



インフラ老朽化と安全-2
Infrastructure Aging and Safety No.2

点検と診断 Inspection and Diagnosis

高木千太郎 (一財) 首都高速道路技術センター
上席研究員
Sentaro Takagi

前回は、国内の社会基盤施設の現状と抱えている課題について解説した。今回は、私の専門とする道路橋を対象に行う点検、特に定期点検と点検の結果から判断し、評価する診断について解説する。

社会基盤施設の安全性や使用性を考えると供用開始後の維持管理に求められる役割は非常に高い。社会基盤施設の主たる道路橋が供用期間中に受ける様々な環境条件の中においては、地震などの想定を超えるような作用荷重や、潜在的に僅かではあるが微細に損傷が広がるような荷重条件や材料強度の劣化などがあり、これらが施設の安全性や使用性に大きな影響を与えることになる。このような環境下に置かれている道路橋に対し現状では、変状（ここでは、損傷や劣化によって構造物や構造物を構成する部材が変化することを変状と呼び、損傷や劣化と区分けした）が発生する前にそれを確実に予測することは困難と言える。供用している橋梁を含む道路施設に適切な点検や診断を行わないと、時として悲惨な重大事故を招く結果となる。例えば、2012年（平成24年）12月に発生した中央道・笹子トンネル天井板落下事故や2007年（平成19年）8月の米国・ミネアポリスI-39W高速道路橋崩落事故（写真1参照）などがある。しかし、近年の維持管理に関す

る技術開発状況や関連する研究開発を行ってきた成果が活かされれば、供用開始後に行われる点検において変状発生の特候を見つけることは、近い将来かなりの精度で可能になると私は考えている。供用している社会基盤施設に発生した事故によって維持管理の必要性が社会に認識された昨今、国は社会基盤施設に対する定期的な点検実施を法によって規定したが、点検・診断の重要性を真に理解している技術者は多くはない。これまでに発生した供用中の道路施設に関連するこのような事故の多くは、点検・診断を含む維持管理行為の中でその兆候を見出すことができていたならば、それらを未然に防ぐことができたに違いない。供用を開始した道路施設の安全性及び使用性については、構造物の大型化、構造形式や使用材料の多様化によって、行われる維持管理の内容や方法も複雑化、高度化している。しかし、維持管理の「要」となる点検・診断に関して如何に機械化やICT化が進もうと、最終的には人間の判断や評価が不可欠と言える。ところが重要なキープポイントである人間の判断には、ヒューマンエラーが常について回る。ヒューマンエラーを起こす要因には、技術力の不足、想像力の不足、そして意識フェーズの低下の三つがある（図1参照）。これまで行われた点検・診断の過程や結果を調べると、これら業務が物を造る業務と異なっていることや、専門技術者としての評価が低いことなどから、担当者の取り組み意欲が低く、真剣さが感じられない場面が多く見られた。その結果、変状の見落とし・見逃しが起こっているようである。これら人間の錯誤や緩慢を起因とするヒューマンエラー発生を抑えるためには、意識フェーズの低下を抑える必要があり、そのためには維持管理の重要性を点検・診断を行う専門技術者が十分認識すると共に、社会が社会基盤施設に関係する専門技術者を高く評価することが必要である。



写真1 米国・I-39W高速道路橋崩落事故

1 道路橋の点検と診断

道路橋は河川、湖、運河や鉄道などを跨ぐ施設であるが、山間の渓谷や潮流の速い海峡を渡す場合もある。このような道路橋は、容易に点検できる環境ばかりでなく、風通しが悪く、狭隘な環境の場合も多々あり、良好な環境下にあるとは言い難い。また、交通量の多い市街地の交差点の橋梁や、早朝から深夜まで運行している鉄道上の橋梁などは、点検を行う時間帯が深夜に限られ、過酷な環境下での作業となる（写真2参照）。このような状況で点検を適切に行うためには、事前準備が重要である。近接目視による点検を義務付けた現状において、対象となる部材に肌が触れるほど接近することが必要となるため、発生している変状を発見した時に変状の規模や内在する損傷の有無を確認する機材・器具が不足し、点検作業を中止せざるを得ない事態となる。また忘れがちだが、現地で行った点検の結果を記録として残すことは、診断を行う際に必要不可欠であるばかりでなく、点検後に行われる様々な維持管理において重要な情報となるので、健全な部分の状

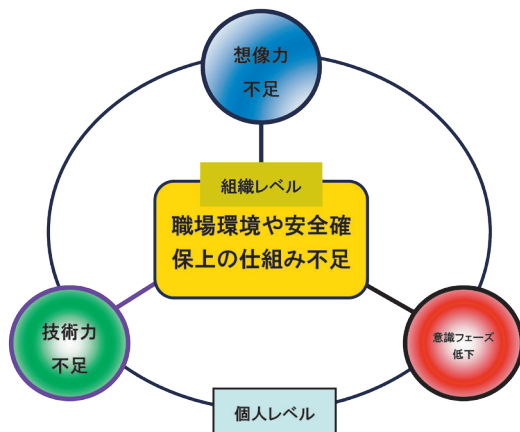


図1 ヒューマンエラーの発生原因



写真2 跨線橋点検状況

態も含めて確実に野帳やICT端末等に残しておくことが重要である。どのような情報をどのように記録するかを点検準備段階で把握し、点検作業を行うメンバー全員に徹底すること、記録ミスや記録の欠落を少なくする上で重要である。

今回は、道路橋に行う種々な点検の概要を示し、最も重要な定期点検について点検から診断の詳細と留意点に触れて説明することとする。

1.1 点検とその内容

道路橋を対象とした点検方法について国の示した流れでは、通常点検、中間点検、特定点検、定期点検（初回点検含む）、異常時点検の5つに分けられる。通常点検とは、日々の巡回やパトロール時に行う点検、定期点検とは、5年に1度の頻度で行う人間で言えば定期検診にあたる重要な点検である。定期点検は、橋梁を構成する各部材の状態を診断し、当該橋梁に必要な措置を決めるために必要な情報を得るためのものであり、安全性や使用性の確保、第三者被害の防止を図るために行う点検である。特定点検は、特定の事象、例えば塩害など特別な損傷に特化した点検である。また、異常時点検は、地震、台風、異常豪雨や車両や船舶の衝突などが発生した時に行われる緊急的な点検である。

なお、図2は点検・診断から補修・補強等措置、記録までの維持管理の流れ図（メンテナンスPDCAサイクル）であるが、流れ図で示している記録とは、点検・診断、緊急対応、詳細調査及び行われた種々な措置等全てをデータ化して保存する作業である。道路橋を対象に行われている点検の種類は以上である。次に重要な定期点検について説明する。

1.1.1 定期点検

道路橋を対象に行う定期点検は、平成21年まで目視点検の方法に関する規定はなかった。しかし、中央道・笹子トンネル天井板落下事故を契機に目視点検の方法について見直し

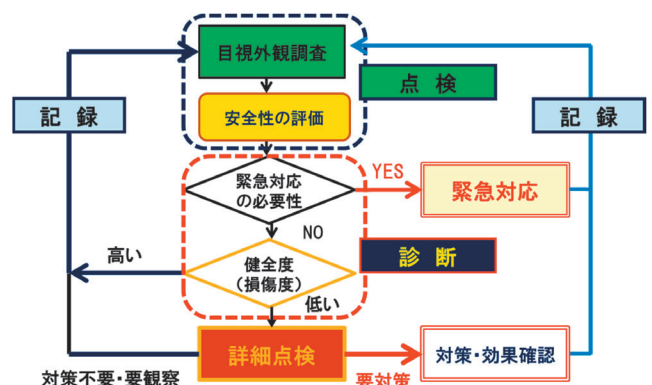


図2 道路橋維持管理の流れ図

れ、近接目視 (1.1.2参照) によって行うことが標準となった。このため、近接目視点検に必要となる様々な点検機材・器具を携行し、対象橋梁の部材や部位に近接することが必要となった。橋梁は、路面上の高欄、防護柵、地覆、舗装、伸縮装置や橋梁灯、橋梁下面の主桁や横桁、対傾構、横構、床版や支承、下部構造の橋台や橋脚などで構成されている。このように多くの箇所を適切に点検するには、手戻りが無いように系統立てて、計画的に点検を行うことが必要となる。橋梁は先に示したように数多くの部位・部材から構成されており、全ての点検作業を均一に高い意識を持って続けることは容易ではない。効率的で精度の高い点検を行うためには、橋梁の特性を十分知った上で、過去の点検や補修・補強の履歴を参考に、各部材や部位に適したアプローチ方法が必要となる。そのためには、技術者自らが橋梁構造、構造詳細、材料に関する知識を持ち、構成する各部材の役割を正しく理解していることが重要となる。適切な定期点検のスタートは、事前の書類調査から始まると言っても過言ではない。

(1) 書類調査

点検を効率的に行うための事前準備が書類調査である。書類としては、橋梁台帳、竣工図書、点検記録、補修・補強履歴などがあるが、それ以外に施設周辺環境が分かる資料も必要である。事前にこれらを十分活用して点検実施計画を策定するのが望ましい。しかし、ここに示した書類が十分に揃っていない場合も多々あり、そのような場合には事前に現地踏査を行って不足事項を補うことが必要である。

1) 橋梁台帳調査

道路管理者は、管理している橋梁に関する橋梁台帳を保有しているのが一般的である。橋梁台帳から分かることは、対象橋梁の所在地、橋梁形式、架設年度、維持補修・補強履歴などである。特に、建設年度と供用後の対策履歴の確認が点検・診断時に有効となる。

①建設年度：建設年度が分かれば、適用基準の記述が欠落していても適用基準が想定できる。これによって、橋梁本体や支承、附属物などの現行基準との差異を知ることができ、変状の発見にも寄与する。例えば、経済設計が重視された1956年(昭和31年)や1964年(昭和39年)の基準を適用しているのであれば、鉄筋コンクリート床版の厚みや鉄筋量が少ないことから損傷も起こりやすいと想定でき、点検時に役立つ。現地で点検を行う際、橋梁台帳から知りえた情報を加味して調査を行うと変状の見逃しを著しく減少することが可能となる。また、鋼部材の主たる損傷に疲労き裂があるが、台帳の記載から大型車の通行が多い路線と分かっているれば、供用経過年数に比例する累積損傷度の算定ができるので、疲労き裂の発生年数や箇所がある程度予測可能となる。

②維持補修・補強履歴：供用開始後に維持補修・補強対策が

行われている記載があればその情報を入手し、どのような目的で対策が行われたかを確認し、対策内容から対策の趣旨、対策後の効果などを現地で確認することが必要となる。これは、対策効果が確認できれば、他の橋梁への同一対策適用を進めても良いが、逆に対策効果が認められない場合や対策箇所周辺に新たな変状が確認された場合は、当該工法その他橋梁への適用を止めるだけでなく、再度他の方法による改善対策を行う必要があるからである。

2) 設計、竣工図書の調査

設計及び竣工図書の調査とは、一般図、構造詳細図、設計計算書、施工管理資料などを確認することで、点検時に役立つ対象橋梁の特徴を知ることができる。これら情報は、他の点検の事例を参照することで点検時にどの部材や部位に損傷が発生するか予測可能となるばかりでなく、変状を発見した場合に緊急対応が必要か否か、変状進展の可能性が高いかなどの判定に活かすことができる。設計及び竣工図書が無い場合は、構造等が分からない状態で点検・診断をせざるを得ない状況となるので、適切な点検・診断を行うにはかなりのマイナスとなることを覚悟しなければならない。以下に、関連書類調査時点のポイントを概説する。

①構造特性：鋼橋に発生する損傷としては、腐食が最も多く、国等の調査結果によると架け替えの主たる理由となっている。点検対象が箱桁構造である場合は、箱桁内の溜水、塵埃の堆積、鳥の糞害などがあるものと考えて点検を行うことが必要である。また、鋼橋は一般的に薄肉鋼板で構成されていることから振動しやすいので、疲労き裂、ボルトのゆるみや脱落等が発生しやすいと言える。さらに部材の添接部ではリベット、ボルト、溶接と設計年次によって異なった添接方式が混在しているため、それぞれの特性を十分理解して点検を行う必要がある。コンクリート橋も同様で、構造型式によって変状の発生しやすい部位があることから、各部位の構造の長所・短所、過去の点検履歴や補修・補強履歴を事前に把握することが必要である。例えば、多径間の橋梁の場合、昭和初期には静定構造とするためにゲルバー構造を採用する事例が多かった。構造的には問題はないが、ゲルバー構造の特徴である掛け違い部で断面が変化すること、ヒンジとなる支承が経年で機能を失うなどの原因で顕著なひび割れ損傷が発生している事例が多々ある。写真3に示すようにひび割れ損傷の進行を放置したり、内桁へのひび割れ拡大などを見逃したりすると落橋の危険性が高いため、重点着目部位として点検する必要がある。

②応力状態：橋梁の点検・診断を行う場合、担当する技術者は構造物の力学特性を理解し、変状の発生原因や程度、進行度を工学的に判断する能力と知識が要求される。一般的に、橋梁の点検・診断は、外業である現地点検と内業となる診断



写真3 コンクリート橋ゲルバー部の変状（ひび割れ、鉄筋露出等損傷）

を分けて行う場合が多く、現地点検を行う技術者には構造力学に関する知識は不要との考え方もある。しかし、変状が発生している部材や部位にどのような応力が生じたかを理解していることで、より適切な点検が可能となるだけでなく、発生している変状に対する緊急措置の判断を現地で行う際に役立つ。それには点検技術者として、橋梁を構成している部材に作用している力や方向などを把握することが求められる。橋梁は作用する力に耐えられるように設計されているが、当初想定している範囲を超える挙動や作用力が原因となって変状が発生する場合がほとんどである。このような変状は、発生している位置、形状によって発生原因を推定できることが多い。また、その場で分からない場合、原因を明らかにする目的で行う非破壊検査の選定や適用においても、適切な判断が可能となる。橋梁を構成している部材に作用する力を理解することも必要である。例えば、トラス構造の弦材は引張り部材、圧縮部材で構成されている。引張り部材に疲労き裂が発生し進展すると脆性破壊に至り、重大事故につながる可能性が高い。ここに示すように、引張部材のき裂と圧縮部材のき裂と比較すると、危険度は引張部材の方がはるかに大きいと言える。橋梁を構成する部材や部位に作用する力や発生する断面力等を理解することは、点検技術者にも当然求められていると考えるべきである。

3) その他の書類調査と現地踏査

今まで示した調査以外に現地点検の前に調べることは、過去の点検・診断結果、維持補修・補強等の対策履歴とその内容、周辺環境などがある。これらは、点検時に変状を発見した場合、ここに示した過去の資料と対比することで変状の進展度や対策効果の確認などに役立つばかりでなく、点検時に有効活用できるので可能な限り事前に調査しておくことが重要である。また、同様な構造、環境において発見されている類似の変状や損傷事例についても、学会や協会の資料及び関連図書などを時間の有る時に調べておくことは、変状の見逃

し・見落としの確率を減らすためにも有効である。

事前に書類上で十分確認ができなかった場合は、現地踏査を行い可能な限り情報収集を行うことになる。現地踏査では、橋梁構造等の確認、周辺環境の確認、桁下等の他管理者との協議に関する確認、事前に明らかとなっている変状の確認などがある。現地踏査を行わずに現地点検を開始することは、暗闇の中でライトもなしに点検を行うことと同様であるので、現地踏査を疎かにしてはならない。

次に、現地における点検と留意点について述べることとする。なお、道路橋には、鋼橋、鉄筋コンクリート橋、プレストレストコンクリート橋及び下部構造などがあるが、今回は上部構造の一つ鋼道路橋の点検と留意点について説明する。

1.1.2 鋼道路橋の点検と留意点

道路橋の点検方法は、目視による点検、非破壊試験や微破壊試験による方法、破壊試験による方法の3種類に分けられる。一般的な道路橋の場合、目視による点検方法が主となることから、今回は目視点検について述べることとする。目視点検も、遠望目視点検と近接目視点検に分けられ、それぞれ目的が異なっているので注意が必要である。

1) 遠望目視点検

遠望目視点検とは、点検対象の橋梁に取りついている河川の護岸や堤防など橋梁全体が確認できる場所や橋梁の取付け道路から目視によって調べる点検方法である。遠望目視点検は、基礎の洗掘、不同沈下等による路面の異常沈下、疲労損傷による部材破断による路面や高欄等の不陸、車両や船舶等の衝突による路面や関連施設の変状を把握する目的で行う点検である。遠望目視点検は、対象橋梁を遠望から診る（見る、でなく診る）ことから部材や部位に発生している微細な変状を確認することは困難である。しかし、対象橋梁と周辺の構造物や地盤と対比することが可能なことや附属物、高欄、防護柵、地覆の橋軸方向の通り（蛇行していないかの変状確認など）や部分的な沈下を確認することを目的とする重要な点検方法である。ここに示すように遠望目視点検は、近接目視点検と趣旨が異なることを理解し、遠望目視点検を行った後に近接目視点検の順で行うのが望ましい。

2) 近接目視点検

近接目視点検は、点検対象となる部位や部材に限りなく近づき、見えにくい変状や微細な変状などを確実に捉えるために行われる点検である。道路橋は多くの部材で構成され、狭隘な場所、暗所や添架している管路等によって隠れている区域が多い施設と言える。近年、点検技術者に代わるツールとして点検ロボットやドローン（無人航空機）などの開発も進んでいるが、ここに示したように点検対象箇所が画一的でないことから、技術者による近接目視による点検を主として

行わざるを得ない状況と言える。鋼・コンクリート部材に共通する点検対象としては、床板、支承、伸縮装置、高欄などの附属物があるが上記にあげた材料的な損傷以外に構造体としての変位や機能不良なども目視で確認することが必要である。また、部材や部位に接近している状態において、異常な振動やたわみ等がないかを目視に加え聴覚等で確認することで、重大な事故を防ぐことにもつながるので忘れてはならない。点検時に発見した変状について、近接目視では変状の程度、進行度が判断できない場合や内在する損傷が予測される場合には、必要に応じて磁粉探傷試験などの非破壊検査機器を用いた検査や、コア採取などによる材質検査等の詳細調査を行う必要がある。

次に、鋼道路橋に発生する変状の中で、安全性、使用性、耐久性などの性能に影響を及ぼす主たる損傷を分類し、発生する種々な損傷に対しどのように点検を行うかについて説明することとする。

1.1.3 鋼道路橋に発生する損傷の種類と点検

鋼部材の代表的な損傷としては、防食機能の劣化、腐食、断面欠損、疲労き裂、破断、変形、ボルトやリベットの緩みや脱落などがある。腐食は、著しい断面欠損状態に短時間でなることはありえないし、疲労き裂も車両荷重や風荷重などの累積によって発生、進行するので定期点検の主たる対象と言える。これに対し、変形は車両・船舶などの衝突や、地震や地盤の不同沈下及び側方移動など想定外の外的作用を原因として発生する損傷であることから、どちらかと言えば緊急点検の範疇である。次に、鋼道路橋の二大損傷、腐食と疲労き裂、それらに関連する損傷の点検について説明することとする。

(1) 防食機能の劣化

鋼部材の損傷の中で最も多く発生しているのが腐食である。腐食を防ぐ対策が防食であり、塗り重ねた塗料によって鋼材を被覆することで酸素や水、塩分など腐食促進物質を遮断し、保護する塗装による防食法、耐候性鋼材のように鋼材表面に生成される緻密なさび層によってさびの進展を遅らせる材料的な防食法、鋼材表面に形成した亜鉛皮膜が酸素や水、塩分など腐食促進物質を遮断し、保護する溶融亜鉛めっき防食法、鋼材表面に形成した溶射被膜（亜鉛、アルミニウム、亜鉛・アルミニウムなど）が酸素や水、塩分など腐食促進物質を遮断し、保護する金属溶射による防食法、電氣的にさび化学反応を抑制する電気防食法などがある。これらの防食機能別に目視点検時の留意点を以下に述べる。

1) 塗装

鋼道路橋に最も多く採用されている防食法が塗装である。塗装の点検は、塗膜のはがれ、われ、ふくれ、白亜化（チョー

キング）、汚れ、変退色等の発生を調べると同時に、鋼材にさびや断面欠損が発生していないかを確認することとなる。防食に係る主たる損傷について説明する。

①はがれ、割れ：塗膜にはがれや割れがあれば、鋼材に変状が発生していると考え、確認する必要がある。塗膜のはがれや割れは、溶接部や鋼部材端部、見えにくい部分などに鋼材の腐食やき裂が発生している可能性もあるため、塗膜をはがして変状の有無を調べる必要がある。

②ふくれ：塗膜に発生したふくれの大きさや密度（面積）等を調べる。ふくれの発生原因については、使用している塗料の品質不良であるのか、塗膜層間の付着不足等による層間はく離現象か、環境に起因するものであるのかを調べる必要がある。

③白亜化：白亜化は、塗膜の環境遮断性能が失われていく現象の一つであり、塗膜の表面が粉化して次第に消耗していく現象である。外観上は防食機能の劣化と考えがちであるが、白亜化現象が確認されても塗膜の保護層として機能している場合もあるので、診断時には注意が必要である。

④さび：塗膜の表面に赤茶色（錆色）部分の点在や変色した部分がある場合はさびが発生していると予測し、確認することになる。さびは、塗膜下塗りの鉛系さび止めペイントと同色に近いことから見誤る可能性も高く、それらと識別する必要がある。外部から飛来し塗膜表面に付着したもらいさびや、さび汁などで汚れている場合にはウェスなどで拭くなどし、本体のさびか汚れかを確認する。また、さびは鋼材の断面欠損過程の劣化現象であるため、塗膜の変化が著しい状態でない場合も、厚い塗膜に隠れている可能性もあるので浮いている部分を剥ぐなどして、さびが内在していないかを確認することが必要である。

2) 耐候性鋼

耐候性鋼の防食機能に対する目視点検では、発生しているさびが防食性能として期待している緻密なさびであるのか、もしくは層状はく離さびやうろこ状さびなどの不良さびかを調べる必要がある。特に、桁端部や湿気のこもりやすい箇所、排水装置付近などは、緻密さびが形成されにくいので時間をかけて変状の有無を確認する必要がある。

3) 溶融亜鉛めっき

亜鉛メッキ層の代表的な腐食事例は、保護性皮膜が長期間高温多湿状況にさらされて発生する白さびである。白さびが進行すると保護性皮膜を失い、鋼材の腐食（赤さび）が始まる。めっきの目視点検では、さびの有無、変色、光沢、めっき初期の不具合（やけ、サンダー傷跡など）などについて調べる。メッキ部のさびについては、赤さび、白さびの発生状況、発生部位、面積などを対象として調査する。変色などについては、初期状態から表面状態がどのように変化したかを比較

することが有効である。めっき層が何らかの原因で減厚すると、鋼材表面からさびが発生しやすくなるので注意する。特に、飛来塩分や凍結防止剤が付着する部位で雨水のあたらない箇所は、塩化物がめっき層を貫いて鋼材に到達する速度が速くなる。その結果、比較的早期に鋼材が腐食し、めっき層自体が鋼材から割れ、はく離するため、防食機能が著しく低下するので注意して調べる。

4) 金属溶射

金属溶射の点検は、溶融亜鉛めっきで述べた点検方法と類似しているので省略する。

(2) 腐食

鋼材の主成分となる鉄は自然界にある鉄鉱石を還元させた人工材料であり、そのまま放置すると酸化してさびとなる性質をもっている。さびには赤さびと黒さびがあり、赤さびは鋼材腐食の主原因であり、三価の酸化物である。赤さびは多孔質（ポーラス）であるため、酸素や水を透過しやすい特性があり、さびの進行は早い。一方、黒さびは二価と三価の鉄が混合した酸化物で酸化度が高く、緻密な皮膜を形成するため、赤さびと比較すると、鋼材の腐食速度は著しく遅くなるのが特徴である。このようなことから、点検時の注意点としては、赤さびの有無、広がり、断面腐食程度などを重点的に調べる必要がある。

(3) 疲労き裂

車両による荷重や風荷重などが作用することによって、繰り返し材料に変形が起こるような状態となると、疲労による変状が発生しやすくなる。道路橋においては、これまで、車両等の走行による繰り返し荷重によって鋼材が変形し、疲労き裂が発生、その後部材が破断する変状となり、重大事故に至った事例が国内外に多数ある。

1) 疲労き裂の点検

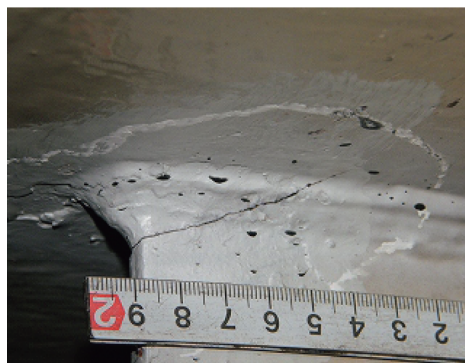
疲労き裂は、作用応力方向と直交して進展する。溶接部の表面から入るき裂は、応力方向が溶接ビードとほぼ直交して

いれば止端に沿って進展するが、直交しない場合には止端と角度を持って母材（鋼板）内方向に進展する。ルートき裂については、ビード上にき裂が現れるが、複雑な部材接合部では応力方向を予測することが困難な場合もある。き裂が進展するにつれ作用する応力成分が変化する場合には、これに応じてき裂進展方向も変化する。また主応力方向がビード方向に対して傾いていると、ビード止端に発生したき裂が、斜め方向に分岐し、ひげ状のき裂が多数発生する場合がある。

疲労き裂の発生事例として、鋼桁垂直補剛材の上端に発生したき裂を写真4に示す。(a)は床版作用によって発生したき裂が斜め上方に伸び、上フランジに進展した典型的なき裂である。荷重載荷点が主桁の腹板から床版スパン側にずれるため、垂直補剛材には圧縮と同時にせん断力が作用する。き裂の進展方向は上方を向き、上フランジに進展する。主桁上フランジに進む可能性が高いき裂であることから、重大な変状に発展する前に確認し、早期の措置が必要である。一方、(b)のき裂は(a)と異なってルート割れであることから、溶接部の「のど」厚が薄く、「のど」にあたる部分に大きな応力が発生して「のど」に沿ってき裂が発生したと考えられる。不適切な溶接を行った場合、ルート部に発生したき裂は表面では曲がりくねった形状となる。ここに示すように、き裂の形状を調査することによって、ある程度き裂の起点や応力方向がわかり、発生原因を推定する重要な手がかりとなるので注意が必要である。

2) 塗膜割れ

鋼部材は、一般的に防食処理が施されていることから、疲労き裂を確認するのは困難と言える。鋼部材が塗装されている場合は、塗膜割れを目安にき裂を探すのが一般的である。しかし、橋梁の場合、応力集中部にき裂がなくても塗膜が割れる場合があり、き裂を伴わない塗膜割れも多くある。塗膜の乾燥によって塗膜割れが発生した場合は、割れの方が応力方向と直交しないので、乾燥塗膜割れと判断できる。ここ



(a)



(b)

写真4 鋼桁垂直補剛材に発生した疲労き裂

に示したように、疲労き裂の発生パターン（応力に直交）を知ることによって、詳細調査の要否の判断が可能となる。

3) 緊急措置の必要性があるき裂

桁橋の主桁フランジやウェブに入るき裂やトラス橋、アーチ橋等の主構部材に入るき裂は特に注意して点検する必要がある。き裂長が数10mm程度になると、変状として脆性破壊現象となる可能性が高く、気温、荷重などの条件によっては急激にき裂が進展する恐れがある。このように主桁や主構造にき裂が発生すると、き裂が急速に拡大し、最悪、部材が破断して崩落に至るなど緊急事態となる場合が想定されるので、これらに十分留意して点検を行う必要がある。

(4) ゆるみ、破断

橋梁に採用されている継手形式は、ボルト継手、リベット継手及び溶接継手である。高力ボルト継手部は塗膜厚が不均一になりやすく、凸凹部に滞水しやすいことから腐食しやすい部位である。高力ボルトのゆるみ・脱落は、高力ボルトの締付け不良、振動や腐食によるゆるみがある。また、F11T、F13T等の高強度高力ボルトを使用している場合、遅れ破壊発生の可能性が高く点検時に注意して確認する必要がある。点検時にF11T、F13Tのボルト頭部やナット部等の落下を確認した場合、緊急対策の要否やその後の対策を含めて検討が必要である。高力ボルトやリベットの脱落は目視で確認できるが、ゆるみや未破断の遅れ破壊現象は目視での確認が困難であることから、脱落の事例や可能性がある場合は、たたき点検や超音波探傷を併用して破断の兆候を確認すると良い。

以上が、道路橋を対象に現地で行う目視を中心とした定期点検の概要と留意点である。次に、健全度診断について説明する。

1.2 健全度（損傷度）診断

橋梁を点検した結果を基に、対象橋梁の健全性（損傷程度）を判断、評価することが診断である。点検結果から評価することは、橋梁を点検する基準や要領等が整備されていれば容易のように感じるかもしれないが、実はこれが担当技術者の技術力と判断力を問われる点検・診断業務の最も重要な作業である。橋梁は、人と同じようにそれぞれがオーダーメイドの製品で、使われている環境や使われ方も異なっていることから、診断対象の橋梁の設計・施工、供用開始後の維持管理状況、確認された変状に対応する措置を十分に調査し、それらを把握した後に現状を定量的に評価することが必要である。海外の事例としては、米国の道路橋に使われている破壊要因につながる崩壊危険部材（Fracture Critical Member）を対象としたリダンダンシー解析によるリスク評価があるが、これも定量的な診断法の一つである。定量的とは言えないにしても、主観的な判断でなく、可能な限り客観的な判断が必

要となる。具体的には、鋼部材に発生している断面欠損やき裂などの変状一つとっても、それが重大な変状につながるものか、見過ごして良いものかの判断が求められる。このような場合、変状の発生している位置、変状の構造体に与える影響度、変状の進行度などを確認し、過去の重大な変状に発展した事例や室内実験及びFEM解析等によって求めた予測結果と対比しながら対象部材の評価を行なうことになる。診断とは、変状の程度や機能損失の程度だけでなく、措置方法についても判断し、評価することである。これまで行われてきた判定ランクによる分類評価法は、あくまで対象となる部材を規定した範囲の中にグループ分けすることで、簡易に変状程度の判定や措置補法の目安を決めているに過ぎない。判定ランク分けに固執し、対象構造物に行わなくてはならない緊急措置の必要性や第三者被害の可能性の大きさを忘れることがないように十分留意することが必要である。

点検によって発見した変状の判定は、一般的に変状の位置、形状、深さ、拡がりや、変状のある部材や部位の重要度、変状の進行性などから、該当する変状が安全性、使用性、耐久性などの性能や機能に与える影響程度を総合的に判断して行う。また、橋梁通行時の安全確保、円滑な交通確保に大きな影響を及ぼす変状、例えば高欄、防護柵の欠損、伸縮装置の異常や、桁下通行者や周辺への影響が想定できる場合は、早急な措置を講ずるように判定されることになる。

ここで、診断の事例として私が策定した「橋梁の点検要領」において取りまとめた健全度診断方法について要点を説明する。定期点検の結果から健全度を診断することは、構造物全体としての耐久性・安全性について多角的な視点で健全度の判定を行い、機能を十分に満しているかどうか、あるいは、寿命が当初の想定よりも短くなることはないかなどを検討することである。ここで言う健全度とは、安全性・耐久性・使用性の3つの指標からなる橋梁の健全性の尺度（レベル）である。ここで示す安全性とは、部材の耐荷力等が作用荷重に対して必要な安全性を有しているか否かを表現するものであり、耐久性とは、部材の変状（損傷・欠陥など）の進行性有無の判断を主とし、放置した場合に、所定期間の安全性、使用性が確保できるか否かを表現するものである。使用性とは、部材に発生している様々な変状や損傷ではないが橋梁への落書き等に対し、橋梁を利用する人や周辺の住民が不快感や不安感を抱き、使用限界状態となっているか否かを表現するものである。定期点検における健全度診断は、供用している橋梁の実態を把握する基礎データとなることから、まず橋梁を構成する部材別で行い、次に複数径間の場合は径間別で行い、最終的に橋梁全体で取りまとめる考え方が一般的である。具体的な診断は、第一に現地での近接目視点検結果を基に表1に示すように損傷状況をa～eの5段階で判定し、表4

から耐久性の指標を求める。第二に表4に従って点検対象径間の架設年次や大型車交通量及び適用基準から耐荷性の指標を算出し、表3の総合健全度判定式から耐久性(α)および耐荷性(β)を算出する。最後に図3の総合健全度判定図によって表2のように総合ランクA～Eの5段階に分類する。総合健全度判定式における、評価因子別の評価点と重み係数は、過去の損傷事例を分析して、鋼橋とコンクリート橋別の橋梁更新理由や構造上の重要度等から部材毎の重要度を定めている。また、橋梁の健全度は、耐久性、安全性、使用性の3点から判断されるべきであるが、使用性からの評価は利用者の主観的判断が強いことから現時点では難しく、主に変状を起こしている損傷の種類や損傷の程度から判定する耐久性と設計活荷重、交通量、供用年数による耐荷性(安全性)の2つの指標から判定する方式とした。総合健全度判定式で算出した耐久性、耐荷性の指標の数値を使ってそれぞれ図3の総合評価判定図における横軸と縦軸にプロットし、その交点がA～Eのどのゾーンに入るかで対象径間の総合健全度A～Eを判定する方式である。複数径間を対象として橋梁全体を評価する場合は、各径間の最低区分ランクとしている。なお、安全性及び耐久性におけるゾーニングの境界値は、過去の事例を分析し、その結果によって管理橋に発生した種々な損傷と設計

表1 判定標準(部材別)

判定区分	状 況	措 置
a 健全	損傷が特に認められない。	—
b ほぼ健全	損傷が小さい。	記 録
c やや注意	損傷がある。	記 録・動 態 観 測
d 注 意	損傷が大きい。	記 録・確 認
e 危 険	損傷が著しい。または、第三者へ影響を与える可能性がある。	確 認・緊 急 対 策

表2 判定標準(径間別)

判定区分	状 況	措 置
A 健全	総合健全度判定式によって判定。	—
B ほぼ健全		記 録
C やや注意		記 録・動 態 観 測
D 注 意		記 録・詳 細 調 査
E 危 険		確 認・緊 急 対 策

表3 総合健全度判定式(鋼道路橋)

耐久性(α)	=	$a_1^{b1} \cdot a_2^{b2} \cdot a_3^{b3} \cdot a_4^{b4} \cdot a_5^{b5} \cdot a_6^{b6} \cdot a_7^{b7} \cdot a_8^{b8}$
	=	$a_1^{30} \cdot a_2^5 \cdot a_3^5 \cdot a_4 \cdot a_5^{30} \cdot a_6 \cdot a_7^4 \cdot a_8^4$
耐荷性(β)	=	$a_9^{b9} \cdot a_{10}^{b10} \cdot a_{11}^{b11}$
	=	$a_9^2 \cdot a_{10} \cdot a_{11}$

活荷重、大型車交通量及び供用年数から健全度を判定したトライアル計算を100例程度行い、決定したものである。今回紹介した「橋梁の点検要領」では健全度ランク(損傷度ランク)を5段階に分けて判定しているが、米国の道路橋では10段階、現在の国内道路橋は4段階に分けて評価、判定している。判定ランク分けは、一つの目安であり、いずれも確認できる損傷からの健全度、構造体一つとしての健全度及び対策方針の考え方は同様である。

以上が、橋梁を安全、快適に供用し、耐久性を保つために

表4 重み係数及び評価因子別の評価(鋼道路橋)

	評 価 項 目	i	評価因子別の評価[ai]	重み係数[bi]
耐 久 性	上 部 工 事	主 桁	1 a=1 b=2 c=3 d=4 e=5	30
		縦 桁	2 a=1 b=2 c=3 d=4 e=5	5
		横 桁	3 a=1 b=2 c=3 d=4 e=5	5
		横 構・対 傾 構	4 a=1 b=2 c=3 d=4 e=5	1
	下 部 工 事	床 版	5 a=1 b=2 c=3 d=4 e=5	30
		支 承	6 a=1 b=2 c=3 d=4 e=5	1
		橋 台	7 a=1 b=2 c=3 d=4 e=5	4
		橋 脚	8 a=1 b=2 c=3 d=4 e=5	4
耐 荷 性	活 荷 重	設 計 活 荷 重	$\geq H5$	1.0
			$H5 > \sim \geq S31$	1.1
			$S31 > \sim \geq S14$	1.4
			$S14 >$	1.5
	大 型 車 交 通 量 (台/日)	10	≤ 2000	1
			$2000 < \sim \leq 8000$	2
			$8000 < \sim \leq 12000$	3
			$12000 <$	4
	交 通 量	供 用 年 数	$\geq S60$	1
			$S60 > \sim \geq S40$	2
			$S40 > \sim \geq S20$	3
			$S20 > \sim \geq S1$	4
			$S1 >$	5

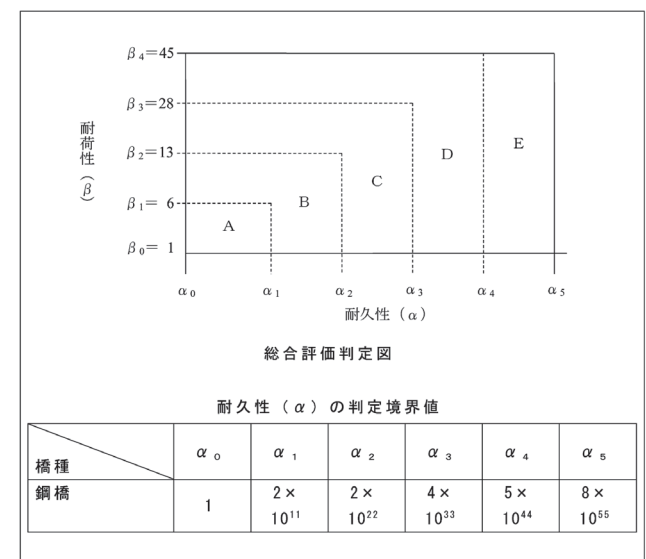


図3 総合健全度判定図(鋼道路橋)

必要な点検・診断の内容とポイントである。

1.3 課題

道路橋で実際に行われている点検・診断について解説したが、「安全・安心」を確保するために最も重要なことは、点検・診断も専門的な知識と判断力が求められていることを、担当する技術者だけでなく建設時に携わった設計・施工技術者も理解することである。その理由は、標準的な考えで設計、施行を進める他に、建設し供用する環境を加味することで耐久性が向上するからである。これは、料理に必要な香辛料にも似ている。対象橋梁の外観は同じであっても、施工や供用後の履歴は異なっているのが一般的である。このようなことから、対象橋梁に適した点検・診断を行う必要があるとの認識を常に持つことが重要で、標準的な考えによって異なった地域や環境の対象物に対する評価ランクを統一したり、損傷を外観のみで区分けした評価ランクに当てはめるような診断法が適切であると考えないことである。点検・診断の現状は、部材に発生している種々な損傷に対して点数法による判定法が多く用いられているが、使用している重み係数や評点は未だ不明確な部分が多々あり、今後点検・診断の多くのデータを分析することで精度の高い診断手法が開発され则认为る。特に、ICT技術が急速に進歩している現状において、全国で行われている種々な点検・診断結果を集め、3次元解析、データマイニングやAI手法を使って新たな診断方法を開発し、試行することが必要である。今回紹介した点検で発見される変状を起こす損傷から判断する耐久性と適用基準、大型

車通行量や経年と関連付けた耐荷性（安全性）の評価は、外観だけでは判断できない内在する損傷を如何に評価するかを考え、工夫した結果である。ここに紹介した健全度診断の事例は、今から約30年前の1982年（昭和57年）～1986年（昭和61年）に過去の点検データ分析、実橋実験などを行い独自で取り組み、その成果として得たもので、現在も実務で使用し続けている点検、診断の考え、流れである。米国で使われている「Bridge Inspector's Training Manual」も同様に、時間が経過した今でも点検・診断の基本的な考え方は陳腐化したとは思えない。点検を定期的に、近接目視によって行うことをルール化した今、より信頼性が高く確実な点検・診断が行え、施設の高齢化が急速にする無現状において、実務で有効に機能する点検・診断ツールの開発が待たれるところであり、私は期待している。

参考文献

- 1) (一財) 首都高速道路技術センター：これならわかる道路橋の点検，建設図書，(2015)
- 2) 依田照彦，高木千太郎：橋があぶない―迫りくる大修繕時代―，ぎょうせい，(2010)
- 3) 東京都建設局：橋梁の点検要領，(1987)
- 4) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋点検必携，丸善出版，平成27年版 (2015)

(2016年6月17日受付)