

強制陥没試験後の空洞上舗装の破壊現象

ジオ・サーチ株式会社

正会員

○加納 晋太郎

同 上

正会員

瀬良 良子

同 上

正会員

大野 敦弘

同 上

濱也 幸樹

東京大学生産技術研究所 フェロー会員

桑野 玲子

1. はじめに

道路下の空洞は、埋設管や地下構造物の破損、施工時の埋戻し不良、豪雨等による土砂の吸出し等、様々な要因で発生し、空洞上の舗装耐力が失われると、最終的に道路陥没を生じる。東京大学・埼玉大学・株式会社N I P P O・住友大阪セメント株式会社・ジオ・サーチ株式会社の共同研究体は、埼玉大学構内に実物大試験道路を築造し、路面陥没のメカニズムの解明、舗装構造を考慮した空洞上部の耐力評価、新たな研究を目的に種々の試験や実験を実施した。実物大試験道路では、条件を変えた 47 箇所の人工空洞を作製し、平板载荷試験や FWD 試験といった荷重上載による強制陥没試験を行った。その中で、空洞上部の舗装の挙動について継続調査を行った。空洞上の舗装の陥没現象については、上載試験の実施から空洞上の舗装が陥没に至るまでの時間が空洞条件によって異なり、大きな差があったことが分かった。日数に差を生じる要因の特定を目的として行った分析結果について報告する。

2. 空洞の条件

実物大試験道路では、2 種類の空洞広がり(φ80cm・80×40cm)、3 種類の深さ(GL-10cm、20cm、35cm)で組み合わせによって条件を変え、47 箇所の人工空洞を作製し、試験を実施した。3 種類の深さは、それぞれアスファルト混合物層直下(GL-10cm)、上層路盤内(GL-20cm)、上層路盤直下(GL-35cm)の深度に相当する。本研究は 3 カ年にわたって行われ、年間を通して様々な時期に人工空洞の作製、および試験を実施した。

3. 観察された陥没に至るまでの舗装内部の変状

本研究において、層間剥離と垂直方向のクラックという異なる 2 種類の破壊モードが確認された。それぞれの破壊が生じた際の舗装断面図を図-1 に示す。層間剥離については、同研究における昨年報告の論文¹⁾にて報告した通り、空洞上の舗装底部が路面への荷重や舗装の自重による曲げ引張で破壊され、破壊された箇所が崩落する際に生じる現象である。破壊と崩落を繰り返すことで空洞上部の舗装の破壊が進行し、最終的に路面陥没に至る。

今回、既往の層間剥離に加え、新たな破壊モードとして垂直方向のクラックを確認した。垂直方向のクラックはアスファルト混合物層の破壊に際してのみ観察された。

4. 陥没までの日数

実物大試験道路にて作製した人工空洞のうち、上載試験で舗装に荷重を加えた箇所の中から、「上載試験後に陥没に至った箇所」、「上載試験実施後に陥没を生じなかった箇所」それぞれの代表箇所について、路面陥没に至るまでの日数と舗装内の人工空洞位置を表-1 に示す。

表-1 に示した箇所の内、アスファルト混合物層直下に位置する人工空洞は、全箇所最終的に陥没に至った。対して、上層路盤直下の空洞では試験期間内には陥没を生じなかった。上層路盤内部に位置する人工空洞については、3 箇所内 2 箇所陥没に至った。陥没した人工空洞 No.3-5 では、平板载荷試験にて表層・基層間の剥離を生じ、試験からわずか 5 日で陥没に至っている。また、人工空洞 No.4-5 においても、試験から 2 日で陥没に至っている。

また、表中の陥没を生じた箇所のうち上載試験を実施した箇所(人工空洞 No.1-1, No.4-1, No.3-5, No.4-5, No.5-10)について、最後に上載試験を実施した季節をみると、冬季と夏季で試験の実施から陥没に至るまでの日数に差があることが分かる。日数の差を生じた要因として、冬季と夏季での路面温度の違いに着目し、整理した。

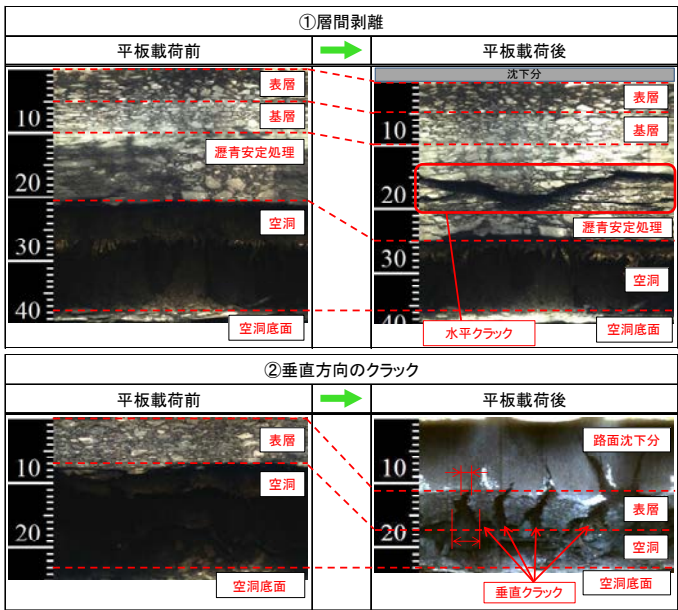
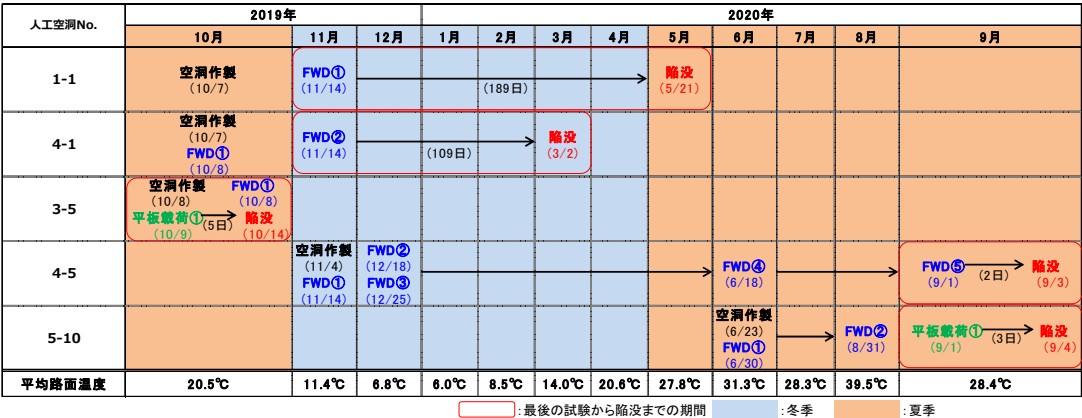


図-1 舗装内部における 2 種類の破壊モード

表-1 陥没した人工空洞の深さと陥没までの日数

人工空洞No. (赤字は陥没)	広がり	舗装内の空洞位置	空洞深さ	空洞作製から 陥没までの日数	最後に実施した試験 から陥没までの日数	陥没箇所の最後の 試験実施時期	備考
1-1	φ80cm	As直下	10cm	2 2 6 日	1 8 9 日	冬季	・路盤なし
3-1 (自然陥没箇所)	φ80cm	As直下	5cm	1 日	-	実施なし	・路盤なし
4-1	φ80cm	As直下	10cm	1 4 6 日	1 0 9 日	冬季	・路盤なし
1-5	φ80cm	上層路盤内	16cm	-	-	-	・路盤あり
1-3	φ80cm	上層路盤直下	19cm	-	-	-	・路盤あり
4-3	φ80cm	上層路盤直下	20cm	-	-	-	・路盤あり
3-5	φ80cm	上層路盤内	15cm	7 日	5 日 (平板载荷試験後)	夏季	・路盤あり ・平板载荷時に基層-上層が剥離
4-5	φ80cm	上層路盤内	14cm	3 3 1 日	2 日	夏季	・路盤あり
5-10	φ80cm	As直下	10cm	7 2 日	3 日	夏季	・路盤なし

当該箇所について、上載試験を実施した季節と回数、ひと月ごとの路面の平均温度を図-2 に示す。図-2 では、5 月～10 月を夏季、11 月～4 月を冬季として分類を行った。月毎の平均路面温度を見ると、夏季と冬季では有意な差が生じている。図-2 内にて比較を行った 5 箇所の内、2 箇所は冬季、3 箇所は夏季に陥没を生じており、冬季、夏季を問わずに陥没を生じることが確認された。冬季に試験を実施した箇所（No.1-1・No.4-1）では、試験から陥没まで数か月かかったのに対し、夏季に試験を実施した箇所（No.3-5・No.4-5・No.5-10）では、いずれも試験から数日後という極めて短期間のうちに陥没に至った。



5. 考察

今回の研究で明らかになった、空洞上の舗装が陥没に至る現象や状況について、以下に考察する。なお本ケースは、空洞自体が拡大しない条件下で実施したもので、現道の空洞では空洞が拡大挙動することも考慮して検討に当たることがある。

○空洞の舗装内の位置

- 上層路盤より下に作製した人工空洞では、試験期間内に路面陥没は生じなかった。対して、アスファルト層下に作製した人工空洞では、全箇所で陥没に至っている。このふたつの差は、空洞上における上層路盤の有無である。上層路盤より下の人工空洞では、上層路盤が機能し、アーチング効果²⁾を発揮したことで舗装が強度を維持出来たものと考えられる。対してアスファルト混合物層直下の人工空洞では、アーチング効果が得られず、陥没を生じたものと考えられる。上層路盤内に作製した人工空洞で陥没を生じた箇所(人工空洞 No.3-5)においては、陥没前に実施した上載試験において、アスファルト混合物層と上層路盤の間に剥離を生じており、それにより舗装が強度を発揮できなかったものと考えられる。
- 以上から、空洞上部の舗装が陥没に至るか、陥没に至るまで時間的に猶予があるかを知るために、上層路盤の健全性を把握することが重要であると考えられる。

○舗装の変状(層間剥離・垂直方向のクラック)

- 層間剥離は、空洞直上の舗装表面への荷重や、舗装の自重による曲げ引張力が最も強くかかる部分が破壊され、崩落する際に、破壊された層とその直上の層の間に間隙を生じた状態であると考えられる。そのため、剥離位置より下の層では、破壊により舗装としての支持力を喪失しているものと考えられる。
- 層間剥離を繰り返すことで、舗装の破壊が進行し、最終的に路面陥没が生じることから、空洞上部の舗装において、層間剥離が浅い位置で確認された際は、陥没までの時間的猶予が短い状態であることが考えられる。
- 垂直方向のクラックは、アスファルト混合物層のみで確認されており、上層路盤以深の層では確認されなかった。平板載荷後の陥没した状態では、垂直方向のクラックは路面まで達している様子が確認された。
- 舗装の強度を喪失する規模のクラックが路面側から生じていた場合、舗装破壊の進行により、路盤層が支持力を喪失した時点で、即座にアスファルト混合物層が崩落し、陥没を生じる危険性が考えられる。

○陥没までの日数と温度の影響

- 冬季と夏季の比較から、冬季に比べて夏季は舗装の耐力が失われてから陥没に至るまでに猶予が無いことが確認された。これは、夏季にアスファルト混合物層の温度が上昇し、弾性係数が低下³⁾し、強度も低下するためと考えられる。舗装が健全な状態では、強度低下が生じたとしても支障無いものと考えられるが、空洞上部の舗装で破壊が進行した状態においては、陥没までの時間的猶予を縮める要因となることが考えられる。

現在、実道における路面下空洞調査においては、空洞の発生規模(広がり)と発生深度に基づいた陥没危険度評価によって、空洞の補修優先度を決定している⁴⁾。本研究で得られた知見を活用し、今後、現地調査の際に空洞上の舗装を詳細に観察し、現行の陥没危険度評価と併せることで、より適切な陥没対策が実現していくものとする。

謝辞

本研究は、国土交通省道路局が設置する新道路技術会議における技術研究開発制度により、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究「道路構造及び空洞特性に適応した陥没危険度評価と合理的路面下空洞対策についての研究開発」で行われた。

参考文献

1)「路面陥没に至る空洞上部アスファルトの挙動観測報告」(加納晋太郎,瀬良良子,井原務,室井和也,桑野玲子 第75回土木学会年次学術講演会,名古屋,2020.9) 2)「路面下空洞の実態と陥没対策」(桑野玲子,第1回路面下空洞連絡会資料,2019.11) 3)「アスファルト混合物の応力-ひずみ曲線とその変形係数に関する一考察」(萩野正嗣,大前達彦 大阪産業大学産業研究所所報 第6号) 4)「空洞判定実施方針(案)」(国土交通省北陸地方整備局北陸技術事務所 2012)