

## 高精度平坦床面用エポキシ系セルフレベルリング材料の耐放射線テスト

### A RADIATION TEST OF EPOXY SELF-LEVELING MATERIALS FOR HIGH PRECISION FLAT FLOOR SURFACE

木村洋昭<sup>#, A,B)</sup>, 糸賀俊郎<sup>A)</sup>, 木内淳<sup>C)</sup>, 甲斐智也<sup>C)</sup>, 安積則義<sup>A)</sup>,  
堀川恵巳子<sup>D)</sup>, 谷口晋二郎<sup>D)</sup>, 大井川圭介<sup>D)</sup>  
Hiroaki Kimura<sup>#, A,B)</sup>, Toshiro Itoga<sup>A)</sup>, Jun Kiuchi<sup>C)</sup>, Tomoya Kai<sup>C)</sup>, Noriyoshi Azumi<sup>A)</sup>,  
Emiko Horikawa<sup>D)</sup>, Shinjiro Taniguchi<sup>D)</sup>, Keisuke Oigawa<sup>D)</sup>

<sup>A)</sup> XFEL/RIKEN

<sup>B)</sup> Japan Synchrotron Radiation Institute

<sup>C)</sup> SPring-8 Service Co., Ltd

<sup>D)</sup> ALPHA KOGYO K.K.

#### Abstract

We have developed a high precision flat surface floor for improvement of vibration characteristics of girders for accelerator component. The floor was made with epoxy resins (AT150, AT830, ALPHAKOGYO K.K.) by self-leveling method. We have carried out a radiation test of the materials. A radiation source was <sup>60</sup>Co, and irradiation doses were 100kGy, 1MGy and 10MGy. After the irradiation, compressive strength test (all), compressive shear strength test (100kGy, 1MGy) and tensile shear strength test (100kGy, 1MGy) were performed. At the result, all test pieces have had strengths over the specified value.

#### 1. はじめに

我々はこれまで、加速器装置の床面として高精度平坦床面の開発・研究を行ってきた。その最初の目的は、圧搾空気により数十  $\mu\text{m}$  浮上させた精密位置決め用エアパッドを用いて水平方向に重量物を自由にアライメントすることであった<sup>[1]</sup>。このシステムは、SACLA の重さ数 t のクライストロンタンクや精密石定盤の脚部に使用された。

もう一つの目的は、床面に固定する架台の振動特性の改善である。一般に、通常のコンクリート面に隙間をシム等で塞いで架台を固定するが、シムがバネのようになってしまうので、軽量の架台に関してこれは良い固定方法とは言えない。この高精度平坦床面部に加速器装置架台の底面を密着させて接触面積を増やした状態で固定すると、振動特性が大幅に良くなる。SACLA の C バンド加速管部は架台床面をすべて平坦面にする事で良好な振動特性を得ている。

当初我々は、ダイヤモンドホイールを使った装置によりコンクリート床面を機械的に研削することで平坦面を製作していた<sup>[2]</sup>。しかし、この工法は研削中に大量の粉塵が出るなど短所も多い。

現在は、セルフレベルリング工法を採用している。これは固化前の液体状態時に粘性の低い材料を用いることで、重力により水平で平坦な面を製作する工法である。このセルフレベルリング材料としてアルファ工業社のアルファテック (AT) 150 を我々は使用している。AT150 は、高低差 2mm 以下のコンクリート面に打設すると、50 $\mu\text{m}/\text{m}$  以下の平坦性を持

つ床面が得られる<sup>[3]</sup>。この材料の硬化後の圧縮弾性率は 1700N/mm<sup>2</sup> で、一般コンクリートの約 26000N/mm<sup>2</sup> に比べて小さいが、ゴムのようなダンピング機能があり振動の減衰が早い。この床面に設置した架台は、研削したコンクリート平坦面に設置した架台よりも良好な振動特性を示した<sup>[4]</sup>。

今回はこのセルフレベルリング材料の $\gamma$ 線に対する耐放射線性のテストを行った。SACLA の収納部内 (ビームダンプ部は除く) において最も $\gamma$ 線線量が高いのは入射部で、ビーム軸から 50cm の地点での線量率は 0.5Gy/h 程度であった。年間運転時間を 7000 時間とすると 20 年での被曝線量は 70kGy と見積もられる。しかし、今後線量の高いエリアでのこの床剤の利用も考慮し、最大照射線量は 10MGy とした。照射後の試料の変化を調べる試験として、圧縮強度試験、圧縮剪断接着強度試験、引張剪断接着強度試験を行った。

#### 2. エポキシ系セルフレベルリング材料について

今回の照射テストでは、アルファ工業社の多数のエポキシ系樹脂床材料に関して行ったが、この報告では、セルフレベルリング材料である AT150 と、下地コンクリート面の大きな高低差を修正するために樹脂モルタルとして使用する AT830 についてだけ報告する。

AT150 は変成エポキシ樹脂を主成分とする主剤と、変性脂肪族ポリアミンを主成分とする硬化剤を、重量比 100:45 で現場において混合攪拌して打設する。硬化養生には 1 週間を要する。AT150 を打設した高

<sup>#</sup> kimura@spring8.or.jp

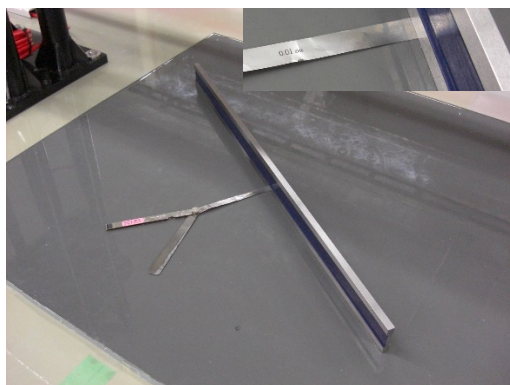


Figure 1: High precision flat floor casted by AT150.

精度平坦床面の写真を Figure 1 に示す。打設厚さは 6mm 程度である。硬化養生後の表面は非常に平坦で、表面に置いたストレートレールとの隙間は 0.01mm 以下である。

樹脂モルタル剤の AT830 も同じく変成エポキシ樹脂を主成分とする主剤と、変性脂肪族ポリアミンを主成分とする硬化剤を、重量比 100:16 で混合するが、その混合剤にフィラーとして重量比 1:2.6 で微粉末骨材を混ぜている。

### 3. 物性試験項目

照射後の物性試験として 3 種類の物性試験を行うこととした。試験機は 3 つの試験とも島津オートグラフ AG-100kNG を使用して行った。各試験の試験体は 3 個ずつ用意した。

#### 3.1 圧縮強度試験

「JIS K 7208:プラスチックの圧縮試験方法」に従って試験を行った。約  $15 \times 15 \times 43 \text{ mm}^3$  の試験体を室温 20°C で作成し、硬化養生後、放射線照射を行った。照射後の試験体に試験機にて速度 1.5mm/min で加重を加え、圧縮強度を測定した。(Figure 2 参照)

#### 3.2 圧縮剪断接着強度試験

「JIS K 6852:接着剤の圧縮剪断接着強さ試験方法」に従って試験を行った。約  $25 \times 30 \times 8 \text{ mm}^3$  のセメントモルタルを各試験材料により Figure 3 のように室温 20°C において、5mm ずらして貼り合わせ、硬化養生後放射線照射を行った。照射後の試験体に試験機で速度 1.5mm/min で加重を加え、圧縮剪断接着強度を測定した。

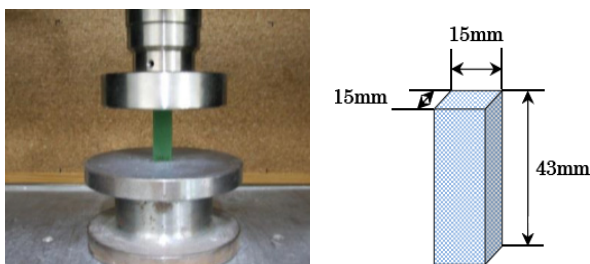


Figure 2: Compressive strength test and its sample.

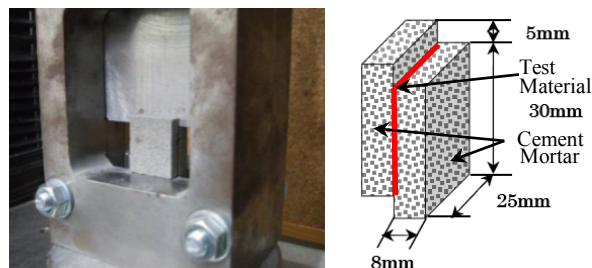


Figure 3: Compressive shear bonding strength test and its sample.

この圧縮剪断接着強度試験サンプルの形状では、試験材料が塗布されている接着部が、厚さ 8mm のセメントモルタルで遮蔽される事になるが、その場合  $^{60}\text{Co}$  からの  $\gamma$  線に対する透過の割合は 0.90 である。

#### 3.3 引張剪断接着強度試験

「JIS K 6850:接着剤の剛性被着材の引張剪断接着強さ試験方法」に従って試験を行った。約  $1.6 \times 25 \times 100 \text{ mm}^3$  の鋼材(JIS G3131 SPHC)を各試験材料により Figure 4 のように室温 20°C において貼り合わせ、硬化養生後放射線照射を行った。照射後の試験体に試験機で速度 5.0mm/min で加重を加え、引張剪断接着強度を測定した。

この引張剪断接着強度試験サンプルの 1.6mm の鋼材による  $\gamma$  線の透過計数は 0.93 である。

### 4. $^{60}\text{Co}$ $\gamma$ 線照射

$^{60}\text{Co}$  による  $\gamma$  線照射はコーガアイソトープ[5]で行った。照射した線量は 100kGy、1MGy、10MGy である。最終的な照射線量は較正された線量計を用いて測定した。また、本試験では線量率の効果は考慮しないものとした。

100kGy 及び 1MGy の照射は試験体を入れたコンテナボックスを、非照射エリアから線源の周囲を回って戻ってくる定速のベルトコンベアーに載せて行った。その為、線量率は一定ではないが平均で約 10Gy/h である。照射前の全照射サンプルの写真を Figure 5 に示す。最終的に照射された線量の平均は、サンプル表面で 112kGy と 1.05MGy で、サンプル間

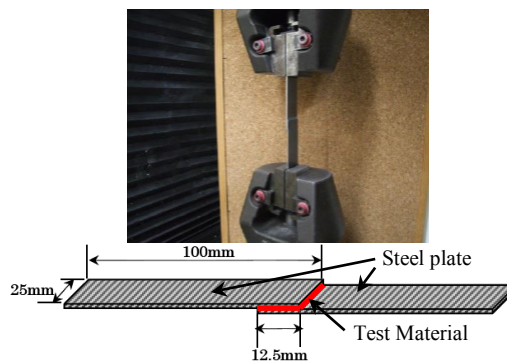


Figure 4: Tensile shear bonding strength test and its sample.

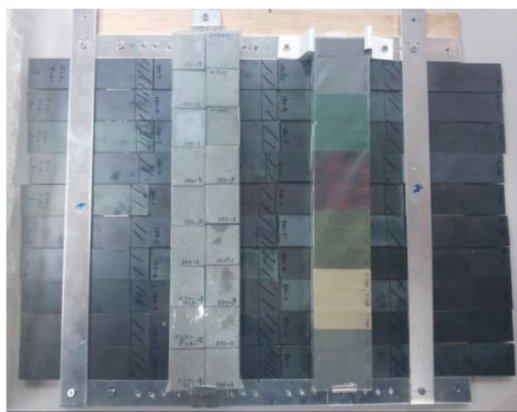


Figure 5: All test pieces before irradiation.

でのばらつきは 10%未満であった。

10MGy の場合は照射時間を短縮するために、線源の近くに試験体を設置して行った。そのため他の被照射体への影響がない、圧縮強度試験の試験体のみでの照射となった。この時の線量率は 22kGy/h と見積もられる。最終的なサンプル表面での照射線量は平均 10.9MGy で、サンプル間でのばらつきは 10%未満であった。

## 5. 結果と考察

### 5.1 100kGy, 1MGy 照射結果

照射により試験材料の若干の変色が見られた。AT150 圧縮強度試験体と圧縮剪断接着強度試験体の照射前・照射後・強度試験後の写真を Figure 6,7 に示す。色の变化については、芳香族化合物を主成分としたエポキシ樹脂硬化材料はγ線のよう高いエネルギーを持った放射線の照射を受けると、分子内に二重結合や遊離ラジカルを生成し変色するが、変色と機械的な強度の低下が必ずしも関連しないことが知られている。

それぞれの線量での照射後の 3 つの物性試験の結果を Table 1, 2 に示す。規定値は製造元のアルファ工業社の規定値である。圧縮強度試験と引張剪断接着強度試験に関しては、規定値以上の強度結果が得

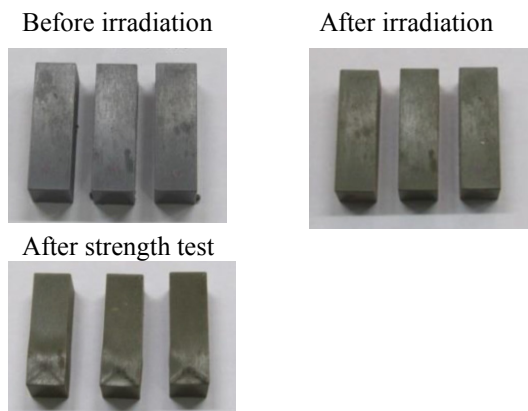


Figure 6: Test pieces of Compressive strength test of AT150-1MGy.

られた。圧縮剪断接着試験に関しては、モルタル破壊になる強度まで有することが確認された。両方のサンプルとも、2 つの照射条件に関して、既定値を下回る性能劣下は見られなかった。

### 5.2 10MGy 照射結果

照射後の圧縮強度試験体の色は、元の灰色から茶褐色に変色した。照射後の圧縮強度試験の結果を Table 3 に示す。AT830 に関しては、規定値以上ではあるが若干の強度の減少が見られた。AT150 に関してはむしろ強度が増しており、養生期間が異なるので一概に比較できないが、1MGy・10MGy の結果も合わせると、照射線量が増えるほど強度が上がっている点は興味深い。

耐放射線性についてエポキシ樹脂では、硬化剤に芳香族アミンを使用した物が適していることが知られており、AT150 の硬化剤成分は約 40%の芳香族アミンを含有している。この照射線量が増すことで強度が高くなっている結果については、一般に芳香族アミンは反応性が低く、γ線照射で架橋反応が増し、強度が増加した(放射線硬化)と推測される。

尚、高精度平坦面の床材料として懸念される形状変化については、圧縮強度試験体作成用の金型を基準として長手方向の長さの変化を計測すると、AT150 に関しては変化なし(0.1%以下)、AT830 に関しては 1%の膨張があった。

## 4. おわりに

高精度平坦樹脂床とその下地樹脂モルタルに使用する AT150 と AT830 に関して、1MGy までのγ線照射試験の結果、圧縮強度・接着強度の変化はなく問題ない事がわかった。10MGy 照射の圧縮強度に関しては劣下してない事が確認された。

同時に行われた他のエポキシ床剤の試験結果に関しては、アルファ工業社技術資料[6,7,8]に掲載されている。

最後に、照射実験に協力して頂いたコーガイソトープ社の成末泰岳氏には大変感謝いたします。

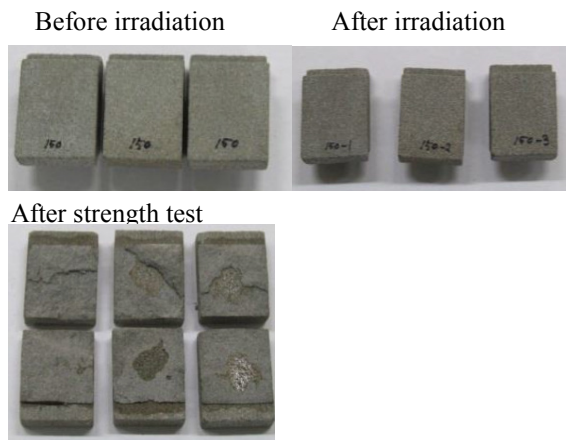


Figure 7: Test pieces of Compressive shear bonding strength test of AT150-1MGy.



Table 1: Result of Radiation Test of 100kGy

試験体:AT150		計測値(N/mm <sup>2</sup> )		規定値 (N/mm <sup>2</sup> )
試験項目	#	値	平均	
圧縮強度 試験	1	88.9	89	55
	2	89.2		
	3	90.3		
圧縮剪断接着 強度試験	1	10.1MF	11.2 MF	10MF
	2	11.0MF		
	3	12.4MF		
引張剪断強度 試験	1	15.2COF	15.2 COF	15COF
	2	15.1COF		
	3	15.3COF		
試験体:AT830		計測値(N/mm <sup>2</sup> )		規定値 (N/mm <sup>2</sup> )
試験項目	#	値	平均	
圧縮強度 試験	1	129	130	100
	2	129		
	3	131		
圧縮剪断接着 強度試験	1	11.5MF	11.2 MF	-
	2	10.2MF		
	3	12.0MF		
引張剪断接着 強度試験	1	16.0COF	16.0 COF	15COF
	2	16.2COF		
	3	15.7COF		

\*MF:セメントモルタル破壊 \*COF:接着剤破壊

Table 2: Result of Radiation Test of 1MGy

試験体:AT150		計測値(N/mm <sup>2</sup> )		規定値 (N/mm <sup>2</sup> )
試験項目	#	値	平均	
圧縮強度 試験	1	94.8	93.4	55
	2	93.2		
	3	92.3		
圧縮剪断接着 強度試験	1	10.5MF	10.3 MF	10MF
	2	10.1MF		
	3	10.2MF		
引張剪断接着強 度試験	1	14.9COF	14.4 COF	15COF
	2	13.2COF		
	3	15.1COF		
試験体:AT830		計測値(N/mm <sup>2</sup> )		規定値 (N/mm <sup>2</sup> )
試験項目	#	値	平均	
圧縮強度 試験	1	126	124	100
	2	122		
	3	124		
圧縮剪断接着 強度試験	1	8.9MF	9.1 MF	-
	2	9.1MF		
	3	9.2MF		
引張剪断接着 強度試験	1	21.3COF	21.5 COF	15COF
	2	22.5COF		
	3	20.6COF		

\*MF:セメントモルタル破壊 \*COF:接着剤破壊

Table 3: Result of Radiation Test of 10MGy

試験体:AT150		計測値(N/mm <sup>2</sup> )		規定値 (N/mm <sup>2</sup> )
試験項目	#	値	平均	
圧縮強度 試験	1	117	128	55
	2	134		
	3	134		
試験体:AT830				
圧縮強度 試験	1	100	109	100
	2	109		
	3	118		

## 参考文献

- [1] K. Togawa, et al., “重量物の精密位置決め用エアパッド開発”, 本学会2005年報告集, p406.
- [2] T. Shintake, et al., “床面研削装置の開発”, 本学会2005年報告集, p202.
- [3] H. Kimura, et al., “セルフレベルング工法による高精度平坦床面の製作”, 本学会2011年報告集, p779.
- [4] H. Kimura, et al., “エポキシ樹脂による高精度平坦床面の評価”, 本学会2012年報告集, p814.
- [4] <http://www.alpha-kogyo.com/>
- [5] <http://www.koga-isotope.co.jp/>
- [6] アルファ工業社技術資料、“放射線照射(100kGy)に対するエポキシ樹脂製品の耐久試験報告書”、“放射線照射(1MGy)に対するエポキシ樹脂製品の耐久試験報告書”、“放射線照射(10MGy)に対するエポキシ樹脂製品の耐久試験報告書”。