

[1] 現場コンクリートの比重計方法による水セメント比の推定

正会員 椎 名 国 雄 (東海大学工学部)

1. ま え が き

現場に搬入されたレデーミクストコンクリートの品質の早期判定方法の1つとして、比重浮ひょう(うきばかり)を用いてコンクリートからふるい分けた希釈モルタルの比重を測定することによってセメント量を求める比重計方法がある。比重計方法でセメント量を測定する際に、同一モルタル試料の空気を含まない絶対容積を測定しておけば、セメントおよび細骨材の比重を既知として水量が計算できるので比重計方法によって求めたセメント量と合せて水セメント比の測定が可能となる。¹⁾²⁾水セメント比はコンクリートの強度と密接な関係があるから、水セメント比の異常からコンクリートの異常を発見することは容易であり、搬入されたコンクリートを管理するうえで極めて有効と考えられる。ここでは、このような方法を用いて都内および神奈川県内の各1個所の現場から計16回の試料を採取して水セメント比を測定し、この方法の実用性を検討したので報告する。

2. 比重計方法から水セメント比を測定する手順

2.1 モルタルけん濁液の比重から水セメント比を求める方法 (i) まだ固まらないコンクリートを均質となるよう練り返してから約2ℓ採取し、5mm網ふるいを用いて湿式ふるい分けを行い、5mm網ふるいを通過したモルタルを試料皿に取る。(ii) 容器の質量および容積(縁の高さと正しく一致するように水を入れたときの水の質量を0.5gまで測定して求める)の分っている500ml三角フラスコに、(i)のモルタルを練り返したのち400g採取する。(iii) 1000mlのメスシリンダーを用いて水800mlを測り、これを1ℓビーカーに入れる。水の温度は(i)の試料と混合したときに、けん濁液の温度が15~25℃となるよう予め調整しておく。(iv) 10mlメスシリンダーを用いてA E減水剤(遅延形または標準形)20%溶液4mlを測り、これを(iii)の水800mlの入っているビーカーにあげ、ガラス棒を用いて水とよく混合する。(v) (iv)で用意したA E減水剤入りの水の一部を試料の入っている500ml三角フラスコの肩口付近まで入れ、ガラス棒を用いて約3分間かくはんし、試料中のあわを追い出す。(vi) あわの分だけ水面の低くなった三角フラスコ内に、(iii)で用意した水の一部を移し、水面の高さが三角フラスコの縁の高さと正しく一致するようにする。三角フラスコ内の試料とA E減水剤入り水との合計の質量 W_2 をはかりを用いて0.5gまで測定する。(vii) 三角フラスコ内の試料とA E減水剤入り水のすべてをこぼさなように注意しながら1000mlメスシリンダーに入れる。(viii) 試料およびA E減水剤入り水の入っている1000mlメスシリンダーの口元をラップフィルムでふさぐ。ラップフィルムの上からメスシリンダーの口元を一方の手で、メスシリンダーの底部を他方の手で押えるようにつかみ、メスシリンダーの口元から試料や水がこぼれないように注意しながら、シリンダーの口元と底部とを入れ替えるように約180度回転する。その際、メスシリンダーの底部にモルタルが付着したまま残っているようであれば、メスシリンダーを上下に軽く振ってモルタルを下に落とすようにする。モルタルが落ちたならば、メスシリンダーの底部が下に、口元が上になるよう約180度逆に回転する。メスシリンダーの上下を半回転してから元に戻すまでの操作を一回とし、これをゆっくり10回繰り返す。(ix) (vii)の操作が終わったら直ちにメスシリンダーを水平な台に置き、60秒後のメスシリンダー内のけん濁液の比重 P_{M1} を比重浮ひょう(うきばかり)を用いて読む。水面附近のあわで比重が読み取りにくいときは、少量アルコールを滴下するとよい。(x) 比重測定が終わったけん濁液の温度を測定する。けん濁液の温度が15~25℃でない場合は、メスシリンダーごとぬるま湯または冷水に浸せきし、けん濁液の水温を15~25℃とし再び(xiii)~(x)の操作を行って P_{M1} を測定する。(xi) (viii)~(x)の操作を繰り返して比重 P_{M2} を測定する。2回の比重の測定値 P_{M1} と P_{M2} の差が0.001以内であれば P_{M1} と P_{M2} の平均値をけん濁液の比重 P_M とする。 P_{M1} と P_{M2} の差が0.001を超える場合は、けん濁液中のセメントが不均質となっている

恐れがあるので (VIII) ~ (X) の操作をさらに繰り返し比重 P_{M3} を測定し、3回の測定値のうち比重の大きな2回の測定値の平均を $P_{\bar{M}}$ とする。

結果の計算は (1) ~ (6) の順に行う。

$$M_v = M_w + W_1 - W_2 \dots\dots\dots (1)$$

$$C = A (1000 P_{\bar{M}} - B) \dots\dots\dots (2)$$

$$C_v = \frac{C}{P_c} \dots\dots\dots (3)$$

$$S_v = \frac{M_w - M_v - C_v (P_c - 1)}{P_s - 1} \dots\dots\dots (4)$$

$$W = M_v - (C_v + S_v) \dots\dots\dots (5)$$

$$x = W/C \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 M_v : 試料 M_w (400g) の空気を含まない容積 (ml) M_w : 試料の質量 (g) W_1 : 500 ml

表-1 都内某ビル工事現場のレデーミクストコンクリートの計画調合

番号	W/C	スラブ	計画調合 (kg/m ³)				Pozz NO5L	モルタル400g当り* (g)			W/C (%)
			W	C	S	G		W	C	S	
①②③	5.0	15	176	352	758	1038	0.877	54.7	109.5	235.8	50.0
④⑤⑥⑦	5.5	18	178	324	822	991	0.810	53.8	97.9	248.3	54.9
⑧⑨	5.2	18	177	339	658	1227	0.848	60.3	115.5	224.2	52.2

*モルタル400g当りの調合とはコンクリートから湿式ふるい分けしたモルタルについてである。

表-2 けん濁液の比重から求めたコンクリートの水セメント比* (都内某ビル工事現場)

番号	W/C	月/日	けん濁液の比重・温度				M _v (ml)	W (g)	C (g)	S (g)	W/C (%)
			P _{M1}	(°C)	P _{M2}	(°C)					
①	5.0	0916	1.0775	29.4	1.0765	29.5	180.5	55.5	108.0	236.6	51.4
②	5.0	0919	1.0760	25.8	1.0750	26.0	180.0	54.3	105.4	240.3	51.6
③	5.0	0919	1.0810	24.6	1.0805	24.9	181.0	57.0	114.7	228.3	49.7
④	5.5	1014	1.0710	22.9	1.0705	23.2	182.5	57.5	97.1	245.4	59.2
⑤	5.5	1014	1.0715	22.9	1.0695	23.3	183.0	58.2	96.6	245.2	60.3
⑥	5.5	1017	1.0670	23.7	1.0675	24.2	182.5	56.8	91.0	252.2	62.4
⑦	5.5	1017	1.0665	23.2	1.0655	23.8	182.0	55.7	88.7	255.6	62.8
⑧	5.2	1120	1.0765	18.6	1.0760	18.5	182.0	57.8	106.8	235.5	54.1
⑨	5.2	1120	1.0765	18.2	1.0760	18.6	184.5	61.8	106.8	231.4	57.9

*C = 1.753 (1000 P_M - 1015.4) P_c = 3.17, P_s = 2.60 を使用した。

表-3 塩酸溶解溶液の比重から求めたコンクリートの水セメント比* (都内某ビル工事現場)

番号	W/C	F _c (kg/cm ³)	塩酸溶解溶液の2倍うすめ液の比重・温度				M _v (ml)	W (g)	C (g)	S (g)	W/C (%)
			P _{H1}	(°C)	P _{H2}	(°C)					
①	5.0	3.03	1.0663	32.4	1.0668	31.4	180.0	56.0	119.9	224.2	46.7
②	5.0	3.23	1.0670	28.8	1.0667	28.4	182.0	59.3	121.0	219.7	49.1
③	5.0	3.30	1.0678	27.8	1.0684	27.2	182.5	60.6	125.3	214.1	48.4
④	5.5	2.51	1.0662	29.0	1.0667	28.2	182.5	60.0	119.5	220.5	50.2
⑤	5.5	2.47	1.0657	27.4	1.0670	27.0	181.0	57.5	119.2	223.3	48.3
⑥	5.5	1.82	1.0628	28.5	1.0623	28.2	183.5	60.0	105.5	234.5	56.9
⑦	5.5	2.47	1.0615	28.8	1.0620	28.2	182.5	58.1	102.6	239.3	56.6
⑧	5.2	2.17	1.0680	27.2	1.0695	26.2	186.0	66.6	127.8	205.6	52.1
⑨	5.2	2.36	1.0691	27.4	1.0694	26.2	186.0	66.8	129.6	203.6	51.6

*C = 3.6 (1000 P_M - 1033.3) P_c = 3.17, P_s = 2.60 を使用した。

の三角フラスコの縁まで正しく水を入れたときの水の質量 (g) W_2 : 500 ml の三角フラスコに試料と水を入れて試料中の空気を追い出し、三角フラスコの縁まで正しく水を入れたときの試料と水の合計の質量 (g)、 $P\bar{m}$: けん濁液の比重の2回の平均値 A および B: 試料のセメント量がけん濁液の比重に比例するとみなしたときの係数、通常 A および B は単位セメント量の異なる2種類以上のコンクリートについて実験により定める。A および B の値は、けん濁液用 A E 減水剤の種類やメーカーによりいくぶん異なることが知られているが、リグニンスルホン酸塩を主成分とする A E 減水剤遅延形のうち粉末状のもの (商品名ポゾリス No. 8) の 20% 溶液を使用した場合、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートに対し、次の値を用いることができる。A = 1.753 B = 1.0154 C_v : 試料中に含まれているセメントの絶対容量 (ml) P_c : 試料中に含まれているセメントの比重、予め測定しておくか、そのセメントについての一般的な値を用いる。有効数字3けたとする S_v : 試料中に含まれている細骨材の絶対容積 (ml) P_s : 試料中に含まれている細骨材の表乾比重。細骨材について予め測定しておく。有効数字3けたとする。W: 試料中に含まれている水の質量 (g) x : 試料中の水セメント比 (%)

2.3 塩酸溶解溶液の比重から水セメント比を求める方法 (i) ~ (iii) はけん濁液の比重から水セメント比を
表-4 神奈川県内某校舎建築工事現場のレデーミクストコンクリートの計画調査*

番号	$\frac{W}{C}$	スランプ	計画調査 (kg/m^3)				POZZ NO5L	モルタル400g当り (g)			W/C (%)
			W	C	S	G		W	C	S	
①②③	5.6	1.8	172	308	843	1007	0.770	52.0	93.1	254.9	5.58
④⑤⑥⑦	5.2	1.8	174	335	814	1007	0.838	52.6	101.3	246.1	5.19

*モルタル400g当りの調査とは、コンクリートから湿式ふるい分けしたモルタルについてである。

表-5 けん濁液の比重から求めたコンクリートの水セメント比* (神奈川県内某校舎工事現場)

番号	$\frac{W}{C}$	月/日	けん濁液の比重・温度				M_v (ml)	W (g)	C (g)	S (g)	W/C (%)
			P_{M1}	($^{\circ}C$)	P_{M2}	($^{\circ}C$)					
①	5.6	0925	1.0785	21.2	1.0765	21.2	183.5	60.4	108.9	230.7	5.55
②	5.6	1024	1.0770	19.3	1.0790	18.8	183.6	60.7	109.7	229.6	5.53
③	5.6	1024	1.0805	19.0	1.0795	19.6	184.5	62.5	113.2	224.2	5.52
④	5.2	1105	1.0770	17.6	1.0770	17.6	180.3	55.1	108.0	236.9	5.11
⑤	5.2	1105	1.0760	17.7	1.0760	17.9	180.9	55.9	106.2	237.9	5.26
⑥	5.2	1111	1.0750	17.0	1.0745	17.5	181.9	57.3	104.1	238.6	5.50
⑦	5.2	1111	1.0755	17.1	1.0850	17.4	185.6	65.4	122.5	212.1	5.34

* $C = 1.753 (1000 P\bar{m} - 1015.4)$ $P_c = 3.17$ 、 $P_s = 2.60$ を使用した。

表-6 塩酸溶解溶液の比重から求めたコンクリートの水セメント比* (神奈川県内某校舎工事現場)

番号	W (kg/cm^3)	F_c	塩酸溶解溶液の2倍うすめ液の比重・温度				M_v (ml)	W (g)	C (g)	S (g)	W/C (%)
			P_{H1}	($^{\circ}C$)	P_{H2}	($^{\circ}C$)					
①	5.6	1.64	1.0618	26.8	-	-	183.4	59.6	102.6	237.8	5.80
②	5.6	1.92	1.0602	30.3	1.0616	29.0	181.8	56.6	99.4	244.1	5.70
③	5.6	1.87	1.0625	31.8	1.0630	30.0	182.8	59.0	106.2	234.8	5.55
④	5.2	2.04	1.0620	29.3	1.0623	27.5	179.3	53.1	104.0	242.9	5.10
⑤	5.2	2.40	1.0620	28.9	1.0625	27.3	180.3	54.7	104.4	240.9	5.24
⑥	5.2	1.85	1.0640	28.9	1.0635	27.8	180.2	55.2	109.8	235.0	5.02
⑦	5.2	1.95	1.0625	27.1	1.0627	26.1	179.8	54.0	105.5	240.5	5.12

* $C = 3.6 (1000 P_{\bar{H}} - 1033.3)$ $P_c = 3.17$ 、 $P_s = 2.60$ を使用した。

求める場合と同じ (iv) 800 ml の水の一部を試料の入っている 500 ml 三角フラスコの肩口付近まで入れ、ガラス棒を用いて約 3 分間かくはんし、試料中のあわを追い出す。(v) あわの分だけ水面の低くなった三角フラスコ内に 800 ml の水の残りの一部を移し、水面の高さが三角フラスコの縁の高さを正しく一致するようにする。三角フラスコ内の試料と水の合計の質量 W_2 をはかりを用いて 0.5 g まで測定する。(vi) 三角フラスコ内の試料と水のすべてをこぼさないように注意しながら 3 ℓ (または 2 ℓ) のプラスチック製広ロビン (90℃の熱に耐えるもの) に入れる。800 ml の水の残りも同様にプラスチック製広ロビンに入れる。(vii) プラスチック製広ロビンに 1 級塩酸 500 ml (500 g でもよいが結果の計算における係数の値がいくぶん異なる) を入れ、ふたをして 30 秒間振とうする。(viii) 広ロビンを約 2 分間静置し、セメントが溶解したら広ロビンを水槽に入れ、広ロビン内の塩酸溶解溶液が約 50℃になるまで冷却する。(ix) 広ロビンにふたをして数回振ってから、塩酸溶解溶液 500 ml を 1000 ml メスシリンダーに移す。この際、細骨材はできるだけメスシリンダー内に入らないようにする。(x) 500 ml 塩酸溶解溶液 500 ml の入っているメスシリンダーに入れ、水と塩酸溶解溶液がよく混合するようにガラス棒を用いてかくはんする。(xi) 1000 ml メスシリンダー内の希釈塩酸溶解溶液の温度を測定する。この温度が 30 ± 5 ℃にならない場合は、温水または冷水の入っている水槽を用意しメスシリンダーごと入れ、 30 ± 5 ℃となるようにする。(xii) メスシリンダー内の希釈塩酸溶解溶液を均質とするため一度 1 ℓ のビーカーに移してから再び 1000 ml のメスシリンダーに入れ、メスシリンダーを水平な台の上に置いてから 30 秒後の溶液の比重 P_{H1} を比重浮ひょう (うきばかり) を用いて測定する。(xiii) 広ロビンに残っている塩酸溶解溶液を用いて (ix) ~ (xii) の操作を再度行い、溶液の比重 P_{H2} を測定する。 P_{H1} と P_{H2} の平均値を希釈塩酸溶解溶液の比重 $P_{\bar{H}}$ とする。

結果の計算は 2.1 モルタルけん濁液の比重から水セメント比を求める場合の式 (2) の代りに式 (7) を用いるほかは、モルタルけん濁液の比重から水セメント比を求める場合と同じである。希釈塩酸溶解溶液の比重 $P_{\bar{H}}$ とモルタル試料中のセメント量 C との間には式 (7) の関係がある。

$$C = A_H (1000 P_{\bar{H}} - B_H) \dots\dots\dots (7)$$

係数 A_H および B_H はモルタル試料 400 g を 1 級塩酸 500 ml で溶解した場合は次の値を用いてもよい。 $A = 3.6$ $B = 1033.2$

3. 測定結果および考察

測定は昭和 55 年 9 月から 11 月にかけて東京都中央区の某ビル工事現場および神奈川県平塚市の校舎建築現場において行った。中央区のビル工事現場におけるコンクリートの調査を表-1 に、平塚市の校舎現場の調査を表-4 に示す。表-2 および表-5 は、けん濁液の比重から水セメント比を求めた結果であり、表-3 および表-6 は塩酸溶解溶液の比重から水セメント比を求めた結果である。またこれらコンクリートの 28 日圧縮強度については供試体 2 個の平均値であるが表-3 および表-6 に示した。

平塚市の校舎現場における測定されたコンクリートの水セメント比は、けん濁液の比重から求める場合も塩酸溶解溶液の比重から求める場合も計画上の水セメント比の値に対して ± 2 % 範囲 (水セメント比が 56% ならば 54 ~ 58%) に入った。また、両者の測定値も近似していた。中央区のビル工事現場の場合は、けん濁液による場合に比べて塩酸溶解溶液による場合のセメント量が大きく測定された。水セメント比は ± 2 % に入ったものがけん濁液による場合 9 回中 3 回、塩酸溶解溶液による場合が 9 回中 7 回であった。塩酸溶解溶液による場合、貝がらや石灰石の微粉はセメントとして検出されやすい。この工事の場合、粗骨材が青梅碎石であったため碎石の微粒分に石灰石粉が混合していたのかとも思われる。強度とはけん濁液の場合がよい対応を示した。

4. 結論 けん濁液の比重から水セメント比を求める方法は、貝がらや石灰碎石、石灰砕砂を骨材が含有する場合でも測定が可能でありよう現場向きな測定法である。水セメント比の測定誤差は ± 3 % と考えられる。

文献 1) 椎名国雄：まだ固まらないコンクリートの塩酸溶解溶液の比重による水セメント比の推定 第 2 回コンクリート学
年次大会 1980 年

2) 椎名国雄：塩酸溶解溶液の比重測定によるコンクリートの水セメント比測定，日本建築学会大会講演梗概集 1981 年