

超臨界水反応装置に関する研究

日本大学 正 村田 守 日本大学 朝比奈 敏勝 日本大学 星野 和義

1. 緒言

超臨界水（supercritical water）とは、臨界圧力（22.1Mpa）、臨界温度（374℃）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。

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、従来はハステロイ、インコネルといった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い難い。そこで、本研究では、ハステロイ薄板を内面にライナー材として使用し、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た。

2. 超臨界水反応装置の構造

検討を行った超臨界水反応装置の構造は、図1に示すように、円筒形状の胴部の両端に端部押さえ板を配し、この板をタイロッドで結合し、圧力による軸方向荷重はタイロッドでもたせる形式のものである。この円筒形胴部を図2に示すように、最内層を耐熱・耐食性のあるハステロイ製のライナーとし、その外側をコンクリートで覆い、更に

その外側を耐熱FRPで補強した構造について検討した。上述のように円筒部には基本的に軸方向応力は発生しないので、FRP層はFW法によるフープ巻きとし、周方向応力に対抗させ、コンクリート層はFRP層の温度を下げる断熱目的で挿



図1 超臨界水反応装置の構造

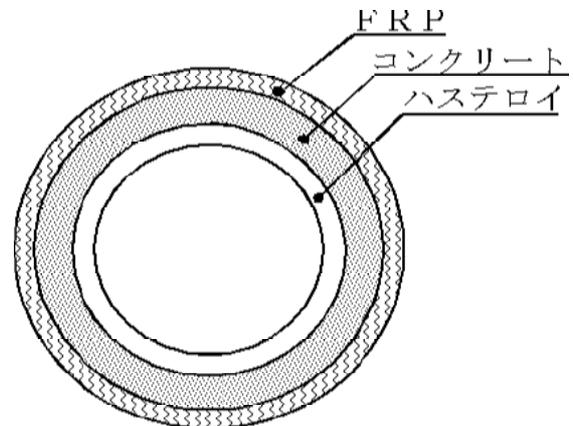


図2 円筒胴部の構成

表1 材料特性

材料	EL (Gpa)	ET (Gpa)	GLT (Gpa)	ポアソン比	強度 FL (Mpa)	強度 FT (Mpa)	熱伝導率(W/m・K)			比熱 (J/kg・K)	線膨張係数(*10^-6/K)		
							繊維方向 L方向	直交方向 T方向	厚さ方向 Z方向		L方向	T方向	Z方向
FRP(T300,Polyimide)	140	30	4.4	0.35	2250	75	3	0.59	0.59	901.7	0.678	24.55	24.55
FRP(M40,Polyimide)	227	31	4.4	0.34	1777	45	24	1	1	866.1	-0.161	24.5	24.5
ハステロイC276	205	/	/	0.31	790	/	10.2			414	12.4		
普通コンクリート	20	/	/	0.3	60	/	1.2			960	8		
コンクリート(粒子40%)	20	/	/	0.3	60	/	0.7484			960	8		
コンクリート(粒子50%)	20	/	/	0.3	60	/	0.6355			960	8		

超臨界水、反応容器、圧力容器、高温容器

習志野市泉町 1 - 2 - 1 日本大学生産工学部

入している。FRPの補強繊維には、T300とM40Jと呼ばれる弾性率、強度の異なるカーボン繊維を使用し、樹脂には熱硬化型の耐熱樹脂であるポリイミドを使用した。断熱層には、普通コンクリートとNASAで開発された断熱目的のセラミック粒子¹⁾(MHCB粒子)を混入した2種類について検討した。ハステロイは、C276を使用した。これらの材料の特性をまとめて表1に示す。FRPおよび粒子入りコンクリートで実測値が無いものについては、積層理論、複合則により求めた²⁾。

3. 解析および結果

3.1 解析方法

今回の検討では、先の構造で、円筒の内径を100mm、ハステロイの厚さを5mmとし、コンクリートおよびFRPの厚さ、種類を変えたものについて、FEM解析により各部の応力と温度について検討を加えた。解析時の境界条件は、

- 容器の内壁面において：内圧 40MPa、温度 400
- 容器の外壁面において：大気圧、雰囲気温度 20
- 熱伝達係数 6W/m²Kとした。

3.2 解析結果および考察

表2に、今回検討した円筒部の材料および寸法構成とそれらの各部に発生する応力をまとめて示す。結果は示していないが、今回常温時に圧力のみをかけたときの安全率⁴を目標として設計して

いる。表に示した高温時の結果で一部これを下回る数値となっているものがある。この原因はハステロイ、コンクリート、FRPの膨張係数が大きく異なることが挙げられる。ハステロイ部分の熱膨張は、軸方向にはコンクリートにより伸びを拘束され、周方向にはFRPがほとんど伸びないため拘束され、常温時に比べ大きな圧縮応力が発生する。同じ原因で、コンクリートの圧縮応力、FRPの周方向応力は増加している。補強系で見ると、高弾性系であるM40Jを使用するよりも弾性率が低く、強度の高いT300を使用する方が多少有利な結果となっている。

表3には、材料各層の最高温度をまとめて示す。使用予定のポリイミド樹脂の連続使用温度を200と考えると³⁾、普通コンクリートおよび断熱粒子混入コンクリートを使用した場合に必要なコンクリートの厚さは、それぞれ130mm、80mm程度となることが分かる。

3.まとめ

ライナー材、断熱材、FRP補強材の3層構造の超臨界水反応装置を検討し、この構造が実現可能であることが示唆された。断熱層の厚さは口径にさほど依存しないので、溶接構造でライナーを製作できれば大型化は比較的容易であり、この構造は大型容器に有効であると考えられる。

表2 各部に発生する応力

リ ン ク	FRP 補 強 繊 維	断面構成		発生応力					
		コンクリート (mm)	FRP (mm)	ハステロイ		コンクリート		FRP	
				eq (Mpa)	x (Mpa)	z (Mpa)	L (Mpa)	T (Mpa)	
普 通	T300	0	5	162			523	-105	
		130	5	367	-49	15	250	-44	
		130	10	331	-53	9	235	-43	
	M40J	0	5	330			732	-109	
		130	5	351	-53	11	409	-42	
		130	10	323	-59	-6	361	-39	
4 % 粒 子 入	T300	80	5	300	-48	19	289	-38	
		90	5	331	-48	19	275	-33	
		80	5	281	-53	13	455	-35	
	M40J	90	5	312	-53	14	434	-31	
		90	10	295	-61	-7	372	-29	

表3 材料各層の最高温度

材料	断面構成(コンクリート厚さ, CFRP厚さ)(mm)					
	普通コンクリート			粒子40%入りコンクリート		
	(0,5)	(130,5)	(130,10)	(80,5)	(90,5)	(90,10)
ハステロイ	400	400	400	400	400	400
コンクリート	-	398	398	398	398	398
CFRP	398	198	198	211	197	197

単位:

参考文献

- 1) 株式会社新触媒九州ホームページ
- 2) 宮入、他：複合材料の辞典、朝倉書店
- 3) J. M. Criss Jr., et al: New state-of-the-art high temperature transfer moldable resins and their use in composite, SAMPE, 2003