低・中レベル放射性廃棄物の処理処分容器用 PIC(ポリマー含浸コンクリート)の耐放射線性に関する研究†

石 崎 寛 治 郎* 荒 木 邦 夫**
笠 原 佑 倅** 須 藤 儀 一***

A Study on Radiation-Resistance of PIC (Polymer-Impregnated Concrete) for Container of Conditioning and Disposal of Low and Intermediate Level Radioactive Wastes

by

Kanjiro ISHIZAKI
(Central Laboratory, Chichibu Cement Co. Ltd., Kumagaya)
Kunio ARAKI, Yukō KASAHARA
(Japan Atomic Research Institute, Ibaraki)
Giichi SUDOH
(Central Laboratory, Chichibu Cement Co. Ltd., Kumagaya)

The application of PIC (Polymer-Impregnated Concrete) to the container for conditioning and disposal of low and intermediate level radioactive wastes have been investigated, because the PIC has excellent characteristics such as high mechanical strength, high water impermeability, good corrosion resistance, good durability and so on. It is necessary to evaluate the resistance to gamma-rays considering the PIC-container for radioactive wastes.

The radiation-resistance of PIC with test piece was evaluated by irradiation of gamma-rays. All the test pieces had JIS mortar size of $4 \times 4 \times 16$ cm. JIS mortar and concrete were used as specimens. The maximum aggregate size of concrete was 10 mm. The specimens impregnated by MMA (methylmethacrylate) monomer and solution of 10% of PSt (polystyrene) in MMA monomer (MMA・PSt) were polymerized by irradiating for 5 hr at the dose rate of 1 MR (1×10^6 Roentgen)/hr. PIC specimens were exposed up to maximum 1000 MR to ^{60}Co gamma-rays in air and under water which simulate shallow land disposal and deep sea dumping conditions, respectively.

The lowering of strength of the PIC exposed to gamma-rays under water was larger than that of the PIC in air. The improving effect of the added PSt on the radiation-resistance was observed. It was observed that the 50 MR-irradiated MMA・PSt-PIC under water, which had the residual compressive strength of 85%, was resistant to gamma-rays. When this residual strength was regarded as a limit of radiation-resistance in air, the limit of MMA and MMA・PSt-PIC were approximately 25 MR and 150 MR, respectively. The lowering of strength was mainly due to the deterioration of MMA polymer in PIC.

The total exposure dose for PIC-container was estimated by assuming the conditions about the packaged radioactive wastes, dose rate, container and so on. The total exposure dose on PIC-container for 100 years became roughly 1.25 MR. Therefore, it is estimated that the PIC-containers for conditioning and disposal of low and intermediate level radioactive wastes have a sufficient resistance to radiation arising from wastes.

(Received Dec. 24, 1981)

キー・ワード：PIC, 耐放射線性, γ 線, 低・中レベル放射性廃棄物, 処理処分容器

† 本報を「放射性廃棄物の処理処分用 PIC 容器に関する研究 (第 1 報)」(Studies on PIC-Container for Radioactive Wastes, I) とする。
原稿受理 昭和56年12月24日

* 正 会 員 秩父セメント(株)中央研究所 熊谷市月見町
** 日本原子力研究所東海研究所 茨城県東海村
*** 秩父セメント(株)中央研究所 熊谷市月見町

1 緒 言

PIC (ポリマー含浸コンクリート) は, 高強度で不透水性, 耐薬品性, 耐久性などに優れているため, 低・中レベル放射性廃棄物の処理処分分野への応用が検討されてきた。A. Donato¹⁾ は, ドラム缶中の放射性廃棄物のセメント固化体を直接 PIC 化して RI の浸出低下と高強度化を計れたことを報告し, P. Colombo, R. M. Neilson²⁾ は, 放射性廃棄物のセメント固化体自身を PIC 化して Cs, Sr の浸出低減と強度の向上, 耐薬品性の改善などに有効なことを報告している。著者らは, 廃棄物の直接 PIC 化を避けた方法として PIC の低・中レベル放射性廃棄物の処理処分用容器としての物性評価と適応試験を実施してきた。放射性廃棄物容器としては, 容器の外的要因による劣化の他に容器内に固化された放射性物質, 特に γ 線による放射線劣化を検討する必要がある。PIC の放射線劣化に関連した既往の報告は, γ 線や電子線による適正重合条件を検討したもので, メタクリル酸メチルに関する γ 線の照射線量は適正線量より多少オーバーキユアになる最高 12 MR (1 MR = 1×10^6 Roentgen) 程度までで, PIC の放射線劣化すなわち耐放射線性は未だ明確にされていない。

容器としての耐放射線性は, PIC 容器内に ^{60}Co 線源などを配置してその放射線劣化を調べればよいが, 実際には物性試験用供試体のサンプリングと調整, 供試体間のばらつき, 実験場所などの問題があって実施に困難が伴ううえに必ずしも正確な結果が期待できない。

本論文は, 容器としての耐放射線性の観点からテストピースにより PIC の基本的な耐放射線性を実験的に評価し, 容器中に収納した放射性廃棄物から発生する約 100 年間の全照射線量を推算し, テストピースの評価結果と比較考察することによって容器としての耐放射線性の評価を試みたものである。供試体は, γ 線の照射面と裏面での線量率の差を小さくすること, 試験場所の専有などを考慮して JIS モルタルの寸法 (4 × 4 × 16 cm) とした。配合は, JIS モルタルおよび容器の実配合を考慮した最大骨材寸法 10 mm のコンクリート配合の 2 種類について実施した。PIC への γ 線の照射は, 陸地処分と海洋処分を想定した空气中照射と水中照射により線量率 1 MR/hr で最高 1 000 MR まで照射する方法により検討した。

2 使用材料

2.1 骨材とセメント

骨材は, 空气中照射用供試体に関しては豊浦標準砂

を, 水中照射用供試体に関しては荒川産川砂 (比重 2.62) と砂利 (比重 2.63) を用いた。セメントは, 秩父セメント社製ポルトランドセメントを使用した。

2.2 含浸用モノマーとポリマー

含浸剤は, 三菱レイヨン社製メタクリル酸メチルモノマー (MMA) と, MMA に平均分子量 1500×10^4 の積水化学社製ポリスチレン (PSt) を 10% 溶解混合した (MMA・PSt) 2 種類を用いた。

3 実験方法

3.1 基材の作製

空气中照射用基材は, セメント : 砂 = 1 : 2, 水セメント比 0.65 とした JIS 配合モルタルを用いた。水中照射用基材は, 実際の容器用基材を考慮して Table I に示す最大骨材寸法 10 mm のコンクリート配合とした。含浸用基材は, いずれも 4 × 4 × 16 cm に成形し, 所定の養生を行った後 120°C-48 hr 乾燥して作製した。供試体の養生は, JIS モルタルでは 1 日湿空-2 日水中養生を行い, コンクリートは 3 hr 前養生後 65°C-3 hr 蒸気養生を施した。

Table I. Mix proportion of base concrete.

Maximum size of gravel (mm)	Slump (cm)	Air content (%)	Water-cement ratio (%)	Mix proportion (kg/m ³)			
				Cement	Water	Sand	Gravel
10	8 ± 1	2.5	39	500	195	815	818

3.2 含浸方法

含浸は, 5 mmHg 以下で 1 hr 脱気した後, N₂ ガスにより 2 kg/cm²-18 hr 加圧して行った。モノマーの揮散防止は, いずれも溶融したパラフィン中に浸漬して被覆する方法により実施した。

3.3 γ 線の照射方法

γ 線は, 120¹ × 30³ cm の ^{60}Co 板状線源の両側で 1 MR/hr の位置にモノマー含浸供試体を置いて所定の照射線量まで放置した。水中照射供試体は, 鋼製容器中の水に浸漬して所定の線量まで照射した。

3.4 重合温度の測定

重合温度は, 基材の成形時に中央部に埋めこんだ CA 線を多点式の温度測定装置により自動記録させる方法によって測定した。

3.5 強度測定

供試体の強度測定は, γ 線の照射面に対し直角の方向から載荷して行った。強度は, JIS R 5201 の方法に準じて測定し, 各 3 本の平均値として求めた。

3.6 細孔径分布の測定

細孔径分布は, CARLO ERBA 社製水銀圧入式ポロシメータにより供試体片に水銀を最大 2 000 kg/cm² の圧力で圧入し, 基材および PIC と水銀との接触角

*1 固化体 (Package) とは, 所定の容器 (Container) 中に放射性廃棄物をセメント, アスファルト, プラスチックなどと混合固化して輸送や処分などに適した固体状にしたものをいう。

を等しいと仮定して半径 $37.5\text{\AA} \sim 7.5\mu$ までの細孔量を測定し、各 2 回の平均値として求めた。全細孔量 (Total Pore Volume, TPV) は、細孔量の和として算出した。

4 結果および考察

4・1 PIC 供試体の作製用適正照射線量の選定

耐放射線性供試体は、放射線重合により作製した。1 MR/hr の位置で γ 線を照射して重合した MMA・PSt 含浸モルタルのポリマー含浸率と強度を Table II に、照射線量と強度の関係を Fig.1 に示す。MMA・PSt 含浸モルタルの圧縮強度は、2, 3 MR では線量不足のために低強度であったが、4, 5, 10 MR では 1400 kg/cm^2 前後の値を示した。曲げ強度は、3 MR で 390 kg/cm^2 以上の値を得たが、4 MR では多少低い値を示し、5 および 10 MR で 400 kg/cm^2 以上の強度を得た。強度面から適正照射線量は 5 MR である。

Table II. Polymer loading and strength of MMA・PSt-impregnated mortar polymerized by irradiation of gamma-rays.

Total exposure dose (MR)	Polymer loading (%)	Flexural strength		Compressive strength	
		Strength (kg/cm ²)	Ratio	Strength (kg/cm ²)	Ratio
2	11.3	170.4	2.66	695	1.97
3	14.0	393.4	6.15	1184	3.36
4	13.6	352.6	5.51	1397	3.97
5	14.3	400.9	6.26	1409	4.00
10	14.1	419.6	6.56	1391	3.95
(Base mortar)	—	64.0	1.00	352	1.00

The ratio shows strength ratio of each specimen compared with the base mortar.

Fig. 1. Relationship between strength and total exposure dose of gamma-rays for MMA・PSt-impregnated mortar.

同様な条件による照射時間と供試体中央部の温度変化を Fig. 2 に掲げる。モノマーの含浸していない基材モルタルおよび室温は、温度上昇を示さないが、MMA および MMA・PSt 含浸モルタルは照射直後から温度上昇を示し、2 hr 前後で急激に上昇した。MMA 含浸

Fig. 2. Variation of temperature in the center of specimen exposed to gamma-rays in air. Dose rate is 1 MR/hr.

モルタルは、2 hr 22 min にピーク温度に達し、MMA・PSt 含浸モルタルは、2 hr 31 min でピーク温度に達した。それぞれの最高温度は、 43.5°C と 39°C で、PSt を添加した系は 4.5°C ほど低い結果を得た。5 hr 後の供試体温度は、基材モルタルの温度近くまで低下しており、重合は終了したと思われる。

以上のことより、MMA・PSt 含浸モルタルは 5 MR の照射が適正であり、MMA 含浸モルタルの重合速度は MMA・PSt 含浸モルタルと大差ないので、本実験ではいずれの供試体も 5 MR で重合して耐放射線性供試体を作製することにした。また、重合のピーク温度は、重合反応の最も活発な時期を示すもので、著者らは到達時間をピーク反応時間と定義し、これまでの結果から熱重合法に関する PIC の適正重合時間をピーク反応時間の約 2 倍と考えて実用上さしつかえないことを報告した。この関係を本結果に適用すると、両供試体とも約 5 hr で 5 MR の照射量となり、良く一致している。したがって、放射線重合法に関しても重合速度を測定することによって、適正照射線量を予測できることが判明した。

4・2 γ 線の空气中照射による MMA および MMA・PSt 含浸モルタルの強度変化

γ 線を空气中で 5 MR 照射して重合した供試体を 10, 50, 100, 200 MR まで照射した PIC の強度変化とポリマー含浸率を Table III に、強度変化を Fig. 3 に示す。図から明らかなように MMA 含浸モルタルの強度は、10 MR を超すと照射線量の片対数に対しほぼ直線的に低下した。表より、50 MR での強度の残存率は、圧縮強度が 72%，曲げ強度が 77% で、100 MR の残存率は、圧縮強度が 58%，曲げ強度が 70% に低下し、200 MR では圧縮、曲げ強度ともおよそ 50% の残存強度となった。

Fig. 3 より MMA・PSt 含浸モルタルは、50 MR まで曲げ、圧縮強度とも高くなる傾向を示し、MMA 含浸モルタルと比較して耐放射線性の優れていることが明らかとなった。圧縮強度の残存率は、100 MR の照

Table III. Polymer loading and variation of strength for MMA and MMA·PSt-impregnated mortar exposed to gamma-rays in air.

Total exposure dose (MR)	MMA-PIC			MMA · PSt-PIC		
	Poly-mer loading (%)	Strength(kg/cm²)		Poly-mer loading (%)	Strength(kg/cm²)	
		Flexural	Com-pressive		Flexural	Com-pressive
5	14.0	364 (1 00)	1 366 (1 00)	13.6	362 (1.00)	1 364 (1 00)
10	13.6	366 (1.01)	1 372 (1.00)	13.5	368 (1.02)	1 373 (1.01)
50	13.8	279 (0.77)	986 (0.72)	13.5	378 (1.04)	1 484 (1.09)
100	13.6	253 (0.70)	789 (0.58)	13.2	281 (0.78)	1 293 (0.95)
200	13.0	180 (0.49)	664 (0.49)	13.2	218 (0.60)	1 057 (0.77)

The numerical value in parenthesis shows the strength ratio of each specimen compared with the 5 MR-exposed specimen.

Fig. 3. Variation of strength for MMA and MMA·PSt-impregnated mortar exposed to gamma-rays in air.

射で95%, 200 MR で77%を示した。曲げ強度は、圧縮強度より低下傾向が大きく 100 MR で78%, 200 MR で60%の残存強度を得た。既往の報文によると PMMA (重合した MMA) は、崩壊型高分子で 100 MR 照射されるとすべての機械的性質がはなはだしく劣化し、粉末状に砕けるものもある。他方, PSt は、架橋型高分子で γ 線に対してフェニル基の共鳴効果のために最も安定な高分子の一つで、1000 MR の照射を受けても機械的性質はほとんど変化せず、10000 MR で着色する程度であることが知られている。したがって、MMA · PSt 含浸モルタルの耐放射線性の改善された理由は、PSt の添加効果によっている。

4・3 γ 線の水中共射による MMA · PSt 含浸コンクリートの強度変化

PIC 容器の放射性廃棄物固化体を陸地処分して地下水と接した場合や海洋投棄により海水と接した場合の放射線劣化を予測するため、水中照射による PIC の耐放射線性を検討する。

γ 線を 5 MR 照射して重合した供試体を、50, 100, 250, 500, 1000 MR まで照射した PIC の供試体重量、ポリマー含浸率と強度変化を Table IV に示す。

Table IV. Polymer loading and variation of strength and weight for MMA·PSt-impregnated concrete exposed to gamma-rays under water.

Total exposure dose (MR)	Weight of specimens (g)			Polymer loading (%)	Strength(kg/cm²)	
	Before impregnation	After impregnation	After exposure		Flexural	Compressive
5	1 771	1 867	—	5.4	387 (1.00)	1 665 (1.00)
50	1 750	1 844	1 845	5.4	272 (0.70)	1 419 (0.85)
100	1 748	1 841	1 841	5.3	240 (0.62)	1 303 (0.78)
250	1 774	1 866	1 870	5.2	150 (0.39)	1 180 (0.71)
500	1 782	1 883	1 883	5.7	108 (0.28)	1 061 (0.64)
1 000	1 756	1 854	1 855	5.6	119 (0.31)	1 041 (0.63)

The Weight is total of 3 specimens which are 4×4×16 cm. The numerical value in parenthesis shows strength ratio of each specimen compared with the 5MR-exposed specimen.

Fig. 4. Variation of strength for MMA·PSt-impregnated concrete exposed to gamma-rays under water.

1000MR まで大量照射しても供試体の重量はほぼ一定で、高温に接した場合と異りポリマーの分解や硬化体中のセメント水和物の結晶水の揮散による大幅な重量減少のないことが確認された。

空气中照射供試体と比較した強度変化を Fig. 4 に示す。水中照射による圧縮強度は、照射線量の片対数に比例してほぼ直線的に低下したが、強度の残存率は 50 MR で85%, 100 MR で78%, 250 MR で71%, 1000 MR で63% (1041 kg/cm²) を保持した。曲げ強度の残存率は、50 MR で70%, 100 MR で62%, 250 MR で39%, 1000 MR では31% (119 kg/cm²) とかなり低下する結果を得た。空气中照射と比較した水中照射供試体の強度は、低下傾向が大きく、照射条件による相違が認められた。

4・4 空气中照射と水中照射の耐放射線性の比較

γ 線の照射条件と (圧縮/曲げ) 強度比を Table V に示す。空气中照射に関して、MMA-PIC は曲げ圧縮強度がほぼ均等に低下しているが、MMA·PSt-PIC は 50 MR までほぼ一定で、100 MR で22%, 200 MR で29%ほど高い値を示し、曲げ強度の低下比率が高く

Table V. Comparison of (compressive/flexural) strength ratio and exposure condition of gamma-rays.

Total exposure dose (MR)	Exposure condition of gamma-rays		
	In air		Under water
	MMA-PIC	MMA・PSt-PIC	MMA・PSt-PIC
5	3.75 (1.00)	3.77 (1.00)	4.30 (1.00)
10	3.75 (1.00)	3.73 (0.99)	—
50	3.53 (0.94)	3.93 (1.04)	5.22 (1.21)
100	3.12 (0.83)	4.60 (1.22)	5.43 (1.26)
200	3.68 (0.98)	4.85 (1.29)	—
250	—	—	7.87 (1.83)
500	—	—	9.82 (2.28)
1000	—	—	8.75 (2.03)

The numerical value in parenthesis shows ratio of each specimen compared with the strength ratio of 5MR-exposed specimen.

なった。この相違は、含浸した PMMA の機械的強度が均等に劣化するのに対し、PSt を添加した系では 50 MR 付近からの PMMA の劣化によって含浸ポリマーの組織は劣化するが、PSt は劣化しないため主に空げきの充てん効果による圧縮強度の低下防止に寄与して、PIC の強度比に変化を生じたものと考えられる。

水中照射供試体では、5 MR の強度比と比較した 50 MR, 100 MR の値はそれぞれ 21%と26%ほど高くなり、250 MR 以上になるとこの傾向が一層顕著となって曲げ強度の低下傾向の大きいことが確認された。

PIC の圧縮強度は、供試体の細孔量やポリマーの空げき充てん率に依存するが、曲げ強度はこれらの関係では説明できず、著者らは含浸ポリマーの分子量やポリマーとセメントペースト相および骨材間の付着性、空げきの充てん機構などの複合効果によると報告した¹²⁾。γ線によって水中照射された PIC は、PMMA の分子量低下と加水分解などによる物性劣化およびこれに伴って含浸ポリマーと基材のセメントペースト相・骨材間に水が徐々に浸透して付着力が低下したために、曲げ強度の低下傾向が大きくなったものと推定される。

水中照射線量と供試体の全細孔量の関係を Fig. 5 に示す。全細孔量は 5～50 MR ではおよそ 0.9×10^{-2} cc/cc であったが、100～1000 MR では 1.6×10^{-2} cc/cc に増加した。Fig. 6 に 5 MR, 50 MR および 1000 MR の細孔径分布を示す。50 MR 照射供試体の細孔径分布は 5 MR とほぼ同様であるが、1000 MR 照射供試体は半径 37.5～50 Å 付近の細孔の増加が認められた。また、PIC 破断面の含浸ポリマーの色は、5～50 MR までは異常ないが、100 MR から 1000 MR

Fig. 5. Change of total pore volume for MMA・PSt-impregnated concrete exposed to gamma-rays under water.

Fig. 6. Change of pore distribution for MMA・PSt-impregnated concrete exposed to gamma-rays under water.

にかけて淡黄色から徐々に濃い黄色を呈することが観察された。これらのことは、供試体中の PMMA が 50～100 MR の間で劣化することを示唆している。

以上のことより、水中照射した MMA・PSt 含浸コンクリートは、50 MR までは劣化が小さく健全で、100 MR 付近から劣化したものと考えられる。50 MR での圧縮強度と曲げ強度の残存強度は、それぞれ85%と70%である。深海底および地中処分環境下での主応力は、圧縮応力である。この観点から空气中照射供試体に関して、圧縮強度で85%の残存強度を耐放射線性の一つの限界値と仮定すると、Fig.3 より MMA 含浸モルタルはおよそ 25 MR, MMA・PSt 含浸モルタルは 150 MR となる。

4・5 低・中レベル放射性廃棄物用 PIC 容器としての耐放射線性に関する考察

放射性廃棄物の処理処分用 PIC 容器としての耐放射線性は、下記の仮定を行って、放射性廃棄物が容器中に最大線量まで収納され、放射能が減衰しないとして全照射線量を推算し、テストピースの評価結果と比較考察することによって容器としての寿命を推定する。

(1) 放射性廃棄物の固化体は、処分するまで必ず輪

送が伴うので、輸送容器の規¹⁴⁾準に従って容器表面の線量率を最高の 200 mrem/hr とする。

(2) 表面線量率 200 mrem/hr は、 γ 線に関して吸収線量 200 mrad/hr とし、照射線量率を 0.2 R/hr と近似する。

(3) 容器中に混練固化されている放射性核種は、容器内壁面にポイントソース状に偏在し、長期間減衰しない。

(4) PIC 容器の壁厚は、設計耐圧強度 700 kg/cm² (深海底 7000m に相当) の耐圧型 200 l 容器の壁厚³⁾ 11.5 cm を丸めて 12 cm とする。

(5) PIC 容器の壁厚効果は、 γ 線の遮蔽に関してのみ考慮し、 γ 線の容器内壁面における照射線量が外壁面まで等しく及ぶものとする。

(6) PIC の γ 線の遮蔽は、著者らの既往の報告より⁷⁾壁厚 12 cm での減衰率 0.14 を使用する。

Fig.7 は、この主要な仮定を略示したものである。仮定より、容器内壁面の照射線量率は 1.43 R/hr、1 年間の照射線量は 0.0125 MR となる。陸地処分用容器は、海洋処分用容器より長期の耐久性が要求され、50 年以上 100 年程度の耐久性が必要といわれている。50 年および 100 年間の照射線量を計算すると 0.63 MR と 1.25 MR となり、テストピースの結果から、MMA・PSt および MMA 含浸コンクリートの放射線劣化はないものと考えられる。また、実際の廃棄物は均一に混合固化され、放射能もそれぞれの核種の半減期にしたがって減衰するので、この計算はかなり安全サイドの条件となっている。したがって、MMA・PSt および MMA 含浸コンクリート容器は、低・中レベル放射性廃棄物の処理処分用容器として十分な耐放射線性を有していると推定される。

Fig. 7. Cross section of the considered PIC-container for radiation-resistance (unit: mm). It is designed as a pressure-container of 700 kg/cm². The numerical values in figure illustrate the assumed factors.

5 結 論

PIC に ⁶⁰Co- γ 線を空気中と水中で照射した耐放射線性試験結果および低・中レベル放射性廃棄物の処理処分用 PIC 容器としての耐放射線性に関する考察結

果は、次のように結論される。

(1) MMA・PSt および MMA 含浸モルタルの適正照射時間と線量は、PIC の強度、重合の完結性などから 5 hr、5 MR である。放射線重合法の適正照射時間(線量)は、熱重合法と同様にピーク反応時間(線量)の約 2 倍が適当である。

(2) γ 線を空気中で照射された MMA 含浸モルタルは、10 MR を超すと照射線量の片対数に比例して低下し、強度の残存率は 200 MR の照射で圧縮、曲げ強度ともおよそ 50% (圧縮 664 kg/cm², 曲げ 80 kg/cm²) まで低下する。MMA・PSt 含浸モルタルは、50 MR まで強度が高くなる傾向にあり、それ以後低下するが 200 MR で圧縮、曲げ強度の残存率はそれぞれ 77% (1057 kg/cm²) と 60% (218 kg/cm²) を保持し、PSt の添加効果が認められる。これは、 γ 線に対する PSt 分子中のフェニル基の共鳴効果に起因している。

(3) γ 線を水中で 1000 MR まで照射した MMA・PSt 含浸コンクリートの供試体重量は、ほぼ一定で、高温に接した場合と異り、著しい重量損失はない。

(4) 水中照射による MMA・PSt 含浸コンクリートの圧縮強度は、照射線量の片対数に比例して低下するが、強度残存率は 50 MR で 85%、250 MR で 71%、1000 MR で 63% (1041 kg/cm²) を保持する。曲げ強度の残存率は、50 MR で 70%、250 MR で 39%、1000 MR では 31% (119 kg/cm²) とかなり低下し、空气中照射より低下傾向が大きい。

(5) (圧縮/曲げ)強度比は、含浸剤と γ 線の照射条件によって異なる。空气中照射した MMA 含浸モルタルの強度比は、200 MR までほぼ一定で圧縮強度と曲げ強度がほぼ均等に低下するが、MMA・PSt 含浸モルタルは 100 MR 以降曲げ強度の低下傾向が増大する。水中照射供試体では、50 MR から曲げ強度の低下が大きくなり、250 MR 以上では一層顕著となる。この理由は、 γ 線による PMMA の劣化と加水分解およびこれに伴って含浸ポリマーとベースト・骨材間に徐々に水が浸透して付着力が低下したためと考えられる。

(6) 水中照射した PIC の全細孔量は、100 MR 以上照射するとおよそ 80% 増加する。含浸ポリマーの色は、100~1000 MR にかけて淡黄色から徐々に濃い黄色を呈する。これらのことは、供試体中の PMMA が 50~100 MR 間で劣化することを示唆している。

(7) 水中照射した MMA・PSt 含浸コンクリートは、50 MR まで耐放射線性を有していると評価される。処分時の固化体にかかる主応力は圧縮応力である。50 MR での圧縮強度の残存率は 85% で、この値を空气中照射に関する耐放射線性の一つの限界値とみなすと、MMA-PIC はおよそ 25 MR、MMA・PSt-PIC は 150 MR となる。

(8) 容器内に固化された放射性廃棄物から発生する γ 線の全照射線量は、容器中に最大線量まで収納し、放射能が減衰しないと仮定して推算すると、50年間で 0.63 MR, 100年間で 1.25 MR 程度となる。テストピースの結果から MMA・PSt および MMA 含浸コンクリート容器は、低・中レベル放射性廃棄物の処理処分用容器として十分な耐放射線性を有していると推定される。

本研究の γ 線の照射実験に関しては、日本原子力研究所高崎研究所照射施設課の方々、ならびに実験の実施に関して 高崎研究所笠井昇研究員、秩父セメント(株)中央研究所浅見晃研究員のご協力を得た。付記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) A. Donato, Proc. Sympo. Management of Radioactive Wastes from the Nuclear Fuel Cycle, IAEA and OECD Nuclear Energy Agency, Vienna, **2**, 143 (1976).
- 2) P. Colombo and R. M. Neilson, Nuclear Technology, **32**, 30 (1977).
- 3) K. Araki, Y. Maki, Y. Shinji, K. Ishizaki, K. Minegishi and G. Sudoh, Third Inter. Cong. Polymers in Concrete, Proc. 987 (1981).
- 4) 荒木邦夫, 石崎寛治郎, 原子力工業, **25**, No. 10, 57 (1979).
- 5) M. Steinberg, J. T. Dikeou, L. E. Kuckacka, *et al.*, BNL 50134 (T-509) and USBR Gen. Rep. 41, First Topical Report (1968).
- 6) 大岸佐吉, 荒木邦夫, 小野博宣, 笠原佑倅, 棚橋 勇, 笠井 昇, 材料, **23**, 1050 (1974).
- 7) 大岸佐吉, 荒木邦夫, 小野博宣, 吉田健三, 棚橋 勇, 笠原佑倅, 笠井 昇, 材料, **24**, 401 (1975).
- 8) 大岸佐吉, 小野博宣, 岩本威生, 松永勝己, 材料, **26**, 378 (1977).
- 9) 須藤儀一, 石崎寛治郎, 浅見 晃, セメント技術年報, **30**, 425 (1976).
- 10) G. Sudoh, K. Ishizaki and A. Azami, Proc. 20th Japan Congr. Mat. Research, 195 (1977).
- 11) 岡村誠三編, “放射線高分子化学”, p. 92 (1966) 地人書館
- 12) D. Manning and B. Hope, Cement and Concrete Research, **1**, 631 (1971).
- 13) 石崎寛治郎, 深谷泰文, 浅見 晃, 荒岡喜久雄, セメント技術年報, **28**, 382 (1974).
- 14) 科学技術庁原子力局監修, “原子力ポケットブック”, p. 136 (1981) 日本原子力産業会議