

鋼・コンクリート合成床版のアコースティック・エミッション法による損傷過程の観察

OBSERVATION OF THE DAMAGE PROCESS BY ACOUSTIC EMISSION
TECHNIC FROM STEEL PLATE-CONCRETE COMPOSITE SLABS

伊藤 剛*, 伊藤博章**, 橋 吉宏***, 重石光弘****, 大津政康*****

Akihiro ITOH, Yoshihiro TACHIBANA, Takeshi ITOH,
Mitsuhiro SHIGEISHI and Masayasu OHTSU

*川田工業株式会社 橋梁事業部 (〒550-0014 大阪府大阪市西区北堀江 1-22-19)

**川田工業株式会社 橋梁事業部 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

***川田工業株式会社 橋梁事業部 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

****熊本大学工学部 環境システム工学科 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

*****熊本大学大学院 自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

Steel plate and concrete composite floor system comes increasingly into use as bridge slab. However, it is impossible to inspect the concrete slab visually, since the steel plate covers the bottom face. Therefore, an alternative inspection method is desired. The final object of this research is to develop a practical non-destructive inspection method for health monitoring of steel plate and concrete composite slab using acoustic emission technique. Acoustic emission monitoring during three type of bending tests was carried out and correlations between characteristics of acoustic emission behavior and fatigue damage of steel plate and concrete composite beams were considered. Consequently, it is possible that the hidden crack of concrete position can be estimated using acoustic emission sensor location.

キーワード： 鋼・コンクリート合成床版 非破壊検査 アコースティック・エミッション法 モニタリング

1. はじめに

近年、鋼・コンクリート合成床版の採用が増大している。しかしながら、RC床版と異なり、コンクリートの状態の目視による検査が困難であるため検査方法が確立していないのが現状である。そこで、本研究では非破壊検査方法のひとつであるアコースティック・エミッション(AE)法に着目し、AE法を用いた鋼・コンクリート合成床版の検査方法の確立に向けた基礎的なデータを収集するための実験を行った。

AEとは、固体材料内部の微小な破壊あるいはそれと同様なエネルギー解放過程によって発生する弾性波動現象のことであり¹⁾図-1に示す様なパラメータで定義される²⁾。本研究では梁供試体の載荷試験³⁾と版供試体の載荷試験を行い、AEの発生挙動の変化を調べた。また、梁供試体についてはひび割れ発生位置とAE発生位置の一次元標定の比較を行い、AEによる

ひび割れ発生位置の確認の可能性を検討した。さらに、供試体が降伏するまで疲労載荷を繰り返し、AEモニタリングを行い、コンクリートのひび割れ発生からスタッド破断、供試体の降伏過程におけるまでのAE発生状況の把握を行った。

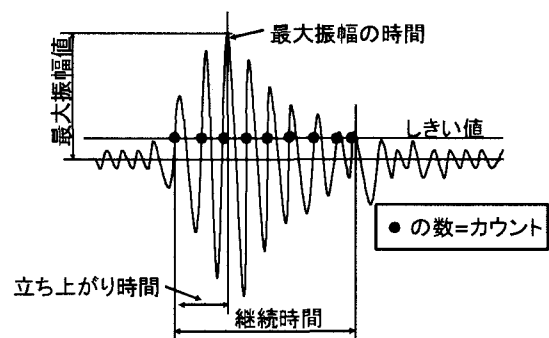


図-1 AEのパラメータ²⁾

次に、実構造物を模した版供試体については、A E発生状況を観察し、鋼・コンクリート合成床版のひび割れ状況把握への適用性を考察した。

2. 実験概要

2. 1 梁供試体による荷重試験

2. 1. 1 実験供試体

実験は、図-2 に示すように厚さ 9 mm の下鋼板にスタッドを取り付けた鋼・コンクリート合成構造であり 159×200×1500 mm である。上側鉄筋には D10 を用い、下鋼板と溶接するスタッドには $\phi 13 \times 100$ を用いた。

2. 1. 2 計測位置および荷重位置

実験供試体の支間は 1250 mm であり、荷重位置は試験体中央である。荷重点には円柱を用い線荷重とした。A Eセンサーを図-2 に示すように、下鋼板下面の 7 点およびコンクリート部の 2 点に取り付け、実験供試体が破壊するまでの A E による常時モニタリングを行った。ここで実橋の計測にあわせ下鋼板下面に多くの A Eセンサーを取り付けた。

2. 2 版供試体による荷重試験

2. 2. 1 実験供試体

図-3 に示すように 1500×159×1540 mm の実験供試体を用い実験を行った。実際の構造物にあわせ、打設時のたわみに耐えるように横リブを配置した。またスタッドおよび上側鉄筋は梁供試体と同様とした。

2. 2. 2 計測位置および荷重位置

図-4 に示すように下鋼板下面に A Eセンサーを合計 8 箇所設置し変位計を 5 箇所設置した。ここでセンサーの設置状況を図-5 に示す。センサーはワックスを溶かし鋼板に取り付けた。

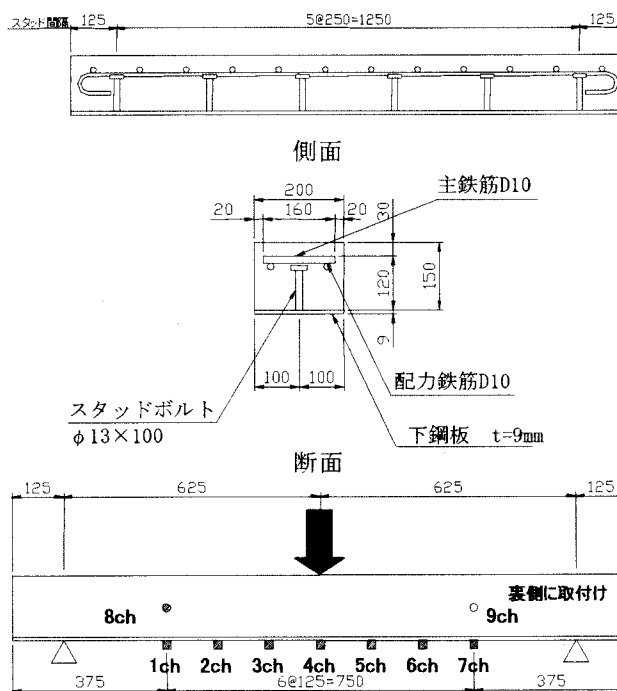


図-2 梁供試体および A Eセンサー位置および荷重位

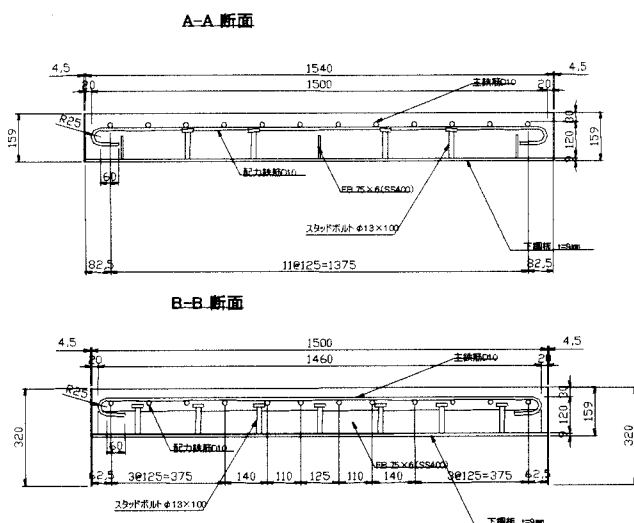
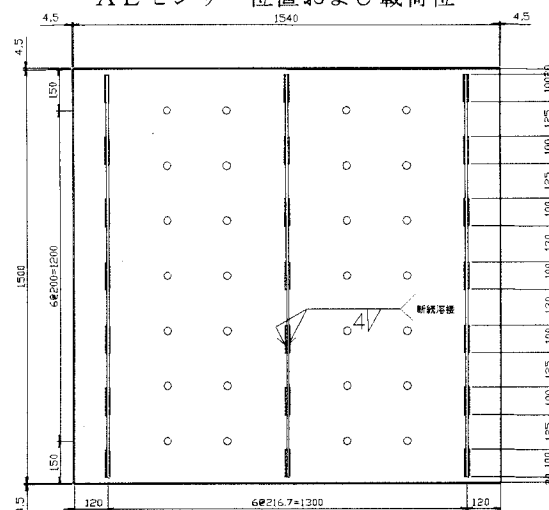


図-3 版供試体

AEセンサー位置はひび割れが発生すると予想される位置を囲むように配置し、コンクリートのひび割れ位置の検出を行った。

実験状況を図-6に示す。荷重位置は供試体中央でとし、支点は幅125mmのH鋼にて固定を行い支間長は1250mmとした。ひび割れの発生状況を確認するため常時モニタリングを行いAEの発生状況の観察を行った。

2.3 荷重方法

梁供試体では、供試体が降伏するまでの単調荷重試験と、疲労荷重試験を行った。梁供試体の疲労試験における荷重荷重工程を図-7に示す。単調荷重試験の降伏荷重の1/5程度の10kNを200万回程度繰り返した後、その2倍である20kNを同様に繰り返す、30kNの疲労試験中に降伏した。梁供試体では3Hzで繰り返す荷重を行った。

梁供試体による実験結果に基づき、版供試体の実験を行った。版供試体の荷重荷重工程を図-8に示す。設計荷重である100kN振動数3Hzで200万回繰り返した後、200kN振動数2Hzで50万回、250kN振動数1Hzで50万回、300kN振動数1Hzで50万回繰り返した。また、荷重版は200×125mmの大きさとした。

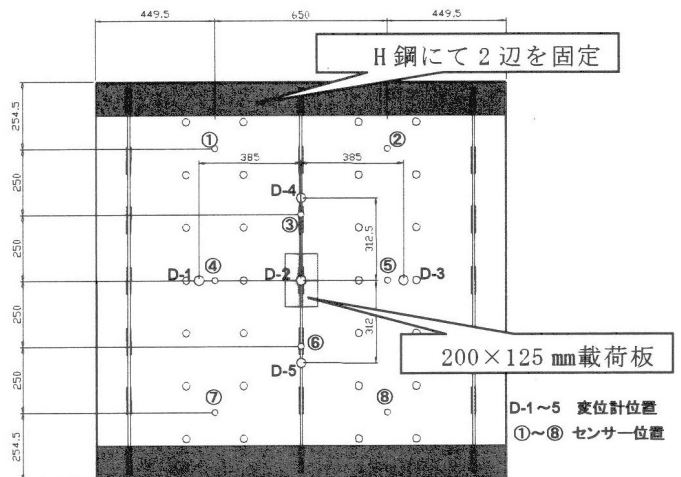


図-4 版供試体
AEセンサー位置および変位計設置位置



図-5 AEセンサー設置状況

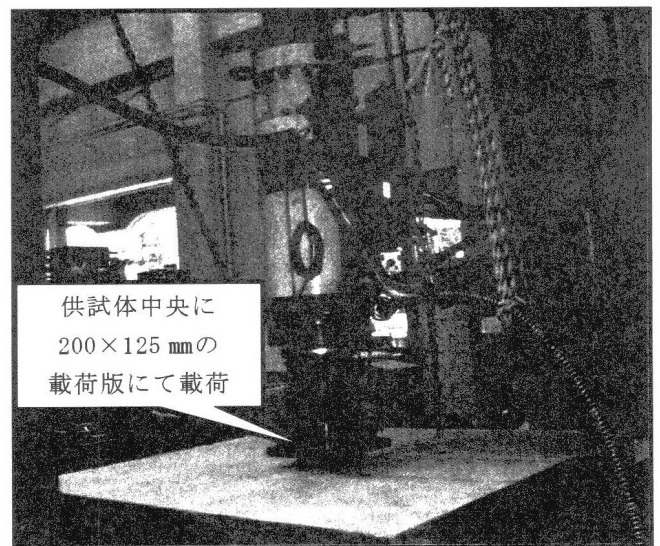


図-6 実験状況

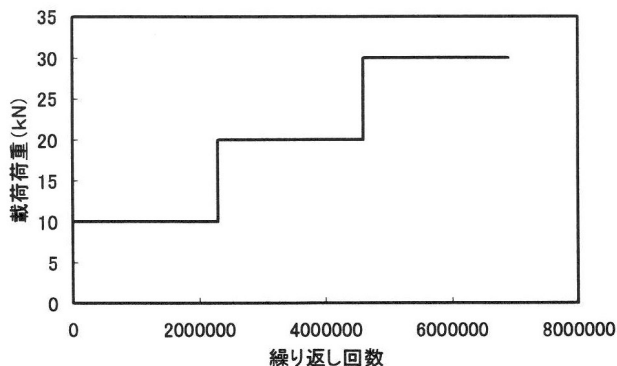


図-7 梁供試体の荷重工程

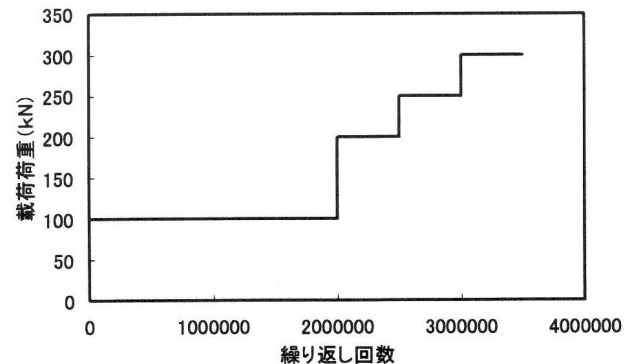


図-8 版供試体の荷重工程

3. 実験結果および考察

3. 1 梁供試体の実験結果および考察

3. 1. 1 単調載荷試験

供試体が壊れるまで載荷した単調載荷試験中にモニタリングしたA E測定の結果と最終的に発生したひび割れ位置のスケッチを図-9示す。棒グラフは、下鋼板に設置したA EセンサーによりA E発生位置の一次元標定を行い、A E事象の規模(Energy)を発生した頻度(Hit 数)で除したパラメータとして(Energy/Hit 数)を表したものである。

この結果から、スケッチされたひび割れ位置とA Eから算出された1次元位置標定結果とよい一致が見られ、A E法にて鋼・コンクリート合成床版のひび割れ位置が確認できる可能性が示唆された。これらについては更に、版供試体での2次元位置評定を行い、実構造物でのひび割れ位置の確認を詳細に行う必要がある。

3. 1. 2 疲労載荷試験

疲労載荷試験終了後の供試体写真を図-10に示す。供試体の側面図とひび割れ発生位置での断面図である。ひび割れ発生位置はスタッド位置であり、スタッドが破断していない箇所ではひび割れ幅が増大し供試体の降伏となった。スタッド配置は250 mmピッチであり、梁供試体に置いて6本のスタッドが配置されていたが、疲労試験終了後供試体を切断し確認したところスタッドが破断していないのは1本のみであり、そのスタッド位置から発生したひび割れが進展し降伏に至ったものである。

A Eセンサーはスタッド直下およびスタッドとスタッドの間中間点に配置されており、下鋼板とコンクリートが剥離し空間が大きくなるにつれてスタッド直下のA Eセンサーに比べ、スタッド間に配置されたA Eセンサーのhit数は少なくなった。これは単調載荷試験に置いても同様の傾向が認められ、単調載荷においては下鋼板とコンクリートの剥離が進んだ後に発生したひび割れは位置標定が困難であることが確認されている。この結果よりA Eセンサー位置はその構造物の状態によって、スタッド直下に設置する必要があると考えられるが、スタッド間のA Eセンサーが鋼板の剥離を検出できる可能性も残されている。

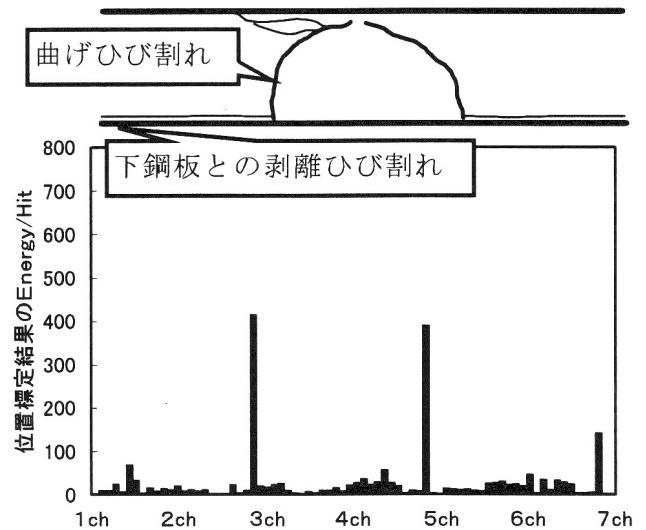


図-9 ひび割れスケッチと位置標定結果

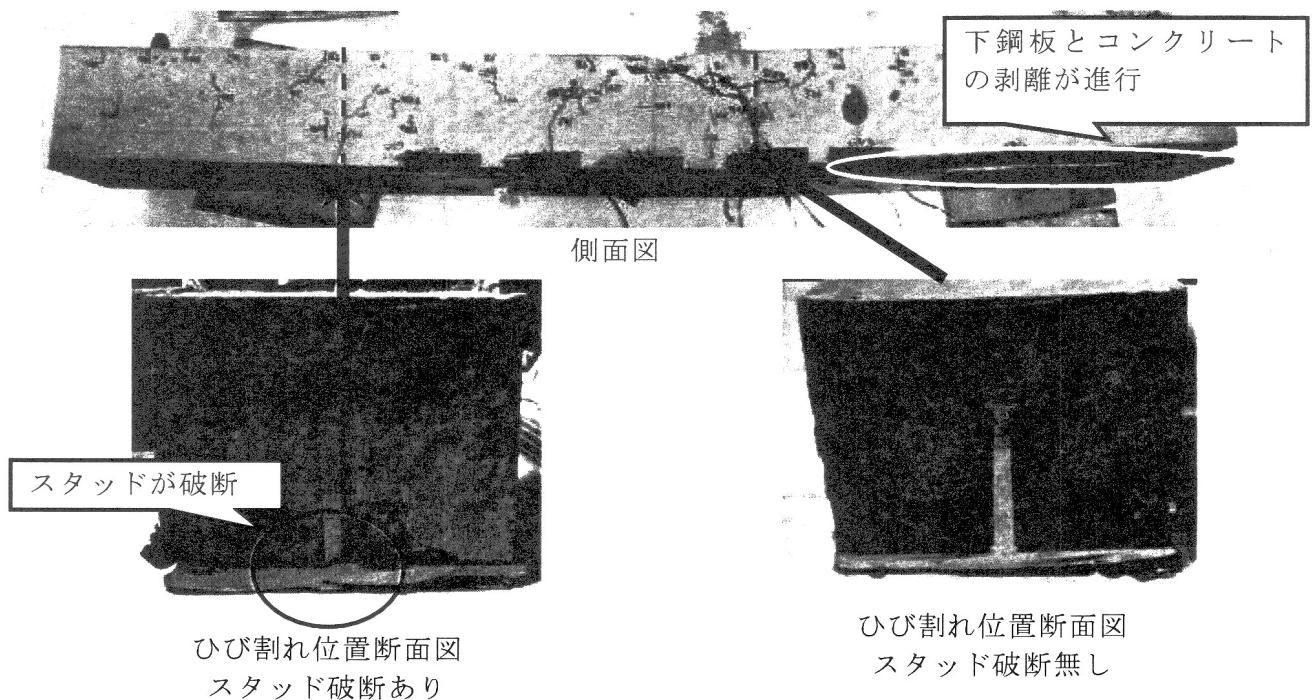


図-10 梁供試体ひび割れ位置

次にスタッドが破断し下鋼板とコンクリートの剥離が進行した箇所に設置したAEセンサーにおけるAE発生状況を図-11 および図-12 に示す。

図-11 はスタッド位置におけるひび割れ発生後のAE事象の規模を表すパラメータである (Energy) を累計したものである。この結果ではひび割れ発生後、AE Energy 累計は一定数増加しているが、スタッドが破断した後からは、Energy の増大傾向が見られた。その後、梁供試体降伏前から Energy が著しく増大することが確認された。

図-12 はひび割れ発生後の1サイクルあたりのhit数である。1サイクルあたりのhit数は徐々に増加し供試体降伏前には1サイクル当たりのhit数が6以上の値を示す結果となった。

図-13 (a), (b), (c) にAE発生状況を示す。(a) はひび割れ発生時のAE発生状況であり荷重載荷時にAEが発生することがわかる。特に載荷荷重が最大になった際にAEが発生している。(b) はスタッド破断時のAE発生状況であり除荷時にAEが発生している。(c) は供試体降伏前のAE発生状況であり、除荷時にAEが発生し、特に荷重がほぼ最小となる際にAEが発生していることが確認された。また、先ほどの図-12 に示したように、AE発生が1サイクルあたり6以上発生するような状態となった。

このことから、鋼・コンクリート合成床版の疲労損傷過程におけるAE発生挙動は次のようになるものと考えられる。

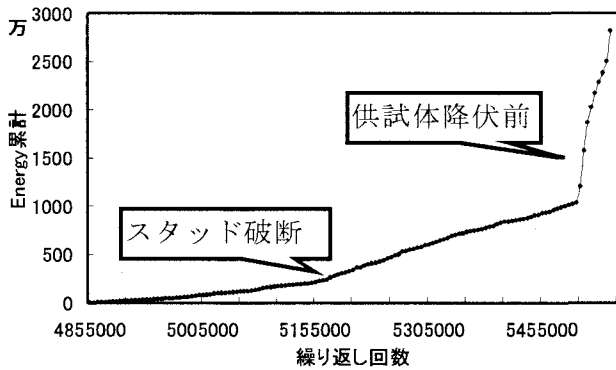


図-11 Energy の累計

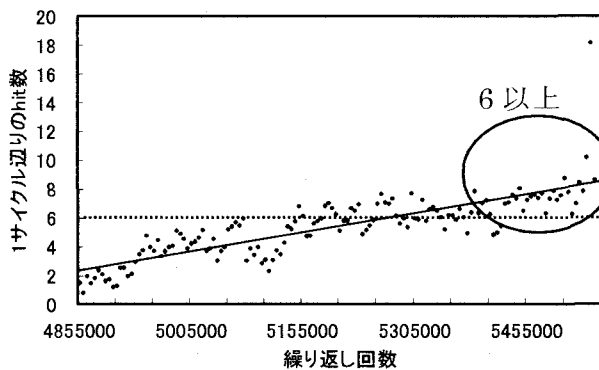


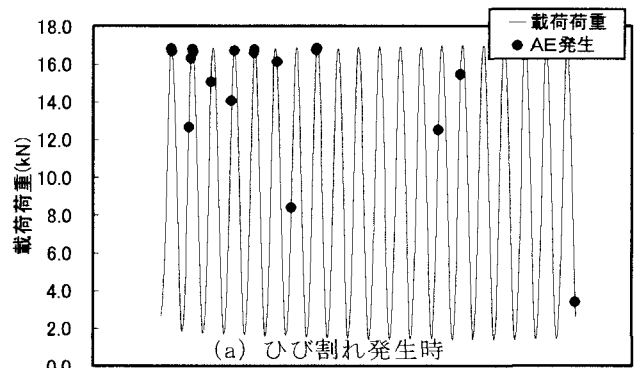
図-12 1サイクル当たりのAEhit数

- ひび割れ発生時は荷重載荷時にAEが発生しそのEnergyは小さい。
- ひび割れが進行するとAEは除荷時に発生するようになりスタッド破断後、Energyが大きくなる。
- 損傷が進むと除荷の際にAEが発生し、hit数もEnergyも大きな値を示す。

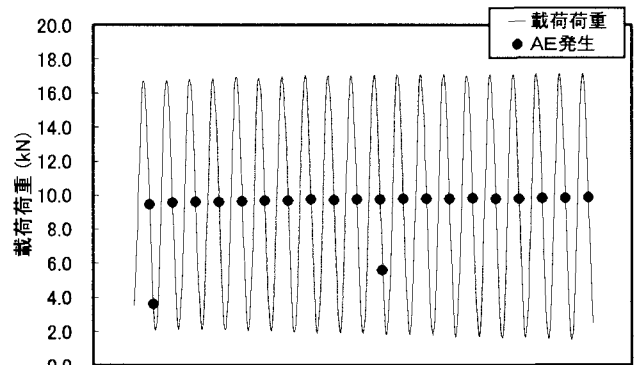
梁供試体の疲労試験においてもひび割れ位置と1次元位置標定結果は一致することが確かめられた。

3. 2 版供試体の実験結果および考察

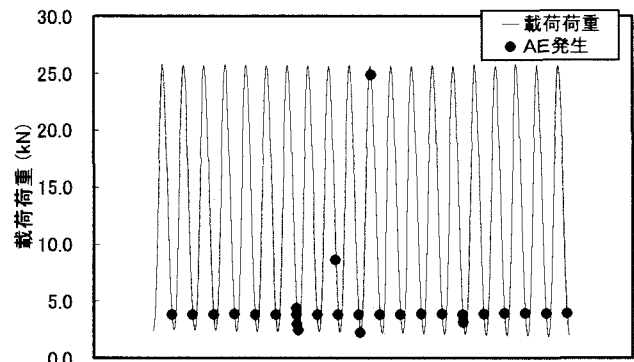
梁供試体の結果をふまえ、実構造物を考慮した版供試体にて疲労試験を行い、AE法による非破壊検査の有効性を確認した。版供試体のチャンネル別AE発生頻度を図-14 (a), (b) に示す。(a) は480,000~500,000回のAE発生頻度であり、(b) は1,480,000~1,500,000回のAE発生頻度である。



(a) ひび割れ発生時



(b) スタッド破断時



(c) 供試体降伏時

図-13 AE発生状況

(a) ではAEの発生数が少なく、供試体中央に取り付けた3~6chのセンサーに1サイクル当たり1hit以下のAEが見られる。(b) ではチャンネル当たりのhit数が増大し、1サイクルあたり複数のhit数を示すチャンネルが見られるようになる。中でも特に3chでhit数が多く見られた。これは3chのAEセンサーの取り付け位置が横リブの直下であったため、本供試体の構造上ひび割れが発生しやすいと考えられる横リブ位置から、コンクリートのひび割れが発生したことが原因と考えられる。

図-15 (a), (b) にAE発生状況を示す。(a) は500000 終了時の全チャンネルのAE発生状況を示し、

(b) は1500000 終了時の3chのAE発生状況を示す。先に述べたように、平均の1サイクルあたりのhit数は1以下であり構造物は健全であると考えられる。一方、(b) では3chで検出されたAEのみに限定しているにも関わらず、載荷時にAEが常に発生している状態であり、このことからひび割れが生じていると考えられる。以上のように版供試体においてもAEの発生挙動と載荷荷重の変化を観察することによって、コンクリートのひび割れ位置やひび割れ位置での損傷程度が推定できる可能性が示された。

4. まとめ

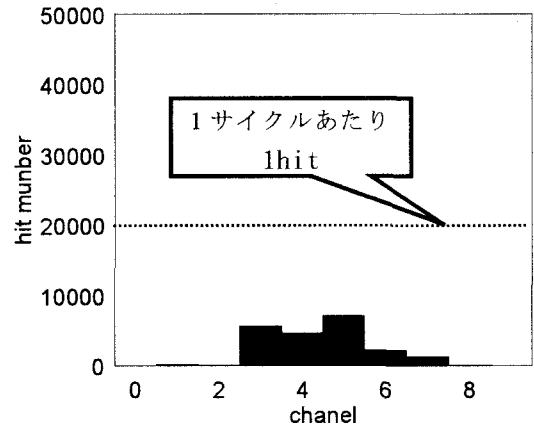
本実験により、鋼・コンクリート合成床版のAE法によるモニタリングにより次のような可能性が確認された。

- ・ ひび割れ位置の検出
- ・ 損傷程度の推定

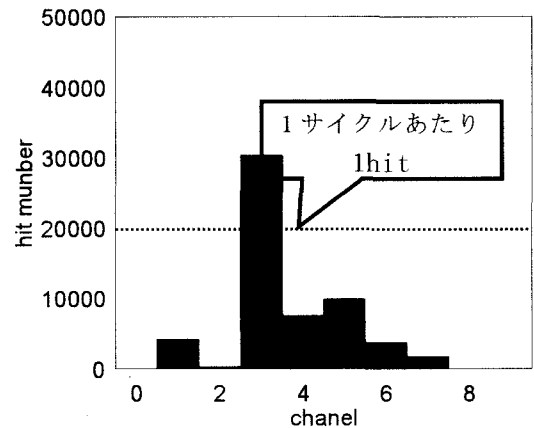
版供試体も梁供試体と同様に各ひび割れ位置でのAE発生状況を確認する他、ひび割れの発生状況の確認や健全度および損傷度の推定について考察を進める必要がある。また、実橋の適用に際し、通過車両における重量の変化および走行位置の影響等検討する課題がある。

参考文献

- 1) 大津政康：アコースティック・エミッションの特性と理論 - 構造物の稼働時の非破壊検査 -, 森北出版株式会社, 1988-8.
- 2) (社)日本非破壊検査協会：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(NDIS2421), 2000. 8.
- 3) T. ITOH, M. SHIGEISHI, M. OHTSU; ACOUSTIC EMISSION IN FATIGUE PROCESS OF STEEL PLATE-CONCRETE COMPOSITE SLABS, The 16th International Acoustic Emission Symposium, The Japanese Society for Non-Destructive Inspection, pp. 133~137, 2002-11.

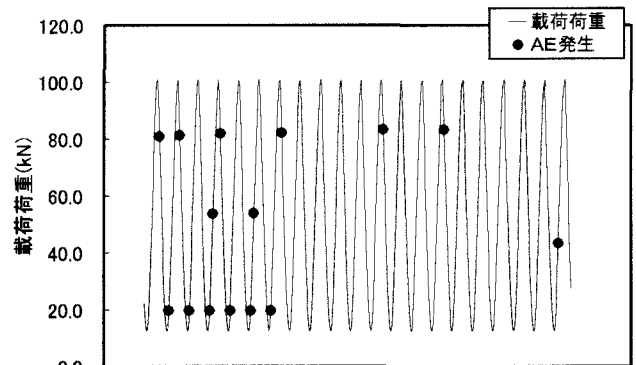


(a) 480000~500000 回

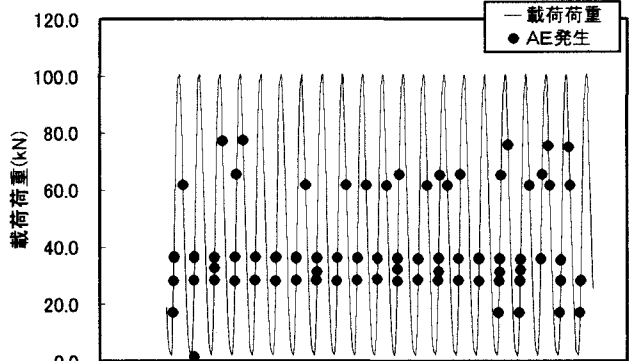


(b) 1480000~1500000 回

図-14 20000回当たりチャンネル別AE発生頻度



(a) 500000 時 全てのセンサー



(b) 1500000 時 3chのみ

図-15 AE発生状況