3D技術で古代遺跡の謎に迫る

当社は九州大学 人間環境学研究院 都市・建築学部門の堀教授、並びに熊本大学大学院 自然科学研究科 環境共生工学専攻の伊藤教授の古代ローマ・ギリシャ・エジプトの都市遺跡の調査・研究に技術協力をさせて頂いております。

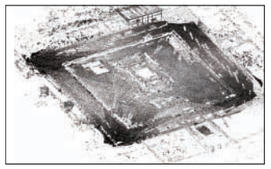
これまでにイタリアのポンペイ遺跡・オスティア遺跡、ギリシャのメッセネ遺跡、エジプトのアコリス遺跡の調査に参加し、3Dレーザスキャナを使った計測をしてきました。遺跡全体を3次元化するという新しい試みによってこれまで見えてこなかった新しい事実を次々と発見し、遺跡の保存・維持管理にも役立てています。

海外調査遺跡位置図

Messene 2005 メッセネ(ギリシャ)

メッセネ遺跡は、紀元前369年に建設された古代都市である。古代メッセネは約9kmの堅固な城壁に囲まれていたが、現在は北側の城壁が数百mにわたり比較的良好な状態で残っている。

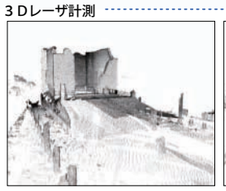
3Dレーザ計測

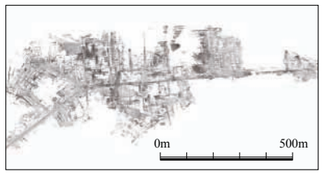


Ostia 2008-2010 オスティア(イタリア)

オスティア遺跡はローマ近郊に位置し、古代ローマ帝国の支配時から中世まで栄えた港町である。都市の中心のフォルムにはカピトリウムと呼ばれる神殿が残され、円形劇場も現存している。

3Dレーザ計測

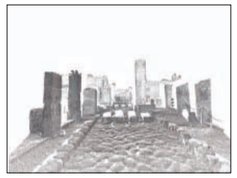


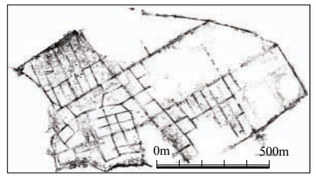


Pompeii 2005-2006 ポンペイ(イタリア)

古代ローマ帝国のポンペイには、城壁で囲まれた都市域に公共浴場や円形闘技場などが建設され、高度な都市システムが機能していた。ヴェスヴィオ山の噴火により都市全域が火山灰の下に埋もれ、遺跡が当時のままの状態で保存されている。

3Dレーザ計測

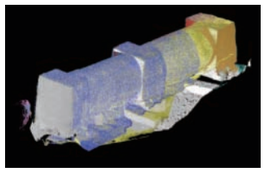


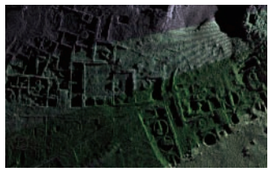


Akoris 2010- アコリス(エジプト)

アコリス遺跡は中部エジプトの主要都市であるミニヤの北東に位置し、ナイル川の河岸段丘の石灰石の台地上に古代エジプト時代の住居跡や墳墓、石切場が広がっている。

3Dレーザ計測





詳しい資料のご請求やデモの実施などのご希望は、【 krc@krcnet.co.jp 】までお寄せください。

株式会社　計測リサーチコンサルタント

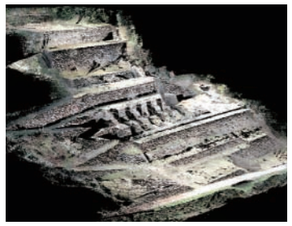
KEISOKU RESEARCH CONSULTANT CO.

http://www.krcnet.co.jp
E-mail:krc@krcnet.co.jp

広島本社	:〒732-0029	広島市東区福田1丁目665-1	(代表) TEL. 082-899-5471
東京本社	:〒120-0006	東京都足立区谷中2丁目10-7エムケイビル	TEL. 03-5673-7050
大阪支社	:〒564-0062	大阪府吹田市垂水町3丁目2ー18	TEL. 06-6821-0161
九州支社	:〒812-0007	福岡市博多区東比恵2-2-25　SKビル	TEL. 092-474-5206
名古屋営業所	:〒468-0042	名古屋市天白区海老山町1010	TEL. 052-800-2341
岡山営業所	:〒710-0016	倉敷市中庄2415-1 中祥マンション	TEL. 086-462-8418

No.20110430

3次元計測技術の活用事例



KEISOKU RESEARCH CONSULTANT CO.

はじめに

当社は、世界遺産原爆ドームのオリジナル記録保存や西田橋移設復元 (鹿児島県) など、次世代に伝えるべき重要な建造物に関する業務に数多く携わってきました。

近年は、3D レーザによる近代化・産業遺産の保存活用支援や、「レーザを併用した連続撮影システム」でトンネル壁面などの維持管理調査へ展開しています。

3D レーザは、離れた位置から短時間で広範囲の三次元位置座標及び色情報を取得できる計測機器です。そのため、橋梁やダムなど大型構造物や近代化遺産の形状記録、変位計測を短時間で行うことができます。

野木町煉瓦窯 (栃木県)、万田坑 (熊本県) では、3D レーザ計測による形状記録、一般図作成等を行いました。破損状況を詳細に記録するため、ラジコンヘリによる写真測量も併せて行っています。世界遺産暫定リストに記載されている軍艦島の調査記録では３Ｄレーザや全方位パノラマ撮影システムを用いて、現形状の三次元情報記録・画像収集を行いました。また、高精細な形状取得が可能なハンディスキャナを活用し、3D プリンタで縮小模型などの製作も行います。

是非、弊社の技術が「構造物の記録・保存」に活用されますことを願っております。

(株) 計測リサーチコンサルタント
取締役 クリエイティブ事業部
部長 西 村 正 三

野木町煉瓦窯（栃木県下都賀郡野木町）

旧下野煉化製造会社煉瓦窯　発注 (公財) 文化財建造物保存技術協会

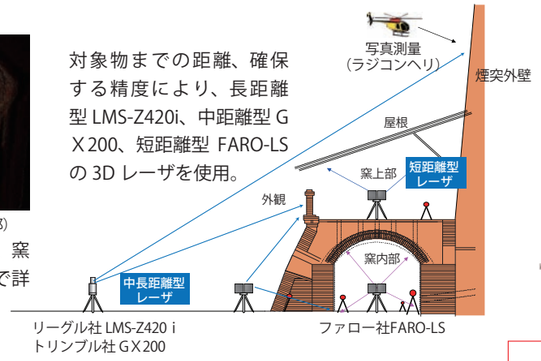
煉瓦の連続焼成を可能としたホフマン式の輪窯で、我が国現存最古、唯一の円形ホフマン窯である。明治 23 年に焼成を開始し、昭和 46 年まで 82 年間にわたって使用されていた。これまで、煙突の鉄骨補強工事などの修理工事が行われてきた。平成 18、19 年には、保存修理工事に先立ち、破損状況の再確認および適切な修理方法・補強方法を策定するため、調査工事が行われた。

3D レーザ計測

3D レーザ計測結果（窯外観）

3D レーザ計測結果（窯内部）

対象物までの距離、確保する精度により、長距離型 LMS-Z420i、中距離型 GX200、短距離型 FARO-LS の 3D レーザを使用。

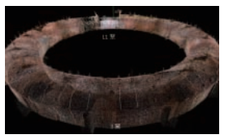


壁面の孕み出し、ひび割れ、窯ヴォールトの下がり、窯天井煉瓦の抜け出し等、煉瓦窯の破損状態を３次元で詳細に記録。

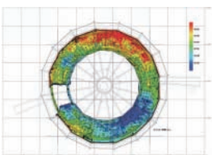
3D レーザ計測データの活用

窯の破損状況解析

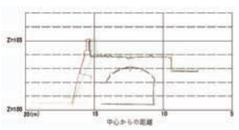
３Ｄレーザデータを解析することにより、窯のひび割れ、変形状況、煙突の傾斜等の破損状況を３次元的に把握できる。



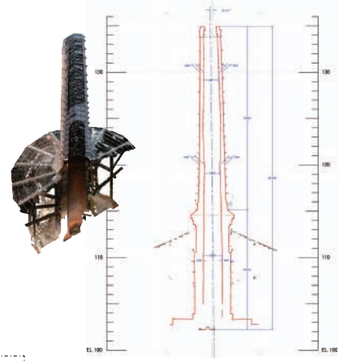
窯内部ひび割れ３次元化



床面不陸図



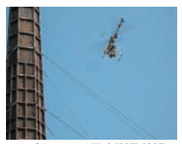
手摺・高欄傾斜図　―基準値　―実測値



煙突傾斜図

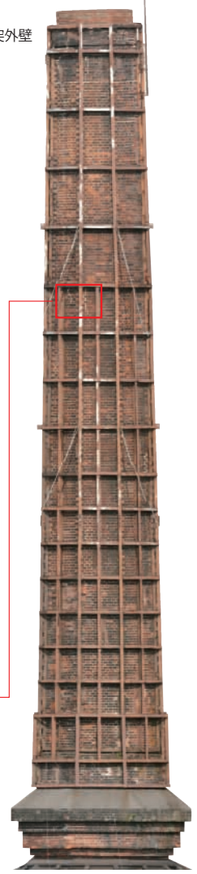
ラジコンヘリ写真測量（写真オルソ図面作成）

高さ 34m におよぶ煙突の煉瓦壁面の損傷状況を把握するため、ラジコンヘリによる写真測量調査を行った。



ラジコンヘリ写真測量状況

エポキシ樹脂補修状況、補強材の錆等を確認できる。



煙突（1 面）オルソ図面

万田坑（熊本県荒尾市）

発注 (株) 文化財保存計画協会

大正・昭和初期における三池炭鉱の主力坑。明治時代に造られた炭鉱施設としては、我が国最大規模。深さ約 270m の竪坑が 2 ヶ所掘られ、その周囲に揚炭や坑内の排水機能の他、入気、排気の機能を併せ持つ巨大な施設が造られていた。現在でも第一竪坑跡には竪坑が埋められずに現存している。現存する主な施設は第二竪坑櫓 (鉄骨造)、巻揚機室 (レンガ造)、巻揚機、作業場、倉庫等で、一連の建造物が近代産業遺産として重要文化財に、また第一竪坑を含む施設跡の主要な敷地が史跡に指定されている。

3D レーザ計測

実測では難しい大型構造物の形状を効率的に３次元で計測。

3D レーザ計測結果
（第二竪坑櫓）

3D レーザ計測結果
（巻揚機室）

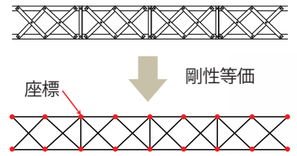
3D レーザ計測結果
（巻揚機室）

3D レーザ計測結果（巻揚機室）

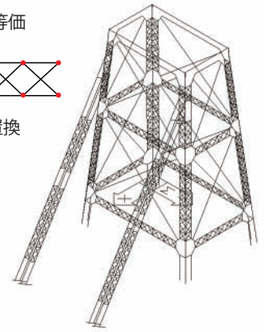
3D レーザ計測データの活用

FEM 解析用モデルの構築

外力（地震等）が構造物に加わった際の構造物の安全性を確認するため、FEM（有限要素法）解析を行う。このため、３Ｄレーザデータより各部材の座標を算出し、FEM（有限要素法）解析用の解析モデルを構築した。



櫓各部材の線材への置換



FEM 解析モデル

ラジコンヘリ写真測量（写真オルソ図面作成）

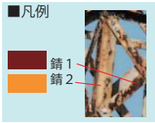
第二竪坑櫓の鋼材の破断、塗膜劣化の程度、リベットの抜落ち、ボルトによる取替えなどを確認するため、写真測量を実施し、写真オルソ図面を作成。撮影は高所となるため、ラジコンヘリを使用（カメラ：１眼レフ 1200 万画素）。

◀ラジコンヘリ写真測量状況

破損範囲の面積算定

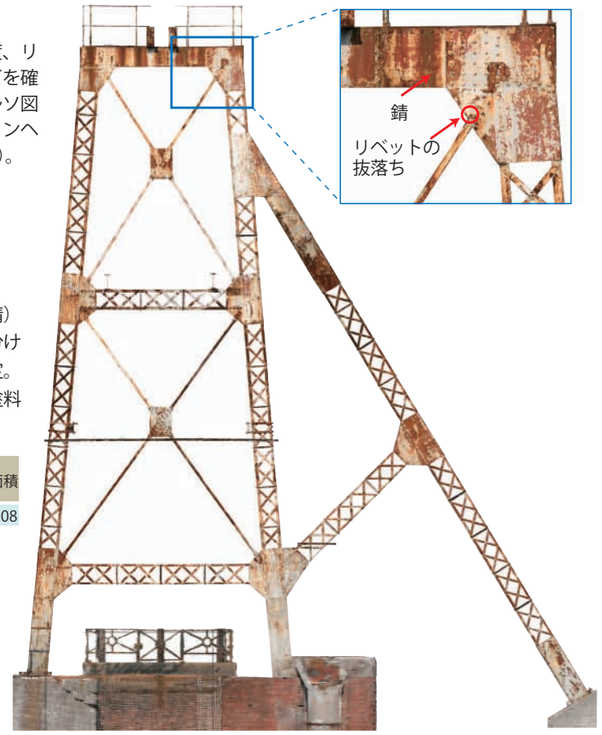
オルソ図面

破損部色分け



オルソ図面より、鋼材の破損（破断、錆）の箇所、程度の判定を行い図面上に色分けすることにより、破損範囲の面積を算定。修理工事の際の塗装工事における使用塗料の積算に活用できる。

部位	損傷面積㎡		破損割合	全体面積
	錆1	錆2		
DQ	0.89	1.38	37.2%	6.08



第二竪坑櫓（北面）写真オルソ図面

軍艦島（長崎県西彼杵郡高島町端島）

1810 年頃石炭が発見され、本格的海底炭坑として操業が開始。良質の強粘結炭を採掘し、主として八幡製鉄所に製鉄用原料炭を供給する島として、最盛期には 5200 人もの人口を抱えていたが、国のエネルギー転換政策の推進に伴い、1972 年 12 月に採炭を終了、1974 年 1 月に閉山。なお、日本初の鉄筋コンクリート造高層集合住宅である 30 号棟が大正 5 年に建築され、日本近代建築史上特筆に値する重要な文化的遺構であると言われている。

共同研究：長崎市・長崎大学大学院工学研究科インフラ長寿命化センター

3D レーザ計測

3D レーザ計測状況（30 号棟）（リーグル社 VZ-400）

30 号棟（日本最古の鉄筋コンクリート構造物）、65 号棟（軍艦島内最大のアパート）を中心に 3 D計測を実施。到達距離が 400m 前後の中距離型の 3D レーザ機器（リーグル社 VZ-400）を用いたため、この 17 箇所からの計測で島内の約 6 割程度を捕捉することができた。

3D レーザ計測結果

軍艦島空撮写真

軍艦島 3D レーザ計測結果

65 号棟

軍艦島内最大のアパート

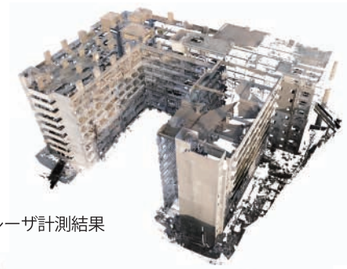
65 号棟

30 号棟

日本最古の鉄筋コンクリート構造物

30 号棟

平面図



65 号棟 3D レーザ計測結果

30 号棟 3D レーザ計測結果

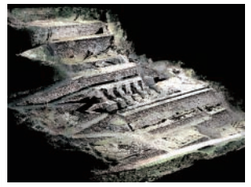
石見銀山遺跡

清水谷製錬所跡（島根県大田市）

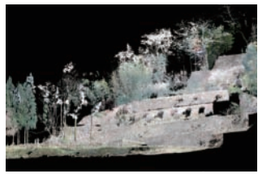
清水谷製錬所跡は世界遺産石見銀山遺跡の中で、近代的な銀の製錬所跡である。谷の斜面を利用して八段の石垣が築かれ、高さは 33m、面積は 6750 ㎡にもなる。同製錬所は明治 28 年 4 月より生産を開始したものの産出される鉱石は予想より質が悪く、わずか一年半で操業を中止。現在は石垣が残るだけとなっているが、産業考古学的として貴重で、遺跡の保存状態も良好であることから観光資源としての活用が図られている。

3D レーザ計測

石垣の孕み等、不整形な形状を高精度に取得するため、３ D レーザにより３次元で計測。



3D レーザ計測結果



世界遺産センター映像制作

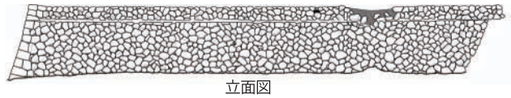
石見銀山世界遺産センターのガイダンス棟のオープンにあわせ、館内の「鉱山と技術」コーナー内で上映する映像ビデオ「CG で甦った清水谷製錬所（約 4 分間）」を制作した。

「CG で甦った清水谷製錬所」

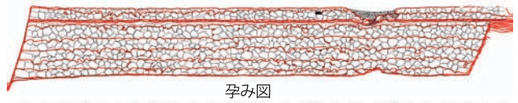
石垣図面作成

立面図は、写真測量により作成した写真オルソ図をトレースして作成する。孕み図、断面図は、３D レーザデータを面化し、それぞれ 1m 間隔でデータを抽出し、作成する。

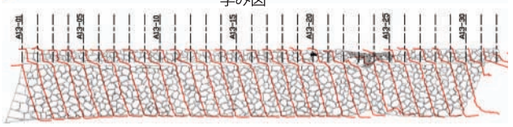
写真オルソ図



立面図



孕み図



断面図

横浜松坂屋

横浜松坂屋は、1864 年に茂木惣兵衛が横浜市中区弁天通に創業した「野澤屋呉服店」を前身とする。横浜に唯一現存する戦前に建設されたデパート建築であったものの、建物の老朽化が著しくなり、2008 年 10 月 26 日をもって閉店（百貨店事業の終了）した。
建物解体前に、装飾テラコッタを詳細計測。建替え時に復元される部位の資料として活用する。

計測原理

２台のカメラで、ターゲット座標を計測し、その位置から機器本体の位置を算出。（ＧＰＳと同じ原理）

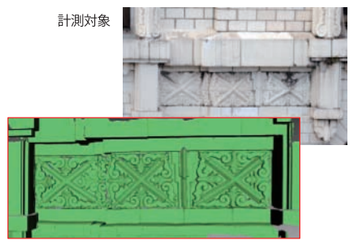
レーザを十字に照射し、反射光をカメラ１と２で取得し、座標を取得（三角測量と同じ原理）。

計測部材一覧

外壁保存部位を中心に装飾テラコッタ数箇所について詳細計測を実施。

計測対象

計測結果

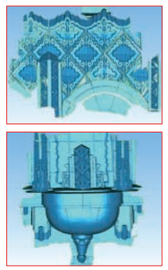


計測対象

計測結果

松坂屋本館外壁

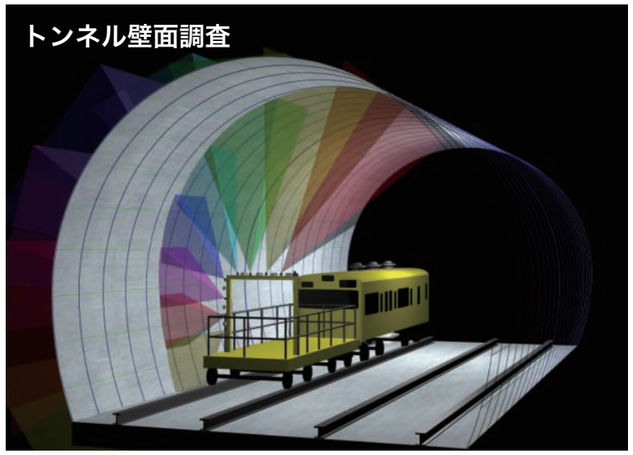
計測対象



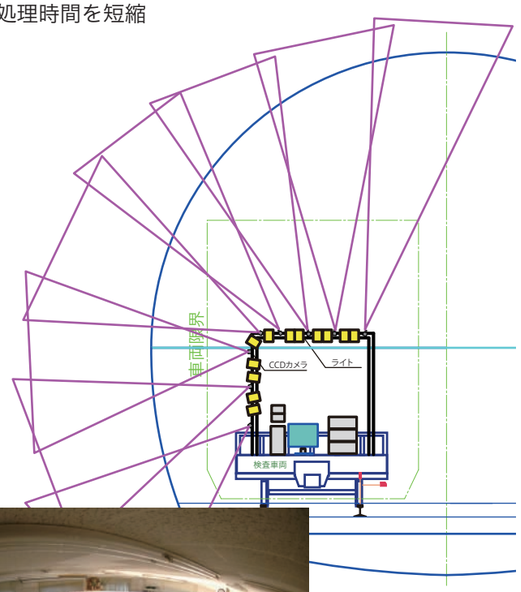
計測結果

高解像度デジタルカメラ・レーザを用いた トンネル内壁面損傷及び形状調査システム

トンネル壁面調査



①高速撮影（速度 20km）が可能
②解像度 1 ミリ /pix の画像を取得
(0.2 ミリのひび割れ抽出の場合)
③専用システムによる自動画像合成で
処理時間を短縮



①撮影・取り込み — 同期した 16 台のカメラから画像をパソコンに取り込む（１５ｆｐｓ）

↓

②画像切出し・接合 — 画像から必要幅を切出し幾何補正、色補正を行う。

↓

③展開図作成 — 縦・横位置を自動接合し、展開図を作成

↓

④画像解析 — 画像処理（エッジ抽出）線画作成（ＣＡＤ出力）などのシステムを用いてひび割れを図化

↓

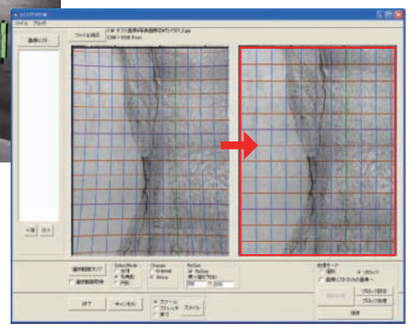
⑤画像解析その２ — 画像による変状調査（遊離石灰、漏水 etc）

↓

⑥成果品の作成 — 調査結果閲覧システムによる納品

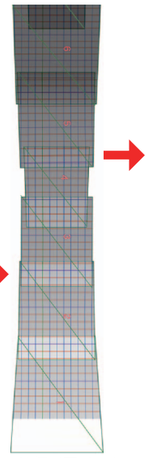
室内事前実験
予め実物大のトンネル断面を室内に
組み立て照度や画像接合の事前確認を実施

在来線軌陸車搭載の例

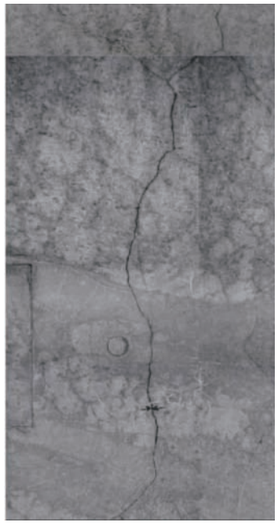


幾何補正システム

撮影された画像は斜め方向からの撮影となるため、歪んだ画像となる。展開画像を作成するためには、この撮影画像を解像度の一致した正対した画像に補正する必要がある。

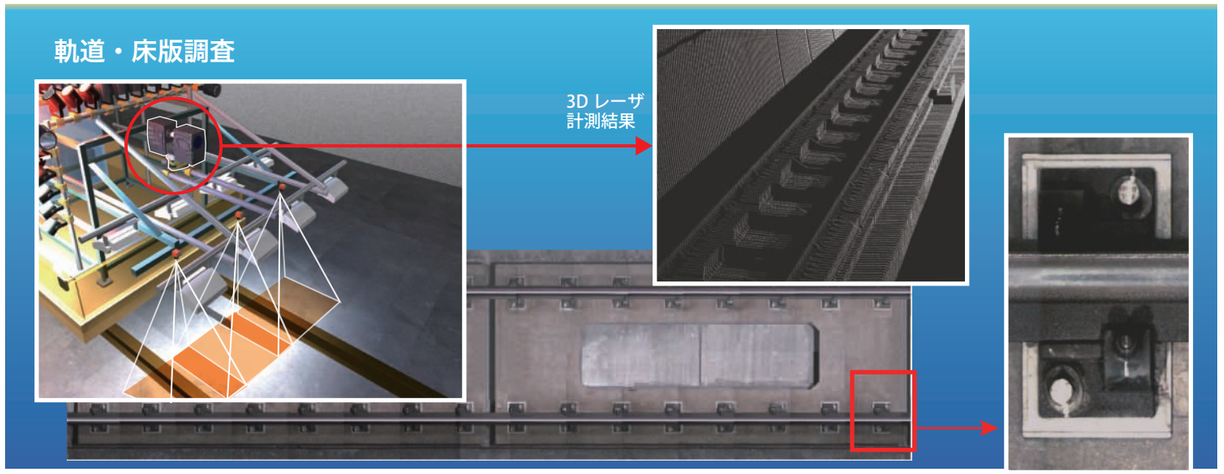


各カメラの幾何補正パラメータ



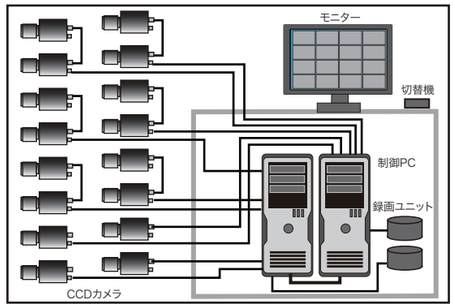
ひびわれ画像の例(0.1mm以上)

軌道・床版調査



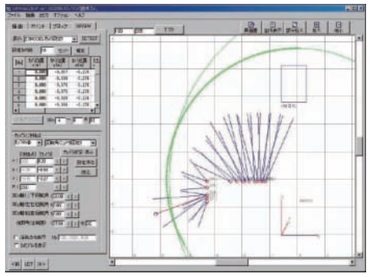
合いマークの確認

カメラ撮影装置の機器構成

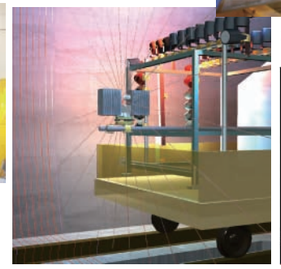


収録システム

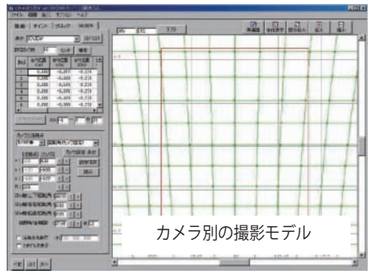
レーザによる断面形状計測

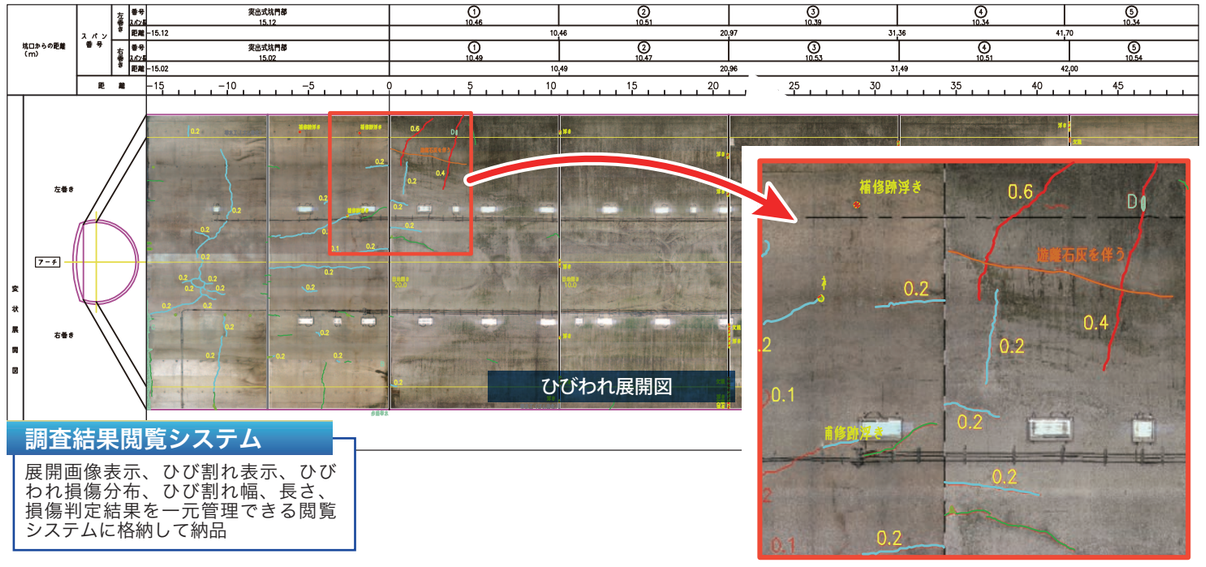


撮影位置での断面形状をレーザで取得し、各カメラの撮影モデルを取得→　幾何補正条件に適用。



3Dレーザ（ヘリカル）
を用いたトンネル断面・壁面撮影システム





調査結果閲覧システム

展開画像表示、ひび割れ表示、ひびわれ損傷分布、ひび割れ幅、長さ、損傷判定結果を一元管理できる閲覧システムに格納して納品