

第7章 評価・考察

本共同研究の目的は、点検実施率の向上に資する新たな点検調査技術を提案するとともに、必要となる調査機材の機能やスペックを検討し、今後の実用化にあたり定めるべき規格・仕様、調査方法について技術資料を作成することである。下水道管きよの劣化に伴う道路陥没をMMSで計測した路面の三次元点群データから予測する際の基本となる経時変化算出手法について、今回の計測で得られた知見を以下に述べる。

7-1 陥没地点の経時変化量

陥没地点の経時変化について考察する。第三回計測後に陥没した地点の経時変化量算出結果の推移を表7-1.1に示す。

表 7-1.1 各陥没地点の陥没量経過

陥没地点	第二回計測 陥没量(mm)	第三回計測 陥没量(mm)	第三回計測から陥没 通報日までの日数(日)
621 上	6	13	1
621 下	7	11	1
632	3	15	2
639	5	10	6
648	6	7	7
680	1	11	13
698(701)	2	11	16
700	4	6	16
702	4	22	16
703	0	57	16
720	8	21	20
732	10	14	22
735	0	7	22
736	2	11	22
744	9	19	23
759	0	12	30
760	4	12	30
761	0	9	30
788	7	12	34
794	1	5	35
802	1	9	36
828	4	5	41

表 7-1.1 からわかるように多くの陥没地点の第一回～第三回計測後の経時変化が 10mm を超えている。したがって、本手法の陥没候補地点検出の閾値を 10mm としたが、いくつかの地点で 10mm 未満の経時変化量がみられた。その原因として以下の 2 点が考えられる。

(1) 第三回計測が陥没途中を計測している場合

計測日が陥没途中の段階であり、陥没通報日までに陥没量が大きくなっていく。

(2) 第一回計測開始（初期値計測）時に既に陥没が開始していた場合

元々の道路面に凹凸があった場合、その箇所を陥没と判断しないようにするため、本共同研究では周囲の形状や元の高さにかかわらず変化の絶対値である経時変化により陥没量を評価した。一方、等高線によるコンター図は、陥没範囲(基準となる高さ)を目視で設定する必要があり誤差が大きくなる。しかしながら、基準となる第一回計測時に既に陥没が始まっていたとすると、その陥没量は経時変化量に反映されないため、実際の陥没量より小さく算出されてしまう。そこで、計測日より 20 日以内で陥没が通報され、経時変化による陥没量が 10mm 未満である陥没地点 648、700 について、コンター図から第一回計測（初期値計測）時の陥没量を求めて考察した。

地点 648

第一回計測時のコンター図から求めた陥没量を図 7-1.1 に示す。断面図から陥没量を求める場合、断面基準線の取り方により陥没量が大きく異なってしまうが、今回は、陥没抽出ソフトで求めた陥没中心座標を通る線分とし、両端は目視で設定した。図 7-1.1 において、赤い小さな円が断面基準線にある点の高さの値を示しており、基準線からの距離がコンター図から求めた陥没量を示す。

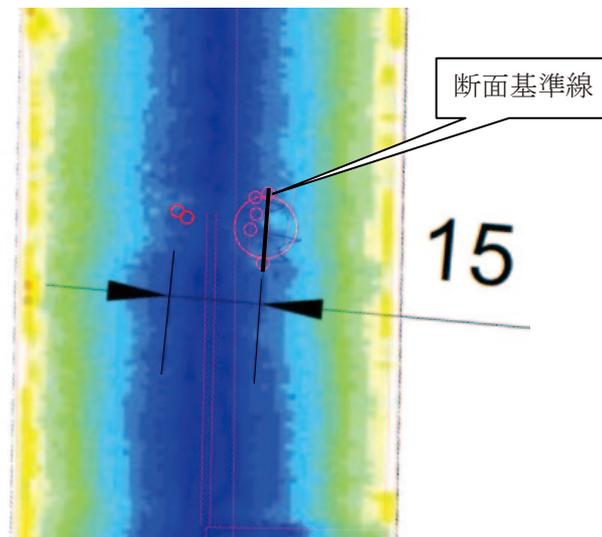


図 7-1.1 第一回計測時のコンター図

第一回計測時のコンター図をみると 15mm の凹みがあり、第一回計測時には既に陥没が始まっていたため、第一回計測と第三回計測の経時変化量が 10mm 未満であったと考えられる。

地点 700

第一回計測時のコンター図から求めた陥没量を図 7-1.2 に示す。断面図を求める線分は地点 648 と同様に目視で設定した。

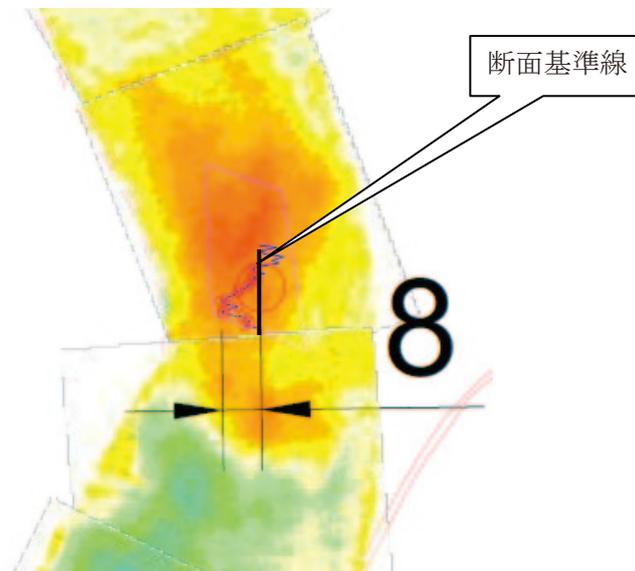


図 7-1.2 第一回計測時のコンター図

第一回計測時のコンター図をみると 8mm の凹みがあり、地点 648 と同様に第一回計測時には既に陥没が始まっていたため、第一回計測と第三回計測の経時変化量が 10mm 未満であったと考えられる。

以上の考察より陥没地点の陥没開始前からの経時変化量の閾値として、本作業で用いた手法では現時点において、10mm が目安となると考えている。

表 7-1.2 に計測日と経過日数を示し、図 7-1.3 に第一回計測からの経過日数を横軸、陥没量を縦軸としてグラフ化した結果を示す。なお、第一回計測の陥没量は初期値のため 0mm、実際には計測日を 2 日間実施しているが計測日初日に計測したものとしてグラフ化した。

表 7-1.2 計測日と経過日数

	第一回計測	第二回計測	第三回計測
計測日	2011/11/21	2012/5/14	2012/7/18
経過日数	0	175	240

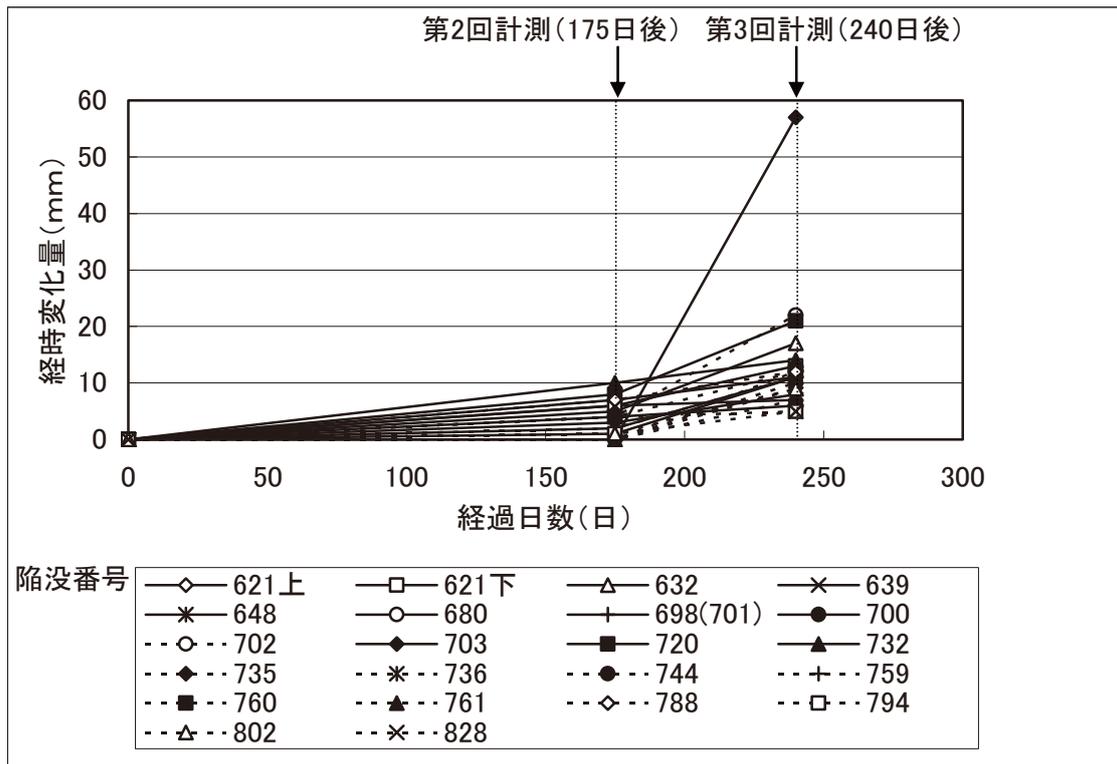


図 7-1.3 経時変化量

第1回計測から第2回計測までの経過日数は175日、第2回計測から第3回計測は65日である。2回の経時変化量を見る限り、陥没直前に陥没現象が加速するのか、気温等の気象条件によるものかは定かではないが、変位速度は第1回計測から第2回計測より、第2回計測から第3回計測にかけての方が大きく、陥没は突如生じるのではなく、数ヶ月前から予兆と思われる沈下がみられた。

7-2 計測対象道路の陥没件数

今回の計測では、第一期下水道事業、第二期下水道事業、第三期下水道事業、秋田市依頼箇所、その他の5つに分けて計測を行った。表7-2.1と図7-2.1に経時変化解析を行った陥没箇所の区分と位置図を示す。なお秋田市より調査依頼があった地域の内、土崎地区に陥没は生じなかった。

表 7-2.1 陥没箇所区分

年度	番号	第一期	第二期	第三期	秋田市 依頼	その他	対象外
23	1344		○				
23	1347			○			
24	60		○				
24	99	○					
24	113			○			
24	126	○					
24	161			○			
24	182			○			
24	211				○		
24	226			○			
24	290	○					
24	291			○			
24	319						○
24	334		○				
24	350			○			
24	361	○					
24	375				○		
24	425		○				
24	461			○			
24	512		○				
24	551	○					
24	564						○
24	583	○					
24	591	○					
24	599	○					
24	600-1		○				
24	600-2		○				
24	621	○					
24	632		○				
24	639			○			
24	648	○					
24	680		○				
24	698(701)	○					
24	700		○				
24	702	○					
24	703				○		
24	720	○					
24	732			○			
24	735			○			
24	736			○			
24	744				○		
24	759			○			
24	760			○			
24	761	○					
24	788		○				
24	794	○					
24	802		○				
24	804		○				
24	828						○
合計		15	13(11)	14	4	0	3

() は同一地点が2回陥没している場合を1回の陥没としたときの件数

- 第一回計測と第二回計測の間に陥没／補修
- 第二回計測と第三回計測の間に陥没／補修
- 第三回計測以降に陥没／補修された地点の結果

※経時変化解析不可 535、563、705

※334 と 600-2、698 と 701、804 と 600-1 は同じ地点



地図出典：国土地理院地図データを加工

図 7-2.1 陥没箇所区分位置図

- 黄色 第一期
- ピンク 第二期
- 緑 第三期
- 紫 秋田市調査依頼

各区分の陥没件数を見る限り、下水道事業時期において大きな差は見られなかった。

7-3 経時変化算出の課題

障害物の影響

白線部分が駐車車両などの障害物によって隠されている場合には、基準点群が計測できないため経時変化算出誤差が大きくなる。図 7-3.1 に障害物の影響を受けた経時変化図を示す。

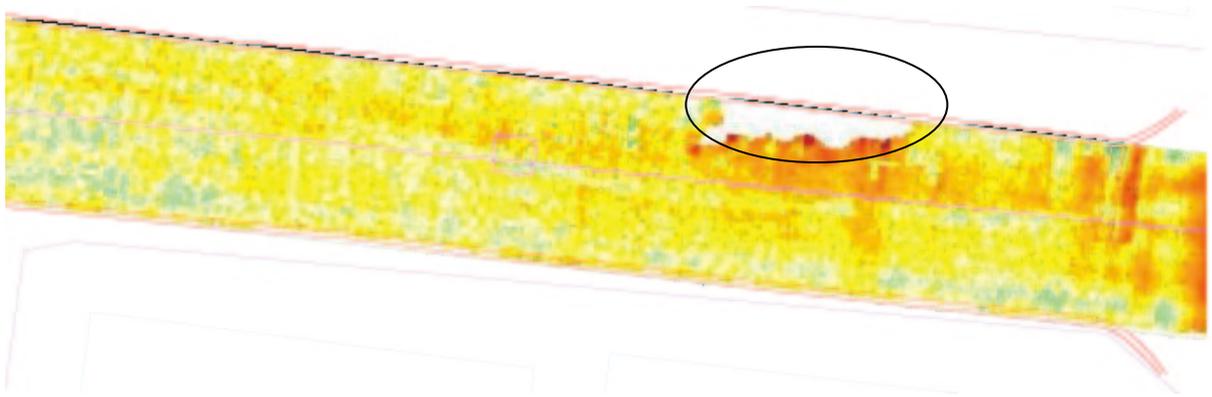


図 7-3.1 障害物の影響

このような地点を陥没地点として検出しないためには障害物を認識し、その周囲の経時変化を無視する必要がある、自動検出ではなく目視で確認するほうが効率的であると思われる。

柵などがある場合

MMS で計測されるレーザーデータは離散的な点群データであり、同じ x,y 座標を持つ点群は存在しない。したがって、柵のようなレーザーが透過する障害物がある場合、陥没候補地点を抽出する場合、候補地点となる場合がある。したがって、現地での確認作業やカメラデータとの照合が必要である。

計測対象箇所が交差点にある場合

計測対象箇所が交差点にある場合、左折や右折を行いながら計測したデータでは、位置あわせのずれや経時変化算出時の誤差が大きくなる。したがって、交差点に計測対象物がある場合は、直進のみで計測を行う必要がある、計画時の走行経路策定を綿密に立てることで問題を解決することは可能である。

7-4 MMS の陥没予測に対する考察

「3-2-2 陥没地点抽出手法」を用いた自動抽出では、陥没地点以外の凹みも抽出される。抽出地点例として、361 とわだちが顕著に見られる 425 を含む点群ファイルに対して抽出を行った。手動によるサイズ（陥没の大きさ）決定では 361 は直径 1m、425 は直径 40cm であり、この 2 種類のパラメータの抽出例を示す。

地点 361

検出パラメータ：閾値 10mm、サイズ直径 1m

陥没地点 361 を含む点群データファイルに対してプログラムを実行した結果を図 7-4.1 に示す。陥没候補地点として 11 箇所抽出されたが、障害物周辺や白線、マンホール周辺など、誤検出と思われるものが多い。

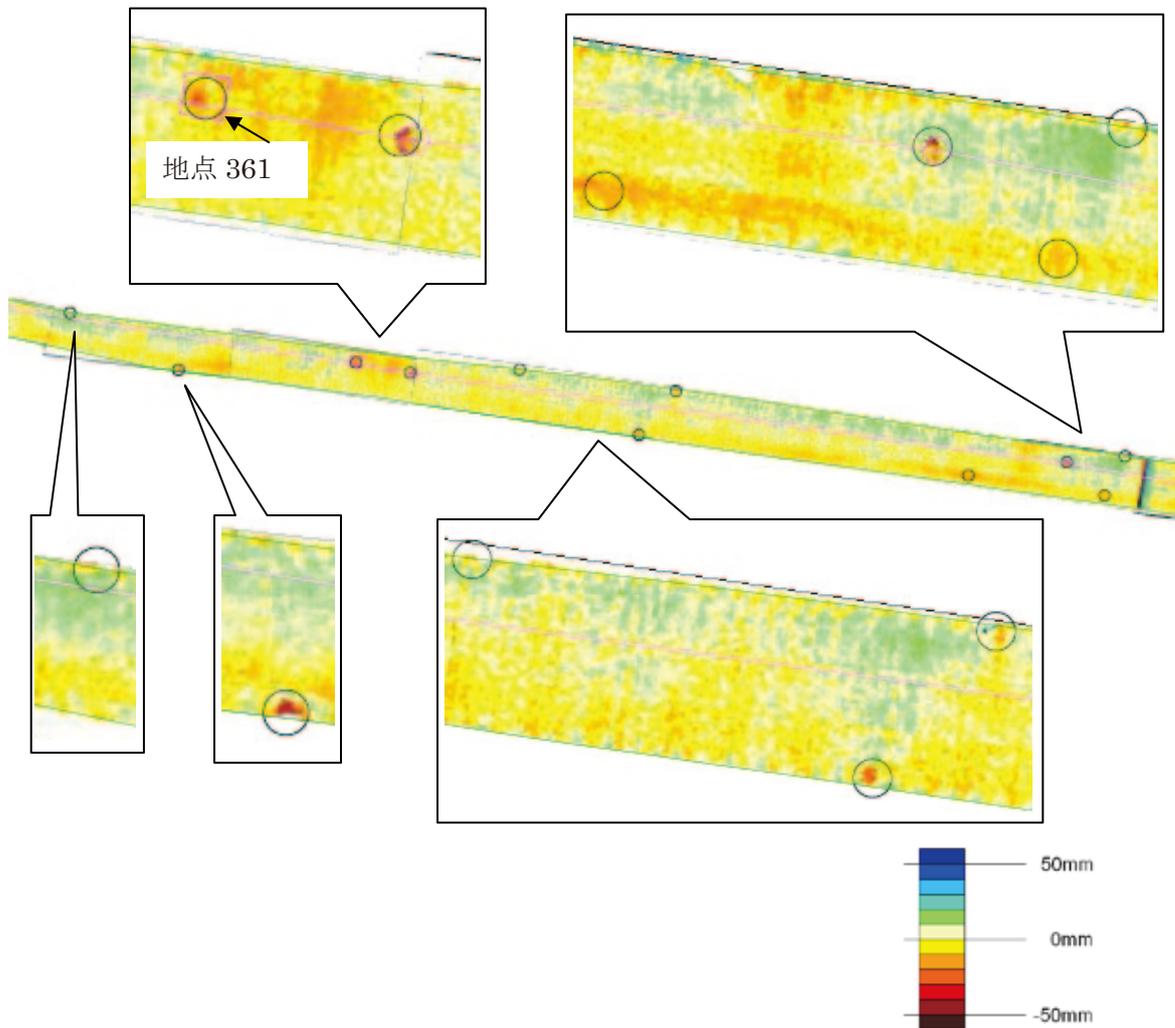


図 7-4.1 抽出地点例 1

地点 425

検出パラメータ：閾値 10mm、サイズ直径 40cm

陥没地点 425 の周辺で抽出された地点を図 7-4.2 に示す。陥没地点を検出するために、サイズを変更したことにより多数の地点が抽出されている。

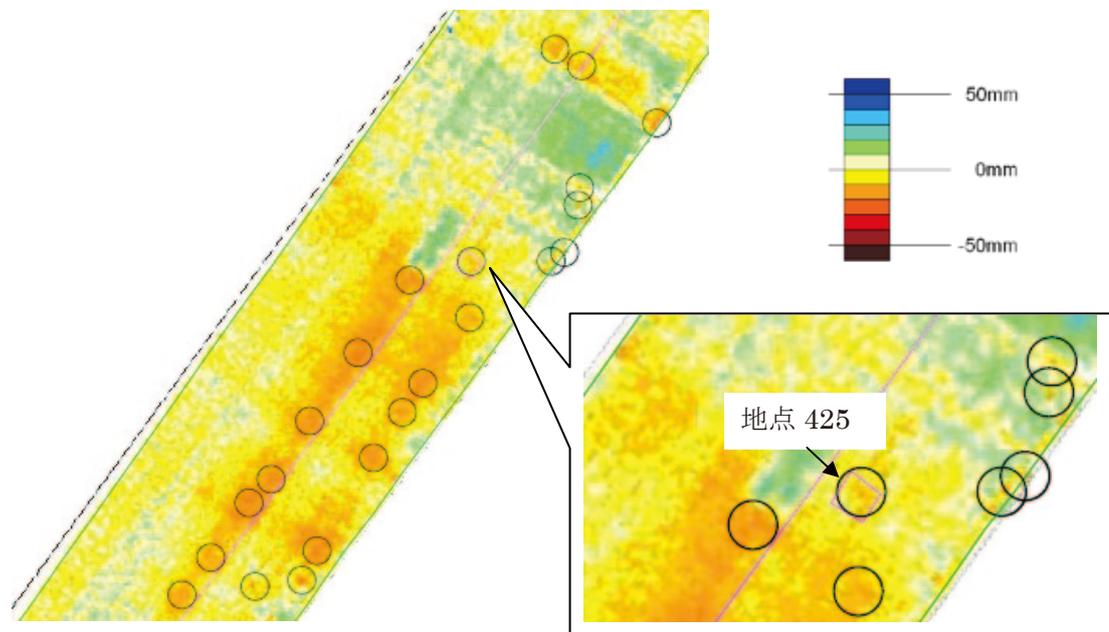


図 7-4.2 抽出地点例 2

このように、現在の手法では、抽出地点と陥没の大きさには密接な関係があり、今後、陥没の大きさの最適化や陥没の大きさを数段階設けて抽出することや、コンター図も利用するなどの方法も検討し、できるだけ自動化できるシステムを構築する必要がある。

以上のことから、陥没候補地点の抽出実用化には以下の改善が必要である。

(1) 点群位置合わせ手法

今回は、道路端の白線部分は変化が少ないと想定して、経時変化算出時の基準に用いた。しかし、長期間計測を行う場合、白線部分にも経時変化が見られることが考えられ、上下方向の位置合わせに影響が生じる場合が考えられる。経時変化算出は、白線を基準として算出するケースが多く、白線に経時変化が見られるとすれば、高さ方向の位置合わせ手法の検討が必要である。

(2) 陥没地点の抽出手法

現在手動で陥没の大きさを設定/調整し陥没地点の抽出を行っているが、今後、陥没の大きさの最適化や陥没の大きさを数段階設けて抽出することや、コンター図も利用するなどの方法も検討し、できるだけ自動化できるシステムを構築する必要がある。場合によっては、コンター図を色ではなく地形図のような等高線で記載し、異常箇所を抽出する方法も検討してみる必要がある。

(3) ノイズ除去手法

自動抽出では、障害物があり路面上の点群が計測できなかった領域（工事中など）の周辺に実際とは異なる大きい経時変化量が算出されてしまうため、その点の除去を行う必要がある。点群が計測できなかった場合は、自動抽出を行わず手作業で行う必要がある。

(4) 下水道管きょや舗装厚等の知見の取り込み

沈下量だけでなく、舗装厚や土被りとの関係、下水道管きょの口径や材質、交通量等の知見を取り込んだ抽出も必要である。

(5) TVカメラ調査との比較

TVカメラ調査と路面の沈下量との整合性をとる必要があると考える。

(6) 地下レーダを用いた空洞探査

路面の沈下は、下水道管の損傷や不具合によって下水道管の周りの土が管内に引き込まれ、そのことで生じた空洞によって起こると考えられている。したがって、路面の沈下量だけの陥没候補地点の抽出ではなく、TVカメラ調査では確認できない下水道管の外側の空洞を地下レーダで調査し、地下空洞と空洞によって引き起こされる路面の沈下の双方から陥没候補地点の抽出を行うことで、より効率的で確実な調査が可能であると考えられる。なおこの場合の調査フローは図 7-4.3 となる。

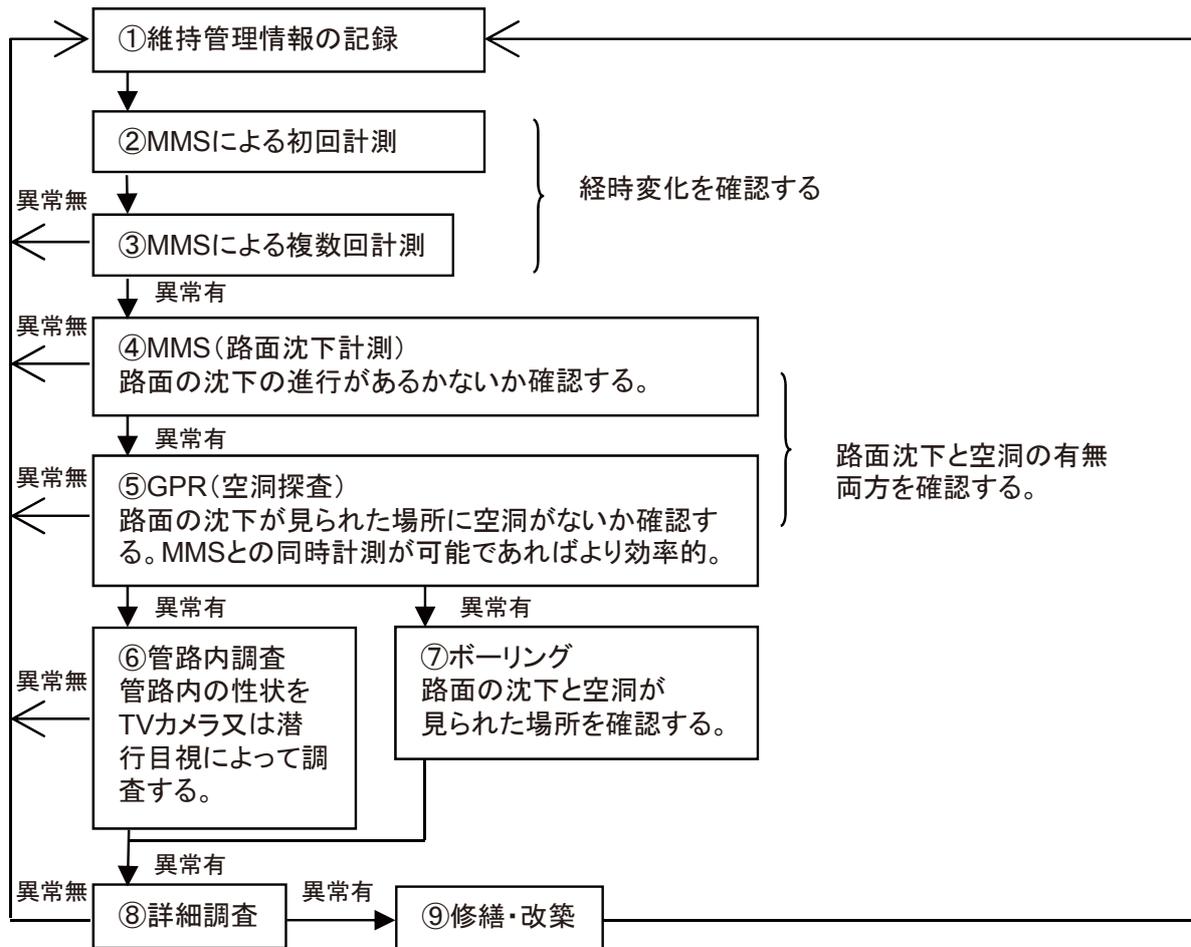


図 7-4.3 MMS と GPR（地下レーダによる空洞探査）の融合による調査フロー