

セメント硬化体の熱的性質

税田 光孝 正員 ○ 庄谷 征美
 学員 国分 修一
 正員 徳田 弘

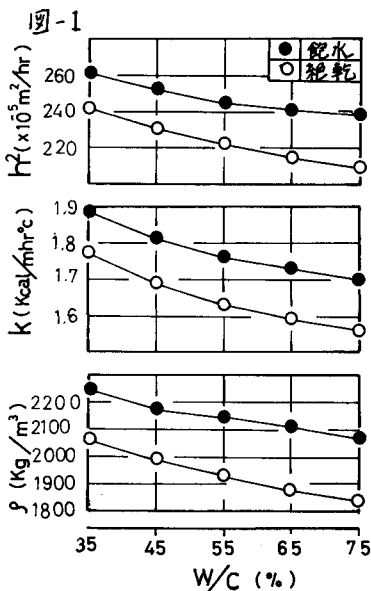
1. 緒言 コンクリート構成材料であるセメントペーストは、骨材相互の接合および骨材間隙の充填と行ない役割を持つものである。この硬化体自体の強度および物理的性質がコンクリートの諸性質に及ぼす影響は大きく、複合材料的な見地からもこれに対する理解を深めることは重要であろうと思われる。本報告は、セメント硬化体の物理的性質のうちの熱的性質である熱伝導率および熱拡散率について、セメント硬化体の水和段階が異なる場合について Rüsch の概念から求めた各構成成分の比率を基にしてセメント水和物自体のそれらを評価し、セメント硬化体自体のそれと比較、検討を行ない若干の考察を加えたものである。

2. 実験概要 実験に用いた試料は、普通ポルトランドセメントおよび天然砂(比重2.58, 吸水量2.65%)で製造したモルタル供試体であって、セメント硬化体の水和の程度を変化させるために水セメント比を5種に変え、単位細骨材量をほぼ一定にした配合とした。この配合を表-1に示す。材料1週において、飽水状態のモルタル供試体の熱伝導率および熱伝導率を測定した。次に、絶乾状態の供試体のそれらを求めるために、以下の順序で乾燥を行ない測定を行った。すなわち、急激な乾燥によるひびわれを防ぐため先の供試体と同様に1週水中養生した供試体を空中に3日放置し、引き続き50℃の乾燥炉内下3日乾燥させ、次いで炉内温度を105℃に上げ、供試体重量が一定となるまで乾燥を続けた。一定重量に達した後、この供試体を試験時に吸水せめようポリエチレンで被覆して、上記の熱伝導率および熱伝導率の測定を行なったものである。熱伝導率および熱伝導率の試験方法は、米国防務局で採用している直接法であって、測定時供試体は約40℃とした。なお、後の解析においては、上記乾燥中に水和が進行しないものとしてこれを行っている。

3. 実験結果および考察 飽水状態および絶乾状態におけるモルタル供試体の熱伝導率 k 、熱伝導率 ρ およびモルタルの単位容積重量 ρ を図-1に示す。飽水状態のモルタルの単位容積重量は配合で示された各材料の単位量の和であり、絶乾状態のそれ乾燥前後の供試体の重量差から計算で求めた値である。図から、モルタルの飽水状態における熱伝導率および熱伝導率(水セメント比が大きくなる程減少する傾向にある。これは単位細骨材量がほぼ一定のため、モルタル中のセメントペーストのみに影響されているからであって、一般にセメントペーストの熱伝導率、熱伝導率は水セメント比の増加に伴い減少する事実によるものである。絶乾状態の測定値は飽水状態のそれと比し約10%内外の減少が認められ、これは乾燥により自由水が逸散

表-1

W/C(%)	Flow (mm)	Air (%)	単位量 (Kg/m ³)		
			W	C	S
35.1	—	4.1	228	650	1355
45.0	134	3.9	255	567	1358
55.0	163	3.2	278	505	1367
65.1	193	2.7	296	455	1375
75.1	207	2.2	311	414	1381



し、空気により置き換えられた結果によるものと判断できる。図-2は、セメント水和物の熱的性質を求めるために必要な硬化モルタル構成物の容積比率を算定し、未硬化モルタルと対比させて示したものである。Rüschはセメント硬化体の硬化過程について次の様子を説明している。すなわち、(1)ポルトランドセメントは完全な水合に到るまでにその重量の約25%の水と化学的に結合する。(2)化学的な結合により水はその容積の約25%を失ひ、その結果空隙が発生する。(3)ポルトランドセメントは化学的な結合水のほかにその重量の約15%をゲル水として吸着し、この水は105℃で完全に蒸発し、未水合セメントと反応することができない。本解析においては以上の概念をそのまま見解結果にあてはめ、各構成成分の算定をした。計算の順序を示せば次のようである。まずモルタルの乾燥前後の重量差が逸脱した自由水、ゲル水および砂の吸水分であるとしてセメントペースト自体からの蒸発水量を求め、配合の単位水量と蒸発水量の差から結合水量が求まる。さらにこれより水和度を算定しセメント水和物(未水和セメント分を含む)を求め、ゲル水、自由水、発生空隙の容積を求めたものである。次に、図-2の結果を用いて水和セメント分を含むセメント水和物の熱伝導率を求めた。著者らの研究によると、コンクリートの熱拡散率はそれと構成する素材の熱拡散率と絶対容積の積の和で与えられることが明らかとなっている^{*}ので、本解析ではこの考えを熱伝導率にも拡張し適用した。まず水セメント比35%の材齢1週の飽和状態セメントペーストについてその熱伝導率を算出し、これと同水セメント比のモルタルの測定値から細骨材の熱伝導率を求め、この値を用いて各水セメント比のセメントペーストのそれと算定した。さらに、40℃の水の熱伝導率が既知であることから細骨材の実質部分のそれが求まり、40℃における空気自体の熱伝導率も既知であることから図-2の硬化モルタルの各構成成分の容積割合から上記計算法でセメント水和物のそれを評価できることになる。このようにして算定したセメント水和物およびセメントペーストの熱伝導率 K_p 、 K_g の値を表-2に示す。なお、熱拡散率は著者らの研究から熱伝導率と比例関係があることが認められており^{*}、表中にはこの関係から算定したセメント水和物およびセメントペーストの熱拡散率 $\bar{h}_p$ 、 $\bar{h}_g$ の値も併記してある。この結果によるとセメント水和物の熱伝導率はセメントペーストのそれと同様に水セメント比の増加に伴ない減少する傾向があり、尤きまは前者1.3~1.5倍程度である。このことは、セメントと水の結合の程度が水セメント比により異なり、セメント水和物の化学的組成が異なることを示すように思われる。しかしながら、上記のセメント水和物は水和セメントを含むものであり、同一材齢では水セメント比の小さなものほど未水和セメント分を多く含み、微細物質の熱伝導率は一般にかなり大きいことを考え合わせると、表-2の結果は一応の説明がなされると考える。

図-2

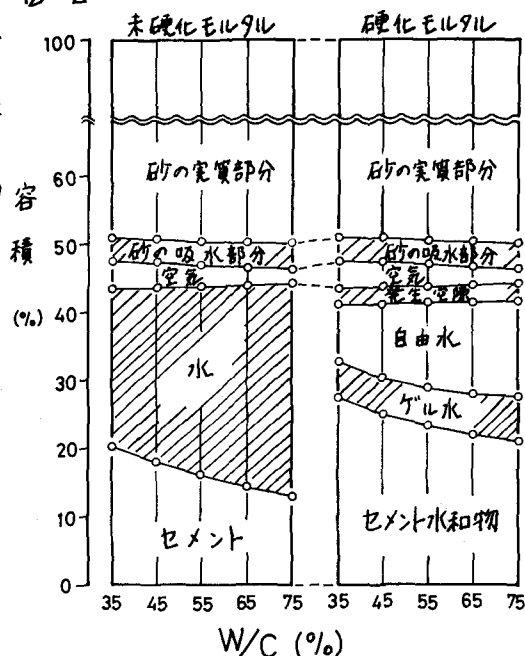


表-2

W/C (%)	35.1	45.0	55.0	65.1	75.1
K_p (kcal/mnt)	1.12	0.97	0.85	0.77	0.70
K_g (kcal/mnt)	1.61	1.43	1.22	1.07	0.94
$\bar{h}_p$ ($\times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{h}$)	1.55	1.34	1.17	1.06	0.97
$\bar{h}_g$ ($\times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{h}$)	2.22	1.98	1.69	1.48	1.30

した。まず水セメント比35%の材齢1週の飽和状態セメントペーストについてその熱伝導率を算出し、これと同水セメント比のモルタルの測定値から細骨材の熱伝導率を求め、この値を用いて各水セメント比のセメントペーストのそれと算定した。さらに、40℃の水の熱伝導率が既知であることから細骨材の実質部分のそれが求まり、40℃における空気自体の熱伝導率も既知であることから図-2の硬化モルタルの各構成成分の容積割合から上記計算法でセメント水和物のそれを評価できることになる。このようにして算定したセメント水和物およびセメントペーストの熱伝導率 K_p 、 K_g の値を表-2に示す。なお、熱拡散率は著者らの研究から熱伝導率と比例関係があることが認められており^{*}、表中にはこの関係から算定したセメント水和物およびセメントペーストの熱拡散率 $\bar{h}_p$ 、 $\bar{h}_g$ の値も併記してある。この結果によるとセメント水和物の熱伝導率はセメントペーストのそれと同様に水セメント比の増加に伴ない減少する傾向があり、尤きまは前者1.3~1.5倍程度である。このことは、セメントと水の結合の程度が水セメント比により異なり、セメント水和物の化学的組成が異なることを示すように思われる。しかしながら、上記のセメント水和物は水和セメントを含むものであり、同一材齢では水セメント比の小さなものほど未水和セメント分を多く含み、微細物質の熱伝導率は一般にかなり大きいことを考え合わせると、表-2の結果は一応の説明がなされると考える。

* 徳田 弘、庄谷 雅夫；コンクリートの熱特性値の測定とニミの考察，土木学会論文報告集212号 1973年4月。