

第20回 技術発表会 論文集

球磨川左岸
(球磨郡球磨村一勝地地先)

施工前

施工完了

2025.11.14(金)
ホテル熊本テルサ

オンライン配信併用 (Zoom)

西瀬橋完成後

沖鶴橋完成後

ご あ い さ つ

一般社団法人

熊本県測量設計コンサルタンツ協会

会 長 内 田 貴 士

若手技術者の資質の向上を図ることを目的として平成15年から開催しています「技術発表会」も第20回となりました。これまでに230名の技術者の方々が発表をされてきました。また、今年も多くの方々に参加いただくため対面方式とオンライン配信方式の併用という方式で開催することといたしました。これまで開催の準備等に当たられました技術委員会建コン部会の委員の皆さまの御尽力に敬意を表します。

発表論文については、今年は技術的論文、事業報告的論文及び技術レポートとテーマ等を分けて募集し、9編（技術的論文7、事業報告的論文1編、技術レポート1編）の応募がありました。本年8月の大雨災害業務など多忙な合間を縫って原稿を寄稿いただいた方々、そして各会社で御指導等された方々にも心から感謝申し上げます。

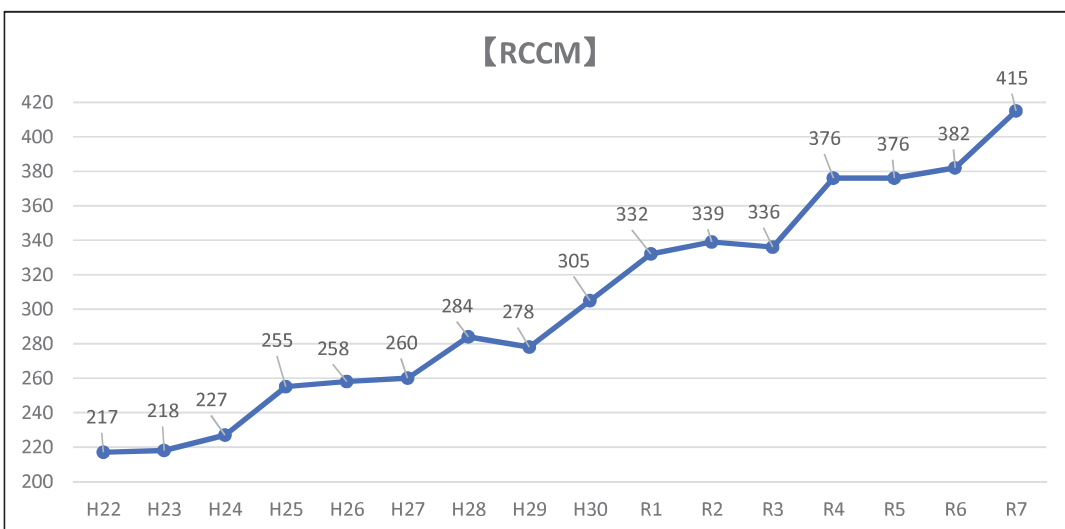
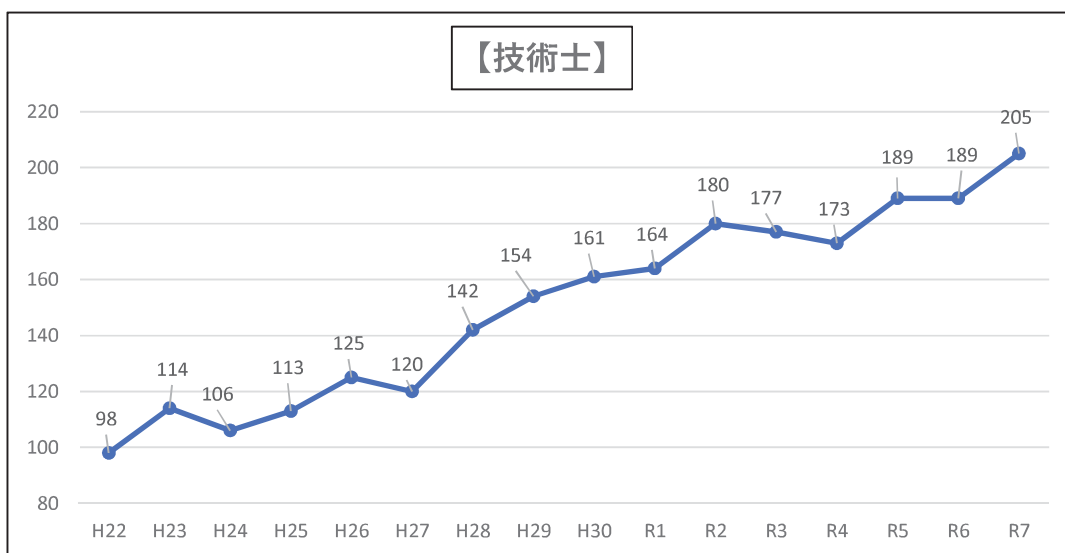
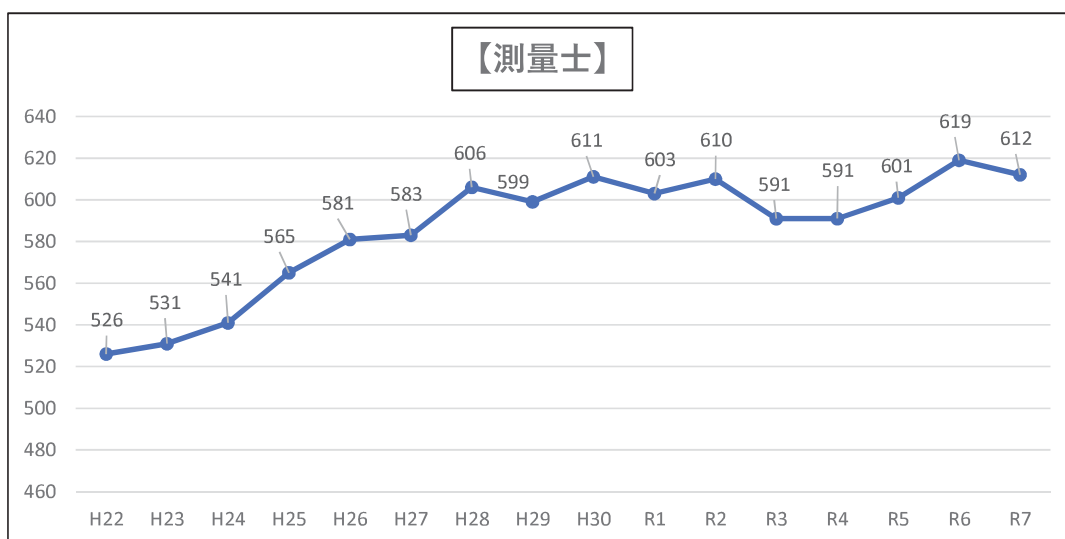
論文については、当協会技術顧問の熊本大学滝川清名誉教授をはじめ、椎葉晃吉技術委員長、柴田浩史技術副委員長、田英幸建コン部会長、アジアプランニング㈱の服部氏、㈱AR I A K Eの松野氏、㈱十八測量設計の出口氏、㈱水野建設コンサルタントの今藺氏らの指導・助言の下2回の事前勉強会、個別指導が行われ、推敲が重ねられ十分な準備がなされたもので、どの論文等も期待できるものとなっています。

恒例の基調講演は「令和2年7月豪雨の復旧状況と球磨川の流域治水について」の演題で国土交通省九州地方整備局八代河川国道事務所長飯島直己氏にお願いしています。頻発・激甚化する自然災害への対応が求められている私たち業界としては過去の災害を風化させないためにも、また今回の災害への対応に対しても時機を得た有意義な講演になるものと考えています。

また、今年も、特別発表として平成30年から「スーパー・プロフェッショナル・ハイスクール」の認定を受け測量実習等企業連携による人材育成に取り組んでこられた熊本県立熊本工業高等学校土木科の生徒さん、令和5年度から熊本県立天草工業高等学校土木科の生徒さん、そして令和6年度から熊本県立阿蘇中央高等学校グリーン環境科の生徒さんの発表もなされます。このような取組みを通じて測量設計コンサルタント業への認知度向上と人材確保・育成に繋がっていくことを期待しています。

このように、論文等の発表、基調講演、特別発表といずれも有益な内容となっておりますので、今年も是非、多くの皆様方に御傾聴を賜りますとともに、有意義な発表会となることを心から祈念しています。

協会員全社の各資格者数推移



プログラム		時 間
1. 協会会長挨拶	内田 貴士 会長	9:15 ～ 9:20
2. 来賓挨拶	国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所 所長 和田 賢哉 様 熊本県土木部 部長 菰田 武志 様	9:20 ～ 9:30
3. 論文発表（午前の部）		9:30 ～ 10:50
1. 鋼桁橋梁の耐候性補修設計 辻口 隆史 (株)新興測量設計		9:30 ～ 9:50
2. UAV写真測量による集中豪雨河川災害の資料作成 満井 美波 旭測量設計(株)		9:50 ～ 10:10
3. 道路擁壁設計におけるBIM/CIMの活用 藤本 馨 (株)旭技研コンサルタント		10:10 ～ 10:30
4. 道路トンネル点検の現状と今後の課題について 前垣 創大 (株)ヒライ・コンサルタント		10:30 ～ 10:50
4. 基調講演 「令和2年7月豪雨の復旧状況と球磨川の流域治水について」 国土交通省九州地方整備局八代河川国道事務所 所長 飯島 直己 氏		11:00 ～ 12:00
～ 昼食・休憩 ～		12:00 ～ 13:00
5. 熊本県優良業務表彰紹介		13:00 ～ 13:10
6. 論文発表（午後の部）		13:10 ～ 14:50
5. 境界特定困難地でのUAVによる撮影画像の活用とその有用性について 岩田 慎吾 (株)ワールドコンサルタント		13:10 ～ 13:30
6. アルカリシリカ反応の可能性があるコンクリート橋の詳細調査と診断 ～小島橋の事例～ 北田 公彦 (株)ARIAKE		13:30 ～ 13:50
7. 暗渠の内空状況測量におけるLidar SLAM技術の活用と展望 村山 祐暉 (株)興和測量設計		13:50 ～ 14:10
8. 地中化構造によるエリア的な無電柱化の設計 村田 匡俊 (株)水野建設コンサルタント		14:10 ～ 14:30
7. 技術レポート		
阿蘇カルデラの風土資産調査と砂防事業への活用検討 佐々木 謙 (株)建設プロジェクトセンター		14:30 ～ 14:50
～ 休 憩 ～		14:50 ～ 15:00
8. 特別発表 (1)「地図はこうして作られる。～私たちの測量体験～」 熊本県立天草工業高等学校 土木科 (2)「災害が起こる前に私たちができること」 熊本県立阿蘇中央高等学校 グリーン環境科 (3)「産学官連携と課題研究の取組み」 熊本県立熊本工業高等学校 土木科		15:00 ～ 16:00
9. 講 評	滝川 清 熊本大学 名誉教授（協会技術顧問）	16:00 ～ 17:00
10. 閉 会	椎葉 晃吉 副会長・技術委員会委員長	17:00
※ 発表時間 15分，質疑応答時間 5分とします。		

目次

基調講演

「令和2年7月豪雨の復旧状況と球磨川の流域治水について」 飯島 直己 国土交通省九州地方整備局八代河川国道事務所 所長	5
--	---

特別発表

「地図はこうして作られる。～私たちの測量体験～」 熊本県立天草工業高等学校 土木科	6
「災害が起こる前に私たちができること」 熊本県立阿蘇中央高等学校 グリーン環境科	
「産学官連携と課題研究の取組み」 熊本県立熊本工業高等学校 土木科	

発表・論文

鋼桁橋梁の耐候性補修設計 辻口 隆史 (株)新興測量設計	10
UAV写真測量による集中豪雨河川災害の資料作成 満井 美波 旭測量設計(株)	14
道路擁壁設計におけるBIM/CIMの活用 藤本 馨 (株)旭技研コンサルタント	18
道路トンネル点検の現状と今後の課題について 前垣 創大 (株)ヒライ・コンサルタント	22
境界特定困難地でのUAVによる撮影画像の活用とその有用性について 岩田 慎吾 (株)ワールドコンサルタント	26
アルカリシリカ反応の可能性があるコンクリート橋の詳細調査と診断～小島橋の事例～ 北田 公彦 (株)ARIAKE	30
暗渠の内空状況測量におけるLidarSLAM技術の活用と展望 村山 祐暉 (株)興和測量設計	34
地中化構造によるエリア的な無電柱化の設計 村田 匡俊 (株)水野建設コンサルタント	38

発表・技術レポート

阿蘇カルデラの風土資産調査と砂防事業への活用検討 佐々木 謙 (株)建設プロジェクトセンター	44
---	----

参 考

論文作成基礎資料	47
技術発表会論文作成要領・例	49

【演題】

「令和２年７月豪雨の復旧状況と球磨川の流域治水について」

国土交通省九州地方整備局八代河川国道事務所 所長

飯島 直己

This image shows a full page of a document template designed for handwriting practice. It consists of approximately 20 evenly spaced, horizontal blue dashed lines extending across the entire width of the page. The background is plain white, providing a clear contrast for the lines. There are no margins, text, or other markings present.

【演題】

「地図はこうして作られる。～私たちの測量体験～」

熊本県立天草工業高等学校 土木科

[illegible]

【演題】

「災害が起こる前に私たちができること」

熊本県立阿蘇中央高等学校 グリーン環境科

[illegible]

【演題】

「産学官連携と課題研究の取組み」

熊本県立熊本工業高等学校 土木科

This image shows a full page of primary-ruled notebook paper. It features ten sets of horizontal ruling lines across the page. Each set consists of three lines: a solid top line, a dashed middle line, and a solid bottom line, all in blue ink. The margins are consistent on all sides, providing ample space for writing practice.

発表・論文

鋼桁橋梁の耐候性補修設計

株式会社新興測量設計 技術部 辻口 隆史

本稿は、過年度に実施された橋梁定期点検において、診断の判定区分がⅢ（早期措置段階）とされた既設橋梁の対策を検討したものである。今回報告する補修設計は、桁端部の耐荷力を照査し、桁補強の必要性がないことを確認したうえで、不安定錆が形成されたH型鋼桁端部の補修、原因と推察される伸縮装置部、及び地覆部の漏水対策である。漏水対策に関しては、通常は伸縮装置の更新取替えが行われるが、ここでは止水ゴム部分のみの補修の施工実績から、現時点で最良と判断した材料で設計を行った。

キーワード；鋼桁端部不安定錆，耐荷力照査，レーザーケレン，重防蝕塗装，漏水対策

1. はじめに

橋梁・トンネル等構造物については、定期点検が5年に1回の頻度で実施されている。

橋梁点検の目的は、橋梁の現状を把握し、合理的な維持管理を実施するために不可欠である基礎資料を蓄積し、継続的かつ効果的な点検や計画的な補修・補強を行うことにある。

本稿では、熊本県橋梁点検マニュアル（案）（令和3年3月改訂）に基づいた定期点検の結果、診断Ⅲ「早期措置段階（構造安定性に影響がある状態）」と診断された山間部に位置する1979年（昭和54年）架設、供用46年のH型鋼桁橋梁について、損傷の原因を考察し、現地状況に即した補修設計を行った。

橋梁の構造は、H鋼桁の10m以上なので、合成桁構造である可能性はあるが、安全側の設計となるよう非合成桁として考える。また、構造計算には道路橋示方書²⁾³⁾を参考に、基本的な構造計算式を用いて計算を行っている。

2. 橋梁の損傷状況と劣化要因

（1）橋梁の概要

対象橋梁（写真-1、図-1）は、生活道として利用されており、橋長13.4m、支間長13.0m、有効幅員5.00m、桁には耐候性のH型鋼材が使用されている。

耐候性の鋼材とは、鋼中にリン(P)、銅(Cu)、クロム(Cr)、ニッケル(Ni)などの合金を微量添加することによって、表面にできる錆が緻密で密着性のある安定錆になるため、水や空気の浸透を抑制し、内部の錆の進行が抑えられるものである。

橋梁定期点検において、水切り工などの水対策はされておらず、桁端部の耐候性H型鋼材の安定錆の不形成、補剛材の断面減少が認められている。

H型鋼材端部の断面は、図-2に示すように支間部分は桁高912mm、フランジ幅200mm、ウェブ厚18mm、フランジ厚34mmとなっている。



写真-1 橋梁側面図

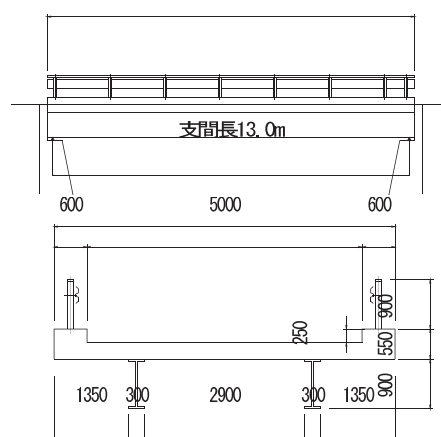


図-1 橋梁の断面図

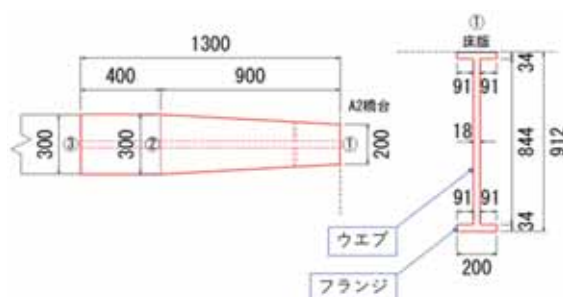


図-2 H型鋼材の断面

(2) 損傷状況と劣化要因

橋の損傷状況は、H型鋼桁の端部で、**写真-2**に示すとおり安定錆が形成されておらず、ウェブの断面減少、伸縮継手部から雨水が漏れてきているのが確認できる。**写真-3**に示す支承上部の補剛材の断面減少が確認できる。

橋の劣化要因は、**写真-4**に示す車道部の突合せ型伸縮装置の止水性低下、**写真-5**に示す地覆部は止水材がない状態となっている。この漏水が桁端部の安定錆形成を阻害し、補剛材の断面減少の原因になったものと推察される。

3. 耐力力照査

交通状況より当時の二等橋で設計されていると想定し、昭和31年鋼道路橋設計示方書²⁾に基づき載荷すると、二等橋の橋梁で、有効幅員5.0mであることから、全幅員が主載荷荷重となり、一等橋の70%の荷重を作用させて設計されている。

さらに、衝撃の影響として衝撃係数を割増すため、(3-1)式に従って活荷重は1.32倍したものを与える。

$$\text{衝撃係数} = 1 + i \quad i = \frac{20}{50 + L} \quad (3-1)$$

ここに、L：支間長(13.0m)である。

図-3に示すように桁の構造計算には、3.5kN/m²の0.7掛けの等分布荷重2.45kNを載荷する。桁1本あたりでは橋の幅員2.5m分で、衝撃荷重を考慮して延長方向桁1本あたり8.09kN/mとなる。死荷重は、床板・桁・防護柵の自重合計で、桁1本あたり29.49kN/mとなる。

このことから、延長方向の等分布荷重は、桁1本あたりの荷重と死荷重を合計した37.58kN/mとなる。

さらに、橋軸直角方向に幅1mあたり50kN/mの0.7掛けの集中荷重を載荷する。桁1本あたりでは橋の幅員2.5m分で、衝撃荷重を考慮すると集中荷重は、115.5kN/mとなる。

(1) 桁端部の応力状態照査

支承上のモーメント(M)、桁の断面係数(Z)を求め、モーメントを断面係数で除すことで、部材に発生する最大曲げ応力度(σ)を求め、部材の許容応力度内にあることを確認する。

橋軸方向に200mmの幅を持っている現行のT荷重が、片持ち梁の端部を解くのに適しているので、T荷重を用いる。また、橋軸直角方向の載荷量に制限はないので、二組載荷できるものとし、桁1本に1組として載荷する。

図-4に示すように桁1本にT荷重を載荷すると活荷重は、200kNに衝撃荷重を考慮して延長200mmで除すので1,320.0kN/mとなる。支承部から200mm部分が片持ち梁状態となっているので、支承上のモーメント(M)を(3-2)式で求めると、M₁=27.0kN・mとなる。

$$M = \frac{w \cdot x^2}{2} \quad (3-2)$$

ここに、w：死荷重+活荷重(1,349.49kN/m)，x：支点部からの長さ(200mm)である。

桁の断面係数(Z)を(3-3)式で求めると、Z = 7,728,362mm³となる。

$$Z = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} \quad (3-3)$$

ここに、B：フランジ幅(200mm)，H：全体高さ(912mm)，b：フランジ内側幅(182mm)，h：内側高さ(844mm)である。

支承上のモーメント(M)と桁の断面係数(Z)から最大曲げ応力度(σ)を(3-4)式で求めると、σ = 3.5N/mm²となる。

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad (3-4)$$

最大曲げ応力度σ = 3.5N/mm² ≤ 140N/mm²で、許容応力度の2.5%である。応力の発生が微小であることから、現時点での桁端部の補強は不要と判断した。



写真-2 桁端部安定錆が形成されていない



写真-3 補剛材の断面減少



写真-4 伸縮装置の状況 (止水性低下)



写真-5 地覆部の状況 (止水材無)

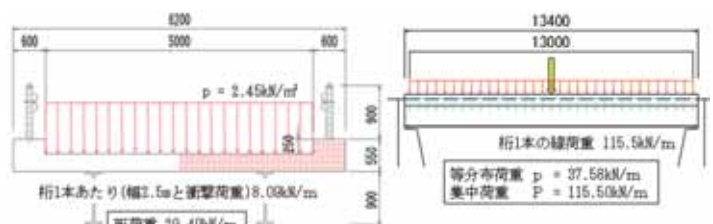


図-3 設計荷重

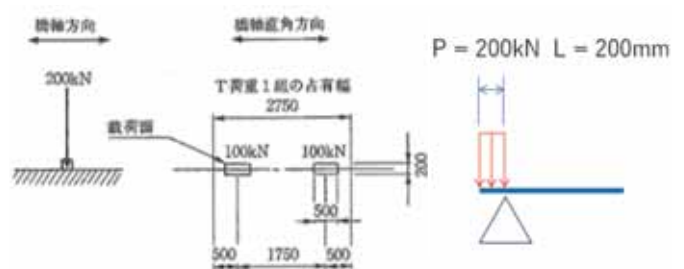


図-4 端部設計荷重³⁾

(2) 桁支点部の支圧応力状態照査

補剛材とウェブの支圧面積(A)、支圧力の等分布荷重と集中荷重の合計(W)を求め、支圧面積を支圧力の合計で除すことで、部材に発生する支圧応力度(σ_a)を求め、鋼材の許容応力度内であることを確認する。ただし、**図-5**に示すように腹板と補剛材を柱として考え、補剛材が主で、ウェブは副部材として補剛材の70%断面³⁾の使用となる。

(3-5)式に従って補剛材の断面積にウェブの使用面積の70%を見込んで1.7を掛けて求めると、支圧面積 $A=4,022\text{mm}^2$ となる。

$$A = (w \times t \times 2) \times 1.7 \quad (3-5)$$

ここに、 w ：補剛材幅(91mm)， t ：補剛材厚(13mm)である。

支圧力は桁1本あたりなので、等分布荷重の半分と全線荷重である集中荷重の合計となり、(3-6)式に従って支圧力合計 $W=359.8\text{kN}$ となる。

$$W = \frac{p \times L}{2} + P \quad (3-6)$$

ここに、 p ：等分布荷重(37.58kN/m)， L ：支間長(13.0m)， P ：集中荷重(115.5kN/m)である。

支圧面積(A)と支圧力(W)から支圧応力度を(3-7)式で求めると、 $\sigma_a=89.5\text{N/mm}^2$ となる。

$$\sigma_a = \frac{W}{A} \quad (3-7)$$

支圧応力度 $\sigma_a=89.5\text{N/mm}^2 \leq 140\text{N/mm}^2$ で、許容応力度の64%である。一部断面減少が生じているが許容応力内で余裕があることから、現時点での桁支点部の補強は不要と判断した。

4. 対策工の設計

耐力照査で桁端部の補強が不要であることが確認できたので、これ以上の損傷が広がらないために、**図-6**に示すように端部を重防蝕塗装とし、錆の原因と推察される伸縮装置及び地覆部からの漏水防止対策を行うこととする。

(1) 端部重防蝕塗装

鋼道路橋防食便覧⁴⁾より、鋼材の再塗装は、錆を全て除去し鋼材面を露出させる1種ケレン、及び塗装はRc-1塗装系(スプレー)の5層塗りが標準となっている。しかし、塗装面積が数平米と範囲が小さいことから、標準工法だとコストが大きくなるため、コスト縮減が行える工法がないか検討を行った。

a) クリーンレーザー工法(非接触塗膜除去工法)

標準的な1種ケレンは、サンドブラストである。しかし、環境対策として大掛りな作業範囲の足場と養生、ブラストした廃材の収集など非常に手間を要する。

そこで、**図-7**に示すように高出力のレーザー光線

で、1種ケレンと同等の素地調整ができるクリーンレーザー工法を検討した。

クリーンレーザー工法は、レーザー照射で気化させた塗膜や錆、付着塩分、及びPCB/鉛/クロムなどの有害物質の微粒子をバキューム吸引で回収できるので、第三者や作業員への人的被害と自然環境への負荷が軽減できる。また、研磨材や薬品を使用しないことで、発生廃棄物を大幅に減容でき、施工範囲のみの足場と養生で作業が可能である。

これらのことから、クリーンレーザー工法を採用した。



図-5 腹板と補剛材断面図²⁾



図-6 端部防蝕対策範囲図

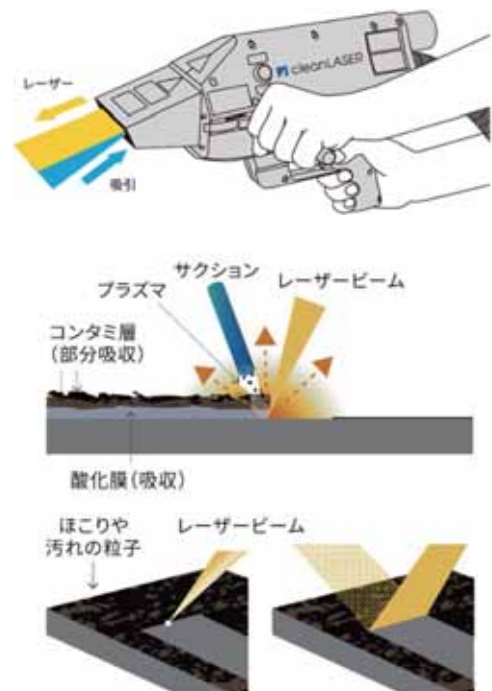


図-7 クリーンレーザー工法

b) 省工程重防蝕塗装

鋼材の再塗装は、Rc-1塗装系(スプレー)の5層塗りとなっているが、1層ごとに1日以上乾燥が必要となり、小規模な範囲ではコストが大きくなる。

そこで、鋼材橋梁の塗替え実績が多い首都高の研究成果から、5層塗りの重防蝕塗装と同等で、工程短縮が期待できる省工程重防蝕塗装⁵⁾を検討した。

省工程重防蝕塗装⁵⁾は、下塗り1回、上塗り1回の計2層塗りで、従来の塗装系と同等の効果を発揮し、塗装工程が1日となるため工程の短縮が可能である。

このことから、**表-1**に示すように作業工程で60%以上のコスト削減が見込めるため、**図-8**に示すブラッシュャブル・エス(超厚膜無溶剤系セラミックエポキシ樹脂塗料)を採用した。

(2) 錆原因の漏水対策

伸縮装置の漏水対策は、通常であれば伸縮装置の更新となるが、玉名市建設課の直営施工で実績のある止水ゴムなどの補修を、今回の伸縮装置、及び地覆部の補修に活用した。玉名市建設課では直営施工の実績から、金属への付着力や変形への追随性にすぐれた弾性シール材を、現時点での最良の材料として使用している。

弾性シール材には、流動性の高い非排水型鋼製伸縮装置用弾性シール材と、流動しないポリブタジエン系弾性シール材があり、もともと工場出荷時の伸縮装置内の止水材で使用される弾性のシール材で、コンクリートや鉄に対する接着力が強く、伸縮に対する追随性が良好であり、**写真-6**、**写真-7**、**写真-8**、に示すように最も信頼の高い止水材となっている。

a) 伸縮装置の漏水対策

対象橋梁の伸縮装置は、遊間が小さいので、流動性が高く流し込み施工が可能なシール材が適しているため、非排水型鋼製伸縮装置用弾性シール材を漏水対策として採用した。

b) 地覆部の漏水対策

橋梁の地覆部は、立ち上がり部の止水も必要のため、流動せずに施工が可能なポリブタジエン系弾性シール材を漏水対策として採用した。

5. おわりに

設計橋梁は、耐候性鋼の主桁端部に安定錆が形成されておらず、補剛材の断面減少が発生していた。しかし、耐荷力を照査し、耐荷能力が十分であることを確認し、桁端部及び桁支点部の補強の必要性がないことから、重防蝕塗装のみでの設計とした。

漏水問題に関しては、玉名市建設課の直営施工での実績を参考に、現時点で最良と判断される材料を用いて、伸縮装置及び地覆部の補修を提案して設計を完了した。

今後、建設後50年を超える老朽化した橋梁が増えていく中で、維持管理のための費用増大が予想されており、維持管理費の削減が必要となると考えられる。本業務において、橋梁の状態を把握し、現状に即したコスト削減の対策を提案できたものと

考える。

今後の橋梁補修についても、橋梁の状態や周辺状況に即した設計を行い、維持管理費の削減に寄与できるよう業務に努めたい。

最後に、設計にご協力いただき、資料等を快く提供していただいた、玉名市建設課の橋梁メンテナンス班の皆様、関係者の皆様に感謝の意を表す。

表-1 重防蝕塗装比較

端部重防蝕塗装比較				
	今回対策工	日数	標準工法	日数
素地調整(1種ケレン)	クリーンレーザー	1	サンドブラスト	1
再塗装	省工程重防蝕塗装	1	Rc-1塗装系(5層)	4
安全性	◎		△	
環境性	◎		△	
合計		2		5



図-8 重防蝕塗装仕様



写真-6 伸縮装置
ゴム部分のみ補修

写真-7 支承周りが
よく乾いている



写真-8 地覆部の補修

参考文献

- 1) 熊本県橋梁点検マニュアル(案)(令和3年3月)
熊本県土木部 道路整備課
- 2) 鋼道路橋設計示方書(昭和31年5月)
公益財団法人 日本道路協会
- 3) 道路橋設計示方書(I 共通編)(平成29年11月)
公益財団法人 日本道路協会
- 4) 鋼道路橋防食便覧(平成26年3月)
公益財団法人 日本道路協会
- 5) 橋梁と基礎(2018.Vol152)
鋼構造物省工程塗料の開発

UAV写真測量による 集中豪雨河川災害の資料作成

《事業・体験等報告》

旭測量設計株式会社 測量課 満井美波

令和5年7月梅雨前線による線状降水帯の発生に伴う集中豪雨の影響により、上益城郡益城町の赤井川が被災したため測量調査を行った。被災河川である赤井川の被災総延長は約4Kmに渡り、災害査定対象箇所は23工区となった。発注機関との協議により、広範囲な被害状況を確認する上で早急に被災全容の図面等が必要となったためUAV写真測量を行った。この時の業務体験に基づきUAVによる河川災害資料作成時の有用性について報告する。

キーワード；ドローン，UAV写真点群測量，線状降水帯，豪雨災害

1. はじめに

本稿では、令和5年7月集中豪雨で発生した赤井川河川災害にて、UAV写真点群測量（以下「UAV測量」という。）を用いた被害状況調査を報告する。

UAV測量とは、UAV（無人航空機・Unmanned Aerial Vehicle、通称ドローン）により地形、地物等を撮影、その空中写真を用いて三次元形状を復元し地図データを作成する作業である。今回は、集中豪雨による河川災害の資料作成のため、UAVによる空撮にてオルソモザイクを作成し当該調査範囲の地形図を作成したので、ここに報告する。

2. 事業概要

令和5年6月30日から7月3日にかけて九州付近に停滞した梅雨前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだ影響で、大気の状態が非常に不安定となり記録的な大雨となった。

上益城管内（熊本県熊本地方）では、7月3日6時59分、13時30分の二度にわたり線状降水帯の発生情報「顕著な大雨に関する気象情報」が発表された。また、6月30日～7月3日（5日間）の雨量は、**図-1**¹⁾に示すように吉無田雨量局（気象局）で751mmを観測するなど、記録的な大雨となった。それに伴い、**図-2**に示す熊本県上益城郡益城町から御船町を流れる一級河川緑川水系木山川支流である赤井川が被災し、災害復旧へ向けての調査を行った。

(1) 現地状況

本調査対象河川である赤井川においては、豪雨の影響による増水に伴い、広範囲で浸水被害が発生した。また、**写真-1**に示すような護岸の崩壊や周辺からの土砂流入による土砂災害も多数確認さ

れた。このように、地域の安全性や地形環境に大きな変化が生じており、迅速かつ正確な状況把握が求められる。

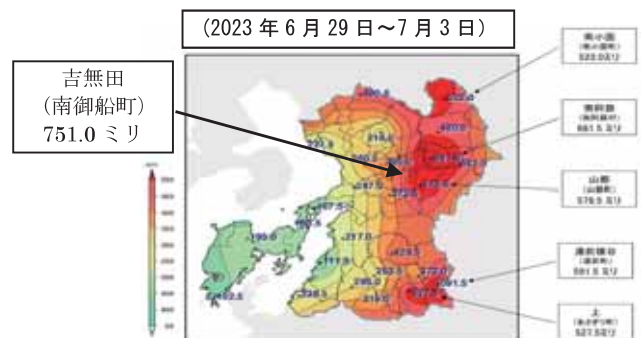


図-1 アメダス総降水量の分布図¹⁾



図-2 赤井川位置図



写真-1 被害状況一部

3. 使用機器とソフトの概要

(1) 使用機器

写真-2は、phantom4pro DJI製品、カメラ搭載型ドローンである。取扱いのよい機体の大きさと5方向障害物検知センサーの搭載、高精細な静止画の撮影と動画撮影が可能であり、空撮等では多く使用される。

(2) 使用ソフト

Pix4D（飛行ルートプログラム）は図-3に示すように撮影エリア・対地高度・重複率などを設定し飛行ルートを作成、機体に自律飛行を実行させるソフトである。

Metashape（解析ソフト）は、撮影した複数の写真から特徴点を抽出し三次元形状復元を行い、オリジナルデータ等の三次元点群データを作成するものである。

4. UAV飛行における計画と注意点

(1) 飛行ルートの設定

被害状況から撮影範囲を図-4に示すように計10エリアに作業区域を決定した。

a) 対地高度

現地踏査を行い高圧線の位置、障害物（立木等）の高さを確認し対地高度を設定。通常平地での撮影は50m～70m、山間部等では80m～100m、今回は山間部での撮影が主だったため100mで決定した。対地高度が高くなると地上画素寸法も大きくなり、写真上での対空標識の視認性が悪くなるため、解析時には考慮する必要がある。

b) 対空標識設置

UAV測量を行うにあたり、データ解析時に正確な座標を認識させるため、撮影範囲内の地表に標定点を設置する。解析時に座標を指定する際、空中写真上での標定点の視認性を確保するため設置した標定点上に写真-3に示すような対空標識を設置する。また、本業務では、標定点を写真-4に示すネットワーク型RTKにて観測し座標値を求めた。

c) コースの設定

現地踏査を行い決定した対地高度を基準にPix4D（飛行ルートプログラム）を使用して飛行ルートを作成する。撮影エリアは、1フライトにつき5分から10分以内で完了できる範囲とする。

使用機体であるPHANTOM 4 PROのバッテリー駆動時間が約20分であることを踏まえ、安全、かつ効率的な運用を図るため、1回のフライトは最長でも10分以内に完結させるものとした。

d) DIPSへの飛行計画の通報

DIPS（ドローン情報基盤システム）とは、国土交通省への飛行許可・承認申請をオンラインで行うことが可能である。申請システムのDIPSに飛行計画を事前に通報し情報を共有するものである。



写真-2 phantom4pro機体



図-3 Pix4D飛行ルート作成画面



図-4 撮影エリア区分



写真-3 対空標識



写真-4 ネットワーク型RTK

e) 安全管理

飛行の際に機体の飛行前点検を行い、飛行日誌の記録・確認した。併せて、周囲の安全確認のために、操縦者1名、補助員3名の計4名でUAVの飛行にあたり補助員は飛行区域に第三者の進入の注意喚起、周囲の状況変化等を常に監視し、操縦者が安全に飛行できるようにサポートを行う。また、補助員を速やかに対応できるように飛行範囲の起点・中央・終点等に配置を行った。

f) 精度と作業時日数

本作業では、約4kmに及ぶ作業区間の撮影を迅速な完了のため、高度100mにて撮影を行った。

この際、高度を上げることにより空中写真上での地上画素寸法が大きくなるため、解析する場合に对空標識の視認性が悪くなりオルソモザイク作成時に実際の標定点（対空標識）より誤差が発生しやすくなるが、本作業では各所に連続する被害箇所の把握を主にし、それらの周辺道路や山林、家屋などの位置関係の大まかな把握が第一目的と定め作成した。平均誤差0.19m・最大誤差1.075mとなった。

作業日数は外業2.5日・内業5日の計7.5日間で完了した。

5. 解析及びオルソモザイク作成

SfM(Structure from Motion)手法を採用した解析ソフトウェアMetashapeを使用し、地形形状の復元を行う。UAVにより撮影した空中写真を取り込み、ソフトの自動的解析による各画像の比較・特徴点の抽出・一致する特徴点をマッチングし、三次元形状復元を行う。

また、写真内の対空標識中心部にある標定点（図-5赤矢印に示す位置）の座標をマッチングしたデータに付与することにより、各標定点の正確な座標情報を持った点群オリジナルデータを作成した。

本解析で得たデータの一部を基に図-6に示すオルソモザイクを作成、当該調査範囲の地形図とした。

(1) オルソモザイク

航空カメラで撮影された空中写真は、レンズの中心に光束が集まる中心投影であるため、レンズの中心から対象物までの距離の違いにより、写真

上の像に位置ズレが生じる。写真に写る対象物が地面から高いほど、さらには写真の中心から周縁部に向かうほど、この位置ズレは大きくなる。上空から撮影した空中写真では、土地の起伏（高低差）による位置ズレが生じるとともに高層ビルなどの高い建物や周縁部のとがった山の像は、写真の中心から外側へ傾いているように写る。

オルソモザイクは、図-7²⁾に示すように写真上の像の位置ズレをなくし傾きのない、正しい大きさと位置に表示される画像に変換（以下「正射変換」という。）した。

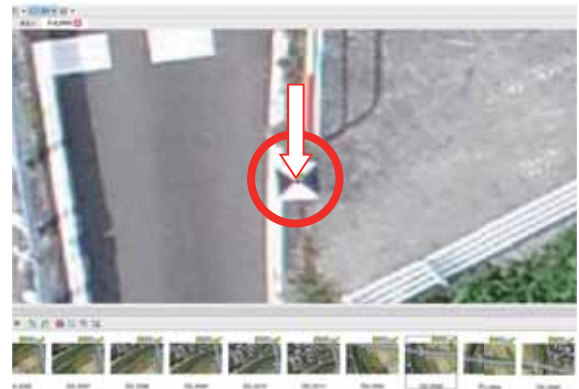


図-5 Metashape作業画面

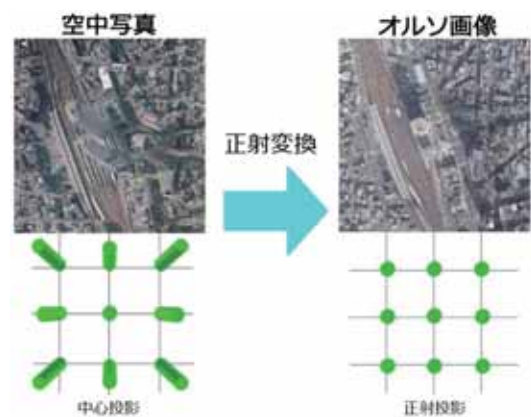


図-7 正射変換イメージ図²⁾



図-6 本調査で作成したオルソモザイク

6. 本作業による災害空撮の利点と欠点

今回、災害における広範囲の被災の状況把握を目的とした資料の作成のためUAVによる写真点群測量を実施した。従来の地上調査では立ち入りが困難であった箇所に対しても、UAVによる空撮を行うことで高精度な画像データの取得が可能となり、被災範囲の全体像を効率的に把握することができた。

対象河川は約4kmと広範囲であり、被害状況を俯瞰的かつ詳細に把握する上で極めて有効であったが課題も確認された。以下に詳細を示す。

(1) UAV測量の利点

UAVの活用により、災害資料作成における人的負担を最小限に抑えることが可能となった。これにより、安全性を確保しつつ広範囲の地形を短時間で撮影・処理することができ、迅速かつ効率的な図面作成が実現された。作業期間の短縮が図られ、作業人員の削減など利点がある。

(2) UAV測量の欠点

UAV写真測量では、樹木等の植生によって地表面が遮蔽される場合、空中からの撮影では地表面の把握が困難となるため、測量結果に欠損が生じる可能性がある。また、バッテリーの容量による作業時間の制限や飛行による安全性の確保が難しいのが欠点である。

7. 技術者向けドローン技術研修の実施

近年、測量業務におけるUAVの活用が広がりつつある中で、業務における基本的な運転技能と法的知識を若手技術者中心に向け研修を行ったので、その概要を述べる。

(1) 目的と研修概要

本研修は、測量業務等におけるUAVの安全かつ法令遵守に基づいた運用技術を習得することを目的とし、若手技術者に対しドローン業務に必要な基礎知識の習得と実務対応力の向上を図る事を目的とした。

座学では、航空法をはじめとする関連法令、飛行ルール、安全管理について学習を行い現場での実用を見据えた内容に重点を置いた。

(2) 現場業務と補佐

実際にUAV測量を行う現場に同行し、業務の流れを把握するとともに簡易的な補佐作業を行った。

写真-5は飛行前点検や対空標識の設置、飛行計画の説明を受けUAVの運用状況や現場での安全確認の指導を行った状況写真である。

(3) 操縦体験

現場業務補佐を研修期間中に経験を重ねて、UAVへの危険性や運用について学習を終え、実際に操縦を体験する機会を得た。

事前の安全説明を受けた後、離陸・ホバリング・簡単な方向移動・着地といった基本操作を体験し、機体の挙動への理解を深めるとともに操縦や飛行に対する安全管理の重要性を学ぶ場とした。

(4) 研修終えてと今後の展望

本研修を通じて、UAV運用に関する基礎的な理解や実践技能の向上が確認された。また航空法等の知識と現場経験、さらには実機での操縦を組み合わせた研修は、座学と実務のギャップを埋める教育手法として有効である。今後は、定期的な再研修やスキルアップ講座を設けることで、社内のUAV技術の底上げと安全管理の強化を図っていく必要がある。



写真-5 飛行前の安全確認

8. おわりに

本稿では、豪雨による河川災害被害の調査のため広範囲の災害資料作成を行うこととなり、UAV写真点群測量を活用した。これにより、広範囲の調査が従来の測量調査方法よりも効率化が図ることができた。また、取得された点群データを基に詳細な解析を行うことで、災害復旧計画の基礎資料として有効な情報を提供することが成果となり、測量技術の高度化と災害対応力の向上に資するものである。

さらに、本業務に従事する中で得られた知見や経験を生かし、若手技術者向けに研修等を実施し、技術の継承と人材育成に貢献した。また、これらの経験や取り組みを生かし知見を深め、技術の研鑽に努めていきたい。

参考文献

- 1) 災害時気象資料 令和5年7月4日 熊本県気象台
- 2) 地理院ホームページ オルソ画像について

道路擁壁設計におけるBIM/CIMの活用

株式会社旭技研コンサルタント 技術部 藤本 馨

近年、国土交通省の主導でBIM/CIM(Building/Construction Information Modeling, Management)の導入が進められており、将来的には完全BIM/CIM化が求められる。BIM/CIMを用いることで、建設事業全体の効率化を図るとともに、情報の高品質化・発展を行うことが可能となる。

本稿では災害復旧の設計において3次元・4次元モデルの作成・統合等を行い、BIM/CIMを活用して照査・協議を行った道路兼用護岸擁壁の設計を事例に、BIM/CIMの活用効果について報告する。

キーワード ; BIM/CIM, 統合モデル, パラメトリックモデル, 施工ステップ, 4次元モデル

1. はじめに

BIM/CIMとはBuilding/Construction Information Modeling, Managementの略であり、「建設事業で取り扱う情報をデジタルデータとして統合管理することにより、調査、測量、設計、施工、維持管理等の建設事業の各段階に携わる受発注者のデータ活用・共有を容易にし、建設事業全体における一連の建設生産・管理システムの効率化を図ること。」(国土交通省 2025, p6)と定義されている¹⁾。ここで重要なのは、3次元モデル(以下「3Dモデル」という。)そのものではなく、一連の仕組み・管理体制である点である。

BIM/CIMの活用により、設計から維持管理までの建造物のライフサイクル全体の効率化、情報活用の高精度化等の効果が見込まれるほか、「フロントローディング」¹⁾の実現にもつながる。これは施工以降のイメージを工程初期に可視化し、問題点の把握・修正により、後工程の負担を設計段階に分散し、手戻りの防止、品質の最適化等の事業全体の効率化を行う手法である。加えて、複数工程を同時並行で進め、情報共有・共同作業の促進により事業効率を高める「コンカレントエンジニアリング」¹⁾にもつながる。

本稿では災害復旧における道路兼用護岸の擁壁設計に対するBIM/CIM活用の効果について検証を行う。

2. BIM/CIM活用の効果と目的

本設計においては、BIM/CIMの活用により、以下の効果を得ることを目的とした。

- ①地形を含めた全体の完成イメージ視覚化による、関係者間での意思疎通の効率化・高精度化
- ②支障物や境界との位置関係の明確化による、干渉や施工範囲への影響の有無の確認
- ③3次元的視点及び3次元に時間軸を加えた4次元的視点で施工の妥当性を明確化

さらに、これらの効果を通じて受発注間の意思疎通及び意思決定の効率化を図るとともに、フロントローディングによる手戻り防止を目指すものである。

3. 設計方針

(1) 現場概要

対象地域は豪雨災害による被災地であり、護岸擁壁基礎部の洗掘により滑動・転倒した区間を含む写真-1 に示す国道を対象とした。

令和2年以降に2度被災し、被災以前の石積擁壁護岸が存在せず洗掘されている。加えて、一度復旧したL型擁壁が基礎部洗掘のため再度災害の可能性を有するほか、起点側は仮復旧の袋詰め玉石工が存在する。対象箇所の上流が大きく湾曲しているため、水位上昇時には水衝部となる区間である。

本路線は対面2車線であり、現場は横断暗渠、地下埋設管等の支障物が存在するほか、民有地が隣接しており、施工範囲を考慮した設計が求められた。

(2) 現場条件及び施工条件の抽出

本現場の擁壁復旧は親杭パネル工法を採用した。施工期間は山側車線の片側交互通行とし、仮設工事用道路は河川内に設置する。この際床掘・掘削では、法肩が道路中心線を超過しない掘削勾配を設定した。

本工事は本年度内の完成を目標に、2工区を同時施工する計画であり、最短施工を考慮して工事用道路の起点側である1工区を先行して施工する方針とした。工事用道路は、入口付近に高低差があり、盛土法面が河川断面を阻害するため1車線とし、擁壁前面については、施工ヤードを踏まえ2車線確保する。

施工時は支障物との干渉防止のため、仮設鉄筋挿入工は地下埋設管との離隔を1m以上確保するほか、

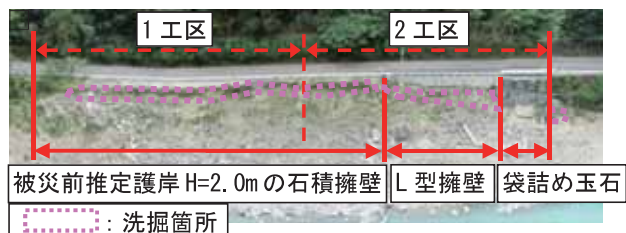


写真-1 被災箇所現況写真

アンカーの民有地越境防止を確認しつつ設計を行う。

第2章 で記述したBIM/CIM活用の各効果及び上記現場・施工条件を踏まえて、BIM/CIMの実施方針を協議し、作成するモデルの方針を決定した。目的とする効果と、各対象要素における設計・施工条件の方針の関連性について、**表-1** に示す。

4. BIM/CIMの作成モデル内容及び実施結果

BIM/CIMモデルでは、工種ごとに子細は異なるが、**表-2** に示すようにモデル詳細度の基準が存在する。モデル詳細度が1段階上がるとモデル作成に要する人件費の概算費用は2～10倍程度増加するため³⁾、活用目的に応じてデータの過不足がない詳細度での作成が望ましい。本設計では特定部の確認等において、正確な外形形状のモデルが必要であることから、詳細度300を基準とし、目的・内容に適した詳細度を要素ごとに設定・作成した。寸法、規格、マテリアル等の属性情報は必要に応じ設定した。

以下にBIM/CIMモデルの作成内容及びBIM/CIM活用実施の結果について、**第2章** で記述した各効果に対応する形で個別に記述する。

(1) 出来上がり全体イメージのモデル作成

2-① で示した関係者間での意思疎通の効率化・高精度化を目的として、護岸擁壁を中心に、地形及び対象構造物を3Dモデルで作成した。地形モデルは、UAV測量による点群データを用いて地図情報レベル250で作成した。さらに、**図-1** に示すように対象構造物・道路・付属物等の3Dモデルを作成・統合し、出来上がりの完成形状及び周辺地形の全体イメージを可視化した。

この結果、**図-2** に示す中間部の擁壁前面平場はアンカー管理のために掘り下げ計画としていたが、協議時にモデルを活用し完成イメージの確認を行った結果、水衝部のため埋戻す方針で合意決定した。

(2) 既設物との位置関係の明確化

2-② で示した干渉や施工範囲への影響の有無の確認のため、**図-3** で示すように地下埋設管モデルを作成し、掘削法面の仮設工モデルと統合したところ、仮設鉄筋挿入工との最短の直線距離が1.031mであり、離隔1mを満足していることを協議時に確認した。ただし、地下埋設管の位置は道路台帳を基に作成して

いるため、正確性に欠けることを考慮し、施工前に実測して確認することで合意した。

表-1 モデル作成における実施内容

効果	対象	設計・施工条件
2-①	全体計画	洗掘対策（再度災害防止）
		既設護岸との取り合い
2-②	用地制限	山側敷地制限（官民境界）
	地下埋設管	1.0mの離隔を確保
2-③	施工計画	河川内工事用道路の設置
		本年度完了する工程（分割施工検討）
		施工中の現道通行の確保

表-2 工種共通のモデル詳細度定義²⁾

詳細度	共通定義
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。標準横断で切土・盛土を表現、又は各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスライスさせて作成する程度の表現。
300	附帯工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形形状を正確に表現したモデル。
400	詳細度300に加えて、附帯工、接続構造などの細部構造及び配筋も含めて、正確に表現したモデル。
500	対象の現実の形状を表現したモデル。



図-2 中間部完成イメージ(設計変更前後比較)

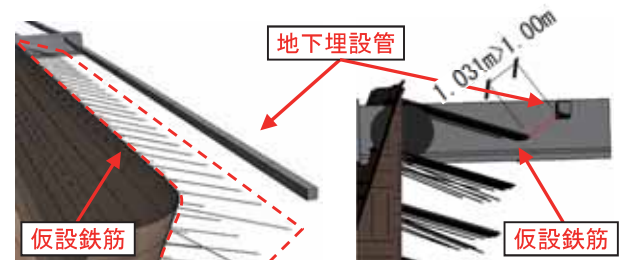


図-3 地下埋設管の離隔確認



図-1 出来上がり全体イメージ

加えて、構造物・土工・及び地形のモデルを重ね合わせ、計画擁壁と上流側既設擁壁との取り合いを確認した結果、**図-4**で示すように弱部となりえる上流側の擁壁基礎部が洗掘を受けており、洗掘対策の必要性が確認されたため、協議後に根継ぎコンクリートの施工を追加した。擁壁前面平場も同様に洗掘対策が必要となったため、施工時に状況に応じて調整対応を行うことで合意した。

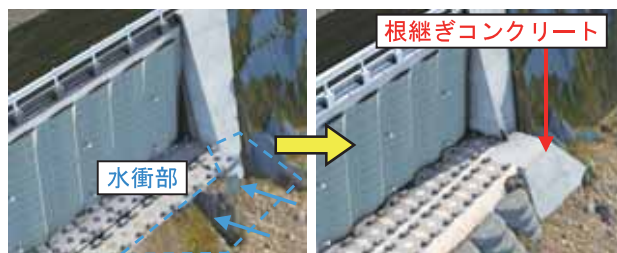


図-4 上流側既設擁壁との取り合い(設計変更前後比較)

(3) 重ね合わせによる施工の妥当性の明確化

2-③で示した施工の妥当性の明確化を目的として、**図-5**に示すように用地境界を垂直面のモデルで作成し、アンカーを含む対象構造物の3Dモデルを重ね合わせ、位置関係を可視化した。その後協議時にアンカーと官民境界の位置関係を確認し、アンカーが越境していないことを確認した。

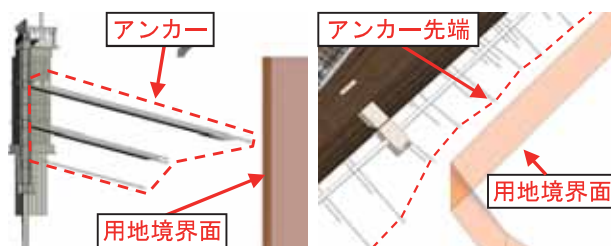


図-5 用地境界とアンカーの位置関係

加えて、**図-6**に示すように各施工ステップにおける土工形状を作成し、UAVで撮影した上空写真と統合モデルで重ね合わせ、施工範囲を可視化した結果、法面掘削時の法肩ラインが既設道路中心線を超過していないことを確認した。

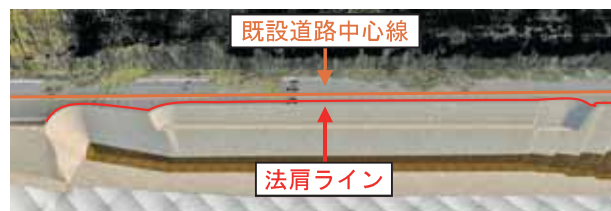


図-6 掘削法肩ラインの確認

(4) 施工ステップによる確認

2-③で示した施工の妥当性の明確化を目的として、**図-7**の施工計画図に示すように、3Dモデルに施工計画に沿った時間情報を設定し4次元モデル(以下「4Dモデル」という。)を作成した。**図-7, 8**に示すように、設定した作業日程で各要素の表示/非表示を制御し施工中の構造物は表示色を変更し強調した。

当初計画では、1工区工事用道路の施工完了後に1工区の本設と2工区の工事用道路施工が並行する施工計画を策定し、完成までの12工程を4Dモデルで作成した。その後、上記モデルから12ステップのキャプチャを出力し、施工フロー図と併せて施工計画図(案)を作成した。

協議の際に4Dモデルを確認した結果、工事用道路が1工区と2工区の共用で入口が一箇所であり、仮設時の土砂搬入車両が多いため、従来工程では効率性、安全性、経済性の悪化が想定された。そのため、工事用道路が2工区終端まで仮設後に、各工区の本設を並行して実施する方針に変更し、1工区の11工程・2工区の13工程を組み合わせた4Dモデルに修正した。それに合わせ、施工計画図を15ステップに修正した。

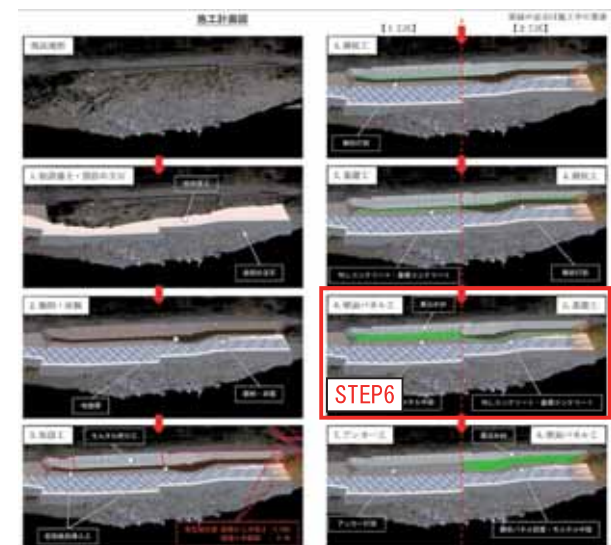


図-7 施工計画図への活用(一部抜粋：現況地形, STEP1～7)

5. BIM/CIMの導入効果と課題

(1) BIM/CIMの導入効果

本設計におけるBIM/CIMの活用に関して、得られた成果ごとに評価する。

a) 協議時間の短縮

2次元図面では把握が困難な箇所を3Dモデルで可視化し、設計及び協議時に特定の場所を拡大・回転しながら確認した。これにより、モデルを介して関係者全員が齟齬なく対象箇所を把握し、共通認識の

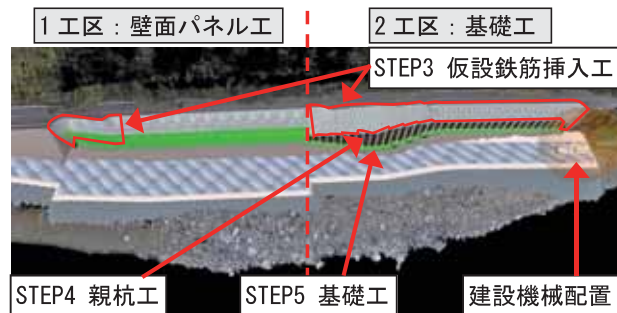


図-8 施工計画図への活用(STEP6 壁面パネル工/基礎工)

もとで協議を進めることが可能となった。

その結果、アンカーや土工をはじめとした施工範囲の妥当性の確認、4Dモデルを用いた施工ステップの理解促進に寄与し、各要素の完成イメージ及び設計条件の妥当性等の確認において、意思疎通の精度が高まるとともに、協議時間の削減につながった。

b) 手戻りの防止

擁壁前面平場・上流側既設擁壁との取り合い部における洗掘対策及び施工ステップにおいて、モデルを通した問題点の確認、設計変更があり、フロントローディングにつながった。従来方法でモデル化せずに計画が進み、施工時に手戻りが発生した場合と比較して、協議時間を含め、図-9 に示すように70.6人・日程度のコスト及び待機時間が短縮されたと推計される。特に本対象区間は複数回被災しており、再度の被災を考慮したとき、施工期間の短縮はリスク軽減にも寄与する。

c) 設計の高精度・高品質化

現況地物との位置関係の視覚化により、擁壁前面平場の図-2, 4 に示すような洗掘対策の必要性が確認されたことで、洗掘対策の向上につながった。加えて各施工段階における手順と施工範囲の可視化により施工のイメージが容易に把握でき、適切な施工計画を作成することが可能となった。

上記のようにモデルを介して、設計条件の妥当性を随時確認した上で設計を進めたことで、設計の高精度化に寄与した。

d) 今後の活用

今回作成したモデルは、施工時の動線確認等の意思疎通に加え、維持管理・住民説明会・シミュレーション等への活用が可能である。今回作成モデルは、寸法・規格・マテリアル等の属性情報を設定したパラメトリックモデル⁴⁾で作成しているため、計画変更時の対応も容易であるほか、積算等に活用することが可能となる。ここでパラメトリックモデルとは、寸法等のパラメータの入力・修正により、モデルがそれに合わせて作成・修正されるモデルである。4Dモデルも同様に、実際の施工日を入力してモデルの表示を連動させ、施工時の進捗状況の確認に活用可能である。その他、今後工事変更等が発生した際の変更協議、図面修正及び変更作業等の作業時間の短縮に寄与可能であるほか、4Dモデルを用いた工事進捗の確認、点検・更新計画の効率化等、多様な活用が見込まれる。

(2) 課題

BIM/CIMを扱える技術者の数及び能力の不足が業界と同様に当社でも課題であり、コンカレントエンジニアリングが不十分であった。作業の同時並行可能なデータ構成は構築済みであり、技術者の育成及び能力に見合った作業分担が今後の課題となる。

さらに、作業時はBIM/CIMソフトウェアの要求性能の高さ及びデータ容量の大きさに起因し、処理待機時間が頻発した。作業効率向上のためには、PC性能の向上及びデータ構成の最適化が求められる。

6. おわりに

本設計では未実施だが、BIM/CIMモデルに必要な属性情報の統合により、数量算出に活用可能である。この活用手法は「BIM/CIM積算」として国土交通省が推奨している⁵⁾。BIM/CIM積算の使用により、数量算出の精度・速度ともに顕著に高まる。そのうえ、現在は平均断面法で算出するのが一般的な土工数量を、実際の施工と同一の3次元形状で算出可能になる等、数量の精度向上が可能となる。ただ一方で、モデルの作成がより複雑になることで高度な技能と作業時間を要し、作成コストの増大が課題となる。

上記の改善手段の一つとして、プログラミングや人工知能(以下「AI」という。)との連携があげられる。一部ソフトウェアでは、視覚的にプログラムを構築可能なプログラミングツールが提供されており、プログラミング知識の浅い技術者でも、プログラムを組んでパラメトリックモデリングが可能となる。加えて、AIとの連携によるモデルの最適化や予測分析の実施も期待される。上記手法によりBIM/CIMモデル作成の効率化・高精度化に寄与可能である。

その他、GIS(Geographic Information System)や国土交通省が主導するPLATEAU⁶⁾との連携等、活用の幅は広い。ここでPLATEAUとは、地形・建築物の3Dモデル及び土地利用やハザードマップ等の既存の国土データを内包するオープンデータのことである。将来的なBIM/CIMへの完全移行を見据え、技術・体制を整えるとともに、他技術へのアンテナを広く張り、建設業界の発展に寄与するよう業務に励みたい。

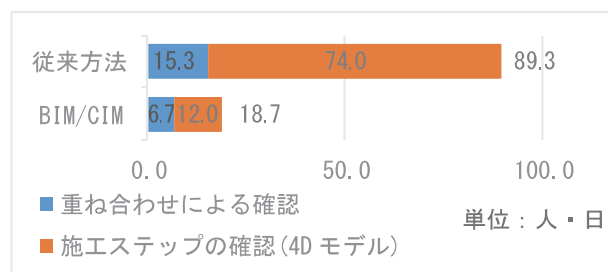


図-9 従来手法とBIM/CIMの人工比較

参考文献

- 1) 国土交通省 大臣官房参事官(イノベーション)グループ：BIM/CIM 取扱要領，令和7年3月。
- 2) 社会基盤情報標準化委員会 特別委員会：土木分野におけるモデル詳細度標準(案)【改訂版】，平成30年3月。
- 3) 国土交通省 関東地方整備局 企画部技術管理課：BIM/CIM(3次元モデル)の基礎知識，令和6年3月。
- 4) 国土技術政策総合研究所：データ交換を目的としたパラメトリックモデルの考え方(素案)，令和4年3月。
- 5) 国土交通省 大臣官房参事官(イノベーション)グループ：第14回BIM/CIM推進委員会 資料1「BIM/CIMの進め方について」，令和7年6月17日
- 6) 国土交通省：PLATEAU【プラトー】，<https://www.mlit.go.jp/plateau/>，(令和7年9月5日参照)

道路トンネル点検の現状と今後の課題について

株式会社ヒライ・コンサルタント コンサルタント事業部 前垣 創大

本稿は、熊本県が管理する道路トンネルを対象に「道路法施行規則第四条の五の六」に基づき行ったトンネル点検業務について、トンネル点検の現状と今後の課題について取りまとめたものである。

キーワード；道路トンネル、点検、山岳トンネル、維持管理、メンテナンスサイクル

1. はじめに

平成25年の道路法改正等を受け、平成26年7月より全ての道路管理者は、橋梁やトンネル等の道路構造物について、5年に1度の近接目視による定期点検が義務付けられた。道路トンネルの定期点検においては、トンネル全延長の覆工(内側表面のアーチ状の側壁・天井部分)コンクリート及び附属物(照明、ジェットファン等)について、必要に応じて打音検査を併用しながら近接目視により点検を実施している。

熊本県が管理するトンネルは、全153本(R6.3月末現在)である。トンネル工法別の内訳は、矢板工法が71本と最も多く、次いでNATM工法が68本となっている(図-1)。建設年代別では、建設後50年以上経過している1960年代以前に建設されたトンネルは29本、建設後45年以上経過している1970年代建設を含めると57本となり全体の約37%が建設後45年以上経過している(図-2)。これらを踏まえ、今後ますます重要になる維持管理に関するメンテナンスサイクルの現状と今後の課題について述べる。

2. 点検対象トンネルの概要

今回の点検対象トンネルは、国道265号線の山都町柏地内にある延長392mの二瀬本隧道(写真-1)と、延長93mの笹尾トンネル(写真-2)の2本である。当該国道は畜産関係や林業関係の大型車、一般車も比較的通行が多く、国交省の交通センサス報告書によると日当たりの交通量は上下線合わせて約2000台となっている。

いずれのトンネルも完成後40年以上経過している。点検対象トンネルの概要を表-1に、標準断面図を図-3に示す。



写真-1 二瀬本隧道



写真-2 笹尾トンネル

表-1 対象トンネル概要

トンネル名	幅員						有効高	建設年月
	車道	路肩		歩道		合計		
		右	左	右	左			
二瀬本隧道	6.0	0.5	0.5	1.6	0.7	9.5	4.5	S55
笹尾トンネル	6.0	0.5	0.5	1.65	0.8	9.5	4.5	S57

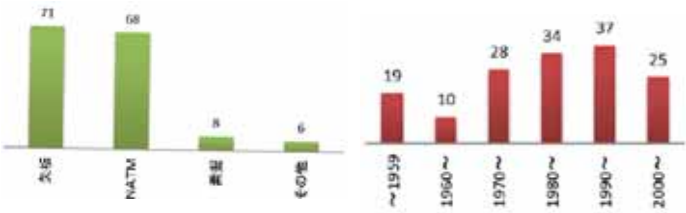


図-1 工法別内訳¹⁾

図-2 建設年代別内訳¹⁾

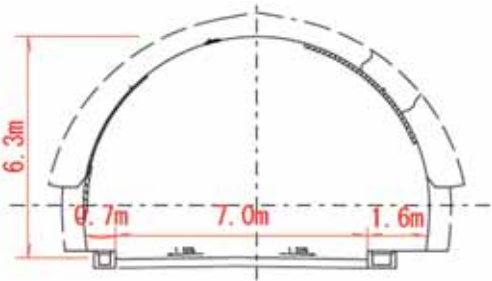


図-3 標準断面図

3. トンネル点検の進め方

定期点検は、近接目視を基本とした状態の把握と対策区分の判定を行い、これらに基づき変状及び覆工スパン毎の健全性の診断及び道路トンネルごとの健全性の診断を行う。

近接目視の定義は、「触診や打音検査ができる距離まで近づき、変状の有無や劣化の度合を確認することができること」である。

以下に点検までに必要な準備についてまとめる。

(1) 資料調査

これは他の構造物での点検でも同様であるが、過去の点検結果や補修履歴の資料調査を行った。また、本来であれば施工時のデータ資料(設計図、土被り、地質、土質、周辺地山状況等)調査も必要であるが、今回の対象トンネルは施工時期が古く資料の確認ができなかった。

(2) トンネル構造の把握

トンネル工法の違いにより変状の特徴が異なる。そもそも、矢板工法とNATM(山岳工法)では設計思想が異なる。矢板工法の覆工コンクリートは「土圧を覆工で支持する」工法であり、NATMはロックボルトを併用して「地山の保持力を利用してトンネルを保持する」工法であることから、変状種類が同じであっても、矢板工法とNATMでは変状発生機構が異なることがある。

今回点検対象のトンネルは過去の点検結果や矢板工法特有の上下半打ち継ぎ目部を現地で確認したため、矢板工法と推定した。

(3) 矢板工法トンネルでの点検

矢板工法によって施工されたトンネルの横断目地部や水平打ち継ぎ目部(上半下半打ち継ぎ目)では、温度伸縮などにより応力が集中し、ひび割れやはく落が発生していることがある。また、トンネル縦断方向の水平打ち継ぎ部に化粧モルタルを施工したトンネルが多いが、覆工コンクリートとは強度や変形特性が異なるため、うきやはく離が発生しやすい(写真-3)。

矢板工法で施工されたトンネルの打音検査範囲イメージを図-4に示す。

一般的に矢板工法のトンネルは、防水機能を有していないトンネルが多く、地山に地下水や雨水が存在する場合、ひび割れや目地部から漏水が発生することが多い。また、覆工コンクリートの打設方法により、覆工背面に空洞やコールドジョイントが形成されやすい(図-5)。

矢板工法は「土圧を覆工で支持する」という思想であり掘削後、地山の変形が収まらない中で打ち込まれた覆工コンクリートが硬化中に変形を受けるため、覆工には外力性のひび割れが生じやすい特徴がある。



写真-3 水平打ち継ぎ目部のうき

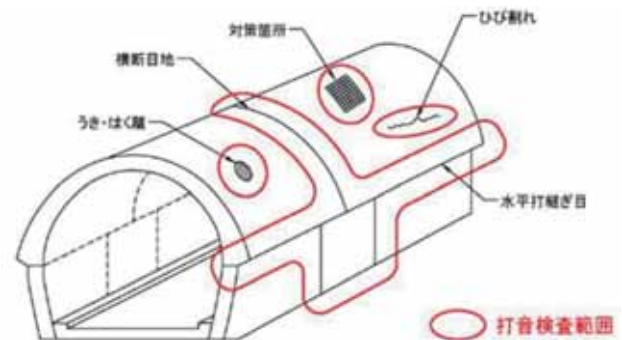
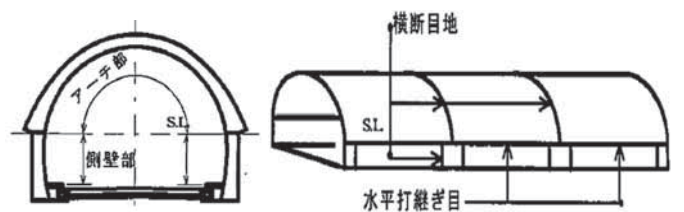
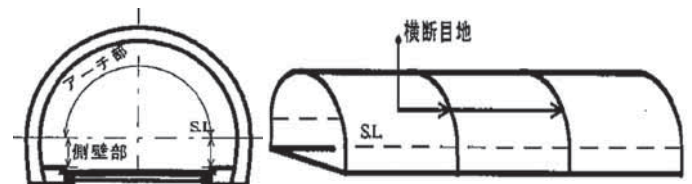


図-4 トンネル工法毎の模式図²⁾



(a) 矢板工法 (覆工打込み方法: 逆巻き、または順巻き)



(b) NATM、または矢板工法 (覆工打込み方法: 全断面)

図-5 矢板工法での打音検査範囲イメージ²⁾

4. 変状状況と原因の推定

(1) 二瀬本隧道

ひび割れ対策や、はく落対策は概ね完了していたが、スパン5の横断目地部に設置してあるはく落対策の外側に浮きを確認した(写真-4, 写真-5)。

前回の点検結果ではこれらの変状は確認できなかったが、熊本地震以降、大きな地震は確認されておらず、このような変状が突発的に発生しいたとは考えにくいので、以前から何らかの変状が存在していたと考えられる。

その他スパン32, 33では、アーチ天端付近の縦断方向スパン全長に、外力によるものと思われる幅2.0mm～2.2mmのひび割れを確認した。

(2) 笹尾トンネル

ひび割れについては未補修で、部分的にはく落対策と横断目地部に漏水対策の樋が設置されている。

全10スパン中8スパンで外力によるものと思われるひび割れ幅1.2mm～5.0mmのひび割れを確認した。

スパン9で確認されたひび割れは、2020年点検から今回の2024年点検にかけて進行は確認されなかったが、2017年点検から2020年点検にかけて、数本のひび割れでひび割れ幅の進行を確認し、最大で1.2mm進行していた。

坑口部のスパン10においては、左側壁スパン中央の上下半打ち継ぎ目部と、そこからアーチ天端に向かって伸びているひび割れに、トンネル内面に向かって押し出された段差が生じている。2017年点検時に段差は見られなかったが、2020年点検時には段差が生じFRPネットが設置されていた。今回点検(2024年)は前回からの変動は確認されなかった。点検年度別の状況を写真-6((a)2017年度、(b)2020年度、(c)2024年度)に示す。

これらの変状原因の推定には、笹尾トンネルに関する設計、施工時の資料、背面地山の土質や地質が分かる資料があれば、よりの確かな推定が可能となるが、今回は確認できなかったため現地の状況と過去の点検結果から偏土圧が作用したのではないかと推察する。

5. 対策区分及び健全度の判定

点検によって確認した変状の全てに対して、対策区分の判定を行いその結果をもとに健全度の判定を行う。各判定についてはトンネル定期点検要領の対策区分判定基準(表-2²⁾)及び健全度判定基準(表-3²⁾)を参考に行った。

健全度判定の手順としては、①対策区分の判定、②各変状毎の健全度判定(ただし、変状要因を3つに分類し、材質劣化・漏水に起因する変状は変状単位に、外力に起因する変状は覆工スパン単位に診断を行う)、③覆工スパンごとの健全度判定、④道路トンネルごとの健全性(覆工スパン毎で最も厳しい健全性を採用)とする方法で行う。

(1) 二瀬本隧道

健全度判定の流れを図-6に示す。スパン5に確認された横断目地部の浮きは、点検時に叩き落としを行うには範囲が広く、時間を要するため早期のはく落対策実施が望ましいと判断し、変状要因は材質劣化、対策区分はⅢとし、スパン5の健全度は早期措置段階のⅢとなる。

スパン32、33のアーチ天端付近のひび割れは2016年の熊本地震以降、進行は確認されていないことから、引き続き進行の有無の監視を必要と判断し、変状要因は外力、対策区分はⅡbとし、スパン32、33の健全度は予防保全段階のⅡとなり、最終的に二瀬本隧道のトンネルごとの健全度はⅢになる。



写真-4 横断目地部のうき(全景)



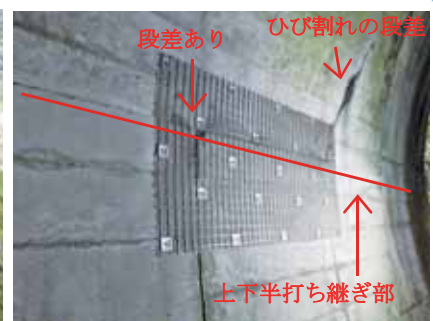
写真-5 横断目地部のうき(近景)



(a) 2017 年度



(b) 2020 年度



(c) 2024 年度

写真-6 点検年度別 変状状況

表-2 対策区分判定基準²⁾

区分	定義
I	利用者に対して影響が及ぶ可能性がないため、措置を必要としない状態。
II	将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視を必要とする状態。
IIa	将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態。
III	早晩、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に措置を講じる必要がある状態。
IV	利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急に対策を講じる必要がある状態。

表-3 健全度判定基準²⁾

区分	定義
I 健全	道路トンネルの機能に支障が生じていない状態。
II 予防保全段階	道路トンネルの機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III 早期措置段階	道路トンネルの機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV 緊急措置段階	道路トンネルの機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

(2) 笹尾トンネル

健全度判定の流れを図-7に示す。スパン3から10に確認された変状原因が外力と思われる変状は、引き続き進行の確認を必要とする点から、対策区分はIIb、スパンごとの健全性は予防保全段階のIIと判断し、最終的に笹尾トンネルのトンネルごとの健全性は予防保全段階のIIとなる。

ただし、対策工の選定を行うには変動の原因を明らかにする必要があるため、段差の詳細調査実施を提案した。

6. 点検業務の今後について

変状は一つの要因からではなく、複数の要因が重なり発生している。そのため原因の推定と対策工の検討には、設計計画や施工時の資料、トンネル背面地山の地質や土質等のデータが重要になるが、今回のように施工時期が古い構造物などは、資料や記録がない場合が見受けられる。また、過去の点検記録や補修履歴も、報告書の中から過去の変状の履歴を探し、変動の有無やこれまでの経過を照らし合わせる必要がある。

これらの作業には時間と手間を要するため、構造物の維持管理に関するメンテナンスサイクルを一層有効にするため、サイクル全体としての体系化が図られるべきである。また、過去の点検記録等を参照することが容易となったうえでの点検の実施や、その判定が行われ、更なるデータの蓄積とその活用が望まれる。

具体的には BIM や CIM の様に構造物をモデル化し、属性情報に加えて、施工時の記録、地形地質、点検記録や補修履歴の情報を付与し、点検業務や維持工事、また災害発生時等に構造物の情報が一目で分かれば、メンテナンスサイクルを支えるうえで、点検の実情や特性を十分踏まえた形で自動化、省力化、システム化を目的とした構造物の合理的な維持管理を進めていくことができると考える。

参考文献

- 1) 熊本県：トンネル等個別施設計画、令和6年3月
- 2) 熊本県：道路トンネル定期点検要領、令和1年6月
- 3) 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧、令和2年8月
- 4) 土木学会：トンネルライブラリー12 山岳トンネル覆工の現状と対策、平成14年9月

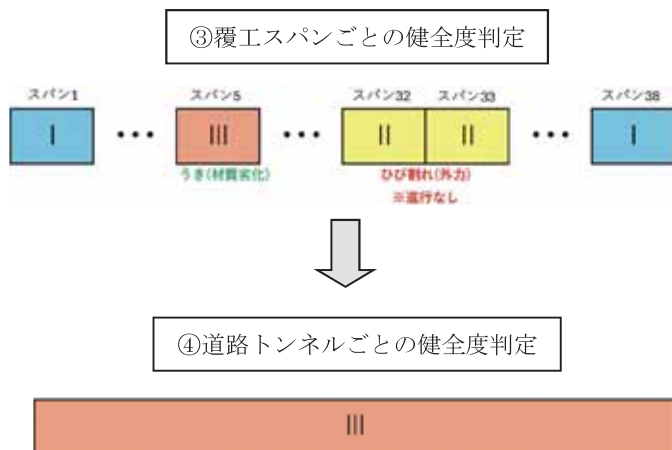


図-6 二瀬本隧道 健全度判定

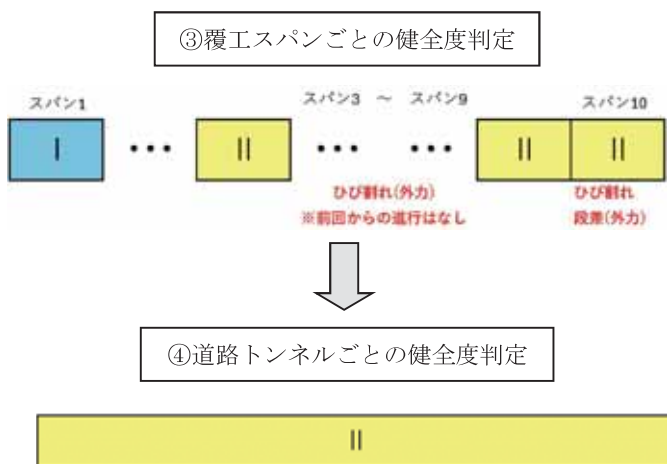


図-7 笹尾トンネル 健全度判定

境界特定困難地でのUAVによる撮影画像の活用とその有用性について

株式会社ワールドコンサルタント 技術部 岩田 慎吾

昨今我が国では、手入れの行き届かない山野が増加傾向にあり、様々な面から問題となっている。このような山野の地権者は全国的に高齢化傾向にあり、このような状況の中、用地測量における境界の特定には同意を得るのに時間を要するといった課題が生じる。効率的かつ正確な測量方法の開発や技術向上は喫緊の課題である。今回、この課題を解決すべく、より視覚的に理解しやすい技術であるUAVを用いて航空写真を撮影して既存資料と統合し、境界特定に必要な地理空間情報を作成して活用したものである。

キーワード： 国土調査、地理空間情報、 UAV、 航空写真、 用地測量

1. はじめに

近年、無人航空機(Unmanned Aerial Vehicle:以下「UAV」という。)で撮影した画像を用いた写真測量が幅広く普及している。範囲が限定的な地域であれば、表-1に示すように、UAVは従来の有人航空機を使用した航空写真測量より作業効率、コストの面で優れているためである。本稿では、事業用地取得を目的として、国土調査未実施である該当地域においてUAVによる撮影画像を活用して測量・境界立会を実施した事例を報告する。該当地域は急峻かつ草木が繁茂しており極めて視通が悪い。このような中、地権者と移動しながら境界位置を確認する必要があった。このため、境界立会に先立ち、地権者の安全を確保するための伐採範囲の確定や、境界立会に必要な資料作成を効率的に行う方法が求められた。そこで、UAVで撮影した画像を、道路設計図、法務局管轄の公図、熊本市のGISデータ、国土地理院が1970年代に作成したオルソ画像と統合し、現地踏査から境界立会まで活用できる資料を作成した。本稿では、この方法を適用した事例を示し、問題解決及び作業効率向上の効果について検証した結果について述べる。

2. 対象現場の状況と課題

熊本西環状道路は、図-1に示すように南区砂原町と北区下碓川町を結ぶ延長約12kmの自動車専用道路である。この1部区間は図-2に示すように国土調査の終わっていない地域であり境界未確定地が多い。本地区は急傾斜地に指定された、急峻な地形である。手入れのされていない竹林や雑草が背丈4m以上で繁茂しており周囲が全く見えない。このような場合、地権者を伴う境界立会を安全かつ円滑に行うには、地権者が歩けないなどの支障をきたす恐れがある。境界立会を効率的に行うためには伐採作業が必要であるが、私有地を無計画には行えない。さらに、後述する従来方法では作業効率が悪く作業期間の長期化と費用負担の増加が課題となる。

表-1 無人航空機と有人航空機の比較表

項 目	UAV(無人航空機)	航空機(有人航空機)
準備期間	現地で状況を見ながら	机上で入念な準備
飛行申請	地域によっては必要	航空局への申請が必要(数週間)
撮影当日	現地で準備・飛行(数十分)	空港から飛行、広域を一気に撮影(数時間)
天候依存	現地で状況を見ながら	影響を受けるので長期の計画が必要
データ処理時間	短め(数時間)	長め(1週間～数週間)
休期間目安	1日	数週間



図-1 熊本西環状道路の概要

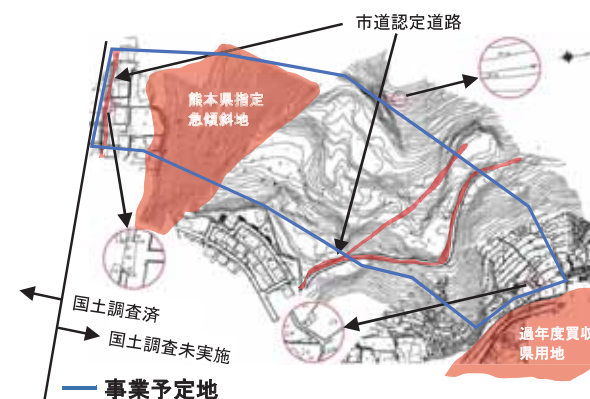


図-2 現地の地形状況

3. 従来の手法とUAVによる撮影画像を用いた伐採ルート選定の比較検討

(1) 従来の手法による伐採ルート選定

a) 平面図を用いた手法

道路詳細設計のために、三次元点群測量で平面図が作成されていた。現地の大部分は図-3に示すように等高線での表現であった。そのため写真-1に示すように、視通の悪い条件での現地踏査は、図上の赤線で表示している境界線の位置を平面図を用い現地で特定することが困難だった。したがって、現地の地形・地物による位置の把握ができず伐採ルート選定に使用するには問題があった。

b) GNSS測量による手法

背後の山に阻害されること、竹林・広葉樹帯で上空視界が悪いので使用を候補から除外した。

c) 多角測量による手法

現地には図-4に示すように既設基準点が設けられていた。ただし、伐採位置の特定に既設基準点を使用するには既設基準点間の伐採作業を行う必要性が生じる。この伐採作業は境界立会後の境界測量のためにも必須な作業であるため、実際に伐採を試みたが、1つの測点間の伐採に半日を要した。このため限られた境界立会日までの準備期間内に必要な伐採作業全てを行うことは物理的に困難との予測となった。また、図-4にて水色で示す地域は既設基準点がなく、基準点の増設から伐採、測量まで上述の地域より更に膨大な工程と時間を要するという課題が生じた。

これらの検討により伐採ルートの選定には、a)の手法では私有地の無計画な伐採になる。b)の手法が一般的ではあるが今回の条件には即さない。またc)の手法は伐採作業量と作業時間の増加が見込まれた。そのため、上記の手法は不採用とした。

(2) 航空写真を用いた手法による検討

UAVにより撮影した航空写真を用いて図-3にて示した箇所と同じ地点を図-5に示す。先述の撮影画像を目視にて判断し現地の植生状況を識別した。植生の境と境界線は関連していることが多く、図-5に示す赤色の境界線も植生の境目にあることが分かる。更に植生の境にない境界線でも、白丸のような特徴ある箇所であれば、現地で撮影画像を用いて位置関係を特定し把握することができる。この視覚的に分かりやすい航空写真を既存資料と統合すれば、より現地の状況を地権者に説明しやすい資料を作成できると考えた。

これらの検討により伐採ルートの選定には、航空写真を撮影し撮影画像上で植生状況を識別し位置関係を特定する本手法を提案し、協議の結果採用した。

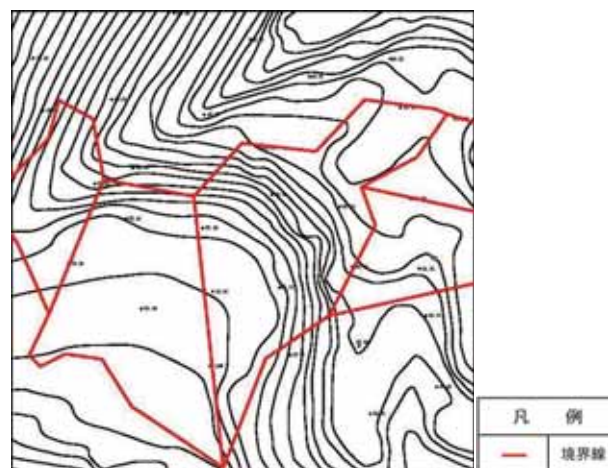


図-3 現況平面図と境界線



写真-1 現地の繁茂状況



図-4 既設基準点の配点状況

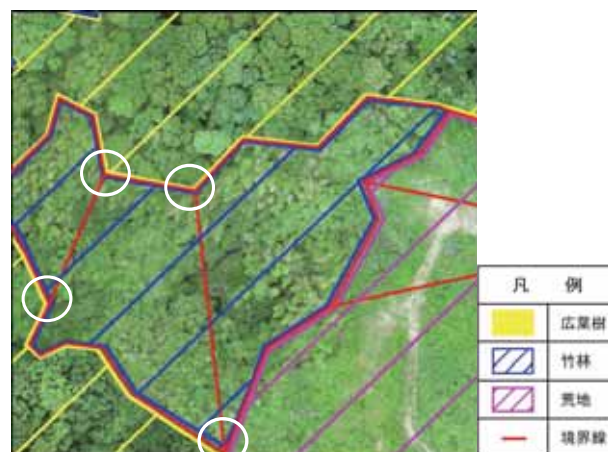


図-5 航空写真による植生状況と境界線

4. UAVによる撮影画像の取得方法

(1) UAVによる航空写真の撮影方法

本地域の航空写真の撮影を行う機体を「Phantom 4 RTK」を使用することで評定点設置の作業をなくし、作業時間を短縮した。Phantom 4 RTKのネットワーク型RTK使用時の機体位置の精度は水平方向の測位制度1cm+1ppm、鉛直方向の測位制度1.5cm+1ppmと今回の作業では問題ない。撮影条件は表-2を使用し撮影計画を立案した。撮影高度・速度・ラップ率を考慮すると図-6に示すような撮影計画となり140枚の撮影となる。飛行時間は20分程で離陸後は自動飛行となる。飛行の安全を考慮し二等無人航空機操縦者2名の目視のもとで行うこととした。

(2) 生成オルソ画像の作成

UAVで撮影した140枚の航空写真をSfM(Structure from Motion)を使用しモザイク処理を行い図-7に示すオルソ画像を作成した。オルソ画像を作成することにより写真上の像の位置ズレをなくし空中写真を地図と同じく、真上から見たような傾きのない、正しい大きさと位置に表示される画像となる。

オルソ画像は、写された像の形状が正しく、位置も正しく配置されているため、GIS（地理情報システム）などにおいて、画像上で位置、面積及び距離などを正確に計測することが可能で、地図データなどと重ね合わせて利用することができる。

5. UAVによる撮影画像の各種データとの統合

(1) オルソ画像と計画図との統合

図-8に示すようにオルソ画像に見やすい黄色の線で計画図を配置し、事業用地の範囲を明確化した。地権者に対応する境界立会において航空写真による道路の計画状況を説明することに大いに活用できた。また、境界立会後の境界観測を行う際には、図-4とともに配点不足となっている西側の4級基準点の増設計画にも活用し検討に使用した。そのため、境界立会後の境界観測時には協議の結果、4級基準点の増設が認められた。

(2) オルソ画像と境界データの統合

法務局所管の公図と熊本市のGISデータを参考に公図連続図を作成し、図-9に示すように見やすい桃色の線で推定境界線とオルソ画像を統合した。更に図-8と図-9を統合し、用地取得範囲と境界立会範囲を明確化した。これを用いることで立会日の計画や人員配置の計画を立案し、実行したことで急峻な地形かつ竹林や雑草が繁茂していた当該地域で、地権者を伴っての境界立会を安全にかつ短期間で行うという課題を解決することが可能となった。

表-2 撮影条件

使用機体	DJI Phantom 4 RTK
飛行計画作成ソフト	DJI GS RTK
撮影高度	65m
速度	3.0m/s
オーバーラップ率	80%
サイドラップ率	60%



図-6 UAVの撮影計画



図-7 作成した生成オルソ画像

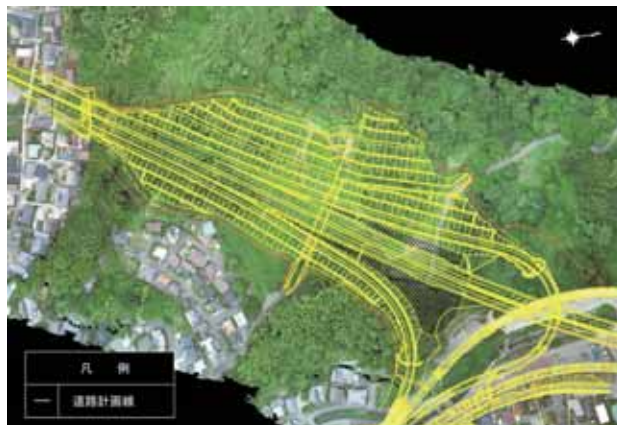


図-8 オルソ画像と統合した道路計画図



図-9 オルソ画像と統合した公園連続図

(3) 1970年代のオルソ画像との比較

現在の地形との比較に上述の画像を国土地理院から取得し、見やすい桃色の線で推定境界線と画像を統合した。今回作成したオルソ画像と同じようにきれいに統合できていることが分かる。しかし、上述の画像と平面図を統合してみたところ、図-10で示す水色の線で囲った箇所の地形が大きく変わっていた。上述の範囲の地表が露出している箇所は1970年代に近隣の造成用に土砂を掘削搬出していた模様である。現在の地形図と比較してみたところ、近年現地は土捨て場となり大量の土砂が搬入され大きく地形が変わっていることが分かった。通常、境界線は地形に沿って決められていることが多いが当時決められた境界位置は地形が大きく変わったことにより現在の地形と合致しない。したがって、現在の盛土された地形を推定境界線として伐採ルート選定の参考にできないことが判明し、それをもとに伐採ルートを選定した。なおこの資料は境界立会を行う上で現地の状況を地権者へ説明する際に大いに貢献した。

(4) 伐採ルート選定

(1)～(3)のデータを精査し、伐採ルートを効率的に作業できるよう選定した。結果として、作業期間とコストを当初の想定より削減することができた。また同ルートで境界立会を行ったことで地権者の安全を保つことができた。なお協議の結果、作業量の算出は図-11に示すように境界立会後の境界観測にて計測した境界点間の距離を各路線に色分けして計上することとした。

6. おわりに

本稿では、境界が不明瞭で急峻な地形を有する地域において、UAVで取得した撮影画像を既存資料と統合し、現地踏査から境界立会に活用した事例を報告した。高齢の地権者を伴う境界立会を安全かつ円滑に実施するためには、正確で視覚的に理解しやすい資料の作

成が有用であることを確認できた。

既設の基準点が不足し、草木が繁茂する地域で効率的に視覚的に分かりやすい資料を作成するには、従来の有人航空機による手法よりもUAVを用いる方が、所要期間や作業効率の点で技術的に優れている。実際にUAV画像からオルソ画像を生成し、既存資料と統合することで、正確かつ分かりやすい資料を提供でき、境界立会を安全に遂行することが可能となった。

全国的に手入れが行き届かない山野が増加し、地権者の高齢化が進む我が国において、本事例で示した手法は同様の地域における測量や地域開発の課題解決に有効であると考えられる。今後も、省力化に優れ、関係者の安全に資する測量技術の開発と発展に努めていきたい。



図-10 1970年代の画像と統合した公園連続図



図-11 伐採作業の実際のルート
(各ルートごとに色と番号を作図)

参考文献

- 1) 無人航空機を飛行させる場合の運用ガイドライン
：国土交通省航空局（令和6年11月）
- 2) 公共測量作業規程の準則
：国土交通省国土地理院（令和5年3月）
- 3) 公共測量作業規程解説と運用
：日本測量協会（令和5年3月）
- 5) 土木工事設計要領 第3編 道路編
：九州地方整備局（令和5年4月）

アルカリシリカ反応の可能性があるコンクリート橋の詳細調査と診断～小島橋の事例～

株式会社ARIAKE 技術一部 北田 公彦

橋梁をはじめとする交通インフラは、人や物資の移動を支え経済活動を円滑にするための重要な基盤である。その多くは、高度経済成長期に整備され、全国に約73万橋がある。このうち建設後50年を経過した橋梁は、現在約39%で、10年後には約63%に増加する。各自治体が管理する多くの橋梁も、経過年数とともに老朽化しており、中長期的な維持管理を可能とするためライフサイクルコストの縮減が重要となる。

本稿は、過去の定期点検で判定区分Ⅱ（予防保全段階）と診断されたコンクリート橋において、適切な維持管理の指標となる劣化要因の特定と診断の精度向上を目的とした詳細調査に関して報告する。

キーワード； 橋梁詳細調査、コンクリート劣化要因、健全性評価

1. はじめに

橋梁維持管理は、不具合が生じてから対策を行う「事後保全」から、不具合が生じる前に対策を行う「予防保全」への転換が求められている。これにより、今後増加が見込まれるライフサイクルコストの縮減が期待される。橋梁が損傷する要因は橋梁の構造や環境条件により異なるため、多様かつ個別的である。したがって、個々の橋梁の劣化要因を特定し、劣化進行を予測することは、適切な維持管理計画の策定において不可欠な重要事項である。

写真-1に示す小島橋は、1巡目定期点検（2016年）で判定区分Ⅱと診断されており、その劣化要因の特定と将来的な橋梁の健全性を評価することを目的として詳細調査箇所を提案し実施したものであり、ここに報告する。

2. 橋梁諸元と主な損傷概要

(1) 橋梁諸元

小島橋は、玉名市を流れる1級河川菊池川の感潮区間に1986年に架設された橋長266.2m、幅員10.3mの渡河橋である。

上部構造は3径間PCラーメン箱桁、下部構造は逆T式RC橋台・壁式RC橋脚から成り、2018年の調査時点で供用年数は32年である。

(2) 主な損傷概要

図-1に示すように、既往設計図から橋脚中心の前後5.5m範囲を柱頭部施工範囲と設定し、各部材の損傷図を作成した。主構及び橋脚に著しく生じるひび割れについて、損傷概要を以下に述べる。

写真-2に示すように、主構外部側面に橋軸方向のひび割れが生じている。ひび割れ幅は、主に0.2mm未満であり、柱頭部施工範囲内では、ひび割れ密度が高い状況にあった。

図-2、写真-3に示すように、橋脚に規則性のないひび割れが多数生じている。ひび割れ幅は0.2mm～0.8mmのバラツキであった。

柱頭部施工範囲は、橋軸直角方向の拘束が強く、ひび割れが橋軸方向に生じていることや、橋脚の規則性のないひび割れから、アルカリシリカ反応（以下「ASR」という。）の可能性があった。また、橋脚下部は、干満の影響による塩害の可能性があった。



写真-1 小島橋全景（下流側より望む）



図-1 P1エリア主構の損傷図（抜粋）

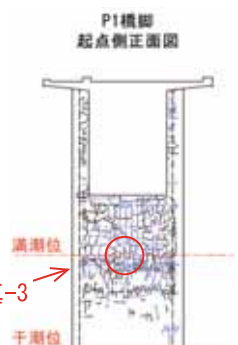


図-2 P1橋脚の損傷図（抜粋）



写真-2 主構のひび割れ



写真-3 橋脚のひび割れ

3. 詳細調査の結果概要

劣化要因の特定と劣化進行予測を行うために詳細調査を実施した。

損傷形態や環境条件から推測される劣化要因は、ASRと塩害であったが、中性化との複合劣化の可能性もあり、表-1に示す一次調査を実施した。調査箇所は、施工時期や環境条件が劣化に及ぼす影響を考慮し、主構は柱頭部施工範囲とその他範囲、橋脚は干満の影響の有無から上部と下部に区分した。

一次調査の結果、主構と橋脚にASR、橋脚下部に塩害が確認されたことから、より詳細な物理的・化学的分析を行い、劣化の進行度や構造性能への影響を評価するため、表-2に示す二次調査を提案・実施した。

(1) 中性化試験

表-3のドリル法による試験結果から、最も中性化残りが少ないP1-P2径間の主構外側でも36.7mmを有しており、中性化の影響による鉄筋腐食の可能性は小さい¹⁾。

中性化の進行予測は、 $\sqrt{t}$ 則¹⁾を用いて算出し、中性化残り10mm、塩害が複合した場合の中性化残り15mmに達するまで、最も進行が速いP1橋脚下部でも4,000年以上を要する結果となった。

(2) 塩分含有量試験

表-4の簡易塩分含有量試験（ドリル法）及び塩化物イオン含有量試験（コアスライス）の結果から、鉄筋位置における塩化物イオン量の最大値は、P1橋脚下部で3.65kg/m³あり、塩害による鉄筋腐食が生じる状態²⁾にある。また、はつり調査においても写真-4のように、鉄筋に表面的な腐食が確認された。

鉄筋腐食の進行予測における腐食発生限界濃度は、コンクリートの使用材料や配合等に影響されるため、個々の構造物によって異なる。表-5の配合推定による水セメント比及び岩種判定の結果から、普通ポルトランドセメントが使用されているものと考えられた。これを踏まえ、式(1)¹⁾を用いて腐食発生限界濃度を算出した結果、主構は2.0kg/m³となり、鉄筋腐食の可能性はない。橋脚は水セメント比が高く、提案式が適用外となるが、腐食発生限界濃度は暴露試験体のデータで1.2～2.5kg/m³との報告³⁾があることから、橋脚下部では、それを超えている状況であり、鉄筋腐食の可能性は大きい。

普通ポルトランドセメントを用いた場合

$$C_{lim} = -3.0 (W/C) + 3.4 \quad (1)$$

C_{lim} : 腐食発生限界塩化物イオン濃度 (kg/m³)

W/C : 水セメント比 ($0.30 \leq W/C \leq 0.55$)

主構 $C_{lim} = -3.0 (W/C) + 3.4$

$$= -3.0 \times 44\% + 3.4 = 2.08 \rightarrow 2.0 \text{ kg/m}^3$$

橋脚 W/C は58%となり適用外。

表-1 一次調査項目

調査項目	目的	結果概要
中性化試験（ドリル法）	コンクリートの中性化の進行度を把握し、鉄筋腐食リスクを評価	中性化の影響はない
簡易塩分含有量試験（ドリル法）	コンクリート中に含まれる塩化物イオン量を把握し、鉄筋腐食のリスクを評価	橋脚下部に塩害の影響を確認
コンクリートはつり調査	鉄筋のかぶり厚や腐食状況の確認 はつり殻によるASRの確認	ごく表面的な腐食を確認
反発硬度試験（シュミットハンマー）	コンクリート表面の反発度を測定することで、圧縮強度を推定・評価	設計基準強度以上を有している
SEM-EDS	ASRゲルの形態観察および化学組成の分析・評価	ケイ素を主とした一般的なASRゲルと判明

表-2 二次調査項目

調査項目	目的	結果概要
塩化物イオン含有量試験（コアスライス）	コンクリート中に含まれる塩化物イオン量を把握し、鉄筋腐食のリスクを評価	橋脚下部に塩害の影響を確認
一軸圧縮強度試験（コア）	コンクリートの性能低下の評価	設計基準強度以上を有している
静弾性係数試験（コア）	コンクリートの性能低下の評価	ASRの影響の可能性を確認
残存膨張量試験（アルカリ溶液浸漬法）	ASRによるコンクリートの今後の膨張性を評価	促進期間21日で0.2%超となり有害
岩種判定	骨材の岩種とASRによるゲルやクラックの発生状況を確認	ASR反応性骨材を確認
EPMA（電子線マイクロアナライザー）	中性化・塩害・ASR・硫酸浸食といった劣化原因元素の分布や反応生成物の把握	外来塩分と内在塩分を確認
配合推定	セメント・水・骨材などの配合割合を推定、腐食発生限界濃度算定に活用	普通ポルトランドセメントと推定

表-3 中性化試験結果（抜粋）

調査箇所	鉄筋の純かぶり (mm)	中性化深さ (mm)	中性化残り (mm)	鉄筋腐食の可能性	中性化残り10mm(塩害あり15mm)まで
主構外側 (A1-P1間)	38.4	1.7	36.7	小	8899年
P1橋脚（下部） 塩害あり	76.0	5.0	71.0	小	4731年

* 1 鉄筋の純かぶりは、はつり調査および鉄筋探査結果、または既往設計図の鉄筋かぶりの最小値。

* 2 2022年版コンクリート標準示方書[維持管理編]では、塩害を伴う場合の中性化残りは25mm（安全側）へ見直されている。

表-4 塩分含有量試験（抜粋）

調査箇所	鉄筋の純かぶり (mm)	鉄筋位置の塩化物イオン量 (kg/m ³)	塩害による		腐食発生限界濃度 (kg/m ³)
			鋼材腐食の可能性	全塩化物イオン量	
主構外側 (A1-P1間) P1柱頭部施工	40.0	0.26	なし	0.3kg/m ³ 以下	2.0
P1橋脚（下部）	73.0	3.65	大	2.5kg/m ³ 以上	1.2～2.5
P2橋脚（上部）	78.0	0.25	なし	0.3kg/m ³ 以下	1.2～2.5
P2橋脚（下部）	76.0	1.67	やや大	1.2～2.5kg/m ³	1.2～2.5

* 鉄筋の純かぶりは、はつり調査および鉄筋探査結果、または既往設計図の鉄筋かぶりの最小値。

表-5 配合推定

調査箇所	単位容積質量 (kg/m ³)	材料単位量 (kg/m ³)			水セメント比 (%)
		セメント量	水量	骨材量	
主構外側 (P1-P2間)	2444	503	220	1720	44
P2橋脚（下部）	2384	451	261	1672	58

* 岩種判定より、セメントペーストには、フライアッシュや高炉スラグ粉など混和剤は認められない。普通ポルトランドセメントと推定。



写真-4 P1橋脚下部はつり調査

(3) 圧縮強度試験

表-6の反発硬度試験（シュミットハンマー）及び一軸圧縮強度試験（コア）の結果、全ての調査箇所設計基準強度以上を有しており健全である。

設計基準強度については、施工年度から「昭和55年道路橋示方書」に準拠して、上部工が $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 、下部工が $\sigma_{ck}=21\text{N/mm}^2$ と考えられるが、現行基準⁴⁾と比較しても十分な強度を有していた。

(4) 静弾性係数試験

主構及び橋脚は、ASRの可能性が疑われることから、コンクリートコアを用いて試験を実施した結果、表-6に示すように、P2橋脚上部の圧縮強度 46.7N/mm^2 に対し、静弾性係数は 11.1kN/mm^2 であり、表-7の静弾性係数の標準値²⁾を下回る結果となった。表-8の評価基準²⁾から、ASRが他の箇所と比較して進行しているものと想定した。

(5) ASR関係試験

a) SEM-EDS

写真-5に示すように、コンクリートはつり殻やコア切断面を観察した結果、主構及び橋脚の試験箇所全てにASRゲルの発生が認められた。

ASRゲルについて、SEM（走査電子顕微鏡）による形態観察と、顕微鏡に付属のEDS（エネルギー分散型X線分析装置）による成分分析の結果、図-3に示すように、Si（ケイ素）を主とした、Na（ナトリウム）、K（カリウム）、Ca（カルシウム）を含む一般的なASRゲルであると判明した。

b) 残存膨張量試験（アルカリ溶液浸漬法）

表-9に示すように、P1-P2径間の主構外側は促進期間21日目で膨張率 0.233% を示し、katayamaら（2004）⁵⁾の基準では有害となり、今後も膨張が継続する可能性が示唆された。さらに、ひび割れが多数生じていることから、ひび割れ部へ水分や塩分が侵入し、ASRを促進させる可能性がある。

c) 岩種判定

表-10に示すように、主に細骨材に含まれる安山岩にASRの発生が確認された。P1-P2径間の主構外側において中程度（進展期に相当）、P2橋脚下部においては軽微から中程度（潜伏期から進展期に相当）の判定であった。

(6) EPMA（電子線マイクロアナライザー）

P1-P2径間の主構外側とP2橋脚下部において、コンクリート中で生じる中性化・塩害・ASR・硫酸浸食といった劣化の原因元素の分布や、反応生成物を微細に分析し、それぞれの劣化進行状況とメカニズムを視覚的かつ定量的に評価した。

図-4に示すように、P2橋脚下部では表面から内部に向かってCl（塩素）濃度の大きな勾配が見られ、外部からの塩分侵入と、表面からの深さ90mm以深に 1.0kg/m^3 程度の内在塩分が確認された。

写真-6に示すように、Cl濃度と SO_3 （三酸化硫黄）濃度の低い中性化の範囲は表面から2mm程度であり、

中性化試験及び塩分含有量試験と合致する結果となった。

表-6 圧縮強度・静弾性係数試験結果（抜粋）

調査箇所	(推定) 圧縮強度 (N/mm ²)	コアの圧縮強度 (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)	コアの静弾性係数 (kN/mm ²)
主構外側 (P1-P2間)	51.6	42.7	30.0	21.7
P1橋脚 (上部)	37.4	44.7	21.0	23.9
P2橋脚 (上部)	47.0	46.7	21.0	11.1

表-7 静弾性係数の標準値²⁾

コアの圧縮強度 (N/mm ²)	コアの静弾性係数の標準値 (kN/mm ²)
15~21	8.4~17.8
21~27	13.1~21.3
27~35	16.2~25.8
35~45	19.7~29.8
45~55	19.1~34.2

表-8 静弾性係数試験結果の評価²⁾

静弾性係数	評価
すべての供試体の静弾性係数が表-7で示される標準値より大きい場合	健全である*
すべての供試体の静弾性係数が表-7で示される標準値の範囲に含まれる場合	健全である
静弾性係数が表-7で示される標準値より小さい供試体がある場合	ASRあるいは凍害が生じている可能性も考えられ、場合によっては構造的な検討も必要である

*一般的には、静弾性係数の試験結果が標準より高い場合でも、構造物の健全度には影響がないと考えられる。しかし、圧縮強度および静弾性係数の試験方法に問題がなかったかどうかを確認することが望ましい。



写真-5 主構外側（P1-P2間）ASRゲル発生状況

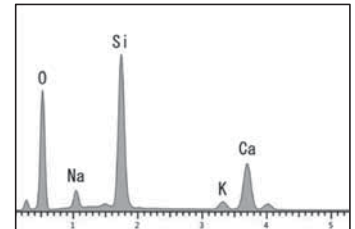


図-3 主構外側（P1-P2間）EDSによる分析結果

表-9 促進膨張試験結果（アルカリ溶液浸漬法）（抜粋）

調査箇所	促進期間（日）						
	膨張率（％）						
主構外側 (P1-P2間)	0	1	3	7	14	21	28
	0.000	0.030	0.034	0.066	0.182	0.233	0.258

0.1%未満：無害、0.1～0.2%：有害と無害な骨材が含まれている、0.2%超：有害

表-10 顕微鏡観察に基づく骨材のASR進行状況

調査箇所	岩種	ASR進行段階 →					劣化度評価
		i	ii	iii	iv	v	
		骨材	セメントペースト	骨材	セメントペースト	骨材	
主構外側 (P1-P2間)	細骨材	反応リム	ゲルしみ取り巻き	ひび割れゲル充填	ひび割れゲル充填	気泡ゲル充填	中程度
	安山岩	顕著	顕著	あり	あり	なし	中程度
	総合評価						中程度
P2橋脚 (下部)	細骨材	あり	あり	わずか	わずか	なし	軽微～中程度
	安山岩	あり	あり	わずか	わずか	なし	軽微～中程度
	流紋岩	わずか	わずか	わずか	わずか	なし	軽微～中程度
	総合評価						軽微～中程度

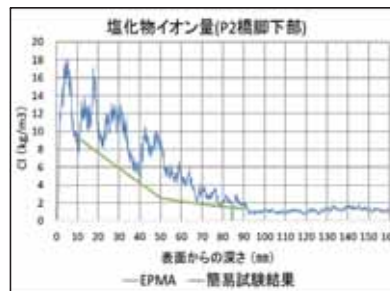


図-4 Cl濃度分布曲線と簡易試験結果の比較

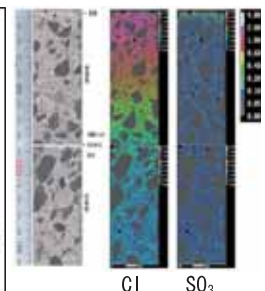


写真-6 P2橋脚下部のEPMA分析結果（抜粋）

4. 健全性の診断

特定された劣化要因に対し、将来的な橋梁の健全性を定量的に評価した。要因ごとに劣化進行過程が異なるため、外観上の変状と劣化要因の特徴を捉え、潜伏期、進展期、加速期、劣化期に区分し、想定される劣化進行をもとに、対策の要否を判定した。

(1) ASR

主構の柱頭部施工範囲と橋脚では、ひび割れの密度が高く、他の箇所には先行してASRが進行している。外観上の劣化過程は進展期から加速期である。圧縮強度試験と静弾性係数試験の結果、コンクリート強度は健全であるものの、SEM-EDSと岩種判定の結果から、ASRゲルの発生と、ASR反応性鉱物を含む安山岩などが骨材に使用されていることが判明した。残存膨張量試験では、促進期間21日目で膨張率0.233%を示しASRは収束に至っていない。今後も、水分の供給によりASRの進行性は高いと判断される。

対策工としては、ひび割れ部の補修と表面含浸工などによる劣化因子の侵入抑制、鉄筋の腐食抑制が挙げられるが、ASRは収束しておらず、補修後の再劣化も想定される。ただし、規模が大きいため再劣化補修は大きな手間とコストを必要とする。そこで、経過観察を行い、収束傾向と補修時期を判断していくことが妥当と判断された。

(2) 塩害

橋脚下部には、先に述べたASRに加え塩害との複合劣化が生じている。さび汁や鉄筋露出、うきは確認できず、外観上の劣化過程は進展期である。試験の結果、鉄筋位置での塩化物イオン量は最大3.65kg/m³であり、腐食発生限界濃度以上である。EPMA試験からも外来塩分と内在塩分が確認された。はつり調査において、鉄筋に表面的な腐食の発生が確認された。今後も、干満の影響から水分と塩分の供給を受け続けるため進行性は高い状況である。

対策工としては、ひび割れ部の補修と表面含浸工などによる劣化因子の侵入抑制、鉄筋の腐食抑制、塩化物イオンの除去が挙げられるが、水中での補修品質の確保が課題として残った。

5. 追跡調査（モニタリング）の提案・実施

工事実施には莫大な費用と、実施までの期間を要する。また、残存膨張量試験は高濃度のアルカリ溶液に浸し、実環境に比べ極端な促進条件のもと実施するため、現場でのASR進行の再現性は完全とはいえない。そこで、追跡調査により劣化進行を捉えることを目的とし、遠望よりひび割れの進行程度が容易に確認できる、図-5に示すKKクラックセンサ（NETIS: KK-140002-A）の設置を提案し、2018年に主構及び橋脚に合計9箇所設置した。

写真-7に示すように、2024年の追跡調査で局所的に変色が見られたものの、クラックスケールでの計

測値は設置当初と概ね同様であった。コンクリートは日々の気象変化により膨張・収縮を繰り返すことから、少しの変色だけでは進行性の評価はできないものと考えられた。これにより、今後もひび割れ幅の計測は基より、変色幅も併せて把握し、その両面からひび割れ進行の信頼性を確保する必要がある。

6. おわりに

今回の業務で特定された、小島橋の主な劣化要因はASRと塩害であった。そのなかでASRの進行速度は環境条件や材料特性により大きく異なり、多角的な評価が必要であった。一次調査に加え二次調査を実施することで、より詳細な物理的・科学的分析を行い、精度の高い進行予測と診断を行うことができた。

一方で、ASRの正確な進行予測には限界があることも事実である。継続的な観察と定量的な評価を行い、補修時期を判断していくことで、ライフサイクルコストの削減に効果を発揮するものと考えられる。

各橋梁の劣化要因を的確に把握し、その進行を予測し、適切な時期に補修対策を行うことは、維持管理に不可欠である。今後も、科学的根拠に基づく診断技術の向上、新技術活用による点検・調査技術の向上に努めることで、効率的かつ適切な維持管理に寄与していきたい。

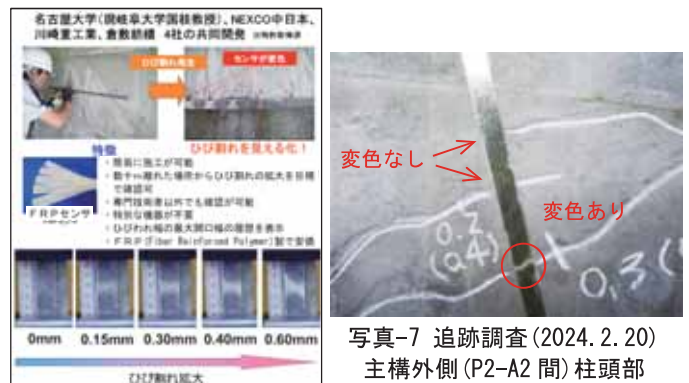


図-5 KK クラックセンサの概要

参考文献

- 1) 公益社団法人 土木学会：2018年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，平成30年10月
- 2) 独立行政法人 土木研究所・日本構造物診断技術協会：非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル，平成15年10月
- 3) 公益社団法人 土木学会：コンクリート中の鋼材の腐食性評価と腐食技術研究小委員会委員会報告書・コンクリート技術シリーズ86，pp. 80-81，平成21年10月
- 4) 国土交通省九州地方整備局：土木工事設計要領共通編，p. 共1-52，令和1年7月
- 5) Katayama, T., Tagami, M., Sarai, Y., Izumi, S. & Hira, H. (2004) : Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan. Materials Characterization, Vol.53, nos.2-4, pp.105-122, Special Issue 29. Printed version of the Proceedings, 9th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials (EMABM), Trondheim, Norway.

暗渠の内空状況測量における LidarSLAM技術の活用と展望

株式会社興和測量設計 設計部設計課 村山 祐暉

本稿は、道路下に埋設された既設暗渠構造物における内空状況について測量を実施する
うでLidarSLAMを用い、今後の新技術の活用を検討したものである。そこで、この検討
内容を踏まえた地上、及び地下における点群測量の実用性と課題について報告する。

キーワード；LidarSLAM，雨水幹線水路，ボックスカルバート，変状調査，点群測量

1. はじめに

熊本県上益城郡益城町宮園地内における宮園都市下水路は、図-1に示すように当該地内の宅地、及び道路の雨水排水を流末である秋津川へ導く重要雨水幹線水路である。

当街地域は、H28年4月に発生した熊本地震において最大深度7を記録した被災地であり、現在は復興事業として区画整理や県道の4車線化等を実施中である。

当該水路は、災害復旧、及び区画整理事業により都市下水路の上流部は改修済みだが、流末部については未改修である。本報告は、未改修部(延長270m)における内空状況の変状について測量を実施するものであった。

当該水路は、暗渠構造物であり、写真-1に示すように内空は1500*1500(mm)と比較的狭小で水路内部の測量における測量機器の持ち込みや標尺の設置において作業効率の低下が懸念された。また、当該水路の周囲は、写真-2に示すように住宅等が隣接しており、水路内空の状況と水路上部の状況について明確な位置関係の把握が求められた。

以上を踏まえ、水路内空、及び水路上部における測量について、三次元点群測量である「LidarSLAM」を用い課題解決を図ったので、ここに報告する。



写真-1 水路内空



写真-2 水路周辺状況



図-1 業務位置と対象流域
(背景航空写真は地理院タイルを使用)

2. Lidar SLAMによる三次元点群測量の方法

(1) 標準の観測方法

今回は、Hovermap ST-X(emesent社)を使用した。

計測時は、1回の計測範囲を囲むように4点の標定点を設置し、2点の検証点を設置する。

写真-2に示すように観測者は徒歩により計測範囲を移動し、点群データを取得する。

(2) 対象箇所における観測方法の検討

今回は、地上及び暗渠内の点群を取得するため、図-2に示すように標定点4点の内1点と検証点2点を地下(暗渠構造物内)に設置し、残りは地上に設置した。本現場では、図-2に示すように対象水路の延長方向ほぼ中心に管理用のマンホールがあったため、それを利用することで暗渠構造物内の標定点の設置が容易であった。

当機器は、手持ち、背負い、車両搭載、ドローン搭載と現場条件に応じ使用形態を変更可能であり、今回は狭小な暗渠構造物内を移動する必要があるため、手持ちにより観測を行った。

また、水路内部には、水深3cm未満程度の通水があり、水路底部の点群取得にばらつきが発生する可能性があった。これを考慮し、図-3に示すように浮き上がらないことを確認のうえ、一定間隔で木杭を水路底に設置し、木杭頂部の点群から木杭の高さ(60mm)を差し引くことで水路底の高さを観測することとした。

(3) 点群データの処理

現場で取得した点群についてソフトウェアを使用し、点群処理を行う。これまでに実施した事例の中で、家屋等の上下階層のある建造物内部において単一の階層のみに標定点を設置した場合でも建物内空のデジタルマッピングが可能であったことを考慮することにした。そこで、今回は、通常に各標定点を使用した処理方法(以下、パターン1)に加え、地下の標定点を除き、地上の標定点を1点追加した地上の標定点のみを使用した処理方法(以下、パターン2)の2パターンで処理を行った。そして、地上および地下の土木構造物において連続した点群観測を地上のみの標定点で行えるかを検証した。

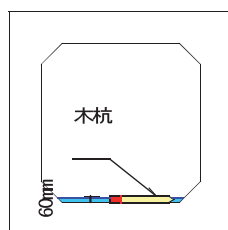


図-3 水路観測時の工夫

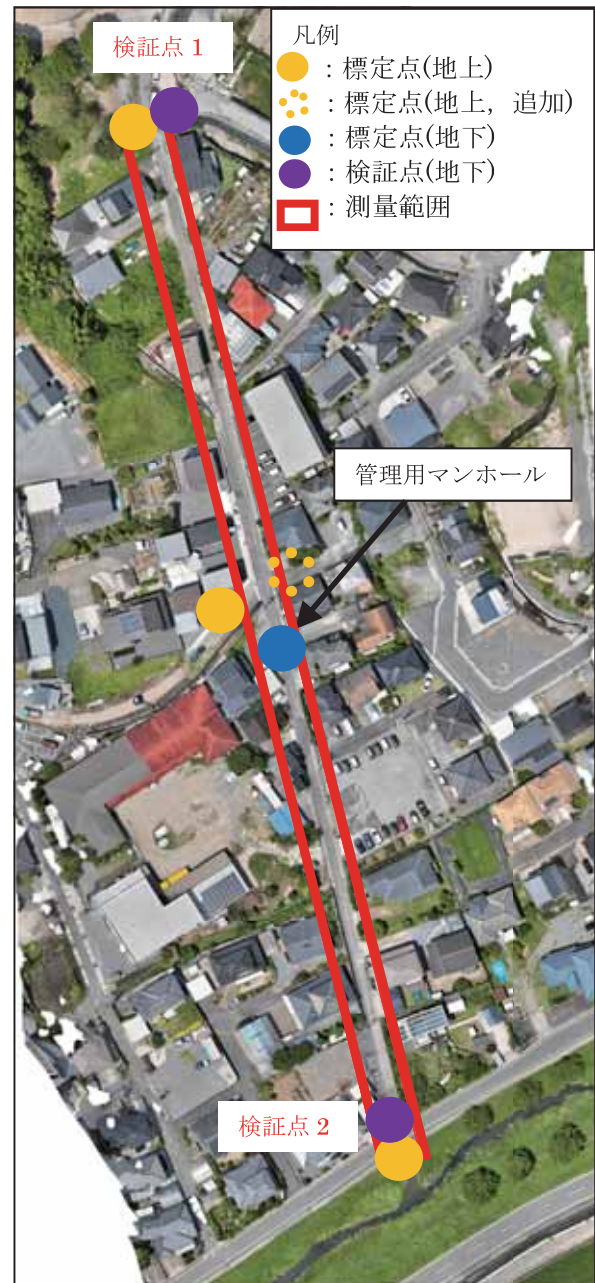


図-2 標定点および検証点の配点



写真-2 観測機器と標定点

3. 点群処理方法の検証

(1) パターン1による処理結果

検証点2点の精度を表-1に示す。誤差は、最大で26mmであった。

取得した暗渠構造物内点群と地上点群は、図-3に示すように、暗渠構造物の変状位置と地上構造物の位置関係が確認でき、今後の設計における施工計画等への有効利用が可能である。

表-1 各検証点と実測点群の誤差(パターン1)

	検証点1	検証点2
点群高度	11.913m	7.909m
実測高度	11.938m	7.917m
誤差	-0.026m	-0.008m

(2) パターン2による処理結果

点群処理後に検証した高度の誤差を表-2に示す。暗渠内の標定点が無い状態では、暗渠内の点群自体の構成については問題ないが、精度について誤差が若干大きく生じる結果となった。誤差は最大で51mmであった。

表-2 各検証点と実測点群の誤差(パターン2)

	検証点1	検証点2
点群高度	11.989m	7.956m
実測高度	11.938m	7.917m
誤差	+0.051m	+0.039m

(3) ドローンによる空中写真点群との合成

図-4は、LidarSLAMにより取得した地上観測点群のみの3D図面であり、図-5は、UAVにより取得した空中写真点群を図-4に合成させた3D図面である。これにより広範囲における現況の確認が可能であり、施工計画上の施工ヤードや施工重機搬入路、資材置き場の検討や仮駐車場等の検討に活用可能である。

4. 検証結果と成果

(1) 検証結果

今回の観測結果から、地上、及び地下の連続した点群観測は、地下、地上の両方に標定点を設置することでより精度を高めた観測が可能になることを確認した。

今回の検証では、地上のみに標定点を設置した場合でも、地下構造物の形状や位置関係について概ねの精度で取得可能であった。

ここで、Lidarは、レーザーを照射し、対象物からの反射を基に距離を計測するセンサーであり、

SLAMスキャナーは、周辺の情報を取得するセンサーと、移動量を取得するセンサーから構成される。点群のマッチングは、Lidarにより観測した点群データを重ね合わせる際に、それぞれの点群データに共通する特徴を見つけることにより行われる。この共通する特徴とは、レーザーによる点群観測上の特徴であるため、色彩等の平面的特徴ではなく、物体の形状といった三次元的特徴のことである。SLAMは、このマッチングによる誤差が最小となるよう自己位置を推定しながらマッピングを行う技術である。

今回の計測において、標定点を地上のみに設置した場合でも概ねの精度で点群取得が行えたのは、図-3に示すようなボックス内部の大きな変状や、設置した木杭などによる三次元的な特徴点があったこと、地上に設置した標定点の内、流末位置の1点は道路から河川に降りた位置に設置したことなどの要因により点群マッチングの精度が高くなったためと考えられる。



図-3 暗渠構造物の変状位置と地上位置



図-4 LidarSLAMによる観測点群



図-5 LidarSLAM+UAVによる観測点群

(2) 測量における作業の効率化

今回のレーザ測量(暗渠構造物縦断測量、及び道路縦横断測量)に要した作業時間、及び人員と実測を行った場合についての比較を表-3に示す。なお、比較には交通誘導員等の安全対策に関する人員は含まず、測量作業員のみを計上した。今回の対象水路は、平面形状に変化点のない直線形であり、縦断勾配も緩く大きな変化点がなく観測範囲が270mと比較的小規模だったが、水路内空を実測する場合とLidarSLAMを用いた場合と比較して、作業時間の削減ができた。特に狭小な作業空間では、作業員の肉体的・精神的負担が大きいため、当技術による作業時間の短縮は作業の効率化に大きく貢献できた。

表-3 測量に要した時間の比較

	LidarSLAM	実測
基準点	2時間/3人	2時間/3人
道路縦横断測量	1時間/2人	6時間/3人
暗渠縦断測量	1時間/2人	4時間/2人
内業	16時間/1人	8時間/1人
延時間	26時間	40時間

5. 今後の活用と課題

今回は、暗渠内の標定点の設置が容易で、観測延長も短かったため、十分な精度で観測を行うことができ、同時に作業時間の短縮による作業効率の向上を実現できた。

今後、暗渠延長が長大な場合や、平面、及び縦断的な折れ点が多いほど、SLAM利用における作業効率の向上が見込めると考えられる。

ただし、LidarSLAMは、観測した点群データを常にマッチングさせながら自己位置の推定及びマッピングを行う特性を持つ。その特性上、一度の点群取得にかかる時間が長くなるほど誤差が累積し、最終的な誤差が大きくなる。また、取得する点群の対象について三次元的な特徴点が少ないと点群マッチングが行いにくくなる。そのため、特に変状のない暗渠構造物等は、滑面の同一断面が連続する形状であることが多いことから、長大な観測対象については、点群取得時、及び点群処理上の工夫として、

①標定点設置位置の検討

②観測対象への特徴付け

③観測済み地点への回帰によるマッピング調整等により観測誤差を小さくするよう努める必要がある。

今回は、測量前に行った暗渠内調査によって、暗渠内の段ずれやコンクリート片の落下といった構造物の変状、通水状況、有毒ガス等による暗渠

内への人の進入可否などを確認のうえ、人力による機器手持ちでの観測を行った。今後、暗渠状況、および観測上の工夫のうえ、陸上型ドローンへの機器装着などにより、人が入れない暗渠構造物についても内部観測が可能であると考えられる。

6. おわりに

暗渠構造物は、道路下に埋設されるものも多く、一度大きな変状が発生すると、道路の通行止めや周辺住民の避難の必要など社会的影響が深刻となる場合が多い。暗渠構造物の変状は、表面上わかりにくく、内部での定期的な確認が必要である。特に地震などの大きな外力が働いた場合は、暗渠構造物の沈下や平面・縦断形状の変化も考慮し、健全性の評価を行う必要がある。

LidarSLAMを用いることにより、短時間かつ少人数での暗渠内空状況の観測が可能であるため、有事の際にも迅速に対応可能である。また、取得した点群を使用し、観測時点での変状の確認は当然のことだが、一定期間ごとに観測した点群を重ね合わせることで、構造物の変位における経年による変遷を確認することも可能である。

LidarSLAMの技術は、こういった測量の作業時間の短縮と人員削減、及び測量内容の質向上に寄与し、今後更に様々な状況のインフラ構造物に対し応用可能な技術として発展すると考える。

また、設計においても現況の点群データを利用することで、任意の地点における縦、横断面図の作成や現況を踏まえた施工計画の立案など、設計時点で追加発生する現地作業が省略される。

本稿では、人力により実施したLidarSLAMを用いた点群観測および変状調査についての報告としたが、今後は陸上型ドローンを用いるなどして、地上、及び地下での無人による点群観測を実施し、測量技術、および作業性の向上、市民社会の安全性向上に寄与したい。

参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院：LidarSLAM 技術を用いた公共測量マニュアル 令和7年4月改正
- 2) 国土地理院地図

地中化構造によるエリア的な無電柱化の設計

株式会社水野建設コンサルタント 設計部 村田 匡俊

無電柱化とは、道路沿いに設置された電柱や電線を地中に埋設することで、良好な景観の形成、災害時の電柱倒壊等による交通障害の防止、通行空間の安全性・快適性の確保の観点から推進を図る取り組みである。現在、緊急輸送道路等の重要度の高い路線での無電柱化は、実施されつつあるが、整備コストが高いことが課題として挙げられている。また、生活道路等を含めたエリア的な無電柱化の実施については、歩道幅員等の条件により地上機器の設置が困難であることなどが課題となり整備事例が少ない状況である。本稿では、高森駅周辺エリアにおける無電柱化整備の設計事例について報告する。

キーワード：電線類地中化、電線共同溝、面的無電柱化整備、景観形成

1. はじめに

無電柱化整備を実施する手法としては、図-1に示す地中化構造と非地中化構造の2種類があり、地中化構造には、電線類を地中に埋設する電線共同溝方式及び電線共同溝方式以外（単独地中化方式、自治体管路方式、要請者負担方式）がある¹⁾。電線共同溝方式以外に分類される方式の構造としても、電線共同溝方式と同様であり、道路管理者と電線管理者による整備費負担の違いにより分類がなされているものである。また、非地中化構造としては、無電柱化整備路線の裏通りに電線類を移設する迂回配線や家屋の軒下に配線する屋側配線がある。

本稿では、図-2に示す地中化構造でのエリア的な無電柱化整備について、設計した事例を報告する。

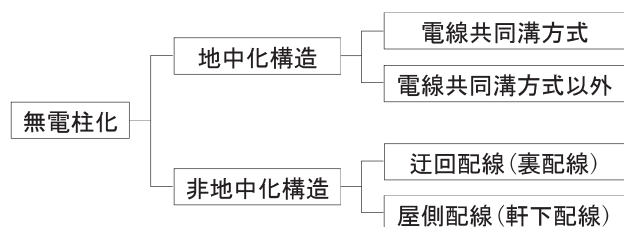


図-1 道路の無電柱化手法¹⁾

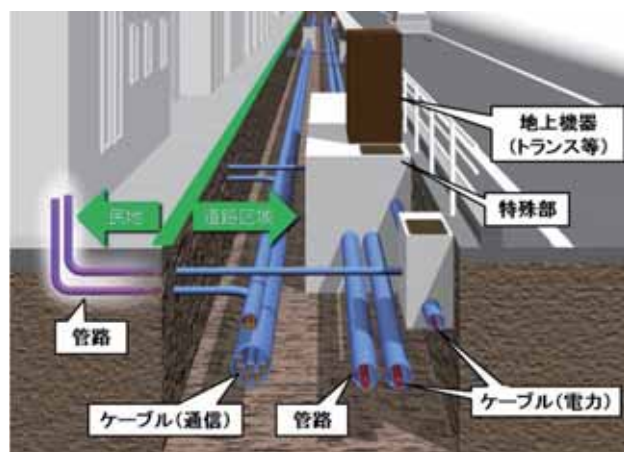


図-2 地中化構造による無電柱化イメージ¹⁾

2. 対象範囲の概要と目的

無電柱化整備の対象範囲は、図-3に示す「高森駅周辺から見える無電柱化エリア」、及び「景観・防災の観点による無電柱化エリア」である。無電柱化路線としては、8路線（総延長：約1.4km）であるが、写真-1のように歩道が整備されていない路線も含まれている。また、高森駅やその周辺は、熊本地震により南阿蘇鉄道が甚大な被害を受けたことから創造的復興のための再開発が計画され、その計画と調整を図るとともに、阿蘇を背景とする景観の向上を目的とした無電柱化整備を実施するものである。

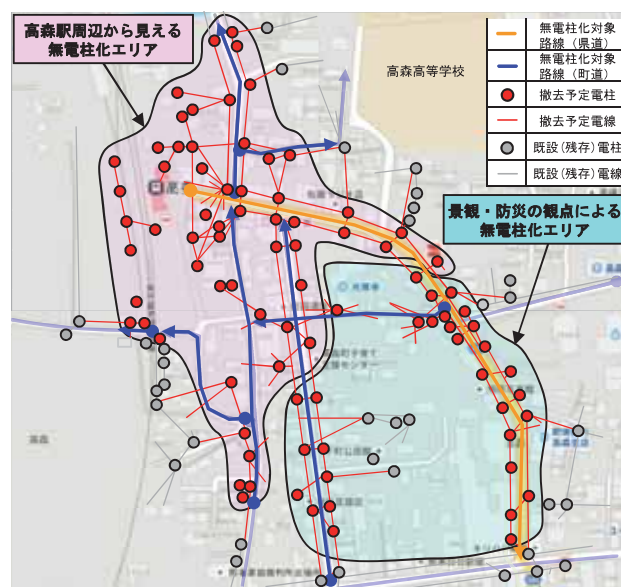


図-3 無電柱化整備エリア



写真-1 無電柱化計画路線の現況写真

3. 配線計画条件

無電柱化を実施するための電線共同溝施設における基本的な設計条件としては、地上機器や特殊部、及び電線共同溝管路の配置等を示す配線計画条件が必要となる。配線計画は、図-4に示すような現況の電線や通信線の条数、及び将来需要やメンテナンスを考慮し作成するものであり、発注者を含め、電線管理者との合同現地踏査や協議等を行い、基本的な方針を共有したうえで電線共同溝施設の設計を実施した。

4. 関連事業との調整

当該の無電柱化整備においては、高森町が実施する高森駅周辺再開発事業との調整を図る必要があった。再開発事業は、創造的復興とまちづくりに加え、高森ならではの景観の保全と創造などを基本的な方針とされており、図-5に示す高森駅の新駅舎や「とにかく広いプラットフォーム」、防災交流施設等が高森駅周辺再開発グランドデザインとして計画されていた²⁾。

計画当時の再開発計画における新駅舎は、先行して開業される予定であり、無電柱化は、その後の整備となるため、新駅舎開業時の電力等を架空線引込みによる供給とし、町道の無電柱化時に地中配線へ切替えることとした。また、防災交流施設側は、開業と無電柱化整備が同時期であったため、地中配線で電力等を供給する管路計画の調整を行った。

また、写真-2のように高森駅駐車場の一角に地上機器を設置するなど電線共同溝施設の配置等についても、調整を実施した。

5. 電線共同溝施設の設計

(1) 地上機器及び特殊部の配置設計

電線共同溝における構造の特徴として、地上にLB・TR・SWT（写真-3、写真-4、写真-5）と呼ばれる電力系機器の設置が必要になるが、基本的には歩道部に設置するものであり、車両の乗入れ箇所等を考慮した配置設計を行う。機器には、それぞれ以下のような機能がある。

- ①LB：低圧分岐装置としての機能を有し、各家屋へ配電するための低圧電力を分岐させる。
- ②TR：変圧器としての機能を有し、高圧を低圧に変圧し、低圧分岐装置LBへ送電する。
- ③SWT：開閉器としての機能を有し、一定エリアのブレーカ的な役割と高圧需要施設への電力を供給する。

また、特殊部（写真-6）は、入線したケーブルの維持管理や無電柱化範囲外の架空線接続のための分岐部に設置するもので、現地状況等を考慮し、配置を検討する。通信系は、地上機器がないため、特殊部のみの配置設計を実施する。

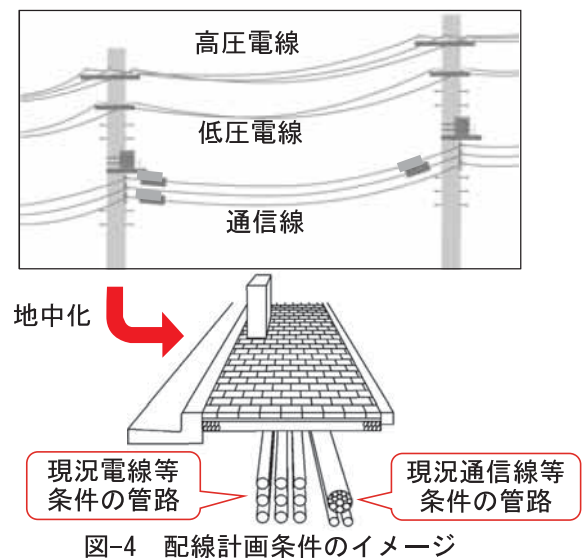


図-4 配線計画条件のイメージ

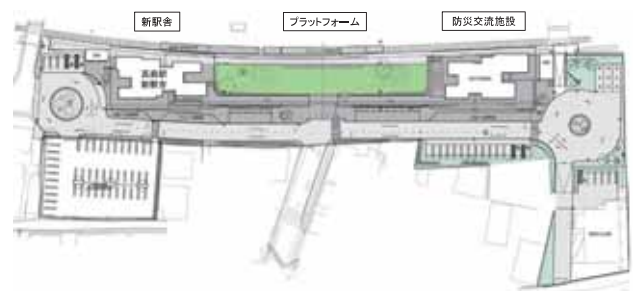


図-5 高森駅周辺再開発グランドデザイン²⁾

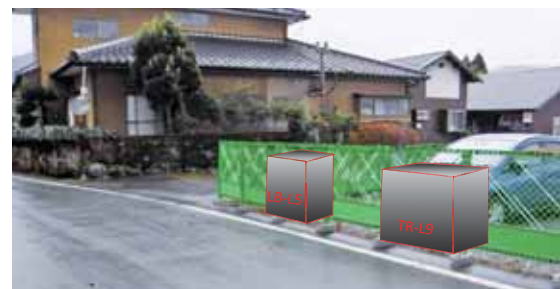


写真-2 地上機器設置のイメージ



写真-3 LB



写真-4 TR



写真-5 SWT



写真-6 特殊部

(2) 管路部の線形設計

管路部は、地上機器及び特殊部間等を接続し、ケーブルの敷設を考慮した管路の曲線半径を検討する必要があり、標準的な管路材として、電力系は、SFEP管（図-6）、通信系は、ボディ管、及び共用FA管（図-7）を使用する。

電力系管路は、表-1に示す曲線半径の5.0mや2.5mを最小¹⁾として管路線形の検討を行い、最終的にはケーブル入線時の摩擦力を考慮した側圧および張力算定を実施し、入線に問題がない線形であることを確認する。また、径間長は150m程度以下となるように検討を行った。

通信系管路については、曲線半径の5.0mや1.0mを最小として、線形検討を実施する。1径間における交角の総和が平面・縦断曲線を合わせて120°以下となるように計画し、径間長は最大で70m以下となるように検討を行った。

6. 無電柱化整備の課題と対策

(1) 整備コストの縮減

無電柱化整備においては、整備コストが高いことが課題として挙げられているが、電力系管路材としては、九州地区電線共同溝マニュアル（案）【R6改訂版】より、角型多条管の採用が可能となったため、表-2に示す経済比較を行い、管路材を変更することで、今後、施工する電力系管路設置区間については、約4割のコスト縮減が見込まれる。

(2) 地上機器設置の課題

対象路線における地上機器の設置について、写真-7のように歩道が整備されている路線においても、幅員が2m未満と狭く、地上機器の占有幅が1m程度あるため、歩道の有効幅員の確保が困難であることが課題であった。また、写真-8のように歩道がない路線もあり、地上機器設置箇所の選定が課題であった。

そのため、地上機器LBの地中型への変更（図-8）、及び民地等への地上機器の集約配置による対策を実施した。



図-6 SFEP管



図-7 ボディ管、共用FA管

表-1 管路部最小曲線半径

事業者	タイプ	最小曲線半径
電力系	高圧、低圧電力管、 連系管（φ100、φ150）	5.0m以上
	引込管（φ80、φ100）	2.5m以上
通信系	ボディ管（φ150～φ250） 共用FA管（φ150）	5.0m以上
	連系管（φ50、φ75）	5.0m以上
	引込管（φ50、φ75）	1.0m以上

表-2 管路材の経済比較

電力系管路管種	従来の管路材 SFEP管	低コスト管路材 角型多条管
外観		
管材費（円/m）	25,000	12,000
布設費（円/m）	27,000	19,000
合計（円/m）	52,000	31,000
コスト縮減率	—	▲約4割



写真-7 歩道が狭い路線



写真-8 歩道が無い路線

(3) 歩道が狭い又は歩道がない路線における地上機器設置の対策方法

a) LHH（地中型低圧分岐装置）の採用

地上機器設置における対策の1つ目として、地上機器であるLB（低圧分岐装置）について、類似の機能を有する地中型のLHHに変更することを検討した。

しかし、LHHに変更する場合、図-8に示すようにLBにおける家屋等への引込件数が1基あたり6件であるのに対し、4件に減少する。さらに許容できる引込延長も50m程度から15m程度になるなど、機能的な制限が厳しくなる。そのため、変更箇所については、電線管理者との現地調査等を行い、協議を実施して決定した。

これにより、必要となる機器数は増加するが、電力供給を可能とした。

b) 民地等への地上機器の集約配置

地上機器設置における対策の2つ目として、類似の機能を有する地中型の機器がないTR（変圧器）やSWT（開閉器）について、民地内等への集約配置を検討した。

配置箇所については、可能な限り公共用地を優先して検討したが、公共用地内での配置ができない箇所は、写真-9のように土地の所有者や利用者に地上機器の必要性等を説明し、実寸大の模型を用いた立会により承諾を得たうえで設置位置を決定した。最終的には、用地買収を行い、地上機器を設置する。

7. おわりに

当該の無電柱化整備については、高森駅周辺の良好な景観形成を実現するため、生活道路を含むエリア的な整備を実施することであり、本稿では、歩道が狭い又は歩道がない路線についての整備を検討した事例を報告した。標準的には、歩道部に地上機器を設置するスペースがない路線の無電柱化整備は、困難であることが多いが、本事例は、民地内への地上機器の集約配置など地域住民の協力により実現したものである。

無電柱化の完了イメージを写真-10に示しているが、電柱、及び電線等が見えないことで阿蘇五岳の自然と調和した開放的で良好な景観形成が実現される。また、災害時における電柱倒壊による交通の寸断等が発生することがなく、高森駅周辺の再開発とともに、災害に強い地域が形成され、創造的復興の一役を担うことが期待できる。

参考文献

- 1) 九州地区無電柱化協議会：九州地区電線共同溝マニュアル（案）【R6改訂版】—浅層埋設方式—，令和7年3月
- 2) 高森町HP：高森駅周辺開発グランドデザイン完成報告
<https://www.town.kumamoto-takamori.lg.jp/site/koho/1377.html>



デメリット

- ・ 引込件数 6 件/基 → 4 件/基
- ・ 引込延長 50m 程度 → 15m 程度

図-8 LBからLHHへの変更



写真-9 民地内へ設置する地上機器の住民説明



写真-10 無電柱化の完了イメージ

発表・技術レポート

阿蘇カルデラの風土資産調査と砂防事業への活用検討

《事業・体験等報告》

株式会社建設プロジェクトセンター 技術部 佐々木 謙

阿蘇カルデラは、有史以来、火山活動、降灰、土砂災害、斜面崩壊などの数多くの災害に見舞われ、直近の平成24年九州北部豪雨災害では多くの土石流が発生した。一方で対象地域は、豊かな火山エネルギー、草原、森林、湧水、温泉などの自然環境の上に、農林業を生業とした長きに渡る生活文化の歴史が明確に刻まれ、他に類を見ない地域の特徴を有している。

本稿では、阿蘇カルデラ周辺を対象に、過去からの防災対応・インフラ整備と自然・歴史・風土資産・生活文化・土地利用形成等に関する歴史の変遷と、砂防事業の可能性について検討事例を述べる。

キーワード；阿蘇カルデラ、風土資産、土地利用形成、砂防事業の可能性、データベース

1. はじめに

本稿は東西18km・南北25km、カルデラ周囲は約128kmと世界でも有数の規模を誇る阿蘇カルデラの風土資産調査と砂防事業への活用を検討した業務の一部について報告する。

阿蘇カルデラ(図-1)は、約27万年前～9万年前にかけて4回の大噴火によりカルデラが形成され、カルデラ壁、中央火口丘群、カルデラ床(阿蘇谷、南郷谷)、外輪山など多様な地形の中に、集落や農地、道路、鉄道が敷設され、火口原に5万人が暮らす世界的に珍しい地域である。その特殊な地形の中で営まれてきた人々の暮らしを踏まえて、阿蘇カルデラの歴史の変遷を調査し、今後の砂防事業を行う上での着目点について検討した弊社の中で前例のない業務へ取り組んだ事例を述べる。

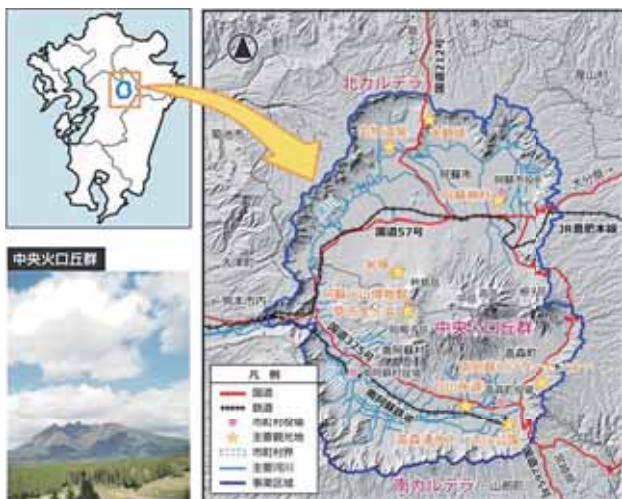


図-1 対象箇所位置図(阿蘇砂防事務所 HPより)

2. 本業務の目的と調査・検討の流れ

本業務の目的は、①過去からの防災対応・インフラ整備の調査、②自然・歴史・風土資産・生活文化・土地利用形成等の風土特性(以下「暮らし」という。)

の調査、③前述の歴史の変遷との関係を整理し、それらを踏まえた砂防事業の実施方針の検討である。

以下、調査・検討作業の流れは、①文献調査及び現地調査、②砂防事業の実施方針の検討、③データベース作成という順番で進めた。

3. 文献調査及び現地調査

文献調査の対象は、①地域の防災対応整理(熊本自然災害情報、市町村史、自然災害伝承碑等)、②インフラ整備の編成整理(豊後街道・南郷往還の変遷、黒川・白川上流域の河川整備の変遷、カルデラ内の砂防・治山対策の変遷等)、③暮らしに関する調査(自然・歴史・風土資産・神社仏閣・民話等)と、対象となる専門・学術分野は多岐に渡った。

当初は業務の方向性が固まらず、手探りの期間が続き、現地調査は20回以上に及んだ。

業務進展のきっかけとなったのは、①「野と原の環境史」¹⁾、②「阿蘇カルデラの地域社会と宗教」²⁾との出会いであった。その後、県立図書館や国会図書館まで資料収集範囲を広げることににより、方向性が見えてきた。さらに、発注者との合同現地踏査を行い意見交換を行う中で徐々に着地点が見えてきた。

次項では、阿蘇の歴史・文化変遷で重要な意味を持つ野焼きと縦状土地利用形成について述べる。

4. 野焼きの始まり

野焼きは阿蘇大宮司の時代に、中央集権国家樹立後、阿蘇谷に古代官道や駅家(うまや)ができ、次第に軍馬生産需要に即した阿蘇下野狩りが始まり、徐々に阿蘇カルデラの草原へ野焼きが伝播した。

後に軍馬としての野焼きは衰退するが、人口増加に伴う農業生産の高まりや、牧草地の維持、森林化の防止等を目的に野焼きは引き継がれ、やがて集落が多層社会を成し、組織的な管理体制の下で今日まで維持されてきた。「野焼き」の始まりの歴史の変遷を図-2に示す。

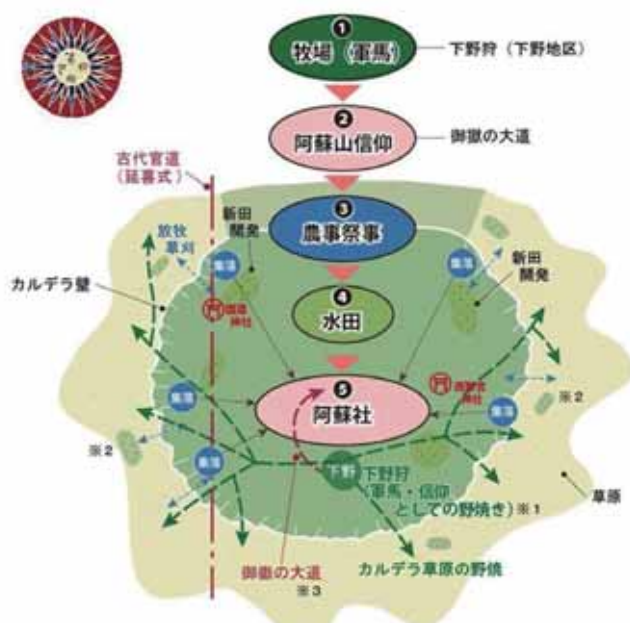


図-2 阿蘇大宮司時代（7～16C頃）歴史の変遷略図

5. 縦状土地利用形成の歴史の変遷

阿蘇君の時代、人々は急峻な崖を降りてカルデラ床へと移動し、稲作や放牧による新たな定住生活を始め、やがて古墳群を作る力を獲得した。この時、築かれた基盤が、現代へと受け継がれている。縦状土地利用形成の変遷図を図-3及び図-4に示す。



図-3 縦状土地利用形成の変遷図（阿蘇君の時代）



図-4 縦状土地利用形成の変遷図（現代）

6. 守るべきもの（防災インフラとくらし）

将来、気象変動に伴う自然災害の発生が想定され、土砂災害、洪水浸水等により、阿蘇カルデラ内に住む人々の暮らしや生業に甚大な影響を与える恐れがある。守るべきものは何かを検討する中で、防災・インフラと「くらし」の関係を表す1つのイメージ（図-5）を考案した。気象変動に伴う自然災害から守るべきインフラとして、生業を支える道路・河川・山林・上水道等の社会インフラがあり、中央に守るべき暮らし・景観・祭祀・歴史文化がある。



図-5 防災・インフラと「くらし」の関係図

7. 「くらし」を踏まえた砂防事業の実施方針の検討

砂防事業の実施方針検討内容を、以下に5点挙げる。

(1) 阿蘇カルデラ壁の「グリーンベルト」創出

阿蘇カルデラ壁直下で暮らす集落の土砂災害に対する安全性を高め、緑豊かな環境と景観を保全・創出することを目的に、斜面（山林）一帯をグリーンベルトとして、植林帯の形成を図る。グリーンベルトの整備により、カルデラ周辺への林地・土地開発の防止や文化的重要景観の保持、緑のビオトープ空間（多様な動植物の生息生育空間）、流域治水、グリーンインフラの創出を目指す。

(2) 「景観を守り、草原の活用」を目指す

阿蘇の草原は農耕用の馬や牛の放牧の場や居住の茅葺屋根の材料など、地域住民の暮らしに利用される。今日、ライフラインの変化や高齢化等の影響から草原の広さが100年前に比べ半減。この草原を守り、草原を活用する活動を関係機関及びボランティア団体等と連携し、国土強靱化・流域治水の広域的視点から積極的に支援・連携する活動事業を目指す。

(3) 「自然災害を知り・学び・伝える」防災・文化教育を目指す

自然災害伝承碑の周知は緒についた段階である。自然災害の記録は、被災による辛苦に堪えた方々からの命や財産を守るためのメッセージであり、その象徴が自然災害伝承碑である。これらを風化させないように、調査・整理・周知することで防災教育啓発事業を図る。同時に、ここに来れば阿蘇の全てが解る「阿蘇カルデラ博物館(仮称)」の創設を目指す。

(4)「災害発生土砂の有効活用」を目指す

平成24年九州北部豪雨災害の発生土砂量、約80万m³を処理した経験から、今後の気象変動による災害に備え発生土砂の円滑な処理に配慮した道路・宅地・農地嵩上げ計画を策定し、迅速な復旧・復興、さらには強靱な社会を目指す。そのために発生土砂の一時ストックや有効活用を面的に計画したり、発生土砂利用の情報交換システムの構築が急がれる。

(5) 伝統的施設「土塁・築堤防火帯」の活用

阿蘇カルデラ壁を囲む形で広がる山林・草原に伝統的な施設構造の土塁と築堤防火帯が存在する。土塁(写真-1)は地山の一部を残した高さ1.5m程度の施設で集落の境界を示している。土塁を牛が乗り越えるのは難しく、阿蘇カルデラ全体で150km以上あると言われている。また、先人は盛土による築堤防火帯を設けることで、延焼からくらしを守ってきた。この伝統的な施設を砂防事業に採り入れ、防災・景観整備事業の活用展開と生業の維持を目指す。



写真-1 土塁及び管理用道路

8. 文献管理データベース

本業務で収集した資料・文献及び現地調査結果は膨大な量で、これらの活用を見据えて発注者の強い意向により、急遽データベース作成が追加された。データベース構築は「FileMaker」を使用し、①文献等資料整理台帳、②風土資産資料、③歴史文献資料、④災害関連資料の4つの大項目(表-1)に分類した。また、収集資料を23の関連項目に分類した一文字キーワード(図-6)から検索可能。データ検索結果から関連するPDFや動画等にアクセス可能で、地図表示では観光資源や災害碑等の特に重要なものに、緯度経度の位置情報を付与した。このデータベースは、

今後任意のデータを追加できるよう構成されている。

表-1 データ分類の概要

データ項目	概要	データ数
文献等資料整理台帳	風土資産文献等	431
風土資産資料(観光資料含む)	風土資産文献等調査Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ	586
歴史文献資料	文化財関係の文献一覧	182
災害関連資料	災害史年表	349



図-6 23の分類文字(一文字キーワード)

9. おわりに

本業務は前例のない業務だったが、中心となったベテラン技術者が学芸員資格を持つ社員や各専門技術者の知識や経験を引き出し成果をまとめた。このような業務をコーディネートする技術は、貴重なノウハウとして受け継ぎたいと考える。

阿蘇カルデラは、年間降水量が多く火山灰性地質で構成されているため、崩壊しやすい地域である。「くらし」を守るために、これからも繰り返される土砂災害に対し、住民、自治体、国が災害と向き合い、安全安心な暮らしを享受しながら、歴史・文化・伝統を大切にする国土保全のあり方を考えていく必要がある。

阿蘇の文化的景観は、将来的に世界遺産登録を目指している。本稿が地域の歴史文化や自然、「くらし」を次世代に伝える一助になれば幸いである。

主な参考文献

- 1) 佐藤宏之、飯沼賢司、春田直紀：野と原の環境史，2011
- 2) 吉村豊雄・春田直紀：阿蘇カルデラの地域社会と宗教，2013
- 3) 肥後読史総覧 下巻，1983
- 4) 阿蘇一宮史 全12巻，1997
- 4) 新・阿蘇学，1987
- 5) 肥後読史総覧，1983
- 6) 九州山岳霊場遺跡研究会：肥後の山岳霊場遺跡，2018
- 7) 「阿蘇の文化的景観」保存調査報告書，2016
- 8) 長陽村史，2004
- 9) 長野匠記録 第3巻 史料編
- 10) 阿蘇町史 第3巻 史料編，2004

論文作成基礎資料

熊本県測量設計コンサルタンツ協会 技術顧問
熊本大学・名誉教授

滝川 清

成果の発表

事業報告と技術論文

課題・問題の設定



課題を明らかにする。対応策を考える。工夫する。

業務報告：業務の記録、業務の学習



事業報告

課題の出現、対応策の出現



提言

研究：課題への調査・検討、対応・改善策の検討

新たな技術・方法の開発



論文：研究結果のまとめ

技術論文

公表：成果の発表



技術の向上(成果品)、
社会への還元(特に、公共事業等の行政の事業)

課題を見つける ⇒ 技術対応・進化
技術の提案

技術報告・論文の作成に際しては、

- ① テーマ（あるいは業務本来）の目的とタイトル
- ② 目的に対する課題
- ③ 課題に対する対応策
- ④ 対応策の適用（実施）と結果の評価
- ⑤ 結果の評価に基づく今後の課題や方針

等の項目について、順次、記述していくと良いでしょう。

技術提案をする場合も同じです。

技術発表会論文作成要領・例

(Ms-Word版)

技術発表会論文作成要領・例（Ms-Word版）

会社名 所属部 氏 名

このファイルは論文集の原稿（和文）を作成するために必要な、レイアウトやフォントに関する基本的な情報を記述しています。と同時に、版下原稿そのものの体裁（A4）をとっているため、このファイルの中の文章や図表をこれから書こうとしている実際のものに置き換えれば、所定のフォントや配置の原稿を容易に作成することができます。このアブストラクトを含め、タイトル部分の幅は本文よりも左右1 cm ずつ狭くします。アブストラクトのフォントは明朝体 9 pt を用いてください。アブストラクトの長さは6行以内です。アブストラクトの後に1行空けて、キーワードを3～5語、ゴシック体10ptで書いて下さい。

キーワード；熊測協第15回技術発表会，道路線形計画，ユニバーサルデザイン

1. タイトルページ

タイトルページは2つの部分で構成されます。

(a) タイトル部分：横1段組（題目，著者，所属，アブストラクト，キーワード）

(b) 本文部分：横2段組

このほか、フッタ（ページ番号）が付きます。なおソフトウェアによっては、タイトル部分とその下の本文部分が別のファイルに分かれていることがあります。

(1) タイトル部分のレイアウトとフォント

全てのページのマージンはこのサンプルにありますように上辺20 mm，下辺25 mm，左右ともに20 mmに設定してください。タイトル部分の左右のマージンは、本文の左右のマージンよりもそれぞれ10 mm ずつ大きくとって下さい。すなわち、A4用紙の幅に対して左右それぞれ 30 mm ずつのマージンをとります。そして以下次の順にタイトル部分の構成要素を書いて下さい。

タイトル：ゴシック体20pt フォント，センタリング（約15 mm のスペース）

著者名：明朝体12pt フォント，センタリング（約5 mm のスペース）

著者所属：明朝体9pt フォント，センタリング（約10 mm のスペース）

アブストラクト：明朝体9pt フォント，6行以内
キーワード：ゴシック体10pt，3～5語，2行以内

(2) 本文部分のレイアウトとフォント

本文とキーワードの間に約10 mm のスペースを空けてください。

本文は2段組で，左右のマージンは20 mm ずつ，段と段との間のスペースは約6 mm とします。

本文には明朝体10pt フォントを用いて下さい。

(3) フッタ

すべてのページの下辺中央にフッタ機能を使って

ページが入りますが，ページ番号は暫定的に論文表紙を第1ページとしてつけてください。

2. 一般ページ

第2ページ以降はタイトルページの本文部分と同じレイアウトとフォントで本文を作成します。

(1) 脚注および注

脚注や注は避けて下さい。

3. 見出し（見出しが1行以上に長くなるときはこの例のようにインデントし折り返す）

(1) 見出しのレベル

見出しのレベルは章，節，項の3段階までとします。章の見出しはゴシック体とし，2.などの数字に続けて書きます。また，見出しの上下にスペースを空けます。このファイルのサンプルから分かるように，上を2行，下を1行程度空けて下さい。ただしページや段が切り替わる部分は章の見出しが最上部に来るよう調整してください。

(2) 節の見出し

節の見出しもゴシック体で，(4)などの括弧付き数字を付けます。見出しの上だけに1行程度のスペースを空けて下さい。

a) 項の見出し

項の見出しは，括弧付きアルファベットを付け，上下には特にスペースを空けません。項より下位の見出しは用いないで下さい。

4. 数式および数学記号

数式や数学記号は次の式 (1a)

$$G = \sum_{n=0}^{\infty} b_n(t) \quad (1a)$$

$$F = \int_{\Gamma} \sin z \, dz \quad (1b)$$

のように本文と独立している場合でも、 $C_D, \alpha(z)$ のように文章の中に出てくる場合でも同じ数式用のフォントを用いて作成します。数式や数学記号の品質が悪いと版下原稿として受け付けません。

数式はセンタリングし、式番号は括弧書きで右詰めにします。

表-1 ○○の比較

資料番号	高さ h (m)	幅 w (m)
1	1.45	0.25
2	1.75	0.40
3	1.90	0.65

※表のキャプションは表の上に置く。長いときはインデントして折り返す。

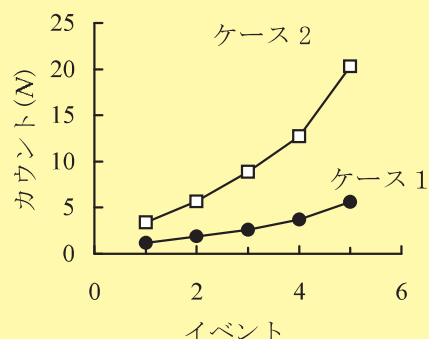


図-2 ○○の傾向分析

※図のキャプションは図の下に置くものとします。



写真-3 ○○ダムの実況

5. 図表写真

(1) 図表写真の位置

図表写真はそれらを最初に引用する文章と同じページにまとめて置くことを原則とします。原稿末尾にまとめたりしてはいけません。また、図表写真はそれぞれのページの上部または下部に集めてレイアウトして下さい。図表写真の横幅は、「2段ぶち抜き」あるいはこのサンプルの表-1、図-2、写真-3のように「1段の幅いっぱい」のいずれかとします。図表の幅を1段幅以下にして図表写真の横に本文テキストを配置することはやめて下さい。図表写真と文章本体との間には1～2行程度の空白を空けて区別を明確にします。

(2) 図表写真中の文字およびキャプション

図表写真中の文字や数式の大きさが小さくなり過ぎないように注意してください。特にキャプションの大きさ (9pt) より小さくならないようにして下さい。図表写真中の文字あるいは表題は本文と同じ言語を使うこととします。

長いキャプションは表-1のようにインデントして折り返します。

6. 参考文献の引用とリスト

参考文献は出現順に番号を振り、その引用箇所でのように¹⁾上付き右括弧付き数字で指示します。参考文献はその全てを原稿の末尾にまとめてリストとして示し、脚注にはしないでください。

なお参考文献リストのあとに1行空けて、原稿提出日を右詰めで書いてください。協会事務局確認後、提出受理日を確定します。

参考文献

- 1) Hill, R.: A self-consistent mechanics of composite materials, *J. Mech. Phys. Solids*, Vol.13, pp. 213-222, 1965.
- 2) Blevins, R.D.: *Flow-Induced Vibration*, 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- 3) ファン, Y.C.: 固体の力学/理論, 大橋義夫, 村上澄男共訳, 培風館, 1970.
- 4) 土田建次, 木村 一: 版下原稿スタイルフォーマットの作成について, 土木学会論文集, No. 333/II-99, pp. 20-33, 1994.

(編集後記)

技術発表会実行委員

技術委員会	担当副会長	椎葉 晃吉	㈱水野建設コンサルタント
	委員長	椎葉 晃吉	㈱水野建設コンサルタント
建コン部会	副会長	柴田 浩史	㈱熊本建設コンサルタント
	部会長	田 英幸	㈱旭技研コンサルタント
	委員	田尻 雅彦	㈱ウラタ・シビル・コンサルタント
	〃	平山久美子	㈱コンサルユニックス
	〃	長井 英治	㈱タイセイプラン
	〃	池端 宏太	㈱大進コンサルタント
	〃	古閑 祐治	㈱中央測量設計
	〃	大川 恭平	㈱パブリックコンサルタント
	〃	福永 三男	㈱福永測量設計
	〃	志水 共一	㈱三浜測量設計社
論文指導スタッフ	服部 寛	アジアプランニング㈱	
	松野 恭二	㈱AR I A K E	
	出口 敏	㈱十八測量設計	
	今蘭 淳司	㈱水野建設コンサルタント	



一般社団法人 熊本県測量設計コンサルタンツ協会

〒862-0924 熊本市中央区帯山1丁目38番31号

TEL 096-385-9390 FAX 096-385-9391

<http://www.kumasoku.or.jp/>