

論文 静電容量式水分計によるフレッシュコンクリートの単位水量管理方法の検討

千歩 修^{*1}・浜 幸雄^{*2}・三森 敏司^{*3}・大楽 隆男^{*4}

要旨: ウエットスクリーニングしたモルタルを用い、フレッシュコンクリートの単位水量を簡単に推定できる静電容量式水分計が開発されている。しかしながら、現場におけるウエットスクリーニングの作業は手間のかかるものである。ここでは、コンクリートに対して水分計測定結果に影響をおよぼす要因を検討し、ウエットスクリーニングを行わずにこの水分計を利用するコンクリートの単位水量管理方法を考える。

キーワード: コンクリート、単位水量、静電容量、水分計

1. はじめに

コンクリートの単位水量を現場で測定する方法が数多く提案されており、このなかで静電容量式水分計を用いたものは特に測定が容易であるという特徴がある。静電容量式水分計とは、水の誘電率が他の材料と大きくことなることを利用したもので、ウエットスクリーニングしたモルタルの誘電率を測定し、調合上のデータを用いて単位水量を直接表示する小型の機器が開発されている[1]。しかしながら、現場におけるウエットスクリーニングの作業は面倒なものであり、ウエットスクリーニングの程度が測定値に与える影響も懸念される。ここでは、この水分計のモルタル・コンクリート測定時の特性・影響要因をとらえ、ウエットスクリーニングを行わず

に、この水分計を用いたコンクリートの単位水量管理方法を検討する。

2. 実験の概要

2.1 測定手順・項目と単位水量の計算

試料中の水分量・単位水量を直接測定することは難しく、ここでは図1に示す方法で質量等を測定し、調合表のデータを用いて計算によって試料中の水分量・単位水量を求めることとした。計算にあたっては代表的な試料が採取されていることを仮定している。

ここでは、水分計でコンクリートを直接測定し、このあとに粗骨材を洗い出して粗骨材量を測定し、水分量等を計算するものである。試料中の水分量等

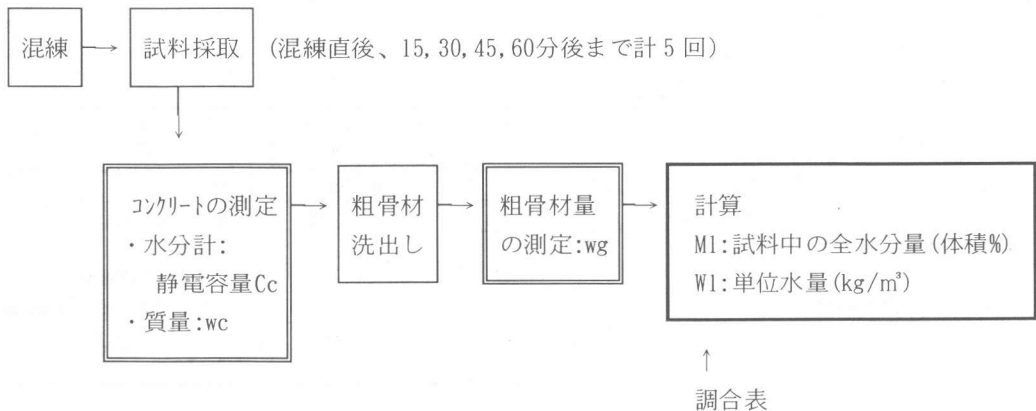


図1 測定方法と手順

*1 北海道大学助教授 大学院工学研究科 材料性能学研究室 工博(正会員)
 *2 北海道大学助手 大学院工学研究科 材料性能学研究室 博士(工学)(正会員)
 *3 釧路工業高等専門学校助教授 建築学科(正会員)
 *4 釧路工業高等専門学校教授 建築学科(正会員)

の計算は以下のように行った。

(1) 試料中の粗骨材量[wg] (g)は、洗い出しの骨材を表乾状態とし、質量を測定した。

(2) wg 中の水量[Wg] (g)

$$Wg = wg - w_{g0} = wg \times Qg / (Qg + 1) \quad \dots (2.1)$$

ここで、w_{g0}: wgの絶乾状態の質量(g)

Qg: 粗骨材の吸水率(%) / 100

(3) 試料中のモルタル質量[wm] (g)

$$wm = wc - wg \quad \dots (2.2)$$

ここで、wc: 試料(コンクリート)の質量(g)

(4) wm 中の単位水量分の水量[Ww] (g)

$$Ww = wm \times Tw / (Tw + Tc + Ts) \quad \dots (2.3)$$

ここで、T: 調合表の1m³当たりの質量

サック w, c, s は、それぞれ水、セメント、砂

(5) wm 中の砂の表乾状態の質量[ws] (g)

$$ws = wm \times Ts / (Tw + Tc + Ts) \quad \dots (2.4)$$

(6) ws 中の水分[W_s] (g)

$$W_s = ws - w_{s0} = ws \times Q_s / (Q_s + 1) \quad \dots (2.5)$$

ここで、w_{s0}: w_sの絶乾状態の質量(g)

Q_s: 砂の吸水率(%) / 100

(7) 試料中の水分量(g) [W_t]

$$W_t = W_w + W_s + W_g \quad \dots (2.6)$$

(8) 試料中の水分[M₁] (体積%) :

$$M_1 = 100 \times W_t / V \quad \dots (2.7)$$

ここで、V: 試料容積(336.15cm³)

(9) 試料の単位水量[W₁] (kg/m³) :

$$W_1 = 1000 \times W_w / V \quad \dots (2.8)$$

なお、W₁には、空気量の影響を見ていない。

また、経時変化等を検討するために、混練直後から15分おきに60分まで5回の試料採取・測定を行うこととした。なお、試料の採取は1回の測定につき3体とした。

2.2 水分計の概要

ここで用いた水分計は、試料を電極付の専用容

器(容積:336.15cm³)につめ、機械にセットするだけで静電容量と電気抵抗を同時に測定(測定時間10秒程度)できるものである。さらに、入力された調査データを用いて自動的に計算し、単位水量を直接表示できる機能を持つている。しかしながら、計算式が公表されていないため、ここでは静電容量等をダイレクトモードで測定することとした。

2.2 コンクリートの種類と材料

コンクリートの種類は表1に示すように混和剤種別・細骨材種別を変えたものであり、すべての条件で表2に示すように水セメント比40%、50%および60%の単位水量の異なるものを作製した。なお、各調査の名称を表1の記号に水セメント比を加えたもので表現するものとする(例:Ss40。2体目がある場合、2体目はSs40-2と表記)。

調査は、AE減水剤と陸砂を用いたもの(Ar)でスランプ18cm、空気量4.5%となるような基本調査(表2、W/Cが変わっても粗骨材の絶対容積一定)を試練りによって決定し、混和剤・砂の種別が変わっても調査を同じとした。このため、スランプは調査によって大きく異なるものもある。また、高性能AE減水剤を用いたものについては、一部で混和剤量を増加させ、スランプを変化させた。なお、セメントは普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³)、骨材は表3に示すものを使用した。

表1 コンクリートの種類

記号	混和剤種別	細骨材種別	備考
Ar	AE減水剤	陸砂	・基本調査
As		砕砂	・砂の絶対容積はArと同じ
Ss	高性能AE減水剤		・スランプは調整しないが、Ssでは混和剤の使用量も変化させる(スランプも変わる)
Pr	なし	陸砂	

表2 基本調査

W/C (%)	単位水量 W(kg/3)	絶対容積(l/m ³)		
		セメント	細骨材	粗骨材
40	183	145	257	370
50	174	110	301	370
60	171	90	324	370

表3 骨材の性状

骨材種別	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	粗粒率 (%)
コイト産陸砂	2.69	1.46	1.75	2.08
八王子産砕砂	2.64	1.24	1.65	3.22
尾幌産砕石	2.68	1.42	1.56	6.53

3. 結果および考察

3.1 結果の概要

測定結果の概要を表4に示す。この表では、練り上がり性状欄の単位水量は、練上がり時の空気量を用いて作成した調査表の単位水量であり、水分計測定値および単位水量の計算値は同一種類のコンクリートのすべて測定値(3体×5測定回数)の平均値を示している。

3.2 水分計測定値の経時変化

図2に静電容量および電気抵抗の経時変化の一例(Pr60の場合)を示す。この図によると電気抵抗については、時間とともに大きくなる傾向があることがわかる。また、静電容量については、ばらつきはあるものの、時間の経過に伴う変化が電気抵抗に比べて小さいといえる。現場においては測定のタイミングが一定とならないことが予想され、値の経時変化が小さいということは単位水量の管理における静電容量値のメリットといえる。

ここでの傾向は、他の調査についても同様であり、これ以降の検討では静電容量の値だけを用いて検討を行うこととする。

3.3 各調査の単位水量の値

コンクリートの単位水量は直接測定できないため、ここでは調査のデータを用いて単位水量(W1)および試料中の水分(M1)を計算したが、同一調査における単位水量(W1)の平均値(3体×5回)と練上がり時の

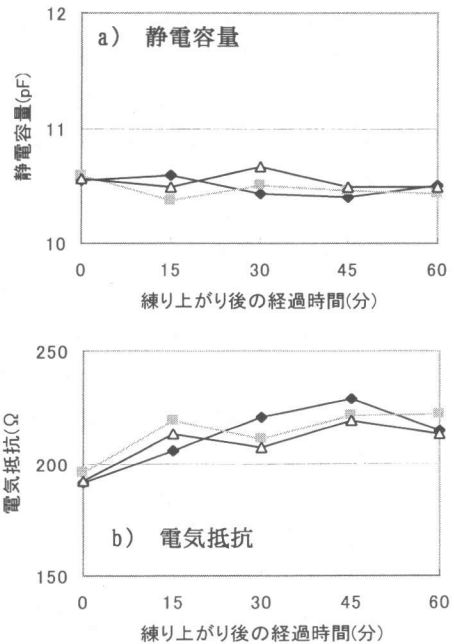


図2 水分計測定値の経時変化(Pr60)

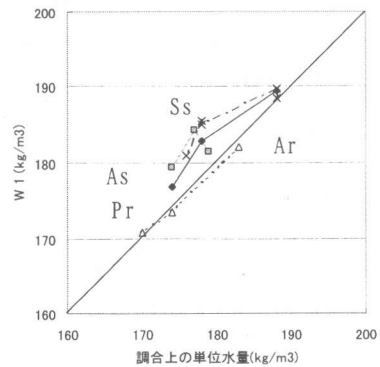


図3 調査上と計算による単位水量の関係

表4 結果の概要

記号	混和剤		粗骨材	練上がり性状			水分計による 静電容量 全平均値(pF)	質量等から求めた 単位水量(kg/m ³) W1
	種別	使用量 (l/m ³)		sl. (cm)	Air (%)	W (kg/m ³)		
Ar40	AE 減水剤	1.144	陸砂	19.2	5.2	183	10.77	182.0
Ar50		0.870		18.1	4.4	174	10.61	173.5
Ar60		0.713		18.3	5.3	170	10.52	170.8
As40	高性能 AE 減水剤	1.144	砕砂	11.3	6.5	179	10.62	181.3
As50		0.870		12.8	2.9	177	10.69	184.2
As60		0.713		4.7	2.6	174	10.48	179.3
Ss40		3.203		19.0	2.1	188	10.68	188.4
Ss40-2		2.745		17.6	1.7	188	10.72	189.7
Ss50		1.740		8.5	2.1	178	10.63	185.0
Ss50-2	2.436	6.7	2.2	178	10.65	185.4		
Ss60	2.280	4.4	1.8	176	10.61	180.8		
Pr40	なし	0	陸砂	14.7	1.9	188	10.99	189.4
Pr50		0		13.4	2.5	178	10.80	182.8
Pr60		0		3.6	2.9	174	10.51	176.8

調合上の単位水量の関係を図3に示す。全体的にみると、単位水量の計算値は、調合上の値よりも大きい傾向となっているが、ほぼ調合表の値に対応しているといえる。1体1体のデータはばらついているが15体分、約5リットルの試料となるとばらつきはかなり小さくなるものと考えられる。ここでは、試料中の水分量の値(M1)および単位水量の値(W1)の同一調合(3体×5回分)の平均値をそのコンクリートの単位水量の実際の値として以下の検討を進めることとする。

3.4 試料中の水分と静電容量の関係

コンクリートすべての試料について静電容量と試料中の水分(M1)の関係を図4に示す。この図からばらつきは大きいものの試料中の水分が多くなるほど静電容量が大きくなる傾向があることがわかる。コンクリートの全データについて直線回帰を行った結果、図のなかに示す関係式を得た。

コンクリートの試料について調合種別ごとに試料

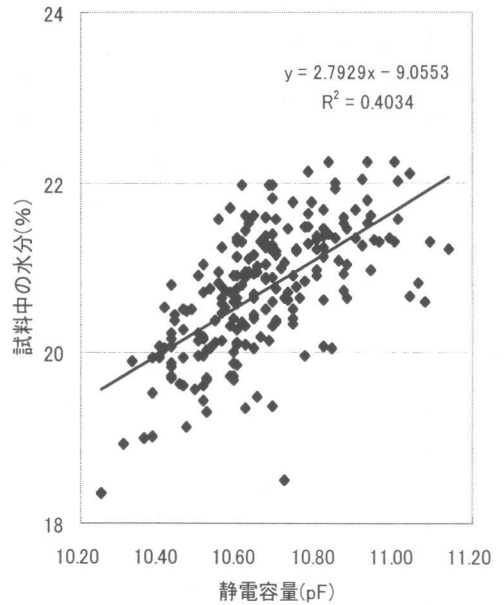


図4 静電容量と試料中の水分量の関係(全データ)

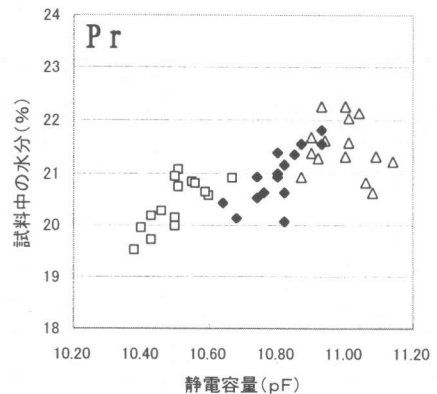
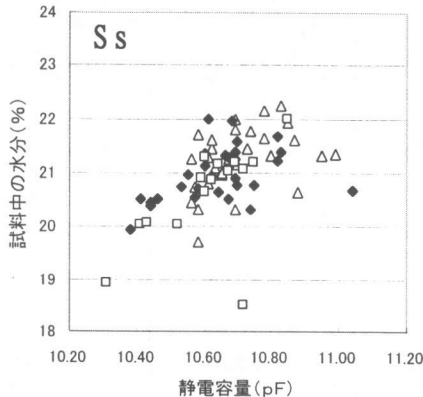
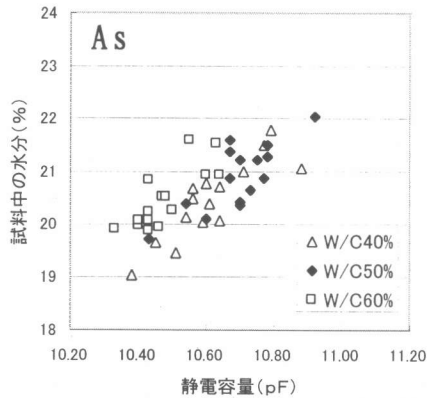
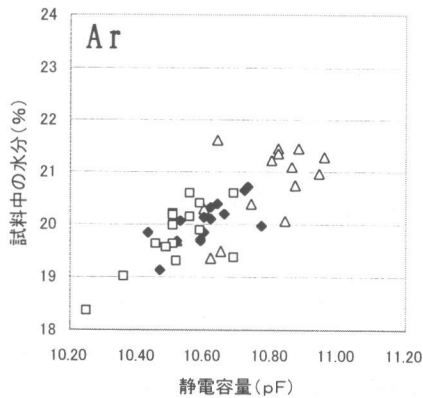


図5 静電容量と試料中の水分の関係(調合種別ごと)

中の水分(M1)と静電容量の関係を示したものが図5である。この図では試料中の粗骨材量により試料中の水分が変わり、この変化量は調合時の単位水量5kg/m³程度の差による測定値の差と同等程度の値であり、単位水量によるコンクリート種別の差を不明確にしている。

なお、同一調合(例えば、ArのW/C60%だけ)をみると、右上がりの傾向が認められる。これは、粗骨材量の差によって試料中の水分の量が増え、これに対して静電容量の値は対応していることを示している。このため、この水分計は精度よく試料中の水分量を測定していると考えられる。しかしながら、この図のばらつきは大きく、粗骨材量以外の要因も影響していると考えられる。試料中の水分の算定ではモルタルは均質なものが採取されることを仮定しているが、モルタルも不均一となっていること、試料中の空気量の影響があること等が考えられる。

コンクリートの静電容量と試料中の水分(M1)の調合種別ごとの平均値の関係を図6に示す。この図によると、調合種別による影響、すなわち砂の種類および混和剤の種類による影響があると考えられ、より有効にこの水分計を使用するためには、影響要因とその程度を明らかにする必要がある。

3.5 静電容量-水分量の回帰式を用いた単位水量の推定

図4の回帰式を用いると静電容量値[E]から試料中の水分量を推定し、単位水量を計算することができる。すなわち、この推定水分量[Me](%)は、

$$Me = a \cdot E + b \quad \dots (3.1)$$

ここで、a, b: 図4中の式参照

Me中の細骨材分の水分量[Mes](%)および粗骨材分の水分量[Meg](%)は、それぞれ、

$$Mes = Ts \cdot Qs / ((1+Qs) \times 10) \quad \dots (3.2)$$

$$Meg = Tg \cdot Qg / ((1+Qg) \times 10) \quad \dots (3.3)$$

回帰式による推定単位水量[We](kg/m³)は、

$$We = (Me - Mes - Meg) \times 10 \quad \dots (3.4)$$

この推定単位水量法Weと粗骨材量を洗い出して求めた(2.8)式による単位水量W1の関係をArの調合のひとつひとつのデータについて図7に示す。この図からW1はWeが大きくなるほど大きくなる傾向

があることがわかる。なお、Arは図6に示すように同じ静電容量値に対して最も試料中の水分量が小さく出てくる調合の種類、すなわち誤差が最も大きく出ると考えられるものである。このままでは誤差が大きく現在のWeの値を直接使うことは難しいと考えられる。

また、ArとPrの2つのコンクリート種別について各試料のW1とWeの変化を図8に示す。Weの単位水量の値は調合種別によってずれているが、Weの値はW1に比べて安定しているといえる。この理由は不明であるが、Weの変化をみるだけで単位水量の異なる調合を区別することができる、We(静電容量)を多数回測定することは有効な管理になると考えられる。

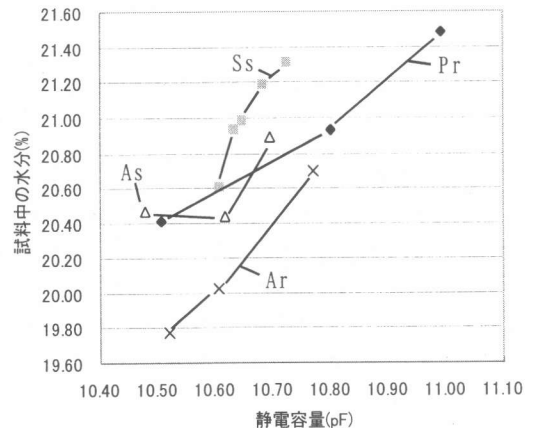


図6 静電容量と試料中の水分の関係 (調合ごとの平均値)

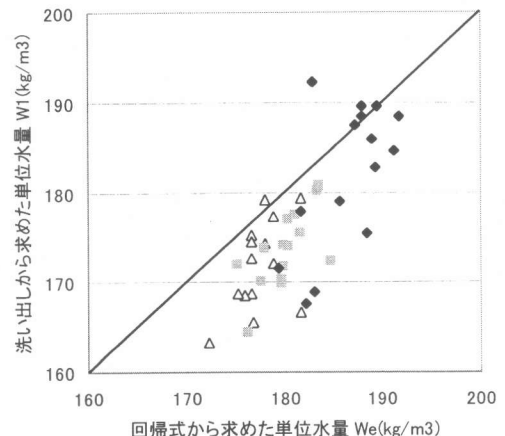


図7 WeとW1の関係(Arの場合)

3.6 水分計を用いた単位水量管方法

これまでの知見をもとに、現在、この水分計を有効に使い、コンクリート自体を測定する単位水量の管理方法として以下の方法を提案する。

「こまめな静電容量の測定と洗い出しおよび質量測定による単位水量の算定を併用する。両者の比較から単位水量の変化を推測する。」

この方法のイメージは図8の単位水量を静電容量に置き換えたものである。静電容量の測定は簡単であり、単位水量の確認のために洗い出し等によるW1の計算を行う。W1のばらつきは試料の量が少ないために生じていると考えられ、試料量の増加が必要である。なお、静電容量におよぼす調合種別等の影響が明確になれば、Weの値だけで管理できる可能性もある。

4. まとめ

本実験の結果からこの水分計を用いた測定の特徴

をまとめると以下ようになる。

- 1) コンクリートの静電容量の値は、電気抵抗値に比べて経時変化が小さい。
- 2) コンクリートでは、小さな試料容器の場合、粗骨材量による水分量の変化が測定値に影響する。
- 3) 水分計の測定結果には、コンクリート中の砂の種類・混和剤の種類等の調合の条件、空気量・粗骨材の量等のばらつきが影響する。

以上から静電容量値そのものと洗い出しによる骨材質量と調合表等から計算する単位水量の2つを併用して単位水量を管理する方法を提案した。また、様々な要因が影響することが考えられ、今後、これらの点について明確にする必要がある。

参考文献

[1] 斎 充ほか：静電容量型水分計によるフレッシュコンクリートの単位水量推定、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 20, No. 2, pp. 307-312, 1998

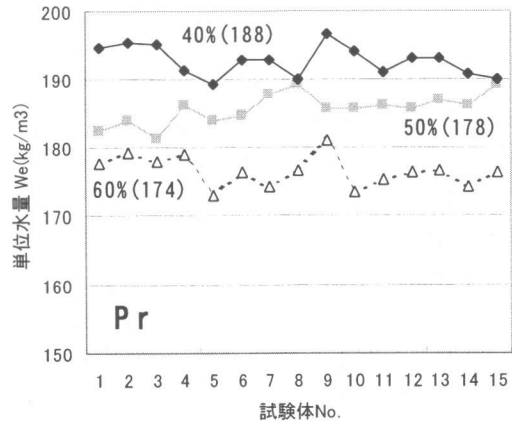
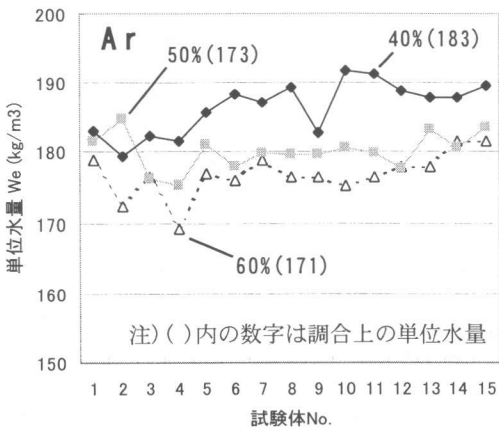
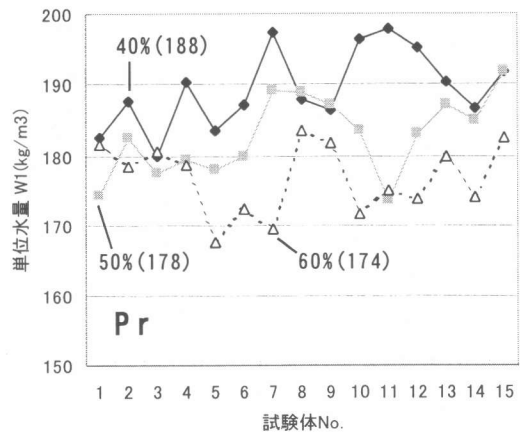
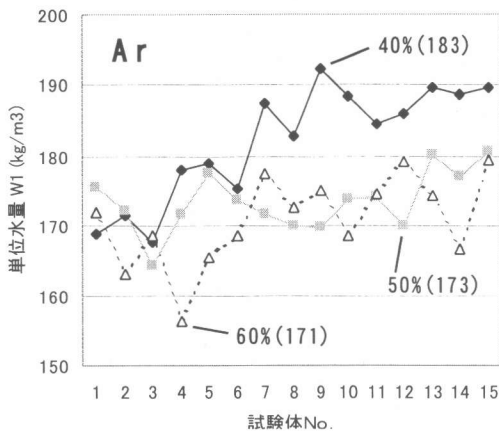


図8 単位水量推定値(We, W1)の変化の変化