

土木工学的に見た放射線障害防止施設について

上 野 忠 男*

1. まえがき

放射線遮蔽, 放射性廃棄物格納施設, 放射性廃液放出施設のように放射線障害防止を目的とする施設に土木工学のあづかるところがある。

2. 放射線遮蔽コンクリート

(1) コンクリートの遮蔽効果

放射線のうち α, β 線は飛程が短かいが, γ 線, 中性子は透過力が強く生体への影響が甚大である。従つて原子力施設には γ 線, 中性子の放出を制限するための遮蔽を設け, 透過する線量を許容以下に減衰する必要がある。遮蔽材料の必要条件は γ 線, 中性子に対する吸収, 減速の性能がよく, 耐久性があり, 価格の低廉なことである。 γ 線に対しては高密度の物質に高い遮蔽効果があり, 高密度の材料に鉄, 鉛がある。中性子に対しては低密度の物質に高い遮蔽効果があり, 低密度の材料には水素をふくむ水, 硼素がある。高密度の材料と低密度の材料を適宜に混合したコンクリートは研究施設や原子発電所の遮蔽材料に使用し, 水, 硼素, 鉛, 鋼, コンクリート, ポリエチレンのような低密度と高密度の材料を多重層にした遮蔽は 1959 年 7 月進水した米国の原子力商船 Savannah 号¹⁾²⁾ に使用してある。原子炉における放射線の遮蔽効果は密度と含水量に比例し, 普通コンクリートは高密度の物質をふくまず, γ 線の遮蔽としては厚い層を必要とする。薄い遮蔽層を条件とする場合には, 遮蔽効果を増大するため 高密度の重コンクリート (Dense Concrete) が適当であり, 普通の骨材の代りに 表-1 のような高密度の材料を骨材とし, 配合は粗細骨材粒径比を大にする。比重 2.3 のコンクリートの含水量は重量の数%で, 含有する水素量は水の含有する水素量よりすくないが, 他の軽い元素である酸素も高速中性子を熱中性子に減速する効果がある。熱中性子の吸収材にはコルマナイト (Colemanite), ボロカルサイト (Borocalcite) の粗粒があるが, コンクリートの凝結時間を遅延する欠点があり, わが国には産出しない。高速中性子の減速材料には, 含水量の多いアルミナセメント, 褐鉄鉱がある。Knolls 原子力研究所 Oak Ridge 国立研究所の報告によればマグネシウム オキシクロライドセメントは発熱量

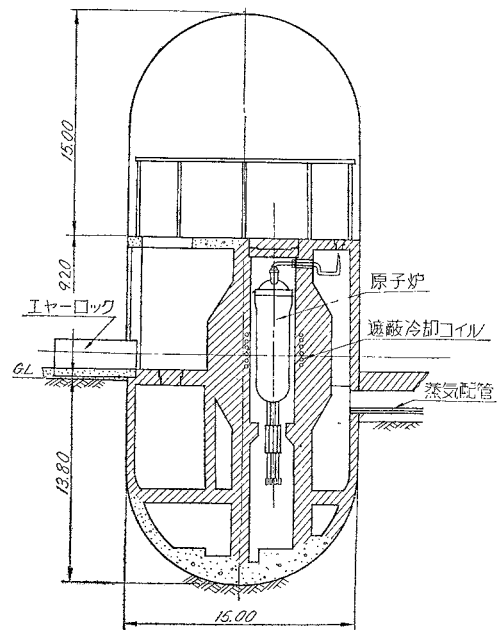
が多いが, $400 \sim 700 \text{ kg/m}^3$ の含水量が可能である。遮蔽上は多量の含水量が望ましいが, 重コンクリートについても w/c の増大に比例して圧縮強度が低下する。 w/c を大

表-1 重コンクリートの例

骨材の種類	骨材の比重(約)	骨材の価格(円/t)	コンクリートの比重(約)
磁鉄鉱 Magnetite (金平産)	4.8	10 000	3.8
褐鉄鉱 Limonite (群馬産)	2.8	7 000	2.5
重晶石 Baryte (岡山産)	4.3	16 000	3.5
鉄片 Steel Punch, Steel Ball	7.8	—	4.5
銅がらみ (岡山産)	3.5	600	3.0

にし, 長期間の養生を実施し, 低温度に保持することは含水量を多大にする施工技術である。遮蔽コンクリートには放射線遮蔽にもとずく温度上昇による水分の散逸防止のためアスファルト防水層, 鋼板被覆を設けることがある。遮蔽材料としてのコンクリートの特徴は, 放射線吸収能力が高く, 任意の形態に製作が可能で, 相当の強度を有し, 放射線損傷と熱的影響の少ないことのほか, 建設費が比較的安価なことである。遮蔽コンクリート層の厚さは主として γ 線により決定し, コンクリート量は厚さの 3 乗に比例し Henrie³⁾, Davis⁴⁾, Glen⁵⁾ によれ

図-1 動力試験炉縦断面図



注: 斜線部分遮蔽コンクリート (電気出力 10 000 kW)

正員 東京電力KK建設部

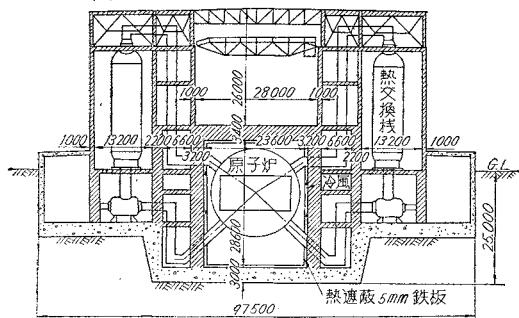
表-2 日本原子力研究所施設の

施設名	設備容量	遮蔽材料	骨材の生産	骨材の粒度																		
				ふるい寸法 (mm)	粗	骨材	細	骨材	以下	以下	以下	以下	以下	以下								
Water Boiler 型原子炉	50 kW	磁鉄鉱(岡山県産) (大きさ 20 cm) 鉄ボロカ ルサイト (英国産)	インパクトクラッシュ 20) 振動ふるい ベルトコンベヤー	ふるい寸法 (mm)	76.2	38.1	19.1	9.52	4.76	2.38	1.19	0.59	0.297	0.149	0.074							
				通過量 (%)	100	95~100	0~10	0~3														
				中	100	90~100	25~50	0~10	0~3													
CP 5 型原子炉	kW 10 000	重晶石(インド産)	インパクトクラッシュ	ふるい寸法 (mm)	100	80	60	50	40	30	25	20	15	10	52.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.15		
				残留率 (%)	0	9.8	11.1	12.1	26.4	12.3	3.7	16.8	2.8	5.0	0	0	2.9	4.3	21.1	41.0	以下	
				累積残留率 (%)	0	9.8	20.9	33.0	59.4	71.7	75.4	92.2	95.0	0	0	2.9	7.2	28.3	69.3	30.7	以下	30.7
				通過率 (%)	100	90.2	79.1	67.0	40.6	28.3	24.6	7.8	5.0	100	100	97.1	92.8	71.7	30.7			
⁶⁰ Co 照射室 ケープ	curie 10 000	磁鉄鉱(岡山県産) (大きさ 15 cm)	インパクトクラッシュ 振動ふるい ベルトコンベヤー	ふるい寸法 (mm)	76.2	38.1	19.1	9.52	4.76	2.38	1.19	0.59	0.297	0.149	0.074							
				通過量 (%)	100	95~100	0~10	0~3														
				中	100	90~100	25~50	0~3														
冶金ケープ (強放射能実験室)	curie 10 000	磁鉄鉱(岡山県産) (大きさ 10 cm) 1部銅がらみ ブロック混入	インパクトクラッシュ	同上																		
				同上																		
国産1号原子炉 (計画)	kW 10 000	磁鉄鉱	インパクトクラッシュ	同上																		

ば材料費は密度の4乗に比例する。従つて普通コンクリートより重コンクリートの建設費がいちじるしく高価である。遮蔽効果、材料費、施工経費を考慮した経済的密

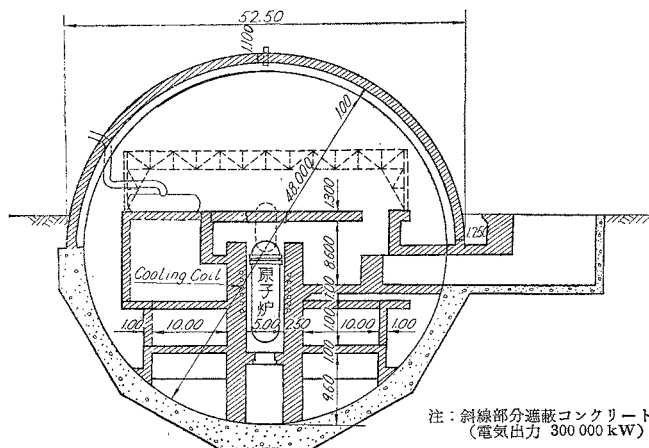
度は小規模施設の遮蔽コンクリートでは、場所等の条件によるが、Lane⁶⁾ は約 3.5 g/cm³ と報告し、Price⁷⁾ の重コンクリートの建設費に関する報告がある。実験用原子

図-2 Calder Hall 型原子炉断面図



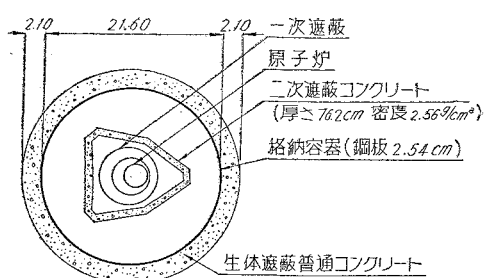
注: 斜線部分 遮蔽コンクリート (電気出力 160 000 kW)

図-3 加圧水型原子炉断面図



注: 斜線部分遮蔽コンクリート (電気出力 300 000 kW)

図-4 Enrico Fermi 発電所原子炉断面図



注: 電気出力 (100 000 kW)

炉, 強放射能実験室の遮蔽では実験孔や操作の都合上, コンクリート層を薄くする必要から建設費は増大するが重コンクリートを使用する場が多い。発電用原子炉では寛大な許容線量にもつくほか大きな空間を占めるが建設費の軽減のため, 遮蔽材料として普通コンクリートを使用し, 構築物に兼用する例が多い。図-1 は動力試験炉, 図-2 は Calder Hall 型原子炉, 図-3 は加圧水型原子炉の遮蔽コンクリートを示し貫通部等の特殊部分の重コンクリート以外の大部分には比重 2.3 の普通コンクリートが使用してある。1960年発電を開始予定の Enrico-Fermi 発電所⁸⁾ の遮蔽を 図-4 に示してある。

放射線遮蔽コンクリート

骨材の重 比	配 合	セメント	練 混 ゼ	打 込 む	量	密 度 g/cm ³	強 度 kg/cm ²
4.8	セメント 330 kg 水 163 粗骨材 924 中骨材 927 細骨材 1332 ポロカルナイト 144 スランブ 3 cm	中庸熟ポルトランド セメント	傾式12切ミキサー ベルトコンベヤー、 運搬車 1バッチ 12切	普通落下高 1.5 m以下 振動機 10 秒以内 型わく圧力 3 t/m ² 1日1リフト 1.5 m 凹凸目次	100 m ³ 高 3 m 厚 2.3 m	3.78	(28日) 487
4.07	先詰め骨材 2 500 kg 80~40 mm : 40~20 mm =1:1 グラウト 1 m ³ 当り材料 セメント 868 kg 砂 1 305 kg(0.6 mm 以下) 水 417 フロー値 20 秒	中庸熟ポルトランド セメント	プレバクト工法	プレバクト工法	220 m ³ 高 5 m 厚 1.34 m	3.52	(3日) 195
4.8	セメント 340 kg 水 170 粗骨材 985 中骨材 985 細骨材 1 385 スランブ 3 cm	中庸熟ポルトランド セメント	傾式12切ミキサー ベルトコンベヤー 運搬車 1バッチ 10.5 切	普通 1日1リフト1.5 m以下 振動機	150 m ³ 高 4.3 m 厚 1.0 m	3.8	(28日) 435
4.8	同 上	中庸熟ポルトランド セメント	傾式12切ミキサー 1バッチ 7 切	普通 1日1リフト 1.2 m 振動機	540 m ³ 高 5.5 m 厚 1.0 m	3.7	(3日) 70
4.6	セメント 330 kg 水 176 粗骨材 1 019 中骨材 1 019 細骨材 1 372	中庸熟ポルトランド セメント	計画中	普通	450 m ³ 高 8 m 厚 1.5 m	3.8	(3日) 70

(2) 遮蔽コンクリートの冷却

中性子、 γ 線は遮蔽により熱エネルギーに変わり、遮蔽内部で発熱するほか、原子炉、冷却装置からの伝導、輻射により、遮蔽コンクリートの温度が部分的に上昇し、遮蔽コンクリートの温度分布はコンクリートの遮蔽作用、熱伝導率、温度伝導率、境界条件により変動する。Calder Hall 型原子炉では遮蔽コンクリートの最高温度差を 40°C とし、Enrico-Fermi 発電所では遮蔽の厚さ 76 cm、密度 2.57 g/cm³、最高温度 94°C とし、水分の離脱防止のため鋼板の被覆があり、Price⁷⁾ の設計では最高温度差を 50°C としている。遮蔽コンクリート内の熱発生は定常的な場合のほか、原子炉の運転、停止、出力の増減等がコンクリートの発熱、冷却、温度分布に周期的変化を与える。コンクリートは熱的性質の一樣でない多種の物質の混合物で、組成は厳密には不均質であるから、一樣でない熱流により温度分布は不連続と思われる。水と骨材による中性子、 γ 線の減速、吸収のためコンクリートの組成材質内で複雑な熱現象が発生し、コンクリートの組成材質間の温度伝導率の差異と熱膨張率の差異にもとづく熱応力と熱変位によるコンクリートの耐久性の減退のみでなく、コンクリート層内の温度勾配にもとづくコンクリート層内部における膨張による圧縮応力、コンクリート層の外側の収縮による引張り応力が発生し、これに対しコンクリートは鉄筋による補強は可能であるが、収縮にもとづくきれつ発生の危険性がある。きれつの発生は放射線漏洩防止のため絶対に防止しなければならない。コンクリートの熱膨張係数は骨材の密度に比例して

増大し、重コンクリートの熱膨張係数は約 $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ である。コンクリートの温度上昇に関する要素には比熱、温度伝導率、熱伝導率があるが、その値は主として骨材の組成が影響する。遮蔽コンクリートでは発熱量の少ない中庸熟ポルトランドセメントを使用し、熱特性のよい骨材の使用が望ましいとせられ、熱伝導率に関しては磁鉄鉱コンクリートがとくに高い値を示したという報告がある。米国には遮蔽コンクリートの温度上昇によるアルカリ骨材反応の報告があり、アルミニウム等の軽金属がセメントに浸食された報告⁹⁾がある。珪藻土セメントと蛇紋岩を使用したコンクリートは強度について欠点があるが、426°C の高温でも含水量の減少はきわめて微量であつたことを Hungerford⁸⁾ が報告している。Witte¹⁰⁾ の重晶石コンクリートの熱特性に関する報告、Davis¹¹⁾、Raphael¹²⁾ の高温におけるコンクリートの含水量に関する報告があり、Raphael の設計では内面温度 110°C、外面温度 18°C、温度差 92°C としている。そのほか Lane⁶⁾、Bush¹³⁾ 等の最高温度に関する報告がある。コンクリートの温度上昇はコンクリート内に含有する水の離脱の原因となり、中性子に対する遮蔽能力を減衰させるほか、コンクリートの固着状態を破壊し、きれつの発生による放射線漏洩の原因となる。遮蔽コンクリートでは本質的に不可避の温度上昇を軽減する目的で原子炉と遮蔽コンクリートの中間に厚さ数 cm 程度の鉄板を熱遮蔽として装置し、 γ 線の一部を阻止し、コンクリートにおける遮蔽の負担を軽減して発熱量を減少させるほか、遮蔽体の両面に冷風を送つて遮蔽体の冷却効果をあげ、あるいは

遮蔽コンクリート内部の熱発生箇所装置した管内に冷水を送り、コンクリート内部の発生熱を吸収し、コンクリートの温度の上昇を軽減する。図-2の Calder Hall 型原子炉では熱遮蔽とコンクリート遮蔽の間げきに送る冷風によりコンクリートを冷却する。図-1は動力試験炉、図-3は加圧水型原子炉の Cooling Coil を示し、Coil 内に通した冷水により発生熱を除去する。Halliday¹⁴⁾は最高温度が内面から約 30 cm の位置に生ずると報告し、熱応力に関しては Hannah¹⁵⁾、Hungerford¹⁶⁾、Carlson¹⁶⁾の報告があり、コンクリートの冷却に関しては Carslaw¹⁷⁾の著書等¹⁸⁾がある。

(3) 遮蔽コンクリートの施工

日本原子力研究所で実施した遮蔽コンクリートは表-2のとおり、高密度の骨材を使用した重コンクリートである。比重、硬度等の諸性質に普通の骨材とは若干の差異があり、インパクトクラッシャーの種々の運転方法により所期の粒度を得た。練混ぜ、運搬、打込み時に重い骨材の分離防止と均質性保持がことに重要であつた。機械類は使用度に比し高い損耗度を示した。ウォーカブルで所定の高密度のコンクリートを打設するための配合の決定には実験をくり返した。配管、貫通部、打継面における空げきの発生防止のため入念に施工し、打継面の重モルタルの塗布や振動機の使用方法にも細心に注意した。比重が特に大で、仕上がり寸法に高い精度を要したので、高強度の型わく支保工を使用した。放射線による材質の損傷防止のため、材料の高純度の確保に留意した。以上は遮蔽コンクリートに関する概略であるが、小規模施設用重コンクリートと、大容量原子炉用の耐久性があり、高含水量の耐熱性コンクリートに関し今後の研究開発にまつところが多い。

3. 放射性廃液の処理施設

放射性廃棄物の処理方法は主として濃縮隔離と希釈分散を併用した施設が多く、将来廃棄物量の増大により処理に行きづまりが予想せられ、その打開は原子力の平和利用の発展に重大な影響をおよぼすと思われる。処理方法は環境に順応しなければならないので、先進の米英両国ではおのずから特色が生じた。

(1) 米国における放射性廃液の地中処理

米国の原子力施設^{21), 22)}では、放射性廃液の処理として濃縮液を大規模な地下タンク内に隔離する方法と河川に希釈放出する方法を実施しているほか、雨量の少なく、人口密度の希薄な地域が多いので廃液の地中処理が過去10年にわたり実施せられた。年雨量 178 mm の Hanford 原子力工場では放射性廃液を地中に圧入処理するが、その原理は地中に浸入した廃液は土壌による吸着と長年月の滞留による放射性減衰により、数マイルの距離にある Columbia 河に地下水として到達するときには許容以下

の安全濃度になるとしている。このほか、深井戸、深い地層、岩塩層に圧入処理する方法、土壌による固化方法等の大規模な計画が進められ、地中処理方法の開発の傾向がいちじるしく、1959年10月試運転を開始した Dresden 原子力発電所、現在建設の最盛期にある Enrico Fermi 原子力発電所等、いずれも広漠たる荒野の中にその場所が選定せられ、放射性廃液の地中処理は環境に順応させたものと思われる。

(2) 英国における放射性廃液の海洋処理

英国の原子力施設で発生する放射性廃液の海中放出場所には Windscale, Dounreay, Winfrith Heath がある。Windscale²³⁾には2基のプルトニウム生産炉と Calder Hall 発電所からの使用済み燃料の再処理工場があり、付近の Camberland 海岸から直径 25 cm の2本の不銹鋼管を 3 km の沖まで海底に敷設して放射性廃液を内海であるアイルランド海へ放出する。1952年の運転開始以来 100 curie/日 程度を落潮時に放出しているが、管の敷設前に、海中に放出された廃液の希釈速度、鉛直、水平方向の拡散係数の測定、拡散速度と潮流の関係、希釈率と管の長さの関係、海底沈積物と海岸の土砂に沈着する放射能、動植物体内の蓄積について調査したが、このほかに潮汐、風浪の影響も考慮に入れた研究を重ねた結果、廃液の放出量は主として海草における放射能の蓄積状態により決定し、現在では 3 000 curie/月 を放出しているほか、将来は 20 000 curie/月、あるいは今後の研究により 100 000 curie/月 の放出が可能という予想をたてている。1959年11月、高速増殖炉の運転を開始した Dounreay は北海に直面し、海上上鉄管の敷設が不適当なため、直径 4.5 m、深さの 60 m の立坑と斜坑を掘削し、ここから内径 2.7 m、延長 600 m の海底トンネルを掘削した。工事中の保安上 150 m ごとに隔壁を設け、切羽ではセメント注入と発破を交互にくり返し、海底トンネルの先端の海面下 50 m の位置に拡散室を設け、海底から拡散室までは多数の直径 75 mm の孔を掘削して竣工した。トンネル内に敷設した管を経て低濃度の放射性廃液を拡散室に運び、この孔を通じて海中に放出分散する。Winfrith Heath²⁴⁾は英国第二の原子力センターと予定せられ、ここから地下埋設管内を輸送せられた放射性廃液を付近の海岸から海中に放出するため、Windscale と同様に染料放出実験をふくむ各種の実験が行なわれ、潮流の速い英仏海峡に直面するため Windscale より拡散希釈率の高いことが判明したが、移動性の少ないえび漁業のため Windscale の場合とほぼ同程度の放出が可能になる見込みである。

(3) 東海総合処理場計画に包含せられる放射性廃液の海中放出

日本原子力研究所の廃棄物処理場の主要装置には Flocced generator, 凝集沈殿装置, 急速ろ過器, イオン交

換樹脂装置,蒸発装置ならびに建設中の焼却装置があり,濃縮廃液は貯蔵庫に隔離し,法定の許容濃度以下の廃液は下水路を経て海岸に放出する。日本原子力研究所のほか原子燃料公社,原子力発電所,各地の種々の放射性同位元素利用施設の発展とともに,放射性廃液処理は非生産的であるが,その重要性が増大し,単に経済的問題としてではなく公衆衛生の見地から,総合処理場の建設の必要な時期の到来が考えられる。わが国の環境は内陸に施設の多い米国よりむしろ四圍に海をめぐらす実情から

英国に類似すると思われ,日本原子力研究所では放射性廃液の海中放出施設の建設に必要な基礎資料をうるために,昭和31年11月~12月にわたり,東海村沖の海底地形,海底地質,潮流と海流について第一次調査を実施した。東海村沖の海中に放出した低濃度放射性廃液を海中拡散により法定の許容濃度以下に希釈させる方針で,放出位置,廃液濃度,放出海底トンネルの構想の立案の端緒が今回の調査により得られた。この程度の調査では十分ではなく,継続実施の必要はもちろんであるが,第一

図-5 東海村沖等深線図

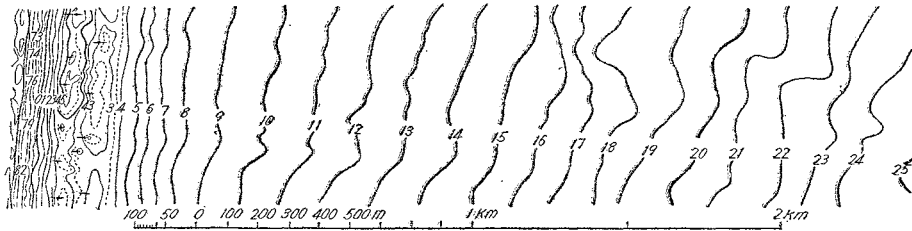


図-6 東海村沖海底縦断面図

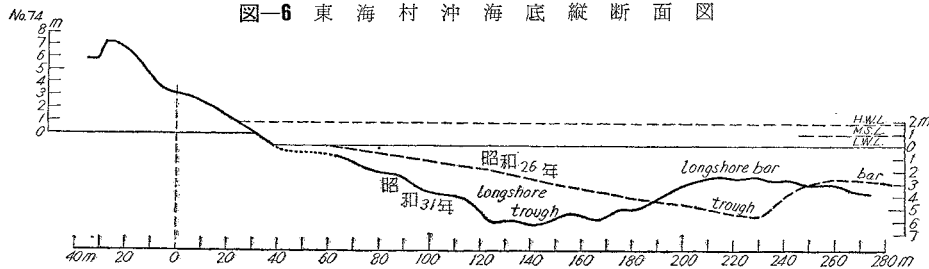


図-7 東海村沖海流図(昭和31年11月)

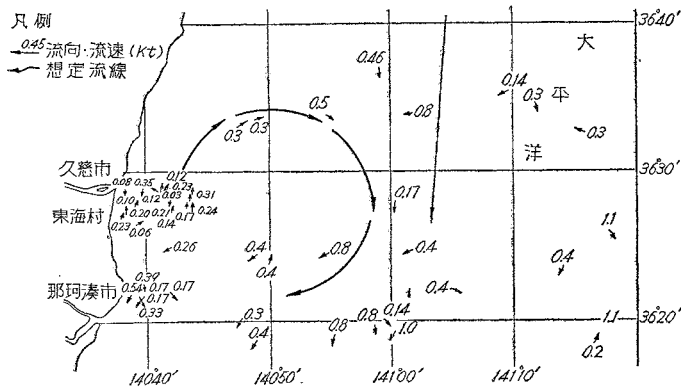
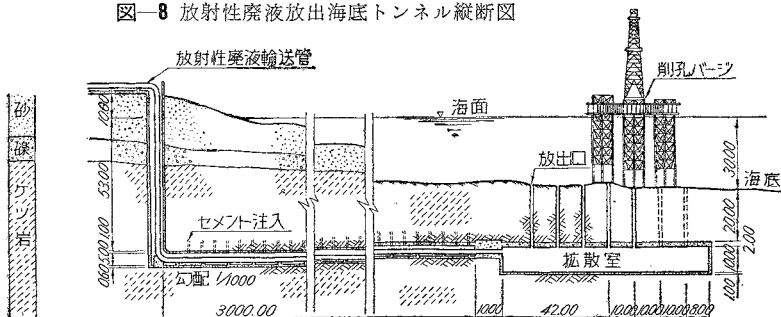


図-8 放射性廃液放出海底トンネル縦断面図



次調査の概要は次のとおりである。海底海岸の調査は,海岸地形,海底地形,地質,海岸海底の地形変化,底質物の移動,海岸線,バーの移動状況の調査である。海岸線付近には暴浪により吹き上げて堆積した海岸砂丘,カस्पが発達し,接岸海底にはトロフ,バーが広く発達し,沖合海底は大体平坦な砂地帯を形成し,水深25m付近までの砂は海岸平野の堆積物とみなされ,25m付近で硬質の堆積岩が採取せられ,25m以深部の海岸平野の基底をなす海底面と推定せられる。接岸付近に発達するトロフ,バーの位置移動と水深変化については図-6のとおり,昭和31年の測量結果と昭和26年の測量図を比較して見るに,昭和31年にはトロフ,バーは陸側に移動し,位置移動は

表-3 東海村沖海中染料流し実験

時間 (分)	染料雲の拡がり(m)		染料雲中の最大濃度 (Rhodamin B の %)
	移動方向	直角方向	
12	100	40	—
40	150	80	0.04
104	200	140	0.003
182	270	210	0.000 009
252	330	310	0.000 001

100m に達し、いちじるしい変化を示し、カスプの状況から海岸線の前進、後退、海岸浸食の問題が考えられる。昭和 31 年 11 月に実測した東海村沖の海流は右まわりに大きな環境のあるほか、複雑な流向流速は観測の時差が主因と思われる。海中に放出した廃液の拡散状況を推定するために染料流しの実験を行った。染料は Rhodamine B を選定し、東海村沖 1200 m の海上沖で昭和 31 年 11 月 17 日午前 10 時 28 分から 48 分まで染料を放出し、午後 2 時 50 分まで拡散状況を観測した。染料雲は北東の方向に約 3 m/sec の速度で移動した。濃度の測定はヘーネル比色管を使用した。観測当日の潮汐は干潮 9 時 5 分、満潮 14 時 40 分であつた。これらの観測によりこの海域に放出せられた廃液は潮流により往復しながら乱流のため拡散し、黒潮に混入して外洋に運び去られるものと思われる。廃液放出後の海底に沈積する放射能を予想して、放出前の海底の放射能を測定したが放射能レベルは低く、7 cpm/g 程度であつた。東海総合処理場の廃液放出施設として図-8 に示す海底トンネル²⁵⁾を立案した。トンネルは陸側から掘進し尖端に拡散室を設け、トンネル内に廃液輸送管を敷設したのち、拡散室を隔壁で閉そくし、削孔バージにより放出孔を海底から掘削する。

4. むすび

上述のほか、放射性廃棄物処理施設、原子炉格納施設²⁶⁾

等についてあらためて報告するつもりである。

参考文献

- 1) Godwin, R.P., and D.L. Worf : Design Consideration in Nuclear Marchant Ships, 1958
- 2) Landis, J.W. : The Power Plant for the First Nuclear Marchant Ship (N.S. Savannah), 1958
- 3) Henrie, J.O. : Magnetite Iron ore for Nuclear Shielding, Journal, A.C.I. Vol.26, 1955
- 4) Davis, H.S. : Nucleonics, June, 1955
- 5) Glen, H.M. : 2nd Nuclear Engineering and Science Conference Paper, No.57, 1957
- 6) Lane, J.A. : Nucleonics, June, 1955
- 7) Price, B.T., C.C. Horton and K.T. Spinney : Radiation Shielding, 1957
- 8) Hungerford, H.E. and R.F. Mantey : Nucleonics, November, 1958
- 9) Matouschek, F. : Korrosion und Netallen durch Zement-Wasser Aufschlamungen. Zement-Kalk-Gips, 1957
- 10) Witte, L.P. and J.E. Backstrom : Proc. A.C.I., 1954
- 11) Davis, H.S. : Nuclear Engineering and Science Conf. 1958
- 12) Raphael, J.M. : Nuclear Engineering and Science Conf. 1957
- 13) Bush, P.D. : Nucleonics, Vol.15, 1957
- 14) Halliday, D.B. : Heat Release in Concrete Reactor Shields, 1956
- 15) Hannah, I.W. : G.E.C. Atomic Energy Review, September, 1958
- 16) Carlson, R.W. : Proc. A.C.I., 34, 1938
- 17) Carslaw, H.S. : Conduction of Heat in Solid, 1959
- 18) Bureau of Reclamation : Boulder Canyon Project Final Report, 1940
- 19) Theodore Rockwill III : Reactor Shielding Design Manual, 1956
- 20) 石川六郎 : 重コンクリートについて, 土木学会誌, 42 巻, 11号, 1957
- 21) 岩井重久 : 放射性廃水の処理, 土木学会誌, 43 巻, 7号, 1958
- 22) 岩井重久 : 放射性廃棄物の処理および安全管理, 土木学会誌, 43 巻, 8号, 1958
- 23) Dunster, H.T. : 2nd Junava Conference, 19/P/297, 1958
- 24) Bowles, P. et al : 2nd Junava Conference, 15/P/296, 1958
- 25) 中山敏雄 : 高島海底送水管布設工事について, 土木学会誌, 42 巻, 12号, 1957
- 26) 上野忠男 : 発電用原子炉の地下格納について, 土木学会誌, 44 巻, 10号, 1959

純国産

新界推奨の
外国品に優る
AE 剤

特許 236887号

イカル

発売元
福昌化工株式会社
東京都中央区日本橋室町3の3 TEL(241)1846

製造元
荒川林産化学工業株式会社
東京・大阪 工場 大阪今福工場