

NDIS 意見受付

NDIS2434 能動弾性波計測手法を用いたコンクリート部材の損傷評価法
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 の制定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：2022 年 6 月 30 日（木）

意見提出先：Email：bsn@jsndi.or.jp

目次

	ページ
1 適用範囲	1
2 引用規格	1
3 用語及び定義	1
4 試験の準備	2
4.1 事前調査	2
4.2 試験装置	2
4.3 AE センサの配置	3
5 試験の手順	4
5.1 AE センサの取付け	4
5.2 AE センサ取付け状況の確認	4
5.3 背景雑音の強度測定	4
5.4 しきい値の調整	4
5.5 AE 計測	4
6 試験結果の記録	6
7 計測及び損傷評価方法	6
7.1 計測・損傷評価の手順	6
7.2 弾性波源位置標定	7
7.3 弾性波源密度マップの作成	7
7.4 損傷の評価	8
附属書 A (参考) 弾性波源密度マップの生成方法	9
附属書 B (参考) センサ配置に応じた補正	11
解説	17

まえがき

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“NDIS2434”に従うことは、次の者のもつ特許権“特許第 6386175 号”などの使用に該当するおそれがあるので、留意する。

(特許権者)

氏名 1 : 株式会社東芝

住所 1 : 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号

氏名 2 : 国立大学法人京都大学

住所 2 : 京都府京都市左京区吉田本町 3 6 番地 1

上記の特許権等の権利者は、非差別的かつ合理的な条件でいかなる者に対しても当該特許権等の実施の許諾等をする意思のあることを表明している。ただし、この規格に関連する他の特許権等の権利者に対しては、同様の条件でその実施が許諾されることを条件としている。

この規格に従うことが、必ずしも、特許権の無償公開を意味するものではないことに注意する必要がある。

この規格の一部が、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。(一社)日本非破壊検査協会は、このような特許権、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。

なお、ここで“特許権等”とは、特許権、出願公開後の特許出願又は実用新案権をいう。

関連特許リスト(国内)

1. 特許 6386175 号 : 構造物評価システム, 構造物評価装置及び構造物評価方法
2. 特許 6368039 号 : 構造物評価システム, 構造物評価装置及び構造物評価方法
3. 特許 6756927 号 : 構造物評価システム及び構造物評価方法
4. 特許 6857777 号 : 構造物評価システム, 構造物評価装置及び構造物評価方法
5. 特開 2021-096266 : 構造物評価システム, 構造物評価装置及び構造物評価方法
6. 特許 6871201 号 : 構造物評価システム, 構造物評価装置及び構造物評価方法

日本非破壊検査協会規格

NDIS 2434 : 202X

能動弾性波計測手法を用いたコンクリート部材の損傷評価法

Methods for damage assessment of concrete members
utilizing active elastic wave measurements

1 適用範囲

この規格は、能動弾性波を計測し、床版、桁などのコンクリート部材の損傷を評価する方法について規定する。

2 引用規格

次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の規定の一部を構成する。この引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS Z 2300 非破壊試験用語

3 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 Z 2300**による。

3.1

AE 源 (AE source)

コンクリート部材内のひび割れなどを起因とした AE の発生源

3.2

能動弾性波(active elastic wave)

コンクリート部材内のひび割れなどを発生源とせず、ハンマ、散水による液滴などの人工的な現象、降雨による雨滴などの自然現象、などによる外部からの衝撃が、コンクリート部材表面に作用して発生する弾性波

3.3

弾性波源 (elastic wave source)

能動弾性波の発生源

3.4

弾性波源分布 (elastic wave source distribution)

弾性波源の位置標定を用いて求められた、弾性波源の位置の分布

3.5

31 **弾性波源密度 (elastic wave source density)**

32 単位面積当たりの、位置標定された弾性波源の個数

33 **3.6**

34 **弾性波源密度マップ (elastic wave source density map)**

35 弾性波源密度の空間的な分布を表示したもの

36 **3.7**

37 **AE 計測 (AE measurement)**

38 AE センサを用いた計測

39 **3.8**

40 **損傷 (damage)**

41 コンクリート部材の品質あるいは性能が本来あるべき姿でない状態

42 **4 試験の準備**

43 **4.1 事前調査**

44 試験対象について、AE 試験の実施者は事前に次の情報を取得しておく。

45 **4.1.1 形状特性**

46 a) 形状を示す図面 (寸法, 床版厚など)

47 b) 周辺部材との位置関係を示す図

48 **4.1.2 履歴**

49 a) しゅん工日, 補修履歴

50 b) 補修の概要

51 **4.1.3 雑音状況の確認及びその対策**

52 試験場所において、特に次の項目についての確認を行い、予想される雑音状況を把握しておく。

53 a) 空中及び部材を通じて伝わってくる機械的雑音

54 b) 電氣的雑音

55 **4.2 試験装置**

56 試験装置の標準的構成を図 1 に示す。

57

58

59

60

61

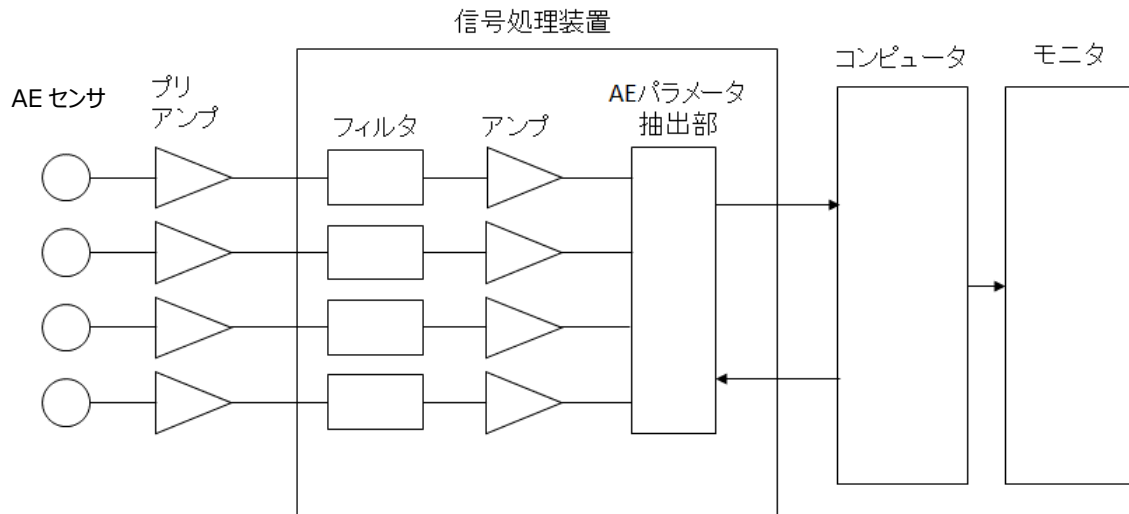


図 1—試験装置の標準的構成

62 4.2.1 AE センサ

63 AE センサは絶対感度校正を行い、その周波数特性において最大感度の周波数が 20 kHz～100 kHz の範
 64 囲にあり、最大感度が 53 dB (1 V/(m/s)の感度を 0 dB とする。この場合、約 0.45 kV/(m/s) 以上のものを
 65 使用する。また、使用する各 AE センサは同一機種を使用し、その特性のばらつきは、最大感度差 6 dB 以
 66 内とする。

67 4.2.2 試験装置

68 試験装置は、対象部材の全部又は特定の領域を監視するのに十分な数の AE センサ及び計測チャンネル
 69 をもつものとする。さらに、試験装置は、AE、及び弾性波の発生状況に関して次の情報を記録できなけれ
 70 ばならない。

- 71 a) AE 又は弾性波のセンサ到達時刻
- 72 b) AE 信号振幅又はそれに代わる量

73 4.2.3 擬似 AE 源

74 擬似 AE 源は、その周波数帯域が少なくとも 20 kHz～100 kHz の範囲を含み、再現性があるものを用い
 75 る。シャープペンシル芯圧折などの機械的な方法、又は電気パルス発生装置とそれに接続された AE セン
 76 サ若しくはそれと同じ帯域のパルサーのいずれを用いてもよい。

77 4.3 AE センサの配置

78 AE センサは、試験対象領域からの AE 波を、少なくとも AE 源の位置標定計算に最低限必要な数のセン
 79 サで検出できるようにする。検出対象として想定する損傷のサイズに対して十分な分解能をもつようにセ
 80 ンサ間隔を設定する。また、使用するセンサの対応する周波数帯域における部材内での弾性波の減衰度合
 81 も考慮してセンサ間隔を設定する。この場合の例として 2 m×4 m の RC 床版を 30 kHz 帯の AE センサで
 82 計測することを想定した場合、コンクリートにおける弾性波の減衰を考慮して、センサ間隔を 1 m 弱程度
 83 に設定することが望ましい。したがって、この場合は 3 列×5 列程度の格子配置などが想定される。検出
 84 したい損傷がより小さい場合、使用するセンサがより高域の周波数を対象とする場合などは、センサ間隔
 85 をより小さく設定する。

86 5 試験の手順

87 5.1 AE センサの取付け

88 AE センサの対象部材への取付け例を図 2 に示す。センサは対象部材片面に複数配置し、反対面で発生
89 し部材を透過した弾性波を検出する。センサで囲まれた領域が試験対象領域となる。

90 5.2 AE センサ取付け状況の確認

91 AE センサの試験対象に対する音響結合状態及び接続の確認は、AE センサの取付けに引き続いて行う。
92 また、試験の終了直後にも行うことが望ましい。

93 図 3 に AE センサ取付け状況の確認方法について示す。取付け状況確認のための音源は、擬似 AE 源を
94 用いる。各 AE センサの近傍で擬似 AE を複数回発生させ、当該 AE センサで信号を検出し、最大振幅値の
95 平均値を得る。この操作を全ての AE センサに対して行い、得られた全ての平均値間の差が 6 dB 以内とす
96 る。AE 計測時の電圧しきい値及び AE 源位置標定の許容精度は、既知の AE 源の特性を元にあらかじめ設
97 定するものとする。

98 5.3 背景雑音の強度測定

99 試験に使用する全チャンネルについて、背景雑音の強度（ピーク電圧値）を測定し、記録する。強力な
100 雑音源があるときには、遮断措置を講じなければならない。床版計測の際には、橋梁路面を走行する車両
101 がない状況にて行うことが望ましい。

102 5.4 しきい値の調整

103 試験に使用する全てのチャンネルの電圧しきい値は、背景雑音で作動しないように調整する。

104 5.5 AE 計測

105 対象構造物に衝撃などを与えて弾性波を発生させ、構造物を透過した弾性波を AE センサによって計測
106 する。弾性波は、試験対象領域内に一様な分布で多数発生させるのが望ましい。弾性波は、ハンマなどの
107 器具を用いて能動的に付与した衝撃のほか、降雨などの自然現象による衝撃などを利用して発生させても
108 よい。AE 計測は、少なくとも 4.2.2 で示したパラメータを計測し、分析に十分なデータが蓄積されるまで
109 行う。

110

111

112

113

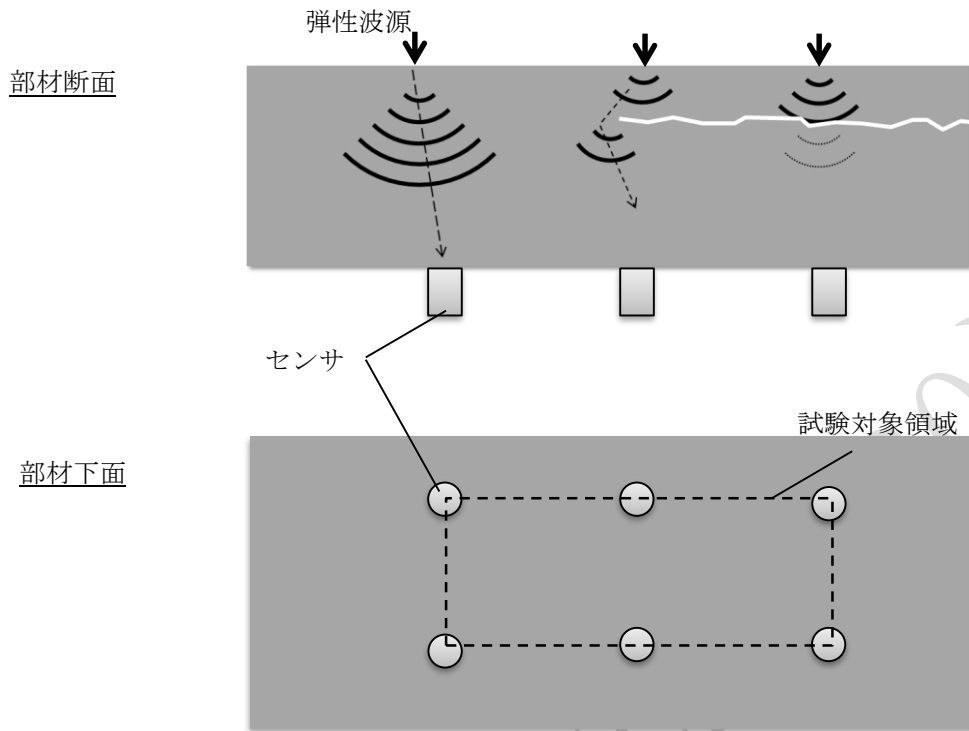


図 2-AE センサの配置例

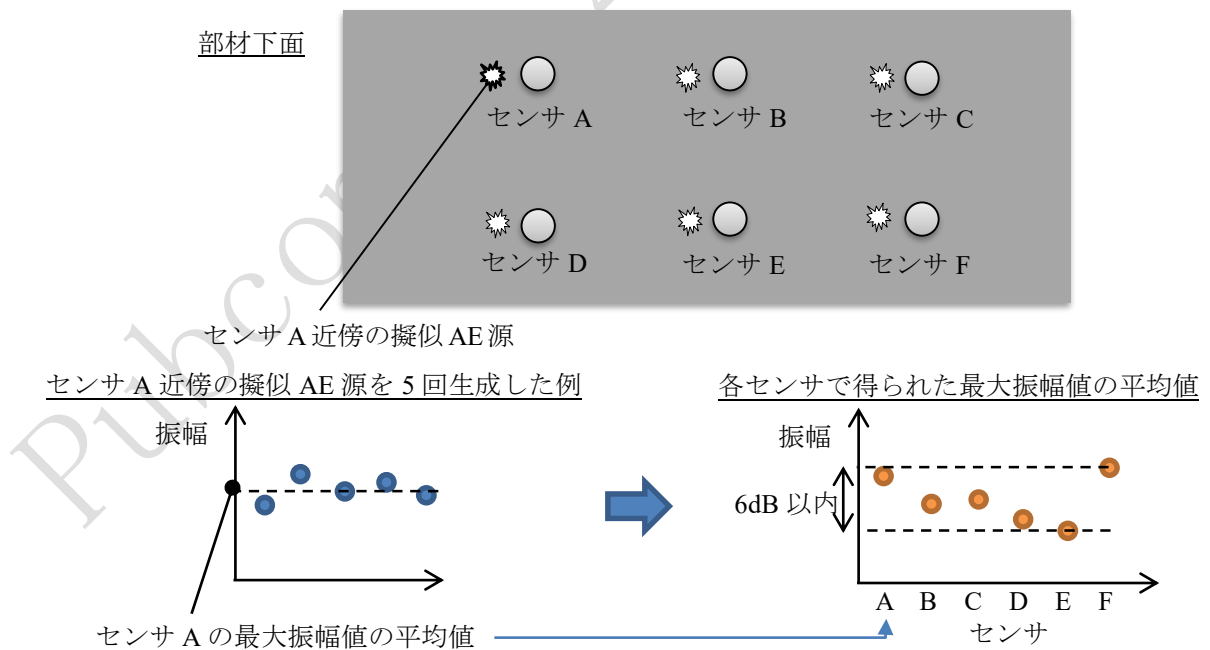


図 3-AE センサ取付け状況の確認方法

114 **6 試験結果の記録**

115 AE 試験の経過及び結果は、通常、次の項目について記録する。

- 116 a) 試験対象
- 117 b) 試験日時
- 118 c) 試験実施場所
- 119 d) 試験装置の性能確認の結果
- 120 e) AE センサの配置及び取付方法
- 121 f) 計測設定（しきい値など）
- 122 g) 背景雑音の影響
- 123 h) AE の発生状況（AE 事象数と時間の関係、AE 標定位置など）
- 124 i) 試験結果の分析の手続き及びその結果
- 125 j) 試験技術者の氏名
- 126 k) 試験装置の仕様（表 1 参照）

127

表 1—試験装置の仕様

項目	センサ	プリアンプ	信号処理装置
型式			
利得（ゲイン） (dB)			
周波数通過帯域 (Hz)			

128 **7 計測及び損傷評価方法**

129 **7.1 計測・損傷評価の手順**

130 損傷評価の流れを図 4 に示す。

131

132

133

134

135

136

137

138

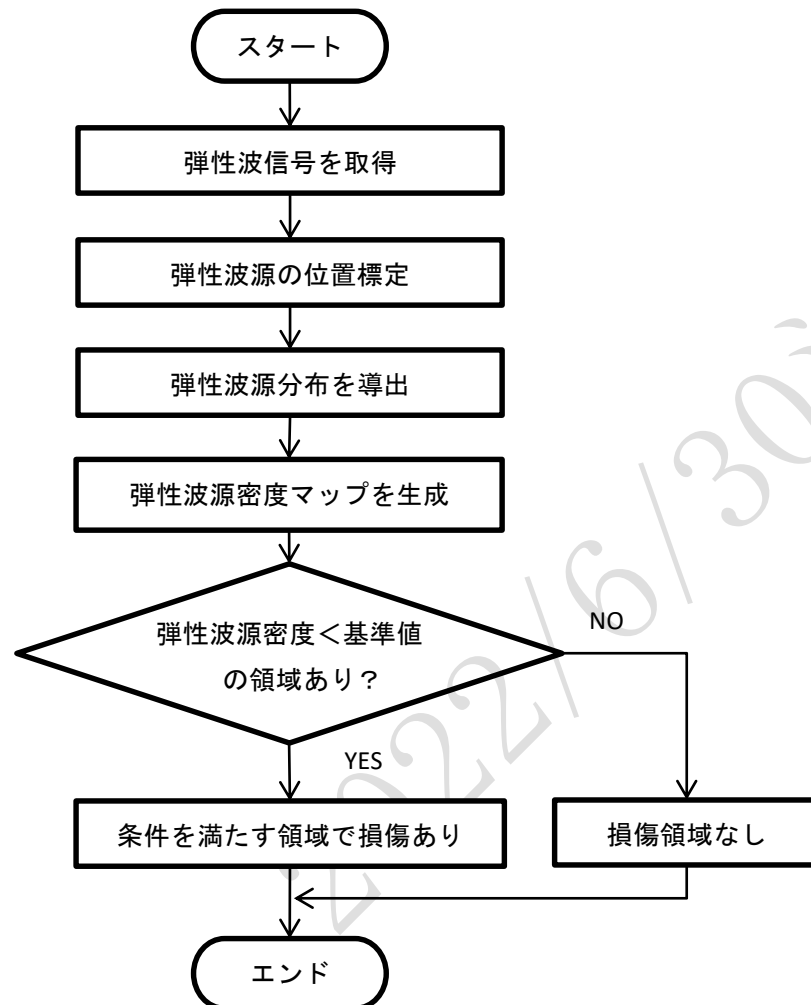


図 4-1 損傷評価の流れ

139 7.2 弾性波源位置標定

140 弾性波の伝搬速度と各センサへの到達時間差とを用いて弾性波源の位置標定を行い、弾性波源分布を求
 141 める。位置標定は、二次元での平面的な標定以外にも、対象の構造、センサ配置に応じて、一次元、三次
 142 元での標定を使用することも可能である。弾性波の伝搬速度は、対象部材における弾性波伝搬速度を使用
 143 する。例えば、対象部材に弾性波を発生させ、対象部材の健全な領域を通過した弾性波を計測すること
 144 によって得られた伝搬速度を使用する。

145 7.3 弾性波源密度マップの作成

146 弾性波源分布から、弾性波源密度を算出し、弾性波密度マップを作成する。弾性波源密度マップの作成
 147 例を図 5 に示す。例では、試験対象領域をメッシュに区切り、各メッシュ内に標定された弾性波源の個数
 148 を数える。各メッシュ内の弾性波源の数をメッシュの面積で除することによって、メッシュごとの弾性波
 149 源密度が得られる。各位置のメッシュごとに得られた弾性波密度を表示することで弾性波源密度マップを
 150 生成する。

151 弾性波源密度マップの生成手順については、上記に限るものではない。例えば、カーネル密度分布など、

152 弾性波源密度と同等の指標を代わりに用いてもよい。

153 **7.4 損傷の評価**

154 弾性波源密度の基準値に対して評価対象位置における密度の高低に応じて、健全度を評価する。弾性波
 155 源密度が高い場合が健全、弾性波源密度が低い場合が損傷と評価される。

156 基準値は、付与された能動弾性波源密度、及び弾性波が弾性波源からセンサまで伝搬する経路における
 157 減衰を考慮し決定する。

158 例えば、既知の点を打撃することによって弾性波を励起する場合は、励起点及びその分布は既知となり、
 159 部材での減などを加味して想定される弾性波源分布に応じて基準値を設定する。弾性波源の位置が既知で
 160 ない場合については、例えば、激しい降雨による雨滴のように、一様分布で高密度の衝撃が付与された場
 161 合、得られる弾性波源密度は平均的に高くなるため、基準値を高く設定する。一方、元々の弾性波源が少
 162 ない場合、部材の構造及び特性上、大きな減衰が見込まれる場合は、全体的に弾性波源密度が低くなるた
 163 め、基準値もそれに伴い低く設定する。対象部材、それと同等の試験体を用いた試験が可能な場合は、健
 164 全な領域において計測を実施し、健全部で得られる弾性波源密度を把握し、基準値を設定する。なお、標
 165 定される弾性波源密度は、センサ配置の影響を受けるため特別な配慮が必要な場合がある。

166

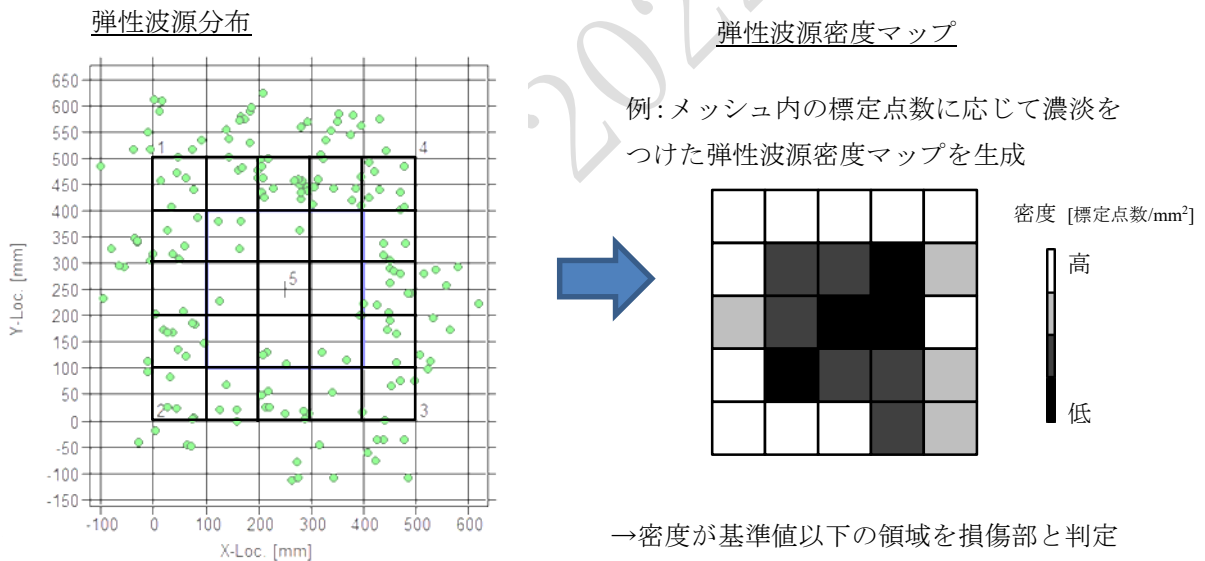


図 5—損傷評価の例

167
 168
 169
 170
 171
 172

173 附属書 A
174 (参考)

175 弾性波源密度マップの生成方法

176

177 A.1 カーネル密度推定を用いた弾性波源密度マップの生成

178 標定された弾性波源を，確率分布を示すカーネルに置き換えて積算することでカーネル密度分布が得ら
179 れる。図 A.1 にカーネル密度推定の概略を示す。標定された弾性波源を，カーネル関数に置き換える。図
180 には，カーネル関数にガウス分布を採用した例を示す。点 (x_0, y_0) に対するガウス分布のカーネル関数は次
181 式(1)の $K_h(x, y)$ で表せる。式中の h は関数のバンド幅を示す。

182

$$183 (x_0, y_0) \rightarrow K_h(x, y) = \frac{1}{2\pi h^2} \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2h^2}\right) \dots\dots\dots (1)$$

184

185 カーネル関数は，積分値が1となっており，関数の値はある位置に標定点が存在する確率と考えてよい。
186 確率分布の広がりにはバンド幅によって規定が可能である。バンド幅の設定に当たっては，標定精度が悪い
187 場合にバンド幅を大きくするなど，標定誤差を反映させてもよい。次式(2)に示すように，カーネル関数を
188 全ての弾性波源について足し合わせることで，全体の弾性波源密度 $f(x, y)$ が得られる。

189

$$190 f(x, y) = \frac{1}{N} \sum_i^N K_h(x - x_i, y - y_i) \dots\dots\dots (2)$$

191

192 足し合わせて得られた密度の総和を標定点の数で割ることによって，全体の密度が1に正規化される。
193 この場合，得られる密度の値は，一つの標定点が試験対象領域のある評価位置で観測される確率に相当す
194 ると考えられる。 $f(x, y)$ をコンター図などで平面上に表示したものが弾性波源密度マップとなる。

195

196

197

198

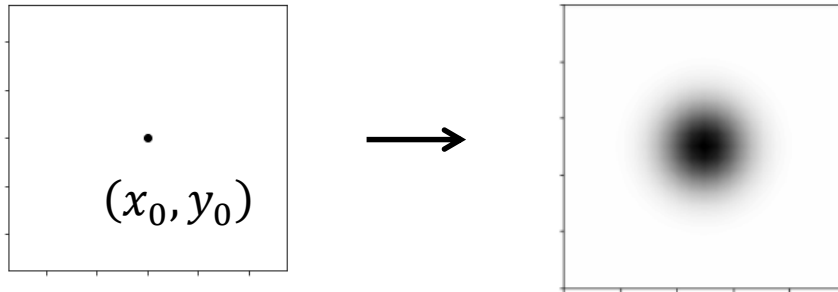
199

200

201

202

カーネル関数



弾性波密度マップ

バンド幅 : 60 mm

メッシュサイズ : 20 mm x 20 mm

スムージングあり

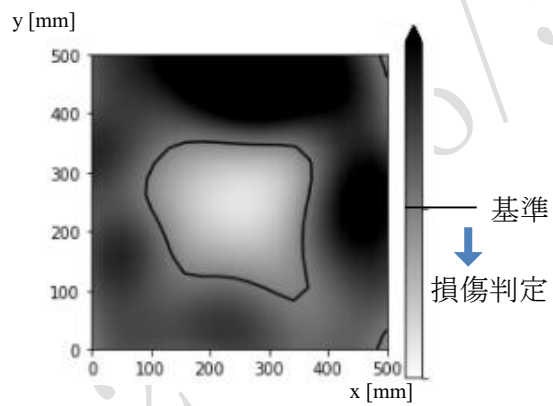


図 A.1ーカーネル密度推定による弾性波密度マップ生成

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

附属書 B

(参考)

センサ配置に応じた補正

214

215

216

217

218

219 B.1 損傷とセンサとの位置関係に応じた補正

220 標定される弾性波源の密度は、損傷とセンサとの位置関係によって影響を受ける場合がある。**図 B.1** に
221 例を示す。**図 B.1a)**のように、コンクリート構造物に内在するひび割れの直下にセンサが配置されていた場
222 合、ひび割れの真上で発生した弾性波源は、ひび割れの影響を大きく受け、ひび割れ直下のセンサには到
223 達しにくい。弾性波がセンサ B に到達した場合でも、ひび割れを迂回した経路を伝搬した結果、標定され
224 る位置がずれ、結果として損傷領域の標定密度は低下する。一方、b)のように、ひび割れ直下にセンサが
225 配置されていない場合、弾性波の伝搬経路はひび割れの影響を受け得るものの、a)に比較して、損傷領域
226 に弾性波源が標定される確率が上がる。

227 センサ位置を考慮した損傷評価手順の例を**図 B.2**に示す。例では、センサ近傍とそれ以外の領域で、損
228 傷判定の基準値を異なる値に設定し、損傷判定を行っている。判定手順の例は次のとおりである。取得し
229 た AE 信号から弾性波源分布を生成する。本例では、試験対象領域のうち一部を評価領域として 1 か所ず
230 つ選択し、順次判定を行う。選択した評価領域について弾性波源密度を算出する。得られた弾性波源密度
231 は、まずあらかじめ設定した第 1 基準値と比較する。弾性波源密度が第 1 基準値よりも低い場合は、その
232 評価領域は損傷と評価される。弾性波源密度が第 1 基準値より高いときは、更に、第 1 基準値よりも高く
233 設定された第 2 基準値と比較する。弾性波源密度が第 2 基準値より高い場合は健全判定となる。第 2 基準
234 値より低い場合、対象の評価領域が、設置したセンサの近傍であるかを判定する。センサに近い評価領域
235 であれば、対象の評価領域を健全と評価する。センサに近くない場合は、損傷と評価する。なお、本手順
236 では、各評価領域ごとに弾性波源密度を算出して個々に健全判定を行うため、7.3 項記載の弾性波源密度マ
237 ップの作成の手順は不要となる。

238 また、別の評価手順について、**図 B.3**に示す。本例では、弾性波源密度マップをあらかじめ補正すること
239 で一つの閾値で損傷判定を行っている。具体的な手順の例は次のとおりである。取得した AE 信号から
240 弾性波源分布を生成する。評価領域を設定し、弾性波源分布からその領域の弾性波源密度マップを生成す
241 る。そうして得られた弾性波源密度マップを補正する。例えば、センサ位置から一定距離以上離れた領域
242 において、弾性波源密度を一定量低下させるか、あるいは、センサからの距離に応じて密度を連続的に変
243 化させてもよい。その後は、補正した弾性波源密度マップを用いて一つの基準値を用いて、本文の**図 3**で
244 示した方法と同様に、損傷領域の判定を行う。

245

246

247

248

249

250

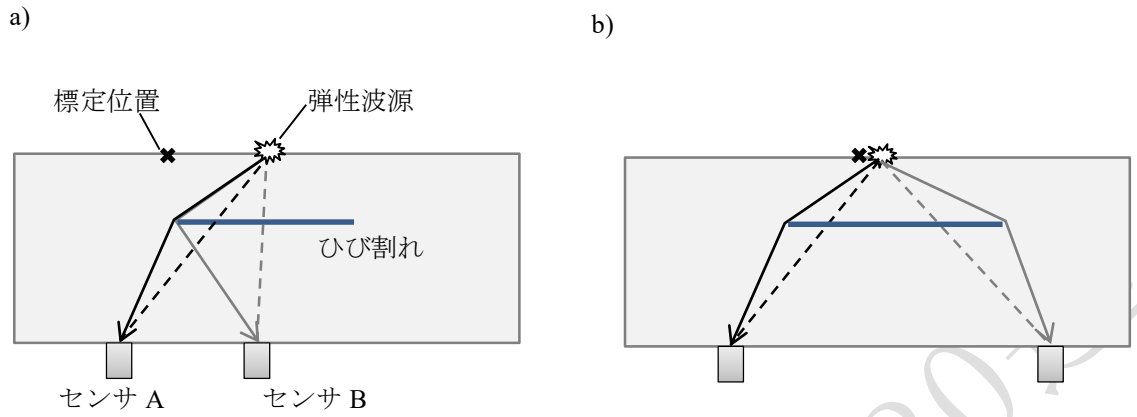


図 B.1—センサ位置による損傷検出性能の変化

251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268

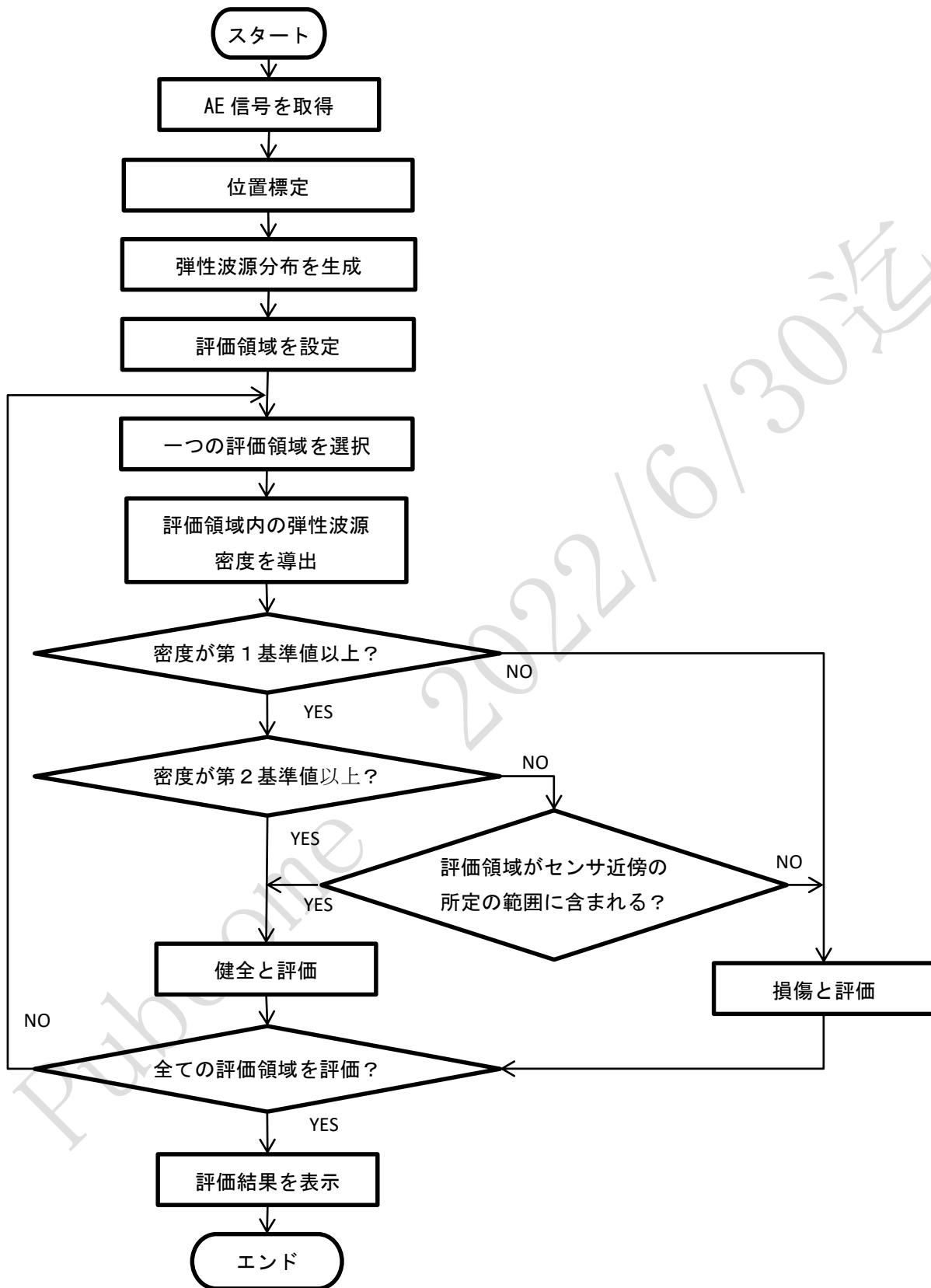


図 B.2—センサ位置を考慮した損傷評価手順の例

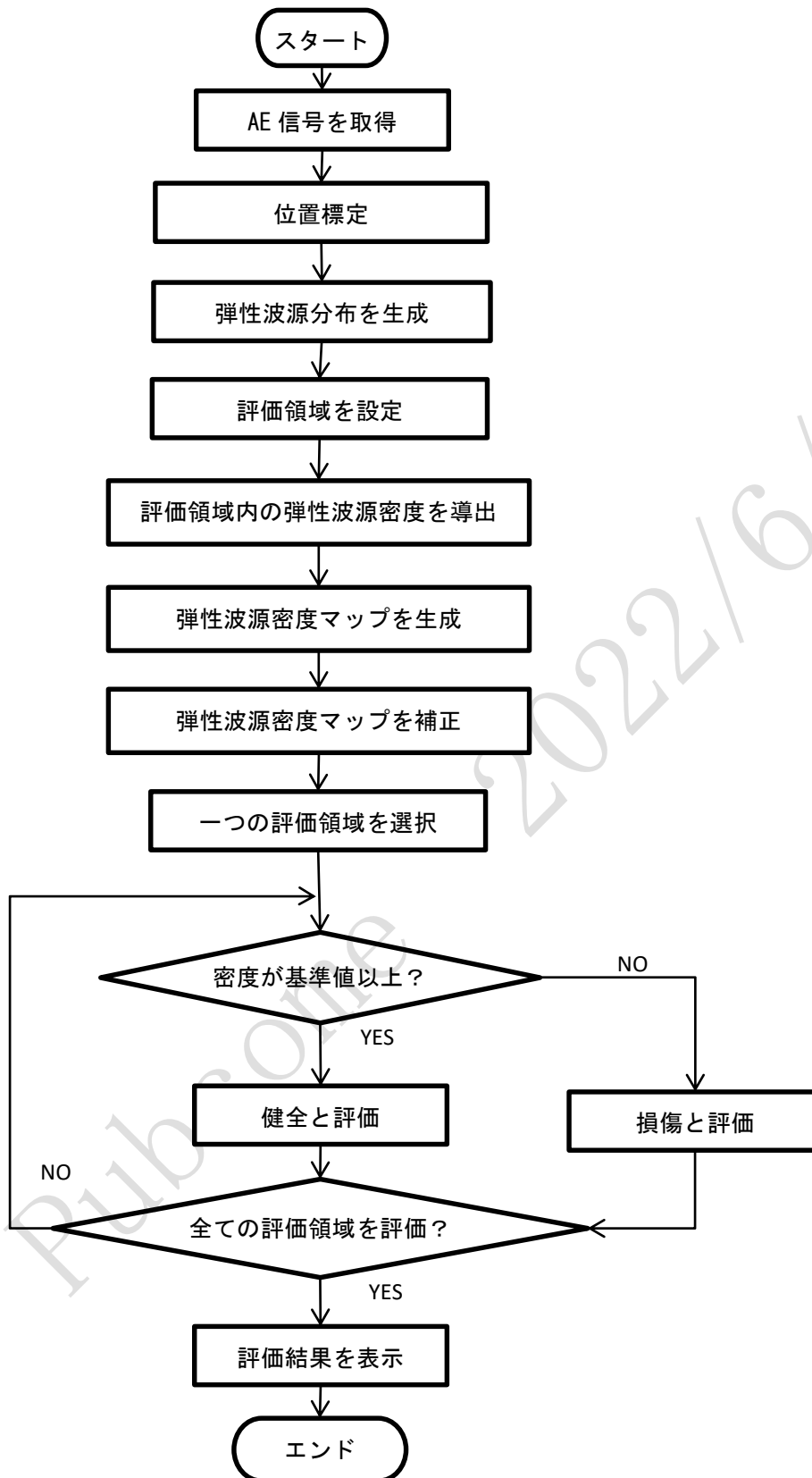


図 B.3—センサ位置を考慮した損傷評価手順の例

269 **B.2 センサの配置密度に応じた補正**

270 標定される弾性波源の密度は、センサの配置密度の影響を受ける場合がある。図 B.4 に示すように、四
 271 つのセンサで弾性波源位置標定を行う場合、a)の位置の弾性波源と b)の位置の弾性波源とで、弾性波を 4
 272 番目に検出するセンサ（4th ヒットセンサ）までの距離が異なり、b)の場合の方が距離が長い。試験対象で
 273 弾性波が伝搬する際の減衰が大きい場合、センサ間隔が大きい場合などは、4th ヒットセンサで弾性波を正
 274 しく検出する確率が低下する。結果として、4th ヒットセンサまでの距離が長い領域において、弾性波源密
 275 度が低下する可能性がある。これを補正する手順の例を示す。図 B.5 は、9 個のセンサを格子状に配置し
 276 た場合の、各位置での 4th ヒットセンサまでの距離の分布を示したものである。距離が長い領域ほど、位
 277 置標定の確率が低下する。したがって、通常の手順によって算出された弾性波源密度に対して、図 B.5 に
 278 示すような分布を反映させた補正係数をかけ合わせる。例えば、4th ヒットセンサまでの距離が短い位置で
 279 は、その位置の弾性波源密度に補正係数をかけずに（あるいは補正係数 1.0 を掛けて）そのまま採用する
 280 のに対して、距離が長い位置では、その位置の弾性波源密度に補正係数 1.0 を超える値をかけてかさ上げ
 281 をする。これによって、弾性波源密度の偏りが補正される。なお、センサが三つあれば平面位置標定が可
 282 能であるため、上記と同様の手順で、3rd ヒットセンサまでの距離による補正を行ってもよい。

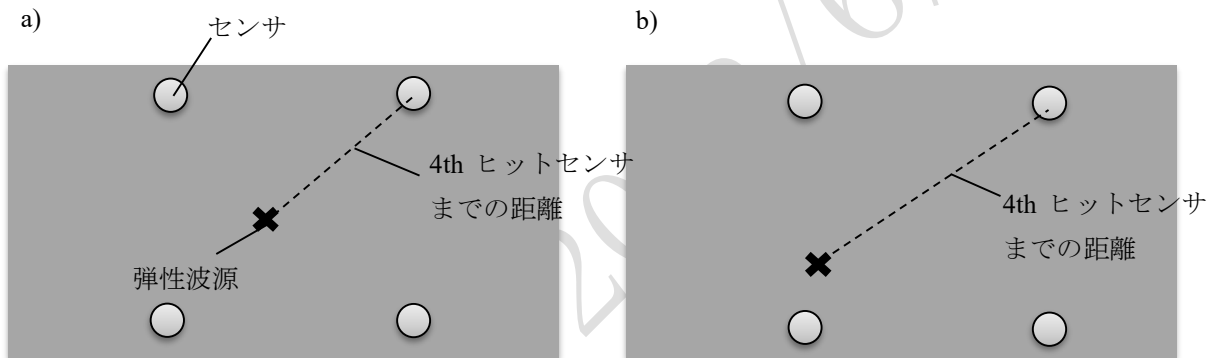


図 B.4—4th ヒットセンサまでの距離

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

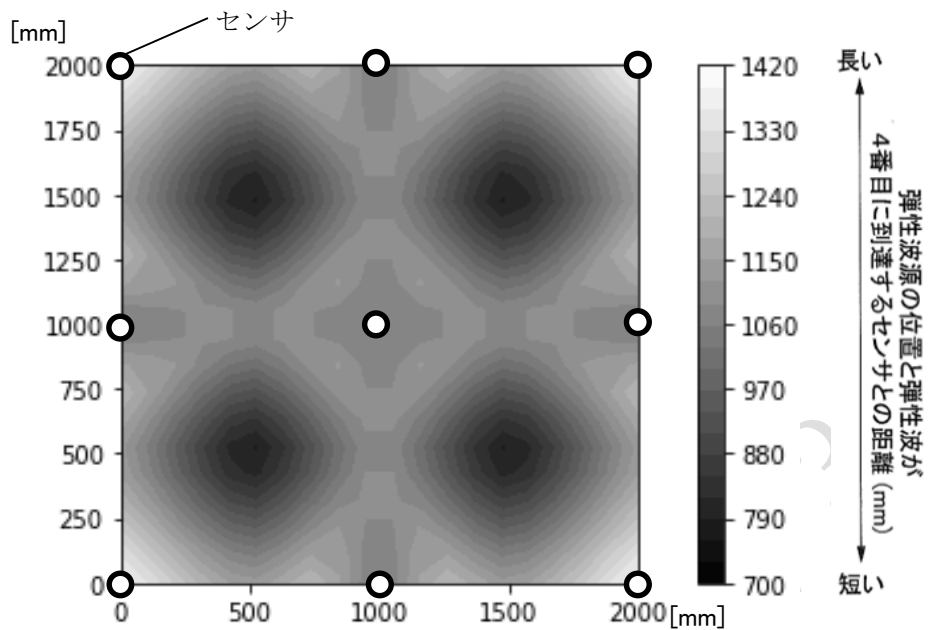


図 B.5-4th ヒットセンサまでの距離分布

293

294

295 **参考文献**

296 [1] E. Whitehurst, Soniscope tests concrete structures, J Am Concr Inst 47 (1951) 433-444.

297 [2] P.Turgut, Research into the correlation between concrete strength and UPV values, e-Journal of
298 Nondestructive Testing, Dec 2004, Vol.12, No.12

299 [3] 岡田, 他 改訂新版コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店, 520-530, 1981

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

NDIS 2434 : 202X

能動弾性波計測手法を用いたコンクリート部材の損傷評価法 解説

この解説は、規格に規定・記載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、一般社団法人日本非破壊検査協会が編集・発行するものであり、これに関する問合せ先は、一般社団法人日本非破壊検査協会である。

1 規格制定の趣旨及び経緯

社会インフラ構造物、なかでもコンクリート構造物は高度経済成長期に大量に建設され、その経年劣化が顕在化しつつある。一方で、我が国の構造的な課題として労働力人口の減少もあり、こうした構造物の効率的な維持管理が社会的要請となっている。損傷が顕在化してから修繕を行う事後保全型から、損傷が軽微なうちに補修を行う予防保全型への転換は、その対策として基本となる取組みである。予防保全型の維持管理を進めるためには、コンクリート部材の場合、表面ひび割れだけを根拠とした判断だけでなく試験による内部損傷把握が必要であるとの認識が広がってきており、潜在的な内部損傷を早期に検知する技術が必要となる。一方で、事後保全においても顕在化した損傷が定量化できる技術は必要であり、これによって合理的な大規模補修計画に対する貢献が可能となる。また、損傷が進行して補修が必要な構造物についても内部の変状を加味して評価すべきである。このような背景のもと、本規格は、コンクリート部材の内部のひび割れなどの損傷を、部材表面に設置した AE センサを用いた計測によって評価することを目的として作成された。

この規格は、**NDIS 2435**（受動弾性波計測手法を用いたコンクリート部材の損傷評価法）と同時期に作成された。**NDIS 2435**が、受動弾性波（部材が外力によって変形した結果生じるひび割れの発生、進展、境界部の相互作用などに伴い発生する弾性波）を計測して、内部損傷を評価するのに対して、本規格は、ハンマ、散水による液滴などの人工的な現象、降雨による雨滴などの自然現象、などによる外部からの衝撃が、コンクリート部材表面に作用して発生する弾性波（これを能動弾性波と呼ぶ）を利用する。能動弾性波としてハンマリングによる弾性波励起が有効であることは自明であるが、既往文献[1]のように強い降雨による雨滴が励起した弾性波を活用し、鉄筋コンクリート床版の内部損傷を評価した場合の有効性も報告されている。

2 構成要素について

この規格の内容、使用されている表現などについて、補足説明をする。

2.1 “損傷”の用法（本体の 3.8）

“損傷”という用語の定義について、ここで使用する“損傷”は、コンクリート標準示方書などで定義される、土木・コンクリート分野での一般的な“損傷”の定義とは異なる。この規格で定義した“損傷”とは、コンクリート標準示方書の定義での、“損傷”と（短時間のうちに発生し、その後は時間経過で進行しないもの）、“劣化”と（時間経過に伴い進行するもの）、並びに“初期欠陥”と（施工時に生じ、有害となる可能性のあるもの）を合わせた“変状”とに近いものである。

345 2.2 AE センサの絶対感度（本体の 4.2.1）

346 使用する AE センサは絶対感度校正を行い，その周波数特性において最大感度の周波数が 20 kHz～100
 347 kHz の範囲にあり，最大感度が 53 dB(約 0.45 kV/(m/s)) 以上のものを使用する。また，使用する各 AE センサは同一機種を使用し，その特性のばらつきは，最大感度差 6 dB 以内とする。この規格では，AE センサの絶対感度の単位として，1 V/(m/s)を基準とした電圧の対数値を用いた。振動センサは一般的に，文献
 349 [2]-[4]などにあるように，共振周波数付近においては振動速度に比例する物理量を計測している。1 V/(m/s)
 350 は，1 m/s の振動速度を検知した際に AE センサから出力される電圧が 1 Vであることを示す。対数値は，
 352 dB を用いて表し，対数値(dB)= $20 \log_{10}(A_1/A_0)$ で換算される。この対数値は，JIS Z 2300 で最大振幅値の値
 353 として用いられる dB_{AE} とは異なることに注意が必要である。なお， dB_{AE} は，JIS Z 2300 で以下のように
 354 定義されている。

355 dB_{AE} （デシベルエーイー）：1 μ V（マイクロボルト）を基準に取ったときの，AE 信号振幅の対数値。信
 356 号の最大振幅値 [$dB_{AE}=20 \log_{10}(A_1/A_0)$]で表され，センサ出力端電圧比に対応する。ここに， A_0 ：1 μ V，
 357 A_1 ：センサ出力端（増幅される前）において測定された AE 信号電圧の最大値(μ V)

358 2.3 AE センサ取付け状況の確認（本体の 5.2）

359 試験対象に設置した AE センサの動作確認として，試験対象に対する音響結合状態及び接続の確認を行
 360 う手順を定めている。動作確認においては，擬似 AE 源をセンサ“近傍”で発生させる。ここで“近傍”
 361 とは，擬似 AE 源からセンサまでの間にひび割れなどの損傷部を挟まない近い位置で，という意味を含む。
 362 損傷部を経由すると擬似 AE 源による弾性波が減衰するため，損傷の影響がない状態で検出信号の最大振
 363 幅値の確認を行い，最大振幅値の差を 6 dB 以内とする。最大振幅値の差の値については，文献[5]-[8]を根
 364 拠とした。損傷などの影響を避けられず，最大振幅値の低下が見られる場合は，センサ配置の変更も検討
 365 する。

366 2.4 弾性波源位置標定における弾性波伝搬速度の設定（本体の 7.2）

367 弾性波源分布を求めるに当たっては，弾性波の伝搬速度と各センサへの到達時間差とを用いて弾性波源
 368 の位置標定を行う。弾性波源位置標定では，計算に用いる弾性波の伝搬速度を設定する必要がある。弾性
 369 波の伝搬速度は，対象部材における弾性波伝搬速度を使用する。例えば，対象部材に弾性波を発生させ，
 370 対象部材の健全な領域を通過した弾性波を計測することによって得られた弾性波伝搬速度を使用すること
 371 が可能である。また，簡易的に，文献[9]，[10]などを参照して弾性波伝搬速度を設定してもよい。例えば，
 372 コンクリート内での一般的な P 波伝搬速度として 4 000 m/s 程度の値を用いる。あるいは，S/N が悪く P 波
 373 の立ち上がりが見出せない場合などに，S 波の伝搬速度を用いる。S 波速度は P 波速度の 6 割程度にな
 374 り，P 波伝搬速度を 4 000 m/s と想定した場合，2 400 m/s 程度となる。

375 2.5 弾性波源位置標定の次元（本体の 7.2）

376 弾性波源位置標定においては，二次元での平面的な標定以外にも，対象の構造，センサ配置に応じて一
 377 次元，三次元での標定を使用することも可能である。一次元標定は細長い構造において弾性波源位置を標
 378 定できるが，床版のような平面的な広がりをもつ構造物に対しては，正確な標定が困難である。また，三
 379 次元標定において正確な標定を行うためには，対象を取り囲む形で三次元的にセンサを配置することが望
 380 ましい。

381

382

383

384 参考文献

- 385 [1] H. Takamine, et.al., “Efficient Damage Inspection of Deteriorated RC Bridge Deck with Rain-induced Elastic
386 Wave”, Const. Build. Mat. 162, 908 (2018)
- 387 [2] 湯山, 他 アコースティック・エミッションによる IoT/AI の基礎と実用例, 朝日出版社 (2018)
- 388 [3] Tse, et.al., MECHANICAL VIBRATIONS (1st edition), Allyn & Bacon (1963)
- 389 [4] 古川, 振動および衝撃測定, 誠文堂光社 (1966)
- 390 [5] NDIS 2421:2000 コンクリート構造物のアコースティック・エミッション試験方法
- 391 [6] ISO 16836:2019 Non-destructive testing - Acoustic emission testing - Measurement method for acoustic
392 emission signals in concrete
- 393 [7] ISO 16837:2019 Non-destructive testing - Acoustic emission testing - Test method for damage qualification
394 of reinforced concrete beams
- 395 [8] ISO 16838:2019 Non-destructive testing - Acoustic emission testing - Test method for classification of active
396 cracks in concrete structures
- 397 [9] 岡田, 他 改訂新版コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店, 520-530 (1981)
- 398 [10] E. Whitehurst, “Soniscope tests concrete structures”, J Am Concr Inst 47, 433-444 (1951).