

[2098] アンカーボルトの引抜きと AE 計測

正会員 岩瀬裕之 (岐阜大学工学部)
 津曲 徹 (岐阜大学工学部)
 正会員 六郷恵哲 (岐阜大学工学部)
 正会員 小柳 洽 (岐阜大学工学部)

1. はじめに

アンカーボルトは設備機器などをコンクリート構造物に設置する場合や鉄骨鉄筋コンクリート構造の柱脚部における接合等にひろく用いられている。アンカーボルトの引張耐力はボルト自身の降伏・破断耐力とコンクリート躯体の破壊耐力(コーン状破壊, 支圧破壊, 付着破壊)を求めることによって得られる。このうちアンカーボルト自身が降伏し破断する破壊はボルトの耐力で引張耐力を決定することができ、またボルト自身の粘り強さにより安定した破壊を期待することができる。このボルト自身の降伏・破壊を対象とした設計を確実にこなうためには、コンクリート躯体が破壊しないことが前提となる。このためコンクリート躯体の破壊過程の把握とそれに基づく耐力評価方法を確立する必要がある。

一方、アコースティックエミッション(以下AEと略)を利用した破壊源探査手法を用いれば、コンクリート内部における破壊の進展を把握することができ、さらに破壊の機構に基づいたコンクリート躯体の耐力評価と結びつけることが可能であると考えられる。

本研究はコンクリート躯体がコーン状破壊する場合を想定したアンカー引抜き試験において、AE破壊源探査を行ない、躯体内の破壊の進展過程の観察を行なったものである。

2. 実験概要

① 供試体: 供試体は引抜き面の寸法を60x60cm,厚さを30cmとした。アンカーボルトは直径17mmのP C鋼棒(SBPR-110/125)を用い、図-1に示すようにこれに対角距離40.4mm,高さ27mmのナットをねじ留めしその上に直径44mm,厚さ3.2mmのワッシャーを瞬間接着剤で貼りつけてアンカープレートモデルとした。P C鋼棒は引抜き試験中に降伏しないような十分な耐力を有している。アンカープレート上面までの埋込み深さは5cm,10cm,15cmの3種類とした。引抜き力をアンカープレートの支圧力のみで抵抗するように、アンカーボルト軸部にグリスを塗付し、その上にポリエチレンラップを巻きつけてアンカーボルトとコンクリートとの付着を切った。コンクリートは最大粗骨材寸法15mmの普通コンクリートを用いた。供試体は打設2日後に脱型し、屋外で約1ヵ月間湿布養生した後、実験室内に放置した。供試体は埋込み深さ1種類について2体作成した。コンクリートの各強度および曲げ供試体を用いて測定した超音波伝播速度を表-1に示す。

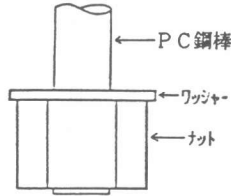
② 載荷方法およびAE計測: 載荷方法は図-2に示すようにアンカーボルトにセンターホール型油圧ジャッキを通し手動ポンプ

表-1 コンクリートの強度と超音波伝播速度

で加力した。また偏心をなくすように皿ナットを通して球座の代りとした。引抜き面の四辺に直径30mm,長さ500mmの鋼棒をおき、その上に門型フレームをおいて反力をとった。

供試体名	埋込み深さ (cm)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)	超音波伝播速度(m/sec)
A-5	5	464	32.8	52.5	4040
A-10	10	467	31.1	53.1	4070
A-15	15	412	30.5	56.7	4020

引張力はセンターホール型ロードセルで計測し、またコンクリートの変位はアンカーボルトから左右



に50mm離れた2点を 図-1 アンカープレート部変位計で計測した。機械的ノイズを低減するため、供試体およびジャッキ、球座、反力を取るための鋼棒等の試験器具の間には厚さ1mmの硬質板ゴムを敷いた。

AE計測は5チャンネルのシステムで計測した。図-3に計測システムの構成を示す。AEセンサーは供試体の各側面に1個ずつと底面に1個配置した。AEセンサーで検出したAE信号をプリアンプで40dB増幅し、さらにディスクリミネーターで20dB増幅し周波数帯が30~80kHzのものを計測した。この増幅したAE信号をデジタル波形記憶装置(サンプリング間隔1μsec)に取り込み、次にこの波形データをパソコンにGP-IBインターフェースを通じて転送しハードディスクに記録した。

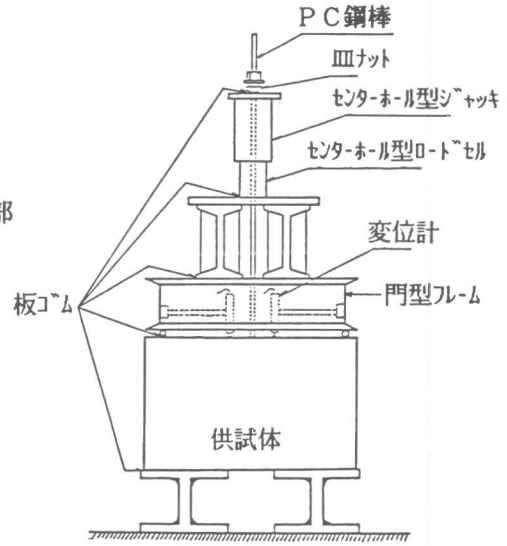


図-2 載荷装置

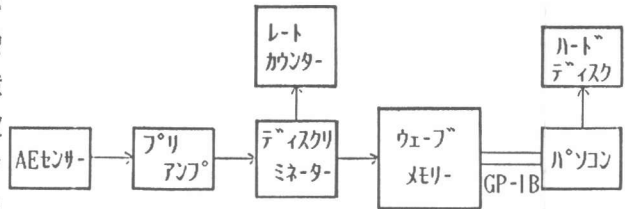


図-3 AE計測システム

プログラムはBASICで作られており、AE信号取込みからハードディスクに記録するまで1事象あたり約40秒要する。なるべく多数の事象の記録を得るために、データをハードディスクに記録中は載荷を中止した。また最大荷重付近では、供試体が瞬間的に破壊しないよう、レートカウンターでAE事象発生数を観察し、発生数が急激に増加すると手動ポンプのバルブを開き荷重を下げた。すべての試験が終わった後に、記録した波形の到達時間差を読み取り、最小二乗法によりAE破壊源を求めた¹⁾。AE伝播速度は引抜き試験用供試体と同時に作成した10×10×40cmの曲げ供試体において超音波伝播速度を測定し、AE伝播速度は試験中は不変と仮定して、その値を用いた。引抜き試験の前に供試体の任意の点にAEセンサーを貼付し、逆にここからパルスを入力して求めたAE破壊源の位置標定の精度は20mm以内であった。

3. 結果と考察

アンカー引抜き試験によって得られた最大荷重、計測したAE事象数、および計測したAE事象のうち収束計算を行なって供試体内部とその周辺に収束したものの数を表-2に示す。また、埋込み深さ1種類につき1体の荷重変位曲線を図-4(a)~(c)に示す。変位には機械的ノイズ低減のために敷いたゴムの変形や引抜き面の起伏の変形の影響等を含んでいる。

埋込み深さ15cmのものは荷重変位曲線に示されるように、2体とも最大荷重以後変位が進行せず荷重が低下した。最終的には供試体は二つに割れて破壊した。反力を取るために用いた門型フレームの剛性が低く、このために引抜き面が引張りになるような曲げが働き供試体は二つに破壊したと考えられる。埋込み深さ10cmのものは最大荷重移行以降ゆるやかに荷重が低下しながら変

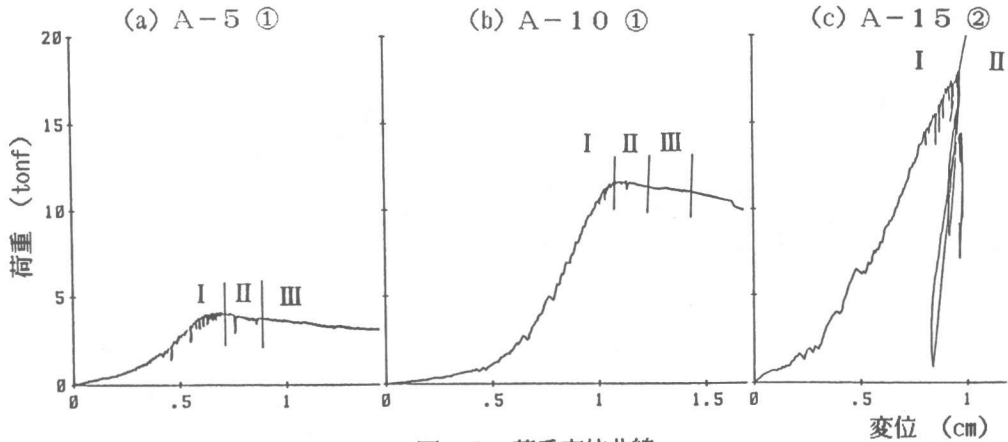


図-4 荷重変位曲線

位が進み、その後破壊した。最終的な破壊形状は供試体上部でコンクリートがいくつかの破片に分かれた形でコーン状破壊し、供試体下部では埋込み深さ15cmのものと同様に二つに割れて破壊した。埋込み深さ5cmのものは10cmのものと同様に最大荷重以降荷重がゆるやかに低下しながら変位が進み、最終的にアンカーボルトにコンクリート片をとまなって引抜けた。コンクリート片の引抜き面とアンカーボルトとの角度は埋込み深さが5cm, 10cmとも70~80°であった。

表-2 最大荷重およびAE事象数

供試体名	最大荷重 (tonf)	AE計測数	AE収束数
A-5 ①	4.1	117	59
②	4.2	119	77
A-10 ①	11.7	186	91
②	10.7	136	74
A-15 ①	17.8	51	14
②	17.9	151	57

収束計算を行なって求めたAE破壊源を最大荷重の段階までと最大荷重以降を二段階に分けた合計三段階(15cmのものは最大荷重の前と後の二段階とした)に分けて引抜き面にプロットして図-5(a)~(h)に示す。最終段階のものには引抜き面上で観察されたひびわれを併せて示す。図-6(a)~(h)に埋込み深さが5cm, 10cmのものはAE破壊源のアンカーボルト中心からの距離と底面からの距離の関係を示す。また同時に試験終了後に測定したコーン状破壊面の一断面を示す。図-7(a)~(d)に15cmのもののAE破壊源を側面から見た位置を示す。埋込み深さが5cmの場合は、I段階すなわち最大荷重付近まではアンカープレート近傍の半径10cm以内にAE破壊源が集中している。最大荷重以降、変位が進むにつれてAE破壊源がひろがっていき、また引抜き面に近づいていく。III段階では引抜き面上で観察されたひびわれ付近にAE破壊源があらわれている。埋め込み深さが10cmの場合も5cmの場合と同様に最大荷重まではアンカープレート近傍の半径10cm以内にAE破壊源が集中している。また、引抜き面上にもAE破壊源がみられ、供試体表面に発生したひびわれと対応している。最大荷重以降、変位が進むにつれてAE破壊源はひろがっていき、また引抜き面に近づいていく。埋込み深さが5cm, 10cmとも試験終了後に観察されたコーン状破壊面にAE破壊源はばらつきはあるもののほぼ一致している。コーン状破壊の場合、最大荷重付近まではAE破壊源がアンカーボルト近傍に集中していることより、最大荷重までの引抜き力に主に抵抗しているのはボルト近傍の領域であると考えられる。ここでの破壊が起こった後に破壊が徐々にひろがっていくと考えられる。埋込み深さが15cmの場合は供試体はコーン状破壊せず二つに割れて破壊したが、最大荷重まではAE破壊源はアンカープレート近傍と引抜き面に集中しており、また最大荷重以降は供試体内部にひろがっており破壊の進展の様子をよくとらえている。

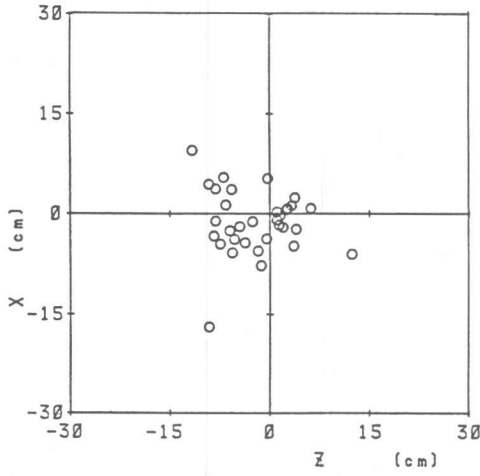


图-5(a) AE破坏源位置(x-z) A-5 I

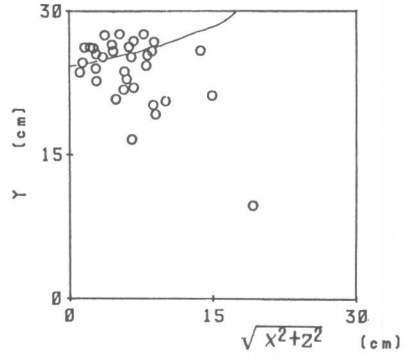


图-6(a) AE破坏源位置($y-\sqrt{x^2+z^2}$) A-5 I

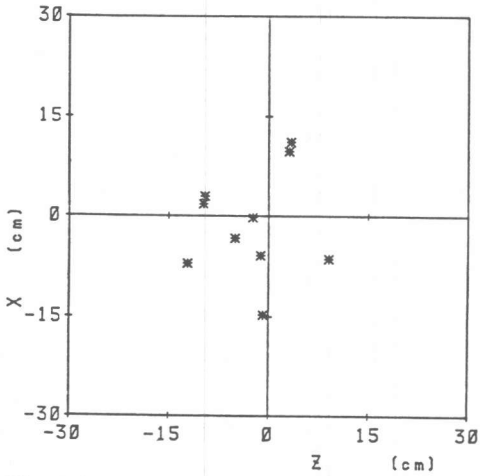


图-5(b) AE破坏源位置(x-z) A-5 II

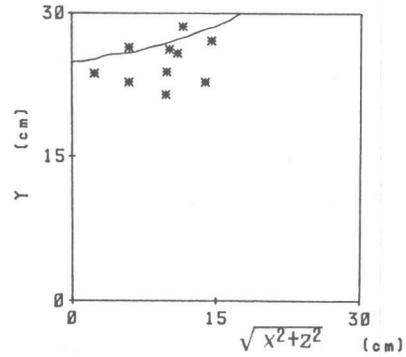


图-6(b) AE破坏源位置($y-\sqrt{x^2+z^2}$) A-5 II

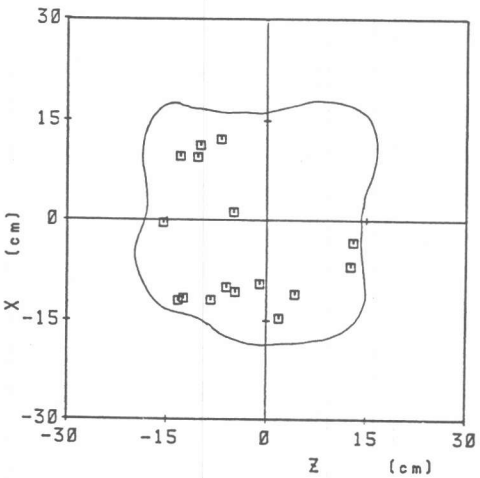


图-5(c) AE破坏源位置(x-z) A-5 III

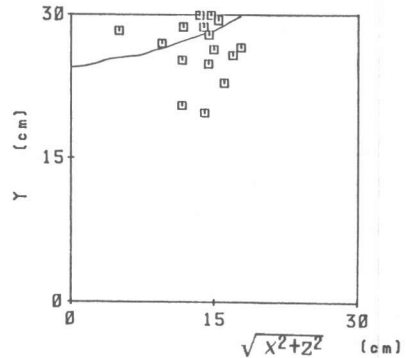


图-6(c) AE破坏源位置($y-\sqrt{x^2+z^2}$) A-5 III

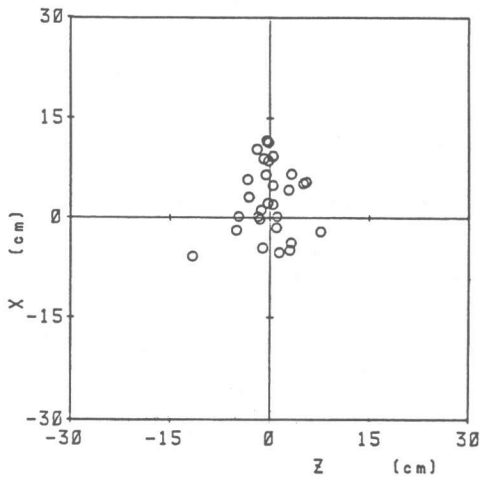


图-5(d) AE破坏源位置(x-z) A-10 I

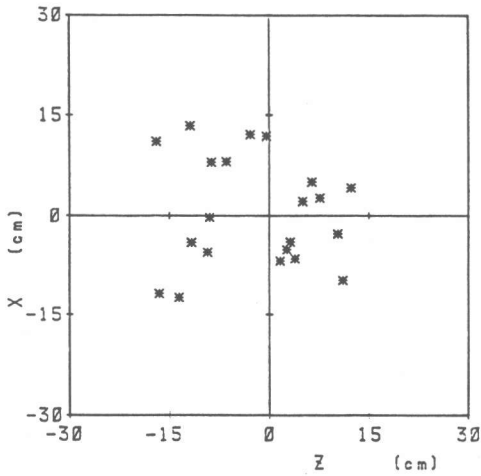


图-5(e) AE破坏源位置(x-z) A-10 II

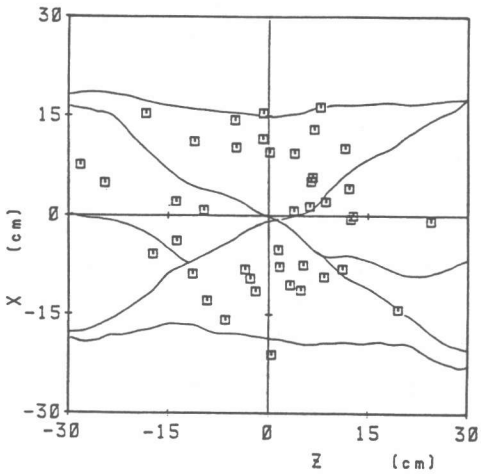


图-5(f) AE破坏源位置(x-z) A-10 III

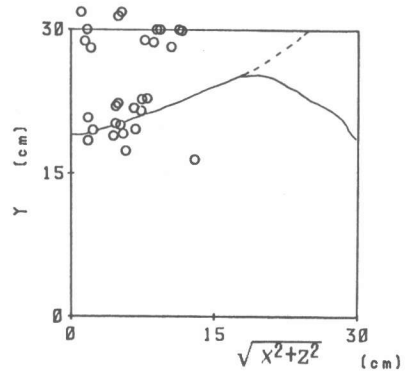


图-6(d) AE破坏源位置($y-\sqrt{x^2+z^2}$) A-10 I

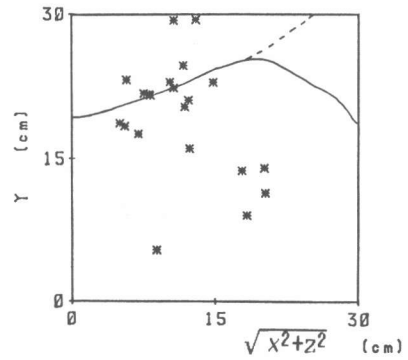


图-6(e) AE破坏源位置($y-\sqrt{x^2+z^2}$) A-10 II

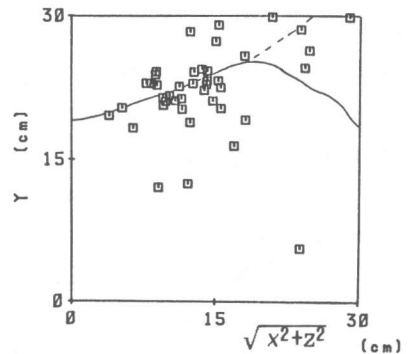


图-6(f) AE破坏源位置($y-\sqrt{x^2+z^2}$) A-10 III

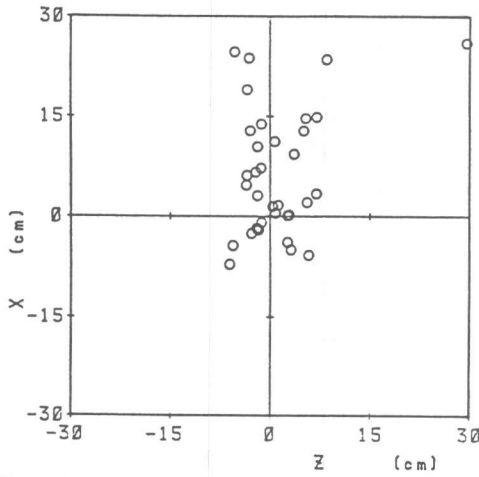


図-5(g) AE破壊源位置(x-z) A-15 I

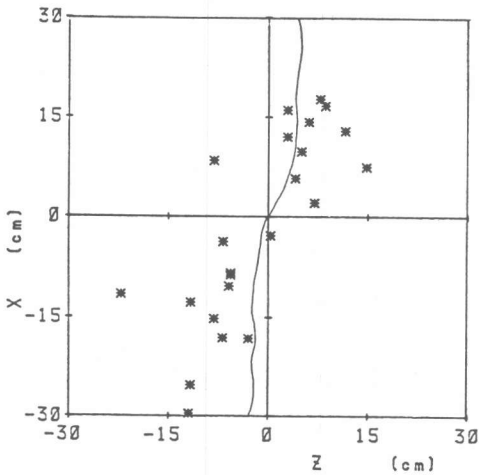


図-5(h) AE破壊源位置(x-z) A-15 II

4. まとめ

コンクリート躯体がコーン状破壊する場合を想定したアンカー引抜き試験においてAE破壊源探査を行ない次の結果が得られた。

- (1) AE信号の各AEセンサーへの到達時間差から求められたAE破壊源は試験終了後に観察された破壊面にばらつきはあるもののほぼ一致しており、破壊の進展もよくとらえている。
- (2) コンクリート躯体がコーン状破壊する場合、最大荷重まではAE破壊源がアンカープレート近傍に集中しており、この領域が主に最大荷重までの引抜き力に抵抗していると考えられる。
- (3) 最大荷重以後、徐々にコーン状破壊は進行し最終破壊にいたることが明かとなった。

参考文献

- 1) 大津政康：コンクリート材料におけるアコースティック・エミッション特性とその発生機構に関する基礎的研究 京都大学博士論文

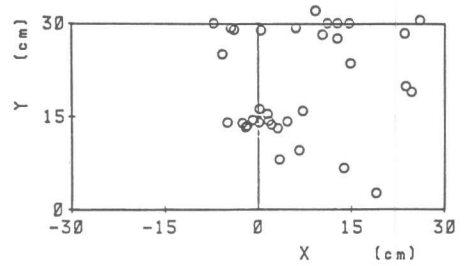


図-7(a) AE破壊源位置(x-y) A-15 I

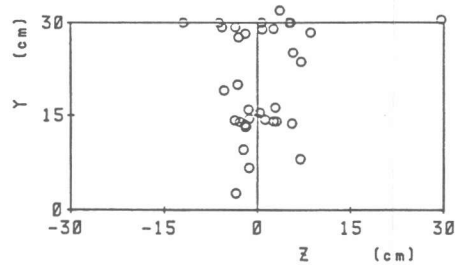


図-7(b) AE破壊源位置(z-y) A-15 I

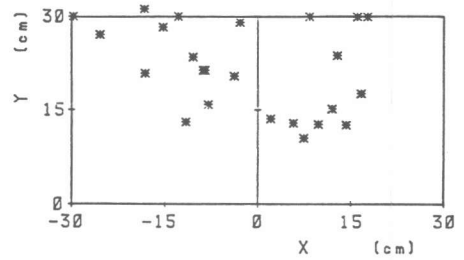


図-7(c) AE破壊源位置(x-y) A-15 II

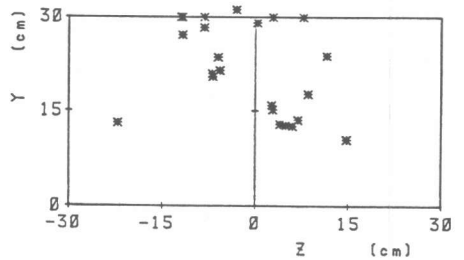


図-7(d) AE破壊源位置(z-y) A-15 II