

JAERI - M  
85-097

γ線照射がコンクリートの諸物性に及ぼす影響に関する研究

1985年7月

村岡 進・村瀬欣伸\*・山田浩司\*・横田紀男\*  
鷺野正光・中村治人

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division  
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-  
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1985

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 榎高野高速印刷

$\gamma$ 線照射がコンクリートの諸物性に及ぼす影響に関する研究

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部

村岡 進・村瀬 欣伸\*・山田 浩司\*

横田 紀男\*・鷺野 正光<sup>+</sup>・中村 治人

(1985年6月19日受理)

高レベル放射性廃棄物貯蔵施設の健全性を評価する基礎データを得るために、 $\gamma$ 線の照射がコンクリートの諸物性に及ぼす影響を調べた。本研究は昭和56、57年度に引き続き実施されたものであり、その主点は照射総線量を約 $2 \times 10^{10}$  Rにまで上げた場合の物性値の変化および高レベル廃棄物貯蔵施設で予想される照射線量率約 $1 \times 10^5$  R/hr下での水分、温度等環境要因の物性値への影響を調べることにある。

その結果、貯蔵施設で予想される総 $\gamma$ 線量を照射しても常温では明らかな物性値の変化は認められなかった。また、地下水の浸入等によりコンクリートが湿潤した場合の $\gamma$ 線照射による鉄筋の腐食への影響はなかった。温度効果については、160℃に加熱した場合明らかに圧縮強度の減少が認められた。

---

本研究は、日本原子力研究所と(株)住友セメントにおいて共同にて実施されたものである。

+ 高崎研究所

\* (株)住友セメント

Research on  $\gamma$ -ray irradiation effects on characteristics  
of concrete

Susumu MURAOKA, Yoshinobu MURASE<sup>\*</sup>, Hisashi YAMADA<sup>\*</sup>  
Norio YOKOTA<sup>\*</sup>, Masamitsu WASHINO<sup>+</sup> and Haruto NAKAMURA

Department of Environmental Safety Research  
Tokai Research Establishment, JAERI  
(Received June 19, 1985)

In order to obtain the fundamental data of concretes, which are used in the construction of storage facilities of HLW, the effects of  $\gamma$ -ray irradiation on the characteristics were evaluated. This work followed the research carried out in 1981~'82 fiscal year. Evaluations of irradiation effects on the characteristics with total dose of  $\sim 2 \times 10^{10}$ R and the effects of environmental factors such as moisture and temperature under irradiation field  $\sim 1 \times 10^5$  R/hr estimated in the storage facilities were emphasized.

No effects of irradiation corresponding total  $\gamma$ -dose estimated for the storage facilities were identified at room temperature, and neither effects of irradiation on corrosion of steel in concrete moistured by ground water seepage. However, the compressive strength decreased by heating at 160 °C.

Keywords: High-level Radioactive Waste, Storage Facility, Concrete,  
 $\gamma$ -irradiation, Compressive Strength Radiation Effect

---

This work was conducted by cooperation between JAERI and Sumitomo Cement Co., Ltd.

+ Department of Development, Tokasaki Radiation Chemistry Research Establishment

\* Sumitomo Cement Co., Ltd.

目 次

|                        |   |
|------------------------|---|
| 1. まえがき .....          | 1 |
| 2. 実験方法 .....          | 1 |
| 2.1 コンクリート試験体の作成 ..... | 1 |
| 2.2 照射条件及び貯蔵条件 .....   | 2 |
| 2.3 試験項目及び方法 .....     | 2 |
| 3. 結果及び考察 .....        | 3 |
| 4. まとめ .....           | 4 |
| 参考文献 .....             | 5 |

Contents

|   |   |
|---|---|
| 1. Introduction .....                           | 1 |
| 2. Experimental .....                           | 1 |
| 2.1 Preparation of concrete specimen .....      | 1 |
| 2.2 Conditions of irradiation and storage ..... | 2 |
| 2.3 Experimental items and procedure .....      | 2 |
| 3. Results and discussion .....                 | 3 |
| 4. Conclusion .....                             | 4 |
| References .....                                | 5 |

## 1. ま え が き

高レベル放射性廃棄物ガラス固化体の中間貯蔵施設は、

(1) 選択された処分法の実証期間を含めた最終処分法確立までの時間の確保

(2) その処分法の安全性を高めるため、熱負荷の低減および放射能レベルの低減

といった目的のものである為、数十年といった長期にわたる健全性が要求される。そのため、鉄筋コンクリート造、石造といった耐久的な構造方式が対象として考えられるが、使用材料の確保や形状の柔軟性といった総合的なものを考慮すると、鉄筋コンクリート構造が最も有力視されていると言えよう。

鉄筋コンクリート構造の主要な構成材料となるコンクリートは、一般には耐火性があり耐久的であるとされており、また重量コンクリートを使用して遮へい性を発揮させているが、耐放射線性については実験データが少ない<sup>1)</sup>。そこで、昭和56年から57年にわたり、日本原子力研究所と「放射線（ $\gamma$ 線）照射によるコンクリートの挙動に関する研究」と題した共同研究を実施した。そこで得られた知見は、既に報告した通りである。<sup>2),3)</sup>

本研究は前回の実験結果を踏まえて行ったものであり、次の点に主眼を置いている。

- (1)  $\gamma$ 線の照射線量が貯蔵施設で予想される総線量（ $3 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{10} \text{ R}$ ）<sup>2)</sup>と同等もしくはそれ以上となる照射線量としたときのコンクリートの変質
- (2) 貯蔵施設のコンクリート部で予想される線量率とし、温度上昇、水の浸入等の異常状態を想定した条件下でのコンクリートの変質および鉄筋の発錆
- (3) コンクリート強度の非破壊試験法としての超音波伝ば速度法の適用の試み

## 2. 実 験 方 法

### 2.1 コンクリート試験体の作成

(1) 使用材料

セメントは、赤穂第2工場製の普通ポルトランドセメントを使用した。粗骨材は、最大寸法が20 mmの茨城県岩瀬産の硬質砂岩系の碎石を、細骨材は鬼怒川産の川砂を使用した。混和剤は、AE剤としてヴィンソルを使用した。また、鉄筋の発錆試験用の鋼材は、JIS G 3108（みがき棒鋼用一般鋼材）およびJIS G 3121〔みがき棒鋼（炭素鋼）〕に規定する棒鋼SDG-3（直径13 mm、長さ150 mm）を使用した。

(2) コンクリートの調合

日本建築学会、原子力発電所用鉄筋コンクリート工事（案）に記載されたコンクリートの品質および調合等の例を参考に、水セメント比50%、スランプ10 cm、空気量4%とし、試し練りによって調合を決定した。コンクリートの調合を表1に示す。

(3) コンクリートの成形および養生

## 1. ま え が き

高レベル放射性廃棄物ガラス固化体の中間貯蔵施設は、

(1) 選択された処分法の実証期間を含めた最終処分法確立までの時間の確保

(2) その処分法の安全性を高めるため、熱負荷の低減および放射能レベルの低減

といった目的のものである為、数十年といった長期にわたる健全性が要求される。そのため、鉄筋コンクリート造、石造といった耐久的な構造方式が対象として考えられるが、使用材料の確保や形状の柔軟性といった総合的なものを考慮すると、鉄筋コンクリート構造が最も有力視されていると言えよう。

鉄筋コンクリート構造の主要な構成材料となるコンクリートは、一般には耐火性があり耐久的であるとされており、また重量コンクリートを使用して遮へい性を発揮させているが、耐放射線性については実験データが少ない<sup>1)</sup>。そこで、昭和56年から57年にわたり、日本原子力研究所と「放射線(γ線)照射によるコンクリートの挙動に関する研究」と題した共同研究を実施した。そこで得られた知見は、既に報告した通りである。<sup>2),3)</sup>

本研究は前回の実験結果を踏まえて行ったものであり、次の点に主眼を置いている。

- (1) γ線の照射線量が貯蔵施設で予想される総線量( $3 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{10}$  R)<sup>2)</sup>と同等もしくはそれ以上となる照射線量としたときのコンクリートの変質
- (2) 貯蔵施設のコンクリート部で予想される線量率とし、温度上昇、水の浸入等の異常状態を想定した条件下でのコンクリートの変質および鉄筋の発錆
- (3) コンクリート強度の非破壊試験法としての超音波伝ば速度法の適用の試み

## 2. 実 験 方 法

### 2.1 コンクリート試験体の作成

(1) 使用材料

セメントは、赤穂第2工場製の普通ポルトランドセメントを使用した。粗骨材は、最大寸法が20 mmの茨城県岩瀬産の硬質砂岩系の碎石を、細骨材は鬼怒川産の川砂を使用した。混和剤は、AE剤としてヴィンソルを使用した。また、鉄筋の発錆試験用の鋼材は、JIS G 3108(みがき棒鋼用一般鋼材)およびJIS G 3121[みがき棒鋼(炭素鋼)]に規定する棒鋼SDG-3(直径13 mm, 長さ150 mm)を使用した。

(2) コンクリートの調合

日本建築学会、原子力発電所用鉄筋コンクリート工事(案)に記載されたコンクリートの品質および調合等の例を参考に、水セメント比50%, スランプ10 cm, 空気量4%とし、試し練りによって調合を決定した。コンクリートの調合を表1に示す。

(3) コンクリートの成形および養生

20℃、相対湿度（R. H.）90%の恒温恒湿室において各々の材料をミキサーに投入して2分間練り混ぜた後、JIS A 1132「コンクリート強度試験用供試体の作り方」に従ってコンクリートを成形した。中性化深さ発錆試験用供試体については、コンクリートのかぶり厚さが2 cm および3 cm となるように予め鉄筋を固定しておいた型枠にコンクリートを充填し、翌日脱型して、更にモルタルを充填し成形した。（図1参照）材令2日に脱型した供試体は、材令28日まで水中養生を行なった。なお、供試体はφ10×20 cmのシリンダーである。

## 2.2 照射条件及び貯蔵条件

材令28日まで水中養生した供試体を表2に示す6種類の環境下に貯蔵し、γ線照射期間を最大15ヶ月とした。細孔径分布測定用試料は線量率 $2.4 \times 10^6 \text{ R/hr}$ の位置で照射した。

ガンマ線の照射は、日本原子力研究所高崎研究所のコバルト照射室で実施した。照射線源は、ガンマ線照射を行う場合に通常使用されるコバルト60（試験開始時の放射能は249000キュリー）であり、図2に示すように線源と試験体との距離を変えることによって試験体の照射線量率を変化させた。すなわち、貯蔵条件ガンマ線照射（遠）+160℃加熱、およびガンマ線照射（遠）では、試験体を線源から約2 mの場所に設置して、照射線量率を $8 \times 10^4 \text{ R/h}$ のオーダーとし、一方、ガンマ線照射（近）では、試験体を線源から最も近い位置に設置して、 $2.4 \times 10^6 \text{ R/h}$ の照射線量率を得た。また、ガンマ線照射（遠）+160℃加熱は、ガンマ線照射と同時に160℃の定温加熱を行うものであるが、熱応力による試験体の劣化を防ぐため、昇降温速度が $10^\circ\text{C/h}$ 以下となるように温度制御が可能な恒温槽を照射室内に設置した。比較のために行なった160℃加熱の貯蔵条件でも、同様な恒温槽を用いて加熱を行った。（写真1、2参照）

試験開始前に測定した試験体表面の照射線量率、コバルト60線源の減衰（コバルト60の半減期は5.3年である）および照射時間を基に計算した照射線量を表3に示す。この表よりガンマ線照射（近）の貯蔵条件下の試験体は、9ヶ月照射の時点で貯蔵施設で推定される総照射線量（ $3 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{10} \text{ R}$ ）を越えた照射を行った。

## 2.3 試験項目および方法

### (1) 重量変化

精度1 gの台秤を用いて貯蔵前、および貯蔵終了後の供試体重量を測定し、重量変化率を求めた。

### (2) 圧縮強度

JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従って行った。

### (3) 静弾性係数

抵抗線ひずみゲージ（長さ60 mm、抵抗120 Ω）を円周方向2ヶ所に長さ方向に貼り付けてひずみを検出し、最大荷重の1/3に相当する応力度における割線弾性係数を求めた。

### (4) 動弾性係数

JIS A 1127「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法」に従って、縦振動により求めた。

### (5) パルス速度



供試体の長さ方向の両端面に超音波伝搬速度測定器（商品名、PUNDIT）の端子をあて、パルス速度を求めた。

#### (6) 中性化深さおよび鉄筋の発錆

中性化深さは、供試体を長さ方向に割裂し、その破断面に1%フェノールフタレインアルコール溶液を噴霧して、ノギスによって非変色域の深さを求めた。また、鉄筋の発錆は目視によって観察し、もし発錆が認められればスケッチして発錆面積率を求めることにした。

#### (7) 細孔径分布

水銀圧入法により、水セメント比55%のセメントペーストの細孔半径30Å~90μの細孔を測定した。

### 3. 結果および考察

#### (1) 重量変化率に及ぼす影響

各々の貯蔵条件下での試験体の重量変化の結果を図3に示す。いずれの試験体も、貯蔵3ヶ月までに重量の変化を大部分終了しており、水中環境下に貯蔵した試験体を除けば、すべて重量減少を示した。160℃加熱を行った供試体は、照射の有無にかかわらず貯蔵15ヶ月でともに約7%の重量減少率を示したのに対して、常温環境下の3種類の試験体においては、重量減少率の相違がみられた。すなわち、貯蔵15ヶ月での重量減少率は、それぞれ、気中養生試験体が2.89%、ガンマ線（遠）試験体が3.90%、ガンマ線（近）試験体が5.60%であった。常温環境下の3種類の重量減少率の相違からみると、ガンマ線照射の影響があるようであるが、常温下のガンマ線照射は、温度や湿度の管理を行っていないので、ガンマヒートによって試験体の温度は上昇しており、特にガンマ線（近）のコンクリート表面温度は50℃近くにまで達していた。したがって、前述したような重量減少率の差は、ガンマヒートによる温度上昇の影響が多分に寄与したため、ガンマ線そのものによる影響があるかどうかは判断しにくい。

#### (2) 圧縮強度、弾性係数、超音波伝播速度に及ぼす影響

各々の貯蔵条件下での試験体の圧縮強度比の結果を図4に示す。水中および常温下に貯蔵した供試体は、ガンマ線照射の有無にかかわらず、すべて強度増加を示し、気中養生試験体、ガンマ線（遠）試験体、ガンマ線（近）試験体の常温下の圧縮強度は、貯蔵9ヶ月および15ヶ月のいずれにおいてもほぼ等しい値となった。一方、加熱環境下の試験体は、どちらも貯蔵15ヶ月で約10%の強度減少を示した。これらの結果より、ガンマヒートによる影響を加味したとしても、ガンマ線照射が圧縮強度に及ぼす影響はほとんどないと言える。

図5は、各々の貯蔵条件下での動弾性係数比の結果を示したものである。水中環境下に貯蔵した試験体を除けば、いずれの試験体も動弾性係数比が減少しており、特に加熱環境下のコンクリートの動弾性係数は、基準値（材令23日の値）に比べ45~50%程度減少した。弾性係数は、温度や乾燥による影響に対して鋭敏であるが、このような傾向が加熱環境下の試験体ばかりでなく、常温下の3種類の試験体にも反映されたと思われる。

超音波伝播速度の測定結果を図6に示す。超音波伝播速度の結果は、圧縮強度の結果とほぼ同様に、水中環境、常温環境、加熱環境の3つのグループに大別でき、その各々のグループにおいては、伝播

供試体の長さ方向の両端面に超音波伝搬速度測定器（商品名、PUNDIT）の端子をあて、パルス速度を求めた。

#### (6) 中性化深さおよび鉄筋の発錆

中性化深さは、供試体を長さ方向に割裂し、その破断面に1%フェノールフタレインアルコール溶液を噴霧して、ノギスによって非変色域の深さを求めた。また、鉄筋の発錆は目視によって観察し、もし発錆が認められればスケッチして発錆面積率を求めることにした。

#### (7) 細孔径分布

水銀圧入法により、水セメント比55%のセメントペーストの細孔半径30Å~90μの細孔を測定した。

### 3. 結果および考察

#### (1) 重量変化率に及ぼす影響

各々の貯蔵条件下での試験体の重量変化の結果を図3に示す。いずれの試験体も、貯蔵3ヶ月までに重量の変化を大部分終了しており、水中環境下に貯蔵した試験体を除けば、すべて重量減少を示した。160℃加熱を行った供試体は、照射の有無にかかわらず貯蔵15ヶ月でともに約7%の重量減少率を示したのに対して、常温環境下の3種類の試験体においては、重量減少率の相違がみられた。すなわち、貯蔵15ヶ月での重量減少率は、それぞれ、気中養生試験体が2.89%、ガンマ線（遠）試験体が3.90%、ガンマ線（近）試験体が5.60%であった。常温環境下の3種類の重量減少率の相違からみると、ガンマ線照射の影響があるようであるが、常温下のガンマ線照射は、温度や湿度の管理を行っていないので、ガンマヒートによって試験体の温度は上昇しており、特にガンマ線（近）のコンクリート表面温度は50℃近くにまで達していた。したがって、前述したような重量減少率の差は、ガンマヒートによる温度上昇の影響が多分に寄与したため、ガンマ線そのものによる影響があるかどうかは判断しにくい。

#### (2) 圧縮強度、弾性係数、超音波伝播速度に及ぼす影響

各々の貯蔵条件下での試験体の圧縮強度比の結果を図4に示す。水中および常温下に貯蔵した供試体は、ガンマ線照射の有無にかかわらず、すべて強度増加を示し、気中養生試験体、ガンマ線（遠）試験体、ガンマ線（近）試験体の常温下の圧縮強度は、貯蔵9ヶ月および15ヶ月のいずれにおいてもほぼ等しい値となった。一方、加熱環境下の試験体は、どちらも貯蔵15ヶ月で約10%の強度減少を示した。これらの結果より、ガンマヒートによる影響を加味したとしても、ガンマ線照射が圧縮強度に及ぼす影響はほとんどないと言える。

図5は、各々の貯蔵条件下での動弾性係数比の結果を示したものである。水中環境下に貯蔵した試験体を除けば、いずれの試験体も動弾性係数比が減少しており、特に加熱環境下のコンクリートの動弾性係数は、基準値（材令23日の値）に比べ45~50%程度減少した。弾性係数は、温度や乾燥による影響に対して鋭敏であるが、このような傾向が加熱環境下の試験体ばかりでなく、常温下の3種類の試験体にも反映されたと思われる。

超音波伝播速度の測定結果を図6に示す。超音波伝播速度の結果は、圧縮強度の結果とほぼ同様に、水中環境、常温環境、加熱環境の3つのグループに大別でき、その各々のグループにおいては、伝播

速度の相違はほとんどみられない。すなわち、超音波伝播速度は、水中養生では7%程度増加するが、気中養生、ガンマ線照射（遠）、ガンマ線照射（近）の常温環境では10%弱減少し、ガンマ線照射（遠）+160℃加熱、160℃加熱の加熱環境では20%程度減少した。常温および加熱環境下の照射、非照射コンクリートの比較に基づけば、ガンマ線照射が超音波伝播速度に及ぼす影響はほとんどないと言える。

超音波伝播速度と動弾性係数との関係を図7に示す。回帰分析より求めた両者の関係式は、 $E_d = 0.083 \times \left(\frac{V_p}{10^5}\right)^{2.521} \times 10^5$ ,  $r = 0.971$  ( $E_d$ :動弾性係数 kg/cm<sup>2</sup>,  $V_p$ :パルス速度 cm/sec)であり、これは BS 4408に記載されている経験値より求めた曲線、および一般関係式（図7の曲線3は $\nu = 1/6$ としたもの）の曲線よりも下側に位置する結果となった。また、本実験において得られた超音波伝播速度と圧縮強度の関係は図8に示すとおりである。

### (3) 中性化および鉄筋の発錆に及ぼす影響

貯蔵条件がコンクリートの中性化深さに及ぼす影響を図9に示す。水中浸漬したコンクリートは、ガンマ線の有無に関係なく中性化が全く進行しないことがわかる。また、160℃の加熱環境下のコンクリートも、ガンマ線照射に関係なく、中性化の進行が極めて遅いことがわかる。中性化は、セメントの水和過程において生成される水酸化カルシウムが、水分の存在の下で大気中の二酸化炭素と反応し、炭酸カルシウムを生成することを意味するが、水中浸漬したコンクリートにおいては、二酸化炭素の浸入が少ない為に中性化が全く進行しなかったと思われる。加熱環境下のコンクリートは、貯蔵後早期に evaporable water が逸散する為、中性化に必要な水分が存在せず、中性化の進行が極めて遅かったと思われる。言い換えると、加熱環境下のコンクリートは、evaporable water の供給がない限り、中性化が進行しづらい状態にあると言える。

また、中性化の進行速度は、二酸化炭素濃度のみならず、貯蔵雰囲気相対湿度にも関係している。20℃、R. H. 60%の気中養生したコンクリートの中性化深さが大きかったのは、中性化の進行速度が最も速いと言われている相対湿度に近い相対湿度であったことや、室内貯蔵のため二酸化炭素濃度が室外に比べて高かったためであろう。

写真3～9に、中性化深さと鉄筋の状態を示す。写真からもわかるように、いずれのコンクリートにおいても鉄筋表面に錆は認められなかった。これは、いずれもコンクリートの中性化深さが鉄筋のかぶり厚さ（20及び30mm）より小さかったことも原因していると思われる。

### (4) ペーストの細孔径分布に及ぼす影響

図10は、15ヶ月間の貯蔵を終えた水セメント比55%のセメントペーストの細孔径分布図である。ガンマ線照射下のセメントペースト（左図）および気中養生のそれ（右図）の細孔は、いずれの細孔径においてもほぼ同様な分布状態を示しており、また全細孔量における相違もほとんどない。

## 4. ま と め

照射総線量を貯蔵施設で予想される総線量まで増し、物性値の変化を調べたところ、圧縮強度、動弾性係数とも $\gamma$ 線照射による影響は認められなかった。重量変化についてはわずかな減少が認められた。その原因としては $\gamma$ 線照射による温度の上昇（約50℃）が考えられる。

貯蔵施設で予想される線量率下での160℃までの温度上昇による物性値への影響を調べたところ、

速度の相違はほとんどみられない。すなわち、超音波伝播速度は、水中養生では7%程度増加するが、気中養生、ガンマ線照射（遠）、ガンマ線照射（近）の常温環境では10%弱減少し、ガンマ線照射（遠）+160℃加熱、160℃加熱の加熱環境では20%程度減少した。常温および加熱環境下の照射、非照射コンクリートの比較に基づけば、ガンマ線照射が超音波伝播速度に及ぼす影響はほとんどないと言える。

超音波伝播速度と動弾性係数との関係を図7に示す。回帰分析より求めた両者の関係式は、 $E_d = 0.083 \times \left(\frac{V_p}{10^5}\right)^{2.521} \times 10^5$ ,  $r = 0.971$  ( $E_d$ :動弾性係数 kg/cm<sup>2</sup>,  $V_p$ :パルス速度 cm/sec)であり、これは BS 4408に記載されている経験値より求めた曲線、および一般関係式（図7の曲線3は $\nu = 1/6$ としたもの）の曲線よりも下側に位置する結果となった。また、本実験において得られた超音波伝播速度と圧縮強度の関係は図8に示すとおりである。

### (3) 中性化および鉄筋の発錆に及ぼす影響

貯蔵条件がコンクリートの中性化深さに及ぼす影響を図9に示す。水中浸漬したコンクリートは、ガンマ線の有無に関係なく中性化が全く進行しないことがわかる。また、160℃の加熱環境下のコンクリートも、ガンマ線照射に関係なく、中性化の進行が極めて遅いことがわかる。中性化は、セメントの水和過程において生成される水酸化カルシウムが、水分の存在の下で大気中の二酸化炭素と反応し、炭酸カルシウムを生成することを意味するが、水中浸漬したコンクリートにおいては、二酸化炭素の浸入が少ない為に中性化が全く進行しなかったと思われる。加熱環境下のコンクリートは、貯蔵後早期に evaporable water が逸散する為、中性化に必要な水分が存在せず、中性化の進行が極めて遅かったと思われる。言い換えると、加熱環境下のコンクリートは、evaporable water の供給がない限り、中性化が進行しづらい状態にあると言える。

また、中性化の進行速度は、二酸化炭素濃度のみならず、貯蔵雰囲気相対湿度にも関係している。20℃、R. H. 60%の気中養生したコンクリートの中性化深さが大きかったのは、中性化の進行速度が最も速いと言われている相対湿度に近い相対湿度であったことや、室内貯蔵のため二酸化炭素濃度が室外に比べて高かったためであろう。

写真3～9に、中性化深さと鉄筋の状態を示す。写真からもわかるように、いずれのコンクリートにおいても鉄筋表面に錆は認められなかった。これは、いずれもコンクリートの中性化深さが鉄筋のかぶり厚さ（20及び30mm）より小さかったことも原因していると思われる。

### (4) ペーストの細孔径分布に及ぼす影響

図10は、15ヶ月間の貯蔵を終えた水セメント比55%のセメントペーストの細孔径分布図である。ガンマ線照射下のセメントペースト（左図）および気中養生のそれ（右図）の細孔は、いずれの細孔径においてもほぼ同様な分布状態を示しており、また全細孔量における相違もほとんどない。

## 4. ま と め

照射総線量を貯蔵施設で予想される総線量まで増し、物性値の変化を調べたところ、圧縮強度、動弾性係数とも $\gamma$ 線照射による影響は認められなかった。重量変化についてはわずかな減少が認められた。その原因としては $\gamma$ 線照射による温度の上昇（約50℃）が考えられる。

貯蔵施設で予想される線量率下での160℃までの温度上昇による物性値への影響を調べたところ、

温度の上昇のみによる物性値の劣化は認められたが、 $\gamma$ 線照射による相乗効果は認められなかった。

また、湿潤コンクリートの場合、 $\gamma$ 線照射による水の放射線分解生成物の鉄筋の腐食への影響は認められなかった。また、水中に浸漬した場合の方が中性化が進行しないことがわかった。

非破壊による強度試験を行う方法として、超音波伝播速度を測定する方法を検討し、動弾性係数および圧縮強度との関係を得ることができ、非破壊測定法として活用できる見通しを得た。

## 参 考 文 献

- 1) Jacger, R. G. ; Engineering Compendium on Radiation Shielding , Shielding Materials , Vol. 2 , 1975.
- 2) 村岡 進, 村瀬欣伸, 山田 尚, 他 ; 放射線 ( $\gamma$ 線) 照射によるコンクリートの挙動に関する研究, JAERI-M 83-004, 1983年2月.
- 3) 中村治人, 山田清承, 村瀬欣伸, 他 ;  $\gamma$ 線照射がコンクリートの諸物性に及ぼす影響に関する研究, セメント技術大会梗概集, 1983.

温度の上昇のみによる物性値の劣化は認められたが、 $\gamma$ 線照射による相乗効果は認められなかった。

また、湿潤コンクリートの場合、 $\gamma$ 線照射による水の放射線分解生成物の鉄筋の腐食への影響は認められなかった。また、水中に浸漬した場合の方が中性化が進行しないことがわかった。

非破壊による強度試験を行う方法として、超音波伝播速度を測定する方法を検討し、動弾性係数および圧縮強度との関係を得ることができ、非破壊測定法として活用できる見通しを得た。

## 参 考 文 献

- 1) Jacger, R. G. ; Engineering Compendium on Radiation Shielding , Shielding Materials , Vol. 2, 1975.
- 2) 村岡 進, 村瀬欣伸, 山田 尚, 他 ; 放射線 ( $\gamma$ 線) 照射によるコンクリートの挙動に関する研究, JAERI-M 83-004, 1983年2月.
- 3) 中村治人, 山田清承, 村瀬欣伸, 他 ;  $\gamma$ 線照射がコンクリートの諸物性に及ぼす影響に関する研究, セメント技術大会梗概集, 1983.

表1 コンクリート配合

|               |              |              |            |                       |      |     |           |
|---------------|--------------|--------------|------------|-----------------------|------|-----|-----------|
| スランプの<br>範囲 % | 空気量の<br>範囲 % | 水セメント<br>比 % | 細骨材<br>率 % | 単用量 kg/m <sup>3</sup> |      |     | ガイ<br>ソル* |
|               |              |              |            | 水                     | セメント | 細骨材 |           |
| 1.0±1         | 4±0.5        | 55.0         | 44.0       | 175                   | 318  | 783 | 1012      |
|               |              |              |            |                       |      |     | 111       |

\* g/cc

表2 試験体の貯蔵環境

| 番号 | 図中の略称                   | 環境条件の詳細   |    | 試料個数と照射時間 (強度用)   |                   | 試料個数と照射時間 (結用)    |                   |
|----|-------------------------|---|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|    |                         | 高温  | 常温 | 2ケ (4848h, 8432h) | 2ケ (4848h, 8432h) | 2ケ (4848h, 8432h) | 2ケ (4848h, 8432h) |
| 1  | ガンマ線照射 (遠)<br>+ 160°C加熱 | 160°Cの高温下で8.4×10 <sup>4</sup> R/h<br>の低い照射線量を受ける気中環境。 |    | 2ケ (4848h, 8432h) |                   | 2ケ (4848h, 8432h) |                   |
| 2  | ガンマ線照射 (遠)              | 常温下で8.3×10 <sup>4</sup> R/hの低い<br>照射線量率を受ける気中環境。      |    | 2ケ (4848h, 8432h) |                   | 2ケ (4848h, 8432h) |                   |
| 3  | ガンマ線照射 (近)              | 常温下で2.4×10 <sup>6</sup> R/hの高い<br>照射線量率を受ける気中環境。      |    | 2ケ (4848h, 8432h) |                   | —                 |                   |
| 4  | 160°C加熱                 |   |    | 3ケ                |                   | 2ケ                |                   |
| 5  | 気中養生                    |   |    | 3ケ                |                   | 2ケ                |                   |
| 6  | 水中環境                    |   |    | 3ケ                |                   | 2ケ                |                   |

表3 各貯蔵条件の照射環境

| 貯蔵条件                    | 各貯蔵期間 (月) での照射線量 (R) |                     |                      |                      |
|-------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|                         | 3ヶ月                  | 6ヶ月                 | 9ヶ月                  | 15ヶ月                 |
| ガンマ線照射 (遠)<br>+ 160°C加熱 | 1.3×10 <sup>8</sup>  | 2.5×10 <sup>8</sup> | 3.9×10 <sup>8</sup>  | 6.5×10 <sup>8</sup>  |
| ガンマ線照射 (遠)              | 1.3×10 <sup>8</sup>  | 2.5×10 <sup>8</sup> | 3.8×10 <sup>8</sup>  | 6.5×10 <sup>8</sup>  |
| ガンマ線照射 (近)              | 3.6×10 <sup>9</sup>  | 7.3×10 <sup>9</sup> | 1.1×10 <sup>10</sup> | 1.9×10 <sup>10</sup> |

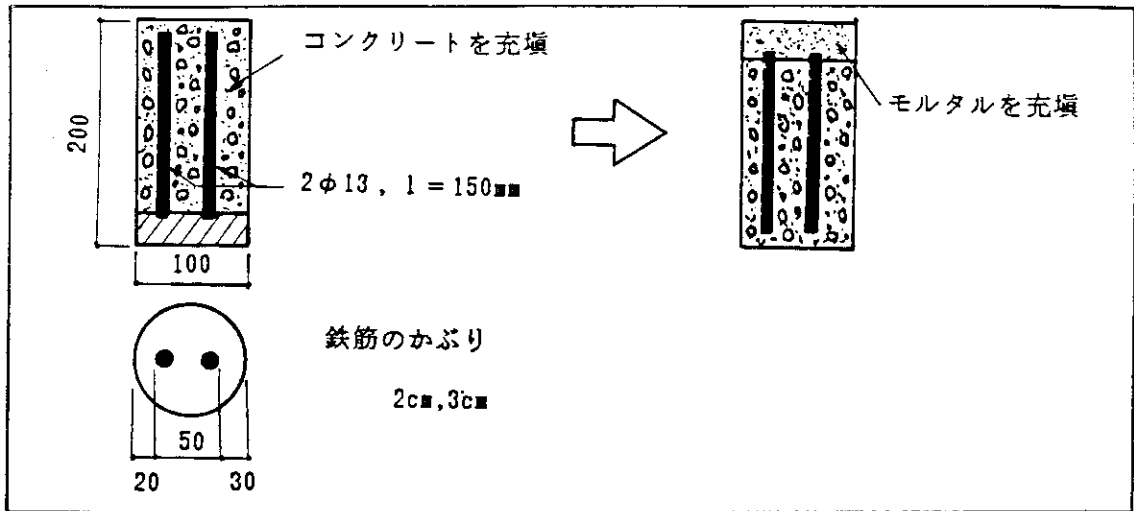


図1 中性化深さ・発錆試験用供試体の作製方法

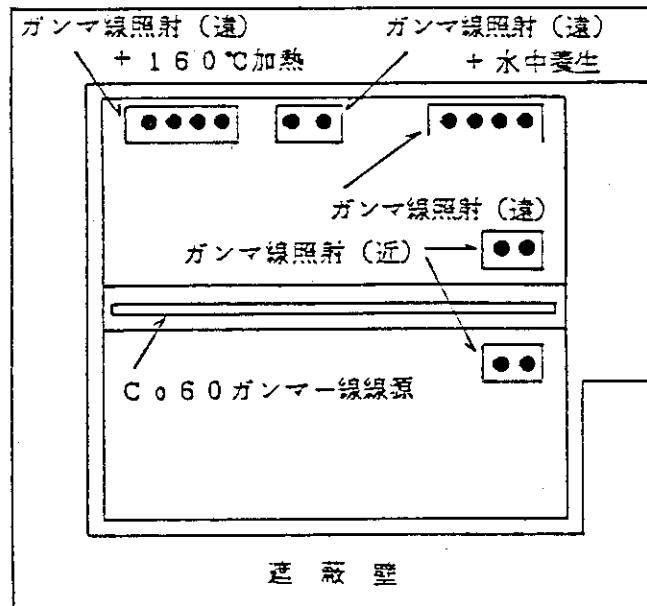


図2 照射室内での試験配置状況



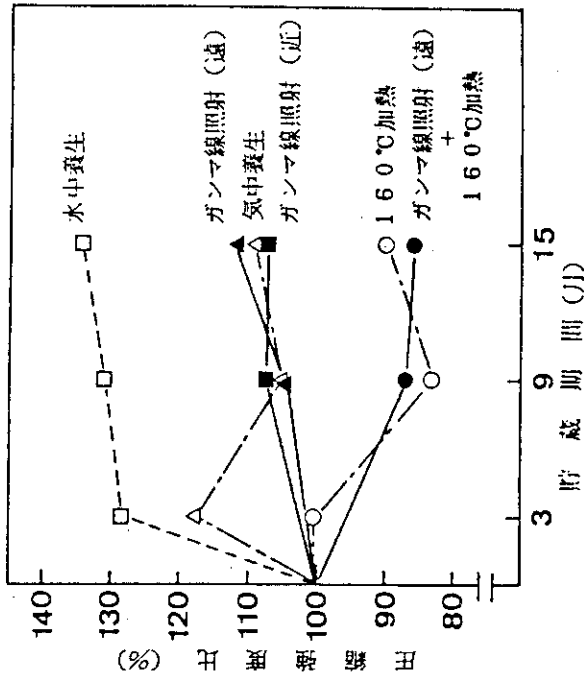


図4 貯蔵条件が圧縮強度に及ぼす影響

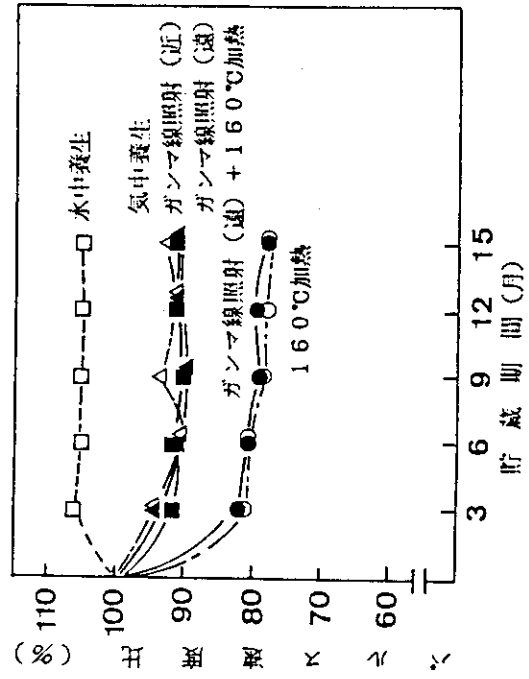


図6 貯蔵条件がパルス速度に及ぼす影響

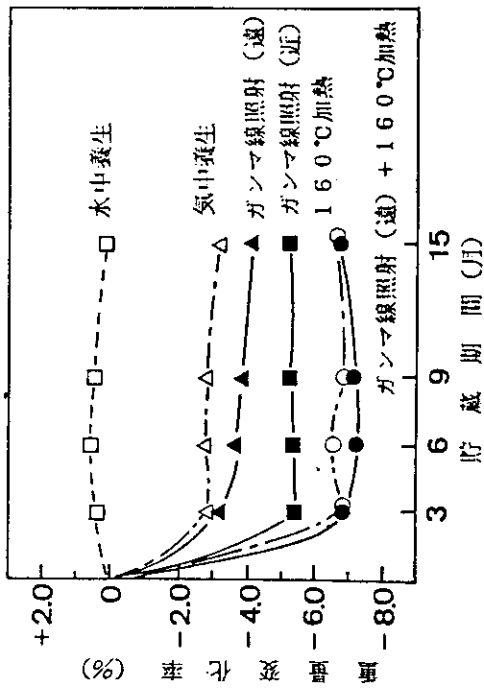


図3 貯蔵条件が重量変化に及ぼす影響

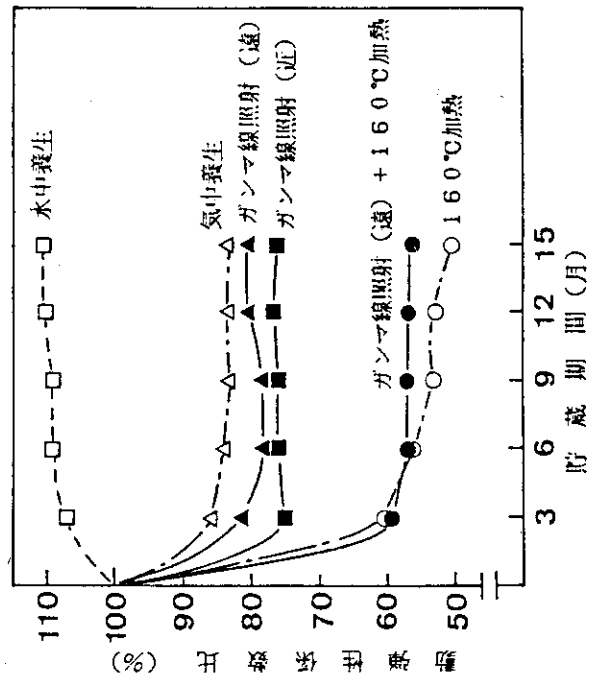


図5 貯蔵条件が動弾性に及ぼす影響

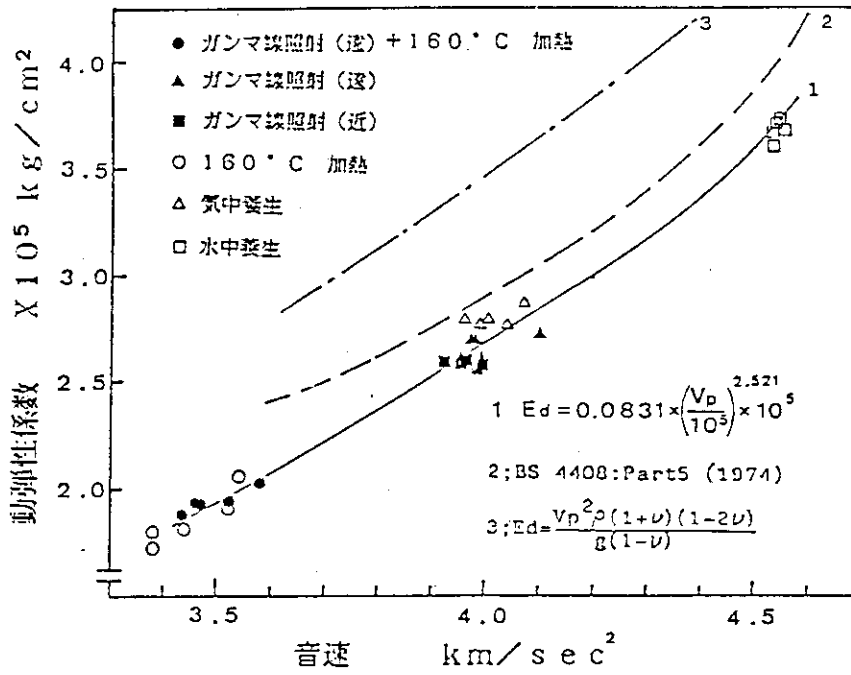


図7 超音波伝播速度と動弾性係数との関係

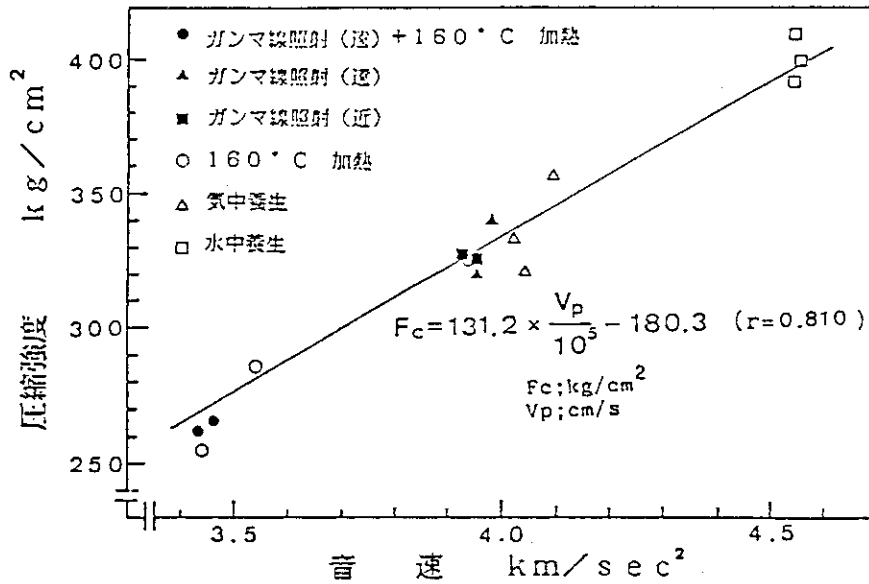


図8 超音波伝播速度と圧縮強度との関係

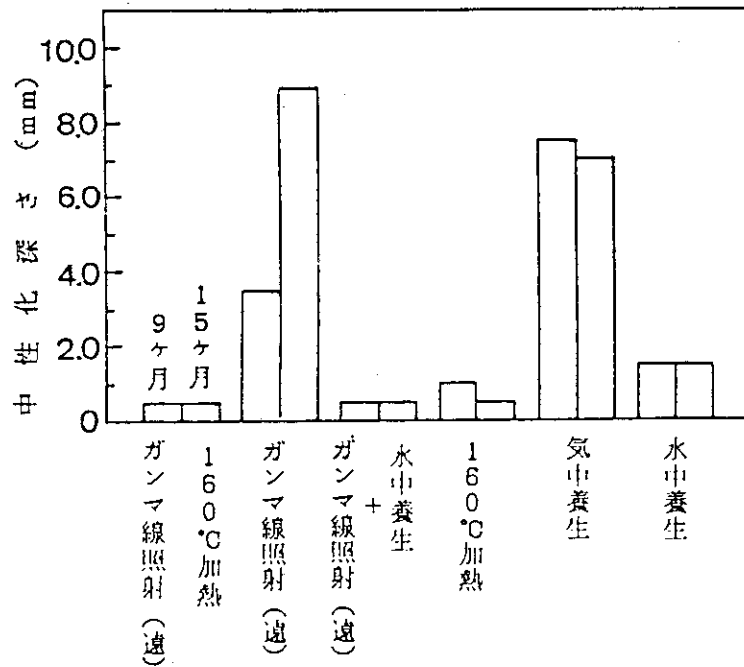


図9 貯蔵環境と中性化深さの関係

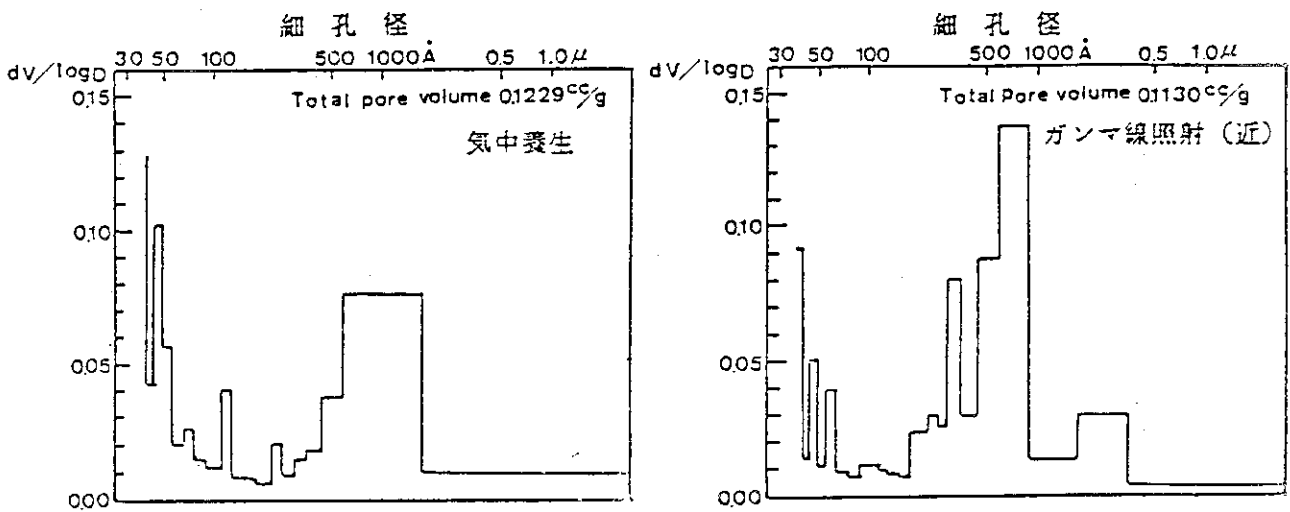


図10 ペーストの細孔径分布測定結果

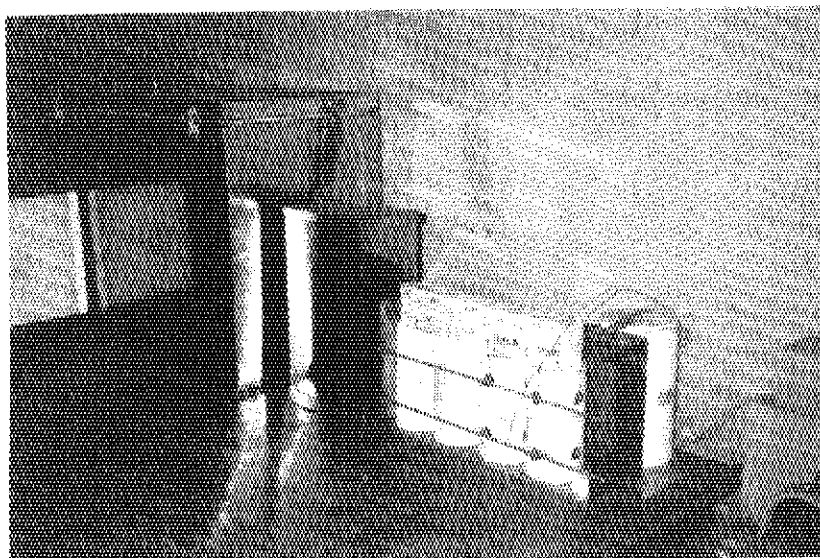


写真 1

$\gamma$ 線照射室における供試体の設置状況

(線源から遠い位置のもの)  
で、図2の1

左側のステンレス槽が恒温ボックス、中央が水中でげ中性化深さ・発錆試験槽右側が常温 $\gamma$ 線照射用供試体である。

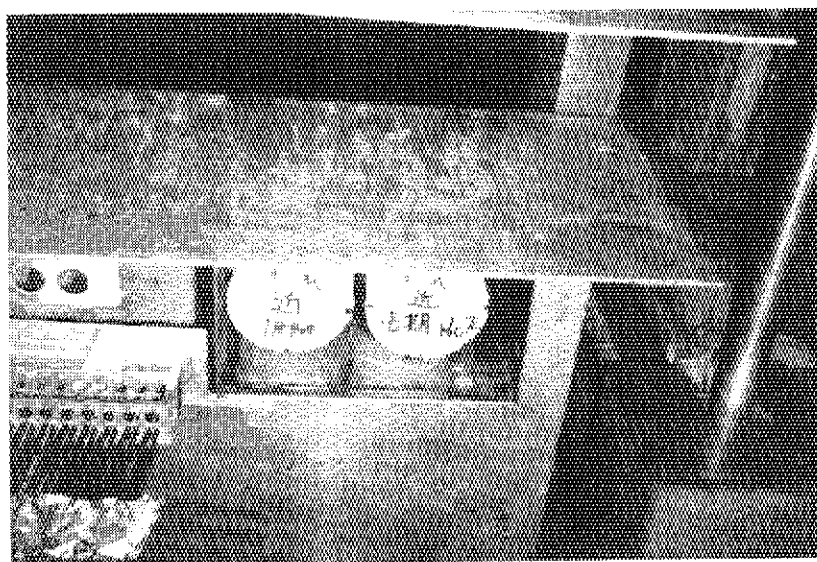


写真 2

$\gamma$ 線照射室における供試体の設置状況

(線源に近い位置のもの)  
図2のII

手前に見えるステンレスの両板の間から線源が上昇し、照射する、線源の $^{60}\text{Co}$ は、非照射時には水中下にある。



写真 3

ガンマ線照射 (遠) +  
160℃加熱

{ 中性化深さ 0.5 mm  
発錆なし



写真 4

ガンマ線照射 (遠)

{ 中性化深さ 3.5 mm  
発錆なし



写真 5

水中ガンマ線照射

{ 中性化深さ 0 mm  
発錆なし



写真 6

160°C加熱

{ 中性化深さ 1.0 mm  
発錆なし



写真 7

20°C, R.H 60%の気中養生

{ 中性化深さ 7.5 mm  
発錆なし

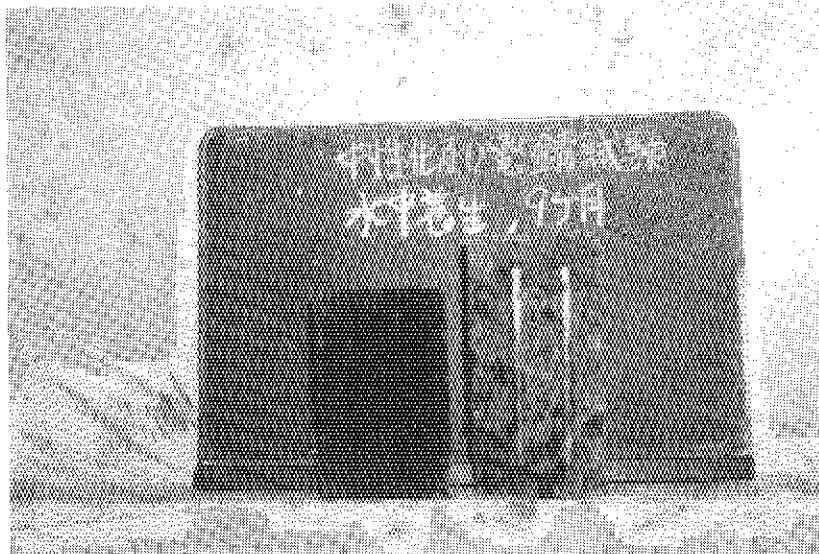


写真 8

20°C水中養生

{ 中性化深さ 7.5 mm  
発錆なし