

JCI 規準

コンクリート構造物のコア試料による膨張率の測定方法

JCI-S-011-2017

Method of measuring expansion ratio of core sampled
from concrete structure

1. 適用範囲 この規準は、コンクリート構造物から採取したコア試料によるコンクリートの膨張率の測定方法について規定する。

備考 この試験方法は、アルカリシリカ反応を生じたコンクリート構造物から採取したコア試料を用いることを想定している。また、外観上はアルカリシリカ反応を生じた兆候は認められないが、骨材中に有害鉱物を有害量含んでいることが明らかになったコンクリート構造物などにも適用することができる。

注記 この試験方法により得られるコア試料の膨張率は、コンクリート構造物における膨張率とは一致しないため、アルカリシリカ反応によって定まるコンクリート構造物の残存膨張性を直接評価するためのものではない。

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 0203 「コンクリート用語」

JIS A 1129-2 「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法 第2部：コンタクトゲージ方法」

JCI-DD1 「コンクリート構造物からのコア試料の採取方法（案）」

3. 定義 この規格で用いる主な用語及び定義は、**JIS A 0203** のほか、次による。

3.1**残存膨張性**

実構造物のコンクリートがアルカリシリカ反応によって将来、膨張する可能性。

3.2**解放膨張率**

コンクリート構造物から採取した時を基準に、コア試料を温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 95%以上で養生した時に生ずる膨張率が一定値に収れんした時の膨張率。

3.3**促進膨張率**

解放膨張率が一定値に収れんした後、コア試料を温度 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 95%以上で養生した時に生ずる膨張率。

4. 試験用器具

4.1 ステンレス製バンド

ステンレス製バンドは、コア試料に巻き付けてゲージプラグを取り付けるためのもので、試験中にさびを生じないものとする。ステンレスバンドの取付け例を、図1に示す。

4.2 ゲージプラグ

ゲージプラグは、ステンレス製バンドに貼り付けてコア試料の長さ変化を測定するための標点となるもので、試験中にさびを生じない金属製のものとする。ゲージプラグの取付け例を、図1に示す。

注¹⁾ コア試料の反りなどを把握するため、少なくとも2面以上で測定できるようにゲージプラグを取り付けることが望ましい。

単位:mm

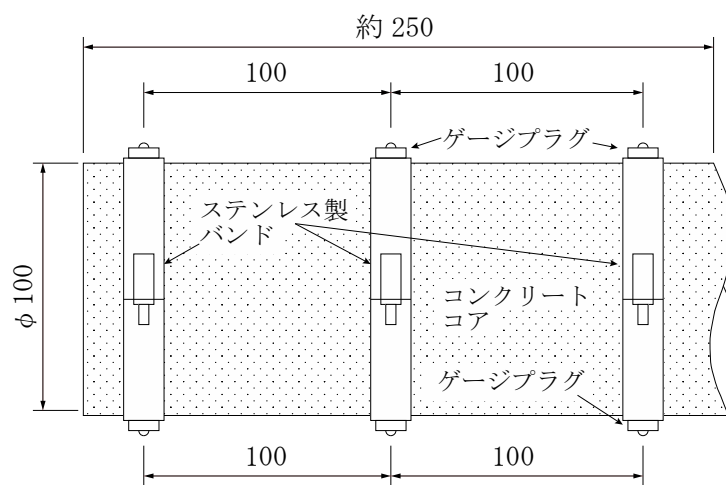


図1 ゲージプラグの取付けの一例

4.3 長さ変化測定器具

長さ変化の測定は、JIS A 1129-2 (コンタクトゲージ方法) による。付属のダイヤルゲージは目量0.001mmのもの、又は、これと同等の精度を有するデジタル表示のものとする。

4.4 貯蔵容器

コア試料を貯蔵する容器は、気密なふたによって密閉ができ、湿気の損失がない構造のものとする。

4.5 温度計

温度計は、基長測定時に外気温を計測できるものとする。

5. コア試料の採取方法

5.1 コア試料の採取位置及び個数

コア試料の採取位置及び個数は、試験の目的に応じて、損傷の程度、鉄筋量、採取する方向、環境の相違等を考慮して決定する。コア試料は、鉄筋がない箇所から採取する。

5.2 コア試料の寸法

コア試料は、原則として直径100mm、長さ約250mmとする。

5.3 コア試料の採取

コア試料の採取には、コンクリート用コアドリルを用いる。また、コア試料を採取した時の気

温を記録する。

6. 基長のとり方

基長は、コア試料の採取後ただちに、コア試料が乾燥しないように注意しながら、測定する。測定方法は箇条 8 による。やむを得ずコア試料の採取後ただちに測定できない場合には、コア試料が乾燥しないようラップフィルム及びプラスチック製袋で密封し、測定室にコア試料を移動させた後ただちに測定する。

7. 貯蔵及び測定

7.1 解放膨張率測定のための貯蔵

基長の測定が終わったコア試料は、密閉容器に入れ、できるだけ速やかに温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 95%以上で貯蔵する。この場合、相対湿度 95%以上を確保するための手段として、密閉容器に温度調節をした水を張り、その上にコア試料を直接水が接しないように配置する。

7.2 解放膨張率の測定

解放膨張率は、適切な間隔²⁾で、測定値が一定値に収れんするまで測定する。測定は、 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ に保った測定室で行う。測定方法は箇条 8 による。測定の間はコア試料が乾燥しないようにする。測定後はただちに貯蔵容器に入れ、 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 95%以上に戻す。

注²⁾ コア試料採取後 3 日間は 24 時間ごとに測定し、それ以降は 3 日から 1 週間の間隔を設定するのがよい。

7.3 促進膨張率測定のための貯蔵

解放膨張率の測定が終わったコア試料は、密閉容器に入れ、温度 $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 95%以上で貯蔵する。この場合、相対湿度 95%以上を確保するための手段として、密閉容器に温度調節をした水を張り、その上にコア試料を直接水が接しないように配置する。

7.4 促進膨張率の測定

解放膨張率の測定終了後、適切な間隔³⁾で測定する。測定の 24 時間前にコア試料を貯蔵容器ごと取り出し、 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ に保った測定室で保管する。測定方法は箇条 8 による。測定の間はコア試料が乾燥しないようにする。測定後はただちに貯蔵容器に入れ、 $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 95%以上に戻す。

注³⁾ 2 ないし 4 週間の間隔を設定するのがよい。

8. 測定方法

測定方法は、次による。

- a) **長さ変化の測定** 測定は JIS A 1129-2 (コンタクトゲージ方法) による。測定器及び標準尺は、測定前 3 時間、 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ に保った測定室に置いておく。
- b) **外観観察** 長さ変化の測定時に、コア試料の反りやポップアウトなどの変状、表面のひび割れやゲルなどの滲出物、汚れなどを観察し、記録する。

9. 膨張率の算出

膨張率を次の式によって計算し、四捨五入によって 0.001%まで計算し、この期間におけるコア試料の膨張率として記録する。また、基長の測定開始後、温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 95%以上で

測定値が一定値に収れんした時の膨張率を解放膨張率とする。その後、温度 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 95%以上で保管した時の膨張率から解放膨張率を差し引いた値を促進膨張率とする。

$$\text{膨張率 (\%)} = \frac{(X_i - sX_i) - (X_{ini} - sX_{ini})}{(X_{ini} - sX_{ini})} \times 100$$

ここに、

X_i : 材齢 i におけるコア試料のダイヤルゲージの読み

sX_i : 材齢 i における標準尺のダイヤルゲージの読み

X_{ini} : 基長測定時におけるコア試料のダイヤルゲージの読み

sX_{ini} : 基長測定時における標準尺のダイヤルゲージの読み

(X_i , sX_i , X_{ini} , sX_{ini} , L の単位は同一とする。)

ただし、基長測定時におけるコア試料のダイヤルゲージの読み X_{ini} は、次の式によって温度補正を施すものとする。

$$X_{ini} = X_{ini0} \cdot (\alpha_c - \alpha_{inv}) \cdot (t - t_0)$$

ここに、

t : 基長測定時における温度 ($^\circ\text{C}$)

t_0 : 標準温度 ($^\circ\text{C}$) ($t = 20$ ($^\circ\text{C}$))

X_{ini0} : t_0 ($^\circ\text{C}$) で基長を測定した時におけるコア試料のダイヤルゲージの読み

(X_{ini0} の単位は X_{ini} と同一とする。)

α_c : コンクリートの線膨張係数 ($/^\circ\text{C}$)

α_{inv} : 標準尺の線膨張係数 ($/^\circ\text{C}$)

10. 報告

報告は、次の事項のうち必要なものを記載する。

- a) 構造物の概要 (種類, 名称, 場所など)
- b) 構造物の置かれている環境 (雨掛り, 方位, 日照など)
- c) 構造物の外観 (ひび割れ, ポップアウト, 析出物, 剥離などの変状の有無)
- d) コア試料の採取年月日および時刻
- e) コア試料の採取位置 (部位, 地表面からの位置など) とコア試料の番号
- f) コア試料の径及び長さ
- g) コア試料の採取方法 (冷却水使用の有無, 採取時間など)
- h) かぶり厚さ
- i) コア試料の採取から基長測定までの時間
- j) 測定において基準とした時点までの時間及び養生方法
- k) 保存期間中の環境条件 (温度, 湿度, 風向き, 日射など)
- l) 膨張率測定時の温度及び湿度
- m) 各測定時の膨張率
- n) 解放膨張率, 促進膨張率及びそれぞれの試験期間
- o) コア試料の観察結果

- p) 試験実施機関
- q) その他

解説

「コンクリート構造物のコア試料による膨張率の測定方法」

1. 制定の背景

この規準は、日本コンクリート工学協会（現 日本コンクリート工学協会。以下、JCI と呼ぶ。）の JCI-DD2「アルカリ骨材反応を生じたコンクリート構造物のコア試料による膨張率の測定方法（案）」を、最新の知見を踏まえ、一部修正し、構成し直したものである。JCI-DD2 は、JCI に 1986 年に設置された「耐久性診断研究委員会」の調査研究の結果としてまとめられたものであり、制定当時の最先端情報を基に作成されたものであるが、最近の研究成果に基づくと、規格の内容について修正が必要な箇所が認められる。

JCI-DD2 から修正した点は以下の通りである。詳細は、以下の解説中に示す。

- ①規準の名称の変更
- ②用語の変更（残存膨張率を廃止し、新たに促進膨張率を定めた。）
- ③基長の取り方の明示
- ④解放膨張率及び促進膨張率の測定間隔の明示

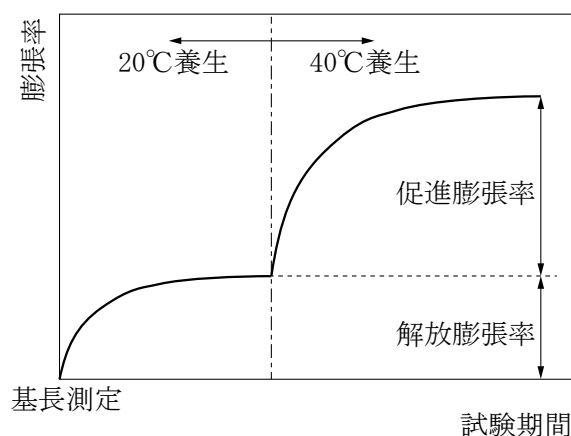
2. 試験方法の位置づけ

この規準は、アルカリシリカ反応を生じたコンクリート構造物に加え、外観上はその兆候は認められないが使用されている骨材に有害鉱物が有害量含まれていることが明らかになった場合など、潜在的にアルカリシリカ反応の可能性が疑われるコンクリート構造物にも適用できる。よって、従来の規準の名称から「アルカリ骨材反応を生じた」を削除した。また、コア試料から得られる膨張率は、必ずしも実構造物の膨張率とは対応しないことから、このことを注記に記載した。

3. 用語の定義

アルカリシリカ反応が生じているコンクリート構造物から採取したコア試料の膨張特性は、一般に解図 1 のようになると言われている。すなわち、コア試料を採取直後から湿度が高い環境で養生をすると、一定量の膨張が生ずる。その後、コア試料を高温で湿度が高い環境で養生すると、コンクリート中に残存している反応性物質によりさらに膨張が生ずる。前者は、主に既に発生したアルカリシリカ反応によるものであり、解放膨張と呼ばれる。後者は、コア試料の将来的な膨張性を評価するもので、促進膨張と呼ばれる。解放膨張は、構造物内でのコンクリートの膨張によって生じた微細ひび割れやクリープ等に強く影響される。促進膨張は、損傷程度や試験中のコア試料表面からのアルカリの溶脱、また解放膨張の測定中の炭酸化の影響を受ける。なお、コア試料の促進膨張率は拘束のない条件で測定されたものであり、拘束を受ける構造物中の膨張を反映したものではない。

促進膨張率が大きなコア試料は、その構造物のコンクリートが将来的に膨張する可能性を有すると判断することができる。また、試験中でのアルカリの溶脱によってコア試料の促進膨張率が小さいにも関わらず、実構造物では長期間膨張した事例などが報告されている¹⁾。したがって、試験結果の判断にあたっては、これらに注意する必要がある。



解図1 アルカリシリカ反応が疑われる構造物から採取したコア試料の膨張特性

4. 規定項目の内容

4.1 試験用器具 (箇条 4)

4.1.1 ゲージプラグ (4.2)

ゲージプラグは直径 9mm のさびを生じない金属 (たとえば真ちゅう) 製円板に直径 1.5mm のステンレス鋼球を埋め込んだものがよい。

なお、コア試料採取時の短時間に大きな膨張を示すコア試料もあるので、採取したコア試料は、できるだけ速やかに基長を測定する必要がある。ゲージプラグの取付けを速やかに行うために、湿気に影響されない方法でゲージプラグをあらかじめ接着したステンレス製バンドをコア試料に取り付ける方法を用いるとよい。

4.1.2 長さ変化測定器具 (4.3)

長さ変化の測定は、JIS A 1129-2 (コンタクトゲージ方法) が適当である。また、付属のダイヤルゲージは目量 0.001mm のもので、基長を 100mm にできるものがよい。

4.1.3 貯蔵容器 (4.4)

貯蔵容器には、採取したコア試料の乾燥と炭酸化を防止するため、基長測定後のコア試料の保存において確実に密閉できる構造の容器を用いる必要がある。

4.1.4 温度計 (4.5)

基長を標準温度 (20°C) の値に補正するため、基長測定時のコア試料の温度が必要となるが、コア試料の温度を測定することは、コア試料の採取位置の環境 (日射および湿分の供給状況、地面からの高さなど)、コア試料の採取方法 (冷却水使用の有無) などによって異なるため、正確に測定することは困難である。そのため、基長測定時のコア試料の温度には、基長測定時の気温を用いることとする。基長測定時の気温を測定するため、温度計を使用する。

4.2 コア試料の採取方法 (箇条 5)

4.2.1 コア試料の採取位置及び個数 (5.1)

解放膨張率および促進膨張率は、損傷程度、鋼材等による拘束、乾湿の違い等により異なる。そのため、コア試料の採取位置及び数量は、損傷程度、鉄筋量、採取する方向、環境の相違等を考慮して選定することが必要である。

4.2.2 コア試料の寸法 (5.2)

構造物における損傷程度あるいは鋼材等による拘束が同じであっても、コア試料の促進膨張率は径に大きく影響され、主にコア試料表面からのアルカリの溶脱によって径が小さいほど膨張率が小さくなる場合が多い。したがって、直径 100mm のコア試料で測定するのが望ましい。

また、基長は、JIS A 1129-2 には、測定器付属のダイヤルゲージの最小目盛が 0.001mm の場合、100mm 以上と規定されている。コア試料の反りなどを把握するため、図 1 に示したように、1 面で 2 箇所測定が行えるようステンレス製バンドを 3 個使用することとする。この場合、1 面での基長の合計は 200mm となり、コア試料の長さは 250mm 程度必要となる。

4.3 基長のとり方（箇条 6）

コンクリートに用いられた骨材の岩種や反応の程度によって、採取直後からコア試料が膨張を開始する場合がある。したがって、基長測定は、コア試料採取後、できるだけ速やかに行う必要がある。しかしながら、構造物の立地条件によっては、ステンレス製バンドおよびゲージプラグの取付けおよび基長の測定が速やかに行えない場合もある。そのような場合には、コア試料が乾燥しないようラップフィルム及びプラスチック製袋で密封し、測定室にコア試料を移動させた後、ただちに測定する。

4.4 貯蔵及び測定（箇条 7）

アルカリシリカ反応による膨張は、反応生成物による細孔溶液の吸収によって生じ、コア試料の乾燥及び炭酸化の影響を受けやすい。したがって、採取したコア試料は、乾燥と炭酸化を防止するために、基長測定後、できるだけ速やかに密閉容器に保存する必要がある。

アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張は、湿度にもペシマム値が存在することが認められている。現場採取したコア試料は、できるだけ速やかに試験室に搬入した後、 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 95%以上の密閉容器に保存して養生を行うものとする。解放膨張率の測定終了後、 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 95%以上の密閉容器で養生することとした。

試験体の保湿について、いわゆる湿気箱での保管では不十分であり、水もしくは空隙水相当のアルカリ溶液を適量含ませた布により試験体を被覆することで、水分供給が増加し膨張が促進するという報告^{2,3,4}もあり、湿潤な環境条件を再現するためには今後の検討が必要である。

なお、促進膨張率は、一定値に収れんするまで測定するのが望ましい。

4.5 測定方法（箇条 8）

アルカリシリカ反応の場合は、採取したコア試料を湿気箱等に保存しておく、数時間から数日でコア試料表面のゲルまたはゾルの浸出が見られることもあるので、膨張率の測定結果に加えアルカリシリカ反応性の解釈に役立つと考えられるので、コア試料の外観観察を含めることとした。

4.6 膨張率の算出（箇条 9）

コンクリート及び標準尺（インバー鋼）の線膨張係数は、それぞれ $\alpha_c = 7 \sim 13 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ および $\alpha_{inv} = 0.9 \sim 1.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ であり、一般に $\alpha_c = 10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ および $\alpha_{inv} = 1.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ が用いられている。膨張率測定時の温度および標準温度を、それぞれ t および t_0 ($^\circ\text{C}$) とすると、膨張率の標準温度に対する温度補正量 $\Delta\varepsilon$ は次式となる。

$$\Delta\varepsilon = (\alpha_c - \alpha_{inv}) \cdot (t - t_0) \times 100 \quad (\%)$$

ここで、標準温度は、一般に 20°C である。残存膨張率の測定における基長測定はコア試料の採取時に行うために、基長に対しても温度補正が必要であるが、基長の温度変化が膨張率に及ぼす

影響は小さいので、ここでは、基長の温度変化は考慮しないこととした。

【参考文献】

- 1) Naoya Kawamura, Yuichiro Kawabata, Tetsuya Katayama: Diagnosis of alkali-silica reaction in airport pavement in Japan, Proceedings of 15th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, 042, 2016
- 2) 山田一夫, 川端雄一郎, 小川彰一, 丸山一平: 原子力施設におけるアルカリ骨材反応の一考察, セメント・コンクリート論文集, Vol.68, pp.2-9, 2014
- 3) Yuichiro Kawabata, Kazuo Yamada, Shoichi Ogawa, Renaud-Pierre Martin, Yasutaka Sagawa, Jean-François Seignol, François Toutlemonde: Correlation between laboratory expansion and field expansion of concrete: Prediction based on modified concrete expansion test, Proceedings of 15th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, 034, 2016
- 4) Kazuo Yamada, Yasutaka Sagawa, Takahiro Nagase, Shoichi Ogawa, Yuichiro Kawabata, Akihiro Tanaka: Importance of alkali-wrapping in concrete prism tests, Proceedings of 15th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, 084, 2016

作成者一覧

(委員会名称:性能規定に基づく ASR 制御型設計・維持管理シナリオに関する研究委員会 試験・予測法WG)

委員長	山田 一夫	国立研究開発法人	国立環境研究所
幹事長	山本 貴士	京都大学	
試験・予測法WG主査	佐川 康貴	九州大学	
試験・予測法WG委員	川端雄一郎	国立研究開発法人	海上・港湾・航空技術研究所
事務局	柴田 辰正	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	十河 茂幸	広島工業大学
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	国立研究開発法人 土木研究所

(学術技術部門担当副会長)

二羽淳一郎	東京工業大学
-------	--------