

超高RC造煙突のFRP内筒の耐久性の検討（その2）

——140°Cの高温排ガス下で使用する樹脂の選定——

喜田大三 住野正博

Durability of FRP Flue in Super-tall Chimney Made of Reinforced Concrete (Part 2)

—— Selection of Resin Adaptable to Flue Gas of About 140°C ——

Daizo Kita Masahiro Sumino

Abstract

The durability of FRP (Fiber Reinforced Plastics) flues used as linings for super-tall reinforced concrete chimneys against low-temperature exhaust gas of about 50°C and condensed weak sulfuric acid has gained high regard. If this excellent durability could be sufficiently proven on exposure to high-temperature flue gas of 120 to 180°C, and to fluctuating temperature flue gas between 30 and 140°C, FRP flues would have wider applicability such as in super-tall chimneys of thermal power plants. Therefore, to examine the possibility of practical application of FRP flues for exhaust gases of thermal power plants, a series of laboratory heat tests and exposure tests inside a chimney was carried out on specimens made with five commercially available resins for FRP. The results showed that practical application is amply possible and a suitable resin was selected.

概要

二重筒方式の超高RC造煙突のFRP（Fiber Reinforced Plastics）製内筒は、これまで弱酸性の結露水を伴う50°C前後の低温排ガスに適用され、その優れた耐久性が高く評価されている。この性能が高温排ガスに対しても発揮できれば、FRP製内筒の適用範囲は格段に広がり、例えば火力発電所の煙突などへの用途が開けてくる。そこで、FRPが高温排ガス下で耐用できるかどうかを検討する目的で、室内実験及び火力発電所煙突における暴露試験を実施した。

その結果、5種類のFRPのうち、ノボラック系ビニルエステル樹脂を使った1種類が最も性能が良好で、火力発電所の高温排ガスの煙突へも適用できる可能性が高いと判明した。

1. はじめに

これまで、二重筒方式の超高RC造煙突の内筒には排ガス条件に応じた材料が使われてきている。例えば120～180°Cの高温排ガスに対しては耐熱性に優れた耐硫酸性鋼材やステンレス鋼材が使用され、一方、弱酸性の結露水を伴う60°C前後の低温排ガスに対しては耐食性に優れたステンレス鋼材がよく使われ、数年前からはFRP（Fiber Reinforced Plastics）も使用されるようになって

きている。

低温排ガスへのFRP製内筒の適用については、当社は他社に先がけて取り組み、内筒材としての優れた耐久性や維持管理の容易さは筆者が行なった室内試験や煙突内暴露試験¹⁾、当社が某製紙工場で施工した180m超高RC造煙突のFRP製内筒が約50°Cの弱酸性排ガス下で供用開始以来、今日まで10年間無事故、無補修であることから確認している。

このFRPの優れた耐久性が120～180°Cの高温排ガス

に対しても発揮できれば、FRP製内筒の適用範囲は格段に広がり、例えば火力発電所煙突の高温排ガスへの用途が考えられるようになる。

そこで、FRPが高温排ガスに耐用できるかどうかを検討するため、火力発電所の排ガス条件を想定した室内試験及び火力発電所の煙突内暴露試験を行ない、供試体の外観と強度の経時変化の特徴を把握して市販樹脂の耐熱性を比較した。その結果、火力発電所煙突の高温排ガス条件下で適用可能と思われるFRP用樹脂が選定できたので、ここに報告する。

2. 供試材料及び供試体の作製

2.1. 供試材料

(1) 樹脂 市販のFRP用樹脂から耐熱性に優れたビニルエステル樹脂のノボラック系2種類(NV₁, NV₂)、ビスフェノール系2種類(EV₁, EV₂)及び不飽和ポリエステル樹脂1種類(P)の合計5種類を供した。このうちNV₂は変性ノボラック系、EV₂は難燃型である。

(2) 強化用ガラス繊維 市販のサーフェスマット(Cガラス, 30 g/m²)とガラスマット(Eガラス, 420 g/m²)を用いた。

2.2. 供試体の作製

両表面にサーフェスマットを各1層、内部にガラスマットを3層積層し、4 mmの厚みで500 mm角の板状FRPを作製した。室内試験の加熱試験用に130×170 mm、煙突内暴露試験用に50×170 mmのサイズに切り出した。

3. 試験方法

次に示す数種類の室内試験と煙突内暴露試験を行ない、外観観察、JIS K6911による曲げ強さ及び引張り強さ試験を実施した。結果は外観変化及びブランクを基準とした曲げ及び引張り強さの保持率(%)を信頼限界95%(n=3)の範囲で示した。

なお、室内試験では火力発電所の排ガス条件を考慮して、常時120~180℃の温度で排出する場合を想定した高温加熱試験、電力需要の多い昼間は発電し、需要の少ない夜間は発電を止めるD.S.S. (Daily Start and Stop)を想定した温度変化繰り返し加熱試験を行なった。

3.1. 室内試験

(1) 高温加熱試験 エアーオープンを用い、①200℃一定で3箇月間、②140℃一定で2年間連続加熱した。

(2) 温度変化繰り返し加熱試験 エアーオープンを用い、30⇄140℃を1日8サイクルで2年間継続した。

3.2. 煙突内暴露試験

某火力発電所の180 m超高温煙突内に3年間暴露した。

排ガス条件は、pHがほぼ中性、温度は120℃、結露は生じておらず、またD.S.S.運転は行なわれていなかった。

4. 試験結果

4.1. 室内試験結果

4.1.1. 高温加熱と温度変化繰り返し加熱試験の結果

(1) 外観変化

変色は200℃加熱試験時に最も著しく、試験開始1箇月後からいずれの樹脂も黒色に変化した。140℃一定及び30⇄140℃繰り返し加熱試験では試験開始約1年後まで褐色化が進行したが、その後の変化は小さかった。

表面劣化は200℃加熱試験時に著しく、肉やせ、きれつ、くぼみ、繊維露出が経時的に増大した。特にEV₂は特異的に試験開始3週間後ぐらいから発泡し始め、3箇月後には完全に炭化して消し炭状になった。これは難燃化のために化学結合させている塩素が高温加熱によって離脱し、樹脂の分解が急速に進んだための現象である。140℃加熱試験時にはこのような劣化現象は認められず、繰り返し加熱試験ではEV₂及びPに試験開始1箇月後から表面きれつが著しく発生した。

(2) 強度変化

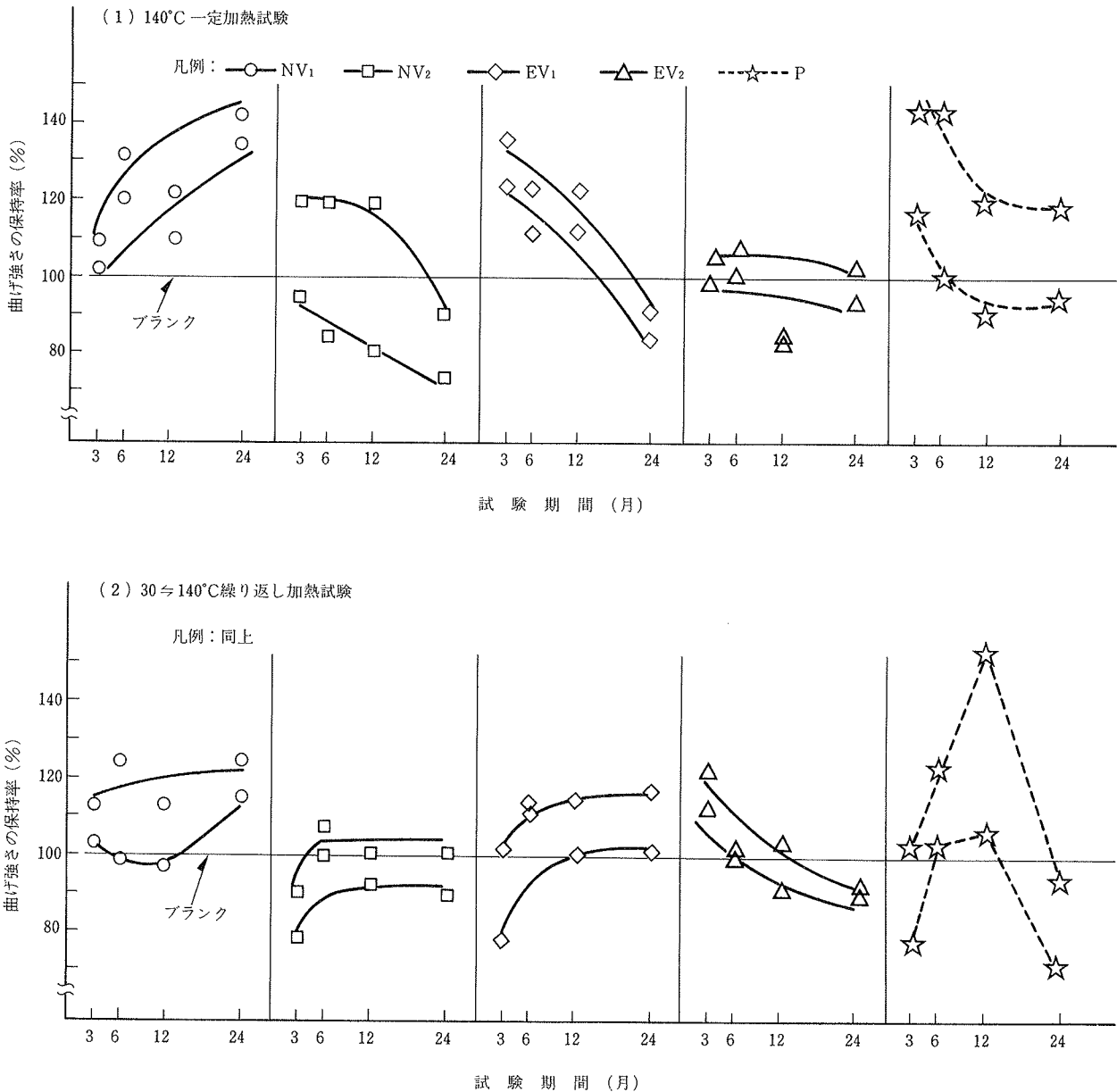
図-1及び図-2に加熱試験後の曲げ強さ及び引張り強さの経時変化を保持率でそれぞれ示す。同図の保持率は信頼限界95%(n=3)の範囲で示している。

200℃加熱試験の結果は図示していないが、EV₂を除く4種類の樹脂は3箇月では強度低下が認められなかった。EV₂は曲げ強さ及び引張り強さが時間経過とともに急激に低下し、3箇月後にはわずかに数%の保持率になった。この特異的な強度低下は上述のように樹脂が完全に熱分解したことによって生じたものである。

図-1の140℃加熱試験において、NV₁は曲げ強さが唯一経時的に増大し、高温加熱によって劣化しにくいことを示している。NV₂, EV₁, EV₂及びPは程度に違いがあるものの、曲げ強さは試験開始後ブランクよりも大きい値を保持しながら時間経過とともに低下し、最終的にはブランクよりも小さくなっており、高温加熱によって劣化する傾向を示している。

また、繰り返し加熱試験において、EV₂は明らかに曲げ強さが継続的に低下し、Pは曲げ強さが12箇月以後に大きく低下する傾向がみられる。そのほかの樹脂には、このような明確な強度低下傾向は認められない。EV₂及びPだけに、このような強度低下傾向が現われたのは、上述のように表面にきれつが著しく発生したためと思われる。

図-2の引張り強さの変化はそれぞれの温度条件において、上述の曲げ強さの変化傾向にかなりよく対応している。このうち特に注目されるのは、140℃加熱試験におけるNV₂及びEV₁の引張り強さの経時的な低下現象で



図一1 加熱試験後の曲げ強さの経時変化

ある。

吊り方式で内筒を煙突筒体に支持する場合には、内筒自重を引張り荷重応力として常時受けるので、上記のように引張り強さが継続的に低下する現象は実用上、好ましくない。

4.2. 煙突内暴露試験結果

この試験では、前述の室内試験に供した樹脂から NV₁、EV₁ 及び EV₂ の 3 種類を選び、実際の火力発電所の 120°C の排ガスによる FRP の劣化傾向を把握した。

(1) 外観変化

供試体は 3 年間で赤みがかった茶色系に変色したが、ひびわれ、ふくれなどは全く発生しなかった。その間の変色の進行は前述の 140°C 加熱試験及び 30 ⇄ 140°C 繰

返し加熱試験時の 1/6 程度であった。この変色の違いは、排ガス温度条件が室内試験時よりも低かったことに起因すると思われる。

(2) 強度変化

結果は図示しないが、3 年後の曲げ強さ保持率は NV₁ が 98%、他の 2 種類が 88% を示した。また、引張り強さ保持率はいずれも 90% 以上であった。但し、EV₂ だけは 2 年後から引張り強さが低下する傾向を示した。

これらの傾向は室内試験の結果とかなりよく対応しており、室内試験で最も良好な性能を示した NV₁ が実際の高温排ガスにも十分に耐用できることを示唆している。なお、この暴露試験は現在も継続中である。

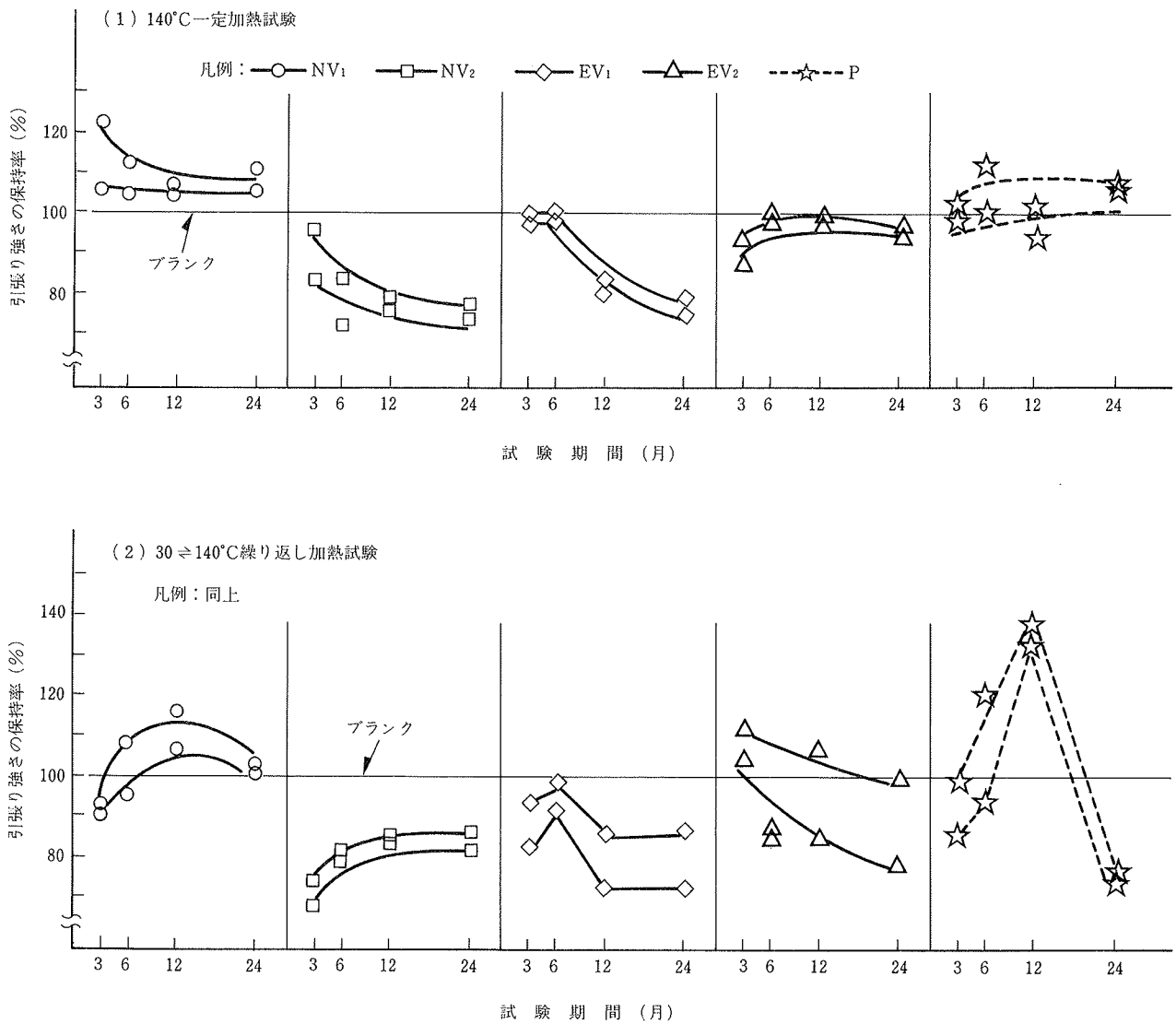


図-2 加熱試験後の引張り強さの経時変化

5. 考察

5.1. 供試樹脂の性能比較

表-1に、室内試験結果に基づく性能評価結果を示す。強度の評価は3連で測定したデータの95%信頼限界の下限値で行なっている。また、総合判定は、得られたデータの経時変化の傾向も重視した。

結論として、NV₁が耐熱性に格段に優れ、常時140°C程度の高温に暴露される場合だけでなく、140°C程度から常温程度までの温度変化を頻繁に繰り返す条件下でも実用化できる可能性が大きいと考えられる。NV₂及びEV₁は経時的に強度が低下する傾向を示しているので、高温排ガス条件下での使用は不適当と考えられる。またEV₂及びPは140°Cの温度一定条件では良好であるが、温度変化が繰り返される条件に弱い。

5.2. 火力発電所煙突へのFRP製内筒の適用性

今回の室内試験及び煙突内暴露試験の結果から、NV₁は火力発電所などの高温排ガス条件及び温度変化が繰り返される条件においても、内筒用として十分に実用化できる可能性があると考えられる。

一般に低温排ガスを対象としたFRP製内筒では、水分飽和状態の排ガスと接する内面(耐食層)に耐熱性、耐食性に優れたビニルエステル樹脂を使用し、排ガスと接しない外面(強化層)には耐熱性に優れ、強度も大きく、安価な不飽和ポリエステル樹脂を使用している。

しかし、高温排ガスや温度変化が繰り返される排ガスに対しては、今回の試験結果から、不飽和ポリエステル樹脂は耐熱性が不十分と考えられ、ノボラック系ビニルエステル樹脂NV₁のみで内筒を構成する必要があると判断される。

6. まとめ

二重筒方式・超高 RC 造煙突の FRP 製内筒は、これまで弱酸性の結露水を伴う 60°C 前後の低温排ガスに適用され、その優れた耐久性が高く評価されている。この性能が高温排ガスに対しても発揮できれば、FRP は火力発電所煙突などの内筒材としての用途が開けてくる。そこで、FRP が高温排ガス下で適用できるかどうかを検討する目的で、ノボラック系ビニルエステル樹脂 2 種類 (NV₁, NV₂)、ビスフェノール系ビニルエステル樹脂 2 種類 (EV₁, EV₂) 及び不飽和ポリエステル樹脂 1 種類 (P) を用いた合計 5 種類の FRP について、室内試験及び火力発電所での煙突内暴露試験を実施した。

その結果、NV₁ を使用した FRP は耐熱性に優れ、火力発電所の 140°C 程度の高温排ガス及び D.S.S. 運転実施時の 140°C 程度から常温程度までの温度変化を繰り返す排ガス条件下で、内筒として十分に実用化できる可能性が大きいことが判明した。

最後に、煙突内暴露試験は引き続き行っており、その結果については次の機会に報告したい。また、この研究にあたり多大な御協力をいただいた本社エンジニアリング

項目	表面劣化			強度低下						総合判定
	200°C (3箇月)	140°C (2年)	30 ≒ 140°C (2年)	200°C (3箇月)		140°C (2年)		30 ≒ 140°C (2年)		
				曲げ	引張り	曲げ	引張り	曲げ	引張り	
NV ₁	+	-	-	A	A	A	A	A	A	○
NV ₂	+	-	-	A	C	C*	C*	B	C	△
EV ₁	+	-	-	A	B*	B*	C*	A	C	△
EV ₂	++	-	++	E*	E*	A	A	B*	C*	×
P	++	-	++	A	B*	A	A	C	C*	×

注1) ひびわれ、ふくれ、繊維と樹脂との層間剝離などの現象について；
 -なし、±少し、+かなり、++顕著
 注2) 強度保持率
 A 90%以上、B 90~80%、C 80~70%、D 70~60%、E 60%以下
 *印は経時的に強度低下していることを示す
 注3) 判定
 ○優れている、△普通、×劣る

表-1 供試樹脂の性能評価結果

本部の小島信男課長代理に深謝いたします。

参考文献

- 喜田, 住野: 超高 RC 造煙突の FRP 内筒の耐久性の検討 (その 1), 大林組技術研究所報, No. 32, (1986), pp. 131~135