

## 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<sup>1)</sup>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、変形解析における入力値として、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。総エネルギーを測定する際、拘束膨張試験による方法が主であるが、この方法で得られた総エネルギーが確かなものであるかどうかは検討の余地がある。本研究では、拘束膨張試験とは別の視点で間接的に総エネルギーを測定するために、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、拘束膨張試験から算定された総エネルギーとの比較を試みた。

## 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

総エネルギーは、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、 $\Delta U^{che}$ は単位体積当たりの総エネルギーの時間増分、 $\sigma$ 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。総エネルギーは拘束条件に依らず一定となる(総エネルギー一定則)。化学的に膨張する材料の変形解析においては、この総エネルギーが入力値として用いられる<sup>1)</sup>。

## 2.2 新たな総エネルギー測定方法の提案

提案する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全ひずみおよび、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。

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

ここで、上付き添え字 $ep$ 、 $c$ 、 $sh$ および $che$ は、それぞれ弾塑性、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。

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

一定持続応力 $\sigma$ を載荷させた瞬間を基準にして測定開始した場合、弾塑性ひずみ増分は0になるため、式(3)における全ひずみの差は自由膨張ひずみ成分となる。よって式(1)より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。

## 2.3 拘束膨張試験による総エネルギー測定方法の概要

図-2に拘束膨張試験(B法)の模式図を示す。この方法では拘束鋼材ひずみの経時変化のみが測定され、拘束鋼材になされるひずみエネルギーは測定可能である。しかし、総エネルギーを評価するためには、膨張コンクリート自身になされるひずみエネルギーを何らかの形で求める必要がある。

本研究では、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、コンクリート自身のひずみエネルギーを評価した。その結果、最終的に総エネルギー $U_{che}$ は次式にて評価される。

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

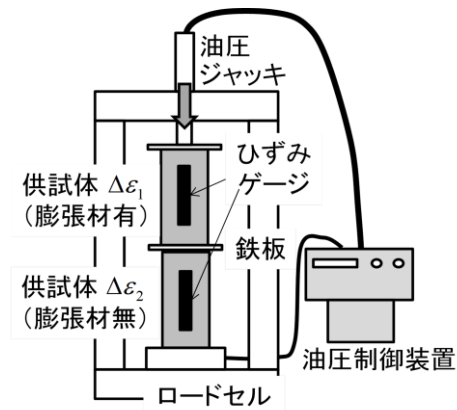


図-1 総エネルギー測定装置

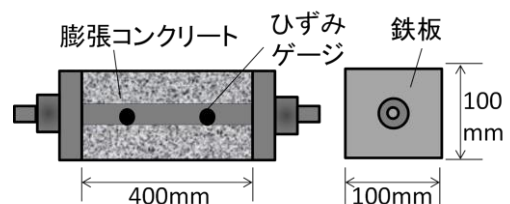


図-2 拘束膨張試験(B法)

キーワード 膨張材料 膨張コンクリート 総エネルギー 拘束膨張試験 持続応力

連絡先 住所：愛知県名古屋市中白区塩釜口1-105

電話：052-838-2343

表-1 示方配合表

| 最大<br>寸法<br>(mm) | スラ<br>ンプ<br>(cm) | 空気<br>量<br>(%) | 水結合<br>材比<br>(%) | 細骨<br>材率<br>(%) | 単位量(kg/m³) |     |           |     |     |      |       |
|------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------|------------|-----|-----------|-----|-----|------|-------|
|                  |                  |                |                  |                 | W          | C   | 膨張材<br>EX | S   | G   | 混和剤  |       |
|                  |                  |                |                  |                 |            |     |           |     |     | SP*1 | AE*2  |
| 20               | 15±<br>1.5       | 6.5±<br>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

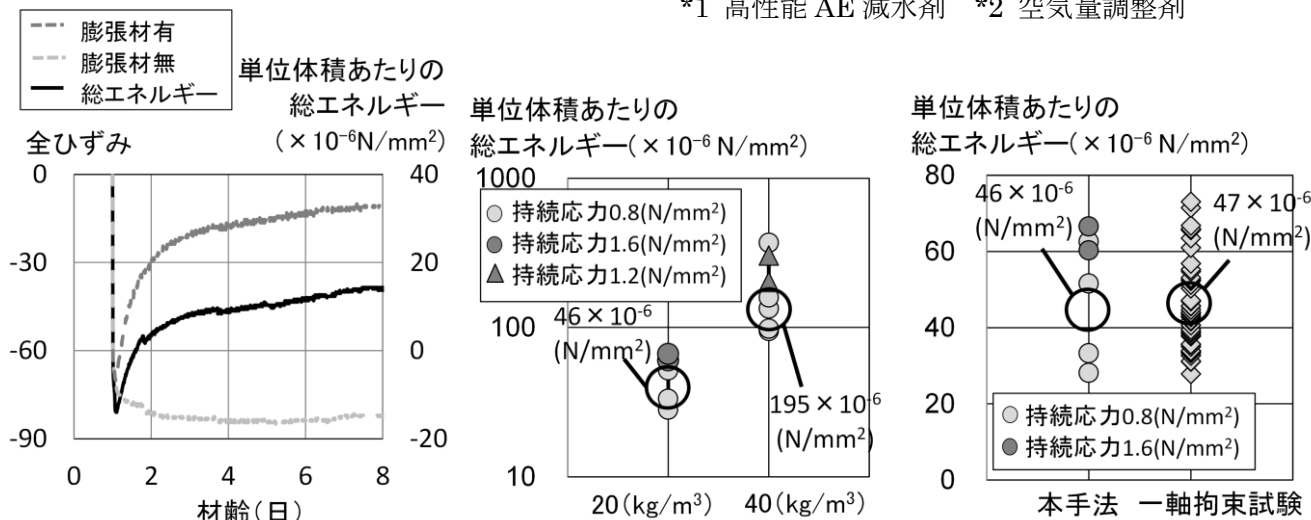


図-3 全ひずみおよび単位体積あたり 図-4 膨張材混入量に関する比較 図-5 測定手法の違いによる比較  
の総エネルギーの経時変化

ここで、 $\rho$  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、 $\varepsilon_s$  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、 $\Sigma$  は時間当たりの総和を求めることを意味している。

### 3. 両手法による最大総エネルギーの比較

まず、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/m<sup>3</sup>)、40(kg/m<sup>3</sup>) の 2 ケースに設定した。持続応力は、混入量 20(kg/m<sup>3</sup>) に関して 0.8(N/mm<sup>2</sup>)、1.6(N/mm<sup>2</sup>) の 2 ケース、混入量 40(kg/m<sup>3</sup>) に関して 0.8(N/mm<sup>2</sup>)、1.2(N/mm<sup>2</sup>) の 2 ケースに設定した。持続応力 0.8(N/mm<sup>2</sup>) は 6 回、1.2(N/mm<sup>2</sup>) および 1.6(N/mm<sup>2</sup>) は 2 回実施した。図-3 に膨張材有、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。点線が全ひずみ、実線が総エネルギーを表している。図-4 に膨張材混入量に関する比較を示す。図中の総エネルギーは、いずれも経過時間が十分経過した時の安定した値を取っており、また、丸で囲まれた数値は総エネルギーの平均値を示す。混入量 20(kg/m<sup>3</sup>) では、大凡 30～70×10<sup>-6</sup>(N/mm<sup>2</sup>) の間に、混入量

40(kg/m<sup>3</sup>) では、大凡 100～370×10<sup>-6</sup>(N/mm<sup>2</sup>) に、総エネルギーが存在していることがわかる。各混入量の総エネルギーの平均値を比較すると、混入量 40(kg/m<sup>3</sup>) の総エネルギーは、混入量 20(kg/m<sup>3</sup>) の 4～5 倍となっていることが確認された。

次に、同一配合、同一環境条件で実施された拘束膨張試験結果から式(4)により算定された総エネルギー最大値との比較を行った。その結果を図-5 に示す。両手法において測定された総エネルギーは、ほぼ同等となっていることから、本提案手法と拘束膨張試験ではほぼ同等な精度で総エネルギーが測定可能であることが確認された。

### 4. まとめ

本研究では、拘束膨張試験とは異なる視点から総エネルギーを測定する装置を開発した。そして、既往の拘束膨張試験に基づく総エネルギー評価結果と比較検討を行った。その結果、両手法において総エネルギーはほぼ同等な精度で測定されることが確認された。

### 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