

道路橋石橋の定期点検に関する参考資料

[石造アーチ橋]

令和 8 年 3 月

道路橋石橋維持管理検討委員会

本資料の位置付け

定期点検の実施や結果の記録は、法令の趣旨や道路橋定期点検要領に則って、各道路管理者の責任において適切に行う必要がある。道路橋は、様々な材料や構造が用いられ、様々な地盤条件、交通及びその他周辺条件におかれること、また、これらによって、変状が道路橋に与える影響、変状の原因や進行も異なることから、道路橋の状態と措置の必要性の関係を定型化し難い。また、記録に残す情報なども、想定される活用方法に応じて適宜取捨選択する必要がある。そこで、法令に規定されたとおり、必要な知識と技能を有する者が道路橋の定期点検を行うことが求められる。

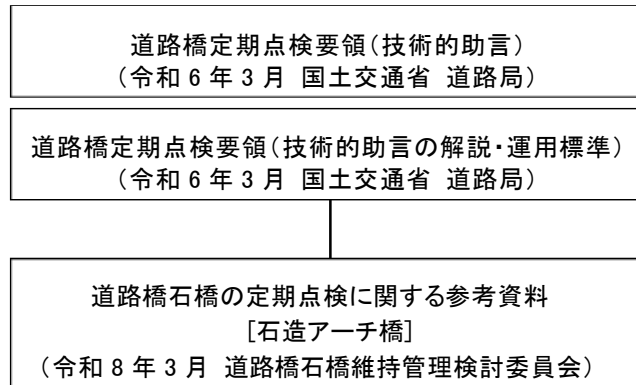
本資料は、アーチ構造の石橋（以下、「石造アーチ橋」という）について、技術的評価を行うために適切かつ効果的に状態の把握が行われるように、その構造や材料の特性を踏まえて個々の石造アーチ橋の状態の把握の方法を計画するための参考資料である。今回、「道路橋定期点検要領（技術的助言）令和6年3月」及び「道路橋定期点検要領（技術的助言の解説・運用標準）令和6年3月」（以下、「道路橋定期点検要領（令和6年3月）」という）の改定を踏まえ、「道路橋石橋の定期点検に関する参考資料[石造アーチ橋]（令和5年3月）」の改定を行った。また、令和2年に「デジタル社会に向けた改革の基本方針」が閣議決定され、令和2年7月に国土交通省にてインフラ分野のDX推進本部が設置されるなど、国の施策として道路システムのDX化が推進中であり、デジタル計測に関して内容を充実し、「付録2. デジタル計測による状態の把握の活用検討資料」としてとりまとめた。

定期点検を行う者は、橋ごとに橋の耐荷性能の評価として、構造物の荷重伝達機構や荷重を支持するうえでの各部の役割を把握し、外観から分かる各部の状態を把握、考慮したときに、活荷重、地震の影響、出水など橋が置かれる状況に対して、橋がどのような状態になると考えられるのかについて評価したり、劣化の事象や要因などを考慮して耐久性能を評価したうえで、必要な措置を検討するという、技術的な検討はこれまでの定期点検でも行われているものと考えられるが、改定された道路橋定期点検要領（令和6年3月）では、これらを記録として残すのがよいとされている。それは、道路管理者が、定期点検を行った者のこれらの所見や橋が置かれる社会的条件など考慮し、その橋の措置方針を総合的に検討し、その結果を告示された区分のいずれかに区分するにあたって、技術的な見解を必要とするためである。

この石造アーチ橋の定期点検に関する参考資料では、R5年版から、石造アーチ橋の安全性を評価するにあたって、橋に作用する鉛直力や水平力に対して抵抗し、地盤に伝達するうえで部位ごとの役割や部位ごとの耐荷機構を整理している。そして、石材をとおした荷重伝達経路やその成立条件である形状に着目して、安全性を評価するための注意点を示している。また、耐久性については、石材の材質の劣化、並びに、石材間の密着や各部が形状を保持できなくなる要因として、基礎地盤や橋台背面土の経年の変形や移動、洗掘の進行、内部土の流失、貫入した樹根の成長などについて、アーチなどの形状や石材どうしの力の伝達特性の変化の予防の観点から整理している。そして、これらの記録を残すことを推奨していた。このように実質的に、改定された道路橋定期点検要領（令和6年3月）の内容に対応したものとなっていた。そこで、今回の改定でも、R5年版の内容を踏襲したうえで、必要に応じて記載の充実などを図った。

石造アーチ橋の状態の所見として、複数の変状を組み合わせることで評価することの重要性は、R5年版の前書きにも記載していたとおりである。橋の耐荷性能に関して評価するにあたっては、当該部材の役割や生じている事象や損傷の要因も考慮する必要があるとあり、混在する変状との関係性、組合せによって、その部材の役割や荷重伝達能力が橋全体に与える影響が変わることを考慮する必要があるとあり、特定の部材種別や変状種類ごとに画一的に評価することはできない。また、橋の耐久性能に関して評価するにあたっては、複数の部材の状態を組み合わせ、生じている劣化の事象と要因を適切に把握することが重要である。その結果、必要な措置の検討も、耐荷性能と耐久性能のそれぞれについて、特定部材種別や変状種類ごとに画一的に検討することはできないのは今までどおりである。

そこで、本資料ではこれらを踏まえて適切な性能の評価や措置の検討が行われるよう、石造アーチ橋の構造や材料の特性、変状の特徴についての情報をまとめた。なお、本資料を活用いただく中で、事例等の充実を図っていくものである。



石造アーチ以外の石橋についても、構造毎に、部材等の役割や荷重伝達機構を考慮して耐荷性能を評価することや、石材の材質や形状の維持の観点から耐久性能の評価を行うなど、本資料の考え方を参考にできる面も多いと思われるので、適宜適切に参考にさせていただきたい。

目 次

	Page
1. 適用範囲-----	1
2. 状態の把握における留意点-----	6
3. 健全性の診断の区分の決定における留意点-----	23
4. 記録様式の手引き-----	25
別紙 1. 部材の名称-----	34
別紙 2. 変状の例-----	35
別紙 3. 典型的な変状に対する技術的な評価にあたって 考慮すべき事項-----	37
付録 1. 石材の種類と使用事例-----	48
付録 2. デジタル計測による状態の把握の活用検討資料---	50

1. 適用範囲

本資料は、「道路橋定期点検要領（令和6年3月）」の適用範囲に示される道路橋のうち、石材を組み合わせて構築した石橋（以下、「石造アーチ橋」という。）の定期点検に関する参考資料である。

(1) 石造アーチ橋の構造特性

石造アーチ橋の基本的な構造特性はアーチ橋と同様であり、壁石と中詰がアーチ橋の支柱、輪石がアーチリブの役割を果たす。背面地盤から左右均等に土圧を受け、上部からもアーチ軸線に対して対称に鉛直荷重を受けることで、壁石及び中詰を介して輪石に荷重が伝達され、最終的に、輪石同士は主として圧縮状態となって耐荷機構を發揮し、アーチ軸線に沿って橋台を介して地盤に荷重を伝達する（以降、アーチ機構と定義する）（図-1.1）。

ライズ比（ライズ/スパン）が1/4より大きいときは、概ねこのようなアーチ機構が成立することが分かっている¹⁾。これより小さくなると、輪石同士を圧縮状態にするために大きな軸力が必要になっていくこと、また、基礎に生じる水平力が大きくなり、基礎の変状の影響を受けやすくなっていく特徴があるため、技術的な評価を行う時に留意する必要がある。

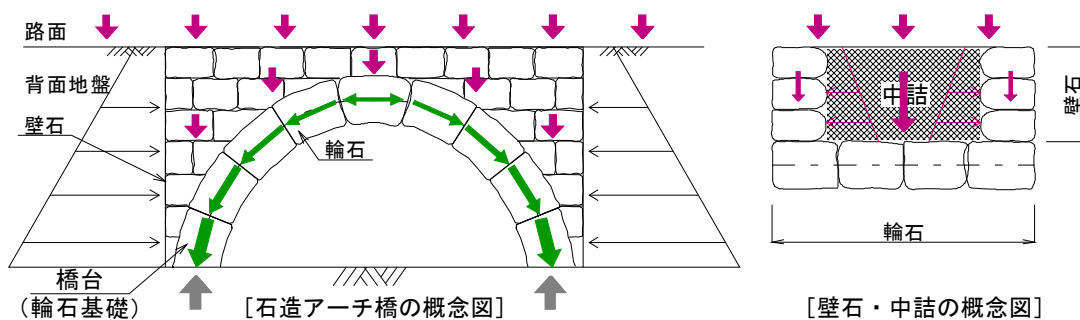


図-1.1 アーチ機構の概念（側面図・断面図）

1) 路面、壁石・中詰

壁石は、中詰の側圧を保持する部材であり、中詰とともに路面を支持し、輪石を保持・拘束する部材である（図-1.2）。

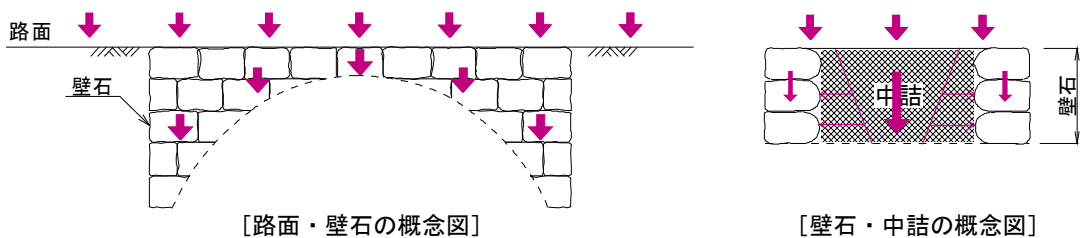


図-1.2 各部材の役割（路面、壁石・中詰）

2) 輪石、橋台・橋脚・基礎

輪石は、壁石と中詰からの荷重を受けて橋台及び基礎地盤へ伝達する部材である。橋台はアーチ軸力に対して橋台背面の土圧と地盤反力で拘束されることが重要である（図-1.3）。

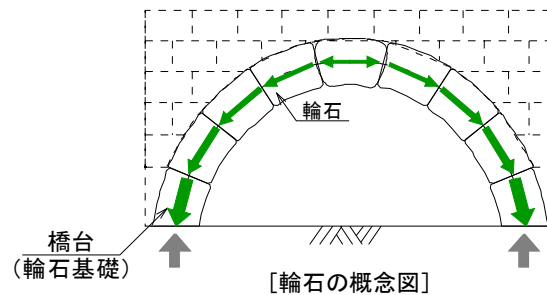


図-1.3 各部材の役割（輪石、橋台・橋脚・基礎）

(2) アーチ橋の構造特性

石造アーチ橋の構造特性を理解する上で、基本的な構造特性が同様であるアーチ橋の構造特性を理解しておく必要がある。

アーチ橋の構造は、鉛直方向に作用する力をアーチリブにより、主に圧縮力として橋台に伝達し、支持する耐荷機構を有している（図-1.4）。アーチリブがアーチ構造としての耐荷機構を成立させる形状を保持し、安定している必要がある。

アーチ橋は、路面と支柱とアーチリブで構成される。それぞれの役割は、①路面は作用荷重を受けて支柱への伝達、②支柱は路面からの荷重を受けてアーチリブへの伝達、③アーチリブは支柱からの荷重を受けて橋台への伝達である（図-1.5）。

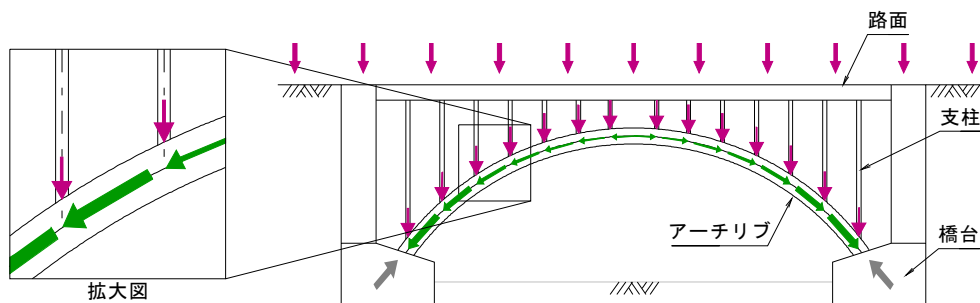


図-1.4 上路式アーチ橋の構造模式

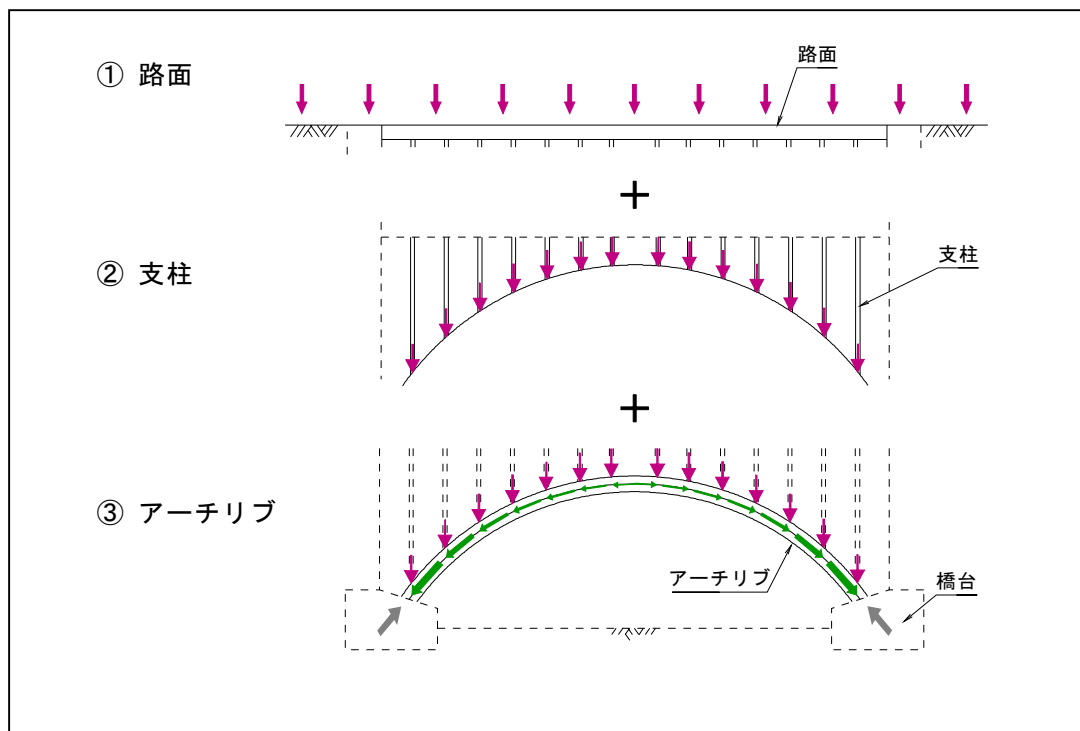


図-1.5 上路式アーチ橋の部材構成

(3) 使用材料^{2) 3)}

1) 石材の性質

石材は、強度、耐久性、耐摩耗性等の性質に優れているため、古くから建設材料として使用されてきた。日本国内の既存の石橋に使用されている代表的な石材は、花崗岩、安山岩、溶結凝灰岩、砂岩、凝灰岩の5種類で、なかでも適度な強度と加工性の良さを持つ溶結凝灰岩が多用されている。

石造アーチ橋に使用される石材は、各地域に分布する地質を反映している。石造アーチ橋が多く存在する九州地方では、例えば、阿蘇や始良等の火砕流堆積物の一部である溶結凝灰岩は、ノミで加工しやすい軟岩であるため、石造アーチ橋の石材として一般的に使用されており、溶結凝灰岩以外では、花崗岩、安山岩、砂岩等の岩石が使用されている。脊振山地に広く分布している花崗岩類、熊本県天草地域では砂岩、大分県北部や熊本県南部では安山岩が主な石材として使用されている。また、石材は、水や二酸化炭素などの周辺環境の作用に対して安定した性質を持つ。現在、九州地方で供用されている石造アーチ橋は、年数が百年以上経っているものの、砂岩や凍結融解を繰り返す溶結凝灰岩などの一部の特異な石材以外では、石材が脆弱化したことで致命的な状態や大規模な修繕に至った例はほとんど確認されていない。

石材の性質を表す指標には、圧縮強度、引張強度、比重、空隙率、吸水率、方向性及びクリープ等がある。石材の性質の概要を表-1.1 に示す。

石材の種類の見分け方については、付録1.を参照するとよい。

表-1.1 石材の性質の概要³⁾

項目	性質
圧縮強度 ⁴⁾⁵⁾	比重、空隙率、吸水率および圧縮強度はお互いに関連する物性であり、一般に比重が大きいほど空隙率および吸水率は小さく圧縮強度は大きい。 九州の石橋に多く使用されている石材の圧縮強度は、花崗岩>安山岩>溶結凝灰岩>砂岩>凝灰岩となる。
引張強度	引張強度は小さく、圧縮強度の1/10~1/20程度である。
比重	一般に2.4~2.7の範囲にあるが岩種では変成岩の比重が大きく、火成岩、堆積岩の順位に小さくなる傾向にある。九州の石橋に多く使用されている石材の比重は、火成岩（花崗岩、安山岩）>堆積岩（溶結凝灰岩、砂岩、凝灰岩）となる。
空隙率	0に近いものから数十パーセントまで広範囲に分布するが、火成岩、変成岩が小さく、堆積岩は大きい傾向にある。吸水率も空隙率と同様の傾向にある。圧縮強度は構成粒子とその結合状態ならび空隙率によって支配される。九州の石橋に多く使用されている石材では、堆積岩（溶結凝灰岩、砂岩、凝灰岩）>火成岩（花崗岩、安山岩）となる。
吸水率 ⁶⁾	含水状態によっても影響を受け、含水率が高いほど強度は低下し、花崗岩でも飽水した場合の強度の低下は12%に達することがある。
方向性 ^{5) 7)}	堆積方向と堆積層方向では、圧縮強度に違いがみられる。 (一般的に堆積方向の圧縮強度が大きい。)
クリープ ⁶⁾	岩石はクリープにより若干変化を示すが、概ね一定の値を示す。

2) 石材の耐久性

石造アーチ橋に使用される石材の耐久性は、その実績から百年以上であり、耐久性に劣る石材の使用が避けられている場合には、急速に損なわれることは少ない。

日本で最も古い石造アーチ橋といわれている長崎眼鏡橋は、寛永 11 年(1635 年)に竣工し、洪水による流出後に復元され、再利用された石材（安山岩が用いられている）は未だに遜色なく現存している⁸⁾。九州内の石造アーチ橋の多くは、江戸時代後期（1800 年頃）以降に築造されているが⁹⁾、その当時のまま現存している橋の多さから、石材の耐久性の高さがわかる。

ただし、一部の石材や石橋の周辺環境により、やや耐久性に劣るものも確認されている。特に砂岩については、厚さ数ミリ程度で板状に剥離したり（写真-1.1）、表面に小穴が密集したりしてハニカム状の風化が発生している事例（写真-1.2）もある。劣化メカニズムは明確ではないため、定期点検時等に砂岩表面の劣化状況を把握することが望ましい。詳細については文献10)、11)を参照されたい。



写真-1.1 板状剥離の発生事例

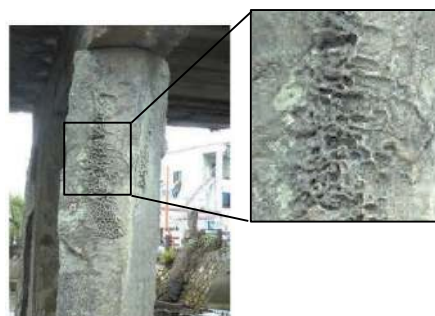


写真-1.2 ハニカム状の風化事例¹¹⁾

また、溶結凝灰岩を代表とする吸水率の高い石材においては、凍結する環境下で凍結融解作用を繰り返すことで、石材表面に小さなひびわれが生じることにより、石材の材料劣化が進行することが確認されているため、劣化要因である水の供給経路を確認し、その供給経路を絶つように対策を検討することが望ましい。

(4) 保全上の特徴

技術的な評価は、現状だけでなく、変状要因の考察も踏まえた次回定期点検までの状態の変化の可能性やその程度、また、予防的な措置を行うことの合理性等も加味して行うべきで、変状の特徴や橋としてのアーチ機構の成立メカニズムの保持、回復方法についての基礎知識も必要になる。

維持管理では、アーチや壁石面などの石組みの変化により、荷重伝達経路の部材が崩れないように構造・材料に対して必要な対策を取っていくことになる。逆に言えば、アーチや壁石面などの石組みの変化により、荷重伝達経路の部材が崩れると、大規模に石材を積み直す必要性が高くなるので、それも踏まえた技術的な評価ができるように、「2. 状態の把握における留意点」に示す状態の把握の項目や方法からなる点検計画を立てる必要がある。

石造アーチ橋は、石材同士が圧縮力を伝達できるように石材間の接触を確保し続けさせるために、以下のような形状の保全による荷重伝達経路が確保されている構造であることが重要である。

- ① 基礎を移動させないための保全
- ② 輪石のアーチ形状を変えないための保全
- ③ 中詰材の変形及び流出を抑制するための保全
- ④ 側方にはらみ出し等しないための保全

損傷とは、主に石材単体に生じるひびわれや亀裂等により劣化した状態をいい、変状とは、主に石組みの状態においてアーチ軸線や壁石面に生じる形状が変化した状態や路面に生じた変化などの状態を示すが、本資料では混乱を招かないように、損傷と変状を「変状」に統一する。

[参考文献]

- 1) 五味傑・橋本直樹・秋葉芳之・関文夫：バランスド扁平アーチ構造の構造特性とその挙動に関する研究，平成25年度日本大学理工学部学術講演会論文集，pp. 521-522，2014
- 2) 土木学会：第四版 土木工学ハンドブック I，pp. 136-137，1989. 12
- 3) KABSE：石橋の設計ガイドラインを用いた石橋設計と桁石橋の実状，p. I-3, II-7，2018. 6
- 4) KABSE：石橋の維持管理に対する健全度診断と点検要領，p. 11，2010. 6
- 5) KABSE：石橋に用いられる石材の材料特性とすべり挙動の解析手法の検討，第28号，pp. 73-81，2012. 12
- 6) 日本原子力研究開発機構：結晶質岩を対象とした長期岩盤挙動評価手法に関する研究（2014年度），pp. 13-17，pp. 57-60，2015
- 7) 応用地質：来待砂岩の力学異方性と堆積構造に関する研究，第53巻，第3号，pp. 112-120，2012
- 8) 眼鏡橋－日本と西洋の古橋－工学博士太田静六著（理工図書）pp. 29-31，1980
- 9) KABSE：石橋の設計ガイドラインを用いた設計と改定維持管理ガイドライン，II-9, II-10，2016. 6
- 10) 朽津信明・森井順之・佐藤円香・西山賢一：長崎市出島で見られる砂岩石材の風化現象について，日本応用地質学会平成26年度研究発表会講演論文集，pp. 239-240，2014.
- 11) 朽津信明・森井順之・西山賢一：砂岩製文化財の表面風化形態について，日本応用地質学会平成27年度研究発表会講演論文集，pp. 189-190，2015

2. 状態の把握における留意点

(1) 状態の把握の基本

石造アーチ橋の性能の推定や措置の必要性を判断するためには、現地で橋の状態を適切に把握することが重要である。その際、石造アーチ橋本体の状態のみに着目するのではなく、前後の交通状況や補修補強及び拡幅等の構造改変などの有無といった情報を現地にて得ることが有用である。

このことを踏まえ、石造アーチ橋の定期点検において状態の把握を行う際に留意すべき点を以下に記載する。なお、「健全性の診断の区分」の決定において、最も基礎的な根拠情報の一つである状態に関する情報は、必要な知識と技能を有する者が自ら近接目視を行うことによって把握されることが基本とされているが、他の手段による状態に関する情報の把握によっても、最終的に「健全性の診断の区分」の決定が同等の信頼性で行えることが明らかな場合には、必ずしもすべての部材に知識と技能を有する者が近接目視による状態の把握を行わなくてもよい場合もあると考えられ、法令はこれを妨げるものではないとされている。

- 1) 河川内に橋台・橋脚がある場合は、石造アーチ橋のアーチ機構に重要な影響を及ぼす洗掘の有無を確認するために、近接目視により直接的にその状態の把握を行うのが望ましい。
- 2) 石造アーチ橋は、植生や樹木が繁茂しやすい構造であり、対象部位の状態の把握を的確に実施するために、点検前には必要に応じて植生や樹木を除去する必要がある。
- 3) 1) に示すアーチ機構の成立性が次回定期点検までに変化するかどうか、さらに中長期での措置の必要性について判断できるように、変状が疑われる場合にはその考えられる要因を、また変状がない場合でも変状につながる要因を、できるだけ多角的に把握する必要がある。
- 4) 石片や目地材等の落下等による第三者被害の観点での変状を発見した場合は、その場で必要な措置を行うものとし、措置の方法を検討する必要がある場合は、速やかに検討し、措置を実施する必要がある。また、舗装や附属施設等についても状態を把握する必要がある。
- 5) 樹根は、石組み形状を変化させることや水みちを作る要因になるため、定期点検の時にこれを取り除くことを基本とする。ただし、樹根を取り除くことにより石造アーチ橋の一部又は全体の形状を変化させる可能性がある場合は、別途検討する。例えば、本体構造に影響のない範囲まで除去し、樹根は撤去せずに状態の把握を行い、これを取り除くような措置(2.(6)2)ト)参照)を検討できるように記録に残すことが望ましい。
- 6) 石造アーチ橋は文化財指定を受けているものもあり、以後の措置を行う際に協議が必要となる場合がある。そのため、文献調査及び現地調査で確認されたものは、[様式1]に文化財指定と、その指定機関などを記載しておくことが望ましい。
- 7) 石造アーチ橋には、幅員拡幅のために主構造である石造アーチ橋の上部にコンクリート床版などで拡幅されたもの、また輪石、壁石や橋台などの変状をコンクリート等で補修補強したものもある。これら石材以外の部材については、一般の橋と同様に「道路橋定期点検要領(令和6年3月)」により点検を実施する必要がある。

(2) 状態の把握のポイント

アーチ構造は鉛直方向に作用する力をアーチリブによって主に軸方向圧縮力として伝達し、支持する構造である。アーチリブがアーチとしての耐荷機構を成立させる形状の保持の状況（アーチ構造全体として安定の有無、アーチリブの軸線にゆがみやずれの有無など）を確認することが重要である。

石造アーチ橋は、コンクリート橋のような連続体の構造でなく、石材を組んでいる離散構造であることが特徴である。その構造特性は、石材相互に圧縮力が働き、隣接する輪石石材に軸圧縮力を十分伝達することである。石造アーチ橋における定期点検時のポイントで最も重要なことは、アーチとしての耐荷機構を成立させる形状を保持しているか、即ち、構造安全性に影響するアーチ・壁石面・輪石基礎・路面などの形状の変化の有無やその程度を捉えることである。

- 1) 輪石基礎の沈下やその周辺地盤の洗掘、背面地盤からの土圧、中詰材の流出等による自重上載圧の減少などにより、アーチ形状が変状し始めると、石材間の開きや石材が受ける応力状態について、圧縮力が支配的な状態から引張りやせん断力も増加し、石材のひびわれなどの変状につながる。
- 2) 石造アーチ橋は、石組みのずれなどによりアーチ形状に変状が生じてしまうと、大規模な石組みの組み直しとなることが懸念される。そのことから、アーチ形状や壁石面を変状させる要因としての基礎周辺地盤の洗掘の可能性、中詰材の流出、石材間からの樹木などの成長の可能性について、併せて確認することが望ましい。
- 3) 土被りが薄いアーチ頂部では、活荷重（衝撃も含む）の影響を繰り返し受けることで、石材のずれなどの蓄積により、石材の抜け落ち等も懸念されることから、アーチ頂部での輪石のずれの有無を確認する必要がある。
- 4) 既にアーチや壁石面の変状が疑われるときには、変状要因を推察することで、適切な外力に対する安全性の評価につながる。そこで、先述の1)、2)、3)に加えて、石材間の開きの生じ方やその分布を把握したり、石材のひびわれ・剥離・断面欠損・破断（亀裂）などの有無を把握し、各石材への圧縮力・せん断力・引張力の荷重伝達の状態を確認することで、橋全体の動きや動きを生じさせる要因の考察に有用な情報が得られることも多いと考えられる。
- 5) 以降に代表的な形状の変化の事例を示す。
なお、別紙2.に構造安全性に影響を及ぼす形状の変化の原因となる変状の例などを示しているので参考にされたい。

i) 上部構造

①アーチ軸線の偏心の有無とその程度 (写真：アーチ形状の乱れ)



写真-2.1 アーチ形状の乱れ (1)



写真-2.2 アーチ形状の乱れ (2)

②壁石のはらみ出しの有無とその程度 (写真：壁面材のはらみ出し)



写真-2.3 壁面材のはらみ出し (1)



写真-2.4 壁面材のはらみ出し (2)

③路面の形状の変化の有無とその程度 (写真：路面沈下、ひびわれ)



写真-2.5 路面沈下



写真-2.6 路面のひびわれ

④ 石材間における荷重伝達機構の状態 (写真：石材の開き)



写真-2.7 石材の開き (1)



写真-2.8 石材の開き (2)

ii) 下部構造

⑤ 基礎 (輪石基礎) の変位や傾斜の状態

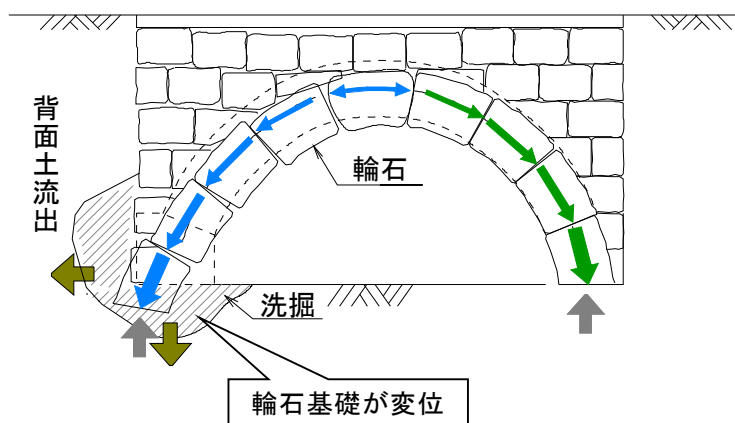


図-2.1 基礎の変位

- 6) 石造アーチ橋は、単径間（写真-2.9）や多径間の橋脚を有するもの（写真-2.10）がある。多径間の場合は、隣接する径間への影響も含めて状態を把握する必要がある。



写真-2.9 単径間の事例



写真-2.10 橋脚を有する多径間の事例

- 7) 石材の組み方は、布積（ほぼ直方体に整形した石材を水平方向に配列して積み上げる工法）（写真-2.11）がほとんどである。また、石材間の目地を処理したもの（写真-2.12）と無処理のもの（写真-2.13）がある。前者は、架設当初から漆喰等で目地処理したケースと目地の開きなどの発生により事後に処理したケースがある。いずれにおいても、目地処理がされている場合、背面に滞水する可能性があり、それにより、壁石のはらみ出し等の変状の原因となる可能性がある。また、目地処理がされていない場合、経年変化などにより、石材間の開き（隙間）が生じると中詰材が流出する可能性があり、それにより、中詰の空洞等の変状の原因となる可能性がある。架設当初からの目地材は、輪石間や壁石間の接する面に施工され、ほぼ同じ目地幅である事例がある。事後の目地材は一部分の表面付近に施工され、目地幅にばらつきがみられる事例がある。石材間に開き（隙間）などについては、アーチ機構の構造安全性に対し、影響が懸念される形状の変化が生じているまたは、その恐れがある場合は、中詰材の流出、空洞など内部の状態を確認することが望ましい。



写真-2.11 布積の事例



写真-2.12 目地（処理有り）

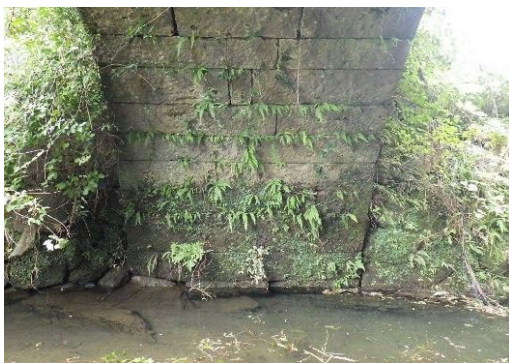


写真-2.13 目地（無処理）

- 8) 石造アーチ橋は、橋台・橋脚・基礎や輪石の一部または全体をコンクリート補強した事例（写真-2.14、写真-2.15）、道路拡幅を目的として主構造である石造アーチ橋の上部にコンクリート床版などを設置した事例（写真-2.16）も見られる。補強により基礎や輪石が直接目視できない場合や拡幅により荷重伝達が異なる場合もあるため、補強の目的に照らし合わせて本体への構造安全性に留意して状態を把握する必要がある。



写真-2.14 基礎部分を補強している事例



写真-2.15 輪石全体を補強している事例



写真-2.16 石造アーチ橋の上部にコンクリート床版を設置している事例

(3) 状態の把握の手順

石造アーチ橋のアーチ形状は、架設当初に対し変わっていくものであり、経年により継続的に緩やかな変化をしていく場合と、突発的にアーチ機構などの石組みが変化する場合がある。石造アーチ橋の状態の把握で最も重要なことは、アーチ機構の構造安全性に対し、影響が懸念されるアーチ・壁石面・輪石基礎・路面などの形状の変化を捉えることである。このためには、橋の全体外観を確認し、全体形状の計測により状態を把握するとともに、各部材の状態の把握を行うことが望ましい。

石造アーチ橋は、図-2.2 に示すように圧縮力の伝達を期待した離散構造であることから、一つの石材の動きが橋全体の挙動に連動する可能性が高い。図-2.3 に例示するように、洗掘により橋台に変状が発生した場合、輪石や壁石も追従することになる。特に、表-2.1 の1)～2)の部位・部材については、アーチ機構の構造安全性に密接に関係することを認識して状態を把握することが重要であり、表-2.1 の1)～4)の順で状態を把握することを基本とする。

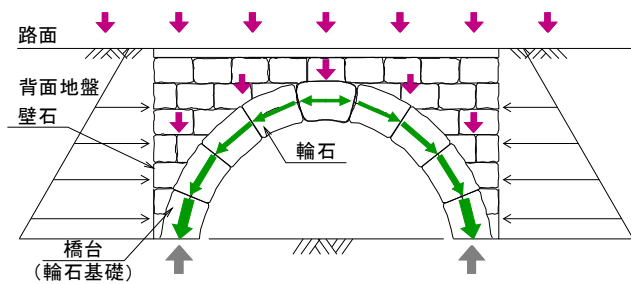


図-2.2 アーチ機構の概念

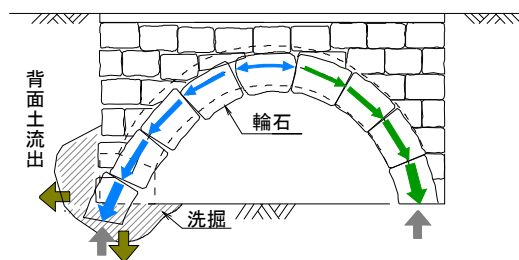


図-2.3 挙動事例（イメージ）

表-2.1 状態の把握の手順

	部位・部材	概念図
1)	橋台・橋脚・基礎 輪石	
2)	壁石・中詰	
3)	路面・背面地盤	
4)	その他部材	適宜

(4) 全体外観確認及び形状確認

路面の滞水・沈下、アーチ・壁石面の形状の変化、基礎の洗掘や沈下・移動・傾斜の相互の関連性を踏まえて、橋全体の状況変化を外観確認する必要がある。特に石造アーチ橋のアーチ機構は1. (2)の通り、アーチの形状が保たれていることや土圧や鉛直荷重が均等であることが重要であり、アーチ・壁石面の形状の変化（アーチの変形量、径間長、ライズ、壁石のはらみ出し量）のほか、「2. (5) 全体形状の計測による状態の把握」に示す計測により、路面の変状などを把握することが望ましい。

平面曲線の区間では、大型車等の通行での遠心力による壁石面のはらみ出しや、縦断線形が厳しい区間では、制動始動荷重や衝撃荷重による路面の沈下や壁石面のはらみ出しなどが発生する可能性があるため、前後の道路線形についても把握するとよい。

(5) 全体形状の計測による状態の把握

1) 計測方法の選定

ここまで述べたように、石橋の耐荷性能が変化するとき、アーチ・壁石側面の形状、基礎周辺の地盤面の位置や性状の変化と関係することが多く、これらについて定期点検毎に比較できるように追跡的に記録することが有用である。したがって、適切な頻度で、形状の記録を取っておくことが望ましい。

定期点検における状態の把握は近接目視が基本であり、形状の計測を行い記録に残すときも、この近接目視は、人計測（コンベックス・メジャー・レーザーポインタ等を用いた計測）など、特別な資機材を用いることなく行える方法が最初に検討されることになる。その他の計測手法として、トータルステーションによる計測、デジタル計測なども考えられる。

一方で、多点同時計測を行うにあたっては、現地作業や結果の記録保存の省力化の観点から、トータルステーションやその他デジタル技術により計測することで作業の省力化の余地がある。

加えて、写真等による外観の把握と併せて形状情報も同時に記録できるデジタル技術を活用することで、現地作業や結果の記録作業の省力化が図れる可能性もある。経済性並びに現場条件や橋の規模等を踏まえて、計測方法について適宜検討するとよい。

各計測方法の特徴や活用事例を、表-2.2、表-2.3 にまとめて整理をしたので、計測手法を選定する際の参考にされたい。また、計測手法を選定する際にデジタル計測の活用を検討する場合は、「付録2. デジタル計測による状態の把握の活用検討資料」などを参考に、計測目的に応じた計測機器と計測手法となるよう留意する必要がある。

表-2.2 計測方法の特徴




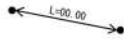



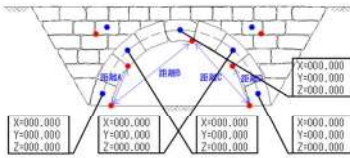
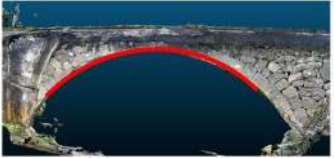

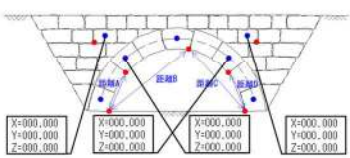
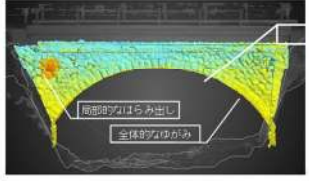
計測方法	人計測	トータルステーション	デジタル計測
使用機器	コンベックス・メジャー・レーザーポインタ等	トータルステーション	レーザースキャナ、デジタルカメラ等
計測状況	 <p>アーチ軸線のずれ 壁石のはらみ出し 石材のずれ 路面の形状の変位</p>	 <p>トータルステーションによる座標値取得</p>	 <p>地上レーザースキャナ計測</p>
取得できる情報のイメージ	<p>代表点間の「距離」や局所的な形状</p> 	<p>代表点の「座標」</p> 	<p>面的な「点群・画像」</p> 
前回点検からの変位量把握	—	<ul style="list-style-type: none"> 代表点における計測による把握 	<ul style="list-style-type: none"> 全ての部材における計測による把握
状態の記録	<ul style="list-style-type: none"> 別途写真等を用いて状態の記録をする必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 写真以外にも取得した座標値が状態の記録となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 写真以外にも取得した3次元データ自体が状態の記録となる。
留意点	計測時には、橋梁点検車等、別途足場が必要な場合がある。	同左	—

表-2.3 計測方法ごとの得られるデータのイメージと活用事例

計測方法	人計測	トータルステーション	デジタル計測
使用機器	コンベックス・メジャー・レーザーポインタ等	トータルステーション	レーザースキャナ、デジタルカメラ等
アーチリブ軸線の偏心の有無や程度	<p>現場写真</p>  <p>現場での目視や写真判読によりアーチリブ軸線の偏心の有無を判断する。</p>	<p>代表点の座標値</p>  <p>代表点の座標値から並びを確認する。前回の計測値と比較が可能である。</p>	<p>オルソ画像（キャプチャ画像）</p>  <p>真円との対比や左右の対称性の確認等、詳細な形状確認が可能である。</p>
壁石のはらみ出しの有無と程度（※）	<p>現場写真</p>  <p>鉛直に設置したポール等を用いてはらみ出し量を計測する。複数箇所を個別に計測し、対比するには限界がある。</p>	<p>代表点の座標値</p>  <p>代表点の座標値から、代表点のはらみ出し量を算出することが可能である。前回の計測値と比較が可能である。</p>	<p>差分解析結果（キャプチャ画像）</p>  <p>鉛直面との差分解析を実施すれば、はらみ出し量を詳細に把握することが可能である。前回の計測値との面的な比較が容易に可能である。</p>

※) 路面の形状の変位の有無と程度を計測する際も同様のイメージである

2) 計測箇所の選定

石造アーチ橋における状態の把握で最も重要なことは、構造安全性に影響するアーチ・壁石面・輪石基礎・路面などの形状の変化を捉えることである。

構造安全性に影響を及ぼす状態とは、アーチを形成する輪石、その輪石に支持され中詰を保持している壁石面、壁石や中詰によって保持されている路面などの荷重伝達経路に影響を与える形状の変化が生じていることである。その形状の変化を捉えるため、輪石、壁石、路面などの計測を行い記録として残すことが重要であり、計測箇所を適正に選定する必要がある。

- ① 石造アーチ橋の全体形状の把握のため、以下の3項目に対する形状の記録を行うこととする。
また、3項目に対する形状の記録を行う際の、計測箇所の選定方法について併せて示す。

- (i) 石造アーチ橋の路面形状
- (ii) 石造アーチ橋の輪石のアーチ形状
- (iii) 石造アーチ橋の壁石面の形状

[(i) について]

石造アーチ橋の路面形状の計測は、アーチ、壁石面及び目視が困難な中詰の空洞化などの変状が現われる部位として記録することが目的である。中詰の空洞化等の変状が生じている場合、路面にも変状が現れている可能性があるため、まずは路面自体の健全性を確認することが重要である。路面の計測点は、橋の起終点に不動点を設置し、計測点間距離もしくは座標値等を取付する。計測点は、橋の規模に応じて適宜選定するが、例えば縦断方向に3測線、横断方向に3測線程度にするなど、路面形状の変化について適切に記録等を行うことができるよう計測点を設定することが望ましい。(図-2.5)。

[(ii) (iii) について]

アーチ、壁石面の形状の計測についても、橋全体の形状の記録が目的であるため、計測点間距離もしくは座標値等を取付する。アーチ形状の把握のための計測点としては、石造アーチ橋の耐荷機構上の特徴から、輪石基礎、輪石頂部(要石)、輪石支間1/4点、支間3/4点を選定することを基本とする。また、壁石面については、図-2.4に示す壁石に作用するメカニズム¹⁾から、耐荷機構上、最も壁石面がはらみ出す可能性の高い点を計測点として選定することが望ましい。なお、現状においてアーチ形状および壁石面に異常が認められる場合は、適宜計測点の追加を検討するとよい。

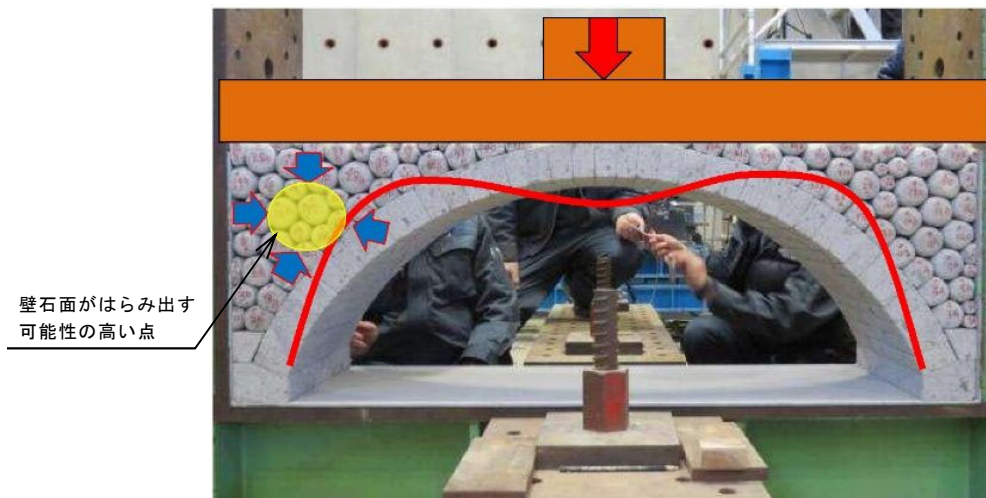
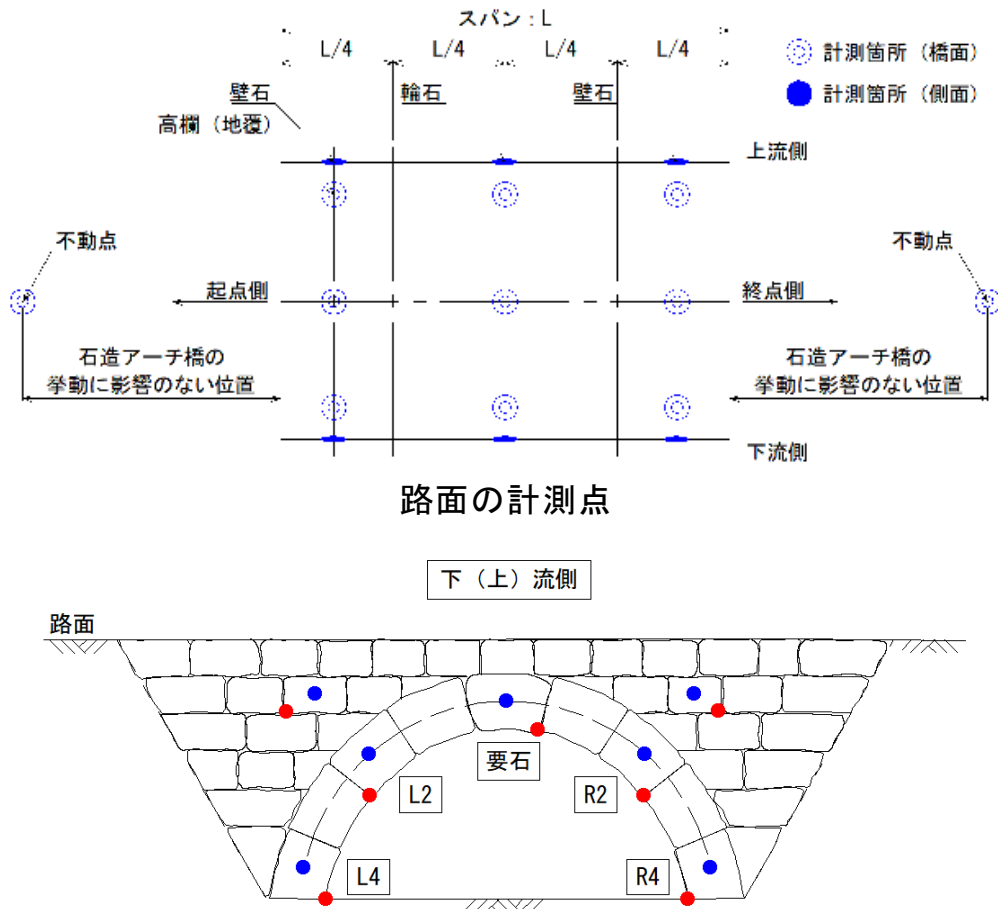


図-2.4 壁石に作用するメカニズム¹⁾

- ② 橋全体の形状の変化の記録等に計測点として計測ピン等の設置が有効な場合がある。石材間に開きがある等の計測ピンが設置できない場合は、図-2.5に示す計測位置にてマーキング等ができないか検討する。仮に計測ピンやマーキング等のいずれも設置できない場合においては、定点観測とならず、誤差が蓄積される可能性があるため、面的に全体形状の把握が可能であり、定点計測が不要となるデジタル計測の活用について、「付録2. デジタル計測による状態の把握の活用検討資料」を参考にされたい。
- ③ 「(5) 1) 計測方法の選定」に示す3つの計測方法について、トータルステーションによる計測とデジタル計測は座標による計測、人計測は距離による計測となる。それぞれの計測による計測位置の例を 図-2.5、図-2.6 に示す。



青：計測ピン設置位置（石材の中央付近）

赤：計測ピンを設置できない場合の計測位置（石材の四隅の1角）

アーチ、壁石面の計測点

- * 計測ピン（上図の青丸）は、石材の中央付近に設置し、最小サイズとし、埋込時に石材の割れを誘発する箇所への設置は行わない。
- * マーキング（上図の赤丸、ペンキ等）による計測点は、マーキングが消失しても計測点を復元できる石材の角など識別しやすい箇所とし、全景写真と近接写真などに計測点を明記し、記録しておくことよい。
- * 不動点は、石造アーチ橋の各変状等に伴う挙動の影響を受けない箇所とする。

図-2.5 計測による計測位置の例

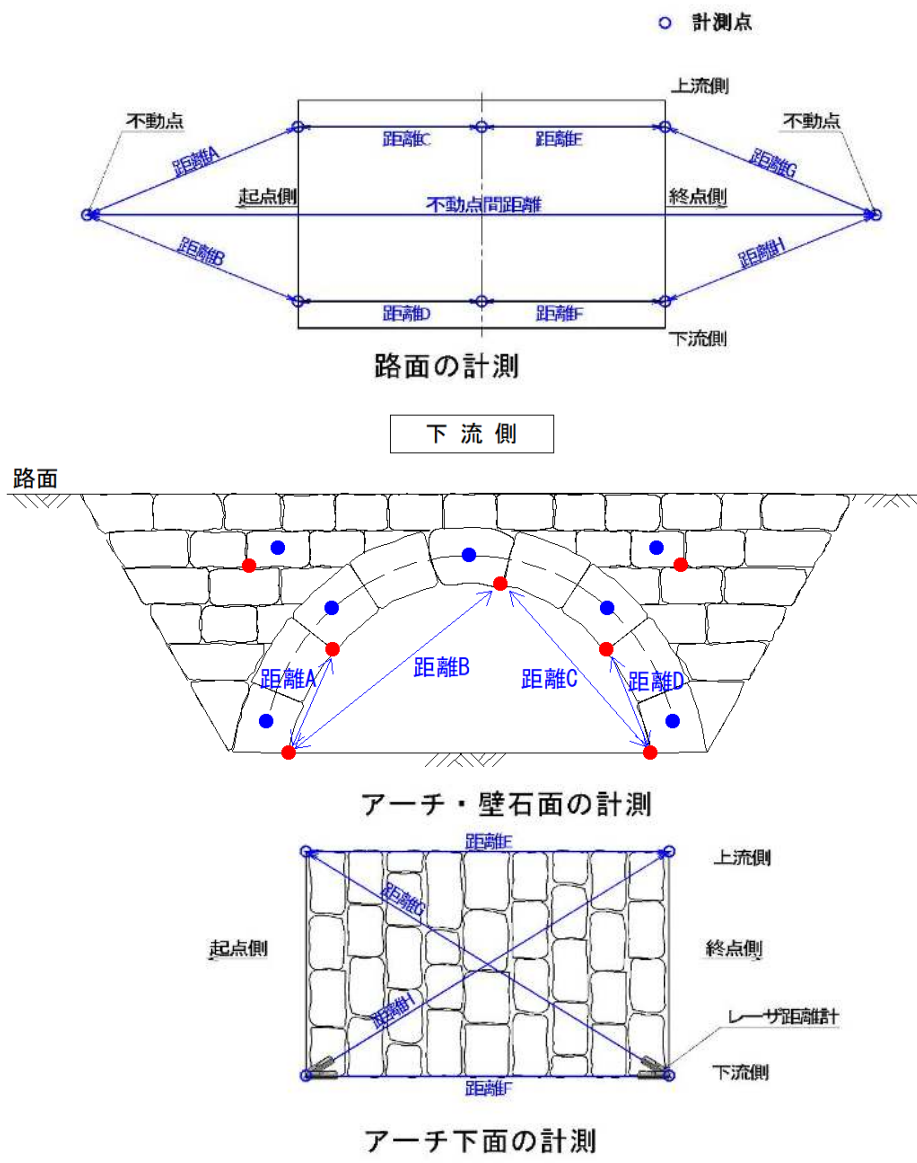


図-2.6 距離計測による計測位置の例



図-2.7 モバイル端末の三次元形状を計測するアプリを用いて三次元データを取得した事例

- ④ アーチ、壁石面の形状の変化が複数確認されるなど、いくつかある措置の中で経年的な全体形状の監視が必要と判断された橋については、「付録2. デジタル計測による状態の把握の活用検討資料」を基に三次元計測や画像計測の適用性を検討することが望ましい。

(6) 各部材の状態の把握

石造アーチ橋のアーチ形状は、架設当初に対し変わっていくものであり、経年により継続的に緩やかな変化をしていく場合と、突発的にアーチ機構などの石組みが変化する場合がある。石造アーチ橋の状態の把握で最も重要なことは、アーチ機構の構造安全性に対し、影響が懸念されるアーチ・壁石面・輪石基礎・路面などの各部材の状態を把握し、形状の変化を捉えることである。

1) 橋台・橋脚・基礎、輪石の状態の把握

石造アーチ橋は、アーチ機構による石材同士で圧縮力を伝達し、橋台・橋脚・基礎を介して荷重を堅固な地盤に伝達できることや、輪石が壁石や中詰を支持し、中詰材の流出等がないことで、構造安全性を確保している。逆に、アーチ機構が成立せず石材間の圧縮力が伝達していなければ、輪石が壁石や中詰を支持せず、中詰材が流出している状態となり、構造安全性は保たれていない状態と判断できる。これらを踏まえ橋台・橋脚・基礎、輪石について、下記の観点で状態を把握する。なお、河川内の橋で流水部にある部材について、状態の把握の時期は基礎周辺地盤の状態が確認しやすい非出水期に実施するのが望ましい。

- ① 護岸を含む基礎周辺地盤の洗掘等
- ② 橋台・橋脚・基礎の沈下・移動・傾斜の有無
- ③ 石材同士のかみ合わせの状態
- ④ 圧縮力を伝達している石材の状態

アーチ形状が崩れると構造安全性に影響を与えるため、以下の点を念頭に置きながら状態の把握を行うことがアーチ形状の確認においては重要である。

- イ) 輪石や輪石基礎の一部が抜け落ちて、残りの石材にて荷重伝達経路は確保できており、アーチ機構は成立していることもあり得る。ただし原因によっては、連鎖的に石組みがずれる可能性があるため、石材の抜け落ちやずれ（抜け出し）が生じていないか、安全性に問題がないかを確認することが望ましい。また、アーチ頂部（要石）付近では、壁石・中詰の自重が小さくなり、活荷重の影響を直接受けることにより輪石同士のせん断挙動が生じ、抜け落ちの発生が懸念される。アーチ頂部の石材のかみ合わせの喪失は、アーチ全体の不安定化に結び付くことがあるので、アーチ頂部（要石）付近のかみ合わせの状態を十分に把握する必要がある。
- ロ) 図-2.8 に示すような、輪石や輪石基礎の抜け落ちやずれ（抜け出し）、石材間の開き（隙間）の原因については、出水や地震等の外力の作用、または洗掘による沈下などによるアーチ形状の変化、石材の断面欠損等が疑われる。そのため、状態の把握の項目や方法など、定期点検の計画を立てるときは、形状の変化や断面欠損の要因まで遡る等、アーチ機構の構造安全性に対して今後の変状について判断するための情報が得られるように、あらかじめ検討しておくことが望ましい。例えば、ずれ（抜け出し）の寸法を計測して定量的に把握することが考えられる。

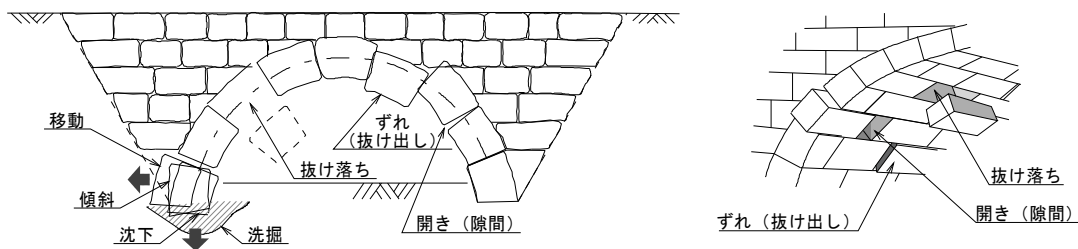


図-2.8 構造安全性に影響を及ぼす変状事例

- ハ) 図-2.9 に示すような、破断（亀裂）、剥離、ひびわれ、変色・劣化がある場合、単に変状の確認のみを行うのではなく、現状の圧縮力に対してアーチ機構が成立していることや荷重伝達経路が確保されていることを確認することが望ましい。

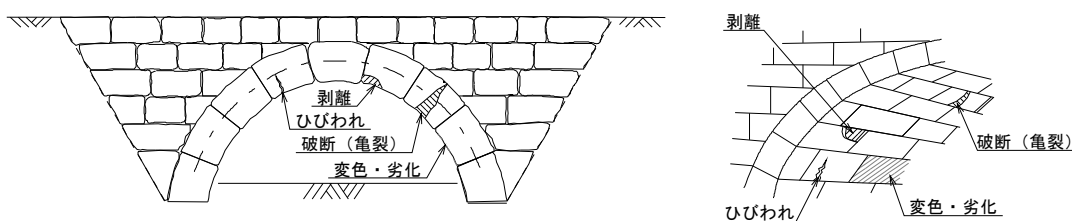


図-2.9 石材単体の変状事例

- ニ) 破断（亀裂）、剥離、ひびわれ、変色・劣化の原因については、石組みの変化による応力変化と砂岩の板状の剥離や溶結凝灰岩などの凍結融解作用のように石材の材質に依存する両者が疑われる場合もある。したがって、定期点検の計画を立てるときは、形状の変化の要因まで遡る等、アーチ形状の安定性と今後の変状について判断できるような情報を取得することが望ましい。
- ホ) 一方、上記以外の形状の変化がある場合には、その要因を考察できるよう、例えば、漏水の状況、洪水時の流下物の衝突等の痕跡等を把握する必要がある。
- ヘ) 橋台の基礎地盤の改良として梯子胴木（梯子状に組んだ木枠）を設置して荷重分散を図っているものもあるため、梯子胴木が露出していることが確認された場合は、その形状や劣化状況も確認しておくがよい。
- ト) 目地処理の有無にかかわらず石材間に開きがある場合には、中詰材の流出やそれに伴う空洞が発生する可能性がある。この場合、鉄筋等の棒の挿入やファイバースコープなどにより中詰の状態を確認することが望ましい。あわせて中詰の材質も確認できれば記録に残すとよい。
- チ) 目地処理がされている場合は、路面からの浸透水などが輪石背面に滞水する可能性があり、それを新たな要因として壁石面のはらみ出し等の変状の発生が考えられる。目地部からの漏水や漏水跡またそれに伴う局所的な藻類の繁茂の発生状況を確認するとともに、橋周辺からの水の流入状況や排水状況などを確認することが望ましい。
- リ) 目地材等の落下による第三者被害の観点での変状を発見した場合は、措置の方法を検討し速やかに実施する必要がある。

2) 壁石・中詰の状態の把握

石造アーチ橋では、中詰が活荷重などを支持して路面高さを維持しており、壁石がその中詰を保持することで、構造安全性を確保している。逆に、壁石が機能せず壁石面がはらみ出したり、中詰材が流出したり、またそのことが新たな要因となって路面が沈下することなどが考えられる。これらを踏まえ、下記の観点で状態を確認する。

なお、植生や樹根貫入がある場合は、除去してから状態の把握を行うことを基本とし、本体構造への影響により除去が出来ない場合はその旨を記録に残すことが望ましい。

- ① 壁石面のはらみ出し
- ② 中詰材の流出、空洞
- ③ 漏水の有無
- ④ 樹根貫入、植生の有無

壁石面がはらみ出している等、形状に変化がある場合は、中詰の変状が疑われるため、例えば流出に伴う空洞等を確認することが望ましい。中詰には土砂、栗石、石材等が使われているが、粒径が小さいほど変状が発生しやすい。関連して、石材のずれ（抜け出し）等の変状がないか確認することが望ましい。

壁石面のはらみ出しとは、活荷重等の上載荷重や中詰の沈下、雨水などの中詰への浸入などによる側圧の増加に伴い壁石を内側から押し出す状態などを示す。また、中詰材の流出とは、石材間の開き（隙間）が大きくなったり、雨水などの侵入に伴う流出とともに、中詰材の細粒分などが流出している状態を示す。

- イ) 壁石の一部が抜け落ちても壁石の機能としては成立していることもあり得る。ただし原因によっては、連鎖的に石組みがずれる可能性があるため、石材の抜け落ちやずれ（抜け出し）が生じていないかを確認する必要がある。
- ロ) 壁石間の開き（隙間）、破断（亀裂）、剥離、ひびわれの原因については、石組みの変状による応力変化と、砂岩の板状の剥離や溶結凝灰岩などの凍結融解作用のように石材の材質に依存するもの、もしくは両者が疑われる場合もある。したがって、定期点検の計画を立てるときは、形状の変化の要因まで遡る等、壁石の安定性と今後の変状について判断できるような情報を取得することが望ましい。
- ハ) アーチ形状に経年変化があった場合は、その上部における壁石・中詰にも変状が生じていないか等、各部材の変状の相関について確認するとよい。
- ニ) 壁石面の変状については、今後の変化の進行性などを判断するための情報が得られるように、はらみ出し量等を計測して変化を定量的に把握することが望ましい。
- ホ) 壁石面にはらみ出しがある場合は、輪石への荷重伝達経路が確保できているかについて確認することが望ましい。
- ヘ) 中詰材（土砂、栗石、石材等）によっては、活荷重による土砂の沈下や地震等で揺らされることで栗石等の間隙に砂等が充填されるなど、土圧の作用力の増加により、壁石面のはらみ出しの原因となるため、必要に応じて中詰材の調査を行うことが望ましい。

ト) 樹根を取り除くことにより変状が生じる可能性がある場合は、本体構造に影響の無い範囲まで除去し、状態の把握を行うことが望ましい。樹根の撤去が出来なかった箇所については、位置や大きさ、樹根の広がり（根の張り具合）と変状箇所との関連性を点検調書に記載して、今後の措置が必要なことを記録に残すことが望ましい。また、樹根は水の供給により生育するため、水の浸入経路についても確認するとよい（図-2.10）。

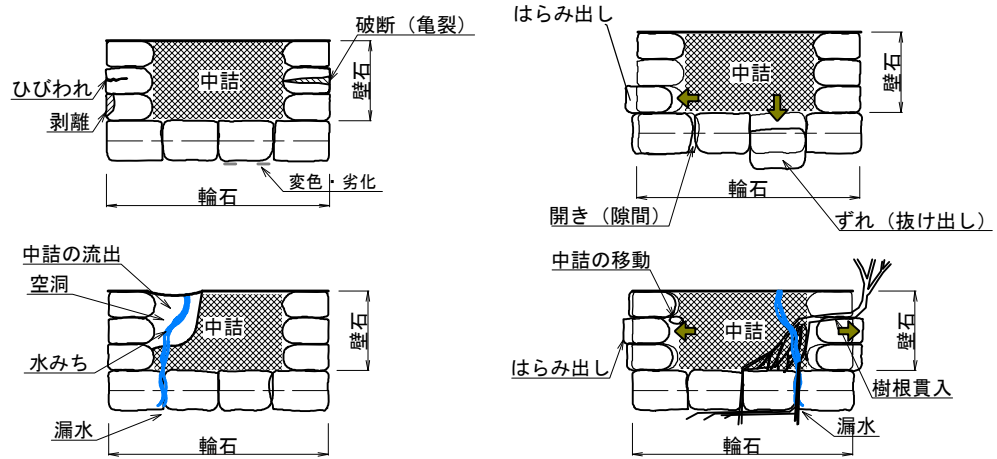


図-2.10 構造安全性に影響を及ぼす変状及び石材単体の変状事例

チ) 目地処理の有無にかかわらず石材間に開きがある場合には、中詰材の流出やそれに伴う空洞が発生する可能性がある。この場合、鉄筋等の棒の挿入やファイバースコープ等により中詰の状態を確認することが望ましい。あわせて中詰の材質も確認できれば記録に残すとよい。

リ) 目地処理がなされている場合は、路面からの浸透水などが壁石背面に滞水する可能性がある。例えば、中詰材の流出や背面の滞水による壁石面のはらみ出し等の変状が発生している場合は、目地部からの漏水や漏水跡、またそれに伴う局所的な藻類の繁茂などを確認するとともに、橋周辺の水の流入状況や排水状況を確認することが望ましい。

3) 路面・背面地盤の状態の把握

背面地盤は、中詰とともにアーチ形状を拘束し、また、路面を維持できるように、下記の観点で状態を把握する（図-2.11）。

背面地盤の使用材料は、中詰とほぼ同様のため区分は難しいが、輪石基礎の背面に中詰と背面地盤の境界がある。また、中詰は自重による鉛直荷重、背面地盤は土圧による水平荷重が共にアーチ機構に作用している。

- ① 路面の凹凸、路面陥没、舗装の異常
- ② 漏水、排水不良の有無、水の流入
- ③ 路盤や背面土砂の流出

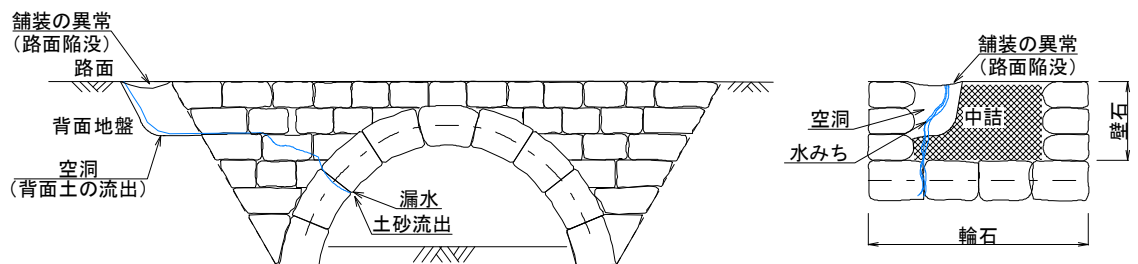


図-2.11 路面・背面地盤の変状事例

路面・背面地盤の変状は、アーチ形状の拘束状態に変化を起こす可能性があるため、石造アーチ橋全体について下記の観点で状態を把握する。

背面地盤の滞水とは、雨水等の侵入や路面の排水がうまく機能せず、背面地盤に流入した水が土中内に滞水している状態を示す。また、路面陥没とは、中詰の沈下や流出等により、中詰の変化によって路面が陥没する状態を示す。

- イ) 路面に凹凸やひびわれ等が見られる場合は、壁石や中詰、輪石にも形状の変化が生じていないかなど状態を把握する必要がある。
 - ロ) 各変状については、その要因を考察できるように、舗装の段差や沈下量を計測し、経年変化を定量的に把握することが望ましい。
 - ハ) 路面排水の不良による内部への水の流入により、中詰材の土砂流出や樹根貫入等が生じていないかの観点で確認する必要がある。
- 二) 路面の変状には、中詰材の細粒分の流出による体積変化や空洞の兆候が見られることがある。また、路面の修繕がしばしば行われている痕跡があれば、中詰の変状が要因となる場合がある。この場合には、中詰に空洞が生じている可能性があり、路面陥没等の恐れがあることに留意が必要である。
- ホ) 洪水等で水位が高くなることなどによる背面地盤及び中詰材の流出によって、輪石に偏載荷重が作用しアーチ形状に変化を来す可能性があるため、背面地盤及び中詰材の流出の状態を把握することが望ましい。
 - へ) 道路縦断のサグ部などによっては、道路排水が石造アーチ橋部に流入、滞水し易くなる。石造アーチ橋への水の浸入は、中詰材の細粒分流出の原因となり得るため、防水・排水の必要性を検討出来るように滞水状況を記録に残すことが望ましい。

4) その他の部材の状態の把握

その他の部材は、防護柵（ガードレール、コンクリート、石材等）、拡幅部の主桁や床版、添架物等が挙げられる。防護柵の通りを確認した際に、異常がある場合には、橋台・橋脚・基礎の沈下・移動・傾斜、アーチや壁石面の形状の変化が生じている可能性がある。その場合は、橋全体の構造安全性に影響を及ぼす可能性がある。

状態の把握にあたっての留意点は、「道路橋定期点検要領（令和6年3月）」を参照すること。加えて、石造アーチ橋特有の留意点としては、以下の観点で状態を確認する。

- ① 護岸や路上施設等において、変状があった場合、主要な部材へ影響が生じる変状が発生していないか、石造アーチ橋全体やアーチ形状に支障はないか等の状態を確認する必要がある。
- ② 防護柵（高欄）が路面内側へ傾いている場合は、橋本体に変状の発生や中詰の沈下などの変状の可能性が高いため、全ての部材に対して関連する変状がないかを確認する必要がある。
- ③ 護岸及び水切りに沈下、移動、傾斜等の変状が発生している場合は、輪石、橋台・橋脚・基礎、壁石・中詰に対する変状も併せて確認する必要がある。

[参考文献]

- 1) 国土交通省都市局：平成 25 年度歴史的風致維持向上推進等調査「石製模型を活用した実験等を通じた私有石橋の点検、修理工法の検討（宇佐市）」報告書，2014

3. 健全性の診断の区分の決定における留意点

石造アーチ橋における健全性の診断の区分の決定を行う場合の参考とするため、輪石、壁石、中詰、基礎によるアーチ機構の石組みの変化に起因する荷重伝達経路に生じる典型的な変状に対する技術的な評価にあたって考慮すべき事項を示す。

なお、石造アーチ橋の各部材の技術的な評価は、定量的に判断することは困難であるため、定期点検においては、石造アーチ橋の条件（構造、活荷重、架橋状態等）を考慮して適切な区分に判定する必要がある。また、健全性の診断の区分の決定に関する記述は、「道路橋定期点検要領（令和6年3月）」を参照すること。

(1) 技術的な評価にあたって考慮すべき事項

- 1) 技術的な評価は橋本体の状態に着目して、構造の区別毎にA B Cの概略評価を実施する。なお、致命的な状態には構造安全性の観点以外にも走行安全性の観点等も含まれる。

A：何らかの変状が生じる可能性は低い。

B：致命的な状態となる可能性は低いものの何らかの変状が生じる可能性がある。

C：致命的な状態となる可能性がある。

構造の区分は、一般に上部構造は、輪石・壁石・中詰・背面土、下部構造は橋台・橋脚・基礎（輪石基礎）とし、上下部接続部は最下段の輪石と考えてよい（図-3.1 参照）。これによらない構造の場合は、荷重伝達経路や構造特性等を考慮して区分する必要がある。「道路橋定期点検要領（令和6年3月）」では、「構造系としてそれぞれ主たる役割が異なる「上部構造」、「下部構造」、「上下部接続部」という構造部分からなるものと捉え、想定する状況において、各構造部分がそれぞれの役割をどのように果たしうる状態となるのかをまず評価する」としている。さらに、「それらの組み合わせられた状態として道路橋全体としてはどのような状態になると言えるのかを評価する」とされており、「上部構造」、「下部構造」、「上下部接続部」をどのように考えるのかを明確にしておく必要がある。

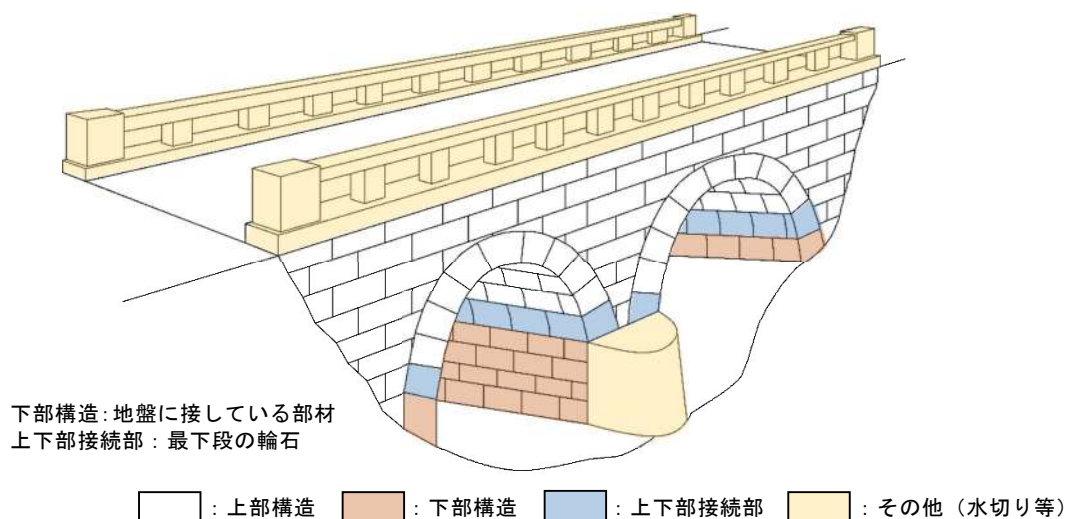


図-3.1 構成要素の構成の例

- 2) 部材毎の技術的な評価を行うにあたっては、アーチ、壁石面及び基礎の変状が橋の構造安全性に与える影響、混在する変状（洗掘や抜け落ち等）との関係性、想定される原因（必ずしも一つに限定する必要はない）、今後の変状の進行が橋の構造安全性や経年変化に与える影響度合い等を見立てる必要がある。例えば、同じ部材の異なる種類の変状や、他の部材の変状との組み合わせによっては、着目する部材や変状が石造アーチ橋に与える影響度の評価が変わることもある。
- 3) 石造アーチ橋における技術的な評価にあたっては、アーチ機構の石組みの状態などを把握し、荷重伝達経路を確保する上で構造安全性に影響を及ぼす変状かどうか判断する必要がある。構造安全性に影響を及ぼす変状が認められない場合は、機能に支障が生じていない状態といえる。一方、構造安全性に影響を及ぼす変状が認められる場合は、致命的な状態となる可能性があると考えられる。技術的な評価にあたっては、別紙3.を参考にされたい。
- 4) 部材形状の変化の進行性は定量的な予測はできない。技術的な評価は、想定する作用荷重の状況（活荷重、地震、豪雨・出水、その他）に対して、各構造がどのような状態となる可能性があるのか推定した結果を踏まえ、各構造の構造安全性、走行安全性、第三者被害の恐れ等について、定期点検時点の見立てとして実施するものである。

(2) 特定事象の有無の評価

石造アーチの特定事象として記録するのは、洗掘が多いと考えられるが、その他の変状（中詰・背面の空洞化等）についても、特定事象として取り扱ってもよい。また、特定事象として取り扱わずとも、所見に記載するなどして記録に残すことが望ましい。

(3) 措置の必要性の検討

- 1) アーチ機構の石組みの状態の変化によって、荷重伝達経路の確保が困難になるなど、構造安全性に影響を及ぼす変状が認められる場合は、措置の切迫性が高い状態である可能性があり、緊急対応として通行規制・通行止めも含めた検討が必要である。また、変状が進行すると、石材の積み直し等の大規模補修が必要となる場合があるため留意が必要である。
- 2) 石造アーチ橋では、アーチ、壁石面、路面の形状の変化の原因が不明である場合や、例えば洗掘等が発生していても石材の噛み合わせで形状が変化していない状態（いわゆる「死に体」の状態）となる場合などが考えられる。このため、措置の必要性の検討に際しては、道路利用者への影響や第三者被害予防等の観点から措置の緊急性も考慮の上、検討することが重要である。
- 3) 河川部の水衝部においては、経年変化として、石材の沈下による基礎及びアーチ形状の不安定化、石材のずれや基礎地盤の細粒分等の流出、中詰の不安定化が懸念される。そこで、基礎周辺地盤の洗掘、石材のずれ及び局所的な細粒分の流出等が疑われる変状が見られる場合は、予防的な措置を講ずることが望ましいこともある。また、これらの変状が見られなくても、石材に対する衝突等の痕跡、石材の断面欠損等が見られる場合は、出水等の際には洗掘被害を受けるリスクを示していると考えられるため、軽微な変状であったとしても、予防的な措置を講ずることが望ましいこともある。

(4) 告示に基づく健全性の診断の区分の決定

健全性の診断の区分の決定は、道路管理者の措置に対する考え方によって該当区分を決めることになる。変状の原因やメカニズムに照らして変状が進行したときに、アーチ機構に与える影響等を考慮し、技術的な評価に反映させることで、道路管理者として措置の考え方を決定し健全性の診断の区分を決定する。

4. 記録様式の手引き

石造アーチ橋の定期点検における記録の考え方について、以下に示す。併せて、各記録様式の手引きとして、記録方法と内容および記録様式の例を添付するので、適宜参考にされたい。

各様式の〔様式1〕、〔様式2〕、〔様式3〕は、「道路橋定期点検要領（令和6年3月）」に示される様式1～3と同様式としている。また、〔様式4〕、〔様式5〕は、石造アーチ橋特有の記録様式として、〔様式4〕に橋の概況と近接手法、〔様式5〕に形状計測結果と計測方法を記録する。

(1) 定期点検の記録の考え方

- 1) 石造アーチ橋においては、アーチ機構や石組みの状態などによる荷重伝達経路の確保などの構造安全性が重要であるため、定期点検実施時にはアーチや壁石面などの形状の変化および変状の確認を行う必要がある。アーチや壁石面などの経年的な形状の変化および変状を把握するために、形状確認図や橋全体の写真を記録に残すことが望ましい。なお、形状確認図は写真に寸法を記載するなどよい。
- 2) 石造アーチの安全性や耐荷性能については、現状の状態に対して見立てることが基本である。現状を評価するにあたっては、橋内部の状態の推定も必要であり、現状に問題がある可能性を把握するためにはできるだけ複数の情報を組み合わせる必要がある。そこで、前回の定期点検で確認された状態と現状の比較を行うことは、意味のあることである。また、現状に対する見立てが次回定期点検まで、そしてそれ以後にも続くかどうかという観点では、各定期点検間の状態の変化の情報も有用である。そこで、前回定期点検からの状態の変化やそれ以前からの経年変化、次回点検時の着目点についても記録に残しておくことが望ましい。一方で、道路橋定期点検要領（令和6年3月）の記録内容と同様に各部について告示の区分に準じた措置の必要性の区分を行う必要はない。むしろ、最終的に、道路管理者が石造アーチ橋全体として評価するためには、定期点検を行う者は、上部構造、下部構造、上下部接続部、また、耐荷性能や耐久性能などの観点での必要と考えられる、または、望ましいと考えられる措置の内容を記述しておくことが有用である。
- 3) 石造アーチ橋の点検結果に関して、記録に残す必要のない現地確認時に取得した情報（形状の変化や変状のほか、周辺状況などの写真データなど）においても、将来の変状確認時などの有用な情報として活用できる可能性があるため、データフォルダなどに保存しておくことよい。

(2) 様式1について

1) 記録方法・内容について

- ① 「道路橋定期点検要領（技術的助言の解説・運用標準）令和6年3月 国土交通省 道路局」の「様式1の記録の手引き」、「道路構造物の定期点検にかかる参考資料「道路橋定期点検要領（令和6年3月）」運用の手引き」を参照して記載する。
- ② 石造アーチ橋の部材区分は、一般に上部構造は、輪石・壁石・中詰・背面土、下部構造は橋台・橋脚・基礎（輪石基礎）とし、上下部接続部は最下段の輪石と考えてよい（図5-1参照）。また、上下部接続部は力の流れを考慮の上で設定し、一般図（様式4）に示しておく。
- ③ 技術的な評価結果欄の●は、該当する項目のみ記載し、該当しない項目は「-」と記載する。
- ④ 全景写真欄に、石造アーチ橋特有の情報を追記する。
- ⑤ 石造アーチ橋の特有の情報として、今後の維持修繕のために、文化財の有無と指定機関や石材の種類等についても記載しておくことが望ましい。
- ⑥ 想定する状況（活荷重、地震、豪雨・出水、その他）に対して、どのような状態となる可能性があるかについての技術的な評価を記録する。
- ⑦ 地震の影響に関する記録は、別紙3.に示す地震の変状事例を参考にされたい。
- ⑧ その他に関する記録に該当する状況としては、地すべり等の地盤変動の影響が考えられる。

2) 定期点検記録様式の例 [様式1]

様式1

橋梁名・所在地・管理者名等

橋梁名	路線名	所在地	起点側	緯度	経度	施設ID
●●橋 (フリガナ)マルマルハシ	県道●●号	●●県●●市●●地先		○° x' △"	□° ▽' ◎"	●●●●
管理者名	路下条件	代替路の有無	自専道or一般道	緊急輸送道路	占用物件(名称)	
●●県●●振興局●●土木事務所	河川	無	一般道	その他	水道管	

道路橋毎の健全性の診断

告示に基づく健全性の診断の区分
●

橋梁諸元

架設年度	橋長	幅員	橋梁形式
●●●●	●●●	●●	上部構造 656-⑥石橋_アーチ橋
			下部構造 98-アーチ拱抬
			基礎構造 0-直接基礎

※架設年度が不明の場合は「不明」と記入すること。

技術的な評価結果

	定期点検実施年月日	●●●●●●●●	定期点検者	(株)●●●●●●●●
	想定する状況			
	活荷重	地震	豪雨・出水	その他
橋(全体として)	●	●	●	(●) ●
上部構造	● 写真番号●●	● 写真番号●●	● 写真番号●●	(●) ● 写真番号●●
下部構造	● 写真番号●●	● 写真番号●●	● 写真番号●●	(●) ● 写真番号●●
上下部接続部	● 写真番号●●	● 写真番号●●	● 写真番号●●	(●) ● 写真番号●●
その他(フェールセーフ)	● 写真番号●●	● 写真番号●●	● 写真番号●●	(●) ● 写真番号●●
その他(伸縮装置)	● 写真番号●●	● 写真番号●●	● 写真番号●●	(●) ● 写真番号●●

全景写真(起点側、終点側を記載すること)

起点側

- 文化財の指定(県指定)
- 石橋以外の構造(コンクリート張出し床版)
※石造アーチ橋の上部にH鋼桁がある構造
- 石材の種類(溶結凝灰岩)
- ライズ量(●●m)

張出し床版

終点側

(3) 様式 2 について

1) 記録方法・内容について

- ① 「道路橋定期点検要領（技術的助言の解説・運用標準）令和 6 年 3 月 国土交通省 道路局」の「様式 2 の記録の手引き」、「道路構造物の定期点検にかかる参考資料「道路橋定期点検要領（令和 6 年 3 月）」運用の手引き」を参照して記載する。
- ② 「A：何らかの変状が生じる可能性が低い」に該当する場合であっても、把握した状態を根拠として残すことや、考慮した劣化の進展の根拠なども記録することも可能である。
- ③ 石橋特有の変状や措置の実施状況、次回点検に引き継ぐべき情報も記録することが望ましい。
- ④ 備考欄に構成要素の役割に対して技術的な観点からどのように評価したのか等を補足する。
- ⑤ 写真は過大な枚数とならないように診断の根拠資料となるものに限定して取りまとめる。また、変状の経年変化を確認しやすいように部材写真図などを作成することが望ましい。
- ⑥ 技術的な評価を行った変状については、着目点などを写真に旗揚げし、変状の位置や範囲の寸法などを記載しておくことで、後から診断の根拠を振り返るとき等に役立つと考えられるため、必要に応じて記録に残すことが望ましい。特に精緻な経過観察を有すると考えられる箇所等については、変化を把握できるように、洗掘の形状、はらみ出し量、ずれ幅、ひびわれ幅などの寸法や起終点を正確に記録に残すようにする必要がある。
- ⑦ 洗掘状況の写真の撮り方では、洗掘の位置や変化が分かるように、スケールを入れた写真や同じ画角で写真を撮るのがよい。なお、経過観察のためには、遠景写真と近接写真の双方を組み合わせるとよい。

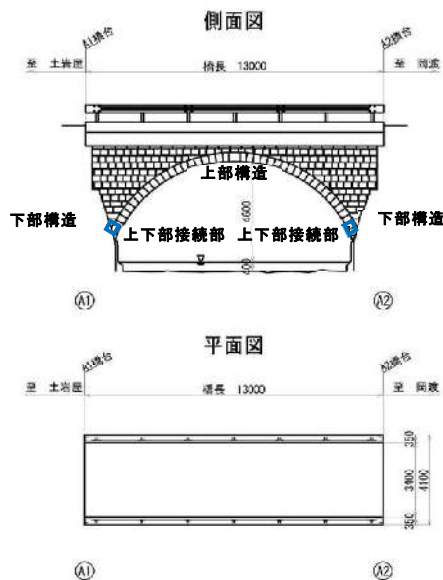
(5) 様式 4 について

1) 記録方法・内容について

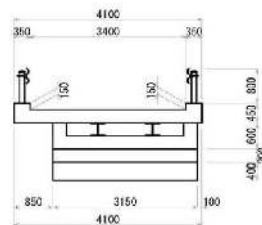
- ① 橋の概況として、構造諸元、形状などの客観的な事実を橋梁一般図や全体写真にて記録する。少なくとも、構造、橋長や支間長、橋下のクリアランスおよびライズ量、上下部接続位置、主な断面の寸法について記載しておく。
- ② 橋梁一般図については、必要に応じて作成するよう対応すればよいが、既にこれまでに作成していれば、記録方法として活用していくとよい。
- ③ 橋への近接手法として、点検時における各部材へのアクセスの方法について次回の定期点検の計画において参考となるように、例えば資機材を用いた場合には写真等に記録しておくことが望ましい。

2) 定期点検記録様式の例 [様式 4]

[様式 4]



上部工断面図



部材の区分

上部構造	壁石、中詰、輪石
下部構造	橋台、基礎
上下部接続部	輪石基礎

(アクセス方法)

- ・橋梁点検車にて目視点検(県道側より進入)
- ・水位が低い場合には梯子点検も可能



(6) 様式 5 について

1) 記録方法・内容について

- ① 現状並びに継続的な記録による変化の追跡ができるように、両側面、路面、輪石下面、輪石基礎の周りなどに分けて、石造アーチ橋の全体形状、アーチ形状の縦断方向や横断方向の線形や凹凸、壁石面の凹凸、路面の凹凸などが分かるように計測や写真等で記録しておく。
- ② 各写真については、寸法や位置を次回点検時にも追跡できるように、スケールが分かるようなものを入れて撮影し、各計測値に加えて計測方法も併せて記録しておくことが望ましい。
- ③ 全体形状の計測については、「2. (5) 全体形状の計測による状態の把握」にしたがって実施することを基本とする。計測箇所は、変状の経年変化を確認しやすい位置とし、次回点検でも同位置で実施できるように定点の位置を明確にして記録に残すとよい。
- ④ 形状の変化の確認のためにデジタル計測機器等（三次元計測や画像計測等）の活用を検討する場合は、「付録2. デジタル計測による状態の把握の活用検討資料」を参考にされたい。なお、直接アーチの状態の把握を行った箇所と、機器等でのみ状態の把握を行った箇所は理由を明らかにし、記録に残すことが望ましい。また、各機器は精度に相違があるため、機器の特性、適用範囲、計測条件等の確認が必要である。
- ⑤ 部材一般図やひびわれ図を作成するよりも、全体形状の変化の記録を残すことが有用であることから、デジタルカメラの画像をつなぎあわせるなどで作成する写真でこれらを兼ねるとよい。また、アーチ機構の構造安全性に対し、突発的な影響が懸念されるアーチ・壁石面・輪石基礎・路面などの形状の変化に影響する変状については、写真・スケッチにて記録することが望ましい。なお、維持・修繕等の計画を立案する上で必要であれば、その写真・スケッチに着目した変状などを旗揚げするとよい。
- ⑥ 何らかの理由で特定の位置、変状の広がり等を精緻に監視する必要がある場合には、石材を特定し、精緻にひびわれ図等を作成することも有効な監視の方法の一つと考えられる。その際、既にひびわれ図や石材配置図等がある場合には活用するとよい。
- ⑦ ガードレール等の付属物の変状については、[様式5]に記録する。また、付属物の変状により、走行安全性に影響がある場合や、第三者被害の可能性がある場合も記録として残しておく必要がある。

2) 定期点検記録様式の例 [様式 5]

(形状に関わる計測と写真)

[様式 5]

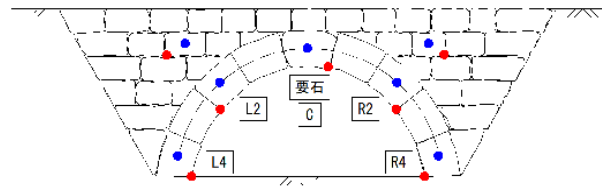
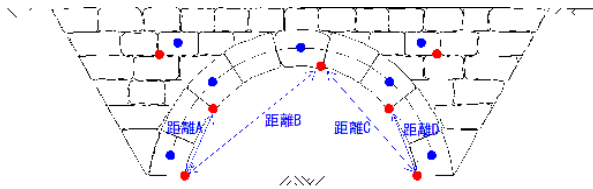
①側面(下流側)



距離の記録

観測点名	計測年月日	****年*月*日	****年*月*日	距離の差分 (cm)
		(前回点検時の距離) (cm)	(今回点検時の距離) (cm)	
距離A		**. **	**. **	*
距離B		**. **	**. **	*
距離C		**. **	**. **	*
距離D		**. **	**. **	*
距離E		**. **	**. **	*
距離F		**. **	**. **	*
距離G		**. **	**. **	*
距離H		**. **	**. **	*
計測手法		****	****	—

※ 計測値と計測手法を記録する。
 ※ 計測値は、上下流同様の方法で行い記録する。
 ※ cm単位で記録する。



(形状に関わる計測と写真)

[様式 5]

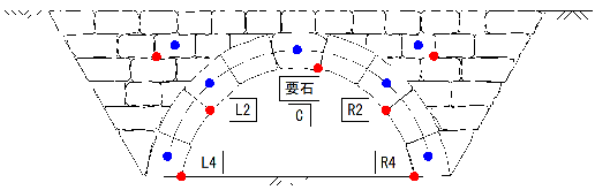
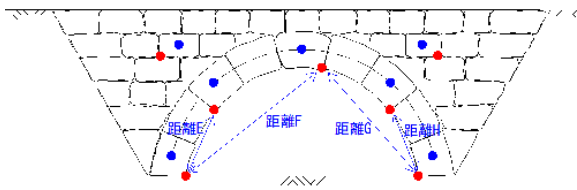
②側面(上流側)



距離の記録

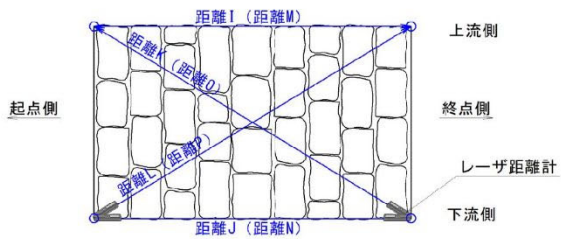
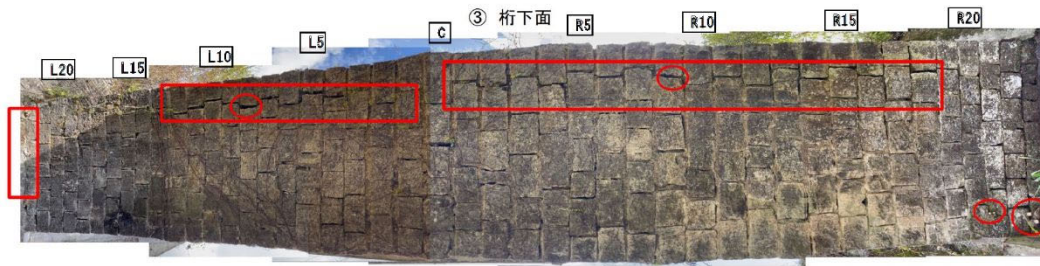
観測点名	計測年月日	****年*月*日	****年*月*日	距離の差分 (cm)
		(前回点検時の距離) (cm)	(今回点検時の距離) (cm)	
距離A		**. **	**. **	*
距離B		**. **	**. **	*
距離C		**. **	**. **	*
距離D		**. **	**. **	*
距離E		**. **	**. **	*
距離F		**. **	**. **	*
距離G		**. **	**. **	*
距離H		**. **	**. **	*
計測手法		****	****	—

※ 計測値と計測手法を記録する。
 ※ 計測値は、上下流同様の方法で行い記録する。
 ※ cm単位で記録する。



(形状に関わる計測と写真)

[様式 5]



距離の記録

観測点名	計測年月日	前回の計測結果	今回の計測結果	平均値	距離(平均値)の差分
	****年*月*日 (前回点検時の距離)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
距離I (距離M)	****年*月*日	*** (**) **	*** (**) **	***	*
距離J (距離N)	****年*月*日	*** (**) **	*** (**) **	***	*
距離K (距離O)	****年*月*日	*** (**) **	*** (**) **	***	*
距離L (距離P)	****年*月*日	*** (**) **	*** (**) **	***	*
計測手法	****	****	****	****	—

※ 計測値と計測手法を記録する。
 ※ 計測値は、起終点及び上下流同様の方法で行い記録する。
 ※ ()外は、起終点側の計測、()内は、終点側の計測結果を示し、その平均値を記録する。
 ※ cm単位で記録する。

(形状に関わる計測と写真)

[様式 5]

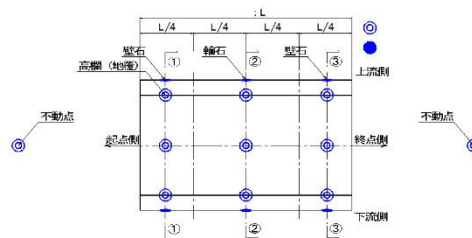
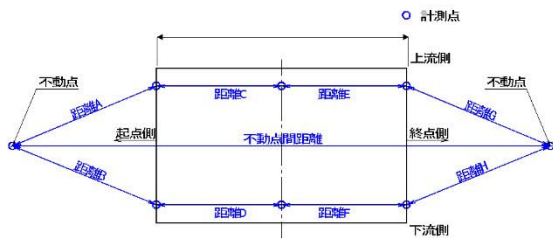
④路面



距離の記録

観測点名	計測年月日	前回の計測結果	今回の計測結果	距離の差分
	****年*月*日 (前回点検時の距離)	(cm)	(cm)	(cm)
不動点間距離	****年*月*日	***	***	*
距離A	****年*月*日	***	***	*
距離B	****年*月*日	***	***	*
距離C	****年*月*日	***	***	*
距離D	****年*月*日	***	***	*
距離E	****年*月*日	***	***	*
距離F	****年*月*日	***	***	*
距離G	****年*月*日	***	***	*
距離H	****年*月*日	***	***	*
計測手法	****	****	****	—

※ 計測値と計測手法を記録する。
 ※ 変状が生じている箇所等があれば任意で基準点(測量ピン)を追加する。
 ※ cm単位で記録する。



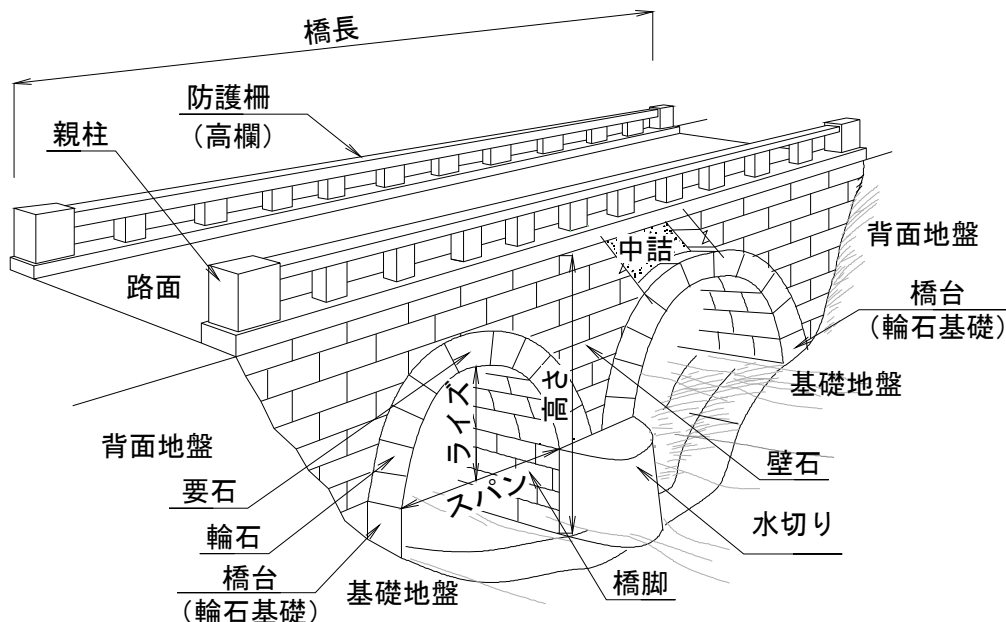
別紙 1. 部材の名称

(1) 石造アーチ橋の部材の名称

石造アーチ橋の主な部材名称を別表-1、別図-1に示す。

別表-1 石造アーチ橋の主な部材名称¹⁾

名称	内容
橋長(きょうちょう)	親柱の両端間の距離をもって橋長と呼ぶ。
高さ(たかさ)	橋台基礎底面又は輪石下端から壁石上端(路面が石材と接している場合は路面)までの高さとする。
ライズ(らいず)	アーチ輪石の最も低い位置から要石の下端までの距離とする。拱矢(きょうし)ともいう。
スパン(すぱん)	アーチ輪石の最も低い位置の河川面からアーチの中心までの距離の2倍とする。径間長(けいかんちょう)ともいう。
ライズ比(らいずひ)	ライズとスパンの比率(ライズ/スパン)のこと。半円の場合は0.5となる。
輪石(わいし)	アーチを構成する石を指す。アーチ石、拱環石(きょうかんせき)ともいう。
[輪石基礎(わいしきそ)]	基礎地盤に接する最下端の輪石のこと。起拱石(ききょうせき)ともいう。
[要石(かなめいし)]	アーチの頂部にある輪石を指す。
壁石(かべいし)	アーチ側面に積み上げる石積(擁壁)をいう。アーチの変形を拘束するとともに中詰材の崩壊を防ぐ機能を有する。
中詰(なかづめ)	アーチと壁石に囲まれた空間を充填した部材を指す。壁石と同様にアーチを拘束する役割をもつとともに、路面以下の荷重を支える路体の機能を有する。



別図-1 石造アーチ橋の主な部材名称

別紙 2. 変状の例

(1) 各部位・部材の対象とする変状の項目及び、記録しておくことよい形状の変化と変状の種類

各部位・部材の対象とする形状の変化と変状の項目を別表-2 に示す。構造安全性に影響を及ぼす形状の変化として、アーチ・壁石面・輪石基礎・路面の形状の変化を記録することと、これらの形状の変化の原因となっている変状の記録を残すことが重要である。形状の変化に影響しない、石材単体・その他の変状を損傷図等で仔細に記録する必要はない。参考に、石橋に見られる形状の変化や変状の種類の特徴を 別表-3 にそれぞれ示す。

記録に残す必要のない現地確認時に取得した情報（形状の変化と変状のほか、周辺状況などの写真データなど）においても、将来の変状確認時などの有用な情報として活用できる可能性があるため、データフォルダなどに保存しておくことよい。

別表-2 各部位・部材の対象とする形状の変化と変状の項目^{2) 3)}

部位・部材区分		アーチ・壁石面 ・輪石基礎・ 路面の形状の変化	形状の変化の原因と なる可能性がある変 状	石材単体・その他の 変状
上部構造	壁石・中詰	壁石面の変化	沈下・移動・傾斜 洗掘 空洞 樹根貫入 抜け落ち はらみ出し 漏水・滞水 ずれ（抜け出し） 開き（隙間）	断面欠損 破断（亀裂） 剥離 ひびわれ 変色・劣化 植生 その他
	輪石	アーチの変化		
下部構造	橋台・橋脚・基礎	輪石（基礎）の変位		
上下部接続部	輪石（最下段）	輪石（最下段）の変位		
路上	路面	路面の変化	-	舗装の異常 不同沈下（段差）
	排水施設	-	-	漏水・滞水 その他
	周辺地盤	-	-	その他
	防護柵	-	-	防護柵・地覆 の異常
その他	護岸	-	-	その他
	水切り	-	-	
	付帯施設等	-	-	

別表-3 記録すべき形状変化と変状の種類^{2) 3)}

記録すべき形状の変化

形状の変化の種類	形状の変化の特徴
アーチの変化	アーチ形状に変化が生じている状態
壁石面の変化	壁石面形状に変化が生じている状態
輪石基礎の変化	輪石基礎に変化が生じている状態
路面の変化	路面に変化が生じている状態

形状変化に起因している可能性がある変状の種類

変状の種類	変状の特徴
沈下・移動・傾斜	橋台・橋脚の基礎が沈下や移動や傾斜している状態
洗掘	橋台・橋脚の基礎付近が洗掘している状態
空洞	中詰材が流出して空洞となっている状態
樹根貫入	石材間に樹根が貫入している状態
抜け落ち	石材が抜け落ちている状態、石材が崩落している状態
はらみ出し	石材相互で形成される面にはらみが見られる状態 石材の面の通りの変状が見られる状態
ずれ（抜け出し）	石材間にずれが発生している状態
開き（隙間）	石材間が開いている状態
断面欠損	石材の一部が欠損している状態
破断（亀裂）	石材のひびわれが貫通している状態
剥離	石材の一部が崩落・欠損している状態
ひびわれ	石材の表面にひびわれが見られる状態
変色・劣化	石材の変色や劣化が見られる状態
漏水・滞水	雨水等が石材間から漏出、滞留している状態
植生	石材間に植生が繁茂している状態
舗装の異常	舗装にわだち掘れやひびわれ等が生じている状態
不同沈下（段差）	背面土砂が抜け出しや地耐力の差により沈下している状態
防護柵・地覆の異常	防護柵・地覆に異常が生じている状態
その他	上記以外の変状

[参考文献]

- 1) KABSE：石橋の設計ガイドラインを用いた設計と改定維持管理ガイドライン, p. II-2, 2016. 6
- 2) KABSE：石橋の維持管理に対する健全度診断と点検要領, p. 117, 2010. 6
- 3) KABSE：石橋の設計ガイドラインと維持管理ガイドライン, p. II-18, 2014. 6

別紙 3. 典型的な変状に対する技術的な評価にあたって考慮すべき事項

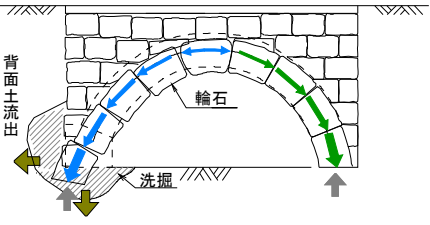


石造アーチ橋における技術的な評価をするには、アーチ機構の石組みの状態などによる荷重伝達経路を確保する上で必要な構造安全性に対する判断が求められる。この技術的な評価をするための画一的な判断基準を作ることは困難であることから、技術的な評価を行う場合の参考となるよう、典型的な変状のイラスト、写真の例に対して、現場で確認できる状態や状態把握における留意点の例を示す。

また備考には、イラストや写真の例を補足するために、個々の石造アーチ橋の構造や架橋条件の観点から現地で確認すべき事項や記録すべき事項について、下記の項目を記載した。

- i) 共通して確認すべき事項
- ii) 変状が進行したときに石造アーチ橋の構造安全性に与える影響
- iii) 記録事項のポイント
- iv) 技術的な評価にあたっての留意点

定期点検においては、対象の石造アーチ橋の条件を考慮して適切に技術的な評価を実施する必要がある。なお、例示写真は典型的な変状をイメージするためのもので、判断基準のごとく扱ってはならない。

■アーチ・壁石の形状確認




上部構造（アーチ・壁石面の形状）		1 / 9
例 1	[アーチ形状の変化]	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 前回の点検までは健全なアーチ形状であったものが、アーチ形状に新たな形状の変化が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 洗掘等によりアーチ形状の変化が進行すると、アーチ機構が成立しなくなり、輪石軸線の圧縮力が作用しなくなる可能性があるため、形状の変化が進行している箇所荷重伝達経路の確認が重要である。
例 2	[アーチ形状の変化]	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ アーチ形状の変化の進行が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ アーチ形状の変化が進行すると、アーチ機構が成立しなくなり、輪石軸線の圧縮力が作用しなくなる可能性があるため、形状の変化が進行している箇所荷重伝達経路の確認が重要である。
例 3	[壁石面の変化・はらみ出し]	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 壁石の通り（壁石面）の悪化、および壁石面にはらみ出しの変化が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 壁石面に異常がある場合は、中詰の沈下や、中詰材が砂礫の場合揺らされることによる押し出しの発生、空洞発生の有無、壁石を支持している輪石の形状変化等の確認が重要である。
備考		
<p>i) 共通して確認すべき事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ アーチ形状に変化がある場合でも、アーチ機構が成立している場合があるため、前回点検と比較して総合的に評価する必要がある。アーチ機構は圧縮力を伝達するために石組みの状態や荷重伝達経路が確保されていることの状態確認が重要であり、その状態によっては構造安全性に影響を及ぼす可能性がある。 ・ ライズ比が小さくなると、輪石同士の圧縮状態を保持する大きな軸力が必要となり、基礎に生じる水平力も大きくなるため、基礎の変状の影響を受けやすくなる。そのため、洗掘による橋台の沈下・移動・傾斜や石材のひびわれ等が発生していないかを確認することが状態の把握を行う上での重要なポイントになる。 ・ 壁石面の形状に変化がある場合でも、石積み（擁壁）としての機能が成立している場合があるため、前回点検と比較して総合的に評価する必要がある。壁石面の形状に変化がある場合には、壁石単独の形状変化なのか、壁石を支持する輪石のアーチ機構の変化に伴う変化なのか見極めが重要である。いずれの変化によっても構造安全性に影響を及ぼす可能性がある。 <p>ii) 変状が進行したときに石造アーチ橋の構造安全性に与える影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 形状の変化が大きい場合、アーチ機構や石積み（擁壁）としての機能が成立しなくなる可能性があるため、重車両が通行した際の活荷重、地震や出水等の大きな外力により崩壊する可能性がある。 <p>iii) 記録事項のポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 形状の変化の状況は、前回点検との比較を行うことになる。従来の計測手法の他、三次元計測等の機器やデジタル測距計等による計測が効率的となる場合がある。機器の精度には相違があるため、機器の特性、適用範囲、計測条件等を確認する必要がある。 <p>iv) 技術的な評価にあたっての留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 各部材の状態（アーチ形状の保持・圧縮力の伝達等）、今後変化する可能性を踏まえて技術的な評価を行う必要がある。 		

■ 構造安全性に影響を及ぼす変状




下部構造（橋台・橋脚・基礎）		2 / 9
例 1	〔洗掘〕	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 基礎下面の支持地盤に洗掘が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 洗掘は支持地盤の支持機構への影響、背面地盤の流出は均等な土圧のバランス状態に影響するのでその程度の把握が重要である。合わせて、基礎の沈下・傾斜・移動、石組みの状態や荷重伝達経路を確認する必要がある。
例 2	〔洗掘、ひびわれ〕	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 基礎下面の支持地盤の洗掘により、背面土が流出し、橋台に沈下が生じ石材の鉛直方向の連続したひびわれが生じているケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 沈下箇所の上付近の石組みの状態と荷重伝達経路を確認することは重要である。 ・ 橋台のひびわれからの、背面土の吸出しの有無を確認する必要がある。
例 3	〔洗掘〕	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 基礎下面の支持地盤に広範囲に洗掘が見られ、背面土、支持地盤が流出し、基礎底面も露出しているケース。ただし、橋台の沈下・移動・傾斜は見られていない。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 広範囲の洗掘は支持地盤の流出による支持機構の喪失、背面地盤の流出は不均等な土圧状態に影響するので、その程度の把握が重要である。
例 4	〔洗掘〕	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 橋台下部に局部的に洗掘が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 基礎の沈下・移動・傾斜及び石組みの状態と荷重伝達経路、洗掘の進行性の有無を確認する必要がある。
例 5	〔洗掘、移動〕	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 橋台基礎に洗掘が見られ、橋台下端の石材に部分的な移動が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 橋台の移動に伴うアーチ形状の歪み、洗掘の進行性、背面土の流出状況を確認する必要がある。

例 6	〔洗掘〕
	<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 橋台基礎の補強コンクリート部において、広範囲に洗掘が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 補強コンクリートの目的を踏まえて、基礎に洗掘がないかを確認する必要がある。
備考	
<p>i) 共通して確認すべき事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 基礎部の洗掘により支持地盤が流出するとアーチ機構が成立しなくなる可能性がある。また、背面土の流出を伴うと土圧のバランスが崩れる。いずれの場合も、その範囲と程度の確認が重要である。 ・ 橋台・橋脚・基礎において、沈下・移動・傾斜が見られる場合は、橋梁本体もしくは周辺護岸等に鉛直方向のひびわれ、路面の変状が現れることがあるため、併せて確認する必要がある。また、背面土が流出している可能性があり、背面土の流出状況（空洞化の状況）を確認することが望ましい。 <p>ii) 変状が進行したときに石造アーチ橋の構造安全性に与える影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 橋台・橋脚・基礎の洗掘は、局部的であれば構造への影響は小さい場合もある。しかし、どのくらいの期間で進行するかは予測できないのが通常であるため、アーチ機構が成立しない恐れがあることから、川の特長、周辺地盤等を確認し洗掘の進行を確認する必要がある。 ・ アーチ機構が成立しているように見えても、重車両が通行した際の活荷重、地震や出水等の大きな外力に対して構造安全性が損なわれ、突如落橋する恐れがある。 ・ 例 1～例 3 は損傷が進展しているケースであり、例 2 では洗掘に起因して橋台にひびわれが確認されている。 <p>iii) 記録事項のポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 洗掘が確認されている場合は、その深さ、延長、奥行きや石材の移動量、背面土の流出状況（奥行等）を記録することが望ましい。また、細粒分等の再堆積やコンクリートによる補強部の根入れ深さ等も記録するとよい。 <p>iv) 技術的な評価にあたっての留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 洗掘が確認された場合は、特定事象として記録する必要がある。 ・ 洗掘の進行性は予測できないのが通常である。橋台・橋脚・基礎に洗掘が見られ、アーチ形状の変化があり、重車両が通行した際の活荷重、地震や豪雨・出水等の大きな外力に対して構造安全性が損なわれる可能性がある場合や、基礎周辺地盤の洗掘、石材のずれ及び局所的な細粒分の流出等の軽微な変状の場合でも、突発的に変状が進行する可能性があることに留意し、致命的な状態となる可能性があるとして評価するとよい。 ・ 上記の内、アーチ機構が成立しない可能性がある場合には、構造安全性に影響があることから、致命的な状態となる可能性がある。特に、基礎以外の部材に影響が及んでいる場合は、早急に具体的な措置を検討するのがよい。 	




■ 構造安全性に影響を及ぼす変状

上部構造（輪石）		3 / 9
例 1	〔抜け落ち〕（複数の抜け落ち）	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石に抜け落ちが見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 抜け落ちによりアーチ機構が成立していない状態であるため、所要の耐荷力が既に失われている。 ・ 路面、壁石等に変状が及んでいないか確認するとともに、石材・中詰材等の飛散による河道閉塞等の二次被害が無いかな確認する必要がある。
例 2	〔連続的な開き（隙間）〕	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 複数の輪石に連続的な破断（亀裂）と開き（隙間）が生じているケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 破断（亀裂）によりアーチ機構が成立していない状態であるため、地震や出水等の大きな外力により崩壊する可能性がある。 ・ 路面、壁石等に変状が及んでいないか確認する必要がある。
例 3	〔破断（亀裂）〕	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石側面部に斜方向の破断（亀裂）が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ アーチ軸線に対して斜方向の破断は、圧縮力の伝達できていない状態であるため、変状による石組の状態と荷重伝達経路が確保されているかの確認が重要である。
備考		
<p>i) 共通して確認すべき事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石の抜け落ちや、複数の輪石に及ぶような連続的な破断（亀裂）・開き（隙間）はその範囲を正確に確認する必要がある。 ・ アーチ軸線に対しての斜方向の破断（亀裂）が発生している場合（例 3）は、アーチ機構が成立しているように見える場合もあるため、慎重な状態の把握が必要である。 <p>ii) 変状が進行したときに石造アーチ橋の構造安全性に与える影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 複数の抜け落ちや連続的な破断（亀裂）によりアーチ機構が成立していない場合は、圧縮力が伝達されておらず、所要の耐荷力が既に失われていることがある。 ・ アーチ機構が成立しているように見えても、重車両が通行した際の活荷重、地震や出水等の大きな外力に対して、構造安全性が失われ突如崩落もしくは落橋する恐れがある。 <p>iii) 記録事項のポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石の側面部に斜方向の破断（亀裂）が見られる場合は、荷重伝達経路が確保されているかの判断と、次回定期点検時に進行性が確認できるようにするために、その位置、範囲、幅等の寸法について正確に記録しておくことが重要である。 ・ 輪石の抜け落ちや、破断（亀裂）・開き（隙間）は、次回定期点検時に進行性が確認できるように、その位置、範囲、幅等の寸法を正確に記録しておくことが重要である。 <p>iv) 技術的な評価にあたっての留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 上記の内、アーチ機構が成立しない場合は、致命的な状態となる可能性があるとして評価するとよい。 <p>※) 本事例のような崩壊が懸念される橋の下に入るなど、点検時に危険を伴うと想定される場合は、新技術の併用等で回避することを検討するのがよい。</p>		

■構造安全性に影響を及ぼす変状

上部構造（輪石）		4 / 9
例 1	〔ずれ（抜け出し）〕（部分的なずれ）	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石にずれ（抜け出し）が部分的に見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 周辺の輪石にずれ（抜け出し）、抜け落ちがないかを確認する必要がある。
例 2	〔ずれ（抜け出し）〕（部分的なずれ）	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 複数の輪石に部分的なずれ（抜け出し）が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 周辺の輪石のずれ（抜け出し）、抜け落ちがないかを確認する必要がある。
例 3	〔開き（隙間）〕	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石全面的に開き（隙間）が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石にずれ（抜け出し）や中詰材の流出の有無を確認する必要がある。
備考		
<p>i) 共通して確認すべき事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石のずれ（抜け出し）が生じた要因として橋台・橋脚・基礎の沈下・移動・傾斜が懸念されるため、下部構造の状態についても確認することが重要である。 ・ アーチの頂部付近でずれ（抜け出し）が生じている場合には、軸重による踏み抜きの可能性についても疑う必要がある。周辺の輪石のずれや路面・舗装の状態などと併せて、橋の状態を評価する必要がある。 <p>ii) 変状が進行したときに石造アーチ橋の構造安全性に与える影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石のずれ（抜け出し）は、石材の一部が抜け落ちしてもアーチ機構は成立していることもあり得るが、原因によっては、どの輪石に進行するのかは予測できないのが通常であり、輪石にずれ（抜け出し）・開き（隙間）が発生している場合は、詳細に経年的な変化の状況を確認する必要がある。 <p>iii) 記録事項のポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石のずれ（抜け出し）や開き（隙間）が見られる場合は、その代表的な変位量やその範囲を記録することが重要である。また、開き（隙間）の場合は、輪石の代表的な変位箇所の幅員とその範囲を記録することが望ましい。 <p>iv) 技術的な評価にあたっての留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石の変状の進行性は予測できないのが通常である。アーチ形状の経年的な変化や輪石にずれ（抜け出し）・開き（隙間）の変位が見られ、アーチ機構としての荷重伝達経路の観点から重車両が通行した際の活荷重、地震や豪雨・出水等の大きな外力に対して構造安全性が損なわれる可能性がある場合は、致命的な状態となる可能性があるとして評価するとよい。 <p>※) 本事例のような崩壊が懸念される橋の下に入るなど、点検時に危険を伴うと想定される場合は、新技術の併用等で回避することを検討するのがよい。</p>		




■ 構造安全性に影響を及ぼす変状

上部構造（輪石）		5 / 9
例 1	[ひびわれ]	 <p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石の下端において、部分的にひびわれが見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 隣接する周囲の輪石のひびわれ発生状況を確認し、石組みの状態や荷重伝達経路が確保され、アーチ機構として圧縮力が伝達できているかを確認する必要がある。
例 2	[変色・劣化]	 <p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石に変色が見られ、表面に苔類が繁茂しているケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 変色や苔類の繁茂は水による可能性が高いため、水みちの確認や石材の材質の劣化に伴うひびわれや剥離の変状がないかを確認する必要がある。
例 3	[漏水]	 <p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石に漏水が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 漏水による石材の劣化、中詰材の流出の有無を確認する必要がある。
備考		
<p>i) 共通して確認すべき事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 石材に変状がある場合、輪石に働く圧縮力に対して荷重伝達経路が確保できているかを確認することが重要である。 <p>ii) 変状が進行したときに石造アーチ橋の構造安全性に与える影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 隣接している輪石にひびわれが生じている場合は、アーチ形状の歪みが発生している恐れがあり、局部的に圧縮力が働いている可能性がある。 ・ 変色・劣化や漏水が、直接的に荷重伝達経路に影響を及ぼすことはないが、これらが原因となって、石材の劣化による石材自体の破壊や漏水による中詰材の流出などが生じた場合は、荷重伝達経路に影響を及ぼす可能性がある。 <p>iii) 記録事項のポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ひびわれが生じている輪石が増えるとアーチ形状の歪みが進行する恐れがあることから、ひびわれの幅、位置等を記録しておくことが重要である。 ・ 変色・劣化や漏水は、石材の劣化・中詰材の流出等、今後荷重伝達経路に影響を及ぼす損傷の発生につながる可能性があるため、変状の状況を正確に記録することが重要である。 <p>iv) 技術的な評価にあたっての留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 輪石のひびわれや劣化が部分的に見られても、アーチ形状の経年的な変化がなく、次回点検までに石組みの状態や荷重伝達経路が確保されている状態が考えられるのであれば、何らかの変状が生じる可能性は低いとするとよい。 		




■構造安全性に影響を及ぼす変状

上部構造（壁石・中詰）		6 / 9
例 1	〔抜け落ち〕（崩壊）	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> 地震により壁石の片面が抜け落ちて崩壊し、中詰材が流出しているケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> 壁石の抜け落ち及び中詰材の流出により、道路橋として機能していない状態である。早急に措置・詳細調査・対策工を実施する必要がある。 埋設物の被害状況の確認と、石材・中詰材等の飛散による河道閉塞等の二次被害が無いか確認する必要がある。
例 2	〔抜け落ち〕（崩壊）	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> 地震により壁石が抜け落ち、崩壊し中詰材が流出しているケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> 壁石の抜け落ちによる崩壊及び中詰材の流出により路面が崩壊しており、道路橋として機能していない状態である。早急に措置・詳細調査・対策工を実施する必要がある。 埋設物の被害状況の確認と、石材・中詰材等の飛散による河道閉塞等の二次被害が無いか確認する必要がある。
例 3	〔はらみ出し、ずれ（抜け出し）〕	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> 壁石にはらみ出しによる抜け落ちの恐れがあるケース。また、はらみ出し箇所下の輪石に破断が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> 不安定となっている壁石の状態を確認するとともに、壁石がはらみ出ししている箇所の中詰材の状態を確認する必要がある。また、アーチ形状に歪みが生じていないかを確認する必要がある。
備考		
<p>i) 共通して確認すべき事項</p> <ul style="list-style-type: none"> 壁石の抜け落ち（崩壊）は、道路橋として機能していないことが明らかな状態である。また、はらみ出し、ずれ（抜け出し）は、その変状の度合いによっては、石材が抜け落ちて崩壊に至る状態となる可能性があるため、荷重伝達経路が確保されているかといった観点での確認が必要である。 <p>ii) 変状が進行したときに石造アーチ橋の構造安全性に与える影響</p> <ul style="list-style-type: none"> 壁石が全面崩壊し中詰材が流出した状態は、道路橋として機能していない状態である。 ずれ（抜け出し）により、はらみ出し箇所下の輪石に破断が見られる状態は、今後、抜け落ち、壁石の崩壊、中詰材の流出に進展する恐れがあり、構造安全性に影響を与える場合がある。ただし、輪石のずれ（抜け出し）は、石材の一部が抜け落ちしてもアーチ機構は成立していることもあり得るため、入念に経年的な変化の状況を確認する必要がある。 <p>iii) 記録事項のポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> はらみ出し、ずれ（抜け出し）が確認されている場合は、その範囲や代表的な変位量を記録しておくことが重要である。また、はらみ出し、ずれ（抜け出し）が確認された範囲に影響する輪石の状態も記録する。 <p>iv) 技術的な評価にあたっての留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> 壁石の抜け落ち（崩壊）は、道路橋として機能していない状態であり、早急に通行止め等の措置を行い、健全箇所の確認や損傷状況の詳細調査を実施し、積直し等の対策工の検討を実施する必要がある。 はらみ出し、ずれ（抜け出し）が確認され、荷重伝達経路が確保できなくなる可能性がある場合と判断される場合には、耐荷性能が致命的な状態であるかを評価する必要がある。 <p>※) 本事例のような崩壊が懸念される橋の下に入るなど、点検時に危険を伴うと想定される場合は、新技術の併用等で回避することを検討するのがよい。</p>		

■ 構造安全性に影響を及ぼす変状

上部構造（壁石・中詰）		7 / 9
例 1	[はらみ出し]	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 壁石に広範囲のはらみ出しがあるケース。また、輪石の形状にも変化が見られる。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 石組の状態や荷重伝達経路の確認及びはらみ出しによって生じた隙間から中詰材の流出や空洞が発生していないかを確認する必要がある。
例 2	[はらみ出し]	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 壁石の天端付近には部分的にはらみ出し、抜け落ちの恐れのある石材が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 不安定となっている壁石の状態を確認するとともに、壁石がはらみ出している箇所の中詰材の状態を確認する必要がある。
例 3	[はらみ出し]	
		<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 壁石に、はらみ出し及び壁石下端のずれによる抜け落ちの恐れのある石材が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 不安定となっている壁石の状態を確認するとともに、壁石がはらみ出している箇所の中詰材の状態を確認する必要がある。また、アーチ形状に歪みが生じていないか確認する必要がある。
備考		
<p>i) 共通して確認すべき事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 壁石、中詰は輪石の変形を拘束する役割も担っているため、壁石面に変状がある場合にはアーチ形状や荷重伝達経路に変化が生じていないかを確認する必要がある。 <p>ii) 変状が進行したときに石造アーチ橋の構造安全性に与える影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 広範囲の壁石のはらみ出しは、今後、壁石の崩壊、中詰材の流出に進展する恐れがあり、構造安全性に影響を与える場合がある。 <p>iii) 記録事項のポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ はらみ出しが確認されている場合は、その範囲や代表的な変位量を記録しておくことが重要である。また、はらみ出しが確認された範囲に影響する輪石の状態も記録することが望ましい。 <p>iv) 技術的な評価にあたっての留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 壁石のはらみ出しの進行性は予測できないのが通常である。壁石のはらみ出しの範囲が広く、はらみ出しの進行による抜け落ちが懸念されるような場合は、重車両が通行した際の活荷重、地震や豪雨・出水等の大きな外力に対して構造安全性が損なわれる可能性があるため、致命的な状態となる可能性があるとして評価するとよい。 		

■構造安全性に影響を及ぼす変状

上部構造（壁石・中詰）		8 / 9
例 1	[植生、はらみ出し] ※) 植生が原因のはらみ出し	
	<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・壁石全体及び輪石に、植生が見られるケース。また、植生が原因と思われるはらみ出しも見られる。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・植生の大きさの変化と壁石のはらみ出しとの関連性や、活荷重による壁石のはらみ出し等がないかを確認する必要がある。 	
例 2	[樹根貫入]	
	<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・壁石に、樹根貫入が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・樹根は壁石から中詰に、さらには輪石まで貫入することがあるため、壁石及びアーチ形状に歪みが生じていないかを確認する必要がある。 	
例 3	[樹根貫入、はらみ出し] ※) 樹根貫入が原因のはらみ出し	
	<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・壁石に、樹根貫入による部分的なはらみ出しが見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・樹根は壁石から中詰に、さらには輪石まで貫入することがあるため、壁石及びアーチ形状に歪みが生じていないかを確認する必要がある。 	
備考		
<p>i) 共通して確認すべき事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・植生・樹根貫入の成長とアーチ形状、壁石面の形状の変化と石組みの変化の関連性を確認しておくことが重要である。また、植生等の成長は水の供給が原因のため、舗装や橋梁取り付け部からの水の流入状況、壁石面、輪石面からの水の流出状況、苔類の繁茂状況等を加味して水みちの確認を行うことが望ましい。さらに、樹根貫入によるはらみ出しによって生じた隙間から中詰材の流出や空洞が生じていないか確認する必要がある。 <p>ii) 変状が進行したときに石造アーチ橋の構造安全性に与える影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ・壁石のはらみ出しは、部分的であれば構造への影響は小さい。ただし、植生や樹根の成長圧の他に、樹木が暴風等を受けることにより石組みの変化に進展する恐れがある。 <p>iii) 記録事項のポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・植生や樹根貫入は、石材の組合せ形状を変化させる要因になるため状態が確認された時にはこれを除去するのがよいが、逆に取り除くことにより形状を変化させるような場合は影響が無い範囲までとして、措置のために必要な記録を残す必要がある。 <p>iv) 技術的な評価にあたっての留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・壁石のはらみ出しの進行性は予測できないのが通常であるが、植生や樹根の範囲の拡大が見られる場合は進行性があると判断できる場合もある。壁石のはらみ出しの位置や範囲の他に樹根貫入の成育を考慮し、重車両が通行した際の活荷重、地震や豪雨・出水等の大きな外力に対して構造安全性が損なわれる可能性がある場合は、致命的な状態となる可能性があるとして評価することが多い。 ・中詰材の局所的な細粒分の流出等、軽微な変状が見られるときには、致命的な状態となる可能性は低いものの何らかの変状が生じる可能性が考えられるが、次回点検まで架橋位置周辺の環境により、出水による外力や集水による中詰材の流出など、急激に変状が進行するようリスクに留意して評価を行う必要がある。 		

■全体外観の確認

全体外観		9 / 9
例 1	[防護柵の傾斜]	<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 外観の確認の結果、防護柵（高欄）に傾斜が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 防護柵の変形については、車両の衝突等の外的要因によるものと、輪石、壁石・中詰の変状による構造的要因によるものがあるため、留意する必要がある。 ・ 特に防護柵が内側に傾斜している場合、壁石や中詰に変状があることが多いため、壁石のはらみ出しや中詰材の流出も併せて確認することが重要である。
例 2	[路面の異常]	<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 外観目視の結果、路面の異常（舗装ひびわれ、滞水跡）が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 路面の異常、凹凸が局部的に見られる場合には、輪石・壁石・中詰に変状が生じている可能性があるため、各部材の変状の有無を含めて確認する必要がある。 ・ 特に雨水浸入による中詰材の流出や空洞、路面の陥没が発生していないかに注意する必要がある。
例 3	[不同沈下（段差）]	<p><現場で確認できる状態></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 外観目視の結果、背面部の路面に段差（沈下）が見られるケース。 <p><状態把握における留意点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 背面地盤と路面に段差がある場合は、橋梁部もしくは背面地盤のいずれかが沈下している可能性があるため、橋全体の異常がないか確認する必要がある。 ・ また、下部構造の沈下やアーチ・壁石面の変状、雨水浸入による中詰材の流出に伴う路面の沈下に注意する必要がある。
備考		
<p>i) 共通して確認すべき事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 近接目視点検に先立ち、事前の現地踏査により、橋梁の沈下に伴う路面の滞水や土砂だまり、アーチ・壁石面の形状の変化、基礎の洗掘や沈下・移動・傾斜の相互の関連性を踏まえて、橋梁全体の状況変化を外観確認して把握しておくことが重要である。 ・ 中詰材や背面土砂の流出、それによる空洞や土圧バランスの不均衡などは近接目視にて確認できない場合が多く、輪石や壁石の石材間の開き（隙間）やアーチ形状の変化、路面のひびわれや陥没などの兆候がないかを把握することが重要である。 ・ 大型車等の通行により平面曲線の区間では、遠心力による壁石面のはらみ出し、縦断線形が厳しい区間では制動始動荷重や衝撃荷重による路面の沈下や壁石面のはらみ出しなどが発生する可能性があるため、前後の道路線形を把握することが望ましい。 <p>ii) 変状が進行したときに石造アーチ橋の構造安全性に与える影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ アーチ形状や壁石面の形状に変化がある場合は、防護柵（高欄）や路面、背面地盤にも変状が見られることが多く、壁石の崩落や中詰材の流出に進展する恐れがあり、構造安全性に影響を与える場合がある。全体外観確認で変状が確認された場合は、各部材の相関について状態の把握を行う必要がある。 <p>iii) 記録事項のポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ アーチや壁石面などの橋梁の全体的な変状の確認を行い、アーチや壁石面などの経年的な変状を把握するために、形状確認図や橋梁全体の写真を記録に残すことが望ましい。 <p>iv) 技術的な評価にあたっての留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 全体外観確認での情報を踏まえた上で各部材の変状等が進行する可能性を検討し、技術的な評価を行う必要がある。 		

付録 1. 石材の種類と使用事例

石造アーチ橋に使用される石材は、採取される地域によって様々である。石造アーチ橋に使用される代表的な石材は、花崗岩、安山岩、溶結凝灰岩、砂岩である。また、石材の名称も採取される地域によって異なることがある。

九州の石造アーチ橋において、石材の種類による変状の相違は大きくみられていないが、砂岩については、厚さ数ミリ程度で板状に剥離したり、表面に小穴が密集したりしてハニカム状の風化が発生する事例があり、石材の劣化に伴って構造安全性に影響を及ぼす恐れがあるため注意が必要である。石材の種類と使用事例を付表-1.1 に示す。

なお、石材表面は長期の使用により、草木や苔等で視認しにくくなっている場合もあるため、石材表面の水洗い等を行った上で確認する。

付表-1.1 石材の種類と使用事例^{1) 2)}

項目	概要・特徴	九州内における石材使用の事例	
花崗岩	<ul style="list-style-type: none"> ・マグマが地下深くでゆっくり冷えて固まったもの。 ・みかげ石ともいう。 ・肉眼で見えるサイズの白っぽい鉱物と黒っぽい鉱物からなる。 ・花崗岩は全体的に白っぽい岩石である。 ・全体的に均質であり、ムラが少ない。 	<p>九州内における石材使用の事例</p> <p>眼鏡橋(秋月眼鏡橋) [福岡県朝倉市]</p> 	
安山岩	<ul style="list-style-type: none"> ・マグマが地表に噴出してできる火山岩である。 ・やや粘り気が大きく、ガスが抜けにくい。 ・色は灰色が基本だが、赤色を帯びることもある。 ・気泡の穴が空いていることが多い。 	<p>眼鏡橋 [長崎県長崎市]</p> 	<p>倉渚橋 [長崎県佐世保市]</p> 
溶結凝灰岩	<ul style="list-style-type: none"> ・火砕流によってできる凝灰岩が、まだ高温のうちに堆積することで構成粒子が熱によって癒着したり、大量の噴出物のため圧密を受け、硬くしまったもの。 ・色は淡灰色、淡紫色、淡赤色等がある。 ・大粒の軽石が押しつぶされてレンズ状を示すことが多く、その軽石が黒曜岩となっている場合がある。 	<p>轟橋 [大分県豊後大野市]</p> 	<p>霊台橋 [熊本県美里町]</p> 
砂岩	<ul style="list-style-type: none"> ・砕屑岩のうち、粒子が1/16mm以上2mm以下のものが、浅い海底または深い海底で固まったもの。 ・色は白色～灰色で、酸化鉄により黄色や褐色の場合もある。 ・肉眼で粒が密集していることが認識できる位の粒子サイズ。 ・細粒で粒のそろった細粒砂岩、粗粒で粒のそろっていない粗粒砂岩がある。 ・砂岩の一部には、厚さ数ミリ程度で板状に剥離したり、表面に小穴が密集したりしてハニカム状の風化が発生している事例もあるため留意が必要である。 	<p>八反田橋 [宮崎県串間市]</p> 	<p>志安橋 [熊本県天草市]</p>  <p>(剥離、ハニカム状風化の例)</p> 

[参考文献]

- 1) 芝原暁彦：薄片でよくわかる岩石図鑑，誠文堂新光社，p52，p62，p72，2014. 3
- 2) 高橋直樹・大木淳一：石ころ博士入門，全国農村教育協会，pp38-39，pp52-53，pp74-75，pp92-93，2015. 4

付録 2. デジタル計測による状態の把握の活用検討資料

目 次

	Page
1. デジタル計測の総則 -----	51
1-1. 本資料の目的 -----	51
1-2. 用語の定義 -----	52
1-3. デジタル計測の概要 -----	53
1-4. デジタル計測の特徴 -----	56
1-5. 主な参考資料 -----	59
2. デジタル計測の選定および留意点 -----	60
2-1. デジタル計測の選定の考え方 -----	60
2-2. デジタル計測の留意点 -----	61
参考資料 デジタル計測技術の活用に関する実験的検討の結果 -----	67

1. デジタル計測の総則

1-1 本資料の目的

本資料は、本編の「4. 状態の把握における留意点」及び「6. 記録様式の手引き」に記載されている内容などにおいて、デジタル計測の活用を検討を実施するにあたり必要な事項についてとりまとめたものである。

石造アーチ橋の全体形状の変化を捉えるための計測は、計測目的ごとに手法を選定する必要がある。また、デジタル計測の技術開発は日進月歩で進んでいるため、これらの技術動向を確認しながら、本資料の趣旨を踏まえ、その採用について検討することが重要である。なお、本資料は点検の効率化などに資することを期待するものであるため、各道路管理者において、効率的かつ効果的な定期点検を行うにあたり、デジタル計測の活用を検討する場合は、本資料を参考にするとよい。

1-2 用語の定義

本検討資料における用語は、下記のとおり定義する。

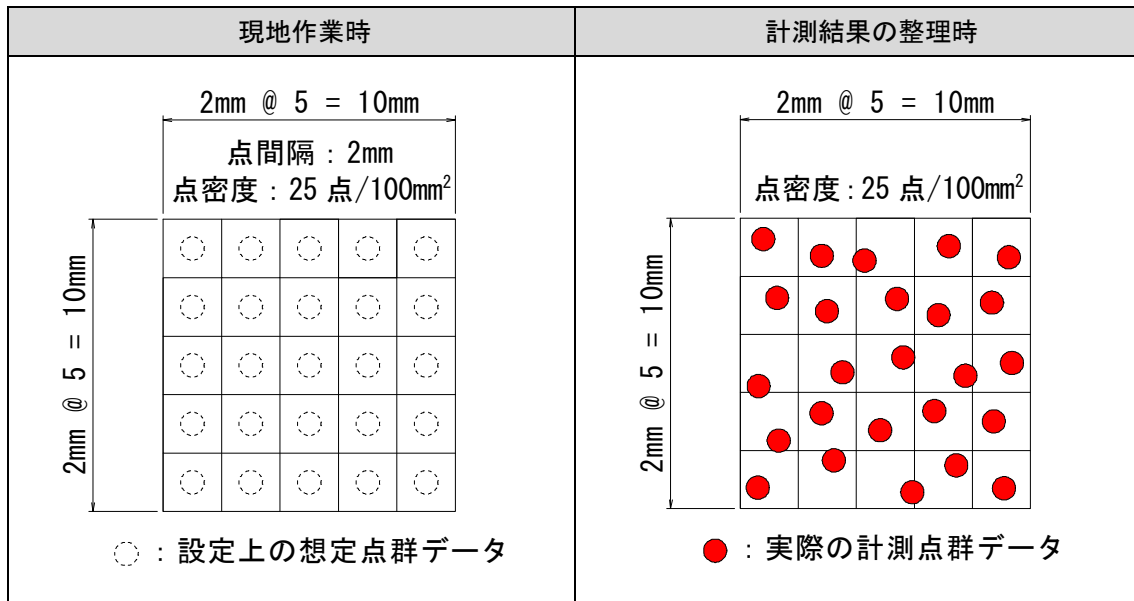
名称	内容
トータルステーション	測量用ミラーをセンサーで捉えて自動的に正確な角度と距離を計測する機械、基準点（水準点）測量を行うことができる機械
デジタル計測	三次元計測と画像計測の総称
三次元計測	レーザスキャナを用いた三次元点群データを取得する計測
画像計測	デジタルカメラを用いた画像による計測
レーザスキャナ	レーザ光を照射し対象物の点群データを取得する機器
モバイル端末	携帯端末などの汎用の電子デバイスで容易に可搬できるもの (計測に利用するセンサーは、モバイル端末に搭載されている LiDAR スキャナーやカメラの他、モバイル端末に携帯可能なセンサーを組み合わせたものを含むものとする)
デジタル計測 (モバイル端末)	モバイル端末を用いて、点群データや画像データを取得し、全体形状や変状を把握する技術
三次元計測 (モバイル端末)	モバイル端末を用いた三次元点群データを取得する計測
画像計測 (モバイル端末)	モバイル端末を用いた画像による計測
点群データ	レーザスキャナによって得られた三次元座標を持った点の集合体のデジタルデータ
オルソ画像	撮影写真を正射投影し、傾きや歪みのない画像に変換したもの
SfM 解析 (Structure from Motion)	撮影した複数枚の画像から撮影位置を推定し、対象物を三次元モデル化する技術（低密度の点群データを生成）
MVS 解析 (Multi View Stereo)	SfM 解析の後に、高密度の点群データを生成し、撮影した画像を基に、写真サーフェスモデルを作成する技術
三次元形状モデル	点群データで三次元形状を表したモデル（三次元サーフェスモデルを生成する前の段階）
三次元サーフェスモデル	点群データの座標を頂点とする三角形ポリゴンの集合体として表現したモデル
写真サーフェスモデル	SfM/MVS 解析によって生成された点群データの座標を頂点とする三角形ポリゴンの集合体として表現したモデルに、撮影した画像をマッピングしたサーフェスモデル
標定点	デジタル計測の合成、座標変換を行う際に水平位置と標高、方向を与えるための基準となる点
観測点	定点観測によって形状変化を確認するための観測点
点間隔※	単位面積あたりの点群データの点と点を等間隔とした際の点間隔（格子間隔ともいう）
点密度※	点群データにおける単位面積あたりの点の数
オーバーラップ率	SfM/MVS 解析の際に必要な画像間の重なる面積の割合
ビューア	デジタル計測結果を基に作成した三次元形状モデル、あるいは、写真サーフェスモデルの位置関係についての認識を支援するアプリケーション

【用語の解説】

※点間隔、点密度

三次元計測の計測条件の設定時に必要な事項で、点間隔とは、点群データの点と点を等間隔とした際の点間隔であり、点密度とは点群データにおける単位面積あたりの点の数を示すものである（表 1-2.1）。

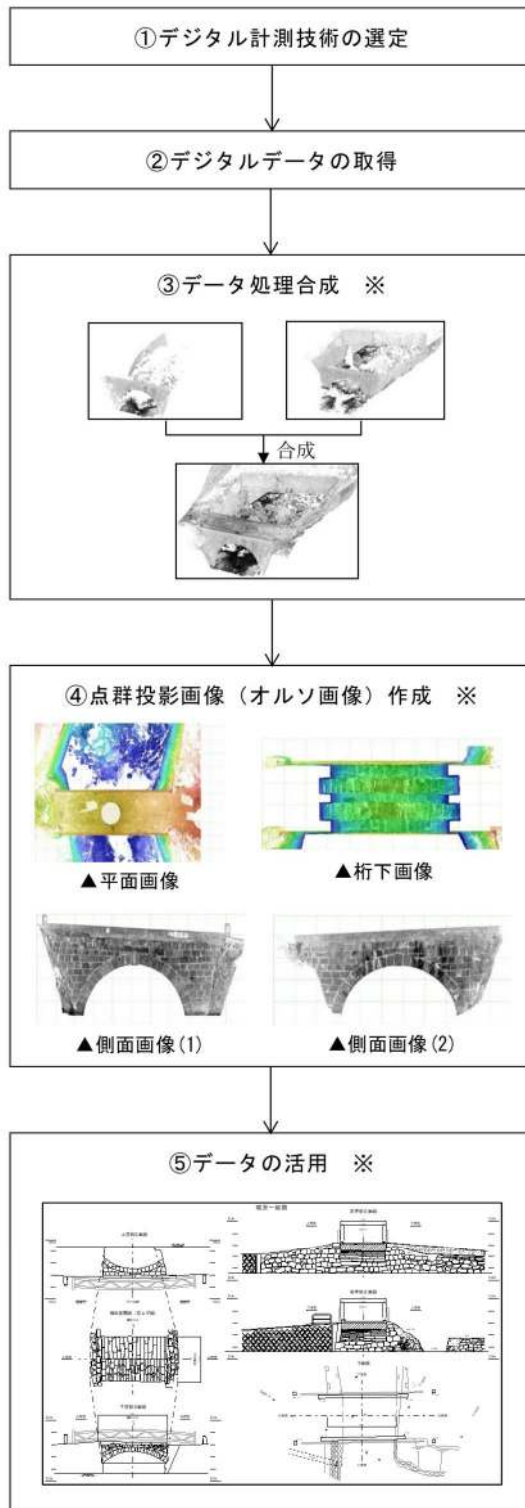
表 1-2.1 点間隔と点密度（概念図）



1-3 デジタル計測の概要

道路橋石橋（石造アーチ橋）は、メジャー・コンベックス等による計測やトータルステーションによる計測では、限定した箇所の計測となることが一般的に考えられるが、デジタル計測では、三次元データとして面的に全体を計測できるため、全体形状の把握の観点から有効である。特に、大きな石造アーチ橋やアーチ、壁石面の形状変化が複数確認されるなど、措置として経年的な全体形状の監視を行う場合や、加えて記録の質の向上と作業の省力化の観点からデジタル計測を活用することにメリットがあり、従来の計測手法に比べて作業が省力化され、効率的かつ効果的な定期点検が行われることが期待される。

デジタル計測の活用の一般的な流れは、図 1-3.1 のとおりである。



各計測データの合成により、左図のような個別の点群データから計測対象全体の点群データを取得して合成する。

点群データを水平・垂直面に投影し、平面図及び側面図を作成する。なお、不要な地面等の点群が投影されないよう高さを設定し、点群を統制する。

データの活用は、差分解析結果のカラーマップ図作成や断面図の作成が可能である。また、④で作成した画像をトレースし、橋長や幅員等の諸元を記載して図面を作成する。

図 1-3.1 デジタル計測の活用の一般的な流れ

デジタル計測の選定にあたっては、使用する機器や三次元データ等の取得手法、並びに最終的なデータの活用方法を検討する必要がある。

使用する機器では、大きく2つに分けられる。

①デジタル計測：公共測量で使用される機器や高画質のデジタルカメラを活用する場合

②モバイル端末によるデジタル計測：スマートフォン等のモバイル端末を活用する場合

一般的にはデジタル計測は高い精度でのデータ取得が可能であるが、経済性には劣る現状がある。一方、モバイル端末によるデジタル計測は手軽で安価に計測が可能であるが、データの精度はデジタル計測に比較して低い場合もある。

また、デジタル計測は三次元データの取得手法により、大きく2つに分けられる。

①無数のレーザを照射し、三次元座標を直接取得する方法

②デジタルカメラで撮影し、解析により三次元座標等を取得する方法

データの活用について、初期値として取得する場合や形状変化を定性的に把握する場合、橋梁一般図を作成する場合等がある。なお、オルソ画像化を図ることにより、ゆがみを補正して座標を有したデータとなるため、石の開き等の変位量等を定量的に把握して、記録することが可能である。

デジタル計測の採用に際しては、「2. デジタル計測の選定及び留意点」を参考に技術を採用するのがよい。



写真 1-3.1 オルソ画像

歪みを補正して座標を取得したデータとなるため、石の開き具合等の変状を定量的に記録することが可能



写真 1-3.2 デジタルカメラによる画像

歪みを補正していないため、石の開き具合等の変状を定量的に記録することは不可能

※

※出典 宇城市教育委員会提供：教育第 B-4 号 鴨籠橋修復整備測量設計業務委託 調査結果報告書
三次元測量及び画像データ, 2018. 3

1-4. デジタル計測の特徴

デジタル計測の選定に際しては、現況の形状変化や変状の状態や三次元データの取得状況を踏まえ、1-3 デジタル計測の概要に示すように、三次元計測と画像計測の形状変化や変状の把握の適用性及びモバイル端末の適用性から判断することとなる。

これらのデジタル計測にはそれぞれの特徴があることから、各技術の特徴と留意点（経済性、有効性、効率性）を踏まえ、また対象となる石造アーチ橋の条件（架橋条件、橋梁規模、形状変化の有無、変状の状態等）にあった計測方法を選定することが重要である。

1-4-1 デジタル計測の特徴

表 1-4.1 にデジタル計測の種別を、表 1-4.2 に三次元計測と画像計測の特徴を示す。

表 1-4.1 デジタル計測の種別

	計測手法	計測機器
デジタル計測	三次元計測	レーザスキャナ
		モバイル端末
	画像計測	デジタルカメラ
		モバイル端末

表 1-4.2 三次元計測と画像計測の特徴

計測機器	三次元計測	画像計測
現地計測で取得するデータ	・点群データ（XYZ 座標、受光強度、RGB 情報）	・デジタルカメラで撮影した画像データ
点群データの処理	・計測した点群データを持ち帰り、別途点群データの合成作業を行うことで三次元データの生成が可能	・SfM/MVS 解析によって画像データから点群データを生成するため、解析結果の確認およびスケール調整のため、基準点測量が別途必要
三次元モデルの特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・点群データを基に三次元サーフェスモデルの生成が可能 ・公共座標の設定には、別途基準点測量、水準点測量が必要 ・モバイルで利用できる製品の中には、公共座標を得られるものもある 	<ul style="list-style-type: none"> ・SfM/MVS 解析により点群データから構成される三次元形状モデルの生成が可能 ・SfM/MVS 解析による写真サーフェスモデルの生成が可能 ・公共座標の設定には、別途基準点測量、水準点測量が必要 ・モバイルで利用できる製品の中には、公共座標を得られるものもある

1-4-2 三次元計測の特徴

三次元計測における特徴を以下に示す。

- ① 三次元計測では、レーザスキャナを用いて自動的に道路橋石橋（石造アーチ橋）の全体の点群データを取得することが可能である。しかし、アーチ、壁石面の形状確認は、取得した点群データのデータ処理（ノイズ処理、合成等）が必要となるため、現地作業時に確認することは難しい。なお、使用するレーザスキャナによっては、クラウド利用やタブレット端末等を用いて計測結果を現地で確認できるものもある。一方、モバイル端末による計測は、スキャン終了後、アプリ上に取得した三次元データのプレビューが表示されるため、計測結果を現地で確認することができる。
- ② 取得した点群データの処理後、点群データから構成される三次元形状モデルによって、PCの画面上、あるいは、キャプチャ画像で道路橋石橋（石造アーチ橋）のアーチ、壁石面の形状を把握することができる（図 1-4.1）。また、三次元形状モデルを構成するファイルセットを作成し、ビューアを使用することで、誰でも閲覧及び操作が可能で、画面上で長さの計測も可能となる。



図 1-4.1 三次元形状モデルによる
アーチ状変化の確認（キャプチャ画像）

1-4-3 三次元計測のデータ活用に関する特徴

三次元計測により取得した点群データを用いた差分解析（カラーマップの作成）によって、PCの画面上あるいはキャプチャ画像でアーチ、壁石面の形状変化の確認が可能である（図 1-4.2）。

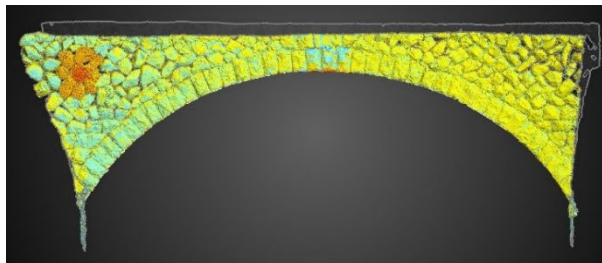


図 1-4.2 差分解析による
壁石面の形状変化の確認（キャプチャ画像）

1-4-4 画像計測の特徴

画像計測における特徴を以下に示す。

- ① 画像計測では、アーチ、壁石面の形状確認は、画像計測後、SfM/MVS 解析により写真サーフェスモデルの作成が必要となるため、現地作業時に確認することはできない。
- ② 一方、モバイル端末による計測は、計測終了後、ソフトウェアがデータを処理し、自動的に三次元モデルを作成するため、計測結果を現地で確認することができる。
- ③ 画像計測後、写真サーフェスモデルを作成することで、PC の画面上、あるいは、キャプチャ画像で道路橋石橋（石造アーチ橋）のアーチ、壁石面の形状を把握することができる。また、写真サーフェスモデルを構成するファイルセットを作成し、ビューアを使用することで、誰でも閲覧及び操作が可能で、画面上で長さの計測も可能となる（図 1-4.3）。



図 1-4.3 写真サーフェスモデルによるアーチ形状変化の確認（キャプチャ画像）

1-4-5 画像計測のデータ活用に関する特徴

画像計測後、写真サーフェスモデルを用いた差分解析（カラーマップの作成）によって、PC の画面上、あるいはキャプチャ画像でアーチ、壁石面の形状変化の確認が可能である（図 1-4.4）。

写真サーフェスモデルを作成することで、必要に応じてオルソ画像を出力することが可能である（図 1-4.5）。

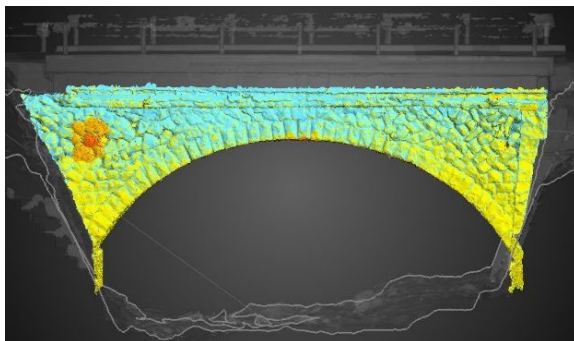


図 1-4.4 差分解析による壁石面の形状変化の確認（キャプチャ画像）



図 1-4.5 オルソ画像の出力

1-5 主な参考資料

本要領に記載の無い事項については、以下の資料を参考にするとよい。

- ・ レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）（H30.3）国土交通省 国土地理院
- ・ 点検支援技術（画像計測技術）を用いた 三次元成果品納品マニュアル【橋梁編】（案）（R3.3）国土交通省
- ・ 橋梁三次元モデルの構築（検証事例）（R3.3）国立研究開発法人 土木研究所
- ・ BIM/CIM 活用ガイドライン（案）共通編（R2.3）国土交通省
- ・ 土木設計業務等の電子納品要領（R4.3）国土交通省
- ・ 3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）（R6.3）国土交通省

2. デジタル計測の選定及び留意点

2-1. デジタル計測の選定の考え方

デジタル計測には、三次元計測、画像計測といった方法がある。各技術の特徴や留意点を表 2-1.1 に示す。デジタル計測は、全体形状と変状の状態把握を行う際に、記録の質の向上と作業の省力化が期待できる有効な手段の1つと考えられ、計測結果は、技術的評価を行う際の重要な情報となる。定期点検における健全性の診断の根拠となる状態の把握は、近接目視により行うことが基本であるが、デジタル計測は全体形状と変状の状態把握にあたり、記録の質の向上や作業の省力化が期待できるものである。各技術の特徴を踏まえた活用検討を行う必要がある。

表 2-1.1 デジタル計測の特徴及び留意点

計測の手法	デジタル計測		従来技術
	三次元計測	画像計測	
	レーザスキャナによる計測	デジタルカメラで撮影した画像による計測	トータルステーションによる計測
使用する計測機器	公共測量作業規定準拠機器	デジタルカメラ	公共測量作業規定準拠機器
機器の性能から決まる計測可能範囲（一般値）	200m 程度	カメラ性能による	500m 程度
得られるデータの種類の	複数の点の三次元座標値等（座標値を直接取得できる）	画像から SfM/MVS 解析による複数の点の三次元座標値等	1 地点ずつの点の三次元座標値
得られるデータの特徴	短時間で高密度広範囲の点群（形状）が取得できるが、後処理（加工作業）が必要	現地で取得したデータの妥当性の確認が困難	単独の座標であるため、後処理は不要
得られるデータの品質に関する留意点	レーザを用いて点群を取得するが、レーザの跳ね返りを取得するため架橋位置や計測環境※に左右されやすい	画像データを処理して点群を取得するが、画像の明るさ等も処理に影響するため、架橋位置や計測環境※に左右されやすい	座標を取得するのみであるため、架橋位置や計測環境※の影響は受けにくい
現場条件の留意点	計測対象を見通せること 機器の設置場所（水平スペース）が確保できること	計測対象全体を多面的に見通せる視点場が確保できること	計測対象を見通せること 機器の設置場所（水平スペース）が確保できること

※計測環境：日照や降雨、湿度や温度など

2-2. デジタル計測の留意点

2-2-1 デジタル計測の留意点

デジタル計測による三次元データの取得に際しては、図 2-2.1 に示す手順となる。
これを踏まえ、デジタル計測の共通の留意点を以下に示す。

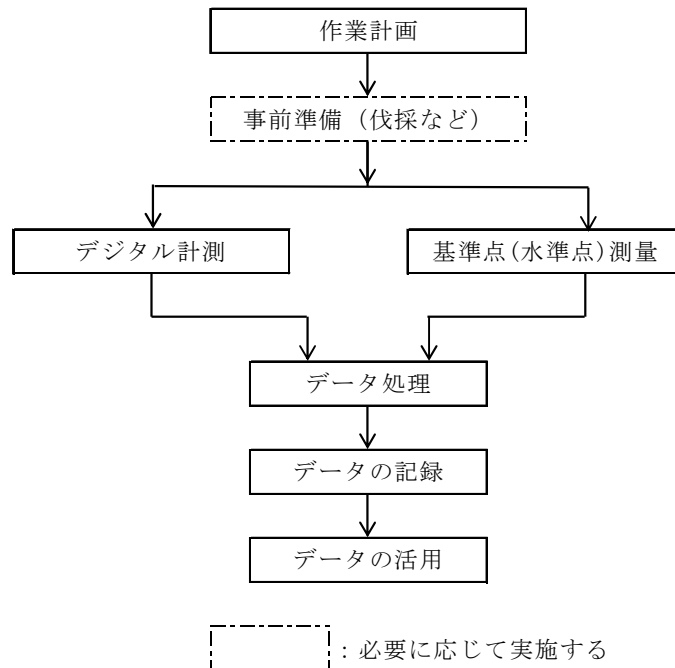


図 2-2.1 デジタル計測の作業フロー

- ① 計測計画の立案にあたり、道路橋石橋（石造アーチ橋）周辺の現地踏査を行い、架橋条件の確認や機器設置予定場所や移動導線の確認を行う。また、対象橋梁の基礎部分が生水中に位置している場合や漏水・滞水があるような場所では、デジタル計測によるデータの取得ができない可能性があるため、近接目視にて変状を把握し、そのような箇所は実施方法を分ける等の計画が必要である。さらに、橋梁点検車等を使用する場合もあるため、交通規制の必要性やその場合の迂回路の設定も併せて検討しておく必要がある。
- ② デジタル計測結果は、同一機器・同一条件でも計測誤差を含むため、その結果だけを見て精度の良否を判断せずに、事前に計測誤差の発生要因を把握しておく必要がある。
- ③ 橋梁本体に植生や樹木あるいは藻類の繁茂がある場合、有効なデータ取得ができないため、これらを撤去する必要がある。また、添架物がある場合は、部材の不可視部分となる箇所が生じ、データの取得ができないので、添架物の位置や規模を事前に把握しておく必要がある。
- ④ モバイル端末を使用する場合には、GNSS 機器と連動させることで基準点測量を省略することもできるが、山間部等 GNSS が取得困難な場合があることに留意すること。
- ⑤ 一般的なソフトウェアで閲覧可能なファイルを納品することを標準とし、それ以外のビューア等は閲覧手段を合わせて納品することが望ましい。
- ⑥ 点群データの合成、座標変換を行う際に水平位置、標高、方向を与えるための基準として現地計測時に標定点を設ける必要がある。

2-2-2 三次元計測の留意点

三次元計測における留意点を以下に示す。

- ① 三次元計測は、水中部、漏水による湿潤の状態、降雨、霧、雪、土埃等が見られる場合、反射、屈折、吸収等によって反射光量が少なくなるため、点群データの計測ができない場合がある（図 2-2.2）。また、計測後のデータ処理において合成した3次元データを取り扱う際に、橋体側面側から点群を見ると手前側壁の点データか奥側壁の点データかの判別が出来ない場合がある。表示視点位置を前後壁が重ならない位置に変更したり、不要なデータを非表示にするなどの対応が必要となる。（図 2-2.3）。

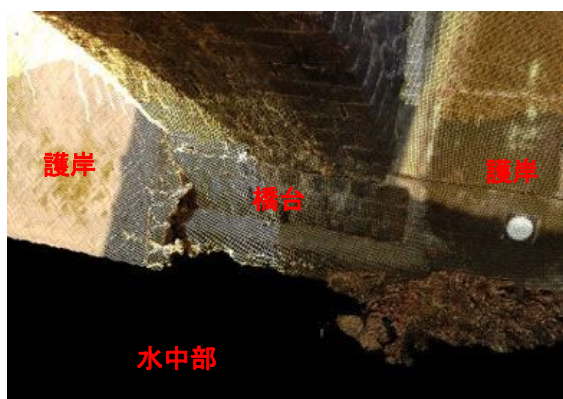


図 2-2.2 点群データ（水中）の取得の可否



図 2-2.3 点群データの拡大（背面投影）

- ② 本資料では、地上から三次元計測を行う方法を想定しているが、三脚の設置ができない箇所や水流による振動を受ける箇所など架橋条件により、レーザスキャナでの計測が困難な場合等においては他の計測方法の検討が必要となる。
- ③ 点群データを取得するにあたり、使用するレーザスキャナ機器の種類によるが、予め点群データの点間隔、計測角度（レーザ入射角）、分解能と対象物までの距離、品質等を設定して計測する機器があり、例えば点間隔を設定して現地計測を行う場合は、理論上、均等な点間隔内に1点を取得し管理することとなる。しかし、実際には道路橋石橋（石造アーチ橋）からレーザスキャナまでの計測距離、計測角度、スキャン数等の条件により、計測した点群データはばらつき、点群データを等間隔には取得できない箇所が生じる。このため、現地計測時と計測結果の整理時で、管理する条件（点間隔、点密度）を適切に設定する必要がある。
- ④ 計測距離が遠くなることで、点間隔が広くなり、点密度が低下し誤差が生じる（図 2-2.4）。そのため、計測距離が遠くならないように、スキャン回数を増やしたり、レーザ入射角が正射に近い場所に設置したりするなど、誤差を最小限にする必要がある。
- ⑤ レーザ入射角が狭角となる場合は、例えば左岸側、右岸側の両側から計測するなど、入射角を改善する工夫を行うことが望ましい。
- ⑥ レーザ入射角が小さくなると、レーザ照射面が楕円形に広がって、誤差が生じる（図 2-2.5）。
- ⑦ モバイル端末による計測は、レーザスキャナを用いたデジタル計測と比べ、計測距離に制限があり、橋梁規模の影響を受ける。全体形状を把握するなどの計測目的や、橋梁規模に応じて機器を使い分けるとよい。

- ⑧ モバイル端末の場合、手に持って移動しながら計測する場合と、三脚に固定して計測する場合があり、手に持って計測する場合には、ぶれないように留意する必要がある。
- ⑨ 点群データ処理、差分解析、オルソ画像の出力等を行うためには、専用のソフトウェアが必要となる。使用するソフトウェアによって、点群データ処理の方法、差分解析の方法、オルソ画像の出力の可否等に違いがあるため、各ソフトウェアの特徴を確認した上で使用するソフトウェアを選定する必要がある。

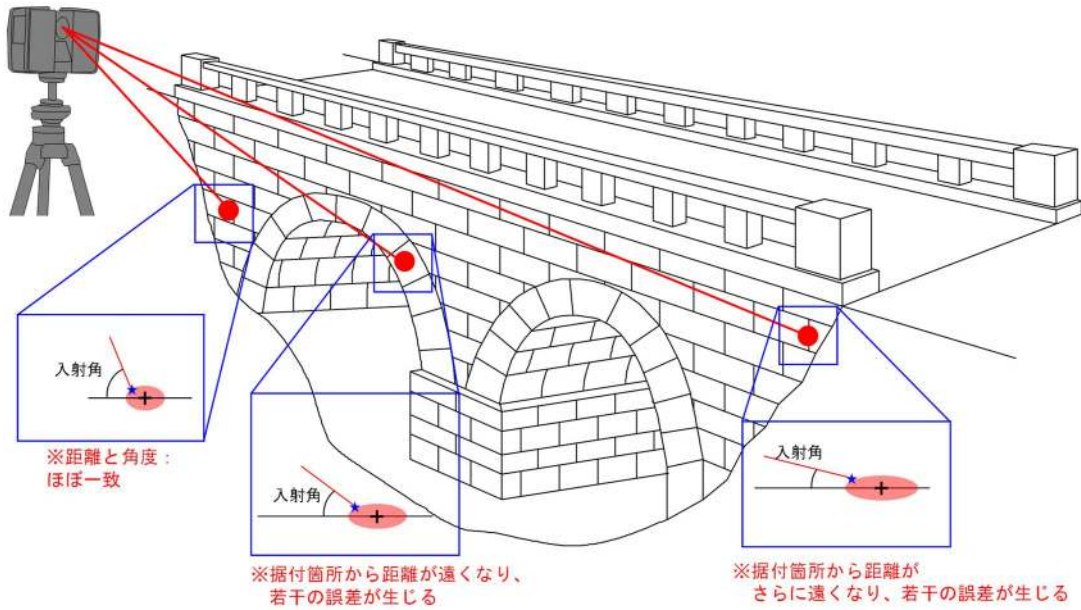


図 2-2.4 据付け箇所からの距離が点間隔（点密度）に与える影響

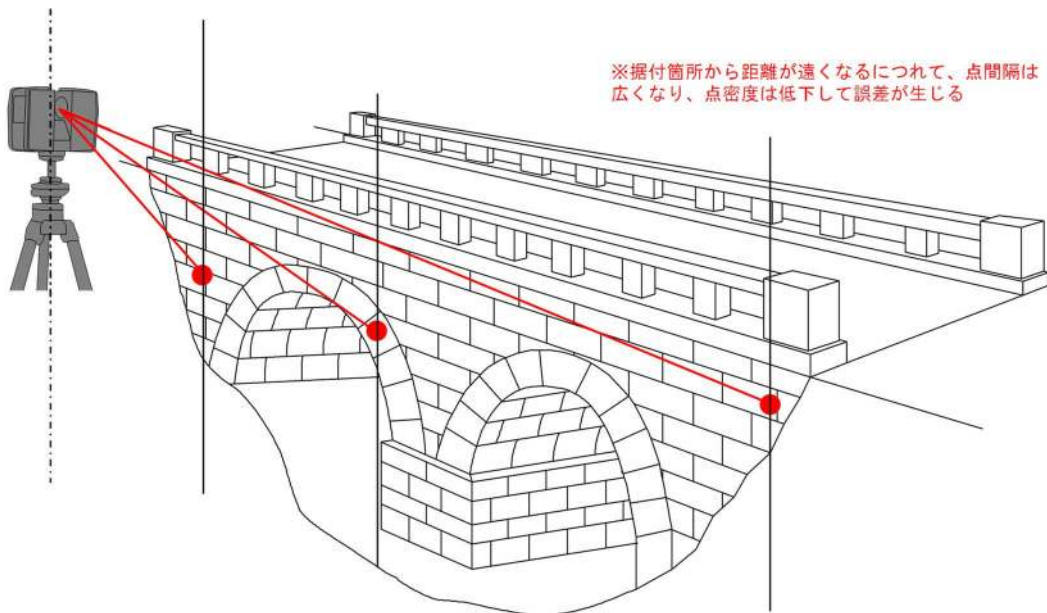


図 2-2.5 入射角の違いによる影響

2-2-3 画像計測の留意点

画像計測の留意点を以下に示す。

- ① 写真サーフェスモデルは、オーバーラップ率に依存するため、撮影写真の角度、方向、枚数が影響し、例えばガードレール等の湾曲している部材は、オーバーラップ率が不足し再現できない場合がある(図 2-2.6)。また、水中部における写真サーフェスモデルは、計測できない(図 2-2.7)。



図 2-2.6 オーバーラップ率の不足



図 2-2.7 画像データ(水中)の取得の可否

- ② 画像計測は石造アーチに対して極力正対して計測するのがよく、移動しながら計測する際は、適正なオーバーラップ率が確保できるように留意する必要がある。
- ③ 本資料では、地上からデジタルカメラにより画像データを取得する方法を想定しているが、作業員の立ち入りができない箇所や、流速が早い河川、水深が深い河川など架橋条件により、地上からの写真撮影が困難な場合や橋梁規模が大きく地上からの写真撮影が合理的でない場合においては、別の方法の検討が必要となる。
- ④ 点群データ処理、SfM/MVS 解析、差分解析、オルソ画像の出力等を行うためには、専用のソフトウェアが必要となる。使用するソフトウェアによって、点群データ処理の方法、SfM/MVS 解析の方法、差分解析の方法、オルソ画像の出力の可否等に違いがあるため、各ソフトウェアの特徴を確認した上で使用するソフトウェアを選定する必要がある。
- ⑤ 高さのある箇所を撮影する際、ポールの先端にデジタルカメラを設置して撮影すると、撮影した画像を確認することができず、所定のオーバーラップ率が満足できていない可能性がある。その場合には、連携させたタブレット等でアングル確認しながら画像を取得し、オーバーラップ率が確認可能となるよう工夫することが望ましい。

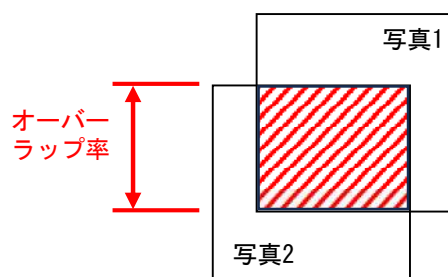


図 2-2.8 オーバーラップ率(模式図)

2-2-4 点群データの活用に関する留意点

デジタル計測を用いて、道路橋石橋（石造アーチ橋）のアーチ、壁石面の形状変化を確認するには、三次元計測で取得した点群データによって生成した点群データを活用できる。しかしながら、**図 2-2.9** に示すように、三次元計測で得られる点群データは、測定及び解析毎に必ずしも同じ箇所のデータを得ることができないため、点群データ同士を差分解析（比較）することはできないことに留意が必要である。

上記を踏まえ、点群データを使用して、アーチ、壁石面の形状の変化を確認する方法として、以下の2つの方法がある。

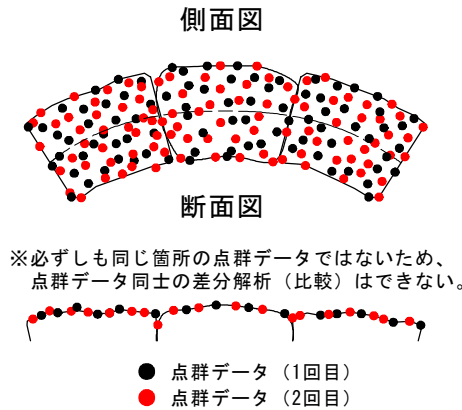
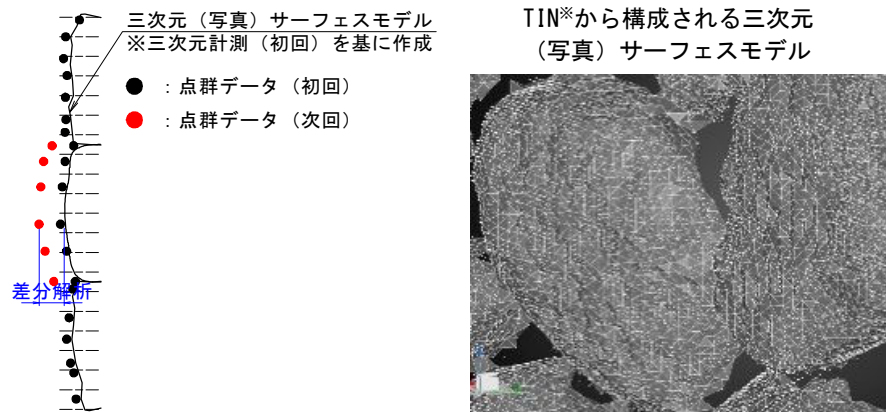


図 2-2.9 点群データ同士の差分解析（模式図）

- 方法① : 初回計測時に取得した点群データから基準となる三次元サーフェスモデルを作成し、次回計測時に取得した点群データと初回計測時に作成したサーフェスとの差分解析を行い、アーチ、壁石面の形状変化を確認する（**図 2-2.10**）。

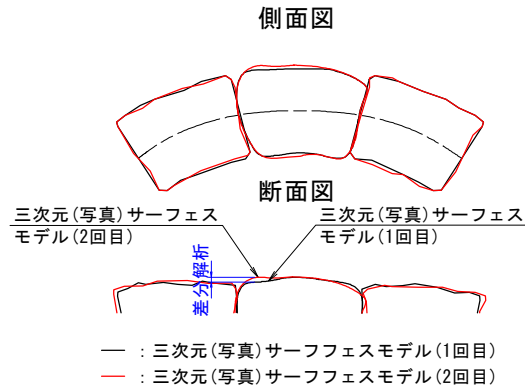


※三次元（写真）サーフェスモデルの生成時に誤差が生じる。

図 2-2.10 三次元サーフェスモデルと点群データの誤差（模式図）

※TIN (Triangulated Irregular Network : 不整形三角形網) : 点群データを頂点とした三角形の集合体で面を表現した三次元モデルデータ

方法② : 初回計測時に取得した点群データから基準となる三次元サーフェスモデルを作成し、次回計測時に取得した点群データより作成したサーフェスとの差分解析を行い、アーチ壁石面の形状変化を確認する (図 2-2.11)。



※三次元(写真)サーフェスモデルの生成時に誤差が生じる。

図 2-2.11 三次元(写真)サーフェスモデル同士の差分解析(模式図)

なお、道路橋石橋(石造アーチ橋)を構成する石材は凹凸があり、同じ石橋を複数回計測すれば、若干形状の異なる複数のサーフェスモデルが作成されることになる。また、基準となるサーフェスモデルを作成する過程で、画像計測では、SfM/MVS 解析により生成した高密度点群データの処理時(ノイズ処理時(フィルタリング)、写真サーフェスモデルの生成時)にサーフェス形状に差が生じる。これは、パソコンのスペック(処理能力)、ソフトウェアの特性、サーフェスモデル作成時の点群データの間引き方等により生じるものである。このように、サーフェスモデルは多少の誤差を持つデータであることを理解した上で利用する必要がある。

参考資料. デジタル計測技術の活用に関する実験的検討の結果

目 次

	Page
1. 位置づけと活用上の留意点 -----	68
2. デジタル計測の概要と特徴 -----	68
3. 実験の必要性と検討内容 -----	68
4. 実験対象橋梁と対象技術の選定 -----	69
4-1. モデル橋梁の選定 -----	69
4-2. 使用機器 -----	69
4-3. 実験内容 -----	69
4-4. 実験時の状況 -----	71
5. 実験内容と結果 -----	73
5-1. 実験 1：計測条件ごとの座標を計測する精度の確認 -----	73
5-2. 実験 2：モバイル端末ごとの座標を計測する精度の確認 -----	77
5-3. 実験 3：サーフェスモデルと点群による相対座標を計測する精度の確認 -----	79
5-4. 実験 4：機器ごとに取得したデータの定性的な見え方の確認 -----	83
6. 実験結果のまとめ -----	96
7. 総括 -----	98

1. 位置づけと活用上の留意点

本資料は、石造アーチ橋をデジタル計測技術の活用により、状態把握の検討を行う場合の参考資料である。デジタル計測技術を活用すると、アーチや壁石面等の形状の変化を三次元的に捉えることが可能である。また、形状変化に起因している可能性がある変状をデジタルデータで取得することにより、記録の省力化にもつながるものである。

本資料では、橋梁規模の違いや公共測量で使用する機器からスマートフォンのように手軽に活用できる機器までを対象に、デジタル計測技術の活用性について実験的検討を実施した。

一方、デジタル計測技術には多種多様の技術が開発されている。どのような技術を選定するかは、データ取得時の石造アーチ橋の条件（橋梁規模、架橋条件、変状状況、使用条件等）や計測解析条件（データ数やデータ取得角度、取得日時等）により変わるので、それぞれの条件を考慮して検討しなければならない。

2. デジタル計測の概要と特徴

デジタル計測技術は、使用機器と三次元データの取得方法により下記のように大別される。

- a) 公共測量で使用するレーザスキャナで直接的に三次元座標等を取得する方法
- b) デジタルカメラの画像から三次元座標等を解析的に取得する方法
- c) スマートフォン等のモバイル端末を用いて直接的に三次元座標等を取得する方法
- d) モバイル端末にデバイスを装着して直接的に三次元座標等を取得する方法
- e) モバイル端末にデバイスを装着して画像から三次元座標等を解析的に取得する方法

計測技術の選定に際しては、これらの各技術の特徴と石造アーチ橋で把握すべき状態を捉えて選定することが重要である。また、使用機器はあくまで検討時点に抽出しており、技術は日進月歩で進んでいるため、使用する際は目的に合致した機器を選定することが重要である。

3. 実験の必要性和検討内容

石造アーチ橋の状態を把握する上で、アーチ・壁石面・基礎等に構造安全性に影響を及ぼすような変状（本編「4. 状態の把握における留意点（2）石造アーチ橋の状態の把握のポイント」参照）が生じていないかを的確に捉えることが重要である。デジタル計測を用いて、これらの変状を精度良く捉えることができれば、記録作業の省力化が図れるものである。

デジタル計測技術のうち、a) 公共測量で使用する機器や b) デジタルカメラによる計測は、精度が高いが経済性に劣り、点群密度やデータのラップ率等の計測条件により、取得・解析に時間や費用の増加に繋がるため、必要な精度が確保できる計測条件（**実験 1**）について検討した。

また、c)～e) モバイル端末によるデジタル計測は、比較的経済的であるが精度が低い傾向にあり、計測結果にバラツキがあるなどの課題がある。構造安全性に関わる形状の変化や変状の把握について、必要な精度が確保できるかの検証を目的として実験を実施した（**実験 2～4**）。なお、計測結果の妥当性を確認するためにトータルステーション（以下：TS）を用いた測量結果との対比を実施している。なお、本資料に示している各種の検証結果は、検証を実施した石造アーチ橋の現場条件、実施時の気象条件等、一定の条件下での検証結果であり、すべての石造アーチ橋に対して再現性のある検証結果ではないことに留意が必要である。

4. 実験対象橋梁と対象技術の選定

4-1. モデル橋梁の選定

実験対象橋梁は、モバイル端末計測の適用性（橋梁規模による計測精度の違い）を検証するため、九州内の道路橋石橋（石造アーチ橋：686 橋）の中から、以下の橋梁を選定した。

表-1 対象橋梁諸元

モデル橋梁①	橋梁規模	橋長 13.6m / 幅員 7.4m / 桁下高 4.4m / 1 径間
	形状変化	アーチ形状のずれ、石積の沈下
	変状状況	石材のずれ・欠損・抜け落ち、壁石のふくらみ、洗掘等
モデル橋梁②	橋梁規模	橋長 25.0m / 幅員 7.0m / 桁下高 9.0m / 1 径間
	形状変化	なし
	変状状況	石材のひびわれ・剥離、路面の凹凸

4-2. 使用機器

使用機器は、以下に示す通りである。なお、表中の a)～e) は「2. デジタル計測の概要と特徴」と対応している。また、下記の計測結果の精度を検証するために TS を用いた基準点測量も併せて実施し、これを正として精度の検証を行う。使用機器は石造アーチ橋の形状把握が可能であることを前提に、実績・汎用性等を考慮して選定した。

表-2 使用計測機器諸元

使用機器	
a)	レーザスキャナ(距離精度:標準±2mm)
b)	デジタルカメラ(有効画素数 1600 万画素)
c)	モバイル端末①(LiDAR 機能搭載機器)
d)	モバイル端末②(LiDAR 機能搭載機器・デバイス装着)
e)	モバイル端末③(有効画素数 1600 万画素・デバイス装着)

4-3. 実験内容

各実験の目的と内容を次頁に示す。実験 1、2 に関しては TS で計測した標定点と各技術によって計測した計測点の座標値の差を比較する。座標値の比較は、以下の通り絶対座標と相対座標の両方で実施した。

(1) 相対座標差による評価

図-1 (a) に示す任意のターゲット間の距離を比較し、評価を行う。ターゲット位置は輪石、壁石、アーチ下面、路面とし、TS により計測した各計測距離を正として、各デジタル計測で得られた計測距離との差異から精度を検証する。

(2) 絶対座標差による評価

図-1 (b) に示すように、デジタル計測では設置した計測点を正確に捉えられていないケースがあり、(1) の相対座標差が求められないケースがあるため、各計測点の座標値と TS 計測の座標値の差異を算出して精度を検証する。

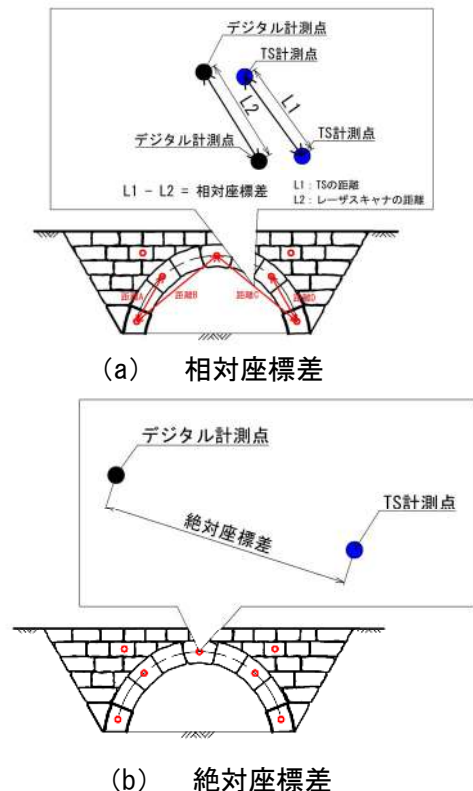


図-1 差分の算出方法の例

(3) 実験の概要

各実験の目的を以下に示し、概要は表-3～表-6 に記載する。なお、表中の「対象技術」は精度確認対象となる技術を、「比較技術」はそれぞれの精度を確認するための真値と位置付ける技術を示している。

実験 1：計測条件（点密度、レーザ入射角、計測位置、オーバーラップ率）が座標を計測する精度に与える影響の確認。計測条件の詳細は、表 3 の計測パラメータの通りである。

目的：石造アーチ橋の計測条件として、一定程度の目安を示すため

表-3 実験 1 の計測パラメータ

		対象技術	比較技術	計測パラメータ
実験 1	実験 1-1	a) レーザスキャナ	TS	取得する点群の密度を 9 点/cm ² 、4 点/cm ² 、1 点/cm ²
	実験 1-2			レーザの入射角を橋体側面に対して 30°、45°、90°
	実験 1-3	b) デジタルカメラ		橋体の撮影画像のオーバーラップ率を 80%、50%

実験 2：モバイル端末①～③により計測した座標の精度を確認

目的：モバイル端末の計測精度を示すため

表-4 実験 2 の内容

		対象技術	比較技術	内容
実験 2	c) モバイル端末①	d) モバイル端末② e) モバイル端末③	TS	比較技術で計測した標定点と対象技術で計測した標定点の差分により評価
	d) モバイル端末②			
	e) モバイル端末③			

実験 3：デジタルカメラ、モバイル端末①～③により計測した点群モデルの精度を確認

目的：取得した点群モデルの計測精度を示すため

表-5 実験 3 の内容

		対象技術	比較技術	内容
実験 3	b) デジタルカメラ	c) モバイル端末① d) モバイル端末②	a) レーザスキャナ	比較技術によって生成したサーフェスモデルと対象技術の点群との差分により評価
	c) モバイル端末①			
	d) モバイル端末②			
	e) モバイル端末③	b) デジタルカメラ		

※三次元サーフェスモデル：点群データの座標を頂点とする三角形ポリゴンの集合体として表現したモデル

実験 4：全機器について、取得した三次元データから変状の定性的な見え方を確認

目的：取得した三次元データから変状を確認できるかどうかを示すため

表-6 実験 4 の内容

		対象技術	比較技術	内容
実験 4	実験 4-1	a) レーザスキャナ	-	対象技術で生成したモデルの定性的な見え方が明瞭かどうかにより評価
		b) デジタルカメラ		
		c) モバイル端末①		
		d) モバイル端末②		
		e) モバイル端末③		
	実験 4-2	a) レーザスキャナ	点検調書	点検調書に記載されている変状を対象技術で生成した三次元データ上にて確認できるかどうかにより評価
		b) デジタルカメラ		
		c) モバイル端末①		
		d) モバイル端末②		
		e) モバイル端末③		

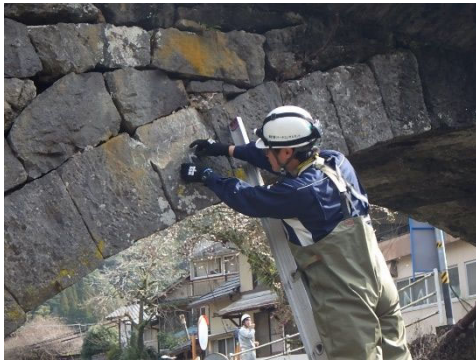
4-4. 実施時の状況

現地実験時の状況を以下に示す。モデル橋梁①は比較的小規模な橋梁であるため、梯子のみで標定点の設置や計測を行った。モデル橋梁②は比較的大規模な橋梁であり、桁下高さが高いため、橋梁点検車を用いて植生の除去後に標定点の設置を行い、計測を行った。

・モデル橋梁①

作業内容：定点観測、三次元計測（レーザスキャナ、モバイル端末）、
画像計測（デジタルカメラ、モバイル端末）

環境条件：曇り（最高気温 21.0℃、最低気温 11.7℃）



(a) 標定点設置状況



(b) 標定点設置後状況



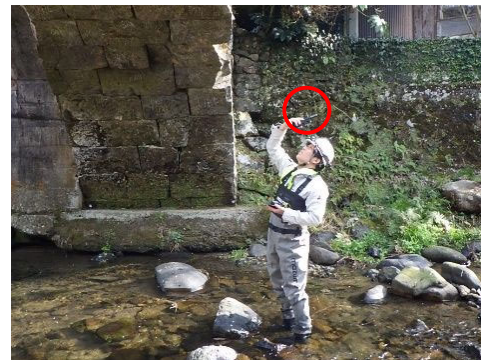
(c) 定点観測



(d) レーザスキャナ計測状況



(e) デジタルカメラ計測状況



(f) モバイル端末計測状況

図-2 モデル橋梁①の現地実験の様子

・モデル橋梁②

作業内容：定点観測、三次元計測（レーザスキャナ、モバイル端末）、
画像計測（デジタルカメラ、モバイル端末）

環境条件：1日目 晴のち雨（最高気温 21.2℃、最低気温 4.0℃）

2日目 曇り時々雨（最高気温 14.0℃、最低気温 10.1℃）



(a) 伐採状況



(b) 定点観測



(c) レーザスキャナ計測状況



(d) デジタルカメラ計測状況



(e) モバイル端末計測状況



(f) 橋梁点検車

図-3 モデル橋梁②の現地実験の様子

5. 実験内容と結果

5-1. 実験 1：計測条件が座標を計測する精度に与える影響の確認

(1) 実験内容

計測条件を設定する際の一定の目安を示すために、4つの実験において計測条件をパラメータとして検証を行った。表-7～表-10に各実験の検証内容とイメージ図を示す。なお、標定点に対するレーザの照射方法による計測精度を検証する目的で実施する実験 1-2 は、複数断面で実施する必要が無いと判断し、モデル橋梁①の下流側側面を代表として実験を実施した。また、計測箇所と差分の算出方法を次頁に示す。

表-7 実験 1-1 の検証内容とイメージ

検証内容	
TS の座標値を真値として、点密度の違いによる標定点の座標の誤差を検証	
対象技術：レーザスキャナを用いた測量	
計測条件：点密度 約 9 点/cm ² 、約 4 点/cm ² 、約 1 点/cm ²	
対象橋梁：モデル橋梁①、モデル橋梁②	

表-8 実験 1-2 の検証内容とイメージ

検証内容	
TS の座標値を真値として、レーザ入射角の違いによる標定点の座標の誤差を検証	
対象技術：レーザスキャナを用いた測量	
計測条件：入射角 30°、45°、90°	
対象橋梁：モデル橋梁①	

表-9 実験 1-3 の検証内容とイメージ

検証内容	
TS の座標値を真値として、画像のオーバーラップ率の違いによる標定点の座標の誤差を検証	
対象技術：デジタルカメラ画像による SfM/MVS 処理	
計測条件：画像のオーバーラップ率 50%、80%	
対象橋梁：モデル橋梁①、モデル橋梁②	

■評価の考え方

図-4 に示す計測点において、図-5 のように計測条件を変えて取得した点群データのターゲットの座標値と、TS で取得したターゲットの座標値にどの程度の誤差があるかで精度を評価した。

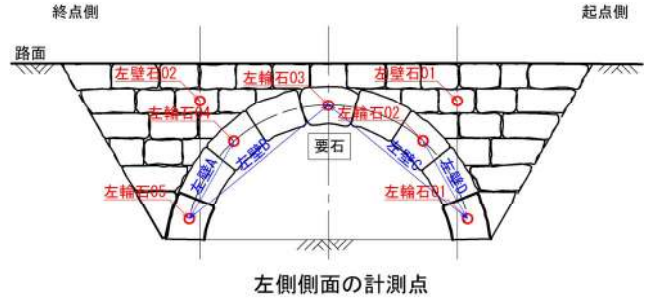
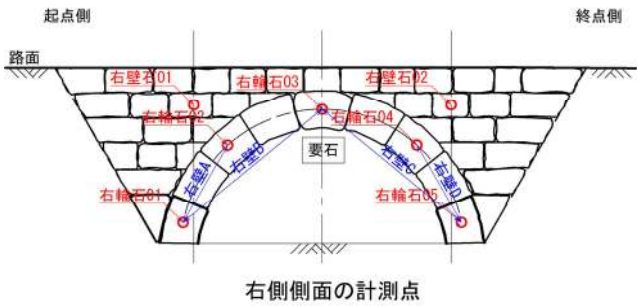
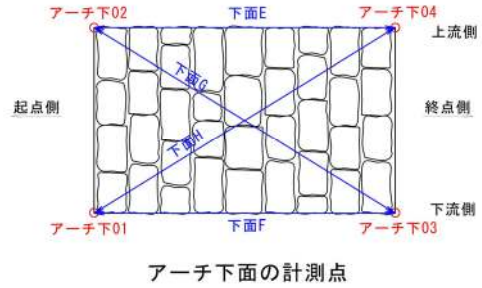
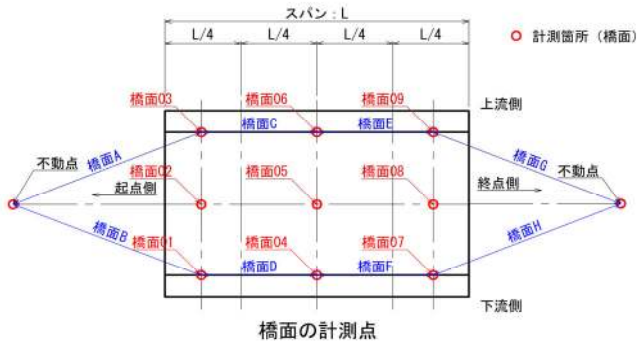


図-4 精度検証用の計測点

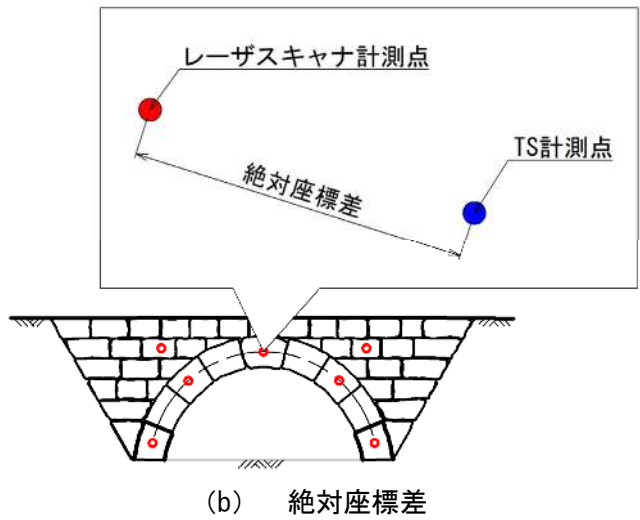
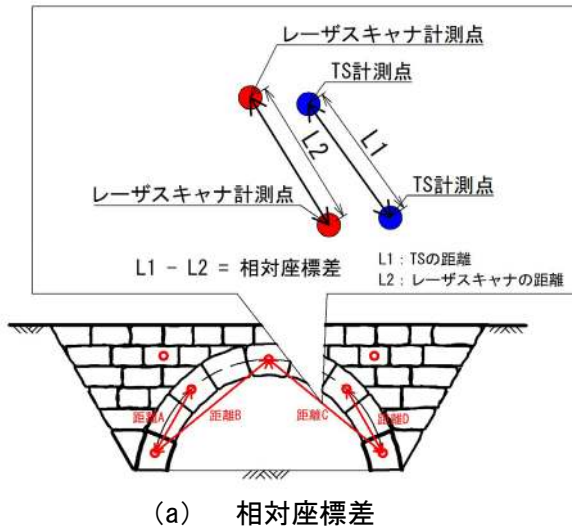


図-5 差分の算出方法の例

(2) 実験結果

実験 1-1

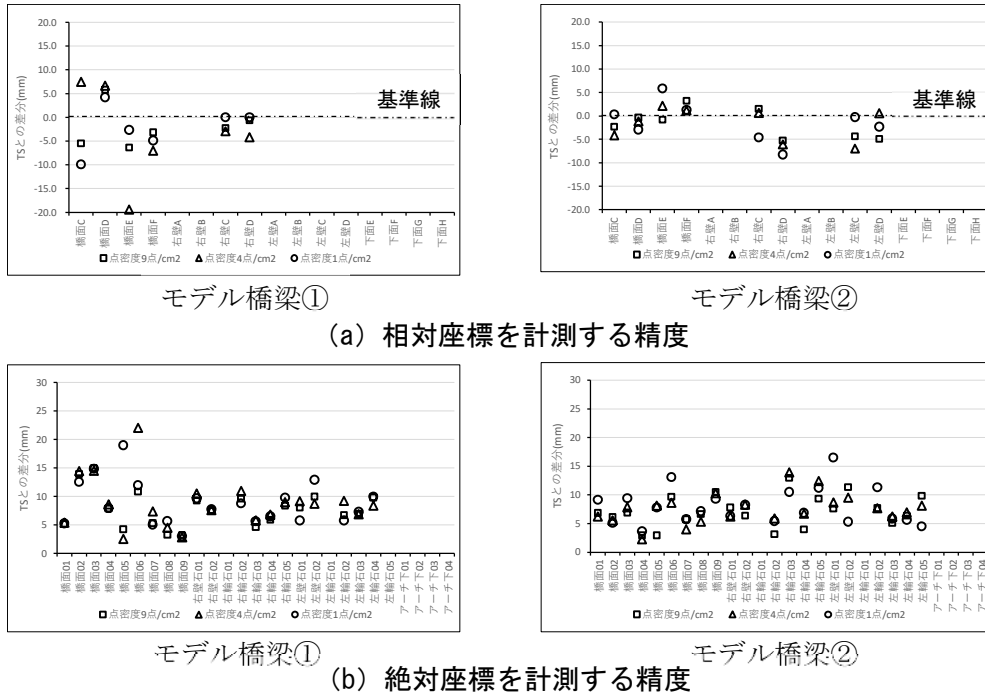


図-6 点密度の違いによる座標計測精度

点密度の違いによる相対座標誤差は、モデル橋梁①とモデル橋梁②においてどちらも±10mm 以内程度 (図-4(a))、絶対座標誤差はモデル橋梁①とモデル橋梁②において 20mm 以内程度 (図-6(b)) であった。また、グラフのプロット分布に規則性が見られなかったことから、点密度と全体形状の計測精度との相関は小さいといえる。したがって点密度が計測精度に与える影響は小さいと考えられるが、以降の実験においては、点密度が計測精度に与える影響を極力排除する目的で点密度：約 9 点/cm²に設定して、レーザスキャナによる計測を実施した。

実験 1-2

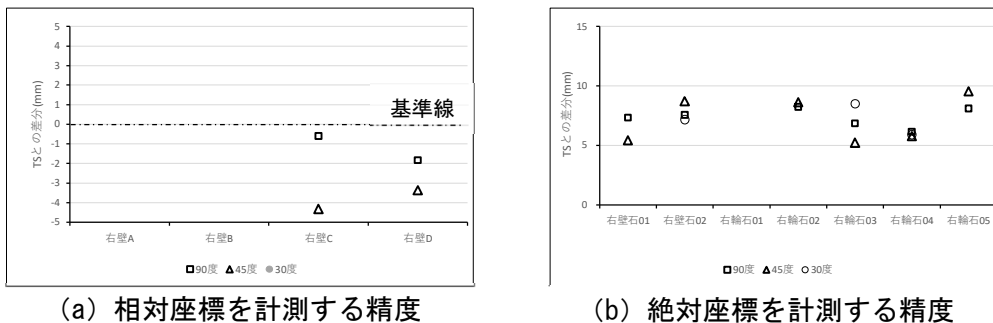
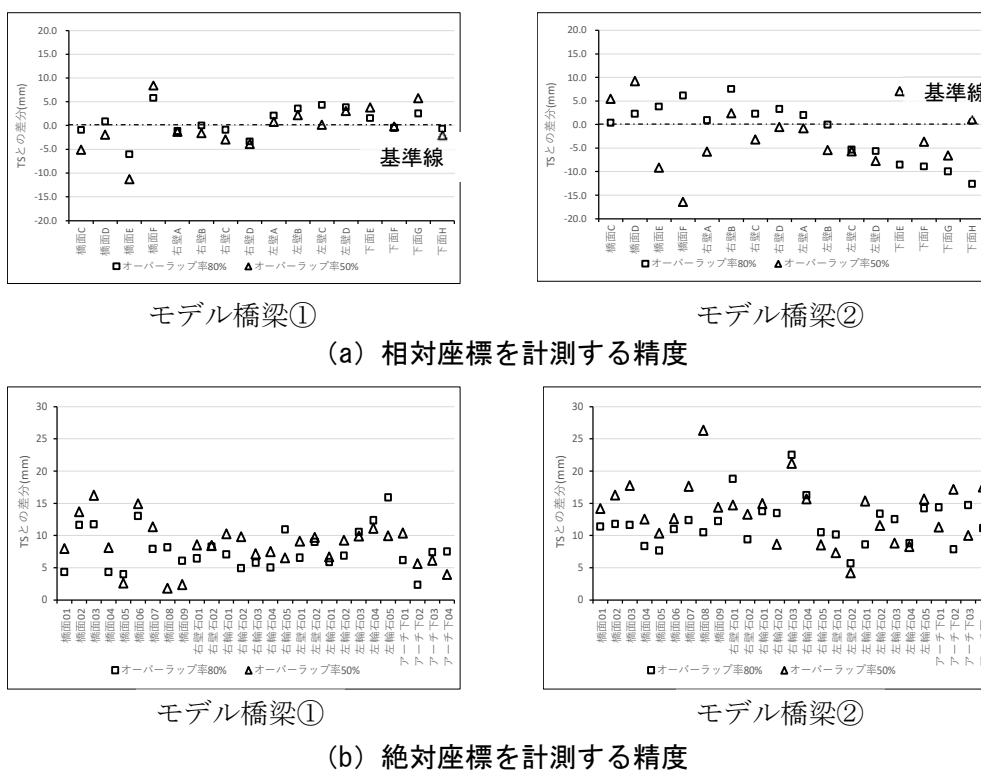


図-7 レーザ入射角の違いによる座標計測精度

レーザ入射角の違いによる相対座標誤差は、入射角 90° で±2mm 以内、入射角 45° で±5mm 以内 (図-5(a)) と、入射角 90° の方が僅かに小さい傾向があるが、絶対座標誤差はいずれも 5~10mm 程度 (図-5(b)) と入射角を小さくしてもターゲットは十分認識可能であり、グラフのプロット分布に規則性がないため入射角と全体形状の計測精度の相関は小さいといえる。ただし、入射角 45° までは点群データの認識は可能であるが、30° になるとターゲットを認識不可となる箇所 (図-7(a)) が見られたため、30° における相対座標誤差は計測不可であった。

実験 1-3



モデル橋梁①

モデル橋梁②

(a) 相対座標を計測する精度

モデル橋梁①

モデル橋梁②

(b) 絶対座標を計測する精度

図-8 画像のオーバーラップの違いによる座標計測精度

画像のオーバーラップ率の違いによる相対座標誤差は、モデル橋梁①の80%で±5mm程度以内、50%で±10mm程度以内でありモデル橋梁②ではいずれも±10mm程度(図-8(a))であった。絶対座標誤差はモデル橋梁①で、いずれのオーバーラップ率の条件でも15mm程度以内、モデル橋梁②で、いずれのオーバーラップ率の条件も20mm程度以内(図-8(b))であった。以上より、オーバーラップ率80%と50%でグラフのプロットに規則性がないため、オーバーラップ率と全体形状の計測精度の相関は小さいといえる。構造物を計測する際の画像のオーバーラップ率は基準等に定められていないため、本実験では画像の約半分を重複させる50%にて検討を行った。ただし、画像解析による点群の生成は、その原理より画像同士のオーバーラップの確保は必須であるため、いたずらにオーバーラップ率を小さくせず、50%程度以上は確保することが望ましい。

5-2. 実験 2：モバイル端末①～③により計測した座標の精度の確認

(1) 実験内容

モバイル端末の計測精度を示すために TS の計測結果と比較を行う。検証内容を表-11 に示す。

表-11 実験 2 の検証内容

検証内容
TS の座標値を真値として、モバイル端末を用いて計測した場合の標定点の座標の誤差を検証
対象技術：LiDAR (モバイル端末①) LiDAR+デバイス装着 (モバイル端末②) GNSS とモバイル端末による画像撮影 (モバイル端末③)
計測条件：可能な限り近接しながら計測
対象橋梁：モデル橋梁①、モデル橋梁②

■評価の考え方

図-4 に示す計測点において、図-9 のようにモバイル端末を用いて取得した点群データのターゲットの座標値と、TS で取得したターゲットの座標値にどの程度の誤差があるかで評価した。

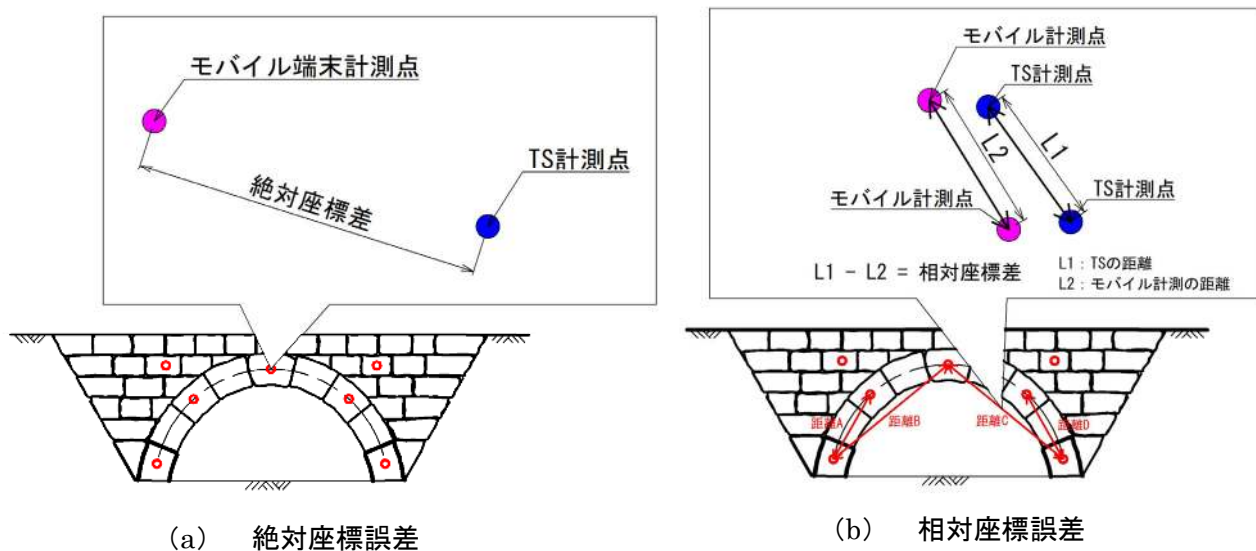


図-9 誤差の算出方法の例

(2) 実験結果

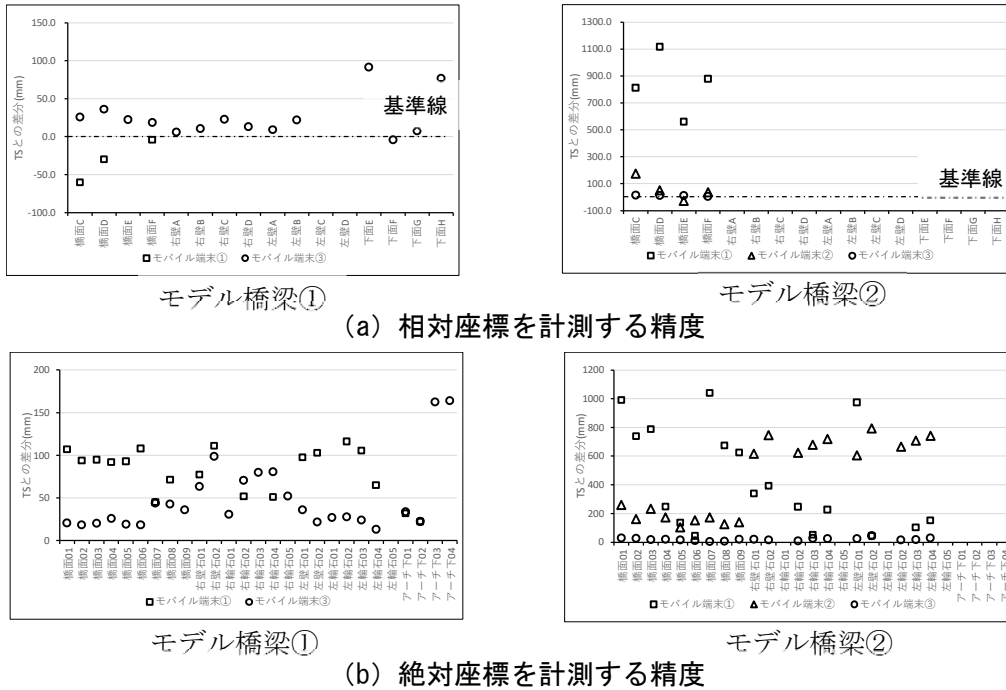


図-10 TSとモバイル端末の座標計測精度

モバイル端末とTSの相対座標誤差は、モデル橋梁①においていずれのモバイル端末でも±100mm程度以内、モデル橋梁②においてモバイル端末①は+1000mm程度、モバイル端末②③は±100mm程度以内（図-10(a)）であった。絶対座標誤差は、モデル橋梁①においてモバイル端末①は100mm程度、モバイル端末③はばらつきもあるが概ね50mm程度以内、モデル橋梁②でモバイル端末①は1000mm、モバイル端末②はばらつきが大きいが最大で800mm程度、モバイル端末③は50mm程度以内（図-10(b)）であった。いずれの計測方法もばらつきが大きく、レーザスキャナによる計測やデジタルカメラの画像計測と比較して計測精度は高くない結果であった。

なお、モデル橋梁①において、モバイル端末②で計測を実施したが、評価に必要なデータが得られなかった。これはモデル橋梁②では、三脚にモバイル端末を設置して計測したのに対し、モデル橋梁①では端末を手動で移動させながら計測を行ったため、モバイル端末内で誤差が蓄積され、座標計測精度の評価に必要なデータが得られなかったと考えられる。したがって、使用する場合は目的によって使い分けるなど留意が必要であると考えられる。

5-3. 実験3：デジタルカメラ、モバイル端末①～③により計測した点群モデルの精度を確認

(1) 実験内容

取得した点群モデルの計測精度を示すために、真値とするサーフェスモデルと対象技術の点群との差分を確認した。検証内容を表-12に示す。

表-12 実験3の検証内容

検証内容
レーザスキャナやデジタルカメラ画像から生成したサーフェスモデルを真値として、モバイル端末を用いて計測した点群との差分を確認して精度を検証
対象技術 ：デジタルカメラ画像による SfM/MVS 処理 LiDAR (モバイル端末①)、LiDAR+デバイス装着 (モバイル端末②)、 GNSS とモバイル端末による画像撮影 (モバイル端末③)
計測条件 ：レーザスキャナ：点密度 約 9 点/cm ² 、デジカメ：オーバーラップ率 80%、 モバイル端末：可能な限り近接しながら計測
対象橋梁 ：モデル橋梁①、モデル橋梁②

■評価の考え方

モバイル端末で取得した点群データとレーザスキャナ、デジタルカメラで取得したサーフェスモデルにどの程度の差分があるかで精度を評価した。なお、モバイル端末③は画像により点群を生成しているため、同様に画像からサーフェスモデルを生成したデジタルカメラを比較技術としている。デジタルカメラの精度についてはレーザスキャナのサーフェスモデルとデジタルカメラの点群データにて確認する。

■差分の定義

- 基本とする計測によって得られたデータに基づくサーフェスモデルと、対象技術により得られた点群の各点との距離により評価（点一点の距離での評価は不可のため、面一点の距離で評価）し、総括表として表-13に示す。なお、差分（概ねの最大値）は次頁以降の図-11、図-12のヒストグラムから読み取った値を記載している。

(2) 実験結果

表-13 差分総括表 (単位 : mm)

比較技術	対比技術	差分 (概ねの最大値)		備考
		モデル橋梁①	モデル橋梁②	
レーザスキャナ	デジタルカメラ	±5mm	±10mm	デジタルカメラ計測の精度検証
レーザスキャナ	モバイル端末①	±100mm	±200mm	
レーザスキャナ	モバイル端末②	±200mm	±200mm	
デジタルカメラ	モバイル端末③	±50mm	±50mm	

デジタルカメラの点群モデルは、モデル橋梁①で概ね 5mm 程度、モデル橋梁②で概ね 10mm 程度の差分であり、取得した点群モデルの計測精度が、一定程度確保されていることが確認された。

一方、モバイル端末①②の点群モデルは、ばらつきはあるが概ね 100～200mm 程度の差分であり、レーザスキャナとデジタルカメラの差分の 20 倍程度と大きいため、計測精度は高くないことが確認された。モバイル端末③の点群モデルは、概ね 50mm 程度の差分であり、レーザスキャナとデジタルカメラの差分の 5 倍程度と大きいため、こちらも計測精度は高くないことが確認された。

実験結果より、モバイル端末は機器ごとに計測精度に差があるものの、デジタルカメラと比較すると点群モデルの計測精度は高くない結果であった。

モバイル端末の点群モデルの計測精度に差が生じた要因として、モバイル端末①②は、LiDAR 機能を使用しており計測距離が最大 5m 程度であり、計測時の制約上近接困難な箇所等が発生して誤差が生じたと考えられる。モバイル端末③は、モバイル端末自体で公共座標取得して計測するため、TS 計測の座標値を使用するデジタルカメラとの差が生じたと考えられる。また、モバイル端末自動シャッター機能により撮影しており、撮影時に移動していた場合、画像が鮮明に映らない箇所があったことも誤差の一因と考えられる。

なお、実験 3 で示す差分は点とサーフェスモデルとの差分であり各面 (壁石、アーチ下面、橋面等) の面外方向における差分であるのに対し、実験 2 では面外方向のずれに加え面内方向のずれも含むため、実験 2 と実験 3 における差分は必ずしも整合しないが、同様の傾向が確認された。次頁以降 (図-11、図-12) に各計測技術の差分解析結果を示す。

モデル橋梁①

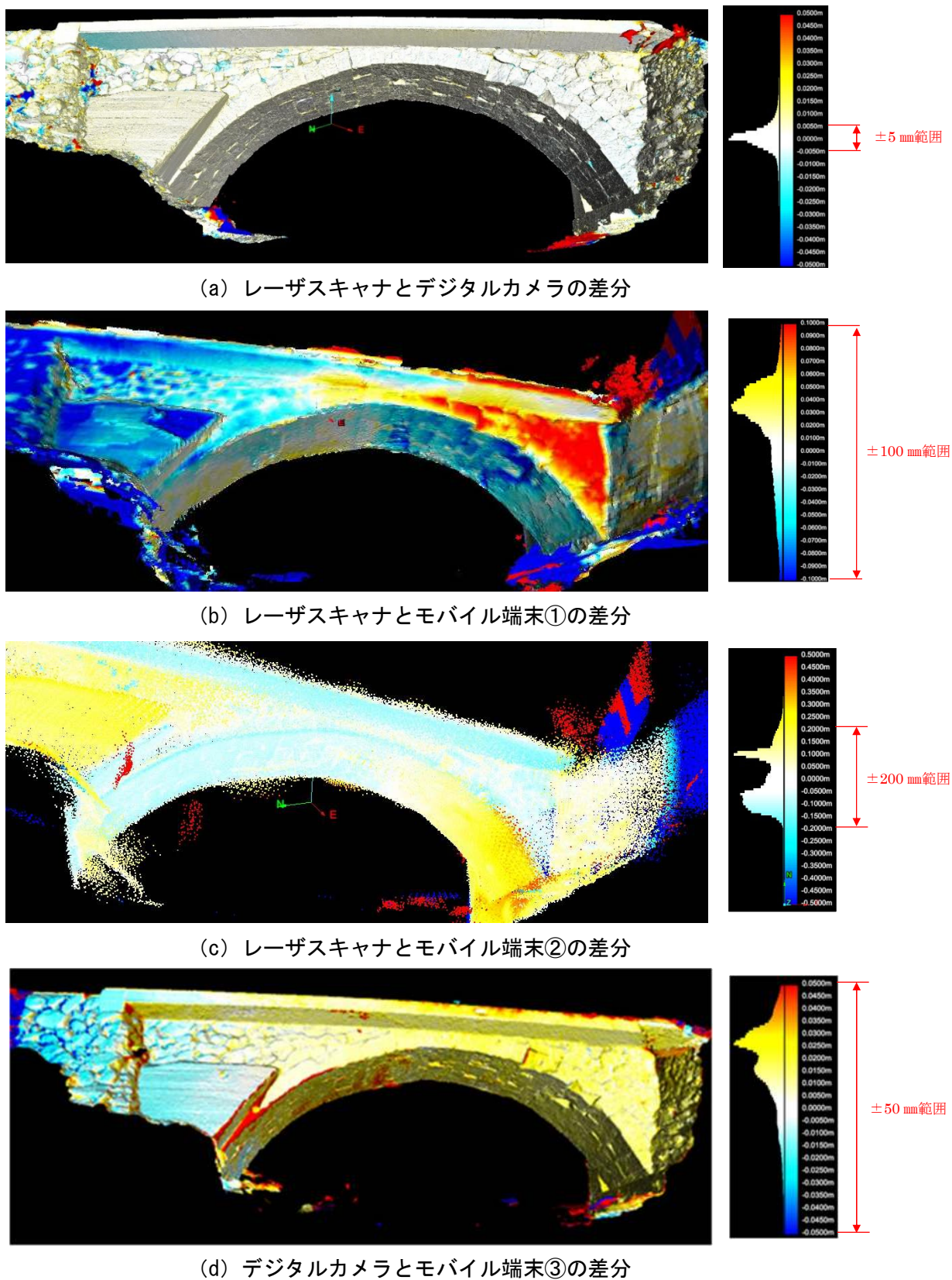


図-11 モデル橋梁①におけるサーフェスモデルとモバイル端末の点群の差分解析結果

モデル橋梁②

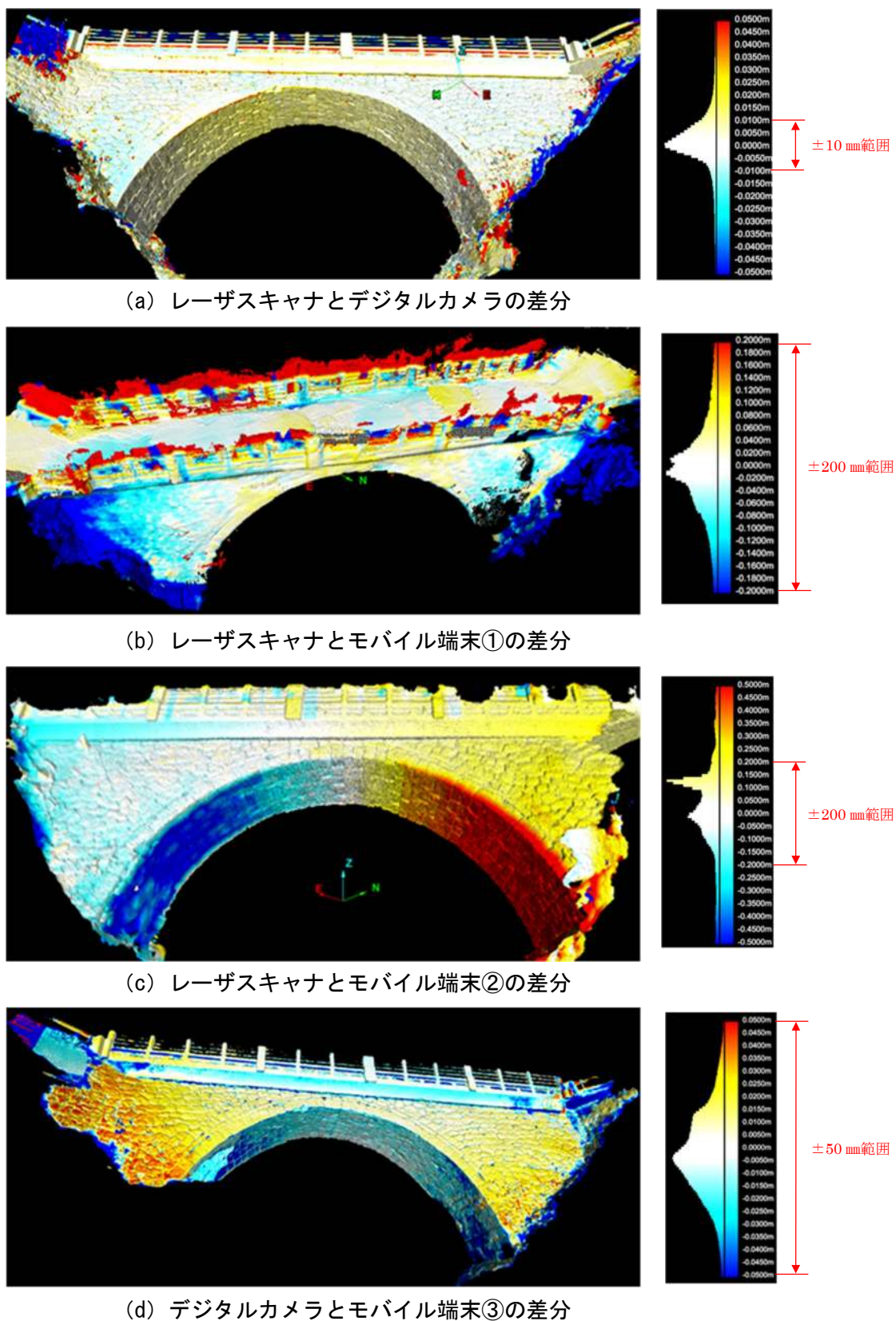


図-12 モデル橋梁②におけるサーフェスモデルとモバイル端末の点群の差分解析結果

5-4. 実験 4：全機器について、取得した三次元データから変状の定性的な見え方を確認

(1) 実験内容

各計測方法にて作成したサーフェスモデルや点群モデルを、形状再現性・点のばらつき等について定性的に評価した。また、それらのモデルから、点検調書に記録されている形状の変化や変状が確認できるかどうかを定性的に評価した。検証内容を表-14、表-15 に示す。

表-14 実験 4（実験 4-1）の検証内容

検証内容	
各計測技術から生成したサーフェスモデルや点群データ上での定性的な見え方を検証	
対象技術	レーザスキャナを用いた測量 デジタルカメラ画像による SfM/MVS 処理 LiDAR（モバイル端末①） GNSS とモバイル端末による画像撮影（モバイル端末③）
計測条件	レーザスキャナ：点密度 約 9 点/cm ² 、デジカメ：オーバーラップ率 80%、 モバイル端末：可能な限り近接しながら計測
対象橋梁	モデル橋梁①、モデル橋梁②

■評価の考え方

各計測技術を用いて取得した点群データの定性的な見え方が明瞭かどうかで評価した。

表-15 実験 4（実験 4-2）の検証内容

検証内容	
各計測技術から生成したサーフェスモデルや点群データ上で点検時同様に視認できるかどうか検証	
対象技術	レーザスキャナを用いた測量 デジタルカメラ画像による SfM/MVS 処理 LiDAR（モバイル端末①） GNSS とモバイル端末による画像撮影（モバイル端末③）
計測条件	レーザスキャナ：点密度 約 9 点/cm ² 、デジカメ：オーバーラップ率 80%、 モバイル端末：可能な限り近接しながら計測
対象橋梁	モデル橋梁①、モデル橋梁②

■評価の考え方

各計測技術を用いて取得した点群データから点検調書に記載されている変状が確認できるかどうかで評価した。

(2) 実験結果

実験 4-1

表-16 実験 4-1 の検証結果総括表

(a) モデル橋梁①

機器名等	部材名	計測技術				
		レーザ スキャナ	デジタル カメラ	モバイル 端末①	モバイル 端末②	モバイル 端末③
見え方	輪石（側面）	明瞭	明瞭	一部不明瞭	不明瞭	明瞭
	輪石（下面）	明瞭	明瞭	一部不明瞭	不明瞭	明瞭
	要石（側面）	明瞭	明瞭	明瞭	不明瞭	明瞭
	壁石	明瞭	明瞭	一部不明瞭	不明瞭	明瞭
	下部工	明瞭	明瞭	一部不明瞭	不明瞭	明瞭

(b) モデル橋梁②

機器名等	部材名	計測技術				
		レーザ スキャナ	デジタル カメラ	モバイル 端末①	モバイル 端末②	モバイル 端末③
見え方	輪石（側面）	明瞭	明瞭	一部不明瞭	不明瞭	明瞭
	輪石（下面）	明瞭	明瞭	一部不明瞭	不明瞭	一部不明瞭
	要石（側面）	明瞭	明瞭	一部不明瞭	不明瞭	明瞭
	壁石	明瞭	明瞭	不明瞭 ゆがみ	不明瞭	明瞭

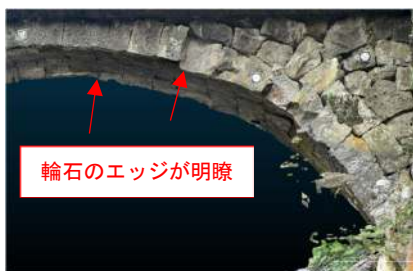


図-13 定性的な見え方が明瞭な例

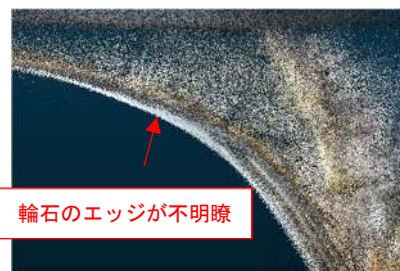


図-14 定性的な見え方が不明瞭な例

図-13、図-14 に定性的な見え方の例を示す。レーザスキャナ、デジタルカメラでは定性的な見え方は明瞭であると確認された。モバイル端末③は比較的明瞭であったが、モデル橋梁②の輪石（下面）のみ一部不明瞭な部分が確認された。またモバイル端末①、モバイル端末②は点群のばらつきが大きく定性的な見え方としては不明瞭であった。次頁以降（図-15、図-16）に各計測技術から生成したモデルを示す。

モデル橋梁①



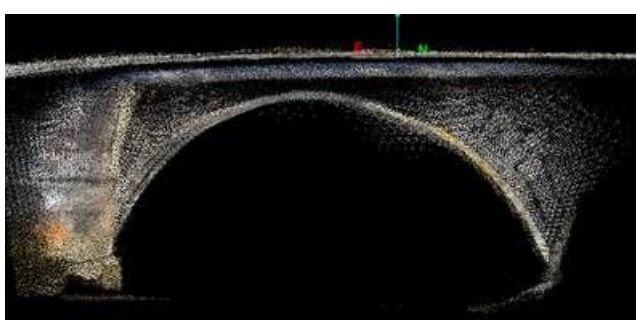
(a) レーザスキャナ



(b) デジタルカメラ



(c) モバイル端末①



(d) モバイル端末②



(e) モバイル端末③

図-15 モデル橋梁①におけるサーフェスモデルと点群モデルの見え方

モデル橋梁②



(a) レーザスキャナ



(b) デジタルカメラ



(c) モバイル端末①



(d) モバイル端末②



(e) モバイル端末③

図-16 モデル橋梁②におけるサーフェスモデルと点群モデルの見え方

表-17 実験 4-2 の検証結果総括表

(a) モデル橋梁①

機器名等	部材名	損傷	地上レーザ	デジタルカメラ	モバイル端末①	モバイル端末②	モバイル端末③	備考
損傷及び評価	輪石 (側面)	アーチの変状 (直線的)	確認できる	確認できる	確認できる	確認できない	確認できる	①
		ずれ	確認できる	確認できる	確認できる	確認できない	確認できる	③
		断面欠損	確認できる	確認できる	確認できる	確認できない	確認できる	③, ⑦, ⑧
			確認できない	確認できる	確認できない	確認できない	確認できる	⑨
		ひびわれ	確認できない	確認できる	確認できない	確認できない	確認できない	⑦
			確認できない	確認できない	確認できない	確認できない	確認できない	⑧, ⑨
	輪石 (下面)	断面欠損	確認できない	確認できる	確認できない	確認できない	確認できない	④
			確認できる	確認できる	確認できる	確認できない	確認できる	⑤, ⑥
		ひびわれ	確認できない	確認できる	確認できる	確認できない	確認できる	④
			確認できない	確認できる	確認できない	確認できない	確認できない	⑤
			確認できない	確認できない	確認できない	確認できない	確認できない	⑥
		要石 (側面)	ひびわれ	確認できない	確認できない	確認できない	確認できない	確認できない
	壁石	ふくらみ	確認できない	確認できる	確認できる	確認できない	確認できない	⑩

(b) モデル橋梁②

機器名等	部材名	損傷	地上レーザ	デジタルカメラ	モバイル端末①	モバイル端末②	モバイル端末③	備考
損傷及び評価	輪石 (下面)	ひびわれ	確認できる	確認できる	確認できる	確認できない	確認できる	①
		剥離	確認できる	確認できる	確認できる	確認できない	確認できる	①
			確認できない	確認できる	確認できない	確認できない	確認できる	②, ③
	輪石 (側面)	剥離	確認できない	確認できる	確認できる	確認できない	確認できる	④
			確認できない	確認できる	確認できない	確認できない	確認できる	⑤
	壁石	剥離	確認できない	確認できる	確認できない	確認できない	確認できる	⑥

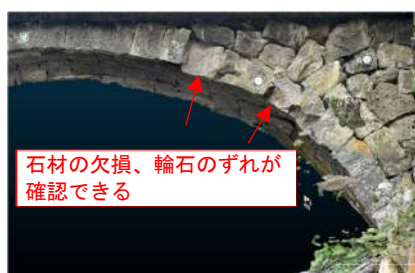


図-17 変状が確認できる例

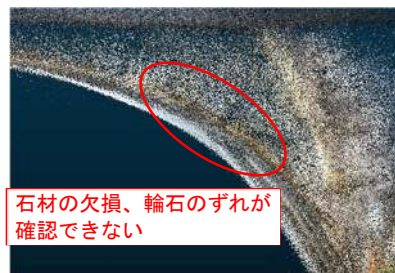


図-18 変状が確認できない例

図-17、図-18 に変状の確認例を示す。点検調査に示されている変状はレーザスキャナやモバイル端末①、モバイル端末②など、レーザを用いた計測方法では確認できない部分が多く見られた。一方、デジタルカメラ、モバイル端末③など、画像を用いた計測方法は、確認できない部分があったものの、多くの変状が確認可能であった。点群密度が高いほど変状をより確認可能となるため、目的に応じて計測条件(点密度、計測位置、オーバーラップ率)を設定する必要がある。

次頁以降に各計測技術で生成したモデルで変状箇所の拡大図(表-18、表-19)を示す。

表-18.1 モデル橋梁①におけるサーフェスモデルと点群モデルの見え方


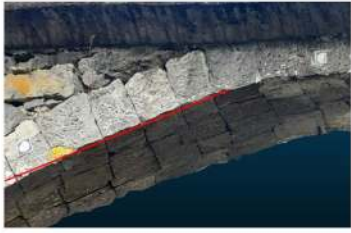
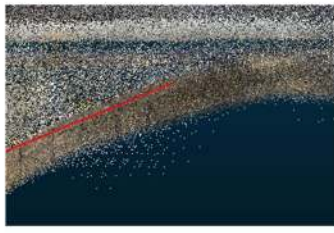



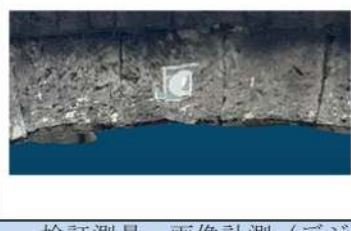
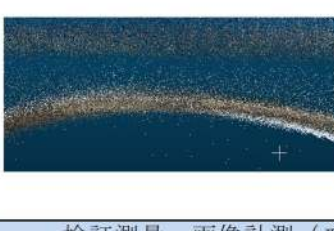


2017年定期点検結果					検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)			
写真番号	径間番号	部材番号	変状の種類	変状程度	メモ	キャプチャ画像	評価	
6			スアーチの変状	E	・左記写真のL2~L6の輪石にアーチの変状(直線的)が見られ不安定な状態となっている。構造上重篤な損傷であり、早期に詳細調査を行ったうえで「すみやかに補修」する必要がある。		・アーチの変状(直線的)が確認できる。	
①								
検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)					検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)			
					・アーチの変状(直線的)が確認できる。			・アーチの変状(直線的)が確認できない。
検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)					検証測量 画像計測 (モバイル端末③)			
					・アーチの変状(直線的)が確認できる。			・アーチの変状(直線的)が確認できる。
2017年定期点検結果					検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)			
写真番号	径間番号	部材番号	変状の種類	変状程度	メモ	キャプチャ画像	評価	
7			1. ひびわれ	E	・要石の上端部L1にかけてひびわれが見られる。		・ひびわれが確認できない。	
②								
検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)					検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)			
					・ひびわれが確認できない。			・ひびわれが確認できない。
検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)					検証測量 画像計測 (モバイル端末③)			
					・ひびわれが確認できない。			・ひびわれが確認できない。

表-18.2 モデル橋梁①におけるサーフェスモデルと点群モデルの見え方

2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)	
写真番号	部材名	箇所番号	部材番号	対象区分	メモ
8	輪石 (左岸-上流)				
変状の種類	1. 輪石のずれ, 2. 断面欠損	変状程度	E		・ R4~R13に変状がある。R4、R5、R6はずれで特にR6は顕著な変状、R6~R13にかけては欠損。
					
<p>検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)</p> <p>キャプチャ画像</p> 		<p>検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)</p> <p>キャプチャ画像</p> 		<p>評価</p> <p>・ 石材の欠損、輪石のずれが確認できる。</p>	
<p>検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)</p> <p>キャプチャ画像</p> 		<p>検証測量 画像計測 (モバイル端末③)</p> <p>キャプチャ画像</p> 		<p>評価</p> <p>・ 石材の欠損、輪石のずれが確認できる。</p>	
2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)	
9	輪石下座 (左岸) A3				
変状の種類	1. ひびわれ, 2. 断面欠損	変状程度	E		・ 左岸側の下部域の輪石には、写真の位置に橋軸方向に連動したひびわれや石材の欠損が見られ損傷度は大きい。
					
<p>検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)</p> <p>キャプチャ画像</p> 		<p>検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)</p> <p>キャプチャ画像</p> 		<p>評価</p> <p>・ ひびわれの一部が確認できる。 ・ 石材の欠損が確認できる。</p>	
<p>検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)</p> <p>キャプチャ画像</p> 		<p>検証測量 画像計測 (モバイル端末③)</p> <p>キャプチャ画像</p> 		<p>評価</p> <p>・ ひびわれの一部が確認できる。 ・ 石材の欠損が確認できない。</p>	

表-18.3 モデル橋梁①におけるサーフェスモデルと点群モデルの見え方

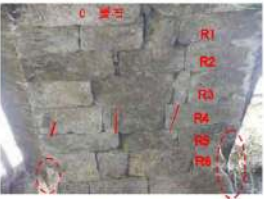
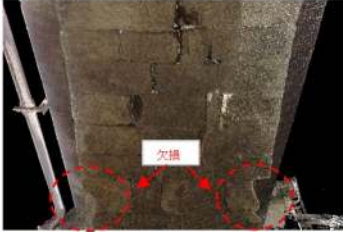










2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)	
写真番号	11	径間番号		メモ	キャプチャ画像
部材名	橋石下座 (右岸側)	部材番号		対照区分	評価
変状の種類	-	変状程度	E	・要石から右岸側の輪石には、写真の箇所にひびわれや欠損等の変状が見られる。	・ひびわれが確認できない。 ・石材の欠損が確認できる。
					
検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)				検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)	
キャプチャ画像		評価		キャプチャ画像	
		・ひびわれが確認できない。 ・石材の欠損が確認できる。			
⑤				・ひびわれ、石材の欠損が確認できる。	
検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)				検証測量 画像計測 (モバイル端末③)	
キャプチャ画像		評価		キャプチャ画像	
		・ひびわれ、石材の欠損が確認できる。			
・ひびわれが確認できない。 ・石材の欠損が確認できる。				・ひびわれが確認できない。 ・石材の欠損が確認できる。	
2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)	
写真番号	12	径間番号		メモ	キャプチャ画像
部材名	橋石下座 (右岸側) A1	部材番号		対照区分	評価
変状の種類	しひびわれ、土前部欠損	変状程度	E	・右岸側の下部域の輪石には、写真の位置に橋軸方向に連動したひびわれや石材の欠損が見られ損傷度は大きい。	・ひびわれが確認できない。 ・石材の欠損が確認できる。
					
検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)				検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)	
キャプチャ画像		評価		キャプチャ画像	
		・ひびわれが確認できない。 ・石材の欠損が確認できる。			
⑥				・ひびわれが確認できない。 ・石材の欠損が確認できる。	
検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)				検証測量 画像計測 (モバイル端末③)	
キャプチャ画像		評価		キャプチャ画像	
		・ひびわれが確認できない。 ・石材の欠損が確認できる。			
・ひびわれが確認できない。 ・石材の欠損が確認できる。				・ひびわれが確認できない。 ・石材の欠損が確認できる。	

表-18.4 モデル橋梁①におけるサーフェスモデルと点群モデルの見え方

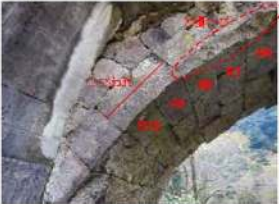











2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)	
写真番号	図面番号	図面番号	メモ	キャプチャ画像	評価
14	橋5 (橋脚・下流) 下流部	部材番号	対策区分		
変状の種類	1.ひびわれ、2.断面欠損	変状程度	E		
			・ 輪石R6～R8に断面欠損、R9R10にひびわれが見られる。		・ ひびわれが確認できない。 ・ 石材の欠損が確認できる。
検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)				検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)	
			・ ひびわれが確認できない。 ・ 石材の欠損が確認できる。		・ ひびわれ、石材の欠損が確認できない。
検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)				検証測量 画像計測 (モバイル端末③)	
			・ ひびわれ、石材の欠損が確認できる。		・ ひびわれが確認できない。 ・ 石材の欠損が確認できる。
2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)	
写真番号	図面番号	図面番号	メモ	キャプチャ画像	評価
15	橋5 (橋脚・下流) 下流部	部材番号	対策区分		
変状の種類	2.断面欠損	変状程度	E		
			・ 要石～R1にひびわれ、R6～R8に断面欠損が見られる。		・ ひびわれが確認できない。 ・ 石材の欠損が確認できる。
検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)				検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)	
			・ ひびわれが確認できない。 ・ 石材の欠損が確認できる。		・ ひびわれが確認できない。 ・ 石材の欠損が確認できる。
検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)				検証測量 画像計測 (モバイル端末③)	
			・ ひびわれが確認できない。 ・ 石材の欠損が確認できる。		・ ひびわれが確認できない。 ・ 石材の欠損が確認できる。

表-18.5 モデル橋梁①におけるサーフェスモデルと点群モデルの見え方




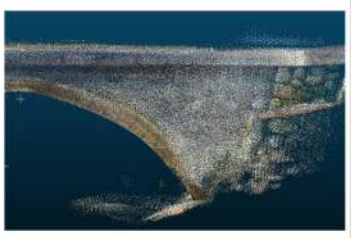








2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)	
写真番号	18	径間番号		キャプチャ画像	
部材名	輪石(左岸-下流)	部材番号		評価	
変状の種類	1.ひびわれ、2.断面欠損	変状程度	E	メモ	
			・輪石L3L4にひびわれ、L12~L14に断面欠損が見られる。		・ひびわれ、石材の欠損が確認できない。
検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)				検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)	
			・ひびわれ、石材の欠損が確認できない。		・ひびわれ、石材の欠損が確認できない。
検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)				検証測量 画像計測 (モバイル端末③)	
			・ひびわれが確認できない。 ・石材の欠損が確認できる。		・ひびわれが確認できない。 ・石材の欠損が確認できる。
2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)	
写真番号	19	径間番号		キャプチャ画像	
部材名	左岸-下流	部材番号		評価	
変状の種類	1.石積部の膨らみ・ふくらみ	変状程度	C	メモ	
			・点線部の壁石は割石が使用されているが、壁面に「ふくらみ」が見られる。隣接の袖石積壁には沈下が見られ、地震等の影響とも考えられる。		・壁石の膨らみが確認できない。
検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)				検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)	
			・壁石の膨らみが確認できる。		・壁石の膨らみが確認できない。
検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)				検証測量 画像計測 (モバイル端末③)	
			・壁石の膨らみが確認できる。		・壁石の膨らみが確認できる。

表-19.1 モデル橋梁②におけるサーフェスモデルと点群モデルの見え方





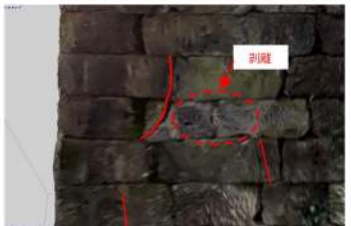





2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)			
写真番号	径間番号	部材番号	変状の種類	メモ	キャプチャ画像		
0			ひびわれ、剥離	ひびわれ、剥離が確認できる。		ひびわれ、剥離が確認できる。	
①							
検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)				検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)			
				ひびわれ、剥離が確認できる。			ひびわれ、剥離が確認できない。
検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)				検証測量 画像計測 (モバイル端末③)			
				ひびわれ、剥離が確認できる。			ひびわれ、剥離が確認できる。
2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)			
写真番号	径間番号	部材番号	変状の種類	メモ	キャプチャ画像		
4			剥離、鉄筋露出	剥離が確認できる。		剥離が確認できない。	
②							
検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)				検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)			
				剥離が確認できない。			剥離が確認できない。
検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)				検証測量 画像計測 (モバイル端末③)			
				剥離が確認できる。			剥離が確認できる。

表-19.2 モデル橋梁②におけるサーフェスモデルと点群モデルの見え方


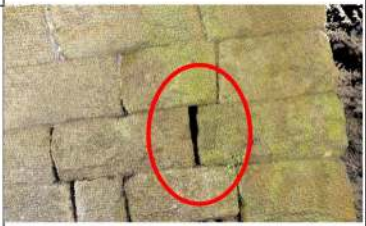






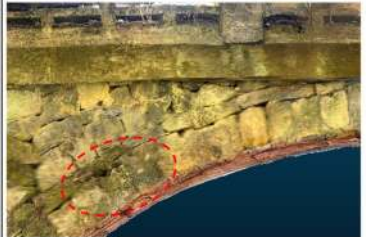















2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)	
写真番号	径間番号	部材番号	対策区分	キャプチャ画像	評価
8					
部材名	上層工・土層・コンクリート	部材番号			
変状の種類	7.剥離・鉄筋露出	変状程度	C		
					
メモ					
・剥離が確認できる。				・剥離が確認できない。	
③					
検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)				検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)	
キャプチャ画像				キャプチャ画像	
					
評価				評価	
・剥離が確認できない。				・剥離が確認できない。	
検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)				検証測量 画像計測 (モバイル端末③)	
キャプチャ画像				キャプチャ画像	
					
評価				評価	
・剥離が確認できる。				・剥離が確認できる。	
2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)	
写真番号	12	径間番号			
部材名	上層工・土層・コンクリート	部材番号			
変状の種類	7.剥離・鉄筋露出	変状程度	C		
					
メモ					
・剥離が確認できる。				・剥離が確認できない。	
④					
検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)				検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)	
キャプチャ画像				キャプチャ画像	
					
評価				評価	
・剥離が確認できる。				・剥離が確認できない。	
検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)				検証測量 画像計測 (モバイル端末③)	
キャプチャ画像				キャプチャ画像	
					
評価				評価	
・剥離が確認できる。				・剥離が確認できる。	

表-19.3 モデル橋梁②におけるサーフェスモデルと点群モデルの見え方

2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)			
写真番号	18	径間番号		メモ	キャプチャ画像	評価	
部材名	上層工: 歩道・コンクリート	部材番号		対策区分			
変状の種類	7.剥離・鉄筋露出	変状程度	C				
⑤				・剥離が確認できる。		・剥離が確認できない。	
	検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)		検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)				
				・剥離が確認できない。		・剥離が確認できない。	
	検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)		検証測量 画像計測 (モバイル端末③)				
			・剥離が確認できる。		・剥離が確認できる。		
⑥	2017年定期点検結果				検証測量 三次元計測 (レーザスキャナ)		
	写真番号	14	径間番号		メモ	キャプチャ画像	評価
	部材名	上層工: 歩道・コンクリート	部材番号		対策区分		
	変状の種類	7.剥離・鉄筋露出	変状程度				
⑥				・剥離が確認できる。		・剥離が確認できない。	
	検証測量 三次元計測 (モバイル端末①)		検証測量 三次元計測 (モバイル端末②)				
				・剥離が確認できない。		・剥離が確認できる。	
	検証測量 画像計測 (デジタルカメラ)		検証測量 画像計測 (モバイル端末③)				
			・剥離が確認できる。		・剥離が確認できる。		

6. 実験結果のまとめ

本検討では従前より測量等で実績のあるレーザスキャナに加え、必要な機器や作業が簡易なデジタルカメラやモバイル端末による形状の計測を行い、それらの適用可能性について検討した。結果は、現時点ではレーザスキャナと比較して形状再現精度は劣るが、実験4に示される定性的な評価を行う場合など、使用目的を限定することで一定程度の適用性が確認された。

以下に実験内容ごとの結果と考察を示す。

実験1：計測条件(点密度、レーザ入射角、計測位置、オーバーラップ率)が座標を計測する精度に与える影響の確認

実験 1-1

点密度の違いによる相対座標誤差は、モデル橋梁①とモデル橋梁②においてどちらも±10mm 以内程度、絶対座標誤差はモデル橋梁①とモデル橋梁②において 20mm 以内程度であり、グラフのプロット分布に規則性が見られなかったことから、点密度と全体形状の計測精度の相関は小さいといえる。したがって点密度が計測精度に与える影響は小さいと考えられる。

点密度の違いによる相対座標誤差、絶対座標誤差は点密度と全体形状の計測精度の相関は小さいといえる。したがって点密度が計測精度に与える影響は小さいと考えられる。

実験 1-2

レーザ入射角を変えて計測した結果、グラフのプロット分布に規則性が見られなかったことから、いずれも形状を計測する精度へ与える影響は小さいことが確認された。ただし、入射角 90° と 45° は問題なく計測が実施できたが、入射角 30° になると計測箇所によってはターゲットの認識不可となる箇所があることが確認された。計測対象の形状等も踏まえて入射角が極力鋭角とならないような計測計画を立案する必要がある。

実験 1-3

画像のオーバーラップ率の違いによる相対座標誤差は、モデル橋梁①の 80%で±5mm 程度以内、50%で±10mm 程度以内でありモデル橋梁②ではいずれも±10mm 程度であった。絶対座標誤差はモデル橋梁①で、いずれのオーバーラップ率の条件でも 15mm 程度以内、モデル橋梁②で、いずれのオーバーラップ率の条件も 20mm 程度以内であった。以上より、オーバーラップ率 80%と 50%では計測精度に大きな差は確認されなかったため、オーバーラップ率と全体形状の計測精度の相関は小さいといえる。構造物を計測する際の画像のオーバーラップ率は基準等に定められていないため、本実験では画像の約半分を重複させる 50%にて検討を行った。ただし、画像解析による点群の生成は、その原理より画像同士のオーバーラップの確保は必須であるため、いたずらにオーバーラップ率を小さくせず、50%程度以上は確保することが望ましい。

実験2：モバイル端末①～③により計測した座標の精度を確認

モバイル端末と TS の相対座標誤差は、モデル橋梁①においていずれのモバイル端末でも±100mm 程度以内、モデル橋梁②においてモバイル端末①は +1000mm 程度、モバイル端末②③は ±100mm 程度以内であった。絶対座標誤差は、モデル橋梁①においてモバイル端末①は 100mm 程度、モバイル端末③はばらつきもあるが概ね 50mm 程度以内、モデル橋梁②でモバイル端末①は 1000mm、モバイル端末②はばらつきが大きい最大で 800mm 程度、モバイル端末③は 50mm 程度以内であっ

た。全体として、モバイル端末による計測はばらつきが大きく、レーザスキャナによる計測やデジタルカメラの画像計測と比較して計測精度は高くない結果であった。

なお、モデル橋梁①において、モバイル端末②で計測を実施したが、評価に必要なデータが得られなかった。これはモデル橋梁②では、三脚にモバイル端末を設置して計測したのに対し、モデル橋梁①では端末を手動で移動させながら計測を行ったため、モバイル端末内で誤差が蓄積され、座標計測精度の評価に必要なデータが得られなかったと考えられる。したがって、使用する場合は目的によって使い分けるなど留意が必要であると考えられる。

実験 3：デジタルカメラ、モバイル端末①～③により計測した点群モデルの精度を確認

デジタルカメラの点群モデルは、モデル橋梁①で概ね 5mm 程度、モデル橋梁②で概ね 10mm 程度の差分であり、取得した点群モデルの計測精度は、一定程度の精度が確保されていることが確認された。

一方でモバイル端末①②の点群モデルは、ばらつきはあるが概ね 100～200mm 程度の差分であり、レーザスキャナとデジタルカメラの差分の 20 倍程度と大きいため、計測精度は高くないことが確認された。モバイル端末③の点群モデルは、概ね 50mm 程度の差分であり、レーザスキャナとデジタルカメラの差分の 5 倍程度と大きいため、計測精度は高くないことが確認された。

実験結果より、モバイル端末は機器ごとで計測精度に差があるものの、デジタルカメラと比べると点群モデルの計測精度は高くない結果であった。

モバイル端末の点群モデルの計測精度に差が生じた要因として、モバイル端末①②は、LiDAR 機能を使用しており計測距離が最大 5m 程度であり、計測時の制約上近接困難な箇所等が発生して誤差が生じたと考えられる。モバイル端末③は、モバイル端末自体で公共座標取得して計測するため、TS 計測の座標値を使用するデジタルカメラとの差が生じたと考えられる。また、モバイル端末自動シャッター機能により撮影しており、撮影時に移動していた場合、画像が鮮明に映らない箇所があったことも誤差の一因と考えられる。

なお、実験 3 で示す差分は点とサーフェスモデルとの差分であり各面（壁石、アーチ下面、橋面等）の面外方向における差分であるのに対し、実験 2 では面外方向のずれに加え面内方向のずれも含むため、実験 2 と実験 3 における差分は必ずしも整合しないが、同様の傾向が確認された。

実験 4：全機器について、取得した三次元データから変状の定性的な見え方を確認

実験 4-1

データの定性的な見え方は、レーザスキャナとデジタルカメラによる計測では部材のエッジが明瞭に表現されているのに対し、モバイル端末では不明瞭である場合が多く、より正確な形状の把握を行う場合は、モバイル端末よりもレーザスキャナやデジタルカメラを用いた計測計画を立案することが有用であると考えられる。

実験 4-2

点検調書に示されている変状はレーザスキャナやモバイル端末①②のレーザを用いた計測方法では確認できない部分が多く見られた。デジタルカメラ、モバイル端末③の画像を用いた計測方法は、確認できない部分があったものの、多くの変状が確認可能であった。点群密度が高いほど変状をより確認可

能となるため、目的に応じた計測条件（点密度、計測位置、オーバーラップ率）を設定して、計測計画を立案することが有用であると考えられる。

7. 総括

本検討では、石造アーチ橋におけるデジタル計測技術の活用の可能性について、実験的に検討した。

実験の結果、全体形状の計測における計測精度は、計測条件（点密度、レーザ入射角、オーバーラップ率）による影響は小さいことが確認された。そのため、目的に応じて計測条件を設定し、計測計画を立案するとよい。モバイル端末については、公共測量で使用されている機器の計測結果と比較した場合、現時点では計測精度が高いとはいえない。一方で、損傷状況の定性的な評価を行う場合など使用目的を限定することで適用性が確認された。さらに、デジタル計測技術は日進月歩で技術開発が進んでおり、今後の技術発展によってより広範な活用が期待される。

「道路橋石橋の定期点検に関する参考資料[石造アーチ橋]」については、学識者などによる「道路橋石橋維持管理検討委員会」により審議を重ね、令和8年3月に石造アーチ橋の定期点検を行う際の参考資料としてとりまとめたものである。

道路橋石橋維持管理検討委員会 委員名簿

委員長	山尾 敏孝	熊本大学 名誉教授
委員	松田 泰治	九州大学 名誉教授
委員	梶田 幸秀	九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 准教授
委員	高橋 章浩	東京科学大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 教授
委員	大塚 晋	福岡県 北九州県土整備事務所 企画班 地域整備主幹 (前 KABSE 石橋研究分科会委員)
委員	稲津 暢洋	熊本市 熊本博物館 主幹 (前 KABSE 石橋研究分科会委員)
委員	岡田 太賀雄	国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 橋梁研究室 主任研究官
委員	藤田 智弘	国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 構造・基礎研究室長
委員	齧島 洋伸	国土交通省 道路局 国道・技術課 課長補佐
委員	竹田 佳宏	国土交通省 道路局 国道・技術課 道路メンテナンス企画室 課長補佐
委員	尾上 一哉	株式会社尾上建設 取締役相談役 (前 KABSE 石橋研究分科会委員)
委員	中村 秀樹	株式会社建設プロジェクトセンター 会長 (前 KABSE 石橋研究分科会委員)
委員	石橋 賢一	国土交通省 九州地方整備局 道路部 道路情報管理官
委員	安仲 努	国土交通省 九州地方整備局 道路部 道路保全企画官
委員	長友 浩信	国土交通省 九州地方整備局 九州道路メンテナンスセンター センター長
オブザーバー	荒木 和哉	前 KABSE 石橋研究分科会委員
オブザーバー	荒木 祐一郎	前 KABSE 石橋研究分科会委員
事務局	九州地方整備局 道路部 道路管理課 九州道路メンテナンスセンター 技術課	