

構造物軀体コンクリートの強度管理に関する研究 (その9)

——実構造物における含水率の調査結果——

一 瀬 賢 一 長 尾 覚 博
中 根 淳

Strength Control of Concrete in Structures (Part 9)

——Results of Investigations on Moisture Contents in Actual Structures——

Ken-ichi Ichise Kakuhiro Nagao
Sunao Nakane

Abstract

This report is devoted to an explanation of moisture content influencing strength development, modulus of elasticity, and drying shrinkage of concrete in structures. Variations in moisture content in actual structures are investigated. The findings obtained were as follows: (1) As a general tendency, the moisture content in an individual member decreases with age. (2) This tendency is seen from an earlier age the thinner the member, such as a wall or slab. (3) Moisture content varies depending on the type of finish material used. (4) With members of the same kind, moisture content differs according to differences in environmental conditions. (5) Moisture contents of other members can be quantitatively estimated from the average moisture content of concrete members.

概 要

本報は、構造体コンクリートの強度発現、弾性係数および乾燥収縮に影響を与える一要因である含水率に注目し、実構造物における含水率の経時変化を把握すべく調査・検討を行なった。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 一般的傾向として、各部材の含水率は、部材により異なるが材令に伴い概ね低下する。(2) その傾向は、壁、スラブなど薄い部材ほど若材令から始まる。(3) 含水率は、仕上材料の種類により変化する。断熱材を用いた場合、含水率の低下が妨げられる。(4) 同種類の部材でも、与えられた環境条件の違いにより、含水率が異なる。(5) コンクリート各部材の平均含水率を求めることにより、異種部材の含水率を量的に評価できる。

1. はじめに

構造体コンクリートの強度発現、弾性係数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、実構造物の含水率の実態を調査した例はほとんどない。このため、乾燥を伴う実部材の強度、弾性係数を適正に評価し得ないのが現状と考えられる。このような現状に対応するため、本報は、実際に施工された構造体コンクリート各部材の含水率の経時変化を把握すべく、調査、検討した結果を示す。

2. 調査概要

調査対象とした建物は、大林組技術研究所本館（地下

2階、地上3階の鉄筋コンクリート構造）である。この建物は、構造部材の形状寸法、仕上方法および使用状態など、一般的事務所建築とみなせる。図-1にその平面図および測定対象の部材箇所を示す。測定した部材は、はり（地中、1F外、2F内、2F外、屋上、ペントハウス）、柱（外柱、内柱）、壁（外壁、内壁）、スラブの4種類、11部材である。含水率の測定方法は、部材内部の含水分布状態を経時的に測定できる電極法を選んだ³⁾。これは、現在考えられる最適の方法であろう。電極の形状、寸法および仕様などは、大林組技術研究所報 No. 18 (1979)、No. 21 (1980) および No. 26 (1983) で使用したものと同様であるため説明を省略する。

測定部材の種類、形状寸法、含水率測定位置および仕上の種類などは、図-2に示す通りである。

コンクリートの打設は、7～9月の夏期に実施された。
コンクリートの使用材料、調合は、それぞれ表-1、2

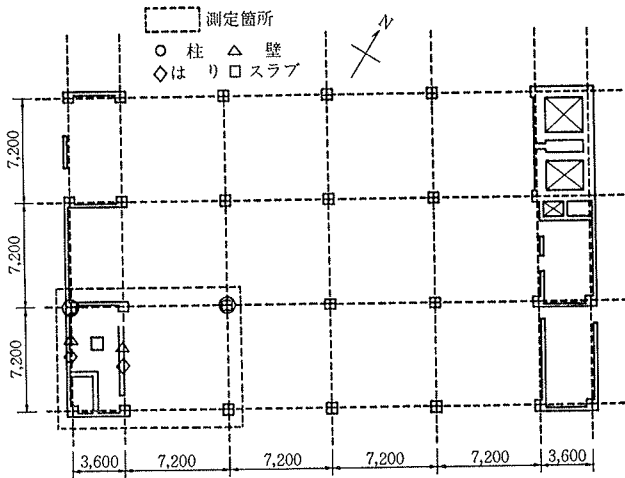


図-1 平面図および測定部材箇所

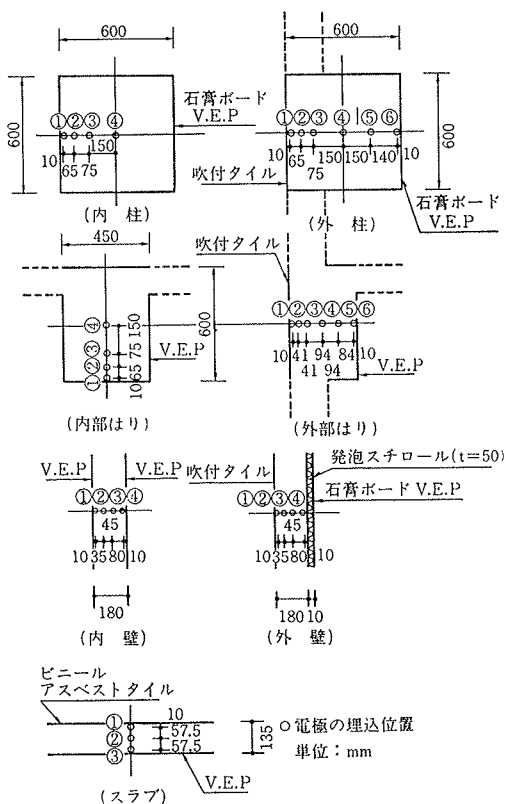


図-2 部材寸法、測定位置および仕上の種類

セメント	細骨材		粗骨材		混和剤
	産地	粗粒率	産地	実績率	
普通ポルトランド	木更津秩父混合	2.65	秩父青梅混合	59.3%	AE減水剤 流動化剤
		2.62		2.67	

表-1 使用材料

対象部材	W/C (%)	S/A (%)	C (kg/m³)	W (kg/m³)	S (kg/m³)	G (kg/m³)	混和剤 (ℓ)	F (kg/cm³)	SL (cm)
地中はり	62.0	46.0	310	192	807	967	1.240**	210	18
内柱, 1F外はり 内壁, 2F内はり	58.0	45.5	307	178	815	999	1.128** 1.1*	240	12→18
外柱, 2F外はり 外壁, 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
R H はり	60.0	46.5	310	186	823	967	1.240**	240	18

注) C: 単位セメント, W: 単位水量, S: 細骨材, G: 粗骨材, F: 呼び強度, SL: スラブ
*: 流動化剤 **: AE減水剤

表-2 コンクリートの調合

対象部材	スラブ (cm)	フロー (cm×cm)	空気量 (%)	単位容積重量 (kg/ℓ)	θ (°C)
地中はり	19.5	30×32	3.8	-	27.0
内柱, 1F外はり	21.7	35×35	3.2	2.48	29.5
内壁, 2F内はり	19.0	32×32	3.4	2.45	30.0
外柱, 2F内はり 外壁, スラブ	18.5	31×28	3.8	2.46	27.0
R F はり	19.3	34×35	4.8	2.28	27.5
P H はり	18.5	29×28	4.2	-	23.0

表-3 打込み時のコンクリート試験結果

に示す通りである。打込み時のコンクリートの試験結果を表-3に示す。含水率の測定は、打設直後から材令約2.5年まで継続した。

3. 測定結果および考察

実構造体におけるコンクリートの含水率は、施工時期、環境条件、調合、部材寸法、部材の種類、位置、養生方法および仕上材料などの影響を受けると推察される。今回の測定では、上記要因のうち、部材の種類、部材断面内の測定位置、仕上材料、環境条件の違いについて比較、検討を行なった。なお、含水率は、コンクリート単位容積中の自由水の体積の割合 (°/vol) で表した。

3.1. 一般的傾向

部材内部含水率の測定結果の代表例として、地中はり、内柱、外壁、スラブについて図-3～6に示す。

表-4に主な材令における各部材断面内の含水率の測定結果を示す。

これらの結果から部材内部の含水率は、部材により異なるものの材令に伴い概ね低下する。低下の程度は、各部材とも表層部分は大きく、内部ほど小さい。また、柱やはりなど部材断面の厚いものは、壁やスラブのように薄いものに比べ含水率の低下は遅くまた小さい。

図-3～6において部分的に含水率が急激に増減している部分がある。これは、測定日またはその前日の天候(例えば雨、風)外気温、室温、湿度の変動または、含水率推定の際作成した校正曲線からの読み取り誤差などの影響によるものと推察される。

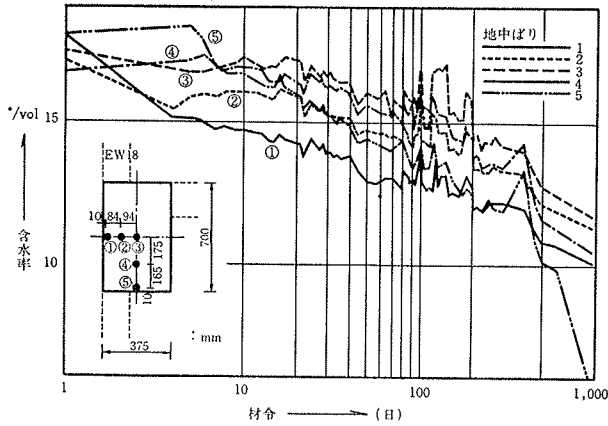


図-3 含水率の経時変化 (地中ばり)

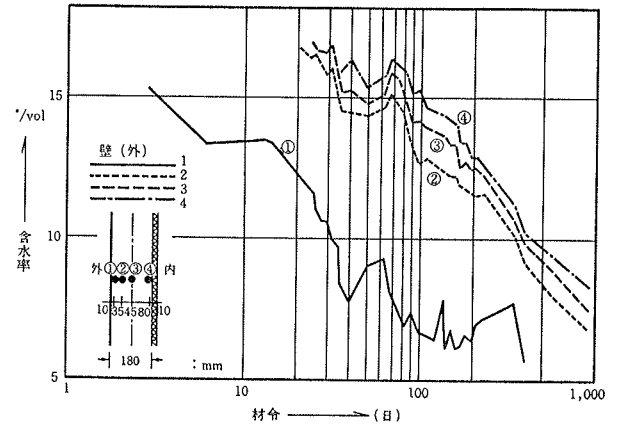


図-5 含水率の経時変化 (外壁)

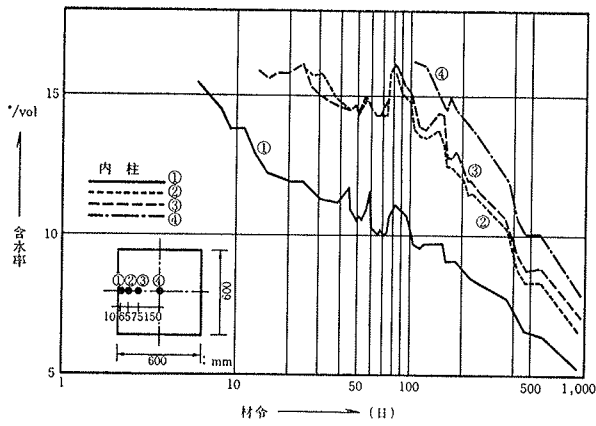


図-4 含水率の経時変化 (内柱)

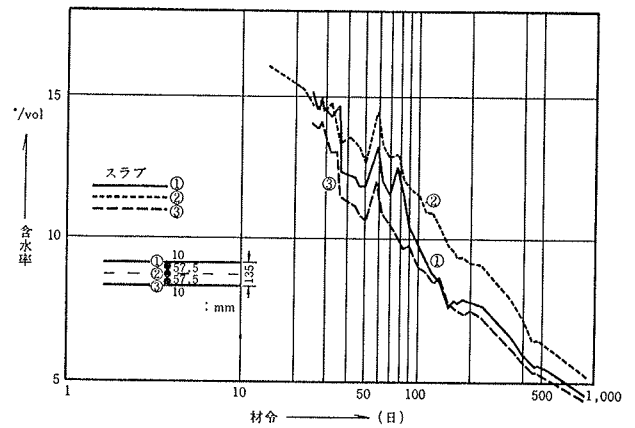


図-6 含水率の経時変化 (スラブ)

(単位 %vol)

部位	材令	28日	91日	1年	2.5年
はり (地中)	①	14.3	12.8	12.0	10.2
	③	17.2	15.7	14.0	11.8
はり (1 F)	①	10.6	8.3	7.5	6.5
	③	13.2	13.0	9.4	6.9
	⑤	8.5	7.1	6.1	4.2
はり (2F外)	①	10.1	7.2	7.0	4.9
	④	16.6	16.1	11.0	8.0
	⑥	11.2	8.6	6.1	5.0
はり (2F内)	①	14.0	14.0	9.7	6.7
はり (屋上)	①	16.0	12.6	10.2	8.0
	④	-	-	13.7	11.2
	⑥	13.4	11.0	7.5	7.4
はり (P H)	①	16.0	14.9	10.8	9.2
	③	16.1	10.5	8.4	7.4
	⑤	16.4	15.2	10.5	9.6
外 柱	①	12.2	7.2	6.9	5.0
	④	-	-	12.2	9.1
	⑥	13.1	10.8	7.6	5.4
内 柱	①	11.5	10.8	7.8	5.3
	④	-	-	12.1	8.2
外 壁	①	10.6	7.2	6.6	4.5
	③	16.5	14.1	10.2	7.6
	④	-	15.1	10.8	8.4
内 壁	③	13.8	10.9	6.7	4.4
	④	9.5	7.7	5.9	3.6
	①	14.8	10.3	6.3	4.6
ス ラ ブ	①	14.8	10.3	6.3	4.6
	②	15.0	11.8	7.6	5.3

表-4 主な材令における各部材の含水率(%vol)

3.2. 部材断面内の含水率分布の比較

図-3, 4 および表-4 から, 部材の厚いはりや柱は, 中心部の含水率が最も高く, 表層部が最も低くなり最高 5~7%/vol の差を生じている。また, 材令28日程度では, 部材のごく表層部のみ乾燥が進んでおり, 内部は, 飽水状態に近いことがわかる。しかし, 材令13週を過ぎた頃から内部も乾燥が始まり, 13週以降においては, 表層よりむしろ内部のほうの乾燥がわずかながら速くなり表層部と内部の含水率の差は小さくなっていく。

一方, 部材の薄い内壁やスラブでは, 材令28日以前においても乾燥が進行する。また部材の表層部と内部の含水率は, 大きな差を生ずることなく一様に乾燥が進んだ。

3.3. 仕上材料の影響

外壁の場合, 図-5 で示すように部材が薄いにもかかわらず内部の乾燥が緩やかで, 含水率は外側が最も低くなり, 室内側が最も高い。材令13週においてその差は, 7.9%/vol に達した。これは, 室内側に設置した厚さ 50 mm の発泡スチロールが乾燥の進行を妨げたものと考えられる。奇しくも断熱材側の含水状態が外柱の中心部のそれと似かよったのは興味深く, 含水率の変化に断熱材が大きく影響をおよぼすものと考えられる。

3.4. 環境条件の影響

含水率におよぼす環境条件の影響は、環境条件の異なる同一部材の含水率の低下から検討される。

はりに注目すると地中ばりや屋上ばりの乾燥が、他のはりに比べて緩慢である。これは、地中ばりの場合、周囲が土に覆われているため温度、湿度の変化が少なく乾燥条件が穏やかなことによる。屋上ばりの場合は、外部から水分の補給が容易なことによると推察できる。

柱については内柱、外柱の差は特にない。

内壁およびスラブなど室内に位置する部材は、長期的にかなり含水率の低下を生じており、材令2.5年において約5°/vol以下まで低下し、コンクリート単位水量の約30%以下となる。

3.5. 各部材の平均含水率による比較

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一7に示す。ここで言う平均含水率とは、各測点とその近傍および断面内で各測点と対称となる部分の含水率を等価とみなし、その断面内で平均して求めたもので、各部材全体として持っている概略の含水率をつかむことができ、これにより、各部材間の乾燥過程の相違が量的に比較できる。

材令4週で比較すると、内壁を除いて各部材とも14~18°/vol内に納まり、部材による差は、特にない。しかし、材令13週を過ぎた頃から部材間の差がきらかとなる。

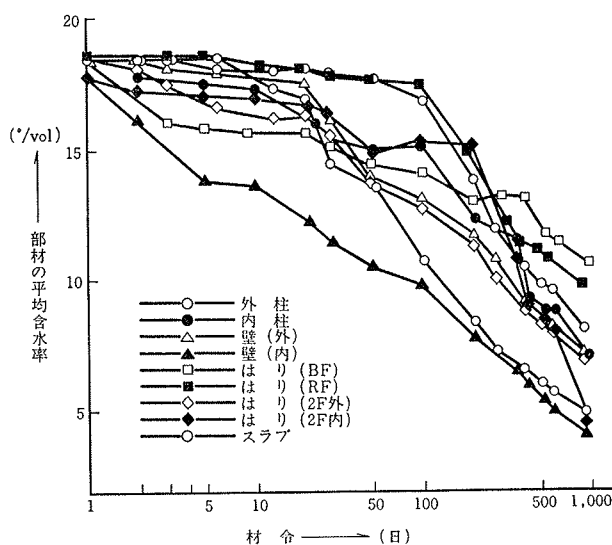
はりは、3.4.で示したように部材の置かれた環境の影響を受け、地中ばりや屋上ばりは、材令2.5年経過しても10°/vol程度の含水率を維持している。内ばりについては、材令1年で急激に乾燥が進んでいる。これは、スラブや内壁と同様、室内に位置するため、まず表面の乾燥が進み、材令1年頃から内部の乾燥が進行したものと推察される。

柱は、内柱と外柱の差はなく、材令1年で11°/vol前後、材令2.5年で7~8°/volである。

内壁とスラブは、材令13週までは異なる乾燥を示すが、それ以降は同じように乾燥が進む。外壁は、3.3.で示したように断熱材の影響を受け、内壁のように乾燥が進まず、材令2.5年においても約7°/volの含水率を維持している。

平均含水率の比較から、材令1年において、はりや柱など比較的部材の厚いものは、約10.5~11.5°/vol(コンクリート単位水量の55~65%)、内壁やスラブなど部材の薄いものは、約6.5°/vol(コンクリート単位水量の35%前後)まで含水率が低下すると推察できる。したがって、今回の測定では、各部材の強度、弾性係数の測定などができないため断定はできないものの内壁やスラブな

どの薄い部材は、乾燥による強度発現の停滞、弾性係数の低下などが推察される。



図一7 各部材の平均含水率

4. まとめ

今回の調査により次のことがわかった。

- (1) はりや柱など部材の厚いものは、乾燥の進行が遅く、材令28日を過ぎても乾燥は表層部分に限られ内部は飽水状態である。
 - (2) 内壁やスラブなど部材の薄いものは、乾燥が材令28日以前から始まり、断面内が一樣に乾燥し断面内の含水率分布の差も小さい。
 - (3) 仕上材料として断熱材を用いた場合、含水率分布が大きく変わり、乾燥の進行が妨げられる。
 - (4) 室内に位置する部材は、外部に位置する部材よりも乾燥の進行が早い。
 - (5) 平均含水率を求めることにより、各部材の含水率を概ね、量的に比較することができる。
- 以上、実構造体におけるコンクリート部材の含水率について長期的な経時変化を示した。これらの結果が、コンクリートの乾燥と強度、弾性係数との関係を実構造体との対応で評価する際の有効な一資料となろう。

参考文献

- 1) Walter, H. P.: Fractors Influencing Concrete Strength, A.C.I. 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), pp. 117~118