

空間線量計を用いた岩石の放射線量の簡易測定法と骨材の放射線評価

EASY MEASUREMENT METHOD OF THE RADIATION DOSE RATE OF ROCK USING RADIATION DOSIMETER AND RADIATION EVALUATION OF AGGREGATE WITH IT

今井忠男*・網田和宏**・木崎彰久***・石倉広大****・杉本文男****
by Tadao IMAI, Kazuhiro AMITA, Akihisa KIZAKI, Koudai ISHIKURA and Fumio SUGIMOTO

1. はじめに

2011年の東日本大震災では、地震・津波災害だけでなく、津波によって福島第一原発の事故が発生し、福島県内に多大な放射能汚染を招いた。さらには、骨材の放射能汚染が原因となり、震災後の新築マンションから高濃度な放射線量が検出され、2012年には骨材の放射線基準値が策定された。著者らは、これらの経緯を詳細に調査・分析し、報告書としてまとめた¹⁾。

骨材の基準値は、セシウムの含有量として100 Bq/kg以下と決められたが²⁾、同時に、簡易基準として線量値0.23 μ Sv/h以下も定められた。放射能汚染の有無として、原発由来であるセシウムの含有量を指針とすることは正確であるが、岩石試料の空間線量率は、測定法および周囲の自然放射線環境³⁾によって、大きく異なる可能性があるため、間違った評価が行われる危険性がある。したがって、通常の空間線量計を用いる場合、測定方法および自然放射線量について、十分に検討する必要がある。

本研究では、空間線量計を用いた岩石試料の真の線量率について、簡易的な測定法を提案した。さらに、この手法を用いて骨材に利用される岩石および典型的な鉱物の自然放射線量を測定した。また、

福島県に近い地域の採石場における岩石および表土の自然放射線量、および汚染放射線量について調査し、これらの地域における汚染の現況を明らかとした。

2. 測定理論

2.1 空間線量と表面線量

放射能の汚染を計測する場合、図1に示すような(a)表面線量計と(b)空間線量計の2つがある。表面線量計は、地表面等に付着した放射能から放射される β 線を測定する機器である。 β 線は射程が短いいため、計測対象物以外からの放射線の影響は受けず、表面の汚染量だけが測定できる。これに対し、空間線量計は、射程の長いガンマー線を測定する機器であり、大気中の汚染量等の空間の汚染を測定するために適しているが、地表面等の特定箇所の汚染量だけを抽出することは出来ない。

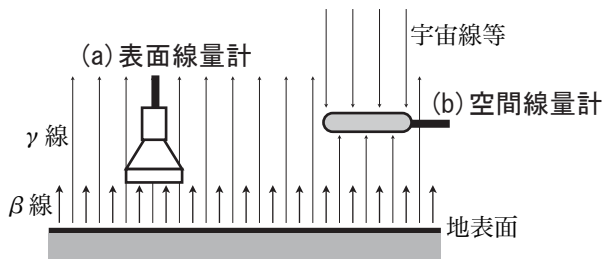


図1 放射線量計の測定原理

* 秋田大学 教授 国際資源学部 (〒010-0852 秋田市手形学園町1-1)、** 秋田大学 助教 理工学部、*** 秋田大学 准教授 国際資源学部、**** 元秋田大学 学生 工学資源学部、***** 秋田大学 名誉教授

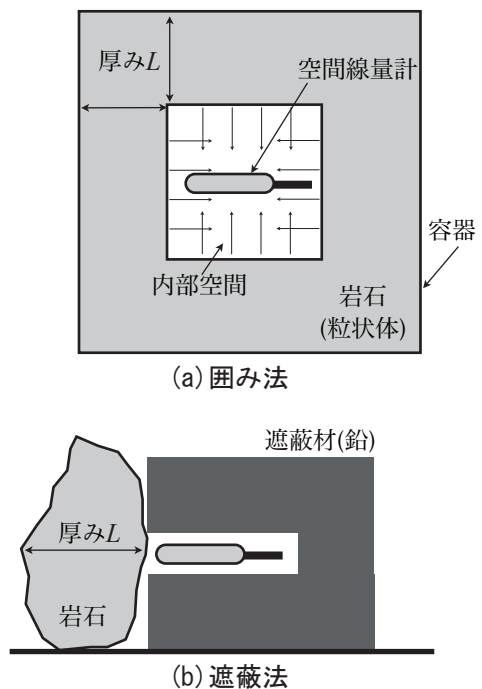


図2 空間線量計による岩石の γ 線量率の測定法

したがって、一般的に用いられることの多い空間線量計を使用して、特定の岩石(骨材)の放射線量だけを評価することは難しい。

2.2 空間線量計による岩石の放射線量測定理論

一般的な空間線量計を用いて、岩石から放射される放射線量のみを測定するには、図2(a)に示すように、他の放射線の影響を排除するために、測定器を岩石試料で囲う必要がある。これを囲み法と呼ぶこととする。このように測定器を囲う試料には、碎石のような粒状物を容器に詰めただけのもので、連続体と同等とみなせる。ただし、囲み法では、岩石試料の厚みLが十分に厚くなければならない。

通常、岩石試料は測定器を囲うほど、十分な量を確保できないため、試料の質量が多くない場合は、図2(b)に示すように、岩石試料の放射線量を測定する測定器の1面以外を十分な厚さの鉛で遮蔽して、他面の影響を排除する方法が考えられる。この方法を遮蔽法と呼ぶこととする。¹³⁷Csのγ線なら、厚さ40mmの鉛ブロックで1/100まで遮蔽できる⁴⁾。この遮蔽法では、測定器の全測定面のうち、1面だけで放射線量を検知するため、囲み法に比べ、測定される放射線量が少なく計測される。そのため、真の放射線量は、1測定面での実測値に、この測定面の測定率a(1測定面での測定値/全測定面での測定値)の逆数(補正倍率1/a)を乗じた値となる。

3. 実験方法

3.1 遮蔽法による放射線量測定装置

本研究では、写真1に示す、シンチレーション管式の空間線量測定器(テクノエーピー社製、TC100s)を用いて、遮蔽法による放射線量測定装置を考案した。この空間線量測定器は、γ線による空間線量を測定できるだけでなく、放射線エネルギーのスペクトル分析によって、放射性核種の特種が可能である。またこの測定器は、正面と上・下面の3面が主要な



写真1 空間線量測定器

測定面であることを確認しており、各主要面の測定率を求める必要がある。

次に、本実験装置に用いた鉛ブロックによる遮蔽箱を写真2に示す。厚さ50mmの鉛ブロックを用いて上下面を遮蔽(遮蔽率約1/300)し、側面は厚さ8mmの鉛板で覆った。これら鉛で囲まれた空間(幅84×高さ35×奥行き100mm)内に放射線測定器を挿入し、測定器の正面に岩石試料を置いて測定をおこない、この値を正面のみの実測値 R_{sf} とした。

なお、鉛にも微量の放射性同位体が含まれているため、鉛で遮蔽しても鉛の放射線量の影響によって、放射線量が0にはならない。そのため、この鉛ブロックで測定器の全面を囲い、この鉛の放射線率 R_{pb} を測定し、これに(1-a)をかけた値を補正值として用いた。

以上のことから、遮蔽法による岩石の放射線量率 R_s は次の式で求められる。

$$R_s = 1/a \{ R_{sf} - (1-a) R_{pb} \} \dots (1)$$

3.2 測定精度の検証法

(1)測定平均値

物体から自然に放出される放射線は、瞬間的に変化するため、放射線量を評価するには、時間平均値が用いられている。とくに、微量な放射線環境では、強度のバラツキが多くなるため、十分な時間平均が必要となる。

本実験では、放射能汚染されていない本学実験室内において、微量な空間線量率を500時間(20日程度)、連続的に測定し、値の変動が十分に小さくなる平均時間を求めた。

(2)岩石試料の厚み

囲み法および遮蔽法においては、周囲環境の影響を除くため、測定試料を十分に厚くする必要がある。この試料の厚みの最低値を決定するため、囲み法を用いて、花崗岩の厚さと放射線量との関

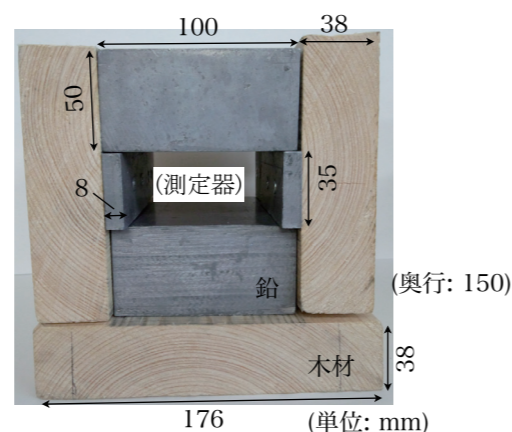


写真2 遮蔽箱

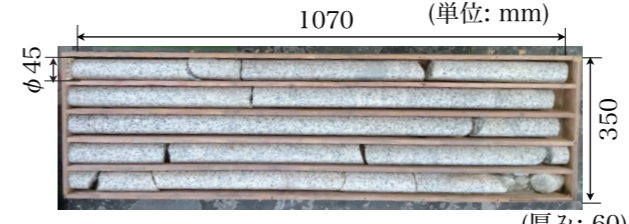


写真3 花崗岩のボーリングコア箱



写真4(a) コア箱による囲み法



写真4(b) 砕砂による囲み法 (単位: mm)

係を測定した。実験試料には、写真3に示す花崗岩コアが詰められたコア箱を用いた。花崗岩コアの直径は45mm、長さ約1,000mmで、1つのコア箱には5本の花崗岩コアが詰められている。このコア箱を用い、測定器の3面(正面、上面、下面)を囲んで花崗岩の放射線量を測定した。

(3) 囲み法と遮蔽法との比較

A) 花崗岩コア箱を用いた囲み法

前述の花崗岩コア箱を用い、写真4(a)のようにコア箱を積み重ねて、測定器の主要な3面を囲った。囲いの寸法は、幅700mm、高さ540mmとした。

B) 安山岩砕砂を用いた囲み法

粒度が5mm以下の安山岩砕砂を用い、これを容器に入れて、写真4(b)のように、コア箱と同程度の囲いの大きさとなるように、測定器を囲った。

これら2種類の囲み法と同様の測定試料を、遮蔽

表1 岩石・鉱物の測定試料数

	岩石	一般鉱物	放射性鉱物
試料数	15	12	6
分類数	4	7	3

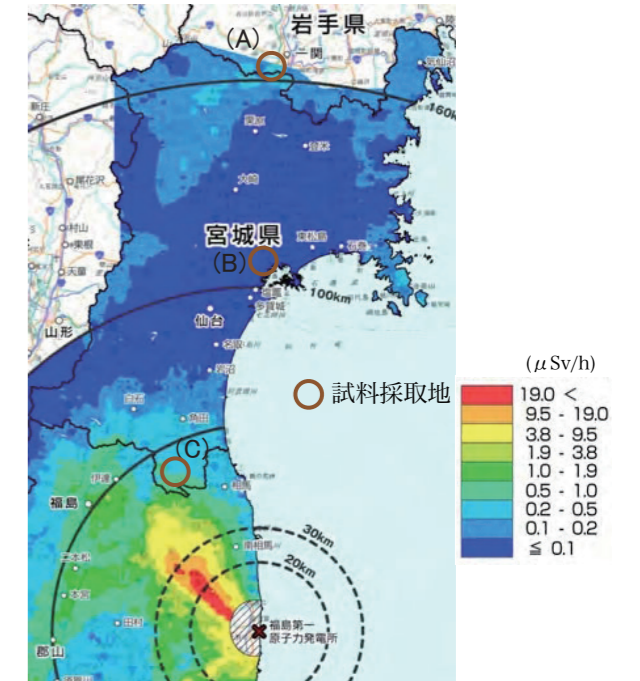


図3 試料の採取場所と空間線量率の分布⁵⁾

表2 採石場における測定試料 (2012年)

採取地域	採取場所	試料名
一関市	A採石場	砕砂(硬質砂岩)
		沈殿堆積物
大郷町	B採石場	天然砂
丸森町	C採石場	まさ土

法でも測定し、両者の測定値を比較することで、遮蔽法の補正倍率(1/a)および測定精度を求めた。

3.3 鉱物・岩石の自然放射線量の測定試料

遮蔽法によって、自然の鉱物・岩石の放射線量を求め、採石場の岩盤の自然放射線量を評価するため、表1に示すように岩石、一般鉱物および放射線鉱物について測定した。測定試料は、厚みが10cm以上となるものを選んで測定した。

なお、放射線鉱物については、本学付属鉱業博物館の協力を得て、管理された所定の場所での測定をおこなった。

3.4 汚染地域における骨材の放射線量の測定

つぎに、福島原子力発電所の事故によって汚染された、東北地域における採石場の試料を、遮蔽法によって測定した。試料の採取にあたっては、図3に示す、2012年8月現在の空間線量率の分布図を参考にした⁵⁾。図より、福島第一原発を中心に汚染は北西部に広がっている。広域的には、汚染濃度は、福島第一原発から同心円上に遠ざかるにしたがい低下する傾向にあるが、宮城県と岩手県の県境付近は、ホットスポット的に濃度が高くなっていることがわかる。

この現状から、図3に示すような線量率の分布にしたがい、線量率が最も高い宮城県南部(C採石場)、最も低い宮城県中部(B採石場)そしてホットスポットの岩手県南部(A採石場)から測定試料を、2012年に採取し、測定した。それぞれの採石場から採取した試料を、表2にまとめて示す。なお、採取試料は骨材製品だけでなく、表土および石粉沈殿等も採取した。

4. 実験結果

4.1 遮蔽法の測定精度

(1) 時間平均値

図4に、本実験室における空間線量率の時間変化を示す。図中の実線は、1分、30分、60分平均値を示している。なお破線は、8時間の平均値0.057 $\mu\text{Sv/h}$ を示している。図より、1分平均値の時間変

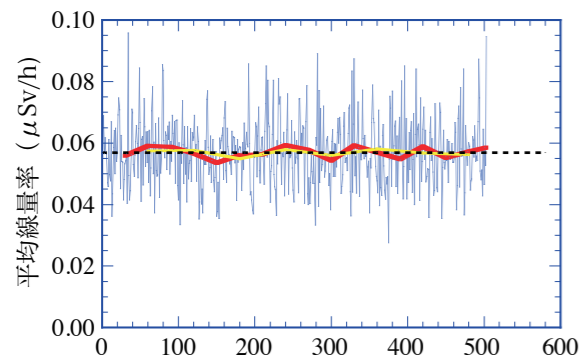


図4 空間線量の平均値

表3(a) 各方法による放射線量率の実測値

試料	実測線量率($\mu\text{Sv/h}$)		測定率 a
	囲み法 R_k	遮蔽法 R_{sf}	
コア箱(花崗岩)	0.0767	0.0320	0.249
砕砂(安山岩)	0.0578	0.0272	0.310

(平均 0.303)

化は大きい(標準偏差0.011)、30分平均値の変動幅は十分小さく(標準偏差0.0018)、およそ8時間平均値と同程度であることがわかる。したがって、空間放射線量の測定では、30分程度平均することが望ましく、本研究の測定も30分平均値とした。

(2) 試料の厚み

図5に岩石コア箱を重ねた厚みと平均線量率との関係を示す。花崗岩の放射線量は、試料の厚みが大きくなるにしたがい増加し、13cm以上で一定となる傾向にあり、この値が真値と考えられる。また、10cm程度で真値の95%程度になることから、試料の厚みは、10cm以上が必要と思われる。

(3) 遮蔽法と囲み法の比較による検討

最初に、遮蔽箱の鉛の放射線量率 R_{pb} を測定し、0.0134 $\mu\text{Sv/h}$ を得た。遮蔽箱では測定の主要3面のうち、上下の2面が鉛の影響を受けると考えることから、遮蔽箱から影響を受ける線量は、この鉛の放射線量率の(1- a)の割合と考えられる。

表3(a)に、囲み法と遮蔽法で測定した岩石試料の放射線量率 R_k を示す。これら測定値から、式(1)を用いて、本測定器の測定面(正面)の測定率 a を求めた。花崗岩および安山岩で、それぞれ0.294および0.311であり、平均が0.303であった。この値は、測定面の主要3面の1つとして、1/3(0.333)に近い値であることから、妥当であると思われる。ま

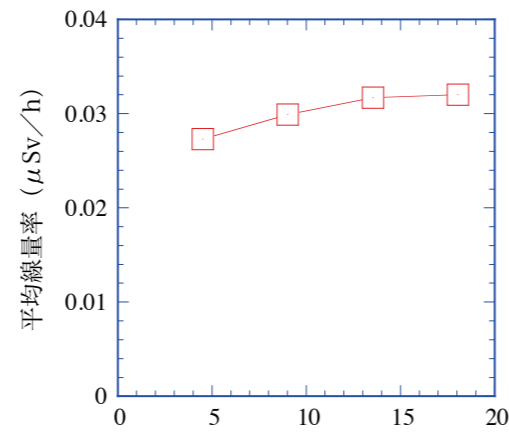


図5 試料の厚さと線量率

表3(b) 遮蔽法の測定精度

試料	遮蔽法線量率 R_s ($\mu\text{Sv/h}$)	相対誤差 (%)
コア箱(花崗岩)	0.0748	+2.5
砕砂(安山岩)	0.0589	-2.0

た、表3(b)に、 $a=0.303$ を用いた遮蔽法線量率 R_s と、信頼性のある囲み法による線量率 R_k との相対誤差を求め、両者がほぼ一致することを示した。表より、本測定法の精度は、囲み法と比較し $\pm 2.5\%$ 程度であることがわかった。

以上のことから、本遮蔽法では、測定値 R_{sf} 、鉛補正值 R_{pb} 、測定率 a を式(1)に代入することで、岩

石試料等の放射線量率 R_0 が、十分な精度で求められることがわかった。

4.2 鉱物・岩石の自然放射線量

表4(a)に、本遮蔽法によって測定された、一般鉱物の放射線量率を示す。表より、鉱物分類による放射線量率の特徴は見られず、試料ごとにバラバラな値を示しており、平均値は0.0597 $\mu\text{Sv/h}$ と十

表4(a) 一般鉱物の放射線量率

分類	鉱物名	化学組成	産地	放射線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
元素鉱物	自然砒素	As	赤谷	0.0647
珪酸塩鉱物	白雲母	$\text{KAl}_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	ゴベルナドール	0.0977
	正長石	KAlSi_3O_8	石川町	0.0926
リン酸塩鉱物	燐灰石	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})$	足尾	0.0461
	方解石	CaCO_3	山口	0.0291
炭酸塩鉱物	菱苦土石	MgCO_3	満州	0.0788
	菱マンガン鉱	MnCO_3	稲倉石	0.0720
硫酸塩鉱物	石膏	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	大館	0.0323
硫化鉱物	黄銅鉱	CuFeS_2	協和	0.0199
	黄鉄鉱	FeS_2	花輪	0.136
	方鉛鉱	PbS	不明	0.0138
酸化鉱物	磁鉄鉱	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$	佐久町	0.0327

(平均 0.0597)

表4(b) 放射性鉱物の放射線量率

分類	鉱物名	化学組成	産地	放射線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
珪酸塩鉱物	褐レン石	$(\text{Ca}, \text{R})_2(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Ti})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$	生駒郡	20.0
リン酸塩鉱物	人形石	$\text{Ca}, \text{Ce}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 1 \sim 2\text{H}_2\text{O}$	人形峠	0.0887
	阿武隈石	$(\text{Y}, \text{Ca})_5(\text{SiO}_4, \text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F})$	飯坂	25.5
	モナズ石	$(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th}) \text{PO}_4$	川崎	0.570
酸化鉱物	サマルスキー石	$(\text{Y}, \text{Ce}, \text{U}, \text{Fe}^{3+})_3(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_5\text{O}_{16}$	不明	3.41
	コロンブ石	$(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$	石川町	1.80

(平均 8.55)

分に低い値であった。なお、黄鉄鉱のみ0.136 $\mu\text{Sv/h}$ と多少高い値を示したが、鉱物の特徴であるかどうか不明である。また、表4(b)の放射性鉱物の結果では、極めて高い値を示すグループと、あまり高くないグループに分かれることから、放射性鉱物を含有していても、大きな影響がない場合もあることがわかった。次に、表4(c)に岩石の結果を示す。線量率の平均値は0.00639 $\mu\text{Sv/h}$ と、一般

鉱物の平均値と同程度であることがわかった。その中で、花崗岩類の放射線量率が、約0.1 $\mu\text{Sv/h}$ と高いことがわかる。つまり、花崗岩類には、微量の天然の放射性鉱物が含まれていることが推察される。

次に、一般鉱物と岩石の放射線量率についてのヒストグラムを図6(a)に示す。岩石とは、大部分が珪酸塩および炭酸塩鉱物からなっており、少量の

表4(c) 岩石の放射線量率

分類	岩石名	産地	放射線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
火山岩	流紋岩	五城目	0.0552
	安山岩	三倉鼻	0.0713
	玄武岩溶岩	八丈島	0.0425
深成岩	花崗岩A	稲田	0.167
	花崗岩B	土岐	0.128
	閃緑岩	不明	0.0765
	ハンレイ岩	つくば	0.0314
	カンラン岩	北海道	0.0196
変成岩	花崗片麻岩	三重	0.103
	蛇紋岩	日立	0.0288
堆積岩	砂岩	ベレア	0.0454
	凝灰岩	荻野	0.0844
	石灰岩	奥多摩	0.0202
	石膏	大館	0.0323
	石炭	不明	0.0529

(平均 0.0639)

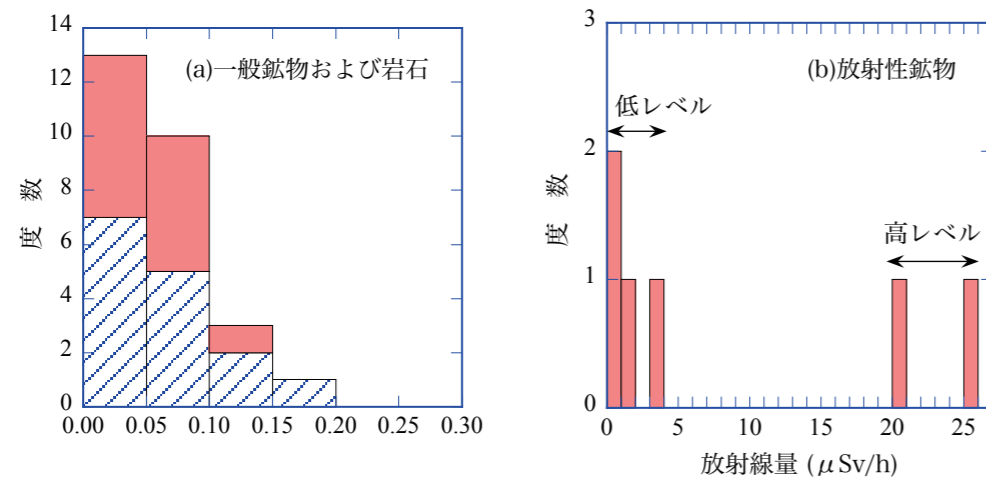


図6 鉱物および岩石の放射線量率の分布

硫化物あるいは酸化物鉱物を含む、一般鉱物の集合体である。両者の分布は、ほぼ同じ傾向となっており、ほとんどの試料は、0.1 $\mu\text{Sv/h}$ 以下であることがわかった。ただし、放射能汚染とは無関係に、自然放射線量が0.15 $\mu\text{Sv/h}$ を超える岩石(花崗岩)もあることから、骨材の放射能の評価にあたっては、十分に岩石の自然放射線量を考慮しなければならない。

また、図6(b)に、放射性鉱物の放射線量についてのヒストグラムを示す。図より、放射性鉱物であっても、1 $\mu\text{Sv/h}$ 程度の低レベルなものも多く、自然界において、極めて高レベルな放射線環境となることは希であることがわかる。

4.3 汚染地域における骨材の放射線量

表5に、東北地方の放射能汚染が広まったと考えられる地域における、骨材試料の放射線量率の測定結果を示す。表より、一関市の空間線量率は0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 程度であるが、A採石場の砕砂は0.0516 $\mu\text{Sv/h}$ と、汚染されていない岩石の自然放射線量率のレベルであった。同採石場の表土も同程度の

値であったが、場内側溝の石粉等の堆積物は、砕砂の2倍程度の値となり、放射能物質が沈殿している可能性が示唆された。

大郷町の空間線量率は0.1 $\mu\text{Sv/h}$ 以下で、汚染されていない地域と同レベルである。同町のB採石場の天然砂の値は、十分に低く、自然放射線量率と同レベルである。

丸森町の空間線量率は0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 程度で、汚染の影響が表れている。同町のC採石場のマサ土は、0.158 $\mu\text{Sv/h}$ であり、自然放射線量の高い花崗岩程度であった。しかし、マサ土を洗浄して測定した結果、0.0650 $\mu\text{Sv/h}$ に急減したため、汚染の影響が示唆された。

これら汚染が推測されたA採石場の石粉等が堆積した側溝沈殿物とC採石場のマサ土について、放射線のスペクトル分析をおこなった。その結果を図7(a)および(b)に示す。図より、両者には、セシウム137および134のピーク値が検出され⁴⁾、原発事故由来の放射性セシウムに汚染されていることがわかった。

表5 採石場における採取試料の放射線量率

採取場所	空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	試料名	放射線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
A採石場 (一関市)	0.2-0.5	砕砂 (硬質砂岩)	0.0516
		沈殿堆積物	0.0809
		表土	0.0494
B採石場 (大郷町)	< 0.1	天然砂	0.0416
C採石場 (丸森町)	0.5-1.0	まさ土 (洗浄前)	0.158
		まさ土 (洗浄後)	0.0650

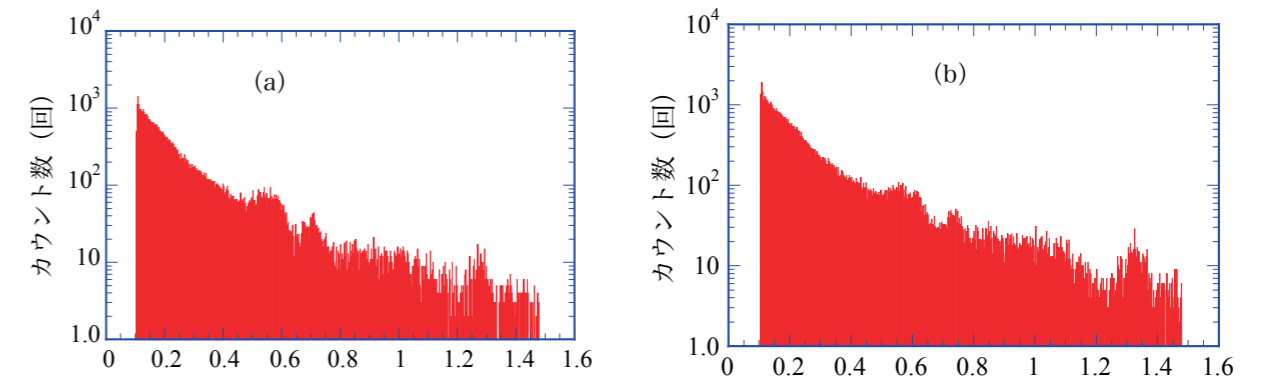


図7 汚染試料の放射線スペクトル

以上の結果から、放射能の汚染地域(A、C)においても、現状では、破碎製品(砕砂・碎石)は汚染されていないが、まさ土や石粉等の堆積物などに、多少の放射能が付着していることがわかった。

5. おわりに

本研究では、一般の空間線量測定器を用いて、より正確な岩石試料の放射線量率の測定手法を提案するとともに、典型的な岩石および鉱物の自然放射線量率を測定し、骨材の放射線基準値との関係を明確にした。さらに、汚染地域の採石場において試料を採取し、それらの放射線率を測定することで、採石場の汚染状況について明らかにした。これらの結果をまとめて以下に示す。

- (1) 鉛の遮蔽箱と一般の空間線量測定器を用いて、より正確な岩石試料の放射線量率の測定が可能となることを実証した。
- (2) 一般鉱物および岩石の自然放射線量率は低く、多くは0.1 μ Sv/h以下である。
- (3) 花崗岩類の自然放射線量は比較的高く、0.1 μ Sv/hを超えるものもある。
- (4) 放射性鉱物の放射線量率は、多くは1 μ Sv/h程度で、極めて高レベルなものは少ない。
- (5) 汚染地域のうち、とくに空間線量率の高い地域では、まさ土や石粉等の堆積物などに、多少の放射能の付着がみられたが、新鮮な砕砂・碎石には汚染は無い。

謝 辞

本研究は、日本碎石協会の平成24年度研究助成金を得て行われたものであり、ここに記して感謝を申し上げます。また、測定用の岩石・鉱物試料を提供いただきました、秋田大学鉱業博物館および碎石業者の方々に感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 今井忠男ら(2014)：2014年東日本大震災による福島第一原発事故で生じた放射能汚染の概況と骨材の放射線量基準について、骨材資源、No. 181、pp. 1-5.
- 2) 経済産業省(2012)：碎石及び砂利の出荷基準.
- 3) 湊進(2006)：日本における地表 γ 線の線量率分布、地学雑誌、Vol. 115、No. 1、pp. 87-95.
- 4) 日本アイソトープ協会編(2011)：アイソトープ手帳、丸善.
- 5) 文部科学省(2011)：文部科学省及び栃木県による航空機モニタリングの測定結果、7月27日(web公開資料)。

(2017年1月16日受付 2017年5月29日受理)

X線CT画像を用いたポーラスコンクリートの空隙形状計測に関する基礎検討

FUNDAMENTAL STUDY OF MEASUREMENT OF PORE SHAPE
IN POROUS CONCRETE BY X RAY CT IMAGE

麓 隆行*・崎本和秀**
by Takayuki FUMOTO and Kazuhide SAKIMOTO

1. はじめに

建設材料で代表的な多孔質材料の一つに、ポーラスコンクリートがある¹⁾。ポーラスコンクリートは、粗骨材の周りにモルタルやセメントペーストなどの結合材を付着させ、粗骨材同士を接点に近い状態で接着させたコンクリートである。透水性舗装、排水性舗装、吸音舗装、河川や海岸での近自然型護岸などに利用されている¹⁾。

一般には市販されている比較的単粒度の粗骨材を用いることが多く、空隙の特徴は数種類程度に絞られる。そのため、現状のポーラスコンクリートにおける空隙特性は、空隙率や骨材径のみで評価され、空隙径、形状、複雑さなどは考慮されていない²⁾。さらに、空隙率の目安はあるが、要求される性能との関係が明確ではない²⁾。ポーラスコンクリートが今後さらに積極的に活用されるためには、それらのことを明らかにする必要がある。

ポーラスコンクリートによる環境改善性能に注目した場合、副産物材料の利用なども含めた多様な形状の粗骨材の利用により、目的に対してより適切な空隙形状を形成することが有用だと考えられる。そのためにも、空隙径の分布、複雑さ、連続性などを評価する手法を確立し、それらと目的とする性能との関係を明らかにすることが重要となる。しかし、空隙の特徴の評価は容易ではない。

著者らは、その空隙の評価手法を確立するための基礎手法として、X線CT法によって得られた3次元画像の画像計測を用いることを考えた。この手法は、既往の研究でも使用されている³⁾。現場での適用は難しい面もあるが、現場手法の開発のための詳細な評価や現象解明のための貴重な手法だと考えられる。近年、計測できる解像度が向上し、より詳細な形状を計測できるようになった⁴⁾。また、画像計測技術や

計算機器の性能も向上したことから、様々な表現ができる⁵⁾、⁶⁾と考えられる。

本研究では、ポーラスコンクリートへのX線CT画像計測の適用を検討する基礎段階として、粗骨材の粒径やペースト量の異なるポーラスコンクリートの空隙径分布や形状の詳細な検討を試行し、それらの結果と透水試験結果との関係を考察した。

2. 実験概要

2. 1 供試体の作製

ポーラスコンクリートの作製には、水道水(W)、早強ポルトランドセメント(C:密度3.13g/cm³)、碎石粉(CSP:兵庫県赤穂産流紋岩、気乾密度2.47g/cm³、平均粒径47.9 μ m)およびポリカルボン酸系高性能AE減水剤(SP)を使用した。粗骨材には、呼び寸法5、10、15および20mmのふるいを用いて、5-10mm、10-15mm、15-20mmの範囲に分級した3種類の兵庫県赤穂産流紋岩碎石(G)を使用した。粗骨材の物性を表1に示す。配合を表2に示す。W/Cを25.5%とし、粗骨材の粒径と粗骨材とペーストとの体積比(p/g)を変えた5種類の配合を準備した。p/gを45%とした場合に、粗骨材の粒径を3種類とし、粗骨材の粒径を10~15mmとした場合に、p/g=30、45および60%とした。

容量60Lの強制2軸練りミキサーを使用し、練混ぜ量を43Lとして練り混ぜた。粗骨材質量の1/2、セメント、碎石粉、粗骨材質量の1/2を順に投入し、30秒攪拌し、水および高性能AE減水剤を投入し、90秒攪拌する手順とした。

練上り直後に、既往の研究成果に基づき、一定のエネルギーを上面から与える上面振動締め試験を行った⁷⁾、⁸⁾。上面振動締め試験では、 ϕ 240mmの容器に7.25kgの試料を2層で投入し、各層25回ずつ突き棒で締め固めた。その上に、振動数3000rpm、振幅1mmの振動機を取り付けて合計20kgになるようにした装置を静置した。そして40秒間振動させた後の沈下量を測定し、測定結果と配合表から締め密度ならびに空隙率を算出した。

* 近畿大学准教授 理工学部社会環境工学科 (〒577-8502 大阪府東大阪市小若江3-4-1)

** 近畿大学 理工学部社会環境工学科