

AE センサを用いた埋込金物検査 その2 現場検査

Embedded hardware inspection using AE sensor Part2 Site inspection

日本原燃(株)	○三浦 進	Susumu MIURA	Member
日本原燃(株)	関口 昭司	Shouji SEKIGUCHI	
日本原燃(株)	服部 功三	Kouzou HATTORI	
原子燃料工業(株)	小川 良太	Ryota OGAWA	Member
原子燃料工業(株)	匂坂 充行	Mitsuyuki SAGISAKA	Member
原子燃料工業(株)	磯部 仁博	Yoshihiro ISOBE	Member

Non-destructive testing technique was developed for embedded hardware using acoustic emission sensors. In this technique, the fixed state of the embedded hardware can be judged from the vibration time and the frequency distribution of the acoustic signal. In this report, we introduce inspection method and analysis method at site and the application result of JNFL by nondestructive inspection technology of embedded hardware using AE sensor.

Keywords: Non-Destructive Evaluation, Embedded Hardware, Acoustic Emission Sensor, Site Inspection

1. はじめに

日本原燃株式会社再処理施設において、2015年8月に一般共同溝の蒸気配管を支持する埋込金物に浮き上がりが発見され、調査の結果、ジベルが欠損しており不適切な施工であることが判明した¹。また、2016年8月には浜岡原子力発電所においても同様に不適切な設置が確認されている²。

日本原燃株式会社では、埋込金物の不適合事象の対応として、再処理施設の埋込金物数量約48.3万枚の調査を実施することとした。このうち、適切な施工記録が確認された埋込金物約23.6万枚と未使用の埋込金物約9.0万枚を除いた残り15.7万枚については施工記録が不十分であるため、現品点検による健全性評価が必要と判断した。現品点検では、ジベルの欠損を確認する方法として超音波探傷(UT)検査を実施し、その結果、一般共同溝のUT検査結果では規格外の埋込金物が約200枚確認された¹。一方で、UT検査では埋込金物のジベル直上にセンサを設置し測定する必要があるが、耐震サポート等が設置されていることから、UT検査用のセンサをジベル直上に配置できず、UT検査できないジベルが多数存在する。これらUT検査が実施できないジベルについては、欠損していない事を証明できないため、他の評価方法で健全

性を確認する必要がある。

そこで、著者らはAE (Acoustic Emission) センサを用いた打音検査としてハンマー打撃により発生する音響振動の持続時間および周波数により埋込金物の固定状態が判断できる埋込金物の健全性評価技術を開発した。本報では、開発したAEセンサを用いた打音検査を日本原燃株式会社再処理施設の埋込金物に適用した結果について報告する。

2. AE センサを用いた打音検査

2.1 AE 打音検査装置

AEセンサを用いた打音検査には、図1に示すAEセンサ、計測ボックス、波形処理装置(タブレットPC)などより構成されているAEセンサを用いた打音検査システム



図1 AEセンサを用いた打音検査装置

連絡先: 三浦進、〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村尾
駸字沖付4-108、日本原燃株式会社、
E-mail: susumu.miura@jnfl.co.jp

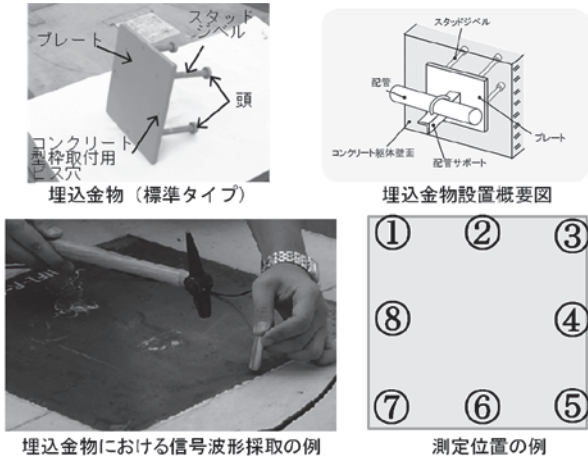
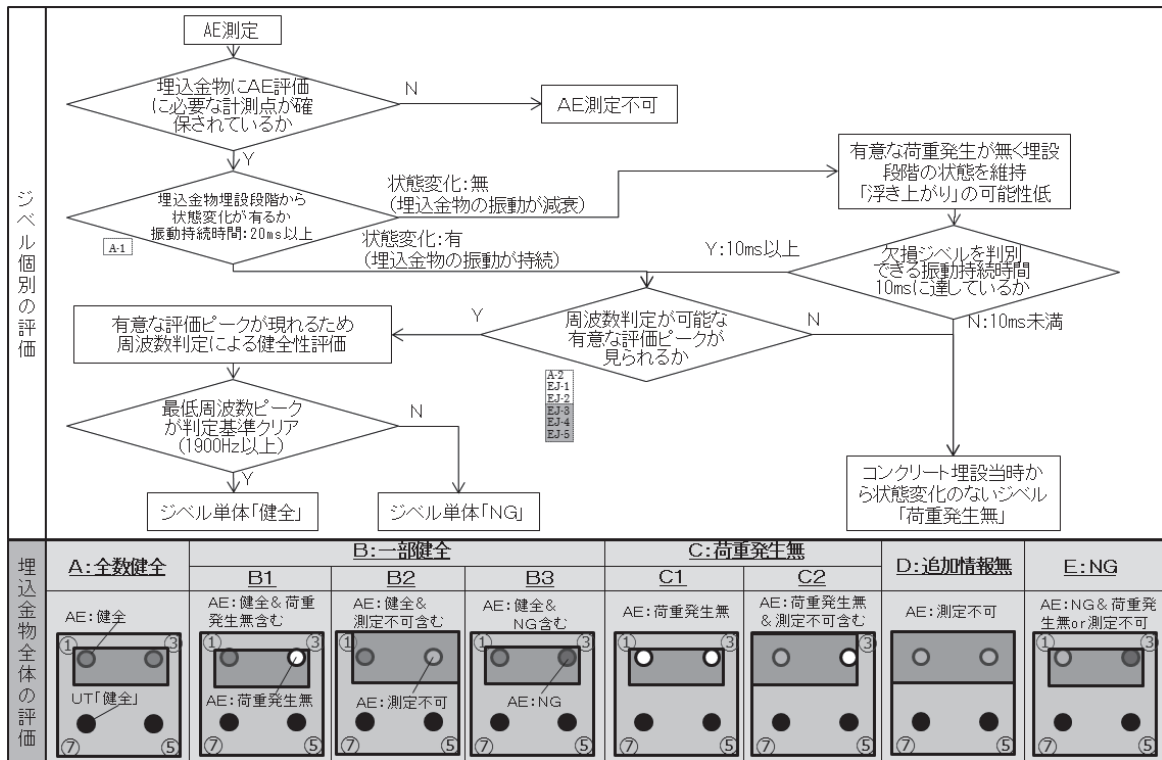


図 2 埋込金物の信号採取例と計測位置例

ムを用いた。AE センサを用いた打音検査は AE センサを埋込金物の矩形の平板上のジベル付近に設置し、センサ近傍を打撃 (図 2 参照) することで得られる打音検査信号の振動持続時間と周波数分布を用いて埋込金物の健全性評価が可能である。

2.2 埋込金物の判定方法

AE 打音検査により得られるデータを用いた埋込金物の判定のフローを図 3 に示す。図 3 において、上部は、埋込金物に溶接されている各ジベルにおける判定フローを示している。一方、下部は、各ジベルの評価を踏まえて埋込金物全体を評価したときの分類を示している。判定フロー内のダイヤ部の左下に記載している略号は評価に用いたシステムによる自動解析およびエンジニアリングジャッジの番号を示している。また、各ジベルの結果表示に用いた記号を表 1 に示し、各ジベルの評価の組合せによる埋込金物全体の評価を表 2 に示す。ジベル判定結果の組合せにおいて、「○」判定のみの埋込金物の場合、「A : 全数健全」と判定し、「○」以外に「● : 荷重発生無」もしくは「- : 測定不可」、「× : NG」が含まれる場合は「B : 一部健全」と判定した。一方で、「○」判定が無く、「●」のみ、もしくは「●」と「-」の組合せの場合には「C : 荷重発生無」とし、「-」のみの場合は「D : 追加情報無」、「×」を含む場合は「E : NG」判定とした。



略記号注釈

- A-1 : 一次解析 (自動) 振動持続時間が 20ms 未満の判定
- A-2 : 一次解析 (自動) 振動持続時間が 20ms 以上の判定
- EJ-1 : 一次解析 (E J) 自動解析「●」判定のウェーブレット解析結果を踏まえた再評価
- EJ-2 : 一次解析 (E J) 耐震サポーター等の振動による外乱の影響を除去する評価ピーク形状の再評価
- EJ-3 : 詳細解析 (E J) 単一埋込金物内での UT 判定「○」ジベル近傍計測点の評価ピーク周波数を活用した評価 (モックアップ試験体と同等サイズの埋込金物)
- EJ-4 : 詳細解析 (E J) 単一埋込金物内での UT 判定「○」ジベル近傍計測点の評価ピーク周波数を活用した評価 (モックアップ試験体を作製していない「新規」の埋込金物)
- EJ-5 : 詳細解析 (再測定 E J) 架台振動に由来する固有振動ピークとの「識別」による評価

図 3 埋込金物の判定方法

表 1 ジベル毎の判定記号

全体凡例	
健全	○
荷重発生無	●
NG	×
未確認 【測定不可】	—

表 2 埋込金物毎の評価記号

判定	判定項目	ジベル判定結果の組合せ			
		健全	荷重発生無	NG	未確認
A	全数健全	○			
B1	一部健全	○	●		
B2	一部健全	○	(●)		—
B3	一部健全	○	(●)	×	(—)
C1	荷重発生無		●		
C2	荷重発生無		●		—
D	追加情報無				—
E	NG		(●)	×	(—)

なお、各ジベルの評価では、ジベル近傍の計測点を用いるが、近傍での測定が困難な場合は間接位置の計測点で補完した³。

2.3 現場検査結果を用いたジベル解析方法

現場検査では、埋込金物のジベル近傍または間接位置を計測点として測定を実施する¹。現場検査にて得られたデータはまずジベル毎に解析を実施する。ジベル毎のAE判定は図4に示す埋込金物評価ピーク周波数の変動要因とその判定に従い実施した。

最初に、システムによる自動解析として、解析対象の埋込金物全数に対して振動持続時間による判定(A-1)と評価ピーク周波数による判定(A-2)を実施した。

振動持続時間による判定(A-1)では、埋込金物に対す

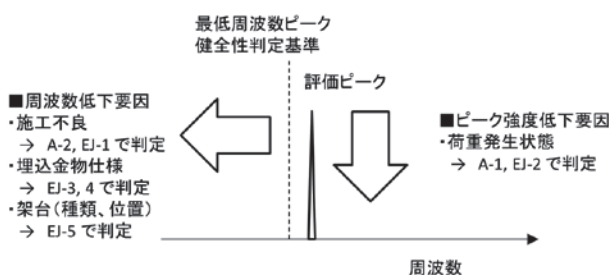


図 4 評価ピーク周波数の変動要因とその判定

る荷重発生状態について評価しており、評価ピーク周波数による判定(A-2)では、施工不良による周波数低下を確認する事で評価した。

振動持続時間による判定(A-1)後、「●」評価としたものの中には、健全性評価が可能なピークが得られているデータも確認されたことから、健全性評価が可能なピークを抽出するために、ウェーブレット解析結果を含めた評価(EJ-1)を実施した。次に、評価に用いるピークが有効なものであることを確認するために、評価ピーク周波数による判定(A-2)において、埋込金物に溶接されている耐震サポート等の振動による外乱の影響を除去する評価ピークの形状確認(EJ-2)を実施した。

埋込金物に溶接されている耐震サポート等の影響により、得られる周波数分布におけるピーク位置は外乱(耐震サポートの振動に由来するピーク等)の影響が現れることに加え、今回最低周波数ピーク健全性判定基準値として利用している1900Hzは、2種類(P、Rタイプ)のモックアップ試験体より選定した値であるため、現場に存在する種々の埋込金物タイプによっては、基準値が変わる可能性がある。

AE打音検査の評価では単一埋込金物内の複数ジベルのうち健全なジベルでは、同じ位置にピークが現れることがある。そこで、単一埋込金物内における、UT検査で健全と判定されたジベル付近の計測点を用いて外乱の影響除去をモックアップ試験体と同等サイズの埋込金物(EJ-3)とモックアップ試験体サイズから外れたサイズの埋込金物(EJ-4)に対して実施した。

最後に、評価ピークにおいて外乱によるピーク(耐震サポート等の振動に由来するピーク)が現れ、誤判定する可能性があるため、外乱の影響を除去するために埋込金物に溶接されている耐震サポートもしくは鋼板に対する振動計測を用いた評価(EJ-5)を実施した。

2.4 現場検査結果を用いた埋込金物判定結果

UT検査が実施できないジベルを含む埋込金物を建屋、一般共同溝、およびその他の検査対象範囲で分類した約1万枚のうち、高所・狭隘部等の理由により測定できなかった埋込金物を除きAE打音検査が実施できた埋込金物について、各分類の対象割合とAE評価結果毎の割合を表3に示す。

従来のUT検査では、ジベル直上に障害物(耐震サポート、鋼板及び設備等)が存在する場合は測定不可となり、健全性の評価が出来ない。一方で、AE打音検査はジ

表 3 AE打音検査の解析対象とAE評価結果の割合

対象	対象割合	全数健全	一部健全	荷重発生無	追加情報無	NG
建屋	84%	19%	20%	35%	10%	0.02%
洞道	11%	3%	2%	3%	2%	0%
その他	5%	1%	1%	3%	0%	0%
合計	100%	22%	24%	41%	13%	0.02%

ベル近傍が打撃できれば評価可能であり、UT 検査で測定できなかった埋込金物のうち約 87%に対して追加情報を得ることができた（対象枚数－追加情報無枚数－判定不可枚数）。追加情報が得られなかった埋込金物は、障害物（耐震サポート、鋼板及び設備等）により、ジベル近傍への AE センサの設置またはハンマー打撃ができなかったことによるものであった。

AE 評価結果より、荷重発生無の埋込金物は約 41%、周波数判定で健全と判定した埋込金物は約 46%（全数健全＋一部健全）、NG 判定とした埋込金物は 0.02%であった。

2.5 埋込金物の設置状態の評価

AE 打音検査は、埋込金物の状態（コンクリート打設前・後、荷重負荷前・後）に依存する「埋込金物／コンクリート間（接触面：プレート側面と底面、ジベル表面）の相互作用の程度を測定対象とする検査」である。

AE 打音検査のジベル単位の評価において、振動持続時間が 20ms 未満の場合、埋込金物／コンクリート間（接触面）の相互作用は密着が主であり、打設段階からの埋込金物の状態変化が起きるほどの荷重発生が無いと判断している。今回現場検査した全対象（UT 検査で測定できたジベル近傍も含む）の結果を確認した結果、振動持続時間が 20ms 未満となるジベルは全体の約 82%となり（図 5 参照）、大半の埋込金物は初期設置状態から 15 年ほど経過しているにも関わらず状態変化が起きるほどの荷重発

生が無いことが確認でき、良好な状態が維持されている。この結果から、何らかの荷重が発生しない限り埋込金物はコンクリートに密着した状態が維持されることを確認した。

3. まとめ

日本原燃株式会社再処理施設において、UT 検査で計測できなかった埋込金物のうち、約 87%は AE 打音検査で補完することにより状態の評価が可能になった。評価できなかった埋込金物は、耐震サポート又は設備により物理的に AE センサの設置またはハンマー打撃ができなかったことが要因であった。

また、AE 打音検査は、周波数判定によるジベルの健全性を評価するだけでなく、コンクリートと埋込金物の密着性に着目した設置状態の経時変化を確認できることが新たな知見として得られた。ジベル個々の振動持続時間は、約 82%が 20ms 未満であり、初期設置状態から 15 年ほど経過しているにも関わらず埋込金物がコンクリートに密着した状態が維持されることを確認した。

以上により、AE 打音検査が埋込金物の非破壊検査手法として有効であることが確認できた。

参考文献

- [1] 日本原燃株式会社，“日本原燃(株)六ヶ所再処理施設の一般共同溝における一般蒸気系の埋込金物の浮き上がりに関する面談”，被規制者等との面談概要・資料, 2015.12.
- [2] 中部電力株式会社，“浜岡原子力発電所における埋込金物の不適切な設置について”，被規制者等との面談概要・資料, 2017.3.
- [3] 三浦進, 関口昭司, 服部功三, 小川良太, 磯部仁博, “AE センサを用いた埋込金物検査 その1 モックアップ試験”，日本保全学会第 15 回学術講演会要旨集, 2018.

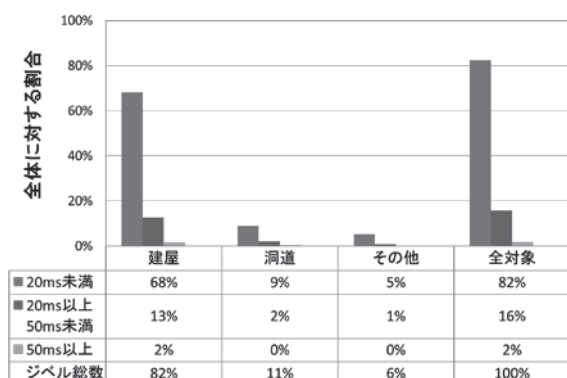


図 5 対象毎のジベル近傍点の振動持続時間