

損傷変数と膨張ひずみによるモルタルの変形挙動評価 Evaluation for deformation behavior of mortar with damage variable and expansive strain

○山本清仁*, 小林 晃**

Kiyohito YAMAMOTO and Akira KOBAYASHI

1. はじめに

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．また，劣化による材料の力学挙動を把握することは，コンクリートや岩盤の崩落の予測において重要であると考えられる．ここでは，モルタルに EPS ビーズを混ぜて劣化を模擬した試料を作製し，载荷による AE（アコースティック・エミッション）パラメータと膨張ひずみの変化を調べた．

2. 供試体

モルタルの配合を表-1に示す．14日以上水中養生を行い，その後，端面を切断機で平滑に整形し，空气中に放置した．EPS ビーズ（発泡ビーズ）を用いて供試体の内部に球形の弱部を分布させた（図-1）．ビーズの直径は 0.22cm であり，密度は 0.03g/cm³ 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（2.55g 劣化供試体，5.09g 劣化供試体）の 3 パターンについて，強度試験を行った．

表-1 配合表
Mix proportion

配合成分	配合割合
水セメント比 (%)	50
水 (kg/m ³)	284
セメント (kg/m ³)	568
細骨材 (kg/m ³)	1421
単位容積質量 (kg/m ³)	2270

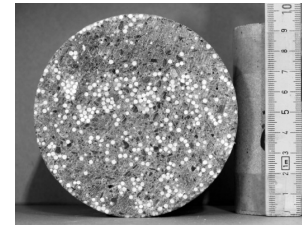


図-1 劣化供試体端面（割裂引張試験用）
Degraded specimen with EPS beads

3. 強度試験および AE 計測

一軸圧縮試験と割裂引張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（図-2）．検討に用いた AE パラメータ¹⁾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．

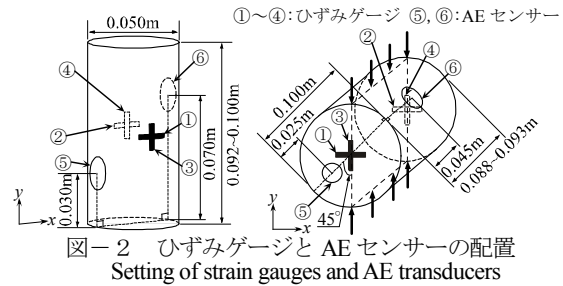


図-2 ひずみゲージと AE センサーの配置
Setting of strain gauges and AE transducers

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，次式に示す膨張性損傷モデル²⁾を用いた．

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^v \quad (1) \quad \sigma_{ij} = (1-D) \left\{ \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \right\} - \frac{1}{3} \varepsilon_{kk}^v (3\lambda + 2\mu) \delta_{ij} \quad (2)$$

ここで ε_{ij} は全ひずみ， ε_{ij}^e は弾性ひずみ， ε_{ij}^v は膨張ひずみ， D は損傷変数そして λ と μ はラーメ定数である．

4. 結果

一軸圧縮試験の結果を表-2に，割裂引張試験の結果を表-3に示す．表中には，材令，空気量 (A) および含水比 (w) を示しており，一軸圧縮試験においては圧縮強度 (f_c)，圧縮割線弾性係数 (E_{50}^c)，圧縮割線ポアソン比 (ν_{50}^c)，最大応力時軸ひずみ (ε_{amax}) を示している．割裂引張試験においては，引張強度 (f_t)，引張割線弾性係数 (E_{50}^t)，引張割線ポアソン比 (ν_{50}^t) および最大応力時縦ひずみ (ε_{lmax}) を示している．表中の各力学定数は複数ある供試体における平均値である．

*岩手大学農学部, Faculty of Agriculture, Iwate University, **京都大学大学院農学研究科, Graduate School of Agricultural Science, Kyoto University
キーワード：モルタル，アコースティック・エミッション，損傷力学

AE パラメータおよび膨張ひずみと損傷変数の関係を図-3に示す。どちらの関係においても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(図-3①)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が増加し、AE パラメータの挙動が変化することが観察され、特に平均信号レベルと膨張ひずみの挙動が比較的良好に対応している。一方、引張(図-3②)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。

5. まとめ

EPS ビーズを混入した劣化モルタルと健全モルタルについて圧縮および割裂引張試験を行い、同時にAE計測を実施した。その結果、载荷形式によりAE挙動に違いが現れた。これは、破壊に伴うモルタルの膨張挙動が圧縮と引張において異なることが原因であると考えられる。

参考文献

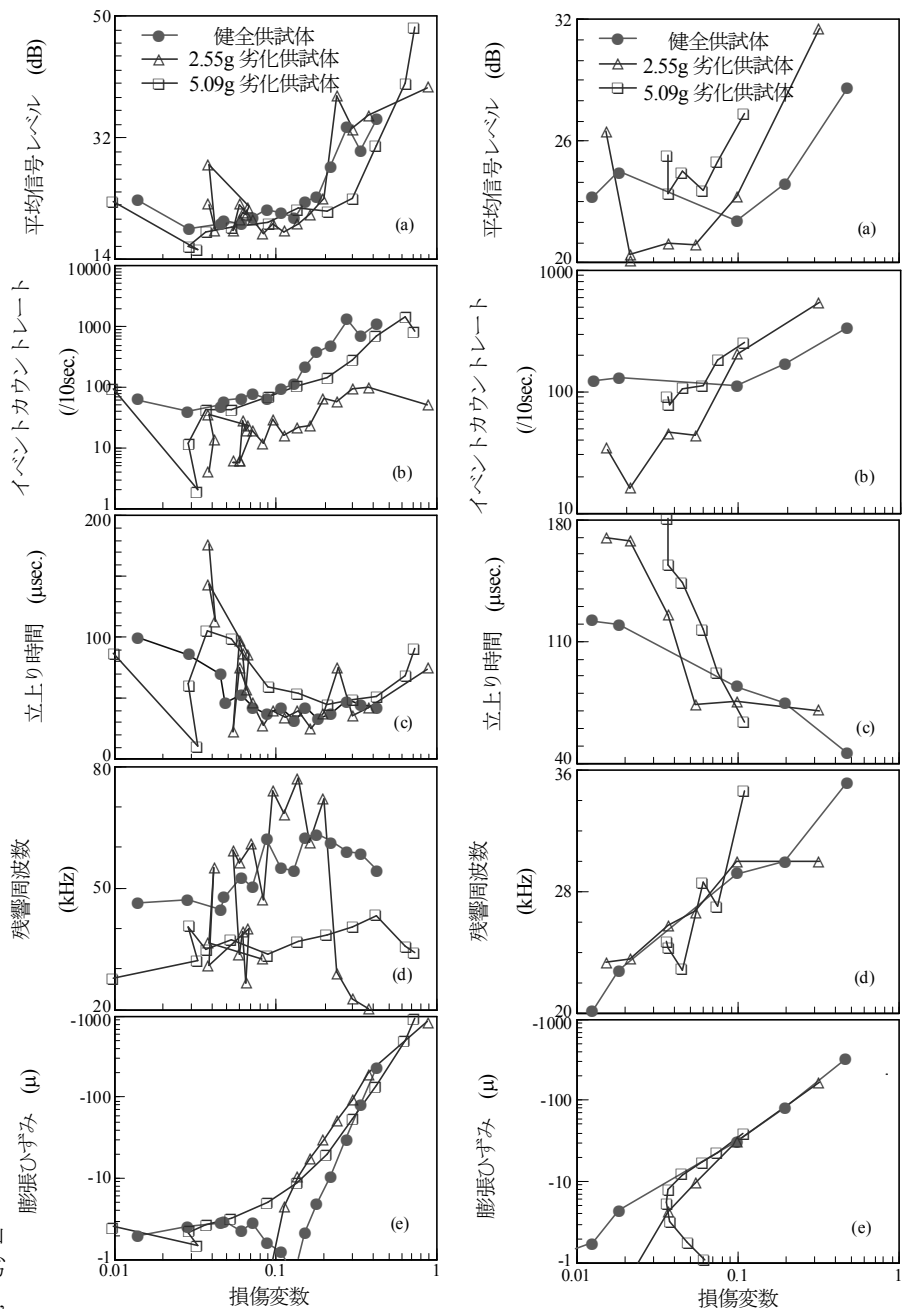
- 1) 山本 清仁, 小林 晃, 青山 威康: EPS ビーズ混入劣化によるモルタルのAE挙動, 材料, Vol.57, No.10, pp.1011-1018, 2008.
- 2) 山本 清仁, 小林 晃, 青山 威康: 損傷パラメータを用いた劣化モルタルの力学特性評価手法, 応用力学論文集, Vol.11, pp.911-928, 2008.

表-2 試験結果(一軸圧縮試験)
Test result (Uniaxial compression test)

供試体	Age (day)	A (%)	w (%)	f_c (MPa)	E_{50}^c (GPa)	ν_{50}^c	ϵ_{max} (μ)
健全供試体	29	0.7	7.7	53.5	27.4	0.21	2786
2.55g 劣化供試体	29	7.3	7.2	36.9	23.7	0.21	2049
5.09g 劣化供試体	29	14.6	5.9	22.1	17.5	0.20	1941

表-3 試験結果(割裂引張試験)
Test result (Splitting test)

供試体	Age (day)	A (%)	w (%)	f_t (GPa)	E_{50}^t (GPa)	ν_{50}^t	ϵ_{max} (μ)
健全供試体	29	0.8	9.5	3.77	33.5	0.33	391
2.55g 劣化供試体	33	9.5	9.7	3.08	24.0	0.27	439
5.09g 劣化供試体	33	16.5	9.5	2.32	20.8	0.34	408



① 一軸圧縮試験 ② 割裂引張試験

図-3 AEパラメータ・膨張ひずみ-損傷変数関係

AE parameter-damage variable relation