

AE 法による中空粒子混和樹脂－モルタル複合材の引張破壊特性評価

株式会社福田組 技術部設計課 学士（農学） 正会員 ○須田 翼
 新潟大学大学院 自然科学研究科 修士（農学） 学生会員 高橋 航
 新潟大学 自然科学系（農学部）教授 博士（工学） 正会員 鈴木 哲也
 株式会社福田組 技術部維持更新課 学士（工学） 正会員 藤井 伸之

1. はじめに

近年、高度経済成長期に施工され、供用 50 年を超え損傷が著しい構造物が増加している。コンクリート構造物には種々の原因によりひび割れが発生する。ひび割れ部の補修には、樹脂充填工法が提案されている¹⁾。構造物の長寿命化のために力学特性や変形追従性を考慮したひび割れ充填樹脂の十分な選定が不可欠である。

そこで本研究では、同一樹脂で中空粒子の混和率と粒径を調整し、AE エネルギーの放出位置から中空粒子混和による樹脂の力学的特性の向上を検証した。載荷試験は一軸引張試験を行った。解析はアコースティックエミッション法 (AE 法) を行った。

2. 試験方法

2.1 使用樹脂概要

検討に用いた樹脂は、エポキシ樹脂をベースとした熱硬化性の軟質樹脂 (HP) を使用した。足立²⁾により球形粒子を充填したエポキシ樹脂複合材は熱的、力学的特性の向上が報告されており、本研究においても軟質樹脂に中空粒子を混和した軟質樹脂を (HPG) とした。中空粒子はグラスバブルス (3M 社) を用いたため以後、GB と記す。表-1 に GB の仕様を示す。充填粒子は粒径 16 μm , 40 μm , 60 μm を用い S, M, L とした。

2.2 供試体概要

図-1 に使用供試体の概要を示す。樹脂の充填材としての性質を検討するためモルタルとの複合材を作成し供試体とした。供試体は 80×20×10 mm の直方体モルタル 2 本の間 10 mm の厚さで樹脂を充填した。樹脂充填後表面をナイフとやすりで平滑化した。軟質樹脂を充填したものを MHP、GB 混和軟質樹脂を充填したものを MHPG とした。混和率は体積含有率 0.1, 0.18, 0.5 とし、MHP を含め各ケースで 3 本、計 30 本作成した。MHPG については以下、各供試体の名称は「MHPG_GB 名称_混和率」で示す。

2.3 一軸引張試験概要

使用試験機は精密万能試験機 AG-250kNI (島津製作所製) を用いた。ロードセル容量は 250 kN, 最大ストロークは 800 mm であった。試験は一軸引張試験で、モルタルの端部から 20 mm をつかみ治具で固定した。載

荷は 0.5 mm/min で行い供試体が破断および降伏するまで継続した。

破壊に伴う弾性波動現象の発生を検出するため、載荷初期から停止まで AE 頻度計数と波形の記録を行った。AE 計測と同時に試験機から荷重と変位を記録した。AE 計測には、AE Win SAMOS (Physical Acoustic Corp. 社製) を使用した。AE センサは R15- α (共振周波数 150 kHz) を 2 つ用い、AE センサはエレクトロニックワックスにて貼付した。計測周波数帯は 5 kHz から 400 kHz であり、しきい値は 42 dB, 増幅値は 40 dB である。図-2 に AE センサ貼付位置を示す。

表-1 GB 仕様一覧

試験体	真密度 (g/mm ³)	耐圧強度 (Mpa)	メジアン径 (μm)
S	0.6	186	16
M	0.38	28	40
L	0.15	2.1	60

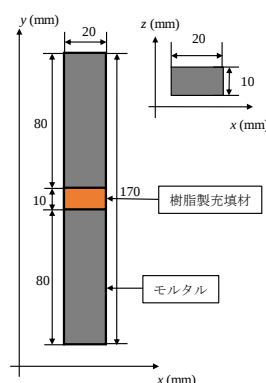


図-1 使用供試体概要図

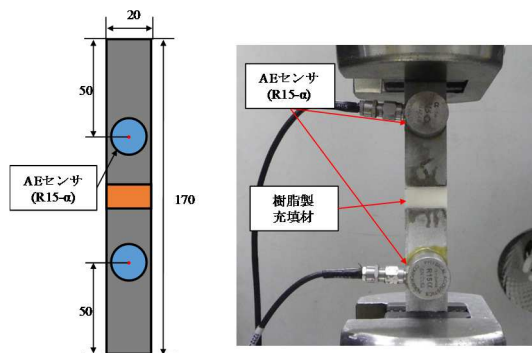


図-2 AE センサ貼付位置概要図

キーワード 樹脂-モルタル複合材 引張試験 アコースティックエミッション (AE 法)

連絡先 〒951-8061 新潟市中央区西堀通 2-778 西堀シャルム 205 号室 TEL 025-226-6010

3. 結果

3.1 一軸引張試験結果

供試体 MHP 及び MHPG (MHPG_M_0.5) の一軸引張試験の結果を図-3 に示す。縦軸に荷重 (N)、横軸に変位 (mm) を示す。モルタルは最大荷重 697 N、最大変位 0.7 mm、MHP が降伏点荷重 49 N、変位 1.4 mm、MHPG が降伏点荷重 101 N、変位 1.6 mm であった。軟質樹脂充填供試体は、GB の混和により最大荷重、降伏点変位が増加し強度が上昇し、変形追従性も向上した。

3.2 AE エネルギー解析結果

本検討では、AE エネルギーを指標に引張破壊の進展時のエネルギー解放特性の観点から混和率毎の力学特性の改善効果を実験的に明らかにした。既往の研究により、損傷が進行したコンクリート構造物は破壊の初期段階で多くの AE エネルギーを放出し、健全な構造物は主破壊近傍で AE エネルギーを放出することが報告されている³⁾。そこで一軸引張試験時に放出された AE エネルギーの重心位置を変位量より求め、その時点の荷重を「重心荷重」と定義した。供試体の最大荷重と重心荷重を与えた変位の差から、混和 GB の粒径毎に AE エネルギーの発生位置の特徴を求めた。AE エネルギーの重心変位と最大変位の差が小さいほど载荷の後半にエネルギー放出し樹脂の強度が高いと考えられる。図-4 に AE エネルギーの重心位置の例として MHPG_L の結果を示す。縦軸は一軸に荷重 (N)、2 軸に AE エネルギー (V^2) を示す。表-2 に粒径毎の供試体の重心荷重と最大荷重および最大変

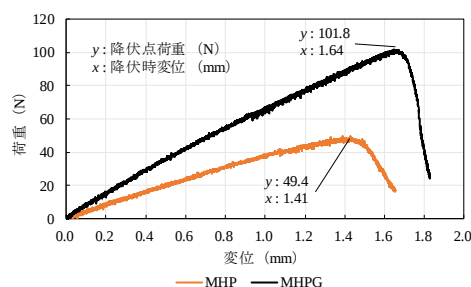


図-3 一軸引張試験結果

位と重心変位の差を示す。表より、混和率 0.5 が最も重心荷重が大きく载荷後半で AE エネルギーが発生し最大荷重も高くなる傾向を示した。

4. まとめ

本試験及び解析の結果以下のことが明らかになった。

- 1) 軟質樹脂は変形追従性が高く、中空粒子の混和により強度が上昇し、弾性波を用いた検出が容易となり、軽量化から現場施工にも有用と示唆された。中空粒子混和軟質樹脂がひび割れ充填剤として有効であることが示された。
- 2) AE エネルギーの放出位置から中空粒子の充填量増加による強度上昇効果を確認した。中空粒子の粒径、混和率と強度の関係を推定した。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル，2016
- 2) 足立忠晴，荒木稚子，樋口理宏：エポキシ樹脂複合材料の力学特性に及ぼすシリカ粒子充填の効果，日本接着学会誌，Vol.46，No.6，pp.222-229，2001
- 3) 鈴木哲也，島本由麻：コンクリート圧縮载荷過程で発生する AE エネルギーを指標とした損傷度評価の試み，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.17，2017

表-2 重心荷重、重心変位一覧

供試体名	最大変位- 重心変位 (mm)	重心荷 重 (N)	最大荷 重 (N)
MHPG_S_0.1-3	0.33	75.9	115.3
MHPG_S_0.18-3	0.97	51.6	97.8
MHPG_S_0.5-3	0.24	115.0	110.9
MHPG_M_0.1-3	0.34	96.3	109.7
MHPG_M_0.18-3	0.87	46.3	92.5
MHPG_M_0.5-3	0.29	114.7	144.4
MHPG_L_0.1-3	0.68	67.5	89.7
MHPG_L_0.18-3	0.88	60.0	93.4
MHPG_L_0.5-3	0.75	120.3	128.1

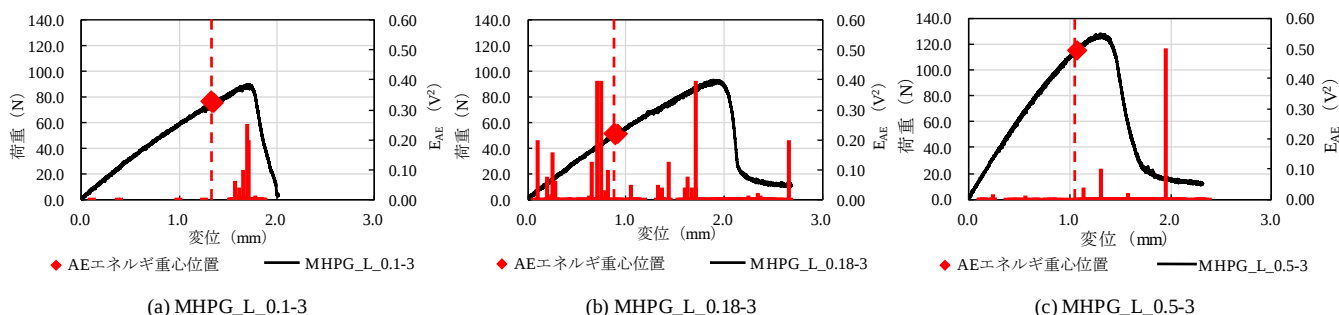


図-4 AE エネルギー重心位置一例