

東京大学大学院 学生員 河合 研至
 東京大学大学院 学生員 橋本 親典
 リブコンエンジニアリング㈱ 正会員 伊東 靖郎

1. はじめに 同一のコンクリートを再現することが困難であり、品質が定まらないのは、使用している細骨材の表面状態が一定でないことに因るところが大きいように思われる。そこで、本研究は、コンクリートの主材料の一つである細骨材の保水性を明らかにし、モデル化することを目的として次のような実験を行った。

2. 実験の概要 まず、細骨材に過剰な水を加えておき、図-1に示すようにして遠心力をかけて余分な水を強制的に追い出し、残った水を細骨材の保水する分として評価することにした。

図-2に実験結果の一例を実線で示す。しかし、理論的には細骨材の保水は力のつりあいによって成されているものであり、細骨材の保水量は遠心力をかけた時点で一義的に決定されると考えられ、細骨材の含水率と経過時間との関係は図-2の破線となる。この両者の差は、細骨材が初期に過剰な保水状態にあり遠心力を加えることによってその過剰分が自由水となり流下していくが、細骨材があるために速やかな流下が行われず、測定時に含水量として加味されてしまうためであると考えられる。

保水性のモデル化にあたり、120分後の含水率を理論的含水率と近似することにより、細骨材の保水状態を次の3種の組合せとして考えた(図-3参照)。

- 1) 細骨材表面の窪みの中で表面張力により保持される水(表面保水)
- 2) 細骨材同士の接触部分で表面張力により保持される水(間隙保水)
- 3) 絶乾状態より実験に至るまでに細骨材の内部に入り込む水(吸水)

そこで第一に、ガラスビーズ玉を利用した遠心力試験によって間隙保水量の定量化を図った。ガラスビーズ玉は真球であり、かつ吸水する空隙はないと考えられるので、表面保水量は無視でき、吸水量はないと仮定した。

そして次に、珪砂・相模川砂について実験を行い、表面保水量、吸水量に関する評価方法、並びに砂の種類による保水状態の異同を考察し、間隙保水量と合せて総合的な細骨材の保水性のモデル化へと進めていった。ただし、考察にあたっては、細骨材を真球と仮定した。

3. 実験結果及び考察 まず、間隙保水についてであるが、間隙保水面の2つの主曲率を R_1 、 R_2 とし、間隙保水のはさみ角を α 、2粒子の中心を結ぶ直線が水平面となす角を β とおくとき、粒径 d の2粒子が空間上に図-4に示すような状態で存在しているとすると、このとき、表面張力 σ と圧力 p の関係式

$$p = \sigma \cdot (1/R_1 - 1/R_2) \quad (1)$$

において、内外圧力差 p が静水圧の形で表せると仮定し、遠心力の重力に対する比を Z 、水の密度を ρ 、係数を K として

$$p = K \cdot \rho Z g d (\sin \beta + \sin (\alpha - \beta))$$

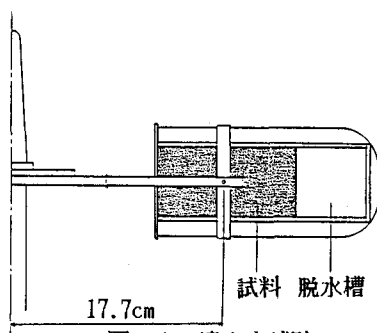


図-1 遠心力試験

遠心力: 438G
 試料: 相模川砂
 (粒径0.15~0.30mm,
 試料の高さ1.2cm)
 初期含水率 7.4%

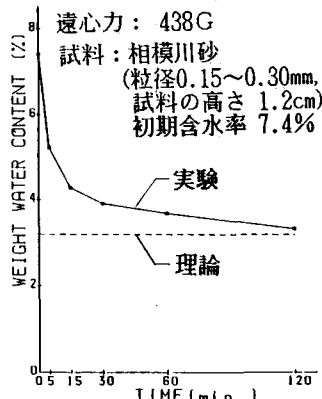


図-2 細骨材の含水率と経過時間の関係

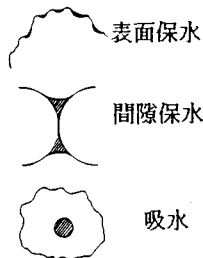


図-3 細骨材の保水状態

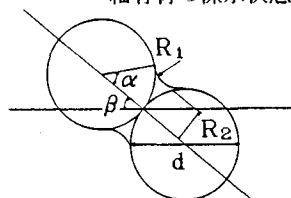


図-4 細骨材の間隙保水 (2)

とくと、式(1)は粒径 d 、はさみ角 α を用いて

$$K \cdot \frac{\rho Z g d^2}{2 \sigma} = \frac{2 + \tan \alpha - 2 \sec \alpha}{(\sec \alpha - 1)(1 + \tan \alpha - \sec \alpha)} \times \frac{1}{\sin \beta + \sin (\alpha - \beta)} \tag{3}$$

となる。そして、式(3)より求まる α から、1つの間隙保水量 W_m は

$$W_m = \frac{\pi d^3}{4} (\sec \alpha - 1)^2 \left[1 - \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \tan \alpha \right] \tag{4}$$

として求められる。さらに、空隙率から粒子の配位数を求めて、式(4)にかけあわせることによって、粒子1個当たりの間隙保水量を求めることができる。しかし、粒子は空間上でいかなる角度 β で接触しているかわからないため、ここで配向性を考慮する必要がある。ある角度 β に関して、はさみ角 α 、そして間隙保水量 W_m を求め、それを β について0から $\pi/2$ まで積分し、その値を間隙保水量とした。そして、実験結果より、式(2)における係数 K の値として $K=4.0$ を得た。これを基に間隙保水量の定量化を行うわけだが、実際の細骨材はここで仮定しているような真球ではない。そこで、 $0 < k < 1$ 、真球で $k=1$ 、扁平になる程0に近づく形状係数 k を導入してその補正を行うことにした。

次に表面保水については、細骨材表面の窪みを1つ1つ微視的に考えるのは困難であるため、窪みに溜っている水を表面全体にならし、そのときの水膜の厚さを粗度高さ δ と定義して、表面保水量を評価することにした(図-5)。したがって、表面の凸凹が大きい程、粗度高さは大きくなる。

さらに吸水は、実験時において、初期の絶乾状態より JISで定める吸水率に至るまでの、どの程度のところに位置するかを、吸水率に対する割合で示し、それを吸水進行度 x (%) として評価することにした(図-6)。初期の絶乾状態から実験を行うまでの時間は常に同じ程度であり、ほぼ一定値をとるものと思われる。

4. 細骨材の保水性のモデル化 以上より、細骨材1個当たりの全保水量は、表面保水量、間隙保水量および吸水量の和として求められる。そこで、相模川砂について5種類、硅砂について6種類の粒径を変えた実験結果を用いて、重み付きの最小2乗法により、表面保水量、間隙保水量および吸水量についての各係数を求めると、次のようになった。

相模川砂 $\delta = 3.2 \times 10^{-5}$ (cm), $k = 0.20$, $x = 89$ (%)

硅砂 $\delta = 0$, $k = 0.74$, $x = 91$ (%)

これより、各係数について次のような評価を行うことができる。

粗度高さ：硅砂の表面は滑らかで小さな起伏が少ない。

形状係数：硅砂の方がどの角度からみても粒径は比較的そろっており、相模川砂は扁平な形をしている。

吸水進行度：初期の絶乾状態から実験を行うまでの時間は常に同じ程度であれば、ほぼ一定値をとる。

一方、細骨材1個当たりの各保水量の全保水量に占める割合を相模川砂および硅砂について図示すると、それぞれ図-7 (a) および (b) のようになる。

5. おわりに 本研究では遠心力を利用する方法を主として細骨材の保水性のモデル化を行ったが、今後、重力下における状態まで定量化を進め、粒径の小さい材料にまで、評価方法を広げていくことが必要と思われる。



図-5 表面保水のモデル化

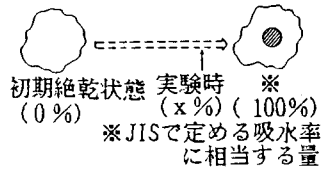


図-6 吸水のモデル化

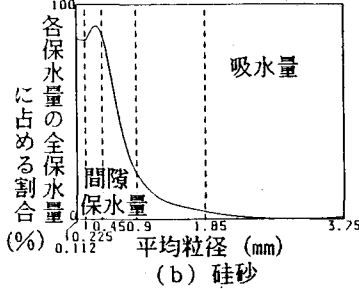
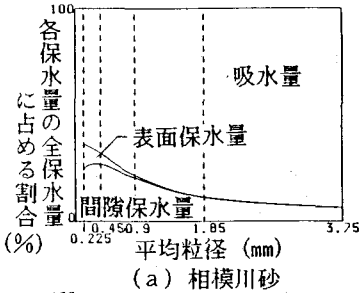


図-7 細骨材の保水状態