

論文

[1045] シリカフュームを用いた高性能断熱コンクリートの開発

正会員○荒木敏成（東京ガスフロンティアテクノロジー研究所）

山下博文（大林組ガス貯蔵地下タンクP. T.）

正会員 三浦律彦（大林組技術研究所）

菊地四郎（ニチアス研究所）

1 はじめに

軽量断熱コンクリートは、特に低温で管理される断熱構造体の断熱材や建築用断熱材として広く利用されている。これは、従来、セメントペーストにプレフォーム法、ミックスフォーム法あるいはポストフォーム法等によって空気等を多量に混入するか、軽量骨材を混合するなどの手段によって軽量化を実現したものである。セメント・モルタルのマトリクスに気体を混入すると、その混入量に伴い熱伝導率は指数関数的に小さくなり、断熱性は飛躍的に向上するが、気体の混入量が増加すれば強度の低下を招く。従って、断熱性と強度はこの場合、相反する特性とならざるを得ない。本開発の目的は、所要の断熱性と圧縮強度を有するコンクリートの最適配合を提案するものである。

2 目標仕様の決定

大規模の生産設備を要しない、常温・常圧養生により、圧縮強度が 120kgf/cm^2 以上、熱伝導率 $0.15\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$ 以下の性能を実現させるために、軽量骨材として黒曜石発泡粒を、又混和剤としてシリカ質微粉末を使用した。これは図1に例示したように、従来の軽量断熱コンクリートの比重と圧縮強度の相関において絶対乾比重 0.7 （熱伝導率はこのとき $0.15\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$ 程度）で $60\sim 70\text{kgf/cm}^2$ の圧縮強度が実現される強度の限界とされているが、例えば大型のパネルを作成するために同程度の比重でより高い強度を発現させようと意図したものである。表1に示すように、ここで使用する黒曜石発泡粒は代表的な軽量骨材である、膨張頁岩、焼成フライアッシュよりも熱伝導率

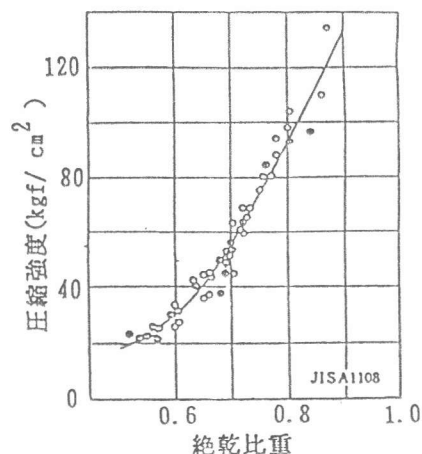


図-1 パーライトコンクリートの比重と圧縮強度の関係の例 [1]

表-1 代表的な軽量骨材の特徴

種類	単位容積重量 ¹⁾ 吸水率 ²⁾ 熱伝導率 ³⁾		
	(kg/l)	(wt%)	(kcal/mh [°] C)
膨張頁岩	0.96	28	.137(51.7 [°] C)
焼成フライアッシュ	0.78	20	.121(51.4 [°] C)
真珠岩 H° -741(1)	0.20	262	.057(40.8 [°] C)
真珠岩 H° -741(2)	0.22	253	.055(41.0 [°] C)
黒曜石発泡粒	0.23	101	.082(41.4 [°] C)

1) JIS A 5007, 2) 24時間浸水浸漬、3) JIS A 1412

が小さく、一方真珠岩パーライトより吸水性が低い長所を持つ。

3. 実験概要

3. 1 使用材料

実験に使用した各種材料の種類と性状を表1に示す。ここで使用する黒曜石発泡粒はその内部に独立の気泡を持ち、軽量にして比較的高い強度を有し、比較的単一粒度にそろっており、吸水性が低いという際立った特徴を持っている（表1、図2）。

シリカ質微粉末としては、表2の諸物性を持つ外国産のシリカフューム（SF）を用い、モルタルマトリクスの強度の向上を意図した。水セメント比を小さくするため、またSFの配合の際、モルタル組成物に所定の流動性を確保するために、高性能AE減水剤（SP）を使用した。また黒曜石発泡粒はパーライト等に比べて保水性が低いため、ブリージングが起り易いので、これを防止するために分散剤（DS）を添加した。

3. 2 モルタルの配合の検討範囲と練り混ぜ手順

目標仕様を達成するために検討した、モルタルの配合の範囲を表3に示す。この際、スランブ値が5cmから10cmの範囲になるように、適宜水結合材比、混和剤量を調整した。

練り混ぜの手順は、セメント、SF、SP、DS、水を混練してセメントペーストを調整し、ついでこれに軽量骨材を混合し、モルタルを製造した。この手順によってモルタル練り混ぜ中に軽量骨材が破壊することを防止できる。このモルタルを各種試験体に成形したのち、25℃の室内で28日間気中養生した。

表-2 コンクリート用組成物の使用材料

種類	名称	比重	特性・主成分等
セメント	普通ポルトランド	3.17	比表面積 3200cm ² /g
細骨材	黒曜石発泡粒	0.15-0.30*	粒径 0.15-2.5mm (図2参照)
混和材	シリカフューム(SF)	2.20	平均粒子径0.15μm, SiO ₂ 95%, 比表面積20m ² /g
混和剤	高性能AE減水剤(SP)	1.15	リグニソ系、ナフレン系
	分散安定化剤(DS)	1.28	メチルセルロース系

* かさ比重

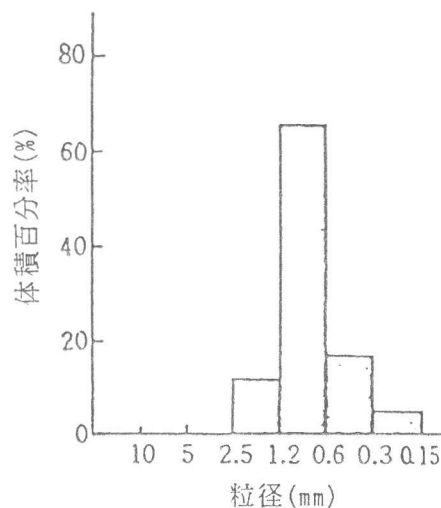


図-2 黒曜石発泡粒の粒度分布

表-3 検討したモルタルの配合条件の範囲

スランブ	水	軽量骨材	SF	混和剤
5~10cm	50 対セメント重量%	3.0~5.0 対セメントかさ容積比	0~50 対セメント重量%	SP:0~10 対セメント重量% DS:0.15 対骨材重量%

3. 3 試験項目

試験項目は、練り上がり時の生比重（JIS A 1116）、圧縮強度（JIS A 1108：供試体直径100mm、高さ200mm、気乾状態）および熱伝導率（JIS A 1412、24-25℃）で、また硬化体の比重ならびに吸水率の測定は圧縮強度試験の供試体を用いて行った。吸水率は供試体を105℃で絶乾恒量としたものを水に浸漬して測定した。

4. 実験結果と考察

4. 1 各配合条件による圧縮強度および熱伝導率

表4にモルタル配合例とその物性を示す。これより練り上がり比重と絶乾比重の間に良好な相関関係がみられ、このモルタルの品質管理の目安となることがわかる。

表-4 モルタルの配合例とその試験結果

骨材セメント容積比	4.0	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5
水（対セメント重量％）	55	45	50	50	50	50	50	50	50	50	50	45
S F（対セメント重量％）	0	0	5	10	20	30	10	15	30	30	40	50
D S（対骨材重量％）	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
S P（対セメント重量％）	0	0	0.3	0.6	1.5	2.7	1.0	1.4	3.2	5.2	7.5	9.7
生比重	0.70	0.83	0.80	0.80	0.84	0.85	0.75	0.76	0.82	0.78	0.80	0.82
絶乾比重	0.57	0.71	0.67	0.69	0.72	0.73	0.65	0.67	0.72	0.68	0.69	0.72
28日強度(kgf/cm ²)	76	114	105	116	145	159	107	114	148	121	126	148
熱伝導率(kcal/mh℃)	.136	.162	.143	.148	.153	.154	.139	.144	.150	.138	.143	.147

図3および図4は、それぞれ、軽量骨材とセメントのかさ容積比（A/C）を変えた場合のS Fの配合量と圧縮強度ならびにS Fの配合量と熱伝導率の関係を示したものである。図3より、S Fの配合量が増加するとともに、圧縮強度の大きくなる傾向が理解されるが、A/Cの増加によって同程度の圧縮強度を得るために必要なS Fの量も増えていることが分かる。S Fの添加量が対セメント重量で40パーセントを越えると硬化時にクラックの発生する確率が高くなり、またS Fの増量は経済的に好ましくない。図4においてS Fの増加によって熱伝導率が上昇する傾向がみられるものの、表4のS F未添加の配合例と比較して、熱伝導率の上昇が15パーセントの範囲におさまっていることは、強度の向上の事実に照らして特記すべきことである。またA/Cの増加に伴い、同程度の熱伝導率を得るためにはS Fの添加量を増やさねばならないことが分かる。

4. 2 目標仕様を満たす配合条件

A/Cに着目した場合、これが4.5を越えると、目標強度（120kgf/cm²）に達するためにS Fの添加量を30パーセント以上にしなければならずクラックの発生が避けられない。一方A/Cが3.0を下回ると熱伝導率は目標熱伝導率（0.150kcal/mh℃）を越えてしまう（表4）。従って目標仕様を満足する配合の範囲はA/Cで3.5から4.0、S Fの添加量は10から20対セメント重量パーセントとなる。

4. 3 考察

本実験では吸水率の比較的低い軽量骨材を使用したため、得られたコンクリートの吸水率はこれを反映して約18.0体積パーセントと低い値を示し、これが良好な断熱性の発現に寄与しているものと考えられる。SFはセメント組織をち密にし、軽量骨材の添加によるコンクリートの強度の低下を補う役割を果たしている一方で、混和材そのものの熱伝導率が低いことからコンクリートの断熱性を大きく損なわないようである。これはSFを配合したコンクリートの熱伝導率が普通コンクリートのそれより小さくなる傾向を指摘した報告[2]とほぼ同様の結果が得られたことになる。

この結果、粒径のそろった軽量骨材を分散させたマトリクスの中でセメントの占有する容積が比較的小さいにもかかわらず、SFが効率的にマトリクスの強度向上に寄与し、同時に軽量骨材の断熱性を与える効果を発現させることに成功したものと考えられる。

5 まとめ

黒曜石発泡粒を軽量骨材とし、混和材としてシリカフェームを用いたセメント硬化物は適切な配合の条件下において、熱伝導率 $0.15\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$ 以下(常温)、圧縮強度 120kgf/cm^2 以上の従来に無い、常温・常圧養生による、高断熱性かつ高強度のコンクリートが得られた。これは断熱コンクリートの大型パネル化を実現させる観点からも意義のある結果である。

参考文献

- 1) 菊地四郎ほか：低温断熱分野で活躍するT／＃5870「ライトン」、ニチアス技術時報, NO. 5 1987
- 2) 新村亮ほか：高強度軽量コンクリートの熱特性、土木学会第42回年次学術講演会、1987

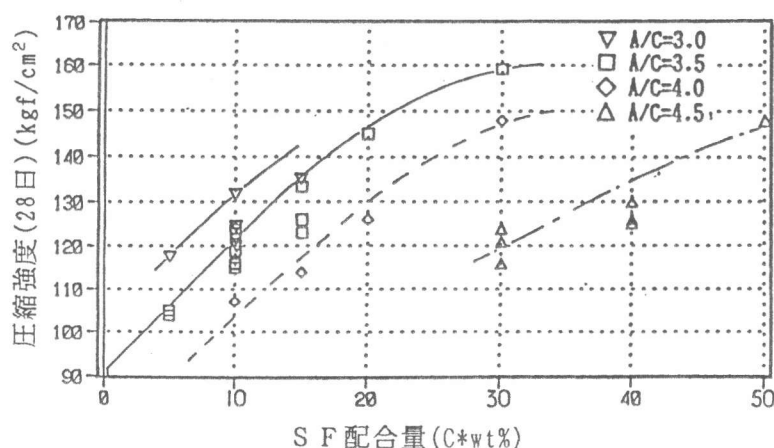


図-3 SFの配合量と圧縮強度

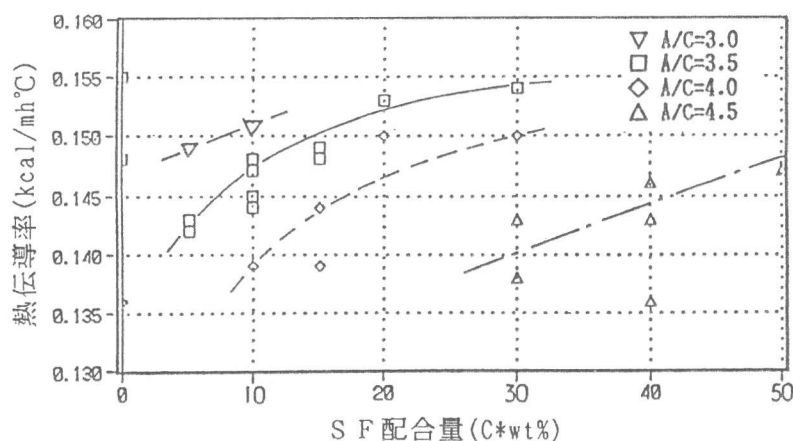


図-4 SFの配合量と熱伝導率