

災害調査報告書

道路橋再塗装工事における有機溶剤中毒疑い

(要約版)

労働安全衛生総合研究所

1. 災害の概要

道路橋再塗装作業において、旧塗装の剥離作業を行った作業者が意識朦朧とした状態で発見され、その後病院で死亡した。さらに救出に当たった同僚4名も中毒症状を示し、入院するという災害が発生した。災害発生日は9月初旬で熱中症の可能性もあったものの、本災害の発生以前に、同様の剥離剤を使用した塗装剥離作業時に死亡には至らないものの中毒疑い事例が報告されている事などから、原因物質として剥離剤の主成分であるベンジルアルコールが疑わしいとされた。

2. 発生状況の調査

2.1 ヒヤリングの結果

(1) 作業の概要

現場の橋は鉛含有防錆塗料および、上塗りのフタル酸系塗料が塗られており。通常の箇所では2回（上塗り、下塗り）剥離噴霧と、一定時間後の剥離作業をくり返す。ボルト締結部などでは塗装が厚いため3回の剥離作業を実施する。

グループのうち作業現場に1名が噴霧ノズルを持ち、養生の外の噴霧装置に別の労働者がいて、一斗缶を開けて噴霧装置に剥離剤を2から3分に1缶の速度で次々に投入する。このようにして翌日の剥離箇所へ剥離剤を塗布する。残りの作業者は前日剥離剤を塗布しておいた塗膜の剥離作業を行う。

剥離剤を塗った塗料はドロドロの塊になる。床におちた塗料塊を定期的に寄せて廃棄する。現場には別のグループがおり、下塗りまで剥離した箇所は、ブラスト作業と、新しい塗装の下塗りを実施する。

剥離剤の種類および量、保持時間などは実際の現場ごとに試験を行って決める。今回使用した剥離剤はベンジルアルコールの含有率が一番低いですが、剥離剤としての効きも弱いという感触を持っているとのこと。

(2) 災害の経緯

被災者は壁面に剥離剤を塗布する作業に従事していて、発見時には作業をすべて実施した後の状態であった。午後の前半の作業の休憩後、15:00頃から実施した塗布作業において災害が発生した。発見時は作業個所の一番出口よりでぐったりしており、見つけた同僚が運び出した。運び出した際、同僚も意識が混濁する急性中毒様症状を示し、のちに入院した。

被災者は作業現場外に運び出されていたため、救助に伴う、発災場所の酸素・一酸化炭素濃度の測定などは行われていない。

(3) 保護具

作業時はL3防じんフィルター有機用小型直結吸収缶による防じん防毒電動ファン付き呼吸保護具（G-PAPR）を着用していた。吸収缶は少なくとも、午前午後、必要と感じれば休憩後の毎作業毎に交換するように指導していた。被災者は、割と頻繁に交換しており、当日も死亡事故がおきた15:00の作業開始前に新しい吸収缶を使用したとのこと。

保護具としてはほかに防塵服、手袋はニトリルの手袋の上にキッチン用のポリエチレ

ン手袋を重ねて使用していた。防塵服、手袋も休憩時間ごとに新しいものに交換していた。
そのほか、熱中症対策で保冷ベストを支給されていたが作業者は使用していなかったとのこと。

(4) 作業者からの聞き取り事項で着目すべき点

- ・吸収缶は、においを感じたらすぐ替えるように指示されており、被災者は、最も頻繁に交換していた。においの種類は、シンナーのようなにおいとは異なるものであった。吸収缶を交換した直後（例えば朝一番の状態）であっても、現場に入ると薬品臭がするとの証言があった。
- ・剥離剤に触れて放置していると皮膚がかぶれたようになり、かなり刺激性が強い（SDSによれば比較的強い酸性）。剥離剤が手にかかった跡なのか、やけどの様に黒くなっているのが、遠くから見ても確認された。

2. 2 災害発生現場における測定・試料の分析

(1) 調査の実施内容

労働局職員とともに現場に入り、写真撮影、残留物の採取、光イオン化（PID）センサーによるリアルタイム揮発性有機化合物（VOC）濃度計（以下 VOC 計）、熱線式風速計等を持ち込み、現地で測定を行った。

(2) 気流

熱線式風速計を用いて気流を測定した。およそ 3m の高さがある鉄の梁 4 本の下方に 50cm 程度だけ隙間が空いている状態で、川の下流側に吸気・上流側に排気ファンを設置していた風量はそれぞれ 70m³/分のファンを 2 基ずつ計 4 基備えていた（図 1, 2）。実測では排気ファンの風速は約 5m/s であり、送気量はファン一基あたり 21 m³/分となる。設計値と実測値の差は空間の密閉度が高いため(図 1, 2)だと考えられる。作業区画は 1080m³であり計算上の換気回数は 0.04 回/分である。局所的にはほとんど空気が入れ替わらない場所もあったと推定される。



図 1 作業現場(上図：梁とつり足場、下図：換気ファン)



床と梁の下端までの隙間は、60cm。
作業者は腹ばいになり梁の向こう側に移動する。

図 2 梁と床の隙間

(3) VOC 計による簡易測定

VOC 計を研究員が持って入り、現場内の残留ベンジルアルコール濃度を測定した。結果を図 3 に示す。被災者が最後に作業し、剥離剤を塗布したままの状態になっている場所では、災害発生時から 1 か月経過の調査日において数十 ppm の揮発性有機物が観測された。

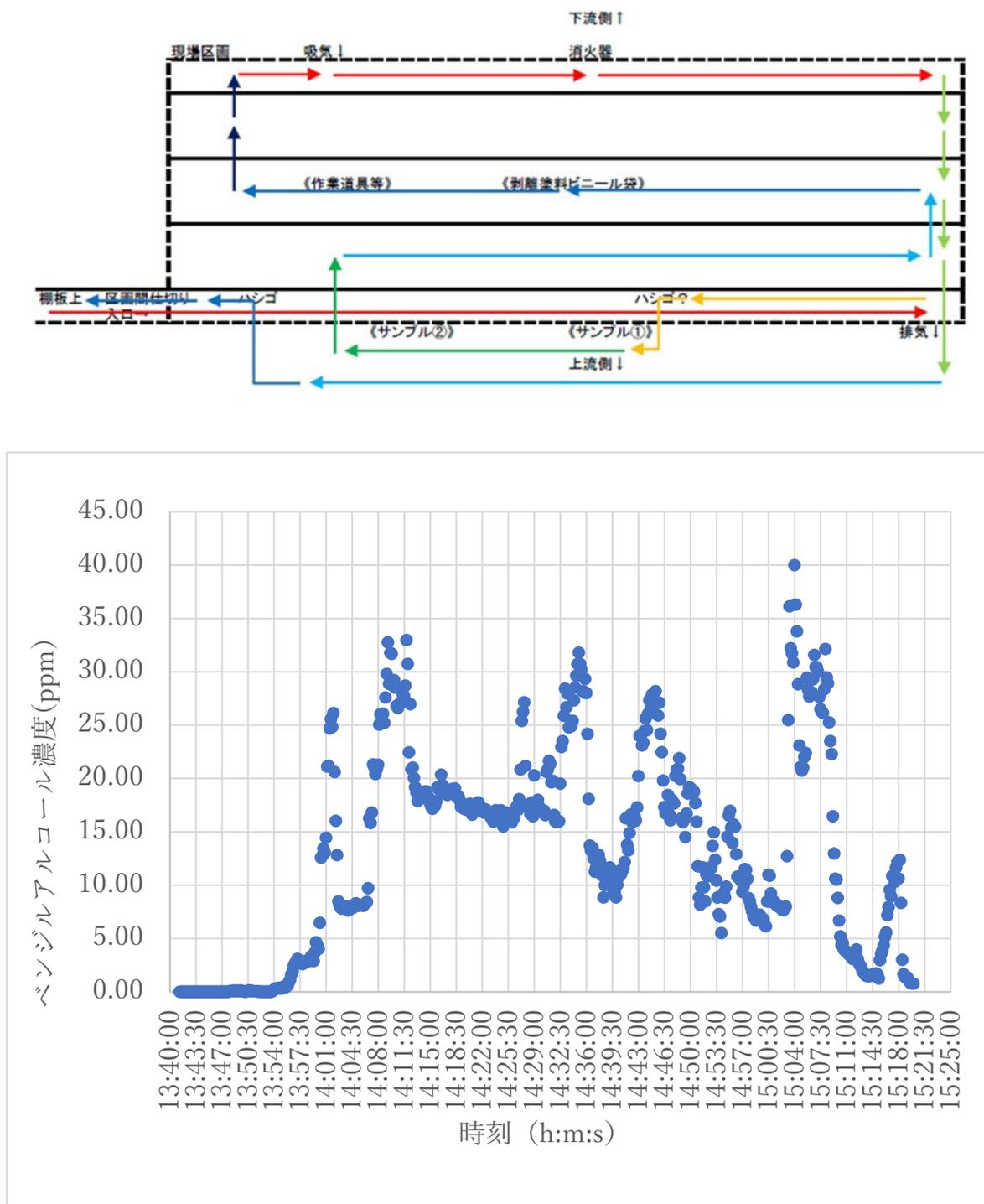


図 3 VOC 計によるベンジルアルコール濃度測定値および試料捕集場所
 上図 職員が歩いた経路 (平面図)・下図 時系列の濃度、
 (サンプル① 付近で被災者が倒れていた)

(4) サンプリングおよび分析

足場の床面に落ちている塗料と剥離剤の混合物を採取し研究所に持ち帰った。試料は、元の塗料の色（上塗りが青，下塗りが酸化鉛防錆顔料の赤）が混じった粘性の高い、いわゆるスラリー状の柔らかい主成分に溶け残りの塗膜あるいは錆と思われる固形物が混じっているようなものであった。（写真 1,2）剥離作業後約 1 か月経過しているがベンジルアルコールと思われる有機化合物臭がした。同サンプルをアセトンで抽出し、ガスクロマトグラフー質量分析計で分析したところ、有機成分としては、ベンジルアルコールが酸化されて生じるベンズアルデヒドが 1%以下で混在するものの、大半がベンジルアルコールであった。（図 4）



写真 1 剥離剤塗布後



写真 2 剥離した塗料（青色は上塗り）

※ 図 2 でも示したとおり、梁と養生の床の隙間は写真のように非常に狭い

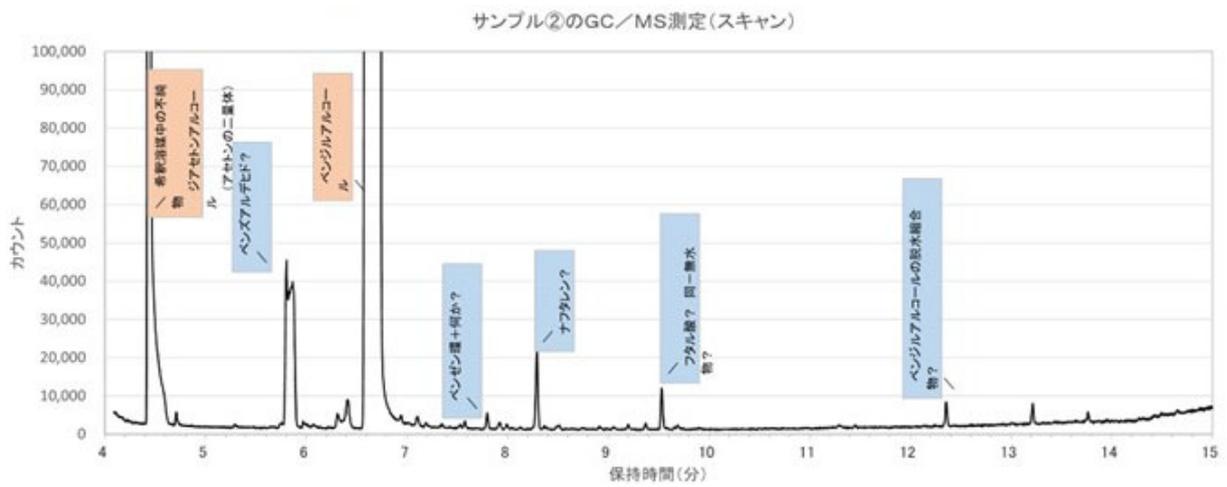


図 4 捕集した試料のサンプルのガスクロマトグラフ分析結果例

3. ベンジルアルコールの危険有害性情報について

本災害の原因物質と推定されるベンジルアルコールの危険有害性に関する文献情報を以下に示す。(尚、情報は災害発生時点のものである。)

3. 1 ドイツ MAK

ベンジルアルコールについて、濃度の規制値(勧告値)としてドイツの MAK (Maximale Arbeitsplatz-Konzentrationen; 最大職場濃度)は 5ppm (22mg/m³) である。

3. 2 同種の災害の報告事例

剥離剤に関しては複数の中毒事故がすでに発生しており公益財団法人 日本中毒情報センターが令和 2 年 7 月 22 日に情報提供資料として複数の中毒事故例(中毒研究 2020;33:94-98.) (日本救急医学会雑誌 2018;29:254-259. JPIC 受信例)を紹介している。

3. 3 米国の規制状況

労働規制庁(OSHA)が分析方法の提供は行っているものの、PEL(Permissible Exposure Limit; 許容ばく露限界)等は設定していない。

<https://www.osha.gov/chemicaldata/chemResult.html?RecNo=36>

提供している分析方法の目標濃度は 8h-TWA で MAK 同じ 5 ppm であり、慢性影響として管理すべき濃度の値として 5 ppm 程度を想定しているものと考えられる。

皮膚刺激性などからエネルギー省(DOE)が PAC として下記の値を示している。(表 1)

表 1 PACs (Protective Action Criteria)

Chemical	PAC-1	PAC-2	PAC-3
Benzyl alcohol (100-51-6)	30 ppm	52 ppm	740 ppm

(DOE, 2016)

Protective Action Criteria:

Protective Action Criteria (PACs) are essential components for planning and response to uncontrolled releases of hazardous chemicals.

(保護措置基準(PACs)は、危険な化学物質の意図しない放出に対する対策を決めるための指標)

PAC-1: Mild, transient health effects. (軽度な一時的な健康影響)

PAC-2: Irreversible or other serious health effects that could impair the ability to take protective action. (防護する能力を失う可能性がある, 治癒しない, 深刻な健康影響)

PAC-3: Life-threatening health effects. (生命に関わる健康影響)

4. 災害の原因

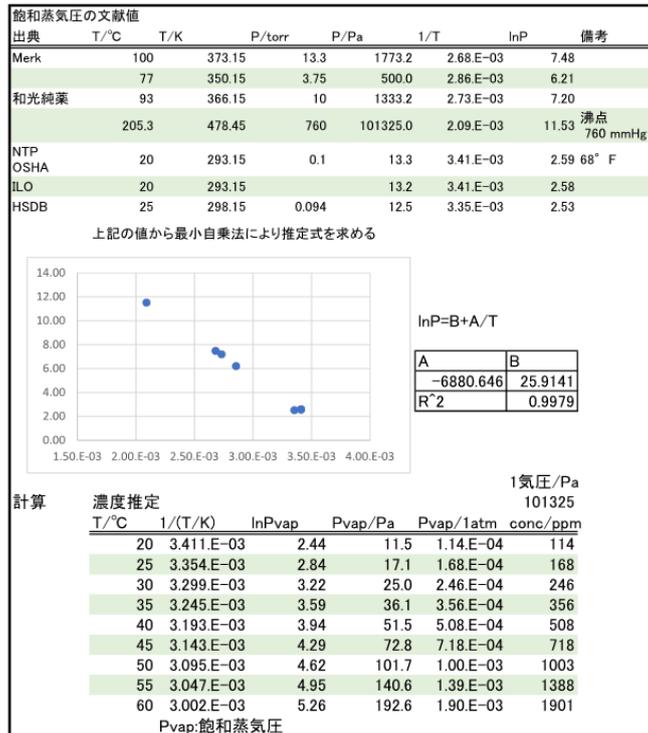
今回の災害は、剥離剤の成分であるベンジルアルコールによる中毒が原因と推定される。

4. 1 気中濃度および呼吸によるばく露の可能性について

現場は、剥離作業を中断して約1ヶ月あまり経過しているものの、有機化合物の臭気が漂いPID計による測定結果より最大で数十ppmの揮発性有機化合物の存在が観測された。PID計は、有機化合物の種類を区別することはできないが、現場より採取した塗膜と剥離剤の混合残留物の分析結果より、ベンジルアルコール蒸気であったと考えられる。1ヶ月後でも尚高いベンジルアルコールの濃度が観測されたことは、ベンジルアルコールが蒸発しにくい性質を有していることを示す。一方で、蒸発しにくい性質を有するベンジルアルコールが数十ppmという比較的高い濃度で観測された理由として、剥離剤の噴霧量が非常に多い（今回の施工では9kg/m²）ことが挙げられる。このような環境でのばく露経路として呼吸による吸引の可能性がある。今回の作業はエアレススプレーを使用したミスト状の剥離剤を噴霧する作業であり、換気が有効でない狭隘空間での作業であることを考えれば、作業場所ではベンジルアルコールの飽和蒸気圧に相当する濃度であったと考えられる。図5は飽和蒸気圧まで到達した場合の気中ベンジルアルコールの濃度の推定値である。クラウジウス-クラペイロンの熱力学推定式に、各社のカタログや、各国の規制値に示されている物性情報などの文献値をプロットし各温度の飽和蒸気圧および濃度換算をおこなった表を作成した。当日の気温が30℃以上であったと考えられることから、現場の濃度は250-350ppmになっていた可能性がある。この濃度は重大な健康影響を与えるPAC-2の52ppmを超えており、生命の危険性がある。また今回使用したG-PAPRの吸収缶は小型直結相当の吸着剤量であるため、300ppmに近い濃度で使用した場合、短時間に破過してしまう可能性がある。また、吸収缶が新しい状況でも薬品臭がしたとの証言もあり、呼吸保護具が十分な防護性能を有していなかった可能性がある。

4. 2 経皮ばく露の可能性について

作業者が着用していた手袋は液体が皮膚に触れるのを防ぐことができるが、防塵服は濡れるくらいに液体を浴びた場合の防護性能は十分ではない。従って、経皮吸収によるばく露の可能性についても考慮すべきだが、影響を定量的に見積もるだけの情報は得られなかった。今回使用されていた剥離剤は、リン酸を含みpHが2程度とかなり酸性が強く、作業員からの証言でも皮膚損傷性がある。このため皮膚のバリア性を損傷し、より多くベンジルアルコールが体内に入った可能性がある。ベンジルアルコール含有剥離剤の成分は一定ではないため、今回の労働災害の原因究明に留まらず同種の災害防止策を検討する際にはこの点についても注意が必要となる。



凡例	T	温度	単位	°C	摂氏温度
	P	蒸気圧文献値		K	絶対温度
	Pvap	蒸気圧計算値		torr	圧力mm水銀柱
	lnP	蒸気圧の自然対数		Pa	パスカル
	conc	濃度		atm	気圧

図 5 ベンジルアルコールの濃度推定

上表 特定温度における飽和蒸気圧測定値

中図 蒸気圧の推定式

下表 各温度の濃度推定値

5. 災害の原因および同種の労働災害防止対策について

従前より、ベンジルアルコール含有剥離剤による中毒事故例は発生しているが、今回死亡事故となってしまった原因は不明である。しかし、本災害発生時の作業について現場特有の特殊な事情は見られず、他の剥離作業現場でも同種の死亡事故が発生する可能性がある。

問題点として指摘できるのは、剥離剤の量に比べ作業空間が狭すぎる点がある。橋の外側の作業空間は幅 1m 程度しかない狭隘空間であり、ここで大量の剥離剤を噴霧することで、気中濃度が容易に高濃度になるだけでなく、剥離剤のミストを容易に浴び、呼吸に加えて経皮の曝露についても防護が必要となる。橋梁の構造上現実的には非常に困難ではあるが、換気を十分に行うとともに、作業環境の気積を大きくした上で十分な換気設備を設けることが同種の災害を防ぐ決め手になると考えられる。

6. まとめ

道路橋の再塗装作業において死亡事例を含む複数の労働者の有機溶剤中毒が疑われる労働災害が発生した。作業者の聞き取り、現場の状況などからみて、塗装剥離剤に含まれるベンジルアルコールによる中毒事故である可能性が高い。今後同種の災害を防ぐために、保護具の性能評価や経皮吸収の定量的評価などの知見の集積が必要である。

今回の災害は、呼吸保護具の性能や、作業管理等が不十分であった可能性が高い事例ではある。だが、本現場特有の問題のみが本労働災害の原因ではなく、狭隘空間で多量の薬剤を噴霧するという、現在多数行われている塗装剥離作業方法が労働災害をもたらす可能性が高く、作業方法の大きな変更を伴う改善策をとる必要があると考えられる。