

埋設型ひずみ計による若材齢コンクリートのひずみ 測定手法に関する検討

藤田, 数正
東京測器研究所開発部TR 開発室

松下, 博通
九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門

佐川, 康貴
九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門

福澤, 祥宏
九州大学大学院工学府建設システム工学専攻

<http://hdl.handle.net/2324/8101>

出版情報：コンクリート工学年次論文集. 29 (1), pp.597-602, 2007-07-12. Japan Concrete Institute
バージョン：
権利関係：



論文 埋設型ひずみ計による若材齢コンクリートのひずみ測定手法に関する検討

藤田 数正^{*1}・松下 博通^{*2}・佐川 康貴^{*3}・福澤 祥宏^{*4}

要旨：若材齢におけるコンクリートのひずみ計測では、コンクリートの弾性係数が低く、ひずみ計との付着も不十分なため、その状態で得られる出力は実際のひずみを捉えているとは言い難い。しかしながら、正確にひずみを捉えることができる条件が明らかになっていない等、ひずみ計に対して十分な評価がなされていないという問題がある。本論文では、若材齢におけるひずみ計の感度を定量的に示すとともに、貫入抵抗との関係について明らかにした。その結果、圧縮方向では凝結始発以降、引張方向では凝結終結以降で80%以上の感度で計測されていることが分かった。

キーワード：若材齢，埋設型ひずみ計，見掛け弾性係数，感度，貫入抵抗

1. はじめに

近年、低熱セメントと膨張材の組合せのように、ひび割れ抑制効果が期待される新しい組合せが注目されており¹⁾、基礎的性状を検証する目的から、硬化過程からのひずみ挙動を明らかにする必要性が高まっている。

硬化過程におけるひずみ計測の場合、コンクリートは低弾性であり、ひずみ計との一体化も不十分なため、その状態で得られた出力は本来のひずみを捉えているとは言い難い。そのため、信頼できる計測結果を得るためには、コンクリートのひずみを捉えた時点以降を基準点としてデータを整理する必要がある。

自己収縮ひずみの測定に関しては、基準長さの測定をJIS A 1147に規定される凝結始発に行うことが定義²⁾されているが、これはコンクリートのひび割れ要因として検討するためであり、凝結始発からひずみ計が十分な測定精度を有しているとは限らない。

埋設型ひずみ計の評価としては、様々なひずみ計を用いて比較試験を行った結果が報告され

ており、材齢1日以前では試験機関、試験方法の違いによる影響が大きいことが指摘されている³⁾。しかしながら、温度特性が把握されていないひずみ計も比較対象にあり、得られた結果に見掛けひずみ⁴⁾が含まれていること、ひずみが記録される材齢³⁾、供試体間でのばらつきによる評価⁵⁾にとどまっていることから、定量的な評価には至っていないと考えられる。また、ひずみ計に対する評価は、実際に生じたひずみと記録されたひずみの偏差から評価する必要があると思われる。

以上のような背景から、本報ではこれまで不明確であった若材齢におけるひずみ計の感度を把握することを目的とし、JIS A 1147に規定される貫入抵抗との関係について明らかにすることとした。

2. ひずみ計の見掛け弾性係数

2.1 実験概要

コンクリートの弾性係数が低い若材齢時のひずみ計測において、ひずみ計の見掛け弾性係数

*1(株)東京測器研究所 開発部 TR 開発室 修士(工学) (正会員)

*2九州大学大学院教授 工学研究院建設デザイン部門 工博 (正会員)

*3九州大学大学院助手 工学研究院建設デザイン部門 修士(工学) (正会員)

*4九州大学大学院 工学府建設システム工学専攻 (正会員)

は重要な要素の1つと考えられる。既往の研究³⁾では、ひずみ計の弾性係数が異なるだけでなく、前述したように見掛けひずみを含む場合があること、ひずみ計の材質の違いから付着性状が異なる可能性があること等、複数の要素が影響していると考えられる。そこで、同条件下において温度特性を把握した見掛け弾性係数のみが異なるひずみ計 A（見掛け弾性係数：約 1000N/mm²）およびひずみ計 B（見掛け弾性係数：約 40N/mm²）を用いて、打設直後からのひずみ計測を行うこととした。これにより、得られた出力に違いが見られる場合は、見掛け弾性係数の影響と判断できると考えられる。

今回使用するひずみ計の基本的な構造は、図-1に示すように、図中の右フランジ部が可動し、標点間に生じる変形を起歪体に伝達するものである。これにより、一軸方向のひずみのみを捉えることができる。また、チューブ（付着絶縁層）により標点間での測定対象との付着を低減し、ひずみ挙動を乱さない構造となっている。ひずみ計の見掛け弾性係数に関しては、起歪体の剛性に依存し、見掛け弾性係数の違いに関わらず測定対象と接触する部分の材質および形状は同一となる。

図-2に供試体寸法を示す。また、供試体の温度は、打設直後からひずみ計の測温機能により計測した。使用したモルタルの配合を表-1に示す。

2.2 実験結果および考察

図-3にひずみ計位置における供試体温度の経時変化を示す。両者はほぼ一致しており、同条件下にあることが伺える。

図-4に実ひずみの経時変化を示す。実ひずみは、式(1)を用いて算出するものであり、温度ひずみ成分を含む、モルタルに生じた全てのひずみを示すものである。

$$\varepsilon = C_{\varepsilon} \times \varepsilon_i + 11.7 \times \Delta t - C_{\varepsilon} \times \chi \quad (1)$$

ここで、

$$\varepsilon : \text{実ひずみ} \quad (\times 10^{-6})$$

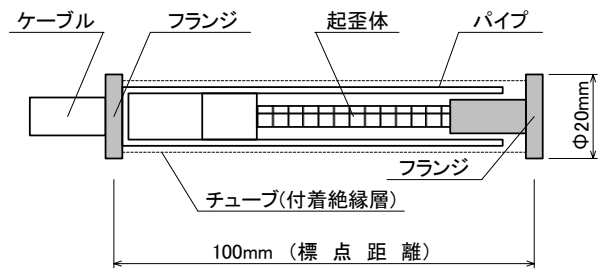


図-1 埋設型ひずみ計構造概略図

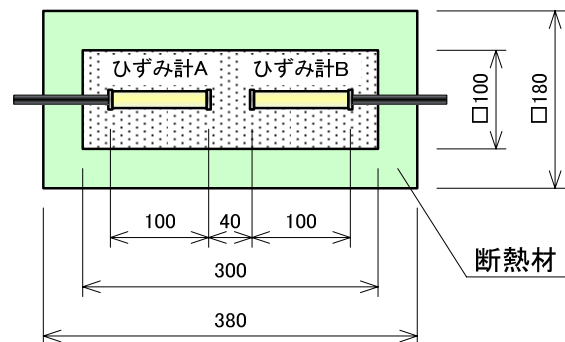


図-2 供試体寸法

表-1 モルタルの配合

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)		
	W	C	S
50	360	720	1080

W:水, C:普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm³), S:細骨材 (川砂:表乾密度 2.62g/cm³)

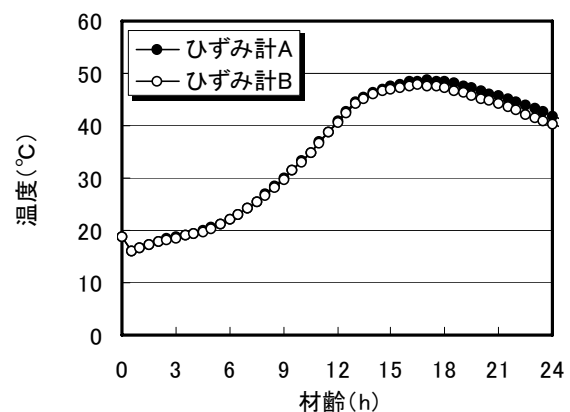


図-3 供試体温度の経時変化

- C_e : 補正係数 ($\times 10^{-6}/10^{-6}$)
- ε_i : 初期値からの指示値の変化 ($\times 10^{-6}$)
- Δt : 温度変化 ($^{\circ}\text{C}$)
- χ : ひずみ計の零点移動量 ($\times 10^{-6}$)
- 11.7 : ひずみ計の零点移動量測定時に用いた治具の線膨脹係数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

図-5にひずみ計A及びBによるひずみ及び温度の計測値の差を示す。材齢9時間頃から見掛け弾性係数の小さいひずみ計Bの収縮量が大きくなり、両者に違いが現れ始めていることがわかる。硬化過程におけるモルタルの弾性係数は小さいため、ひずみ計Aとひずみ計Bの測定結果に影響を及ぼしたと考えられる。ただし、両者の違いは微小であり、材齢12時間頃からは温度履歴にも若干の差が見られるため、見掛け弾性係数の違いによるものだけでなく、温度ひずみ成分の影響も含まれると考えられる。また、実ひずみの算出式に着目すると、式(1)右辺第2項以降は、温度変化のみに依存する内容であり、ひずみ計が全くひずみを捉えていなくとも実ひずみとして値が得られることになる。つまり、算出式はひずみ計とモルタルの一体化が前提にあり、一体化以前では誤差が含まれる可能性があると言える。

これらのことから、本実験による手法では、温度変化の影響が大きいこと、一体化が不明確な状態では真値が得られない可能性があることから、ひずみを捉える材齢および感度までの言及は難しいと考えられる。

3. ひずみ追従試験

見掛け弾性係数の試験結果から、硬化過程におけるひずみ計を評価するためには、温度変化の影響を受けることなく、既知の変位を強制的に与える必要があると考えられる。

ひずみ計の校正では、両端のフランジ部を治具に固定し、校正されたダイヤルゲージにより与えられた変位を計測することで変位と出力の関係が得られ、校正係数や非直線性などの出力

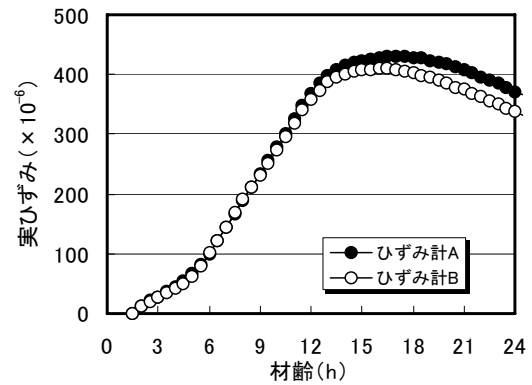


図-4 実ひずみの経時変化

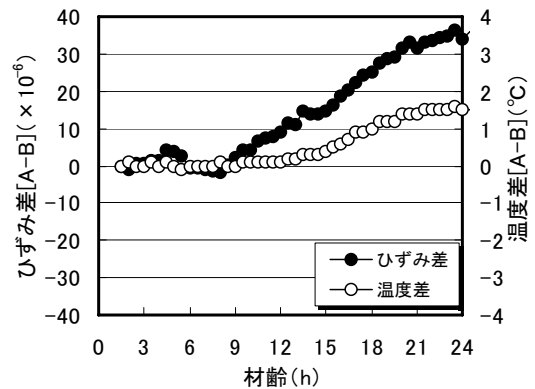


図-5 ひずみ計A及びBによるひずみ及び温度の計測値の差

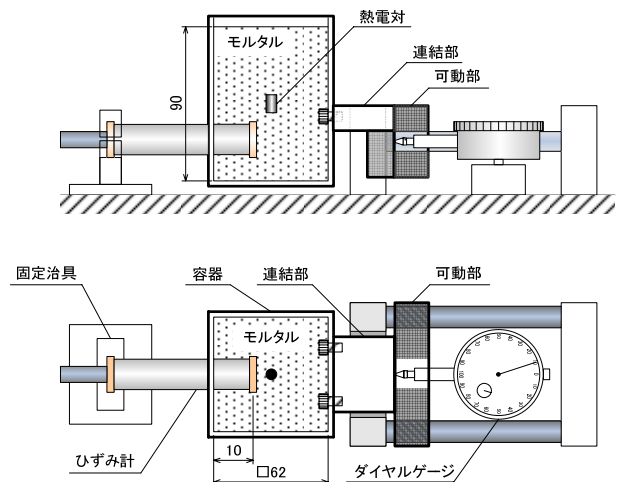


図-6 ひずみ追従試験器形状寸法

特性を把握することができる。与えられた変位が治具により損失することなくフランジ部から起歪体に伝わるため、硬化後のコンクリート中と同様に、ひずみ計測として理想的な状態と言える。そこで、校正時に得られる変位と出力の

関係を基準値として、**図-6**に示すように、片側のフランジ部を固定治具により拘束し、可動する側のフランジ部をモルタル中に埋設することで、硬化過程におけるひずみ計の状況を模倣することとした。容器内に練混ぜ直後のモルタルを投入し、所定の貫入抵抗となる時点で容器に変位を与え、ひずみ計からの出力と変位の関係を把握することで、モルタルの弾性係数、ひずみ計との付着などにより変化するひずみ計測の感度を、得られた出力と校正時に得られる基準値との偏差により明らかにすることができると考えられる。**写真-1**にひずみ追従評価試験器を示す。

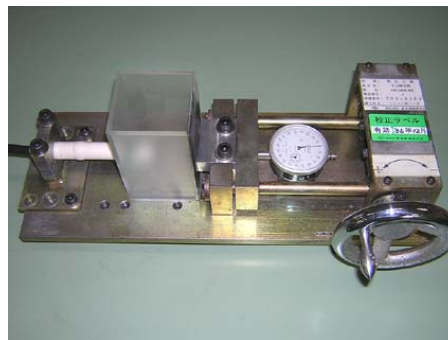


写真-1 ひずみ追従評価試験器

今回の試験では、若材齢用として使用されているひずみ計**B**についてのみ評価することとした。まず、ひずみ計**B**の基礎データ収集を目的として、0.01mm毎に0.1mm (1000×10^{-6} 相当)までのひずみ校正を行った。次に、ロードセル(容量:1kN)を用い、荷重と出力の関係からひずみ計の見掛け弾性係数を把握することとした。前述したように、ひずみ計の見掛け弾性係数は、硬化過程におけるひずみ計測において重要な要因の一つである。**図-7**にひずみ計の応力と変位の関係を示す。図中の見掛け弾性係数は、フランジ部の断面積 314.2mm^2 、標点距離を100mmの数値を用いて算出したものを線形回帰したものである。

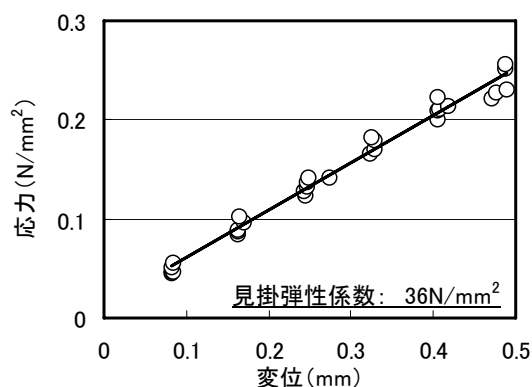


図-7 ひずみ計の応力と変位の関係

3.1 試験方法

JIS A 1147で規定される貫入抵抗と積算温度の関係を事前に把握し、貫入抵抗が0.25, 1.0, 3.5, 28N/mm^2 となる時点で、ひずみ計の校正と同様に、0.01mm毎に0.1mm (1000×10^{-6} 相当)までの圧縮および引張方向の変位と出力の関係を明らかにすることとした。**表-2**に使用したモルタルの配合を示す。

ひずみ計とモルタルの付着力が小さい時点では、強制的に変位を与えることですべりが生じ、付着力が低下した場合、その後の試験に影響を与える可能性が考えられるため、モルタル充填後、ひずみ追従試験は1度だけとした。

表-2 モルタルの配合

W/C (%)	単位量 (kg/m^3)		
	W	C	S
30	342	1140	780

W:水, C:普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm^3), S:細骨材(川砂:表乾密度 2.62g/cm^3)

モルタル中に埋設される部分の長さについては、試験器寸法の都合により10mmとしたが、**図-1**に示すように、埋設される側のフランジ部の動きによってひずみを捉えること、チューブ(付着絶縁層)部でのモルタルとの付着力は小さいことから、埋設長の違いが今回の試験結果に与える影響は小さいと判断した。

3.2 貫入抵抗

JIS A 1147に準拠し、凝結終結を超えるまで貫入抵抗を測定した。また、試験中は熱電対によりモルタルの温度を計測し、積算温度と貫入

抵抗の関係を把握することとした。

図-8に貫入抵抗と積算温度の関係を示す。バッチ間の変動について影響を検討するため、貫入抵抗の測定は2回行ったが、ほとんど違いは見られなかった。ただし、貫入抵抗の測定に用いる試験体と、モルタルを充填する容器の寸法が異なるため、同時刻での貫入抵抗が異なる可能性がある。そこで、試験により得られた式(2)の近似式を用い、積算温度からひずみ追従評価試験時における貫入抵抗を算出することとした。なお、全ての試験は、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の室内にて行った。

$$r = 0.0316 \cdot \exp(0.061x) \quad (2)$$

ここで、

r : 貫入抵抗 (N/mm^2)

x : 積算温度 ($\text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)

3.3 実験結果および考察

図-9にひずみ追従評価試験および貫入抵抗測定時における試験体温度の経時変化を示す。ひずみ追従評価試験体の方が、 2°C 程度低いことがわかる。前述したように、容器寸法が小さいこと、容器からの放熱の影響を受け易いことが原因と考えられる。

表-3にひずみ追従評価試験時の貫入抵抗一覧を示す。表中の貫入抵抗は、式(2)を用いて積算温度から算出したものである。ほぼ目標とした貫入抵抗で試験が行われている。

図-10に感度とダイヤルゲージで測定した変位の関係を示す。感度は、ひずみ計の校正で得られた値を基準値として、ひずみ追従評価試験で得られた値を百分率で表したものである。

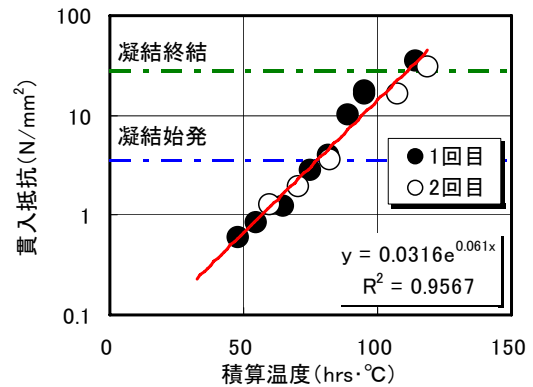


図-8 積算温度と貫入抵抗の関係

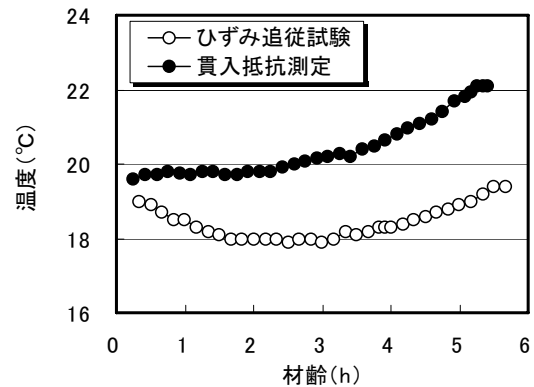


図-9 試験体温度の経時変化

貫入抵抗が $0.25\text{N}/\text{mm}^2$ のような硬化が十分進んでいない状態でも、微小ではあるがひずみ計からの出力が確認され、圧縮方向では凝結始発以降、引張方向では凝結終結以降で基準値に対して80%以上の感度で計測されることが明らかとなった。また、変位が大きくなるとともに、感度が変化する傾向が見られた。低下するものに関しては、モルタルの弾性係数が小さいこと、ひずみ計と付着力が不十分なために生じたすべ

表-3 ひずみ校正試験時の貫入抵抗一覧

目標 貫入抵抗 (N/mm^2)	圧縮方向			引張方向		
	記号	積算温度 ($\text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)	貫入抵抗 (N/mm^2)	記号	積算温度 ($\text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)	貫入抵抗 (N/mm^2)
0.25	C-0.25	34	0.25	T-0.25	38	0.33
1.0	C-1.0	57	1.02	T-1.0	56	0.98
3.5	C-3.5	73	2.72	T-3.5	82	4.59
28	C-28	111	27.4	T-28	110	26.3

り等による影響が考えられる。また、出力は変位を与えた直後の値を採用しているが、貫入抵抗が 3.5 N/mm^2 以上では、ひずみ計からの出力が徐々に変化する等、粘弾性の性質を示す挙動が見られた。

図-11 に変位 0.1mm (1000×10^{-6} 相当) における感度と貫入抵抗の関係を示す。貫入抵抗が大きくなるとともに感度も高くなっている。また、引張方向と比較して、圧縮方向の方が感度は高い傾向が見られた。これは、ひずみ計端部の形状が影響を与えていると考えられる。既往の研究においては、校正時の標点の取り方などの問題⁶⁾、ひずみ計端部に応力集中を生じること⁷⁾など、圧縮方向の方が若干大きく出力されることが指摘されており、これらの影響により、本試験の範囲では圧縮方向の測定精度が高い結果が得られたものと考えられる。また、今回の試験では、強制的に与えた変位とその直後の出力から感度を求めているため、粘性が高い状態では、時間的に遅れて生じるひずみ成分に関しては考慮できていない。そのため、変位を与える速度や、粘性係数を考慮し、粘弾性モデルを用いる等の検討を行うことで、より正確な評価ができると思われる。

4. まとめ

本実験により得られた知見を以下に示す。

- (1) 温度変化が大きい場合、実ひずみの算出式では温度変化に関する項の影響が大きく、ひずみ計の見掛け弾性係数の影響は小さい結果となった。
- (2) 埋込型ひずみ計の値は、圧縮方向では凝結始発、引張方向では凝結終結以降で、基準値に対して 80%以上の感度を示すことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 狩野周ほか：低熱セメント系膨張コンクリートの膨張性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.28, No.1, pp.221-226, 2006

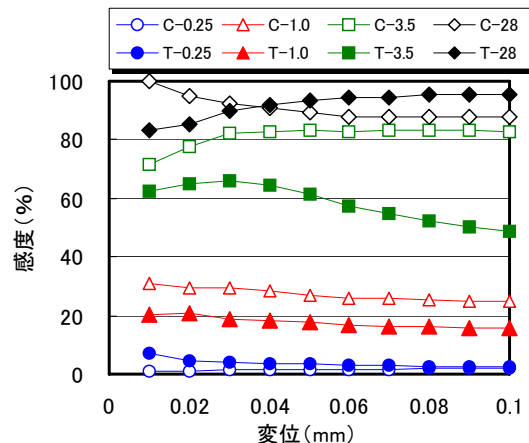


図-10 感度と変位の関係

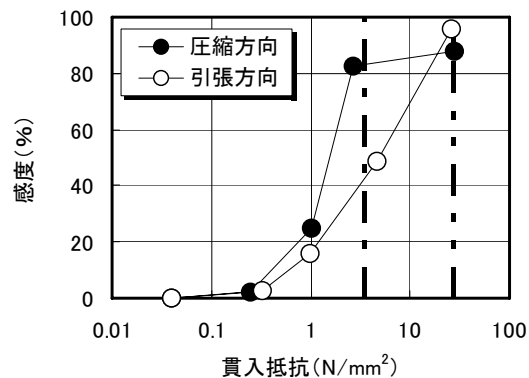


図-11 感度と貫入抵抗の関係

- 2) 日本コンクリート工学協会：自己収縮研究委員会報告書，1996.11
- 3) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの自己収縮研究委員会報告書，2002.9
- 4) 藤田数正ほか：計測機器の現状と展望，コンクリート工学，Vol.44, No.5, pp.13-16, 2006.5
- 5) 南本敬ほか：セメントペーストの自己収縮に及ぼす各種要因に関する実験的研究，日本建築学会九州支部研究報告，No.42, pp.49-52, 2003.3
- 6) 山際浩二ほか：コンクリート埋込み型ひずみ計の形状が測定精度に及ぼす影響，土木学会第44回年次学術講演会，V-137, pp.328-329, 1989.10
- 7) 楊恩翼ほか：埋込み型コンクリート歪ゲージによる測定値の特性，日本建築学会構造系論文集，No.462, pp.11-20, 1994.8