

JCI 規準

円筒型枠を用いた膨張コンクリートの拘束膨張試験方法

JCI-S-009-2012

Method of test for restrained expansion of expansive concrete using a cylindrical mold

1. **適用範囲** この規準は、ぶりき製の円筒型枠の側板⁽¹⁾によって拘束され、打込み直後から封かん養生された膨張コンクリート⁽²⁾の膨張試験方法について規定する。

注⁽¹⁾ 側板の機械的性質から、適用できる拘束膨張ひずみは 600×10^{-6} 程度までとする。

注⁽²⁾ 膨張コンクリートとは、コンクリート用膨張材を使用したコンクリートをいう。

2. **引用規格** 次に掲げる規格は、この規準に引用されることによって、この規準の規定の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS A 1132 コンクリート強度試験用供試体の作り方

JIS G 3303 ぶりき及びぶりき原板

3. 拘束膨張試験

3.1 試験用器具

3.1.1 **拘束器具（型枠）** 拘束器具は、供試体の製造に用いる円筒型枠で、ぶりきで作られた側板及び底板からなり、寸法は内径 100mm×内高 200mm とする。型枠の側板の調質度は、JIS G 3303 に規定する T-2.5 とし、呼び厚さは 0.28mm とする。また、型枠は、供試体を製造するとき、変形及び漏水のないものとし、内面には、銹物性の油又は非反応性のはく離材などを塗らないものとする⁽³⁾。

注⁽³⁾ 膨張コンクリートは、型枠の側板によって拘束されることから、拘束を低減する可能性のあるはく離材などを塗らないものとする。

3.1.2 **ひずみ測定器** ひずみ測定器は、ひずみゲージ⁽⁴⁾を用いた電氣的測定で、ひずみ（ひずみ度）を 5×10^{-6} 以下の精度で測定できるものとする。また、ひずみゲージのゲージ長は、10mm を標準とする⁽⁵⁾。

注⁽⁴⁾ ひずみゲージは、自己温度補償型の 1 ゲージ 3 線式など、温度変化の影響を受けにくいものがよい。

注⁽⁵⁾ ゲージ長が 5mm 以下では標準偏差が大きくなる可能性が認められている。一方、ゲージ長が大きい場合には、コンクリートの打込み作業などで損傷する可能性が高くなるため注意が必要である。

3.1.3 **ひずみゲージのはり付け** ひずみゲージは、図 1 に示すように、型枠の継目及び切欠きから最も離れた側板表面の 1 箇所に、円周方向に平行かつ型枠の高さの 1/2 の位置に、シアノアクリレートやエポキシ系などの接着剤を用いて、予めはり付ける。

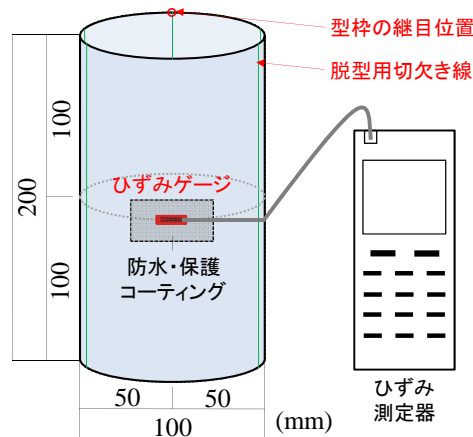


図1 拘束器具（型枠）とひずみ測定器

3.1.4 ひずみゲージの保護 型枠の側板にはり付けたひずみゲージは、コンクリートの打込み及び試験期間中の防水や保護のために、その表面をブチルゴム系テープなどのコーティング材で覆う。

3.2 供試体

3.2.1 供試体の個数 供試体の個数は、同一条件の試験に対して3個とする。

3.2.2 温度 供試体の製造は、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ に保った室内で行うことを標準とする。

3.2.3 器具 供試体の製造に用いる器具は、JIS A 1132 による。

3.2.4 コンクリートの打込み コンクリートの打込みは、JIS A 1132 の 4.3（コンクリートの打込み）、かつ次の通りとする。

- a) コンクリートの打込みに際して型枠を木づちでたたく場合は、型枠が変形せず、かつひずみゲージが損傷しないように、収納ケース(6)に型枠を入れた状態でケース側面をたたくものとする。

注(6) 収納ケースは、型枠を1~3個収納できる鉄製又はプラスチック製ケースで、コンクリートの打込み時に収納ケースの側面をたたいたとき、型枠が変形しない程度の剛性があるものとする。

- b) 各層のコンクリートを詰め終わった後、セメントナイフ、または類似の器具で型枠の側面に沿ってスペーシング(7)をし、収納ケースを木づちなどで軽くたたいて、型枠の側面の空気泡を取り除く。

注(7) スペーシングは、特に、ひずみゲージ周りの側面の空気泡を取り除くことが目的である。

3.2.5 コンクリートの打込み後の処置 上面のならしが終わった後、コンクリートからの水分蒸発を防ぐために、水密性のある蓋、またはプラスチックフィルムにより型枠の上面を密閉する。

3.3 供試体の保存及び型枠のひずみ測定

3.3.1 供試体の保存場所 供試体は、型枠に入れた状態で、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ に保った室内に保存することを標準(8)とする。

注(8) 供試体の保存場所が温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 以外の場合には、雰囲気温度を必ず記録し、報告

する。

3.3.2 ひずみの測定 供試体を作り終わってからコンクリートの硬化が始まるまで⁽⁹⁾の間に、供試体を保存場所に静置して第1回目の型枠のひずみを測定し、このひずみを x_0 とする。第1回目のひずみ測定後、所定の材齢⁽¹⁰⁾で型枠のひずみを測定し、このひずみを x_t とする。

注⁽⁹⁾ コンクリートの凝結の始発前で、コンクリート打込み後3時間以内を目安とする。

注⁽¹⁰⁾ ひずみの測定を行う材齢は、標準として1日、2日、7日及び14日とする。

3.4 膨張ひずみの計算 各材齢での膨張ひずみは、式(1)によって算出し、四捨五入によって、有効数字3けたに丸める。

$$\varepsilon = x_t - x_0 \quad (1)$$

ここに、
 ε : 膨張ひずみ ($\times 10^{-6}$)
 x_t : 各材齢での型枠のひずみ ($\times 10^{-6}$)
 x_0 : 第1回目の型枠のひずみ ($\times 10^{-6}$)

4. 報告 報告には、次の事項のうち必要なものを記載する。

- a) 膨張材の名称⁽¹¹⁾及び品質
- b) 膨張材以外の使用材料の種類及び品質
- c) コンクリートの配(調)合
- d) 供試体の製造時のコンクリート温度、雰囲気温度及び相対湿度
- e) 供試体の保存中の雰囲気温度
- f) 各材齢におけるひずみ
- g) 使用したゲージの種類(ゲージ長、ゲージの補償線膨張係数など)

注⁽¹¹⁾ 名称は、商品名でもよい。

解説

「円筒型枠を用いた膨張コンクリートの拘束膨張試験方法」

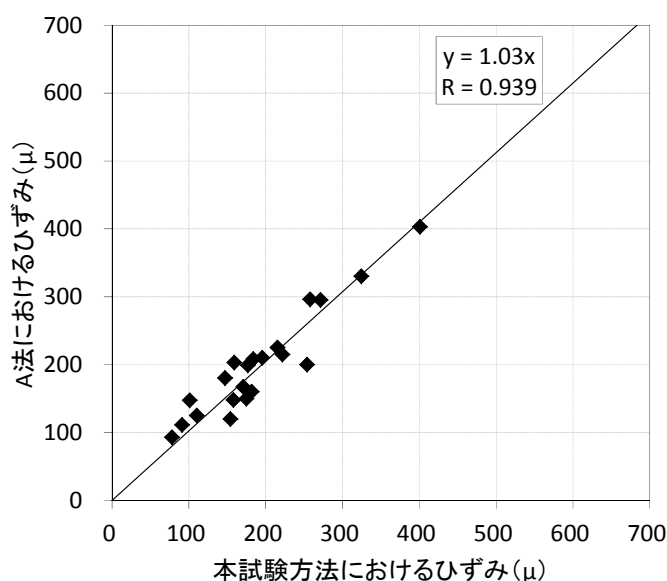
1. 適用範囲

a) 目的

本規準は、ぶりき製の円筒型枠を利用することで、打込み直後から封かん養生された膨張コンクリートの拘束膨張ひずみを測定することを目的としている。

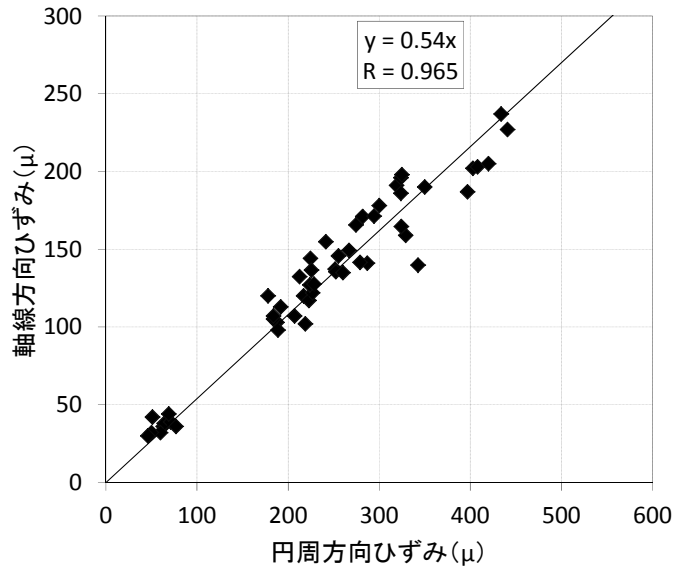
b) JIS A 6202 附属書 2 (参考)「膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法」の A 法との関係

コンクリート用膨張材のポテンシャルを評価しうる JIS A 6202 附属書 2 (参考)「膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法」の A 法 (以下、A 法) とは異なり、本試験方法は、実部材でも生じる自己収縮を包含した形での膨張性状を評価する。ただし、**解図 1** に示すように、「高性能膨張コンクリートの性能評価とひび割れ制御システムに関する研究委員会」で実施した共通試験では、水結合材比 35% から 50% で、低添加型の膨張材を 15kg/m^3 から 30kg/m^3 混入した普通コンクリートにおいて、材齢 7 日での本試験方法と A 法のひずみの結果には高い相関関係が認められ、ほぼ同値となっている。



解図 1 材齢 7 日における本試験方法と JIS A 6202 附属書 2 A 法のひずみの関係

本試験では、コンクリートと円筒型枠の側板の付着によって、側板の円周方向のみならず、軸線方向にも安定した膨張ひずみを得られる三軸的な拘束状態となっている。既往の研究[2]から**解図 2** に示すように、側板の円周方向ひずみと軸線方向ひずみには、0.54 倍となるような比例関係がある。



解図2 本試験方法における円周方向ひずみと軸線方向ひずみの関係

よって、薄肉円筒モデルにより円周方向の膨張ひずみから、解説式(1)でコンクリートの円周方向の膨張応力が求められる。

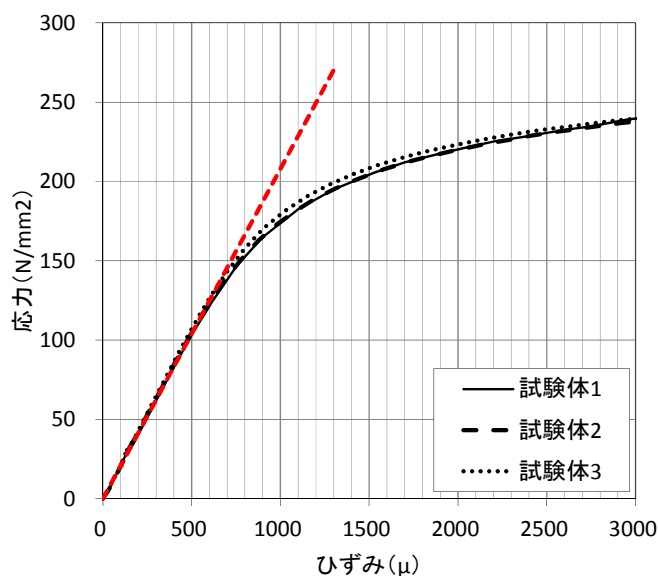
$$\sigma_{\theta} = E_t \cdot t \cdot \varepsilon_{\theta} (1 + 0.54\nu) / r(1 - \nu^2) \quad (1)$$

ここに、
 σ_{θ} : 円周方向の膨張応力 (N/mm²)
 E_t : ぶりきのヤング係数 (N/mm²)
 t : 型枠の側板の厚さ (mm)
 ε_{θ} : (円周方向の) 膨張ひずみ
 ν : ぶりきのポアソン比
 r : 型枠の内半径 (mm)

本試験方法は、供試体が封かん養生で、一軸拘束に換算した拘束鋼材比は、解説式(1)から ($E_t=210\text{kN/mm}^2$, $t=0.28$, $\nu=0.3$ 及び $r=50\text{mm}$ を代入), 約 0.7%における膨張ひずみであり、A法は、供試体が水中養生で拘束鋼材比が約 1%における膨張ひずみである。そのため、本試験は、拘束が緩く、膨張ひずみが大きくなりやすい一方で、水中養生と比較すると、材齢に伴うひずみの伸びが低下し、それらが相殺される結果として、材齢 7 日程度で A 法に近い膨張ひずみが得られることになる。しかしながら、高強度コンクリートのように自己収縮の影響が大きい場合には、本試験方法の膨張ひずみが A 法の試験結果より相応に小さくなる可能性があるなど、それぞれの試験目的、試験方法に応じた試験値として取り扱う必要がある。

c) 測定可能ひずみ

JIS G 3303「ぶりき及びぶりき原板」に規定する調質度 T-2.5、呼び厚さ 0.28mm のぶりきの応力 - ひずみ曲線は解図 3 に示す通りであり、線形弾性限度は 600×10^{-6} 程度であることから、本試験方法で評価できる拘束膨張ひずみも 600×10^{-6} までと定めた。



解図3 側板に使用するぶりきの応力 - ひずみ曲線[2]

d) 供試体の圧縮強度試験

拘束膨張試験が終了した供試体で、型枠の側板によって拘束され、かつ封かん養生された膨張コンクリートの圧縮強度試験を行うことも可能である。

3. 拘束膨張試験

a) 拘束器具（型枠）

型枠の側板に使用されている JIS G 3303 のぶりきの厚さの許容差は、呼び厚さに対して $\pm 10\%$ と規定されている。したがって、この許容差による膨張ひずみの誤差は、膨張応力の簡易評価法である仕事量一定則[3]に従えば、側板の厚さの 0.5 乗に比例するので、 $\pm 5\%$ 程度以下である。

b) ひずみゲージのゲージ長

解表 1 に示すように、既往の研究結果からゲージ長が 5mm 以下では標準偏差が大きくなり、10mm 以上では標準偏差が小さくなる結果が得られている。一方、ゲージ長が長い場合には、コンクリートの打込み作業などで損傷する可能性が高くなるために、ゲージ長は 10mm を標準とした。

解表 1 本試験方法における材齢 7 日での平均値及び標準偏差[1]

ゲージ長	平均値 (μ)	最大値 (μ)	最小値 (μ)	標準偏差
1mm	187	202	166	15.2
5mm	182	196	165	12.8
10mm	186	191	184	3.3
30mm	185	192	183	5.6

c) 供試体

供試体の作製に際し、型枠とコンクリート表面の間に過大な空気泡が残ると、その箇所の型枠の膨張が不均一となり、正確な膨張ひずみが測定できない場合がある。よって、各層のコンクリートを詰め終わった後、セメントナイフ、または類似の器具で型枠の側面に沿ってスペーシングをし、型枠の側面の空気泡を取り除くことを明記した。

d) 温度変化が生じる環境下でのひずみ

供試体の製造から保存及び型枠のひずみ測定は、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ に保った室内で行うことを標準とするが、温度変化が生じる環境下においては、コンクリート温度を用いて、解説式(2)によって補正することで、膨張ひずみをより適切に評価できる。

$$\varepsilon'(t) = \varepsilon(t) + (\alpha_s - \alpha_c) \cdot (T(t) - T(0)) \quad (2)$$

ここに、
 $\varepsilon'(t)$: 各測定材齢での補正ひずみ
 $\varepsilon(t)$: 各測定材齢でのひずみ
 α_s : ひずみゲージの補償線膨張係数
 α_c : コンクリートの線膨張係数
 $T(t)$: 各測定材齢でのコンクリート温度
 $T(0)$: 第1回目の測定時のコンクリート温度

<参考文献>

- [1] 辻埜真人, 橋田浩, 湯浅竜貴, 高橋圭一: 膨張コンクリートの簡易拘束膨張試験方法, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.437-442, 2011
- [2] 辻埜真人, 橋田浩, 湯浅竜貴, 高橋圭一: 軽量型枠法における膨張コンクリートの拘束試験に関する検討, 「高性能膨張コンクリートの性能評価とひび割れ制御システム」に関するシンポジウム論文集, 日本コンクリート工学会, pp.373-380, 2011.9
- [3] 辻幸和: ケミカルプレストレスの推定方法について, セメント技術年報, No.27, pp.340-344, 1973
- [4] JIS A 6202 コンクリート用膨張材 附属書 2 (参考) 膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法

委員会報告書

「高性能膨張コンクリートの性能評価とひび割れ制御システムに関する研究委員会報告書」
(2011.9)

作成者一覧

(委員会名称：高性能膨張コンクリートの性能評価とひび割れ制御システムに関する研究委員会
材料性能WG)

委員長	坂井 悦郎	東京工業大学
副委員長	岸 利治	東京大学
幹事長	細田 暁	横浜国立大学
材料性能 WG 主査	盛岡 実	電気化学工業株式会社
材料性能 WG 幹事	郭 度連	太平洋マテリアル株式会社
材料性能 WG 委員	安 台浩	東京大学
	大崎 雅史	宇部興産株式会社
	小林 哲夫	住友大阪セメント株式会社
	斉藤 和秀	竹本油脂株式会社
	二戸 信和	株式会社デイ・シイ
	橋田 浩	清水建設株式会社
事務局	大野 一昭	公益社団法人 日本コンクリート工学会

(JCI 規準委員会)

委員長	早川 光敬	東京工芸大学
委員	大久保孝昭	広島大学
	桜本 文敏	鹿島建設株式会社
	椿 龍哉	横浜国立大学
	渡辺 博志	独立行政法人 土木研究所

(標準化委員会)

委員長	丸山 久一	長岡科学技術大学
副委員長	阿部 道彦	工学院大学
委員	小川 洋二	日本ヒューム株式会社
	河野 広隆	京都大学
	栗田 守朗	清水建設株式会社
	十河 茂幸	広島工業大学
	勅使河原正臣	名古屋大学
	名和 豊春	北海道大学
	西山 峰広	京都大学
	野口 貴文	東京大学
	真野 孝次	一般財団法人 建材試験センター