



Title	Deterioration of modern concrete structures and asphalt pavements by respiratory action and trace quantities of organic matter
Author(s)	Moriyoshi, Akihiro; Shibata, Eiji; Natsuhara, Masahito; Sakai, Kiyoshi; Kondo, Takashi; Kasahara, Akihiko
Citation	PLOS ONE, 16(5), e0249761 <a href="https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249761">https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249761</a>
Issue Date	2021-05-13
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/81339">http://hdl.handle.net/2115/81339</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	article
File Information	moriyoshi_2016-6.pdf



[Instructions for use](#)



Title	セメントコンクリートの呼吸作用と砂利化現象
Author(s)	森吉, 昭博
Citation	月刊建築仕上技術, 41(491), 49-55
Issue Date	2016-06
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/62254">http://hdl.handle.net/2115/62254</a>
Type	article (author version)
File Information	moriyoshi_2016-6.pdf



[Instructions for use](#)

## セメントコンクリートの呼吸作用と砂利化現象

北大名誉教授 森吉昭博

### 1. まえがき

セメントコンクリート橋のコンクリート床版が経年変化に伴い、砂利と鉄筋だけが内部に残っている現象は、一般にセメントコンクリートの砂利化現象と言われている。この現象は床版以外のコンクリート構造物でも 40–50 年前から世界中で生じているものの、まだこの原因は特定されていない。

本研究はこのコンクリートの砂利化現象が生じ、破壊した構造物で主に観察されたことと、これに関する 1 部の室内実験の結果について述べる。私はコンクリートが専門ではないため、いささか見当はずれのことがあると思われるが、専門外からの意見としてお許し頂きたい。

### 2. 阪神淡路大震災で被災し倒壊した阪神高速道路 3 号線のコンクリート製の橋脚

1995 年に起こった阪神淡路大震災で倒壊した阪神高速道路 3 号線（神戸）のコンクリート製の橋脚の破壊は特に砂利化現象を説明する上で極めて重要な構造物と思われる。

図一 1 は首都大学東京の吉嶺充俊先生が撮影された倒壊したこの橋脚の詳細な破壊状況の写真である。この高精度の写真から以下のことが分かる。

1. 地面から約 1m の高さにある縦鉄筋でそれ以上の鉄筋が無くなっている、いわゆる「段落しの鉄筋」は地面から緩やかな S 字状の形状を示し、必ずしもこの段落としの鉄筋の上部の先端付近でコンクリートが主に破断していない。S 字状となった段落としの鉄筋の曲がり具合から地上より 50 cm 程度の箇所鉄筋が大きく曲がっているため、地震の初期にはこの橋脚部分に大きな応力が掛った可能性が大きく、地震時にはこの箇所の橋脚のコンクリートから橋脚が破壊したと思われる。しかし、この S 字状となった段落としの鉄筋の上部と下部の曲がり具合から、この箇所で橋脚は簡単なせん断破壊をしないで、地震時にこの橋脚は前後に揺すられたため、このように段落としの鉄筋の上部が逆側(手前)に曲がり、かつ内部のコンクリートが細かく砕け、コンクリートの破片がこの地震で橋脚の外に飛び出し、その結果として「段落とし鉄筋」は S 字状に曲がったと思われる。従って、このとき、コンクリート製の橋脚は地震でこのように前後に揺すられたとき、内部のコンクリートが細かく砕けて内部から飛び出し、また鉄筋の周りのコンクリートが全く付着していないため、上部の高架道路のコンクリート構造物の重さ（荷重）に耐えきれず、この高架道路は図一 1 のように向こう側に倒壊したと推定される。

2. コンクリートは内部まで拳大の大きさを破壊し、それらは橋脚の上部の「首」の付近から橋脚のコンクリートが倒壊した逆側の表面全体（この図面の手前）のコンクリートが

「ずり落ち」で、拳大の大きさのコンクリートの破片が地上に多量に落下している。地上に落下したコンクリートの破片は鉄筋の太さより細かい直径 10 mm程度や粉状の細かい破片が多い。

3. 橋脚のコンクリートは内部の 30-40cm まで亀裂や大きな空洞となった部分が見られる。

4. コンクリート橋脚の破断面は全体に粉を振り掛けたように白くなっている。

5. 地面に落下したコンクリート片は異常に白く、かつメリケン粉のように細かいため、このコンクリートの粉末は極めて細かい粒子と思われる。

6. 橋脚の表面近くの帯鉄筋は橋脚下部でコンクリートは全く付着せず、この剥がれた鉄筋は、すべて地面にずり落ちている。

7. 剥き出しとなったすべての鉄筋の表面にはほとんどコンクリートが付着していない。

8. 地震で破壊したとき、通常のコンクリート製の橋脚の破壊形状は単純なせん断破壊となるため、コンクリート製の橋脚は主に斜め方向に1本の破壊面として表われるが、ここではそれが見られない。

9. この橋脚のコンクリートの鉄筋の被り厚さは 7 cm であった。

10. このコンクリートの表面が黒いのは極表面に限られ、ディーゼル排煙等の黒い「煤」が極表面に付着している。

11. 倒壊時に作用した応力が比較的小さいと思われるこの橋脚上部のコンクリートも細かく砕けている。

12. 倒壊した方向とは逆側(この写真の手前)のコンクリート橋脚の損傷がひどい。

13. 上部の健全な橋脚の右側(倒壊側)でも鉄筋の周りが盛り上がったような白い筋がかすかに見られるため、橋脚の裏側(倒壊側)の周囲でも細かい亀裂の発生が窺える。

14. 地震で破損したコンクリート製の橋脚でこのような橋脚内部まで破壊し、細かく崩れた例は今まで見られない。

15. このようにコンクリートの橋脚が内部まで細かく砕けているのは、地震によってこれらが細かく壊れたのではなく、地震前にこのコンクリートにはすでに内部に多数の亀裂がすでに入っていたため、地震によってこのようにコンクリートが細かく砕けたと推定される。

16. 近くのコンクリートの補修の専門家の話として、これらのすべてのコンクリート製の橋脚の表面には地震前にすでに非常に細かい亀裂が沢山入っていたが、この亀裂はいわゆるアルカリ骨材反応で良く見られるような樹枝状亀裂(太い箇所と細い箇所が混合した亀裂)ではなく、ほぼ同じ太さの細かい亀裂が多く見られたと証言している。

また、この橋脚が設置されていたときの現場の車両の通行状況は以下のとおりである。

このコンクリート製の橋脚の両側にある国道 43 号線は 1963 年の開通当初は片道 5 車線であったが、1982 年に片道 4 車線となり、このとき両側に緑地帯と歩道を設け、1995 年の

震災後それが片道 3 車線となり、この路線と神戸・湾岸線の高架道路（阪神高速道路 3 号線）の両線で震災時、大型車（ディーゼル排煙放出）だけで交通量が 56,000 台/1 日の激しい交通量があり、ここは日本で最初の排気ガス汚染（大気汚染）や騒音による付近の住民による集団訴訟となった箇所であった。図—2 は震災時に倒壊した阪神高速道路 3 号線の橋脚付近の道路構造を示す（この図面では国道 43 号線は片道 3 車線となっている）。

筆者はこの写真の橋脚とほぼ同じ箇所で、倒壊した橋脚のコンクリート等で以下のような実験結果を得ている。

1. 橋脚のコンクリート中の塩素濃度は 4 cm 深さにおいて最大値で 4.5 kg/m<sup>3</sup> であり、フェノールフタレン塗布による中性化深さは 4 cm であった。
2. この倒壊した一連の別の橋脚でコンクリートの砕石以外を粉末にし (0.074mm 以下)、これをクロロフォルムで抽出し、この液を核磁気共鳴装置(<sup>1</sup>H NMR)にかけた、<sup>1</sup>H NMR のスペクトル波形からコンクリートに有害なフタル酸エステル、車のウインドウオッシャー液中の界面活性剤(ポリオキシ・エチレン・ノニルフェニルエーテル硫酸ナトリウム:SPNES)等が特定された (A. Moriyoshi, M. Tabata, H. Kitagawa, K. Tokumitsu and N. Saeki, *Journal of the Petroleum Institute*, 45,(2) 84-88(2002))。
3. これらコンクリートに有害な有機物は短期間でコンクリートの中性化やアスファルトの溶解をもたらす。
4. セメントコンクリートは木材と同じように自身の呼吸作用を通じて、内部に空中のこれら有害有機物を多量に取り込んでいる。
5. 新設のコンクリート橋（アスファルト舗装：表層 4cm、基層 4cm+コンクリート床版：厚さ 20cm）からコアで採取した、円形試料（直径 10 cm、コンクリート厚さ：20 cm から切り落として 5 cm 厚さ）のアスファルト舗装表面に 1.6g のフタル酸エステル（油性物質）を乗せ、これを室内の北大式の非定常透湿装置にかけ、試料の表面温度およびコンクリート底面の温度を名古屋地区の夏季の温度、湿度でこれらが 1 日(24 時間)時間と共に変化する条件のものと室内で「この透湿実験」を実施すると、40 日程度でコンクリートの厚さ 5 cm のすべてが、フェノールフタレン塗布で中性化していることが確認された (I. Sasaki, A. Moriyoshi, and M. Tsunekawa, *Journal of the Japan petroleum Institute*, Vol.49, No.6, 315-320, (2006)。これより、フタル酸エステルは「油性物質」であるにも拘らず、この有機物は極めて、わずかな湿気に触れるだけで「油性物質の微量分が湿気で剥がされて」この剥がされたフタル酸エステルがセメントコンクリート中に浸透し、コンクリートの中性化を極めて短時間でもたらすことを示している。このように微量の有機物によりコンクリートが中性化する化学反応は、化学の専門家ではない我々の通常理解を超えた不思議な現象と思われる。
6. 健全なセメントペースト試料にフタル酸エステルを噴霧すると「瞬時」に 2 エチル 1

ヘキサノール（2E1H）という特殊な臭いのあるアルコール（2E1H）が検出される。これはフタル酸エステルが強アルカリであるセメントペーストの中で、このフタル酸エステルの加水分解反応が生じ、この加水分解で生じたアルコール(2E1H)がセメントペースト試料から発生していることを筆者はすでに室内実験で確認している。

### 3. ベルギーの道路のコンクリート床版の砂利化の実例とその研究例

ベルギーの道路局が自国で実際に砂利化が生じていたコンクリート床版の調査から以下の結論を出している(Phillippe Demars. & et al. Bulletin Des Laboratoires Des Ponts ET Chaussées, 232, Ref, 4368, 75-85 (2001))。このように実際にコンクリートが砂利化した現象を検討した研究例は世界でも極めて珍しい。

1. コンクリートの砂利化現象は融雪剤によるものであり、内部からカルシウム・クロロ・アルミネート化合物が検出されている。
2. コンクリート床版の砂利化現象は 1985 年以来ベルギーでは急増している。
3. アルカリに敏感な骨材を使ったため、コンクリート内部でアルカリシリカ反応、エトリンガイト、カルシウム・クロロ・アルミネートが生成され、このためのコンクリートの砂利化が生じた。
4. コンクリートの砂利化は 3 つの現象、すなわちコンクリート床版の底部の黒い模様、アスファルト舗装表面からの細かい白い物質の溶脱、コンクリート床版のポットホール現象が見られると、コンクリートにこの砂利化現象が生じている証拠となる。

しかし、この研究例では砂利化したコンクリートを化学分析した結果で 1 番多く検出された  $\text{SO}_4^-$  イオンを全く考慮していないこと、通常の融雪剤だけではアスファルト舗装中の細かい白い「石灰石粉」は溶出しないこと、コンクリート床版の底部で見られる黒いアスファルト状物質はアスファルトの溶解であるにもかかわらず考慮していないこと、セメントコンクリートの化学成分の溶脱も全く考慮していないことなどから、この研究で述べている砂利化現象の原因解析の結論に対しては疑問点が多い。

### 4. 考察

以上の研究や観察に対して、このコンクリートの砂利化現象で有害な物質の性質がコンクリート構造物に対して、どのように作用しているのかを改めて説明したい。

1. フタル酸エステルはディーゼル排煙やタイヤ中の軟化剤中に存在し、これらが空中に多量に放出されて、これらが空中で浮遊している。
2. フタル酸エステルは油性物質でかつ極微量でありながら、空中のナノオーダーの大きさの湿気（ビニールシートも簡単に透過する）と一緒にコンクリート中に呼吸作用で簡単

に浸透し、コンクリートの中性化や砂利化に寄与している。

3. SPNES は 1985 年に車のウインドウオッシャー液の界面活性剤（濃度：0.5%）の世界基準と世界中で規定されて以来、世界中で同じ化学成分（SPNES）が自動車用のウインドウオッシャー液中の界面活性剤として現在でも世界中で使われているため、この物質は地球規模の汚染状態にあり、この年を境にコンクリート床版の砂利化が世界中で急激に増えている。

4. SPNES は車のウインドウオッシャー液から放出されると、アスファルト舗装の表面に落下する。しかし、この物質は生分解性が良くない為、舗装上に残り、雨が降ると洗剤であるこの低濃度の水溶液（SPNES 濃度：雨の降り始めで約 50 ppm）と走行車両がアスファルト舗装を「もみ洗い」して、アスファルト舗装中のアスファルトを溶解する。このため、世界中で見られる雨の降り始めの「黒く泡だらけの水」はこの SPNES による泡とこれにより溶解したアスファルトである。このアスファルトが溶解した細かい水滴（湿気）は車両走行に伴い、空中に巻き上がる。

5. SPNES 中の硫酸イオン ( $-\text{SO}_3^-$ ) は洗濯洗剤や台所洗剤として利用されているように、洗剤であるこの SPNES は車の前部の窓ガラスに付着した油性物質の除去効果が大きく、かつ短時間に窓ガラス上の油性物質が除去できる。

6. 洗濯洗剤や台所洗剤が流れるコンクリート製の下水管の「水中のコンクリート部分」からもこれらのコンクリートに有害な物質が検出されており、この断面はフェノールフタレン塗布でも無色を示しているため、コンクリート下水管もこれらで損傷していることは間違いないと思われる。ただし、このようなフェノールフタレンの塗布による損傷評価はコンクリートの pH 測定をしているだけで、コンクリートの亀裂等の損傷を評価をしているのではない。一方、コンクリート下水管で水に晒されていない空中の上部のコンクリート下水管の損傷も硫化水素だけでなく、有害有機物を含む湿気が、季節変化に伴い、下水管の温度が変化することから、このコンクリート下水管も呼吸をしていると思われるため、上部のコンクリート管の損傷にもこれが関係している可能性が極めて高いと思われる。

7. 下水管から下水道処理施設に到達したこれらの有害物質を含む「水」はこの施設では有機物は細菌を使って処理しているが、細菌はこのような有害物質は全く処理できないため、有害物質はそのまま川や海に放出され、これらを汚染している。

8. SPNES のような有害物質で汚染された道路の表面排水は下水道施設で処理されないでそのまま直接、川や海に放出されることが多い。

9. 車両走行に伴いこれら有害有機物は空中に飛ばされ、 $1\mu\text{m}$  程度の大きさとなって空中を浮遊する。この「粒子」の大きさでは  $1\text{cm}$  沈降するのに 1 時間掛ると言われるので、空中でこの粒子は長時間浮遊している。アスファルトを SPNES で溶解した物質の固形物の大きさを顕微鏡で調べたところ、直径  $1\mu\text{m}$  程度の大きさとなっていた。

10. セメントコンクリート構造物は両端が拘束され状態では、温度差  $5^\circ\text{C}$  で亀裂、温度差  $10^\circ\text{C}$  で破断する。このため、亀裂のあるコンクリート構造物は自身の呼吸作用で極めて簡

単に空中の有害有機物を内部に取り込んでいる。

1 1. コンクリート構造物の内部に湿気と一緒に浸透した有機物はコンクリート内部では深部ほど温度が低く、特に鉄筋はコンクリートと比較して比熱が小さいため内部では鉄筋の温度が相対的に低いため、内部に浸透した物質は鉄筋の周りでまず冷却され、この鉄筋とコンクリートとの界面で結露し、この水溶液あるいは細かい有害有機物の粒子がコンクリート中のカルシウム分を溶解し、カルシウム塩となり溶脱する。このとき、溶脱したカルシウム塩は水溶性カルシウムと難溶性カルシウムがほぼ同じ量だけ生成されるが、水溶性カルシウムはコンクリート中から亀裂を介して、外部に放出され、無くなるが、難溶性カルシウムは「エフロレッセンス：白華現象」やコンクリート製の地面に生成される「石筍」や「コンクリートのつらら」になって残っていると推定される。

1 2. これよりコンクリート構造物にエフロレッセンスが発生すると、このエフロレッセンスの量の倍以上のコンクリート中のカルシウム分の溶脱がすでに生じていることとなる。

1 3. このコンクリートの「石筍やつらら」は一般に言われている炭酸ガスによるものよりこれらの有害物質で生成される速度が3年で石筍の高さ4-5 cm,直径20 cmと極めて早いこと、またこの石筍の化学分析からも上記の有害物質が検出されているため、大部分の「石筍」やコンクリートの「つらら」の生成はこれらが主原因と考えられる。

1 4. 有害物質で鉄筋の周りのコンクリートが溶解すると、鉄筋の周りのコンクリートと鉄筋との付着が無くなり、鉄筋の周りに空洞が出来る。

1 5. このコンクリートの空中の有害物質を取り込む「呼吸作用」は夏季の高い温度、多い湿度の環境条件と極めて密接に関係している。

1 6. 建物の断熱材には特に夏季に湿気が多量に含まれる。これはグラスウール断熱材の内部にカビが発生したり、また断熱材が黒くなる原因も呼吸作用で断熱材を覆っているビニールシートを透過した有害有機物を伴ったナノオーダーのこの湿気が内部に溜まったことが主な原因と思われる。

1 7. このグラスウール断熱材の主成分のシリカ分はSPNESで溶解されるため、コンクリートと同じようにグラスウール断熱材はこの呼吸作用で劣化していると思われる。

1 8. 建物の内壁材として使用されている、「珪カル板：珪酸カルシウム板」や漆喰もコンクリートと同じように強アルカリであるため、これらが室内の空気中のコンクリートに有害な有機物（フタル酸エステル）を呼吸により内部に吸収すると、この「珪カル板」や漆喰は劣化するだけでなく、ここからも2E1Hのアルコールが発生していると推定される。このため室内で観測される揮発性物質の1つである2E1Hの発生量はコンクリート構造物からだけでなく、これらの物質から放出されている可能性が極めて高いと推定される。

1 9. フタル酸エステルはビニールの軟化剤やコンクリート製の床の上に設置するプラスチック製のタイルや絨毯用接着剤の添加剤として内部に多量これらが使用されているため、室内でこれらがこれらの材料からのフタル酸エステルの放散により2E1Hが発生する源となっている。



20. 2E1H の発生は室内では人間の咽喉、目等に極めて深刻な影響を与えており、これは新しい室内汚染物質の1つとなりつつある。

21. 2E1H の発生量の多くはコンクリートや珪カル板の呼吸作用が激しくなる、「夏季」に集中し、発生量の季節変化が明確に見られた。

筆者はこれらを総合して、温度差 5°C の熱応力で亀裂が発生したセメントコンクリート（これはセメントモルタルと砕石の線膨張係が 1 桁異なることから、これらの界面で破壊する）は空中のフタル酸エステルや SPNES を内部に吸収し、これがコンクリート中のカルシウム成分と化学反応することで、コンクリートの中性化と溶脱が生じ、砂利化していると推定している。またここでは SPNES がアスファルト成分を簡単に溶解することから、アスファルト舗装中の「石灰石粉」をまぶしていた有機物であるアスファルト成分を溶解し、アスファルト混合物中の「石灰石粉」をアスファルト舗装の表面に溶脱させ、溶けたアスファルトは「アスファルト乳剤」のような黒い液体状態となって、コンクリート床版の底部の亀裂部からこの黒い液体（水溶性アスファルト：1 種のアスファルト乳剤）が溶出し、この水分が蒸発して、コンクリート床版の底部で「黒いシミ」となる。一方コンクリート床版のポットホールもこれら有害有機物のためにコンクリート中のカルシウムがカルシウム塩となり、コンクリートを局部的に溶解し、溶出する。これらの現象が同時にコンクリート中で生じるため、コンクリート中で砂利化が発生したと思われる。

## 5. まとめ

以上より、セメントコンクリート床版等の砂利化現象は従来言われていたような水中での車両走行による破損現象ではなく、ここに示したように交通車両が全くない橋脚でも生じることから、極わずかな温度差で生じた熱応力でコンクリートに亀裂が発生し、空中から呼吸作用で取り込まれたセメントコンクリートの有害物質により、セメントコンクリート内部の化学反応で生じていると思われる。

このような私の推論が正ければ、米国でも難問の 1 つで米国の 7 不思議となっている、ミネアポリスの落橋や世界貿易ビルの破壊後に降り積もった細かい多量のコンクリートの粉末（地上に降り積もった厚さ：10 cm、平均粒径：0.05mm）の原因も近い将来、この砂利化によって生じたことが証明されると思われる。

砂利化現象はここではコンクリート製の橋脚が 30 年で 30 cm 以上の深さまでこれらの有害物質により砂利化させているため、一般に築造されているコンクリート製のビルの壁の砂利化は炭酸ガスによる劣化（炭酸ガスの劣化は 5 mm/20 年）より、数十倍（300mm/30 年）と極めて早いことが分かっている。また、このようにコンクリート構造物が内部深くまで細かく砕けていることから、建物のコンクリートは内部まで熱応力による亀裂が発生している可能性が大きいと思われる。これは、建築用のコンクリートは土木のコンクリートと

は違い、空隙が大きいこと、ビルの壁は室内温度と屋外温度の差が大きいこと、図一2より土木用コンクリートと同じ呼吸作用をしても、建築用のコンクリートの方が空気中の有機物の吸収量が多く（AE 減水剤の有機物の含有量は $1\text{m}^3$ 当たり  $0.75\text{kg}$ ）、この橋脚の近くの劣化し、倒壊した建築用コンクリート製のビルの壁(高さ  $1.5\text{m}$ )からは図一2 に示すように $1\text{m}^3$  当たり  $12.5\text{kg}/\text{m}^3$  の極めて多量の有機物が検出されている。コンクリートの透湿によるフタル酸エステルの加水分解反応は 2 重円筒型透湿試験を使って、強制的にコンクリート中に湿気を透過させて試料上部に置いた油性物質のフタル酸エステルが試料の内部に浸透し、コンクリート中でこれが加水分解することはすでに分かっている。(Takashi Tomoto, Akihiro Moriyoshi, Kiyoshi Sakai, Eiji Shibata and Michihiro Kamijima, *Building and Environment*, 44 (2009), pp. 2000-2005) しかし、このように湿気を強制的にコンクリート中に透湿させるのではなく、通常的环境条件の変化（温度や湿気の時間変化）だけでコンクリートの表面温度と内部の温度の時間変化に伴う、表面温度と底面温度の各温度のピーク時間の位相差の「力」により、コンクリート内部には外気温等の変化に伴い、コンクリートが自分でこれらを内部に自然に取り込んでいることが先に述べた佐々木等の実験で明白となった。このため、上記の建物は竣工以来ほぼ 30 年が経過し、阪神淡路大震災で倒壊したものであるが、ここでもこの呼吸作用により、30 年間で内部にこのような多量の有機物 ( $12.5\text{kg}/\text{m}^3$ ) を含んでいたため、深刻な砂利化がこの地震の前にすでにコンクリート製の壁の中で進行していたと推定される。

また図一2より、この建物のコンクリート壁中の有機物の量は倒壊した橋脚のコンクリート中のその約 20 倍となっており、この推論を裏付けており、これは高速道路の約 30 年経過し、劣化した中央分離体のコンクリート壁から得られた有機物量とほぼ同じオーダーの有機物量となっている。また建物の壁のコンクリートを  $0.074\text{ mm}$ 以下の粉末にした試料の色は健全なセメントコンクリートおよびこの倒壊した橋脚のコンクリートの粉末とは異なり、白ではなく、鼠色となっていたこと、またこの粉末をクロロフォルムで抽出した抽出液は墨汁のように黒かったため、以下に示す黒色有機物がこのコンクリートの壁に浸透していたと思われる。アスファルト舗装中の有機物である黒いアスファルト量は通常図一2に示すように 5%が標準値である。一方図一2 に於いて、国道 43 号線は 1963 年の開通当初の 5 車線から 1982 年に 4 車線となり、これに伴い、緑地帯と歩道が国道の両側に設けられたので、これ以来 13 年間だけで緑地帯の土には極めて多量の有機物（濃度：1.3%）が含有していたこととなり、これはアスファルト舗装中のアスファルト含有量と似た含有量となって、アスファルト舗装から SPNES により溶解した水溶性アスファルトがここに浸透したと考えられる。図一2 で示したコンクリート中の有機物の量の測定結果は、この考え方を裏付けるように、タイヤの粉塵、ディーゼル排煙、アスファルト舗装の粉末等に由来する「黒い有機物」がこれらの構造物等に経年変化と共に浸透したことであることは自明であると思われる。

次に、空中の有機物と劣化したコンクリート中の有機物の関係について調べるため、以下の解析を行った。図—3 より阪神高速道路 11 号線の約 30 年経過し、中央分離帯の劣化したコンクリートの中から検出された、コンクリートに有害な有機物成分と北大工学部の屋上の空気から回収された有機物の成分やその割合を以下のように化学分析した。

それらの有機物を劣化したコンクリート中の有機物と工場のほとんどない北大工学部の屋上で採取された空中の有害有機物とで比較すると、これらが全く同じであること、神戸と 1000km 以上離れた札幌の空中の有機物の成分や割合が化学分析（ガスクロマトグラフィー・マススペクトロスコーピー：GC-MS）でほぼ同じことがこれより確認された。この結果から、空中にあるセメントに有害な有機物は場所には関係なく同じ物質が検出され、それらの有機物の成分や割合もほぼ同じであることが証明された。このため、この有機物の量は場所により異なるものの、北海道できれいな空気と一般に言われているニセコの山奥での有機物の量が東京新宿の空気中の有機物量のほぼ 1/10 であること、またこの有機物中にはコンクリートに有害な有機物が含まれると推定されるため、このようなコンクリートの呼吸作用による砂利化現象は交通量に関係なく生じ、場所や環境条件が異なっても砂利化に至る時間だけがただ変化していると推定される。

このようにコンクリートの砂利化現象は通常炭酸ガスによる劣化とは異なり、極めて微量で、かつ有害な有機物がコンクリートを極めて短時間に広範囲な地域に亘って生じさせている可能性が高いため、これらがコンクリート構造物に大変深刻な問題を引き起こしていると思われる。このため、この原因究明に対していち早く多くの研究者がこの研究に取り組み、解決されることを期待して止まない。

最後にこの高精度の貴重な写真を快く提供して頂きました、首都大学東京の吉嶺充俊先生に対しまして心よりお礼を申し上げます。



図一1 コンクリート製橋脚の地震による詳細な破壊性状（首都大学東京 吉嶺先生提供）

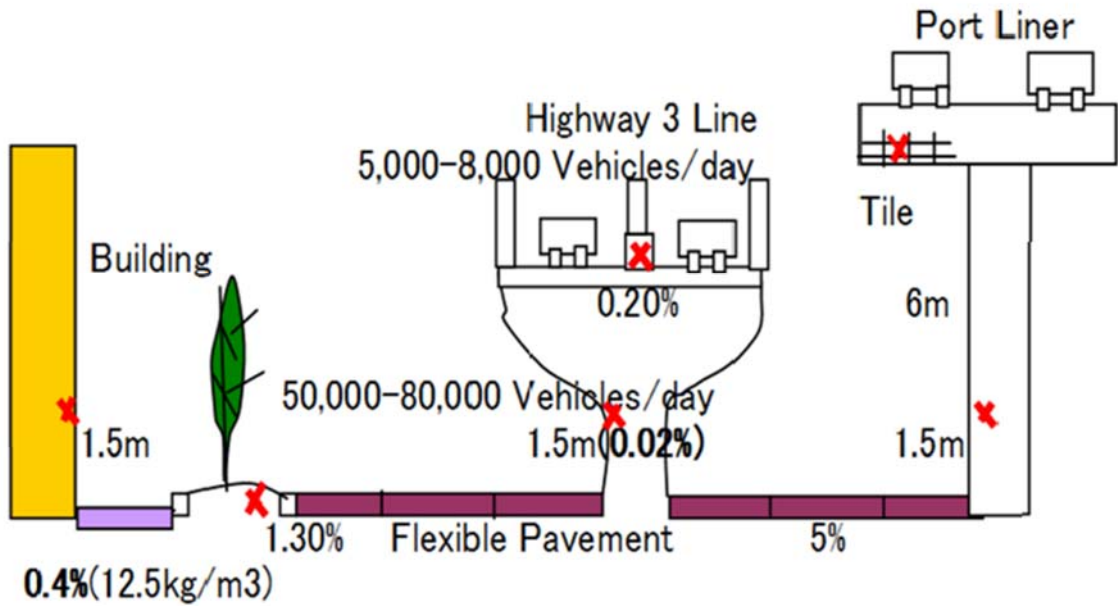


図 - 2 阪神淡路大震災で倒壊した阪神高速道路3号線の橋脚付近のコンクリート構造物中の有機物量 (%) (× : コンクリート中の有機物を調べた箇所)

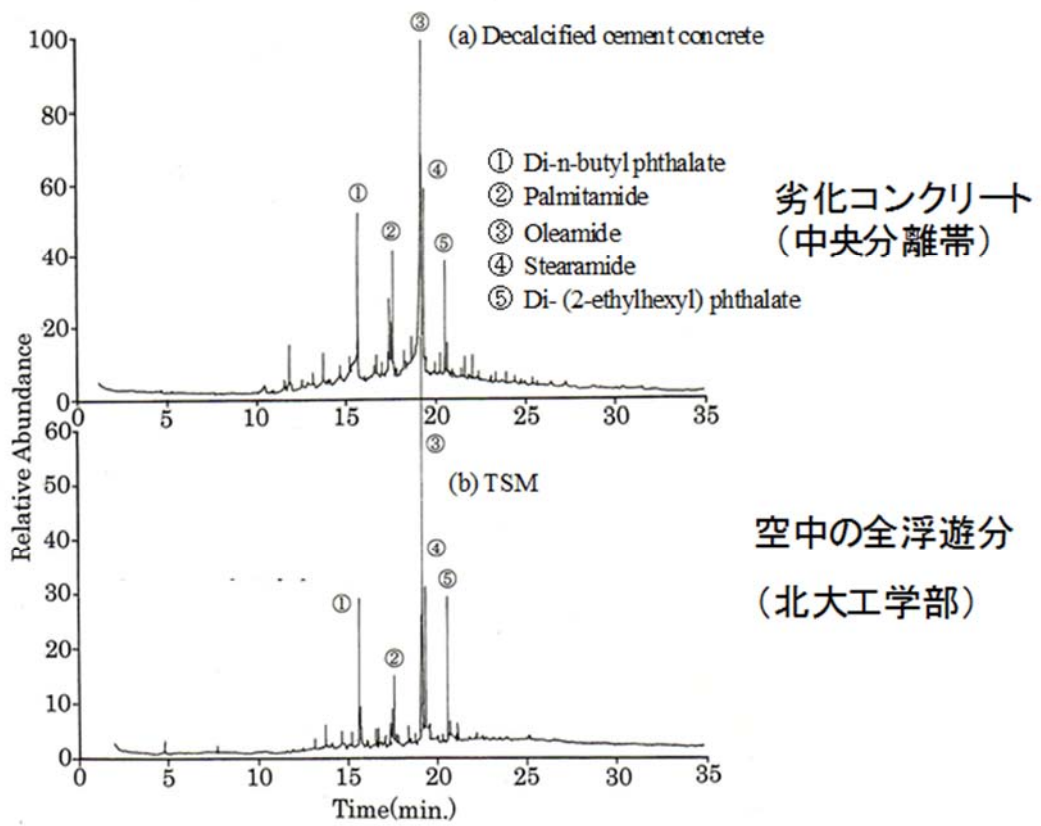


図-3 劣化したコンクリート中および空中の全浮遊分中の有機物

①：ジブチルフタレート (DBP) , ②：パルミチン酸アミド、③：オレイン酸アミド、④：ステアリン酸アミド、⑤：ジエチルヘキシルフタレート (DEHP)