コンクリート供試体の破壊進展における AE 発生と打撃音の関係

京都大学大学院農学研究科 学生会員 合田且一朗
同 上 正会員 青山咸康
同 上 正会員 小林 晃

1. はじめに

近年，コンクリート構造物の劣化や剥落が社会問題になりつつあり，我が国では適切に診断するために様々な非破壊検査法が用いられている．本論では，1 次検査として頻繁に使用される打音法[1)]に着目し，損傷程度と打撃音の変化について実験を行った．損傷程度の評価は，従来の応力ひずみ曲線とアコースティックエミッション[2)](破壊音) の発生頻度を用いて行い，載荷方法や供試体の拘束状態の違いによる打撃音の卓越周波数の変化から，打音法による損傷程度の定量化のための基礎的実験を行った．

2. 実験方法

2.1 供試体と載荷方法

供試体には，$10 \times 10 \times 40cm$ の角柱供試体を用いる．供試体は図 1 に示すように圧縮試験機に据え，一軸圧縮を行う．圧縮試験機にはロードセルを設置して荷重を計測し，供試体には向い合う面の中央に縦・横ひずみ測定用にひずみゲージを貼り付け，応力ひずみ曲線を描く．載荷速度は全てのパターンにおいて一定 $(0.025MPa/s)$ であり，コンクリート標準示方書で推奨されている速度 $(0.25MPa/s)$ のおよそ 1/10 である．

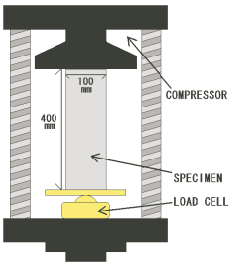

図 1: 載荷方法

2.2 打撃音・AE 測定と解析手法

図 2 に AE センサー・マイクの配置を示す．供試体の打撃はハンマーにより手動で行い，マイクはゴム製カバーごと供試体に固定する．打撃音はテープレコーダーで録音し，PC 上で再生し AD 変換を行い (サンプリング：$22050Hz$，$8bit$)，時系列データとして再録音した．AE 測定にはセンサーを 4 つ使用し，フィルターは使用しない．

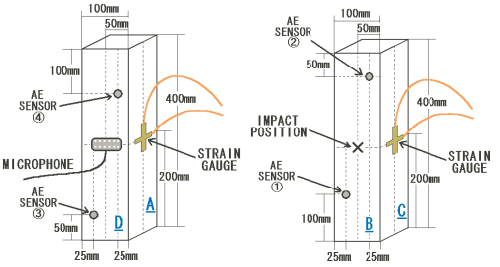

図 2: AE センサー・マイクの配置

打撃音・AE 波形の解析には，AIC を用いた最適モデル選択を行う局所定常 AR 解析[3)]を用いた．これにより大きい雑音の中から，打撃音を抽出することができる．

2.3 載荷ケース

(1)CASE1：取り外し・繰返し載荷

ある荷重値まで載荷し，除荷した各段階 (図 4) で供試体を載荷装置から取り外し，図 3 の装置を用いて打撃音を測定し，縦波共振周波数を抽出する．共振周波数とコンクリートの剛性には正の相関があるので[4)]，損傷の共振周波数に対する影響について検証する．

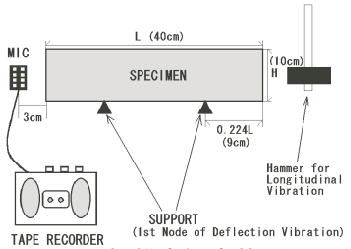

図 3: 打撃音録音装置

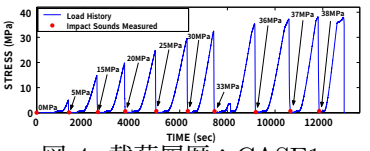

図 4: 載荷履歴：CASE1

(2)CASE2：漸増繰返し載荷

荷重値がある荷重段階に達した時，荷重値を一定に保ったまま，載荷状態で打撃音を測定し，その後応力を $0.1MPa$ 程度まで除荷して再度打撃音を測定する．このサイクルを供試体が破壊するまで続ける (図 5)．ここでは，損傷が同程度であるときの応力状態の相違による打撃音の卓越周波数への影響について検証する．

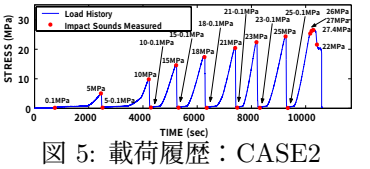

図 5: 載荷履歴：CASE2

(3)CASE3：単調漸増載荷

荷重値がある荷重段階に達した時点で荷重値を一定に保ち，載荷状態で打撃音を測定した後，除荷せず荷重を再び増し，供試体が破壊するまで続ける (図 6)．ここでは CASE2 との比較により，繰返し載荷による微小ひび割れ開放の影響について検証する．

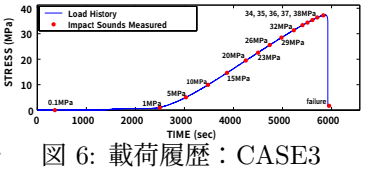

図 6: 載荷履歴：CASE3

Key words: 打音試験，*AE* 破壊音，コンクリート，損傷評価，非破壊検査
〒 606-8502 京都市左京区北白川追分町 TEL: 075-753-6346 FAX: 075-753-6346

3. 実験結果

3.1 共振周波数の変化：CASE1

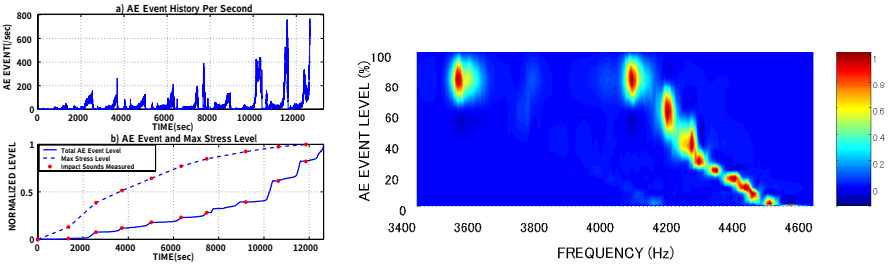

図 7: AE・応力損傷度 (左) と縦波共振周波数の変化 (右)

図 7(左) は，AE 発生頻度 (上) と AE 発生度・応力度による損傷レベルの変化 (下) を示す．破壊するまでに発生した総 AE 発生数に対する割合を AE 損傷度 (実線)，破壊に至るまでに経験する最大応力に対する以前に経験した最大応力の割合を応力損傷度 (点線) とする．応力損傷度の増加は，初期劣化段階において大きい値を示す傾向があるが，AE 損傷度の増加は初期劣化段階では小さい値を示し，破壊直前に急激に損傷が進展するという傾向を示すものと考えられる．コンクリートのように脆性破壊する材料に対しては，AE 損傷度のほうが破壊の進展をよく表す指標であると考えられる．図 7(右) は，AE 発生度を損傷パラメーターとしたときの縦波共振周波数と正規化したパワースペクトルの変化を表す．

図 7(右) から，損傷を受けるにつれて共振周波数が徐々に低下するのがわかる．低下率はおよそ 10〜15% となっており，この低下率をモード解析による共振周波数に置き換えて考えると，弾性係数がおよそ 20% 低下していることとなる．

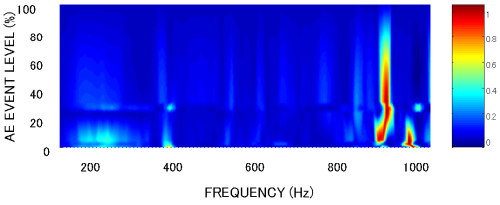

図 8: CASE2:除荷時の卓越周波数の変化

3.2 圧縮応力作用の影響：CASE2

図 8・9 は AE 発生度を損傷パラメーターとした時の正規化パワースペクトルを表したものであり，それぞれ，応力を $0.1MPa$ 程度まで除荷した状態での卓越周波数の変化 (図 8), 載荷状態における卓越周波数の変化 (図 9)，を示している．

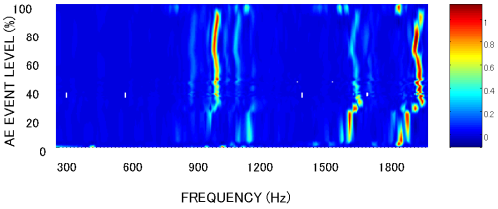

図 9: CASE2:載荷時の卓越周波数の変化

載荷時には卓越周波数が損傷を受けるにつれて上昇していく傾向，除荷時には，徐々に減少していく傾向が見てとれる．つまり，同程度の損傷度であっても，供試体の応力作用状態が異なれば卓越周波数の変化の傾向も全く異なることがわかる．載荷時の卓越周波数の上昇はどのようなケースにおいても 7% 程度，除荷時の卓越周波数の低下は 7〜8% 程度となった．

3.3 繰返し載荷による影響：CASE2・3

図 10 に，CASE3 における AE 発生度を損傷パラメーターとした時の，正規化パワースペクトルの変化を示す．図 10 に比べて，図 9 には卓越周波数が多く存在すること，図 9 には $950Hz$ 付近に損傷レベルの増大に伴い現れる卓越周波数が存在することなどがわかる．これらの現象は除荷の影響によるものと考えられる．除荷することで，載荷によって発生した微細なひび割れが一度開放されることで，多数の不連続面が内部に生じる．そのため，載荷方法によっては第一の卓越周波数以外の部分にも卓越周波数が多く存在するようになり，繰返し載荷によってその影響が増大していくものと考えられる．

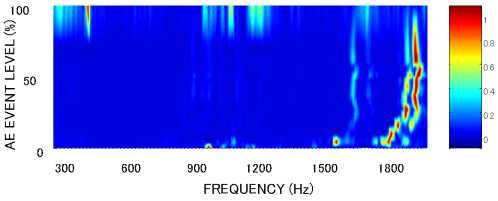

図 10: CASE3:載荷時の卓越周波数の変化

4. 結果・考察

コンクリート供試体における AE 発生度をパラメーターとした時の破壊進展と打撃音の変化について検証した．供試体を載荷装置から取り外して打撃音を測定した CASE1 においては，損傷度が大きくなるにつれて共振周波数が低下する傾向が確かめられ，その低下率は定量化を行う場合に対しても有意な変化であると考えられる．CASE2・3 では，実際に打音試験を行う状況を想定して，応力状態の影響・繰返し載荷による影響について検証した．載荷状態では卓越周波数は上昇し，除荷状態では低下した．また，繰返し載荷による微小ひび割れの開放により，異なる周波数が卓越する傾向が見られた．

参考文献

1) 伊東良浩・魚本健人： ひび割れを有する鉄筋コンクリート梁の打撃音, 土木学会論文集 No. 564/V-35, pp.169–176, 1997. 2) 石田 毅： 岩盤破壊音の科学, 近未来社, 1999. 3) 北川源四郎： FORTRAN 77 時系列解析プログラミング, 岩波書店, 1993. 4) 合田且一朗： コンクリート供試体打撃音における共振周波数の抽出, 平成 14 年度農業土木学会大会講演会, 2002.