

市街地道路における路面下空洞の簡易評価手法について

日大生産工(院) ○小花 将義 日大生産工 秋葉 正一
日大生産工 加納 陽輔

1. はじめに

近年、わが国における道路ストックの老朽化に伴う第三者被害の防止や、震災時における命の道の確保などを目的に、道路施設の事後保全や予防保全が道路管理者によって実施される環境下にある。¹⁾道路施設のうち、舗装は輪荷重によって舗装の健全性が損なわれ第三者被害を引き起こす事例は見あたらないが、道路埋設物の老朽化や施工不良、あるいは液状化に伴って発生する路面下空洞等が、舗装の健全性に影響を与えると同時に、道路陥没による第三者被害を引き起こす。したがって、輪荷重以外の外的要因によっても舗装の破損に対する予防保全のために、この視点に立脚した舗装診断技術の確立が必要不可欠といえる。

現行での路面下の空洞探査は、まず、地中レーダーを搭載した空洞探査車によって異質物による異常信号を抽出し、空洞と思われる異質物の規模と路面下の位置を特定する(以下、一次調査)。一次調査で得られる異常信号は、空洞、滞水域(以下、ゆるみ)あるいは埋設管などの異質物によるものである。これらの異常信号は一次探査で判別が難しいことから、ハンディ型地中レーダーによる異常個所の再確認とボーリングによるスコープ調査(以下、二次調査)により、空洞と確認されれば復旧を実施している。特に、この判断においては定量的な判断手法が存在せず、これまでの補修経験をもとに判定している現状である。

そこで本研究では、一次調査で得られた埋設管によるものを除く全ての異常信号が舗装の健全性および走行安全性に影響を与えるものと仮定し、市街地道路で実施された一次調査結果から異常信号箇所を抽出し、この箇所でのFWD試験による舗装の健全性調査を実施した。その上で、異常信号箇所における陥没あるいは沈下の危険性に対する簡易な評価手法について検討を行った。

2. 異常信号調査および結果

2.1 調査概要

調査箇所は習志野市が実施した空洞調査の一

表-1 一次調査結果より抽出した調査箇所

路線	一次調査結果			一次調査結果なし	合計
	空洞	空洞の可能性	異常なし		
幹線道路	25	16	11	4	56
準幹線道路	0	3	3	0	6
生活道路	9	16	0	0	25
合計	34	35	14	4	87

表-2 調査方法

調査項目	調査内容
ハンディ型地中レーダー	縦・横断面方向の広がり、空洞深さ
FWD試験	空洞中心・空洞周辺・健全部のFWDたわみ
小型FWD試験	空洞中心・空洞周辺・健全部のFWDたわみ
ボイドスコープ	空洞原因、空洞深さ、空洞厚さ、舗装構成

次調査データをもとに、表-1に示す幹線道路、準幹線道路および生活道路から、空洞、空洞の可能性、異常なしと判定された箇所を適当に抽出した。

調査は表-2に示す調査項目および内容にしたがって実施した。なお、表中の健全部とは異常信号発生箇所から2~5m離れた位置であり、健全部におけるFWD試験の実施は、クラックなどの路面の状態により全ての箇所での測定を実施していない。

2.2 異常信号情報とFWDたわみ

図-1および図-2は空洞・ゆるみ箇所の深さと信号幅等(以下、信号情報)とたわみの関係を調べた例である。

これより、信号情報とFWD試験結果に何らかの関係は認められない。しかしながら、同程度の空洞深さあるいは、同程度の信号幅の空洞及びゆるみにおいて、たわみの差異が認められることから異常信号が舗装の健全性に影響を与えていると考えられる。ただし、空洞やゆるみの存在は舗装の健全性に悪影響を与えるが、信号情報の違いによってどの程度舗装の健全性に影響を与えるかを評価することは難しいと考えられる。

3. 異常信号箇所の危険性

簡便なモデルとして、久保は図-3のような単純梁モデルにより、陥没の危険性のある空洞幅を試算し報告している。²⁾なお、入力値については舗装設計便覧を参考に設定している。³⁾

なわち、アスファルト混合物層の平均温度を過去 10 年の東京の月間平均気温の最高値 29°C として推定している。なお、月間平均気温の最高値の適用は、下水道管の老朽化に起因する道路陥没において、7~8月の発生件数が最も多いことから妥当な設定といえる。この平均温度からアスファルト混合物層の弾性係数を 800~1000MPa と設定している。

次に、輪荷重はスパン方向に走行するものとし、輪荷重接地圧の直径を 0.34m、はりの幅はダブルタイヤを考慮した設定としている。さらに、単純梁モデルにおける支間中央の下面引張りひずみは、比較的少ない通過輪数で疲労破壊が生じる 300 μm と設定している。

このようにアスファルト混合物層が塑性変形を生じる前の空洞について、高温時に少ない交通輪数で疲労破壊する可能性があるか否かで評価する手法であれば、安全性を考慮した評価となると同時に、2次調査で行うボーリングデータ（空洞やゆるみの厚さ）を必要としない非破壊での調査が十分可能となり、交通規制をできるだけ短時間とした経済性に有利な調査手法となる。ただし、久保のモデルを用いた場合、入力値によってはスパンに対して幅が大きくなってしまふケースがある。実際の試算では一般的なアスファルト混合物層厚において、スパンよりも幅 b の方が大きい結果となっている。このような場合は、はり理論の適用は合理的でなく板理論の適用が望ましい。そこで、本研究では、等方性円板に円形の輪荷重（等分布）が作用しているものとして危険性のある空洞直径を同定することを試みた。

3.2 等方性円板モデルによる空洞幅の計算

モデルの概略を図-4 に示す。等方性円板の支持条件は周辺単純支持と周辺固定の 2 種類とした。また、輪荷重直径は久保の入力値を採用すると 0.34m であり、これより円板の直径が小さくなる場合は、等分布荷重が円板全面に載荷するとした。たわみ式 y は構造力学公式集に記されているもの Δ を用い、式(1)に代入することで、円板中央下面の引張りひずみ ϵ_{\max} を求めた。

$$\epsilon_{\max} = -\left. \frac{h}{2} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial r^2} \right|_{r=0} \quad (1)$$

なお、図-4 中の ℓ の同定はニュートンラフソン法を用いた。入力値について、輪荷重や設置半径などは基本的に久保のものと同じとし、ポアソ

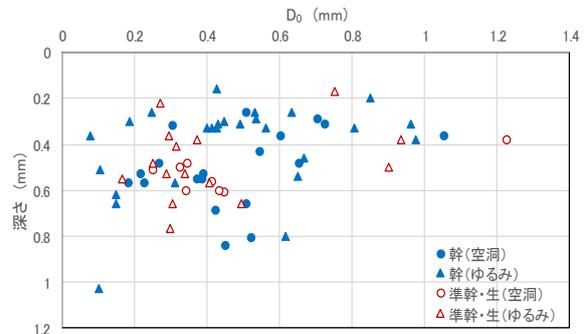


図-1 空洞深さと D₀ との関係

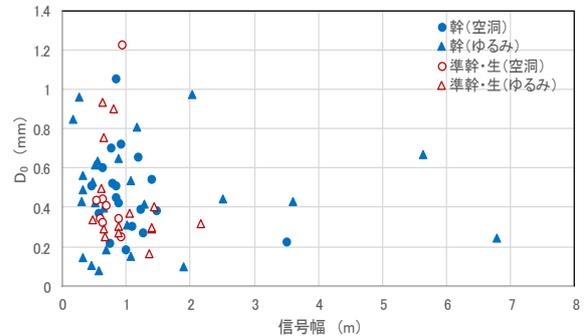


図-2 D₀ と信号幅の関係

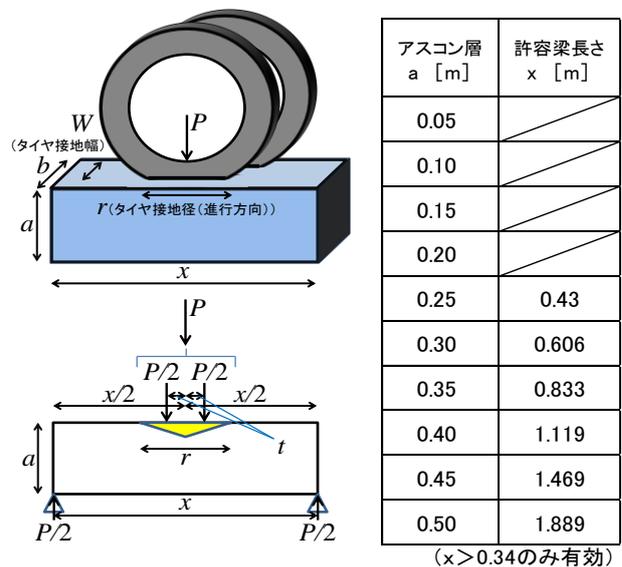


図-3 D₀ と信号幅の関係

ン比は 0.35 とした。図-5 は円板厚さに対する ℓ の同定結果の例である。これより、弾性係数が同じ場合、同一の円板厚さに対する ℓ は単純支持より周辺固定の方が大きくなる。これは力学的に当然の結果であるが、仮に図の結果を基準値として用いる場合、円板厚さがアスファルト混合物層厚(以下、As 層厚)に相当するので、この層の下面にある空洞やゆるみの径は基準値

よりも大きい場合に危険となる。特に、この場合の基準値は、同一の厚さおよび E に対して、直径の小さくなる単純支持の結果を用いる方が、同一の異常信号に対する危険性を高く評価することとなる。また、円板周辺条件が同じ場合、同一の層厚に対する l は弾性係数が高い場合に大きくなる。本計算例では、弾性係数として 800MPa および 1000MPa を入力値としているが、同定した l の範囲は久保の計算結果を含んでいる。

3.3 評価結果

図-6 は、異常信号箇所の T_A (以下、残存 T_A) を式(2)より算出し、これを円板厚さと仮定し、調査時の信号幅と円板直径の比較を行った結果である。なお、弾性係数は調査時点の健全部の FWD の試験結果から BALM を用いた逆解析弾性係数⁶⁾を用いている。

$$T_A = -25.8 \log(D_0 - D_{150}) + 11.1 \quad (2)$$

これより、図中に示した 1:1 のラインを上回る危険箇所は両計算結果において存在しており、周辺固定の方が単純支持の場合よりも少ない。

表-5 は図-6 で危険側となる異常信号データについて、As 層厚が 10cm 未満のものを抽出した例である。Type A は図-6 (b) で危険側となる異常信号データで、Type B は図-6 (b) で危険側となる異常信号箇所を図-6 (a) から除いたものである。なお、表中の備考にある沈下とは、異常信号箇所が沈下していることであり、パッチングとは異常信号箇所の沈下によって、沈下部分をパッチング処理していたものである。

表-5 の結果より、例えば、B-2 は A-1 と比較して、深さは同程度であるが、信号幅や D_0 がおよそ半分と小さく、As 層の弾性係数も極めて大きい。また、B-5 は A-2 や A-3 と比較して、深さが同程度であるが、信号幅がかなり大きい。しかしながら、 D_0 は 1/3 以下と小さく、As 層の弾性係数も比較的大きいことから舗装自体の剛性が高いと考えられる。したがって、Type A は D_0 が比較的大きく、As 層の弾性係数が小さいことなどの理由から沈下が進行しているなど、Type B と比較して舗装にダメージが生じていることから、Type A は調査時点でも非常に危険、Type B は沈下等が見受けられない以上、調査時点では問題なく、経過観察でも良さそうな異常信号と推察される。ただし、Type B が現状では問題ないとしても、高温時にも問題がないとい

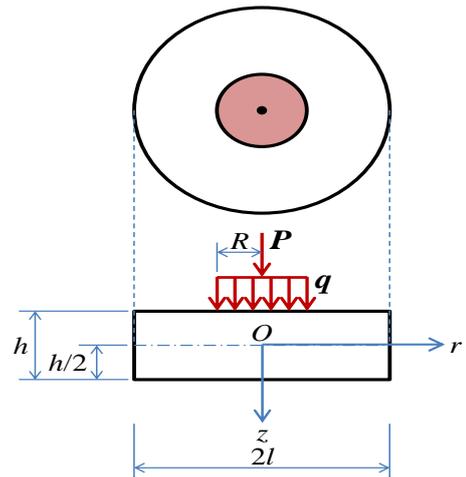


図-4 等方性円板モデル

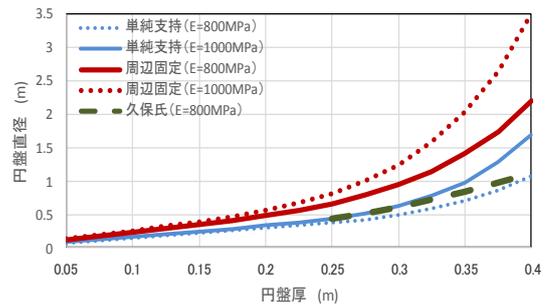


図-5 円板直径と厚さの関係

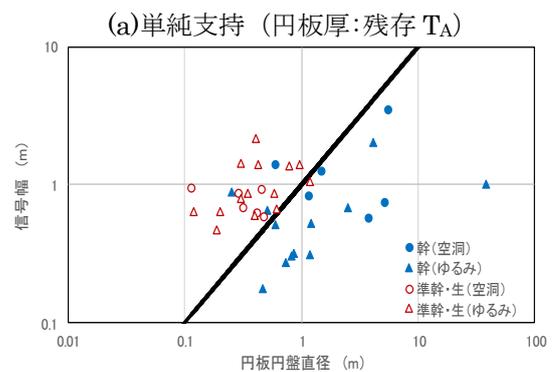
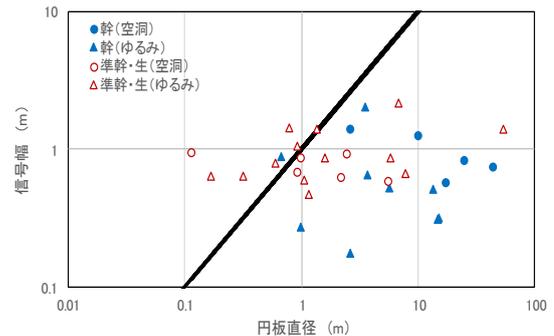


図-6 信号幅と円板直径の関係 (調査時)

うことを意味していない。以上より、残存 T_A を円板厚さとして採用し、舗装の健全性を考慮した異常信号の危険性を評価することは概ね妥当であることが確認できたと考えられる。

図-7 は、円板厚さを残存 T_A ($E=800\text{MPa}$) とし、今回調査した空洞およびゆるみの危険性を評価した結果である。これより、単純支持の計算条件を下回り、危険性の低いと考えられる異常信号は残存 T_A が比較的大きく信号幅が小さいものとなっている。空洞やゆるみの大きさが調査時のものよりも進行しない、また、温度条件を除く舗装の健全性が調査時以上に悪化しないということであれば、周辺固定のラインより上に存在する異常信号は危険性大、単純支持のラインより下に存在するものは危険性小となる。このことから、周辺固定と単純支持のラインの間にあるものは経過観察でもよい異常信号（陥没や沈下の危険性が中程度）と評価できる。ちなみに、表-5 のうち、Type A は全て危険性大、Type B のうち、B-2 は危険性小、B-1 および B-6 は危険性中、それ以外は危険性大となっている。B-2 が危険性小となるのは、信号幅が小さく残存 T_A も大きいことと、前節の評価手法で述べたように、輪荷重の接地圧の直径が 0.34m としていることから、信号幅 0.31m に対し等分布荷重が全面載荷となるので、荷重が 40.7KN と小さくなっていることも要因と考えられる。

危険性中あるいは大となる異常信号箇所はできるだけ早期に修繕が必要であり、本研究で実施した評価結果に回避するという安全性を考慮した評価手法となっていると考えられる。

4. まとめ

本研究では、地中レーダーによって得られる異常信号情報が舗装の健全性に与える影響を FWD 試験結果から評価し、簡易な力学計算手法を用いて、市街地道路の空洞やゆるみの危険性を評価した。

- 1) 市街地道路において、異常信号の存在が、舗装の健全性に影響を与える。特に、この傾向は空洞あるいはゆるみの違いに関係しない。ただし、空洞情報と FWD たわみ相関性は存在しない。
- 2) 空洞やゆるみ直上の舗装を円板と仮定し、輪荷重による曲げ抵抗から陥没等の危険性を評価する手法は、円板厚さを残存 T_A とすることで、市町村道における異常信号の危険性

表-5 調査時に危険と評価される空洞やゆるみ

Type	測点	異常信号	As層厚 (cm)	信号幅 (m)	深さ (m)	D_0 (mm)	E (Mpa)	備考
A	1 準幹線 9-1	ゆるみ	6	0.64	0.17	0.773	1675	沈下4mm
	2 準幹線 9-3	空洞	6	0.94	0.38	1.282	533	パッチング
	3 準幹線 9-5	ゆるみ	5	0.64	0.38	0.960	812	沈下11mm
B	1 準幹線 6-1	ゆるみ	5	0.47	0.53	0.357	2114	
	2 準幹線 3-12	ゆるみ	7	0.31	0.16	0.439	13020	
	3 生活 79-1	空洞	8	0.87	0.60	0.370	1884	
	4 生活 163-4	空洞	8	0.68	0.56	0.460	2335	
	5 生活 164-1	ゆるみ	8	2.155	0.41	0.321	3814	
	6 生活 80-1	空洞	9	0.59	0.48	0.394	3861	
	7 生活 161-1	ゆるみ	9	0.87	0.66	0.341	2146	
	8 生活 163-6	ゆるみ	9	0.6	0.66	0.493	2923	

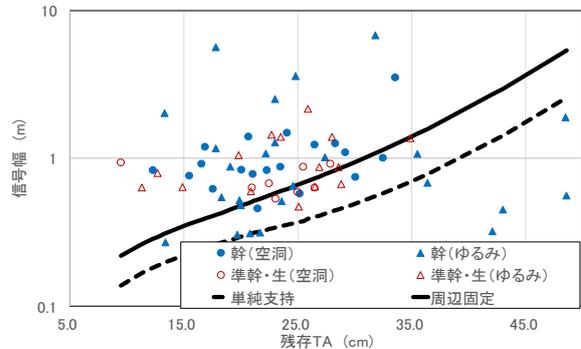


図-7 信号幅と残存 T_A の関係（計算値 $E=800\text{MPa}$ ）

を簡易に評価することが可能と考えられる。

【参考文献】

- 1) 国土交通省 web サイト（社会資本整備審議会道路分科会道路分科会建議「道路の老朽化対策の本格実施に関する提言」
- 2) 国土交通省関東地方整備局 web サイト（直轄国道の舗装（路面）に関する保全検討委員会、第 4 回委員会配付資料）
- 3) (社)日本道路協会：舗装設計便覧，2006。土木学会 構造工学委員会：構造力学公式集，pp.313-325，1996。
- 4) 土木学会 構造工学委員会：構造力学公式集，pp.313-325，1996。
- 5) 阿部長門，丸山暉彦，姫野賢治，林正則：たわみ評価指標に基づく舗装の構造評価，土木学会論文集，No.460，V-18，pp.41-48，1993
- 6) 黒林 功，松井邦人，井上武美，董 勤喜：静的逆解析によるアスファルト舗装の構造評価診断システムの開発，土木学会第 55 回年次学術講演会，pp.90-91，2000。