

[90] 小氷塊を用いて製造するコンクリートの特性

正会員 鈴木 敏郎 (東京工業大学工学部)

正会員 瀧口 克己 (東京工業大学工学部)

正会員 ○堀田 久人 (東京工業大学工学部)

§ 1. はじめに

本論文は、「小氷塊を用いたコンクリート製造法」¹⁾で論じた内容に、具体的な実験試料を付与するものである。小氷塊を用いて製造するコンクリートの製造過程における種々の特性を実験 I～VI によって調べたものである。

§ 2. 実験 I. 固相-液相混練と固相-固相混合の相違に関する実験

粉粒体と液体とを混練する場合の両者の混ざり方と、液体を凍結させた後、細かく砕いて固相で混合する場合の混ざり方の相違を調べる実験を行った。

粉粒体として小麦粉、液体として赤インクを用いた実験である。小麦粉と赤インクの重量比は 1.0 / 0.2 (実重量 500g / 100g)、混練・混合は万能ミキサー(モルタルミキサー)で 15 秒、混練・混合物は 5cmφ × 10cmh のモールドに詰め、100kg/cm² の加圧で成形、5cmφ の円柱形成形物をカッターで切断し、切断面を観察した。1 体は赤インクを液相で用い、1 体は赤インクを凍結させ、刃の出が約 1mm のアイスライザーでスライスしたものをを用いている。赤インクを凍結させる(-20°C)工程以外はすべて室温(約 15°C)下で行った。したがって、凍結させてスライスした赤インクは正確な意味での固相ではなく、本論文でいう疑似固相である。

写真-1 が赤インクを液相で用いた混練物の断面、写真-2 が凍結させてスライスした赤インクを用いた混合物の断面である。

写真-1, 2 より、固相-液相の混練と、疑似固相での混合では混ざり方が全く異なることが明白である。

§ 3. 実験 II. 混合性能に関する実験

水にかえて小氷塊を用いる場合の混合性能を巨視的に確認するための実験を行った。水を用いて作製することは極めて困難な、極低水セメント比のセメントペースト供試体を作製し、その強度を調べたものである。

作製した水セメント重量比は 4.0% および 7.5% の 2 種類である。-20°C に冷却した普通ポルトランドセメント 800g に、-20°C の冷凍室内で、0.6mm のふるいを通した小氷塊を所定の重量(水セメント比 4.0% のもので 32g, 7.5% のもので 60g) 加え、スプーンを用いて簡単に攪拌した。簡単に攪拌された混合物を、20°C の室温下でモルタルミキサーを用いて 5 分間攪拌混合した。混合物の温度が 5°C 程度まで上昇し、小氷塊が完全に融解したと判断した時点で、混合物を加圧成形型枠内に充填し、1000kg/cm² の圧力で短時間(加圧から除荷まで約 5 分間)加圧成形(非排水)し、4cm × 約 4cm (加圧方向) × 16cm の直方体セメントペースト供試体を作製した。加圧後 24 時間で、成形用型枠から取り出し、密封して 27 日間、約 20°C の室温下で養生した。加圧成形後 28

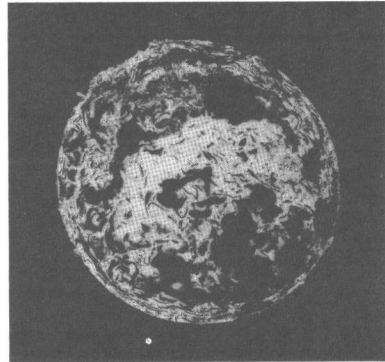


写真-1. 小麦粉と赤インクの混練物の断面

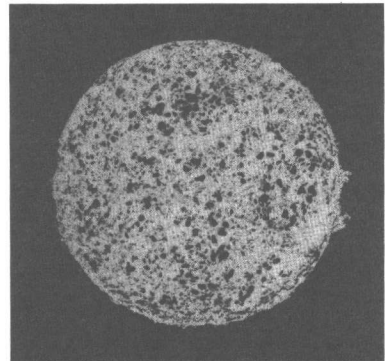


写真-2. 小麦粉と凍結させスライスした赤インクの混合物の断面

日で曲げ試験および圧縮試験を行った。強度試験はJIS/R5201²⁾に準じて行った。比重は水セメント比4.0%のセメントペーストが2.31, 7.5%のものが2.40%であった。強度試験における加力の方向は、供試体成形時の加圧方向と直交方向である。

強度試験の結果は、水セメント比4.0%のセメントペースト供試体で、曲げ強度139 kg/cm², 圧縮強度576 kg/cm²であり、水セメント比7.5%の供試体で、曲げ強度225 kg/cm², 圧縮強度1005 kg/cm²であった。

この強度試験結果から、水にかえて小氷塊を用い、固相あるいは疑似固相で混合すれば、水量とはほとんど無関係に、巨視的に均質なセメントと水の混練物を容易に作製しうると結論できる。

§ 4. 実験Ⅲ. 骨材分離に関する実験

混合の容易さと分離の生じ易さは表裏一体の場合もある。コンクリートにおいては、その製造過程で骨材分離が生じにくいということも重要な特性である。そこで、骨材分離の問題を検討するために、セメントとは大きく比重の異なる鋼球を骨材として用いた実験を行った。使用した鋼球の直径は3 mmである。

普通ポルトランドセメント(15°C, 800 g)に、刃の出が約1 mmのアイスライザーでスライスした小氷塊(-2°C, 160 g)を加え、15°Cの室温下で、モルタルミキサーで2分間混合した。さらに、鋼球(直径3 mm, 15°C, 800 g)を加え、モルタルミキサーで30秒間攪拌した。セメント/小氷塊/鋼球(重量比1.0/0.2/1.0)の混合物を内径50 mmの円筒型枠に充填し、円筒型枠の内の端部に直径12 mmの棒状バイブレーターを挿入し30秒間振動を加えた。そのまま15°Cの室内に放置しておき、小氷塊が完全に融解した後、上部から約20 kg(約1 kg/cm²)の力を加えて締め固めた。硬化した直径50 mm, 高さ約20 cmの円柱形の鋼球入りペーストを縦方向に切断し、切断面の中央部の巾20 mmの範囲で鋼球の分散状態を調べた。鋼球の分散状態を示したものが図-1の(A)である。

使用した材材の重量等、他の条件は前例と同一で、セメント、小氷塊、鋼球、型枠、等を-20°Cに冷却しておき、棒状バイブレーターで30秒間振動を加え終るまでの工程を-20°Cの温度下で行った場合の鋼球の分散状態は図-1の(B)であった。

セメント(15°C, 800 g), 水(15°C, 320 g), 鋼球(15°C, 800 g)を用いた場合の結果を図-1の(C)に示す。

水量が多くてペーストが軟かい場合、図-1の(C)のようになることが容易に予想しうることであるが、図-1の(B)のような分離を生じさせないためには、一旦混合した後は、小氷塊の融解水でセメントと小氷塊の混合物に適当な粘度をもたせる必要があるということは重要である。

§ 5. 実験Ⅳ. 水和反応速度に関する実験

水和反応の速度を調べるために、断熱箱内に打設したセメントペーストの温度測定を行った。

断熱箱としては、厚さ10 mmの発泡スチロール板で作製した内法寸法10×10×10 cmの箱を用いた。温度は断熱箱内に打設したペーストの中心にセットした熱電対で測定した。

水セメント重量比をパラメーターとして、普通ポルトランドセメント(20°C前後)と水(20°C前後)とをモルタルミキサーで3分間混練し、断熱箱に打設した。打設の途中で熱電対をセットし、打設終了後に30 mm厚の発泡スチロール板で蓋をし、蓋はガムテープで固定した。打設後の時間の経過とセメントペーストの温度を示

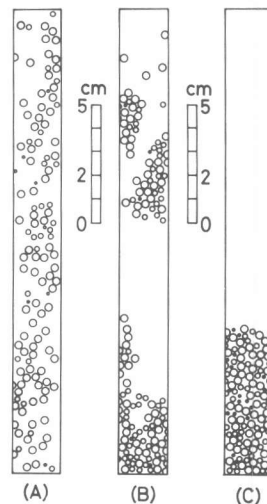


図-1. セメントペースト中の鋼球の分散状態

したものが図-2である。水セメント比が小さいほど反応速度が早い。

-20°Cに冷却した普通ポルトランドセメントと、刃の出が約1mmのアイスライザーでスライスした-2°Cの小氷塊を、重量比1.0/0.3で、20°C前後の室温下で、モルタルミキサーで3分間混合し、混合直後あるいは放置して混合物の温度がある程度上昇した後、断熱箱に打設した。断熱箱内に打設した時点における混合物の温度が実験パラメーターである。断熱箱に打設したときの温度が0°C以下の場合、小氷塊にはマクロな水膜は生じているが、完全には融解していない状態である。打設時の温度が0°Cより大きい場合は、小氷塊はほぼ完全に融解しているものと考えられる。実験結果を図-3に示す。低温になれば初期の水和反応が遅延することを示している。

図-2および図-3より、水セメント比が小さくなれば初期反応速度が早くなるが、反応速度は低温にすることによって遅らせることができるといえる。ここでいう初期とは、練り混ぜから締め固め終了時まで程度の時間を意味する。

§ 6. 実験 V. 小氷塊の形状等に関する総合的実験

15°C~20°Cの普通ポルトランドセメントと15°C~20°Cの室温下で、-2°Cの氷を刃の出が約1mmのアイスライザーでスライスした小氷塊を用いて、セメントペースト供試体を作製し、その強度試験を行った。セメントと小氷塊とは、15°C~20°Cの室温下でモルタルミキサーを用いて3分間混合し、小氷塊が完全に融解したことを確認した後、4×4×16cmの直方体供試体用の型枠に、極めていいに手突きで、できるだけ密に充填した。表面をコテで仕上げた後、ビニールシートを表面に密着させ表面からの水分の出入りを防いだ。ペーストを型枠に打設した24時間後に脱型し、ビニールシートで密封して養生した。打設後の養生温度は20°Cであり、強度試験時の材令は28日である。強度試験は、JIS R5201²⁾に準じて行った。

種々の水セメント比の供試体の強度を示したものが、図-4である。図-4のプロットは、数多く作製した供試体の試験結果すべての平均値ではなく、強度の大きいもの数個の供試体の平均値である。したがって、図-4は「強度特性」というよりはむしろ「極めていいな手詰めで図-4程度の強度をもつペーストを作製しうる」と解釈すべき性格の図である。

この実験では、前述のように、15°C~20°Cの室温下で、アイスライザーでスライスした小氷塊を用いており、各小氷塊の形状には相当の差違があり、また、小氷塊の表面には水膜が発生している。このような小氷塊を用いて図-4に示されるような結果が得られたことから、

(1) 実用的に使用しうる小氷塊の形状・様態の範囲は相当に広く、アイスライザーで製造した小氷塊で十分

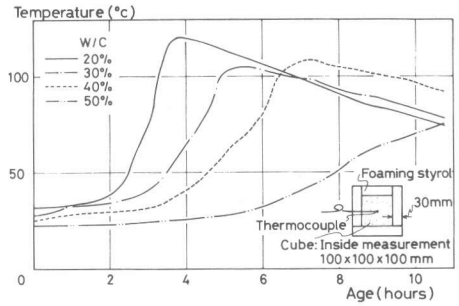


図-2. 打設後数時間のセメントペーストの温度変化

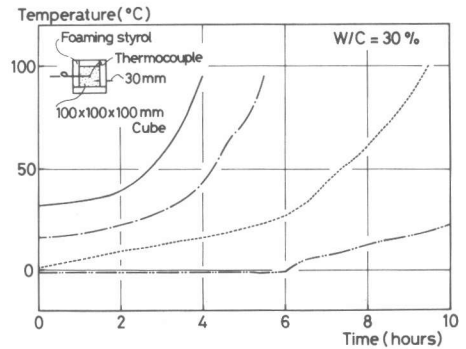


図-3. 打設後数時間のセメントペーストの温度変化

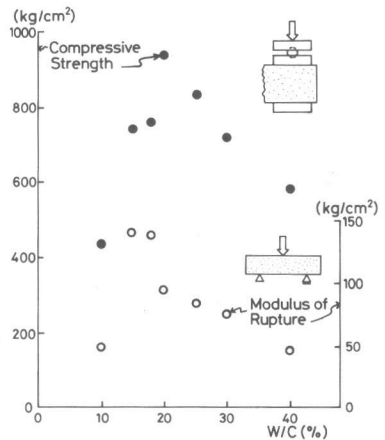


図-4. セメントペーストの圧縮及び曲げ強度

に目的を達成しうる。

- (2) 小氷塊を用いて練り混ぜを行うことによって、例えば初期凍害のように硬化したペーストに対して悪影響を及ぼすことはない。

と結論しうる。

§ 7. 実験Ⅳ. 小氷塊を用いたコンクリートの打設実験

小氷塊を利用したコンクリートの製造法による鉄筋コンクリート柱試験体の作製を行った。

普通ポルトランドセメント、砂利、砂、小氷塊を用いた。砂利は碎石で 10 mm のふるいを通り、5 mm のふるいに残ったものを使用した。砂は川砂である。小氷塊は刃の出が約 1 mm のアイススライサーで製造したものを -20°C の冷凍室に保存しておき、大きな固まりになっているものは破碎して使用した。

セメント／小氷塊／砂利／砂の重量比は、1.0 / 0.3 / 1.5 / 1.5 とし、砂利、砂は乾状態のものを用いた。セメント、砂利、砂は室温（約 15°C）のものを用い、練り混ぜ、打設、締め固めも約 15°C の温度下で行った。ミキサーは 100 ℓ の強制練りタイプのもを用い、一回の練り混ぜにおける各材料の実重量は、セメント／小氷塊／砂利／砂、それぞれ 40 / 12 / 60 / 60 kg とした。

鉄筋コンクリート柱試験体は、25×25 cm 断面で長さが 50 cm の試験部の両端に 25×20×40 cm のスタップが付いているものである。試験部の配筋は、主筋が、6-D13、フープ筋が、6φ-@30 (mm) である。小氷塊が完全に融解してから、棒状バイブレーターで締め固めながら、ていねいにコンクリートの打設を行った。

このようにして作製した鉄筋コンクリート柱試験体の実験終了後の写真を写真-3 に示す。実験は一定軸力下における繰り返し曲げせん断実験である。

柱の実験の前後に行ったシリンダー試験の結果を表-1 に示す。シリンダーも試験体同様、棒状バイブレーターで締め固めながら、ていねいに作製した。シリンダーの寸法は 10 cmφ×20 cmh で、養生条件としては、気中放置と密封の 2 種類であり、養生期間の雰囲気温度の平均値は、約 15°C であった。

柱試験体の曲げせん断実験の結果と、シリンダー試験の結果とはよい対応を示している。このことと写真-3 に示す試験体表面の状態とを合わせて考えれば、写真-3 に示した鉄筋コンクリート柱試験体のコンクリートは十分密実な打設されたといえる。

小氷塊を利用したコンクリート製造法によって相当高品質のコンクリートが製造できる。

§ 8. まとめ

実験Ⅰ～Ⅵによって、「小氷塊を用いたコンクリート製造法」¹⁾で論じた内容に対して、具体的な実験資料を示した。

小氷塊を利用するという発想で、高品質コンクリートの製造に新たな可能性を付加した。

<参考文献>

- 1) 鈴木敏郎, 瀧口克己 「小氷塊を用いたコンクリート製造法」 第 8 回コンクリート工学年次講演会論文集
- 2) 日本建築学会刊 「建築工事標準仕様書 同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」

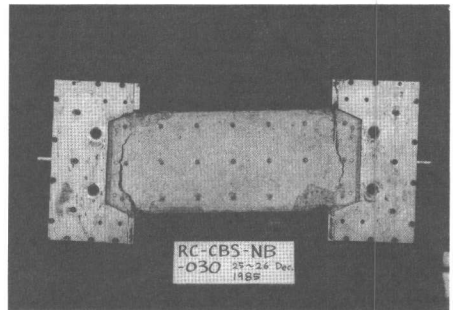


写真-3. 曲げせん断試験終了後のRC柱試験体の破壊状況

表-1. シリンダー試験結果

| Curing | In Air | | Covered with Wax | |
|--|-------------------|----------------|------------------|----------------|
| | 29 | 41 | 29 | 41 |
| Age (days) | 29 | 41 | 29 | 41 |
| Compressive Strength Fc (kg/cm ²) | 554 | 555 | 635 | 714 |
| Fc/3 Secant Modulus (10 ⁴ kg/cm ²) | 3.0 | 3.0 | 3.8 | 3.7 |
| Strain at the Maximum Stress (%) | 0.26 ~ 0.28 | 0.24 ~ 0.34 | 0.18 ~ 0.25 | 0.23 ~ 0.27 |
| Splitting Tensile Strength (kg/cm ²) | 44 (40days) | | 49 (40days) | |
| Date of Placing | November 17, 1985 | | | |
| W/C (%) | 30.0 | | | |
| Diameter and Height of Cylinder (cm) | 10φ x 20 | | | |
| Max. Size of Coarse Aggregate (mm) | 10 | | | |