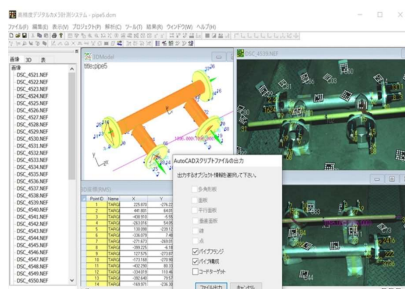


デジタルカメラ三次元計測システム



2019年9月11日



SoftBridge株式会社



MHPSエンジニアリング株式会社



デジタルカメラ計測とは

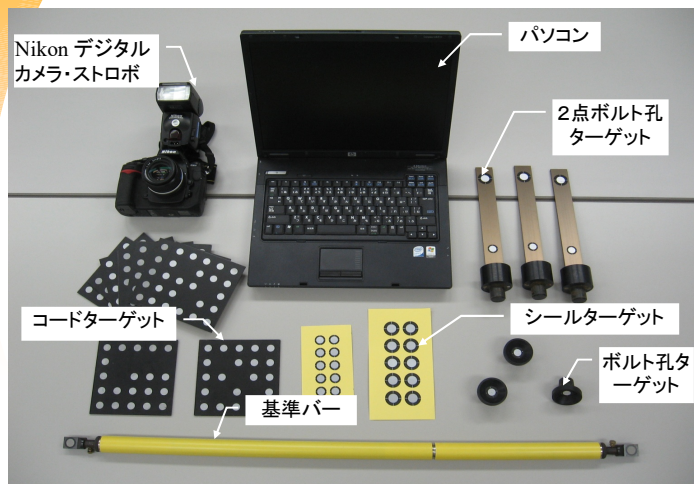
- 複数の角度から撮影した写真から三次元座標を求める
 - 二次元データから三次元データを復元する技術
 - エピポーラ幾何と呼ばれる数学技法の応用
- 計測位置の自動認識
 - 計測位置にマーク(ターゲット)を設置すると複数写真上の同一点をコンピュータが自動認識する
- 計測位置を写真で確認
 - 計測位置を写真上のマークで確認する
- トータルステーションと同程度の計測精度がある
 - 1秒読みトータルステーションと同程度の計測精度

MHPS&SB



使用機材

■ カメラ・パソコン・ターゲット・基準バー



MHPS&SB



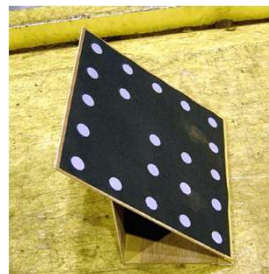
デジカメ計測の原理(1)

コードターゲットによる写真の繋ぎ合せ

- 写真同士を繋ぎ合わせるためコードターゲットを使用
- コードターゲットは5x5の配列で1枚1枚配置が異なる
- 複数の写真から同一のコードターゲットを見つけ立体形状を再現

■ 大きさを認識する基準バー

- 写真上の長さを認識
- 撮影範囲内の任意の場所に配置



MHPS&SB

PIXXIS デジカメ計測の原理(2)

- 写真上の位置とカメラ視点から方程式を作成
 - 詳細はエピポラ方程式(幾何)で検索

MHPS&SB

PIXXIS の特徴(1)

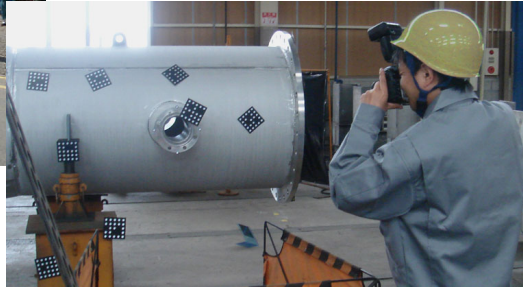
- デジタルカメラ計測機器としては大型構造物に対応
 - 計測対象構造物サイズ～30m程度まで
 - コードターゲットの大型化と長尺基準バーで対応

MHPS&SB



PIXXISの特徴(2)

- 手軽に計測
 - 光波系測距器に比べ取扱いが簡単
 - 屋内・屋外いずれでも使用可能



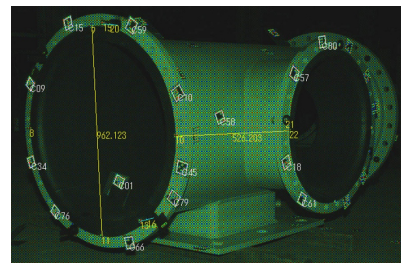
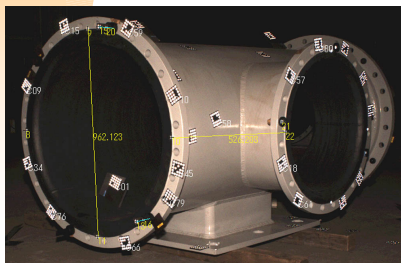
MHPS&SB



PIXXISの特徴(3)

- 状況写真と計測データが連動
 - 撮影写真上で寸法を確認
 - 工事看板なども一緒に写し込み

左図JPG画像、右図RAW画像

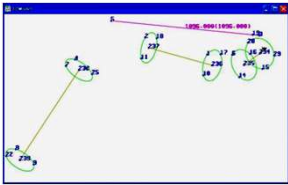
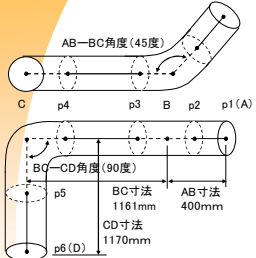


MHPS&SB



PIXXISの特徴(4)

- テープでは求めにくい三次元角度や長さを簡単に計算



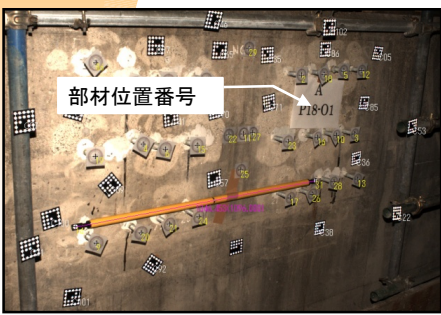
	テープ計測	カメラ計測	誤差
AB寸法	400	396.07	-3.93
BC寸法	1061	1063.85	2.85
CD寸法	1170	1171.49	1.49
AB-BC角度	45	46.04	1.04
BC-CD角度	90	90.05	0.05

MHPS&SB



PIXXISの特徴(5)

- データ取り間違えミスの防止
 - 類似形状が多い場合部材位置を記載した用紙を一緒に撮影
 - 計測データの天地左右向きも写真を見ればわかる



MHPS&SB



PIXXISの特徴(6)

計測忘れ点を写真上で追加設定

- 写真に計測点を追加することができる
- 3枚以上の異なる角度から撮影した写真上で同一点を指定



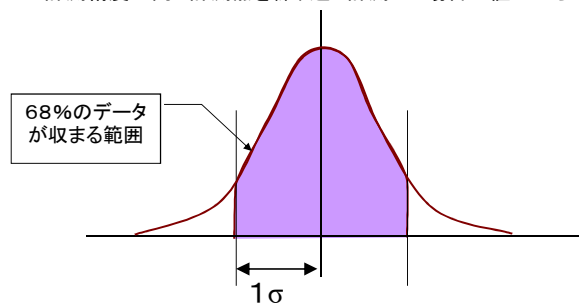
MHPS&SB



PIXXIS基本計測精度

三次元高精度計測

- 計測精度に影響する要因
 - カメラ素子画素数、レンズ焦点距離、被写体平均撮影距離
- 1500万画素、24mm広角レンズ、被写体平均撮影距離3mの場合
- $1\sigma = 0.165\text{mm}$ (三次元上の誤差)
 - 1σ : 標準偏差と言われ、約68%の確率で入る誤差
 - 計測精度は同じ計測点を繰り返し計測した場合の値のばらつき度合い



MHPS&SB

PIXXIS画面

■ 操作画面

撮影写真リスト

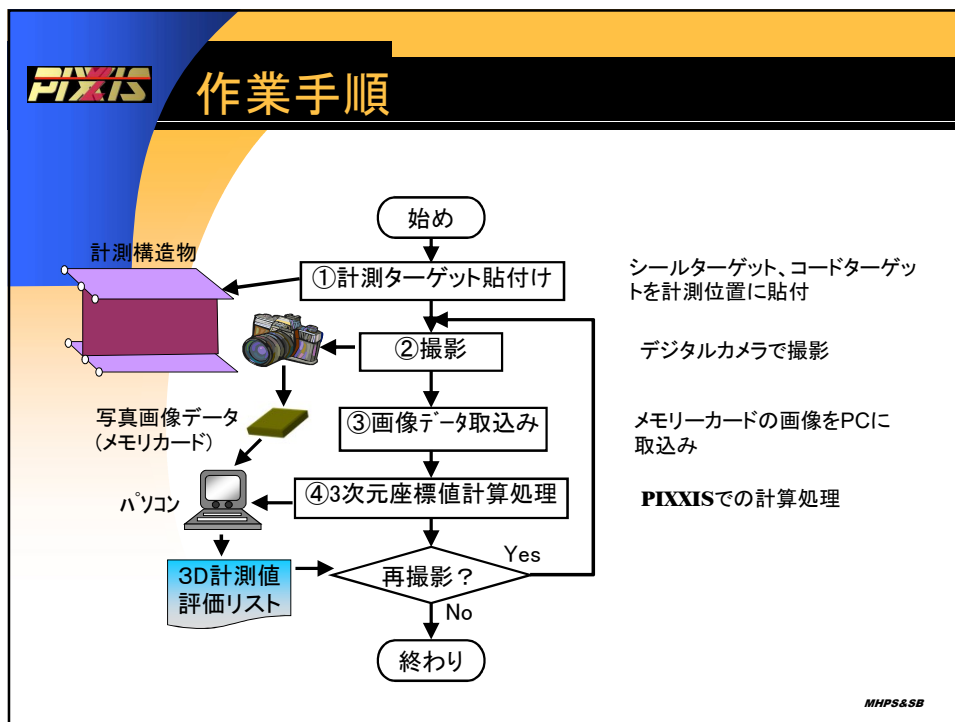
MHPS&SB

既存計測器との比較

■ 光学系三次元計測器との計測精度比較

10m長さ比較(単位mm)	計測平均値	標準偏差	計測精度
トータルステーション(MONMOS)	10000.049	0.047	1/212,767
PIXXIS(平均78枚撮影)	10000.255	0.157	1/63,696
PIXXIS(平均54枚撮影)	10000.401	0.260	1/38,463

MHPS&SB







作業状況ビデオ

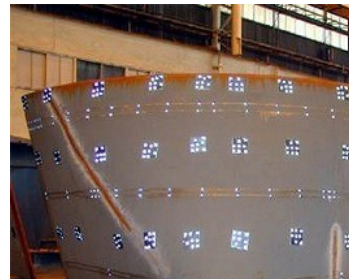


MHPS&SB



作業時間

- 鋼構造物(7m×1m×2m程度の全周計測)
 - ターゲット貼付け、撮影、ターゲット撤去で1時間程度
 - ターゲット貼付け作業で脚立などの足場有無により変わる
- 既存補修現場(2m×2m程度の面)
 - ターゲット貼付け、撮影、撤去で1か所20～30分程度
 - 現場条件により変わる

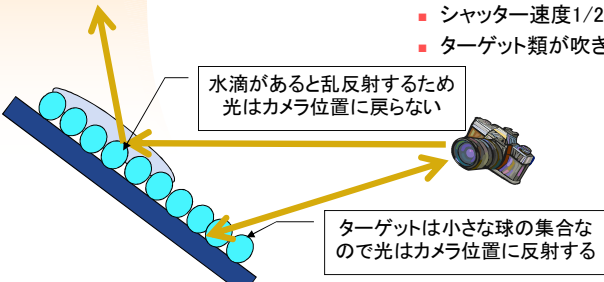


MHPS&SB



制限事項

- 撮影距離 1m～15m程度
 - ストロボの光が届く範囲
- ターゲット類に水滴を付けない
 - ストロボ反射光がカメラ方向に戻らない
- 温度
 - 氷点下の気温でも計測可能であるがカメラ内部温度が0～40度程度の範囲内となる時間内
- 風・振動
 - シャッター速度1/250でぶれない程度
 - ターゲット類が吹き飛ばされない程度



MHPS&SB



厳しい環境下での計測

- 寒冷地屋外夜間計測を実施
- 計測精度など問題なし

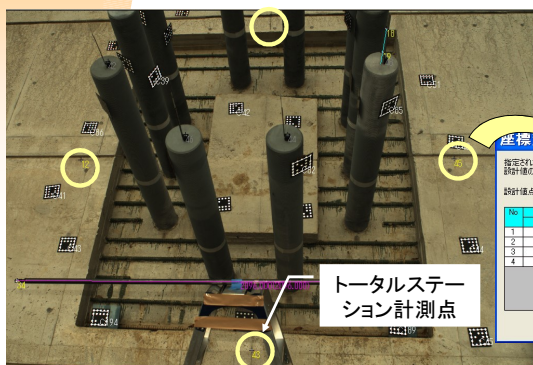



MHPS&SB



他の三次元計測器との連携

- トータルステーション計測座標系にPIXIS計測座標を変換
 - 工事全体の主要点はレーザを使用したトータルステーションで計測
 - 主要点内の細かい計測点はPIXISで計測
 - PIXISの計測座標系合わせ機能により全体座標系に変換



基準4点のトータルステーション座標を入力

座標変換 設計値へすりつけ

指定された点の座標と計測点の座標を比較し、最も近い点を選択して下さい。

設計値点群: 1

No	X	Y	Z	設計値	計測値	誤差
1	30990.000	43480.000	845751.000	45	-1.487	0.093
2	31583.000	2849.000	847982.000	96	-1.458	-0.649
3	32707.000	1349.000	845742.000	12	1.660	0.653
4	33594.000	2849.000	844487.000	45	-1.698	-0.097

実行 閉じる

MHPS&SB



エッジ抽出の仕組み

- SobelFilter技術 画像からエッジを検出する技術
- Hough変換 エッジの直線部分を検出する技術



図-1 橋梁断面写真(オリジナル)

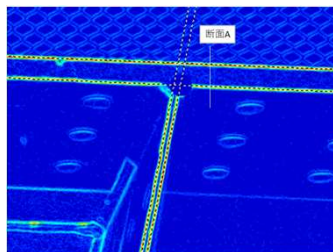
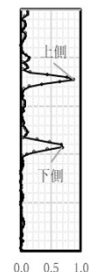


図- エッジ検出画像(Sobel Filter Hough変換)

断面Aエッジ強度

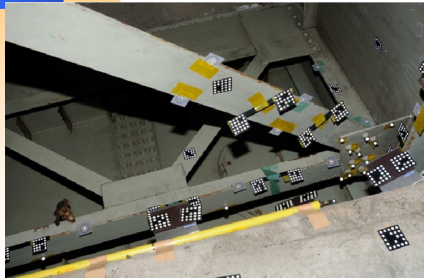


MHPS&SB

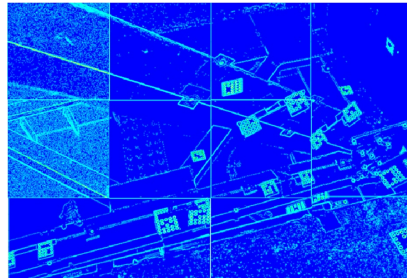


エッジ認識手順1

- 画像からエッジを抽出する



撮影画像



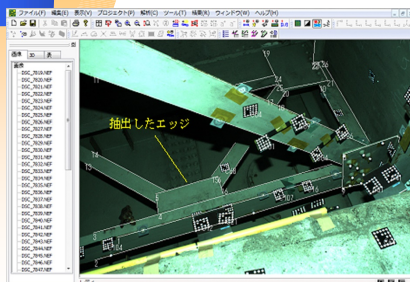
画像から抽出したエッジ

MHPS&SB

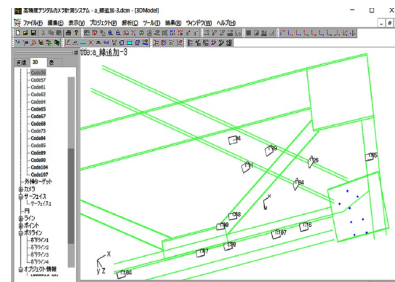


エッジ認識手順2

- 抽出したエッジから三次元線分座標を計算



PIXIS画像内でのエッジ認識



3Dモデル上でのエッジ表示

MHPS&SB

エッジ抽出の課題

- 現在のパソコン性能では処理時間がかかりすぎる
- エッジを抽出する範囲を指定して抽出
 - マウスで指定、またはコードターゲットで指定

コードターゲットを使用した認識

マウスで範囲を指定

MHPS&SB

三次元CAD連携

- Excelで定義ファイルを作成して読み込み
- エッジ認識で使用するコードターゲット番号と図形を対応付

コード種別		備考														
物理番号	テストデータ	色コード	レイヤ名	線返し数	コード1No.	コード2No.	コード3No.	コード4No.	コード5No.	コード6No.	コード7No.	コード8No.	コード9No.	コード10No.	コード11No.	コード12No.
1 多角形PG	22	Plg		1	1	2	3	4	5	6						
2 多角形PG	32	Plg2		1	7	8	9	10	11	12						
3 点PT	176	Pnt		8	13											
4 線分LN	42	Line		1	21	22										
5 折れ線PL	52	PLine		1	23	24	25	26	27	28	29	30				
6 矩形RT	74	Rct		1	31	32										
7 円CR	132	Circle		5	36	37	38									

MHPS&SB



定義したコードターゲットを設置

- 三次元図形作成位置にコードターゲットを順に設置

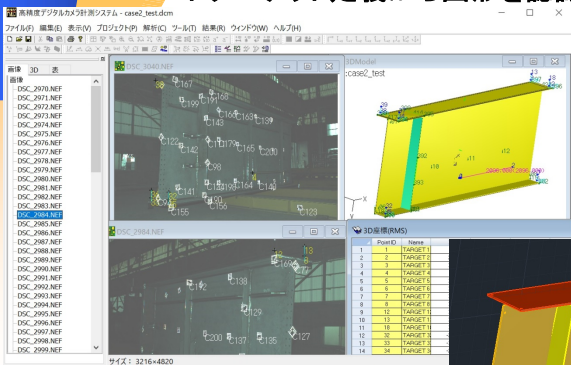


MHPS&SB

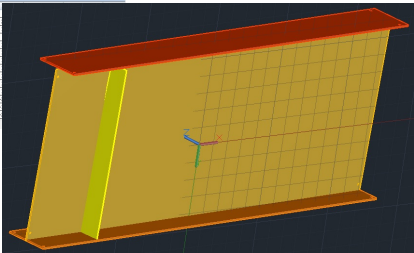


図形を自動認識

- コードターゲット定義から図形を認識



板厚を入力して
CADに出力



図形を自動認識して
3Dモデルに表示

MHPS&SB

PIXXIS 三次元CAD利用例1

- 三次元空間上の部材形状を簡単に作成

ボルト孔位置関係を計測

三次元CADに計測データを出し部材形状を作成

製作した部材を取付

MHPS&SB

PIXXIS 三次元CAD利用例2

- 既設構造物三次元形状CAD出力

撮影作業

AutoCAD三次元形状出力

PIXXIS画面

MHPS&SB

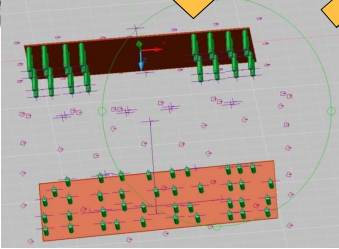
PIXXIS 立体面の二次元投影図を作成

- 側面・上面の位置関係を持つ投影図を作成

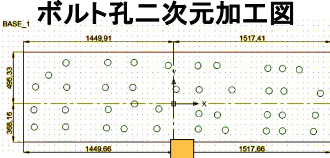
撮影



3D位置関係図



完成




MHPS&SB

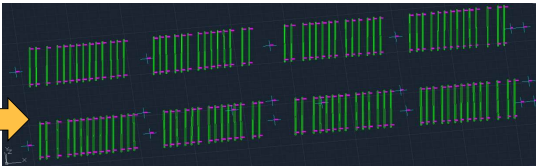
PIXXIS ボルト上下端二次元投影図を作成

- 橋梁下部工鉄筋を計測し橋梁上部工製作図面に反映
 - オプション機能

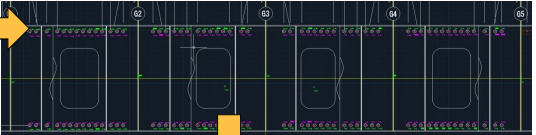
撮影状況



計測結果三次元CAD図



上部工製作図に計測ボルト位置を重ね合わせ



拡大図

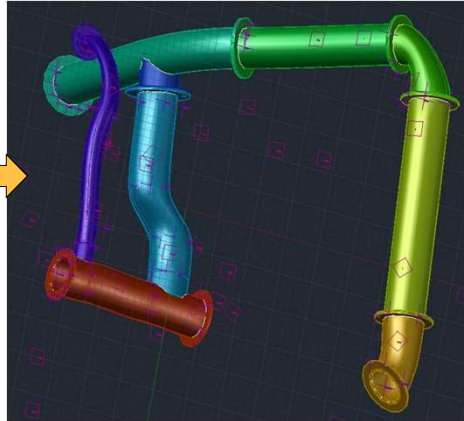


MHPS&SB



配管三次元形状計測

- 既存管を計測し三次元CADデータを作成
 - － オプション機能

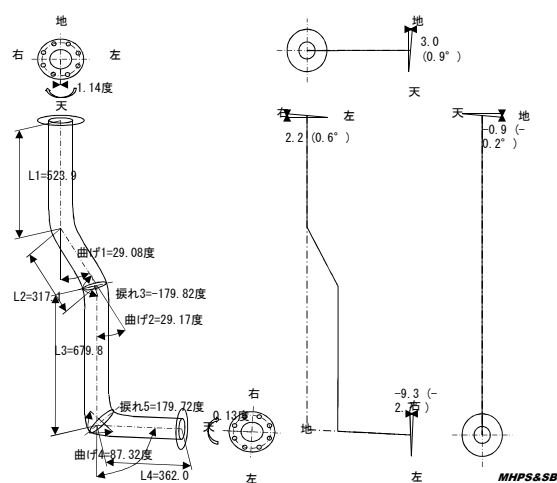
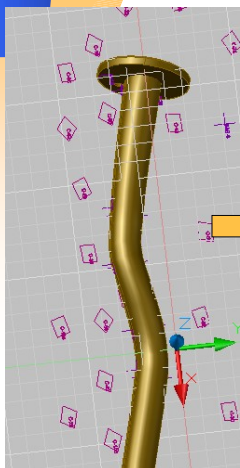


MHPS&SB

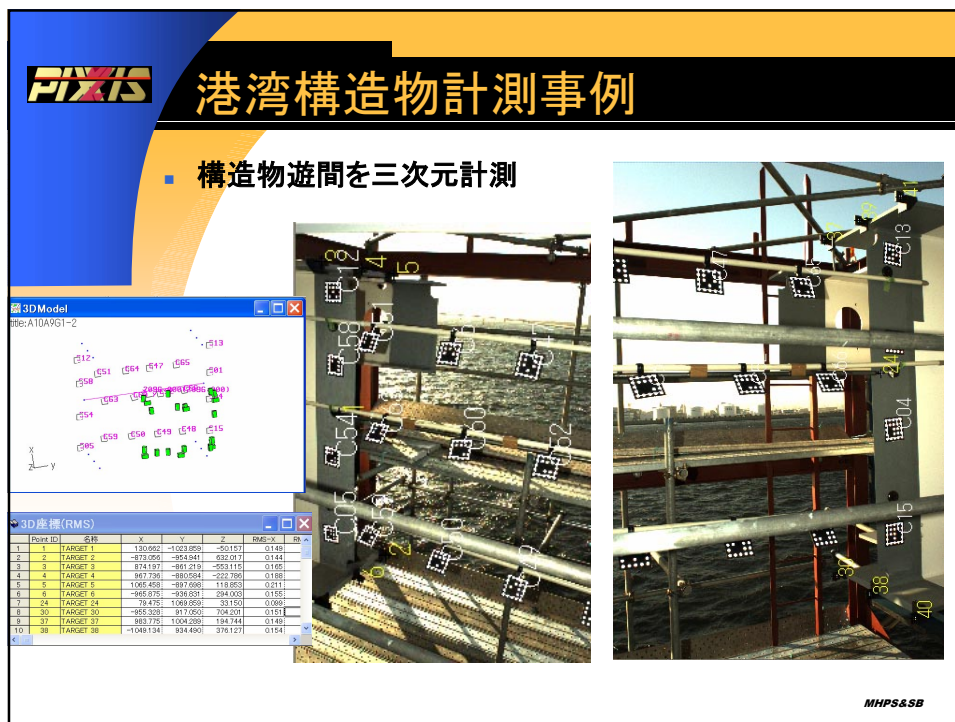


配管加工帳票の作成

- PIXXIS計測データから管加工図帳票を作成
 - － オプション機能



MHPS&SB





高精度な変位量計測

コンクリート構造物変位量計測

- 計測対象物とカメラ間距離が1m程度の場合 $\pm 0.05\text{mm}$ 程度の精度
 - 下記写真は「PC道路橋の健全度評価の高度化に関する共同研究」
 - 社)プレストレスト・コンクリート 建設業協会, 国土技術政策総合研究所 提供

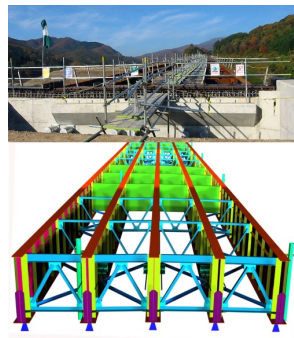


MHPS&SB



技術論文雑誌運用報告

- 雑誌「橋梁と基礎」2008年5月号
 - デジタルカメラ計測を使用した数値仮組立てと架設計測との比較
- 雑誌「配管技術」2011年9月号
 - デジタルカメラを使用した三次元計測技術
- 雑誌「橋梁と基礎」2014年1月号
 - デジタルカメラ計測の橋梁補修補強工事への適用



MHPS&SB