

[44] まだ固まらないコンクリートの塩酸溶解溶液の比重測定による水セメント比の推定

正会員 椎名国雄 (東海大学)

1. はじめに

まだ固まらないコンクリートの水セメント比を現場で簡易に測定する方法として、コンクリートからふるい分けたモルタルを一定量の水で希釈し、これに塩酸を混合したときの塩酸溶解溶液の比重から試料モルタル中のセメント量を推定することが可能である。コンクリートの水セメント比を推定するためには、セメント量のほか水量を求める必要がある。塩酸溶解溶液の比重測定による場合、試料モルタルの体積を 500 ml のメスフラスコを用いて予め測定しておき、セメントおよび砂の比重を既知として試料モルタルの体積からセメントの体積を差引いた値が水と砂の合計の体積であり、試料モルタルの重量からセメント重量を差引いた値が水と砂の合計の重量であるとして水量を求めた。求めた水セメント比を神田衛氏の考案された塩酸溶解熱方法による値と比較した。

まだ固まらないコンクリートのセメント量または水セメント比を測定する方法として、古くは水野俊一氏および常山源太郎氏²⁾による比重計方法が知られている。また水セメント比を精度よく求める方法としては、神田衛氏³⁾の塩酸溶解熱方法が知られており、この方法は器具が市販されているので工事現場やコンクリート二次製品工場などでコンクリートの管理に広く使用されていると聞く。ここで述べる塩酸溶液の比重測定による水セメント比の測定は、両者の方法を併用したやり方ともいえる。ただし、水量を算定するために試料モルタル約 200 ml について、砂の表乾比重を測定する方法に準じて体積を求める点は両者と異なる。試料モルタルについてその体積を求めることとしたのは、塩酸溶解熱方法が試料モルタルの水中重量を測定するのに比べれば、簡易な器具で水量が求められると考えたためである。一方、比重計方法では、ボーム比重計を用いて一定量の試料モルタル(例えば 500 g)を 1000 ml の水で希釈してその混合液の比重を測定するのであるが、混合液中のセメントは時間の経過と

表-1. 想定した計画調合および塩酸溶解熱方法により求めたセメント量(シリーズ1)

ス ラ ン プ	水 セ メ ン ト 比	計 画 調 合 (kg/m^3)				空 中 重 量 M (g)	水 中 重 量 Mwo (g)	希 釈 液 温 度 T_w ($^{\circ}C$)	塩 酸 の 温 度 T_a ($^{\circ}C$)	最 高 温 度 T ($^{\circ}C$)	温 度 上 昇 ΔT ($^{\circ}C$)	モルタル中のセ メント C (g)	
		セ メ ン ト C	水 W	砂 S	砂 利 G							測 定 値	計 画 値
8	45	384	173	528	1217	417.0	225.8	2.24	2.64	84.6	59.8	150.4	147.6
	50	342	171	565	1217	417.5	224.8	2.48	2.68	80.0	54.8	134.6	132.5
	55	309	170	595	1217	414.2	223.0	2.58	2.77	76.4	50.2	120.1	119.2
	60	282	169	618	1217	410.0	219.7	2.62	2.70	72.8	46.4	108.2	108.1
	65	260	169	653	1253	402.7	215.4	2.76	2.90	71.2	43.3	98.4	96.8
15	45	424	191	450	1217	407.9	218.2	2.54	2.68	89.8	64.1	163.9	162.4
	50	372	186	505	1217	430.7	229.3	2.84	2.90	88.2	59.7	150.1	150.7
	55	335	184	540	1217	423.6	224.8	2.82	2.92	83.0	54.6	134.0	134.0
	60	303	182	570	1217	408.4	217.4	2.64	2.76	75.8	49.2	117.0	117.3
	65	280	182	617	1253	410.0	217.5	2.54	2.71	71.0	45.3	104.7	106.4
21	45	482	217	504	1099	423.0	225.2	2.86	2.98	94.7	65.9	169.6	169.5
	50	424	212	561	1099	429.9	227.9	2.78	2.84	88.0	60.1	151.3	152.3
	55	374	206	597	1118	431.3	228.4	2.86	2.86	83.2	54.6	134.0	137.1
	60	345	207	687	1099	432.1	229.8	2.92	2.96	79.2	49.9	119.2	120.3
	65	319	207	674	1082	429.0	226.0	2.81	2.96	76.8	48.4	114.5	114.0

もに沈降するので、比重測定にやや難がある。しかし塩酸溶解溶液についてその比重を測定するのであれば、セメントは溶解されており、時間の経過に伴う比重の変化は無視することができる。このようにして求めたセメント量および水セメント比を、塩酸溶解熱方法によるそれらと比較して示す。

2. 測定方法

実験はシリーズ1および2からなる。シリーズ1では、セメント量を塩酸溶解溶液の比重から求めたが、水量の算出に際しては塩酸溶解熱方法を用い、試料モルタルの水中重量 $M_{w0}(g)$ を測定し、予め測定したセメントおよび砂の水中重量と空中重量の換算比から砂量およびセメント量を求めた。シリーズ2では、セメント量は比重計方法により求め、水量については試料モルタルの体積を500mlのメスフラスコと秤(感量0.1g)を用いて測定し、予め測定しておいたセメントおよび砂の比重を用いセメントについては塩酸溶解溶液の比重から求めたセメント量を体積に換算した。砂量については、試料モルタル中の水および砂の体積をそれぞれ $W(g)$ および $S_v(ml)$ とし、試料モルタル重量からセメント重量を差引いた値が砂プラス水の重量、試料モルタルの体積からセメントの体積を差引いた値が砂プラス水の容積として連立方程式から水の重量を算出した。

2-1. 溶解熱方法による水セメント比の算定

市販の溶解熱方法による水セメント比の測定器具を用いた。ただし反応液の上昇温度とセメント量の関係については、器具に示されている値と係数が若干異なる。これは使用した砂が山砂混りのものであるために貝がらの微細片が入っており塩酸で溶解したためと思われる。試料モルタル(約200ml)の空中重量を $M(g)$ 、同モルタルを三角フラスコに移し替えた後、泡を追い出したものの水中重量を $M_{w0}(g)$ とする。また試料モルタルを800mlの水でうすめた希釈モルタル液の塩酸投入前の温度を $T_M(°C)$ とし、投入前の塩酸の重量を $T_H(°C)$ とする。希釈モルタル液に一級塩酸500gを投入した後の最高温度を $T(°C)$ とする。温度差 ΔT 、試料モルタル中のセメント量 $C(g)$ 、同じく水量 $W(g)$ は式(1)(2)および(3)により求められる。

$$\Delta T = T - (0.80 T_M - 0.20 T_H) \dots\dots (1) \quad \text{ここに、} \rho_c: \text{セメントの比重}$$

$$C = 3.15 \Delta T - 38.0 \dots\dots\dots (2) \quad \text{シリーズ1 } \rho_c = 3.18 \quad \text{同2 } \rho_c = 3.16$$

表-2. 溶解熱方法で求めた水セメント比・比重計方法で求めた水セメント比(シリーズ1)

スラン プ	水セ メント 比	砂		水		水/セ W/C	反応液 の比重 ρ	反応液 の温度 ($^{\circ}C$)	30 $^{\circ}C$ の比重 ρ_0	セメン ト C	砂 S	水 W	水/セ W/C
		測定値	計画値	測定値	計画値								
8	45	20.02	20.29	6.64	6.65	4.41	1.1548	2.80	1.1543	14.80	20.29	6.61	4.46
	50	21.64	21.88	6.65	6.62	4.94	1.1422	3.00	1.1422	12.86	22.30	6.59	5.12
	55	22.96	22.95	6.45	6.56	5.37	1.1360	2.64	1.1350	11.71	23.30	6.41	5.47
	60	23.76	23.70	6.42	6.49	5.93	1.1280	2.80	1.1275	10.51	24.10	6.39	6.08
	65	24.15	24.30	6.28	6.29	6.38	1.1245	2.90	1.1242	9.98	24.00	6.30	6.31
15	45	17.28	17.24	7.12	7.31	4.34	1.1612	3.00	1.1612	15.91	17.81	7.07	4.44
	50	20.62	20.46	7.44	7.54	4.96	1.1550	3.23	1.1556	15.01	20.63	7.43	4.95
	55	21.70	21.60	7.26	7.36	5.42	1.1439	3.06	1.1441	13.17	21.96	7.23	5.49
	60	22.39	22.07	6.75	7.04	5.77	1.1353	2.84	1.1349	11.69	22.41	6.74	5.77
	65	23.79	23.44	6.74	6.92	6.44	1.1247	2.88	1.1244	10.01	24.30	6.69	6.68
21	45	17.78	17.72	7.56	7.63	4.46	1.1655	3.10	1.1658	16.65	18.12	7.53	4.52
	50	20.27	20.15	7.59	7.61	5.02	1.1565	3.08	1.1567	15.19	20.20	7.60	5.00
	55	22.29	21.87	7.44	7.55	5.55	—	—	—	—	—	—	—
	60	24.17	23.96	7.12	7.22	5.97	1.1343	3.16	1.1347	11.66	24.46	7.09	6.01
	65	24.09	24.10	7.34	7.40	6.43	—	—	—	—	—	—	—

$$W = M - \left(M_{wo} - C \times \frac{\rho_c - 1}{\rho_c} \right) \times \frac{\rho_s}{\rho_s - 1} + C \dots\dots\dots (3) \quad \rho_s : \text{砂の比重} \quad \rho_s = 2.525$$

2-2 比重計方法による水セメント比の算出

セメント量は塩酸投入後のモルタル反応液の比重を測定し、セメント量が反応液の比重に比例すると考えた。シリーズ1では、反応液の比重を測定する際にルシヤテリエ比重ビンを用い、反応液 250ml の重量を測定して比重を求めた。反応液の比重を ρ_0 とすれば、 ρ_0 とセメント量 C (g) との間には式 (4) の関係がある。またシリーズ2では、反応液の温度を早く 30°C 近辺に下げため、反応液 500ml を水道水 500ml でうすめた。この場合の比重を $\rho_{1/2}$ とすればセメント量 C (g) と $\rho_{1/2}$ の間には式 (5) の関係がある。

$$C = 1.604 (1000 \rho_0 - 1062) \dots\dots\dots (4)$$

$$C = 3.208 (1000 \rho_{1/2} - 1031) \dots\dots\dots (5)$$

水セメント比を求める場合、試料モルタル M (g) 中のセメントの体積を Cv、水の体積を W (ml) とすれば、試料モルタルの体積 Mv (ml) および重量について式 (6) および (7) の連立方程式が得られる。

$$\begin{cases} S_v + W = M_v - C/\rho_c & (6) \\ \rho_s \cdot S_v + W = M - C & (7) \end{cases}$$

2-3 試料モルタルの調合

想定したコンクリートの調合は、スランブが 8, 15 および 21cm, 水セメント比はそれぞれ 45, 50, 55, 60 および 65% である。しかしこの場合、コンクリートを練り混ぜたのではなく、粗骨材を混合しないモルタル部分の調合を、それぞれモルタルとして重量で 1000g 得られるような割合にセメント、砂および水を計量し、鉄鉢で練り混ぜたものである。採取した試料モルタルは約 400g であり、練り混ぜ量のおよそ $1/2.5$ である。表-1 に想定したコンクリートの調合を示す。各試料中に入っていないセメント量などについては表-1 ~ 表-4 にそれぞれ計画値として示した。

3. 測定結果および考察

表-3 塩酸溶解熱法と試料モルタル容積の測定値から求めた水セメント比 (シリーズ2)

スランブ	水セメント比	空中重量 M (g)	モルタル+水 Mo (g)	希釈液温度 T _H (°C)	塩酸の温度 T _H (°C)	温度上昇 ΔT (°C)	モルタル中のセメント C (g)		モルタル中の砂 S (g)		モルタル中の水 W (g)		水/セ W/C (%)
							測定値	計画値	測定値	計画値	測定値	計画値	
8	45	396.1	711.7	19.0	18.4	56.9	141.2	140.2	190.1	192.8	64.7	63.1	45.8
	50	402.2	715.5	20.0	19.4	52.8	128.3	127.6	211.1	210.8	62.8	63.8	49.9
	55	414.4	720.6	20.4	19.0	50.3	120.4	119.2	228.8	229.6	65.3	65.6	54.2
	60	413.8	720.1	16.0	16.7	47.1	110.4	109.1	239.1	239.3	64.3	65.4	58.2
	65	397.4	710.9	15.0	18.1	42.4	95.6	95.5	240.6	239.8	61.1	62.1	63.9
15	45	404.5	714.2	14.6	14.6	63.3	161.4	161.1	171.4	170.9	71.6	72.5	44.4
	50	402.9	712.0	14.8	14.8	56.6	140.3	141.0	191.6	191.4	70.9	70.5	50.5
	55	405.3	713.2	12.0	15.2	52.7	128.0	128.2	207.8	206.7	69.5	70.4	54.3
	60	406.3	712.9	14.6	13.8	49.3	117.3	116.7	219.4	219.5	69.6	70.1	59.3
	65	398.0	709.2	17.8	17.4	45.1	104.1	103.3	228.3	227.6	65.7	67.1	63.1
21	45	407.7	715.1	21.2	20.8	63.7	162.7	163.4	171.4	100.8	73.5	73.5	45.2
	50	392.6	705.5	23.6	21.0	56.4	139.7	139.0	181.5	184.0	71.3	69.6	51.0
	55	410.4	714.7	21.0	21.2	53.2	129.6	130.4	208.6	208.2	72.3	71.8	55.8
	60	391.7	704.8	23.4	21.0	46.5	108.5	109.1	215.9	217.1	67.3	65.5	62.0
	65	394.6	705.1	25.2	22.3	45.0	103.8	104.8	221.7	221.7	69.1	68.1	66.6

シリーズ1において塩酸溶解熱方法および比重計方法により求めた試料のセメント量および水セメント比を表-1および表-2に示す。比重計方法では塩酸投入後の希釈モルタル反応液を容器に入れたままおよそ30°Cになるまで水中で冷やす。冷却に20分余り要す。なお30°Cより多少の高低がある場合、比重の補正を0.00027/°Cとした。溶解熱方法で求めたセメント量は、15例中9例までが計画値に対して±1gの範囲に測定値が入る。これに対し比重計方法で求めたセメント量は13例中4例しか測定値が計画値の±1gの範囲に入らない。一方、水セメント比は溶解熱方法で15例中14例が計画上の水セメント比との差が±2%の範囲に入り、比重計方法も13例中12例が±2%の水セメント比の差の中に入る。表-3、表-4はシリーズ2について塩酸溶解熱方法および比重計方法により求めたセメント量および水セメント比の値である。シリーズ2では反応液に等量の水道水を加えてうすめ液とし冷却時間の短縮を図ったほか、ルシヤテリエ比重ピンの代わりにボーム比重計を用いて直接うすめ液の比重を測定するなど操作の簡易化を図った。しかしこの結果、反応液の比重から求めたセメント量は計画値に対して±1g以内に入るものが15例中5例となり、溶解熱方法で求めたそれが15例中13例であるのと比べるとかなり少なかった。水セメント比は比重計方法で求めたものが15例中14例、溶解熱方法で求めたものは15例中15例とも±2%の範囲に入った。試料モルタルの水量を求めるために、メスフラスコを用いてモルタルの体積を測定したことは、モルタルの水中重量測定値から求めるシリーズ1に比べて遜色ないことが分った。なおシリーズ2において反応液をうすめないで冷却するのを待ち、比重1.120~1.180の測定範囲を有するボーム比重計で反応液の比重を測定しセメント量を推定した結果は、うすめ液の場合よりもばらつきが少なかった。塩酸溶解溶液の比重からセメント量を求める方法は、溶解熱方法に比べて容器の断熱や塩酸投入後の時間にこだわる必要の少ない利点のある反面、貝がらや石灰石骨材の影響を受け易いといえよう。

- 文献1) 水野俊一：まだ固まらないコンクリートの水セメント比試験方法、土木学会誌44巻10号(1959年10月)、同一論文が土木学会コンクリートライブラリー第38号(1974年12月に転載)
- 2) 常山源太郎・小沢 喬：比重計によるセメント定量、窯業協会誌68, No 778(1960年10月)
- 3) 神田 衛：まだ固まらないコンクリートの水セメント比の測定方法、土木学会論文報告集第193号(1971年9月)

表-4 比重計方法と試料モルタル容積Mvの測定値から求めた水セメント比(シリーズ2)

スランブ	水セメント比	反応液の比重 ρ	反応液の温度 (°C)	30°Cの比重 ρ _{1/2}	モルタル中のセメントC(g)		C/ρ _C Cv (ml)	M-Cv =S+W (g)	Mo-M =500-Mv (g)	Mv-Cv =Sv+W (ml)	(S+W-Sv-W)/(ρ _s -1) Sv (g)	Sv+W-Sv (g)	水/セ W/C (%)
					測定値	計画値							
8	45	10735	34.7	10748	140.5	140.2	44.5	255.6	315.6	139.9	75.9	64.1	45.6
	50	10675	33.3	10684	120.0	127.6	38.0	282.2	313.3	148.7	87.5	61.2	51.0
	55	10665	33.3	10674	116.8	119.2	37.0	297.6	306.2	156.9	92.3	64.6	55.3
	60	10645	25.5	10633	103.6	109.1	32.8	310.2	306.3	160.9	97.9	63.0	60.8
	65	10625	28.3	10620	99.5	95.5	31.5	298.0	313.5	155.0	93.7	61.3	61.7
15	45	10775	33.2	10784	152.1	161.1	48.1	252.4	309.7	142.2	72.3	69.9	46.0
	50	10720	30.8	10722	132.2	141.0	41.8	270.7	309.1	149.1	79.8	69.3	52.4
	55	10712	23.6	10698	124.5	128.2	39.4	280.8	307.9	152.7	84.0	68.7	55.2
	60	10660	30.4	10661	112.6	116.7	35.6	293.7	306.6	157.8	89.1	68.6	61.0
	65	10630	30.6	10632	103.3	103.3	32.7	294.7	311.2	156.1	90.9	65.2	63.1
21	45	10820	29.2	10818	163.0	163.4	51.6	244.7	307.4	141.0	68.0	73.0	44.8
	50	10750	27.6	10744	139.1	139.0	44.0	253.5	312.9	143.1	72.4	70.7	50.8
	55	10705	30.7	10707	127.4	130.4	40.3	283.0	304.3	155.4	83.7	71.7	56.3
	60	10670	25.0	10657	111.3	109.1	35.2	280.4	313.1	151.7	84.4	67.3	60.4
	65	10640	29.7	10640	105.6	104.8	33.4	289.0	310.5	156.1	87.2	68.9	65.3