

道路橋の損傷と原因について

赤坂正人¹ 長尾彰洋¹

¹ 中部技術事務所（〒461-0047 名古屋市東区大幸南一丁目1番15号）

本報告は橋梁点検および診断を含む橋梁の維持管理体系や、経緯、橋梁点検の現状について取りまとめている。さらに点検調書（過年度実施した点検診断結果を取りまとめたもの）から、道路橋（コンクリート橋および鋼橋）の代表的な損傷事例の紹介と損傷原因について報告を行うものである。

キーワード：橋梁定期点検要領、橋梁管理カルテ、診断、対策区分、損傷原因

1. はじめに

(1) インフラ老朽化対策

「最後の警告 今すぐ本格的なメンテナンスに舵を切れ」、これは平成24年12月の中央自動車道 笹子トンネル天井板落下事故を契機に、「社会資本整備審議会 道路分科会会議（平成26年4月）」の中で道路の老朽化対策の本格実施に関する提言がされた。提言の具体的な内容としては、①道路インフラを取り巻く現状の整理②国土交通省の取組みと目指すべき方向性③具体的な取り組み方針についてまとめられた。これによりインフラ老朽化対策の方向性が示された。

(2) 道路管理者の義務が明確化（省令・告示）

橋梁等の道路施設は、国が定める統一的な基準により、①近接目視により5年に1回の頻度で点検を行うこと、②統一的な尺度で健全性の診断結果を分類すること、③診断の結果等について記録・保存することが法定化された。

(3) メンテナンスサイクルを回す仕組みを構築

道路管理者の責任による点検→診断→措置→記録というメンテナンスサイクルを確立するために、具体的な点検頻度や診断方法等が法令により構築された。

2. 橋梁定期点検要領の経緯

橋梁点検要領に関する経緯を以下に示す。

平成6年に橋長15m以上の全橋梁を対象に10年間に1回の頻度で点検を行う橋梁点検計画が策定され、平成8年には橋長15m未満の橋梁についても橋梁点検計画が策定された。

平成16年の改訂では、点検対象橋梁は橋長2m以上、点検頻度について5年に1回とするほか、損傷の進行が速いと判断された橋梁については定期点検と定期点検の間に中間点検を実施することとなった。

平成26年の改訂では対策区分の見直し、また、統一的な尺度で健全性の診断等が追加された。

表-1 使用する要領一覧

点検の名称	略称	実施頻度	点検要領の名称	発行年月
橋梁定期点検（橋長2m以上）	定期点検	1回/5年	橋梁定期点検要領【国土交通省 道路局国道・防災課】	平成26年6月
中間点検	中間点検	1回/2年		
補修補強の現場確認	補修補強確認	必要時		
橋梁における第三者被害予防措置	第三者措置	1回/2年～3年	橋梁における第三者被害予防措置要領（案）【国土交通省 道路局国道・防災課】	平成28年12月

3. 定期点検と診断

(1) 概要

定期点検では点検、診断、記録を一元管理するための「橋梁管理カルテ」を作成している。橋梁の状態を示す最も基礎的なデータとなり、維持・補修等の計画の検討などに利用される。

定期点検には「橋梁の損傷状況の把握」、「対策区分の判定」及び「健全性の診断」がある。

「橋梁の損傷状況の把握」は、橋梁点検員が近接目視により損傷を把握し客観的に損傷程度を評価する。

「対策区分の判定」は、橋梁検査員が近接目視、点検結果、架橋環境等から損傷状況を把握し、原因は何か、進行性はあるか等を考慮し、部材単位の「対策区

分の判定」(表-2)を行う。

「健全性の診断」は、対策区分の判定を踏まえ橋梁単位の健全性の判定(表-3)を行う。

表-2 対策区分の判定区分

判定区分	判定の内容
A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
C1	予防保全の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
C2	橋梁構造の安全性の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。
E2	その他、緊急対応の必要がある。
M	維持工事に対応する必要がある。
S1	詳細調査の必要がある。
S2	追跡調査の必要がある。

表-3 健全性の判定区分

区分	定義
I 健全	道路橋の機能に支障が生じていない状態。
II 予防保全段階	道路橋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	道路橋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	道路橋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。

4. 点検状況と健全性の結果

(1) 点検の現状

中部地方整備局において「橋梁定期点検要領(平成26年6月発行)」(以下、点検要領と呼ぶ)に基づく点検橋梁数は平成29年3月までに約60%が完了している。平成30年度が5年目であり点検が一巡する予定である。現地における橋梁点検の実施状況を写真-1に示す。

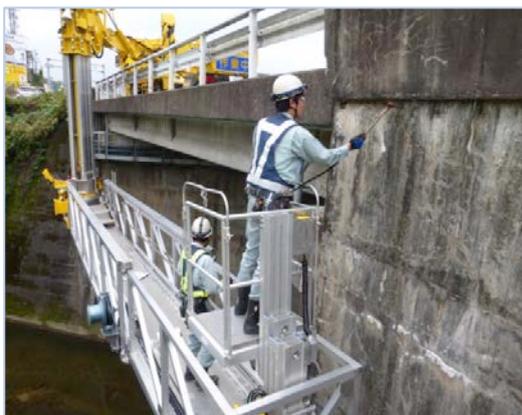


写真-1 歩廊式橋梁点検車による点検実施状況

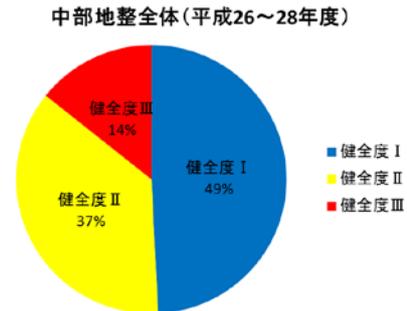
(2) 橋梁診断判定ワーキングの実施

点検結果の確認および職員の診断技術向上を目的

とした、「橋梁診断判定ワーキング」(メンバー:道路部道路管理課, 管理事務所, 中部技術事務所, 専門家(橋梁診断受注者))を開催し, 対策区分の判定(案)及び健全度(案), 判定の根拠(所見)を説明し合意している。

(3) 過去3カ年の健全性の診断結果

平成26年度～平成28年度点検橋梁における過去3カ年の健全性の診断結果について集計(図-1)した結果, 半分が健全(健全度I)であるが, 約14%が早期措置段階(健全度III)であった。



※定期点検橋梁数ベース

図-1 健全性の診断結果

5. 損傷事例と発生原因

(1) 損傷原因の種類と要因

点検要領には, 損傷原因について「橋梁における損傷現象は多様な形態で現れ, その原因も種々な要因が複雑に関連している場合が多く見られる」と記載されている。

損傷原因を確定もしくは推定することは難しいが, 主要部材の補修・補強対策工法を検討するためには必要不可欠である。損傷原因は6つの重大損傷要因とその他を加えた7項目で基本整理する。損傷原因の種類を点検要領より抜粋し表-4に示す。また, 表-5の11種類は表-4 ⑦その他の損傷原因を示す。

表-4 損傷原因の種類(7項目)

鋼	コンクリート	備考
①疲労	①疲労	外力作用に起因
	②塩害	
	③凍害	環境に起因
	④アルカリ骨材反応	
	⑤中性化	材料劣化に起因
⑥材料劣化		
⑦その他()	⑦その他()	

表-5 損傷原因として考慮されるもの (11種類)

外的原因	内的原因
ア) 外力作用に起因 ・想定外の荷重 ・衝突 ・偏土圧・圧密沈下 ・洗掘・浸食 ・地震	ウ) 材料劣化に起因 ・品質の経年変化 エ) 製作・施工に起因 ・製作・施工不良 ・防水・排水不良
イ) 環境に起因 ・乾燥収縮・温度応力 ・化学的腐食	オ) 設計・構造に起因 ・構造形式・形状不良

(2) コンクリート橋の損傷事例と原因

コンクリート橋の代表的な損傷事例と原因について記述する。

a) 損傷：ひびわれ [原因：疲労]

RC床版のひびわれ原因の1つとして、輪荷重の繰り返し繰り返しによる疲労現象と考えられているが、5つの段階の成長過程を経て破壊が進む傾向にある。防水層が劣化している場合、乾燥収縮により発生したひびわれが床版を貫通し、浸透水によるひびわれ面の擦り磨きが促進し、床版上面のコンクリートを分離させる現象（土砂化）をもたらす。

初期段階は橋軸直角方向（主鉄筋方向）に曲げひびわれが発生し、進展すると写真-2に示すような格子状のひびわれになり、最終的には床版コンクリートが抜け落ちるメカニズムである。また、路面からの雨水の浸透による漏水が発生し、そのため、床版下面には白い模様（遊離石灰）の沈着が観察される場合もある。



写真-2 RC床版の疲労によるひびわれ

b) 損傷：ひびわれ、剥離・鉄筋露出 [原因：塩害]

塩害による劣化は、コンクリート中の塩化物イオンが一定以上の濃度に達した際に、鉄筋表面の不動態被膜が破壊され鉄筋の腐食環境が形成されることで始まる。写真-3に塩害による損傷の状況を示す。鉄筋がコンクリート内部でさびて膨張し表面のコンクリートにひびわれを発生させる。進行するとコンクリートがは

がれ鉄筋がむき出し（剥離・鉄筋露出）の状況になる。

コンクリート中に塩化物イオンが含まれる原因としては、除塩が不十分な海砂の使用や塩分を多く含んだ混和剤の使用などによる内的塩害、海からの飛来塩分あるいは凍結防止剤として路面に散布された塩分がコンクリートの表面から浸入したことによる外的塩害の2種類がある。

塩害によるひびわれは主として鉄筋に沿って入り、ひびわれ箇所において錆汁がみられるのが特徴であり、これによって他の原因による損傷とある程度区別を行うことができる。また、塩害による鋼材腐食は、コンクリートがアルカリ性から酸性に変化（中性化）する鋼材腐食と異なり、部分的に著しい腐食となることが多く、急激に腐食が進行して鋼材断面が減少し、損傷箇所によっては構造全体の耐荷性能が急速に低下していくという特徴もあるため、注意が必要である。



写真-3 外的塩分によるコンクリート部材の塩害状況

c) 損傷：剥離 [原因：凍害]

凍害は、コンクリート内部の水分が凍結融解することにより、コンクリート中の水の体積が増加することにより膨張し、コンクリートが部分的に破壊されることによって生じる。コンクリート表面が剥離する現象（スケーリング）やひびわれ、コンクリート表面が皿状にはがれる現象（ポップアウト）などが進行し、順次内部に向かって劣化部が拡大進行する特徴がある。

スケーリングとはコンクリート表面が水で濡れている場合、膨張圧や、未凍結水の移動圧による凍害に先行して表面層が劣化剥離する現象をいう。また、ポップアウトは多孔質で吸水性の高い軟石（粗骨材）が、骨材中の水分の凍結により膨張し、骨材表面のモルタル層を剥落させる現象をいう。なお、その現象の他、ランダムなひびわれ、隅角部や水平部打継部のコンクリートの角欠け、斜めひびわれ、長手方向のひびわれなどが見られる場合もある。

中部地整管内では凍結防止材を多く散布する高山、飯田地域に見られる。写真-4に凍害による損傷例を示す。



写真-4 地覆部の凍害(スケーリング)

d) 損傷：ひびわれ [原因：アルカリ骨材反応]

アルカリ骨材反応は、骨材中の反応性珪酸とセメントに含まれるアルカリ金属イオンが反応し、吸水膨張性の反応ゲルが生成することにより生じる損傷である。コンクリートが膨張することにより、かぶりコンクリート部にひびわれを生じ、鉄筋量が多い構造物やプレストレストコンクリートでは、主鉄筋(PC鋼材)に沿ったひびわれとなりやすい。また、反応には水を必要とすることから、同一の構造物の中でも雨水の流下経路になっている場所などの水分の供給が多い箇所でひびわれなどの変状が目立つことが多い。

中部地整管内では下部工に発生しており、飯田、多治見、高山地域で見られる。写真-5にASRによる損傷例を示す。



写真-5 ASRによる橋脚梁のひびわれ

e) 損傷：剥離・鉄筋露出 [原因：中性化]

中性化は、大気中の二酸化炭素がコンクリート内に侵入し、炭酸化反応を引き起こすことにより、本来アルカリ性である細孔溶液のpH(ペーハー)を下げる現象である。

中性化が最も進行しやすい環境条件は、コンクリー

トの内部にある程度の水分を含んだ状態で、コンクリート表面が乾燥しやすい場合である。このため、構造物の北向き面よりも南向きの面の方が中性化の進行がしやすいと考えられている。

ただし、コンクリートの品質が良く、かぶりが適切に確保されていれば、中性化による劣化が生じる可能性は小さい。例えば、「2007年度版コンクリート標準示方書【設計編】(社)土木学会」では、一般的な環境下において建設される通常のコンクリート構造物のコンクリートの水セメント比とかぶりを規定し、かつ鋼材腐食に対するひびわれ幅が限界値を満足していれば中性化による鋼材腐食の耐久性を有していると記載されている。

中性化によるひびわれは主として鉄筋に沿う方向に入るのが特徴である。一般的に土木構造物では、かぶりが比較的大きくとられていることから、中性化による被害事例は少ないが、施工時の不具合により所定のかぶりが確保されていない箇所では、中性化による鉄筋腐食、コンクリートの剥落の事例が多い。中性化による損傷が、短期的に構造物の耐荷性能に影響を与えるものは少ないが、かぶりコンクリートの剥落により第三者被害に繋がるおそれがあるため、注意が必要である。写真-6に中性化によるコンクリートの剥落・鉄筋露出が発生した損傷例を示す。



写真-6 中性化によるコンクリート部材の剥離・鉄筋露出

f) その他

外力作用に起因するものとして地震、構造物の不同沈下が考えられる。

製作・施工に起因するものでは、不十分な締固め、不適当な打継ぎ処理、支保工の沈下によるひびわれが考えられる。写真-7にPCコンクリート橋における施工時のグラウト充填不足による剥離・鉄筋露出および主桁ひびわれ損傷が生じた例を示す。



写真-7 PCT 桁橋のPC 鋼材に沿った鉄筋露出およびひびわれ

(3) 鋼橋の損傷事例と原因

鋼橋の代表的な損傷事例と原因について記述する。

a) 損傷：亀裂〔原因：疲労〕

交通荷重や風荷重などの繰返し外力が鋼部材に作用する場合、鋼材にはたらく静的耐力に比べて相当小さい場合でも、構造的な応力集中、溶接部引張残留応力または溶接形状などに起因する応力集中部から亀裂が発生しやすく、最終的には部材の破断に至る場合がある。このように部材が損傷する現象を疲労損傷という。

一般に鋼橋などにおいて問題とされる「疲労」は交通荷重や風荷重のように設計許容応力以下の活荷重が作用することにより構造物が損傷する低応力高サイクル疲労と呼ばれる。

近年、大型車の交通量が多い道路橋において疲労損傷の発生が報告されるようになってきた。



写真-8 主桁補剛材に発生した疲労亀裂

b) 材料劣化

① 損傷：腐食・防食機能の劣化〔原因：材料劣化〕

鉄の腐食反応は水と酸素の存在下で起こる。大気中では、酸素は大気より常時供給され、水は降雨や結露として供給され腐食反応が起こるが、腐食反応の速度や腐食の生じる範囲、程度には気温や日照などの気象条件や、大気中に含まれる塩分(海塩粒子、凍結防止剤)、塵埃など様々な物質が強く影響する。

海岸部において鋼材が錆やすいのは、飛沫化した海水により大気中にもたらされた塩分が鋼材表面に付着して腐食反応を促進するためであり、海岸部は他の地域に比べて厳しい腐食環境にあるといえる。

鋼道路橋において各種防食法における適用環境区分は、飛来塩分の影響の大小により分けられており、それは通常、離岸距離をもって代表させている。しかしながら、実際の架橋地点の地理的・地形的な要因の影響が比較的大きいことに注意が必要である。

また、橋梁各部の構造的要因によっても腐食環境が異なることにも注意が必要である。写真-9に主桁補剛材、支承の腐食損傷を示す。伸縮装置からの漏水、凍結防止剤の腐食が多い。



写真-9 腐食 (左) 主桁, (右) 支承

c) その他

① 損傷：ゆるみ・脱落〔原因：遅れ破壊〕

現場継手(高カボルトおよびリベット継手)部には、添接板、ボルト・リベットの頭部などがあり、塗膜厚の不均一が生じやすい。湿気が滞留することもあり鋼材の腐食が発生しやすい箇所でもあり、塗替え塗装時においても完全な除錆が困難でもあるため、塗膜の防錆性は低下する。高カボルトの腐食が進行した場合、頭部やナット部の断面が減肉し、それに伴い締付け軸力の低下が生じ、継手のすべり耐力の確保が損なわれる場合がある。

一方、高カボルト継手においては、ボルト材料として高張力鋼が用いられていることから、遅れ破壊による損傷が発生する場合がある。遅れ破壊は、静的な荷重のもとで、ある時間経過後、外見上ほとんど変形を伴うことなく、脆性破壊する現象である。遅れ破壊の発生は確認することができない。

特にF11T 高力ボルトが、昭和35年代後半から昭和50年頃に用いられており、遅れ破壊が発生している事例がある。写真-10はF11Tボルトの脱落を示す。



写真-10 HTB(F11T)の遅れ破壊による脱落

②損傷：破断 [原因：腐食]

鋼部材の破断は、発生部位により構造系への影響が大きく異なる。損傷の程度や位置、規模を把握すると同時に損傷原因についても詳細に調査する必要がある。近年では、床版コンクリート埋め込み部のトラス斜材が腐食して破断した例もある。破断の原因は、腐食の進行や過大な荷重作用によるもの、車両などの接触に伴うものがあげられる。写真-11に破断の損傷を示す。



写真-11 鋼部材の破断

③損傷：変形・欠損 [原因：機能障害 (落橋防止)]

写真-12に示す損傷はウェブに設置されている落橋防止部材が腐食により可動せず、鋼桁の温度変化による長さ変化に追従できずウェブ鋼板が座屈変形したものと推定される。



写真-12 鋼橋ウェブの変形

④損傷：変形・欠損 [原因：排水不良 (伸縮装置)]

橋面、特に伸縮装置からの排水不良が原因と考えられる損傷が多く見られる。滞水については欠損が発生していないが、種々の損傷発生に繋がるため、点検時には見逃せないものである。写真-13に沓座面の滞水および沓座モルタルの欠損を示す。



写真-13 沓座面の滞水および沓座モルタルの欠損

6. おわりに

道路橋の損傷原因には施工時の施工方法や使用した材料 (内的原因) や、大型車交通量が多い、凍結防止材を多く散布する、海が近いところに橋が架設されているなどの、橋が架設されている環境 (外的原因) などさまざまな要因により発生している。

損傷原因を推定することは難しいが、原因を究明しなければ適切な対策工法が選定出来ない。損傷原因がわからず補修をしてしまうことは、再劣化 (補修した部材が再び損傷する現象) するだけでなく、補修費用、再度補修計画の検討や補修に費やす時間が増加し、施設そのものが短命になるため、損傷原因を推定または確定することは重要である。

平成31年からは点検要領に基づく2巡目の施設点検が始まることから、橋梁の点検・診断結果を受け維持管理を予防保全段階 (健全性II) でマネジメントしていくことが重要と考える。そのためには、点検や診断に必要な知識や技能を持つ技術者を育成していくことが必要と考え、中部技術事務所において国、地方自治体職員を対象に引き続き研修を実施していく予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁定期点検要領、付録-3 定期点検結果の記入要領、7-8, 2014.