

第3章 経時変化算出

3-1 処理内容概要

計測対象道路上で生じた計測中や計測後に陥没した地点の経時変化を算出した。第一回計測、第二回計測、第三回計測と陥没/補修日との関係より以下の3種類に分け処理を実施した。図3-1.1に計測時期と道路陥没補修状態を示す。

(1) 第一回計測と第二回計測の間に陥没/補修された地点

第二回計測は補修後のデータであるため、第一回計測と第二回計測の経時変化は補修跡が見られるはずであり確認を実施した。

(2) 第二回計測と第三回計測との間に陥没/補修された地点

第二回計測は陥没/補修前データ、第三回計測は補修後のデータであるため、第一回計測と第二回計測の経時変化は陥没が始まっていれば沈下として、第二回計測と第三回計測との経時変化は盛り上がりとして算出されるはずであり確認を実施した。

(3) 第三回計測以降に陥没/補修された地点

第二回計測、第三回計測とも陥没/補修前のデータであり、両方の経時変化とも陥没が始まっていれば沈下として算出されるはずであり確認を実施した。

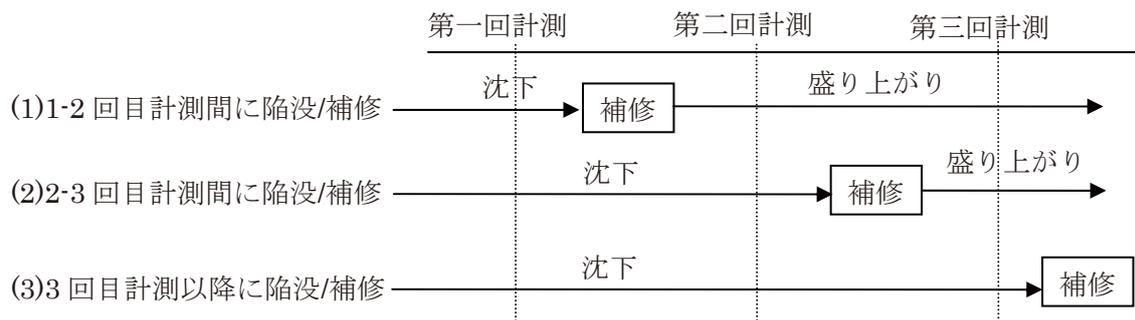


図3-1.1 計測時期と道路陥没補修状態

3-2 経時変化算出手法

3-2-1 位置合わせ手法

経時変化を算出するには、2回の計測で得られた同じ座標点の高さを比較する必要がある。しかし、実際には以下のような問題がある。

(1) 離散データである三次元点群座標の比較

MMSで計測されるデータは離散的な点群であり、同じx,y座標を持つ点は通常存在しない。したがって、高さを比較するためには補間などを用いて点のない地点のx,y座標を算出し比較する必要がある。

(2) 絶対座標の誤差

MMSで計測された座標値の絶対精度は10cm(rms)以下であるが、陥没のサイズが数10センチ程度であることを考慮すると経時変化算出誤差が大きくなることがあるため、2回の計測で得られた点群どうしを精度よく位置合わせをする必要がある。

(3) ノイズ

点群の座標にはノイズが含まれており、単に各点の誤差を比較するだけではノイズの影響を受けてしまう。ノイズの影響を低減し、精度を向上させる必要がある。

上記問題に対して、今回は道路面モデルと点群同士の位置合わせ手法を用いた。採用した手法を以下に述べる。

・手順1：基準となる第一回計測点群からの道路面モデルの生成

上記問題の(1)、(3)に対応するため、計測した点群より正方メッシュの面モデルを生成する。その際道路面の滑らかさや点群との一致度を指標に最適化を行い、メッシュ各点の高さを決定する。このようにして、ノイズの影響が少ない最適なモデルを求めることにより、ノイズがある離散点群データからノイズの少ない連続的な面モデルが得られる。正方メッシュの間隔は10cmである。図3-2.1に道路面モデル生成イメージを示す。

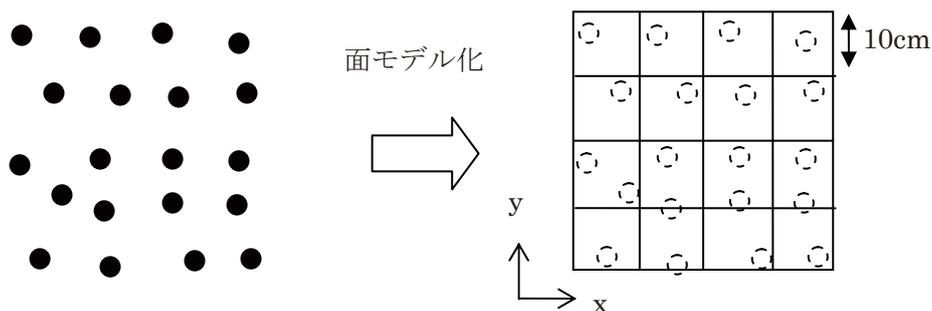


図3-2.1 道路面モデル生成イメージ

・手順2：点群どうしの位置合わせ

上記問題(2)に対応するため、第一回計測点と第二回計測点の位置合わせは、点群間位置合わせ手法を用いて実施した。当初の計画では、計測シーンごとに白線の角など特徴的な地物を画像から数点抽出し、その地物どうしの位置を合わせることで実施することを想定したが、シーン全体の点群どうしを数点の座標で位置合わせするのは誤差が大きいと考え、点群を分割し点群どうしの位置合わせを実行する方法に変更した。今回は、座標位置を一般的な手法である ICP アルゴリズム¹で合わせ、さらに高さ方向は路面端の白線部分の高さが変わらないと仮定し白線部分の高さに合わせることで精度を向上させている。図3-2.2に第一回計測点と第二回計測点の点群間位置合わせイメージを示す。

¹ Besl, P.J. and Mckay :A Method for Registration of 3-D Shapes, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.2, pp.239-256 (1992).

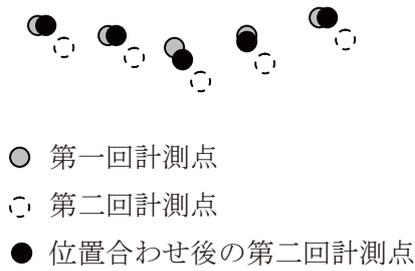


図 3-2.2 点群間位置合わせイメージ

・手順 3：経時変化算出

道路面モデルと位置合わせ後の第二回計測点との距離を求め、経時変化値とした。この場合、第二回計測点群のノイズがそのまま反映されるが、後に述べる陥没地点の位置特定時にノイズを考慮することにした。図 3-2.3 に経時変化算出イメージを示す。

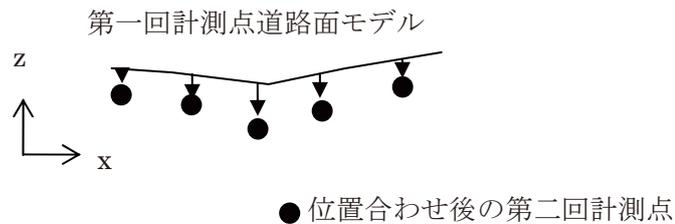
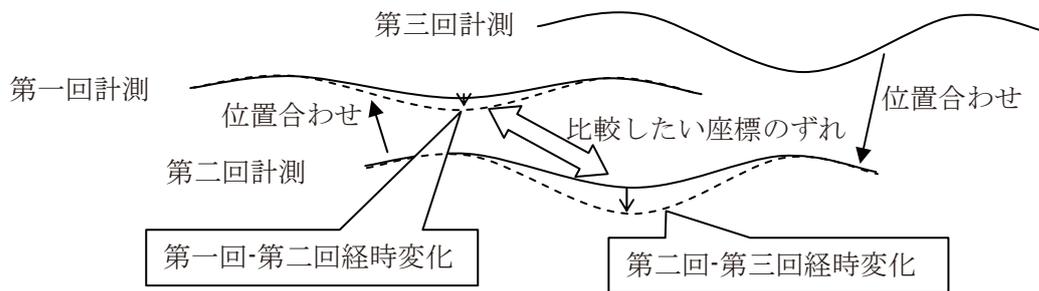


図 3-2.3 経時変化算出イメージ

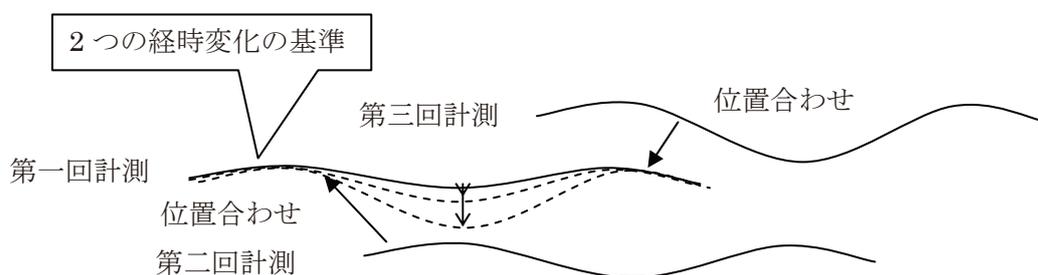
・手順 4：可視化

算出した経時変化を可視化するために、経時変化値を 1 画素 5cm 四方で画像に変換した。経時変化がない画素は、周囲より補間した。

また、第三回計測以降に陥没/補修された陥没地点では、第一回・第二回計測間の経時変化と第二回・第三回計測間の経時変化の 2 つの経時変化が算出される。この 2 つの経時変化を比較するためには同じ x,y 座標の点の経時変化を比較する必要があるが、点群データの絶対精度誤差の影響を軽減させるため、第二回・第三回計測間の経時変化を直接求めず、第一回の点群を共通の位置合わせ基準として、第一回・第三回計測の経時変化より第一回・第二回経時変化を間接的に算出するようにした図 3-2.4 に間接経時変化算出手法イメージを示す。



第二回・第三回経時変化を直接求めた場合



第二回・第三回経時変化を差分にて求めた場合

図 3-2.4 間接経時変化算出手法イメージ

3-2-2 陥没地点抽出手法

陥没地点の経時変化値を求めるためには、まず計測後に陥没した陥没地点の正確な場所を特定する必要がある。しかし、今回の作業では陥没地点の座標値は入手できず、陥没地点の住所および地図上でのおよその位置と補修工事時の写真から場所を特定する必要があったため、以下の手順で場所を特定した。

- ・手順 1：陥没地点の大まかな位置から、計測時のシーン番号を特定
- ・手順 2：特定したシーンを計測した時の MMS 画像と陥没地点写真を比較し、陥没位置を撮影した MMS 画像を特定
- ・手順 3：画像から座標を求めるソフトウェアを用いて、MMS 画像上で手作業により陥没推定位置を指定、座標に変換

陥没推定位置は、補修実施後の画像がある場合には図 3-2.5 のようにその補修跡を指定すればよいが、補修跡がない場合には画像上の地物の位置関係から推測した。

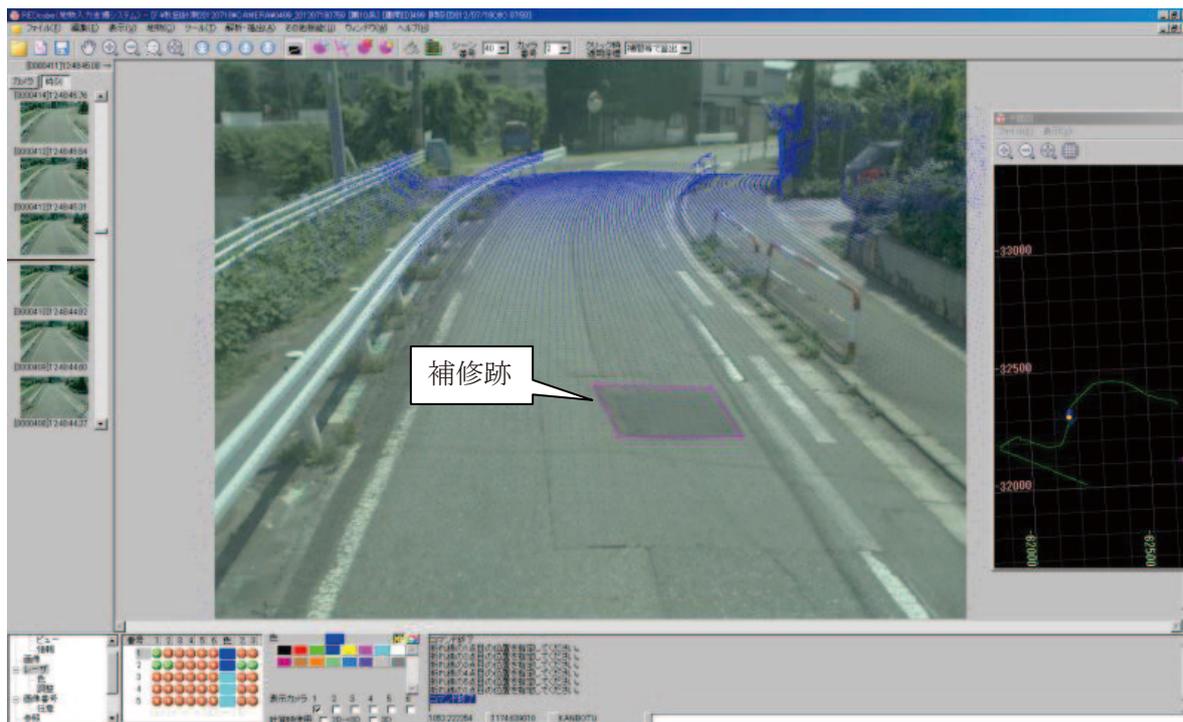


図 3-2.5 陥没位置の特定

上記手法で陥没地点を数 10cm 四方の範囲に絞った後、3-2-1 位置合わせ手法を用いて算出した経時変化値より陥没地点の経時変化を算出する。単に範囲内で経時変化のピーク値を持つところを陥没位置とすることも検討したが、データに含まれるノイズや陥没地点の表面の凹凸などより図 3-2.6 のようなデータになることもある。単なるピーク値の検出手法だと 2 つの陥没地点もしくはどちらか一つのピーク位置を陥没位置として算出することとなるが、実際には一つの陥没地点として考えられ、陥没の形状も考慮した陥没位置を抽出する手法が必要であると考えた。

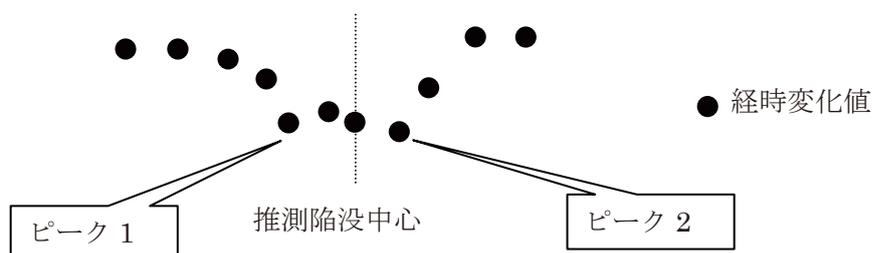


図 3-2.6 陥没位置の検討

経時変化算出ソフトウェアは、位置合わせ後の経時変化図のほかにデータとして x 座標、y 座標、経時変化量を出力する。このとき経時変化量を輝度とみなすとデータは 2 次元の画像とみなすことができるため、既存の画像処理を用いて陥没地点の抽出を試みた。今回利用した手法は、陥没では中心付近がもっとも深く陥没すると仮定して、画像処理で一般的に用いられるガウシア

ンフィルタを経時変化データに適用した。そして、ピークとなる x,y 座標を陥没地点とし、陥没地点周辺で最も経時変化が大きくなる値を経時変化量とした。図 3-2.7 に陥没位置の算出イメージを示す。

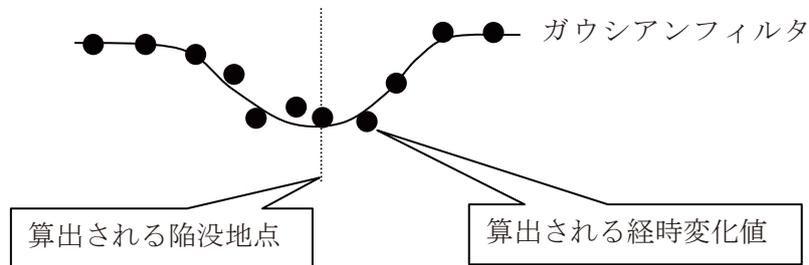


図 3-2.7 陥没位置の算出イメージ

この手法により、経時変化値を滑らかな形状に変換するため、ノイズや細かい凹凸の影響も受けにくくなるが、対象となる陥没の大きさ（サイズ）が必要となる。図 3-2.8 に陥没の大きさ指定による変化イメージを示す。

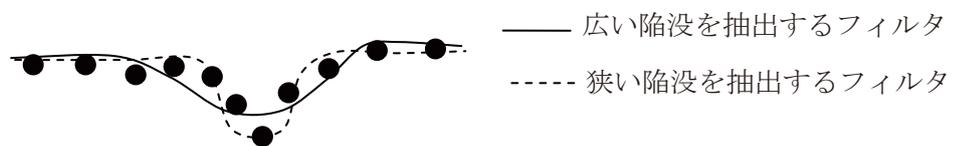


図 3-2.8 陥没の大きさ指定による変化イメージ

狭い範囲を指定すれば小さな範囲の陥没を算出抽出できるが、算出される地点の数が増えてしまう。一方、広い範囲を指定すれば大きな陥没のみ算出することになり、狭い範囲の陥没を見逃してしまう。今回は、既陥没範囲のサイズを手入力により徐々に小さくし、適当と思われる陥没位置が算出するようにした。