

海水および珊瑚骨材を用いたコンクリートの発熱特性とひび割れ発生に関する検討

五洋建設（株） 正会員 ○谷口 修 東亜建設工業（株） 正会員 羽瀨 貴士
東洋建設（株） 正会員 末岡 英二 港湾空港技術研究所 正会員 山路 徹
早稲田大学 フェロー 清宮 理

1. はじめに

日本の南方の遠隔離島におけるコンクリート構造物の施工では、現地で調達できる海水と珊瑚由来の石灰岩から製造する骨材(以下、珊瑚骨材と称する)を用いることが、経済性や調達効率の観点から望ましい。著者らはこれまでに海水および珊瑚骨材を組み合わせた自己充填型コンクリートについて、その諸特性を明らかにすべく、実験的な検討を進めている。すでには、熱的特性として断熱温度上昇量と熱膨張係数について報告¹⁾しており、本稿では当該コンクリートの熱特性のうち比熱（熱伝導率，熱拡散率）および断熱温度上昇量の測定結果を示す。また，得られた値を用いて温度応力解析を実施し，ひび割れ発生について検討した。

2. 配合および使用材料

配合は，練混ぜ水に海水，骨材(細・粗骨材)に珊瑚骨材を用いた配合(SW-CA)と，練混ぜ水に海水と普通骨材を用いた比較用配合(SW-NA)の 2 水準とした。温度 20℃ で試験体を作製した。コンクリートの水セメント比は 45%の一定とし，スランブフローは 600±50mm，空気量は 4.5±1.5%の範囲となるよう，単位水量，混和剤の添加率および細骨材率を調整した。使用材料を表-1，配合とフレッシュ性状を表-2 に示す。

3. 試験方法

(1)熱伝導率試験 熱伝導率は，10×10×40cm のコンクリート試験体に加熱線の付いたプローブを押しあて，この時の供試体の温度上昇と時間の関係を演算して，熱伝導率を算出する。1 供試体あたり 10 箇所の測定を行い，2 つの供試体の平均値を熱伝導率とした。熱伝導率の測定状況を写真-1 に示す。

表-1 コンクリートの使用材料

材料名	記号	種類	物理的・化学的性質
練混ぜ水	SW	海水（相模湾天然海水）	密度1.022～1.025g/cm ³ Cl ⁻ 濃度1.75～1.80%
セメント	C	高炉セメントB種	密度3.04g/cm ³
細骨材	S1	珊瑚砕砂（遠隔離島産）	表乾密度2.60g/cm ³ ，吸水率3.30%
	S2	陸砂（大井川水系）	表乾密度2.60g/cm ³ ，吸水率1.86%
粗骨材	G1	珊瑚砕石（遠隔離島産）	表乾密度2.40g/cm ³ ，吸水率5.13%
	G2	硬質砂岩砕石（青梅産）	表乾密度2.66g/cm ³ ，吸水率0.58%
混和剤	Ad	塩分含有増粘剤一液型高性能AE減水剤（標準型）	ポリカルボン酸エーテル系化合物と増粘性高分子化合物の複合体

(2)熱拡散率試験，比熱 熱拡散率の試験では，材齢 28 日まで円柱供試体 φ10×20cm を標準養生した後，60℃の恒温水槽に移し，供試体中心温度が水温と同一になり供試体内部に温度勾配が生じない状態になった時点で，直ちに 20℃の定常冷水中に移動し，供試体中心温度及び水槽温度を 2 分間隔で 60 分間測定した。測定時間毎に熱拡散率を求め，測定時間 20～60 分の測定値の平均値を熱拡散率とした。比熱は次式を用いて算出した。



写真-1 熱伝導率試験

$$C = \lambda / (\alpha \rho) \tag{1}$$

ここに C:比熱，λ：熱伝導率，ρ：密度，α：熱拡散率

(3)断熱温度上昇 断熱温度上昇試験機は空気循環式試験機で，コンクリートを円筒形容器（容積約 55ℓ）に打ち込み，ヒータを制御することにより，コンクリートを擬似的な断熱状態に保ち，コンクリート中心部の上昇温度が定常状態になるまで測定を行った。なお，断熱温度上昇量は参考文献 1)でも報告しているが，測

表-2 コンクリートの配合

種別	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						混和剤	スランブフロー (mm)	フロータイム (秒)		空気量 (%)	コンクリート温度 (℃)	圧縮強度 (N/mm ²) 材齢28日
			水 W	セメント C	細骨材 (珊瑚) S1	細骨材 (陸砂) S2	粗骨材 (珊瑚) G1	粗骨材 (砕石) G2			50cm	停止			
SW-CA	45.0	50.8	185	411	845	—	756	—	C×1.50%	594 × 572 (585)	3.6	25.2	4.8	21	54.8
SW-NA	45.0	52	175	389	—	881	—	838	C×1.10%	640 × 612 (625)	5.7	37.3	3.9	21	53.4

キーワード 海水，珊瑚由来骨材，自己充填型コンクリート，比熱，断熱温度上昇量，ひび割れ指数
連絡先 〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1 五洋建設株式会社 技術研究所 TEL 0287-39-2105

定誤差を小さくするよう、試料容積のより大きな試験装置により再度実施したものである。

4. 測定結果

SW-CA は熱伝導率，熱拡散率，比熱，断熱温度上昇，SW-NA は断熱温度上昇を測定した。

(1) 熱伝導率，熱拡散率および比熱 測定結果を表-3 に示す。SW-CA はコンクリート標準示方書に示されている普通骨材のコンクリートに比べ熱伝導率は小さく，比熱は若干大きい値であり，熱が伝わりにくいことを示している。この要因として骨材中に多数の空隙が存在していることが考えられる。また，参考までに人工軽量骨材の熱的特性値も表-3 に示す。珊瑚骨材の熱伝導率は人工軽量骨材に比べ小さく，比熱は人工軽量骨材と普通骨材の中間の値である。

(2)断熱温度上昇 測定結果を図-1 に示す。単位セメント量に 22kg の差異があるが珊瑚骨材と普通骨材ではほぼ同様の結果となった。測定結果から算定した断熱温度上昇式を表-3 に示す。

5. 解析による発熱特性およびひび割れ発生に関する検討

表-2 に示す珊瑚骨材と普通骨材を使用した自己充填型コンクリートについてひび割れ発生の有無を確認するために，今回得られた熱的物性値（表-3）とこれまでの検討¹⁾で得られた値を用いて珊瑚骨材と普通骨材の温度応力解析を実施した。解析対象は 1m 角の方塊ブロックとし，解析モデルは 1/8 モデルとした。なお，普通骨材の熱伝導率，比熱，静弾性係数と引張強度は，コンクリート標準示方書〔設計編〕に記載の値を使用した。静弾性係数と引張強度は，練混ぜ水や骨材の種類によらず圧縮強度と概ね一様な相関が認められる²⁾ことからコンクリート標準示方書〔設計編〕の値を用いた。

図-2 に方塊ブロックの最高温度箇所の履歴，図-3 に最小ひび割れ指数分布を示す。解析の結果から SW-CA は，SW-NA に比べ最高温度は高くなるもののひび割れ指数は大きくなる傾向が見られた。この要因として SW-CA は，SW-NA に比べコンクリート内部に水和熱が蓄積されて最高温度が高くなるが，熱膨張係数は小さいため，ひび割れ指数が大きくなったものと考えられる。

6. まとめ

珊瑚骨材を使用したコンクリートは，普通骨材に比べ熱伝導率は小さく，比熱は若干大きい値となり，熱が伝わりにくい。また，珊瑚骨材を使用することで普通骨材に比べコンクリート内部の温度上昇は大きくなるもののひび指数は大きくなる。

参考文献 1)谷口他：海水および珊瑚由来の石灰石骨材を用いた自己充填型コンクリートの熱的特性，土木学会年次講演会概要集，2017.9
2)竹中他：海水および珊瑚骨材を用いた自己充填型コンクリートの基本性能，コンクリート工学年次論文，2016.7
3)人工軽量骨材コンクリート設計施工マニュアル，土木学会コンクリートライブラリー56

表-3 実験測定結果および解析で使った値

	SW-CA		SW-NA	人工軽量骨材 ³⁾
熱拡散率 (m/h)	0.00157	平均 0.00159	2.7*	0.0014~0.0020
熱伝導率 (W/mk)	0.00161			
	1.29	1.29		
密度(t/m ³)	2.197		2.282	1.900
比熱(kj/kgK)	1.3		1.16*	1.674~1.80
断熱温度 上昇式	54.4 ×(1-exp(-1.08t)) C=411kg/m ³		53.8 ×(1-exp (-1.18t)) C=386kg/m ³	53.1 ×(1-exp (-0.82t)) C=360kg/m ³
熱膨張係数 ¹⁾ (μ/℃)	6 ¹⁾		11 ¹⁾	6~9

※) コンクリート標準示方書〔設計編〕の中央値

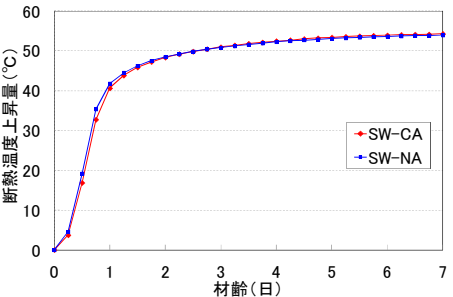


図-1 断熱温度上昇試験結果

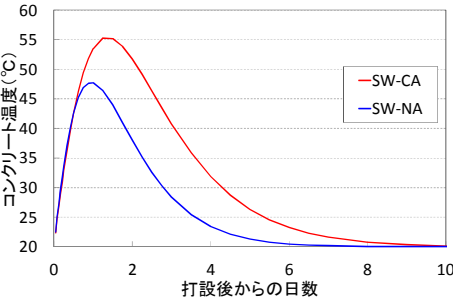


図-2 方塊ブロックの温度解析結果
(最高温度箇所の履歴比較)

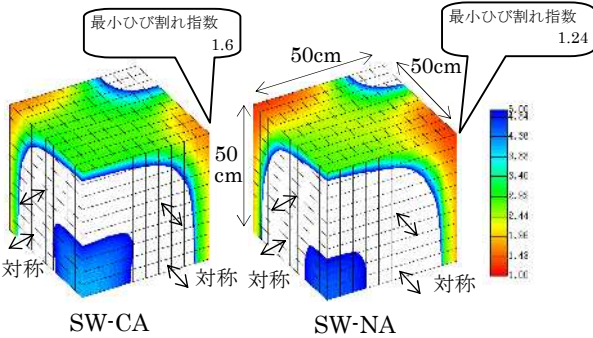


図-3 最小ひび割れ指数分布
(1/8 モデル)