

## 超臨界水反応装置用断熱コンクリートに関する研究

村田 守(機械工学科) 朝比奈 敏勝(機械工学科)

星野 和義(機械工学科) 湯浅 昇(建築工学科)

### 1. 緒言

超臨界水 (supercritical water) とは、臨界圧力 (22.1MPa)、臨界温度 (374 °C) を超えた状態の水であり、液体、気体の区別がつかない状態となっている。超臨界水は、気体の拡散性と液体の物質溶解性を併せ持っているため、反応溶媒としてさまざまな効果を持ち、環境汚染物質の分解抽出や難分解性物質の処理、リサイクル等多くの分野への応用が考えられ、期待を集めている。土木分野でも、アスファルト混合物廃材の再生利用への応用が検討されている<sup>1)</sup>。

上述のように、超臨界水反応容器は高温、高圧に加え、溶解性の強い環境下で使用されるため、従来は Hastelloy、Inconel といった Ni 基合金が使用されることが多かった。しかし、実用的な大きさの容器を製作する場合には、これらの合金単体で製作することは得策とは言えない。そこで、本研究では、Hastelloy 等の耐熱耐食合金の薄板を内面にライナー材とし使用し、その外側を耐熱 FRP で補強巻きするという容器構造の可能性について検討を行っている。

本報告は、前述の反応容器構造において、断熱のために使用するコンクリートの特性について測定した結果についての報告である。

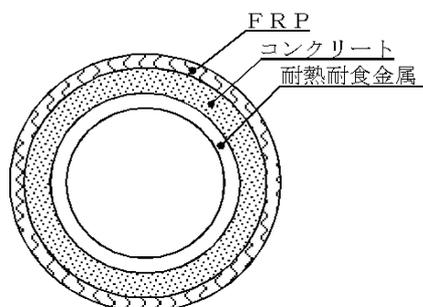


図1 超臨界水反応装置の断面構成

### 2. 超臨界水反応装置の構造

検討を行っている超臨界水反応装置の構造は、図1に示すような断面構成となっている。すなわち、最内面のライナー材に耐熱、耐食性のある合金を使用し、その外周を断熱特性のあるコンクリートを介して温度を下げたのち、耐熱性の高いポリイミッド樹脂を使用した CFRP で補強した構造である。以下にこの断熱用コンクリート候補の特性について述べる。

### 3. コンクリートの特性

#### 3.1 供試材および試験方法

実施した試験は断熱特性（熱伝導率）測定と圧縮強度測定である。

##### 3.1.1 熱伝導率測定

熱伝導率の測定に使用したコンクリートは、1 昨年製作したものであり、普通ポルトランドセメントに米国 NASA で開発された断熱目的の中空／真空セラミックの微小ビーズ (SLBG、MHCB)<sup>2)</sup> を混練したものである。このビーズの平均直径および比重は、SLBG が 40 μm、0.148 であり、MHCB が 100 μm、0.502 である。製作したコンクリートの種類を表1に示す。

表1 製作したコンクリート

ビーズ	SLBG		MHCB	
	W/B		W/B	
ビーズ含有率(%)	16	20	16	20
	0	0	0	0
	20	20	20	20
	31.5	40	40	40
		46		52.8

註) W/B: 結合剤に対する水の割合

本年度は、このコンクリートの時間経過後の断熱特性を調べた。1 昨年は、製作後約 1 ヶ月において試験<sup>3)</sup>を行い、昨年度は 1 1 ヶ月目と 1 5 ヶ月目の時期の断熱特性<sup>4)</sup>を調べ、本年度

は24ヶ月目の時期での断熱特性を調べた。熱伝導率の測定は JIS R 2251-1<sup>3)</sup> に従い試験した。この方法では、2個の測定用試料の間に、熱電対が溶接された直線状の金属線（熱線）を挟み込んで一定量の電力を供給し、その際の熱線の温度上昇の時間的変化から熱伝導率を算出する。

試験の概念図を図2に、熱伝導率の計算式を式(1)に示す。

$$\lambda_{\theta} = E \cdot I / (4 \pi \lambda) \cdot \ln(t_2/t_1) / (\theta_2 - \theta_1) \quad \dots(1)$$

$\lambda_{\theta}$  : 熱伝導率 (W/m・K)

I : 熱線に流した電流値 (A)

E : 図の熱線のA-B間の電圧 (V)

$\lambda$  : 図の熱線のA-B間の長さ (m)

$t_1$ 、 $t_2$  : 熱線に通電後、グラフで直線関係が確認された範囲内の時間 (s)

$\theta_1$ 、 $\theta_2$  :  $t_1$ 、 $t_2$ における熱線の温度 (°C)

### 3.1.2 圧縮強度測定

従来の圧縮強度測定用供試体は、打設後常温で養生していたが、予備試験により高温で養生した方が強度が上がるが見込まれたため、今回は 50 °C の環境下で養生したものも用意した。作成したコンクリートの種類は、SLBG 含有率 30% のものと MHCB 含有率 40% のものであり、ともに水結合材比は W/B = 20% である。打設4週間後に JIS A1132 及び JIS A1108 に従って圧縮試験を行った。

## 3.2 測定結果および考察

### 3.2.1 熱伝導率測定

表2に材齢24ヶ月における熱伝導率の測定結果を示す。図3には各コンクリート毎に、ビーズ含有率と熱伝導率の関係を示す。

これらの図表より、ビーズの含有量を増やすと熱伝導率が小さくなる事が分かる。今回、通常の方法では混練の限度割合と考えられる含

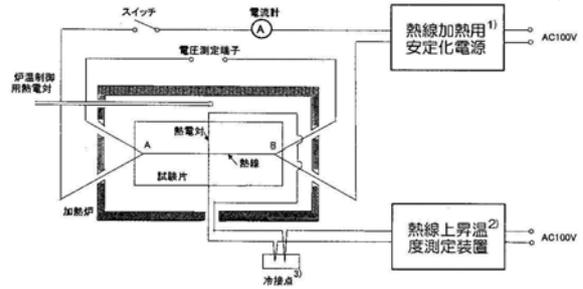


図2 熱伝導率の測定装置概念図

表2 材齢24ヶ月での熱伝導率

水/結合材	ビーズ無し	
	W/B 16%	W/B 20%
ビーズ含有率	0%	0%
熱伝導率(W/m・K)	0.73	0.72

水/結合材	MHCB				
	W/B 16%	W/B 20%	W/B 20%	W/B 40%	W/B 52.80%
ビーズ含有率	20%	40%	20%	40%	52.80%
熱伝導率(W/m・K)	0.7	0.52	0.63	0.52	0.48

水/結合材	SLBG				
	W/B 16%	W/B 20%	W/B 20%	W/B 40%	W/B 46%
ビーズ含有率	20%	31.50%	20%	40%	46%
熱伝導率(W/m・K)	0.59	0.49	0.54	0.39	0.32

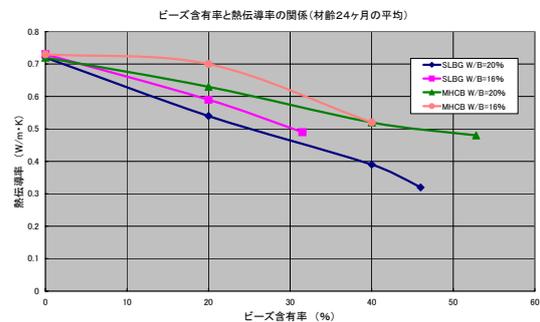


図3 ビーズ含有率と熱伝導率との関係 (材齢24ヶ月)

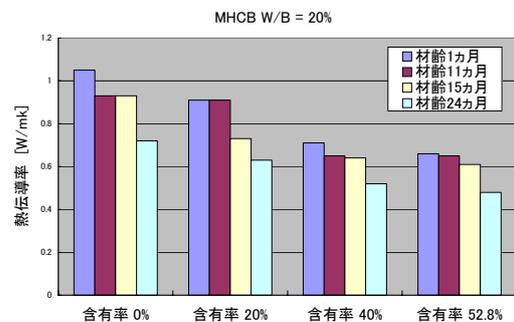


図4 熱伝導率の材齢比較 (MHCB W/B = 20%)

有率までとしているが、そのようにすればビーズを含まないものの半分程度の熱伝導率まで下げられることが分かる。また、SLBG を使用した方が熱伝導率は低くなっているが、強度も SLBG の方が低くなってしまふ欠点がある<sup>5)</sup>。

図4～図7に各コンクリート毎に、材齢による熱伝導率の比較を示した。材齢 24 ヶ月以外の結果の詳細は参考文献6を参照されたい。また、各コンクリート毎の熱伝導率の経時変化を図8～図11に示した。

これらの図より、時間経過したものの方が、製作直後のものより熱伝導率が小さくなる傾向が見られる。これらの図より、この間では時間の経過と共に熱伝導率は低下しており、製作後 24 ヶ月経過してもなお、熱伝導率が低下中であること分かる。これはコンクリート中の水分が時間とともに低下することによるものと考えられるが、この傾向は今回の使用目的からは望ましい傾向である。

ちなみに、目標とする熱伝導率は  $0.747 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  以下である<sup>4)</sup>。材齢 1 ヶ月時点での測定結果によると、この条件を満足するものは少なかったが、材齢 24 ヶ月時点ではすべてのコンクリートがこれを満足している結果となった。

### 3.2.2 圧縮強度測定

図 12 にコンクリートの圧縮強度の養生温度による違いを比較して示す。SLBG、MHCB どちらを混入したのも養生温度を高くすれば圧縮強度が上がる事が分かる。

計画している反応容器では、コンクリート部には  $48 \sim 61\text{MPa}$  程の圧縮応力が発生する可能性がある。常温で養生したものでは、安全率を考慮しなければ、SLBG を用いた場合ではビーズ含有率が 25 %程度まで、MHCB を用いた場合ではビーズ含有率が 40 %程度までであれば必要な強度は確保できるという結論であった。しかし、この結果を見ると、より多くのビーズを混ぜて熱伝導率の低下を狙っても、高温で養生すれば強度が確保できる可能性があることが分かる。

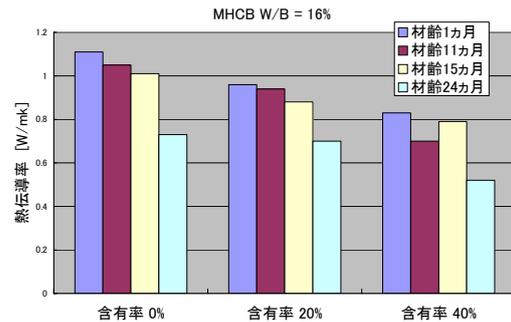


図5 熱伝導率の材齢比較  
(MHCB W/B = 16%)

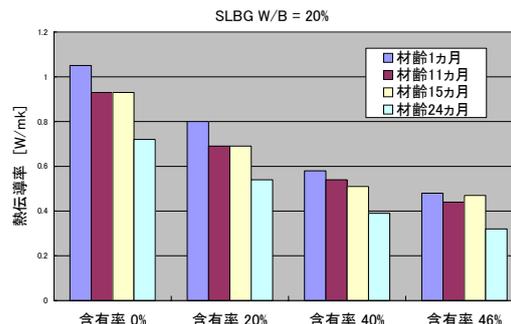


図6 熱伝導率の材齢比較  
(SLBG W/B = 20%)

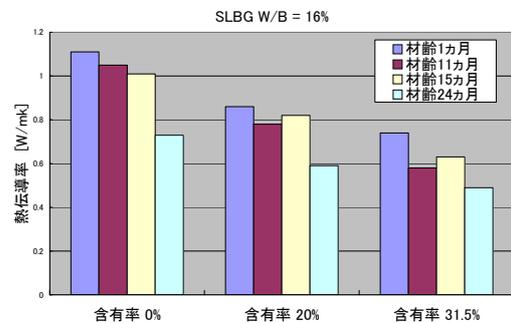


図7 熱伝導率の材齢比較  
(SLBG W/B = 16%)

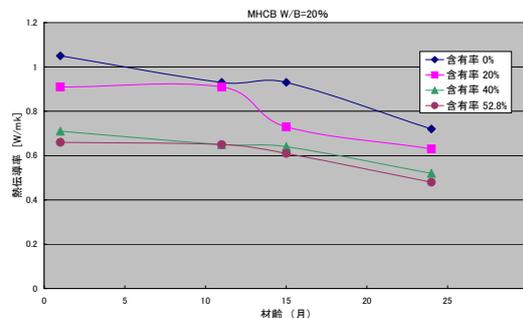


図8 熱伝導率の材齢変化  
(MHCB W/B = 20%)

#### 4. まとめ

ビーズ入り断熱用コンクリートの熱伝導特性を調べた。ビーズ含有量を増やせば低熱伝導率のコンクリートができること、伝導率は製造後24ヵ月経過後もなお低下し続けていることが分かった。また、コンクリートの養生温度を高くすれば圧縮強度を上げられることも分かった。

#### 参考文献

- 1) 土井啓徳 他：高温・高圧水によるアスファルト混合物のバインダー除去に関する基礎研究 第60回土木学会年次学術講演会
- 2) 株新触媒九州ホームページ
- 3) JIS R 2251-1「耐火物の熱伝導率の試験方法 第1部：熱線法（直交法）」
- 4) 村田守 他：超臨界水反応装置に関する研究 第60回土木学会年次学術講演会
- 5) 村田守 他：超臨界水反応装置用断熱コンクリートに関する研究 第62回土木学会年次学術講演会
- 6) 村田守 他：超臨界水反応装置用断熱コンクリートに関する研究 第63回土木学会年次学術講演会

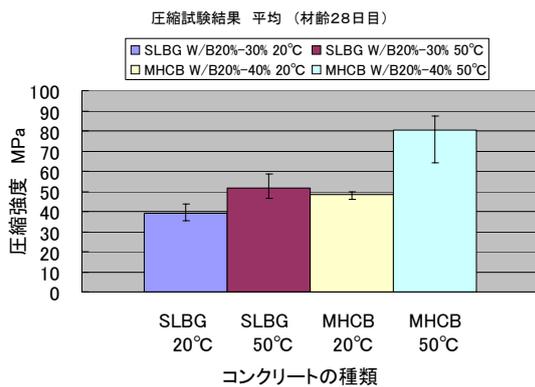


図12 圧縮強度に及ぼす養生温度の影響

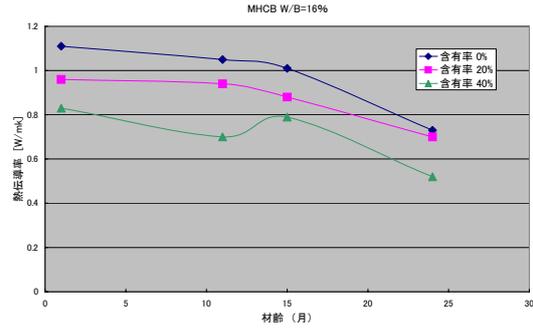


図9 熱伝導率の材齢変化 (MHCB W/B = 16%)

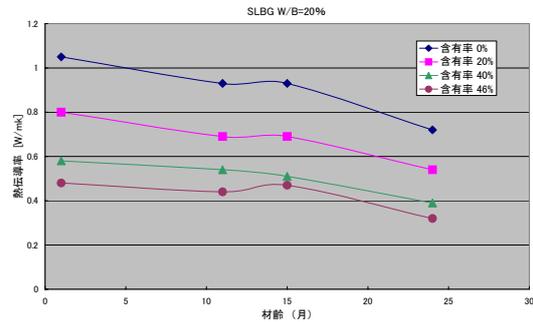


図10 熱伝導率の材齢変化 (SLBG W/B = 20%)

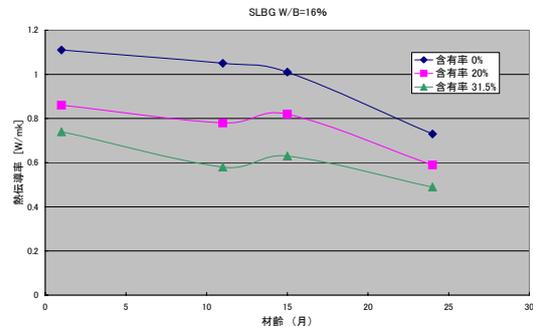


図11 熱伝導率の材齢変化 (SLBG W/B = 16%)