

報 告

[1096] コンクリート構造体の含水率およびひずみ測定結果

長尾覚博*¹・中根 淳*²

1. はじめに

構造体コンクリートの強度発現、弾性係数の変化および乾燥収縮に影響を与える各種要因のうち、含水率の影響が大きいことは既往の研究からも明らかである^{1)・2)}。しかし、実構造体の含水率の実態を長期的に調査した例はほとんどなく、乾燥を伴う実部材の強度特性を的確に評価し得ないこと、ひびわれの主要な原因である実部材における乾燥収縮ひずみの把握が困難なのが現状と考えられる。そこで本報では、コンクリート打込後約13年にわたり実際に施工された構造体コンクリート各部材の含水率およびひずみの経時変化を測定し、その長期的な挙動の実態を示した。

2. 測定概要

2. 1 測定対象建物および部材の種類

測定対象とした建物は、地下1階、地上3階の鉄筋コンクリート構造で、構造部材の形状寸法、仕上方法および使用状態など、一般的な事務所建築である。図-1にその平面図および測定箇所を示す。測定した部材は、はり（地中、2F内、2F外、屋上）、柱（外柱、内柱）、壁（外壁、内壁）、スラブの4種類合計9部材である。

測定部材の形状寸法、および仕上の種類などは、図-2に示す通りである。

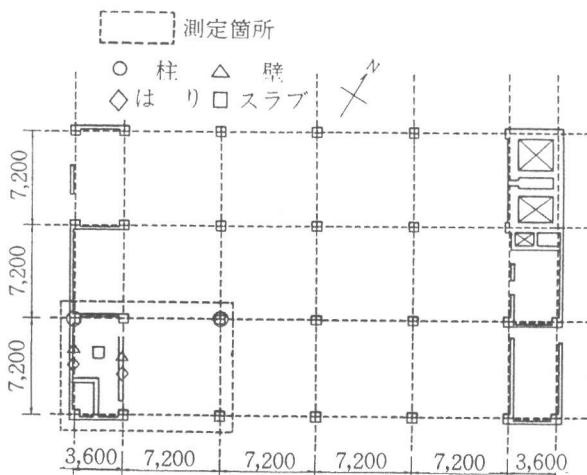


図-1 平面図および測定箇所

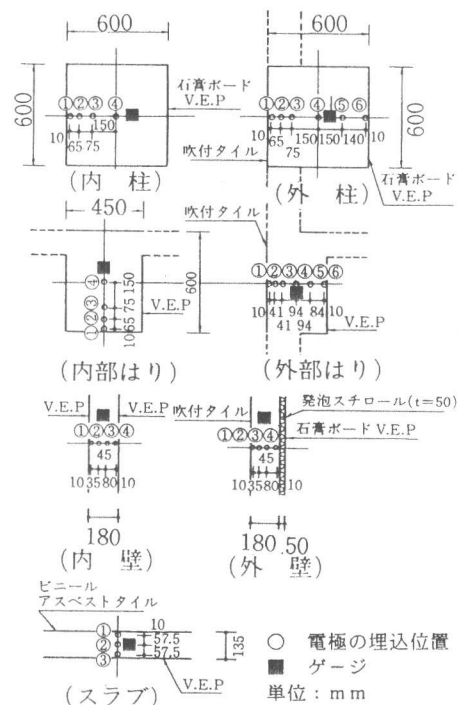


図-2 部材寸法、仕上の種類
および測定位置

*1 ㈱大林組技術研究所 建築第2研究室主任研究員 工博（正会員）
*2 同 建築第2研究室室長 工修（同）

2. 2 測定項目および方法

測定項目および測定方法は以下の通りである。

①含水率：部材断面内の含水率分布の経時変化の測定が可能な電極法³⁾を用いた。

②ひずみ：埋込型ひずみゲージを用いた。

また、含水率およびひずみを算出する際に必要な部材内部の温度は、タイプT熱電対により測定した。各部材内部の測定位置は図-2に併記した通りである。

2. 3 使用材料およびコンクリートの調合

使用材料およびコンクリートの調合は、表-1および表-2に示す通りである。

なお、コンクリートの打ち込みは7～9月の夏期に実施した。

表-1 使用材料

セメント	細骨材			粗骨材			混和剤
	産地	粗粒率	表乾比重	産地	実績率	表乾比重	
普通 ポルト ランド	木更津 秩父 混合	2.65	2.62	秩父 青梅 混合	59.3 %	2.67	A E減水剤 流動化剤

表-2 コンクリートの調合

対象部材	水セメント 比 (%)	細骨材 率 (%)	単位 セメント (kg/m ³)	単位 水量 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	混和剤 (ℓ)	設計基 準強度 (kgf/cm ²)	スラブ (cm)
地中はり	62.0	46.0	310	192	807	967	1.240**	210	18
内柱, 内壁 2F内はり	58.0	45.5	307	178	815	999	1.128** 1.1*	240	12→18
外柱, 外壁 2F外はり スラブ	58.0	46.5	319	185	820	964	1.276** 1.1*	240	12→18
R F はり	60.0	46.5	319	186	823	967	1.240**	240	18

* 流動化剤, ** A E減水剤

3. 測定結果および考察

3. 1 含水率の測定結果

構造体コンクリートの含水率の変化は、施工時期、環境条件、調合、部材寸法、養生方法および仕上方法などの影響を受ける。ここではこれらの要因のうち、部材の種類、仕上方法、環境条件の影響について検討した。

なお、含水率はコンクリート単位体積中の自由水の体積の割合（°/vol）で表した。

(1) 部材断面内の含水率分布

部材内部の含水率分布の経時変化を部材寸法および環境条件の異なる柱、壁、スラブについて

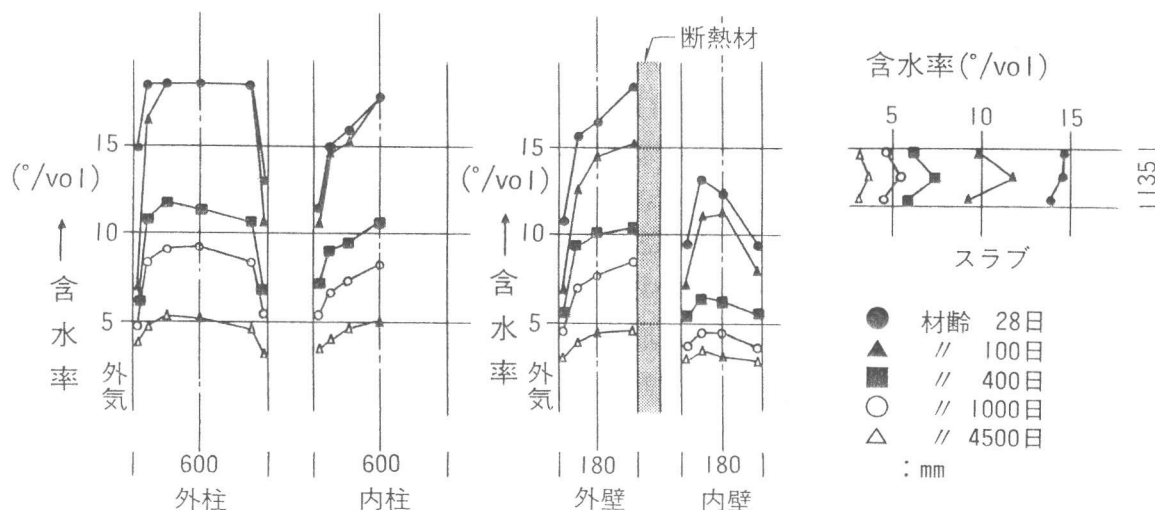


図-3 部材断面内の含水率分布

図-3に示す。これより一般的傾向として部材内部の含水率は、部材により異なるものの材齢の経過とともに低下する。低下の速度は、各部材とも表層部分が大きく、内部ほど小さい。また、部材断面の大きい柱は、壁やスラブのように断面の薄いものに比べ部材内部の含水率の低下は遅い。

各部材とも、内部の含水率が高く表層部が最も低くなり、部材断面が大きいほど、また乾燥開始後、比較的初期の段階において内部と表層部の含水率の差が大きい。材齢1000日で表層部と内部の含水率の差を見ると、外柱では約12 °/vol、内柱で約8 °/vol、外壁で約7 °/vol、内壁で約4 °/vol、スラブで約3 °/volとなっている。このような内部と表層部の含水率の差は材齢の経過と共に小となり、材齢4500日では各部材とも約1 °/vol程度の差となり、断面内はほぼ一様の含水率分布を示している。

一方、外気に接する部材と建物内部に位置する部材とでは、乾燥が継続する建物内部の部材が外気に接する部材よりも乾燥の程度が大きい。柱についてみると、外柱に比較して内柱は同一断面寸法であっても部材内部の含水率の低下が、特に初期の材齢において大きい。壁についてもこの傾向はほぼ同様であるが、外壁では室内側に断熱材として透湿性の低い発泡スチロール（ $t=50\text{ mm}$ ）が設置されているため乾燥が妨げられ、室内側表層部の含水率が常に高含水率を保持している。すなわち、部材の含水率の変化は部材断面の寸法、環境条件のほかに仕上げ材の有無および仕上げ材の種類によって大きな影響を受けることがわかる。しかし、今回の測定対象建物の仕上げは外部が吹きつけタイル、室内側は石膏ボードとV. E. Pによる仕上げであるが、含水率分布の測定結果を比較すると、乾燥を妨げるという面で前述の発泡スチロールほどの効果はなかったものと考えられる。

3. 2 各部材の平均含水率

部材ごとの乾燥の程度を比較するため、各部材断面内の含水率分布を平均して求めた平均含水率の経時変化を図-4に示す。ここで平均含水率は、断面内の各測点と対象となる部分の含水率を等価とみなし、測定値の重みづけをして求めたものである。

これより、材齢28日で比較すると、内壁を除いて各部材とも高含水率状態を保持しており、

部材による差は顕著ではない。しかし、材齢100日を経過した時期より部材間の含水率の差が明らかとなる傾向を示している。

はりに着目すると、地中はり（BF）と屋上はり（RF）の含水率の低下が、一般階のはり（2F内、2F外）に比べて緩慢である。これは、地中はりの場合、温度、湿度の変化が少なく乾燥条件が穏やかなことによると思われる。また、屋上はりでは初期材齢時に外部から雨水などの水分の補給および滞留が容易であったことによると推察される。すなわち、含水率の変化は部材の置かれた環境条件の影響を受け、地中はりや屋上はりでは材齢1000日を経過しても10[°]/vol程度の含水率を維持している。特に地中はりについては材齢4500日を経過しても約9[°]/vol程度の含水率となっており長期的に乾燥が進みにくいことがわかる。内はりについては、材齢300日以降急激に含水率の低下が進んでいるが、スラブや内壁と同様、室内に位置するためまず表面の乾燥が進行し、材齢300日頃から内部にまで乾燥が及ぶことによるものと推察される。柱は、材齢300日頃までは内柱の含水率の低下が外柱よりも大きいですが、以降は内柱と外柱との平均含水率の変化に顕著な差はなく、材齢100日で約11[°]/vol前後、材齢400日で7～8[°]/vol程度となった。

内壁とスラブでは、材齢100日程度までは内壁の含水率の低下がスラブより大きいですが、以降はほぼ類似の傾向を示し、材齢4500日で内壁の含水率が最小値を示した。

外壁は前述したように室内側に設置された断熱材および外気条件の影響を受け内壁より乾燥の進行が遅く、材齢1000日においても約7[°]/vol、材齢4500日においても約5[°]/vol程度の含水率を保持している。

これらのことから、各部材は条件により乾燥過程での差はあるものの長期的にはかなり含水率が低下すると考えることができる。

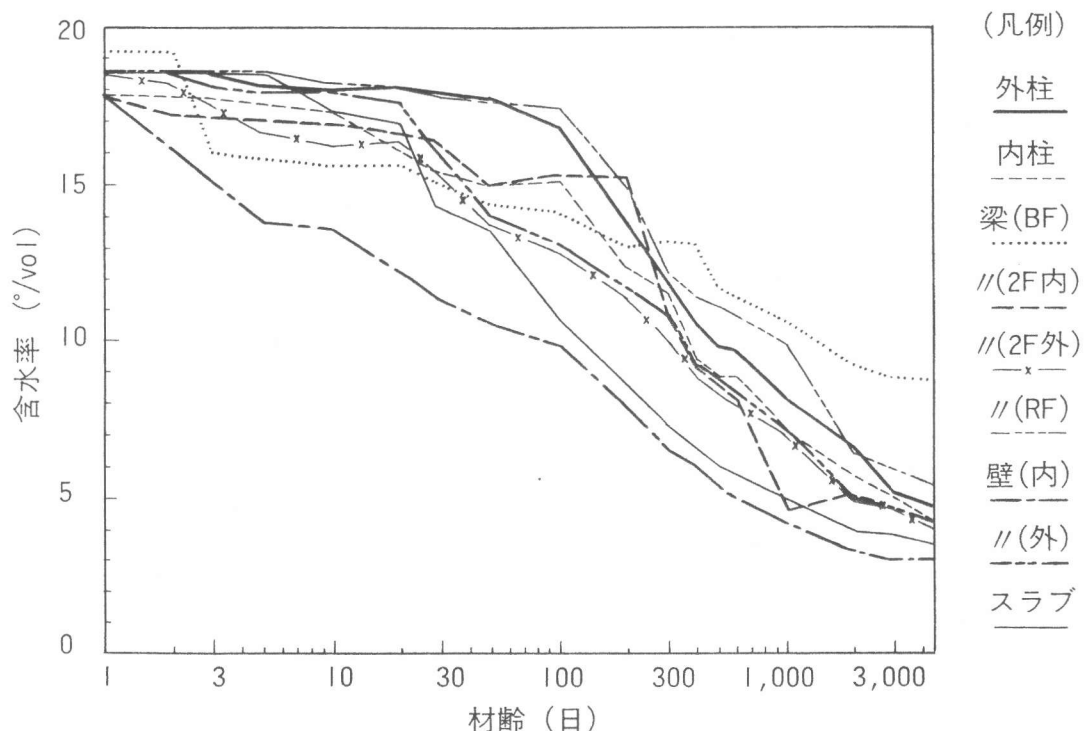


図-4 部材の平均含水率

3. 3 ひずみの測定結果

ひずみの測定結果から、コンクリートの線膨張係数を $1.0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ と仮定し、拘束条件下にある各部材の温度変化による影響を除いたひずみの経時変化を図-5に示す。

図-5の結果は、硬化収縮、クリープ、および応力などによるひずみを包含したものとなり、一義的に含水率の低下に伴う乾燥収縮ひずみと見なすことはできないが、含水率の低下が顕著な部材と含水率の低下が緩慢な部材との間には差異が認められる。すなわち、含水率の低下が顕著な内壁、スラブのひずみは含水率の低下が緩慢な柱、はりに比較して大という傾向が認められ、含水率の影響が大きいことが推察される。また、材齢4500日におけるひずみは埋め込みゲージの長期安定性の問題はあるが、約 $400 \sim 800 \times 10^{-6}$ の範囲となった。

乾燥収縮ひびわれは、スラブ、壁などの薄い部材において通常問題になることが多く、その主要因は部材寸法の大きい部材に拘束され、また乾燥収縮が拘束部材より大となることによる。

一方、乾燥収縮応力を評価するためには実部材の自由収縮ひずみを知る必要があるが、その評価は容易ではないのが現状である。

そこで、乾燥および吸水によるひずみの変化が含水率にのみ依存すると仮定し、前述の平均含水率の変化から含水率の変化に依存する無拘束条件下でのひずみの変化の推定を試みた。まず単位含水率あたりのひずみの変化を、前述の表-2と同調合のコンクリートで作成したテストピース($\Phi 10 \times 20 \text{ cm}$)を用い、十分材齢が経過した後(約300日)人為的に含水率を変化させて、含水率とひずみの変化との関係を求めた(図-6)。

これより約 $5 \sim 12 \text{ }^{\circ}/\text{vol}$ の含水率の範囲で、含水率 $1 \text{ }^{\circ}/\text{vol}$ につき 4.63×10^{-5} のひずみの変化が得られた。この結果を用い前述の実部材の平均含水率の測定結果から、硬化収縮およ

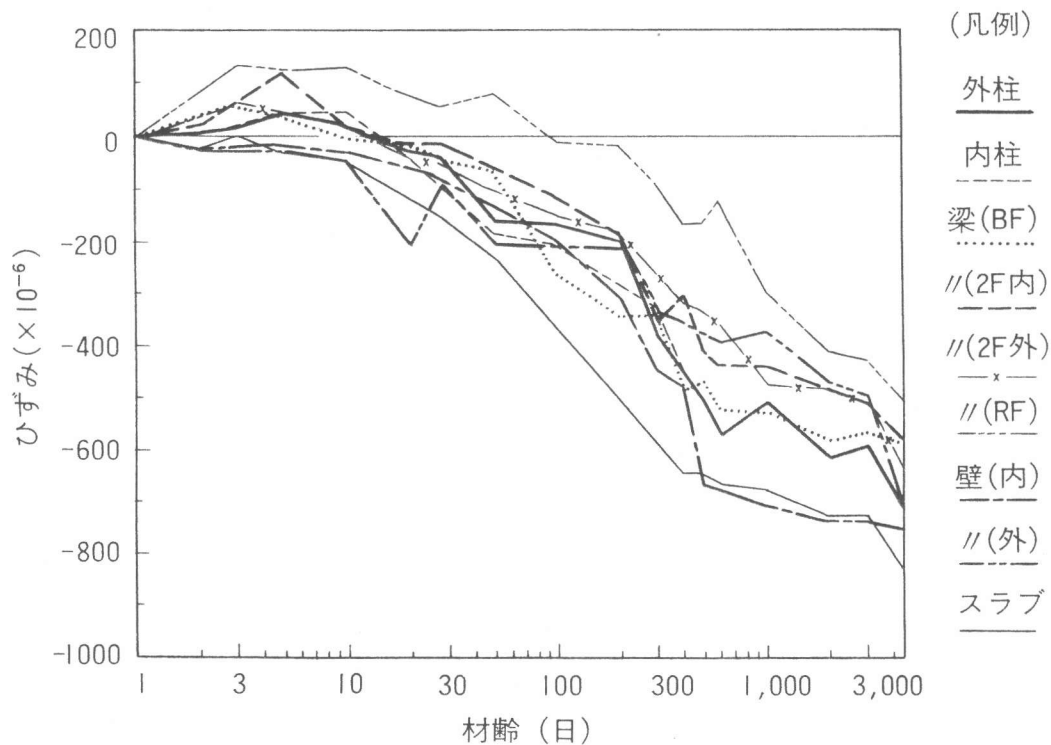


図-5 温度変化の影響を除いたひずみの測定結果

びクリープなどの影響が減ずると思われる、材齢100日～1000日の間で含水率に依存するひずみの変化を推定すると、スラブで約 26×10^{-5} 、外壁で約 27×10^{-5} となった。推定値を図-5の結果と比較すると、スラブはほぼ同様となり、外壁では推定値の方が約35%大となったが温度変化の影響を除いたひずみには含水率の変化が支配的であることがわかる。

すなわち、実部材の含水率の変化を知ることにより無拘束条件下でのひずみの把握がある程度可能と推察される。

4. まとめ

今回の測定結果をまとめると以下の通りとなる。

(1) 部材内部の含水率分布は部材寸法、環境条件、仕上げ材により影響を受け、断面内外の含水率の差は部材寸法が大きいほど、また初期材齢ほど大きい。

(2) 部材の平均含水率は材齢の経過と共に条件によ

り差異があるものの長期的に低下する。また含水率の変化は部材寸法、環境条件、仕上げの種類により影響を受け、部材寸法の小さいもの、また室内に位置する部材ほど含水率の低下が大きい。

(3) 温度変化による影響を除いた部材のひずみは含水率の変化と密接な関係が認められ、乾燥に伴う部材の自由ひずみを評価をする上で含水率が有効な指標になるものと思われる。

今回の測定結果により、実構造体におけるコンクリート部材の含水率およびひずみについて長期的な経時変化の実態を示すことができた。測定方法の長期安定性の課題も残されているが、これらの結果がコンクリート部材の乾燥と強度、弾性係数との関係あるいは乾燥収縮ひびわれを、実構造物との対応で評価する際の資料になるものと考ええる。

(参考文献)

- 1) Walter, H.P.: Factors Influencing Concrete Strength, ACI Journal, (1951.2)
- 2) 杉山: 構造物コンクリートの力学的性状に及ぼす乾燥の影響に関する研究, 北海道大学学位論文, (1980)
- 3) 田畑, 他: 電極法によるコンクリート含水率の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和51.10), pp117-118
- 4) 一瀬, 他: 実構造体における含水率の測定, (社)セメント協会, セメント技術年報 39, 昭和60年, pp257 ~260

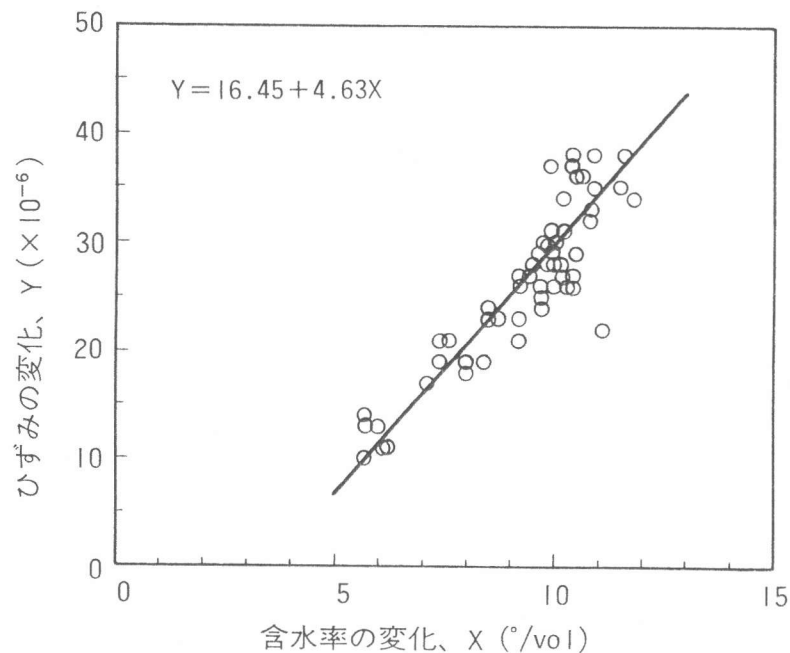


図-6 含水率とひずみとの関係