

論文 高強度コンクリート内部の水分移動性状

福安 直幸*1・山田 和夫*2

要旨：本研究では、高強度コンクリートの収縮および強度発現状況と含水状態との関係について実験的に検討した。その結果、コンクリート内部の含水量は、一般的に試験体表面に近づくにつれて低下するが、乾燥速度は高強度コンクリートほど小さいこと、高強度コンクリートの場合には、乾燥収縮よりも自己収縮の影響の方が卓越しているため、含水量と収縮ひずみとの関係は明確ではないこと、高強度コンクリートのコア強度は普通コンクリートよりもコア採取位置の影響を受け難いこと、などが明らかとなった。

キーワード：高強度コンクリート、水分移動、電気抵抗、含水量、収縮、コア強度

1. はじめに

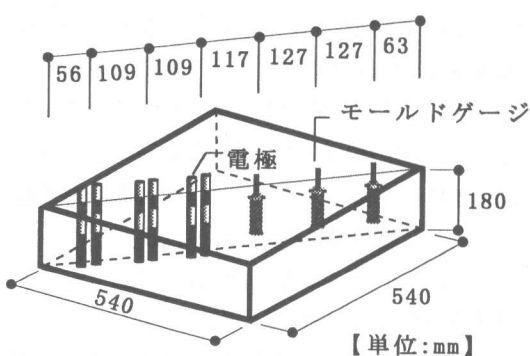
筆者らは、別報^{1),2)}において、コンクリートの乾燥・自己収縮機構およびこれらに起因したひび割れの発生・進展機構をコンクリート内部の水分移動の観点から明らかにすることを目的として、普通および鋼繊維補強コンクリートの水分移動現象を試験体内部に埋め込んだ電極の電気抵抗値と含水量との関係に着目して実験的に追跡するとともに、解析的な観点からも検討を行い、それらの結果について報告した。

本研究では、引き続き高強度コンクリートを対象として4面乾燥状態にあるコンクリートの収縮および強度発現状況と含水状態との関係について一連の検討を行った。

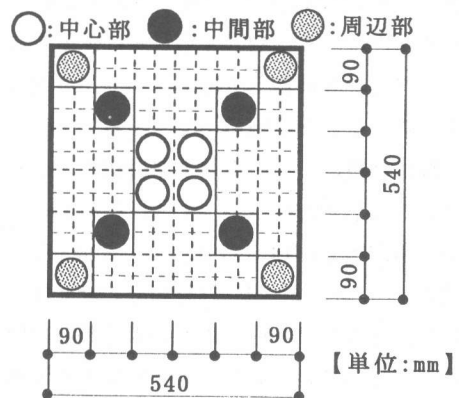
2. 実験方法

2.1 実験の概要

本研究では、図-1に示すような4面乾燥状態にある540×540×180mm平板試験体を用いて、高強度および普通コンクリート（水セメント比



(a) 4面乾燥状態試験体



(b) コア試験体採取位置

図-1 試験体の形状・寸法および測定位置

*1 愛知工業大学大学院 工学研究科建設システム工学専攻（正会員）

*2 愛知工業大学教授 工学部建築学科 工博（正会員）

表-1 コンクリートの調合表

W/C (%)	標準調合 (kg/m ³)					スランブ (cm)	空気量 (%)
	水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤		
30	161	536	550	1067	4.02	18	4.5
60	169	281	845	955	0.56	18	4.5

(W/C)をそれぞれ30%および60%とした)内部の水分移動, 乾燥・自己収縮および強度発現状況の追跡実験を実施した。

2.2 試験体の製作および養生方法

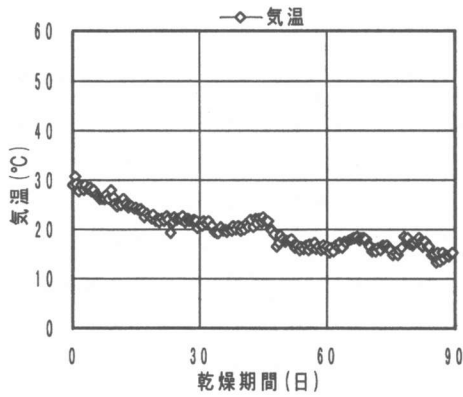
本実験では, 使用材料として普通ポルトランドセメント, 猿投産の山砂(最大寸法=5mm, 表乾比重=2.56), 猿投産の山砂利(最大寸法=25mm, 表乾比重=2.61), AE減水剤(W/C=60%の場合)および高性能AE減水剤(W/C=30%の場合)を使用した。コンクリートは, いずれもレディーミクストコンクリートとし, 調合は, W/C=30および60%ともスランブが18cm, 空気量が4.5%となるように設定して決定した。本実験で用いたコンクリートの調合表を表-1に示す。平板試験体の打設は, 前掲の図-1(a)の上面側から連続的に行い, 打設中に棒状バイブレータを用いて十分に締固めを行った。試験体は, 打設後1日目に脱型した後に試験体上下面を弾性エポキシ樹脂と塩ビ板によってコーティングし, 試験体上下面から水分が蒸発しないようにして以後実験室内で空中養生を行った。試験体個数は, 高強度および普通コンクリートに対して各4個とした。また, 圧縮および割裂引張強度の管理用として, φ100×200mm円柱試験体を各3個一組として4材齢分の計48個, 電気抵抗値とコンクリート内部の水分量との関係を求めるために, コンクリート内部の水分量を100, 80, 60, 40, 20および0%の6種類に設定した電極埋設のφ75×150mm円柱試験体も同時に製作した。なお, φ75×150mm円柱試験体は, 脱型後約1ヶ月間標準水中養生を行った後に内部水分量が所定量になるまで乾燥し, その後直ちに内径84mmの塩ビ製円筒容器で密封し

て水分が変動しないようにし, 以後温度21±3°Cの養生室内で空中養生を行った。

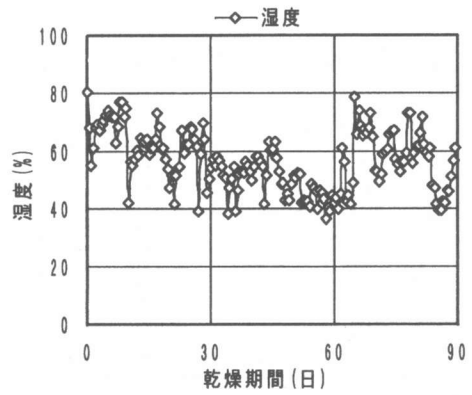
2.3 測定項目および測定方法

(1) 水分移動および収縮ひずみの測定: コンクリート内部の水分量^{3), 4)}を測定するために, 電気抵抗測定用のステンレス製電極(直径=3mm, 測定長=20mmおよび測定間隔=20mm)を前掲の図-1に示す540×540×180mm平板試験体内部の所定位置およびφ75×150mm円柱試験体内部中央にセットしてコンクリートの打設を行った。結果の整理に際しては, 電気抵抗値に及ぼす電極の表面積(A)および測定間隔(L)の影響を除去するためにLCRメータを用いて測定された電気抵抗値(R)を比抵抗値($\rho=R \cdot A/L$)に変換した後, 後述の含水量と比抵抗値との関係式を用いてコンクリート内部の水分量を算定した。また, 前掲の図-1に示す所定の位置に埋め込んだ測定長が100mmのモールドゲージ(熱電対内蔵型)を用いてコンクリート内部の収縮ひずみを測定するとともに, 各測定位置にコンクリートの内部温度測定用の熱電対を設置して試験体内部の温度管理も同時に行った。電気抵抗値を除くデータは, いずれも静ひずみ計と自記記録装置を用いて自動計測した。

(2) コンクリート強度の測定: コンクリート内部の強度発現状況を調べるために, 前掲の図-1に示す位置からφ80×160mmのコアを各12個採取し, コンクリート内部の圧縮強度を測定した。なお, コア試験体の強度試験は, コア採取および試験体成形時に水の使用によって試験体が湿潤状態となったため, 試験体成形後約48時間養生室内で空中養生を行った後に実施した。また, 強度管理用のφ100×200mm円柱試験体を

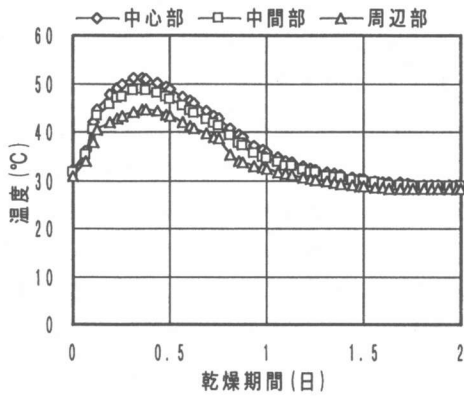


(a) 気温の経時変化

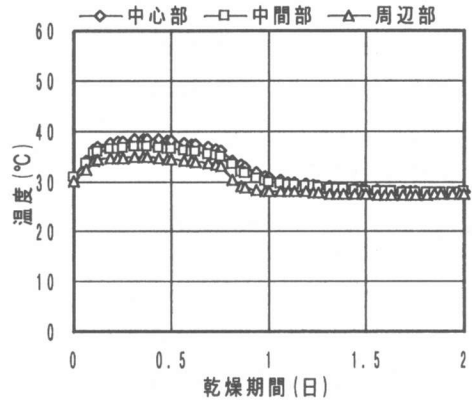


(b) 湿度の経時変化

図-2 気温および湿度の経時変化



(a) W/C=30%のコンクリート



(b) W/C=60%のコンクリート

図-3 平板試験体の内部温度の経時変化

1用いて圧縮および割裂引張強度の測定も同時に行った。試験材齢は1および3ヶ月の2種類(材齢6および12ヶ月は継続中)とした。

3. 実験結果とその考察

図-2は、コンクリート打設時から材齢90日までの期間における試験体養生室内の気温および湿度の経時変化を示したもので、この間の気温および湿度の範囲は、それぞれ14~31°Cおよび37~82%であった。また、図-3は、平板試験体の内部温度の経時変化を示したものであるが、打込み直後における平板試験体内部の温度上昇は、水セメント比が小さいほど、かつ試験体の中央に近いほど著しくなっているのがわかる。例えば、W/C=30%の高強度およびW/C=60

%の普通コンクリートの最高内部温度は、いずれのコンクリートも試験体中央部で観察され、それぞれ50°Cおよび38°Cであった。

3.1 コンクリート内部の水分量と電気抵抗値との関係

図-4は、コンクリート内部の水分量を変化させたφ75×150mm円柱試験体によって得られた含水量(W)と比抵抗値(ρ)との関係をコンクリートの種類別に示したものである。この図によれば、含水量が100%の場合にはコンクリートの種類にかかわらず同程度の比抵抗値を示しているが、含水量が80%よりも小さい範囲になると同一含水量時の比抵抗値は、W/C=60%のコンクリートよりもW/C=30%のコンクリートの方が大きな値となっている。本実験の範囲

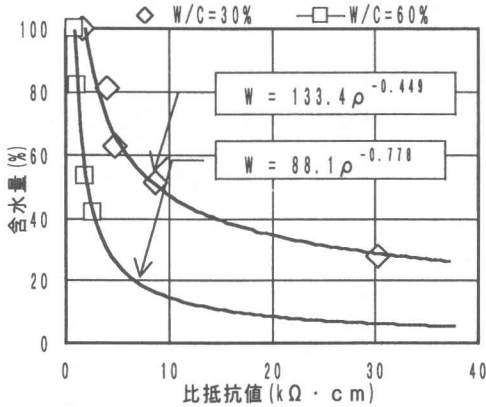


図-4 含水量と比抵抗値との関係

においては、含水量(W)と比抵抗値(ρ)との関係に関する以下のような実験式が得られた。

①高強度コンクリート (W/C=30%) :

$$W = 133.4 \rho^{-0.449} (\%) \quad (1)$$

②普通コンクリート (W/C=60%) :

$$W = 88.1 \rho^{-0.778} (\%) \quad (2)$$

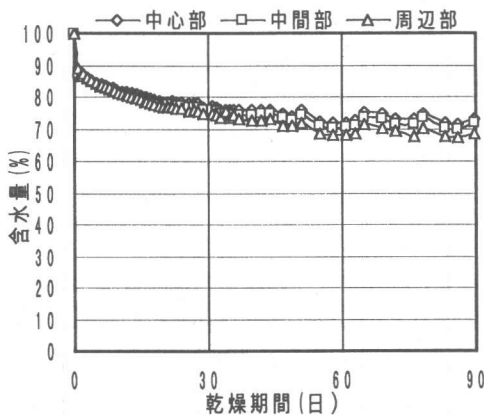
3.2 コンクリート内部の水分移動

図-5 (a)および(b)は、それぞれ高強度 (W/C=30%) および普通 (W/C=60%) コンクリート内部の含水量の経時変化を測定部位別に示したものである。これらの図によれば、コンクリート内部の含水量は、水セメント比にかかわらず試験体表面に近づくにつれて徐々に小さくなっていく傾向を示している。ただし、試験体の乾燥速度は、W/C=30%の場合よりもW/C=

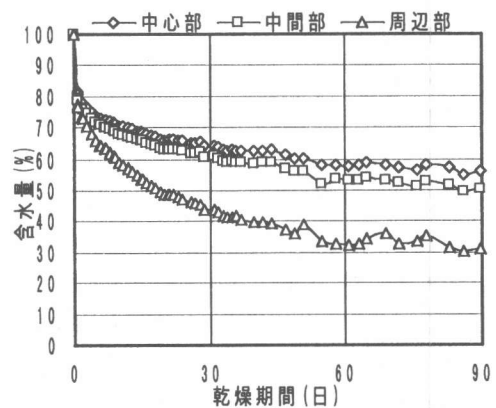
60%のコンクリートの方が著しくなっているのがわかる。例えば、材齢85日における試験体表面近傍の水分量は、W/C=30%の場合が約68%であるのに対して、W/C=60%の場合が約31%となっている。特に、W/C=60%のコンクリートの場合には、試験体表面のごく近傍の範囲になると含水量が著しく低下しており、試験体表面の乾燥による水分の蒸発の影響が表面近傍に集中している様子も読み取れる。

3.3 コンクリート内部の乾燥・自己収縮

図-6 (a)および(b)は、それぞれ高強度 (W/C=30%) および普通 (W/C=60%) コンクリート内部の収縮ひずみの経時変化を測定部位別に示したものである。これらの図によれば、W/C=60%のコンクリートの場合には、コンクリート内部の収縮ひずみの経時変化は、前掲の図-5に示した含水量の経時変化と密接に関連していることがわかる。すなわち、コンクリート内部の収縮ひずみは、その位置の含水量に応じて変化し、一般的に試験体表面に近いほど大きくなっている。しかし、W/C=30%のコンクリートの場合には、乾燥収縮よりも自己収縮の影響の方が卓越しており、含水量と収縮ひずみとの関係は明確には認められない。例えば、材齢85日における試験体表面近傍の収縮ひずみ量は、W/C=60%の場合が約400 μ であるのに対して、W/C=30%の場合が約500 μ であり、含水量



(a) W/C=30%のコンクリート



(b) W/C=60%のコンクリート

図-5 コンクリート内部の含水量の経時変化

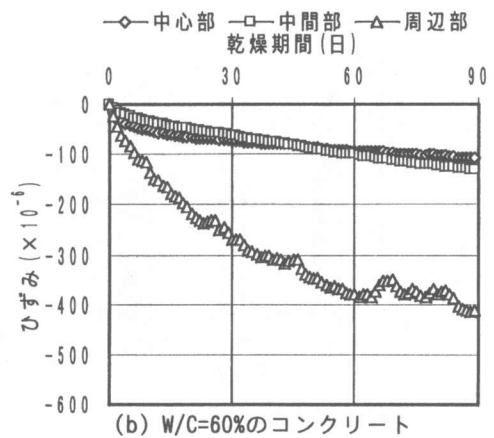
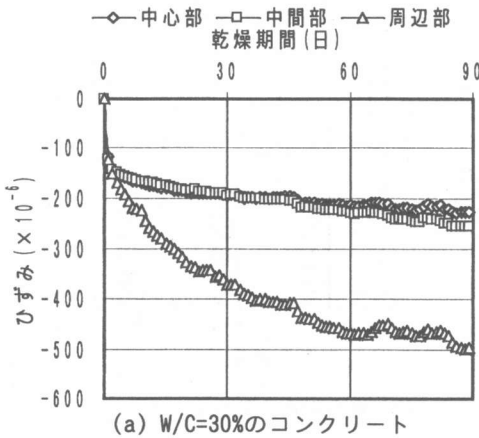


図-6 コンクリート内部の乾燥・自己収縮の経時変化

の低下の小さい高強度コンクリートの方が収縮ひずみ量が大きくなっている。

3.4 コンクリート内部の強度特性

表-2 および表-3 は、それぞれ強度管理用試験体およびコア試験体によって得られた比重および強度試験結果を一覧表にして示したものである。これらのうち、表-3によれば、コア試験体の比重の測定結果は、一般的にコア採取位置が試験体表面に近いほど低下する傾向を示すが、W/C=30%の高強度コンクリートよりもW/C=60%の普通コンクリートの方が比重に及ぼすコア採取位置の影響が顕著となっている。これらの傾向は、前述した高強度および普通コンクリート内部の含水量と測定位置との関係とも合致している。また、図-7(a)および(b)

は、それぞれ表-3(a)および(b)に示されているW/C=30%およびW/C=60%のコア試験体による強度試験結果をコア採取位置別および試験材齢別に示したものである。これらの図によれば、W/C=30%の場合には、前掲の図-5(a)に示したように、試験材齢の経過に伴う含水量の低下がW/C=60%の場合と比較して小さく、かつ試験体中央部と表面部とで含水量が殆ど相違していないため、コア強度は、試験材齢の経過とともに安定して増大し、また一般的にコア採取位置が試験体表面に近いほど大きくなる傾向を示している。一方、W/C=60%の場合には試験体の乾燥が著しく、セメントの水和反応に必要な水分が不足するためか、試験材齢の経過に伴う強度増大はそれほど認められず、特にコ

表-2 強度管理用試験体による強度試験結果

(a)W/C=30%のコンクリート

材 齢	圧縮強度 (N/mm ²)	比重	引張強度 (N/mm ²)	比重
1ヶ月	50.1	2.20	3.54	2.21
3ヶ月	54.8	2.29	3.95	2.29

(b)W/C=60%のコンクリート

材 齢	圧縮強度 (N/mm ²)	比重	引張強度 (N/mm ²)	比重
1ヶ月	17.4	2.21	1.88	2.17
3ヶ月	17.8	2.16	1.75	2.16

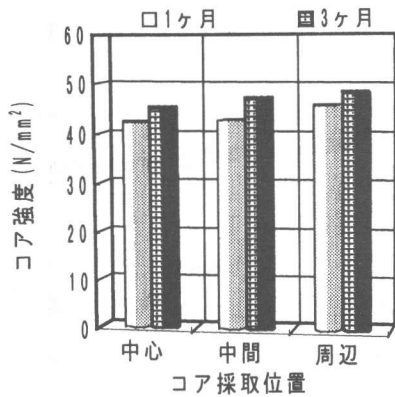
表-3 コア試験体による強度試験結果

(a)W/C=30%コンクリート

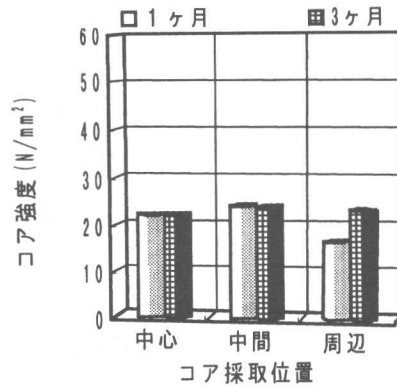
材 齢	項 目	中心部	中間部	周辺部
1ヶ月	強度(N/mm ²)	42.3	42.7	45.8
	比 重	2.32	2.30	2.31
3ヶ月	強度(N/mm ²)	45.3	47.1	48.3
	比 重	2.34	2.34	2.33

(b)W/C=60%コンクリート

材 齢	項 目	中心部	中間部	周辺部
1ヶ月	強度(N/mm ²)	22.1	24.1	16.6
	比 重	2.26	2.23	2.21
3ヶ月	強度(N/mm ²)	22.2	24.0	22.3
	比 重	2.23	2.23	2.19



(a) W/C=30%のコンクリート



(b) W/C=60%のコンクリート

図-7 コンクリート内部の強度分布

ア採取位置が含水量の低下の著しい試験体表面では、コア強度も低下する結果を示している。

4. 結論

本研究では、高強度コンクリートを対象としてコンクリートの収縮および強度発現状況と含水状態との関係について実験的に検討した。本研究によって得られた結果を要約すると、およそ次のようになる。

- 1) 同一含水量時の比抵抗値は、含水量が100%の場合にはコンクリートの種類にかかわらず同程度の値を示すが、含水量が80%以下の範囲になると、普通コンクリートよりも高強度コンクリートの方が大きな値を示す。
- 2) コンクリート内部の含水量は、試験体表面に近づくにつれて減少するが、特に試験体表面の極近傍における含水量の低下が著しい。ただし、試験体の乾燥速度は、W/C=30%の場合よりもW/C=60%のコンクリートの方が大きい。
- 3) 普通コンクリートの場合、コンクリート内部の収縮の経時変化は、含水量の経時変化と密接に関係しており、収縮ひずみは、一般的に含水量の減少に伴って増大する。ただし、高強度コンクリートの場合には、含水量と収縮ひずみとの関係は明確ではない。

- 4) 高強度コンクリートの場合、コア強度は、試験材齢の経過とともに安定して増大するが、普通コンクリートの場合には、水和に必要な水分が不足するためか、材齢に伴う強度増大はそれほど認められない。また、普通コンクリートの場合、試験体表面に近い箇所から採取したものの強度は小さくなるが、高強度コンクリートの場合には、コア採取位置の影響を殆ど受けない。

謝辞

実験およびデータ整理に際してご助力を得た愛知工業大学学部学生の服部洋平君に対して謝意を表します。

参考文献

- 1) 小林 健, 山田和夫, 山本俊彦: コンクリート内部の水分移動に起因した乾燥収縮および強度発現に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 第17巻, 第1号, pp.633-638, 1995.6
- 2) 山田和夫, 小林 健, 山本俊彦: 4面乾燥状態にあるコンクリートの水分移動性状に関する基礎的研究, セメント・コンクリート論文集, No.50, pp.466-471, 1996.12
- 3) 桂 修, 吉野利幸, 田畑雅幸, 鎌田英治: 交流2電極法によるコンクリート中の含水率測定についての理論的検証, コンクリート工学年次論文報告集, 第16巻, 第1号, pp.735-740, 1994.6
- 4) 小野博宣, 加藤 聡, 大岸佐吉: コンクリートの含水率測定における電気抵抗法の適用性, セメント・コンクリート論文集, No.48, pp.238-243, 1994.12