

画像データと3Dデータを活用した変状規模の計測精度分析

森田健司・今野 新・関谷浩孝・前田安信

1. はじめに

国土交通省では河川や道路の管理のために、全国に約2万台のCCTVカメラを整備し運用している。現場の様子を映し出す画像データは、災害発生時の被害規模を把握する一次情報として有効である。被害箇所における通行止めの必要性を適切に判断するためには、土木構造物の変状（例えば道路の亀裂幅）を定量的に把握する必要がある。しかし、現状では画像内のおおよその大きさがわかる情報（例えば車両）から変状の度合いを推測する機会が多い。また、i-Construction等ICTを活用した取組により、3Dデータ（座標情報を有する点群データ）をMMS（Mobile Mapping System）等で取得する管理区間が広がっている。

このような背景を踏まえ、筆者らは既設のCCTVカメラにより取得した画像データを、3Dデータと重ね合わせることで土木構造物の変状を自動的かつ定量的に計測する技術を開発している。

本研究では、上記技術で得られる計測精度を明らかにすることを目的とした分析を行った。この分析結果とそこから得られた主な知見を報告する。

2. 分析方法

2.1 分析の概要

本研究では、地震時に堤防天端で亀裂が発生した場合に、河川管理者がCCTVカメラにより撮影した亀裂の幅と3Dデータを重ね合わせて計測する場面を想定した。既往事例を調査したところ、このような場面における亀裂の幅は2cm～10cm程度であった（平成19年新潟中越沖地震）。

協力が得られた江戸川河川事務所の管理区間内には計測に適した亀裂が無かった事から、亀裂を模擬的に再現するためにウレタンクッションシール材を用いた。（以下「模擬亀裂」という。）模擬亀裂は亀裂幅が大中小の3種類のものを用意し、それぞれの亀裂幅を計測した（図-1、表-1）。

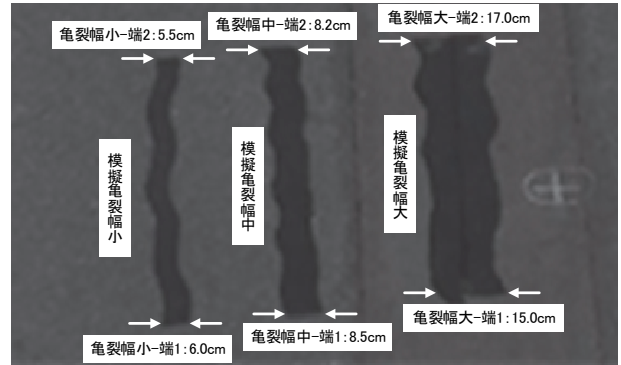


図-1 模擬亀裂

表-1 模擬亀裂の寸法

模擬亀裂	亀裂幅の寸法	亀裂幅の平均
模擬亀裂幅小	亀裂幅小-端1: 6.0cm 亀裂幅小-端2: 5.5cm	5.8cm
模擬亀裂幅中	亀裂幅中-端1: 8.5cm 亀裂幅中-端2: 8.2cm	8.4cm
模擬亀裂幅大	亀裂幅大-幅1: 15.0cm 亀裂幅大-幅2: 17.0cm	16.0cm

2.2 3Dデータの作成

模擬亀裂の設置箇所周辺の3DデータをMMSにより作成した。3Dデータへ画像データを重ね合わせるために現地に基準点を設置した（図-2）。なお、3Dデータは1/500縮尺の地図に相当する精度を確保した。

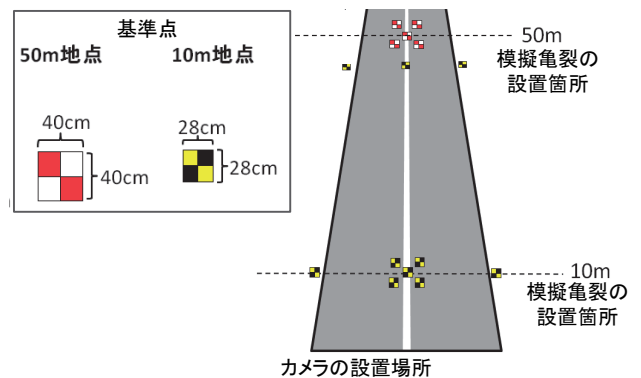


図-2 基準点の設置

2.3 画像データの作成

CCTVカメラは国土交通省が定めた「CCTVカメラ設備機器仕様書（案）（平成27年3月）」を満たす機種を用いた。解像度による違いを分析するためSD（Standard Definition、標準解像度：720×480dot）カメラとHD（High Definition、高精細解像度：1920×1080dot）カメラの双方で

撮影した。SDカメラとHDカメラを並べ、高所作業車により一般的なCCTVカメラの設置高さと同じ、8mの高さに設置した(図-3)。

江戸川左岸25.8kmポスト付近の堤防天端に模擬亀裂を設置して撮影距離及び模擬亀裂の設置向きを変えて撮影した(表-2)。撮影した映像から計測用の静止画像(以下「画像データ」という。)を作成した。模擬亀裂の設置の向きは撮影方向に対して亀裂を左右方向に置いた状態(以下「横亀裂」という。)と奥行き方向に置いた状態(以下「縦亀裂」という。)の2種類とした(図-4)。

表-2 画像データの取得条件

対象	ズーム	取得状況	CCTV画像取得条件(○が取得)		
		時間帯	昼		夕～夜
		撮影距離	10m	50m	50m
縦亀裂	標準	○	○		
	5倍	○	○	○	
	10倍		○	○	
	20倍		○		
横亀裂	標準	○			
	5倍	○	○	○	
	10倍		○	○	



図-3 カメラの設置

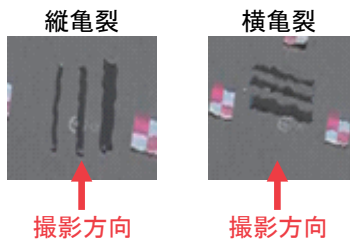


図-4 縦亀裂と横亀裂

2.4 亀裂幅の計測

現地に設置した基準点に基づいて3Dデータに画像データを重ね合わせた(図-5)。

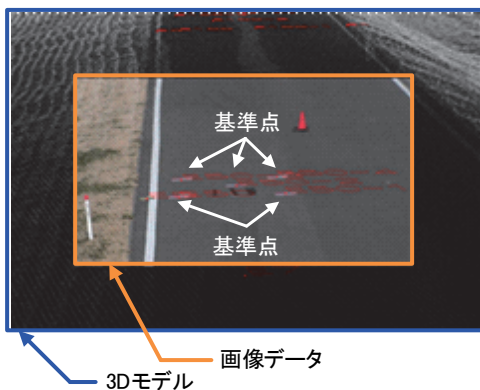


図-5 3Dデータに画像データを重ね合わせた例

模擬亀裂はCCTVカメラにより斜め上方から撮影した。このままでは画像データを3Dデータへ

重ね合わせた状態での計測作業が困難であることから、画像データを真上から見下ろした状態に変換し、計測しやすくした。この変換した画像をオルソ画像と呼び、堤防天端の面に合うように画像データからオルソ画像へ変換した(図-6)。

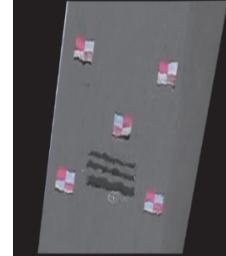


図-6 亀裂計測用オルソ画像例(横亀裂の例)

3Dデータに重ね合わせたオルソ画像上で亀裂幅の両端を画面から指定し、重ね合わせている3Dデータの座標を読み取り、亀裂幅を算出した(以下「亀裂計測」という。)

この亀裂計測により得られた値と模擬亀裂の実際の寸法(以下「真値」という。)の差を真値で除したものを誤差比率と定義し、撮影条件との関係を分析した。

3. 分析結果

亀裂計測の結果と誤差比率を表-3に示す。コントラストが十分で無い画像データは亀裂計測ができなかった(表-3の「-」部)。

亀裂計測は画像データ上で亀裂幅の両端を指定して計測することから、画像データの解像度が計測精度に影響を与えると想定した。影響を与える要因(撮影条件)として以下の4つを想定し、それぞれの撮影条件における誤差比率の傾向を分析した。

- (1) 亀裂幅
- (2) 撮影距離
- (3) カメラ画質
- (4) 亀裂の向き

3.1 亀裂幅が誤差比率に与える影響

亀裂幅が大中小のグループ別と亀裂幅全体の平均について横亀裂、縦亀裂毎にまとめた(表-4)。

横亀裂の場合、亀裂小の誤差比率(59.6%)は、亀裂大の値(23.0%)の2.6倍であり、亀裂中の誤差比率(34.9%)は、亀裂大の値(23.0%)の1.5倍である。同様に縦亀裂の場合、亀裂小の誤差比率(13.0%)は、亀裂大の値(4.3%)の3.0倍であり、亀裂中の誤差比率(9.2%)は、亀裂大の値(4.3%)の2.1倍である。横亀裂、縦亀裂

表-3 亀裂計測の結果と計測誤差

撮影条件			亀裂	真値	横亀裂 (HDカメラ)			横亀裂 (SDカメラ)			縦亀裂 (HDカメラ)			縦亀裂 (SDカメラ)		
撮影距離	ズーム倍率	昼夜			計測値 (cm)	誤差 (cm)	誤差 比率	計測値 (cm)	誤差 (cm)	誤差 比率	計測値 (cm)	誤差 (cm)	誤差 比率	計測値 (cm)	誤差 (cm)	誤差 比率
10m	5倍	昼間	亀裂小-1	6.00	6.87	0.87	14.5%	7.48	1.48	24.7%	6.67	0.67	11.2%	6.39	0.39	6.5%
			亀裂小-2	5.50	6.35	0.85	15.5%	5.51	0.01	0.2%	5.46	-0.04	0.7%	5.59	0.09	1.6%
			亀裂中-1	8.50	8.29	-0.21	2.5%	8.52	0.02	0.2%	8.55	0.05	0.6%	8.03	-0.47	5.5%
			亀裂中-2	8.20	8.89	0.69	8.4%	8.24	0.04	0.5%	8.35	0.15	1.8%	8.01	-0.19	2.3%
			亀裂大-1	15.00	16.28	1.28	8.5%	15.81	0.81	5.4%	14.73	-0.27	1.8%	14.40	-0.60	4.0%
			亀裂大-2	17.00	17.27	0.27	1.6%	16.71	-0.29	1.7%	17.29	0.29	1.7%	16.67	-0.33	1.9%
	標準	昼間	亀裂小-1	6.00	6.07	0.07	1.2%	6.29	0.29	4.8%	4.79	-1.21	20.2%	6.18	0.18	3.0%
			亀裂小-2	5.50	5.23	-0.27	4.9%	7.83	2.33	42.4%	5.97	0.47	8.5%	5.23	-0.27	4.9%
			亀裂中-1	8.50	8.60	0.10	1.2%	9.21	0.71	8.4%	7.86	-0.64	7.5%	8.64	0.14	1.6%
			亀裂中-2	8.20	8.88	0.68	8.3%	11.88	3.68	44.9%	7.70	-0.50	6.1%	7.65	-0.55	6.7%
			亀裂大-1	15.00	15.74	0.74	4.9%	14.32	-0.68	4.5%	14.58	-0.42	2.8%	15.46	0.46	3.1%
			亀裂大-2	17.00	16.54	-0.46	2.7%	16.63	-0.37	2.2%	17.26	0.26	1.5%	15.73	-1.27	7.5%
50m	20倍	昼間	亀裂小-1	6.00	9.73	3.73	62.2%	10.61	4.61	76.8%	6.38	0.38	6.3%	6.51	0.51	8.5%
			亀裂小-2	5.50	10.91	5.41	98.4%	10.27	4.77	86.7%	5.65	0.15	2.7%	5.66	0.16	2.9%
			亀裂中-1	8.50	11.55	3.05	35.9%	10.81	2.31	27.2%	8.53	0.03	0.4%	9.67	1.17	13.8%
			亀裂中-2	8.20	13.99	5.79	70.6%	13.53	5.33	65.0%	8.08	-0.12	1.5%	9.36	1.16	14.1%
			亀裂大-1	15.00	22.90	7.90	52.7%	17.49	2.49	16.6%	15.10	0.10	0.7%	16.27	1.27	8.5%
			亀裂大-2	17.00	20.86	3.86	22.7%	21.51	4.51	26.5%	16.48	-0.52	3.1%	18.54	1.54	9.1%
	10倍	昼間	亀裂小-1	6.00	8.64	2.64	44.0%	11.76	5.76	96.0%	6.88	0.88	14.7%	6.33	0.33	5.5%
			亀裂小-2	5.50	5.15	-0.35	6.4%	15.54	10.04	182.5%	5.04	-0.46	8.4%	5.23	-0.27	4.9%
			亀裂中-1	8.50	11.08	2.58	30.4%	13.99	5.49	64.6%	8.78	0.28	3.3%	8.62	0.12	1.4%
			亀裂中-2	8.20	13.66	5.46	66.6%	14.79	6.59	80.4%	8.08	-0.12	1.5%	8.07	-0.13	1.6%
			亀裂大-1	15.00	21.59	6.59	43.9%	17.40	2.40	16.0%	15.23	0.23	1.5%	14.93	-0.07	0.5%
			亀裂大-2	17.00	19.17	2.17	12.8%	16.08	-0.92	5.4%	17.19	0.19	1.1%	16.42	-0.58	3.4%
	5倍	夜間	亀裂小-1	6.00	10.44	4.44	74.0%	12.41	6.41	125.6%	-	-	-	8.70	2.70	45.0%
			亀裂小-2	5.50	-	-	-	12.41	6.91	125.6%	-	-	-	9.83	4.33	78.7%
			亀裂中-1	8.50	-	-	-	11.23	2.73	32.1%	-	-	-	11.42	2.92	34.4%
			亀裂中-2	8.20	-	-	-	12.41	4.21	51.3%	-	-	-	13.18	4.98	60.7%
			亀裂大-1	15.00	29.50	14.50	96.7%	24.37	7.37	43.4%	-	-	-	17.65	2.65	17.7%
			亀裂大-2	17.00	24.37	7.37	43.4%	-	-	-	-	-	-	15.72	-1.28	7.5%
5倍	昼間	亀裂小-1	6.00	11.05	5.05	84.2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		亀裂小-2	5.50	13.61	8.11	147.5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		亀裂中-1	8.50	13.75	5.25	61.8%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		亀裂中-2	8.20	11.38	3.18	38.8%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		亀裂大-1	15.00	21.84	6.84	45.6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		亀裂大-2	17.00	8.98	-8.02	47.2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5倍	夜間	亀裂小-1	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		亀裂小-2	5.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		亀裂中-1	8.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		亀裂中-2	8.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		亀裂大-1	15.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		亀裂大-2	17.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

いずれの場合でも亀裂幅が小さいほど計測誤差が大きい。

表-4 亀裂幅による誤差比率の違い

亀裂幅	横亀裂	縦亀裂
亀裂小	59.6% (2.6)	13.0% (3.0)
亀裂中	34.9% (1.5)	9.2% (2.1)
亀裂大	23.0% (1.0)	4.3% (1.0)

3.2 撮影距離が誤差比率に与える影響

撮影距離別の平均について横亀裂及び縦亀裂毎にまとめた (表-5)。

横亀裂の場合、撮影距離50mの誤差比率(59.4%)は撮影距離10mの値(8.9%)の6.7倍であり、同様に縦亀裂の場合、撮影距離50mの誤差比率(12.1%)は、撮影距離10mの値(4.7%)の2.6倍である。横亀裂、縦亀裂いずれの場合でも撮影距離が長いほど計測誤差が大きい。

表-5 撮影距離による誤差比率の違い

撮影距離	横亀裂	縦亀裂
10m	8.9% (1.0)	4.7% (1.0)
50m	59.4% (6.7)	12.1% (2.6)

3.3 カメラ画質が誤差比率に与える影響

画像データの画質別の平均について横亀裂及び縦亀裂毎にまとめた (表-6)。

横亀裂の場合、SD画像の誤差比率(43.6%)は、HD画像の値(34.8%)の1.3倍であり、同様に縦亀裂の場合、SD画像の誤差比率(12.2%)は、HD画像の値(4.6%)の2.7倍である。横亀裂、縦亀裂いずれの場合でもカメラ解像度が低いほど計測誤差が大きい。

表-6 カメラ画質による誤差比率の違い

カメラ解像度	横亀裂	縦亀裂
HD画像	34.8% (1.0)	4.6% (1.0)
SD画像	43.6% (1.3)	12.2% (2.7)

3.4 亀裂の向きが誤差比率に与える影響

亀裂の向き(縦亀裂と横亀裂)が誤差比率に与える影響を分析した。

表-4に示したとおり、亀裂大における横亀裂の誤差比率(23.0%)は、縦亀裂の値(4.3%)の5.3倍である。また、表-5より撮影距離50mにおける横亀裂の誤差比率(59.4%)は、縦亀裂の値(12.1%)の4.9倍である。表-6よりHD画質にお

ける横亀裂の誤差比率（34.8%）は、縦比率の値（4.6%）の7.6倍である。いずれの場合においても、横亀裂は縦亀裂よりも誤差比率が大きい。

4. まとめ

既設のCCTVカメラから取得した画像データを3Dデータと重ね合わせて変状を計測した場合の計測誤差を明らかにするため、模擬亀裂の真値に対する誤差比率を亀裂幅、撮影距離、カメラ解像度及び、亀裂の向きという4つの要因から分析した。この結果から主に次の知見が得られた。

- (1) 亀裂幅：亀裂幅が小さいほど計測誤差が大きい。これは同一画像内にある亀裂幅は幅の大きさにより構成する画素数が異なることから、亀裂幅の違いが計測誤差に影響を与えるためである。
- (2) 撮影距離：撮影距離が長いほど計測誤差が大きい。これは画像データ内の亀裂幅は撮影距離が長いほど構成する画素数が少ないため、計測誤差に影響を与えるためである（図-7）。

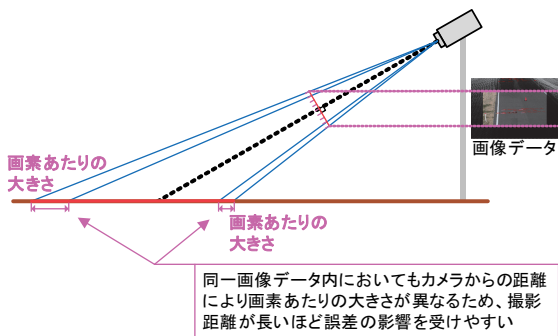


図-7 撮影位置による誤差の影響の違い

- (3) カメラ解像度：カメラ解像度が低いほど計測誤差が大きい。これはカメラ解像度により亀裂幅を構成する画素数に違いがあるため、計測誤差に影響を与えるためである。

- (4) 亀裂の向き：横亀裂は縦亀裂よりも計測誤差が大きい。これは、CCTVカメラでの撮影時に横亀裂は幅方向に画像が圧縮された状態で画像データが作成され、その後、その画像データがオルソ画像へ変換される段階においては亀裂幅の方向へ引き延ばされる。これにより画像データ作成時とオルソ画像への変換時の2回亀裂幅の両端が画素ずれの影響を縦亀裂よりも大きく受けることによる（図-8）。

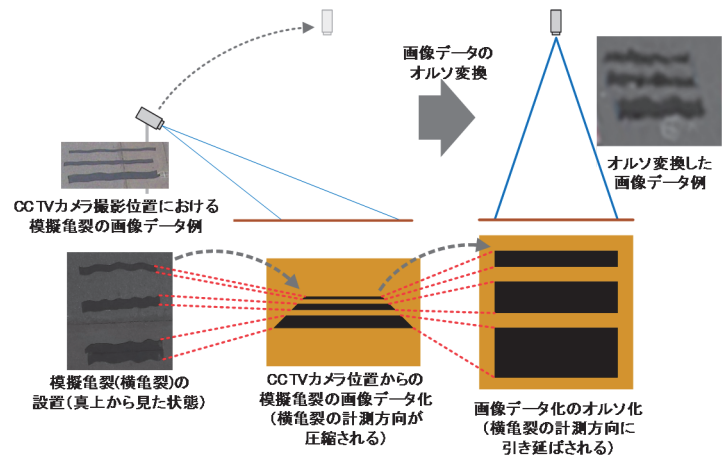


図-8 亀裂の向きにおける画素ずれの影響

これら4つの要因はそれぞれ誤差比率に影響を及ぼすことが分かった。ただし、それぞれの要因においてどの程度の精度で計測できるかまでは整理ができていない。

そこで今後は既設のCCTVカメラで撮影可能な条件下において汎用的に得られる精度を整理し、河川管理者等が活用できるソフトウェアを開発する予定である。

また、今回は画像データの3Dデータへの重ね合わせを人が目視により行った。今後はより迅速に行政判断に求められる土木構造物の変状を計測するため、画像データと3Dデータを自動で重ね合わせる方法も開発予定である。

森田健司



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター
社会資本情報基盤研究室
交流研究員
Kenji MORITA

今野 新



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター
社会資本情報基盤研究室
研究員
Arata KONNO

関谷浩孝



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター
社会資本情報基盤研究室
長、博士（工学）
Dr.Hiroataka SEKIYA

前田安信



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター
情報研究員
Yasunobu MAEDA