

報 告

[1021] ラジオアイソトープ水分計による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

正会員 増田 隆 (日本道路公団新潟建設局)  
 正会員○藤岡正男 (日本道路公団試験所)  
 水野津与志 (日本道路公団試験所)

1. はじめに

コンクリートの品質管理において、打込み前のフレッシュコンクリートの段階で強度、耐久性、水密性およびワーカビリティに大きな影響を及ぼす単位水量を短時間に精度よく測定することは重要である。これまで、各種の単位水量の試験方法が提案されているが、実用上の問題点がまだ多いと思われる。

そこで、日本道路公団では、ラジオアイソトープ(放射性同位元素、以下「R I」という)を用いたラジオアイソトープ水分計(中性子水分計、以下「R I水分計」という)によるフレッシュコンクリートの単位水量の早期迅速試験法の開発を進めている[1]~[4]。本報告は、実際のコンクリート打設現場において実施した試験結果から、R I水分計の現場への適用性について検討したものである。

2. 試験概要

2. 1 試験装置

フレッシュコンクリートの単位水量試験装置は図-1に示すとおりであり単位水量試験に加えて空気量試験(JIS A 1128)を同一試料に対して行うことができる点が特徴である。線源にはカリフォルニウム252( $^{252}\text{Cf}$ 、半減期2.65年)を用いている。なお、線源強度は、取扱いにおいて放射線防止法等の法的規制を受けず特別な資格を必要としない100 $\mu\text{Ci}$ である。

基本原理は、水素の原子核との衝突による速中性子の減速能が他の元素とのそれより大きいことを利用したものであり、R I水分計は、線源と検出器との間に被測定物質を置いて、放射線透過に伴う速中性子の減衰を直接減衰率として測定する透過型である。R I水分計は、骨材、セメントそれぞれに含まれる水も測定するため、単位水量を求めるためには、骨材中に含まれる水分量およびセメント中に含まれる水分量を減じなければならない。この場合、吸水率の試験温度(100~110℃)で検出されない水分量(吸水量以外の水分量)については、強熱減量試験によって求めることとしている。

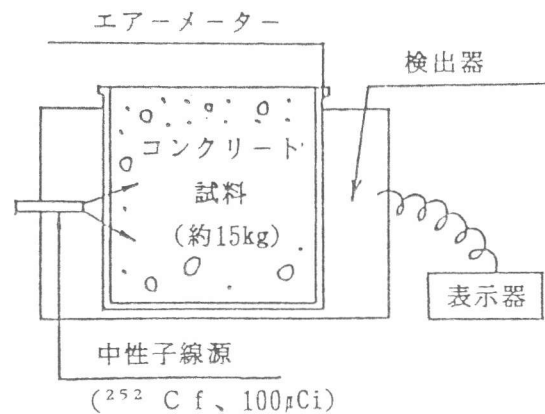


図-1 試験装置

2. 2 R I水分計による単位水量の試験方法

RI水分計による単位水量の測定は、生コンプラント15工場から納入されている15工事のコンクリート打設現場において実施した。延べ測定日数は34日、延べ測定回数は182回、日当たり測定回数は1～8回である。

試験日ごとに、蓋を外したエアーマータ（JIS A 1128）を試験装置にセットして1回1分間で合計10回計数率を測定し、その平均値を標準体計数率 $N_{sn}$ として求めておく。次に、空気量試験と同様の方法で、トラックアジテータから排出されるコンクリート試料（約15kg）をエアーマータに入れ、蓋を外した状態で試験装置にセットして1回1分間で合計5回計数率を測定し、その平均値 $N_n$ を求め、計数率比 $R_n(N_n/N_{sn})$ を算出する。計数率比 $R_n$ と単位全水量には、室内試験結果から式（1）に示す較正式が得られている[4]。

$$R_n = a + b W_T + c \rho_{mi} + d \rho_{di}$$

$$= \{4417.01 - 4.79764 \cdot W_T - 6.95573 \cdot \rho_{mi} - 0.588865 \cdot \rho_{di}\} \times 10^{-4} \quad (1)$$

ここで、 $R_n$ ：中性子計数率比

$W_T$ ：単位全水量で、コンクリート単位容積当たりの水量 $W$ と骨材の吸水量 $W_0$ との和 ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_{mi}$ ：コンクリート単位容積当たりの骨材の強熱減量重量 ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_{di}$ ：コンクリート単位容積当たりのコンクリートの強熱減量残分重量 ( $\text{kg/m}^3$ )

今回の現場試験では、JIS R 5202（強熱温度1000℃）に準拠した骨材の強熱減量試験による強熱減量の代わりに、RI水分計にて推定したコンクリート中の強熱減量（以下、 $I_g$ という）を使用して、単位全水量を求めた。すなわち、測定日1台目のトラックアジテータから排出されるコンクリートの計数率比 $R_n$ 、骨材の比重・吸水率・表面水率および生コンプラントに設置された自動計量記録装置により記録された印字記録値から、式（2）により $I_g$ を算出し、この $I_g$ を用いた式（3）に各トラックアジテータごとに測定された計数率比 $R_n$ を代入して単位全水量を求めた。単位水量は、式（4）に示すように単位全水量から骨材の吸水量を差し引いて求めた。

$$I_g = 1/\beta \times \{1 - \{(a + b \times \rho_T - R_n) / (b - d)\} / (\rho_T - W_0 - W_0)\} \quad (2)$$

$$W_T = \rho_T - \{(a + b \times \rho_T - R_n) / (b - d)\} / (1 - \beta \times I_g) \quad (3)$$

$$W = W_T - W_0 = W_T - \{S_p \times 100 / (100 + p_s) \times Q_s / (100 + Q_s) + G_p \times 100 / (100 + p_g) \times Q_g / (100 + Q_g)\} / V_0 \quad (4)$$

ここで、 $I_g$ ：RI水分計にて推定したコンクリート中の強熱減量(%)

$\rho_T$ ：コンクリートの単位容積重量( $\text{kg/m}^3$ ) ( $C_p + W_p + S_p + G_p$ ) /  $V_0$

$\beta$ ： $(c - d) / (b - d) = 1.51276$

a、b、c、d：式（1）に示す定数

$W_0$ ：骨材の吸水量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C_P$ 、 $W_P$ 、 $S_P$ 、 $G_P$ 、 $V_0$ 、 $W_0$ 、 $p_S$ 、 $p_G$ ：「2.3 単位水量の基準値の算出方法」を参照

$Q_S$ 、 $Q_G$ ：細骨材、粗骨材の吸水率(%)

## 2. 3 単位水量の基準値の算出方法

R I 水分計により測定した単位水量と比較するための単位水量の基準値（以下、基準値 $W_0$ という）は、プラントに設置された自動計量記録装置により記録された印字記録値から、トラックアジテータごとに、以下に示す式（5）～式（7）により算出した。

$$V = C_P / \rho_C + \{W_P + S_P \times p_S / (100 + p_S) + G_P \times p_G / (100 + p_G)\}$$

$$+ \{S_P \times 100 / (100 + p_S)\} / \rho_S + \{G_P \times 100 / (100 + p_G)\} / \rho_G \quad \text{式（5）}$$

$$V_0 = V / (1000 - 10 \times A) \quad \text{式（6）}$$

$$W_0 = \{W_P + S_P \times p_S / (100 + p_S) + G_P \times p_G / (100 + p_G)\} / V_0 \quad \text{式（7）}$$

ここで、 $W_0$ ：単位水量の基準値 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$W_P$ 、 $C_P$ 、 $S_P$ 、 $G_P$ ：水、セメント、細骨材、粗骨材の印字記録値(Kg)

$\rho_C$ 、 $\rho_S$ 、 $\rho_G$ ：セメント、細骨材、粗骨材の比重

$p_S$ 、 $p_G$ ：細骨材、粗骨材の表面水率(%)

A：コンクリートの空気量(%)

セメントの比重は、セメント試験成績表の値を使用し、骨材の比重・吸水率、骨材の表面水率は、R I 水分計にて単位水量を測定したコンクリートごとに、生コンプラントの計量槽あるいは貯蔵槽から試料を採取して、JIS A 1109、JIS A 1110、JIS A 1111、JIS A 1125にもとづき試験した値を使用した。また、コンクリートの空気量は R I 水分計にて単位水量を測定したコンクリートごとに、同一試料にて JIS A 1128にもとづき試験した値を使用した。

## 3. 試験結果と考察

R I 水分計による単位水量の算出は、以下に示すような3条件で式（3）～式（5）により行った。

算出条件①トラックアジテータごとの骨材の比重・吸水率・表面水率の実測値およびトラックアジテータごとの印字記録値から求めた単位水量（以下、試験値 $W_1$ という）

算出条件②測定日1台目のトラックアジテータの骨材の比重・吸水率・表面水率の実測値およびトラックアジテータごとの印字記録値から求めた単位水量（以下、試験値 $W_2$ という）

算出条件③骨材の比重・吸水率として定期管理試験値（日本道路公団では1箇月に1回試験

値を報告するように規定)、骨材の表面水率として測定日1台目のトラックアジテータの骨材の実測値、およびトラックアジテータごとの印字記録値から求めた単位水量(以下、試験値 $W_1$ という)

なお、I gの算出における骨材の比重・吸水率・表面水率として、算出条件①および算出条件②の場合、測定日1台目のトラックアジテータの実測値、算出条件③の場合、比重・吸水率は定期管理試験値、表面水率は測定日1台目のトラックアジテータの実測値を使用した。

試験値 $W_1$ と基準値 $W_0$ との差の度数分布を図-2に、試験値 $W_1$ と基準値 $W_0$ との相関関係を図-3に示す。図-2より試験値 $W_1$ と基準値 $W_0$ との差は、 $+23.2 \sim -28.0 \text{ kg/m}^3$ の範囲にあり、データ数182のうち $\pm 5 \text{ kg/m}^3$ の範囲内に125(全体の69%)、 $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ の範囲内に149(全体の82%)が分布しており、差の平均値は $-1.73 \text{ kg/m}^3$ 、差の標準偏差は $\pm 7.86 \text{ kg/m}^3$ となっている。図-3より試験値 $W_1$ と基準値 $W_0$ との相関係数は0.923であり、かなり強い相関を示している。

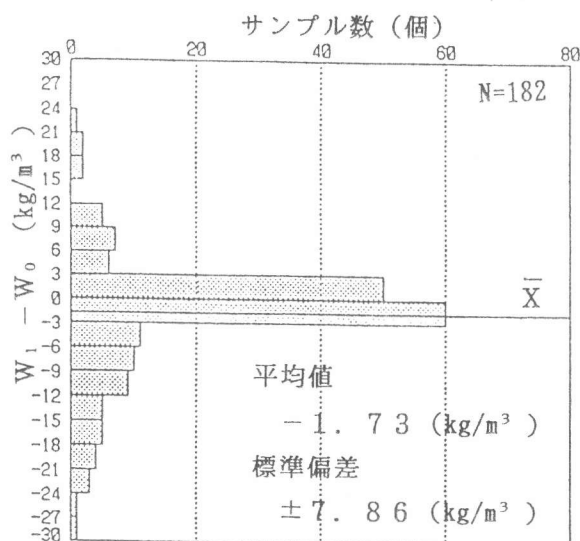


図-2  $W_1$ と $W_0$ の差の度数分布

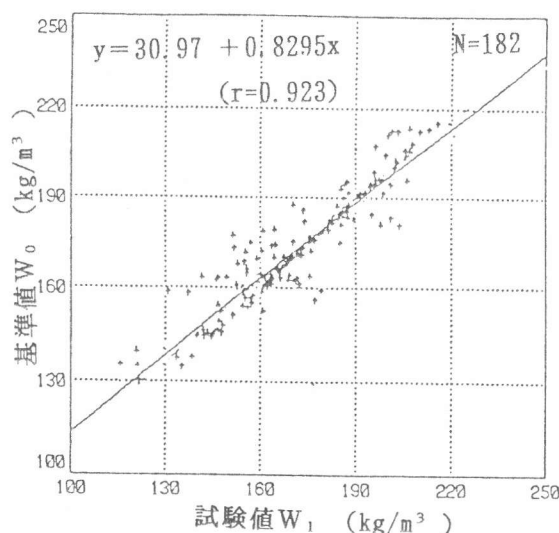


図-3  $W_1$ と $W_0$ の関係

また、測定回数182回のうち92回は、JIS R 5202に準拠した骨材の強熱減量試験を実施している。この92回について、強熱減量の実測値を使用した試験値と基準値 $W_0$ との差の平均値 $+10.61 \text{ kg/m}^3$ 、差の標準偏差 $\pm 11.27 \text{ kg/m}^3$ 、I gを使用した試験値と基準値 $W_0$ との差の平均値 $-3.93 \text{ kg/m}^3$ 、差の標準偏差 $\pm 10.64 \text{ kg/m}^3$ という結果を得ており、I gを使用したほうが精度がよくなっている。強熱減量の実測値から求めたコンクリート中の強熱減量(以下、 $L_i$ という)とI gの関係(一例)は図-4に示すとおりであり、I gが $L_i$ より大きくなっているが、現場試験での骨材のサンプリング誤差などを考えると、骨材を粉碎して微量な試料で行う強熱減量試験による強熱減量

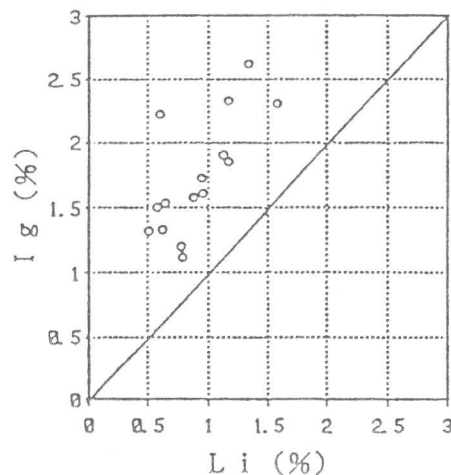


図-4 I gと $L_i$ の関係

よりもI gのほうが本来の値を示していると思われる。以上より、強熱減量試験による強熱減量の代わりに、RI水分計にて推定したコンクリート中の強熱減量を使用して、RI水分計により単位水量の測定が可能であると考えられる。

試験値 $W_2$ と基準値 $W_0$ との差の度数分布を図-5に、試験値 $W_2$ と基準値 $W_0$ との相関関係を図-6に示す。図-5より試験値 $W_2$ と基準値 $W_0$ との差は、 $+25.5 \sim -31.8 \text{ kg/m}^3$ の範囲にあり、データ数182のうち $\pm 5 \text{ kg/m}^3$ の範囲内に120(全体の66%)、 $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ の範囲内に142(全体の78%)が分布しており、差の平均値は $-2.17 \text{ kg/m}^3$ 、差の標準偏差は $\pm 8.60 \text{ kg/m}^3$ となっている。図-6より試験値 $W_2$ と基準値 $W_0$ との相関係数は0.903であり、かなり強い相関を示している。また、試験値 $W_1$ の試験結果と比較しても試験値 $W_2$ の試験結果は大差がない。試験値 $W_2$ の算出は、測定日1台目のトラックアジテータの骨材の比重・吸水率、表面水率の実測値を使用した。が、実用上からすると測定日の前日に骨材の比重・吸水率試験を行うことにより同程度の精度が得られると考えられる。

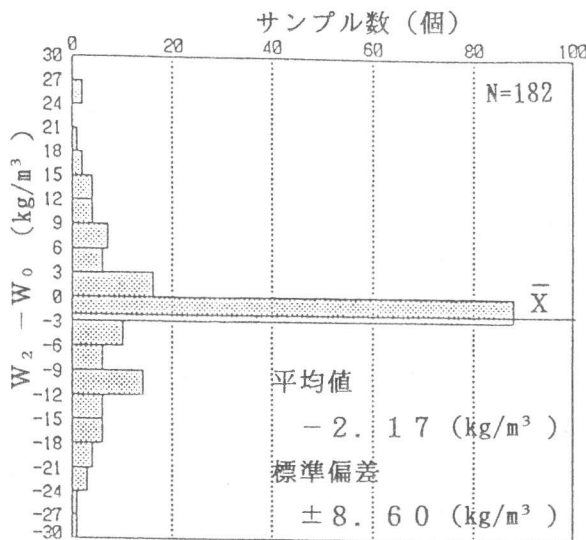


図-5  $W_2$ と $W_0$ の差の度数分布

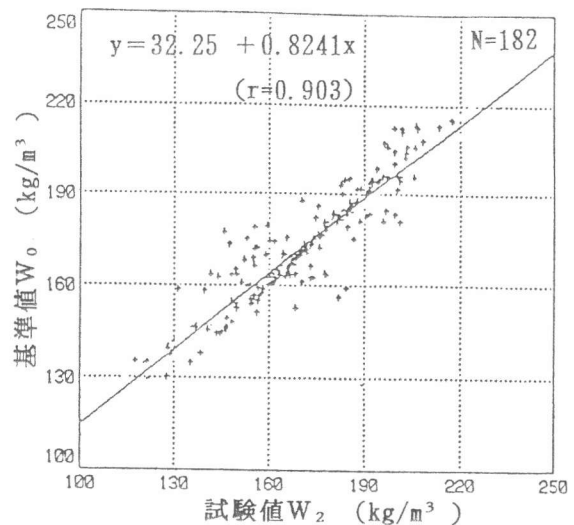


図-6  $W_2$ と $W_0$ の関係

試験値 $W_3$ と基準値 $W_0$ との差の度数分布を図-7に、試験値 $W_3$ と基準値 $W_0$ との相関関係を図-8に示す。図-7より試験値 $W_3$ と基準値 $W_0$ との差は、 $+29.5 \sim -31.5 \text{ kg/m}^3$ の範囲にあり、データ数182のうち $\pm 5 \text{ kg/m}^3$ の範囲内に119(全体の65%)、 $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ の範囲内に142(全体の78%)が分布しており、差の平均値は $-0.94 \text{ kg/m}^3$ 、差の標準偏差は $\pm 9.25 \text{ kg/m}^3$ となっている。図-8より試験値 $W_3$ と基準値 $W_0$ との相関係数は0.875と、試験値 $W_1$ および試験値 $W_2$ と比べると低くなっているが、かなり強い相関を示している。試験値 $W_1$ の試験結果と比較すると試験値 $W_3$ の精度は低くなっている。これは、骨材の比重・吸水率の変動、特に、吸水率の変動がRI水分計の測定精度に与える影響は大きく、今回の現場試験では、骨材の吸水率の実測値と定期管理試験値との差が、細骨材で $-0.5\% \sim +2.1\%$ 、粗骨材で $-0.3\% \sim +1.0\%$ 、吸水量にして、最大 $+15 \text{ kg/m}^3$ 程度の差があるものがあり、試験値 $W_3$ の算出に使用した骨材の吸水率の定期管理試験値と実測値が大きく異なっているものがあったのが原因であると思われる。以上より、骨材の比重・吸水率の変動が大きい場合には、測定日の前日に骨材の比重・吸水率試験を行うことに

より測定精度が向上できると考えられる。

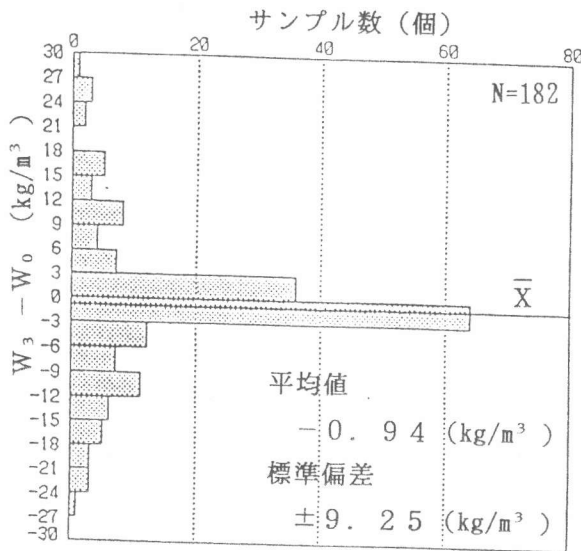


図-7  $W_3$  と  $W_0$  の差の度数分布

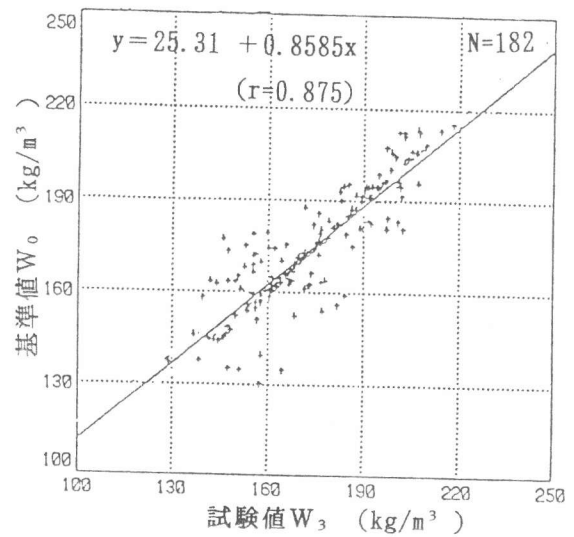


図-8  $W_3$  と  $W_0$  の関係

#### 4. まとめ

本試験の結果をまとめると、以下のとおりである。

① JIS A 5202に準拠した骨材の強熱減量試験による強熱減量の代わりに、R I 水分計で推定したコンクリート中の強熱減量を使用して、R I 水分計により単位水量の測定が可能である。

② 骨材の比重・吸水率の変動がR I 水分計の測定精度に与える影響は大きいため、骨材の比重・吸水率の変動が大きい場合には、今回の現場試験では、測定日に骨材の比重・吸水率試験を実施したが、測定日の前日に骨材の比重・吸水率試験を行うことにより測定精度が向上できると考えられる。

今後、さらに現場試験を行いデータを蓄積しR I 水分計の実用化を進めてゆく予定である。

[謝辞] 本現場試験のため御協力いただいた公団をはじめ、生コンプラント、工事現場の方々に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- [1] 豊福俊泰・吉岡博幸・高橋隆：コンクリートの単位水量管理に関する研究、第17回日本道路会議特定課題論文集、pp. 229~231、1987.10
- [2] 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、10-2、pp. 337~342、1988.6
- [3] 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、11-1、pp. 153~158、1989.7
- [4] 豊福俊泰・増田隆・吉岡博幸：迅速乾燥法、R I 法および自動計量記録値による単位水量の早期迅速試験法に関する研究、コンクリート工学論文集、第一巻第一号、pp. 165~176、1990.1