

凍結防止剤によるコンクリート舗装の ポップアウト現象の発生要因に関する考察

Study on occurrence factors of pop outs phenomenon caused by anti-icing chemical application

北海学園大学大学院 学生員 松田謙治 (Kenji Matsuda)
北海学園大学工学部 正 員 武市 靖 (Yasushi Takeichi)
北海学園大学工学部 正 員 久保 宏 (Hiroshi Kubo)

1 はじめに

寒冷地においてコンクリート舗装において、凍結防止剤として用いられているエチレングリコール溶液を散布した結果、ポップアウト現象が発生しているという報告がされた。このポップアウト現象とは、コンクリート内部に含まれる吸水率の大きい骨材の膨張やコンクリート中の骨材が凍結融解作用やアルカリ骨材反応によって膨張し、コンクリートの表面においてポップコーンがはじけたように円錐状のコンクリート片となって外側に飛び出す様相をいう。

本研究では、ポップアウト現象とエチレングリコールとの関係を物性面から調べるためにコンクリート供試体に凍結融解試験を行ない、コンクリート供試体にポップアウト現象を発生させて、同時に動弾性係数を測定を行う。また、凍結融解試験にて用いた供試体を使用して、エチレングリコールを散布し、そのときの供試体の熱伝導率、含水率を測定する物性試験を行った。

2.試験概要

2.1 供試体作成

図-1は凍結融解試験 (Freezing Thawing and Test) と物性試験において使用したコンクリート供試体であり、コンクリート舗装用いられている骨材は 13 種類あり、そのうち反応した 4 種類がポップアウト現象に関わる骨材と考えられる。本研究において骨材には吸水量の大きい黄色と小さい灰色を用いている。黄色は 1.80%, 灰色は 0.42%としている。

写真-1は反応骨材の配置を示しており、横方向に 7 個 2 列計 14 個配置している。また、コンクリート供試体の表面に防水処理のために、エポキシ樹脂を塗布した供試体と塗布していない供試体の 2 種類を作成した。防水処理は、その有無によってそれぞれポップアウト現象に関係する影響に差が出るために用いている。

表-1は凍結融解試験にて用いた供試体の一覧であり、各供試体 (A~H) と同じ供試体を 4 つ用意し、合計 32 個の供試体にて試験を行った。

2.2 凍結融解試験

図-2は凍結融解試験における温度制御プログラムを示しており、凍結融解試験槽の最高温度は+8℃, 最低温度は-18℃, 凍結速度は 0.87℃/min として、300 サイクルの試験を行った。

表-1 において凍結融解試験時の浸潤溶液のエチレン

グリコール溶液 (以下、エチレンと称する) はエチレン 10%と水 90%の混合溶液であり、水は水 (100%) を使用している。

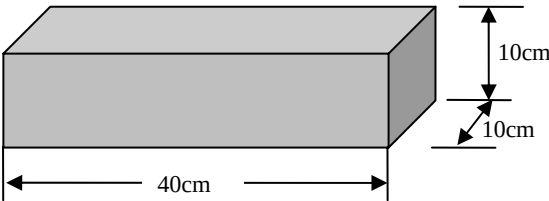


図-1 供試体概要図



写真-1 骨材の配置位置 (上:黄色 下:灰色)

表-1 凍結融解試験にて用いた供試体

	骨材	防水処理	凍結融解試験時の 浸潤溶液
供試体A	黄	あり	エチレングリコール
供試体B	黄	なし	エチレングリコール
供試体C	灰	あり	エチレングリコール
供試体D	灰	なし	エチレングリコール
供試体E	黄	あり	水
供試体F	黄	なし	水
供試体G	灰	あり	水
供試体H	灰	なし	水

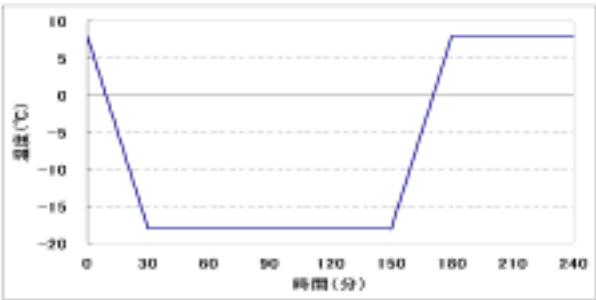


図-2 凍結融解試験の温度制御プログラム

2.3 動弾性係数測定

写真－2 は動弾性係数の測定状況を示す。試験供試体の劣化の度合いを調べる為に弾性波測定を行いコンクリート供試体の動弾性係数を測定した。周波数は通常のコンクリートにおいて測定する 2000Hz で行った。また、測定には約 40 サイクルごとに動弾性係数を求めた。



写真－2 動弾性係数の測定状況

2.4 質量の損失量の測定

凍結融解試験での供試体の質量変化を調べるために動弾性係数測定と同時に質量を測定した。

2.5 物性試験

試みとして、ポップアウト現象の発生要因を熱伝導率と含水率の物性の観点から調べる為に測定した。

写真－2 は凍結融解試験後の供試体に対して表面に氷膜を形成して、2 種類の浸潤溶液を散布出来るように隔壁した。供試体を①と②の様に区切り、両方に約 3mm の氷膜を作り、①にエチレンを 50%濃度、②は水を 100%濃度として、①、②とも各 10 c c 散布した。散布直後の供試体温度は寒冷期におけるコンクリート舗装の温度と同様の -5°C としている。

散布 1 日経過後に供試体の熱伝導率（単位： $\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ ）と供試体表面の含水率（単位：%）を測定し、 -5°C の環境下において水とエチレンを散布した場合の熱伝導率の比較を行った。

1) 熱伝導率の測定方法

熱伝導率の測定方法は、非定常熱線法の原理より迅速熱伝導率計を用いて、熱伝導率が求めることが出来る。

この非定常熱線法は、無限円筒と見なせる形状の試料の中心に細い加熱線（ヒーター線）を直線上に張り、時間 $t = 0$ から、ヒーター線に一定電力（熱量）を与え続けると、ヒーター線の温度は時間と共に指数函数的に上昇する。この時間に対する温度上昇の割合から試料の熱伝導率を求めることが出来る。



写真－3 物性試験に用いた供試体

2) 含水率の測定方法

含水率の測定方法は高周波容量式水分計で、コンクリートの水分による誘電率（高周波容量）の変化を検出して、水分を測定する方法を用いている。

各種の材料の誘電率は、空気を 1 とした場合では 10 以下であるが、水の誘電率は 80 となり、各材料に比べると大きな値である。

従って、各種材料に水分を含むと、見かけ上の誘電率が増加する。本試験機は、誘電率に変わる高周波容量変化をとらえ、これを周波数（20MHz）に変換して水分（含水率）を測定する。

写真－4 は熱伝導率を測定する迅速熱伝導率測定器であり、写真－5 はコンクリート水分測定器である。



写真－4 迅速熱伝導率測定器



写真－5 コンクリート水分測定器

3. 試験結果と考察

3.1 相対動弾性係数測定

図－3 は凍結融解試験での動弾性係数を相対的に表したグラフである。試験開始前の動弾性係数を 100 とおいたとき、試験を行うと供試体の動弾性係数が試験開始前に比べどの程度変化するかを求めた。防水処理あり（供試体 A,C,E,G）では、吸水率の大小および凍結融解時の養生に使用した溶液の違いに関係なく時間経過とともに相対動弾性係数が低下することが分かる。

図－4 は防水処理なし（供試体 B,D,F,G）では、F.T. 薬剤に変化が見られており、水の場合では、防水処理ありよりも相対動弾性係数の低下が少なくなり、エチレンの場合では初期の段階で値が急激に低下し、100 サイクル付近よりそのままの状態を保ち続けているが、230 サイクル付近より低下が始まる事が分かる。このことより、供試体に防水処理の有無によって動弾性係数に大きな変化を与えることが判明した。

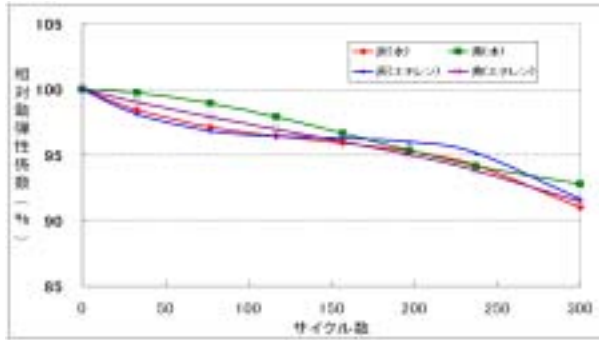


図-3 相対弾性係数（防水処理：あり）

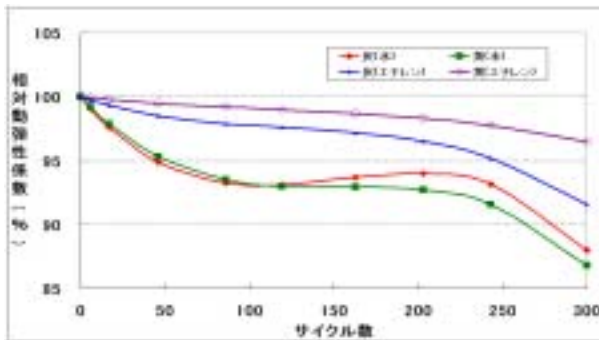


図-4 相対弾性係数（防水処理：なし）

写真-3,4は凍結融解試験後の防水処理なしでのポップアウト現象の発生状況を示した供試体の一例である。試験後の供試体において、防水処理を施していない供試体については、水の場合ではポップアウト現象は1箇所発生したが、そのほかの供試体ではポップアウト現象の発生は見られなかった。エチレンの場合では写真の通り1つの供試体でも数箇所の顕著なポップアウト現象が発生していることが分かる。このことより、ポップアウト現象を発生するには動弾性係数が大きく影響を与えていることが考えられる。

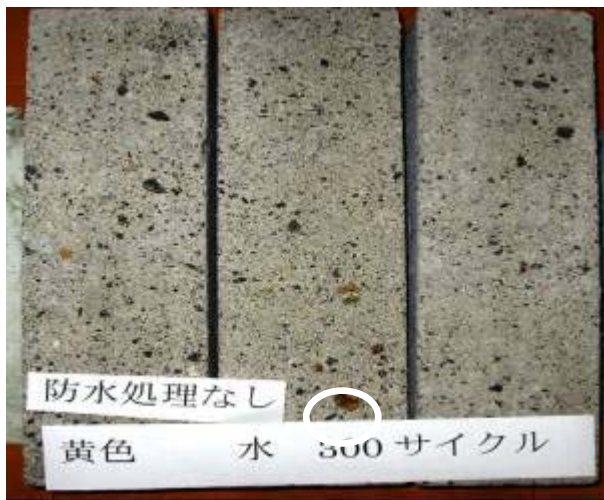


写真-3 ポップアウト現象が発生した供試体①



写真-4 ポップアウト現象が発生した供試体②

32 質量の損失量の測定

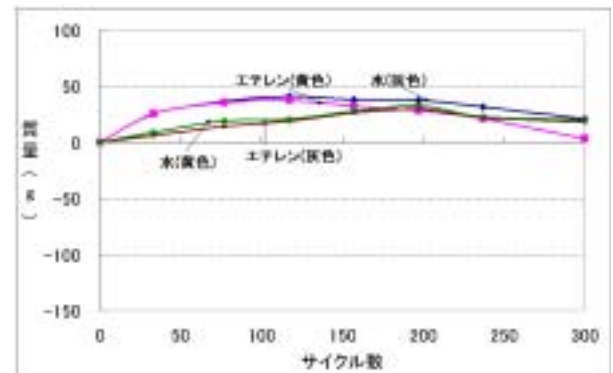


図-5 質量変化量(防水処理なし)

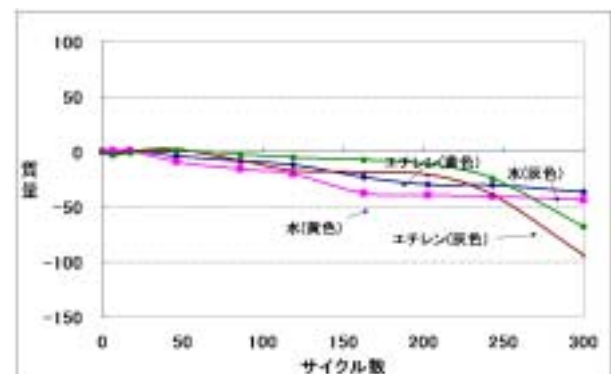


図-6 質量変化量(防水処理なし)

図-5 は防水処理ありの供試体における時間経過と供試体の質量の関係を表したグラフある。結果より、試験開始前に比べ質量が増加していることから、供試体内に浸潤溶液を含むことによって質量が増加したと考えられる。

図-6 は防水処理なしの供試体における時間経過と供試体の質量の関係を表したグラフある。結果より、試験開始前に比べ質量が減少していることから、供試体が剥離することによって質量が減少したと考えられる。

3.3 物性試験

図-3、4より、防水処理ありの供試体では、水やエチレンで試験を行う場合において、差が見られないので、薬剤散布試験では防水剤を塗布していない供試体のみについて結果を示す。以下、凍結融解試験と物性試験での浸潤溶液が同じものを使用しているため、ここでは凍結融解試験（Freezing and Thawing Test）での浸潤溶液は水を F.T.水（100%）、エチレングリコールを F.T.エチレン（エチレン 10%+水 90%）と称する。

図-7 は F.T.水の供試体を用いての熱伝導率と供試体表面の含水率の関係を表したグラフである。結果より、含水率が高くなるほど熱伝導率も高い値を示す傾向となっている。

図-8 は図-7 と同様の供試体を用いて、エチレン（エチレン 50%+水 50%）を散布したときの熱伝導率と含水率の関係を表したグラフである。エチレンを散布した場合、含水率が上昇しても、熱伝導率は上昇は見られなくほぼ横這いになる傾向を示した。

同様に、図-9 は F.T.エチレンの供試体を用いての熱伝導率と供試体表面の含水率の関係を表したグラフである。この結果は F.T.水での水散布と同様に含水率が高い値を示すと、熱伝導率も高い値を示す傾向となっていることが分かる。

図-10 は F.T.エチレンの供試体を用いてエチレンを散布したときの熱伝導率と含水率の関係を表したグラフである。エチレンを散布すると、含水率が上昇しても、熱伝導率は上昇しなく、図-8 とほぼ同じ結果となっていることが分かる。

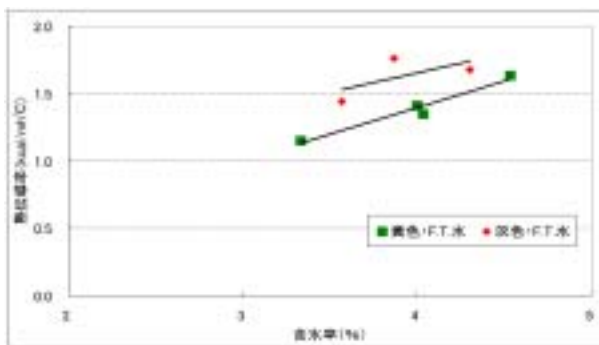


図-5 F.T.水における水散布での含水率と熱伝導率の関係

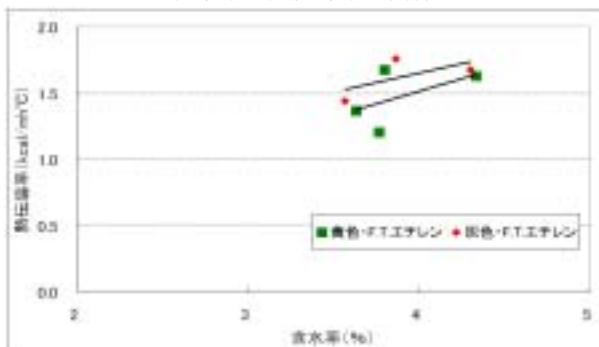


図-7 F.T.エチレンにおける水散布での含水率と熱伝導率の関係

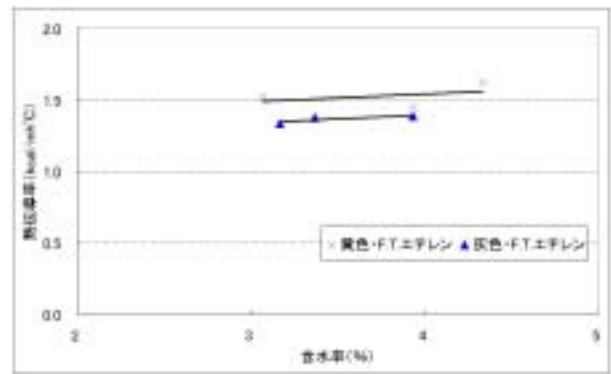


図-6 F.T.エチレンにおけるエチレン散布での含水率と熱伝導率の関係

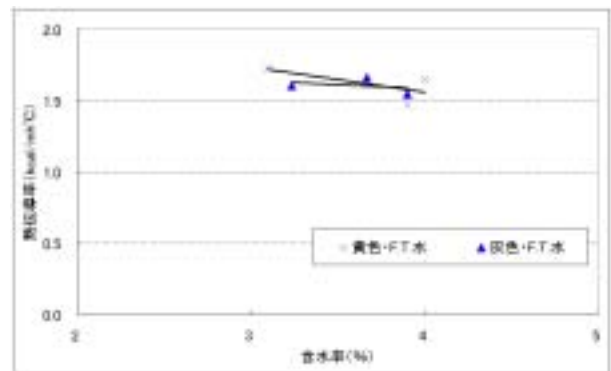


図-8 F.T.エチレンにおけるエチレン散布での含水率と熱伝導率の関係

4. まとめ

ポップアウト現象の発生要因に変わる試験結果は以下のようにまとめられる。

- ・ 凍結融解試験後において、防水処理を施している供試体にはほとんどポップアウト現象が発生していないが、防水処理を施している供試体についてはポップアウト現象が多く発生していることが分かる。
- ・ 吸水率の大小による骨材に違いは見られなかった。
- ・ 供試体に防水処理の有無によって動弾性係数に大きな変化を与えることが分かる。
- ・ 物性試験より、水散布を行った結果、含水率が上昇すると熱伝導率も上昇する傾向が見られた。一方、エチレン散布の場合は含水率が上昇しても、熱伝導率に変化は見られなかった。

参考文献

- (1) 槇谷栄次：よくわかるコンクリートの劣化と補修 p57-61 2004.