

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 9 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07640

研究課題名(和文) 目視できない材料内部のき裂の量と進展挙動による脆性材料の健全度寿命評価手法の研究

研究課題名(英文) Evaluation method of life span of brittle materials by quantity and propagation of cracks in invisible inner part of materials

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：目視できない材料特性を把握するためにアコースティック・エミッション(AE, 破壊音)測定を用いて材料力学特性を調べ、材料の寿命評価手法構築の可能性について検討した。その結果、コンクリート及びモルタルの材料内部の破壊形態の情報がAEの周波数の違いにより得られると推定され、その情報と簡便な点検手法から得られる結果の関係性が見つかれば、実用的な材料の寿命評価手法の構築に繋がる可能性があるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The mechanical characteristics of concrete and mortar were investigated to obtain invisible characteristics of materials using measurement of acoustic emission. It is examined whether a evaluation method of life span could be constructed. As a results, it is inferred that the data of failure types in inner part of materials are obtained from the difference in frequencies of acoustic emission. If it is found the relation between this data and results of simple and easy inspection, it is considered that a method of practical evaluation of life span could be constructed.

研究分野：農業施設工学

キーワード：アコースティック・エミッション コンクリート 施設材料 維持管理 ストックマネジメント 農業
水利施設 劣化

1. 研究開始当初の背景

食料を生産するためには田畑へ水を適切に供給することが必要なため、日本全国にダムやため池、水路等の数多くの農業水利施設が建設されてきた。また、水利施設は、一度造ってしまえば永久に供用できるというものではなく、竣工と同時に劣化が始まり、劣化が施設全体にまで及ぶと、水を送る機能が維持できなくなる。100年以上も使われている水利施設もあるが、これらは改修を繰り返して機能を維持しており、さらに地震や豪雨等によっても水利施設は損傷を受け、改修が必要になる場合もある。日本全国の水利施設についての更新や改修を考えると、ため池の総数は20万箇所以上、水路延長は40万km以上といわれ、その費用は膨大になるので、経済的な農業生産のためには、今ある農業水利施設をできるだけ長い間大切に使い、維持管理にかかるコストをできる限り少なくし、水利施設の機能を最大限に発揮させる必要がある。

農業水利施設のストックマネジメントは、機能保全とライフサイクルコストの低減を目的にしており、劣化が施設全体に及ぶと施設全体を更新しなくてはならないが、劣化が小規模に発生している時点で補修を逐次行えば長期的に必要な維持管理コストが低く抑えられるという考えが前提となっている。ここで重要なことは、施設の健全度を評価して適切な対策を考えることであり、極めて専門性の高い判断を行わなくてはならない。劣化原因に合った対策を行わなければ同様な劣化により施設に再び損傷が発生する可能性があり、健全度（あるいは劣化度）評価において補修対策の判定になっても改修・更新しなければ機能が維持できない可能性、対策によっても機能維持が期待するほど持続しない可能性等、合理的に機能保全対策を決定することは非常に難しい。また、施設の主たる劣化原因は、寒冷地や沿岸等の地域性および使用状況により異なり、健全度評価と対策の判断は難しいものとなっている。さらに、機能診断における概査の大部分は目視によるものであるが、目視できる劣化状態は劣化がすでに加速期に移行している状態であり、極めて短期間のうちに補修不能な状態に陥ることが予想され、1.劣化が目視できない進展期の段階における劣化度評価と2.機能保全対策を施すことによる施設の延命効果の定量化の2点についての技術開発は、農業水利施設のストックマネジメントにおいて重要な課題であると考えられる。

コンクリートやモルタル、岩石等の脆性材料の劣化は、外力や内力によって材料内部にひずみが生じ、さらに材料内部のき裂や間隙に変化が生じることが原因の一つである。凍結融解作用による岩石の劣化は、内部の間隙水が凍ることによって間隙が膨張して、その形状と大きさが変化することによって生じる。疲労による劣化は、材料外部からの荷重

による伸び縮み（またはたわみ）によりき裂が進展することにより生じ、力学的劣化機構は凍結融解と類似していると考えている。また、アルカリシリカ反応によるコンクリートの劣化は、骨材の膨張によって材料内部にひずみが生じて、き裂が進展することが原因である。そして、コンクリートの中性化（炭酸化）による劣化は、内部のpHが低下し、鉄筋が腐食して膨張することにより、コンクリート内部にき裂を生じさせることが原因である。このように、脆性材料の力学特性は内部のき裂挙動と密接な関係があると考えられる。そして、脆性材料の内部で進展する巨視的なき裂は破壊直前まで材料表面に現れないので、表面にき裂が現れれば短期間に劣化が進行し破壊する。よって、劣化による材料内部のき裂進展挙動を把握することができれば、劣化が目視できない劣化進展期の段階における劣化度評価が可能になると考える。

他方、劣化促進試験は、劣化要因の程度を高めて短期間に試料を劣化させ、強度や寸法、質量を測定するが、実際の供用環境下にある構造物が劣化する速度との対応が不明な場合が多い。例えば、コンクリートの水砂噴流摩耗促進試験において、実際の供用年数に相当する促進倍率を解明することが求められている。

2. 研究の目的

目視できない材料特性を把握するためにアコースティック・エミッション(AE,破壊音)を用いて材料力学特性を調べ、材料の寿命評価手法構築の可能性について検討する。また、材料の劣化は、材料内部の膨張と亀裂の進展に関係していると考えられることから、膨張を促進させる材料あるいは空隙を模擬した材料を添加することにより、材料の劣化を模擬することを試みた。

3. 研究の方法

(1) 異物混入コンクリートにおける打音特性と載荷時のAE挙動の測定

コンクリート打設時にガラス粉末(コンクリート1kgあたり12.5g)、鉄粉(同12.5g)、鉄球(同50g)、EPSビーズ(同1.0gと0.5gの2パターン)及び石膏(同10g)を混ぜた異物混入コンクリートを作製し、無混入の健全コンクリートとの材料特性の違いを測定した。鉄球の直径は約4mm、EPSビーズの直径は約5mmである。圧縮試験においては、直径10cm高さ20cmの円柱供試体、曲げ試験においては、長さ40cm幅及び高さ10cmの角柱供試体を用意した。試験中においてひずみゲージによりひずみを計測し、ロードセルで荷重を測定し、構築したAE計測装置により波形を記録した。このAE計測装置は、LabViewにより作製した計測ソフトにより、試験中のすべてのAE波形を計測した。ひずみと荷重およびAE波形は、各々の計測で記録した時

刻により同期した。

(2) 混和材料を添加したポリマーセメントモルタルの載荷時の AE 挙動の測定

乾式吹付のポリマーセメントモルタル材は、細骨材とセメント及びポリマーで構成されており、これらの混合体(乾式材料)を空気で圧送してノズルから出る直前で水と混合して吹付けを行うものである。添加なしのモルタルをケース 1、収縮低減剤添加のモルタルをケース 2、膨張剤添加のモルタルをケース 3、そして収縮低減剤と膨張剤の両方を添加したモルタルをケース 4 とした。木製の型枠に厚さ約 15cm の吹付けを行い、翌日にコアドリルでくり抜き、直径約 5.3cm 高さ約 15cm の円柱供試体を作製し、供試体中心の長手方向に長さ 3cm のひずみゲージを貼り付け、収縮量を計測した。

その後、供試体の上下を切断して直径 5.3cm 高さ約 10cm の円柱供試体を作製した。まず、透過法による弾性波速度計測を行った。供試体の両端面に AE センサを設置し、シャープペンシルの芯を折ることで発振させた弾性波波形の到達時間差より弾性波速度を測定した。次に、一軸圧縮試験を行い発生した弾性波(AE)波形を供試体側面に設置した共振型 AE センサで受振しサンプリング周期 0.1 μ s で記録し、AE 波形の周波数分布を求めた。同時に供試体にひずみゲージを設置し、得られたひずみとロードセルによる荷重から割線弾性係数および割線ポアソン比を求めた。

4. 研究成果

(1) 異物混入コンクリートにおける打音特性と載荷時の AE 挙動の測定

本研究により得られた知見は、以下のようになる。

圧縮強度試験と曲げ強度試験の破壊時の AE 挙動(図 1 ~ 4)について、全ケースを通して、圧縮強度試験の AE 周波数分布は、25kHz 付近と 12kHz 付近にピークが見られるが、曲げ強度試験においては 25kHz 付近のピークが著しい。このことより、25kHz 付近の周波数のピークは引張破壊によるもので、12kHz 付近のピークはせん断破壊によるものと推察される。

圧縮強度試験(図 1 ~ 2)の破壊時の AE 挙動について、ガラス粉混入供試体(図 1(d))については 12kHz 付近の AE 周波数が卓越しているが、EPS ビーズ混入供試体(図 2(a, b))については 12kHz 付近の AE 周波数の強度が相対的に減少している。このことより、ガラス粉混入供試体と EPS ビーズ混入供試体の破壊形態が異なることが考えられ、EPS ビーズ混入供試体は比較的な大きな空隙が存在し、その空隙間において亀裂が進展することを仮定すると、EPS ビーズ混入供試体においては引張破壊が卓越し、ガラス粉混入供試体においてはせん断破壊が優位になることが考えられる。

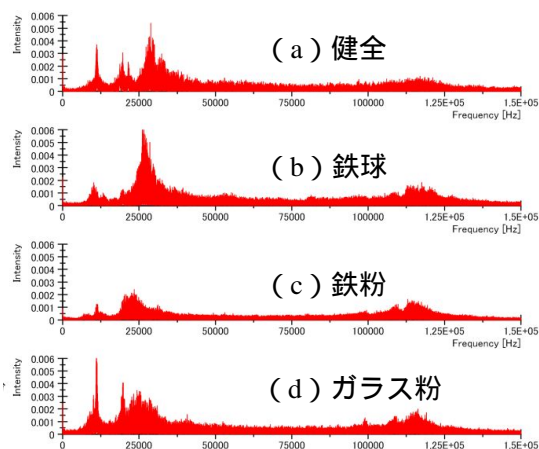


図 1 破壊時 AE 周波数分布(圧縮強度試験)

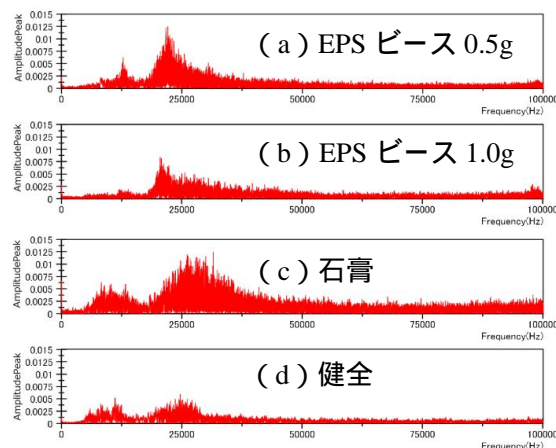


図 2 破壊時 AE 周波数分布(圧縮強度試験)

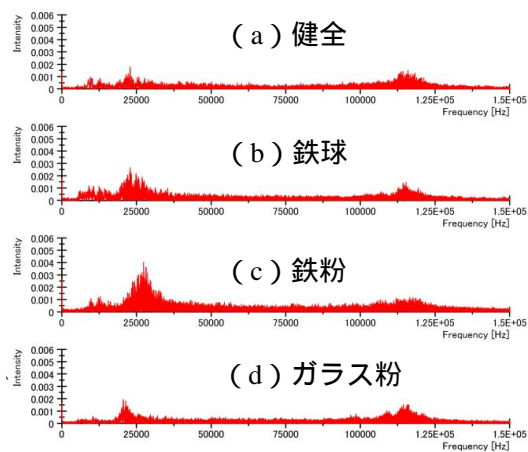


図 3 破壊時 AE 周波数分布(曲げ強度試験)

コンクリートの劣化指標を検討する上で、材料の破壊形態を考慮に入れることが有用であると考えられるが、AE 周波数分布の測定により、劣化供試体の破壊形態を推察できることが、上記の測定結果より示唆されたものとする。

(2) 混和材料を添加したポリマーセメントモルタルの載荷時の AE 挙動の測定

本研究により得られた知見は、以下のようになる。

図 5 より、ケース 4 の収縮低減剤・膨張剤添加供試体の収縮量が最小になった。また、

ケース2の膨張材添加供試体の収縮量が低い値であるが、ケース3の収縮低減剤添加供試体における供試体間の収縮量の差は全ケース中で最小である。

一軸圧縮試験の際に収録したAEの周波数分布より(図6)、載荷初期より110kHz付近に周波数のピークが観察された。

破壊時のAE周波数分布(図7)について、全ケースで100kHz付近にピークが見られる。ケース2では100kHz部分に谷が見られる。ケース3では10kHzから100kHz未満においても振幅が大きくなっている。また、ケース4ではケース2とケース3で見られた特徴と一緒に現れており、以上のような破壊時のAE特性の違いは添加した混和材料の影響と考えられるが、このような現象について供試体の内部状況を踏まえて今後検証する必要があると考えられる。

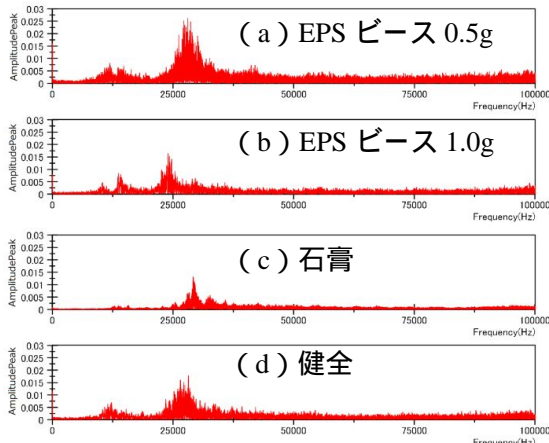


図4 破壊時 AE 周波数分布(曲げ強度試験)

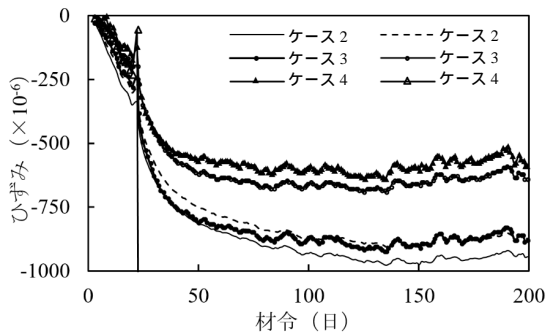


図5 各ケースにおける最大と最小の収縮量

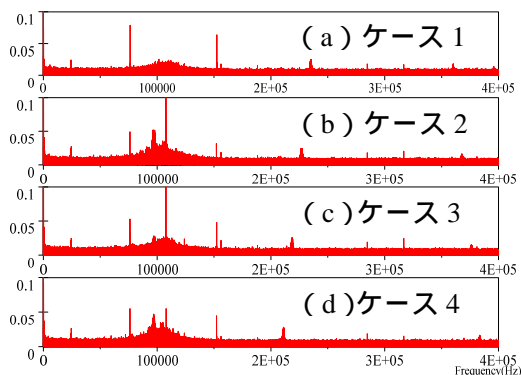


図6 破壊荷重90%時のAE周波数分布

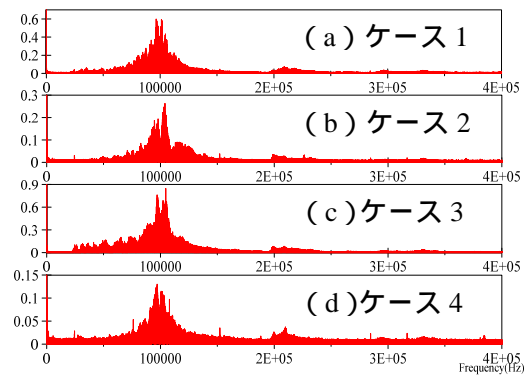


図7 破壊時のAE周波数分布

表1 圧縮試験結果一覧

	v_p (m/s)	f_c (MPa)	E_{33} (GPa)	ν_{33}	ϵ_{amax} (μ)	wet (g/cm^3)	n (%)
1-1	4230	51.7	20.6	0.21	3104	2.21	7.63
1-2	4079	57.0	23.4	0.19	3616	2.21	7.61
1-3	4207	50.0	23.0	0.20	2937	2.21	7.58
2-1	4116	52.5	22.4	0.18	3088	2.20	7.41
2-2	4343	58.5	23.3	0.18	3580	2.21	7.49
2-3	4187	57.5	23.3	0.18	3484	2.21	7.29
3-1	4306	60.3	21.7	0.20	4339	2.20	8.47
3-2	4340	53.3	21.8	0.19	3386	2.19	7.96
3-3	4312	52.9	22.1	0.18	3133	2.20	7.81
4-1	4295	66.1	23.9	0.18	4023	2.21	7.26
4-2	4204	66.0	23.4	0.19	4117	2.20	7.75
4-3	4276	64.2	22.5	0.16	4440	2.20	8.01

表1(弾性波速度 v_p 、圧縮強度 f_c 、割線弾性係数 E_{33} 、割線ポアソン比 ν_{33} 、最大応力時の軸ひずみ ϵ_{amax} 、湿潤密度 wet および有効空隙率 n を示す。番号のハイフンの前の数字はケースを示し、後ろの数字は供試体番号を示す。)より、原因の詳細は不明であるが、ケースにより圧縮強度の違いが見られた。一方、混和材料の添加方法による弾性波速度の違いは見られなかった。

以上のように、コンクリート及びモルタルの材料内部の破壊形態の情報がAEの周波数の違いにより得られると推定され、その情報と簡便な点検手法から得られる結果の関係性が見つかれば、実用的な材料の寿命評価手法の構築に繋がる可能性があるものと考えられる。

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)

[学会発表](計1件)

後藤一稀, 山本清仁, 倉島栄一, 金山素平, 佐藤勇樹, 鈴木健史, 高橋範明, 膨張材と収縮低減剤を添加した乾式吹付ポリマーセメントモルタルの収縮挙動, 農業農村工学会東北支部第59回研究発表会講演要旨集, pp.56-57, 2017

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