

膨張材料の総エネルギー測定方法に関する基礎的研究

名城大学大学院 学生会員 ○羽田和香予 名城大学 学生会員 岡田崇宏
太平洋セメント株式会社 正会員 三谷裕二 名城大学 正会員 石川靖晃

1. はじめに

著者ら¹⁾は、仕事量一定則を一般的に拡張した総エネルギー一定則に基づいて膨張材料の解析手法を構築している。この手法の大きな特徴は、入力値として、自由膨張ひずみではなく、膨張材料の総エネルギーを用いていることである。現状では一軸拘束試験によるエネルギー測定法が主であるが、拘束鋼材になすエネルギーを測定するにとどまっており、膨張材料の総エネルギーを正確に測定する方法は十分確立されていないことが現状である。本研究では、膨張材料の総エネルギーを測定する手法を新たに構築し、一軸拘束試験から間接的に算定された総エネルギー量との比較を試みた。

2. 総エネルギー測定方法概要

2.1 総エネルギー一定則の概要

総エネルギー一定則は、膨張材料が自身を含め周囲の外的環境に与える力学的エネルギー（以下総エネルギーと称する）は拘束条件に依らないことを示しており、最終的に次式で表わされる。

$$\Delta U^{che} = -\sigma \cdot \Delta \varepsilon^{che} \quad (1)$$

ここで、 ΔU^{che} は単位体積当たりの総エネルギーの時間増分、 σ は膨張材料内に生じる応力、 $\Delta \varepsilon^{che}$ は膨張材に生じる自由膨張ひずみ成分の時間増分である。

2.2 新たな総エネルギー測定方法の提案

総エネルギー測定装置を図-1に示す。膨張材有と無の円柱供試体を2つ直列に配列し、一定持続荷重を作用させる。そして、各供試体に張り付けられたひずみゲージよりひずみの経時変化を測定する。この時、膨張材有の供試体のひずみおよび、膨張材無の供試体の全ひずみ増分 $\Delta \varepsilon_1$ 、 $\Delta \varepsilon_2$ は次式で表される。

$$\Delta \varepsilon_1 = \Delta \varepsilon_1^{ep} + \Delta \varepsilon_1^c + \Delta \varepsilon_1^{sh} + \Delta \varepsilon_1^{che} \quad \Delta \varepsilon_2 = \Delta \varepsilon_2^{ep} + \Delta \varepsilon_2^c + \Delta \varepsilon_2^{sh} \quad (2)$$

ここで、上付き添え字 ep 、 c 、 sh および che は、それぞれ弾性、クリープ、収縮および膨張材料に起因する自由膨張ひずみである。同一荷重条件および同一環境条件下であれば、近似的に $\Delta \varepsilon_1^c = \Delta \varepsilon_2^c$ 、 $\Delta \varepsilon_1^{sh} = \Delta \varepsilon_2^{sh}$ とみなすことができる。両供試体の全ひずみの差は次式となる。

$$\Delta \varepsilon_1 - \Delta \varepsilon_2 = \Delta \varepsilon^{ep} - \Delta \varepsilon_2^{ep} + \Delta \varepsilon_1^{che} \quad (3)$$

式(3)より一定持続応力 σ を載荷させた瞬間から測定開始した場合、全ひずみの差は自由膨張ひずみ成分となり持続応力を乗じることで、単位体積あたりの総エネルギーを評価することができる。この考え方より、膨張材料の総エネルギーを直接求めることが可能であると考えられる。

2.3 一軸拘束試験による総エネルギー測定方法の概要

図-2に一軸拘束試験の模式図を示す。この方法では膨張材料が拘束鋼材になすエネルギーしか測定されないが、力のつり合い条件および変形の適合条件を仮定することにより、総エネルギー U_{che} は次式にて評価される。

$$U_{che} = \frac{1}{2} \rho E_s \varepsilon_s^2 + \sum \rho \frac{E_s^2}{E_c} \varepsilon_s \Delta \varepsilon_s \quad (4)$$

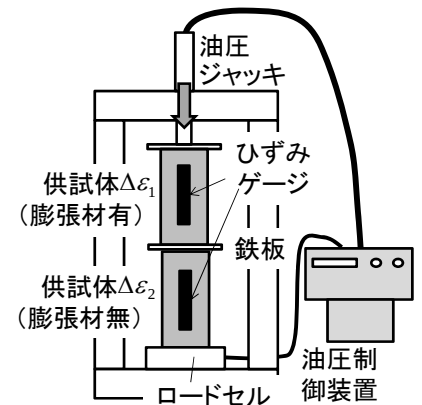


図-1 総エネルギー測定装置

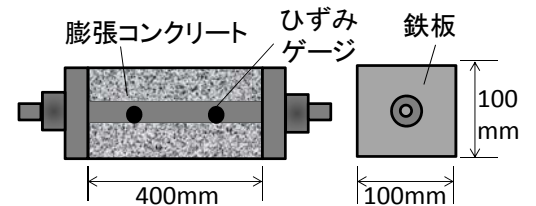


図-2 一軸拘束試験

表-1 示方配合表

最大 寸法 (mm)	スラ ンプ (cm)	空気 量 (%)	水結合 材比 (%)	細骨 材率 (%)	単位量(kg/m³)						
					W	C	膨張材 EX	S	G	混和剤	
										SP*1	AE*2
20	15± 1.5	6.5± 1.5	55	47	175	318	0	830	951	3.82	0.016
						298	20				
						278	40				

*1 高性能 AE 減水剤 *2 空気量調整剤

ここで、 ρ は拘束鋼材比、 E_s 、 E_c は拘束鋼材及び膨張材料のヤング係数、 ε_s は拘束鋼材のひずみ、 $\Delta\varepsilon_s$ は拘束鋼材のひずみ増分であり、 Σ は時間当たりの総和を求めることを意味している。

3. 実験結果および一軸拘束実験との比較

提案した測定方法を膨張コンクリートに適用し、総エネルギーの測定を試みた。表-1 に、膨張材混入量が異なる膨張コンクリートの示方配合を示す。膨張材混入量 20(kg/m³)、40(kg/m³) の 2 ケース設定した。各ケースそれぞれ 5 回および 3 回実施した(表-2)。载荷応力レベルは No.5 以外のケースでは 0.8(N/mm²)、No.5 では 1.6(N/mm²)とした。図-3 に No.8 の膨張材有、無のそれぞれの全ひずみと単位体積あたりの総エネルギーの経時変化の一例を示す。実線が全ひずみ、点線が総エネルギーを表わしている。表-2 に本手法で測定した単位体積あたりの総エネルギーの測定値を示す。いずれも経過時間が十分経過したときの安定した値を示している。膨張材混入量 20(kg/m³)では、大凡 30~100×10⁻⁶N/mm²の間に、膨張材混入量 40(kg/m³)では、大凡 210~370×10⁻⁶N/mm²の間に、総エネルギーが存在していることがわかる。表-3 に別組織にて実施された一軸拘束試験結果に基づき前述の方法で総エネルギーを評価した結果を平均したものを示す。なお、一軸拘束試験においては、膨張材混入量が 20(kg/m³)のケースのみである。各手法を比較すると総エネルギーの平均はそれぞれ 55×10⁻⁶N/mm²および 47×10⁻⁶N/mm²とあり、異なる手法であるにもかかわらず、測定された総エネルギーは同等となっており、本提案手法の妥当性がある程度確認されたと思われる。

4. まとめ

本研究では、総エネルギー一定則に基づき、総エネルギーを測定する装置を開発した。そして、既往の一軸拘束試験に基づく総エネルギー評価結果と比較検討を行い、本提案手法の妥当性がある程度確認された。今後、測定回数を増やし、さらにはセメントの種類を変えて実験を行い検証していきたいと考えている。

参考文献

1) 柴田要, 石川靖晃, 田辺忠顕: 一軸拘束状態下における膨張コンクリートの仕事量に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.501-506, 2007

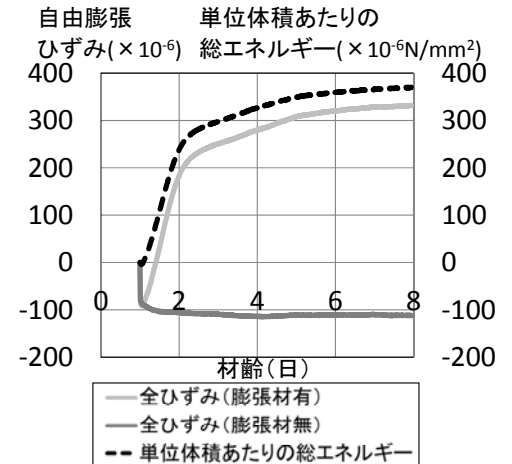


図-3 自由膨張ひずみと
総エネルギーの経時変化

表-2 総エネルギー測定結果

No.	膨張材 混入量 (kg/m ³)	単位体積あたり の総エネルギー (×10 ⁻⁶ N/mm ²)
1	20	28.14
2		33.27
3		55.60
4		62.64
5		98.19
6	40	212.78
7		257.43
8		370.06

表-3 本手法と一軸拘束試験による手法
の総エネルギーの平均値

混入量 (kg/m ³)	単位体積あたり の総エネルギー 平均(×10 ⁻⁶ N/mm ²)	
	本手法	一軸拘束手法
20	55	47
40	280	—