

既設橋梁調査における独自調査技術の紹介

Introduction of the Company's own survey technology in the existing bridges

交通事業本部 交通第2部 塩原 龍法¹⁾
塚田 倫仁²⁾



概要 (Abstract)

橋梁補修設計時における詳細調査は、橋梁点検車や高所作業車、仮設足場を用いて各種調査(近接目視、試料採取等)を実施してきた。しかし、高橋脚等の車両による接近や仮設足場の設置が困難な場所、床版の損傷状況、PC 桁の様なコンクリートコア採取が困難な部材における損傷状況の把握及び健全度評価の精度向上が課題である。

本論文は、その様な場所や部材における調査手法のうち、弊社が保有する下記3項目についての適用事例とその有効性を記述したものである。

- ① 急崖海岸地形部に架かる高橋脚橋梁におけるクライミング調査技術を用いた詳細調査
- ② 舗装の損傷が著しく、床版上面の損傷が懸念される橋梁における非破壊試験機(マルチパルスニアレイレーダー(MPLA))を用いた舗装の床版上面調査
- ③ 衝撃弾性波試験機(iTECS)を用いた既設橋梁のコンクリート強度推定

1. はじめに

我が国の社会資本は、戦後の高度経済成長とともに整備されてきた。これらの社会資本の高齢化が進展しており、今後、必要となる維持管理費、更新費についても急速に増加することが予想されるが、その一方、厳しい財政状況の中でコスト縮減が叫ばれている。

このような背景の下、橋梁補修分野においても設計段階における補修範囲や数量の算出精度向上に対する重要性が増している。

橋梁詳細調査においては、橋梁点検車や仮設足場を用いた各種調査(近接目視、コンクリートコア採取等)が行われてきた。

しかし、高橋脚や床版上面の損傷、PC 桁等のコンクリートコア採取が困難な部材における圧縮強度試験等、調査の実施が困難とされている部材に対する評価の精度向上が課題となっている。

本稿では、このような部材や調査項目において弊社が保有する「クライミング調査技術」や「非破壊試験機」を適用した事例とその有効性について紹介するものである。

2. 高橋脚へのクライミング調査適用事例

2.1 クライミング調査技術の概要

「クライミング調査」(ロープアクセス調査とも称される)の定義は「ロープで身体を確保された状態で、調査対象に調査員がアプローチし、必要な情報の記載や、試料等の採取を行う技術」である。

既設橋梁の調査においては、橋梁点検車や高所作業車の接近や仮設足場設置が困難な場所に対して適用する事が可能となる。図-1 に、橋脚におけるクライミング調査の事例写真を示す。



図-1 橋脚のクライミング調査事例写真

2.2 クライミング調査技術のシステム

クライミング調査に用いる用具やシステムを以下に紹介する。図-2 に主な用具の写真を示す。



図-2 クライミング調査用具写真

(1) ロープの種類

表-1にロープ区分とその特徴を示す。ロッククライミングなどでは、墜落時の衝撃吸収性が高い伸びるロープ(ダイナミックロープ)を使用するが、クライミング調査ではロープの昇降を繰り返すため、作業性の高い「スタティックロープ」に分類される極めて伸び率の小さいものを用いる。

表-1 ロープ区分と特徴

ロープ区分	衝撃時伸び率	素材
ダイナミックロープ	20~30%	ナイロン
セミスタティックロープ	5%前後	ナイロン
スタティックロープ	2~3%	ポリエステル

スタティックロープは伸縮性によって「セミスタティック」と「スタティック」に分類されるが、弊社では作業内容によって適宜使い分けている。

(2) ロープの強度

ロープの強度は、径や区分によって測定方法が異なるが、弊社ではセミスタティックロープで 20kN、スタティックロープで 25kN 以上の破断強度のものを用いている。

破断強度のほかに、重錘落下に対する耐久性をテストした、耐墜落回数という要素も重要である。そのテスト方法はヨーロッパ規格(EN)、全米防火協会(NFPA)、日本では消費生活用製品安全法で定められていて、日本のテスト方法基準が最も厳しいものとなっている。

(3) ロープシステム

クライミング調査は、1本のメインロープに1人がぶら下がって調査を行う SRT (Single Rope Technique) と称されるシステムを採用している。

メインロープ1本とバックアップロープ1本の計2本のロープで作業を行うダブルロープシステムもあるが、岩壁調査や構造物調査などライン取りが複雑で、かつバックアップロープが岩塊や橋梁構造に引掛かる恐れがある場合にはかえって危険である。

るが、岩壁調査や構造物調査などライン取りが複雑で、かつバックアップロープが岩塊や橋梁構造に引掛かる恐れがある場合にはかえって危険である。

(4) アンカー

ロープをセットするアンカーは、自然斜面の場合には立木等を利用するが、橋梁の場合には、上部工主桁等の部材をアンカーとする事が可能である。

また、適当な部材が無い場合には、コンクリートにカットアンカーを複数設置してアンカーとする。

(5) 登降システム

クライミング調査はセットしたロープを自由に登降して対象部位にアプローチするが、ロープを手足で掴んで登降する訳ではない。登る際にはアッセンダーというワンウェイシステム器具、降りる際にはディセンダーというフリクションデバイスを用いる。

これらの器具に体重を預けて登り降りするため、実際には見た目ほどの腕力などは必要としない。

2.3 クライミング調査の適用事例概要

弊社において橋梁補修設計業務の現橋調査にクライミング調査を適用した事例を紹介する。

(1) 適用事例の概要

一般国道に架かる既設橋梁3橋の橋脚について、クライミング調査を用いた外観変状調査とドリル削孔粉採取を実施した。各橋梁の諸元を表-2に、調査状況写真を図-3に示す。

表-2 対象橋梁の諸元

橋梁名	A 橋	B 橋	C 橋
橋長	L=227m	L=74m	L=188m
橋脚形式	壁式I型	円柱式	壁式
橋脚高	18~26m	20m	9~23m
橋脚数	4	1	4
竣工年	昭和52年	昭和53年	平成元年

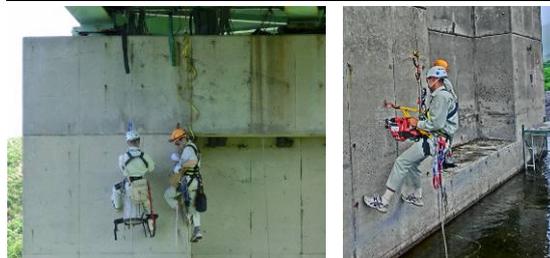


図-3 クライミング調査状況写真

対象橋梁は、日本海沿岸の急崖海岸地形部に位置する高橋脚であり、外観目視調査が困難な状況であった。そこで、「クライミング調査」を活用して、対象橋脚全体の近接目視を行うとともに、高さ方向の塩分量分布分析を目的としたドリル削孔粉採取を提案して実施したものである。

(2) 調査に要した日数

3橋の内、竣工年次が比較的新しく損傷程度も軽微であった、B橋とC橋の調査日数はそれぞれ 0.5日、2日であった。

A橋では、塩害による変状が顕著で記載事項も多かったため、6日間の調査日数を要した。この内、11孔のドリル削孔粉採取に約1日を要している。

(3) 調査費用

本調査では、部分的にSUSカットアンカーを20本打設したため、20本×200円=4,000円程度の仮設費用が発生したのみである。

仮にA橋において足場仮設を実施した場合の費用は750万円(150~200万円/基)程度となる事を考えれば、仮設費用のコストメリットは歴然である。

(4) クライミング調査適用による効果

橋梁点検車および現地盤からの調査では、橋脚の上下端3m程度が限度範囲であるが、クライミング調査の場合、全面的な打音・目視調査が可能となり、損傷状態や規模を的確に把握する事が出来た。

この結果、設計段階における補修対策範囲や数量の精度が大幅に向上したと考えられる。

3. 床版上面調査における非破壊試験適用事例

3.1 非破壊試験適用の背景

床版上面の調査方法として、舗装ハツリによる目視調査が挙げられるが、供用中の橋梁における調査では、時間的制約や費用の問題から広範囲にわたる調査の実施は困難であり、施工時において補修規模が変更となる例も少なくない。

この様な背景から、非破壊試験機(マルチパスニアレイレーダー)により広範囲の調査を実施し、設計段階における損傷範囲の把握及び補修数量算出の精度向上を図るものである。

3.2 マルチパスニアレイレーダー(MPLA)の概要

MPLAとは、多数の送信・受信アンテナを一列に並べ、多方向から送信された電磁波が複数のパスを経由して受信されることで、反射物の位置を特定することができる非破壊試験機である。(図-4)

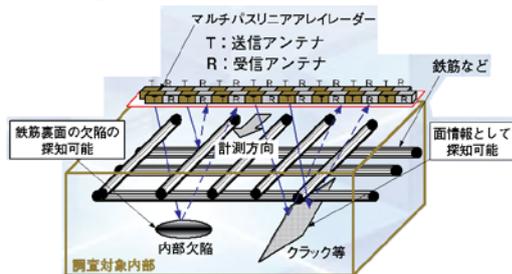


図-4 MPLA装置概念図

3.3 MPLAによる損傷診断

MPLAを用いた調査では、調査対象とする部材が密実であれば、電磁波が内部へと透過され、内部鋼材(鉄筋)等の反射データを得ることができるが、空洞やジャンカ等の損傷が発生している場合には電磁波がその部分で反射することとなる。

この特性を利用し、床版内部の鉄筋を確認可能であれば、当該箇所のアスファルト舗装及び床版は密実かつ密着性があり、これらは健全であると判断する。一方、鉄筋が確認不可能の場合は、アスファルト舗装、床版又はそれらの境界部において何らかの異常が発生していると判断する。

3.4 MPLAによる非破壊試験の適用事例

(1) 適用事例概要

床版上面の損傷が懸念される橋梁において、非破壊試験を実施した。実施状況を図-5に示す。

また、各橋梁の諸元および調査概要を表-3に、調査結果を図-6に示す。

現地調査における作業速度は、規制時間の制約、規制替えの有無等により差異はあるが、概ね35m²/h程度であった。



図-5 MPLA調査状況写真

表-3 対象橋梁の諸元および調査範囲

橋梁名	D橋	E橋	F橋
橋長	L=56.220m	L=90.700m	L=197.800m
幅員	W=7.000m	W=22.000m	W=7.000m
橋面積	A=393.54m ²	A=1995.40m ²	A=1384.60m ²
調査範囲	A'=158.55m ² 伸縮装置前後 3~5m程度	A'=294.45m ² 1径間分 2車線	A'=226.80m ² 2径間分 1車線
規制替	有	有	なし
日数	1日	2日	1日

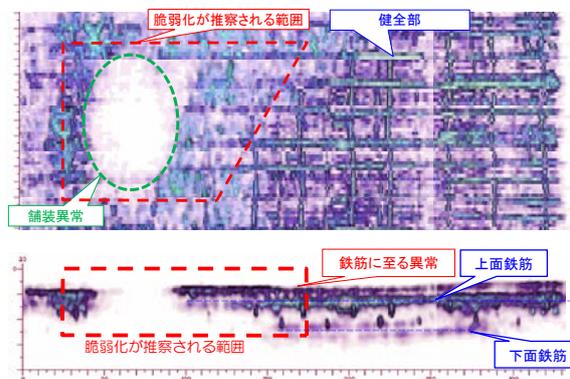


図-6 MPLA調査結果事例(上段:平面、下段:断面)

(2) MPLA 調査適用による効果

MPLA による調査は、3 次元で損傷を把握することができるため、平面的な損傷範囲だけではなく損傷深さを視覚的に把握することが可能である。これにより、損傷範囲の判定及び補修数量算出における精度向上を図ることができる。

4. 非破壊試験機によるコンクリート強度推定事例

4. 1 衝撃弾性波試験機 (iTECS) の概要

iTECS は、インパクトによる打撃によって生じる弾性波をセンサーで観測し、弾性波の伝搬速度、反射時間等を測定して、コンクリート表面、内部の状況を非破壊で検査するシステムである。試験機及び調査状況を図-7 に示す。



図-7 iTECS 装置および調査状況写真

4. 2 iTECS によるコンクリート圧縮強度推定

物質のポアソン比と密度が一定であれば、弾性波速度 V_p から物質の弾性係数が求められる。

弾性係数と圧縮強度には正の相関関係があることが知られており、衝撃弾性波法は、これを利用して、弾性波速度から圧縮強度を推定するものである。

弾性波速度から圧縮強度への換算は、「国土交通省土木研究所共同研究報告書第 268 号」に示されている弾性波速度と圧縮強度の関係から得られる回帰曲線の式(図-8)を換算式として推定強度を求める。

4. 3 コンクリート圧縮強度推定事例

既設構造物に対して iTECS によるコンクリート圧縮強度推定を実施した。

対象構造物の諸元及び調査概要を表-4 に示す。

測定距離を変えて測定した弾性波伝搬速度 T_p から平均化した弾性波速度を算出し(表-5)、図-8 に示す近似曲線により圧縮強度を推定した。

いずれの構造物においても概ね設計基準強度を満足する結果となった。(表-6)

表-4 対象橋梁の諸元および調査概要

橋梁名	G 橋	H 橋	I 橋
橋長	L=60.0m	L=197.8m	L=56.3m
竣工年	昭和 43 年	昭和 38 年	平成 43 年
対象部材	PC 上部工	RC 橋脚	RC 橋脚
調査数量	3 箇所	4 箇所	1 箇所

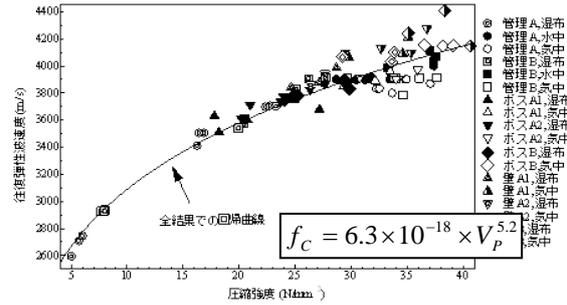


図-8 弾性波速度と圧縮強度の関係

表-5 弾性波速度の算出例 (I 橋)

距離 L(mm)	経過時間 Tp(m秒)	弾性波 速度 Vp(m/s)	距離による 重み付け	
			係数	Vp
300	0.0910	3297	0.3	989.0
400	0.1075	3721	0.4	1488.4
500	0.1289	3879	0.5	1939.5
600	0.1533	3914	0.6	2348.3
700	0.1845	3794	0.7	2655.8
800	0.2127	3761	0.8	3008.9
900	0.2439	3690	0.9	3321.0
1000	0.2663	3755	1.0	3755.2
決定弾性波速度			3751	

表-6 調査結果一覧

橋梁名	G 橋	H 橋	I 橋
設計強度	40	18	21(想定)
調査結果	41.4~44.1	17.7~20.8	24.3

※単位:N/mm²

4. 4 iTECS 適用による効果

本調査は、対象構造物に損傷を与えることなく調査可能であり、コア採取による圧縮強度試験と比較し、短時間かつ容易に実施することが可能である。

また、圧縮強度推定にあたりコア採取を伴わないことから、PC 上部工等のコア採取が困難な場合においても非常に有効である。

iTECS を用いた強度推定により調査箇所数を増やすことで、コア採取による試験結果を補完をする等し、現橋状態の評価精度向上を図ることができる。

5. おわりに

クラッキング調査は、大規模仮設を伴わずに調査範囲や精度向上に大きな効果を発揮する。また、非破壊試験は、既設構造物への影響を最小限に抑えた調査が可能である。いずれも調査精度の向上を図ることができる特殊調査技術であると考えられる。

弊社には、クラッキング技術を有する社員が 2 名在席しているとともに、前述の非破壊試験機を保有している。クラッキング調査及び MPLA については、道内でこれらの調査を直接実施できる唯一の会社である。

今後も既設橋梁の調査においてこれらの特殊調査技術の積極的な適用と展開をしていきたいと考えている。