

機関番号：11201

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20780171

研究課題名 (和文) 弾性波による構造物の劣化度検査法の研究

研究課題名 (英文) The evaluation method of the degree of degradation for the facility using the elastic wave

研究代表者

山本 清仁 (YAMAMOTO KIYOHITO)

岩手大学・農学部・准教授

研究者番号：60362430

研究成果の概要 (和文)：

弾性波を用いた農業水利施設の劣化度の評価手法を調べた。まず、EPS ビーズをモルタルに混ぜることにより劣化供試体を準備し、ひずみの増加に伴うアコースティックエミッション (AE) の挙動を一軸圧縮試験と割裂引張試験により計測した。次に、アルカリシリカ反応による劣化コンクリート供試体を準備し、打音試験により加速度と打撃音を計測した。その結果、1つのセンサのみを用いて定性的に劣化度を評価する知見を得た。

研究成果の概要 (英文)：

The evaluation method of the degree of degradation for agricultural facilities was examined using the elastic wave. Firstly, degraded specimens were prepared by mixing expanded polystyrene (EPS) beads with mortar. The changes in acoustic emission (AE) behavior with increase in strain were measured by Uniaxial compression tests and a splitting tests. Secondly, degraded concrete specimens due to ASR (alkali-silica reaction) were prepared. Accelerations and hit sounds were measured by hammering test. As a result, the knowledge to evaluate qualitatively the degree of degradation using only one sensor was obtained.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学 農業土木学・農村計画学

キーワード：農業工学，土木材料，維持管理，非破壊検査，弾性波

## 1. 研究開始当初の背景

今後農業従事者が減少すれば、放置される水利施設が増加し、再び国内で食糧生産が必要となったときには利用不能となってしまう可能性がある。日本に安定して食料が輸入され続けるという保障はなく、新規に同様な施設を建設するには莫大な費用が必要とな

り、新たな問題となり兼ねない。そのような心配がないとしても、経済的な食糧生産のためには、既存水利施設を半永久的に使用する工夫が必要である。そのためには、ダムやため池、水路等を大切に管理し続ける必要がある。

構造物には概ね 30～50 年の寿命がある。

一方、丁寧に点検や補修を受けている構造物では、100年以上供用されているものもある。耐用年数を過ぎた構造物について徹底的な点検や補修を行えば、継続して使用することはできるが、維持管理に使用できる予算には限りがあり、放置されたままの状態が続く場合もある。このような構造物が崩壊すれば、何らかの安全対策を講じる必要が生じ、維持管理に使う以上の支出を負担することも考えられる。

既存施設について現時点での安全性を判断するのに加え、いつまで安全化か、そしていつ崩壊するかを把握できれば、維持管理は容易に行えるが、現在の技術ではそれが不可能である。そのため、ライフサイクルマネジメントや簡便・安価で高精度な点検手法の研究が活発に行われている。構造物の崩壊が予測できない現状で、構造物の機能保全や管理システムについての技術開発は、この分野で重要な課題のひとつであると考えられる。

農業水利構造物の維持管理の研究において、加速度計や電磁探査装置、電気探査装置、サーモグラフィ、AE（アコースティック・エミッション）計測装置を用いてため池の漏水調査、コンクリートダム等の亀裂調査等が行われているが、自然環境下で取得した複雑な計測データの評価は困難な面が多く、室内で条件を限定し、基礎的なデータを取得して考察することが重要であると考えられる。

現地調査では装備の重量や大きさが作業の効率と直結しており、得られる情報量と精度を考慮すると弾性波計測が優れている。信号処理装置は小型・軽量化が著しく、安価になっており、これと弾性波を扱えるセンサを組み合わせれば、容易に計測装置を作成することができる。しかし、前述のような現地での適用を踏まえ、室内実験でセンサ設置位置や入力弾性波の組み合わせを変えて受信弾性波の特性を把握することが必要であると考える。

## 2. 研究の目的

既存の農業水利施設を維持して行くためには施設材料の劣化（損傷）を把握し、劣化度合いに応じた経済的な維持・改修を考える必要がある。ここでは、構造物の安全性を判断するための弾性波を用いた点検手法の研究を行う。構造物を構成するコンクリートやモルタルに様々な劣化条件を与え、弾性波特性データを取得する。弾性波には多くの情報があり、その波形情報より材料の強度低下を判定する最善の情報の組み合わせを見つけることを目的とする。そのために有用なセンサ種類、センサ設置方法、入力波形および出力波形情報、弾性波の周波数帯域について調査する。

## 3. 研究の方法

### (1) EPS ビーズ混入劣化によるモルタルの AE 挙動

劣化により比較的大きな空隙が生成された材料の力学挙動を把握するために、EPS ビーズ（発泡ビーズ）を用いて内部に球形の弱部を分布させた供試体による縦弾性波速度（ $V_p$ ）計測、一軸圧縮試験および割裂引張試験の結果の検討を行った。

ビーズの直径は 0.22cm であり、密度は 0.03g/cm<sup>3</sup> である。モルタル打設時に、1L 当たり 2.55g および 5.09g の EPS ビーズが混入するように EPS ビーズを均一に混ぜた。EPS ビーズを混ぜない健全供試体と 2 種類の EPS ビーズ混入供試体の 3 パターンについて  $V_p$  計測と強度試験を行った。 $V_p$  計測においては AE パラメータもあわせて計測した。強度試験においてロードセルとひずみゲージにより荷重とひずみを計測し、AE センサーにより供試体から発せられる AE を計測した。検討に用いた AE パラメータは、立上がり時間、残響周波数、平均信号レベル、イベントカウントレートの計 4 つである。全ひずみに膨張ひずみを導入し、载荷にともなう弾性係数の減少を損傷変数により表現することにより、応力ひずみ関係を整理した。それらの算定においては、膨張性損傷モデルを用いた。

### (2) 打音特性および加速度特性によるコンクリートの劣化評価

打撃音波形特性によるコンクリートの劣化指標の検討および力学特性の把握を行った。水セメント比 50% の健全供試体と、それを 1 規定の水酸化ナトリウム溶液に浸漬させた劣化供試体を用意し、圧縮強度試験を行った。また、表面乾燥飽水状態の供試体を用い、反射法と透過法の 2 種類の打音試験を行った。打撃は市販の金属ハンマーを使用し、打撃点より 5cm 上から重力のみで落下させた。放射音をマイクで計測し、コンクリートを伝わる弾性波を加速度センサで計測した。試験結果より平均周波数、卓越周波数、スペクトログラム（ランニングスペクトル）を求めた。

## 4. 研究成果

### (1) EPS ビーズ混入劣化によるモルタルの AE 挙動

本研究により得られた知見は、以下の①～③のようになる。

- ① 圧縮と引張の両強度試験において劣化供試体の強度と弾性係数は健全なものに比べて減少する。また、圧縮試験における最大応力時軸ひずみはビーズの増加により減少する。
- ② 発振源近傍に設置した 1 つの AE センサを利用し、カウントの平均値および立上がり時間の標準偏差を複数箇所計測し、

その情報を計測箇所間で比較して空気量（空隙量）増加による劣化度を定性的に推定する方法が提案できる。図1はカウンターの平均値および立上がり時間の標準偏差から算出した空気量と実測の空気量の関係である。

- ③ AE計測結果において健全供試体と劣化供試体との間に顕著な差異は認められないが、圧縮と引張の载荷形式において異なる傾向が観察された。圧縮においては損傷変数が0.1を超えた付近において膨張ひずみと平均信号レベルが増加することが観察され、引張においては膨張ひずみが漸次増加し、立上り時間は減少、残響周波数は増加傾向にある。図2は、各AEパラメータと損傷変数の関係である。

②の知見より、1つのAEセンサだけを用いることでも簡易劣化調査が可能であると考えられる。また、③の知見より、载荷によるAEパラメータの変化は劣化の有無ではなく、引張と圧縮の载荷形式に依存していることから、破壊時の残響周波数と立上り時間の挙動から材料の破壊メカニズムを推定できる可能性があると考えられる。

(2) 打音特性および加速度特性によるコンクリートの劣化評価

本研究により得られた知見は、以下の①および②のようになる

- ① 平均圧縮強度は健全供試体で47.9N/mm<sup>2</sup>、劣化供試体で44.3N/mm<sup>2</sup>であり、8%程度の強度減少が認められた。マイク計測による反射法の打音試験結果において、健全供試体の平均周波数は2228Hz、劣化供試体の平均周波数は2182Hzであり、健全供試体の卓越周波数は2305Hz、劣化供試体の卓越周波数は2160Hzであった。この劣化による平均周波数と卓越周波数の減少は、加速度センサの計測結果においても同様な傾向であった。

- ② スペクトログラム（図3）より劣化供試

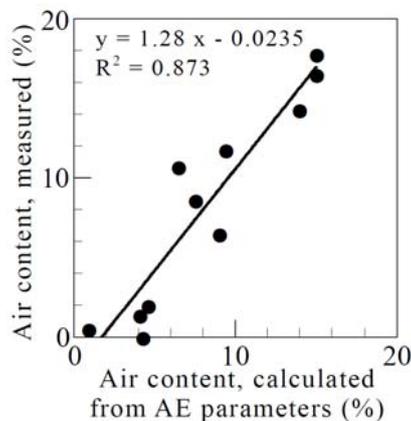
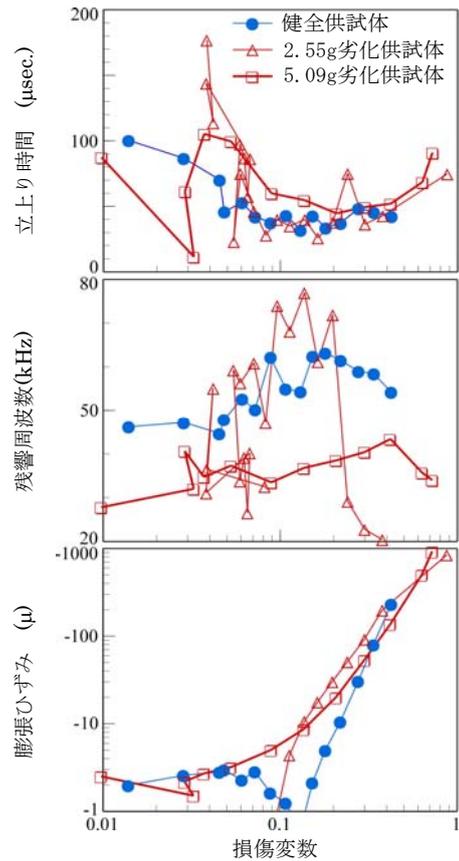
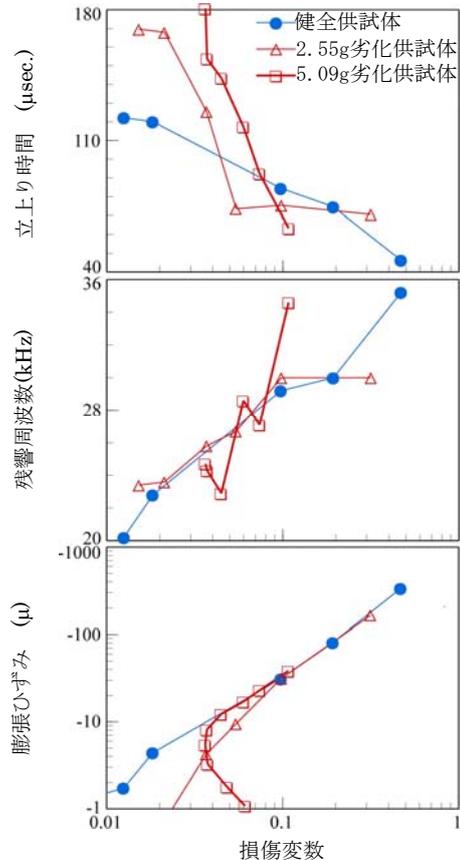


図1 AEパラメータ算出した空気量と実測の空気量の関係



①一軸圧縮試験



②割裂引張試験

図2 AEパラメータ・膨張ひずみー損傷変数関係

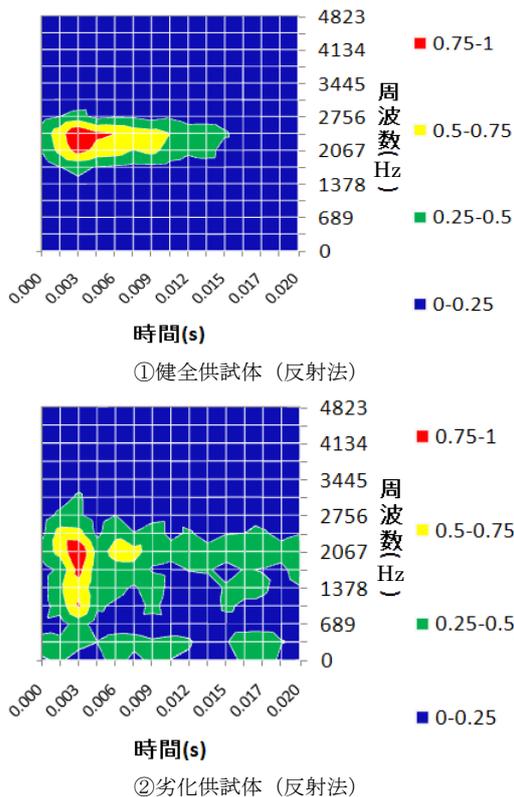


図3 打音測定によるスペクトログラム

体の時間毎のパワースペクトルの分布は不均一であり、劣化供試体の弾性波には広い帯域の周波数成分が含まれている。これらのことは、アルカリンシリカ反応によってコンクリート内部に微細なき裂が生じ、弾性波の散乱や迂回が発生したことが原因と考えられる。以上の結果から、反射法により平均周波数、卓越周波数およびスペクトログラムを求めることで、コンクリート内部の微細なき裂が原因である劣化について、評価することが可能であると考えられる。

以上の知見により、目視では確認することができないコンクリートの劣化状態について、打音法により得られたスペクトログラム(図3)により把握できると考えられ、このことは打音波形特性を利用したコンクリート構造物の簡易劣化検査の可能性を示唆している。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Kiyohito Yamamoto and Akira Kobayashi, Evaluation for expansive strain of degraded mortar with damage mechanics model, Key Engineering Materials, 査読

有, Vol.452-453, 2011, pp.193-196.

- ② 山本清仁, 小林晃, 青山咸康, 損傷パラメータを用いた劣化モルタルの力学特性評価法, 応用力学論文集, 査読有, Vol.11, 2008, pp.919-928.
- ③ 山本清仁, 小林晃, 青山咸康, EPS ビーズ混入劣化によるモルタルの AE 挙動, 材料, 査読有, Vol.57, No.10, 2008, pp.1011-1018.

[学会発表] (計6件)

- ① 山本清仁, ため池余水吐の簡便な打音検査, 平成22年度農業農村工学会東北支部講演会(第53回), 2010.11.18, いわて県民情報交換センター(岩手県)
- ② 山本清仁, 損傷変数と膨張ひずみによるモルタルの変形挙動評価, 平成22年度農業農村工学会大会講演会, 2010.8.31, 神戸大学鶴甲第一キャンパス(兵庫県)
- ③ 山本清仁, 劣化モルタルの载荷損傷過程, 東北地域災害科学研究集会2010.1.9, 山形大学小白川キャンパス(山形県)
- ④ K. Yamamoto, Change in Damage Parameters of Rock Degraded by Chemical Effects of Salt Water, ISRM-Sponsored International Symposium on Rock Mechanics, "Rock Characterisation, Modelling and Engineering Design Methods", 2009.5.20, 香港大学(香港)
- ⑤ Yamamoto, K., Behavior of AE parameters due to increase in damage variable of mortar degraded by mixing with expanded polystyrene beads, The 19th International Acoustic Emission Symposium, 2008.12.12, (京都府)
- ⑥ 山本清仁, モルタルの EPS ビーズ混入劣化による AE パラメータの変化, 平成20年度農業土木学会大会, 2008.8.26, (秋田県)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

山本清仁 (YAMAMOTO KIYOHITO)  
岩手大学・農学部・准教授  
研究者番号: 60362430

##### (2) 研究分担者

該当なし

##### (3) 連携研究者

該当なし