

後施工せん断補強筋工法における削孔位置自動抽出システムの開発

株式会社奥村組 正会員 ○田邊 裕之, 郭 勝華, 浜松 慎一
株式会社パスコ 正会員 堺 浩一
日本下水道事業団 小出 信義

1. はじめに

下水道処理施設の耐震補強は、増厚工法のように水槽の容量が減少することがない後施工せん断補強工法を採用する場合が多い。後施工せん断補強筋工法は躯体を削孔した後にせん断補強筋を挿入し、グラウト材で空隙を充填して定着させる工法であり、今回工事では、ベストグラウトバー（以下、BGB）を使用して、底版部 41,156 本、壁部 11,615 本の施工を行った。

合わせて 52,771 本と膨大な本数であり、1 年の実施期間の中でいかに品質を確保しながら効率よく施工するかが、最大の課題であった。



写真-1 底版部削孔状況

当工事では、削孔完了後に行う削孔出来形（削孔位置）の計測を効率よく行うため、以下の ICT 手法を検討した。(1)写真測量により精度の高い画像データを作成する (2)画像から削孔位置を自動抽出し出来形管理表を自動作成する

2. 開発における検討事項

(1) 写真測量方法

水槽の底版部、壁部に設置される補強筋の本数や、削孔位置の計測に必要な精度が得られる写真測量方法を検討した。撮影作業は、補強筋が挿入される前の躯体削孔後に行うものとし、UAV（ドローン）を使用して、撮影することとした。

検討課題は、a)ターゲット（位置算出



写真-2 UAV による写真撮影

の指標となる標定点)の配置箇所や設置数 b)撮影解像度（機材や高度で変化する） c)最適写真ラップ率（必要な精度の合成画像を得るため）であった。試行撮影の結果から検証を行い、必要な精度を得るための最適な撮影方法を探った。

(2) 削孔位置の自動抽出方法

写真測量処理により合成した三次元データとオルソ写真データを用いて、削孔位置を高精度で、かつ自動的に抽出する方法の開発を試みた。

3. 検討結果

(1) 写真測量方法と目標精度

出来形管理は、削孔位置をミリ単位で記録するため、写真撮影には、ミリ単位の精度が必要である。作業効率と精度の最適バランスを求めるため、平面・高さ両方向の誤差の二乗平均平方根（以下 RMS）の目標精度を、それぞれ 2mm、5mm に設定した。

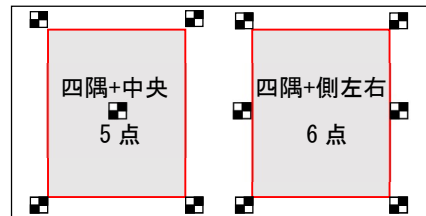


図-1 標定点の配置例

a) 標定点の配置箇所や設置数の検討結果

UAV Phantom4Pro（高度 1.8m の撮影で解像度 0.5mm）を用いて、標定点の配置と数を図-1 に例示するような複数のパターンで検討した。検討結果を表-1 に示す。

目標精度とターゲット設置作業のバランスから、4 隅と中央の 5 点、または

表-1 ターゲット配置の検討結果

パラメータ:ターゲット	単位mm	解析精度	
		平面	高さ
4隅のみ 計4点	RMS	2.1	36.5
	MAX	4.0	73.1
4隅×2 計8点	RMS	1.9	16.5
	MAX	3.4	32.6
4隅+中央 計5点	RMS	1.6	4.3
	MAX	3.3	9.6
4隅+左右側 計6点	RMS	1.7	3.7
	MAX	3.2	7.7
4隅+左右側+中央 計7点	RMS	1.6	3.8
	MAX	3.1	9.9
4隅+上下左右側+中央 計9点	RMS	1.6	2.6
	MAX	2.6	7.6

キーワード 後施工せん断補強, ベストグラウトバー, UAV, オルソ写真データ, 三次元データ, 自動抽出

連絡先 〒545-8555 大阪市阿倍野区松崎町 2-2-2 株式会社奥村組土木本部 Tel: 06-6625-3893

4 隅と左右の 6 点が適切であると確認できた。

b) 撮影解像度の検討結果

UAV の撮影高度を変えて、撮影解像度を 0.5mm, 1mm, 1.5mm の 3 種類に変化させて撮影を行い、RMS の精度を解析した。その結果、前項で示した適切なターゲットの配置を行うと、精度は平面が約 2mm, 高さが約 4mm となり、解像度の違いによる精度差はほとんど見られず、要求条件を満足できた。

c) 最適写真ラップ率の検討結果

UAV で撮影した複数の画像を合成する際の画像間のラップ率の違いによる RMS の精度を解析した。その結果、表-2 に示すように横方向のラップ率（サイドラップ、以下 SL）を 80%，縦方向のラップ率（オーバーラップ、以下 OL）を 80%とした場合、精度の要求条件を満たすことがわかった。また、SL のみを 60%に減らす場合、高さ精度が大きく劣化するが、OL のみを 60%に減らす場合は、平面精度は劣化せず、高さ精度も若干の精度低下に留まった。OL, SL とともに 60%とした場合は、写真測量処理が不可能となった。

これらの結果から、ラップ率は OL が 60%以上、SL が 80%以上のラップ率が必要であると確認できた。

表-2 ラップ率の検討結果

ラップ率	単位 mm	解析精度	
		平面	高さ
OL80%	RMS	1.7	3.7
SL80%	MAX	3.2	7.7
OL80%	RMS	2.6	16.3
SL60%	MAX	7.5	48.0
OL80%	RMS	3.5	26.7
SL40%	MAX	8.5	47.9
OL60%	RMS	1.7	4.8
SL80%	MAX	3.2	9.5
OL60%		解析不可	
SL60%			

(2) 削孔位置の自動抽出と出来形帳票自動作成

a) 削孔位置の自動抽出プログラム

撮影した画像から写真測量処理により、オルソ写真データと三次元データを作成し、削孔位置の自動抽出を行う。オルソ写真データで、画像データの濃淡から

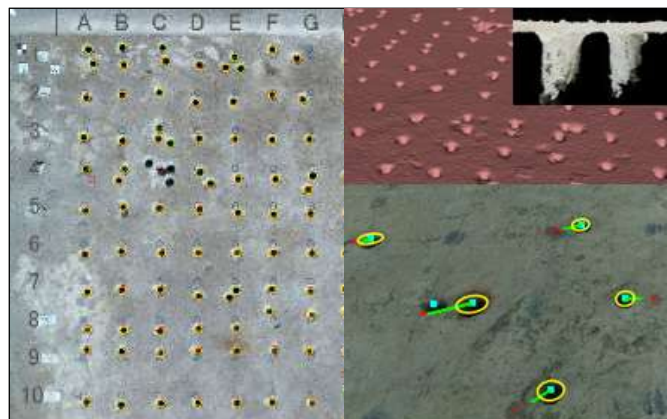
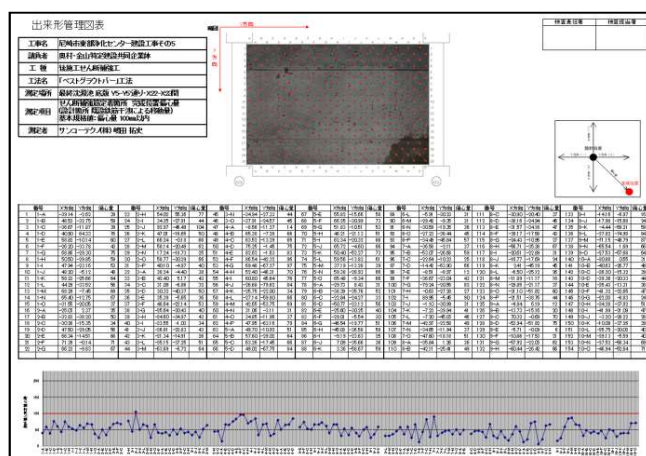


図-2 削孔位置の自動抽出

削孔穴の径（円データ）と位置（円中心点）を自動抽出し、三次元データの削孔穴の三次元形状から、抽出結果を確定させるプログラムとした。図-2 に削孔穴の自動抽出結果の例を示す。

b) 削孔位置の出来形帳票自動作成プログラム

この三次元データを活用して出来形管理に必要な偏心率や本数管理などを出来形管理帳票として、自動作成するプログラムを開発した。図-3 に出力例を示す。削孔位置図の背景にオルソ写真画像を表示させて、抽出結果を確認できるように工夫した。



(自動作成プログラムにより出力された帳票)

番号	X方向	Y方向	偏心量	
249	17-A	-25	-2	25
250	17-B	-35	0	35
251	17-C	-22	6	23
252	17-D	-19	-5	19
253	17-E	-24	-3	24
254	17-F	-5	0	5
255	17-G	-35	-3	35
256	17-H	-15	-4	16
257	17-I	-32	-2	32
258	17-J	-54	-5	54
259	17-K	-59	-8	59
260	17-L	-40	-3	40
261	17-M	-9	-3	9
262	17-N	-35	-4	35
263	17-O	-38	-6	39

(拡大図：左-削孔位置抽出、右-偏心率)

図-3 出来形帳票自動作成プログラム

4. まとめ

写真測量手法の検討により、精度よく写真測量する手法を確認できた。撮影した写真データから位置精度の高いオルソ写真データと三次元データを作成して、削孔位置を自動抽出し、さらに出来形帳票を自動作成することで、大きな労力を費やす現場の出来形・品質管理の省力化、効率化が期待できる。

しかし、削孔位置の自動抽出時に、削孔穴ではないものを誤認識することがあり、抽出率を高めることが今後の課題である。