

NDIS 意見受付

NDIS2435 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
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	AE 源位置標定	7
7.3	AE 源密度マップの作成	7
7.4	弾性波伝搬速度マップの作成	8
7.5	マップの2値化	8
7.6	損傷の評価	8
	附属書 A (参考) AE 源密度マップの生成方法	11
	附属書 B (参考) 基準値の幅の設定	13
	解説	14

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”NDIS2435”に従うことは、次の者のもつ特許権”特許第 6366826 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

1. 特許 6366826 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 6368040 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 6917344 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 2435 : 202X

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

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

1 適用範囲

この規格は、受動弾性波を計測し、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

受動弾性波 (passive elastic wave)

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

3.3

AE 源分布 (AE source distribution)

AE 源の位置標定を用いて求められた、AE 源の位置の分布

3.4

AE 源密度 (AE source density)

単位面積当たりの、位置標定された AE 源の個数

3.5

31 **AE 源密度マップ (AE source density map)**
32 AE 源密度の空間的な分布を表示したもの

33 **3.6**

34 **AE 計測 (AE measurement)**
35 AE センサを用いた計測

36 **3.7**

37 **弾性波伝搬速度マップ (elastic wave velocity map)**
38 試験対象の部材中を伝わる弾性波の伝搬速度の空間的な分布を表示したもの

39 **3.8**

40 **AE トモグラフィ (AE tomography)**
41 AE 計測によって得られた信号から AE 源位置を推定し、部材中の AE の伝搬速度の分布を導出する手
42 法

43 **3.9**

44 **損傷 (damage)**
45 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

46 **4 試験の準備**

47 **4.1 事前調査**

48 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。

49 **4.1.1 形状特性**

- 50 a) 形状を示す図面 (寸法、床版厚など)
51 b) 周辺部材との位置関係を示す図

52 **4.1.2 履歴**

- 53 a) しゅん工日、補修履歴
54 b) 補修の概要

55 **4.1.3 雑音状況の確認及びその対策**

56 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。

- 57 a) 空中及び部材を通じて伝わってくる機械的雑音
58 b) 電氣的雑音

59 **4.2 試験装置**

60 試験装置の標準的構成を図 1 に示す。

61

62

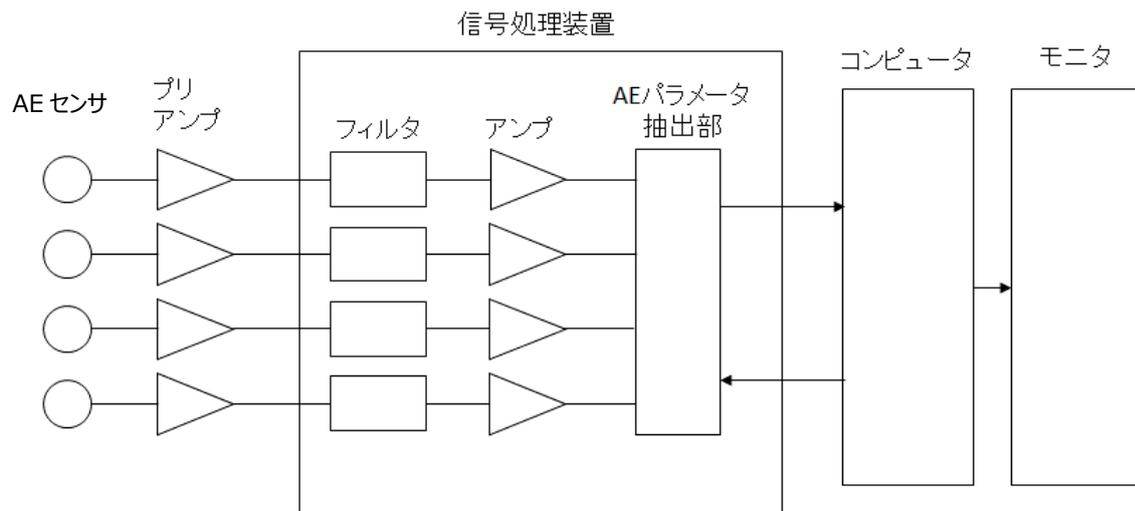


図1-試験装置の標準的構成

63 4.2.1 AE センサ

64 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
 65 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/(ms)) 以上のものを
 66 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
 67 内とする。

68 4.2.2 試験装置

69 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
 70 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
 71 ばならない。

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

74 4.2.3 擬似 AE 源

75 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
 76 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
 77 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。

78 4.3 AE センサの配置

79 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
 80 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
 81 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
 82 も考慮してセンサ間隔を設定する。例として 2 m×4 m の RC 床版を 30 kHz 帯の AE センサで計測するこ
 83 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 弱程度に設定する
 84 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。検出したい損傷
 85 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、センサ間隔をより小さ
 86 く設定する。

87 5 試験の手順

88 5.1 AE センサの取付け

89 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、対象部材内で
90 発生した AE 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。

91 5.2 AE センサ取付け状況の確認

92 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。
93 また、試験の終了直後にも行うことが望ましい。

94 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
95 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
96 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
97 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
98 定するものとする。

99 5.3 背景雑音の強度測定

100 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
101 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
102 が不在状況にて行うことが望ましい。

103 5.4 しきい値の調整

104 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。

105 5.5 AE 計測

106 橋梁における車両通過など、対象部材への負荷などによって発生する AE を計測する。AE 計測は、少な
107 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行う。

108

109

110

111

112

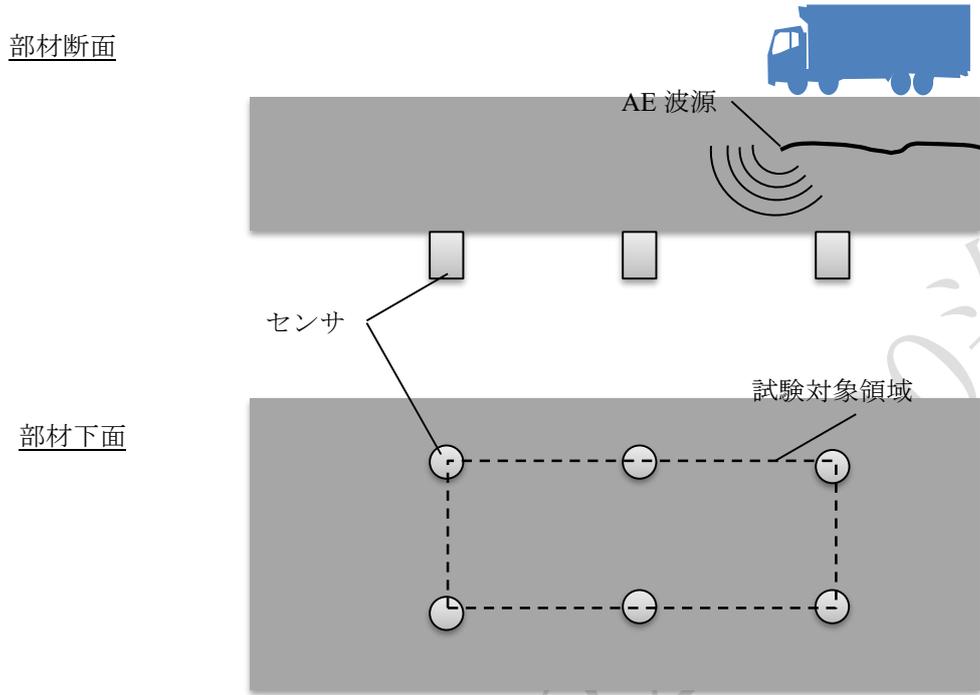


図 2—AE センサの配置例

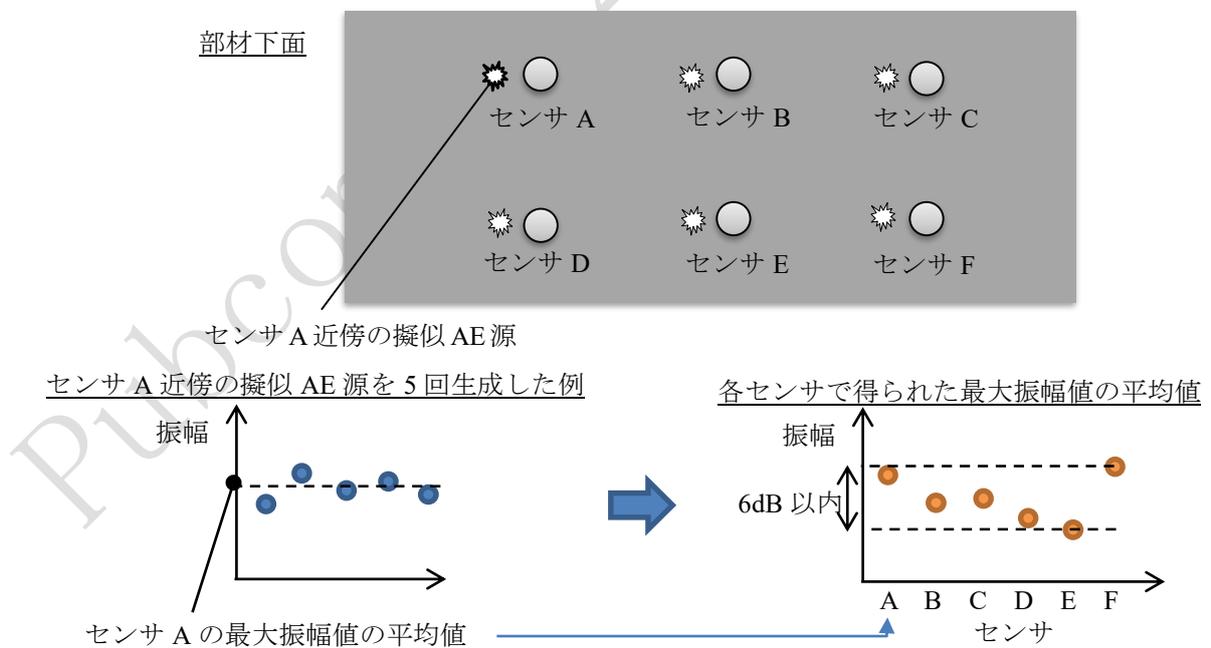


図 3—AE センサ取付け状況の確認方法

113 **6 試験結果の記録**

114 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。

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

126

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)			

127 **7 計測及び損傷評価方法**

128 **7.1 計測・損傷評価の手順**

129 損傷評価の流れを図 4 に示す。

130

131

132

133

134

135

136

137

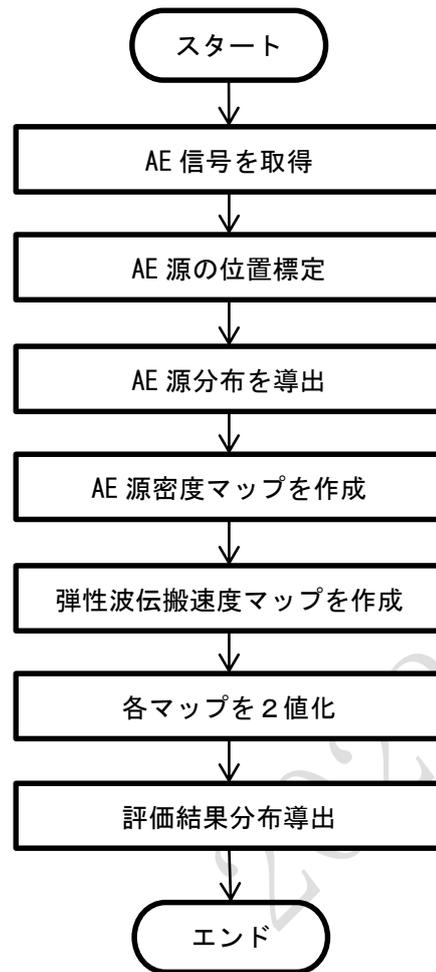


図4-1 損傷評価の流れ

138 7.2 AE 源位置標定

139 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 AE 源の位置標定を行い、AE 源分布を求める。
 140 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、三次元での
 141 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する。
 142 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によって
 143 得られた伝搬速度を使用する。

144 7.3 AE 源密度マップの作成

145 AE 源分布から、AE 源密度を算出し、AE 密度マップを作成する。AE 源密度マップの作成例を図 5 に示
 146 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 AE 源の個数を数える。各メ
 147 ヂッシュ内の AE 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 AE 源密度が得られる。
 148 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 AE 源密度マップを生成する。

149 AE 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、AE
 150 源密度と同等の指標を代わりに用いてもよい。

151 7.4 弾性波伝搬速度マップの作成

152 AE トモグラフィなどの手法を用いることによって、部材内での弾性波伝搬速度の分布を算出し、弾性
153 波伝搬速度マップを作成する。

154 AE トモグラフィによる速度場マップの算出手順については、文献[4], [5]参照。

155 7.5 マップの2値化

156 7.3, 7.4 で得られた各マップに対して基準値を設定し、基準値に対する大小によってマップを2値化す
157 る。AE 源密度マップは、高密度領域と低密度領域に、弾性波伝搬速度マップは、高速度領域と低速度領域
158 に分割される。

159 AE 源密度及び弾性波伝搬速度の基準値は、対象部材において計測を実施し、観測された AE 源密度、及
160 び弾性波伝搬速度を元に構造物管理者などと十分協議の上、設定するのが望ましい。対象部材、それと同
161 等の試験体を用いた試験が可能な場合は、既知の損傷又は模擬損傷を精度良く特定できる基準値とする方
162 法、実構造物において実施したコア採取などを参照して損傷領域を特定可能な基準値を採用するなどの方
163 法がある。

164 7.6 損傷の評価

165 図 6 に損傷評価の例を示す。2 値化した二つのマップを重ね合わせることによって、試験対象領域は、
166 高密度・高速度／高密度・低速度／低密度・高速度／低密度・低速度の4種類の領域に分類される。この
167 分類に応じて、健全度を4段階で判定する。健全度は、健全度Ⅰ，健全度Ⅱ，健全度Ⅲ，健全度Ⅳ（区分
168 については文献[6]など参照）の順で健全度が低くなっていく。低密度・高速度領域は健全度Ⅰ，高密度・
169 高速度領域は健全度Ⅱ，高密度・低速度領域は健全度Ⅲ，低密度・低速度領域は健全度Ⅳ，と判定される。

170

171

172

173

174

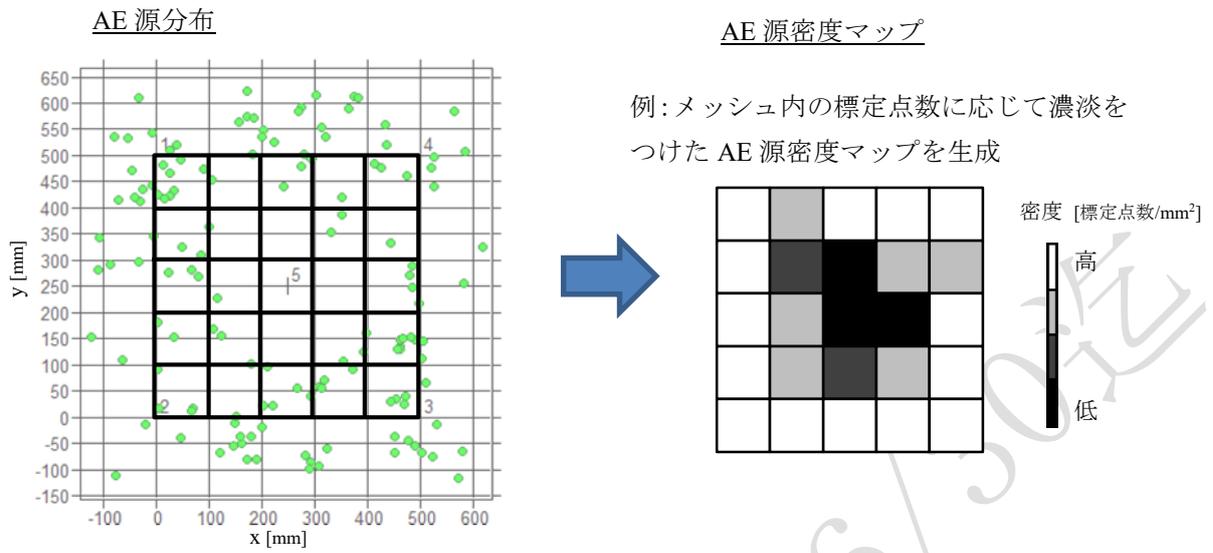
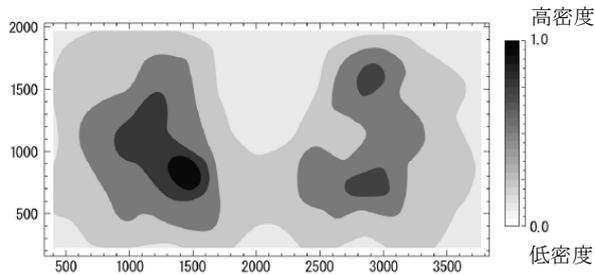


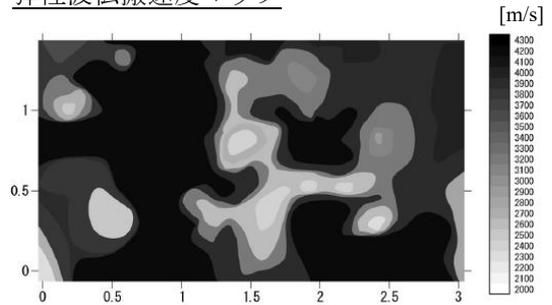
図 5—標定数による AE 源密度マップ生成

- 175
- 176
- 177
- 178
- 179
- 180
- 181
- 182
- 183
- 184
- 185
- 186
- 187
- 188
- 189
- 190

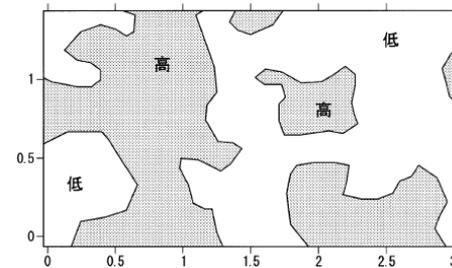
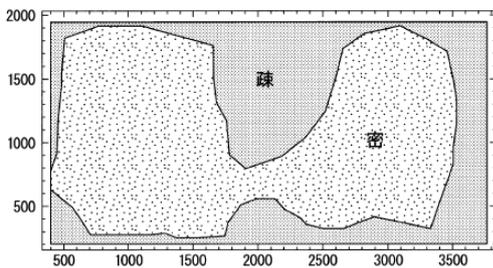
AE 源密度マップ



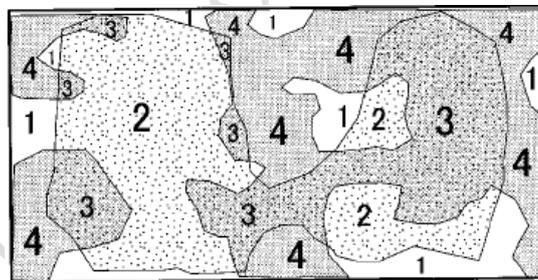
弾性波伝搬速度マップ



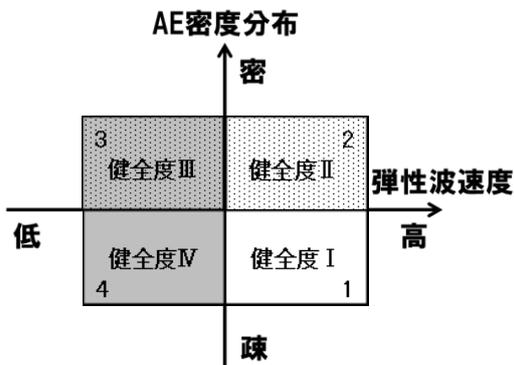
基準値によって2値化



重ね合わせる



密度と速度の組み合わせによって健全度を評価



弾性波速度	AE源密度	判定
高	低	健全度Ⅰ
高	高	健全度Ⅱ
低	高	健全度Ⅲ
低	低	健全度Ⅳ

図 6—損傷評価の例

附属書 A

(参考)

AE 源密度マップの生成方法

191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221

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

標定された AE 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 AE 源を，カーネル関数に置き換える。図には，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。

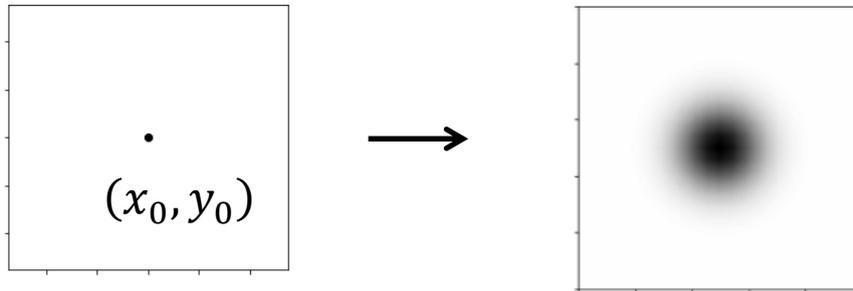
$$(x_0, y_0) \rightarrow K_h(x, y) = \frac{1}{2\pi h^2} \exp\left(-\frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{2h^2}\right) \dots \dots \dots (1)$$

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。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，カーネル関数を全ての AE 源について足し合わせることで，全体の AE 源密度 $f(x, y)$ が得られる。

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

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。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 AE 源密度マップとなる。

カーネル関数



AE 密度マップ y [mm]

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

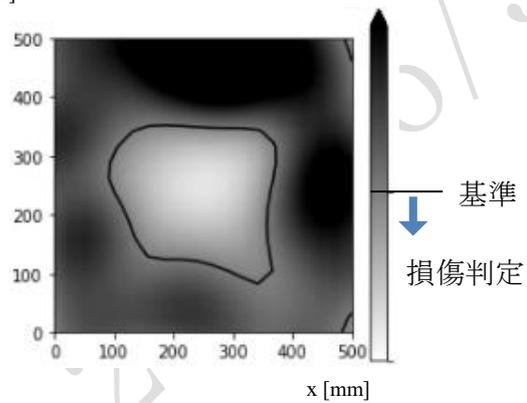


図 A.1ーカーネル密度推定による AE 密度マップ生成

222
223
224
225
226
227
228
229
230
231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

附属書 B (参考) 基準値の幅の設定

図 B.1 に示すように、基準値を一つの値に定めず、ある程度幅を持たせて評価してもよい。図のように基準値に上限と下限を設け、上限より大きい値の領域を“高”，下限より小さい値の領域を“低”と判定する。基準値に幅を持たせることによって、明確な分類を行える領域だけを評価し、より信頼性の高い結果を得ることができる。

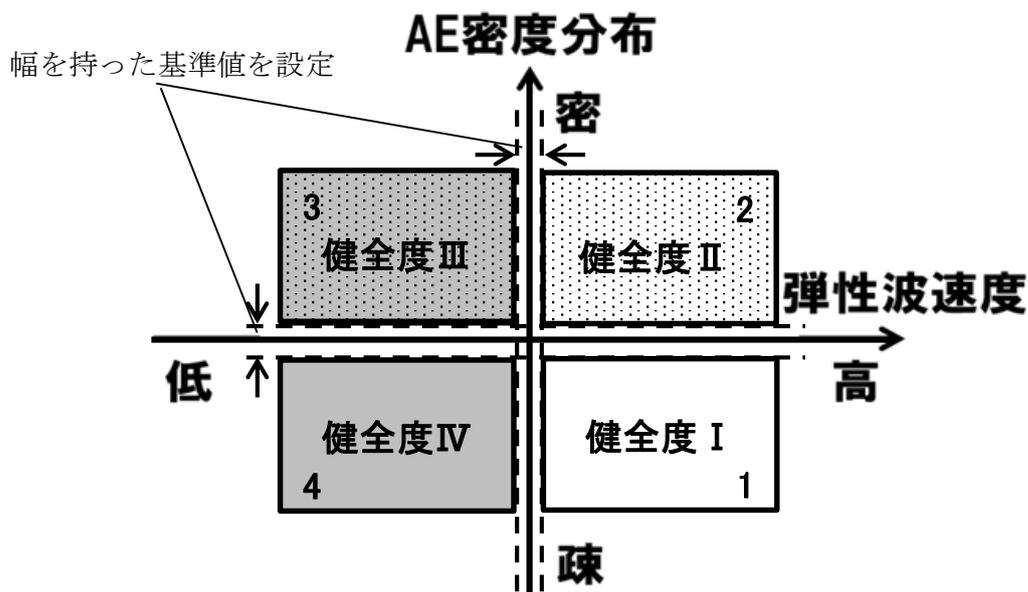


図 B.1—基準値幅の設定

242

243

244

参考文献

245

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

246

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

247

248

[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

249

[4] 塩谷, 他 “AE トモグラフィーによるインフラ構造物の健全性評価手法の提案”, 日本非破壊検査協会 第 18 回 AE 総合コンファレンス論文集, 39-42, 2011.

250

251

[5] F.Shubert, et al. “Tomography Techniques for Acoustic Emission Monitoring”, proceedings of ECNDT 2006.

252

[6] 国土交通省, 橋梁定期点検要領 平成 31 年 3 月, p27

NDIS 2435 : 202X

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 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 2434**（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）と同時期に作成された。**NDIS 2434** が、能動弾性波（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）を計測して、内部損傷を評価するのに対して、本規格は、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（これを受動弾性波と呼ぶ）を利用する。受動弾性波として、橋梁床版が交通荷重を受けて発生した AE を利用したケース[1]が報告され、鉄筋コンクリート床版の内部損傷評価へ適用した場合の有効性が確認されている。

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”は、コンクリート標準示方書の定義での、“損傷”（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”（時間経過に伴い進行するもの）、並びに“初期欠陥”（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”に近いものである。

287 2.2 AE センサの絶対感度（本体の 4.2.1）

288 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
 289 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
 291 [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)
 292 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，
 293 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
 294 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 で次のように定
 295 義されている。
 296

297 dB_{AE} （デシベルエーイー）：1 μV （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
 298 号の最大振幅値 [$\text{dB}_{\text{AE}}=20 \log_{10}(A_1/A_0)$]で表され，センサ出力端電圧比に対応する。ここに， A_0 ：1 μV ，
 299 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(μV)

300 2.3 AE センサ取付け状況の確認（本体の 5.2）

301 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
 302 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”
 303 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。
 304 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
 305 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
 306 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
 307 する。

308 2.4 AE 源位置標定における弾性波伝搬速度の設定（本体の 7.2）

309 AE 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 AE 源の位
 310 置標定を行う。AE 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。弾性波の伝搬
 311 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，対象部材
 312 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が可能で
 313 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，コンク
 314 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 波の立ち
 315 上がりが検出不可能な場合などに，S 波の伝搬速度を用いる。S 波速度は P 波速度の 6 割程度になり，P 波
 316 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。

317 2.5 AE 源位置標定の次元（本体の 7.2）

318 AE 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，一次
 319 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 AE 源位置を標定で
 320 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，三次元
 321 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まし
 322 い。

323 2.6 マップの 2 値化（本体の 7.5）

324 損傷の評価に当たって，7.3 で得られた AE 源密度マップ，及び 7.4 で得られた弾性波伝搬速度マップに

325 対して基準値を設定し、基準値に対する大小によってマップを 2 値化する。AE 源密度マップは、高密度
 326 領域と低密度領域に、弾性波伝搬速度マップは、高速度領域と低速度領域に分割される。

327 AE 源密度及び弾性波伝搬速度の基準値は、対象部材において計測を実施し、観測された AE 源密度、及
 328 び弾性波伝搬速度を元に構造物管理者などと十分協議の上、設定するのが望ましい。対象部材、それと同
 329 等の試験体を用いた試験が可能な場合は、既知の損傷又は模擬損傷を精度良く特定できる基準値とする方
 330 法、実構造物において実施したコア採取などを参照して損傷領域を特定可能な基準値を採用するなどの方
 331 法がある。

332 **表 1** に示す弾性波伝搬速度とコンクリートの品質の関係を参考に、健全性の判定基準を定めてもよい。

333

表 1 - 弾性波伝搬速度による健全性判定例

弾性波伝搬速度	健全性
4.6km/s ~	優
3.70 ~ 4.60 km/s	良
3.10 ~ 3.70 km/s	やや良
2.10 ~ 3.10 km/s	不良
~ 2.10 km/s	不可

334

335

336

337 **参考文献**

338 [1] K. Watabe, et.al., “Novel Non-destructive Technique of Internal Deterioration in Concrete Deck with Elastic
 339 Wave Approaches”, Proc. 12th WCEAM, 665 (2017)

340 [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)

341 [3] Tse, et.al., MECHANICAL VIBRATIONS (1st edition), Allyn & Bacon (1963)

342 [4] 古川, 振動および衝撃測定, 誠文堂光社 (1966)

343 [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

344 [6] ISO 16836:2019 Non-destructive testing - Acoustic emission testing - Measurement method for acoustic
 345 emission signals in concrete

346 [7] ISO 16837:2019 Non-destructive testing - Acoustic emission testing - Test method for damage qualification
 347 of reinforced concrete beams

348 [8] ISO 16838:2019 Non-destructive testing - Acoustic emission testing - Test method for classification of active
 349 cracks in concrete structures

350 [9] 岡田, 六車, 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)

351 [10] E. Whitehurst, “Soniscope tests concrete structures”, J Am Concr Inst 47, 433-444 (1951).