

PCB塗膜除去作業等でのばく露等に関する文献等について

1 概要

- (1) PCB含有物は、「ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法」(平成13年法律第65号)により、令和9年3月末までに処分委託を行わなければならないことが規定されている。このため、この期限までに、PCBを含む既設の塗装塗膜は完全に除去することが求められている。
- (2) 環境省(2018)により、高濃度PCB廃棄物として該当する対象を、昭和41年(1966年)から昭和49年(1974年)までに、意図的にPCBを添加した塩化ゴム系塗料を使用し建設又は塗装された施設等とし、橋梁、洞門、排水機場の鋼構造物、石油貯蔵タンク、ガス貯蔵タンク、水門・鉄管の鋼構造物、船舶等が対象施設とされている。
- (3) また、従来、5000mg/kg以下のものに限って無害化処理認定制度(焼却処理等)の対象としてきたところ、令和元年12月から、100,000mg/kg以下のものまで、焼却処理等の対象となり、民間処分場において処分が始まっている。
- (4) 今般、PCB含有塗膜の除去作業と100,000mg/kg以下のPCB廃棄物を扱う処分場の労働者のばく露状況及び健康影響について、関連文献をレビューした。

2 PCB含有塗膜等のPCB濃度について

- (1) 岩田ら(2013)によれば、1960年代に製造及び使用された塗料には、PCBが可塑剤として使用されていたことが知られているとしている。塗膜は、複数の塗料を重ね塗りすることで構成されており、下地(さび止め)、塗装(表面)に分類され、当時の塗料(鉛丹さび止め塗料、亜鉛系さび止め塗料、フタル酸樹脂塗料)の上に、追加工事などにより上塗りされた最近の塗料(エポキシ樹脂塗料)があるとしている。塗膜のはぎ取りに剥離剤が使用される場合があり、剥離剤は塩素系溶剤(ジクロロメタン等)や有機酸を用いるものがあるため、剥離した塗膜片も固体からゲル状と様々であるとしている。
- (2) 岩田ら(2019)によると、環境省(2019)が示した測定方法により橋梁塗膜中のPCB濃度を測定したところ、数万mg/kg(数%)から0.01mg/kgまで、広範囲の濃度が測定されたとしている(図1)。このうち、5,000mg/kg(0.5%)を超えるものは全体の18%であったとしている。ただし、環境省(2019)による調査対象である1966-1974年に建設され

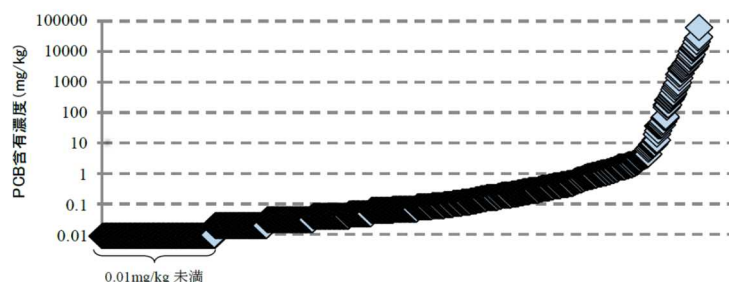


図1. 橋梁の廃塗膜 PCB 分析調査結果の一例 (調査橋梁 838 橋)

た橋梁については、5,000mg/kg を超えるものは全体の 27%であったとしている (図2)。

- (3) 環境省 (2019) による高濃度PCB含有塗膜調査 (平成31年3月末現在) によると、分析等調査を行うべき調査対象施設 8,510 施設中、PCB濃度が把握されているのは719施設(8%) であり、そのうち、49施設

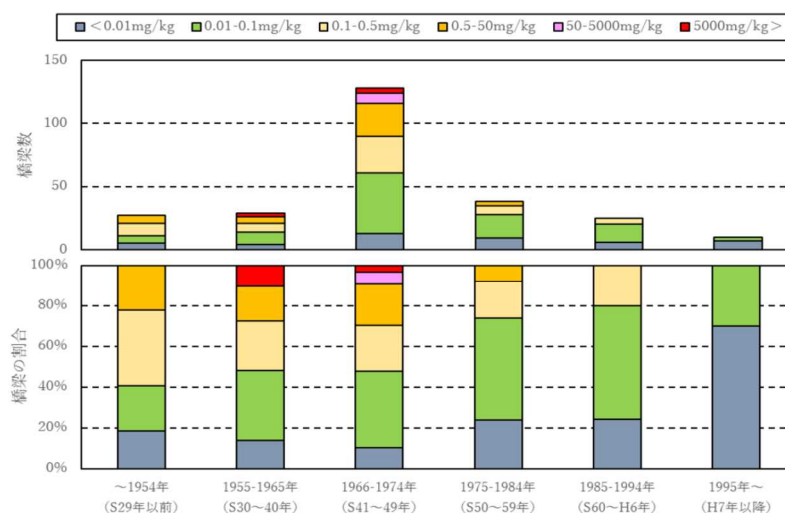


図2. 架設年代による橋梁の塗膜中 PCB 濃度分布

(6.8%) が 5,000mg/kg を超えていた。保管されている塗膜は 966t あり、そのうち 60t (6.2%) が 5,000mg/kg を超えていた。

- (4) 国連環境計画(UNEP)のガイドライン(UNEP(2019))によると、塗膜以外の開放的な環境(open application)におけるPCBの含有物は、コーキング (シーリング) 剤、塗膜・プラスター剤、床材・壁等被覆剤、耐腐食被覆剤、接着剤、ケーブル被覆材等があるとされている。

3 PCBの有害性及びばく露限度等について

- (1) ACGIH(2001)は、PCB (42%塩素化)、PCB (54%塩素化) それぞれのTLVとして、1.0mg/m³、0.05mg/m³を勧告している。PCB (54%塩素化) については、発がん性分類 A3 (動物実験では発がん性が確認され、ヒトについては不明) としている。
- (2) 日本産業衛生学会 (2006) は、総PCBに対する許容濃度として、0.01mg/m³を勧告している。許容濃度の決定のプロセスとして、血中総PCB濃度の生物学的許容値を25ug/lとし、そこから血漿中PCB濃度を35ug/lと算出し、脂肪組織/血清一分配係数から、脂肪組織中総PCB濃度を5.3ug/gと算出した。これに相当するばく露濃度を1-コンパートメントモデルを用いて算出したところ、低塩素化PCB、高塩素化PCBの許容濃度は、それぞれ0.012mg/m³、0.004mg/m³となった。ここから、総PCBの許容濃度0.01mg/m³を導き出している。作業環境評価基準の管理濃度も、同じ値を採用している。
- (3) この値は、発がんについては考慮していないとしている。Brownら(1981)、Brownら(1987)、Sinks(1992)のPCBを使用したコンデンサー製造労働者のコホート調査(死亡調査)からは、肝臓・胆嚢がん、胆管がん、悪性黒色腫などによる有意な過剰死亡(SMR)が見られたが、ばく露濃度はいずれも0.024-2.00mg/m³、0.016-0.094mg/m³と

0.01mg/m³より低かったとしている。また、Mallinら(2004)、Yassiら(1994)、Yassiら(2003)によるコンデンサー製造、トランス製造の労働者のコホート調査(死亡調査)については、ばく露濃度が報告されていないとしている。

- (4) 血中総PCB濃度の生物学的許容値については、臨床所見及び生化学検査の結果を踏まえ、血中総PCB濃度 50µg/lを目安とし、安全を見込んでその半分の 25µg/lを生物学的許容値としたとしている。
- (5) 臨床所見については、Fischbeinら(1979)は、コンデンサー製造労働者の血漿中高塩素化PCB濃度が50µg/lを超えると皮膚所見の有症率が高くなると報告している。この報告の血漿中低塩素化PCB濃度は高塩素化PCB濃度の1～7倍であることから、日本産業衛生学会では、この値が血漿中総PCB濃度 100µg/lに相当すると評価した。さらに、Parhamら(1997)の行ったラットの血液中のPCBとVomachkaら(1983)が報告したヒトの血液のPCBの報告を踏まえ、血中のPCBの75%が血漿中に存在すると仮定し、血中総PCB濃度としては70µg/l以上に相当すると評価した。
- (6) さらに、生化学的検査に関しては、Hara(1985)がコンデンサー製造工場労働者のばく露中止後の追跡調査により、血中総PCB濃度が50µg/lを超えると血清トリグリセライドの異常率が上昇することを報告している。Fischbeinら(1979)は、血漿中高塩素化PCB濃度が 75µg/l以上(血中のPCBの75%が血漿中に存在すると仮定すると、血中高塩素化PCB濃度は50µg/l以上)で血清GOTの異常率が上昇することを報告している。Maroniら(1981)は、コンデンサー工場労働者の調査で、血中総PCB濃度が 150µg/l以上で肝機能検査の異常率が上昇することを報告している。

4 PCB塗膜除去作業でのばく露濃度について

- (1) 土木研究所の剥離剤ガイドライン(土木研究所(2017))によると、塗膜剥離の工法には、ブラスト法、ディスクサンダーやワイヤホイール等の動力工具を使用する方法と、剥離剤を使用する方法(これらを併用する場合もある。)がある。剥離剤については、様々な分類があるが、一般的には、溶剤系と水溶液系の剥離剤があり、水溶液系には、アルカリ系、酸系、高級アルコール系がある。溶剤系には、ジクロロメタンが含まれており、剥離剤ガイドライン(土木研究所(2017))が剥離剤には特化物第2類を含まないことが望ましいとしているため、土木工事における使用頻度は少ないとされている。

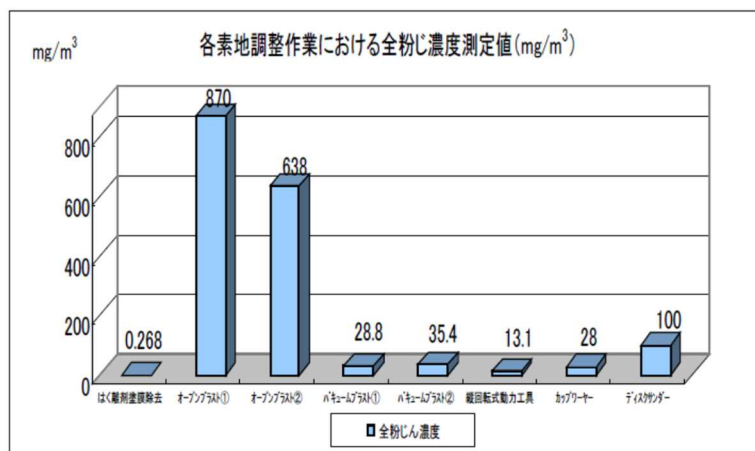
(2) 西崎ら(2013)は、PCB含有塗膜の素地調整作業について、剥離剤工法とブラスト工

法 (オープンブラスト、バキュームブラスト)、動力工具 (ディスクサンダー、カップワイヤー、縦回転式動力工具) について、同じ条件下で総粉じん濃度を測定している。これによると、高級アルコール系剥離剤が $0.268\text{mg}/\text{m}^3$ 、縦回転式工具が $13.1\text{mg}/\text{m}^3$ 、カップワイヤーが $28\text{mg}/\text{m}^3$ 、バキュームブラストが $28.8\text{--}35.4\text{mg}/\text{m}^3$ 、ディスクサンダーが $100\text{mg}/\text{m}^3$ 、オープンブラストが $638\text{--}870\text{mg}/\text{m}^3$ であったとしている

(図5)。さらに、それぞれの工法での粉じん中の鉛濃度の測定値については、高級アルコールが $0.006\text{mg}/\text{m}^3$ 、バキュームブラストが $0.39\text{--}0.52\text{mg}/\text{m}^3$ 、縦回転式工具が $1\text{mg}/\text{m}^3$ 、カップワイヤーが $1.4\text{mg}/\text{m}^3$ 、オープンブラストが $0.44\text{--}2.9\text{mg}/\text{m}^3$ 、ディスクサンダーが $4\text{mg}/\text{m}^3$ となり (図6)、オープンブラストを除くと、総粉じん濃度と鉛濃度はおおむね相

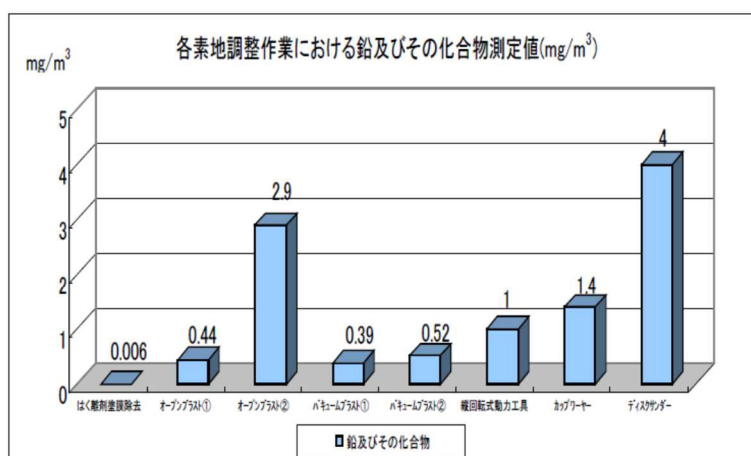
関している。オープンブラストの鉛濃度が総粉じんに比べて低いのは、粉じんにブラスト剤が含まれているためと考えられる。粉じん中のPCB濃度については、粉じん中の鉛ばく濃度と同じ傾向を示すと推定される。ただし、剥離剤を使用した場合は、粉じんではなくガス状のPCBが存在することも考えられるため、粉じん中の鉛の濃度とは異なる可能性がある。

(3) UNEP のガイドライン(UNEP(2019))には、PCB含有物の除去作業における労働者のばく露防止措置の記載はない。Wagnerら(2013)によると、スイス環境保護庁においては、高濃度のPCBの含有物を除去する作業は、承認された事業者(qualified contractors)だけが実施することを担保しなければならないとされている、としている。



※①は剥離剤による塗膜除去部、②は塗膜残存部

図-5 各素地調整工法別の全粉じん濃度



※①は剥離剤による塗膜除去部、②は塗膜残存部

図-6 各素地調整工法別の粉じんに含まれる鉛量

5 PCB廃棄物処理作業におけるPCBばく露について

- (1) 環境省(2019b)は、PCB濃度が5,000mg/kgを超えるPCB汚染物を試験資料として、詰め替え等作業を行った際の作業環境測定結果を報告している。
 - ① 塗膜くずについては、5,000mg/kgの汚染物をドラム管からプラ容器に移し替える作業を行ったところ、PCBは<0.001mg/m³、ダイオキシン類は1.3 pg-TEQ/m³であり、いずれも基準値(PCBは管理濃度0.01mg/m³、ダイオキシン類はダイオキシン対策要綱の基準値2.53 pg-TEQ/m³)を下回ったとしている。
 - ② 郵貯銀行廃棄感圧紙の詰め替え作業では、PCBは0.036mg/m³、ダイオキシン類は70 pg-TEQ/m³であり、いずれも基準値を上回ったとしている。日本製紙保有廃感熱紙の詰め替え作業では、PCBは0.0021mg/m³、ダイオキシン類は1.4 pg-TEQ/m³であり、いずれも基準値を下回ったとしている。
 - ③ PCB含有(2~10%程度)シーリング材の詰め替え作業では、PCBは0.055mg/m³、ダイオキシン類は1,300 pg-TEQ/m³と、いずれも基準値を上回ったとしている。
 - ④ PCB含有製紙汚泥(9,000mg/kg程度)の詰め替え作業では、PCBは0.016mg/m³、ダイオキシン類は0.40 pg-TEQ/m³と、いずれも基準値を下回ったとしている。

6 考察(固体のPCBの有害性について)

- (1) 産業衛生学会(2006)にあるように、許容濃度は、すべてPCB含有油を使用した製造業の労働者に発生した健康障害を前提としている。動物実験の報告も、PCBのエアロゾルを使用したものである。代謝としては、エアロゾルでは肺、消化器からも吸収され、消化器については胆汁によって分解されて吸収されるとしている。一方、塗膜は、乾燥した塗料の固体に閉じ込められた状態であるため、肺、消化器、皮膚いずれも、エアロゾルよりも吸収されにくい可能性がある。
- (2) しかし、PCB含有塗膜のばく露による健康影響に関する文献は見当たらない。このため、ばく露による健康影響を評価するため、個人ばく露濃度測定を実施するとともに、血中のPCB濃度についても併せて調査する必要がある。

7 考察(剥離作業中のPCBばく露濃度について)

- (1) PCB濃度が5,000mg/kg(0.5%)を超える塗膜を有する施設の割合は、6.8%(環境省(2019)から27%(岩田ら(2019))までばらつくが、おおむね10%程度として、その半分(5%)が特化則の適用となる1%超と仮定すると、調査対象施設が8,510施設であるので、500程度の施設での剥離等作業に特化物の適用があると想定される。
- (2) しかし、西崎ら(2013)の結果によれば、塗膜中のPCB濃度が同じでも、剥離方法の違いにより、剥離作業時のPCBばく露濃度が大きく異なる可能性がある。
- (3) このため、塗膜剥離作業における空気中のPCB含有粉じんの濃度と健康影響を評価するため、乾式工法(ショットブラスト)、湿式工法(剥離剤工法)それぞれについて、

剥離作業従事者のPCBの個人ばく露濃度測定及び血中濃度測定が必要となる。

8 考察（廃棄物処理作業の対策について）

- (1) 特化則においては、管理区分に基づいた対策が求められているが、PCB対策要綱においては、作業の種類別に管理レベルが規定され、それによって保護具のレベルが決まっている。
- (2) 今般、民間処理場で取り扱うPCB廃棄物の濃度が 10,000mg/kg に引き上げられること、作業環境測定の結果が、管理濃度を大幅に上回るケースがある（環境省(2019b)）ことを考えると、現状のレベル分けが妥当であるか検証する必要がある。
- (3) 廃棄物処理施設内のPCBの空气中濃度及び個人ばく露濃度測定を行い、それに応じて管理レベルを検証する必要がある。また、現状の保護衣等の妥当性を検証するためには、血中PCB濃度の測定を行うことも必要である。

参考文献

- Brown DP, Jones M. (1981) Mortality and industrial hygiene study of workers exposed to polychlorinated biphenyls. Arch Environ Health; 36: 120–129.
- Brown DP. (1987) Mortality of workers exposed to polychlorinated biphenyls—An update. Arch Environ Health; 42: 333–339.
- Fischbein A, Wolff MS, Lilis R, Thornton J, Selikoff IJ. (1979) Clinical findings among PCB-exposed workers in a capacitor manufacturing facility. Ann NY Acad Sci; 320: 703–715.
- Hara I. (1985) Health status and PCBs in blood of workers exposed to PCBs and of their children. Environ Health Perspectives 1985; 59: 85–90.
- Mallin K, McCann K, D'Aloisio A, et al. (2004) Cohort mortality study of capacitor manufacturing workers, 1944–2000. J Occup Environ Med; 46: 565–576.
- Parham FM, Kohn MC, Matthews HB, DeRosa C, Portier CJ. (1997) Using structural information to create physiologically based pharmacokinetic models for all polychlorinated biphenyls. Appl Pharmacol 1997; 144: 340–347.
- Sinks T, Steele G, Smith AB, Watkins K, Shults RA. (1992) Mortality among workers exposed to polychlorinated biphenyls. Am J Epidemiol; 136: 389–398.
- Vomachka MS, Vodcnik MJ, Lech JJ. (1983) Characteristics of 2,4,5,2',4',5'-hexachlorobiphenyl distribution among lipoproteins in Vitro. Toxicol Appl Pharmacol 1983; 70: 350–361.
- Yassi A, Tate R, Fish D. (1994) Cancer mortality in workers employed at a transformer manufacturing plant. Am J Ind Med; 25: 425–437.

- Yassi A, Tate R, Routledge M. (2003) Cancer incidence and mortality in workers employed at a transformer manufacturing plant: update to a cohort study. *Am J Ind Med*; 44: 58–62.
- UNEP (2019). Consolidated Guidance on PCB in Open Applications. Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm conventions, United Nations Environment Programme, Geneva.
- Urs K. Wagner, Evelyne Schneider (2013) Management of PCBs from Open and Closed Applications – Case Study Switzerland.
- 岩田直樹、林篤宏、井上毅、高菅卓三、馬幸生 (2013) 低濃度 PCB 廃棄物としての廃塗膜 (塗膜くず) に関する研究 第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 pp.653-654
- 岩田直樹、本田聖人、中井勉、井上毅、高菅卓三、野馬幸生 (2019) 低濃度 PCB 廃棄物としての廃塗膜 (塗膜くず) に関する研究 (その 3) 第 30 回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿 pp.485-486
- 環境省 (2018) 「高濃度ポリ塩化ビフェニル含有塗膜の調査について (通知)」 (平成 30 年 11 月 28 日付け環循規発第 1811282 号) 及び高濃度ポリ塩化ビフェニル含有塗膜調査実施要領 (初版)
- 環境省 (2019a) 「低濃度ポリ塩化ビフェニル汚染物の該当性判断基準について (通知)」 (平成 31 年 3 月 28 日付け環循規発第 1903283 号、環循施発第 1903281 号)
- 環境省 (2019b) 「試験資料の調達及び詰め替え」
- 西崎到、天羽嘉津志 (2013) 「寒冷地における塗膜はく離工法及び作業環境の評価」 土木技術資料 55 (2) pp.26-29
- 厚生労働省 (2014) 「鉛等有害物質を含有する塗料の剥離やかき落とし作業における労働者の健康障害防止について」 (平成 26 年 5 月 30 日付け基安労発 0530 第 1 号等)
- 厚生労働省 (2005) 「P C B 廃棄物の処理作業等における安全対策について」 (平成 17 年 2 月 10 日基発第 0210005 号)
- 日本作業環境測定協会 (1994) 第 7 回「作業環境測定精度管理基本調査」調査報告書 平成 6 年 3 月 25 日
- 日本産業衛生学会 (2006) 許容濃度及び生物学的許容濃度 (2006 年度) の提案理由 ポリ塩素化ビフェニル (P C B)