

論文 吸水試験方法による表層部コンクリートの品質評価に関する研究

白川 敏夫*¹・花井 伸明*¹

要旨：本研究は、既往の研究を参考に、新たに吸水試験装置を作製し、吸水試験により、表層部コンクリートの緻密性を評価する方法を実験により検討した。コンクリートの配(調)合、乾燥期間を種々変えて実験検討を行った結果、以下のことが明らかとなった。水セメント比 45%から 65%の本配(調)合の範囲内において、全吸水量と水セメント比の関係、吸水深さと水セメント比の関係は、ほぼ比例関係にあり、吸水試験により、表層部コンクリートの緻密性を評価出来る可能性が明らかとなった。また、吸水深さは、吸水時間を 10 分間とした乾燥期間 3 日から 28 日までの間では、3mm から 5mm 程度であった。

キーワード：吸水試験、かぶりコンクリート、耐久性、非破壊試験、乾燥状態

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の劣化は、外部環境から、鉄筋コンクリート中への有害物質の進入により進行する。例えば、鉄筋コンクリート構造物の塩害は、コンクリート中への塩分の拡散により進行する。また、コンクリートの中性化は、大気中の炭酸ガスがコンクリート中へ拡散し、コンクリート中のセメント水和物と反応することにより進行する。筆者らは、コンクリートの気体拡散性状について、種々明らかにしてきたり。

これら有害物質の進入は、コンクリート表層部より進入することから、表層部コンクリートの緻密性の評価は、重要なこととなる。

そこで、非破壊試験により、実構造物の表層部のコンクリートの気体や水の物質移動抵抗性を測定し、コンクリートの耐久性を評価しようとする研究が種々行われている。

コンクリートの透気性に基づく方法は、ドリル削孔法²⁾、シングルチャンバー法³⁾、ダブルチャンバー法⁴⁾などがある。一方、透水試験や吸水試験に基づく方法は、簡易透水試験や、表面吸水試験方法などがある。

林ら⁵⁾は、吸水試験装置を実構造物にも取り付け可能なように加工し、吸水試験により、実構造物の表層部コンクリートの評価を行っている。

以上のようなことを背景に、本研究では、吸水試験により表層部コンクリートの緻密性を評価する方法について検討を行うこととした。

本研究ではまず、既往の研究を参考に、新たに吸水試験装置を考案した。この試験装置の詳細については後述するが、実構造物に比較的簡易に取り付け可能なように、実構造物に取り付ける部分と吸水試験を行う部分を一体とした装置である。

次に、この装置を種々の乾燥状態にあるコンクリートに用いて吸水試験を実施し、吸水時間、吸水量及び

吸水した深さの関係について検討した。

以上のことより、本研究は、提案の試験装置の性能並びに、この試験装置を用いた場合の吸水試験の非破壊試験としての可能性について明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

2.1 吸水試験方法の概要

既往の研究を参考に、新たに実構造物を用いて吸水試験が行えるように、吸水試験装置を考案した。

本研究で用いた吸水試験装置の概要を図-1に示す。吸水試験装置は、二つのチャンバーからなり、外側のチャンバーは、吸引ポンプによりチャンバー内を負圧にすることにより、構造物への取り付けを行えるようにした。また、内側のチャンバーは、取り付けしたコンクリート構造物に吸水試験が行えるようにした。なお、内側チャンバーには、吸水量測定のため、吸水パイプを取り付けた。

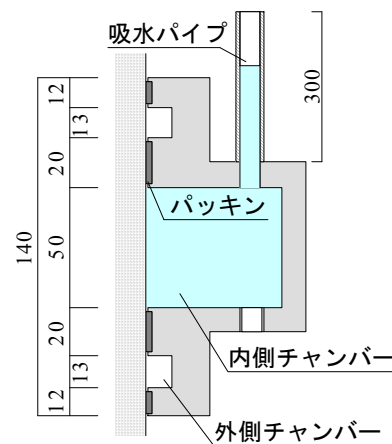


図-1 吸水試験装置の概要

*1 九州産業大学 工学部住居・インテリア設計学科 准教授 博士(工学) (正会員)

表-1 コンクリートの配(調)合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				高性能AE減水剤*1 (%)
		セメント	水	細骨材	粗骨材	
45	41.5	398	177	702	1121	0.4
50	43.2	350	173	751	1121	0.4
55	44.4	313	170	788	1121	0.4
60	45.4	282	167	822	1121	0.5

*1) セメントに対する質量比

コンクリートへ吸水させる内側チャンバーの直径は50mmとし、全装置の外側の直径は140mmとした。内側チャンバーと外側チャンバーの間は約20mmとし、外側チャンバーの吸引が内側チャンバーでの吸水試験への影響が少なくなるようにした。コンクリートへ取り付け部分の内側チャンバーと外側チャンバーの間は、内側から外側へ水が流出するのを防ぐため、溝加工を行い、そこに、シリコンゴム製のパッキンを挿入した。また、コンクリートへ取り付け部分の外側チャンバーと外部の間にも同様に溝加工を行い、シリコンゴム製のパッキンを挿入した。なお、軟質のシリコン製ゴムパッキンを用いることにより、多少のコンクリート表面の不陸にも対応できるように工夫した。本実験の範囲では、良好な結果が得られたが、更なる改良も必要と考えている。なお、吸水状況を目視で確認できるように、材質は透明樹脂を使用した。

内側チャンバーへの加水は、圧縮空気を利用し、別に取り付けられた加水タンクから内側チャンバーに水が迅速に行われるようにした。なお、加水の目的水位は、図-1示すように吸水パイプの全長300mmの下から250mmとした。予備実験の結果、内側チャンバーとの目的水位までの吸水時間は、10秒弱で行えることが確認された。

コンクリートへの吸水量は、内側チャンバーに取り付けた吸水パイプの水位の変化より測定することを基本とした。

2.2 供試体の配(調)合

配(調)合は、種々の実構造物を対象に考え、表-1に示すように、水セメント比45%、50%、55%、60%の4種類のコンクリートとした。表-2には、フレッシュコンクリートの空気量、スランプおよび、標準養生したコンクリート4週圧縮強度も併せ示す。

2.3 供試体の作製

図-2に吸水試験用供試体の作製方法を示す。

コンクリートはまず、200×100×600mmの鋼製型枠に打設し、翌日脱型し、次いで、温度20℃の恒温槽で材齢6日まで標準水中養生を行った。その後、側面の高さ200mm部分の中央より、直径150mm、厚さ100mmのコ

表-2 フレッシュおよび硬化コンクリートの性質

水セメント比 (%)	空気量 (%)	スランプ (cm)	圧縮強度 (N/mm ²)
45	4.8	18.0	43.2
50	3.4	19.0	40.4
55	5.8	18.5	32.3
60	6.0	17.5	26.1

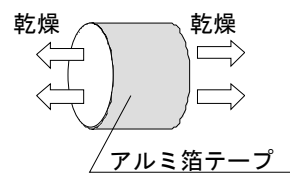
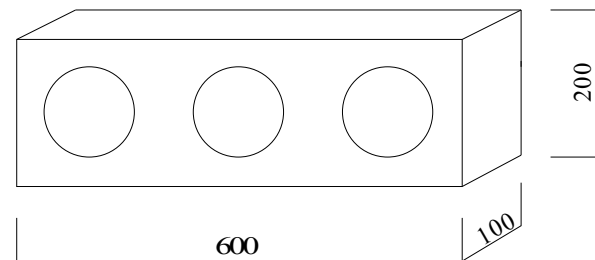


図-2 供試体の作製方法

アを採取し、吸水試験用供試体とした。

供試体は、表乾、水中質量を測定後、温度20℃、相対湿度60%R.H.の恒温恒湿室で、材齢7日から3、7、14、28、56、91日間それぞれ乾燥し、乾燥状態の異なる供試体を作製した。なお、側面はアルミ箔テープでシールし、側面からの乾燥を防ぎ、両端面から乾燥するようにした。また、乾燥期間91日の供試体は、乾燥初期から91日まで数日間隔で質量を測定し、乾燥の状態を確認した。

2.4 吸水試験

各配(調)合とも、乾燥期間を3、7、14、28、56、91日とし、まず、乾燥後、それぞれの乾燥質量を測定するとともに、表層部に高周波容量式水分計をあて、含水率を測定した。

次いで、図-1に示す吸水試験装置を供試体の乾燥面

に取り付け吸水試験を行った。なお、乾燥期間 3, 7, 14, 28 日においては、林らの研究⁵⁾を参考に、吸水時間を 10 分とし、1 分刻みに 10 分間吸水量を測定した。また、乾燥期間 56, 91 日においては、1 分刻みに 30 分間吸水量を測定した。当初の計画では、乾燥期間 91 日まで吸水時間を 10 分で行う予定であったが、実験結果を後述するが、10 分間の吸水量が乾燥期間 28 日までは、乾燥期間に係わらずほぼ一定を示したため、吸水時間の影響を検討するため乾燥期間 56, 91 日においては、吸水時間を 30 分間とした。

その後、吸水試験後質量を測定し、吸水試験前後の

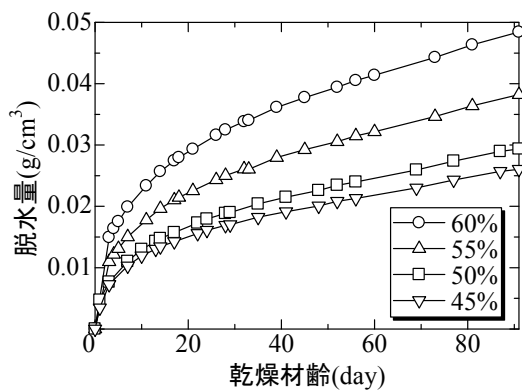
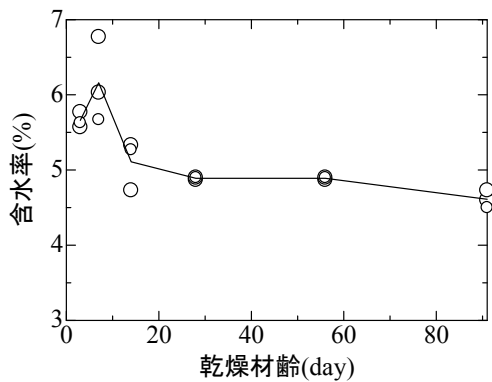
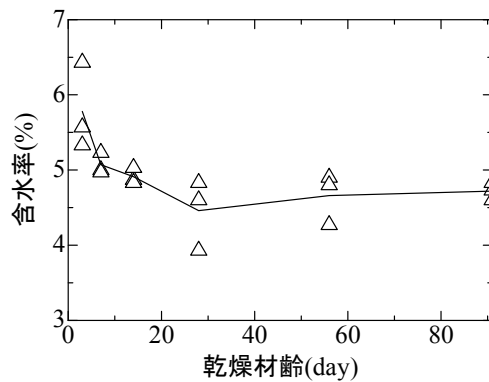


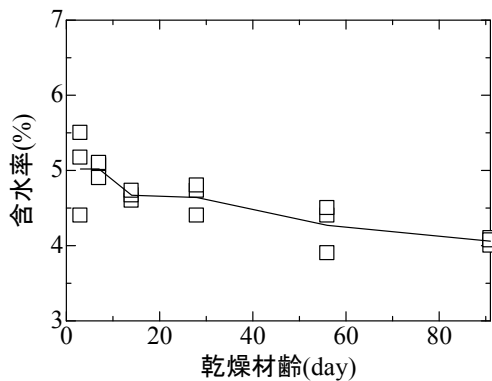
図-3 脱水量の経時変化



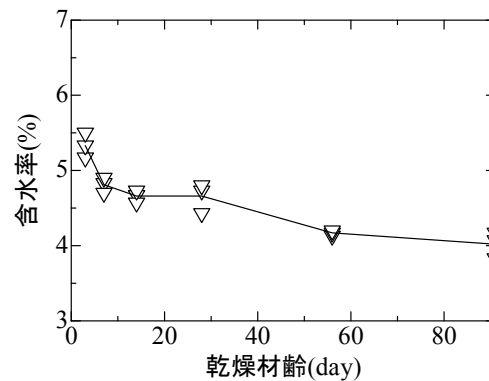
a) W/C=45%



b) W/C=50%



c) W/C=55%



d) W/C=60%

図-4 含水率の経時変化

質量差より、全吸水量を確認した。また、吸水深さを測定するため、供試体を割裂し、写真撮影した。写真を画像処理して、吸水面積、および平均吸水深さを求めた。

3. 実験結果および考察

3.1 供試体の乾燥程度

乾燥期間 91 日の供試体の質量変化より求めた、乾燥期間 91 日までの脱水量の経時変化を図-3 に示す。図に示すように、材齢の経過に伴い、脱水量が増加し、材齢 91 日における脱水量は、高水セメント比ほど大きくなった。

吸水試験は表面の乾燥に大きく影響すると考えられる。そこで、水分計で表面の乾燥程度を測定した。その結果を水セメント比別に図-4 に示す。なお、水分計の測定は、同一条件で各 3 回測定した。図中の実線はその平均値である。図に示すように、材齢の経過に伴い、表面の含水率も減少している。特に、乾燥期間 14 日までの減少が大きくなった。また、図-5 に示す乾燥期間 28 日、56 日および 91 日における含水率と水セメント比の関係を示すが、同一乾燥期間では、高水セメント比ほどやや含水率は小さくなる傾向を示した。

3.2 吸水量の測定結果

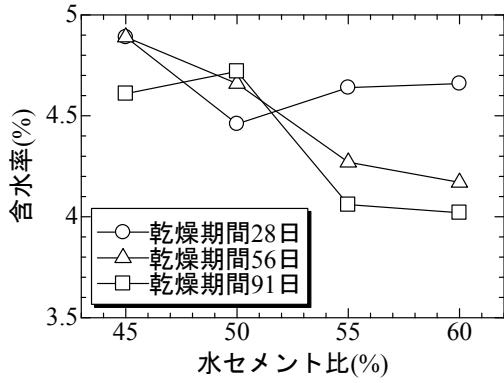


図-5 含水率と水セメント比の関係

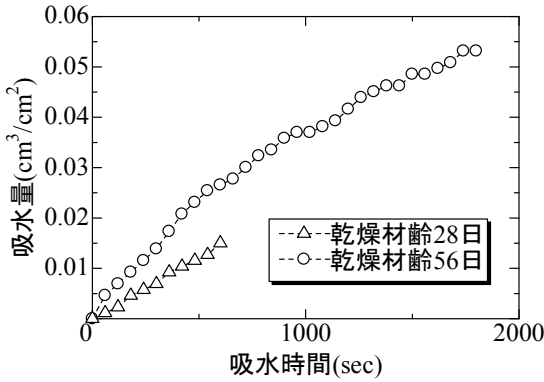


図-6 吸水量の時間変化

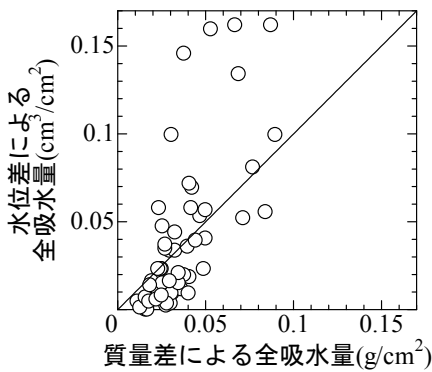
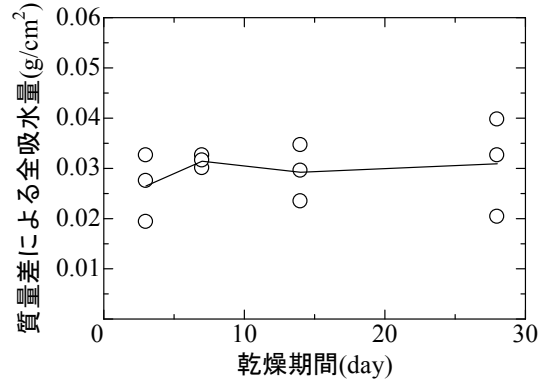


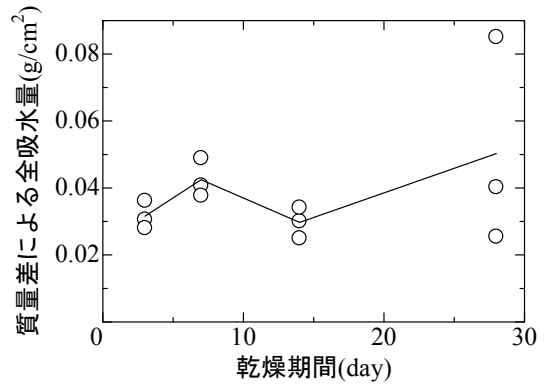
図-7 全吸水量の測定結果の比較

吸水試験中の吸水パイプの水位差から求めた吸水量と吸水時間の関係の水セメント比 55%乾燥期間 28 日、56 日を例に図-6 に示す。実験概要で示したように、乾燥期間 3, 7, 14, 28 日では吸水時間を 10 分間とし、乾燥期間 56, 91 日では 30 分間とした。図に示すように、当然のことながら時間の経過に伴い、吸水量は増加した。なお、吸水量は、図-1 に示す吸水部分の断面積（直径 50mm）で除した値で示した。

吸水試験による全吸水量は、二つの方法により測定した。一つは、吸水試験の試験前後の質量を測定し、その差から求めた。もう一つは、図-1 に示す吸水パイプの吸水試験前後の水位差から求めた、吸水試験中に吸水した全吸水量である。



a) 水セメント比 50%



b) 水セメント比 55%

図-8 乾燥期間と全吸水量の関係

実際に吸水した全吸水量を求める場合、質量差から求める方法がより確実に測定出来ると考えられるが、実構造物での吸水試験では、吸水パイプの吸水試験前後の水位差から求めることしかできない。そこで、両者を比較することにより、本試験装置の課題を検討することとした。

図-7 に試験前後の質量差から求めた全吸水量と吸水パイプの水位差から求めた全吸水量の比較結果を示す。図に示すように、全吸水量が少ない場合、水位差による全吸水量より質量差による全吸水量がやや多く測定された。また、全吸水量が多い場合、水位差による全吸水量が質量差による全吸水量より多く測定される傾向を示した。この理由については、全吸水量が少ない場合は、内側チャンバーへの加水に時間を要したための影響と考えられる。一方、全吸水量が多い場合については、コンクリートへの吸水時に、内側チャンバーに気泡が残る場合も一部観察されており、このことが、理由の一つとして考えられ、試験装置の更なる改良が必要と考えている。

以上のことより、以降全吸水量は、質量差による方法でコンクリート緻密性の程度の判定が可能か検討した。

図-8 に水セメント比 50%, 55%の場合を例に、乾燥期間と質量差による全吸水量の関係を示す。図に示すよ

うに、乾燥期間28日までにおいては、両配(調)合ともに、全吸水量は乾燥期間に影響されていないことが分かる。この理由としては、乾燥期間28日までは吸水時間10分間と短く、この時間内に吸水している領域は、乾燥期間3日までに既に乾燥している深さと考えられる。

図-9 に乾燥期間と各乾燥期間の全配(調)合の質量差による平均全吸水量の関係を示す。図-8 と同様に、吸水時間10分で行った乾燥期間3日から28日までは、乾燥期間の影響をほとんど受けていない。一方、吸水時間30分で行った乾燥期間56日、91日においては、当然乾燥期間28日までより全吸水量は増加しているが、乾燥期間56日と91日を比較しても、乾燥期間の増加とともに全吸水量も増加している。

次に、乾燥期間28日までの全データより、水セメント比と全吸水量の関係を求め、図-10 に示す。また、乾燥期間56日、91日における水セメント比と全吸水量の関係も併せて、図-10 に示す。図に示すように図-8 と同様に、実験データ個々のばらつきはあるものの、水セメント比と全吸水量は、ほぼ比例関係にある傾向を示した。

これらのことより、全吸水量により、表層部コンクリートの緻密性を評価出来るものと考えられる。

3.3 吸水深さの測定結果

吸水深さは、実験概要で示したように、吸水試験後直ちに供試体を割裂して求めた。

図-11 に吸水量と同様に、乾燥期間28日までの乾燥期間と吸水深さの関係を水セメント比50%、55%の場合を例に示す。図に示すように、吸水深さの平均値は、吸水量と同様に、乾燥期間28日までは、乾燥期間の影響をほとんど受けずに、3mm から4mm 程度の値を示しているが、同一条件での個々の値はかなりばらついている。例えば、水セメント比55%、乾燥期間28日では、平均吸水深さは、4mm 程度であるが、約2mm から8mm の間に分布している。

図-12 に各乾燥期間の全配(調)合の平均吸水深さと乾燥期間の関係を示す。平均吸水深さは、図-8 の全吸水量と同様に、吸水時間を10分とした乾燥期間28日までは、乾燥期間の影響をほとんど受けずに、4mm 程度の値を示している。吸水時間を30分とした乾燥期間56日、91日においては、吸水深さが増加し、また、乾燥期間56日に比べ、乾燥期間91日では、吸水深さも大きく増加した。

図-13 に水セメント比と吸水深さの関係を示す。図中には、乾燥期間28日までの各水セメント比の平均吸水深さと水セメント比の関係、乾燥期間56日、91日における吸水深さと水セメント比の関係を示す。図に示すように、吸水深さと水セメント比の関係は、いずれの乾燥

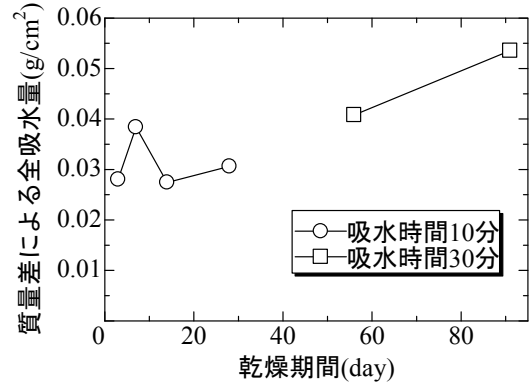


図-9 乾燥期間と平均全吸水量の関係

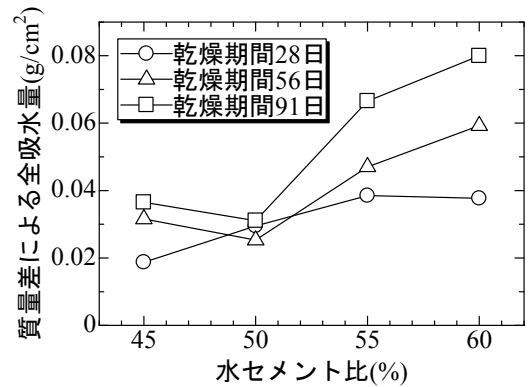
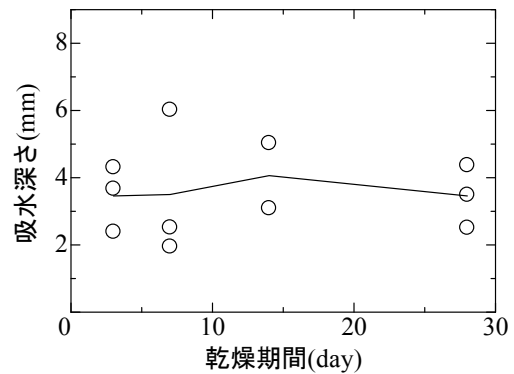
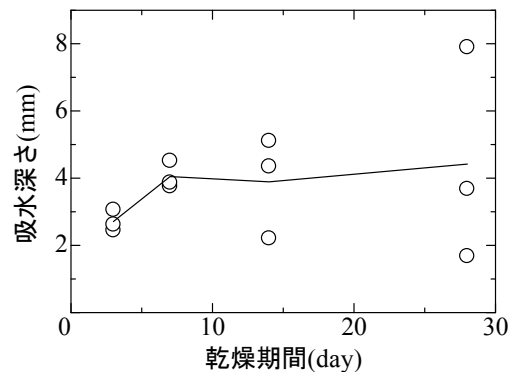


図-10 水セメント比と全吸水量の関係



a) 水セメント比 50%



b) 水セメント比 55%

図-11 乾燥期間と吸水深さの関係

期間においてもほぼ比例関係となった。乾燥期間 28 日までににおいては、水セメント比 45%で 3.1mm, 水セメント比 60%において 4.7mm となっている。

日本建築学会コンクリート工事標準仕様書（以下 JASS5 と記す）では、基礎を除く各部材の最小かぶり厚さは、および計画供用期間の級により、20mm から 40mm と定めている。

表層部コンクリートの評価を目的とした場合、乾燥期間 28 日までの 5mm 以下では、評価範囲が、JASS5 のかぶりコンクリートの規定値に比べ浅く、また、図-11 に示すように、個々の結果はばらつきが多いことを加味すると吸水時間 10 分では短すぎるのではないかと考えられる。一方、乾燥期間 56 日においては、水セメント比 45%で 3.2mm, 水セメント比 60%において 8.0mm となっている。また、乾燥期間 91 日においては、水セメント比 45%で 7.6mm, 水セメント比 60%において 17.3mm となっている。吸水深さとしては、JASS5 に示される最小かぶり厚さの値により近い値となるものの、乾燥期間に依存する。

以上のことより、吸水時間は、新築コンクリート構造物の品質管理や既存コンクリート非破壊検査など吸水試験の使用目的により調整するなど考えられ、今後の課題であると考えている。

4. 結論

本研究は、提案の試験装置の性能並びに、この試験装置を用いた場合の吸水試験の非破壊試験としての可能性について明らかにすることを目的に、実験検討を行った。これらの結果をまとめると、以下のようになる。

- 1) 試験前後の質量差から求めた全吸水量と吸水パイプの水位差から求めた全吸水量の比較結果から、全吸水量が多い場合、水位差による全吸水量が質量差による全吸水量より多く測定される傾向を示した。内側チャンバーに気泡が残る場合も一部観察されており、試験装置の更なる改良が必要と考えられる。
- 2) 試験前後の質量差から求めた全吸水量と水セメント比の関係、吸水深さと水セメント比の関係は、ほぼ比例関係にあり、吸水試験により、表層部コンクリートの緻密性を評価出来る可能性が明らかとなった。
- 3) 吸水深さは、吸水時間を 10 分間とした乾燥期間 3 日から 28 日までの間では、乾燥期間の影響をほとんど受けない。一方、吸水時間を 30 分とした乾燥期間 56 日、91 日においては、吸水深さが増加し、また、乾燥期間 56 日に比べ、乾燥期間 91 日では、吸水深さも大きく増加した。これらのことより、吸水時間は、吸水試験の使用目的により調整するなど考え

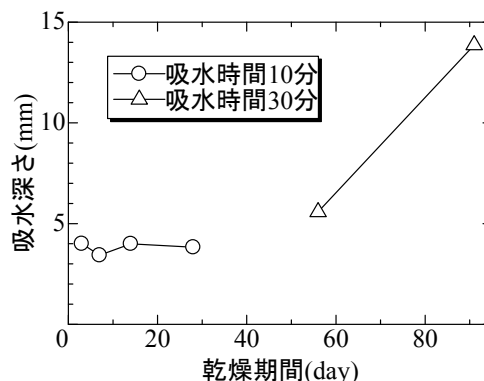


図-12 乾燥期間と平均吸水深さの関係

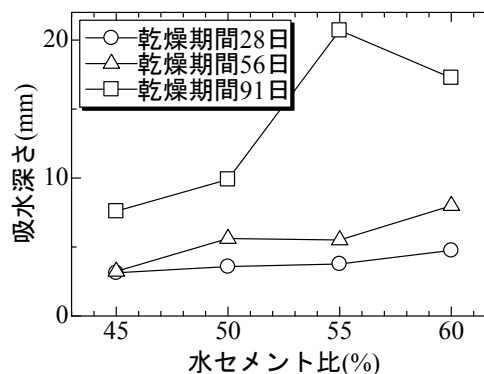


図-13 吸水深さと水セメント比の関係

られ、今後の課題であると考えている。

参考文献

- 1) 白川敏夫, 島添洋治, 九谷和秀: モルタルを用いた場合の気体拡散性状への炭酸化の影響, 日本建築学会構造系論文集, Vol.74, No.636, pp.193-199, 2009.2
- 2) 笠井芳夫, 松井勇, 湯浅昇: 簡易な試験による構造体コンクリートの品質評価の試み, セメント・コンクリート, No.559, pp.20-28, Sept. 1993
- 3) 今本啓一, 山崎順二, 下澤和幸, 永山勝, 二村誠二: かぶりコンクリートの透気性に基づく RC 構造物の耐久性能検証に向けた基礎的研究—各種試験方法における透気性の指標値と中性化深さの関連—, 日本建築学会構造系論文集, Vol.74, No.638, pp.593-599, 2009.4
- 4) Torrent, R. J.: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Materials and Structure, No. 150, pp.358-365, July 1992
- 5) 林和彦, 細川暁: コンクリート実構造物に適用できる表面吸水試験方法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1769-1774, 2011