

原子力と建設技術

横 尾 義 貫

CIVIL ENGINEERING ASPECTS OF ATOMIC ENERGY FACILITIES

by Dr. Yoshitsura YOKOO

Synopsis : This is the text of a lecture delivered by the author in the event of the annual meeting of the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, November 9, 1957. He introduces various problems confronted by civil engineers and architects in Japan who are cooperating in the construction and design of facilities for the utilization of nuclear energy. The main subjects he treats here are as follows :

site selection problems for nuclear reactors, basic principles of planning of laboratories and reactor buildings, principles of shielding, shielding materials and others.

1. 序

わが国では、今年原子力研究所第1号炉、湯沸型 50 kW が運転を始め、また第2号炉である CP-5 型原子炉建物の工事もうすでに着手された。また敷地問題で難航してはいるが、関西研究用原子炉(水泳プール型 1MW)の建設は昨年来、関係大学の念願となつている。世界中にすでに 200 以上に及ぶ原子炉が建設され、また計画中であることを思えば、立遅れの感はあるが、ともかく世界の進運に伍して、原子力時代への曲り角を廻ろうとしているといえよう。

このような時期にわれわれ建設技術にたずさわる人々にどのような課題が与えられており、またどのような点に問題点があるのか、大まかな展望を試みてみよう。もとより、かかる大問題に対して、字義通りの浅学非才であり、正鵠を失するおそれなしとせず、誤りなきを期しがたいが、この問題に関心をもつ建設技術者諸賢の何らかの御参考となれば幸である。

われわれに課せられた問題は、一口にいえば新時代の要求である原子力利用施設、大は動力炉、ついで研究炉、サイクロトロン、リニアアクセレータ、フアン・デ・グラフなどの放射線発生装置、高放射性物質をとりあつかう実験所、いわゆる hot laboratories、小は各種の tracer work を行う実験室に至るまでの様々の施設の建設である。

これら施設の計画の中心をなすものは、主として新しい工学の分野である核工学 nuclear engineering であるが、しかしながらそれには在来のあらゆる工学・理学の分野の協力なしには、とうてい実現しえないものであり、建設工学すなわち土木工学・建築工学の分野からも積極的に協力参画する必要があることはいうまでもない。

2. 安全性の問題

原子力利用施設は、その内で働く人々、その周辺に住む人々を放射線障害から安全に防護するように計画しなければならない。かかる防護計画が、他の施設と根本的に異なる点であり、ことに建設技術に関係ある諸問題を大きく支配するものである。

放射線障害は透過力の大きい放射線すなわちガンマ線、中性子線によつては人体の外部照射で容易に生ず

る。したがって強力なガンマ線源をもつ照射室、ホットケープ、あるいは多量の中性子・ガンマ線を放出する原子炉では、遮蔽 shielding が極めて重要な問題となる。

放射性元素が混入した空気または水を吸込みまたは飲むと、それが透過力の小さいアルファ線、ベータ線を出すものでも、体内の器官に停留し内部照射によつて人体に障害を与える。半減期が長く、生物学的に体内に長く留まり易く、また重要な器官に停留する物質ほど障害は大きい。このために放射性物質を取扱うところでは排気及び廃棄物処理 waste disposal が重要な課題となる。

放射線が人体に害を与えぬと考えられる最大許容量 maximum permissible level (MPL) については、国際放射線障害予防委員会 International Committee on Radiological Protection によつて基本量として 300 mrem/week (ミリレントゲン人体当量/週) が勧奨されている。これに基づいて外部照射に対する線束量 flux, 内部照射に対する濃度 concentration の若干例を示すと下表のごとくである。

(i) 外部照射最大許容量(1週40時間とした場合)

ガンマ線:	1 Mev	4 000	光子数/cm ² sec
	2 "	2 000	"
中性子線:	0.025 eV (熱中性子)	2 000	中性子数/cm ² sec.
	0.01 Mev	1 000	"
	0.1 "	200	"
	1 "	60	"
	2 "	40	"
	3~10 "	30	"

(ii) 内部照射最大許容量(連続長期間)

核分裂物質の混合体	水 中	10 ⁻⁷	μc/ml
	空気中	10 ⁻⁹	"
アルファ放射物質の混合体	水 中	10 ⁻⁷	"
	空気中	5×10 ⁻¹²	"

原子力利用施設に取扱われる放射性物質が MPL に比して、極めて多量なものから, high level, intermediate level, low level という。防護措置は level に応じて程度の差があり、外部照射に対して high level などところでは shielding が、内部照射に関して high level な場合は排気、廃棄処理が非常に重要となる。これらの手段によつて施設内部の人々に対してはすくなくとも MPL 程度、外部に対してはさらに低く下げようとする。

原子力利用施設は操作、実験などによる事故及び自然災害による事故に対しても安全性を保つように建物の構造を考え、敷地の選定に考慮を払わねばならない。ことに原子炉は本質上、安全装置は数段がまえとなり、實際上暴走 runaway はおこりえないように計画されるが、なお仮説的ではあるが暴走により核分裂物質 fission products が多量に放出された場合をも考慮し、立地点、敷地の広さ、建物の気密性、耐圧性を定める。

3. 敷 地

原子力利用施設の敷地の選定は、とくに原子炉の設置に際してはきわめて重要な問題であるから、ここでは原子炉を対象としてのべる。ことにわが国は原爆を経験しており、国民の放射線のもたらす災害に対する心理的影響が他国民に比してきわめて深刻であること、また地震、洪水などの天災が多いこと、さらに人口密度が高くかつ平地に乏しく広大な地域がえがたいことなどのために、原子炉の立地は原子力平和利用を推進するための重大な第一段階であるといえよう。

原子炉はその利用目的から、研究炉では交通に便利なこと、動力炉では動力の供給地に近いことなどの条件があるが、ここでは主として安全性からの条件について述べる。

1. 自然災害が少ない土地であること 自然災害として洪水・高潮・地震・大風などが考えられるが、洪水及び高潮はある程度高い土地をえらべば避けられ、また耐風構造とするのは大して困難ではない。しかしわが国では地震のおそれのない土地はえがたい。したがってわが国に設置される原子炉はすべて大地震時に安全に閉止することができるように設計されなければならない。できれば大地震の記録が少ない地域、また構造線に近くないこと、地盤が良好なことが望ましいことはいうまでもない。

2. 敷地が広く、市街地から遠いこと 原子炉敷地の広さ、市街地との距離などは主として仮説的な暴走に対する考慮から定まってくる。原子炉は本来工学的には充分安全に設計されるものであるから、このような hazard は一団の生命しらずの馬鹿者によって炉が操作されるような場合を仮定しなければおこり難いことだといわれている。しかしかかる想定をおいた場合災害が甚しいこと、また住民の心理的不安感などを考慮すれば原子炉敷地は広くかつ市街地から遠いことが望まれる。

敷地の広さに関する資料としては、米国原子力委員会の 炉安全委員会 (AEC Advisory Committee on Reactor Safeguards) の排除区域 exclusion area についての公式が公けにされている¹⁾。同式によれば排除区域の半径 (マイル) は炉出力 P kW に対して次のごとく与えられる。

$$R = 0.01 \sqrt{P} \dots\dots\dots (1)$$

これをいま面積坪数と出力との関係に書直すと次式のごとくなる²⁾。

$$A = 250 P \dots\dots\dots (2)$$

上式は“核分裂生成物質の 50 % が炉から放出され、区域内にある人が 300 roentgen の線量にさらされる”という仮定に基づいている¹⁾。

低出力の研究用炉では通常の炉建物でも核分裂物質の飛散を防ぐ効果があると考えられている³⁾。したがって研究用原子炉はたとえば下記に示すような市街地またはその近傍に設けられたものもある。ただし周辺環境に応じて炉建物の気密性ないし耐圧性を高めてある。

(i) AB Atomenergi Reactor, Stockholm, Sweden. 重水型, 出力 0.3 MW. ストックホルムの市街地にあるが岩盤を掘サクレ岩盤被り厚さ 15 m, 底部深さ 36 m の深所に炉室を設けている。

(ii) MIT Reactor, Cambridge, Massachusetts, USA. 重水型, 出力 1 MW. ケンブリッジの市街地にあり敷地は非常に狭く、隣接して倉庫、近くには店舗もあるが、炉室は 3/8" の鋼板で円筒形耐圧気密建物としている。

(iii) Armour Research Foundation Reactor, Chicago, USA. 湯沸型, 出力 50 kW. シカゴ市街地の IIT の敷地内にある。鉄筋コンクリート気密建物。

(iv) Goethe University, Frankfurt a. M., West Germany. 湯沸型, 出力 50 kW. フランクフルトの街はずれにあり敷地外最近接建物約 300 m. 厚さ 1 cm の鋼製円筒形建物。

動力炉の場合は出力が大きく、したがって上式に従うとすれば広大な排除区域を必要とする。したがって地価に応じて包容構造物 containment vessel を設けて敷地を小さくした方が経済的となる。たとえば 350 MW の動力炉に対して (2) 式より面積を求めると実に 8750 万坪という広大な土地を要し、坪 300 円としても土地代だけでも 260 億円に及ぶ。しかし十分に充分 fool-proof な containment vessel を設けるものとするれば、その価格は 4～15 億円であり、敷地は 80 万坪程度 (2～3 億円) で充分であるから、非常な節約となる³⁾。

要するに敷地の広さ、位置などは、炉建物ないし包容構造物の気密性、耐圧性などとのバランスの上で考慮するべきものである。

3. 水が豊富なこと 水が豊富であると、原子炉の二次冷却用水、廃液稀釈用水として利用できるので作業費用を安くすることができて好都合である。したがって原子炉は水量の多い河川の傍におかれることが多

い。しかしこのような河川は都市の水源となつている場合が多く、充分安全に放流されるとしても、なお住民の心理的影響はことにわが国では容易ならぬものがあり、敷地の選定に相当の問題がある。水の豊富なことはとかく相反する長所と短所とをもつ。

4. 気象について 気象条件として恒風方向、逆転現象 inversion などが問題となる。

原子炉の事故により核分裂生成物質が放出される場合を想定したとき、周辺に及ぼす災害を検討するのに気象学的資料は重要な役割をもつ。炉建物より外に漏れ出た核分裂生成物質が、雲となり、それによる照射、また fall out した場合、wash out した場合などが検討されねばならない⁴⁾。

5. 地盤がよいこと 地盤がよいことは、地震に対しても望まれることであるが、原子炉施設は遮蔽体その他かなり重量が大きい構造物となるから地耐力が充分あることが必要であるし*、また地層が均斉で不同沈下をおこさぬような地盤が望ましい。

以上立地に関する諸条件は、どのような土地でも理想的に充足することは相当むずかしいことであろう。ある程度充足されないでも、排除区域の狭小に対しては包容構造物を強化することによつて、水源問題は廃棄処理の濃縮ないし包容によつて、豊富な水がえがたければ、冷却塔の使用、水道給水によつて、気象条件に対しては監視機構の強化などによつて対処されうるものであろう。このように敷地の選定は、立地条件と施設の規模、排気、廃棄処理方法、包容構造計画などまた建設費、作業費などの経済性と互に関連するものであり、一義的には決定しがたいものであることはいふまでもない。あらゆる分野の協力の上にたつた優れた判断力にまつところが大きい。

4. 換 気

原子力利用施設では放射性物質が空気中に微細な粒子として、また気体として混入する。たとえばホットケープ、フード、ボックス、あるいは原子炉のビームホール内などに実験により発生する。また事故による室内への漏洩もあろう。これらは建物内に働く人々に有害であるから外へ排気し、逆流を防ぐようにしなければならぬ。排気は filter し、たえず monitor して外へ出す。そして万一許容量を超過する場合は閉止するものである。換気は原子炉室でももちろん重要であるが、むしろ実験により汚染空気の出易いホット・ラボラトリー、ことに化学の実験を行う所でより重要である。

ここに換気計画の基本的事項について述べよう。

1. 各室の換気回数の決定 各室の換気回数の概略値を示すと²⁾

照 射 室、 炉 室	3～5 回/時
低レベル実験室	10 "
中レベル実験室	15～20 "
高レベル実験室	20以上 "

実験室の換気回数はケープ、フード、ボックスなどの種類、量によつて非常に異なるものである。

2. 排気系統の決定 実験所の場合次のような系統が考えられる³⁾。

one hood system, one room system, central system.

これらの優劣を論ずることは困難であるが、規模・作業内容・環境条件などより判断されるべきものである。環境条件から高いスタックが望ましいときは、central system が経済的であろう。one room system の典型的例としては Argonne National Laboratory の化学実験所の建物がしばしばあげられている。⁵⁾

3. Air Flow Pattern 建物内の空気は COLD から HOT な区域へ流し、COLD な部分では若干の再循環を許した例もあるが、逆流をさせないのが原則である。たとえば前述の ANL の化学実験所では、まず

* 参考：コールドホール動力炉地耐力は $2\frac{1}{2} \sim 2\frac{3}{4}$ ton/ft²

入気は地下室に導き、ここで除塵し、温度調整を行ってから、一階の廊下天井に設けたダクトに導く。ここから実験室と換気の系統のユニットをなす事務室及び廊下に放出し、その空気は実験室内に入る。実験室に入った空気はフードの排気系に、フードの面からまたはバイパスを経て入り、屋階（二階）の dirty plenum に導かれ、いわゆる AEC filter でろ過されてから clean plenum に入り、ファンにより屋上のスタックから排出される。この例でも明らかなように air flow pattern は平面計画を大きく支配するもので、ことに実験所の計画には重要な要素である。

原子炉室は外気圧に対して常に水柱 1/4" 程度の低圧を得るように計画されることがしばしばある。このためには圧力調整装置として炉室内に自動 compressor をおき、また炉室外に Horton's dome と称する圧力調整装置をおいたものもある。

4. 排気系の設計 フードが開放されているとき、フード面から入る空気流は適度の面風速をもつことが望ましい。このためにフードにはいろいろな型がある。ANL のフードはフード面の開放程度の如何に拘らず面風速を 150 fpm に保つように、バイパスを自動的に開閉し、またフードが多く開放されて排気系の容量をこえたときは自動的に信号が出るようになっていく。きわめて一貫性をもった計画である。

これに対して対照的なカリホルニア大学の Dr. Garden の主張する Gloved Box System⁶⁾ なるものは興味深い。この方法は gloved box または ball manipulator 付の box を台車の上にのせて使用するもので、排気量はきわめて少なく済み、通常のダクトで充分であり、排水は特別の容器に入れて運び出され、汚染水排水管が不要である。また box が汚染されたときは台車ごと除染室へ運び込み処置する。この考えは汚染物はできるだけ集約し、かつ包容しておいて処理するという考え方、いわゆる C and C (Concentrate and Contained) Philosophy* に徹したやり方であり、費用は通常の建物とあまり変わらないという。

なお付言しておきたいことは、このような実験室は将来実験計画の変更にもないいろいろと改変されることを予想し、建物柱間隔、室幅、器具類を基準寸法 module にもとづいて計画しておくこと、及び可動間仕切壁にしておくことが望ましい。

5. 廃棄物処理

廃棄物は液状のものと固形物とに分けられる。汚染水はフード、ボックス、ケープなどから出る。また実験室床などへこぼれることもあろう。また事故があつた際、作業員がシャワーを浴びて洗った水、あるいは室内を洗浄した水なども出ることがあろう、そこでフード、ボックス、ケープなどまた実験室床には、いわゆるホットドレーンが設けられ、これらの汚染液を貯留タンクへ導くようにする。この際ホットドレーンはタンクからの液またはガスの逆流を防止しておかねばならぬ。なおフード、ボックスからの汚染液は容器で運ぶようにしたものもある。

汚染液の処理は次のような諸種の方法がとられる。

1. タンクに溜めて放射能の減衰をまつ。
2. 1 で不十分なときは多量の水で稀釈する。
3. 2 でも不十分な場合にはイオン交換によつて清浄にする。

諸外国の研究用原子炉ではこの程度の施設をおき、下水・河川などへ放流しているのが普通である。またこれらで処理できないときは、タンク付自動車で吸い上げて特定の処理場まで運搬する専門の会社もある。

4. さらに高度の処理を必要とするときは蒸発濃縮し、容器に入れてコンクリートで固め、危険のない海中または地中に遺棄する。

* C and C Philosophy と対照的な言葉として 3D Philosophy (Dilute, Disperse, Decontaminate) がある。しかしいずれも味わうべき汚染対策の principle である。

固形物はあつめて燃えるものは焼却する。燃えないもの及び灰の処理は容器に入れて危険のない処にする。

6. 包 容 構 造 物

炉建物ないし包容構造物の構造は環境条件とのバランスの上で選定さるべきものであることは前に述べた通りである。出力の小さな研究炉の場合は炉建物 reactor building すなわち建物の概念に入れうるが、動力炉に計画されているような大きな球形構造物は建物というにはほど遠い感じである。いずれにせよ、形はともかく、それらは建物であるとともに原子炉という機械の安全装置の一部をなすものである。

炉建物は環境条件の如何により、non-gas tight, gas tight, あるいは gas-pressure tight が要求される⁷⁾。

non-gas tight とは普通の建物であり、英国のハーウェル原子力研究所にある“LIDO” swimming pool reactor (出力 1MW) の建物は普通の鉄骨工場のような建物、また米国 Oak Ridge National Laboratory にある swimming pool reactor の元祖ともいうべき BSF (Bulk Shielding Facility 出力 0.1 MW) の建物も同様で、これらの範ちゆうに入ろう。

gas tight は通常の気圧下で気密性を要求したもので、通常の鉄筋コンクリート建物、または目張りした metal wall panel 式の鉄骨建物に気密扉をそなえた程度のもので、多くの研究用原子炉建物はこの例であらう。

gas-pressure tight は MIT Reactor の建物のように、とくに市街地にあるような場合に要求されるものである。圧力に耐える必要から溶接鋼構造とし、形状は壁は円筒曲面、屋根は球面がとられている。この場合設計圧力としては暴走時の圧力増加、閉鎖後の気圧変動にもとづく圧力が考慮されねばならない。扉は二重扉として同上の圧力に耐えねばならぬ。

MIT Reactor の建物は3/8"厚の鋼板で円筒直径70'である。設計圧力は内外圧 1 psi にとり、実際は4 psi に耐える強さを有している。設計圧力は炉心のアルミニウム量の 25 % がアルミニウム水反応により H₂ を放出したとすると 1 psi の圧力増となること、及び最大の外気圧変動がやはり 1 psi 程度となることにもとづいている⁸⁾。

ミシガン大学の Ford Reactor (swimming pool type, 出力 1MW) の建物は gas tight building に入るもので、鉄筋コンクリート造である。この場合すべてのアルミニウムが爆発的に作用したとき、爆発力はおおよそ 200 ポンドの TNT に相当すると推量されており、これによりプール構造は破損しようが、炉心が 21' の水面下にあるので建物には破壊的作用は及ぼさず、核分裂生成物の漏れは相当に抑えるであろうと推定されている⁹⁾。

動力炉の包容構造物はもちろん gas-pressure tight に作られる。その一例を示すと、米国 Common Wealth Edison Company によつて Dresden, Illinois に計画されている沸騰水型炉 (電気出力 180MW, 熱出力 625 MW) は径 190' の巨大な球形で、鋼板厚さは頂部で $1\frac{1}{4}$ " 地盤面で $1\frac{1}{2}$ " であり、設計圧力としては内圧 29.5 psig, 外圧 1 psig が考慮されている¹⁰⁾。

炉建物の気密性については、鉄筋コンクリート造で精々一日 10 % の leakage*, 溶接鋼構造で 1 psi の圧力差の下で 1 日 1 % の leakage⁸⁾ を期待しうるのであらうと考えられている。この場合種々の配線・配管の貫通部の工法及び出入口の扉が非常に問題である。貫通部は通常の封緘剤では良くなく、最善の方法は U チューブとして水で封緘するに越したことはないという説もあり、今後研究を要すべき問題であらう。扉は二重扉とし、一方が開いているときは他方は絶対に開かぬようにし、各扉の周囲と框の接触部にはガスケットを

* Dr. Humphrey (Armour Research Foundation) の談話による。

付け、これを膨らませて気密性を保つようにする。

7. 遮 蔽

放射線は外部照射によつて人体に障害を与える。放射線としては α 線、 β 線、 γ 線及び中性子(neutron)線が考えられるが、 α 線は紙一枚、 β 線は金属薄板一枚でとまるので、遮蔽の対象となるのは γ 線及び中性子線である。いまこれらの遮蔽体内での減衰機構をかたんに述べてみよう¹¹⁾。

γ 線の減衰は主として遮蔽体内元素の電子との作用による光電効果、コムプトン散乱及び電子対創成によるものと考えられている。このうち光電効果は比較的低エネルギーの γ 線が、電子対創成は高エネルギーの γ 線が支配的で、実際上いずれも吸収と見なすことができる。コムプトン散乱は中間エネルギー域の γ 線に対して効果があり、 γ 線をまわりに散乱させ、吸収しないが、遮蔽体内で γ 線の経過する路程が長くなり、やはり減衰に著しく貢献する。いまそこで散乱の効果も吸収と考えると、 γ 線の線束密度は遮蔽体内で次の形で減衰する。

$$\phi = \phi_0 e^{-\mu x} \dots \dots \dots (3)$$

ここに μ は線吸収係数とよばれるもので、通常当面するエネルギーの γ 線ではほぼ質量に比例する値をもつ。したがつて質量吸収係数 μ/ρ (ρ =密度)はほとんど一定値をもつ。だから薄くして遮蔽効果を上げるには重い材料がよいわけである。

線束密度が1/10になる長さ(ten-folding length)は、比重3のコンクリートとすれば約20 cm 位である。ところで原子炉では通常 $10^8 \sim 10^9$ order の減衰が必要であるから、そうすると160～180 cm 程度の厚さが必要となる。

以上の考えではコムプトン散乱をも吸収とみなしたが、実際は散乱によつて線束密度は上式よりも高いはずである。そこで(3)式を修正して、

$$\phi = B \phi_0 e^{-\mu x} \dots \dots \dots (4)$$

ここに B は再生係数 **built-up factor** とよばれるもので、その見積りは実験的理論的資料によつてなされるが、かなりめんどうなものであるからここにはふれない。

原子炉心の燃料からは核分裂により高速中性子が飛びだすが、これらは減速して熱中性子となり再び核分裂をおこすのに利用される。原子炉内では中性子の減速吸収、核分裂などに伴ない二次的に γ 線が多量に放出されている。したがつて原子炉はまずこれらの γ 線に対して充分な遮蔽体をもたねばならぬ。これには前述の通り重い材料が効果的である。一方また炉外へ逃げようとする中性子も少なくない。遮蔽体はこれに対しても充分でなければならぬ。

中性子の減衰は γ 線のように簡単ではない。概していえば、高速中性子は**重たい元素**で減速されるが、熱中性子まで減速させるには、格別その効果の大きい水素したがつて H_2O がある程度必要である。この点が γ 線の場合と非常に異なる点である。熱中性子となれば非常に吸収されやすくなるが、なお必要あれば吸収性が特に高い元素である**硼素**を含む材料が加えられる。

重量コンクリートはホットケープなどの γ 線遮蔽体また研究用原子炉における中性子及び γ 線に対する遮蔽体としてもつともよく用いられる。重量コンクリートは骨材(砂利・砂)を下記のような重い石質のものとしたものである^{12), 3)}。

鉄片・鉄散弾	Fe	比重 7～8
磁鉄鉱 Magnetite	FeO, Fe ₂ O ₃	4.5～5.2
砂 鉄		4～5
褐鉄鉱 Limonite	Fe(OH)·nH ₂ O, HFeO ₂ ·nH ₂ O, Fe ₂ O ₃ ·nH ₂ O	
赤鉄鉱 Hematite	Fe ₂ O ₃	4～5.3

重晶石 Baryte

 BaSO_4

4.2~4.7

原子炉の遮蔽にはある程度の H_2O が必要であるので、この意味から結晶水をもつ Limonite が利用されることがある。またセメントとして含水率の高い MO セメント (Magnesium Oxichloride Cement) があるが鉄を腐食するのではほとんど用いられていない。

中性子の吸収材としては硼素をふくむ Colmanite, Borocalcite などが用いられる。

重量コンクリートの施工は、施工精度が厳格である上に型枠にかかる圧力が大きいこと、骨材が重く混和及び打設において分離をおこしやすいことなどのために、普通コンクリートの施工とおのずから異なる注意が必要である。また研究炉の遮蔽体は鉄筋・配管類が入りこんでいるので管類の下端に空隙を作らぬよう注意が必要である。これを避けるためには **Prepakt Concrete** の打設法がとられることがある。また swimming pool reactor では漏水しないよう打設しなければならぬ。

なお重量コンクリートを用いるのは、実験作業などの必要からなるべく線源に近づきうるよう遮蔽体の厚さを減ずるためである。したがって動力炉では必ずしも高価な重量コンクリートを用いる必要はないわけである。

8. その他施工上の諸問題

原子力利用施設には施工上種々の問題があるが、動力炉の建設において最も問題となると思われる点をあげると、

1) 巨大なコンクリートの biological shielding を高精度をもつて打上げること (コールドホールの場合 $\frac{1}{10}$ 寸の精度)

2) containment vessel の熔接は、それが巨大である上にかなり厚板でかつ現場熔接であること (前述 Dresden の reactor の場合球径 190', 厚さ 1" 以上)

3) 炉心を直接掩う pressure vessel の熔接は高精度が要求され、非常に厚板で、かつ現場作業を必要とすること (コールドホール 2" 厚, 同改良型のパークレイその他 3" 厚)

4) 巨大な構造であり、建込みを要する部分が重くかつ高く扛上げられねばならないこと (コールドホール 100t ガイデリック, 同改良型ブラッドウエル及びハターストンはそれぞれ 200t 及び 300t のゴライアスクレーン使用)

5) 黒鉛(Graphite)の組積は高精度を要し塵埃を極度にきらうこと。

これらに関連してわれわれの今後研究を要する問題は多々あるわけである。

なおここにふれなかつた問題では、炉自体の内部構造の耐震性及び諸配管類、熱度換気器などの耐震性など、わが国独自の課題がある。これは核工学者に与えられた課題であるが、在来の構造物について耐震構造の知識をもつ建設工学からの協力が是非必要な問題である。

本文は単に問題点を指摘したに終つたが、各論はすでに分つていることも多いが、また今後研究されなければならぬ諸問題ををはらんでいる。

参 考 文 献

- 1) Nucleonics, March 1954, p. 75.
- 2) 建設省建築研究所：放射性物質利用施設設計基準(案)，1956年版。
- 3) S. M. Stoller : Site Selection and Plant Layont, Nucleonics, June 1955, p. 42.
- 4) U. S. Department of Commerce, Weather Bureau : Meteorology and Atomic Energy, July 1955.
- 5) The Building Research Advisory Board : Laboratory Design for Handling Radioactive

Materials, Session 2, May 1952.

- 6) 同上, Session 5.
- 7) W. C. Siler and Lenard P. Zick : Design Consideration for an Atomic Power Reactor Containment Structures, 2nd Nuclear Engineering and Science Conference, 1957.
- 8) MIT Reactor Hazardous Report, Jan. 1956.
- 9) USAEC MMPP-75-1, Michigan 大学炉の Hazardous Report, Nov. 1953.
- 10) Arthur J. Raymo : Power Reactor Containment Vessels, 2nd Nuclear Engineering and Science Conference, 1957.
- 11) B. T. Price, C. C. Horton and K. T. Spinney : Radiation Shielding, 1957.
- 12) H. M. Glen : Materials of Biological Shielding, 2nd Nuclear Engineering and Science Conference, 1957.