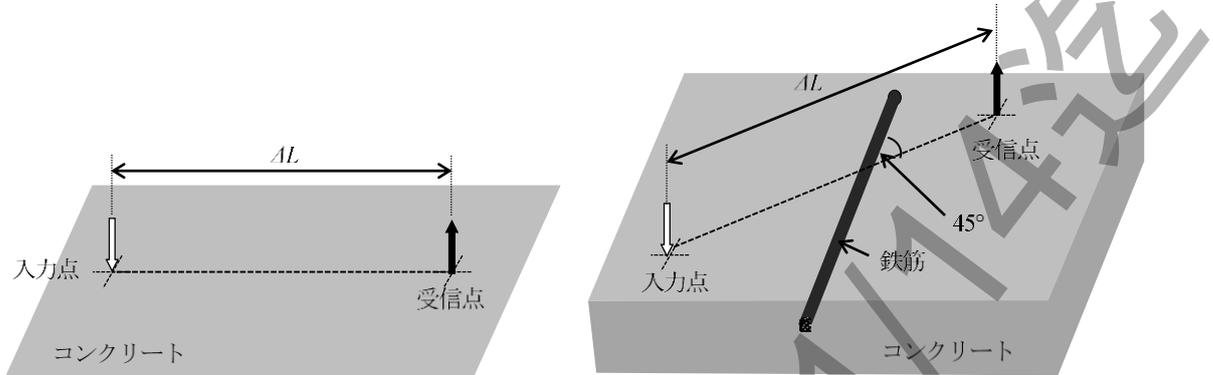
802 **F.5.3 試験装置の設定**

803 試験装置の設定は、次の手順で実施する。

- 804 a) 試験装置の動作に異常のないことを確認し、製造業者推奨の方法又は適切な方法によって調整を行う。
 805 b) 測定対象物のコンクリートの同一面に入力点及び受信点をそれらが一直線上になるように設定する
 806 (図 F.2 a)参照)。なお、入力点と受信点との距離の差が測定される弾性波伝搬速度の分解能、及び、

807 測定されるひび割れ深さの分解能を決定することに十分留意し、入力点及び受信点を設定する。

808 また、鉄筋が測定点の近傍にある場合は、入力点と受信点とを結ぶ直線が、鉄筋に対して斜め(45°)
 809 になるように受信点を設定する (図 F.2 b)参照)。



a) 入力点及び受信点の設定状況の例 b) 鉄筋に対する入力点及び受信点の設定位置
 図 F.2—弾性波伝搬速度の測定での入力点及び受信点の配置例

810

811 c) 試験装置のサンプリング時間間隔は、測定される弾性波伝搬速度の分解能及び測定されるひび割れ深
 812 さの分解能を考慮して設定する。

813 d) 試験装置の電圧範囲及びトリガは、受信点で弾性波の到達時刻が精度よく読み取れるよう設定する。

814 e) 試験装置のサンプリング数は、測定時間長が受信点での弾性波の伝搬時間より大きくなるように設定
 815 する。

816 **F.5.4 入力点と受信点との距離の差の測定**

817 入力点と受信点との距離の差 (m) を有効数字 3 桁で測定する。

818 **F.5.5 弾性波の入力及び伝搬時間の測定**

819 弾性波の入力及び伝搬時間の測定は、次の手順で実施する。

820 a) 入力装置を用いて、コンクリート表面から弾性波を入力する。

821 b) 入力点における時刻歴波形の立上りの時刻及び受信点における時刻歴波形の立上りの時刻を読み取り
 822 これらの差を有効数字 3 桁で求め、入力点と受信点との間での弾性波の伝搬時間 Δt (s) とする。な
 823 お、時刻歴波形での立上り時刻の特定が不可能な場合は、入力点、受信点及びその周辺の状態を確認
 824 し、測定をし直す。

825 **F.5.6 弾性波伝搬速度の計算**

826 弾性波伝搬速度 (m/s) は式(F.1)から算出し、四捨五入によって有効数字 3 桁に丸める。

827
$$v = \frac{\Delta L}{\Delta t} \dots\dots\dots (F.1)$$

828 ここで、 V : 弾性波伝搬速度 (m/s)

829 Δt : 伝搬時間 (s)

830 ΔL : 入力点と受信点との距離の差 (m)

831

832 F.6 回折波の伝搬時間の測定

833 F.6.1 測定の準備

834 入力点及び受信点には、測定結果に影響を及ぼすと考えられるような気泡、測定対象としないひび割れ
 835 などがある箇所を避け、表面が可能な限り平滑な箇所を選定する。入力点及び受信点のコンクリート表面
 836 に、測定に影響を及ぼす凹凸、付着物、被覆などがある場合は、コンクリート表面を研磨して、その影響
 837 を取り除く。また、表面にゴミ、ほこり、余分な水分、緩んだ骨材などがある場合、あるいは、ひび割れ
 838 内にゴミ、ほこり、緩んだ骨材、骨材のかけらなどがある場合には、事前に清掃し、可能な限りそれら
 839 を取り除く。

840 F.6.2 試験装置の設定

841 試験装置の設定は、次の手順で実施する。

- 842 a) 試験装置の動作に異常のないことを確認し、製造業者推奨の方法又は適切な方法によって調整を行う。
- 843 b) 測定対象のひび割れを挟み、入力点及び受信点を、ひび割れと直交する直線上でひび割れから等距離
 844 の点に設定（図 F.3 参照）する。また、入力点及び受信点からひび割れまでの距離（図 F.3 の L ）は、
 845 ひび割れ深さ（図 F.3 の d ）よりも大きくなるように、且つ、測定されるひび割れ深さの分解能を考慮
 846 して設定する。

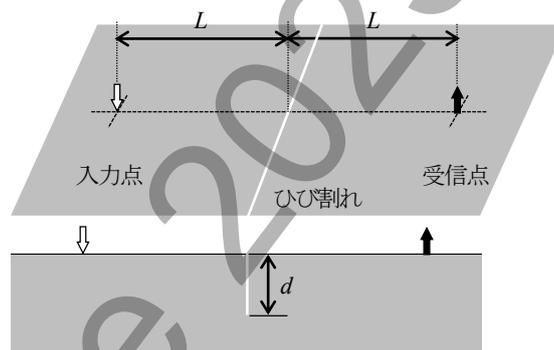


図 F.3—伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法での入力点及び受信点の配置

- 847 c) 試験装置のサンプリング時間間隔は測定されるひび割れ深さの分解能を考慮して設定する。
- 848 d) 試験装置の電圧範囲、トリガ、及び測定時間長は、受信点で回折波による時刻歴波形の初動を精度よ
 849 く測定することが可能となるように設定する。

850 F.6.3 弾性波の入力

851 弾性波の入力のタイミングを出力できる入力装置を用いて、コンクリート表面から弾性波を入力する。

852 F.6.4 回折波の伝搬時間の測定

853 入力点における時刻歴波形の立上りの時刻及び受信点における時刻歴波形の立上りの時刻を読み取り、
 854 これらの差を有効数字 3 桁で求め、回折波の伝搬時間 ΔT_c (s) とする。なお、受信点における時刻歴波形
 855 の初動が下向きとなった場合は、入力点と受信点との距離が大きくなるように入力点及び受信点を移動さ
 856 せて測定をし直す。

857

858 **F.7 ひび割れ深さの計算**

859 ひび割れ深さ (m) は、式(F.2)から算出し、四捨五入によって有効数字 3 桁に丸める。

860
$$d = \frac{\sqrt{V^2 \cdot \Delta T_c^2 - 4L^2}}{2} \dots\dots\dots (F.2)$$

- 861 ここで、 d : ひび割れ深さ (m)
 862 V : 弾性波伝搬速度 (m/s)
 863 ΔT_c : 回折波の伝搬時間 (s)
 864 L : 入力点及び受信点からひび割れまでの距離 (m)

865 **F.8 報告**

866 報告内容は、次の事項について行うことを標準とする。また、**表 F.1**に参考の報告様式を示す。

- 867 **a)** 試験年月日及び試験場所
 868 **b)** 試験技術者
 869 **c)** 使用した試験装置
 870 1) 入力装置の仕様
 871 2) 振動センサの仕様
 872 3) AD 変換器の仕様
 873 4) 校正及び点検状況
 874 **d)** 対象物
 875 1) 名称及び構造
 876 2) 竣工年月日
 877 **e)** 測定箇所の状況
 878 1) 測定位置 (ひび割れとの位置関係及びその状況)
 879 2) 入力点及び受信点の配置状況
 880 3) 表面状況 (平滑さ、変状の有無及びその他必要な情報)
 881 **f)** 測定パラメータ (サンプリング時間間隔及び測定時間長)
 882 **g)** 測定方法及び測定結果
 883 1) 入力点及び受信点からひび割れまでの距離
 884 2) 測定した弾性波伝搬速度
 885 3) 測定した回折波の伝搬時間
 886 4) ひび割れ深さの計算結果
 887 **h)** その他
 888

表 F.1—報告に用いる様式例（伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法用）

試験年月日		年 月 日 曜日	測定時刻	~	
試験場所		都道府県	市町村		
天候・気温など		天 候 :	気 温 :	°C	
試験技術者		氏名 :		所属 :	
		保有資格1)	資格名称・認証番号 :		
		保有資格2)	資格名称・認証番号 :		
		保有資格3)	資格名称・認証番号 :		
試験装置	入力装置	種類 :	材質 :	質量 (直径) :	
		種類 :	材質 :	質量 (直径) :	
	振動センサ	製造会社 :	形式 :	製造番号 :	
		周波数範囲 (±10%) :			
	AD変換器	製造会社 :	形式 :		
		製造番号 :			
測定パラメータ		サンプリング時間間隔 :			
		測定時間長 :			
試験装置の点検状況		前回点検年月日 :	点検者 :		
		点検内容 :			
対象物		名称 :	竣工年月日 :		
		構造 :			
測定箇所 及び 測定結果	入力点及び受信点の 配置状況 (図示)				
	表面状況 (平滑さ、変状の有無及 びその他特記事項)				
	測定箇所名称	1	2	3	
	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離				
	測定した 弾性波伝搬速度				
	測定した 回折波の伝搬時間				
	ひび割れ深さの 計算結果				
その他					

附属書 G
(参考)

附属書 A, B, C で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法

序文

この附属書は、この規格にて規定された衝撃弾性波法による、コンクリートの弾性波伝搬速度の測定方法、並びにコンクリートの部材厚さの試験方法を利用したコンクリート構造物の変状の有無の試験方法の例について参考のために記載するもので、規定の一部ではない。

G.1 適用範囲

この附属書は、附属書 A “伝搬時間を利用した弾性波速度の測定方法” で規定された測定方法、附属書 B “多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法” で規定された測定方法、及び附属書 C “コンクリート部材厚さの試験方法” で規定された試験方法を利用した、コンクリート構造物の変状の有無の試験方法の例を記載する。

G.2 附属書 A, B, C で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法の例

表 G.1 及び G.2.1～G.2.3 に附属書 A, 附属書 B, 及び附属書 C で規定された方法を利用したコンクリート内部の変状の有無の試験方法の例を示す。

表 G.1—附属書 A, 附属書 B, 及び附属書 C で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法の例

試験内容	利用可能な規格	試験概要・測定原理
コンクリート内部の変状の有無の試験	附属書 A (規定) 伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法	弾性波の入力点から振動の測定点までコンクリートに変状が存在すると、A.5.3 によって測定される伝搬時間は大きくなる。この性質を利用して、弾性波の入力点と振動の測定点とを複数設定し、それぞれで測定した伝搬時間を比較することなどによって、コンクリート内部の変状の有無を調べる。
	附属書 B (規定) 多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法	弾性波の入力点及び振動の測定点から対向する面までのコンクリートに変状が存在すると、B.5.3 によって測定される卓越周波数は基本周波数とは異なることとなる。この性質を利用して、弾性波の入力点と振動の測定点とを複数設定し、それぞれで測定した卓越周波数を比較することなどによって、コンクリート内部の変状の有無などを調べる。
	附属書 C (規定) コンクリートの部材厚さの試験方法	C.6.2 での弾性波の入力点及び振動の測定点から対向する面までのコンクリートに変状が存在すると、C.7 によって算出される部材厚さは試験対象のコンクリートの実際の部材厚さとは異なる。この性質を利用して、C.6.2 での弾性波の入力点と振動の測定点とを複数設定し、それぞれで算出した部材厚さを比較することなどによって、コンクリート内部の変状の有無などを調べる。

910 **G.2.1 附属書 A (規定) “伝搬時間を利用した弾性波速度の測定方法” で規定された測定方法を利用した**
911 **コンクリート内部の変状の有無の試験手順**

912 **附属書 A** で規定された測定方法を利用したコンクリート内部の変状の有無の検出は以下の手順で実施
913 する。

- 914 a) 測定対象物のコンクリート表面において、複数の測定点を設定する。
915 b) 弾性波伝搬速度の測定は**附属書 A** による。
916 c) 複数の測定点の結果を比較し、著しく低い弾性波伝搬速度の測定値が存在する場合は該当箇所の再測
917 定、測定方向を変化させるなどの確認を行う。その結果、弾性波伝搬速度の測定値がなおも著しく低
918 下する箇所は、コンクリート内部の変状が存在する箇所とする。ここでの変状位置は目視で確認が難
919 しいようなひび割れも含めて比較的コンクリート表層部に存在する。

920 **G.2.2 附属書 B (規定) “多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法” で規定された測**
921 **定方法を利用したコンクリート内部の変状の有無の試験手順**

922 **附属書 B** で規定された測定方法を利用したコンクリート内部の変状の有無の検出は以下の手順で実施す
923 る。

- 924 a) 測定対象物の対向する平行なコンクリート表面において、複数の測定点を設定する。
925 b) 弾性波伝搬速度の測定は**附属書 B** による。
926 c) 複数の測定点の結果を比較し、著しく低い弾性波伝搬速度の測定値が存在する場合は該当箇所の再測
927 定などの確認を行う。その結果、弾性波伝搬速度の測定値がなおも著しく低下する箇所は、コンクリ
928 ート内部の変状が存在する箇所とする。ここでの変状位置は対向するコンクリート間に存在する。

929 **G.2.3 附属書 C (規定) 附属書 C “コンクリート部材厚さの試験方法” で規定された試験方法を利用した**
930 **コンクリート内部の変状の有無の試験手順**

931 **附属書 C** で規定された試験方法を利用したコンクリート内部の変状の有無の検出は以下の手順で実施
932 する。

- 933 a) 測定対象物の対向する平行なコンクリート表面において、複数の測定点を設定する。又は、コンクリ
934 ートの部材厚さが図面などで既知の場合は複数点でなくともよい。
935 b) コンクリート部材厚さの算定は**附属書 C** による。
936 c) 測定点の結果を比較し、周辺と異なる部材厚さの算定値又は既知の厚さより著しい違いが存在する場
937 合は該当箇所の再試験などの確認を行う。その結果、周辺と異なる部材厚さの算定値又は既知の厚さ
938 より著しい違いが再確認された箇所は、コンクリート内部の変状が存在する箇所とする。ここでの変
939 状位置は対向するコンクリート間に存在する。
940

NDIS 2426-2 : 202X

コンクリートの非破壊試験—弾性波法—

第 2 部 : 衝撃弾性波法

解 説

この解説は、本体及び附属書に規定・記載した事柄、並びにこれらに関連した事柄を説明するもので、規格の一部ではない。

この解説は、(一社)日本非破壊検査協会が編集・発行するものであり、この解説に関する問合せ先は、(一社)日本非破壊検査協会とする。

1 改正の趣旨

2014年にNDIS2426-2“コンクリートの非破壊試験—弾性波法—第2部：衝撃弾性波法”が改正された。この改正した規格は、規格本文、並びに**附属書 A**（規定）：伝搬時間差を利用した弾性波伝搬速度の測定、**附属書 B**（規定）：多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定、**附属書 C**（規定）：コンクリートの部材厚さの評価方法、**附属書 D**（参考）：新設コンクリート構造物におけるコンクリートの圧縮強度評価方法、**附属書 E**（参考）：ひび割れ深さの評価方法から構成されていた。この中で、**附属書 D**及び**附属書 E**については、その時点での使用実績が少ないことなどの理由で“参考”としていたが、2014年の改正以降に多くの実績が認められていることから、今回これらを“規定”とすることを主な目的として改正作業を行った。また、各附属書の位置付け及び役割をより明確にすることを目的として、今回新たに“この規格・附属書を適用した試験の例”の附属書を参考として加えることとし、各附属書が適切に利用可能となるよう全体の構成を整理した。また、文章の見直し及び用語などについて修正・統一を行った。

2 改正の経緯

今回の改正は、前回改正時に“参考”としていた新設コンクリート構造物におけるコンクリートの圧縮強度評価方法及びひび割れ深さ評価の試験について適用実績も増えたことから、これらを“規定”とすることを目的とした。あわせて、試験時の試験装置の設定が試験結果に影響を与えるため、それらを適切に設定することが可能な考え方を示すことが必要となりされていたことから、2019年にNDIS 2426-2改正原案作成委員会が設置され、2024年に改正された。

3 審議中に問題となった事項

今回の改正では、規格の全体構成及び参考から規定への変更の2点について、特に時間をかけて審議した。大きな改正点として、まず、この規格NDIS 2426-2:2024“コンクリートの非破壊試験—弾性波法—第2部：衝撃弾性波法”で示されている各附属書の試験概要及び測定原理の違いを理解しやすくするため、また各附属書を利用した変状の有無の試験方法として、**附属書 G**（参考）“附属書 A, B, C で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法”を新たに追加した。続いて、旧規格では参考の扱いであった“新設コンクリート構造物におけるコンクリートの圧縮強度評価方法”及び“ひび割れ深さの評価方法”につ

974 いて、審議・改正した。コンクリートの圧縮強度の試験方法、ひび割れ深さの試験方法については社会的
 975 ニーズは極めて高い。圧縮強度については国土交通省から“微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造
 976 物の強度測定要領”の通達もあり、また発注者への説明などにも有効になるなど、規定に変更すること
 977 に対して好意的な意見がほとんどであった。一方で、例えばひび割れ深さの試験方法では、十分な精度が得
 978 られるのかといった指摘もあった。これに対しては、色々な機関で既に多くの適用実績があり、おおむね
 979 一定の信頼性を得ており、実用に耐えうる精度もあることが確認されたので、**附属書 D**“構造体コンクリ
 980 ートの圧縮強度の推定方法”、**附属書 E**“受信点での時刻歴波形の初動に着目したひび割れ深さの試験方
 981 法”及び**附属書 F**“伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法”として、参考から規定に変更すること
 982 にした。

983 なお、その他の附属書についても、用語の定義を見直し、測定者が各附属書を確認すれば適切な測定・
 984 試験が可能となるように改正した。これらについては、後述の**箇条 6**“規定項目の内容”で詳細に説明す
 985 る。

986 **4 主な改正点**

987 主な改正点は、**解説表 1**のとおりである。

988

解説表 1—主な改正点

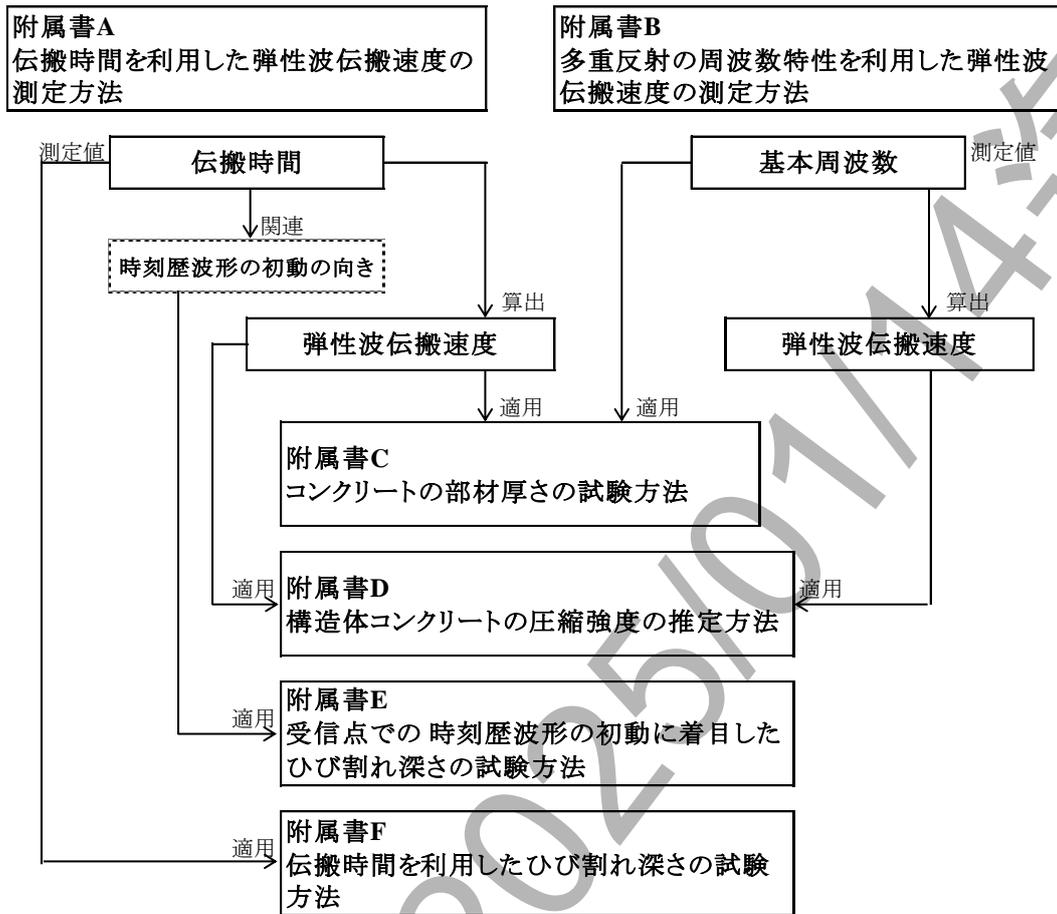
旧規格の箇条番号・項目名及び内容		この規格の箇条番号・項目名及び内容		改正の理由
規格の名称	コンクリートの非破壊試験—弾性波法—第2部:衝撃弾性波法	規格の名称	コンクリートの非破壊試験—弾性波法—第2部:衝撃弾性波法	変更なし
1 適用範囲	“コンクリートの圧縮強度及びひび割れ深さの評価”	1 適用範囲	“コンクリートの圧縮強度の試験及びコンクリートのひび割れ深さの試験”	試験方法であり、評価でないため
2 引用規格		2 引用規格		変更なし
3 用語及び定義		3 用語及び定義	“振動センサ”及び“受信器”についての表現を現状にあわせて修正	引用規格と整合させ、誤解のない表現へと修正
4 試験技術者	試験技術者の要件	4 試験技術者	試験技術者の要件	変更なし
5 試験装置	装置について入力装置、振動センサ、計測装置に分けて記載	5 試験装置	“試験装置は入力装置、振動センサ、AD変換器、制御装置から構成し(図1参照)、各試験で要求される精度及び、各測定での設定内容を満足するように構成する。”と修正	単体のAD変換器、増幅器とPCなどの制御機器とを組み合わせた装置への対応 弾性波の入力のタイミングを出力しない試験装置の構成例も提示
6 試験装置の校正及び点検	装置の校正及び点検について記載	6 試験装置の校正及び点検	装置の校正及び点検について記載	変更なし
7 測定の準備	測定対象のコンクリート表面の処理について記載	7 測定の準備	コンクリート表面の処理について、コンクリート表面が粗い場合及び緩んだ骨材の除去を追記	適切な処理が可能となるように具体例を提示
8 弾性波伝搬速度の測定方法	附属書 A “伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法”、 附属書 B “多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法”の2つを記載	8 弾性波伝搬速度の測定方法	“伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法”についての表現の一部を修正	“多重反射波”を“多重反射する弾性波”、“測定器に記録”を“制御装置に記録”、“時間波形”を“時刻歴波形”な

				どの表現に修正
9 コンクリートの部材厚さの評価方法	附属書 A の同一面で測定した弾性波伝搬速度及び附属書 B で算出した卓越周波数を、それぞれ用いてコンクリートの部材厚さを評価する。この試験方法については、附属書 C による。	9 コンクリートの部材厚さの試験方法	附属書 A の同一面で測定した弾性波伝搬速度及び附属書 B で算出した卓越周波数を用いてコンクリートの部材厚さを推定する。この試験方法については、附属書 C による。	旧規格で“部材厚さを試験する”としていた記述を“部材厚さを推定する”に改めたが、内容の変更はない。
10 新設コンクリート構造物におけるコンクリート圧縮強度評価方法	附属書 A の同一面で測定した弾性波伝搬速度に基づき、圧縮強度推定式を用いて構造体コンクリートの圧縮強度を評価する。この試験方法については、附属書 D を参考とする。	10 構造体コンクリートの圧縮強度の推定方法	附属書 A の同一面で測定した弾性波伝搬速度に基づき、圧縮強度推定式を用いて構造体コンクリートの圧縮強度を推定する。この試験方法については、附属書 D による。	旧規格で“圧縮強度評価式”及び“圧縮強度を試験する”としていた記述を、“圧縮強度推定式”及び“圧縮強度を推定する”に修正
11 ひび割れ深さの評価方法	伝搬時間差を利用した方法又は受信波形の立ち上がりに着目した評価方法を用いて、コンクリート表面から内部まで開口している単独のひび割れ深さを評価する。この方法については附属書 E を参考とする	11 時刻歴波形の初動に着目したひび割れ深さの試験方法	ひび割れ先端での回折波による時刻歴波形の初動に着目し、ひび割れ深さを推定する。この試験方法については、附属書 E による。	“評価”という表現を“推定”へと修正 附属書 E (参考) を分割し、附属書 F (規定) 及び附属書 G (規定) へと変更
		12 伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法	ひび割れ先端での回折波の伝搬時間を利用し、ひび割れ深さを推定する。この試験方法については、附属書 F による。	“評価”という表現を“推定”へと修正 附属書 E (参考) を分割し、附属書 F (規定) 及び附属書 G (規定) へと変更
		13 附属書 A, B, C で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法	附属書 A, B, C で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法を記載した。この試験方法については、附属書 G を参考とする。	各附属書に規定された方法を利用してコンクリート変状の有無の試験をどのように行うかを新たに附属書 G (参考) として記載
12 報告	報告内容を記す	14 報告	報告内容を記す	変更なし
附属書 A (規定)	伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法	附属書 A (規定)	伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法	文章の推敲と修正
附属書 B (規定)	多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法	附属書 B (規定)	多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法	文章の推敲と修正
附属書 C (規定)	コンクリート部材厚さの評価方法	附属書 C (規定)	コンクリート部材厚さの試験方法	試験方法の名称を“評価方法”を“試験方法”へと修正 “評価”という表現を“推定”へと修正
附属書 D (参考)	新設コンクリート構造物	附属書 D (規定)	構造体コンクリートにお	附属書 D が参考か

新設コンクリート構造物におけるコンクリート圧縮強度評価方法	におけるコンクリート圧縮強度評価方法	構造体コンクリートの圧縮強度の推定方法	けるコンクリート圧縮強度の推定方法	ら規定へと変更となり、名称を“評価方法”から“推定方法”へと修正
附属書 E (参考) ひび割れ深さの評価方法	ひび割れ深さの評価方法として、ひび割れ先端を回折した初動波形に着目した方法及び伝搬時間を利用した二つの方法を参考として併記	附属書 E (規定) 受信点での時刻歴波形の初動に着目したひび割れ深さの試験方法	時刻歴波形の初動に着目する試験方法だけの内容とした。	附属書 E を、 附属書 E と 附属書 F とに分割し、参考から規定へと変更
		附属書 F (規定) 伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法	ひび割れ先端の回折波の伝搬時間差を利用してひび割れ深さを推定する方法だけの内容とした。	附属書 E を、 附属書 E と 附属書 F とに分割し、参考から規定へと変更
		附属書 G (参考) 附属書 A, B, C で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法	各附属書で規定された方法を用いてコンクリート変状の有無の試験内容を記載した。	各附属書で規定された方法を利用してコンクリート変状の有無の試験をどのように行うかを新たに 附属書 G (参考) として記載

989 この規格の**附属書 A** から **F** の関係性を、**解説図 1** で示す。**附属書 C** “コンクリート部材厚さの評価方法” 及び**附属書 D** “構造体コンクリートの圧縮強度の推定方法” は**附属書 A** 及び **B** で算出した弾性波伝搬速度を用いて実施されている。また、**附属書 E** で規定された“受信点での時刻歴波形の初動に着目したひび割れ深さの試験方法”、**附属書 F** で規定された“伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法”では、**附属書 A** で測定された弾性波の到達時刻、関連する時刻歴波形の初動の形状を用いて実施されている。すなわち**附属書 A** 及び **B** では、測定値の取得方法、算出値の計算方法が示されており、これらの値を用いて試験を行う方法が**附属書 C**~**F** に記載されている。さらに**附属書 G (参考)** では、**附属書 A, B, C** で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法について記した。これは、健全部と変状とをもつ箇所における測定値の比較を行うものとなる。変状の有無、変状の程度を示す方法は、様々な方法が検討されており、今回は基本的な測定方法に準じた測定値の比較の概要及びその原理についての記載にとどめている。

990
991
992
993
994
995
996
997
998
999



解説図 1—附属書の関係性

1000 **5 適用範囲**

1001 **NDIS 2426**（コンクリートの非破壊試験—弾性波法—）は、次に示す 3 部から構成されている。

- 1002 — **NDIS 2426-1** 第 1 部：超音波法
- 1003 — **NDIS 2426-2** 第 2 部：衝撃弾性波法
- 1004 — **NDIS 2426-3** 第 3 部：打音法

1005 3 部構成とした理由は、次のとおりである。

1006 3 方法は後述のとおり弾性波の発信及び受信の違いによって分類している。3 方法とも、コンクリート中
 1007 における弾性波の伝搬特性をもとに材質及び変状の評価を行うための試験方法であるという点では、基本
 1008 的には同様のものである。しかしながら、実際の計測における弾性波の発信及び受信の具体的方法が異なる
 1009 ことから、適用範囲も異なる。

1010 3 方法の特徴から、適用可能な時期（対象）及び評価項目などは多少異なる（**解説表 2** 参照）。

1011 超音波法及び衝撃弾性波法は、ほぼ同じ測定目的をもつが、発信するエネルギー、周波数の違いなどから
 1012 対象範囲が多少異なる。例えば、厚い部材の厚さ測定は衝撃弾性波法のほうが測定しやすい。

1013 打音法は、受信が非接触のため、接触受信による衝撃弾性波法に比べて受信される弾性波のエネルギー
 1014 が小さくなり、コンクリート表層又は薄い部材への適用に限定される。

1015

1016

解説表 2—研究, 開発状況

対象	評価項目	超音波法	衝撃弾性波法	打音法	
施工	型枠充填性			○	
	凝結硬化過程	○			
新設	強度など、表層部の品質	○	○		
	部材厚さ	○	○	○	
	初期不良	充填不良部	○	○	○
		コールドジョイント	○	○	
		内部空隙	○	○	○
		グラウト未充填	○	○	
ひび割れ (乾燥収縮, 温度ひび割れ)	○	○			
既設	ひび割れ (荷重, 鋼材腐食に伴うひび割れなど)	○	○		
	材料劣化 (ぜい (脆) 弱化)	○	○	○	
	かぶりコンクリートの剥離	○	○	○	
	仕上げ材の剥離	○	○	○	

1017

1018 第 2 部 “衝撃弾性波法” の適用範囲は、**解説表 2** に示すように評価の対象として、コンクリート強度、
 1019 表層品質、部材厚さ、初期不良、ひび割れ深さなどの評価に広く適用可能であるが、その前提条件として、
 1020 衝撃弾性波の伝搬速度が正確に測定されている必要がある。そのため、この規格では、まず、**附属書 A** “伝
 1021 搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法” 及び**附属書 B** “多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝
 1022 搬速度の測定方法” の 2 種類を規定した。このうち、伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法は、
 1023 同一のコンクリート表面又は対面するコンクリート表面のいずれかで、2 個の振動センサがコンクリート
 1024 表面に設置することが可能な場合に適用し、多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法
 1025 は、厚さが既知の 1 組の平行な面をもつコンクリート部材で、幅・長さが厚さに対して十分に大きく、厚
 1026 さ方向のコンクリート表面間の多重反射波が正確に受信することが可能な場合に適用するとよい。ただし、
 1027 得られる弾性波伝搬速度は、弾性波が伝搬する経路の平均速度であるため、弾性波伝搬経路のコンクリー
 1028 トの品質によって測定結果が異なることに留意する必要がある。したがって、調査の目的に応じて、弾性
 1029 波伝搬速度の測定方法、振動センサ位置及び弾性波入力箇所を選定することが望ましい。また、衝撃弾性
 1030 波法による試験方法としては、**附属書 C** “コンクリートの部材厚さの試験方法” に加え、今回の改正で規
 1031 定に変更した**附属書 D** “構造体コンクリートの圧縮強度の推定方法”、**附属書 E** “受信点での時刻歴波形の
 1032 初動に着目したひび割れ深さの試験方法” 及び**附属書 F** “伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法”
 1033 を制定した。

1034 **6 規定項目の内容**

1035 **6.1 引用規格 (箇条 2)**

1036 旧規格からの修正・変更はない。

1037

1038 **6.2 用語及び定義（箇条 3）**

1039 各規定で用いる主な用語及び定義は、**JIS A 0203**、**JIS Z 2300** 及び **NDIS 3418** による。ほか、この規格で
1040 の用語は次による。

1041 **6.2.1 衝撃弾性波法**

1042 衝撃弾性波法は、物理的な衝撃で発生させた弾性波を構造体コンクリートの表面又は内部の振動として、
1043 振動センサによって検出する非破壊試験である。旧規格から簡潔かつ適正な記述で定義されており、今回
1044 の改正においても修正・変更はない。

1045 **6.2.2 構造体コンクリート**

1046 構造体コンクリートという用語は **JIS A 1163** “ボス供試体の作製方法及び圧縮強度試験方法” で定義さ
1047 れている。この規格はこれに基づきこの用語を採用し、同様に定義した。

1048 **6.2.3 多重反射**

1049 旧規格からの修正・変更はない。

1050 **6.2.4 入力装置**

1051 旧規格からの修正・変更はない。

1052 **6.2.5 振動センサ**

1053 旧規格では、“弾性波を接触又は非接触で検出する検出器の総称”と定義していたが、“弾性波による表
1054 面振動の変位、速度あるいは加速度を電気信号に変換する装置”と改めた。

1055 **6.2.6 受信器**

1056 旧規格では、AD 変換及び信号処理及び測定値、測定波形の表示機能をもつ装置を受信器と定義してい
1057 たが、近年は単体の AD 変換器、増幅器と PC などの制御機器とを組み合わせる例も多くなって
1058 いるため受信器の項は削除して、**箇条 5** に試験装置の構成を示すこととした。

1059 **6.3 試験技術者（箇条 4）**

1060 衝撃弾性波法によるコンクリートの非破壊試験に関する資格制度はないが、試験にあたっては、弾性波
1061 の特性及び使用機器の取り扱いについて熟知している者を試験技術者とする必要がある。参考資格として、
1062 （一社）日本非破壊検査協会が認証する非破壊試験技術者資格の超音波探傷（レベル 1、レベル 2 及びレ
1063 ベル 3）及び超音波厚さ測定（レベル 1）、（公社）日本コンクリート工学会が認証するコンクリート診断士
1064 などがある。

1065 **6.4 試験装置（箇条 5）**

1066 試験装置は、入力装置、振動センサ、AD 変換器、制御装置で構成される。旧規格では、AD 変換・信号
1067 処理と表示器とが一体になった装置を受信器としていたが、近年は単体の AD 変換器、増幅器と PC など
1068 の制御機器とを組み合わせる例も多くなっているため、それらを区別して **図 1** に示した。また、
1069 **図 1** によって、弾性波の入力のタイミングを出力しない場合の試験装置の構成例も示すようにした。

1070

1071 6.5 測定の準備 (箇条 7)

1072 旧規格では“7.1 測定箇所の選定”，“7.2 測定箇所の処理”の節を設けていたが，それらを削除して一
1073 文にまとめた。

1074 6.6 弾性波伝搬速度の測定方法 (箇条 8)

1075 6.6.1 伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法 (8.1)

1076 旧規格から記述を多少修正しているが，内容の変更はない。なお，測定方法については**附属書 A**を参照
1077 するように示している。

1078 6.6.2 多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法 (8.2)

1079 旧規格から記述を多少修正・削除しているが，内容の変更はない。“多重反射波”を“多重反射する弾性
1080 波”，“測定器に記録”を“制御装置に記録”，“時間波形”を“時刻歴波形”などの表現に改めている。な
1081 お，測定方法については**附属書 B**を参照するように示している。

1082 6.7 コンクリートの部材厚さの試験方法 (箇条 9)

1083 旧規格で“部材厚さを試験する”としていた記述を“部材厚さを推定する”に改めたが，内容の変更は
1084 ない。なお，試験方法については**附属書 C**を参照するように示している。

1085 6.8 構造体コンクリートの圧縮強度の推定方法 (箇条 10)

1086 旧規格で“圧縮強度評価式”及び“圧縮強度を試験する”としていた記述を，“圧縮強度推定式”及び“圧
1087 縮強度を推定する”に改めたが，内容の変更はない。なお，試験方法については**附属書 D**を参照するよう
1088 に示している。

1089 6.9 受信点での時刻歴波形の初動に着目したひび割れ深さの試験方法 (箇条 11)

1090 旧規格では，“ひび割れ深さの試験方法”として伝搬時間差を利用した試験方法及び時刻歴波形の初動に
1091 着目した試験方法を併記していたが，両者を**箇条 11**と**箇条 12**とに分けて規定した。**箇条 11**は，“受信点
1092 での時刻歴波形の初動に着目したひび割れ深さの試験方法”の表題として時刻歴波形の初動に着目する試
1093 験方法だけの内容とした。また参照する附属書は，**附属書 E**とした。

1094 6.10 伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法 (箇条 12)

1095 上記の改正に伴い新たに設けた章で，ひび割れ先端の回折波の伝搬時間差を利用してひび割れ深さを推
1096 定する方法について規定した。なお，参照する附属書は，新たに規定された**附属書 F**とした。

1097 6.11 附属書 A, B, C で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法 (箇条 13)

1098 この規格の適用例として，**附属書 A**，**附属書 B**，及び，**附属書 C**を利用してコンクリート変状の有無の
1099 試験する方法について示した。なお，参照する附属書は，新たに設けた**附属書 G**とした。

1100 6.12 報告 (箇条 14)

1101 報告事項については，各附属書に記載の様式を参考にして，関係者で協議の上必要な事項を選定すると
1102 ともに，測定の内容，報告事項などを考慮し適宜修正して用いることが望ましい。参考として報告に用い
1103 る様式例への記入の一例を，それぞれの解説表に示す。

1104 6.13 附属書 A (規定) 伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法

1105 6.13.1 基本的な考え方

1106 附属書 A で規定する弾性波伝搬速度の測定方法は、コンクリート表面において、打撃などの衝撃力によ
1107 って励起された弾性波が最短経路で最も速く振動センサ間を通過する時の平均速度を求めるものである。
1108 この方法によって、一般的にはコンクリート中を伝わる弾性波の P 波速度を測定することが可能であるが、
1109 次のような点に留意する必要がある。

1110 同一面による測定 (図 A.1 a) 参照) では、コンクリート表面で測定するため、コンクリート表層部と内
1111 部との条件の違いによって測定結果に影響を及ぼす可能性がある。例えば、表面と内部との見掛けの密度
1112 の相違、弾性波伝搬時の境界条件の相違、乾燥又は、劣化の進行などによって、同一面で測定した弾性波
1113 伝搬速度はコンクリート内部での弾性波伝搬速度と異なる場合がある。また、部材形状による影響として、
1114 部材が細長い場合には棒状体の P 波速度となり、部材厚さが入力弾性波の波長と比較して相対的に小さい
1115 部材になると、たわみ振動の影響を考慮した測定が必要となる。

1116 6.13.2 試験装置

1117 6.13.2.1 入力装置

1118 弾性波を入力するための装置には、鋼球、ハンマなどによる機械的な方法、又は励磁コイルなどによる
1119 磁気的な方法などがある。

1120 入力する弾性波の波長は、鋼球、ハンマなどの機械的な方法では、入力装置の打撃部の質量によって変
1121 化させることが可能である。入力装置の質量が小さくなると入力する弾性波の波長は短くなり、入力装置
1122 の質量が大きくなると入力する弾性波の波長は長くなる。一方、磁気的な方法では、励磁コイルの仕様、
1123 印加する電圧などによって入力する弾性波の波長を変化させることが可能である。

1124 6.13.2.2 振動センサ

1125 振動センサは、入力装置によって入力された弾性波の初動を検出するのに十分な感度及び分解能をもち、
1126 その周波数応答特性は、使用する周波数の範囲内で平坦 (坦) であることが必要である。一般的に、コ
1127 ンクリート表面での衝撃によって励起された弾性波の立上り部の周波数は、接触時間にもよるが、3 kHz ~
1128 10 kHz 程度である。このため、より低周波数領域の感度を低下させることによって、測定現場で発生する
1129 比較的 low 周波数の振動をノイズとして除外することも可能である。通常、接触型振動センサとしては、小
1130 型・軽量の圧電型加速度センサが用いられており、非接触型振動センサとしてはレーザドップラ式振動計
1131 などがある。

1132 弾性波の伝搬時間の測定は 2 点における弾性波の到達時刻の測定であるため、増幅器を含めた振動セン
1133 サ系の位相特性が重要である。2 個の振動センサ系の位相特性は、使用する周波数の範囲内において同一
1134 で、相対的な位相差がないものが望ましい。

1135 6.13.2.3 AD 変換器及び制御装置

1136 AD 変換器及び制御装置は、振動センサが受信した弾性波の時刻歴波形を AD 変換して表示するととも
1137 に、そのデータを記録し、弾性波の到達時刻の算定、伝搬速度の算出などの処理を行う装置である。

1138 装置の電圧範囲は、受信する弾性波の大きさに応じてアンプの増幅率を適切に設定する必要がある。ト
1139 リガ及び測定時間長の設定は、弾性波の到達時刻を精度良く計測するために非常に重要であり、トリガレ

1140 ベル前後の時刻歴波形を十分に長く記録する必要がある。

1141 6.13.3 測定の準備

1142 弾性波の入力点及び振動の測定点は比較的平坦（坦）な部分を選定し、振動センサの接触、衝撃力の
1143 入力などに対して支障となるゴミ、ほこり、余分な水分などは除去する。特に弾性波の入力点は、安定し
1144 た衝撃を入力するために、型枠面程度の平坦（坦）な面であることが望ましい。

1145 6.13.4 測定方法

1146 6.13.4.1 試験装置の設定

1147 試験装置の設定に関する解説は次による。

1148 a) **試験装置の動作の確認及び調整について** 測定前の点検として、入力装置によって入力された弾性波
1149 を振動センサが正常に受信して計測装置に時刻歴波形を表示できることを確認する。同時に、計測に
1150 影響を及ぼす周辺振動の有無を確認し、影響を受ける場合は対策を講ずる。また、振動センサ及び計
1151 測装置の調整方法として、鋼材などのように弾性波の伝搬速度が一定の材料で作製された対比試験片
1152 を用いて、その計測値を確認するとよい。

1153 b) **弾性波の入力点及び振動の測定点の設定箇所について** 測定する2個の振動センサ間にひび割れ、充
1154 填不良部などの変状部があると、弾性波はそれらを迂回して伝搬することなどによって、測定される
1155 伝搬速度は遅くなる。健全なコンクリートの弾性波伝搬速度を測定する場合は、それらを避けて振動
1156 センサを設置する。一方、測定される伝搬速度の低下の程度から変状部を評価する場合には、それら
1157 の変状部を避けずに計測を実施する。その際は、測定結果の取扱いに注意が必要である。また、鉄筋
1158 が測定位置の近傍にある場合は、鉄筋を一部通過した弾性波が最短経路を通過した弾性波よりも先に
1159 振動センサに到達することがあり、見掛け上、伝搬速度が速くなる可能性がある。このように、鉄筋
1160 による影響が予想される場合は、2個の振動センサの設置点を結ぶ直線が鉄筋に対して斜め（45°）
1161 になるように振動センサを配置する（図 A.1 a）参照）。

1162 なお、同一面で測定した弾性波伝搬速度は、コンクリート表層部と内部との条件の違いによってコ
1163 ンクリート内部での弾性波伝搬速度と異なる場合がある。例えば、既設構造物などでは、表面と内部
1164 との見掛けの密度の相違、波動伝搬時の境界条件の相違、乾燥又は劣化の進行などによって、同一面
1165 で測定した弾性波伝搬速度はコンクリート内部での弾性波伝搬速度と異なる場合がある。

1166 c) **試験装置の電圧範囲及びトリガの設定について** 衝撃によって励起された弾性波の到達時刻を精度
1167 良く計測するためには、波動が立ち上がる前の無信号部分の時刻歴波形を適切な増幅度、トリガレベ
1168 ル及び継続時間で計測することが重要である。

1169 d) **測定される弾性波伝搬速度の分解能を考慮した弾性波の入力点及び振動の測定点を設定、及び試験装
1170 置のサンプリング時間間隔の設定について** この試験で A.6 によって算出する弾性波伝搬速度の分解
1171 能は、A.5.1 で設定する弾性波の入力点及び振動の測定点から決定される伝搬距離の差、及び試験装置
1172 のサンプリング時間間隔によって変化する。したがって、弾性波の入力点及び振動の測定点、及び試
1173 験装置のサンプリング時間間隔は算出する弾性波伝搬速度の分解能を考慮して設定すべきである。こ
1174 こで、弾性波伝搬速度の分解能 10 m/s、20 m/s、40 m/s を満足するサンプリング時間間隔及び伝搬距離
1175 の差の例を解説表 3 に示す。なお、解説表 3 は解説式(解.1)によって算出したものである。

1176

1177

1178

1179 解説表 3—弾性波伝搬速度の分解能を満足する試験装置のサンプリング時間間隔と伝搬距離との差の例^{a)}

サンプリング 時間間隔	伝搬距離の差		
	弾性波伝搬速度の分解能 が 10 m/s の場合	弾性波伝搬速度の分解能 が 20 m/s の場合	弾性波伝搬速度の分解能 が 40 m/s の場合
0.50 μs	802 mm 以上	402 mm 以上	202 mm 以上
1.00 μs	1 604 mm 以上	804 mm 以上	404 mm 以上
2.00 μs	3 208 mm 以上	1 608 mm 以上	808 mm 以上
5.00 μs	8 020 mm 以上	4 020 mm 以上	2 020 mm 以上

1180 注^{a)} 想定される弾性波伝搬速度を 4 000 m/s として計算。

1181
$$\Delta L = L_2 - L_1 \geq \frac{V_{PD} \cdot (V_{PD} + \square V)}{\square V} \cdot \Delta T \dots\dots\dots (解.1)$$

1182 ここで、 ΔL : 伝搬距離の差 (m)

1183 L_1 : 弾性波の入力点から振動の測定点 1 までの距離 (m)

1184 ただし、弾性波の入力のタイミングを出力できる入力装置を使用する場合は、
1185 0 m となる。

1186 L_2 : 弾性波の入力点から振動の測定点 2 までの距離 (m)

1187 V_{PD} : 想定される弾性波伝搬速度 (m/s)

1188 ただし、想定が困難な場合は 4 000 m/s としてよい。

1189 ΔV : 解説式(解.2)で示される弾性波伝搬速度の分解能 (m/s)

1190 ΔT : 試験装置のサンプリング時間間隔 (s)

1191
$$\square V = \frac{\Delta L}{(\Delta L / V_{PD}) - \Delta T} \dots\dots\dots (解.2)$$

1192 **6.13.4.2 入力点から測定点までの距離測定**

1193 弾性波の入力点と振動の測定点との位置関係が **図 A.1** に示されている。振動センサを 2 個使用した場合
1194 の弾性波の入力点及び振動の測定点の配置は、2 個の振動センサへの弾性波の到達時刻を計測するもの
1195 である。他方、振動センサ付きの入力装置及び 1 個の振動センサを使用する場合は、入力装置に付けられた
1196 振動センサによって弾性波が入力された時刻を計測し、コンクリート表面に設置された振動センサによ
1197 って弾性波が受信位置に到達した時刻を計測するものである。さらに、**図 A.1 a)** 測定点の同一面配置は、同
1198 一表面に弾性波の入力点及び振動の測定点を配置することによって、表面付近の最短経路を通過した弾性
1199 波を計測するのに対し、**図 A.1 b)** 測定点の対面配置は、対面する平行面に弾性波の入力点及び振動の測定
1200 点を配置することによって、一方の面から弾性波を入力し、コンクリート部材内を透過して対向する面に
1201 到達した弾性波の到達時刻を計測するものである。

1202 距離の測定は、弾性波の入力点及び振動の測定点が同一面に配置されている場合は、それぞれのコンク
1203 リート接触面の中心間で行う。

1204 **6.13.4.3 弾性波の入力及び伝搬時間差の測定**

1205 弾性波の入力及び伝搬時間差の測定に関する解説は、次による。

1206 a) 入力装置によって安定した衝撃力が入力されているか、また、弾性波の入力点と振動の測定点との関

1207 係が適切であるかを確認することが重要である。何回かの試行によって、計測された時刻歴波形又は
1208 算出された弾性波伝搬速度の再現性を確認し、適切な計測であると判断される場合に記録する。

1209 **b)** 弾性波の到達時刻は、立上り時刻を特定することによって求められる。その方法として、読み取りに
1210 よる人為的判断及びルールに基づく自動的判断による方法が用いられている。人為的判断には、ディスプレイ上に表示された時刻歴波形の立上り点に手動でカーソルを合わせる方法がある。自動的判断
1211 には、しきい値法があるが、波形に低周波数の雑音振動成分が含まれると誤った立上りをとらえる可
1212 能性があるため、取り扱いに注意が必要である。その他の方法として、時刻歴波形の初動の波形の接
1213 線勾配（波形勾配と呼ぶ）とその半波長内の最大の波形勾配との比が所定の値に達した時刻を弾性波
1214 の到達時刻と見なす波形勾配比法、時刻歴波形の赤池の情報量基準（AIC）値、時刻歴波形の位相値の
1215 変化に着目して、弾性波の到達時刻を特定する方法などの有効性が検討されている。

1217 **c)** 振動センサとコンクリートとの接触状態が悪い場合及び弾性波の入力点のコンクリート表面がぜい
1218 （脆）弱又は粗い場合は、波形の立上りが安定せず、再現性が乏しくなる場合がある。

1219 6.13.5 計算

1220 計算された弾性波伝搬速度（m/s）を3桁にまとめると規定したが、測定の対象によっては有効数字3桁
1221 では分解能及び精度の面から不十分な場合がある。このような場合は、A.5.1の規定内容に従い、得られる
1222 弾性波伝搬速度の分解能を向上させることが望まれる（6.13.4.1を参照されたい。）。

1223 6.13.6 報告

1224 参考として報告に用いる様式例への記入の一例を、解説表4に示す。
1225

解説表 4—報告に用いる様式例（伝搬時間差を利用した弾性波伝搬速度の測定用）

試験年月日		2024年 4月 3日 水曜日		測定時刻	13:00~14:00	
試験場所		東京都江東区				
天候・気温など		天候： 晴れ 気温： 20.0℃				
試験技術者		氏名： 衝撃 花子		所属：株式会社○×		
		保有資格1)	資格名称・認証番号： (一社)△△協会講習会修了・2019-003			
		保有資格2)	資格名称・認証番号：			
		保有資格3)	資格名称・認証番号：			
試験装置	入力装置	種類： 衝撃加速度計付きハンマ	材質： 鋼製	質量（直径）： 20 g		
		種類：	材質：	質量（直径）：		
	振動センサ	製造会社： □□社製	形式： 123A45	製造番号： A-12345		
		周波数範囲(±10%)： 0.3~12000Hz				
	AD変換器	製造会社： □△社製	形式： 67B89			
		製造番号： B-123456				
測定パラメータ		サンプリング時間間隔： 0.1 μ秒				
		測定時間長： 2.0m秒				
試験装置の点検状況		前回点検年月日： 2024年4月1日	点検者： 衝撃 花子			
		点検内容： 対比試験片（鋼棒）を用いた弾性波速度の測定				
対象物		名称： ●◇工事P10橋脚	竣工年月日： 2024年6月			
		構造： 桁橋（下部工柱部）				
測定箇所 及び 測定結果	弾性波の入力点 及び 振動の測定点の 配置状況 (図示)					
	表面状況 (平滑さ、変状の有無及 びその他特記事項)	新設構造物、変状無し				
	測定箇所名称	1	2	3		
	弾性波の入力点から振動 の測定点1までの距離	0	0	0		
	弾性波の入力点から振動 の測定点2までの距離	500	700	1000		
	伝搬距離の差	500	700	1000		
	測定から求めた 弾性波の伝搬時間	0.125ms	0.176ms	0.252		
	測定した 弾性波伝搬速度	4000m/s	3977m/s	3937m/s		
その他						

1226 6.14 附属書 B (規定) 多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定方法

1227 6.14.1 基本的な考え方

1228 この方法によって測定される基本周波数は、弾性波の多重反射による周波数であり、弾性波が入力面及
 1229 び反射境界面間の 1 往復に要する時間の逆数となる。したがって、弾性波の伝搬距離が既知の場合に弾性
 1230 波伝搬速度を算出することが可能となる。この方法の適用限界は、次に示すとおりである。

- 1231 a) コンクリート部材が大きくなると、弾性波の減衰によって基本周波数を精度良く測定することが困難
 1232 になる場合がある。これまでの実績では、厚さ 2 500 mm 程度までが限界とされている。一方、コンク
 1233 リート部材が小さい場合では、基本周波数は高域となり、振動センサの測定周波数範囲を超える可能
 1234 性がある。また、弾性波の 1 往復する時間が短くなることから、基本周波数を精度良く測定するには、
 1235 サンプル時間間隔を短く設定する必要がある。具体的な例として、部材厚さ 100 mm からの多重
 1236 反射による基本周波数は 20 kHz、1 往復する時間は 50 μs となり、サンプル時間間隔は B.5 によ
 1237 って 10 μs 以下とすることが規定されている。したがって、適用可能な部材厚さの下限值は、使用す
 1238 る計測装置の性能に依存することになる。
- 1239 b) この測定では、弾性波の厚さ方向の多重反射を利用しているが、弾性波は部材厚さ方向以外に幅・長
 1240 さ方向に対しても多重反射する。したがって、部材の幅・長さが厚さに対して十分に大きくないと、
 1241 幅・長さ方向で多重反射する弾性波が卓越して観測され、正確な基本周波数を測定することが困難と
 1242 なる。ASTM-C1383-04 では、測定対象となるコンクリート部材は、厚さに対して幅・長さが 6 倍以上
 1243 であるものと定義している。

1244 6.14.2 試験装置

1245 6.14.2.1 入力装置

1246 弾性波の多重反射による周波数の測定では、入力される弾性波の周波数によって周波数解析結果も影響
 1247 を受ける場合がある。したがって、測定に際しては、入力装置は上限周波数が測定対象のコンクリートの
 1248 基本周波数よりも高くなる装置を使用する必要がある。測定対象のコンクリートの部材厚さと基本周波数
 1249 との関係の一例を表 B.1 に、各入力装置の条件と上限周波数との関係の一例を表 B.2 に示した。

1250 表 B.2 は入力装置として鋼球を使用した場合について、鋼球の接触時間 T_c (s) を解説式(解.3)で概算し、
 1251 鋼球の接触時間の逆数に係数(ここでは 1.25 としている)を乗じた近似式によって、入力される弾性波の
 1252 上限周波数の目安を算出した結果に基づくものである^[1]。この算出結果を解説表 5 に示す。ただし、解説
 1253 表 5 の算出結果は、コンクリート表面の弾性係数又は弾性波伝搬速度によって変化することに留意する必
 1254 要がある。また、特に部材厚さの大きいコンクリートでは、周波数解析方法を工夫することによって、表
 1255 B.1 に示す入力装置よりも直径の小さい入力装置によって基本周波数を測定することが可能となる。厚さ
 1256 1 600 mm の基本周波数を直径 76 mm の鋼球を入力装置に用いて測定した周波数解析方法の例を 6.14.4.3 に
 1257 示す。さらに、厚さ 2 400 mm の基本周波数を直径 76 mm の鋼球を入力装置に用いて測定した結果も報告
 1258 されている^[2]。

1259
$$T_c = A \left\{ M_s \left(\frac{1 - v_s^2}{E_s} + \frac{1 - v_c^2}{E_c} \right) \right\}^{\frac{2}{5}} \left(\frac{1}{R_s V} \right)^{\frac{1}{5}} \doteq 0.0043 D_s \dots\dots\dots (解.3)$$

- 1260 ここで、 T_c : 接触時間 (s)
- 1261 A : 定数
- 1262 M_s : 鋼球の質量 (kg)

- 1263 v_s : 鋼球のポアソン比
- 1264 E_s : 鋼球の弾性係数 (N/m²)
- 1265 v_c : コンクリートのポアソン比
- 1266 E_c : コンクリートの弾性係数 (N/m²)
- 1267 R_s : 鋼球の半径 (m)
- 1268 V : 鋼球がコンクリートに接触する時の速度 (m/s)
- 1269 D_s : 鋼球の直径(m)

解説表 5—各入力装置で入力される弾性波の周波数及び測定可能な周波数の範囲

入力装置 (鋼球の場合)			
質量 (g)	直径 (mm)	式(1)による接触時間 ^{a)} (μs)	入力される弾性波の上限周波数の目安 ^{b)} (kHz)
4	10	43.0	29.1
14	15	64.5	19.4
33	20	86.0	14.5
110	30	129.0	9.7
262	40	172.0	7.3
1 730	75	322.5	3.9
12 501	145	623.5	2.0

注^{a)} 既往の研究に基づく概算値^[1]
^{b)} 既往の研究に基づき式(1)による接触時間の逆数に係数 (ここでは 1.25) を乗じた近似式によって求めた

1272 **表 B.1** 及び**表 B.2** による入力装置が特定されない場合は、入力される弾性波の周波数が異なる複数の入
 1273 力装置を使用すること、さらに、この場合には、測定対象のコンクリートの基本周波数を測定できる入力
 1274 装置が含まれるように選定することが望ましい。

1275 **6.14.2.2 振動センサ**

1276 振動センサは、使用する周波数の範囲内において感度特性が平坦 (坦) なものとする。なお、使用す
 1277 る周波数 f (Hz) の範囲は、コンクリートの弾性波伝搬速度が約 3 000 m/s~5 000 m/s の範囲にあることか
 1278 ら解説式(解.4)によって算出が可能である。

1279 $f = V/(2L)$ (解.4)

1280 ここで、 L : 弾性波の多重反射面間距離(m)

1281 V : 弾性波伝搬速度(m/s)

1282 **6.14.2.3 AD 変換器及び制御装置**

1283 AD 変換器及び制御装置は、振動センサによって測定した振動を時刻歴波形として受信・表示・記録で
 1284 き、サンプリング時間間隔、サンプリング数、測定時間長、電圧範囲、トリガなどを、**6.14.4.1 c)**に示すと
 1285 おり、適切に設定できるものとする。

1286

1287

1288 6.14.3 測定の準備

1289 弾性波の入力点及び振動の測定点は比較的平たん（坦）な部分を選定し、振動センサの接触、衝撃力の
 1290 入力などに対して支障となるゴミ、ほこり、余分な水分などは除去する。特に弾性波の入力点は、安定し
 1291 た衝撃を入力するために、型枠面程度の平たん（坦）な面であることが望ましい。ただし、表面劣化又は
 1292 損傷を評価する際には、表面処理を行わずに計測を実施する場合がある。その際は、測定結果の取扱いに
 1293 注意が必要である。

1294 6.14.4 測定方法

1295 6.14.4.1 試験装置の設定

1296 試験装置の設定に関する解説は、次による。

- 1297 a) **試験装置の動作の確認及び調整について** 測定前の点検として、入力装置によって入力された弾性波
 1298 を振動センサが正常に受信して計測装置に時間領域の波形が表示されることを確認する。同時に、計
 1299 測に影響を及ぼす周辺振動の有無を確認し、影響を受ける場合は対策を講ずる。また、振動センサ及
 1300 び計測装置の調整方法として、鋼材などのように弾性波の伝搬速度が一定の材料で作製された対比試
 1301 験片を用いて、その計測値を確認するとよい。
- 1302 b) **弾性波の入力点及び振動の測定点の設定について** コンクリート表面に振動センサを設置し、弾性波
 1303 の入力点を決定する。弾性波の入力点と振動の測定点との間隔は、多重反射する弾性波の伝搬距離の
 1304 0.4 倍以下とすることが望ましい。測定位置近傍のコンクリート内部に空洞などの変状が存在すると、
 1305 弾性波は空洞位置で反射することから弾性波の往復時間の短縮、弾性係数の低下などによって弾性波
 1306 の往復時間が長くなることから、測定される伝搬速度は変化する。健全なコンクリートの弾性波伝搬
 1307 速度を測定する場合は、それらを避けて振動センサを設置する。一方、測定される伝搬速度の変化の
 1308 程度から変状部を評価する場合には、それらの変状部を避けずに計測を実施する。その際は、測定結
 1309 果の取扱いに注意が必要である。
- 1310 c) **試験装置のサンプリング時間間隔及びサンプリング数などの設定について** 基本周波数を精度よく
 1311 計測するために、計測装置のサンプリング時間間隔、サンプリング数、測定時間長、電圧範囲、トリ
 1312 ガなどを適切に設定する必要がある。**B.5.1c)**ではサンプリング時間間隔を弾性波の1往復中に5個以
 1313 上のデータのサンプリングが可能となるように、**B.5.1e)**では測定時間長を弾性波が4往復以上するデ
 1314 ータの計測が可能となるように設定することを規定した。

1315 6.14.4.2 入力面から対向する面までの距離の測定

1316 多重反射する弾性波の多重反射面間距離は、弾性波の入力点と振動の測定点との中間位置において測定
 1317 し、弾性波の入力面から対向する面までの距離（1往復伝搬距離の半分の長さ）とする。

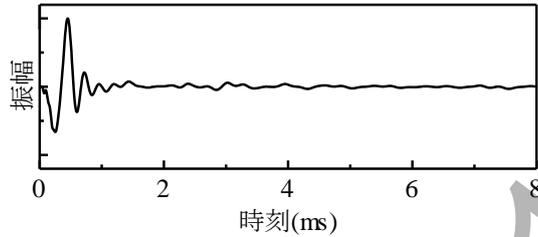
1318 6.14.4.3 弾性波の入力及び基本周波数の決定

1319 弾性波の入力及び基本周波数の決定に関する解説は、次による。

- 1320 a) **周波数解析方法について** 部材厚さの大きいコンクリートでは、**表 B.2** に示す入力装置を実際に適用
 1321 することが困難な場合も考えられる。周波数解析方法を工夫することによって、**表 B.2** に示す入力装
 1322 置よりも直径の小さい入力装置によって基本周波数を測定することが可能となる。具体的な周波数解
 1323 析方法としては、最大エントロピー法又は相互相関法²⁾によって相関関数を求め、相関関数に対して
 1324 フーリエ変換（高速フーリエ変換を含む。）を行う方法、入力した弾性波が継続している時間帯である
 1325 測定波形の初期部分を除去してフーリエ変換を行う方法（以下、初期波形除去法という。）などがある。

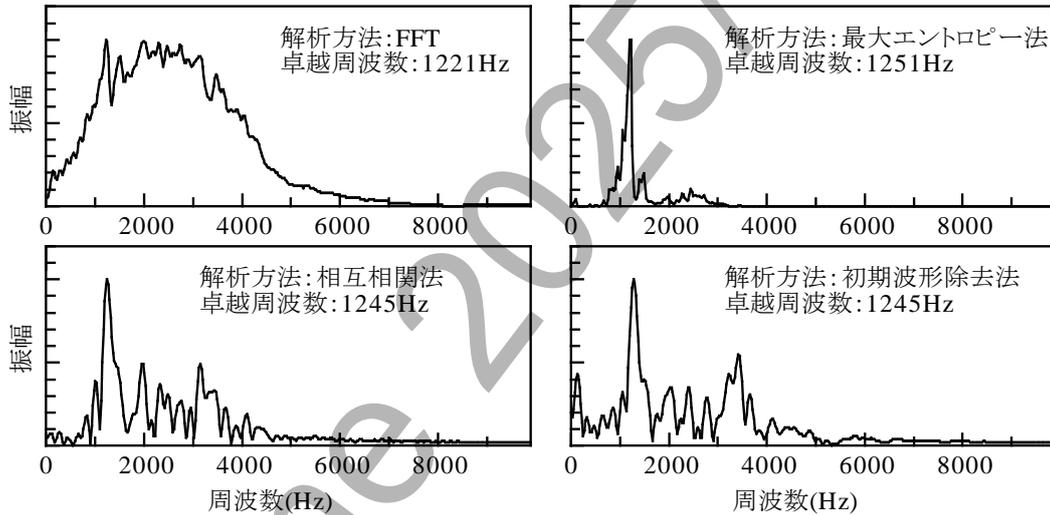
1326 この例として、設計厚さが1600 mmの橋脚で直径76 mmの鋼球を入力装置に用いて測定された時刻歴

1327 波形（速度波形）を**解説図 2**に、各周波数解析方法での周波数スペクトルを**解説図 3**に示す。図によ
 1328 れば、フーリエ変換では、卓越周波数は1 200 Hz 付近にあり、厚さ1 600 mm のコンクリートでの基
 1329 本周波数と一致するが、入力される弾性波の周波数に相当する3 000 Hz 付近の振幅も大きくなってい
 1330 る。これに対して、最大エントロピー法、相互相関法及び初期波形除去法では、卓越周波数から厚さ
 1331 1 600 mm の基本周波数が明瞭に測定されているのがわかる。
 1332



解説図 2—時刻歴波形（速度波形）

1333



解説図 3—各周波数解析方法によって得られた周波数スペクトル

1334

1335 **b) 周波数スペクトルでの周波数の分解能の設定について** 測定される弾性波伝搬速度の分解能は、弾性
 1336 波伝搬速度の有効桁数を考慮すると1%以下とすることが望ましい。この条件を満足する周波数スペ
 1337 クトルにおける**周波数**の分解能を、測定対象のコンクリートの部材厚さごとに**解説表 6**に示す。なお、
 1338 **解説表 6**は解説式(解.5)によって算出したものである。

1339

1340

1341

1342

1343

1344

1345

1346

解説表 6—測定される弾性波速度の分解能が 1 %以下となる周波数の分解能の条件 ^{a)}

測定対象のコンクリートの部材厚さ	設定する周波数の分解能
100 mm	200.0 Hz 以下
150 mm	133.3 Hz 以下
200 mm	100.0 Hz 以下
300 mm	66.7 Hz 以下
450 mm	44.4 Hz 以下
700 mm	28.6 Hz 以下
1 250 mm	16.0 Hz 以下
2 000 mm	10.0 Hz 以上

1347

注 ^{a)} 想定される弾性波伝搬速度を 4 000 m/s として計算。

1348

$$\Delta f = \frac{0.01 \cdot V_{PD}}{2 \cdot D} \dots\dots\dots (解.5)$$

1349
1350 ここで、 Δf : 周波数スペクトルでの周波数の分解能(Hz)

1351 V_{PD} : 想定される弾性波伝搬速度 (m/s)

1352 ただし、想定が困難な場合は 4 000 m/s としてよい。

1353 D : 試験対象のコンクリートの部材厚さ (m)

1354

1355 周波数スペクトルにおける周波数の分解能は、周波数解析方法を高速フーリエ変換とした場合には、
1356 サンプル数とサンプル時間間隔との積から決定される。この高速フーリエ変換とは異なり、
1357 周波数スペクトルにおける周波数の分解能を任意に設定することが可能となる周波数解析方法も提案
1358 されている^[3]。

1359 **c) 測定された卓越周波数について** 測定位置内部に空洞、剥離、充填不良部などの変状部がある場合は、
1360 これらの影響が含まれた基本周波数が卓越周波数となることに注意する必要がある。また、入力され
1361 る弾性波の周波数が異なる複数の入力装置を選定した場合には、各入力装置での周波数スペクトルを
1362 求め、共通して卓越周波数となる周波数を基本周波数であると判断する。

1363 **6.14.5 計算**

1364 多重反射の周波数特性を利用して測定した弾性波伝搬速度は、弾性波が多重反射する距離間での平均速
1365 度と定義する。測定した基本周波数は、弾性波が多重反射する距離を 1 往復する時間の逆数であることか
1366 ら、式(B.3)から、弾性波伝搬速度の算出が可能である。

1367 **6.14.6 報告**

1368 参考として報告に用いる様式例への記入の一例を、**解説表 7** に示す。

1369

解説表 7—報告に用いる様式例（多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定用）

試験年月日		2024年 4月 3日 水曜日		測定時刻	15:00~17:00	
試験場所		東京都江東区				
天候・気温など		天 候： 晴れ 気 温： 20.0℃				
試験技術者		氏名： 衝撃 花子		所属： 株式会社〇×		
		保有資格1)	資格名称・認証番号： (一社)△△協会講習会修了・2019-003			
		保有資格2)	資格名称・認証番号：			
		保有資格3)	資格名称・認証番号：			
試験装置	入力装置	種類： 鋼球	材質： 鋼	質量（直径）： 14g(φ15mm)		
		種類： 鋼球	材質： 鋼	質量（直径）： 33g(φ20mm)		
	振動センサ	製造会社： □□社製	形式： 123A45	製造番号： A-12345		
		周波数範囲(±10%)： 0.3~12000Hz				
	AD変換器	製造会社： □△社製	形式： 67B89			
		製造番号： B-123456				
測定パラメータ		サンプリング時間間隔： 10 μs				
		測定時間長： 10ms				
試験装置の点検状況		前回点検年月日： 2024年4月1日		点検者： 衝撃 花子		
		点検内容： 対比試験片（鋼棒）を用いた弾性波速度の測定				
対象物		名称： ●◇ビル新築工事		竣工年月日： 2023年3月		
		構造： ラーメン構造 壁部				
測定箇所 及び 測定結果	弾性波の入力点 及び 振動の測定点の 配置状況 (図示)					
	表面状況 (平滑さ、変状の有無及 びその他特記事項)	パイプシャフト内の打放し面、変状無し				
	測定箇所名称	1 (2F)	2 (5F)	3 (10F)		
	測定対象の コンクリートの部材厚さ	250	200	180		
	測定した基本周波数	8160Hz	10125Hz	10972Hz		
	測定した 弾性波伝搬速度	4080m/s	4050m/s	3950m/s		
その他						

1370 6.15 附属書 C (規定) コンクリート部材厚さの試験方法

1371 6.15.1 適用範囲

1372 附属書 C は、弾性波伝搬速度及び基本周波数の測定結果からコンクリートの部材厚さを評価する方法に
1373 ついて規定したものである。弾性波伝搬速度は、コンクリート表面での伝搬時間差から測定するため、コ
1374 ンクリート表層部と内部との条件の違いによって測定結果が影響される可能性がある。例えば、表面と内
1375 部との見掛けの密度の相違、弾性波伝搬時の境界条件の相違、乾燥又は、劣化の進行などによって、コ
1376 ンクリート表面での伝搬時間の差から測定した弾性波伝搬速度はコンクリート内部での弾性波伝搬速度と異
1377 なる場合がある。このようなコンクリートでは、これらの影響が含まれた評価結果が得られることに注意
1378 する必要がある。また、コンクリートの部材厚さの測定位置内部に空洞、剥離、充填不良部などの変状部
1379 がある場合は、これらの影響が含まれた評価結果が得られることに注意する必要がある。

1380 6.15.2 試験装置

1381 6.15.2.1 入力装置

1382 弾性波伝搬速度の測定での入力装置については、6.13.2.1、基本周波数の測定に用いる入力装置について
1383 は、6.14.2.1 を参照されたい。

1384 6.15.2.2 振動センサ

1385 弾性波伝搬速度の測定での振動センサについては 6.13.2.2、基本周波数の測定での振動センサについて
1386 は 6.14.2.2 を参照されたい。

1387 6.15.2.3 AD 変換器及び制御装置

1388 弾性波伝搬速度の測定での AD 変換器及び制御装置については 6.13.2.3、基本周波数の測定での AD 変換
1389 器及び制御装置については 6.14.2.3 を参照されたい。

1390 6.15.3 測定の準備

1391 測定の準備については、6.13.3 及び 6.14.3 を参照されたい。

1392 6.15.4 測定方法

1393 6.15.4.1 弾性波伝搬速度の測定

1394 a) 測定方法の選定及び測定点の設定について 超音波法のようなほかの測定方法を用いて測定した弾
1395 性波伝搬速度は、衝撃弾性波法によって測定した弾性波伝搬速度とは一致しないことが多く、さらに、
1396 両者の関係については現在のところ不明な点が多い。このことから、部材厚さの評価での弾性波伝搬
1397 速度の測定方法にはほかの方法(超音波法など)によって測定してはならないことを規定した。また、
1398 弾性波伝搬速度の測定方法は、伝搬時間の差から測定する方法で、測定点を同一面とする方法がより
1399 多くのコンクリートに適用可能であることから、この方法だけを規定した。特に、この測定方法では、
1400 設置する 2 点の振動センサ間にひび割れ、充填不良部などの変状部がある場合では、部材厚さの評価
1401 に必要な弾性波伝搬速度の測定が不可能であることに留意する。

1402 b) 測定される部材厚さの分解能を考慮した弾性波の入力点及び振動の測定点を設定、及び、試験装置の
1403 サンプル時間間隔の設定について この試験で C.7 によって測定する部材厚さは、C.5.3 で設定
1404 する弾性波の入力点及び振動の測定点から決定される伝搬距離の差、及び、試験装置のサンプリング
1405 時間間隔によって変化する。したがって、弾性波の入力点及び振動の測定点、及び、試験装置のサン

1406 プリング時間間隔は測定する部材厚さの分解能を考慮して設定すべきである。

1407 この設定には、まず、測定する部材厚さの分解能を満足する弾性波伝搬速度の分解能を判断し、次
 1408 に、この弾性波伝搬速度の分解能を満足するサンプリング時間間隔及び伝搬距離の差を判断するとい
 1409 う手順になる。そこで、まず、測定する部材厚さの分解能を満足する弾性波伝搬速度の分解能の例を
 1410 **解説表 8** に示す。なお、**解説表 8** は解説式(解.6)によって算出したものである。

1411
 1412 **解説表 8—算出する部材厚さの分解能を満足する弾性波伝搬速度の分解能の例^{a)}**

1413 **その 1 : 想定される試験対象の部材厚さ 100 mm～450 mm, 測定する部材厚さの分解能が 5 mm**

想定される試験対象の部材厚さ	弾性波伝搬速度の分解能
100 mm	200 m/s 以下
150 mm	133 m/s 以下
200 mm	100 m/s 以下
300 mm	66.7 m/s 以下
450 mm	44.4 m/s 以下

1414 **その 2 : 想定される試験対象の部材厚さ 700 mm～2 500 mm, 測定する部材厚さの分解能が 10 mm**

想定される試験対象の部材厚さ	弾性波伝搬速度の分解能
700 mm	57.1 m/s 以下
1 250 mm	32.0 m/s 以下
2 500 mm	16.0 m/s 以下

1415 **注^{a)}** 想定される弾性波伝搬速度を 4 000 m/s として計算。

1416
$$\Delta V \leq \frac{\Delta D}{D_0} \cdot V_{PD} \dots\dots\dots (解.6)$$

- 1417 ここで、 ΔV : 弾性波伝搬速度の分解能 (m/s)
 1418 ΔD : 測定する部材厚さの分解能 (m)
 1419 D_0 : 想定される試験対象の部材厚さ (m)
 1420 V_{PD} : 想定される弾性波伝搬速度 (m/s)
 1421 ただし、想定が困難な場合は 4 000 m/s としてよい。

1422
 1423 次に、各弾性波伝搬速度の分解能を満足するサンプリング時間間隔及び伝搬距離の差の例を**解説表**
 1424 **9** に示す。なお、**解説表 9** は解説式(解.1)によって算出したものである。

1425
 1426 **解説表 9—弾性波伝搬速度の分解能を満足する試験装置のサンプリング時間間隔と伝搬距離との差の例^{a)}**

サンプリング 時間間隔	伝搬距離の差		
	弾性波伝搬速度の 分解能 100 m/s 以下	弾性波伝搬速度の 分解能 32 m/s 以下	弾性波伝搬速度の 分解能 16 m/s 以下
0.50μs	82.0 mm 以上	252 mm 以上	502 mm 以上
1.00μs	164 mm 以上	504 mm 以上	1 004 mm 以上
2.00μs	328 mm 以上	1 008 mm 以上	2 008 mm 以上
5.00μs	820 mm 以上	2 520 mm 以上	5 020 mm 以上

1427 **注^{a)}** 想定される弾性波伝搬速度を 4 000 m/s として計算。

1428 **6.15.4.2 基本周波数の測定**

- 1429 a) **試験装置について** 基本周波数の測定に用いる入力装置は、入力される弾性波の周波数が測定対象の
 1430 コンクリートの基本周波数の1倍以上であることが必要条件となるため、上限周波数が測定対象コン
 1431 クリートの基本周波数よりも大きくなる装置を使用することを規定し、表 C.1 に弾性波伝搬速度を4
 1432 000 m/s としたときの測定対象コンクリートの基本周波数の一覧を、表 C.2 に各入力装置（鋼球の場
 1433 合）での上限周波数の一覧を示した。
- 1434 b) **弾性波の入力及び基本周波数の測定について** 基本周波数は、入力される弾性波の周波数がコンクリ
 1435 ートの基本周波数の1倍以上となる入力装置によって測定された周波数スペクトルにおいて卓越周波
 1436 数となる可能性がある。したがって、入力される弾性波の周波数が異なる複数の入力装置で周波数ス
 1437 ペクトルを得れば、基本周波数は複数の周波数スペクトルにおいて卓越周波数になる。このことから、
 1438 複数の入力装置で得られた複数の周波数スペクトルにおいて、共通して卓越周波数となる周波数を基
 1439 本周波数とすることを規定した。
- 1440 c) **周波数の分解能について** この試験で C.7 によって算出する部材厚さは、C.6.3 で設定する周波数ス
 1441 ペクトルでの周波数の分解能によって変化する。したがって、周波数スペクトルでの周波数の分解能
 1442 は算出する部材厚さの分解能を考慮して設定すべきである。算出する部材厚さの分解能を満足する周
 1443 波数スペクトルでの周波数の分解能の例を解説表 10 に示す。なお、解説表 10 は解説式(解.7)によっ
 1444 て算出したものである。周波数スペクトルにおける周波数の分解能を任意に設定することが可能な周波
 1445 数解析方法については 6.14.4.3 を参照されたい。

1446
1447 **解説表 10—設定する周波数の分解能の例^{a)}**

1448 **その 1 : 想定される試験対象の部材厚さ 100 mm～450 mm, 測定する部材厚さの分解能が 5 mm**

想定される試験対象の部材厚さ	周波数スペクトルでの周波数の分解能
100 mm	952 Hz 以下
150 mm	430 Hz 以下
200 mm	244 Hz 以下
300 mm	109 Hz 以下
450 mm	48.8 Hz 以下

1449 **その 2 : 想定される試験対象の部材厚さ 700 mm～2 500 mm, 測定する部材厚さの分解能が 10 mm**

想定される試験対象の部材厚さ	周波数スペクトルでの周波数の分解能
700 mm	40.2 Hz 以下
1 250 mm	12.7 Hz 以下
2 500 mm	3.2 Hz 以下

1450 **注^{a)}** 想定される弾性波伝搬速度を 4 000 m/s として計算。

1451
$$\Delta f \leq \frac{\Delta D \cdot V_{PD}}{2 \cdot (D_0 + \Delta D)} \cdot D_0 \dots\dots\dots (解.7)$$

- 1452 ここで、 Δf : 周波数スペクトルでの周波数の分解能 (Hz)
 1453 ΔD : 測定する部材厚さの分解能 (m)
 1454 V_{PD} : 想定される弾性波伝搬速度 (m/s)
 1455 ただし、想定が困難な場合は 4 000 m/s としてよい。
 1456 D_0 : 想定される試験対象のコンクリートの部材厚さ (m)

1457 d) **その他** この試験では、測定位置内部に空洞、剥離、充填不良部などの変状部がある場合は、これら
1458 の影響が含まれた基本周波数が得られることに留意する必要がある。周波数解析結果は、厚さの等し
1459 い同一部材内のほかの測定位置での測定結果、設計図書に示されている設計厚さから算出される周波
1460 数などと比較して、測定値の異常の有無を確認することが望ましい。異常値が得られた場合には、入
1461 力される弾性波の周波数が異なる入力装置を用いて再度測定する。

1462 6.15.5 計算

1463 測定した基本周波数は、弾性波がコンクリートの部材厚さ方向に1往復する時間の逆数となることから、
1464 部材厚さは、式(C.4)から算出が可能である。

1465 コンクリート表面を伝搬する弾性波とコンクリート内部を多重反射する弾性波とは伝搬経路が異なるこ
1466 とから、使用する試験装置によっては、式(C.4)から算出した部材厚さに対する補正係数が示されている場
1467 合がある。この場合には、この補正係数を用いて補正することが可能である。

1468 6.15.6 報告

1469 参考として報告に用いる様式例への記入の一例を、**解説表 11**に示す。
1470

解説表 11—報告に用いる様式への記入例（コンクリートの部材厚さの評価方法用）

試験年月日		20〇〇年 〇月 〇日 〇曜日	測定時刻	9:00 ~ 12:00	
試験場所		東京都江東区〇〇〇〇〇〇〇〇			
天候・気温など		天 候：晴れ 気 温： 22℃			
試験技術者		氏名：衝撃太郎		所属：〇〇株式会社	
		保有資格1)	資格名称・認証番号：〇〇協会講習会修了 第2024-123456		
		保有資格2)	資格名称・認証番号：		
		保有資格3)	資格名称・認証番号：		
試験装置	入力装置	種類：鋼球	材質：鋼材	質量（直径）：φ10mm	
		種類：	材質：	質量（直径）：	
	振動センサ	製造会社：〇〇〇社	形式：〇〇-〇〇型	製造番号：〇〇〇〇〇〇	
		周波数範囲（±10%）：0.3~25000Hz			
	AD変換器	製造会社：〇〇〇社	形式：〇〇型		
		製造番号： 〇〇〇〇〇〇			
測定パラメータ		サンプリング時間間隔：伝搬速度測定0.5μs，基本周波数測定10μs			
		測定時間長：伝搬速度測定2ms，基本周波数測定10ms			
試験装置の点検状況		前回点検年月日：20〇〇年〇月〇日	点検者：衝撃太郎		
		点検内容：各部動作確認			
対象物		名称：〇〇跨道橋 上部工	竣工年月日：20〇〇年〇月〇日		
		構造：ポストテンションT桁			
測定箇所 及び 測定結果	弾性波の入力点 及び 振動の測定点の 配置状況 (図示)				
	表面状況 (平滑さ、変状の有無及び その他特記事項)	特記なし			
	測定箇所名称	1	2	3	
	弾性波伝搬速度の測定結果	弾性波の入力点から 振動の測定点1まで の距離 (mm)	200	200	200
		弾性波の入力点から 振動の測定点2まで の距離 (mm)	900	900	900
		伝搬距離の差 (mm)	700	700	700
		測定から求めた 弾性波の伝搬時間 (ms)	0.175	0.1725	0.173
		測定した 弾性波伝搬速度 (m/s)	4000	4070	4046
	測定した基本周波数 (Hz)	8000	8052	8124	
	測定した部材厚さ (m)	0.250	0.253	0.249	
その他					

1471 **6.16 附属書 D (規定) 構造体コンクリートの圧縮強度の推定方法**

1472 **6.16.1 適用範囲**

1473 **附属書 D** は、新設コンクリート構造物におけるコンクリートの圧縮強度を衝撃弾性波法によって測定し
 1474 た弾性波伝搬速度を指標として強度を推定する方法について定めたものである。弾性波伝搬速度と圧縮強
 1475 度の関係は使用材料、配(調)合、材齢、打設条件、含水率などコンクリートの各種要因によって異なる
 1476 ため、事前に圧縮強度推定式の作成が可能なもの、又は適切な圧縮強度推定式が既に得られている場合に
 1477 適用可能である。

1478 一般的に弾性波伝搬速度と圧縮強度の相関関係は、強度が大きくなるにしたがい弾性波伝搬速度の変化
 1479 量に対する圧縮強度の変化量が大きくなる傾向があり、強度推定精度の低下が懸念されること、超高強度
 1480 領域での適用実績が極めて少ないことなどの理由から、圧縮強度の上限を 60 N/mm²とした。

1481 **6.16.2 弾性波伝搬速度による圧縮強度試験の原理**

1482 コンクリートの弾性波伝搬速度を測定することは、弾性波動論から導かれる解説式(解.8)によって、間接
 1483 的にコンクリートの弾性係数を測定することである。

1484
$$E = \rho \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} V^2 \dots\dots\dots (解.8)$$

- 1485 ここで、 V : 弾性波伝搬速度 (m/s)
 1486 E : 弾性係数 (Pa)
 1487 ρ : 密度 (kg/m³)
 1488 ν : ポアソン比

1489 一方、従来からコンクリートの圧縮強度と弾性係数との間には経験的に高い相関関係が認められている。
 1490 したがって、解説式(解.8)を介することによって、圧縮強度と弾性波伝搬速度との間においても、相関関係
 1491 が存在すると考えられ、**解説図 4**のように相関関係が確認されており、圧縮強度 F_c は、弾性波伝搬速度 V
 1492 の関数として解説式(解.9)のような形式的表現で表すことが可能である。この式を圧縮強度推定式と呼び、
 1493 回帰分析によって圧縮強度推定式を作成し、構造体コンクリートの弾性波伝搬速度を測定することによっ
 1494 て、圧縮強度を推定することが可能となる。圧縮強度推定精度の一例を**解説図 5**に示す。

1495 **解説図 4** は、構造物は異なるが同一配(調)合のコンクリートであり、打設時にアジテーター車から採
 1496 取して作製した円柱供試体の弾性波伝搬速度と圧縮強度との関係を示している。構造物の種類を問わず、
 1497 弾性波伝搬速度と圧縮強度との間には高い相関関係がある。しかし、構造物ごとに比較すると、回帰式(圧
 1498 縮強度推定式)は異なっている。このように、コンクリートの弾性波伝搬速度は、使用材料、配(調)合、
 1499 材齢、打設条件、含水率などの各種要因によって異なることから、この規格ではコンクリートの種類ごと
 1500 に圧縮強度推定式を作成することとしている。

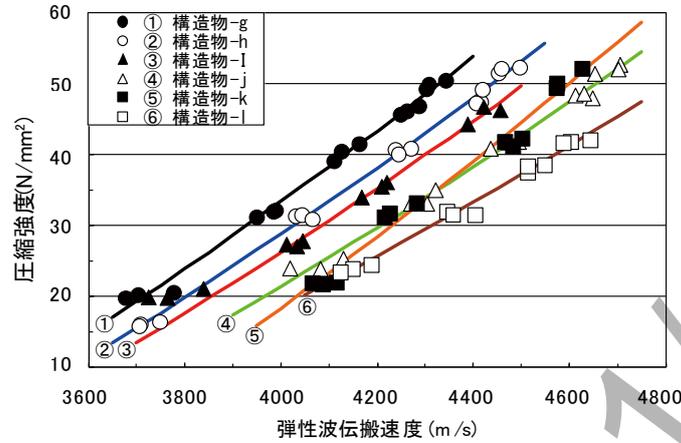
1501 また、**解説図 5** は、構造体コンクリートの弾性波伝搬速度測定を行い、同時にその近傍からコアを採取
 1502 し、圧縮強度推定式から算定した推定強度とコアの圧縮強度との関係である。推定強度とコアの圧縮強度
 1503 との関係は、ほぼ±15%の範囲内に入っている。

1504

1505

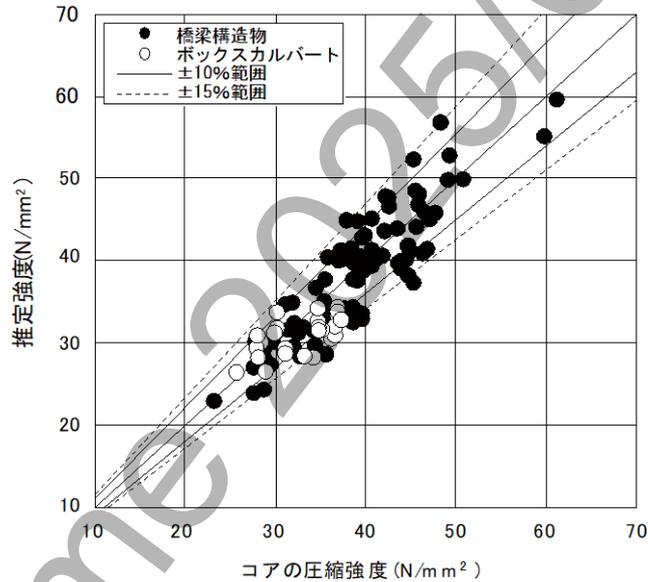
1506

$F_c = f(V)$ (解.9)



解説図 4—弾性波伝搬速度と圧縮強度との相関関係の例

1507



解説図 5—圧縮強度推定精度の例

1508 6.16.3 圧縮強度推定式の作成

1509 6.16.3.1 圧縮強度推定式

1510 圧縮強度推定式は、円柱供試体で材齢の進行に応じて測定した弾性波伝搬速度及び圧縮強度を用いて、
 1511 これらの関係式として作成する。弾性波伝搬速度と圧縮強度との関係式については、解説式(解.10)^[4]の指
 1512 数関数式、解説式(解.11)^[5]の二次式が提案されており、参考としてここに例示する。

1513

1514

1515

1516 $F_c = \beta \times V^a$

1517 (解.10)

1518 ここで, F_c : 圧縮強度
 1519 V : 弾性波伝搬速度
 1520 α, β : 回帰係数

1521 $F_c = a \times c \times \rho \times V^2 + b$

1522 (解.11)

1523 ここで, a, b : 式の回帰係数
 1524 c : ポアソン比に関する定数 $= (1 + \nu)(1 - 2\nu)/(1 - \nu)$

1525 **6.16.3.2 圧縮強度推定式の作成方法**

1526 調査対象構造物及び使用材料, 配 (調) 合などが同じコンクリート (以下, 同種のコンクリートという。) 1527 で作製した円柱供試体の材齢の進行に伴う圧縮強度の増進は, 対象構造物での形状, 打設, 養生条件など 1528 が異なる影響は受けるものの, 水和レベルが同等であれば構造体コンクリートの圧縮強度と同等となるた 1529 め, 圧縮強度推定式の作成では, 対象構造物と同種のコンクリートで作製した円柱供試体の材齢の進行に 1530 伴う弾性波伝搬速度と圧縮強度との相関関係を利用する方法を用いることとした。

1531 このような圧縮強度推定式の作成方法を用いた強度推定法に関しては, 新設構造物への適用例, 適用性 1532 の検討, 推定精度などについて多くの報告がある^{[6],[7]}。

1533 **6.16.3.3 試験材齢**

1534 コンクリートの弾性波伝搬速度と圧縮強度との相関関係から圧縮強度推定式を必要な精度で作成するた 1535 めには, 圧縮強度の範囲が広く得られるように試験する材齢を設定する。そのためには, 強度発現の初期 1536 段階からほぼ収束する段階までを, 円柱供試体の試験材齢として, 3~4 材齢予定することが望ましい。供 1537 試体が予定した材齢に達した時点で, 円柱供試体の弾性波伝搬速度の測定及び圧縮強度試験を行うことと 1538 する。

1539 **6.16.3.4 円柱供試体の作製**

1540 強度評価を行う際に圧縮強度推定式が必要であるため, 構造体コンクリートを測定するまでに調査対象 1541 コンクリートの圧縮強度推定式を用意することが求められる。弾性波伝搬速度と圧縮強度との関係は使用 1542 材料, 配 (調) 合, 材齢, 打設条件, 含水率などコンクリートの各種要因によって異なるため, 調査対象 1543 コンクリートの種類ごとに試験練り又は実機試験などの際に試験に必要な数の円柱供試体を作製し, 圧縮 1544 強度推定式を作成する準備を行うのがよい。

1545 **6.16.3.5 円柱供試体の弾性波伝搬速度の測定**

1546 **6.16.3.5.1 測定方法**

1547 円柱供試体の弾性波伝搬速度の測定に衝撃弾性波法による多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬 1548 速度の測定方法を用いる理由は, 円柱供試体は長さ比較的短いため, 伝搬時間を利用した弾性波伝搬速 1549 度の測定方法に比べ, 次の 2 点において優れていると考えられるためである。

- 1550 a) 振動センサが1個で、供試体を立てての測定が可能となるため、測定が比較的簡便である。
- 1551 b) 測定値のばらつきが非常に少なく、測定結果が安定しており、測定者による差異がほとんどない。

1552 また、衝撃弾性波法に限定した理由は、超音波法のようなほかの測定方法によって測定した弾性波伝搬速度は、衝撃弾性波法によるものとは一致しないことが多くあり、構造体コンクリートの弾性波伝搬速度との関連で評価に影響を及ぼすと考えられるためである。

1555 6.16.3.5.2 弾性波伝搬速度の測定方法

1556 円柱供試体の弾性波伝搬速度の測定での弾性波の入力位置は、縦弾性波の励起を対象とするため測定面
1557 の中心部分とし、振動の測定点は半径の中央付近とすることが望ましい。

1558 時刻歴波形の取込みは、入力装置によって何回か弾性波の入力を行い、時刻歴波形に再現性があること
1559 を確認した上で記録することが望ましい。

1560 周波数スペクトルでの周波数の分解能は、D.5.4.4.2で式(D.4)及び表D.5はに従い設定することを規定し
1561 た。これは、既往の研究によって^[8]、弾性波伝搬速度が1%変化するとD.7によって推定される圧縮強度
1562 は3%~7%変化することが示されており、弾性波伝搬速度の分解能は1%以下とすべきであるとの考えに
1563 基づくものである。式(D.4)及び表D.5はこの条件を満足する設定となる。

1564 6.16.3.6 円柱供試体の圧縮強度試験

1565 圧縮強度試験は、弾性波伝搬速度測定と同一材齢で行うことを前提としているため、円柱供試体の弾性
1566 波伝搬速度測定が終了した後、速やかに行うことが妥当である。

1567 6.16.3.7 弾性波伝搬速度と圧縮強度との関係式の作成

1568 弾性波伝搬速度と圧縮強度との関係式の関係形については、6.13.3.1を参照されたい。

1569 6.16.4 構造体コンクリートの弾性波伝搬速度の測定

1570 6.16.4.1 測定方法

1571 構造体コンクリートの弾性波伝搬速度に、伝搬時間を利用した弾性波伝搬速度の測定方法を用いる理由
1572 は、弾性波の入力点及び振動の測定点を同一面に配置することによって、構造物のあらゆる部位において、
1573 容易に測定を行うことが可能であると考えられるためである。弾性波の入力点及び振動の測定点を結ぶ直
1574 線を測線と呼び、弾性波伝搬速度測定では、測線を適切に選定して行うことが望ましい。なお、6.16.3.5.1
1575 の後半に記した理由から衝撃弾性波法以外の測定方法を用いてはならない。

1576 6.16.4.2 試験装置の設定

- 1577 a) 測線の選定について 強度を推定する部位において、次の点に留意して測線を設定することが望まし
1578 い。
- 1579 1) 測線を横断するひび割れの有無を確認し、ひび割れのない場所を選ぶ。
 - 1580 2) 充填不良部などで粗骨材が露出している部分は避ける。
 - 1581 3) 測線とコンクリート側面とが平行する場合、測線はコンクリート側面から10 cm以上の間隔を設け
1582 る。
 - 1583 4) 弾性波の入力しやすい位置を選ぶ。
 - 1584 5) 打撃箇所は、型枠面程度の平たん（坦）な部分を選び、気泡痕などの部分は避ける。コンクリート

1585 表面が凸凹の場合は、研磨機などで平らにする。

1586 **b) 測定される弾性波伝搬速度の分解能を考慮した弾性波の入力点及び振動の測定点を設定、及び試験装**
 1587 **置のサンプリング時間間隔の設定について** この試験で **D.7** によって推定される圧縮強度の分解能は、
 1588 **D.6.5** によって測定される弾性波伝搬速度の分解能によって決定される。さらに、この測定される弾性
 1589 波伝搬速度の分解能は、**D.6.4.1** で設定する弾性波の入力点及び振動の測定点から決定される伝搬距離
 1590 の差、及び、試験装置のサンプリング時間間隔によって変化する。弾性波の入力点及び振動の測定点、
 1591 及び、試験装置のサンプリング時間間隔は、これらを考慮して設定すべきである。既往の研究によっ
 1592 て^[8]、弾性波伝搬速度が 1% 変化すると **D.7** によって推定される圧縮強度は 3%~7% 変化することが
 1593 示されており、弾性波伝搬速度の分解能は 1% 以下とすることが望ましい。この条件を満足するサン
 1594 プリング時間間隔及び伝搬距離の差の例を **解説表 12** に示す。なお、**解説表 12** は解説式(解.12)によっ
 1595 て算出したものである。

1596 **解説表 12—弾性波伝搬速度の分解能 1% を満足する試験装置のサンプリング時間間隔と**
 1597 **伝搬距離との差の例^{a)}**

サンプリング時間間隔	伝搬距離の差
0.50 μs	202 mm 以上
1.00 μs	404 mm 以上
2.00 μs	808 mm 以上
5.00 μs	2 020 mm 以上

1598 **注^{a)}** 想定される弾性波伝搬速度を 4 000 m/s として計算。

1599
$$\Delta L = L_2 - L_1 \geq 101 \cdot V_{PD} \cdot \Delta T \dots\dots\dots$$

 1600 (解.12)

- 1601 ここで、 ΔL : 伝搬距離の差 (m)
 1602 L_1 : 弾性波の入力点から振動の測定点 1 までの距離 (m)
 1603 ただし、弾性波の入力のタイミングを出力できる入力装置を使用する場合は、
 1604 0 m となる。
 1605 L_2 : 弾性波の入力点から振動の測定点 2 までの距離 (m)
 1606 V_{PD} : 想定される弾性波伝搬速度 (m/s)
 1607 ただし、想定が困難な場合は 4 000 m/s としてよい。
 1608 ΔT : 試験装置のサンプリング時間間隔 (s)

1609 **6.16.4.3 測定における注意事項**

1610 測定において、次の点に注意することが望ましい。

- 1611 1) コンクリートの弾性波伝搬速度は、部材の形状、大きさなどの影響を受けるため、厚さの薄い床版
 1612 及び壁、並びに幅の狭いはり（梁）及び柱の測定を行う場合は、適用性に留意する。
- 1613 2) コンクリートの含水率の低下は弾性波伝搬速度に影響を及ぼすため、乾燥が進行したコンクリート
 1614 の場合、測定された弾性波伝搬速度は本来の速度よりも遅くなることに留意する。

1615 **6.16.5 構造体コンクリートの圧縮強度の推定**

1616 **D.7** では、構造体コンクリートの圧縮強度は、測定によって求めた構造体コンクリートの弾性波伝搬速

1617 度を圧縮強度推定式に代入することによって推定するとしている。このことは、事前に作成した圧縮強度
1618 推定式を介して調査対象コンクリート中に同種のコンクリートによる円柱供試体を仮想し、その圧縮強度
1619 を、測定による弾性波伝搬速度を用いて非破壊的に求め、構造体コンクリートの圧縮強度と見なすことを
1620 意味している。したがって、圧縮強度を推定する上で、圧縮強度推定式を適切に作成すること、及び構造
1621 体コンクリートの弾性波伝搬速度を適切に測定することが重要である。

1622 6.16.7 報告

1623 参考として報告に用いる様式例の記入例を、構造体コンクリートの圧縮強度推定について**解説表 13**に、
1624 圧縮強度推定式の作成について**解説表 14**に示す。

1625

解説表 13—報告に用いる様式への記入例（構造体コンクリートの圧縮強度評価用）

試験年月日		2000年 0月 0日曜日		測定時刻	13 : 00~16 : 00	
試験場所		東京都江東区00000000				
天候・気温など		天 候 : 晴れ 気 温 : 24℃				
試験技術者		氏名 : 衝撃太郎			所属 : 00株式会社	
		保有資格1)	資格名称・認証番号 : 00協会講習会修了 第2024-123456			
		保有資格2)	資格名称・認証番号 :			
		保有資格3)	資格名称・認証番号 :			
試験装置	入力装置	種類 : 鋼球	材質 : 鋼材		質量 (直径) : φ10mm	
		種類 :	材質 :		質量 (直径) :	
	振動センサ	製造会社 : 000社	形式 : 00-00型		製造番号 : 000000	
		周波数範囲 (±10%) : 0.3~25000Hz				
AD変換器	製造会社 : 000社			形式 : 00型		
	製造番号 : 000000					
測定パラメータ		サンプリング時間間隔 : 伝搬速度測定0.5μs, 基本周波数測定10μs				
		測定時間長 : 伝搬速度測定2ms, 基本周波数測定10ms				
試験装置の点検状況		前回点検年月日 : 2000年0月0日			点検者 : 衝撃太郎	
		点検内容 : 各部動作確認				
対象物		名称 : 00跨道橋 下部工 (A1)			竣工年月日 : 2000年0月0日	
		構造 : 逆T式				
測定箇所 及び 測定結果	弾性波の入力点 及び 振動の測定点の 配置状況 (図示)					
	表面状況 (平滑さ, 変状の有無及び その他特記事項)		新設・特記無し			
	測定箇所名称		1	2	3	
	弾性波伝搬速度の測定結果	弾性波の入力点から 振動の測定点1まで の距離 (mm)	200	200	200	
		弾性波の入力点から 振動の測定点2まで の距離 (mm)	1200	1200	1200	
		伝搬距離の差 (mm)	1000	1000	1000	
		測定から求めた 弾性波の伝搬時間 (ms)	0.249	0.2495	0.2505	
		測定した 弾性波伝搬速度 (m/s)	4016	4008	3992	
	使用した圧縮強度推定式		$F_c = 1.90 \times 10^{-20} \times V_p^{5.908}$	$F_c = 1.90 \times 10^{-20} \times V_p^{5.908}$	$F_c = 1.90 \times 10^{-20} \times V_p^{5.908}$	
	推定した 構造体コンクリートの 圧縮強度		37.2	36.7	35.9	
その他						

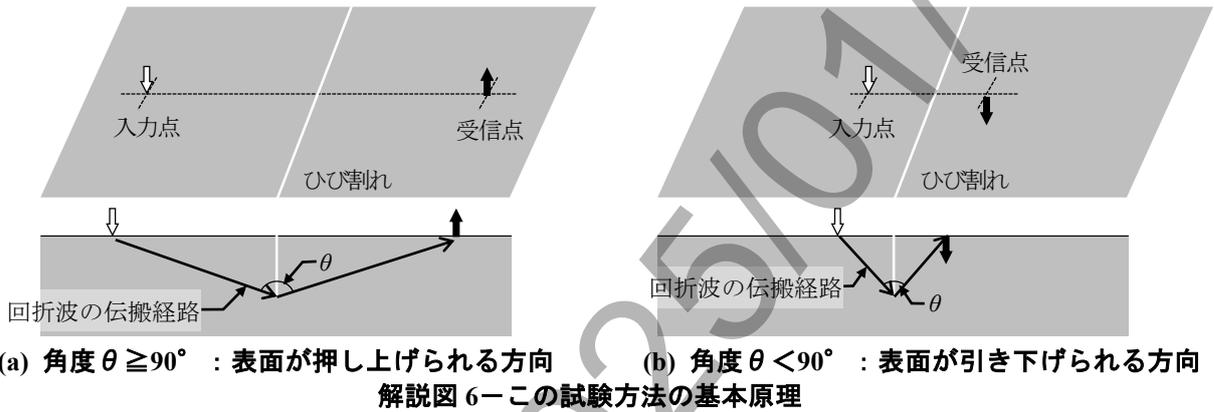
解説表 14—報告に用いる様式例の記入例（圧縮強度推定式の作成用）

円柱供試体	作製年月日	20〇〇年 〇月 〇日〇曜日			養生方法	封かん養生							
	作製場所	東京都江東区〇〇〇〇〇〇〇〇											
	コンクリート種類	セメント種類：普通ポルトランド 呼び強度：21 スランプ：8 骨材最大寸法：20											
試験技術者		氏名：衝撃太郎			所属：〇〇株式会社								
		保有資格1)	資格名称・認証番号：〇〇協会講習会修了 第2024-123456										
		保有資格2)	資格名称・認証番号：										
		保有資格3)	資格名称・認証番号：										
試験装置	入力装置	種類：鋼球	材質：鋼材		質量（直径）：φ15mm								
		種類：鋼球	材質：鋼材		質量（直径）：φ20mm								
	振動センサ	製造会社：〇〇〇社	形式：〇〇-〇〇型		製造番号：〇〇〇〇〇〇								
		周波数範囲（±10%）：0.3~25000Hz											
	AD変換器	製造会社：〇〇〇社	形式：〇〇型										
測定パラメータ		サンプリング時間間隔：10μs											
		測定時間長：10ms											
試験装置の点検状況		前回点検年月日：20〇〇年〇月〇日			点検者：衝撃太郎								
		点検内容：各部動作確認											
円柱供試体での測定結果	測定回数	1回目		2回目		3回目		4回目					
	試験年月日	20〇〇年〇月〇日		20〇〇年〇月〇日		20〇〇年〇月〇日		20〇〇年〇月〇日					
	材齢	7		14		28		56					
	供試体No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	円柱供試体の高さ(mm)	198.5	198.9	197.0	197.8	198.7	197.4	197.0	197.8	198.7	196.9	197.2	198.5
	円柱供試体の直径(mm)	100.0	100.1	99.9	99.8	99.9	100.2	100.2	100.1	100.1	100.2	100.2	100.2
	測定した基本周波数(Hz)	9180	9180	9160	9690	9770	9720	10100	10200	10100	10900	10800	10600
	測定した弾性波伝搬速度(m/s)	3644	3652	3609	3833	3883	3837	3979	4035	4014	4292	4260	4208
	最大荷重(kN)	157.1	139.0	154.7	256.0	227.8	254.5	318.1	298.5	311.0	396.6	368.4	410.0
	圧縮強度(N/mm ²)	20.0	17.7	19.7	32.7	29.1	32.3	40.3	37.9	39.5	50.3	46.7	52.0
圧縮強度推定式の作成結果		$F_c = 1.90 \times 10^{-20} \times v_p^{5.908}$											
その他													

1626 6.17 附属書 E (規定) 受信点での時刻歴波形の初動に着目したひび割れ深さの試験方法

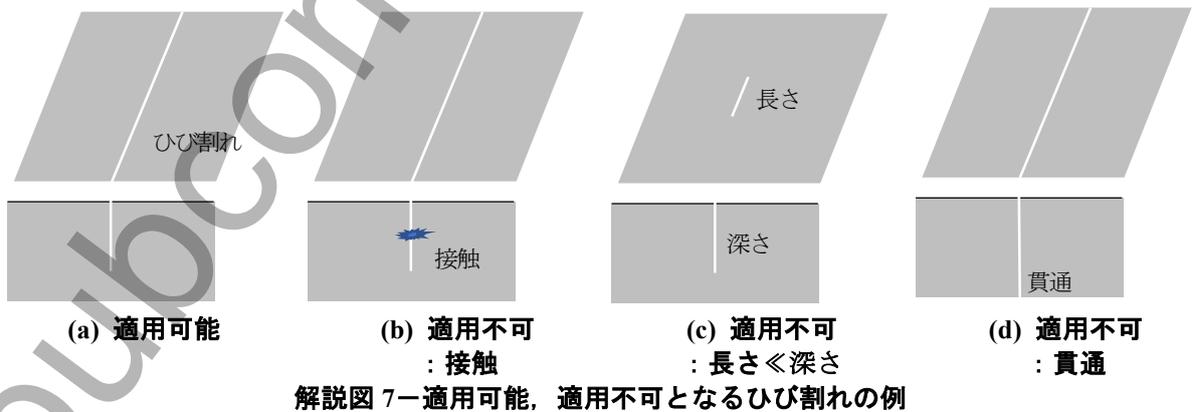
1627 6.17.1 基本原理

1628 附属書 E はひび割れ先端での回折波を受信してひび割れ深さを試験する方法について規定している。こ
 1629 の試験方法は、受信点での時刻歴波形の初動が回折波となること、さらに、この回折波がコンクリート表
 1630 面に到達したときに受信点のコンクリート表面で生じる力の向きが、打撃によって入力された弾性波が回
 1631 折したときの角度 θ (解説図 6 参照) によって異なることを基本原理としている。具体的には、生じる力
 1632 の向きは角度 θ が 90° 以上となるときはコンクリート表面が押し上げられる方向、角度 θ が 90° 未満
 1633 となるときはコンクリート表面が引き下げられる方向となる。附属書 F で規定されているひび割れ深さの
 1634 試験方法とは基本原理及び測定方法は異なる。



1635 6.17.2 適用範囲

1636 適用可能なひび割れは、受信点で測定される時刻歴波形の初動がひび割れ先端での回折波となるひび割
 1637 れである。したがって、測定対象のコンクリートの表面で開口し、かつ、途中で接触していないひび割れ
 1638 が適用可能なひび割れとなる。また、表面で観測されるひび割れの長さが想定されるひび割れ深さと比較
 1639 して相当に長く、かつ、部材を貫通していないことも適用条件となる (解説図 7 参照)。また、平行する複
 1640 数のひび割れがある場合、又はコンクリート内部においてひび割れ先端が枝分かれしているような複雑な
 1641 形状のひび割れも対象としていない。



1642

1643

1644 **6.17.3 用語及び定義**

1645 **6.17.3.1 入力装置**

1646 本規定では 3.4 など、入力装置の定義に励磁コイルによる磁気的な方法によって物理的な衝撃を与える
1647 方法を含めている。ただし、この方法は**附属書 E**に規定される試験方法に適用された実績が確認されな
1648 かったことから、**附属書 E**では対象外とした。

1649 **6.17.4 試験装置**

1650 **6.17.4.1 入力装置**

1651 ひび割れ先端での回折波を受信点で測定可能な振幅を発生させることのできる入力装置が必要である。
1652 具体的には、打撃速度を速くすること、又はハンマ、鋼球などのコンクリートに接触する部分の質量を大
1653 きくすることによって、より強い打撃力を発生させることが可能である。

1654 **6.17.4.2 振動センサ**

1655 回折波の振幅は一般的に小さく、回折波を測定するためには十分な感度をもつ振動センサが必要となる。
1656 また、加速度型のセンサを用いる場合は、振動センサの質量が大きくなると振動センサ自体の慣性抵抗に
1657 よって、回折波の測定が難しくなる場合も考えられる。このため、振動センサとして加速度計を使用する
1658 場合はその質量について十分に配慮する必要がある。その他については **6.13.2.2** を参照されたい。

1659 **6.17.4.3 AD 変換器及び制御装置**

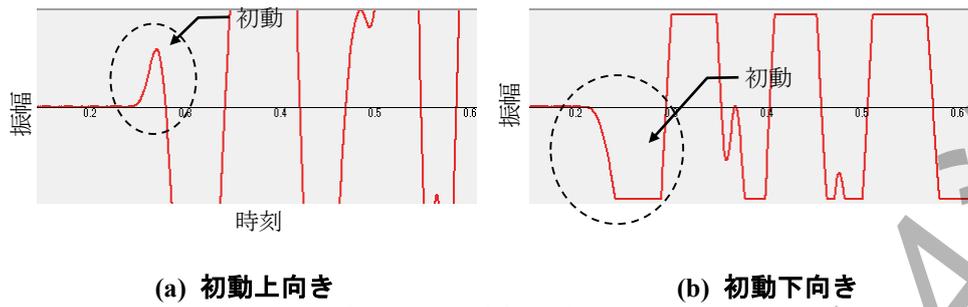
1660 AD 変換器及び制御装置については **6.13.2.3** を参照されたい。

1661 **6.17.5 測定の準備**

1662 ひび割れ開口部からひび割れ先端のひび割れ部に、水分、ゴミ、ほこり、破損した骨材のかけらなどが
1663 詰まっていると、その介在物を通して伝搬した弾性波が受信点での時刻歴波形の初動となり、基本原理を
1664 満足しないことになる。また、緩んだ骨材、骨材のかけらなどの上で弾性波を入力すると適切な打撃力を
1665 発生させることが不可能である。さらに、振動センサが緩んだ骨材、骨材のかけらなどの上に設置され
1666 と、回折波を正しく測定されない。これらから、入力点及び受信点のコンクリート表面を清浄に保つこと
1667 が必要となる。

1668 **6.17.6 測定方法**

- 1669 a) **サンプリング時間間隔、トリガ、測定時間長の設定について** サンプリング時間間隔、トリガ、測定
1670 時間長は、受信点で測定される回折波による時刻歴波形の初動の波長、及び、初動が到達する時刻を
1671 推定して設定する。これらの推定が困難な場合には、実際に測定された時刻歴波形を確認して判断す
1672 ればよい。時刻歴波形で回折波による初動が測定されている例を**解説図 8**に示す。
- 1673 b) **設置する振動センサの感度軸及び設置する方向について** 振動センサの感度軸及び設置する方向に
1674 よって時刻歴波形の初動の向きは変化する。振動センサの感度軸及び設置する方向は、打撃によって
1675 入力された弾性波が回折したときの角度 θ (**解説図 6** 参照) が 90° 以上となるときに測定される時
1676 刻歴波形の初動が上向き、角度 θ が 90° 未満となるときに測定される時刻歴波形の初動が下向きと
1677 なるように設置する。
- 1678 c) **受信点の時刻歴波形の初動の向きについて** 初動が上向きとなった時刻歴波形、及び、初動が下向き
1679 となった時刻歴波形の例を**解説図 8**に示す。



解説図 8—時刻歴波形の例

1680 6.17.7 ひび割れ深さの計算

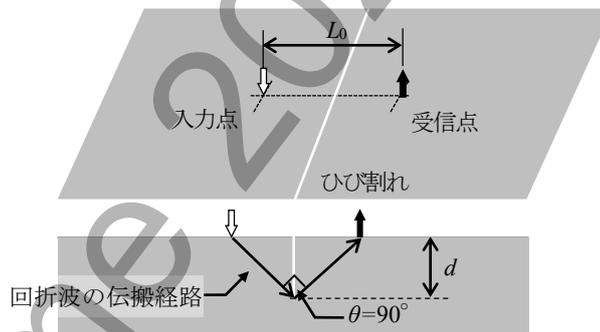
1681 受信点の時刻歴波形の初動の向きが下向きから上向きに変化するときは、打撃によって入力された弾性
 1682 波が回折したときの角度 θ は 90° となる。これによって、解説図 9 に示すとおり、入力点と受信点との
 1683 距離を L_0 とすると、解説式(解.13)が成立する。

1684
$$d = \frac{L_0}{2}$$

1685 (解.13)

1686 ここで d はひび割れ深さである。ひび割れ深さは解説式(解.13)から算出が可能である。

1687



解説図 9—時刻歴波形の初動の向きが変化するときのひび割れ深さの入力点と受信点との関係

1688 6.17.8 報告

1689 参考として報告に用いる様式例の記入例を解説表 15 に示す。

1690

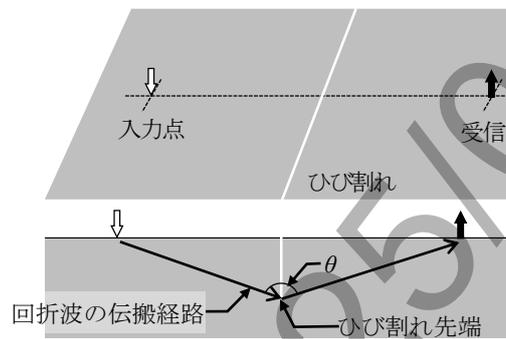
解説表 15—報告に用いる様式例の記入例（初動波形に着目したひび割れ深さの試験方法用）

試験年月日		2024年 4月 3日 水曜日		測定時刻	10 : 00~12 : 00	
試験場所		東京都大田区〇〇△丁目				
天候・気温など		天 候 : 曇り 気 温 : 18℃				
試験技術者		氏名 : △△△△△			所属 : 株式会社◇◇◇◇◇	
		保有資格1)	資格名称・認証番号 : □□□□□□診断士・20191002147			
		保有資格2)	資格名称・認証番号 : ×××協会認定技術者レベルⅡ・2018Ⅱ-000			
		保有資格3)	資格名称・認証番号 :			
試験装置	入力装置	種類 : 鋼球	材質 : 鋼材		質量 (直径) : 15mm	
	振動センサ	製造会社 : 株式会社×××	形式 : ABCDE		製造番号 : 123456	
		周波数範囲 (±10%) : 0.1Hz~12.5Hz				
AD変換器	製造会社 : ****(株)	形式 : FGHIJ				
測定パラメータ		サンプリング時間間隔 : 0.5 μs				
		測定時間長 : 1ms				
試験装置の点検状況		前回点検年月日 : 2023年6月1日			点検者 : △△△△△	
		点検内容 : 製造会社指定の方法				
対象物		名称 : +++++橋梁			竣工年月日 : 19XX年	
		構造 :				
測定箇所 及び 測定結果	入力点及び受信点の 配置状況 (図示)	<p style="text-align: center;">平面図</p> <p style="text-align: center;">入力点@10mm 受信点@10mm ひび割れ深さ測定点</p>				
	表面状況 (平滑さ、変状の有無及び その他特記事項)	平滑, その他特記事項無し				
	測定箇所名称	1	2	3	4	5
	時刻歴波形の 初動の向き	下向き	下向き	下向き	上向き	上向き
	初動の向きが下向きから 上向きに変化する 入力点と受信点との 距離	140mm				
	ひび割れ深さの 計算結果	70mm				
その他		特記事項なし				

1691 **6.18 附属書 F（規定）伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法**

1692 **6.18.1 基本原理**

1693 **附属書 F** はひび割れ先端での回折波の伝搬時間を測定してひび割れ深さを試験する方法について規定し
 1694 ている。この試験方法は、受信点での時刻歴波形の初動が回折波となること、さらに、この回折波は入力
 1695 点とひび割れ先端と受信点とを一直線に伝搬する経路となり伝搬経路長は試験対象のひび割れの深さによ
 1696 って変化すること、及びこの回折波の伝搬速度は近傍のコンクリートの弾性波伝搬速度と同等となること、
 1697 これらから回折波の伝搬時間はひび割れの深さ及び近傍のコンクリートの弾性波伝搬速度から決定される
 1698 ことを基本原理としている。なお、この基本原理が成立するためには、打撃によって入力された弾性波が
 1699 回折したときの角度 θ （**解説図 10** 参照）が 90° 以上となる条件で測定しなければならない。**附属書 E** で
 1700 規定されているひび割れ深さの試験方法とは基本原理及び測定方法は異なる。



解説図 10—この試験方法の基本原理

1701 **6.18.2 適用範囲**

1702 適用可能なひび割れについては **6.17.2** を参照されたい。

1703 **6.18.3 用語及び定義**

1704 **6.18.3.1 入力装置**

1705 入力装置については **6.17.3.1** を参照されたい。

1706 **6.18.4 試験装置**

1707 **6.18.4.1 入力装置**

1708 入力装置は **F.3** で弾性波の入力のタイミングを出力できる装置に限定して規定した。この理由は、この
 1709 試験では**解説図 10** に示す入力点からひび割れ先端までの距離とひび割れ先端から受信点までの距離とを
 1710 同一の距離とした条件で回折波の伝搬時間を測定してひび割れ深さを計算するが、鋼球などの弾性波の入
 1711 力のタイミングを出力できない装置で入力点を打撃すると、入力開始時刻(回折波が伝搬を開始した時刻)
 1712 が判断されずに、回折波の伝搬時間を測定されないことによる。

1713 **6.18.4.2 振動センサ**

1714 振動センサについては **6.13.2.2** を参照されたい。

1715

1716 6.18.4.3 AD 変換器及び制御装置

1717 AD 変換器及び制御装置については 6.13.2.3 を参照されたい。

1718 6.18.5 ひび割れ深さの試験方法の手順

1719 この試験は回折波の伝搬時間はひび割れの深さと近傍のコンクリートの弾性波伝搬速度から決定される
1720 ことを基本原理としている。したがって、近傍のコンクリートの弾性波伝搬速度と回折波の伝搬時間とを
1721 測定することによって、ひび割れ深さを算出することが可能となる。

1722 6.18.6 弾性波伝搬速度の測定

1723 6.18.6.1 弾性波伝搬速度の測定方法の選定

1724 ここで測定する弾性波伝搬速度は、回折波の伝搬速度と同等となる弾性波伝搬速度としなければならない
1725 い。超音波法などの他の弾性波法及び同じ衝撃弾性波法であっても**附属書 B**で規定されている多重反射の
1726 周波数特性を利用した測定方法などを採用してはならない。

1727 6.18.6.2 測定の準備

1728 測定の準備については 6.13.3 を参照されたい。

1729 6.18.6.3 試験装置の設定

1730 a) **入力点と受信点との距離の差、及び試験装置のサンプリング時間間隔の設定について** F.7 によって
1731 測定されるひび割れ深さの分解能は、F.5 によって測定される弾性波伝搬速度の分解能によって変化
1732 する。この一例として、弾性波伝搬速度の分解能を 20 m/s, 40 m/s, 80 m/s としたときの測定されるひ
1733 び割れ深さの分解能を**解説表 16**に示す。

1734 なお、F.5 によって測定される弾性波伝搬速度の分解能は、F.5.3 で設定される入力点と受信点との
1735 距離の差、及び試験装置のサンプリング時間間隔によって変化する。そこで、これらの設定は測定さ
1736 れるひび割れ深さの分解能を考慮して設定することを規定した。

1737

1738

1739

1740

1741

1742

1743

1744

1745

1746

1747

1748

1749

1750

1751
1752

解説表 16 測定する弾性波伝搬速度の分解能及び算出されるひび割れ深さの分解能 ^{a)}

(a)弾性波伝搬速度の分解能 : 20 m/s

ひび割れ 深さ	測定されるひび割れ深さの分解能		
	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 100 mm の場合	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 200 mm の場合	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 300 mm の場合
50 mm	1.2 mm	4.1 mm	8.5 mm
150 mm	設定不可 ^{b)}	2.1 mm	3.7 mm
250 mm	設定不可 ^{b)}	設定不可 ^{b)}	3.0 mm

1753

(b)弾性波伝搬速度の分解能 : 40 m/s

ひび割れ 深さ	測定されるひび割れ深さの分解能		
	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 100 mm の場合	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 200 mm の場合	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 300 mm の場合
50 mm	2.5 mm	7.9 mm	16.0 mm
150 mm	設定不可 ^{b)}	4.1 mm	7.4 mm
250 mm	設定不可 ^{b)}	設定不可 ^{b)}	6.1 mm

1754

(c)弾性波伝搬速度の分解能 : 80m/s

ひび割れ 深さ	測定されるひび割れ深さの分解能		
	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 100 mm の場合	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 200 mm の場合	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 300 mm の場合
50mm	4.8 mm	14.9 mm	29.0 mm
150mm	設定不可 ^{b)}	8.2 mm	14.5 mm
250mm	設定不可 ^{b)}	設定不可 ^{b)}	12.0 mm

1755

注 ^{a)} 想定される弾性波伝搬速度を 4 000 m/s とし計算。

1756
1757

注 ^{b)} 入力点及び受信点からひび割れまでの距離はひび割れ深さよりも大きくなるように設定するので **F6.2c)** 参照), この条件の設定は不可能である。

1758
1759
1760
1761

設定の流れとしては、まず、**F.5** で測定される弾性波伝搬速度の分解能を決定することとなる。**解説表 16** によって、測定されるひび割れ深さの分解能は、測定条件、実際のひび割れ深さによっても変化するが、弾性波伝搬速度の分解能が小さくなれば、測定されるひび割れ深さの分解能は小さくなる。この性質を考えて、**F.5** で測定する弾性波伝搬速度の分解能を判断すればよい。

1762
1763
1764

次に、決定した弾性波伝搬速度の分解能を満足する試験装置のサンプリング時間間隔と、入力点と受信点との距離の差との条件を判断して、両者を設定することとなる。これらの条件の一例を**解説表 17** に示す。なお、**解説表 17** は解説式(解.14)によって算出したものである。

1765
1766
1767
1768
1769
1770

1771 解説表 17—測定する弾性波伝搬速度の分解能を満足する入力点と受信点との距離の
1772 差、及び試験装置のサンプリング時間間隔の条件の例 ^{a)}

サンプリング 時間間隔	入力点と受信点との距離の差		
	測定する弾性波伝搬速度の分 解能が 20 m/s の場合	測定する弾性波伝搬速度の 分解能が 40 m/s の場合	測定する弾性波伝搬速度の 分解能が 80 m/s の場合
0.50 μs	402 mm 以上	202 mm 以上	102 mm 以上
1.00 μs	804 mm 以上	404 mm 以上	204 mm 以上
2.00 μs	1 608 mm 以上	808 mm 以上	408 mm 以上
5.00 μs	4 020 mm 以上	2 020 mm 以上	1 020 mm 以上

1773 注 ^{a)} 想定される弾性波伝搬速度を 4 000 m/s として計算。

1774
$$L_2 - L_1 = \Delta L \geq \frac{\Delta T \cdot V_{PD} \cdot (\Delta V + V_{PD})}{\Delta V} \dots\dots\dots$$

1775 (解.14)

1776 ここで、 L_1 : 弾性波の入力点から振動の測定点 1 までの距離 (m)
1777 ただし、弾性波の入力のタイミングを出力できる入力装置を使用する場合は、
1778 0 m となる。

1779 L_2 : 弾性波の入力点から振動の測定点 2 までの距離 (m)

1780 ΔL : 伝搬距離の差 (m)

1781 ΔV : 測定する弾性波伝搬速度の分解能 (m/s)

1782 ΔT : 試験装置のサンプリング時間間隔 (s)

1783 V_{PD} : 想定される弾性波伝搬速度 (m/s)

1784 ただし、想定が困難な場合は 4 000 m/s としてよい。

1785

1786 b) その他 設定内容のその他については 6.13.4.1 を参照されたい。

1787 **6.18.6.4 入力点と受信点との距離の差の測定**

1788 入力点と受信点との距離の差の測定については 6.13.4.2 を参照されたい。

1789 **6.18.6.5 弾性波の入力及び伝搬時間の測定**

1790 弾性波の入力及び伝搬時間の測定については 6.13.4.3 を参照されたい。

1791 **6.18.6.6 弾性波伝搬速度の計算**

1792 弾性波伝搬速度の計算については 6.13.5 を参照されたい。

1793 **6.18.7 回折波の伝搬時間の測定**

1794 **6.18.7.1 測定の準備**

1795 測定の準備については 6.16.5 を参照されたい。

1796 **6.18.7.2 試験装置の設定**

1797 a) **入力点及び受信点からひび割れまでの距離の設定について** 入力点及び受信点からひび割れまでの
 1798 距離がひび割れ深さよりも小さくなる場合には、この試験の基本原理に示した以下を満足しない。

- 1799 ・回折波は入力点とひび割れ先端と受信点とを一直線に伝搬する経路となること
- 1800 ・回折波の伝搬速度は近傍のコンクリートの弾性波伝搬速度と同等となること

1801 したがって、入力点及び受信点からひび割れまでの距離は、ひび割れ深さよりも大きくすることを
 1802 要求した。なお、入力点及び受信点からひび割れまでの距離をひび割れ深さよりも大きく設定した場
 1803 合は、時刻歴波形の初動の初動は上向きとなる（**解説図 11** 参照）。

1804 ただし、入力点及び受信点からひび割れまでの距離が大きくなると、**解説表 16** に示したとおり、**F.7**
 1805 によって測定するひび割れ深さの分解能が大きくなる。この分解能の変化も考慮する必要がある。

1806 b) **入力点及び受信点からひび割れまでの距離、及び試験装置のサンプリング時間間隔の設定について**
 1807 入力点及び受信点からひび割れまでの距離、及び試験装置のサンプリング時間間隔は測定されるひび
 1808 割れ深さの分解能を考慮して設定することを規定した。ただし、**F.5.3** において測定するひび割れ深さ
 1809 の分解能は既に考慮され、**F.5** で測定される弾性波伝搬速度の分解能が決定されていることから、この
 1810 結果を満足するように設定すればよい。ここで決定した弾性波伝搬速度の分解能を満足する入力点及
 1811 び受信点からひび割れまでの距離、及び試験装置のサンプリング時間間隔の一例を**解説表 18** に示す。

1812 **解説表 18 F.5.3 で考慮したひび割れ深さの分解能（弾性波伝搬速度の分解能）を満足す**
 1813 **るサンプリング時間間隔^{a)}**

1814 (a)弾性波伝搬速度の分解能：20 m/s

ひび割れ 深さ	サンプリング時間間隔		
	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 100 mm の場合	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 200 mm の場合	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 300 mm の場合
50 mm	0.28 μs 以下	0.51 μs 以下	0.76 μs 以下
150 mm	設定不可 ^{b)}	0.62 μs 以下	0.83 μs 以下
250 mm	設定不可 ^{b)}	設定不可 ^{b)}	0.97 μs 以下

1815 (b)弾性波伝搬速度の分解能：40 m/s

ひび割れ 深さ	サンプリング時間間隔		
	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 100 mm の場合	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 200 mm の場合	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 300 mm の場合
50 mm	0.55 μs 以下	1.02 μs 以下	1.51 μs 以下
150 mm	設定不可 ^{b)}	1.24 μs 以下	1.66 μs 以下
250 mm	設定不可 ^{b)}	設定不可 ^{b)}	1.93 μs 以下

1816 (c)弾性波伝搬速度の分解能：80 m/s

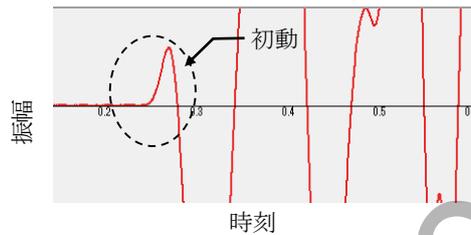
ひび割れ 深さ	サンプリング時間間隔		
	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 100 mm の場合	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 200 mm の場合	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離が 300 mm の場合
50 mm	1.10 μs 以下	2.02 μs 以下	2.98 μs 以下
150 mm	設定不可 ^{b)}	2.45 μs 以下	3.29 μs 以下
250 mm	設定不可 ^{b)}	設定不可 ^{b)}	3.83 μs 以下

1817 **注^{a)}** 想定される弾性波伝搬速度を 4 000 m/s としして計算。

1818 注^{b)} 入力点及び受信点からひび割れまでの距離はひび割れ深さよりも大きくなるように設定するの
 1819 で (F6.2c) 参照), この条件の設定は不可となる。

1820

1821 c) トリガ, 測定時間長の設定について トリガ, 測定時間長は, 受信点で測定される回折波による時刻
 1822 歴波形の初動の波長, 及び初動が到達する時刻を推定して設定する。これらの推定が困難な場合には,
 1823 実際に測定された時刻歴波形を確認して判断すればよい。時刻歴波形で回折波による初動が測定され
 1824 ている例を解説図 11 に示す。



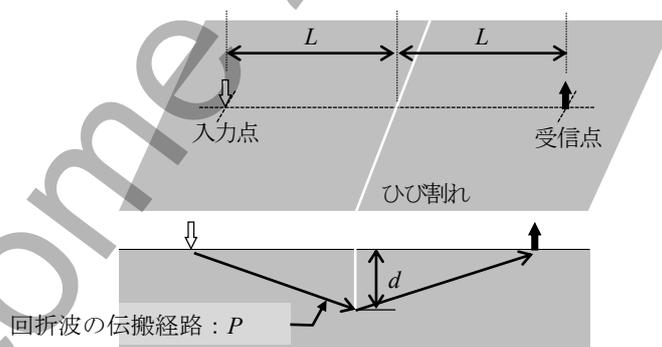
解説図 11—時刻歴波形で回折波による初動が測定されている例

1825 6.18.7.3 回折波の伝搬時間の測定

1826 受信点における時刻歴波形の初動が, 解説図 11 に示した例とは異なり, 下向きとなった場合は入力点と
 1827 受信点との距離がひび割れ深さよりも小さくなっている場合である。したがって, 入力点と受信点との距
 1828 離が大きくなるように入力点及び受信点を移動させて再度測定をしなければならない。

1829 6.18.8 ひび割れ深さの計算

1830 F.7 の式(F.2)は, 回折波の伝搬経路は解説図 12 に示した経路となることから, F.6.4 で測定した回折波の
 1831 伝搬時間 ΔT_c (s) には, 解説式(解.15)の関係が成立することによるものである。



解説図 12—回折波の伝搬経路とひび割れ深さとの関係

1832
$$\Delta T_c = \frac{P}{V} = \frac{2 \cdot \sqrt{L^2 + d^2}}{V}$$

1833 (解.15)

- 1834 ここで, ΔT_c : 回折波の伝搬時間 (s)
 1835 V : 弾性波伝搬速度 (m/s)
 1836 P : 回折波の伝搬経路 (m)
 1837 d : ひび割れ深さ (m)

1838 L : 入力点及び受信点からひび割れまでの距離 (m)

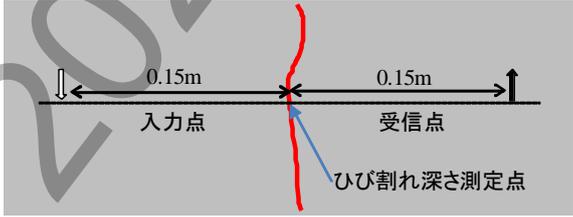
1839 **6.18.9 報告**

1840 参考として報告に用いる様式例の記入例を**解説表 19**に示す。

1841

Pubcome 2025/07/14迄

解説表 19—報告に用いる様式例の記入例（伝搬時間を利用したひび割れ深さの試験方法）

試験年月日		2024年 4月 3日 水曜日	測定時刻	10 : 00~12 : 00
試験場所		東京都大田区〇〇△丁目		
天候・気温など		天 候 : 曇り 気 温 : 18℃		
試験技術者		氏名 : △△△△△		所属 : 株式会社◇◇◇◇◇
		保有資格1)	資格名称・認証番号 : □□□□□診断士・20191002147	
		保有資格2)	資格名称・認証番号 : ×××協会認定技術者レベルⅡ・2018Ⅱ-000	
		保有資格3)	資格名称・認証番号 :	
試験装置	入力装置	種類 : 鋼球	材質 : 鋼材	質量 (直径) : 15mm
	振動センサ	製造会社 : (株)××××	形式 : ABCDE	製造番号 : 123456
		周波数範囲 (±10%) : 0.1Hz~12.5Hz		
AD変換器	製造会社 : ****(株)	形式 : FGHIJ	製造番号 : 98765	
測定パラメータ		サンプリング時間間隔 : 0.5 μs		
		測定時間長 : 1ms		
試験装置の点検状況		前回点検年月日 : 2023年6月1日	点検者 : △△△△△	
		点検内容 : 製造会社指定の方法		
対象物		名称 : +++++橋梁	竣工年月日 : 19XX年	
		構造 :		
測定箇所 及び 測定結果	入力点及び受信点の 配置状況 (図示)	<p style="text-align: center;">平面図</p> 		
	表面状況 (平滑さ、変状の有無及 びその他特記事項)	平滑, その他特記事項無し		
	測定箇所名称	No. 1		
	入力点及び受信点から ひび割れまでの距離	0.15m		
	測定した 弾性波伝搬速度	3950m/s		
	測定した 回折波の伝搬時間	98.4μs		
	ひび割れ深さの 算定結果	0.12m		
その他	特記事項なし			

1842 **6.19 附属書 G (参考) 附属書 A, B, C で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法**1843 **6.19.1 作成の経緯**

1844 **附属書 G**にはこの規格を用いた試験例として、**附属書 A**、**附属書 B**及び**附属書 C**で規定された方法を
1845 用いてコンクリート変状の有無の試験をどのように行うかを記載した。各附属書の適用範囲にはコンクリ
1846 ートに変状が存在しない箇所と規定されているが、言い換えると変状が存在する箇所を測定することで測
1847 定値に影響を及ぼすことを示している。したがって、変状の有無の試験方法は、健全部、変状が存在する
1848 箇所における測定値の比較を行うものとなる。変状の有無、変状の程度を示す方法は、様々な方法が検討
1849 されており、今回は基本的な測定方法に準じた測定値の比較の概要及びその原理についての記載にとどめ
1850 ている。

1851 **6.19.2 附属書 A, B, C で規定された方法を利用した変状の有無の試験方法の例**

1852 **附属書 A**及び**附属書 B**の適用範囲では、測定する弾性波の伝搬経路中にひび割れ、豆板などの変状が存
1853 在していない箇所と規定されている。すなわち、健全なコンクリートとの測定値と比較することで、コン
1854 クリート内部の変状検知を試験することが可能となる。また、**附属書 C**の適用範囲においてもコンクリ
1855 ート表層部と内部の条件との違いによって表層部付近での弾性波伝搬速度が低下している場合、及びコンク
1856 リートの部材厚さの測定位置内部に空洞、剝離、豆板などの変状部がある場合は、これらの影響が含まれ
1857 た試験結果が得られることに注意する必要があると規定されている。これも変状部がある場合は複数点の
1858 測定値と比較することで変状の有無を試験することが可能となることを示している。

1859 **7 懸案事項**

- 1860 a) **適切な測定を行うための試験装置の設定について** 各附属書に規定した測定及び試験では、サンプリ
1861 ング時間間隔及び測定時間長などの試験装置の設定、弾性波の入力点及び振動の測定点の設定（弾性
1862 波の伝搬距離の差の設定）について、測定値の分解能を考慮するなどして適切に実施する必要がある。
1863 当初、上記の設定条件などについては附属書に含める形で改正作業を行っていたが、煩雑で分量も多
1864 くなるため今回は解説に記載することとした。測定及び試験において適切な設定を行うことの必要性
1865 を十分に理解してもらうことは重要であり、また、本手法のさらなる普及のためにも核となる部分で
1866 あるため、当該部分の掲載の箇所、方法については次回改正時に改めて議論して頂きたい。
- 1867 b) **この規格の構成について** この規格は NDIS2426-2 “コンクリートの非破壊試験－弾性波法－第2部：
1868 衝撃弾性波法”として制定され、本文及び七つの附属書から構成されている。これは、衝撃弾性波法
1869 は様々なコンクリートの非破壊試験に適用されているが、その測定方法、試験手順は対象とする試験
1870 ごとに異なることによる。衝撃弾性波法は現在も多くの研究開発が実施されており、今後も新たな試
1871 験への適用が提案されていくことが考えられる。これらの状況を考えると、衝撃弾性波法という枠組
1872 みによる一つの規格の制定には限界があると考えられ、今後は、測定方法及び試験方法ごとに規格を
1873 制定していくことも視野に入れて検討して頂きたい。
- 1874 c) **改正原案作成委員会の構成について** コンクリート構造物の維持管理にこの規格を適用していくこ
1875 とを考慮すると、改正原案の作成時に、構造物管理者が非破壊試験に求める役割、性能（検出精度な
1876 ど）がより明確になっていることが重要と考えられる。したがって、改正原案作成委員会の委員は、
1877 衝撃弾性波法の専門家だけでなく構造物管理者、コンクリート構造物の維持管理業務に直接携わっ
1878 ている技術者から構成されることが望ましい。

1879

1880 参考文献

- 1881 [1] N. J. Carino, M. Sansalone, N. N. Hsu: A Point Source-Point Receiver, Pulse-Echo Technique for Flaw
1882 Detection in Concrete, ACI JOURNAL, pp. 189-208, 1986. 3-4
- 1883 [2] 岩野聡史, 森濱和正: コンクリート部材を打撃して得られた振動波形の周波数解析方法に関する検
1884 討, 土木学会論文集 E2, Vol.67, No.2, pp.297-308, 2011
- 1885 [3] 三谷宗平, 内田慎哉, 岩野聡史, 久保元樹: 周波数解析方法の違いが衝撃弾性波法によるコンクリ
1886 ートの圧縮強度および部材厚さの評価に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1,
1887 pp.1957-1962, 2017
- 1888 [4] (独)土木研究所・(社)日本非破壊検査協会: 非破壊・微破壊試験によるコンクリート建造物の検査・
1889 点検マニュアル, 大成出版, pp.137, 2010.8
- 1890 [5] 参考文献[4]の pp.141
- 1891 [6] 松田拓, 立見栄司, 蓮尾孝一: 衝撃弾性波法による圧縮強度推定手法に関する研究—円柱供試体に
1892 よる弾性波速度と圧縮強度との関係—, (社)日本非破壊検査協会, シンポジウム; コンクリート構造
1893 物の非破壊検査論文集 (Vol.3), pp.161-166, 2009.8
- 1894 [7] 岩野聡史, 森濱和正: 衝撃弾性波法 (iTECS 法) による新設コンクリート建造物の圧縮強度の推定,
1895 (社)日本非破壊検査協会, シンポジウム; コンクリート建造物の非破壊検査論文集 (Vol.3), pp.167-
1896 170, 2009.8
- 1897 [8] 岩野聡史, 森濱和正, 渡部正: 衝撃弾性波法と微破壊試験の併用による構造体コンクリート圧縮強
1898 度推定方法の提案, 土木学会論文集 E2, Vol.69, No.2, pp.138-153, 2013