



5. 原子力発電所へのプレストレストコンクリートの利用

格納容器は、原子炉の重大事故に際して放射線障害を防止するための原子力発電所特有の安全防護施設である。その格納方式については、炉形式によってそれぞれ変せんがみられ、水型炉で実用化されている主な方式としては、

- (1) 標準型 (Standard or Single Containment)
- (2) 圧力抑制型 (Pressure Suppression Containment)
- (3) 2重型 (Double Containment)
- (4) 負圧型 (Negative Pressure Containment)

などがあり、従来は、鋼製の標準格納容器が広く用いられてきたが、現在は沸騰水型 (BWR) に圧力抑制型が用いられ、また2重型、負圧型は、安全性をさらに高め、大容量発電所の都市近接化をはかる観点から無漏洩格納方式として軽水炉、重水炉に適用されてゆくものと考えられる。さらに、逐次大容量化してゆくものにもなって、コンクリート製格納容器が、経済性、安全性の利点のもとに大きな役割りを果たすものとみられている。

一方、ガス型炉については、圧力容器と格納容器を兼ねてプレストレストコンクリート圧力容器 (以下 PCPV と略す) がイギリス、フランスにおいてすでに最適な方式として確立されたといえよう。ガス型炉において PCPV が最適方式として用いられる理由は、つぎのような長所によるものである。

(1) PCPV は圧力容器としての役目と同時に、放射線遮蔽体を兼ねるため、鋼製圧力容器のように、別にコンクリート遮蔽体を必要としない。

(2) 容器の形状およびレイアウトが自由にでき、大きさおよび壁厚にほとんど制約されない。このことが PCPV の根本的に有利な点であって、炉心とボイラーなど一次系を一体に組み込むインテグラル方式が出現して、事故時の安全性を増し、大容量規模の開発を可能に

し、経済性を一段と高めるに至っている。

(3) 安全性の観点から、鋼製の場合と比較して PCPV の破壊は漸進的であり、破壊を起こすまでのひびわれ、変形などによって十分にこれを予知し、必要な措置を講ずることができる。また PCPV はそれ自体が大きな剛性と強度をもつ構造であるため、耐震的な構造物である。

ガス型炉において PCPV が積極的に用いられたのは、原子炉が大型のためであって、これを鋼製でつくるとすれば製作上の困難が増してくる。ガス型炉は PCPV の採用によって大容量の発電所を可能にし、改良ガス炉 (AGR) への発展をみるることができたといえよう。

PCPV がガス型炉に成功裏に 応用されたことから、水型炉への応用が各国においても検討されている。水型炉の圧力容器規模はガス型炉にくらべて相当に小さくなるが、内圧が大きく、沸騰水型では 80~100 気圧、加圧水型では約 150 気圧にもなる。PCPV 適用の可能性が大きいのは内圧の低い沸騰水型で、在来の技術によって製作可能であると考えられ、アメリカにおいてその概念設計が提案されている。この場合、コンクリートの熱遮蔽と冷却方法が大きな問題であると考えられる。またスウェーデンにおいては沸騰水型重水炉 (BWR) への PCPV の適用を検討しているといわれ、そのほか、西ドイツ、フランス、ソビエトなどでも水型炉への適用が検討されているという。

水型炉の場合、圧力容器に先立って PC 構造が採用されるとみられるのは、沸騰水型のサブプレッションチャンバーならびにドライウエルへの応用、加圧水型のコンテナへの応用であり、その実用化についてアメリカにおいても積極的な研究が行なわれている。発電規模が 50 万~100 万 kW の大容量になりつつある現在、圧力、温度の条件がそれほど厳しくないこれら格納施設への PC 構造の実現性はきわめて大きい。

わが国の原子力発電は、当面はアメリカの軽水炉が開発される趨勢にあるが、改良ガス炉 (AGR) 導入についても検討されており、また新たに発足をみた動力炉・核燃料開発事業団によって、改良転換炉 (重水減速沸騰水または炭酸ガス冷却) および高速増殖炉の開発計画がたてられている。いずれにせよ、将来どのような形式が開発されるとしても、逐次国産化されてゆくことは当然であり、厳しいわが国の立地条件に適合した安全性の高い格納施設の開発は重要な課題の一つである。したがっ

て、土木技術の点において、格納容器および压力容器へのPC構造の実用化について本格的に検討を進めるべきであろうと考える。

現在、イギリス、フランスの5発電所において8基のPCPVが運転中あるいは近く完成するが、引き続き開発計画が進められており、イギリスではAGRのDungeness B (60万kW×2基)が新たに着工され、フランスでもBugey I (50万kW)が着工しようとしている。しかしPCPVの合理的な形状、レイアウト等が確立されているだけでなく、個々それぞれの方式がとられており、設計施工の指針となるべき一般的な基準もまだつくられていない。したがって、まだ研究すべき多くの問題点が残されている。わが国においても、高温下のコンクリートおよび鋼材の性質、プレストレス導入方法、応力解析などについて若干の研究が行なわれているが、その実用化に対処して本格的な研究の推進が重要となる。

研究を要する問題点として、つぎの諸点があげられる。

- (1) 設計および応力解析
 - ① Finite Element, Dynamic Relaxationなどの手法による解析方法
 - ② 温度・湿度によるコンクリートの塑性を考慮した解析方法および熱応力の解析
 - ③ 耐震設計
- (2) コンクリートおよび鋼材の諸性質
 - ① コンクリートの強度、弾性、クリープ、熱特性、乾燥収縮などの諸性質
 - ② PCケーブルのリラクゼーションおよび腐食
 - ③ 耐熱コンクリートおよび断熱材の開発
 - ④ コンクリート、PCケーブル、ライナー用鋼材の放射線損傷
- (3) 縮尺模型、部分模型、3次元光弾性模型などによる模型実験
- (4) プレストレス導入方法および施工方法

豆 知 識

(23ページ下段から続く)

③ G.C.R. (Gas Cooled Reactor ガス冷却原子炉)

天然ウラン、黒鉛減速、ガス冷却の非均質炉である。この炉は連鎖反応を行なわせるための条件から大型となるが、冷却材の通路や燃料の表面積を比較的容易に大きくとることができるので、小型の炉にくらべると熱の取り出しは容易である。この型の一つであるコールダーホール型は、プルトニウムの生産を目的として作られたものであるが、発電用に改良され、冷却材に炭酸ガスを用いている。

系統は、P.W.R.と同じ間接サイクルである。

④ A.G.R. (Advanced Gas-cooled Reactor 改良型ガス冷却炉)

微濃縮ウラン(セラミック燃料)、黒鉛減速、ガス冷却の非均質炉である。G.C.R.の燃料、燃料被覆材、冷却材などを改良したもので、安全性がすぐれており、蒸気条件がよく新鋭火力設備が使えること、原子炉利用率がきわめて高いこと、ほとんどの部品が国産できること、経済性が高いという数々の特徴があるが、軽水炉に比してまだ炉心体積が大きいという欠点をもっている。

⑤ H.W.R. (Heavy Water-moderated Reactor 重水減速炉)

P.H.W.R. (Pressurized-vessel type Heavy Water-moderated Reactor 压力容器型重水減速炉)

G.C.H.W.R. (Gas-cooled Heavy Water-moderated Reactor ガス冷却重水減速炉)

天然ウラン、重水(D₂O)減速の炉である。この炉の冷却材としては、軽水、重水、ガス、液体金属、有機液体金属が用いられる。水を使用する場合は、軽水加圧型、重水加圧型、重水沸騰型に分けられる。

軽水、重水冷却を採用する場合には発電炉では高温、高圧を必要とするので耐圧性が問題となる。加圧の方法としては、冷却材だけに加圧する圧力導管型と、冷却材と減速材の両者に圧力を加えるために压力容器を使用する压力容器型とがある。

以上の方式があるが、H.W.R.はここでは圧力導管型のことを指しており、ピッカリング発電所では冷却材として加圧重水を使用している。P.H.W.R.は压力容器型のことを指し、オーゲスタ発電所では冷却材として重水を使用している。

G.C.H.W.R.は、重水減速、ガス冷却であり、ガスは炭酸ガスを使用している。

重水減速炉は、黒鉛減速型より小形にすることができ、燃料装荷量も最小にすることができ、他の減速材の炉よりも大きな転換率が得られ、核燃料も有効に使われるという利点をもっているが、現在では重水の価格が高いために実用炉としては数が少ない。