

列車荷重を利用した基礎の損傷探知法に関する基礎的研究
 (その2 AE 破壊実験の結果解析と考察)

飛鳥建設技術研究所 正会員 ○ 塩谷 智基, 三輪 滋, 中西 康博
 鉄道総合技術研究所 正会員 羅 休, 羽矢 洋, 棚村 史郎

1. はじめに コンクリート杭の損傷過程および、損傷後の破壊面のずれ変形などにより微弱な弾性波：AE（アコースティック・エミッション）が発生し、杭やその周辺に設置した AE センサで検出することで、損傷が評価可能となる¹⁾。本論文では、杭頭の損傷をフーチングを含む上部構造物に設置した AE センサで評価する手法の開発を目的に実施した「フーチングに連結された模型コンクリート杭の逐次破壊にともなう AE 特性」について述べる。

2. 供試体および载荷概要 供試体は RC ($f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$, D10 鉄筋) で 2 体作成し、形状は逆 T 型、地盤による杭体周辺摩擦による AE 発生を無視できるように気中での実験とした。杭頭付近の曲げモーメントは、杭を模擬した柱上部への正負交番繰返し水平载荷（図-1 中、a）曲げの卓越を期待（以降、曲げ試験と呼ぶ）、b) 曲げせん断の卓越を期待（以降、曲げせん断と呼ぶ）により与え、1/600、1/400、1/200、1/100 (1 δ)、2 δ 、3 δ の部材角を目標に、各段階で 2 サイクルの正負交番繰返しを行った。また、既存損傷を有する杭の二次的 AE の発現、および傾向を検討するために、水平载荷毎に 3 回の繰返し鉛直载荷（ $\sim 200 \text{ kN}$ ）を行った。AE はフーチングおよび杭体に設置した 12 個の AE センサ (1-12 ch, 60 kHz 共振型、曲げ試験のセンサ配置を図-2 に示す) とフーチング側面に線上に配した 2 つの AE センサ (13, 14 ch) により 40 dB 増幅後 MISTRASAE システムで 45 dB 以上の AE 信号のパラメータおよび AE 波形を記録した。

3. 実験結果と考察 図-3 に曲げせん断時の水平変形量と AE 発生率 (14 ch) の経時変化を示す。同図より、杭体に与えた段階的水平変形量と AE アクティビティの傾向が概観可能となり、初期変形からの AE 発現が認められる。AE アクティビティは、32,400 秒(9 時間)を過ぎた 6 mm の水平载荷より定常的に高い増加傾向を示す。6 mm は 1/100 の部材角に相当し、鉄筋の降伏点近傍と考えられる。図中 7.5 mm の変形量近傍に鉛直载荷を与えた時間帯を示す。AE アクティビティは水平载荷時に比べると低いが、鉛直载荷に対応した AE 発現が認められる。図-4 に変形量 6 mm (1/100) を 2 回繰返した後に、それぞれで実施した鉛直载荷と AE 発生率の拡大図を示す。図中 37,000 秒以降から 3 回の鉛直载荷・除荷が与えられ、特に最初の鉛直载荷に対応した活発な AE 発現が認められる。しかし、2 回目、3 回目の鉛直载荷時の AE アクティビティは初回に比べて著しく低下する。これらの傾向は、2 回目の水平载荷後の同様な鉛直载荷過程でも同じである。図-5 に曲げせん断の 1/100 変形の 2 回の交番载荷で得られた AE 源の 3 次元位置標定結果の側面からの 2 次元投影結果を示す。円プロットが 1 回目、線プロットが 2 回目の交番载荷時に得られた結果である。同図より、2 回目の交番载荷時に得られる AE 源が 1 回目で得られた AE 源の範中にあり、杭左端部に集中していることがわかる。図-6 に 2 回目の交番载荷後、最

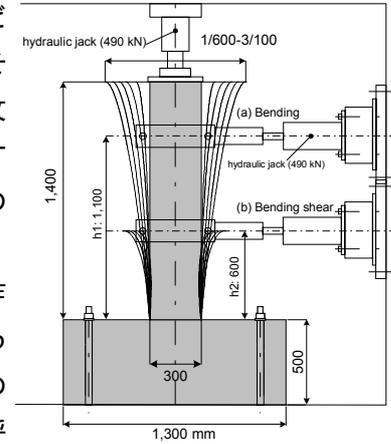


図-1 供試体概要と载荷位置

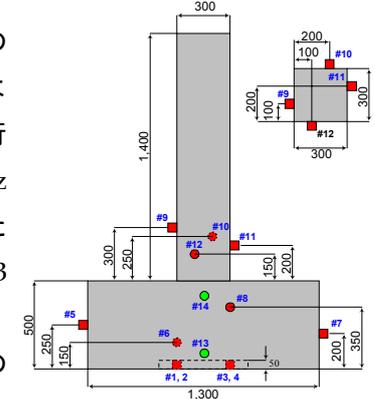


図-2 曲げ試験のセンサ配置

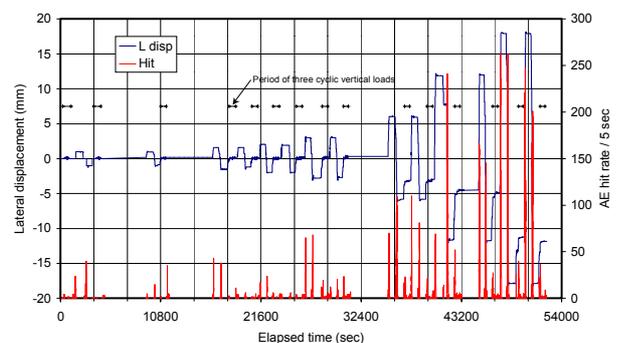


図-3 水平変位量と AE 発生率の経時変化

キーワード：基礎，損傷調査，AE，交番载荷，模型実験

連絡先：〒270-0222 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬 5472，TEL. 0471(98)7553，FAX. 0471(98)7586

初の鉛直荷重時に得られた AE 源(プロット)と2回目の鉛直荷重時(×プロット)の AE 源を試験後に得られたクラックスケッチと示す。鉛直荷重時の AE 源は、水平荷重時の AE 源分布内にあり、2回目の水平荷重時に得られた AE 源分布付近にあることがわかる。つまり、鉛直荷重により、既存損傷からの二次的 AE の励起が可能であり、その位置は交番水平荷重で得られる AE 源の共通位置にあることが明らかとなった。さらに、これらの AE 源は、斜めクラックが観察される位置に得られていることから、鉛直荷重による2次 AE の発生は、せん断型クラックの卓越する位置に多く得られる。この結果は、既報²⁾の「クラック配向と2次 AE の発生傾向」に合致し、AE による損傷評価がせん断型クラックに特に有効であることが再認識された。2回目の鉛直荷重で得られる AE 源分布は1つとなり、カイザー効果(最大履歴荷重まで AE 発現がないこと)が明らかである。図-7 に曲げせん断の各水平荷重の繰返し回数毎の AE 発生総数と最初の水平荷重時に得られた AE 発生総数で無次元化した値を Cyclic AE ratio として示す。同図より変形量 1/200 までの AE 総数は少なく、1/100 から数多く得られる。水平荷重に関するカイザー効果は、Cyclic AE ratio より、1/100 がカイザー効果不成立の目安といえ、Cyclic AE ratio が 0.5 以上、つまり最初の荷重の半分以上の AE が2回目の荷重でも得られ。さらに、3/100 では2回目の AE 総数が1回目を上回る結果となる。前述したように1/100 は鉄筋の降伏点近傍であり、繰返しによる AE 発現の傾向は破壊程度としても合理的結果といえる。図-8 に各水平荷重段階で3回実施した鉛直荷重毎の AE 発生総数を示す。図中、プロットは、最初の鉛直荷重で得られた AE 総数で2回目の AE 総数を無次元化した値、×プロットは、同様に3回目の AE 総数を無次元化した値を示す。1/400 以降、2回目の荷重で得られる AE 総数は1回目の10%前後となる。3回目に得られる AE 総数は、1/100 以降1回目の AE 総数の5%前後となり、図-7 の水平荷重で確認できた供試体の損傷は、鉛直荷重では不明確となった。紙面の都合上割愛したが、曲げの結果でも同様であった。これらは、実験条件に起因し、軸力無作用下の水平荷重により、1/100 の鉄筋降伏点以降、杭体自身の損傷が進行せず、杭体接合部に塑性ヒンジが生じたためと考えられる。

4. 結論 杭の損傷過程は AE 源により可視化可能であり、鉛直荷重による AE 発現は、明らかに“既存損傷”から生じた AE であった。繰返し水平荷重による損傷進行は AE アクティビティにより説明できた。しかし、鉄筋降伏以降の損傷主因は、塑性ヒンジを中心とする杭のロッキング挙動によりもたらされ、杭体自身の損傷進行は認められなかった。鉛直荷重の繰返しにより、AE アクティビティの低下が認められ、これらも杭体の損傷が進行しなかったことに起因していると考えられた。今後、軸力作用下の同試験により、杭損傷を進行させ、損傷程度と荷重回数および、AE 発現との関係を検討するとともに、フォーミングに配置した AE センサ(13, 14ch)のみによる杭頭損傷の評価手法を提案するつもりである。

参考文献 1) 塩谷智基・三輪滋・市村靖光：橋梁基礎構造の損傷調査<AEによる損傷調査>，構造工学技術シリーズ No.11，構造部の診断に関するシンポジウム論文集，pp. 151-156, 1999. 2) Shiotani, T., M. Shigeishi and M. Ohtsu, “Acoustic Emission Characteristics of Concrete-Piles,” *Construction and Buildings Materials* Vol. 13, Elsevier Science Ltd., pp. 73-85, 1999.

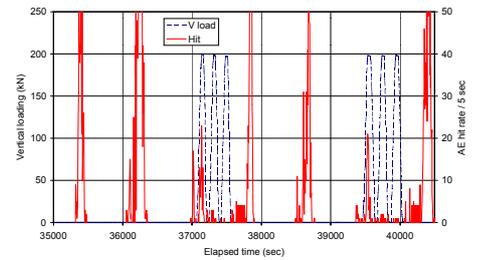


図-4 鉛直荷重と AE 発生率(1/100 変形)

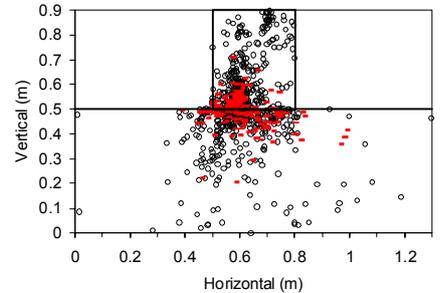


図-5 AE 源位置標定結果(1/100 変形)

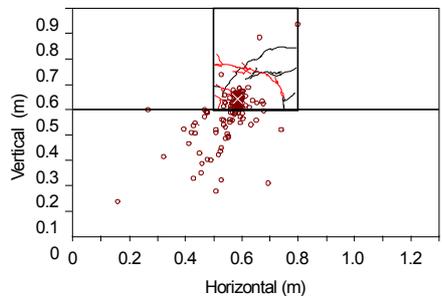


図-6 AE 源位置標定結果(鉛直荷重)

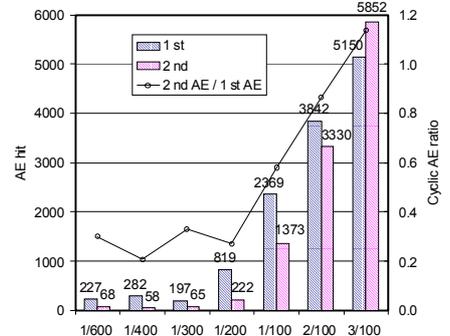


図-7 水平荷重毎の AE 発生総数

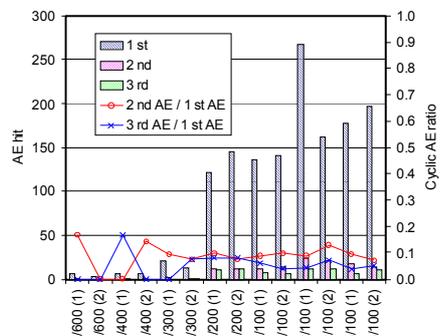


図-8 鉛直荷重毎の AE 発生総数