

論文 RI 水分計によるフレッシュコンクリート中の単位水量測定に関する研究

瀬古繁喜*1・米澤敏男*2・井上孝之*1・熊原義文*3

要旨：コンクリート中の水の量と高速中性子の減衰量の一義的な関係を利用した RI 水分計による単位水量の測定精度に関する実験的な検討を行った。その結果、繰返し測定したときの平均値は調合上の単位水量とほぼ一致した。測定器の精度は RI 負荷時間を長くすることにより向上すること、採取時の試料のバラツキによる影響は粗骨材量を考慮して測定値の補正を行うことにより低減できること等が明らかとなった。このような方法で誤差要因を低減することにより RI 水分計による単位水量測定値は十分な精度が得られると評価された。

キーワード：RI 水分計, 測定精度, RI 負荷時間, 粗骨材量

1. はじめに

RI 水分計は、コンクリート中の水(厳密には水素)の量と高速中性子の減衰量との間の一義的な関係を利用した水分計であり、コンクリートの単位水量を短時間かつ簡便に測定することを目的として開発されたものである。豊福らの研究[1][2]によれば RI 負荷時間 5 分間で±6kg/m³程度の精度があることが報告されている。著者らの行った検討結果では、測定精度は各種の要因の影響を受けることが明らかとなった。本報では、RI 水分計による測定値の誤差要因として、RI 負荷時間、測定容器の設置方向、採取した試料のバラツキを取り上げ、RI 水分計による単位水量の測定精度について実験的な検討を行った。

2. RI 水分計の概要と較正式

RI 水分計は、放射線源として ²⁵²Cf (線源強度 15 μ Ci) を用いた高速中性子線透過型の水分計で、図-1 に示すような構成となっている。線源から放出される高速中性子のうち、コンクリート中で水素により減衰されることなく透過してくるものの数を、検出部でカウントするものである。

単位水量は、水分計から得られた RI カウント数(Nm)から較正式(1)を用いて算定する。式(1)のうち(WW+MQ)は試料中に水として存在する水素の量に関連しており、α(UW-WW-

MQ)はコンクリート中に存在する水以外の水素を水相当量に換算する項を示す。

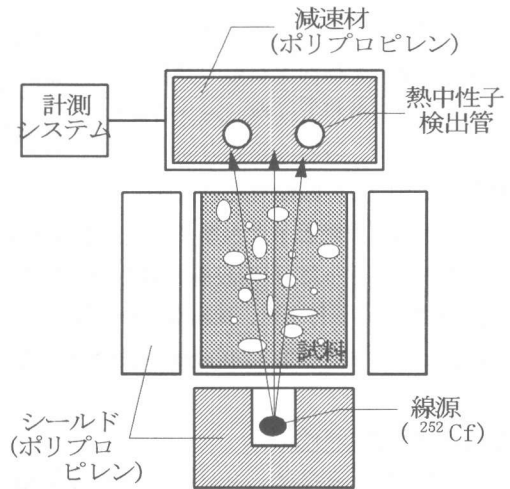


図-1 RI 水分計の構成

*1 (株)竹中工務店 技術研究所 生産研究開発部, 工修 (正会員)

*2 (株)竹中工務店 技術研究所 生産研究開発部 主任研究員, Ph.D (正会員)

*3 ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 機械部 部長

$$Nm/Sm = C \cdot \exp[D\{(WW+MQ) + \alpha(UW - WW - MQ)\}] \quad \cdot \cdot \text{式(1)}$$

Nm : 試料測定カウント(cpm)

Sm : 線源強度を表わす標準 RI カウント数(cpm)

WW : 試料の単位水量(kg/m³)

MQ : 試料中の材料の含水量(kg/m³)

UW : 試料の単位容積質量(kg/m³)

C, D, α : 校正係数

式(1)の単位水量測定値の標準偏差 (σ WW) は式(2)のようになる。

$$\sigma \text{ WW} = \frac{1}{(1 - \alpha) \cdot |D|} \cdot \frac{1}{\sqrt{Sm \cdot TN}} \quad \cdot \cdot \text{式(2)}$$

TN : Nm の測定(負荷)時間(min.)

3. 実験

3.1 概要

RI 水分計による単位水量測定値に影響を及ぼすと考えられる要因を取り上げ、水分計の精度と測定誤差の程度を実験的に検討した。誤差要因としては、RI 負荷時間、測定容器の設置方向、採取試料のバラツキを取り上げ、単位水量を変化させた 4 種類の配(調)合により実験を行った。

3.2 実験因子と水準および組合せ

実験の因子と水準を表-1 に示す。表中の試料採取のバラツキとは、試料採取に伴う水量の変動を検討するものであり、実際には繰返し試料を採取し粗骨材量を測定する。また、容器の設置方向とは正規の設置位置からの回転角度を言う。

表-1 実験因子の水準

実験因子	水準
① RI負荷時間(分)	1, 3, 6, 9
② 容器設置方向(度)	0, 90, 180, 270
③ 試料採取のバラツキ	繰返し採取6回
④ 単位水量(kg/m ³)	174, 179, 184, 196

表-1 に示した実験因子と水準のうち、RI 負荷時間に関する検討は単位水量 196kg/m³、容器設置方向 0 度として行った。容器設置方向に関する検討は RI 負荷時間を 9 分間とし、単位水量 174kg/m³ および 196kg/m³ で行った。試料採取のバラツキに関する検討は RI 負荷時間を 9 分間、容器設置方向を 0 度とし、単位水量 174kg/m³~196kg/m³ に変化させて行った。

3.3 材料と配(調)合

使用した材料を表-2 に、コンクリートの配(調)合を表-3 に示す。

表-2 コンクリートの材料

種類	性質
セメント	〇社製普通ポルトランドセメント, 比重3.16
細骨材	大井川産川砂, 比重2.61, 吸水率1.16%
粗骨材	八王子産硬質砂岩砕石, 比重2.67, 吸水率0.69%
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤およびAE減水剤

表-3 コンクリートの配(調)合

No.	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
					水	セメント	砂	砂利
1	18.0	4.5	58.0	46	174	300	824	989
2			59.6	46	179	300	824	989
3			61.3	46	184	300	824	989
4			58.0	49	196	338	857	905

3.4 実験の方法

(1)単位水量の測定

容器が空の状態では標準カウント数(Sm)を 10 分間測定し線源強度の減衰を補正した。次に試料を JIS A 1128 に示されている容器に詰め、単位容積質量を計測した後で RI 水分計にセットし RI カウント数を測定した。

(2)容器の設置方向

同一の試料を用いて、試験器中に設置する容器を水平方向に 90 度ずつ回転させることにより、設置方向を変化させた。

(3)試料採取方法と粗骨材量の測定

測定試料は、練り上がった 50リットルのコンクリートからハンドスコップを用いて測定容器に投入した。測定後の試料は 5mm ふるいの上でウェットスクリーニングを行い、炉乾燥の上粗骨材の質量を測定した。

3.5 較正係数

RI カウント数と単位水量の関係を示す較正式(1)の係数 C, D, α は測定対象とするコンクリートについて実験を行い、定めなければならない。RI による土の含水量測定では C, D を過去の実績より定め、 α のみを対象となる材料ごとに較正する方法が用いられているが[3]、ここでは C, D, α すべてを実験により較正した。本実験における較正係数は C=0.6735, D=-0.003497, $\alpha=0.1318$ である。

4. 実験結果

4.1 単位水量測定値と調合単位水量の関係

No.1(単位水量 174kg/m³)のコンクリートから No.4(単位水量 196kg/m³)のコンクリートまで 4 水準の単位水量について、測定値(RI 負荷時間 3 分間の場合)と調合上の単位水量の関係を図-2 に示す。測定値の平均値(図中の○印)は調合上の単位水量とほぼ一致している。しかし、測定値の標準偏差は $\sigma=4.1\sim 5.5\text{kg/m}^3$ であり、 2σ 程度を測定精度と考えると豊福らの結果と比べても大きい。

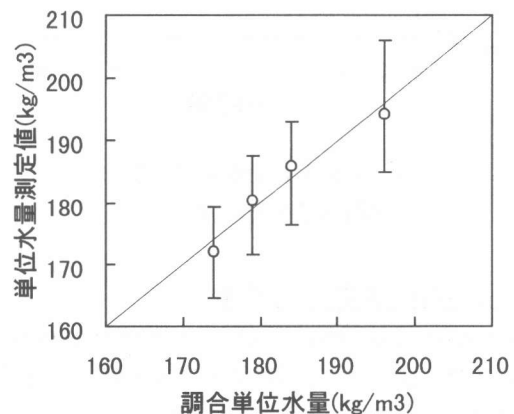


図-2 単位水量測定値と調合単位水量の関係

4.2 RI 負荷時間の影響

単位水量を $W=196\text{kg/m}^3$ とした No.4 のコンクリートについて、RI を 1 分間、3 分間、6 分間および 9 分間負荷して平均をとった場合の測定値を図-3 から図-6 に示す。

負荷時間を 1 分間とした場合、図-3 に示すように測定値の変動は大きく、標準偏差は $\sigma=6.18\text{kg/m}^3$ である。測定時間が 3 分、6 分、9 分と長くなるにつれて変動は小さくなり、6 分間の測定で $\sigma=3.69\text{kg/m}^3$ 、9 分間で $\sigma=2.03\text{kg/m}^3$ となった。

単位水量の測定値の標準偏差は式(2)のように線源強度 S_m と負荷時間 T_N の平方根に反比例する。実験値はこの関係からやや外れてはいるが、RI 負荷時間が長いほど測定値の変動は小さくなる。

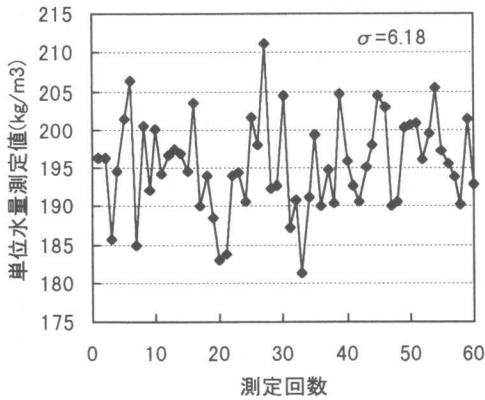


図-3 単位水量測定値の変動 (RI 負荷時間 1 分)

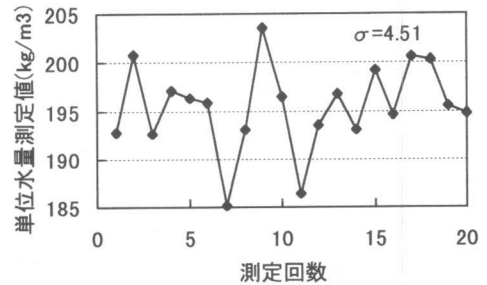


図-4 単位水量測定値の変動
(RI 負荷時間 3 分)

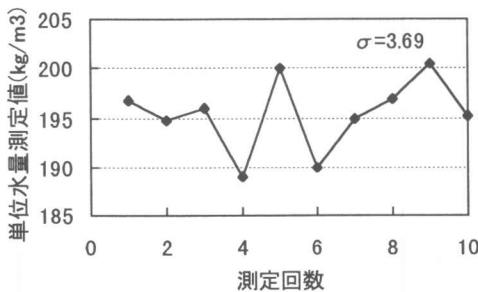


図-5 単位水量測定値の変動
(RI 負荷時間 6 分)

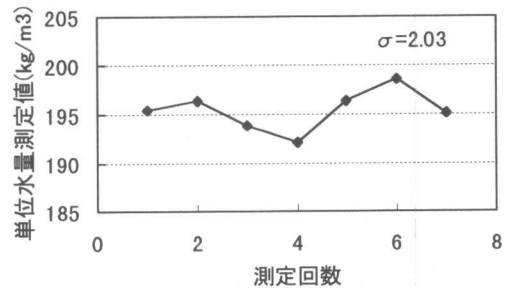


図-6 単位水量測定値の変動
(RI 負荷時間 9 分)

4.3 容器の設置方向の影響

No.1 ($W=174\text{kg/m}^3$) および No.4 ($W=196\text{kg/m}^3$) のコンクリートについて、容器の向きを 90 度ずつ回転させて測定した 2 回の結果 (負荷時間 9 分) を図-7 および図-8 に示す。平均値でみると、容器の設置方向は測定値に大きくは影響していないと考えられる。標準偏差は、No.1 のコンクリートの場合、 $1.46\text{kg/m}^3 \sim 2.93\text{kg/m}^3$ 、また No.4 のコンクリートの場合、 $0.06\text{kg/m}^3 \sim 2.13\text{kg/m}^3$ であった。RI を 9 分間負荷した時の標準偏差は 2.03kg/m^3 (図-6) 程度であることを考慮すると、容器の設置方

向は RI 水分計による測定値の変動にも大きな影響を及ぼしていない。

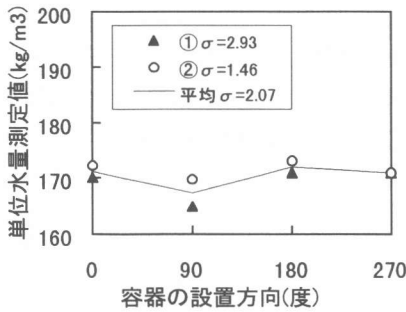


図-7 容器の設置方向と単位水量測定値の関係
(コンクリート No.1, $W=174\text{kg/m}^3$)

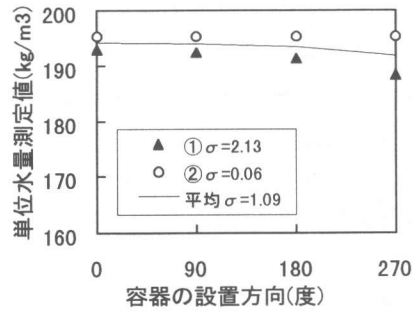


図-8 容器の設置方向と単位水量測定値の関係
(コンクリート No.4, $W=196\text{kg/m}^3$)

4.4 採取試料のバラツキの影響

No.1($W=174\text{kg/m}^3$)～No.4(196kg/m^3)の各コンクリートで6回繰返し測定したときの採取試料のバラツキを粗骨材量のバラツキとして評価する。単位水量の測定値と粗骨材量の関係を図-9に示す。いずれのコンクリートも採取した試料によって粗骨材量は変動しており、単位水量の測定値は粗骨材量が多いほど小さな値を示す傾向にある。このことは、測定値の精度を向上させるためには試料採取量を多くしたり採取方法に留意し、試料採取によるバラツキを低減する必要があることを示す。たとえば本実験のように、測定後に粗骨材量を計測して補正を行うのも一つの方法ではある。

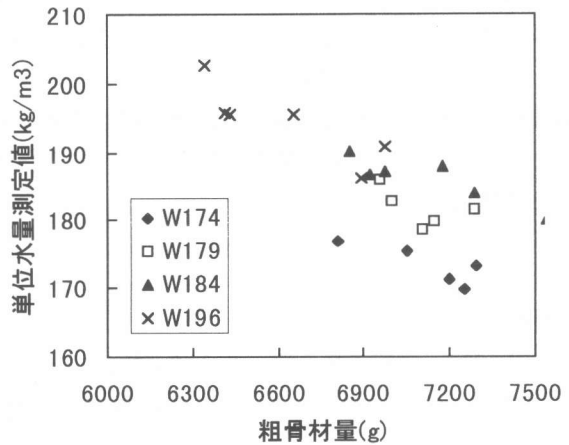


図-9 単位水量測定値と粗骨材量の関係

5. RI 水分計の測定精度に関する考察

4.1で示したように、RI 水分計の測定値の平均値は調査上の単位水量とほぼ一致しているが、データの変動幅が大きい。RI 水分計の精度を向上させるためには水分計の機械的な精度を上げることと採取試料のバラツキを低減することの両方が必要となる。

RI 水分計の機械的な精度を上げるためには式(2)から明らかなように RI 負荷時間を長

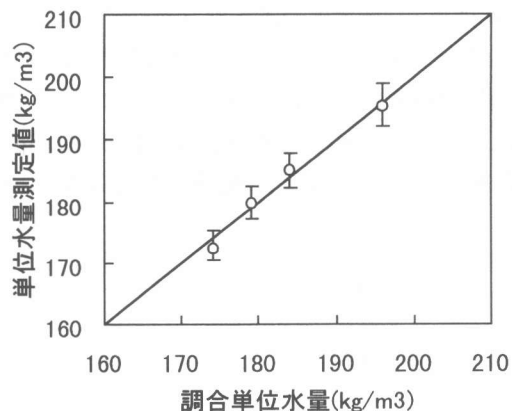


図-10 単位水量測定値と調査単位水量の関係
(粗骨材量による補正, RI 負荷時間 9 分間)

くすることと線源強度を高めることが有効である。一方、採取試料のバラツキの影響を低減するためには、4.4で述べたように試料の量を増加させたり粗骨材量を測定して補正を行うことが有効と考えられる。

上記の考察から、図-2のデータを用いてRI負荷時間を9分間とし粗骨材量による補正を行って修正したときの単位水量の測定値と調合上の単位水量の関係は図-10のようになる。測定値の変動は $\sigma=1.8\sim 3.2\text{kg/m}^3$ と図-2の場合に比べて約半分となった。セメント量 300kg/m^3 程度のコンクリートの場合、水セメント比2%程度の測定精度($2\sigma=6\text{kg/m}^3$)が必要と考えると、図-10に示した測定値の変動はこの条件をほぼ満足するものである。

6. まとめ

RI水分計の測定精度に関する実験の結果を以下にまとめる。

- ① RI水分計による6回繰返し測定の平均値は調合上の単位水量とほぼ一致した。
- ② RI負荷時間を長くすることにより測定値の変動は小さくなる。
- ③ 採取試料のバラツキにより測定値は変動するが、粗骨材量による補正を行うことにより測定値のバラツキを低減できる。
- ④ 試料容器の設置方向は測定値に大きな影響を及ぼさない。
- ⑤ RI水分計による測定精度を向上させるには、RIの負荷時間を長くすることと採取した試料中の粗骨材量による補正が有効である。

謝辞

本研究に際し、大阪工業大学 小林和夫教授、ならびに日本建築総合試験所 田村博 材料試験室室長にご助言をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 豊福俊泰・吉岡博幸・高橋 隆：ラジオアイソトープによるフレッシュコンクリートの品質判定法に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，vol.10, No.2, pp.337-342, 1988
- [2] 豊福俊泰・吉岡博幸：フレッシュコンクリートの単位水量の早期迅速試験法に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，vol.11, No.1, pp.153-158, 1989
- [3] RI計器による土の密度試験方法(106-1992)，日本道路公団試験方法，pp.1-217-1-224, 1992.4