

水管橋等の維持・修繕に関する検討報告書

令和5年3月

厚生労働省
医薬・生活衛生局 水道課

目 次

はじめに

第 1 編 【水管橋等の概要】

第 1 章	水管橋等の種類と特徴	1
1 節	水管橋等の構造形式	2
2 節	最近の水管橋等の破損事故事例	3
第 2 章	水管橋等の腐食メカニズムと対策	4
1 節	水管橋等の腐食メカニズム	4
2.1.1	損傷の特徴	4
2.1.2	損傷要因	4
2.1.3	評価のポイント	5
2 節	水管橋等の防食機能（塗装）の劣化メカニズム	6
2.2.1	損傷の特徴	6
2.2.2	損傷要因	6
2.2.3	評価のポイント	7
3 節	水管橋等の腐食対策についての整理	8
2.3.1	水管橋等の外面塗装	8
2.3.2	鋼道路橋の塗装基準（参考）	13
第 3 章	水管橋等の弱点や問題点	19
1 節	各形式における特徴と点検のポイント	19
3.1.1	パイプビーム形式	19
3.1.2	補剛形式	22
3.1.3	橋梁添架管	29
2 節	付属設備の特徴と点検のポイント	32
3.2.1	空気弁	32
3.2.2	支 承	33
3.2.3	伸縮可とう管	34
3.2.4	落橋防止装置	36
3 節	過去の設計基準や施工技術に伴う問題点	37
3.3.1	鋼管溶接部の問題点	37
3.3.2	溶接部の内面塗装	38

第2編 【水管橋等の点検を含む維持・修繕】

第4章	点検の実施方法.....	39
1節	適用範囲と基本的な考え方.....	39
2節	点検作業方針の設定.....	41
3節	点検の種類と頻度及び点検項目.....	43
4.3.1	点検の種類と頻度.....	43
4.3.2	点検項目と範囲.....	45
4.3.3	点検の留意点.....	50
4節	点検作業.....	54
4.4.1	調査.....	54
4.4.2	診断方法.....	60
5節	調査に係る新技術.....	69
第5章	修繕方法.....	70
第6章	点検作業及び修繕の記録.....	73

【参考資料】

第7章	事故事例と他の維持管理基準例.....	76
1節	最近の水管橋等の破損事故事例.....	76
7.1.1	水管橋等の被害事例.....	76
7.1.2	水管橋等の被害の要因.....	81
7.1.3	道路橋等の崩落事故事例.....	82
2節	道路橋の維持管理基準（参考）.....	85

謝辞

はじめに（本報告書の目的・位置付け）

本報告書は、水道事業者及び水道用水供給事業者（以下、「水道事業者等」という。）において、水管橋及び橋梁添架管（以下、「水管橋等」という。）の点検を含む維持・修繕を実施する際に、「水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドライン」（以下、「ガイドライン」という。）の記載内容を補足する資料として参照し、それぞれの水道事業者等の実情に応じて、適宜参考とすることで、水管橋等の維持・修繕の充実が図られることを目的として取りまとめたものである。

水道法第 22 条の 2 の規定に基づき、水道事業者等は、厚生労働省令（水道法施行規則）で定める基準に従い、水道施設を良好な状態に保つため、その維持・修繕を行わなければならないこととされている。

また、厚生労働省では、水道法施行規則第 17 条の 2 に水道施設の維持及び修繕の基準を定めるとともに、水道事業者等が点検を含む維持・修繕の内容を定めるに当たっての基本的な考え方を明らかにし、もって適切な資産管理の推進に資することを目的として、ガイドラインを策定している。

一方、令和 3 年 10 月 3 日に発生した六十谷水管橋の破損事故では、水道管を支持する吊材の腐食に伴う破断により水管橋が脆性的に崩落し、約 6 万戸の世帯が約 1 週間断水した。

「厚生労働省では、この事故を契機に、水管橋等の維持・修繕を充実し、事故の再発防止を図ることとし、令和 5 年 3 月に水道施設の維持・修繕の基準となる水道法施行規則第 17 条の 2 を改正し、水管橋等における点検頻度や点検・修繕記録の保存等の基準を追加した（令和 6 年 4 月 1 日より施行）。

加えて、ガイドラインの改訂を行い、水道法施行規則で規定する水管橋等の点検についての考え方を示すとともに、技術的な観点から標準的に実施すべき事項等について、その考え方を要約して記載した。

本報告書は、上記ガイドラインにおける改訂内容のバックデータを取りまとめたものであり、改訂を検討する中で得られた水管橋等の維持管理に係る知見や、効果的に維持管理を行うための手法等について詳細に記載している。

第 1 編では、水管橋等の概要として、水管橋等の種類・特徴や劣化のメカニズム、弱点や問題点を整理している。これらは、水道事業者等の担当者が水管橋等の点検を含む維持・修繕を検討する際の基礎知識として活用されることが期待される。

第 2 編では、水管橋等の点検を含む維持・修繕の考え方や留意点について、ガイドラインに記載した内容をより詳細・具体的に記載しており、ガイドラインを補足する資料となっている。

なお、本報告書は、（公社）日本水道協会により設置された「水道施設の維持・修繕に係わる専門委員会」の意見を踏まえて取りまとめたものである。

第 1 編 【水管橋等の概要】

第1章 水管橋等の種類と特徴

水管橋等の維持・修繕にあたっては、点検行為が非常に重要となるが、その点検にあたっては、水管橋等の種類や特徴などに応じた適切な方法を適用することが要求される。そこで、ここでは、全国的に多い鋼構造の水管橋等を対象として、規模や形式などが異なる水管橋等の構造的特徴や維持管理上の留意点などを整理する。

水管橋等の主要部材には水輸送用塗覆装鋼管や一般構造用炭素鋼鋼管、一般構造用圧延鋼材が使用されている。その多くは、基本的に塗装による腐食対策を行っており、寒冷地では凍結防止のための防凍工が施されている場合もある。設計時には腐食することを前提にしていなかったため、塗装による適切な腐食対策を実施することで幅広く使用されている材料であるが、腐食が生じた場合に肉厚の減少や、その進展により部材強度の低下が生じる。そのため、防食対策として塗装の状況が施設の耐用年数を大きく左右し、塗装の適切な施工と塗装の劣化状況の管理が非常に重要な要素となる。なお、近年は塗装に代えてプラスチック被覆や金属溶射による防食が採用されることもある。水管橋等の点検では、これらの防食対策の特徴や設計上の考え方なども踏まえて、適切な方法や頻度で行う必要がある。

ここで整理する鋼管や鋼材を用いた水管橋以外にも、ステンレス材料などを用いたものがある。これらの材料を用いた水管橋等については、ここでは詳しく説明しないが、一般的な特徴には次のようなものがあり、これらの材料の違いに由来する腐食のメカニズムや進行速度などの違いにも着目し、適切な点検方法を適用する必要がある。

● ステンレス鋼管

- ・鋼管や鋼材に比べて耐食性が高く、維持管理が容易である。
- ・溶接継手により剛性を確保することができ、比較的長いスパンでも用いることができるが、他の材料に比べて価格が高いため小規模な水管橋等で用いられることが多い。

● ダクタイル鋳鉄管

- ・継手性能の制約や鋼管に比べて重いため、最大支間長には限界がある。

● ポリエチレン管

- ・他の管種に比べて軽量である。
- ・腐食は生じないが、水管橋のような露出配管の場合には、紫外線による劣化が生じるため外面を被覆した二重構造管とする必要がある。
- ・管体自体の伸縮性が高いため温度や振動等による変位に対する追従性が高く、比較的短いスパンの小規模な水管橋等に適している。



ダクタイル鋳鉄管の事例

出典：ダクタイル鉄管 ガイドブック (2018 年版)



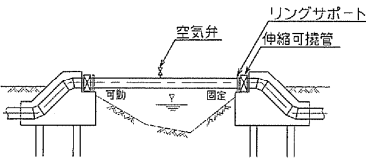
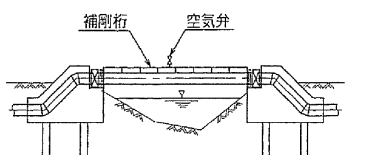
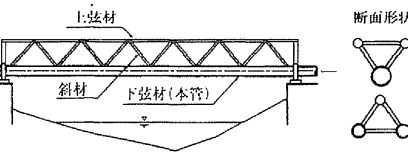
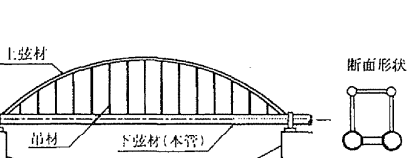
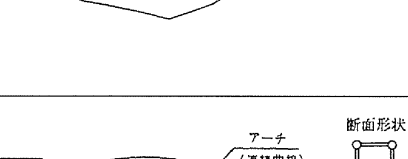

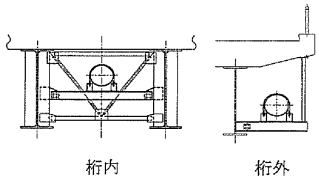
ポリエチレン管の事例

出典：「水道施設の耐震設計入門」(日本水道協会)

1節 水管橋等の構造形式

水管橋等の構造形式とその概要を表 1-1 に示す。表に示すように、水管橋等の構造形式は多種あるが、点検にあたっては、これらの形式の違いについて理解しておくことが基本である。特に、比較的径間長の大きい水管橋には、水道管以外に補剛材が用いられており、構造的に補剛材は重要な材料であることを十分に認識し点検を行わなければならない。

表 1-1 水管橋等の構造形式

形式	構造形式	概説
管橋 パイプ ブーム 水	単純支持形式 	通水管をリングサポートで支持し、両端に伸縮可撓管を設けて角変位を自由とし、一端は軸方向に移動できる形式で最も広く使用されている。 そのほか一端固定一端自由支持形式、連続支持形式がある。
補剛形式 水管橋	フランジ補剛形式 	フランジ補剛形式は、通水管の上または下側に T、 π 型等の補剛桁を直接溶接し、通水管の断面性能の増加を図った補剛形式である。
	トラス補剛形式 	トラス補剛形式は、通水管をトラスの上弦材または下弦材として利用したもので、パイプの持つ特性を有効に利用した形式。 トラスの形状によって逆三角トラス形式、正三角トラス形式、四弦トラス形式がある。
	ランガー補剛形式およびローゼ補剛形式 	通水管を補剛アーチ橋の補剛桁に利用し、アーチ形に弦材の格点から鉛直吊材により通水管を吊った形式。 ランガー補剛形式は、アーチの曲げ剛性を無視しうる範囲のものをいい、アーチリブは軸方向圧縮力のみ、補剛桁（通水管）は曲げ剛性を考慮して設計される。 ローゼ補剛形式は補剛桁（通水管）およびアーチの両方に曲げ剛性を考慮して設計される。
	ニールセンローゼ補剛形式 	通水管を補剛アーチ橋の補剛桁に利用し、アーチ形に弦材の格点から斜め直吊材により通水管を吊った形式。 補剛桁（通水管）およびアーチの両方に曲げ剛性を考慮して設計される。
	斜張橋形式 	斜張橋形式は、トラス等で補剛された通水管を主桁に利用し、2径間または3径間の連続した主桁の中間橋脚に塔から斜めに張ったケーブルにより主桁を支持した形式である。主桁の形式はトラス補剛形式が最も良く用いられる。
添架水管橋		道路橋の構造、荷重等の条件を考慮し、添架が可能な場合に用いられる簡易で経済的な形式である。橋の構造により橋桁内または桁外に支持梁を設置し管を添架する方法が一般的に採られる。

出典：日本水道鋼管協会「水道用鋼管」平成 28 年 12 月 15 日改正

2節 最近の水管橋等の破損事故事例

水道事業者等が管理する水管橋等は全国に数多くあるが、近年、水管橋等の大規模な破損事故が続けて発生している。これらの破損事故事例は、補剛形式の水管橋等で確認されており、老朽化による構造部材の腐食や、老朽化に加えて地震の影響を受けたことが原因となっている。

近年発生した水管橋等の代表的な破損事故事例について表 1-2 に示す。

これらの事例では、崩落したものがあり、広域的な断水が長期に及ぶなど、地域の水供給において甚大な影響を与えており、インフラ施設の老朽化問題として、社会的にも注目される破損事故となっている。

表 1-2 過去の水管橋等の破損事故事例の整理

施設名	構造形式	場所	竣工年	発生時期	状況	発生原因
養老川水管橋	トラス補剛形式	千葉県	昭和 55 年	令和 3 年 10 月	漏水	経年劣化 地震等
美咲市導水管水管橋	逆三角トラス補剛形式	美咲市	昭和 51 年	令和 3 年 2 月	崩落 (落橋)	経年劣化 積雪荷重等
六十谷水管橋	ランガー補剛形式	和歌山市	昭和 49 年	令和 3 年 10 月	崩落 (落橋)	経年劣化

令和 3 年 10 月 3 日に発生した六十谷水管橋（和歌山市）の破損事故を受けて、厚生労働省では、全国の水管橋を対象として、一斉に緊急点検を行った。その結果、多くの水管橋において、補剛材の点検は実施していないなどの課題があることが明らかとなった。また、六十谷水管橋の崩落の原因については、その後の調査により、構造的に非常に重要な補剛材の著しい腐食が崩壊を招いたことが明らかとなり、水管橋等の適切な点検について、改めてその重要性が認識された。

これを受けて、本報告書では、同様の被害を未然に確実に防止することを目的とし、水道管だけでなく安全性に大きく影響する構造部材を含めて水管橋等の維持管理を適切に行うための見直しを行うこととなった。

なお、表 1-2 に示したこれらの水管橋等の被害事例については、水管橋等の維持管理にも参考となる鋼道路橋の事例と併せて、第 7 章にてその概要を示すこととした。

これらの他にも「水道維持管理指針 2016」（日本水道協会）において、平成 23 年 9 月に島根県で発生した橋梁添架管の支持金物の腐食による落下事故についての記載があり、水管橋等の破損事故を防止する上では、特に構造系を支持する重要部材の変状に注意する必要がある。

第2章 水管橋等の腐食メカニズムと対策

水管橋等の点検にあたっては、科学的根拠のある点検方法を適用するのが合理的であり、そのためには、まず、対象とする水管橋等において、どのような腐食がどのような部位で生じ、それにより水管橋等にどのような影響を与えるかを把握する、そして、確認された腐食の特徴に応じて効果的な対策を実施することが基本である。このようなことから、ここでは鋼構造の水管橋等を対象として鋼部材や防食機能の腐食・劣化のメカニズムとその対策方法について整理する。

1節 水管橋等の腐食メカニズム

2.1.1 損傷の特徴

腐食は鋼構造物の代表的な損傷である。鋼材の主な腐食形態と腐食メカニズムについて、表 2-1 に示す。

水管橋等の点検にあたっては、表 2-1 に示すような様々な腐食の種類や形態、及びメカニズムなどを、水管橋等の環境条件や構造などから検討した上で、適切な点検方法を適用することが基本である。

なお、一般に使用される鋼部材は曝露環境で腐食する材料であるため、鋼部材には防食塗装などにより腐食を防止することが標準とされているが、過去の鋼橋や水管橋等の被害は、防食機能の劣化により鋼材が著しく腐食したことが起点となった事例が多いため、腐食は、最も注意すべき損傷として取り扱う必要がある。

表 2-1 鋼材の主な腐食形態と腐食メカニズム

大分類	小分類	腐食形態	腐食メカニズム	腐食条件
腐食 (湿食)	全面腐食	均一腐食	腐食要因が全面的に作用し、鋼材表面が均一に侵食されるもの。	環境
	局部腐食	孔食	腐食要因が部分的に作用し、鋼材表面が局部的に点、または孔状に深く侵食されるもの。	環境
		隙間腐食	鋼材間の接合部や付着物（スケール・腐食生成物・異物等）との隙間に水分等が停滞し、腐食が孔食状に進行するもの。	環境
		異種金属間腐食	異なる種類の金属が電解溶液中に電氣的に接触している場合、その電位差により腐食が進行するもの。電極電位の低い金属(卑な金属)が腐食される。	環境・材料
		応力腐食割れ	鋼材が腐食性環境下で引張力を受けて割れ(亀裂)を生じ、さらに継続した引張力の作用により腐食と割れが進行して鋼材に大きな強度低下を生じさせる。	環境・応力・材料
		腐食疲労	鋼材が腐食性環境下で繰返し応力を受けて発生する。腐食作用と繰返し応力を同時に受けることで、繰返し応力のみ比べて鋼材に大きな強度低下が発生する。	

出典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（資料編）」（令和4年11月、和歌山市）

2.1.2 損傷要因

さまざまな自然環境（立地環境）や用途、供用条件などにより水管橋等の腐食性環境（腐食要因）や腐食発生部位が異なる。水管橋等の代表的な腐食要因とその特徴を表 2-2 に示す。水管橋等の合理的な点検を行うにあたっては、表 2-2 に示すような様々な腐食要因を水管橋等の環境条件や構造条件から検討し、適切な点検方法を適用することが基本である。

なお、表 2-2 に示す一般的な環境条件における代表的な鋼材腐食要因は、漏水・滞水、結露や湿気などの水分の影響によるものが最も多く、その他に飛来塩分や土砂・塵埃の堆積によるもの

がある。また、風や振動などの外的要因による疲労により、過去の被害事例のように腐食が急激に進むおそれがあることなどに留意し点検することも重要である。

表 2-2 水管橋等の代表的な腐食要因と特徴

腐食要因	特徴
漏水・滞水	直接雨掛かりがあることや、配水管からの漏水(染出し・結露等を含む)により水分の影響で腐食(湿食)が生じる可能性がある。
海塩粒子の飛来	比較的海に近い場所に設置された水管橋では、強風時に海塩粒子の飛来により、塩化物イオンによる塗膜劣化や鋼材腐食が促進される可能性がある。
塵埃、土砂堆積等	道路橋に添架された水管橋等や河川敷に設置された水管橋等では、車の通行や強風等より路面や地面の塵埃が巻き上げられ、鋼材に飛来する場合がある。また、鋼材表面に塵埃がある程度堆積すると、降雨時の含水状態が他の箇所よりも長く続き、腐食が進む可能性がある。また、鳥の糞にはアンモニアや酸の成分が含まれており、大量かつ長期間堆積すると塗膜劣化や鋼材腐食が生じることがある。車に付着した鳥糞が塗装を侵食し、腐食するのもこれにあたる。
道路橋ジョイント部の排水不良	橋梁添架管の場合、道路橋ジョイント部等からの排水不良により腐食が進む場合がある。特に冬期に散布される融雪剤による影響は大きく、著しく腐食が進むおそれがある。
外的作用による繰返し応力	カルマン渦による風琴振動や交通振動などの外的作用によって局所的な腐食が進展する場合がある。

出典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（資料編）」（令和 4 年 11 月、和歌山市）を参考に加筆

2.1.3 評価のポイント

これらの鋼部材の腐食に関する点検にあたっての評価のポイントを下記に示す。

下記に示すように、鋼部材の腐食によって部材の板厚減少が生じ、部材耐荷力が低下することで水管橋等の安全性が低下するため、維持管理においては腐食の発生状況の把握やその評価を行うことが重要である。

【評価のポイント（腐食）】

- 局所的な腐食であっても、腐食が発生している部材や部位によって構造系のバランスが崩れ、落橋に至る可能性があるため、構造部材の腐食には注意が必要である。
- 特に、常に引張荷重が作用する吊材などの引張材では、局所的な腐食箇所が弱点となり、急激に耐荷力が低下して破断に至る場合があるため、これらの腐食を見逃さないことが重要となる。
- 防食機能の劣化が進行すると腐食が発生し、そのまま放置すると腐食が進行するため、腐食を防止するためには防食機能を健全に維持することが重要である。

- ・ 腐食は、発生している部位・部材で適切に評価する。
- ・ 構造部材（特に引張材）では、局所的な腐食であっても注意が必要

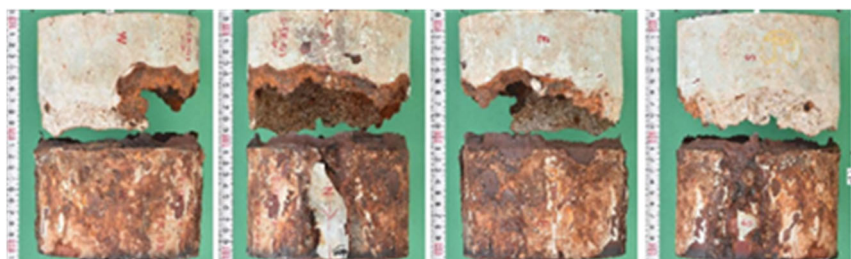


図 2-1 落橋した水管橋の引張材（吊材）が腐食により破断した事例

出典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（本編）」（令和 4 年 11 月、和歌山市）より抜粋

腐食は、立地環境などによって進行度合いが大きく変わるため、施設ごとにそれらの要因を勘案した点検サイクルとすることが望ましい。また、塗装の防食機能を健全に維持することで腐食が防止できるため、防食の状態を適切に評価、維持することが維持管理の重要なポイントとなる。

2 節 水管橋等の防食機能（塗装）の劣化メカニズム

2.2.1 損傷の特徴

防食塗装の劣化は、それ自体では水管橋等の性能に直接影響する原因ではなく、劣化により鋼材腐食を発生させる間接的な原因である。しかしながら、鋼部材は腐食しやすい材料であり、過去の水管橋等の被害では腐食による部材の破断により落橋に至った事例が多いことから、維持管理の第一段階として、防食機能を維持することが非常に重要である。そのため、点検にあたっては、防食機能の評価が非常に重要である。

なお、塗装材料自体も曝露環境下で経年劣化しやすい材料であるが、下塗り、中塗り、上塗りなど複層で構成されているため、表層部分が劣化しても直ちに防食機能が低下することはない。したがって、維持管理ではこれらの表層部分の劣化に着目して点検を行い評価することが重要である。

2.2.2 損傷要因

防食機能の低下の要因には次のようなものが考えられる。より合理的な点検を行うにあたっては、各水管橋の特徴や周辺環境条件を踏まえ、これらの要因の可能性や程度などを評価したうえで、最適な点検方法を適用することが望ましい。

- 経年劣化（紫外線、気象、温度・湿度等）
- 耐用年数の超過
- 施工品質（塗り重ね、下地撤去の有無、凹凸部や狭隘箇所の膜厚不足等）
- 振動や外力の作用
- 塩化物イオンや酸等などの外部環境による化学劣化

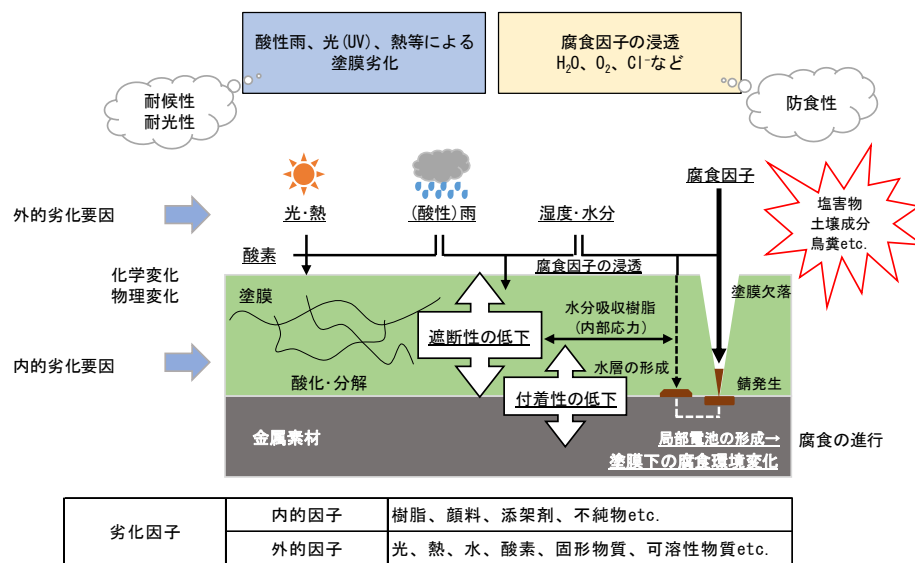


図 2-2 塗膜の主な劣化要因

出典：「大気環境における鋼構造物の防食性能回復の課題と対策」より再作図

2.2.3 評価のポイント

これらの防食機能の劣化に関する点検にあたっての評価のポイントを下記に示す。

下記に示すように、防食機能の低下によって鋼部材が腐食し、水管橋等の安全性を低下させることになるため、維持管理においてはその状態を把握し、腐食の発生に着目した評価を行う必要がある。

塗装の劣化状況の評価するには、「露出鋼管（水管橋等）～外面塗装劣化診断評価の手引き～」（平成 25 年 3 月、（公社）日本水道協会、WSP 日本水道鋼管協会）が参考になる。なお、この手引きには水管橋等の構造部材の劣化診断の評価についても示しているが、これについては第 4 章に示す点検の実施方法の手順によるものとする。

【評価のポイント（防食機能の劣化）】

- 防食塗装の劣化状態は、鋼材腐食に対する視点から評価する必要がある。
- 塗装の耐用年数は、塗装材料や立地環境などを考慮して適切に定めることが重要である。
- 下塗り材が残存している場合、その時点では鋼材腐食への影響は小さいが、塗膜厚の減少により防食機能が低下している状態であるため適切に維持管理を行う必要がある。
- 狭隘な部分や部材接合部の凹凸部などでは、施工品質が良好でないことが想定されるため注意が必要である。

- ・ 塗装の劣化状態は、鋼材腐食の視点により適切に評価する。
- ・ 膜厚が均一でない可能性がある部位や部材（狭隘箇所、凹凸部等）では防食機能が低下しやすくなることに注意する。
- ・ 鋼材に腐食が見られる場合には、塗装の性能限界に達しているものと評価し、必要に応じた対策の実施を検討する。

3節 水管橋等の腐食対策についての整理

水管橋等の点検方法を検討する上で、腐食対策の考え方を踏まえることが非常に重要となる。そこで、ここでは、設計での腐食の考え方、塗装の種類と特徴及び耐用年数、塗装施工時の留意点（課題）などを整理する。水管橋等の鋼部材には腐食による機能低下を防ぐため防錆防食を施さなくてはならない。また、防錆防食の点検および補修等の維持管理を確実に行う必要がある。水管橋等の外面防食については、「WSP009 水管橋外面防食基準」（日本水道鋼管協会）の規定による。また、防食機能の低下については、「露出鋼管（水管橋等）～外面塗装劣化診断評価の手引き～」（平成25年3月、（公社）日本水道協会、WSP 日本水道鋼管協会）がある。現地溶接部塗装の施工環境において、立地条件から風による塗料の飛散や砂塵の飛来については、塗装箇所を囲うなどの処置が必要である。

2.3.1 水管橋等の外面塗装

「WSP009 水管橋外面防食基準」（日本水道鋼管協会）による水管橋等の外面塗装の仕様と耐用年数等について以下に示す。

1. 5 期待耐用年数

水管橋外面防食の期待耐用年数は、防食仕様と設置環境により決定される。

[解説]

1) 塗装

塗装の期待耐用年数は、設置された環境条件によって異なる。本協会では、塗装を水管橋に試験施工するとともに、実水管橋の追跡調査を行ってきた結果から、塗装の美観を考慮した期待耐用年数を**解説表 1-1**のように設定した。

解説表 1-1 美観を考慮した期待耐用年数

仕様	田園地帯	市街地	工業地帯	海岸地帯
L-2	8～10	8～10	8～10	6～8
L-2A	10～12	10～12	10～12	8～10
S-1	15以上	15以上	15以上	12以上

一方、防食性を考慮した期待耐用年数は、水管橋の試験施工や実水管橋の追跡調査では長期間を要するため、塗膜の消耗理論から**解説表 1-2**のように求めた。なお、水管橋は内面に通水されるため長期結露や乾湿交番などが起こり易いことから、鋼橋の場合より厳しく設定した。

解説表 1-2 防食性を考慮した期待耐用年数

仕様	田園地帯	市街地	工業地帯	海岸地帯
L-2	3.2	2.6	2.6	2.1
L-2A	3.8	3.2	3.2	2.5
S-1	4.6	3.9	3.9	3.1

塗装仕様は、表 2-1～表 2-2 による。

表 2-1 塗装仕様（工場塗装）

塗装仕様	塗料名	塗装回数	標準 使用量 g/m ² /回	塗装 方法	目標膜厚 (μm)	塗装間隔 (20℃)
L-2	変性エポキシ樹脂塗料下塗又は 変性ウレタン樹脂塗料下塗 (JIS K 5551 C種)	2	520	スプレー	240	1日～ 10日
	ポリウレタン樹脂塗料用中塗 (JIS K 5659)	1	180	スプレー	30	1日～ 10日
	ポリウレタン樹脂塗料上塗 (JIS K 5659 3級以上)	1	150	スプレー	25	
L-2A	変性エポキシ樹脂塗料下塗又は 変性ウレタン樹脂塗料下塗 (JIS K 5551 C種)	2	520	スプレー	240	1日～ 10日
	シリコン変性アクリル樹脂塗料用中 塗 (JIS K 5659)	1	180	スプレー	30	1日～ 10日
	シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗 (JIS K 5659 2級以上)	1	150	スプレー	25	
S-1	厚膜形無機ジンクリッチペイント (JIS K 5553 1種)	1	650	スプレー	75	2日～ 10日
	エポキシ樹脂塗料下塗 (ミストコート) (JIS K 5551 B種)	1	170	スプレー	—	1日～ 10日
	エポキシ樹脂塗料下塗 (JIS K 5551 B種)	1	300	スプレー	60	1日～ 10日
	エポキシ樹脂塗料下塗 (JIS K 5551 B種)	1	300	スプレー	60	1日～ 10日
	ふっ素樹脂塗料用中塗 (JIS K 5659)	1	180	スプレー	30	10日
	ふっ素樹脂塗料上塗 (JIS K 5659 1級)	1	150	スプレー	25	1日～ 10日

表 2-2 塗装仕様（現場溶接部）

塗装仕様	塗料名	塗装回数	標準使用量 g/m ² /回	塗装方法	目標膜厚 (μm)	塗装間隔 (20℃)
L-2F	変性エポキシ樹脂塗料下塗又は 変性ウレタン樹脂塗料下塗 (JIS K 5551 C種)	4	220	はけ ローラ	240	1日～ 10日
	ポリウレタン樹脂塗料用中塗 (JIS K 5659)	1	160	はけ ローラ	30	
	ポリウレタン樹脂塗料上塗 (JIS K 5659 3級以上)	1	130	はけ ローラ	25	1日～ 10日
L-2AF	変性エポキシ樹脂塗料下塗又は 変性ウレタン樹脂塗料下塗 (JIS K 5551 C種)	4	220	はけ ローラ	240	1日～ 10日
	シリコン変性アクリル樹脂塗料用中塗 (JIS K 5659)	1	160	はけ ローラ	30	
	シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗 (JIS K 5659 2級以上)	1	130	はけ ローラ	25	1日～ 10日
S-1F	変性エポキシ樹脂塗料下塗又は 変性ウレタン樹脂塗料下塗 (JIS K 5551 C種)	5	220	はけ ローラ	300	1日～ 10日
	ふっ素樹脂塗料用中塗 (JIS K 5659)	1	160	はけ ローラ	30	
	ふっ素樹脂塗料上塗 (JIS K 5659 1級)	1	130	はけ ローラ	25	1日～ 10日

(参 考)

<防食性を考慮した期待耐用年数の計算条件>

- ・エポキシ樹脂塗料下塗の消耗速度 $10 \mu\text{m}/\text{年}$ (中塗はエポキシ樹脂塗料と同じ)
- ・ポリウレタン樹脂塗料上塗の消耗速度 $2 \mu\text{m}/\text{年}$
- ・シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗の消耗速度 $1.2 \mu\text{m}/\text{年}$
- ・ふっ素樹脂塗料上塗の消耗速度 $0.66 \mu\text{m}/\text{年}$ (ポリウレタン樹脂塗料上塗の約 1/3)
- ・厚膜形ジンクリッチペイントの海上暴露防錆性 5年
- ・塗装膜厚に対する安全係数 0.9
- ・膜厚の消耗に対する安全係数 0.6 (鋼橋より小さい値に設定)
- ・市街地・工業地帯の耐用年数： 海岸地帯の 1.25 倍
- ・田園地帯の耐用年数： 海岸地帯の 1.5 倍

<S-1仕様の防食性能を考慮した期待耐用年数の計算例>

厚膜形無機ジンクリッチペイント	$75 \mu\text{m}$	5年
エポキシ樹脂塗料(下塗り)	$60 \mu\text{m}$	} $150 \mu\text{m} \div 10 \mu\text{m}/\text{年} = 15 \text{年}$
エポキシ樹脂塗料(下塗り)	$60 \mu\text{m}$	
ふっ素樹脂塗料用中塗塗料	$30 \mu\text{m}$	
ふっ素樹脂塗料上塗	$25 \mu\text{m}$	$25 \mu\text{m} \div 0.66 \mu\text{m}/\text{年} = 37.8 \text{年}$

海岸地帯 (37.8+15+5)年×0.9(塗装膜厚に対する安全係数)

×0.6(膜厚の消耗に対する安全係数)=31.2年

市街地・工業地帯 31.2年×1.25=39.0年 (海岸地帯の 1.25 倍)

田園地帯 31.2年×1.5=46.8年 (海岸地帯の 1.5 倍)

資料8 水管橋外面塗替え仕様例

塗装仕様	塗料名	塗装回数	標準使用量 g/m ² /回	塗装方法	目標膜厚 (μm)	塗装間隔(20℃)
N-2	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 又は変性ウレタン樹脂塗料下塗 (JIS K 5551 C種)	4	240	はけ ローラ	240	1日～ 10日
	弱溶剤形ポリウレタン樹脂塗料用中塗 (JIS K 5659)	1	160	はけ ローラ	30	
	弱溶剤形ポリウレタン樹脂塗料上塗 (JIS K 5659 3級以上)	1	130	はけ ローラ	25	1日～ 10日
N-3	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 又は変性ウレタン樹脂塗料下塗 (JIS K 5551 C種)	4	240	はけ ローラ	240	1日～ 10日
	弱溶剤形シリコン変性アクリル樹脂塗料用中塗 (JIS K 5659)	1	160	はけ ローラ	30	
	弱溶剤形シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗 (JIS K 5659 2級以上)	1	130	はけ ローラ	25	1日～ 10日
N-4	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 又は変性ウレタン樹脂塗料下塗 (JIS K 5551 C種)	4	240	はけ ローラ	240	1日～ 10日
	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 (JIS K 5659)	1	160	はけ ローラ	30	
	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗 (JIS K 5659 1級)	1	130	はけ ローラ	25	1日～ 10日

出典：「WSP009 水管橋外面防食基準」(日本水道鋼管協会)

2.3.2 鋼道路橋の塗装基準（参考）

鋼製橋梁の防食塗装に対する考え方や基準については、現状では水管橋等に比べて道路橋が先行しており、鋼道路橋では、新設橋の防食塗装や既設橋の塗替え時に高耐久性の重防食塗装系を採用し、老朽化対策とライフサイクルコストの軽減を行う流れとなっている。水管橋等の場合でも、各水道事業者等の判断により塩害地域や腐食性環境でふっ素系樹脂塗装などの高耐久性の塗装が行われる場合もあるが、下地処理が適切に行われずに耐用年数を待たずに再劣化が生じている事例も多く、下地処理を含めた防食塗装の基準については鋼道路橋の基準が参考になることが多い。

鋼道路橋の塗装基準には、「鋼道路橋防食便覧」（平成 26 年 3 月、日本道路協会）や「鋼道路橋塗装・防食便覧資料集」（平成 22 年 9 月、日本道路協会）などがある。

一般的に防食の施工品質が所要の品質を満たしていなかった場合には、橋の置かれた環境にもよるが、1～3年程度で著しい変状が現れ始めることが多く、漏水や滞水等の初期欠陥による防食の劣化はそれ以上に早く生じ始めることが多いため、初期点検はなるべく早い時期に行うのが良いとされている。ここでは、鋼道路橋の塗装基準や考え方についての概要を示す。

（1）塗装の種類

鋼道路橋の防食塗装は、表 2-3 に示すように「一般塗装系」と「重防食塗装系」に区分されている。

表 2-3 道路橋の塗装仕様例

□ 新設橋の一般外面用塗装仕様〔一般塗装系〕

塗装系	塗装工程	塗料名・素地調整程度	標準使用量	目標膜厚	塗装間隔
製造工場	素地調整	素地調整程度1種 プラスト処理 ISO Sa2 1/2	—	—	4時間以内
	プライマー	長ばく形エッチングプライマー	130 g/m ²	15 μm	3ヶ月以内
橋梁製作工場	2次素地調整	動力工具処理 ISO St3	—	—	4時間以内
	下塗	鉛・クロムフリーさび止めペイント(鉛系さび止めペイント)	170 g/m ²	35 μm	1日～10日
	下塗	鉛・クロムフリーさび止めペイント(鉛系さび止めペイント)	170 g/m ²	35 μm	～6カ月
現場	中塗	長油性フタル酸樹脂塗料中塗	120 g/m ²	30 μm	2日～10日
	上塗	長油性フタル酸樹脂塗料上塗	110 g/m ²	25 μm	

□ 新設橋の一般外面用塗装仕様〔重防食塗装系〕

塗装系	塗装工程	塗料名・素地調整程度	標準使用量	目標膜厚	塗装間隔
製造工場	素地調整	プラスト処理 素地調整程度 ISO Sa2 1/2	—	—	4時間以内
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	160 g/m ²	15 μm	6ヶ月以内
橋梁製作工場	2次素地調整	プラスト処理 素地調整程度 ISO Sa2 1/2	—	—	4時間以内
	防食下地	無機ジンクリッチペイント	600 g/m ²	75 μm	2日～10日
	ミスコート	エポキシ樹脂塗料下塗	160 g/m ²	—	1日～10日
	下塗	エポキシ樹脂塗料下塗	540 g/m ²	120 μm	1日～10日
	中塗	ふっ素樹脂塗料下塗	170 g/m ²	30 μm	1日～10日
上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	140 g/m ²	25 μm	1日～10日	

出典：「鋼道路橋の防食性向上のための技術的課題」、鋼構造物塗膜処理等研究会 HP 公開資料より転記

（2）鋼道路橋塗装の耐久性向上の流れ

現在の鋼道路橋の防食塗装は、大部分は「一般塗装系」を適用しているが、鋼道路橋の老朽化対策・長寿命化に欠かすことのできない耐食性向上を図るためには、塗替え時に一般塗装系塗膜を「重防食塗装系」に変更することが必要である。また、一般塗装系塗膜を重防食塗装へ変更するためには、旧塗膜を完全に撤去する必要がある（有機ジンクリッチペイントは鋼材面に塗付けが必要）。ライフサイクルコストの低減のため、鋼橋の塗替え塗装に対して以下の方向性が示され

ている。ただし、ブラスト工法は研削材や塗膜のケレンダストの飛散が伴うので飛散防止ネットや板張り防護などによる養生を行う必要がある。旧塗膜に鉛化合物、六価クロム化合物及び PCB 等の有機物質を含む場合には除去方法に注意する必要がある。塗替え塗装が過去数回にわたって実施され、過剰な塗膜となっている場合や、MIO 塗膜が介在している旧塗装の場合は、素地調整の施工計画に大きく影響することがある。

- ▶ 一般塗装系から重防食塗装系へ塗替えを行う。
- ▶ 素地調整程度 1 種で旧塗膜をすべて撤去する。
- ▶ 防食下地として無機または有機ジンクリッチペイントを用いる。
- ▶ 塗膜の品質向上のためスプレー塗装を原則とする。

一般塗装系の塗替えには、「全面塗替え塗装」と「部分塗替え塗装」があり、鋼道路橋の経年劣化の範囲等や状況により選定する。



〔全面塗替え塗装〕

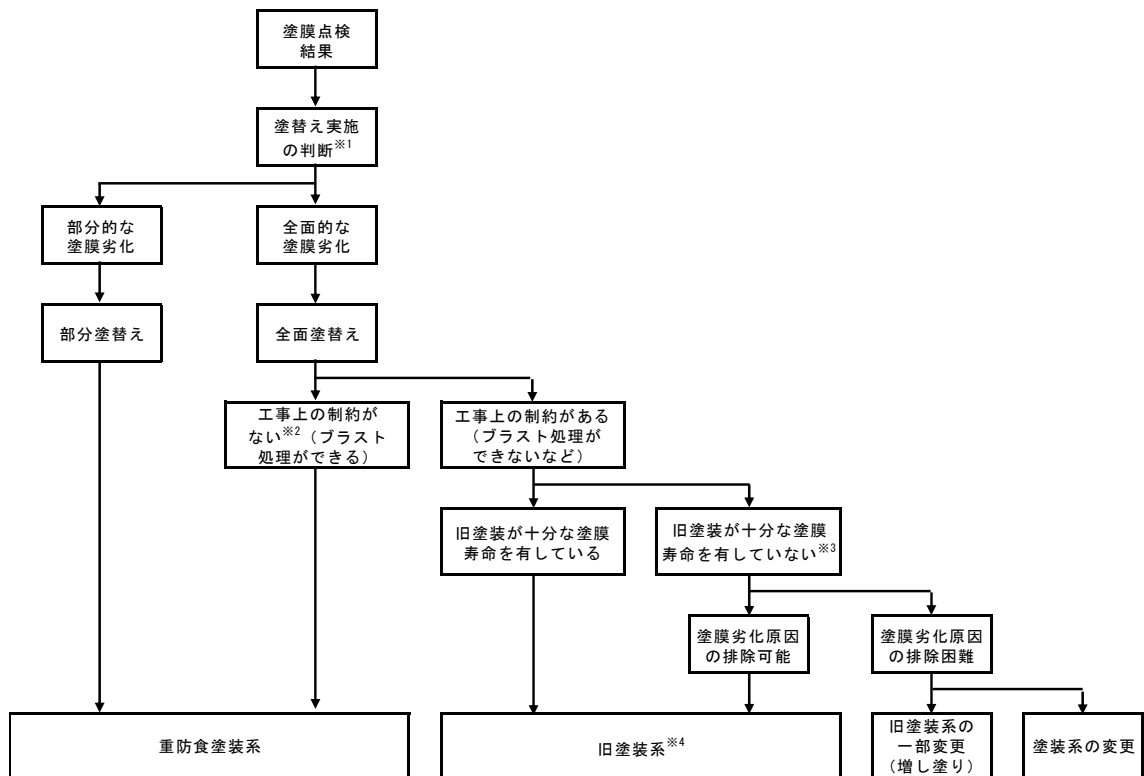


〔部分塗替え塗装〕

出 典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（資料編）」（令和 4 年 11 月、和歌山市）より抜粋

引用元：第 23 回鋼構造基礎講座「鋼橋の維持管理-橋梁維持管理の現状と基礎技術-」既設橋における防食技術と
施工留意点（2012 年 12 月 11 日）（一社）日本橋梁建設協会 製作小委員会 防食部会資料より抜粋・要約

次に、塗替え塗装の選定手順を図 2-3 に、厳しい腐食環境における塗装更新のライフサイクルコストの概念図を図 2-4 に示す。



- ※1：狭あい部や部材角部などで部分的に劣化が進行している箇所については適宜補修を行いつつ、全体としては上塗り、中塗りの消耗を目安にして、防食下地が健全な段階で早期に塗替えを行うのが、重防食塗装系塗膜の維持管理の基本である。
 なお、局部的に塗膜の損傷やさびが発生した場合には、図・II.4.1 を参考に補修を行うとよい。
- ※2：旧塗膜の A、a 塗装系が十分な塗膜寿命を有しており、適切な塗膜の維持管理体制がある場合や、橋の残存寿命が 20 年程度の場合には、工事上の制約の有無にかかわらず素地調整程度 3 種での塗替え塗装を適用しても良い。
- ※3：旧塗装膜が B、b 塗装系である場合には、素地調査程度 2 種で旧塗膜を全面除去して塗替えを行う。
- ※4：ここでいう「旧塗装系」とは、直近の塗替え塗装において採用された塗装系である。

図 2-3 塗替え塗装系選定手順

出典：「鋼道路橋防食便覧」（平成 26 年 3 月、日本道路協会）

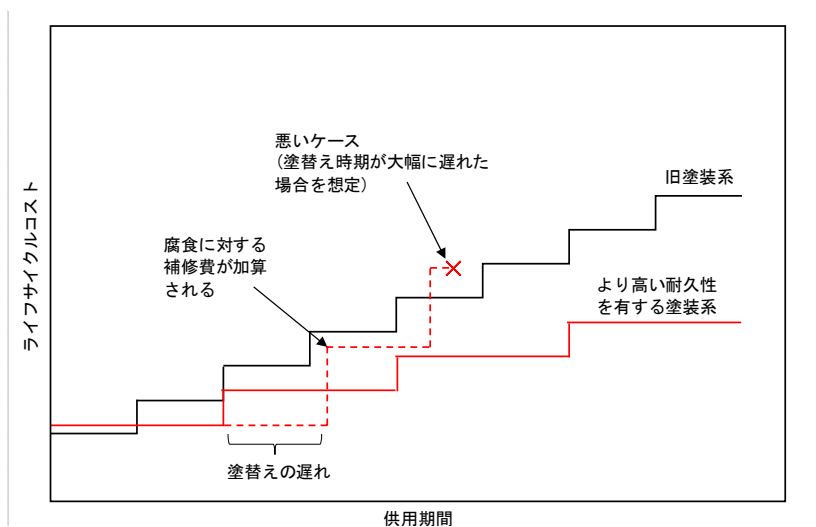


図 2-4 厳しい腐食環境における塗替えの遅れの影響（ライフサイクルコストの概念図）

出典：「鋼道路橋塗装・防食便覧資料集」（平成 22 年 9 月、日本道路協会）

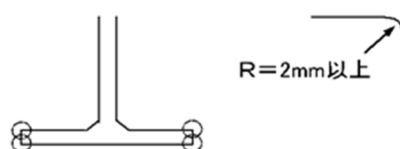
(3) 防食塗装の施工上の留意点

防食塗装の効果を長く維持するためには、施工段階において品質を確保するためにいくつか注意すべき留意点がある。基本的には所定の塗膜厚を確保することと、下地処理を適切に行い塗膜と鋼材、または下地塗膜との付着が良好となるよう施工を行うこと等が挙げられる。

防食塗装の施工上の留意点を以下に示す。

【道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編（平成 29 年 3 月）】

- ・塗装の施工にあたっては、遮断性能と密着性を確保する（素地調整、下層塗膜の乾燥状態等の品質）。
- ・組立てた後に自由縁となる部材の部材角は被膜が薄くなりやすいため、主要部材に関わらず自由縁の面取り（半径 2mm 以上の局面仕上げ）を行うことが望ましい。



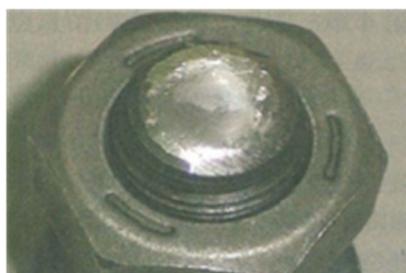
(部材角の曲面仕上げの例)

出典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（資料編）」（令和 4 年 11 月、和歌山市）
引用元：「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編」、平成 29 年 3 月、p.598～599）より抜粋
図は「鋼道路橋の部分塗替え塗装要領（案）」付属資料、p.資-10 より抜粋

【道路橋の部分塗替え塗装に関する研究—鋼道路橋の部分塗替え塗装要領(案)—】

【素地調整】

- ・素地調整は塗装の耐久性を左右する大きな要因であるため、鋼材面や塗装面を問わず、被塗面のさび、劣化被膜、汚れ、粉化物、水等を除去し、適度に粗にする素地調整の作業を確実に行う。
- ・素地調整はブラスト法によって「素地調整程度 1 種」、「除せい度 Sa2 1/2」程度に仕上げることが原則とする。
 - ※ Sa2 1/2：拡大鏡なしで表面には目に見えるミルスケール、さび、塗膜、異物、油、グリース及び泥土がない。残存するすべての汚れは、そのこん跡が（斑）点又はすじ状のわずかな染みだけとなって認められる程度である。（JIS Z 0313：2004）
- ・素地調整を行う場合にさびや劣化塗膜が残存しやすい高力ボルト接合部、部材凸部の影の部分、隅角部等では、機械工具を併用するなどにより確実に仕上げを行う。
- ・塗装作業前に素地調整が適切に行われていることを、「除せい度」のほか「鋼道路橋塗装便覧」（日本道路協会）、国際標準規格（ISO 8501-1）等の写真を参考に確認する。



(高力ボルトの仕上げの例)

出典：「鋼道路橋塗装・防食便覧」(平成 17 年 12 月)

【塗替え塗装】

- ・塗替え塗装はスプレーにより塗布することを基本とする。これにより難しい場合は事前に適切な施工が行えることを確認した上ではけ塗りやローラー塗りによる施工も行うことができる。
- ・塗装劣化箇所が点在する場合、タッチアップ塗装は品質上好ましくないため一定の範囲をまとめて塗替えるのが望ましい（桁端部など風通しが悪い部分は良好な環境である範囲を含めて塗替える）。
- ・部分塗替え塗装では、塗膜の付着性に配慮し、弱点となる新旧塗膜の境界部に塗り重ね部を設けて良好な品質が確保されるよう処理を行う（適切な塗料の組み合わせが重要）。

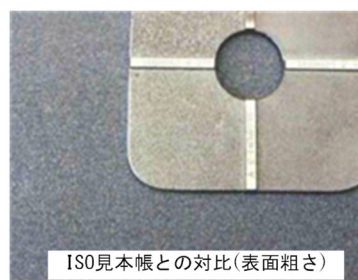
出典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（資料編）」(令和 4 年 11 月、和歌山市)

引用元：「道路橋の部分塗替え塗装に関する研究－鋼道路橋の部分塗替え塗装要領(案)－：国土技術製作総合研究所資料 No.684 (2012 年 4 月)」(p.資-7~14) より抜粋・要約
写真は「鋼道路橋塗装・防食便覧」(平成 17 年 12 月) より抜粋

【鋼橋の維持管理－橋梁維持管理の現状と基礎技術－・既設橋における防食技術と施工留意点】

【素地調整】

- ・ブラスト処理は 1 種ケレン、除せいで度は ISO Sa2~Sa2 1/2 で管理（ISO 8501 見本帳と対比）する。
- ・ブラストされた鋼材表面は、「戻りさび」が生じやすいため、施工時の気象条件（相対湿度 85% 以下）や施工条件（1 層目塗装はケレン後 4 時間以内、適切な日施工量の設定等）の管理を行う。
- ・表面粗さは 80 μ mRzjis 以下で管理する（ISO8503 見本板との対比、触診式表面粗さ計等での測定）。



(素地調整と品質管理の例)

【塗替え塗装】

- ・ 塗装施工時の適正温度範囲は、塗料の種類に応じて適切な管理を行う。
- ・ 結露防止のため、相対湿度 85%以上では施工を行わない。
- ・ 露点管理を行う場合、露点計にて露点温度（気温と湿度から計算される）を計測し、塗装面（鋼材面）の表面温度との差が 3℃以上で管理される。
- ・ 被塗装面に塩分が付着していると塗膜の付着を阻害するため、海塩ミストや凍結防止剤の影響を受ける場合は付着塩分の管理が必要となる（管理値は 50mg/m² 以下、それ以上の場合には水洗いを行う）。

出典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（資料編）」（令和 4 年 11 月、和歌山市）

引用元：「第 23 回鋼構造基礎講座「鋼橋の維持管理－橋梁維持管理の現状と基礎技術－」既設橋における防食技術と施工留意点（2012 年 12 月 11 日）」（p.34～38）：土木学会鋼構造委員会鋼構造継続教育推進小委員会より抜粋・要約

第3章 水管橋等の弱点や問題点

1節 各形式における特徴と点検のポイント

水管橋等には、第1章の表1-1に示した多種の構造形式があり、それらの構造的な特徴を正しく理解し、構造上重要な部材や腐食などの劣化が進みやすい弱点部など、点検におけるポイントを整理し点検作業を実践することが施設を健全に維持する上で非常に重要となる。

ここでは、水管橋等の型式ごとに構造的な特徴を整理し、代表的な構造形式の水管橋等で実際に起こったトラブル事例や点検におけるチェックポイントを整理する。また、これらのチェックポイントについては、「道路橋定期点検要領」（平成31年2月、国土交通省）でも整理されているため、こちらも参考にされたい。

なお、これらの水管橋等の形式や弱点部の具体的な点検方法など考え方については、第4章で詳しく示すものとする。

3.1.1 パイプビーム形式

パイプビーム形式の水管橋等の構造的な特徴を表3-1～表3-5に示す。

表3-1～表3-5に示すように、パイプビーム形式の水管橋等には、単純支持形式や一端固定または両端固定形式、連続支持形式、固定アーチ形式などがあり、採用事例も多い。

他の形式に比べて構造が単純であり、径間も比較的短いものが多いため全体の状況を把握しやすい。多くの場合、水道管からの漏水の有無により腐食の発生やその他の変状を間接的に知ることができ、比較的早期に水管橋等の性能低下の状態を把握できる傾向にある。ただし、形式によっては、留意すべき事項もあり、例えば連続支持形式の水管橋等では、各径間の構造自体は単純であるが、規模が大きくなるため必ずしも全体の状況を把握することが容易ではない場合もある。また、両端固定の水管橋では、温度応力による管路の伸縮により溶接部からの漏水が生じやすいなどの特徴がある。さらに、他の水管橋と同様に、単純支持形式や一端固定一端自由支持形式では、支承部のリングサポートや溶接部にも腐食やアンカーボルトの異常が生じやすい。

点検にあたっては、これらの特徴を踏まえた上で、図3-1に示すトラブル例とチェックポイントを参考として、水道管からの漏水や、腐食、塗装の劣化などの変状に注意し、より確実な点検を行う必要がある。そして、特に施設数が多いことも踏まえ、より合理的な点検を行う必要がある。

【パイプビーム形式の構造的特徴】

表 3-1 単純支持形式の特徴

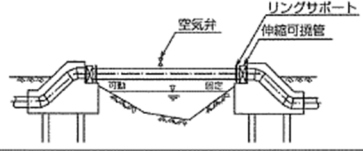
構造形式	
	<p>通水管をリングサポートで支持し、両端に伸縮可撓管を設けて角変位を自由とし、一端は軸方向に移動できる形式で、最も広く使用されている。</p>
長所・短所	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 中・大口径に対する使用実績が最も多い。 ・ 架設環境によるが、多径間となる場合には、耐震上からも連続支持形式が望ましい。 ・ 他の形式に比べ適用スパンが小さい。 ・ 一括架設にて架設可能で他の形式に比べ有利である。 	

表 3-2 一端固定一端自由支持形式の特徴

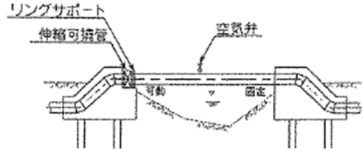
構造形式	
	<p>水管橋の一端を橋台で固定し、他端を角変位及び軸方向の移動を自由に吸収できるようにリングサポートで支持し、伸縮可撓管を設けた形式である。</p>
長所・短所	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 単純支持形式に比べたわみが問題となる小口径管及び比較的長スパンに有利である。 ・ 固定側橋台の上部構造反力は大きいので下部構造は大きくなる。 ・ 架設時、キャンパー管理も含めて発生曲げモーメントがゼロ付近にベントが必要となる。 	

表 3-3 両端固定支持形式の特徴

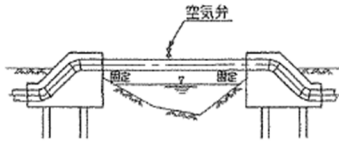
構造形式	
	<p>通水管の両端を橋台で固定した形式である。</p>
長所・短所	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 伸縮可撓管、支承を必要としない。 ・ 温度伸縮が拘束されているので、大口径管及び長いスパンの適用は困難で、小口径管で管の伸縮がほとんどない短いスパンにのみ採用される特別な形式である。 ・ 架設時、キャンパー管理も含めて発生曲げモーメントがゼロ付近にベントが必要となる。 	

表 3-4 連続支持形式の特徴

構造形式	
	<p>多径間の場合に通水管を 2 支間以上連続して支持した形式である。</p>
長所・短所	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 単純支持形式に比べ発生たわみが小さいため、適用スパンは単純支持形式より大きい。 ・ 連続しているため、耐震の点から単純支持より有利である。 ・ 温度変化による移動量が、他形式に比べ、大きくなるので支承、伸縮可撓管の選定及び構造に配慮が必要である。 ・ 架設時、キャンバー管理も含めて発生曲げモーメントがゼロ付近にベントが必要となる。 	

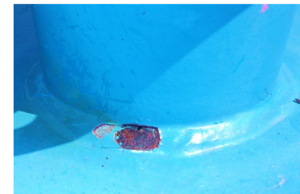
表 3-5 固定アーチ形式の特徴

構造形式	
	<p>通水管を放物線又は円弧アーチとして、両端を橋台などにより固定した形式である。1 条アーチの面外荷重に対しては、パイプの持つねじり剛性により抵抗する。この形式の採用は、移動がほとんどない橋台が設置できることを条件とする。</p>
長所・短所	
<ul style="list-style-type: none"> ・ パイプの持つ有利性を有効に生かした経済的な形式であり、パイプビームに比べ適用スパンも増大する。 ・ 橋台に作用する軸力が大きくなるため、橋台の安定性に注意を要する。 ・ 谷部に設置する場合には、美観的にも優れた形式である。 ・ 市街地に設置する場合には構造高が高いので、美観上問題がある。 ・ 他形式に比べ桁下空間を大きくとれる。 ・ 小口径管 1 条アーチの場合、面外座屈により適用スパンに限界がある。 ・ 曲げ加工費用がかかると共に、曲げ加工による偏肉に注意を要する。 ・ 耐風の安定性に注意を要する。 	

出典 (表 3-1～表 3-5) : 「水管橋設計基準」(令和 4 年 8 月 24 日改正、日本水道鋼管協会)

【パイプビーム形式のトラブルとチェックポイント】

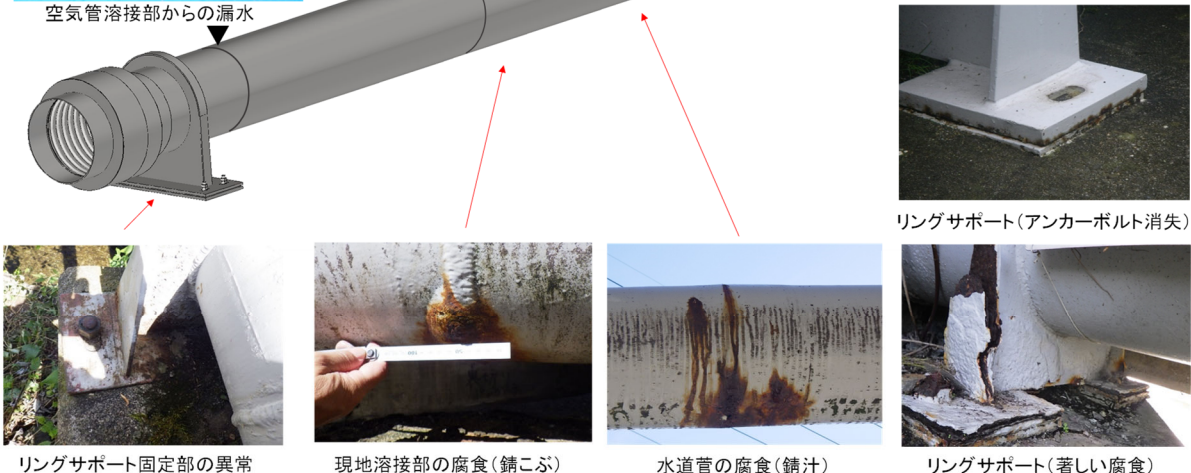
- 【チェックポイント】
- 水道管からの漏水の有無を確認する(腐食は漏水の状況から間接的に評価する)。
 - 腐食や劣化が生じやすい箇所の状態を重点的に点検する(溶接部、リングサポート周辺等)
 - 塗装の防食機能の劣化状態も把握する。



空気管溶接部からの漏水



伸縮管の異常(変位発生)



リングサポート(アンカーボルト消失)



リングサポート固定部の異常
(長孔の閉塞による可動不良)



現地溶接部の腐食(錆こぶ)



水道管の腐食(錆汁)



リングサポート(著しい腐食)

【凡例】

- ▲：主要部材の溶接部(工場溶接または現場溶接)を示す。

【留意点】

- ・構造が単純であるため、水道管は漏水等により遠望からでも異常を確認できる場合が多く、漏水の有無により間接的に安全性も評価できる。
- ・支承部(支承、リングサポート等)や溶接部、空気弁、伸縮可とう管などの弱点部については、他の水管橋等の形式と同じく損傷や劣化しやすいため、注意する必要がある。

図 3-1 パイプビーム形式のトラブル例とチェックポイント

3.1.2 補剛形式

補剛形式の水管橋等の構造的特徴を表 3-6～表 3-19 に示す。

表 3-6～表 3-19 に示すように、補剛形式の水管橋等には、フランジ補剛形式やトラス補剛形式、アーチ補剛形式、斜張橋形式などがあり、これらの中でもさらに細かく形式が分類される。

補剛材により構造系の剛性を高めることでパイプビーム形式に比べて規模が大きくなり、全体の状況を把握することが容易ではない場合が多い。

フランジ補剛形式には、上または下補剛形式やT形補剛形式、 π 型補剛形式などがある。水道管に直接補剛材を溶接するため弱点となりやすいことや、構造部材として補剛材の点検が必要となる。補剛材を利用して点検歩廊を設けることで点検作業が行いやすくなるが、死角となる部分がある場合には注意が必要である。

トラス補剛形式には、四弦トラス補剛形式や三角トラス補剛形式、逆三角トラス補剛形式などがある。トラス構造により部材が立体的に入り組んだ複雑な構造であり、構造部材としてトラス材の点検が重要となるが、規模も比較的大きく死角となる弱点も多いため、全体の状況を把握す

ることが容易でない場合が多い。大きな断面力が作用する構造部材は、最初は局部的な腐食であっても急激に腐食が進む可能性があるため注意が必要である。

アーチ補剛形式には、ランガー補剛形式やローゼ補剛形式、ニールセンローゼ補剛形式などがある。水道管を補剛桁としてアーチ形に弦材の格点から鉛直吊材または斜吊材により、水道管を吊った形式であり、アーチ材や吊材には大きな断面力が作用している。構造規模が大きくなるため点検が容易でない場合が多く、アーチ材や吊材などの大きな断面力が作用している構造部材では、溶接部や局部的な腐食箇所に変状が生じやすく、部材接合部は腐食などの弱点となりやすい。また、カルマン渦による風琴振動の影響がある場合には、劣化速度が速くなる場合があるため注意が必要である。特に吊材は他の部材に比べて部材断面や板厚が小さい場合が多く、鋼材の腐食スピードが材料に関係なく同等であると考え、特に腐食の影響が大きい部材といえる。

斜張橋形式は、トラスで補剛された水道管を主桁として中間橋脚の塔から斜めに張ったケーブルで主桁を支持した構造であり、ケーブルには大きな引張力が作用している。構造規模が大きくなるため点検が容易でなく、ケーブルの腐食により脆性的な破壊が生じやすい。また、風や振動の影響も受けやすい。

図 3-2 と図 3-3 に、補剛形式の代表的なものとしてトラス補剛形式とアーチ補剛形式のトラブル例とチェックポイントを示す。他の形式についてもこれらを参考として、水道管からの漏水や、腐食、塗装の劣化などの変状の他にも補剛材などの構造部材の変状には特に注意する必要がある。部材が多く構造が複雑であるため、弱点部などの箇所が点検しにくいことが想定されるが、近年発生している水管橋等の破損事例のほとんどがこの補剛形式であるため、重要な箇所の腐食などの変状を見逃すことがないよう、より確実な点検を行う必要がある。

【フランジ補剛形式の構造的特徴】

表 3-6 各種フランジ補剛形式の特徴

構 造 形 式
フランジ補剛形式は、通水管の上又は下側に T、 π 型等の補剛桁を直接溶接し、通水管の断面性能の増加を図った補剛形式である。桁高が高くなるため風圧面積が増し、横荷重にかなりの耐力を必要とする場合が多い。従ってある程度の長支間になると、トラス補剛形式又はアーチ補剛形式等との経済比較が必要である。
長所・短所
<ul style="list-style-type: none"> ・ スパン、口径にもよるが、一般に鋼重が多少重くても製作・架設上トラス、アーチ補剛形式に比べ経済的である。 ・ 下部構造の寸法がパイプビーム形式と同等で済む。 ・ 連続支持形式が可能である。 ・ 横方向剛性が荷重に対して小さいので、適用スパンに限界がある。 ・ 桁高が高くなるため、管内空虚時の転倒に対し注意を要する。 ・ 組立精度の確保のため溶接順序に注意を要する。 ・ 他の補剛形式に比べ美観的にやや劣る。(特に多径間支持の場合)

表 3-7 フランジ上補剛形式の特徴

構造形式
長所・短所
<ul style="list-style-type: none"> ・ 下補剛に比べて、通水管の位置が低いため、下部構造設計上の曲管部不平均力に対して有利である。 ・ 補剛桁上側を歩廊として利用できる。 ・ 管厚比が大きい場合、補剛桁の重量による通水管の局部変形に注意を要する。 ・ マンホール、空気弁の取付けがやや複雑になる。 ・ 転倒に対して、単純支持の場合、重心位置が高くなり下補剛より不利、連続支持の場合下補剛より有利である。

表 3-8 フランジ下補剛形式の特徴

構造形式
長所・短所
<ul style="list-style-type: none"> ・ 上補剛に比べて、通水管の位置が高いため、下部構造設計上の曲管部不平均力に対して不利である。 ・ 歩廊を別途設ける必要がある。 ・ 補剛部が引張側になるので、座屈に対して有利である。 ・ マンホール、空気弁の取付けが上補剛に比べ、容易である。 ・ 転倒に対して、単純支持の場合、重心位置が低くなり上補剛より有利であり、連続支持の場合、上補剛より不利である。

表 3-9 フランジ補剛の形状（T型フランジ補剛形式）の特徴

構造形式
長所・短所
<ul style="list-style-type: none"> ・ 横方向剛性が小さく適用スパンが短い。 ・ 組立、溶接（現場継手合む）が比較的容易である。 ・ 補剛桁フランジは、歩廊の関係から必要以上の幅・厚さとなる場合がある。 ・ 圧縮側にフランジを取り付ける場合、局部座屈に注意する必要がある。

表 3-10 フランジ補剛の形状（π型フランジ補剛形式）の特徴

構造形式
長所・短所
<ul style="list-style-type: none"> ・ T型に比べ、剛性が大きいので長いスパンに適用できる。 ・ 組立精度の確保のため、溶接順序に注意を要する。

出典（表 3-6～表 3-10）：「水管橋設計基準」令和 4 年 8 月 24 日改正、日本水道鋼管協会）

【トラス補剛形式の構造的特徴】

表 3-11 各種トラス補剛形式の特徴

構造形式
トラス補剛形式は、通水管をトラスの上弦材又は下弦材として利用したもので、トラス構成部材としてパイプの持つ特性を有効に利用できるため、中小口径管に広く採用されている。トラス補剛形式は小口径から中口径に多く、アーチ補剛形式は、中口径から大口径に多く使用される。このことは、トラス形式が橋梁全体としてかなりの剛性が期待できるのに対し、アーチ補剛形式は一般に長支間に使用されるため小口径では補剛桁としての通水管の剛性が不足するためである。逆に大口径になるとトラス構造とみなせなくなり、格点構造が複雑になることから他の形式が採られる。また、長スパンになり部材断面が大きくなると2次応力の影響が大きくなるため注意しなければならない。
長所・短所
<ul style="list-style-type: none"> 鉛直及び水平方向に対し剛性が高いため、中小口径管の比較的長い支間の場合に有利である。 溶接接合以外の分岐継手を採用する場合には格点構造が複雑となる。 トラス構造部材と見なせない大口径管に採用する場合には通水管を添架する形式にするか、又は他形式にする必要がある。 美観上やや重い感じとなりアーチ補剛形式に劣る。

表 3-12 四弦トラス補剛形式の特徴


構造形式

長所・短所
<ul style="list-style-type: none"> 水平方向の剛性が三角トラスに比べ大きいので、比較的長いスパンに適する。 圧縮弦材が2本のため、三角トラスより上弦材の座屈安定のうえで有利である。 スパンが短い場合には、三角トラスに比べ鋼重が重く経済的に不利である。

表 3-13 三角トラス補剛形式の特徴

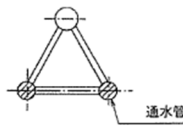
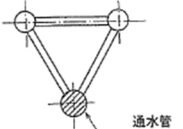
構造形式

長所・短所
<ul style="list-style-type: none"> 水平方向の剛性が四弦トラスに比べ小さいので、比較的中小スパンに適する。 圧縮弦材が1本のため上弦材の座屈安定のうえで不利である。

表 3-14 逆三角トラス補剛形式の特徴

構造形式

長所・短所
<ul style="list-style-type: none"> 通水管が1条の中、小口径の場合には、最も適した構造形式として広く採用されている。 圧縮弦材が2本のため上弦材の座屈安定のうえで有利である。 支点部に強固な橋門構を必要とする。

出典 (表 3-11～表 3-14) : 「水管橋設計基準」 (令和 4 年 8 月 24 日改正、日本水道鋼管協会)

【アーチ補剛形式の構造的特徴】

表 3-15 各種アーチ補剛形式の特徴

構造形式
<p>アーチ補剛形式は、通水管を補剛アーチ橋の補剛桁に利用し、アーチ形に弦材の格点から鉛直吊材又は斜吊材により、この通水管を吊った形式であり、アーチの性質を保ちながら、アーチに作用する曲げモーメントを適宜補剛桁（通水管）で負担するもので、通水管が2条で曲げ剛性の大きい大口径管の場合には、構造上利点が多く長支間の水管橋に最も多く採用されている。補剛桁とアーチの曲げ剛性の比が大きいものから順次減少するに従って、ランガー桁、ローゼ桁と呼ばれている。アーチの腹材にロッドやケーブルを斜めに網状にしたものを、考案者の名にちなんでニールセン形式という。</p>
長所・短所
<ul style="list-style-type: none"> ・ 大口径、長支間に適する。 ・ パイプの口径、支間長に応じ、上・下弦材の剛比、吊材の形状配置を選定することにより、経済的な設計が可能となる。 ・ アーチは主に圧縮力を受けるのでパイプ断面は円形が適する。 ・ 美観上他の形式に優る。 ・ 鉛直吊材を持つ形式は、長支間の場合充水時、偏荷重に注意を要する。 ・ 吊材にパイプやH形鋼を用い部材長が長い場合には、カルマン渦による風琴振動に対し注意を要する。 ・ アーチを放物線状の多角形とする場合、格間数が少ないと折れ角が目立ち美観上好ましくない。

表 3-16 ランガー補剛形式の特徴

構造形式
<p>アーチリブは軸方向圧縮力のみ、補剛桁（通水管）は曲げ剛性を受けるとして設計される形式である。</p>
長所・短所
<ul style="list-style-type: none"> ・ 大口径管の場合には、アーチ部材の分担は少なくて良いので経済的な形式となる。 ・ アーチの断面力は、軸方向が主体で曲げモーメントは小さいので合理的な形式である。 ・ アーチは、一般に放物線状の多角形となるため、格間数が少ないと折れ角が目立ち美観上好ましくない。

表 3-17 ローゼ補剛形式の特徴

構造形式
<p>補剛桁（通水管）及びアーチの両方に曲げ剛性を考慮するものである。したがってランガー桁と異なり美観上アーチを連続曲線とすることができる。アーチ断面がランガー桁としての範囲を超える場合には、ローゼ桁として設計される。</p>
長所・短所
<ul style="list-style-type: none"> ・ 通水管の管径が小さい場合、アーチ部材を大きくすることにより、曲げモーメントの分配がある程度できるので、適用範囲が広い。 ・ 美観を重視する場合、アーチを連続曲線とすることが可能である。 ・ アーチを曲線とする場合には、曲げ加工費用が発生する。 ・ 美観、経済上、フィレンデル型式を採用する場合、バスケットハンドル型にし剛性を高めると共に、曲げモーメントを減少させるのが一般的である。

表 3-18 ニールセンローゼ補剛形式の特徴

構造形式	
	<p>ローゼ桁の吊り材を斜めに配置し、トラスとしての性状を持たせた形式である。</p>
長所・短所	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 斜め吊材のトラス効果によりたわみ剛性が大きく、曲げモーメントも垂直吊材の場合に比べ小さくほぼ均一になるので、比較的支間の長い場合に有利となる。 ・ 美観、経済上、フィレンデール型式を採用する場合、バスケットハンドル型にし剛性を高めると共に、曲げモーメントを減少させるのが一般的である。 ・ 吊り材に圧縮力を生じないようその配置に留意し、現場でのプレストレス管理を要する。 ・ 曲線加工により製作、架設コストが上昇する。 	

出典（表 3-15～表 3-18）：「水管橋設計基準」（令和 4 年 8 月 24 日改正、日本水道鋼管協会）

【斜張橋形式の構造的特徴】

表 3-19 斜張橋形式の特徴

構造形式	
<p>斜張橋形式は、トラス等で補剛された通水管を主桁に利用し、2 径間又は 3 径間の連続した主桁を中間橋脚の塔から斜めに張ったケーブルにより支持する形式で、多次不静定構造物である。主桁の形式はトラス補剛形式が最も良く用いられる。</p>	
長所・短所	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 大口径、長支間に適する。 ・ スパン長に対し、桁高が低いので軽快な印象を与える。 ・ 他の補剛形式に比べ、ケーブルの張渡し形状・塔の形式等の構造形式に多様性を有する。 ・ 耐風の安定性に注意を要する。 	

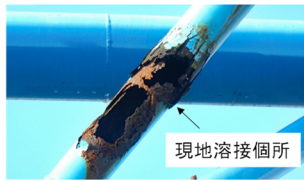
出典（表 3-19）：「水管橋設計基準」（令和 4 年 8 月 24 日改正、日本水道鋼管協会）

【トラス補剛形式のトラブル例とチェックポイント】

トラス補剛形式は、部材が立体的に入り組んだ複雑な構造であり、調査時には死角となる部分も多いため全体の状況が把握しにくい。補剛材の接合部などの段差が生じている部位や溶接接合部などでは塵埃の堆積や水が滞留しやすく腐食が生じやすい。また、大きな断面力が作用する構造部材は、最初は局所的な腐食であっても急激に腐食が進む可能性があるため注意が必要である。

水道管からの漏水や、水道管を含む鋼部材の腐食、塗装の劣化などの変状に注意するとともに、構造部材の局所的な劣化状態についても重点的に調査する必要がある。特に部材接合部や死角となっている部位については調査が容易でない場合があるため、水管橋の規模や作業条件に応じて適切な調査方法を検討することが望ましい。

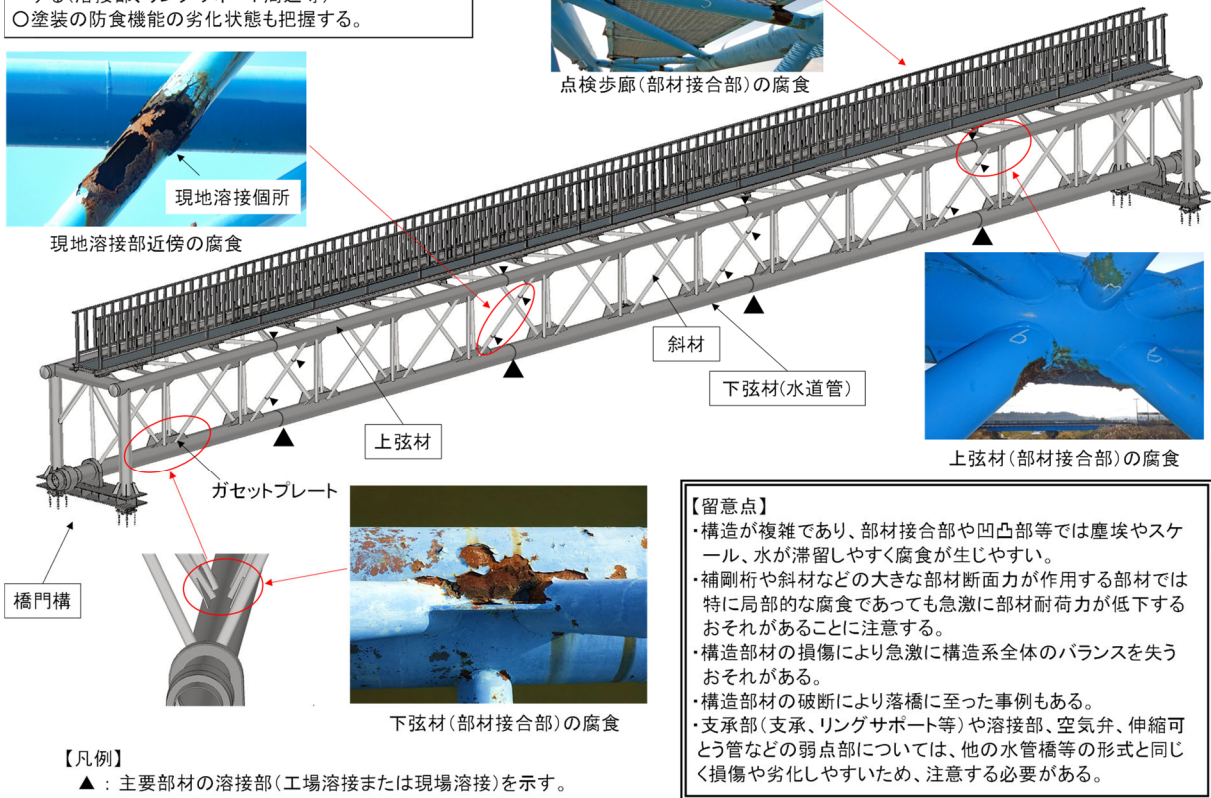
【チェックポイント】
 ○下弦材(水道管)からの漏水の有無を確認する。
 ○部材接合部では段差や凹凸箇所で腐食が進行しやすいため、特に注意して劣化状態を把握する。
 ○トラス材には大きな断面力が作用しているため、脆性的な破損につながる局所的な腐食も見逃さないこと。
 ○腐食や劣化が生じやすい箇所の状態を重点的に点検する(溶接部、リングサポート周辺等)
 ○塗装の防食機能の劣化状態も把握する。



現地溶接箇所
 現地溶接部近傍の腐食



点検歩廊(部材接合部)の腐食



上弦材(部材接合部)の腐食



下弦材(部材接合部)の腐食

【留意点】
 ・構造が複雑であり、部材接合部や凹凸部等では塵埃やスケール、水が滞留しやすく腐食が生じやすい。
 ・補剛桁や斜材などの大きな部材断面力が作用する部材では特に局所的な腐食であっても急激に部材耐荷力が低下するおそれがあることに注意する。
 ・構造部材の損傷により急激に構造系全体のバランスを失うおそれがある。
 ・構造部材の破断により落橋に至った事例もある。
 ・支承部(支承、リングサポート等)や溶接部、空気弁、伸縮可とう管などの弱点部については、他の水管橋等の形式と同じく損傷や劣化しやすいため、注意する必要がある。

【凡例】
 ▲：主要部材の溶接部(工場溶接または現場溶接)を示す。

図 3-2 トラス補剛形式のトラブル例とチェックポイント

【アーチ補剛形式のトラブル例とチェックポイント】

アーチ補剛形式(ランガー橋)は、パイプビーム形式などと比べて構造が複雑で規模が大きくなり、調査範囲が広くなり、調査時には死角となる部分も多いため全体の状況が把握しにくい。また、補剛材の使用により構造系全体のバランスを保っているため、それらが破断すると脆性的に落橋に至る可能性がある。

補剛材の接合部などの段差が生じている部位や溶接接合部などでは塵埃の堆積や水が滞留しやすく腐食が生じやすい。また、大きな断面力が作用する吊材などの構造部材は、最初は局所的な腐食であっても急激に腐食が進む可能性があるため注意が必要である。

水道管からの漏水や、水道管を含む鋼部材の腐食、塗装の劣化などの変状に注意するとともに、構造部材の局所的な劣化状態についても重点的に調査する必要がある。特に部材接合部や死角となっている部位については調査が容易でない場合があるため、水管橋の規模や作業条件に応じて適切な調査方法を検討することが望ましい。

なお、六十谷水管橋の破損事故では、吊材に局所的な腐食が生じて破断し、これが引き金となって水管橋全体のバランスが崩れて落橋に至ったと考えられており、定期的な調査で吊材の著しい腐食を見逃していたことが原因の一つとされている。

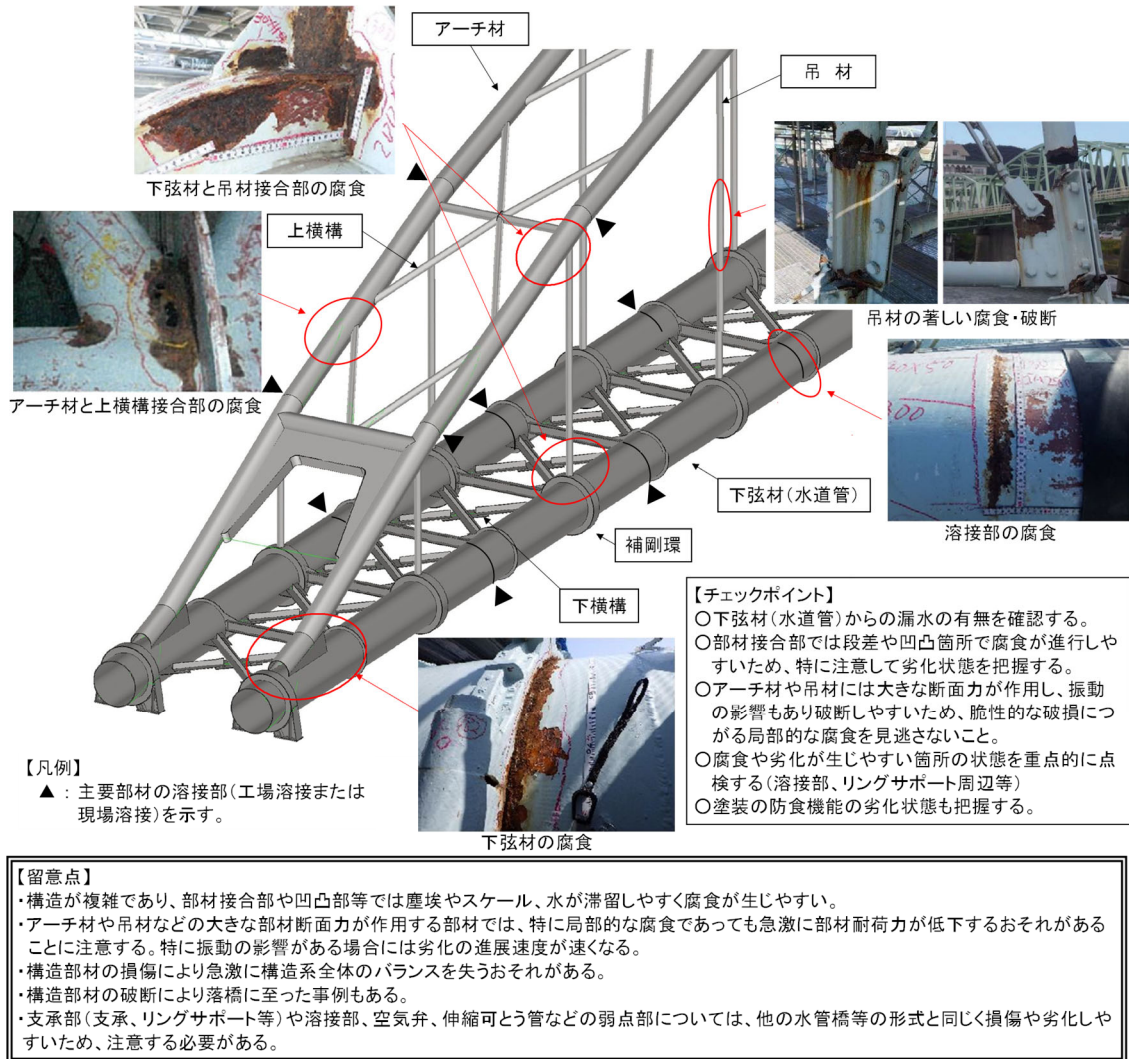


図 3-3 アーチ補剛形式のトラブル例とチェックポイント

3.1.3 橋梁添架管

水道管は道路橋等の橋梁構造物に支持部材（アングル、受桁等の金物など）を取り付けて添架した構造である。水管橋の安全性はこれらの支持部材に依存しており、構造は比較的単純であるが、地上や路面から遠望で調査する場合が多く、死角となる部分も多い。また、車両の通行や風荷重等による振動で水道管や支持部材の損傷、取付ボルトの緩みなども生じやすく、雨掛かりや橋面からの漏水がある場合には、取付ボルトや支持部材の腐食も懸念される。

図 3-4 に示すトラブル例とチェックポイントを参考として、水道管からの漏水や、腐食、塗装の劣化などの変状の他にも支持金物などの構造部材や取付ボルトの変状に注意し、より確実な点検を行う必要がある。なお、多くの場合、現地での調査には道路管理者等の許可が必要となるため、水道事業者等が単独で調査を行うよりも、できれば道路橋の点検（道路橋では基本的に 5 年ごとに定期点検を実施）に併せて調査を行うことが望ましい。また、「橋梁定期点検要領」（平成 31 年 3 月、国土交通省）では、表 3-20 に示すように橋梁の添架物についても点検し記録することとしており、各自治体ではこれに準じて道路橋の点検要領を作成している場合が多いため、これらの情報を入手して水管橋等の維持管理の参考にすると良い。

【橋梁添架管のトラブル例とチェックポイント】

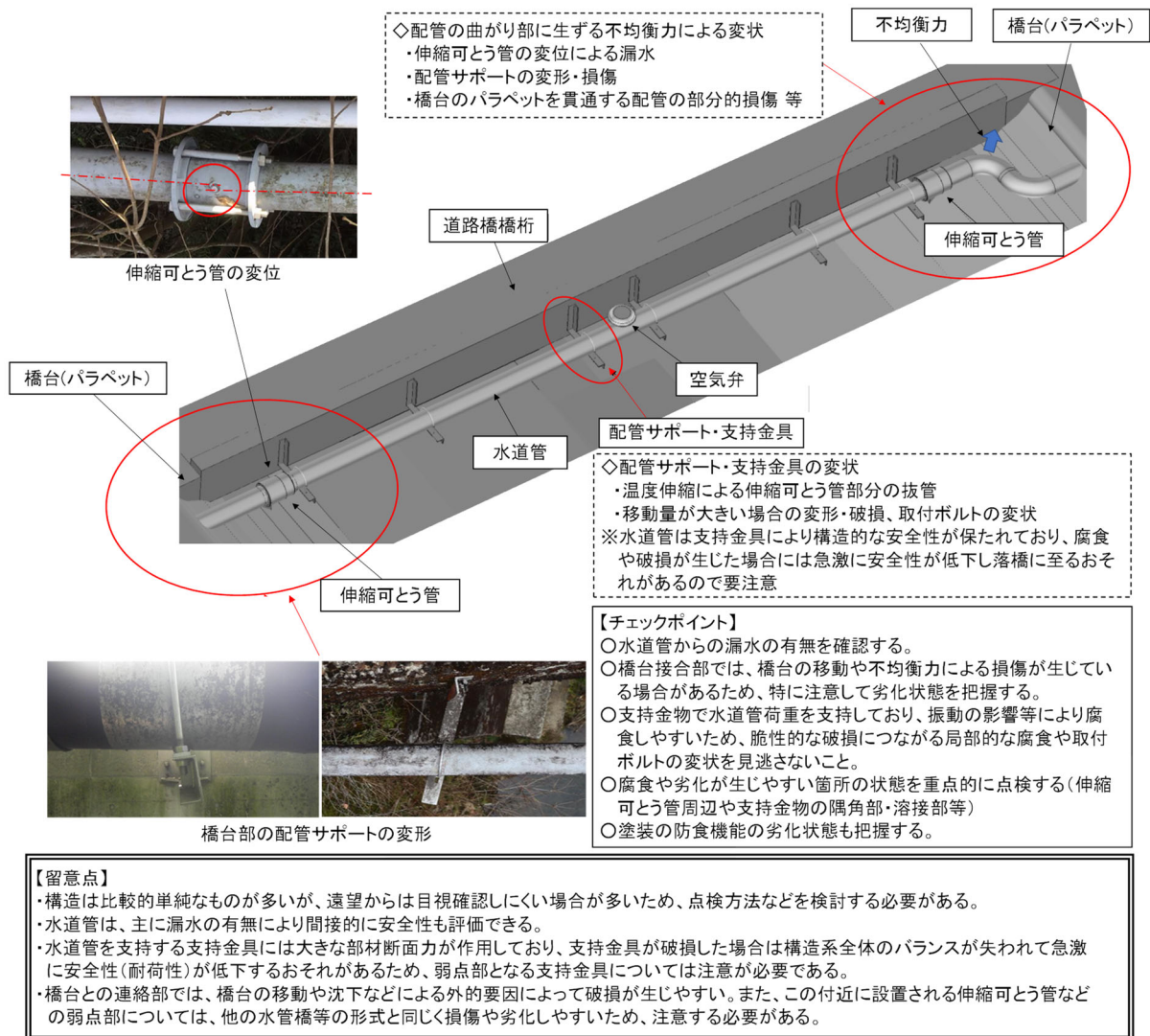


図 3-4 橋梁添架管のトラブル例とチェックポイント

表 3-20 対象とする損傷の種類標準

部位・部材区分		対象とする項目(損傷の種類)		
		鋼	コンクリート	その他
路上	高欄	①腐食 ②亀裂	⑥ひびわれ ⑦剥離・鉄筋露出	—
	防護柵	③ゆるみ・脱落 ④破断	⑧漏水・遊離石灰 ⑩補修・補強材の損傷	
	地覆	⑤防食機能の劣化 ⑩補修・補強材の損傷	⑫うき ⑰変色・劣化	
	中央分離帯	⑳変形・欠損	㉑変形・欠損	
	伸縮装置 (後打ちコンクリートを含む。)	①腐食 ②亀裂 ③ゆるみ・脱落 ④破断 ⑤防食機能の劣化 ⑬遊間の異常 ⑭路面の凹凸 ⑯漏水・滞水 ㉑異常な音・振動 ㉒変形・欠損 ㉓土砂詰まり	⑥ひびわれ ⑫うき ㉑異常な音・振動 ㉒変形・欠損	⑬遊間の異常 ⑭路面の凹凸 ⑰変色・劣化 ⑯漏水・滞水 ㉑異常な音・振動 ㉒変形・欠損 ㉓土砂詰まり
	遮音施設 照明施設 標識施設	①腐食 ②亀裂 ③ゆるみ・脱落 ④破断 ⑤防食機能の劣化 ⑰変色・劣化 ㉒変形・欠損	—	③ゆるみ・脱落 ⑰変色・劣化 ㉒変形・欠損
	縁石	—	⑥ひびわれ ⑦剥離・鉄筋露出 ⑧漏水・遊離石灰 ⑫うき ⑰変色・劣化 ㉒変形・欠損	—
舗装 (橋台背面アプローチ部を含む。)	—	⑭路面の凹凸 ⑮舗装の異常 ㉓土砂詰まり	⑭路面の凹凸 ⑮舗装の異常 ㉓土砂詰まり	
排水施設	排水ます	①腐食 ④破断 ⑤防食機能の劣化	—	④破断 ⑰変色・劣化 ⑯漏水・滞水 ㉒変形・欠損 ㉓土砂詰まり
	排水管	⑰変色・劣化 ⑯漏水・滞水 ㉒変形・欠損 ㉓土砂詰まり		
	その他			
点検施設				
添架物	①腐食 ②亀裂 ③ゆるみ・脱落 ④破断 ⑤防食機能の劣化 ㉑異常な音・振動 ㉒異常なたわみ ㉓変形・欠損	—	①腐食 ②亀裂 ③ゆるみ・脱落 ④破断 ⑤防食機能の劣化 ㉑異常な音・振動 ㉒異常なたわみ ㉓変形・欠損	
袖擁壁	—	⑥ひびわれ ⑦剥離・鉄筋露出 ⑧漏水・遊離石灰 ⑰変色・劣化 ㉒変形・欠損 ㉔沈下・移動・傾斜	—	

出典：「橋梁定期点検要領」(平成31年3月、国土交通省道路局) p.12 (一部加筆)

2節 付属設備の特徴と点検のポイント

水管橋の性能を維持する上では、空気弁や伸縮可とう管、及び支承部などの付属設備の機能も健全に保つことが条件であるが、腐食や損傷などによりこれらの機能が健全に保たれていないケースも見られる。また、空気弁や伸縮可とう管からの漏水は水道管の腐食の要因となったり、第三者への影響も考えられる。このようなことから、これらの付属設備の点検は重要である。ただし、これらの付属設備の機能は多種多様であり、点検にあたっては、付属設備のどのような機能を対象とするか事前に明確にしておく必要がある。

ここでは、重要と考えられる付属設備を対象として、その機能や点検のポイントについて整理する。

3.2.1 空気弁

水管橋の設計基準（WSP 007-2023 水管橋設計基準）では、水管橋等の一番高い箇所には空気弁を設けることとしており、水管橋等の水理的な機能を維持するために、必要不可欠なものである。ただし、構造的には水道管の円環断面の欠損部となり、構造上の弱点となる可能性がある。そのため、空気弁の設置位置は、主に効率的に管内空気を排除することを目的として水管橋等の中央部（最高点）に設置されることが多いが、維持管理上の都合から、橋脚から作業が可能となるよう、支間の端部に設置する事例もある。

また、空気弁部では漏水が生じやすく、それに伴い空気弁周辺の鋼部材も腐食しやすいため、周辺部の腐食についても注意が必要である。

【双口空気弁】



【単口空気弁】



【急排空気弁】



3.2.2 支 承

支承は水管橋等の重量を支え、温度変化時に生ずる水道管の伸縮を吸収する重要な構造である。支承並びにアンカーボルトが損傷し、さらに、これらを固定する下部工のコンクリートが損傷すると、伸縮可とう管に過度の変位を生じさせて漏水の原因になる事があり、場合によっては落橋の原因になるため、重要な調査ポイントである。可動部の支承が機能しない（水道管の伸縮を阻害する）場合、リングサポートに橋軸方向の力が作用して、リングサポートを変形させることがある。この場合、水道管本体に軸方向の応力（圧縮応力又は引張応力）が生じ、構造計算に影響する。

チェックポイントとして、水管橋等の移動状況、リングサポート及びアンカーボルトの変形の有無と腐食状況、さらに、これらを固定する下部工のコンクリートの変状状況を確認する。また、過去の地震において損傷被害の報告が多く、耐震上の弱点として考える必要がある。支承高さの高いピンローラー支承は、水平荷重が作用した場合に弱く、現在において極力使用は避けるのが良いとされている。

1) 線支承（プレートタイプ）

【可動支承】

【固定支承】



2) ペアリング支承（BP-A）

【可動支承】

【固定支承】



3.2.3 伸縮可とう管

伸縮可とう管は地震時の変位量や気温の変化による水道管の伸縮量を吸収するために設置する。伸縮可とう管では、ボルトや止水ゴムの劣化に注意する必要がある。特にボルトが腐食していると、地震などの作用によりボルトが破断し漏水するリスクがある。ボルトが腐食している場合には順次取り替える必要がある。

チェックポイントは、伸縮管の移動状況、漏水の有無、軸心の変位状況、腐食状況である。

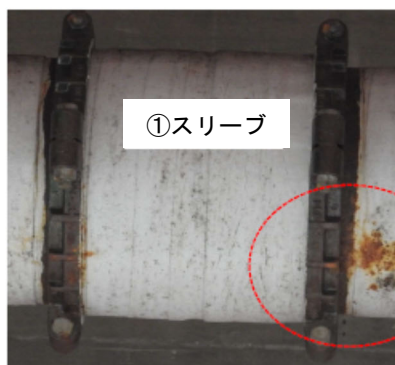
摺動タイプ (スリーブ)



摺動タイプ (クローザ)



以下の写真は、クローザタイプから水道管が抜け出し方向に移動している様子である。①のスリーブ内に挿入されていた送水管の外面が露出し、その部分が腐食している。このような状態で伸縮が繰り返されると、止水ゴムが劣化し漏水の原因になる。



拡大

腐食している箇所

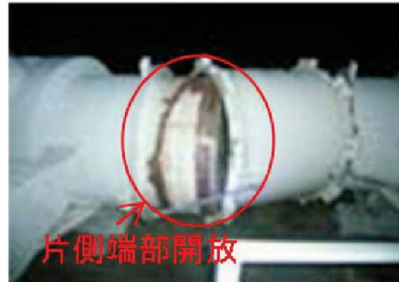


【東北地方太平洋沖地震における那珂川水管橋の被害メカニズム】

〔概要〕

東北地方太平洋沖地震における那珂川水管橋の被害について、水管橋周辺の地震動と微動観測による水管橋の振動特性について調査分析を行う。さらに、本水管橋を3次元の骨組要素でモデル化し、時刻歴地震応答解析を行い、上述した被害メカニズムを明らかにすることを目的とする。

〔水管橋の被害状況〕



(a) 伸縮管の脱管 (P-4)



(b) 上沓と下沓の間で破損 (P-3)



(c) 上沓とリングサポート下端及び下沓でのボルト破断 (P-1)



(d) 上沓とリングサポート下端でのボルト破断 (P-4)

(支承、伸縮管の被害状況 (提供資料に基づき作成))

水管橋等は実際の被害事例が多く、弱点箇所は支承部周辺であることが多い

〔解析結果のまとめ〕

水管橋の1次固有振動数の入力地震動は小さかったものの、1 Hz以下の地震動が卓越していたために十分支承が損傷に至ることになった。

今後の課題として以下のことが挙げられる。伸縮管の相対変位(X方向)に関しては、脱管に至るような変位が発生しなかった。しかし、被害状況をみると伸縮管の橋軸直角方向への偏芯により、脱管したことも考えられ、今後検討していく必要がある。

動的解析や地盤連成形モデル及び3次元性を適切に考慮し解析を行う必要がある

出典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書(資料編)」(令和4年11月、和歌山市)

引用元：東北地方太平洋沖地震における那珂川水管橋の被害メカニズム，上仲亮・鉄田泰子・竹田周平，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol.69，No.4(地震工学論文集第32巻)，1_171-1_181，2013.より抜粋・要約(一部加筆)

3.2.4 落橋防止装置

落橋防止装置（PC ケーブル）は、地震時水平力に対して、均等に抵抗できるよう設計されている部材であり、橋梁全体系が健全であることを前提として設計されているものである。しかし、六十谷水管橋の崩落事故においては、吊材の破断をきっかけに補剛桁が崩壊しており、PC ケーブルに作用する荷重には水重が含まれているため、当初の設計荷重をはるかに上回る荷重が作用したと想定される。

チェックポイントは、落橋防止ケーブルや鋼部材の変形、劣化、及び損傷や、変位制御装置及び縁端拡幅工などとの遊間異常、緩衝材の劣化などがある。落橋防止装置は近年頻発する大規模地震による被害を受けて設置されてきたものであり、比較的新しい部材であることから劣化による被害の事例はそれほど多くないため、メーカーの点検要領なども参考にすると良い。



図-7.4.24 橋脚固定端の伸縮管と移動制限(落橋防止装置)

出典：奈良県水道局



図-7.4.25 移動制限装置

出典：奈良県水道局



図-7.4.26 伸縮管と移動制限装置

出典：奈良県水道局

出典：「水道施設の耐震設計入門」（日本水道協会）

3節 過去の設計基準や施工技術に伴う問題点

過去の設計基準や施工技術の変遷により経年化している水管橋等の問題点を整理する。

3.3.1 鋼管溶接部の問題点

補剛材に使用される鋼管の直径が細い場合には、図 3-5 に示すように裏当て板を使用して外面から施工を行う。この場合、施工は高所で行われる上に溶接のポジション（上向き、たて向き、下向きのすべてが必要）が難しいので高度の技術を必要とする。また溶接部の全数検査も行われにくいため、未充填部を残さず完全に溶接が施されるように工夫する必要がある。

六十谷水管橋の被害事例でも、崩落の直接的な要因ではないが、現場溶接部の強度不足が指摘されており、架設当時の溶接技術のレベルにより溶接が万全ではなく、アーチ材の溶接部の強度低下により破断した可能性も指摘されている。

なお、現在では JIS 規格に基づいた試験の実施や、機械の安定性、溶接棒の性質自体もレベルアップされており、これらの課題は大きく改善されている。

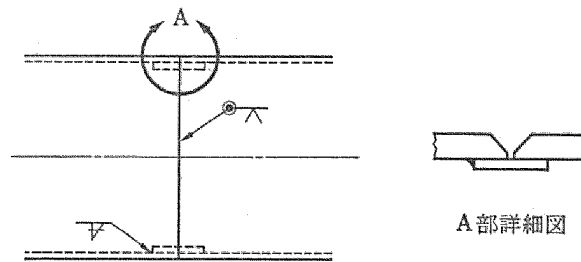


図 3-5 鋼管の現場溶接接手

出典：「鋼管構造」（成瀬泰雄著、森北出版）

(3) 鋼管（700A 以下）の現場溶接品質（非裏波）に関する問題点

中小口径（700A 以下）の現場溶接では、管内からの溶接作業が行えないため、外面からの片面溶接となる。そのため現在では片面から完全溶け込みが可能な「裏波溶接棒」が使用されている。

しかしながら、わが国では昭和 38 年（1963 年）に裏波溶接棒が開発されるまで、現場溶接部の溶け込み不良は避けられなかった。特に昭和 35 年（1960 年）以前までは、管内の流れを乱すという理由からあえてルート間隔をとらずに施工（非裏波溶接）がなされていた。昭和 38 年（1963 年）に採用された裏波溶接棒では、現行に比較して極めて高い技量が必要であったため、定着までにさらに 10 年ほどを要し、昭和 47 年（1972 年）に現在とほぼ同じ作業性の裏波溶接棒が開発され、その後は現在の技術レベルとほぼ同等のレベルまで溶接品質が改善された（参考文献：「都市ライフラインハンドブック」（土木学会編））。

裏波溶接が採用される以前の片面溶接管は、700A 以下で昭和 50 年（1975 年以前）に布設のものである。（参考文献：「地震による管路被害予測の確立に向けた研究 報告書」平成 25 年 3 月 水道技術研究センター）

上記より、昭和 50 年頃以前の中小口径（700A 以下）の現場溶接は非裏波溶接のため強度が低下している可能性がある。

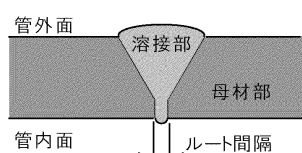


図-2 裏波溶接
(完全溶け込み溶接)

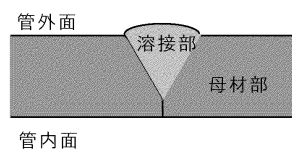


図-3 非裏波溶接
(ルート間隔をとらない不完全溶け込み溶接)

出典：「経年劣化に伴う水道鋼管路の耐震性低下に関する考察」（日本水道鋼管協会）

3.3.2 溶接部の内面塗装

内面塗装の種類については、竣工図を参照し、図面に記載がない場合は、現地の塗装歴板等を参照する。内面塗装規格の変遷を表 3-2 に示す。

表 3-2 内面塗装の種類と変遷

内面塗装の種類	規格	変遷
コールタールエナメル	JIS G 3492	～1974 年
タールエポキシ樹脂塗料	JWWA K 115	1974～1989 年
液状エポキシ樹脂塗料	JWWA K 135	1989～2007 年
無溶剤エポキシ樹脂塗料	JWWA K 157	2007 年～

第2編 【水管橋等の点検を含む維持・修繕】

第4章 点検の実施方法

1節 適用範囲と基本的な考え方

- 本章は、水管橋等を全般とし、水管橋等の上部工（補剛材を含む）、及び下部工に適用する。
- 水管橋等の点検は、**図 4-1** に示すフローにより実施することを基本とし、各種調査（基本調査、詳細調査）の結果をもとに水管橋等に要求される性能の診断を行い、修繕の必要性の判断などを行う。
- 本章では初期点検、定期点検、臨時点検、及び緊急点検における点検作業について示す。日常の巡視・点検については、「水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドライン 3.5.1 管路一般（1）巡視・点検」を参照すること。

点検の対象は、道路や河川、鉄道等を架空横断する管路等の水管橋等全般を対象とし、ここに示す水管橋等の点検は、水管橋等の上部工（補剛材を含む）、下部工に適用する。

ただし、施行規則第 17 条の 2 第 1 項第 3 号の対象となるのは、損傷や腐食その他の劣化等の異常が生じた場合に水の供給又は架空横断している道路、河川、鉄道等に大きな支障を及ぼすものに限る。なお、水の供給に大きな支障を及ぼすものとは、水管橋等が断水した場合を想定し、水の供給に大きな支障を及ぼすおそれがあるものを対象とするが、当該水管橋等が断水したとしても、十分なバックアップを有するもの、又は、小規模な水路等を横断する構造が単純な水管橋等であり、漏水したとしても直ちに復旧し、通水することが可能であるものは対象外とすることができる。

また、架空横断している道路、河川、鉄道等に大きな支障を及ぼすおそれがあるものとは、水道事業者が管理するそれぞれの水管橋等に損傷、腐食その他の劣化・異状が生じた場合を想定し、架空横断している物件への影響に鑑みて、大きな影響を及ぼすおそれがあるものを対象とする。架空横断している直下を人や車両、軽車両、船舶、列車等が通過するものについては原則、対象とする。

本章で示す水管橋等の点検の実施におけるフローと、このフローにおける各技術的行為について説明する箇所を**図 4-1** に示す。

点検とは維持管理の一部であり、あらかじめ要求性能を定め、対象施設が供用期間内に要求性能を満足させるための一連の行為である。点検には定期点検や臨時点検などがあり、それらの点検行為において、各種調査と診断を行い、修繕の必要性の判断などを行う作業は、**図 4-1** に示すように、点検作業に位置付けられる。

なお、水管橋等の点検にあたっては、鋼道路橋の維持管理方法も参考になる。道路橋の維持管理方法については「橋梁定期点検要領」（平成 31 年 3 月、国土交通省）などがあり、点検行為全体の考え方や方法が整理、基準化されており、実際の道路橋点検の実務にすでに用いられている。これらも水管橋等の維持管理に大いに参考になることから、本検討報告書の**第 7 章**においてその概要を紹介しており、各水道事業者等の判断や創意工夫のもと、これらの基準も取り入れたより合理的かつ効率的な水管橋等の維持管理を行うことが望ましい。

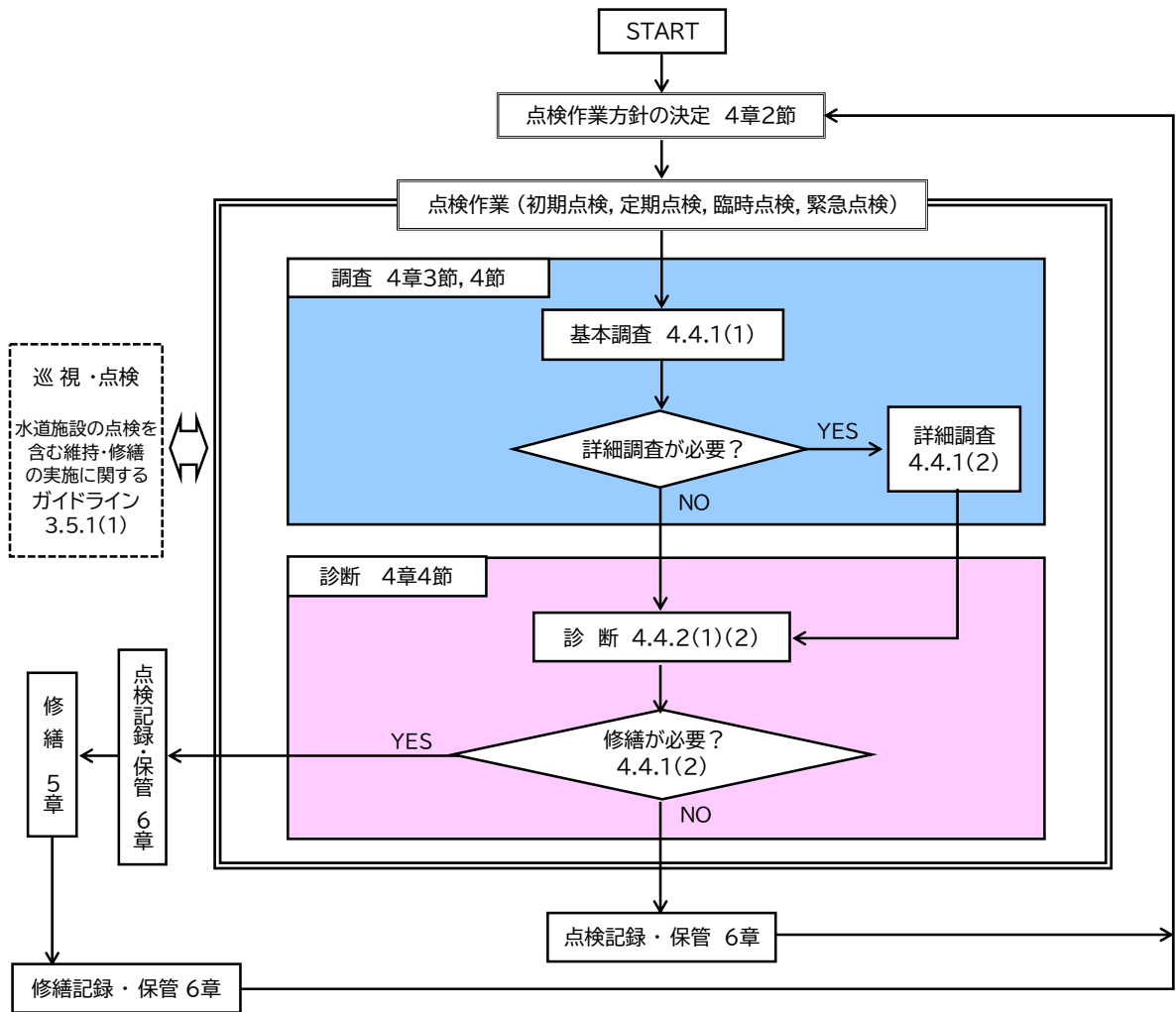


図 4-1 点検に関わる技術的行為のフロー

水管橋等の点検は、施設の特性を踏まえ、科学的根拠（構造、水理）のもと性能をより具体的に評価するために、以下に示す要求性能等に着目し実施することを基本とする。

【水管橋等の要求性能】

- ・ 使用性：水道水の安定供給（漏水防止）の確保
- ・ 安全性（耐荷性）：水管橋の著しい変形、落橋、及び第三者被害などの防止
- ・ 景観性：周辺環境と調和する美観・景観の保持（汚れや変色等の防止、改善）

本章では、主に使用性と安全性（耐荷性）に着目した点検方法について示す。

景観性については「露出鋼管（水管橋等）～外面塗装劣化診断評価の手引き～」（平成 25 年 3 月、日本水道協会、WSP 日本水道鋼管協会）などをもとに評価すると良い。

上記の要求性能に対して、実際に水管橋等を点検するにあたっては、施設の重要性や求められる状態、構造的な特性、周辺の環境、及び点検頻度や方法などを総合的に評価し、施設ごとに点検方法を点検マニュアルの作成などにより具体化させる。また、施設の構造的特徴や塗装・鋼部材の劣化特性などを踏まえ、より効率的・効果的、かつ体系的に点検を実施するために図 4-1 の手順で点検を行うことを基本とする。

図 4-1 に示すように、点検を行うにあたっては、合理的な点検を行うことを目的として、事前に基本的な情報（施設の条件や点検作業上の条件など）を整理し点検作業方針の設定を行うのが望ましい。

点検作業は、まず各種調査を行うが、その方法としては、基本調査と詳細調査がある。基本調査は、損傷・劣化の有無（又はその疑い）、状況などについて、主に定性的に把握する調査である。目視（又はこれと同等以上の状態把握ができる方法（高精度カメラによる画像確認など））を基本とし、重要な変状を見落とさないために必要に応じて触診、打音調査を行う。詳細調査は、損傷・劣化の程度、施設の性能に与える影響、及び原因やメカニズムなどについて、主に定量的な評価や精密な評価を行うための調査である。各種計測器具などを用いて調査・分析などを行う。詳細調査は、基本調査において診断に必要な情報が得られない場合に実施するほか、詳細データに基づく合理的な維持管理や点検を行うことを目的として実施する。そして、これらの基本調査や詳細調査の結果に基づき施設の性能を診断し、修繕の必要性などを検討したうえで点検結果を記録・保管する。

なお、点検作業は、初期点検、定期点検、臨時点検、及び緊急点検により、施設の重要度や劣化の状態、及び地震などの外的作用の影響などに応じて適切な時期に適切な方法で実施することを基本とする。本章ではこれらの点検における点検作業について示すものとする。また、これらの点検作業とは別に、日常の巡視・点検でも、部材の劣化や漏水等の異常箇所の早期発見に努める。巡視・点検については、「水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドライン 3.5.1 管路一般（1）巡視・点検」を参照すること。

2 節 点検作業方針の設定

- 点検作業方針の設定では、合理的な点検を行うことを目的として、施設の構造緒元、維持管理情報、周辺環境条件などを整理したうえで、点検の要点を明確にし、具体的な点検作業の方針（点検項目、点検頻度、点検方法、点検者など）を事前に設定するのが基本である。

点検作業方針の設定では、表 4-1 に示すように、主に施設の構造諸元や維持管理情報の整理などを行うとともに、周辺環境条件の把握などを行う。次に、施設の構造面や腐食面から点検を行う上で注目すべき点検箇所や点検項目などがあれば、点検の要点として明確にしておく。そして、これらの結果を踏まえ、具体的な点検項目、点検方法、点検頻度、及び点検作業の体制などの点検作業方針を設定する。点検作業方針の設定にあたっては、できるだけ具体的な点検記録表を作成しておき、その情報を保管する。さらに点検マニュアルを作成するのが望ましい。なお、点検作業の方針は、点検結果や施設の劣化の進展や性能低下の状態なども踏まえ、必要に応じて見直しを行う。

表 4-1 点検作業方針設定の項目

- 構造諸元の整理
 - ・ 構造形式、塗装仕様、工事履歴 等
- 維持管理情報の整理
 - ・ 過去の維持管理履歴、改修工事履歴 等
- 周辺環境条件の把握
 - ・ 点検作業の条件、風・振動等の外力条件、飛来塩分等の腐食条件 等
- 点検の要点整理
 - ・ 構造条件、腐食条件の分析、弱点箇所の抽出 等
- 点検作業方針の設定
 - ・ 点検項目、点検頻度、点検作業の方法(調査方法、診断方法) 等
 - ・ 点検記録表、記録保管方法及び共有方法
 - ・ 点検マニュアルの初期設定

3節 点検の種類と頻度及び点検項目

4.3.1 点検の種類と頻度

- 水管橋等の点検の種類は、初期点検、定期点検、臨時点検、緊急点検によることを基本とする。
- 初期点検は、劣化の傾向などを踏まえ、合理的な点検方法を検討するために、できるだけ実施するのが望ましい。
- 定期点検は、施設の重要度や着目する性能、及び劣化の状態に応じて適切な頻度で実施するものとし、概ね5年に1回以上の頻度で実施するものとする。

点検の種類と概要、及び実施時期（頻度）を表 4-2、表 4-3 に示す。

水管橋等の点検の種類は、表 4-2 に示すように、初期点検、定期点検、臨時点検、緊急点検によることを基本とする。

初期点検は、各施設の設置工事における初期欠陥や施設の設置環境の影響などによる腐食の進展傾向と、塗装の防食機能の低下傾向などに応じて、合理的な点検方法を検討するためにも重要である。例えば、3.3.1 鋼管溶接部の問題点に示すように、施工年代によっては、溶接技術の要因などにより、万全な溶接が行われていないことが事前に推測されるものの、基本調査として外面からの目視調査での確認が難しい場合などにおいては、一度詳細調査を実施し、その状況を確認したうえで今後の点検方法等を検討することが有効である。

初期点検は、点検作業に比較的大きな労力を必要とするような規模の大きい施設や定期点検での目視調査が困難な施設などを中心に、できるだけ実施するのが良い。初期点検を実施する時期は、腐食の進展傾向や塗装の防食機能の低下傾向を確認することを目的として、新設の施設の場合は、供用後 2 年、既設の施設の場合は、点検作業に着手するタイミングにおいてできるだけ早期に実施するのが望ましい。

定期点検は、施設の性能を維持することを目的とした重要な点検行為であり、各施設の劣化の状態を定期的に調査・診断するものである。定期点検では、初期点検の結果なども踏まえ、施設の重要度や着目する性能、及び劣化の状態に応じて適切な頻度で実施するものとし、表 4-3 に示すように概ね 5 年に 1 回以上の頻度で実施するものとする。

臨時点検や、緊急点検は、突発的に発生する様々な事象により施設の性能低下が考えられる場合に実施するものである。

表 4-2 水管橋等の点検の種類と頻度（例）

種別	内容	実施時期(頻度)
初期点検	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物の初期状態を把握するために実施する。 ・点検は、目視又はこれと同等以上の方法や必要に応じて触診・打音調査等により行うことを基本とする。基本調査で必要な情報が得られない場合は詳細調査(試験や検査、測定等)を行い、できるだけ正確な診断を行う。 ・施設の初期欠陥や腐食・劣化の傾向の把握を目的として実施する。 ・施設の腐食や損傷が生じている箇所について、それらの要因分析や進展の予測などを行い、定期点検の要点の絞り込みなどを行う。 	<p>供用後2年 または 早期実施</p> <p>新設構造物では、竣工検査の結果を初期点検の調査結果として利用することができる。</p>
定期点検	<ul style="list-style-type: none"> ・現状の状態を調査・診断するために定期的な頻度により実施する。 ・点検は、目視又はこれと同等以上の方法や必要に応じて触診・打音調査等により行うことを基本とする。基本調査で必要な情報が得られない場合は詳細調査(試験や検査、測定等)を行い、できるだけ正確な診断を行う。 ・前回の点検からの劣化の進展や新たに顕在化した劣化の調査と、それによる性能への影響を診断する。 ・点検結果により、必要に応じて補修工事や劣化予防対策などの修繕を実施する。 	<p>概ね5年に1回以上 (表4-3参照)</p> <p>5年に1度の点検では、点検項目や範囲を必要な箇所に限定し、10年に1度(1回おき)の点検では、点検項目を多くし、より広範囲に実施するなど、柔軟に対応する。</p>
臨時点検	<ul style="list-style-type: none"> ・地震や集中豪雨、豪雪、台風等の異常気象等による偶発的な外力が作用した直後に、構造物の状態を把握するために実施する。点検方法は、点検作業方針や保全計画等であらかじめ定めておく。 	地震等の偶発的な外力が発生した直後
緊急点検	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物で事故や損傷が生じた場合に、同種の構造物や同様な条件下の構造物で同様な事故や損傷が生じていないかを確認するために実施する。 	同種の構造物等や同様な条件下の構造物で事故や損傷が生じた場合

表 4-3 水管橋等の定期点検の実施頻度（例）

水管橋等の分類	点検頻度(例)
基幹管路等の重要管路に設置された水管橋等	点検頻度を高める (2年に1回以上など)
塩分の飛来する箇所等、劣化しやすい環境にある水管橋等	
鋼材の腐食やコンクリートの劣化、及び塗装の劣化が進行している水管橋等、又は水管橋等の部位等	
上記以外の水管橋等、又は水管橋等の部位等	5年に1回以上

水管橋等の点検頻度は、点検結果や施設の重要性、設置環境（腐食要因の状況、調査時の作業性等）などに応じて設定することが望ましい。また、腐食や劣化が進展しやすい弱点部や大きな断面力が作用する部材などに対しては、施設の重要性を勘案したうえで点検頻度を高めにする 것도検討するのが望ましい。

4.3.2 点検項目と範囲

(1) 点検項目

- 水管橋等の点検項目は、水管橋等の形式や特徴を踏まえて施設ごとに設定することを基本とする。

水管橋等の標準的な点検項目を、上部工と下部工に区分し表 4-4、及び表 4-5 に示す。

水管橋等の点検項目は、その点検作業の方法（調査方法、診断方法等）と併せて水管橋の形式や特徴を踏まえて施設ごとに設定することを基本とする。

なお、鋼部材の腐食は、基本的に防食機能の低下後に生じるものであるから、これらのメカニズムを適切に捉え点検項目を設定することが重要である（図 4-3 参照）。そのため、表 4-4 に示す各点検項目においては、塗装などの防食機能の点検を徹底し、防食機能の低下がないことを確認し腐食や亀裂などの進展がないと考えられる部位・部材については、これらの点検を見送るなど、合理的に点検項目を設定するのが望ましい。

(2) 点検対象（範囲）

- 水管橋等の点検の対象（範囲）は、補剛材や付帯設備なども含め全ての部材・部位を対象とすることを基本とする。構造規模が大きく径間が複数ある場合には、各径間ごとに点検作業（調査・診断）を行うものとする。
- 直接の目視調査などが困難な範囲の点検作業では、本章第 5 節に示すドローンなどの新技術を用いて画像調査を行うなどにより、診断を確実に行うことが基本である。

水管橋等の点検の対象（範囲）は、補剛材も含めて表 4-4 や表 4-5 の点検対象部材（図 4-2 参照）、及び表 4-8 に示す腐食や劣化のしやすい弱点部の部材や部位などを含めての全てとする。構造規模が大きく径間が複数ある場合には、各径間ごとに点検作業（調査・診断）を行うものとする。近接する道路橋などからの点検が行えない水管橋や、規模の大きい補剛形式の水管橋等に対しては、効率的かつ効果的に点検作業を行う観点から、必要に応じて点検歩廊の整備を検討する。

水管橋等の点検では、表 4-8 に示すような腐食や劣化が生じやすい弱点箇所や、表 4-4 に示すように構造系全体の安全性に関わる補剛材や支持部材などの点検は非常に重要である。これらの箇所については、定期点検に加えて、塗装更新工事時や付帯施設の更新工事時などにおいても近接目視や触診・打音調査を行うなど入念に調査することが望ましい。

なお、トラス補剛形式やランガー補剛形式などの比較的規模の大きい水管橋等や、防凍工で覆われた水管橋等、及び道路橋内にある橋梁添架管など、点検者が直接目視調査することが現実的に困難な範囲もある。そのような直接目視が困難な場合には、本章第 5 節に示すドローンなどの新技術を用いて画像調査を行うほか、塗装条件や腐食環境などが同等で目視可能な範囲の調査結果から推測する、あるいは漏水の有無の確認により間接的に水管橋等の状態を評価するなど、何らかの方法を工夫することにより、診断を確実に行うことが基本である。これらの調査技術に関しては、研究が盛んに行われており、振動試験による評価や人工衛星を用いた変位状況の評価な

ど、今後も技術開発が期待される。また、塗装更新工事時などの点検時に得られた情報をもとに精度の高い劣化予測を行い腐食の状態を時間管理する方法も考えられる。

表 4-4 水管橋等の形式別・部材別の点検項目（上部工）（例）

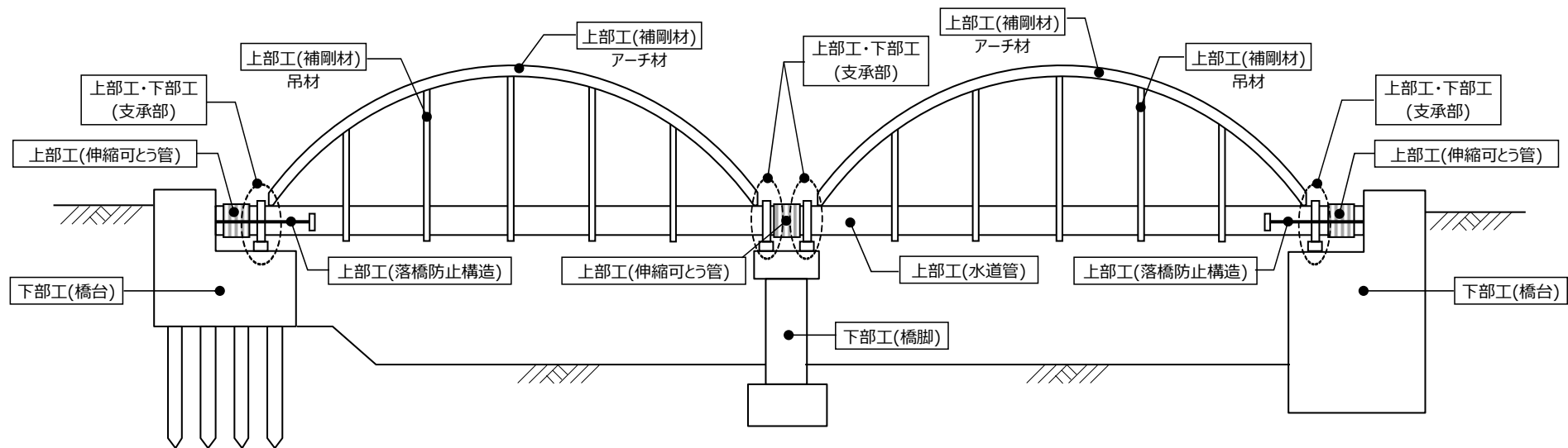
分類	部材等	点検項目	水管橋形式		
			パイプビーム形式	補剛形式	橋梁添架管
上部工	水道管	漏水	●	●	●
		腐食			
		変形と変形・破損			
		防食機能の劣化			
	補剛材(鋼材・ケーブル) (トラス弦材、アーチ材、吊材)	腐食	—	●	—
		亀裂、破断			
		ボルトのゆるみ・脱落			
		部材の変形・破損			
		防食機能の劣化			
	支承部	ケーブル張力の異常	●	●	●
		支承の機能障害			
		アンカーボルトの変形・腐食			
	支持金物	支承の腐食及び変形・破損	—	—	●
		腐食(アンカー含む)			
		亀裂、破断			
		ボルトのゆるみ・脱落			
		部材の変形・破損			
	伸縮可とう管	防食機能の劣化	●	●	●
		漏水			
		ボルト・部材の腐食			
		ボルトのゆるみ・脱落			
		伸縮代(変位)			
		部材の変形・破損			
	落橋防止装置	防食機能の劣化	●	●	●
		機能障害			
		部材の腐食及び変形・破損			
	空気弁	防食機能の劣化	●	●	●
		漏水			
		腐食			
		変形・破損			
		ボルトのゆるみ・脱落			
		断熱材の損傷			
点検歩廊	防食機能の劣化	●	●	—	
	腐食				
	部材の変形・破損				
防凍工	防食機能の劣化	●	●	●	
	外装材の損傷				
リングサポート サドルサポート	防食機能の劣化	●	●	●	
	腐食及び変形・破損				
管理用地	管理用地 進入防止柵	防食機能の劣化(腐食、防食機能の劣化等)	●	●	●
		無断使用、不法投棄等			

【凡例】 ●：点検対象

表 4-5 水管橋等の形式別・部材別の点検項目（下部工）（例）

分類	部材等		点検項目	構造形式			
				橋台		橋脚	水道管 防護工
				RC 構造	無筋構造	RC 構造	
下部工	軀 体	軀体(鉄筋)	鉄筋腐食(中性化、塩害等)	●	—	●	—
		軀体(コンクリート)	ひび割れ				
			初期欠陥				
			ASR	●	●	●	●
			凍害				
			その他の経年劣化				
	全 体	変位(沈下・傾斜)、変形	●	●	●	●	
		洗堀 等					
	支承部	沓座面	アンカーボルト周辺のコンクリートの変状(ひび割れ、欠損等)	●	●	●	—
		調整モルタル	モルタルの変状(ひび割れ、欠損、隙間等)	●	●	●	—

【凡例】 ●：点検対象



※他の構造形式については第3章1節を参照

図 4-2 部材名称 (アーチ橋の例)

4.3.3 点検の留意点

- 水管橋等の点検にあたっては、これまでの事故事例や研究事例、及び劣化のメカニズムなどを踏まえ、各施設の構造形式に応じた構造的特徴や腐食しやすい弱点部に留意しなければならない。
- 構造形式に応じた構造的特徴としては、補剛形式の水管橋等において、吊材やトラス材の腐食や破断は、局部的であっても構造全体のバランスを大きく失い落橋する要因となる場合があることに注目する必要がある、これらの箇所は、特に入念に点検しなければならない。
- 腐食しやすい弱点部としては、塵埃の堆積や水の滞留が生じやすい狭隘部や凸凹部などが挙げられ、腐食の進展速度も比較的早い場合があることから、これらの箇所は、特に入念に点検しなければならない。

(1) 点検の留意点（構造形式別）

表 4-4、表 4-5 に示す上部工と下部工の各点検項目において、水管橋等の上部工の構造形式に着目した留意点を表 4-6 に示し、下部工の構造的特徴や劣化などの性能低下要因に着目した点検の留意点を表 4-7 に示す。

表 4-6 に示すように、水管橋等の上部工の構造形式に着目すると、構造が比較的単純なパイプビーム形式は、水道管に局部的な腐食が生じても施設全体の脆性的な落橋や崩落に至るような安全性（耐荷性）の低下は生じにくく、構造全体を目視しやすいといった特徴があるため、主に水道管からの漏水状況を点検することで構造的な安全性の確認を行うことができると考えられる。

その一方、補剛形式の水管橋等は、様々の補剛材により構造全体のバランスを保っていることから、局部的であっても、それらの補剛材の腐食が要因となって、構造的なバランスを失い脆性的な落橋などに至る可能性がある。また、あらゆる形式の水管橋の支底部や橋梁添架管の支持金物についても構造系全体を支持する構造的に重要な部材である。特に、吊材やトラス材、及び支持部材などは、比較的大きな引張力や圧縮力が作用しているが、部材寸法（管径）が比較的小さく、部材厚（管厚）も小さいことから、水道管などの一般的に管径の大きい部材に比べて、腐食の影響を受けやすい。また、構造規模が大きい場合、構造全体の目視が容易でない。そのため、補剛形式の水管橋等は、これら補剛材の構造的な重要性や特徴を十分に踏まえ、各部材の腐食や亀裂、及び破断などの点検を適切に行わなければならない。橋梁添架管の支持金物についても、同様に構造全体を支持する重要な部材として適切に点検を行わなければならない。

下部工についても表 4-7 に示すように、橋台や橋脚、及び管防護などの構造的な特徴を踏まえ、安全性（耐荷性）などの低下を招く要因について十分に留意し点検を行わなければならない。特に、橋台や橋脚においては、周辺地盤の変状による影響を受けやすく、地震時や洪水時などにおいては、甚大な被害が多数確認されていることから、それらの災害事象の影響が考えられる臨時点検や緊急点検だけでなく、平常時の定期点検においても、周辺地盤の変状などの兆候を点検することが基本である。

このようなことから、点検にあたっては、水管橋等の上部工の構造形式別に、それぞれの構造的特徴や各部材の特徴などに十分に留意し、さらに下部工の構造的特徴や周辺地盤の状況などにも十分に留意し、適切な点検範囲や点検作業の方法（調査方法・診断方法）を選定しなければならない。

表 4-6 水管橋等（上部工）の構造形式に着目した点検の留意点

形式	構造形式例	点検の留意点	
パイプ ビーム 形式 (※1)	単純支持		<ul style="list-style-type: none"> • 主要な構造部材は水道管のみで構造が単純である。 • 施設全体を点検や巡視パトロールにより確認しやすく、変状に気づきやすい。 • 局所的な腐食の進展により脆性的な破損(安全性の著しい低下)は生じにくい。 • 内面の損傷(腐食)は軽微である場合が多い。 • 外面の損傷は、塗膜劣化による防食機能の低下や腐食であり、これらは遠望目視や漏水等により間接的に把握することができる。 • よって、主に水道管からの漏水状況を点検することにより、施設全体の安全性(耐荷性)も確認できると考えられる。 • これらの特徴と、パイプビーム形式は採用事例が多く、維持管理する数も多いことも踏まえ、より合理的かつ現実的な点検作業方針とすることが重要である。
	一端固定 一端自由支持		
	両端固定支持		
	連続支持		
	固定アーチ形式		
補剛 形式 (※2)	フランジ補剛形式		<ul style="list-style-type: none"> • 水道管と補剛材が構造部材であるため複雑な構造となり、遠望からは死角となる部分が数多く存在する。また、死角となる部材接合部や隅角部等では腐食が生じやすい。 • 比較的規模の大きい場合に採用される形式であり、損傷箇所や落橋時の復旧工事も困難な場合が多い。 • 補剛材の腐食はパイプビーム形式のように漏水の状況では推測できない。 • 補剛材において腐食の進展しやすい溶接箇所が多い。 • 各部材がそれぞれ構造物の安全性(耐荷性)において重要な部材であり、損傷すると構造全体のバランスへの影響が大きいことから、すべての部材・部位において損傷の状況を把握する必要がある。 • 特に吊材等の常時引張荷重が作用する部材では、局所的な腐食による損傷であっても水管橋の安全性を急激(脆性的)に損なうおそれがある。
	トラス補剛形式		
	ランガー補剛形式 ローゼ補剛形式		
	ニールセンローゼ補剛形式		
	斜張橋形式		
橋梁 添架管 (※3)	一定規模以上の橋梁に添架されたもの		<ul style="list-style-type: none"> • 水道管と支持部材が構造部材となる。特に支持部材の接合ボルトやアンカーボルトの腐食や緩み、支持部材の腐食等により施設の安全性(耐荷性)が低下するおそれがある。 • 橋梁に添架されているため死角になる部分が多く、遠望からは十分な点検が行えない。 • 点検には道路管理者や河川管理者等との協議や調整が必要である場合が多い。
	桁橋等の小規模な橋梁に添架されたもの	—	

※1: 3.1.1 パイプビーム形式 の特徴と点検のポイントを参照

※2: 3.1.2 補剛形式 の特徴と点検のポイントを参照

※3: 3.1.3 橋梁添架管 の特徴と点検のポイントを参照

表 4-7 水管橋等（下部工）の構造的特徴や性能低下要因に応じた点検の留意点

種別	構造	性能低下要因	点検の留意点
橋台	無筋 (※)	・鉄筋腐食 (中性化・塩害等)	・ひび割れ防止鉄筋の腐食が確認された場合でも、直接的な性能低下は生じない。
		・劣化要因 (初期欠陥、ASR、凍害等)	・強度や剛性低下により性能が低下するおそれがある。 ・初期欠陥部から局部的に劣化がすすむおそれがある。 ・ただし、初期点検時などに劣化がない場合は今後も急激に劣化が進む可能性は小さい。
		・外的要因による変状 (沈下、傾斜、移動)	・変状が進展すると構造系のバランスが崩れ、落橋や部材の破損に至るおそれがある。
	RC	鉄筋腐食 (中性化・塩害等)	・経年劣化により鉄筋腐食が進むおそれがあり、構造規模により曲げ引張応力が発生する場合には、安全性が低下する。
		・劣化要因 (初期欠陥、ASR、凍害等)	・強度や剛性低下により性能が低下するおそれがある。 ・初期欠陥部から局部的に劣化がすすむおそれがある。 ・ただし、初期点検時などに劣化がない場合は今後も急激に劣化が進む可能性は小さい。
		・外的要因による変状 (沈下、傾斜、移動)	・変状が進展すると構造系のバランスが崩れ、落橋や部材の破損に至るおそれがある。
橋脚	RC	鉄筋腐食 (中性化・塩害等)	・経年劣化により鉄筋腐食が進むおそれがあり、構造規模により曲げ引張応力が発生する場合には、安全性が低下する。
		・劣化要因 (初期欠陥、ASR、凍害等)	・強度や剛性低下により性能が低下するおそれがある。 ・初期欠陥部から局部的に劣化がすすむおそれがある。 ・ただし、初期点検時などに劣化がない場合は今後も急激に劣化が進む可能性は小さい。
		・外的要因による変状 (沈下、傾斜、移動)	・変状が進展すると構造系のバランスが崩れ、落橋や部材の破損に至るおそれがある。

(※) 無筋構造物にはひび割れ防止筋が配置されたもの(構造上必要な鉄筋が配置されていないもの)も含む。

(2) 点検の留意点 (弱点部)

水管橋等において、腐食や劣化が生じやすい弱点部となる部材や部位等を表 4-8 に示す。

これまでの水管橋等における事故事例や、腐食や劣化のメカニズムなどから、表 4-8 に示す部材や部位では、特に腐食や劣化が進展しやすいと考えられる。

このようなことから、点検にあたっては、これらの腐食や劣化が生じやすい弱点部などを踏まえ、適切な点検範囲や点検作業の方法（調査方法・診断方法）を選定するとともに、点検を入念に実施しなければならない。

表 4-8 腐食や劣化の進展しやすい弱点部

部材・部位	形式	腐食や劣化の特徴
支承部(※1) 伸縮可とう管(※2)	全形式	・これらの鋼部材はボルト部なども含めて、塵埃の堆積(洗い流されにくい)や雨水の滞留、及び防食塗装の局部的劣化などにより腐食が進展しやすい。(※3)
支持金物	橋梁添架管	・支承部や固定金具設置部のコンクリートはひび割れが多くみられる傾向があり、劣化の進展や欠損しやすい。 ・構造系を支持する機能が失われると、急激に水管橋等全体のバランスを失う恐れがある。(※4)
空気弁部(※5)	全形式	・漏水が生じやすく、それに伴い空気弁周辺の鋼部材の腐食もしやすい。
溶接部(※6)	補剛形式	・表面が凸状になり防食塗装の損傷・劣化が生じている事例が多い。 ・施工年度が古い施設(例えば1970年以前施工)では、溶接施工技術の要因により強度不足となっている事例がある。 ・著しい腐食に進展した場合、部材の亀裂・破断等により水管橋等が脆性的に破損するおそれがある。(※4)
その他	全形式	・凹凸部、段差部、滞水箇所、スケール滞留箇所(塵埃、鳥糞等)、塗装不具合箇所(狭隙部、凸部、塗重ね部等)などでは局部的な腐食であっても部材破断等の損傷が生じるおそれがある。 ・上記について特に補剛材で損傷が生じた場合、構造系のバランスが崩れ、連鎖的に水管橋等全体が崩落した事例がある。(※4)

※1：3.2.2 支承 等を参照

※2：3.2.3 伸縮可とう管 等を参照

※3：2章第1節 水管橋等の腐食メカニズム 等を参照

※4：2.1.3 評価のポイント(腐食)、3.1.2 補剛形式、3.1.3 橋梁添架管、7.1.1 水管橋等の被害事例 等を参照

※5：3.2.1 空気弁、7.1.1 水管橋等の被害事例(六十谷水管橋) 等を参照

※6：3.3.1 鋼管溶接部の問題点 等を参照

表 4-8 に示すような部材や部位のうち、構造的に特に重要な箇所については、腐食や劣化が生じることで過去に水管橋等の落橋や被害が生じた原因となったものもある。

これらの弱点部のうち、構造的に特に重要な個所の基本調査にあたっては、重大な腐食箇所や性能の低下傾向を見落とさないことなどを目的として、近接目視を基本とし、必要に応じて触診・打音などにより行う。そして、基本調査の結果のみでは、危険側の診断を行う可能性がある場合などは、詳細調査を行いきるだけ正確な診断を行うものとする。

4節 点検作業

- 点検作業は、現地調査などを行い、その結果をもとに診断を行うものであり、調査は基本調査を基本とするが、診断に必要な情報が得られない場合は、詳細調査を行うものとする。
- 基本調査とは目視調査や触診、打音調査などの調査
- 詳細調査とは変状が確認されるものの、その程度や施設の性能に与える影響などが判らないなど、診断を実施すべき適切な情報が得られない場合に実施する追加調査

点検作業は、主に現地での調査を行い、その結果をもとに診断を行うものである。そのため、調査では、診断に必要な情報を得ることを目的として、まず目視調査や触診・打音調査を主体とする基本調査を行い、基本調査では診断に必要な情報が得られない場合は、詳細調査を行うものとする。

4.4.1 調査

(1) 基本調査

- 基本調査は、損傷・劣化の有無（又はその疑い）、状況などについて、主に定性的に把握するものである。
- 基本調査は、目視調査を基本として、必要に応じて触診・打音調査を行うものである。
- 基本調査は、性能低下の程度に応じてその状況を適切に診断できる方法を適用するのが望ましい。

基本調査は、損傷・劣化の有無、又はその疑い、さらに損傷・劣化の状況などについて、主に目視などにより定性的に把握するものである。そのため、損傷・劣化の状況やメカニズム、要因などを把握できない場合があり、その場合は必要に応じて詳細調査によりそれを明らかにする。基本調査の方法は、目視又は目視と同等以上の状況把握が可能な方法（高精度カメラによる画像確認など）を基本とし、必要に応じて触診、打音調査を行うものである。また、基本調査の方法は、点検項目の性能診断が適切に実施できる調査方法を施設毎に設定することとし、性能低下の程度に応じてその状況を適切に診断できる方法を適用するのが望ましい。そのためには、それぞれの施設について、構造的な特徴や設置環境（飛来塩分の影響や水及びスケールの堆積箇所等の劣化要因、目視可能範囲等の作業性等）を整理し、それらに応じた適切な調査方法を適用することが望ましい。

基本調査の方法について、表 4-9、表 4-10 に示す。基本調査の方法は目視調査によることを基本とし、診断に必要な情報が得られるのであれば、例えば遠方目視調査でも良い。ただし、点検対象（範囲）や点検項目、及び劣化状況などによっては遠方目視調査のみでは正確な診断が難しい場合がある。その場合には近接目視により劣化状況を確認し、必要に応じて触診・打音調査を行う。それでも診断が難しい場合には、詳細調査を行うものとする。なお、構造的に重要な補剛部材や支持金具については、腐食等により安全性（耐荷性）が損なわれていないか、近接目視又は近接目視と同等の状態把握ができる調査方法によることを基本とする。第 7 章に示す和歌山市六十谷水管橋の崩落事例においても、崩落の直接的な要因となった吊材の破断については、破断部の近接目視や触診・打音調査などを十分に実施しておれば、崩落を回避できた可能性が高いと

考えられる。そのため、基本調査において、甚大な事故を招く可能性のある損傷・劣化の有無や状況を見落とさないことが重要である。そのためには、近接目視を実施し必要に応じて触診・打音調査を行うことが有効である。主な点検項目における調査方法の具体的な事例については、表 4-9、表 4-10 に示す。

また、調査の目的や条件によっては、足場の設置や防凍工の撤去を伴う場合があるが、ドローンやロボットカメラといった新技術を活用することで効率的・効果的に調査を実施することが望ましい。

なお、上部工、下部工共に、すべての部材・部位を調査することが現実的に困難である場合において、建設時期や環境条件、材料、及び塗装条件等が同じであり、十分な科学的な根拠のもと劣化傾向が同等であるとみなせる場合には、代表的な調査箇所の調査結果より、施設全体の部材・部位の劣化傾向を推測する方法も適用できる。

表 4-9 基本調査の方法（上部工）

区分	点検項目	基本調査の方法
上部工	共通事項	・目視又は目視と同等以上の状態把握ができる方法によることとし、死角部など容易に目視調査が行えない場合には、ドローンやロボットカメラ、画像解析等の新技術を活用するのが望ましい。
	水道管や伸縮可とう管、空気弁からの漏水	・水道管からの漏水が確認できる目視調査を基本とし、使用性の点検で漏水状況を確認するとともに、管体の腐食による安全性の低下についても漏水の状況から間接的に評価しても良い。 ・漏水が確認された場合には、漏水箇所の状況を調査したうえで、適切な方法により修繕を行う。 ・防凍工が設置されている場合、防凍工表面からでも漏水が確認される場合には、水道管の腐食が疑われることから、防凍工を外して管体の確認を行う。
	水道管や補剛材などの腐食、亀裂、破断	・吊材などの構造的に重要な部材・部位において、腐食の進展が懸念される箇所(狭隘部、凸凹部、ボルト周辺部など)や、腐食の進展速度が著しく速い場合(高塩分環境など)、及びすでに腐食の進展が見られる場合は、近接目視調査を行う。 ・比較的著しい腐食の進展が見られる部材・部位については、腐食による鋼部材の強度低下などを間接的に把握することを目的とし、必要に応じて打音調査を行い、腐食深さや異常音などの確認を行う。 ・外面塗装などの防食機能が健全であっても、その下面の鋼材腐食が懸念される場合は、鋼材の膨れや脆弱化を確認することを目的として、触診・打音調査を行う。 ・3.3.1 鋼管溶接部の問題点に示すように、施工年代によっては、溶接技術の要因などにより、万全な溶接が行われていない場合があることから、溶接部の強度を間接的に確認するために、必要に応じて触診・打音調査を行い、溶接部の脆弱性や異常音などの確認を行う。 ・ボルトのゆるみや目視できない範囲のボルトの腐食状況を確認することを目的として、必要に応じて触診・打音調査を行う。
	支承部の機能障害	同上
	支持金物の腐食、亀裂、破断	同上
	鋼部材の防食機能の劣化	・上塗り材のみの変状の場合、防食機能は維持された状態とみなせるが、中塗り材に変状が及んでいる場合や、鋼材が露出するような場合には、鋼部材の腐食の進展が懸念されることから、これらの状況を詳しく把握する場合、必要に応じて、触診調査を行い、塗装材のふくれ、はがれ(凸凹)、変色、チョーキング、及び付着状況などを確認する。
	吊ケーブルの腐食や張力、定着部の損傷	・ケーブルの被覆材の防食機能の劣化やケーブルの腐食状況を目視にて確認する。 ・すでに腐食や変状が見られる場合は、近接目視調査を行う。 ・ケーブルに腐食等の損傷がなくても定着部の異常(ボルトのゆるみや定着具の変状・破損等)により構造物の安全性が損なわれる可能性があるため、これらの部分を重点的に点検する。

表 4-10 基本調査の方法（下部工）

区分	点検項目	基本調査の方法
下部工	共通事項	<ul style="list-style-type: none"> ・目視又は目視と同等以上の状態把握ができる方法によることとし、河川内にある場合など容易に目視調査が行えない場合には、ドローンやロープワーク、画像解析等の新技術を活用するのが望ましい。また、水中部については濁水期に調査を行う等、調査時期を検討する。 ・ひびわれの状況(幅や深さなど)やコンクリート表面の変状(錆汁や遊離石灰の発生など)を詳しく把握する場合など、必要に応じてクラックゲージによる簡易なひび割れ幅調査を行う。 ・コンクリートの脆弱化や剥落、及び浮きを確認する場合など、必要に応じて触診・打音調査を行う。
	ひび割れ 初期欠陥	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れには、乾燥収縮ひび割れや温度ひび割れなど初期欠陥や、経年劣化によるもの(ASR、鉄筋腐食による腐食ひび割れ等)があり、目視調査などによりこれらの発生原因を推定する。 ・ひび割れは、その原因によって特徴的な発生パターンとなることが多く、原因推定にあたっては他の基準類¹⁾などを参考にすると良い。なお、これにより推定が困難な場合は、必要に応じて詳細調査により原因を明らかにする。 ・初期欠陥は基本的に進展性のない変状であるが、欠陥部からの中性化や塩害などの経年劣化が進む可能性があるため、その大きさや変状の程度などの変化を経年的に追跡調査する。
	鉄筋腐食	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋コンクリート構造の躯体は、部材の性能を低下させる中性化や塩害による鉄筋腐食に着目し、主に構造物外面に顕在化する変状(腐食ひび割れ、錆汁、コンクリートの浮き・剥離、鉄筋露出等)について目視調査や、必要に応じて触診・打音調査を行う(無筋構造の場合は対象外)。 ・鉄筋腐食による変状がある場合には、詳細調査で中性化深さや塩化物イオン量などを測定して将来的な劣化予測を行うことや、はつり調査により鉄筋の腐食状態を確認する。
	ASR、凍害	<ul style="list-style-type: none"> ・他の基準類¹⁾を参考に、ASRによる特徴的なひび割れや凍害によるポップアウトなどの変状が生じているかを目視調査する。 ・ASRや凍害についてはコンクリート部材の耐荷力に直接影響する劣化であるが、外観変状のみでは性能低下の状態を診断することが難しい場合がある。これらによる変状がみられる場合には部材強度が低下している可能性があるため、詳細調査によりその影響を評価する。
	躯体全体の変位、変形、洗堀等	<ul style="list-style-type: none"> ・躯体全体は、各構造物の沈下や傾斜、移動など、施設全体の構造系バランスに影響する変状状況について目視調査や、必要に応じて水系やコンボックスによる簡便な測定調査を行う。 ・異常がある場合には詳細調査(測量、計測等)を行う。
	支承部の変状	<ul style="list-style-type: none"> ・支承部は沓座面のアンカーボルト周辺のコンクリートのひび割れや欠損、調整モルタルの変状など、支承の支持機能に影響する変状について目視にて調査する。必要に応じて触診・打音調査を行う。 ・沓座面は外から目視しにくい場所にあるため、必要に応じて点検ミラーなどの歩廊から点検できる器具を用いるか、転落防止措置(親綱、安全帯の使用等)を講じて調査することも検討する。

1) 「コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針 2022」(日本コンクリート工学会)

(2) 詳細調査

- 詳細調査は、損傷・劣化の程度、施設の性能に与える影響、及び原因やメカニズムなどについて、主に定量的な評価や精密な評価を行うための調査である。
- 詳細調査は、各種計測器具などを用いて調査・分析を行う。
- 詳細調査は、基本調査において診断に必要な情報が得られない場合に実施するほか、詳細データに基づく合理的な維持管理や点検を行うことを目的として実施する。
- 詳細調査は、劣化の状況や力学的状況などを踏まえて、確実に診断が行えるように適切な方法を選択する必要がある。

詳細調査は、基本調査では診断に必要な情報が得られない場合として、目視や触診・打音調査などでは損傷・劣化のメカニズム、要因などの把握（判定）ができない場合や、損傷・劣化の進展状況や施設性能への影響程度などを定量的に把握する場合に実施する。

詳細調査の方法は、器具などを使用し各種計測や分析などを行うことにより、基本調査と比べて、より精密な損傷・劣化状況の把握や、損傷・劣化の進展状況や耐荷力などの定量的な把握が行える方法を適用する。

詳細調査には、部材厚測定や塗装膜厚測定などの現地調査や、これらの結果を踏まえた構造解析などの室内調査がある。現地調査における主な詳細調査の内容を表 4-11 示す。

なお、これらの詳細調査を行う場合は、基本調査において診断に必要な情報が得られない場合であり、すなわち損傷・劣化が確認できる場合や、ある程度それらの進展が見られる場合と考えると、例えば、塗装などの防食機能の劣化を重点的に管理する点検の場合では、鋼部材の損傷・劣化が確認される機会が少なく、詳細調査を実施する機会も比較的少ないものと考えられる。特に、構造解析は、損傷・劣化の進展が著しく進展し、安全性の低下が生じている（又はその疑いがある）場合に実施するケースが多いと考えられる。ただし、損傷・劣化の進展速度が遅い場合や軽微な場合、及び損傷・劣化による施設性能への影響が小さい（又は安全余裕度が大きい）場合などは、損傷・劣化の進展状況を定量的に管理し、かつ定量的な予測を行うなど、科学的根拠のある管理を行う場合にも詳細調査は有効である。例えば、中大口径の水道管の管厚は比較的大きく、特殊な環境条件の場合を除き、また、溶接部を除き、一般には管体部は腐食による漏水は生じにくい。また、塩分の飛来量が少なく、雨がかりのあるコンクリートの中酸化速度は比較的低いことから、これらの特徴に着目した管理を行うことも有効である。それによって、各水管橋の損傷・劣化などの程度と性能への影響に応じたより合理的な管理が可能になり、安全性を確実に維持しつつ長期的な使用を実現することにも寄与することも考えられる。以上より、合理的な維持管理や点検を行うために詳細調査の実施を検討することが考えられる。

表 4-11 (1) 現地調査・室内調査における詳細調査の方法例 (上部工)

対象	損傷の種類等		調査方法の例
上部工	鋼部材	腐食	・超音波による板厚計測 ・腐食鋼板の表面形状計測 (レーザー変位計、画像計測等)
		亀裂	・磁粉探傷試験 ・超音波探傷試験 ・過流探傷試験 ・浸透探傷試験
		ゆるみ・脱落 (ボルト・ナット・リベット等)	・超音波探傷試験(F11T等) ・軸力計を使用した調査
		破断	・破断面観察(SEM分析等)
		防食機能の低下	・膜厚測定 ・付着性試験 ・インピーダンス測定
		その他	部材耐力 変形(局部・全体)
	支承	支承部の機能障害	・移動量測定
	吊ケーブル	腐食	・過流探傷試験 ・腐食測定(全磁束法による断面減少率測定等)
		張力	・張力測定(強制加振や常時微動による振動特性計測等)
		定着部の損傷	(鋼部材の損傷の場合と同様)
環境	振動	・振動測定	
	腐食性環境	・付着塩分量調査 ・腐食環境調査(鳥糞、スケール、化学作用等)	

表 4-11 (2) 現地調査・室内調査における詳細調査の方法例 (下部工)

対象	損傷の種類等		調査方法の例
下部工	コンクリート	ひび割れ	・中性化深さ測定
		剥離・鉄筋露出	・塩化物イオン含有量試験
		浮き	・はつり調査による鉄筋腐食度判定 ・自然電位測定
		ASR	・ASR 関連試験(膨張量試験、ゲル分析、岩種判定等)
		すりへり・脆弱化	・EPMA 分析 ・ビッカース硬さ試験
		凍害	・はつり調査や反発度法による凍害深さ測定
		その他	圧縮強度 ヤング係数
	環境	腐食性環境	・付着塩分量調査
		侵食性環境	・流速測定
	外的要因による変状	沈下・傾斜・移動	・測量、測定
地盤変状、洗堀		・測量、測定 ・潜水調査等	

4.4.2 診断方法

(1) 診断方法

- 診断方法は、それぞれの施設の重要度や維持管理の方針（耐用年数、要求性能など）、及び維持管理のトータルコスト（腐食防止費用、点検作業費用、更新費用など）を踏まえて各性能を適切、かつ合理的に診断できる方法を適用するのが基本である。
- 診断方法は、劣化の進展状態や性能低下の状態を適切に見極めることができる方法（定性的評価、定量的評価）を適用することが基本である。
- 診断方法は、できるだけ合理的な診断を行うために、各施設において劣化の状態に応じた方法を適用するとともに、各施設において劣化状況として維持管理限界を個別に検討するのが望ましい。

診断にあたっては、腐食や劣化の進展などから性能の低下などを定性的に評価する方法などにより、施設ごとに修繕を必要とする性能低下の状態を適切に見極め、できるだけ正確な診断を行う必要がある。そして、腐食や劣化の進展が確認される場合の構造的な安全性（耐荷性）の診断では、できるだけ定量的な評価を行い、安全性を詳しく確認するのが望ましい。

水管橋等は地中埋設管のように点検が困難な場合とは異なり、例えば、腐食が生じる前段階の塗装などの防食機能の低下に関する点検が行われ、多くの場合で著しい劣化が顕著になるまで放置されているケースは少ない。そのため、点検作業における診断では、腐食や劣化が見られない、又は局部的であるため構造計算などの定量的な評価による診断を必要とするケースは稀と考えられる。ただし、構造形式によっては、局部的な腐食であっても、腐食している部材や箇所によっては構造系全体の安全性（耐荷性）に与える影響が大きい場合があるため、それらの重要な部材の性能低下を見落とすことのないよう、部材や部位ごとに診断することが基本である。

これらを踏まえ、各施設の診断では性能低下の状況を適切に評価できる診断方法を適用するのが望ましい。診断方法では、それぞれの施設の構造的な特徴や設置環境（飛来塩分の影響や水及びスケールの堆積箇所等の劣化要因、目視可能範囲等の作業性等）を整理し、それらに応じた方法を適用する。

表 4-4、表 4-5 に示す各点検項目における診断の方法について、表 4-12、表 4-13 に示す。なお、これらの診断方法に共通し、修繕実施の判断（維持管理限界）の状態は、施設の重要度や部材によってはある程度性能低下を許容できる場合もあるため、総合的に判断することが望ましい。

なお、これらの診断方法は、各部材・各部位を対象とすることが基本であるが、他の基準類には、施設全体の劣化状況を定量的に点数評価するものもある。これらの方法は、管理する施設の修繕優先度を相対的に検討する場合に有効な方法である。ただし、最終的に施設のある範囲の劣化状況などを平準化した点数をもとに診断を行うものであり、腐食や劣化しやすい弱点部や大きな断面力が作用する部材など構造系全体の安全性に関わる局部的な劣化を過小評価するおそれがあることに注意が必要である。

表 4-12 診断方法（上部工）

区分	点検項目	診断方法
上部工	水道管や伸縮可とう管、空気弁からの漏水	・水道管は、漏水の有無により診断を行う。
	補剛材の腐食、亀裂、破断	・補剛材は、主に腐食や亀裂、破断などの損傷に対して安全性の診断を行い、各部材や部位の必要な強度を確保できているかを確認する。
	支承部の機能障害	・支承部は、主に腐食やボルトの状態に対して安全性の診断を行い、各部材・部位の必要な強度を確保できているかを確認する。このほか、支承部の機能障害についても診断を行うが、この場合は道路橋などの点検要領 ¹⁾ などを参考にすると良い。 ・支承部は支持機能(下部工との荷重伝達)も有するため、アンカー材の腐食や下部工との定着(固定)状態についても下部工の劣化状態も含めて総合的な診断を行う。
	支持金物の腐食、亀裂、破断	・支持金物は、主に腐食やボルトのゆるみ等に対して安全性の診断を行い、各部材や部位の必要な強度を確保できているかを確認する。 ・支持金物は支持機能(下部工との荷重伝達)も有するため、アンカー材の腐食や下部工との定着(固定)状態についても下部工の劣化状態も含めて総合的な診断を行う。
	水道管や鋼部材の防食機能の劣化	・塗装の診断については劣化進展を上塗りや中塗りの状態などを診断する方法があるほか、外面塗装の診断基準 ²⁾ などを参考にすると良い。
	吊ケーブルの腐食や張力、定着部の損傷	・吊ケーブルは、主にケーブルの腐食や張力測定結果等をもとに安全性の診断を行い、必要な強度を確保できているかを確認するほか、定着部の状態による荷重伝達機能とあわせて診断する。 ・ケーブルの防食機能の劣化については、使用材料に応じた各メーカーの防食システムの点検要領等を参考にすると良い。

1) 「橋梁定期点検要領」, 平成 31 年 3 月, 国土交通省

2) 「露出鋼管(水管橋等)～外面塗装劣化診断評価の手引き～」, 平成 25 年 3 月, (公社)日本水道協会、WSP 日本水道鋼管協会

表 4-13 診断方法（下部工）

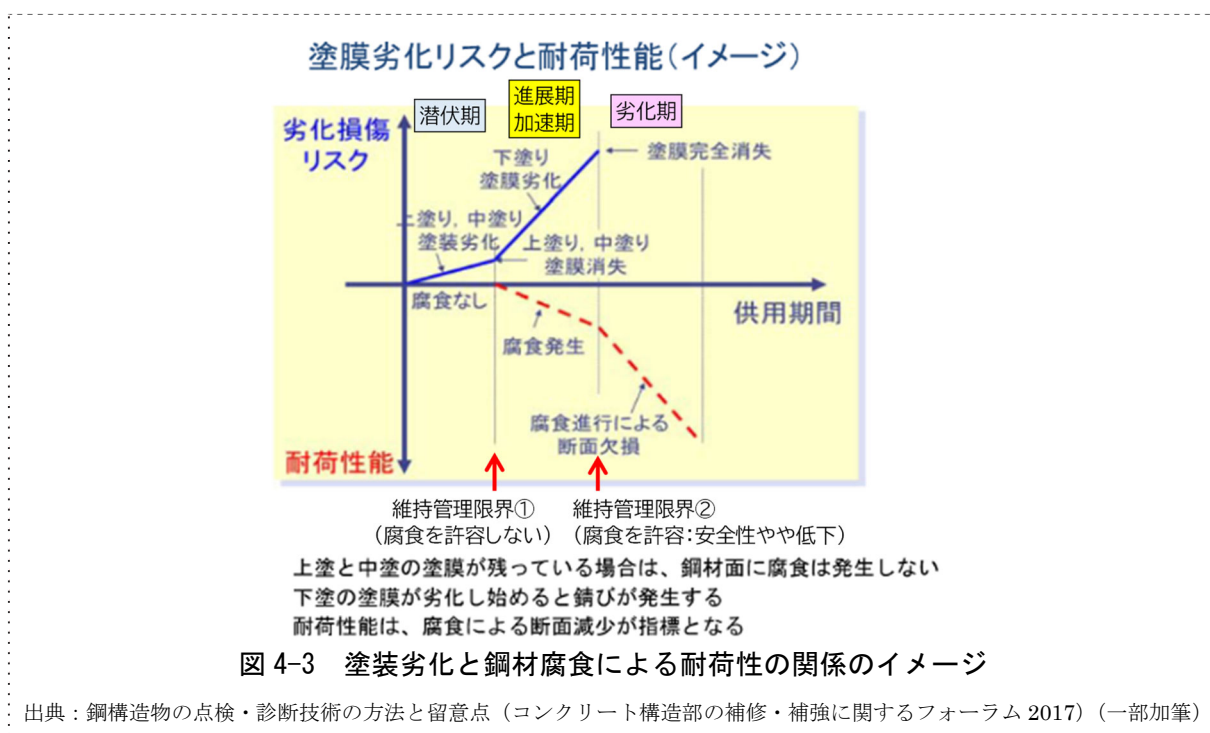
区分	点検項目	診断方法
下部工	共通事項	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート構造物の診断は、水道施設のガイドライン³⁾のコンクリート構造物に準拠して行う。 ・無筋構造の躯体は ASR や凍害などによるコンクリート強度の低下の有無について診断し、鉄筋コンクリート構造物は、これらに加えて経年劣化による鉄筋腐食や断面減少による部材耐力の低下について診断する。また、河川内にある場合には流水でのすりへりによる部材厚さの減少についても診断する。 ・劣化の進展により部材強度の不足や支承機能の低下が懸念される場合には、必要強度の検証や構造解析等を実施して安全性を定量的に診断することが望ましい。
	ひび割れ 初期欠陥	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れの原因を推定し、外的作用(荷重)の影響や経年劣化のように進展性のあるものかを判定する。進展性がある場合には詳細調査の結果などを基に劣化予測を行い、構造物の性能に及ぼす影響を診断する。
	鉄筋腐食	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋断面の減少による引張力の低下や、かぶりコンクリートの剥落等による部材断面の減少に着目して診断を行う。 ・中性化や塩害による鉄筋腐食が生じている場合は、詳細調査により取得したデータ(劣化深さ等)により劣化予測を行い、修繕の必要性などを判定する。
	ASR、凍害	<ul style="list-style-type: none"> ・これらの劣化がみられる場合には、詳細調査によるデータをもとに部材強度の低下や材料品質の低下の有無を診断し、修繕の必要性などを判定する。
	躯体全体の変位、変形、洗掘等	<ul style="list-style-type: none"> ・躯体全体は、各構造物の沈下や傾斜、移動など、水管橋全体の構造系バランスに影響する変状が及ぼす構造的な安全性(全体)について診断する。

3) 「水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドライン」, 令和元年 9 月, 厚生労働省

(2) 劣化グレード判定法を用いた診断の基本的な考え方（評価方法）

科学的な根拠に基づく定性的・定量的診断方法として、グレード（状態）判定法を用いた診断方法がある。ここでは、この方法の考え方と標準について示す。水管橋等の点検にあたっては、この方法を必ず適用する必要はないが、科学的根拠に基づいたより合理的な診断を行う上では有効の考え方であり、特に重要度の高い施設や規模の大きい施設、及び腐食が進展しやすい施設などを中心に適用するのが望ましい。

グレード判定法では、図 4-3 に示すように、まず、塗装劣化の例に示す劣化の進展と性能低下の関係に着目し、劣化状態の程度を潜伏期、進展期、加速期、劣化期に区分する。また、これらの劣化状態の程度において、維持管理限界をあらかじめ設定する。診断においては、劣化の状態によって、最適な調査方法や診断方法を適用し性能を評価する。そして、設定した維持管理限界との関係により、維持管理限界を超過した場合には対策実施の判断を行う。なお、診断は、各径間毎、部材・部位毎に評価することを基本とする。



【維持管理限界】

維持管理限界の設定にあたっては、施設の特徴（耐用年数、点検条件など）や維持管理体制、及びトータルコスト（維持管理点検費用＋劣化予防費用＋補修費用）などを考慮し、維持管理者が設定できるものとする。例えば上部工や下部工では、表 4-14 のような維持管理限界が考えられる。

また、下部工では、劣化による性能低下以外にも構造物の沈下や傾斜、移動、地盤変状や洗堀などの外的要因に起因するような変状についても評価の対象とすることから、これらの変状がみられる場合には、別途、構造解析等により性能限界を設定し、維持管理限界を定める必要がある。

表 4-14 維持管理限界とする劣化の設定例

区分	維持管理限界
上部工	① 防食塗装の劣化は確認されるが、それによる鋼材腐食を許容しない段階
	② 鋼材腐食をある程度許容し、点検作業(詳細調査など)により詳細に安全性を確認する段階
下部工	① 鉄筋腐食をある程度許容し、点検作業(詳細調査など)により詳細に安全性を確認する段階
	② 性能低下につながる鉄筋腐食や劣化の進展をある程度許容し、点検作業(詳細調査など)により詳細に性能を確認する段階

なお、水管橋の上部工の維持管理においては、防食機能の点検が中心に行われ、維持管理限界グレードを表 4-14 に示す維持管理限界グレード①としている部材・部位の範囲が多いと考える。ただし、表 4-8 に示すような腐食しやすい箇所では、局部的ではあるが、鋼材腐食が進展し、表 4-14 に示す維持管理限界グレード②のように、それをある程度許容するケースも稀ではない。この劣化グレード判定表のように、劣化の状態に応じ部材・部位によって、適切に維持管理限界グレードを設定し点検を行うことは、施設の安全性を確実に確保するだけでなく、施設の長寿命化につながる合理的な点検方法として有効であると考えられる。

【劣化グレード表の設定】

診断を行うにあたり、表 4-15 の劣化グレード判定表の基本的事項に示すように、あらかじめ劣化グレード判定表を設定する。各グレードによって劣化進展の速度や性能低下の量、及び維持管理限界までの余裕度も異なることから、それぞれのグレードに応じて点検作業の方法(調査方法、診断方法)や点検頻度などを設定しておく。

表 4-15 劣化グレード判定表の基本的事項

グレード	劣化過程	段階区分	性能評価	調査方法	診断方法	点検頻度の目安	維持管理限界
I	潜伏期	健全	性能に支障が生じていない状態	基本調査	定性的評価 ※腐食の発生や劣化の進展などの変状状況の評価	5年	(劣化を許容しない) ▽ 維持管理限界①
II		予防保全措置段階	性能に支障は生じていないが、予防保全の観点から措置を講じることが望ましい状態				
III	進展期 加速期	早期措置段階	性能に支障が生じる可能性がある、または、生じていても軽度な状態であり、早期に措置を講ずべき状態。部分的な補修等で対応できる。	詳細調査	定量的評価 ※部材厚の減少量の測定等や構造計算による耐荷力などの評価	※損傷部位や損傷状況、グレード進展の有無等により判断	(劣化リスクを管理) ▽ 維持管理限界②
IV	劣化期	緊急措置段階	性能に支障が生じている、また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	※早期に対応・修繕検討			※維持管理限界を超過

※ 劣化グレードの判定は径間毎、部位・部材毎に評価する。

表 4-15 に示すように、主に劣化の進展が比較的進んでいない劣化グレードⅠやⅡにおいては、劣化症状が見られず（又は軽微）、性能低下が生じていない状態であり、目視調査を主体とする基本調査により劣化の状態などを調査し、定性的な診断方法として、変状の有無や程度によりグレードを診断できる場合が多い。また、グレードⅢやⅣにおいては、劣化の状態が進み性能低下が生じている状態であるため、定量的な診断方法として、部材厚の測定などの詳細調査と、構造解析などの定量評価によりグレードを診断する場合が多いと考えられる。

上部工のグレード判定の対象項目は、鋼材の腐食、亀裂、破断、支承部の機能障害、ボルトなどのゆるみ・脱落、及び防食機能の劣化などを標準とする。基本的にはこれら全ての項目を対象とするが、例えば、維持管理限界を塗装の劣化開始点とする場合は、維持管理者の判断で防食機能の劣化までとしても良い。グレード判定の対象項目ごとの判定表の例を表 4-16 に示す。なお、これらの上部工のグレード判定の方法については、例えば、「橋梁定期点検要領」（平成 31 年 3 月、国土交通省）の損傷程度の評価区分などの他のマニュアルを参考にしても良い。

下部工のグレード判定の対象項目は、コンクリートのひび割れや浮き・剥離・鉄筋露出などの外観変状や、中性化、塩害、ASR、すりへり（流水範囲）、凍害などの経年劣化など、水管橋等の性能低下につながるコンクリート構造物の劣化に関するあらゆるものや、構造物の沈下や傾斜、移動などを対象とする。なお、これらコンクリート構造物のグレード判定については、「水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドライン」（令和 5 年 3 月、厚生労働省）のコンクリート構造物の診断と評価でも引用している「コンクリート標準示方書 維持管理編 2018 年制定」（土木学会）による。

なお、上部工、及び下部工のグレード判定の対象部材・部位については、各水管橋等の形式に応じて、「管路維持管理マニュアル作成の手引き」（水道技術研究センター）などを参考にできるだけ細かく設定するのが望ましい。また、水管橋等の形式を勘案した具体の評価マニュアルを作成し、マニュアルに基づく点検を実施するのが望ましい。

表 4-16 (1) 劣化グレード判定表 (例) 【腐食】

グレード	一般性状	調査方法	診断方法	対応・措置	点検頻度 (目安)
I	・腐食なし(健全)。	基本調査	定性的評価 ※ 腐食状況 (有無や特徴など)の 評価	・経過観察(次回点検)	5年
II	・腐食程度が表面的又は軽度。 ・鋼材板厚減少なし。 ・ただし、性能(安全性)は低下して いないことが確認できる。			・予防保全措置(塗装更新)	
III	・顕著な腐食がみられ(局所的な場 合を含む)、性能低下が生じてい る。 ・鋼材板厚減少あり。 ・ただし、定量的に性能(安全性)が 維持できていることを確認でき る。	詳細調査	定量的評価 ※ 部材厚の 減少量測定 等や構造計 算による耐 荷力等の評 価	・詳細調査実施 ・早期措置(補修、塗装更新等) ・必要に応じて詳細調査結果に より構造計算等による評価実 施	(※)
IV	・腐食により主部材に著しい板厚 減少や断面欠損、部材破断等がみ られる。 ・定量的に安全性(耐荷性)が維持 できていないことが確認できる。	※対応・修繕検討		・緊急措置(バックアップ機能の 確保、第三者災害防止等) ・監視強化 ・抜本的な補強対策または更新 工事の検討、実施	—
【詳細調査の方法例】 ・環境調査 ・板厚測定 ・塗膜厚測定 ・腐食面積測定					

※ 点検頻度は、劣化グレード、点検条件、防食対策の有無等により適宜設定

表 4-16 (2) 劣化グレード判定表 (例) 【亀裂】

グレード	一般性状	調査方法	診断方法	対応・措置	点検頻度 (目安)
I	・亀裂なし(健全)	基本調査	定性的評価 ※ 亀裂状況 (有無や特徴など)の 評価	・経過観察(次回点検)	5年
II	・主部材以外に局所的な亀裂あり。 ・主部材に進展するおそれのない 位置に発生した亀裂がある。 ・ただし、性能(安全性)は低下して いないことが確認できる。			・予防保全措置(補修・補強等)	
III	・主部材に局所的な亀裂がある。 ・主部材に進展するおそれがある 亀裂がある。 ・ただし、定量的に性能(安全性)が 維持できていることを確認でき る。	詳細調査	定量的評価 ※ 部材の欠 損量測定等 や構造計 算による耐 荷力等の評 価	・詳細調査実施 ・早期措置(補修・補強等) ・必要に応じて詳細調査結果に より構造計算等による評価実 施	(※)
IV	・主部材(特に引張力が作用する部 材)に亀裂がみられ、部材破断に 至るおそれがある。 ・定量的に安全性(耐荷性)が維持 できていないことが確認できる。	※対応・修繕検討		・緊急措置(バックアップ機能の 確保、第三者災害防止等) ・監視強化 ・抜本的な補強対策または更新 工事の検討、実施	—
【詳細調査の方法例】 ・亀裂原因調査(荷重、耐力等) ・非破壊検査 ・塗膜撤去による直接目視調査					

※ 点検頻度は、劣化グレード、点検条件、防食対策の有無等により適宜設定

表 4-16 (3) 劣化グレード判定表 (例) 【破断】

グレード	一般性状	調査方法	診断方法	対応・措置	点検頻度 (目安)
I	・破断なし(健全)	基本調査	定性的評価 ※破断状況(有無や特徴など)の評価	・経過観察(次回点検)	5年
II	※部材の破断は主部材以外であっても地震時等の性能低下等の構造物の安全性(耐荷性)に直結する損傷であるため、破断が確認された場合には損傷グレードⅢ以上として判定する(ただし、明らかに構造物の安全性に影響しない部材、部位の破断は除く)。				
III	・主部材やその他の部材に局所的な破断が生じている。 ・ただし、定量的に性能(安全性)が維持できていることを確認できる。	詳細調査	定量的評価 ※構造計算による耐荷力等の評価	・詳細調査実施 ・早期措置(補修・補強等) ・必要に応じて詳細調査結果により構造計算等による評価実施	(※)
IV	・構造上の重要な部材(吊材、アーチ材等)に破断がみられる。 ・急激に構造物の安全性(耐荷性)が失われるおそれがある箇所に破断が生じている。 ・定量的に安全性(耐荷性)が維持できていないことが確認できる。	※対応・修繕検討		・緊急措置(バックアップ機能の確保、第三者災害防止等) ・監視強化 ・抜本的な補強対策または更新工事の検討、実施	—
【詳細調査の方法例】 ・破断原因調査(荷重、耐力等) ・非破壊検査 ・塗膜除去による直接目視調査					

※ 点検頻度は、劣化グレード、点検条件、防食対策の有無等により適宜設定

表 4-16 (4) 劣化グレード判定表 (例) 【支承の機能障害】

グレード	一般性状	調査方法	診断方法	対応・措置	点検頻度 (目安)
I	・支承部に損傷なし(健全)。	基本調査	定性的評価	・経過観察(次回点検)	5年
II	・支承に軽度の腐食や塗装劣化等の損傷がみられる。 ・支承機能の低下なし。		※支承部の劣化状況(有無や特徴など)の評価	・予防保全措置(補修・補強、塗装更新等)	5年
III	・支承全体の腐食や板厚減少、亀裂、ボルト破断等がみられる。 ・ただし、定量的に性能(安全性)が維持できていることを確認できる。 ・地震等の大きな外力作用時に支承機能を満足できない状態	詳細調査	定量的評価 ※支承移動量、部材厚減少量測定等や構造計算による耐荷力等の評価	・詳細調査実施 ・早期措置(補修・補強等) ・必要に応じて詳細調査結果により構造計算等による評価実施	(※)
IV	・支承部の著しい腐食や断面欠損等の損傷がみられる。(経年劣化) ・支承部の桁等の脱落や沈下、傾斜がみられ、支持機能が低下している(外力の作用等) ・その他、支承部の機能が著しく低下していると判断される損傷がみられる ・定量的に安全性(耐荷性)が維持できていないことが確認できる。	※対応・修繕検討		・緊急措置(バックアップ機能の確保、第三者災害防止等) ・監視強化 ・抜本的な補強対策または更新工事の検討、実施	—
【詳細調査の方法例】 ・損傷原因調査(荷重、耐力等) ・環境調査 ・板厚測定 ・塗膜厚測定 ・腐食面積測定					

※ 点検頻度は、劣化グレード、点検条件、防食対策の有無等により適宜設定

表 4-16 (5) 劣化グレード判定表 (例)【ゆるみ・脱落】

グレード	一般性状	調査方法	診断方法	対応・措置	点検頻度 (目安)
I	・ゆるみや脱落なし(健全)	基本調査	定性的評価	・経過観察(次回点検)	5年
II	・継手部や連結部等でボルトのゆるみや抜け落等がみられる(1箇所あたり数本程度)。 ・接合部の耐力低下はほとんどないと判断される状態。			※ボルトの劣化状況(有無や特徴など)の評価	・予防保全措置(補修等)
III	・継手部や連結部に一定の割合でボルトのゆるみや脱落がみられる。 ・接合部の耐力低下に影響があると判断される状態。 ・ただし、定量的に性能(安全性)が維持できていることを確認できる。	詳細調査	定量的評価 ※全数調査、内部損傷調査等や構造計算による耐力等の評価	・詳細調査実施 ・早期措置(補修・補強等) ・必要に応じて詳細調査結果により構造計算等による評価実施	(※)
IV	・継手部や連結部の多くのボルトにゆるみ、脱落が生じている ・接合部の耐力低下によって構造物の安全性(耐荷性)が限界を超えていることを確認できる。	※対応・修繕検討		・緊急措置(バックアップ機能の確保、第三者災害防止等) ・監視強化 ・抜本的な補強対策または更新工事の検討、実施	—
【詳細調査の方法例】 ・損傷原因調査(荷重、振動、腐食等) ・損傷状況調査(全数調査、非破壊検査による内部損傷の有無等) ・塗膜除去による直接目視調査(遅れ破壊等によるボルト損傷)					

※ 点検頻度は、劣化グレード、点検条件、防食対策の有無等により適宜設定

表 4-16 (6) 劣化グレード判定表 (例)【防食機能の劣化(塗装)】

グレード	一般性状	調査方法	診断方法	対応・措置	点検頻度 (目安)
I	・塗装劣化はみられない(健全)	基本調査	定性的評価	・経過観察(次回点検)	5年
II	・最外縁の塗装(上塗り)に変色や局部的な浮きが生じている ・部分的に上塗り塗膜が剥離し、下塗りが露出している ・発錆はみられない			※塗装劣化状況(有無や特徴など)の評価	・予防保全措置(部分補修、塗装更新等)
III	・部分的に塗膜が剥離し、下塗りが露出している ・発錆はみられない	詳細調査	定量的評価 ※塗膜厚測定等による防食機能の評価	・詳細調査実施 ・早期措置(塗装更新等) ・必要に応じて詳細調査結果により構造計算等による評価実施	(※)
IV	・塗装の劣化範囲が広く、評価単位 の大半を占める ・点錆が発生している	※対応・修繕検討		・監視強化 ・塗装更新工事の実施	—
【詳細調査の方法例】 ・損傷原因調査(塗装仕様、下地処理方法、履歴、環境条件、耐用年数等) ・塗膜厚測定等					

※ 点検頻度は、劣化グレード、点検条件、防食対策の有無等により適宜設定

[注意] ・塗装の防食機能の劣化において、板厚減少を伴う錆の発生を「腐食」として扱い、板厚減少を伴わないとみなせる程度の錆の発生は「防食機能の劣化」として扱う。
・防食塗装は鋼部材に錆を発生させないものであるため、他の損傷とは異なり、錆が発生した段階を性能限界とする。

5 節 調査に係る新技術

- 施設の性能を正しく評価するためには、部材に近接して劣化の状態を確認することが必要となる場合があるため、作業条件により容易に近接できない部材や部位の調査には、最新調査技術を活用することも検討するのが望ましい。
- 今後も最新技術の研究開発が進むと考えられるため、これらの情報を入手し、必要に応じて積極的に調査に取り入れ、水管橋等の維持管理を確実に行うことが望ましい。

水管橋等の性能を点検作業で正しく評価するためには、部材・部位ごとに劣化の状態を近接目視により把握することが必要となる場合がある。

これらの部材に近接するためには、施設の規模に応じて作業足場や点検車両等を使用することが考えられるが、立地条件等によりこれにより難しい場合は、別途、点検用ドローンやロープアクセス技術等の最新調査技術の活用を検討することが望ましい。また、衛星 SAR を用いたリモートセンシングや振動数計測、さらに AI 技術を画像処理や計測データ処理に用いる技術や、これらを組み合わせて遠隔操作で水管橋等の崩落前の異常な変位等を監視する技術なども研究されており、今後デジタル原則を踏まえた新たな点検や維持管理技術の開発が望まれる。

近年、いくつかの水道事業者等では、すでにドローン等を活用した調査技術による実証実験が行われており、これらの新技術を活用した調査により維持管理を適切に行うことが期待される。

また、遠隔による巡視や目視と同等以上の方法による点検にあたっては、水道施設を良好な状態に保てることを前提として、人による評価や判定の全部又は一部の代わりに AI 等の新技術を用いて、評価や判定の精緻化、自動化・無人化を行うことが期待できる。



(ドローン点検)



(ロボットカメラ点検)



(浮棧橋点検)



(ロープアクセス技術点検)

図 4-4 最新調査技術の例

出典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（本編）」（令和 4 年 11 月、和歌山市）より抜粋

第5章 修繕方法

- 点検作業による診断の結果、修繕の実施が必要と判断された場合には修繕を行う。
- 水管橋等の修繕では、腐食箇所、伸縮継手の修繕、塗替え塗装、橋台・橋脚部の修繕などにおいて、適切な方法を適用するものとする。

点検作業における診断の結果、維持管理限界を超える性能の状態（グレード）にあるものや、近い将来に性能限界を超えるおそれがあると想定されるもの、構造計算等により安全性が確認できないものについては、落橋などの災害や水道水の供給停止に至る前に修繕を講じ、被害を未然に防ぐ必要がある。

修繕の実施時期は、施設の延命化や安全性を確保する上でできるだけ早期に実施することが望ましい。ただし、性能低下の影響が大きい場合や、近い将来に落橋に至るおそれが高いと判断されるような施設である場合には、速やかに修繕を実施する必要がある。

水管橋等の修繕では、診断の結果を踏まえて、腐食箇所の修繕、伸縮継手の修繕、塗替え塗装、橋台・橋脚部の修繕などを行うものとする。以下に、それらの修繕における留意点を示す。

① 腐食箇所の修繕（図 5-1 参照）

鋼材の板厚減少や孔食などの著しい腐食がみられる箇所は、穴埋めによる補修や板溶接による部材補強を行う。板溶接による部材表面の段差に塵埃の堆積や水の滞留などが生じるおそれがある場合には、面取りを行う等、段差を適切に処理する。

腐食による部材破断などが生じている場合には、部材の交換や修繕に併せて腐食しにくい構造に改善するなどの対策を講じると良い。

② 伸縮継手の修繕

伸縮継手は、構造物及び機能上から分類すると、摺動形、波形、ゴム形等に分けられ、それぞれの形式の特徴を十分に踏まえて適切に修繕を行う。

また、伸縮継手のボルト部が腐食している場合には、ボルトを取り替える。

③ 漏水部の修繕（図 5-2 参照）

漏水箇所の補修については、クランプや板溶接などを用いて対応する。なお、漏水に伴う鋼材の腐食影響を考慮し、修繕範囲を検討する。

④ 塗替え塗装による修繕（図 5-3 参照）

水管橋等の外面は、結露しやすく、結露と乾燥が繰り返されるという過酷な条件下にある。塗装の耐用年数は、設置環境により異なるが、標準的な塗替え期間については、「水管橋外面防食基準（WSP 009-2010）」（日本水道鋼管協会）が参考となる。

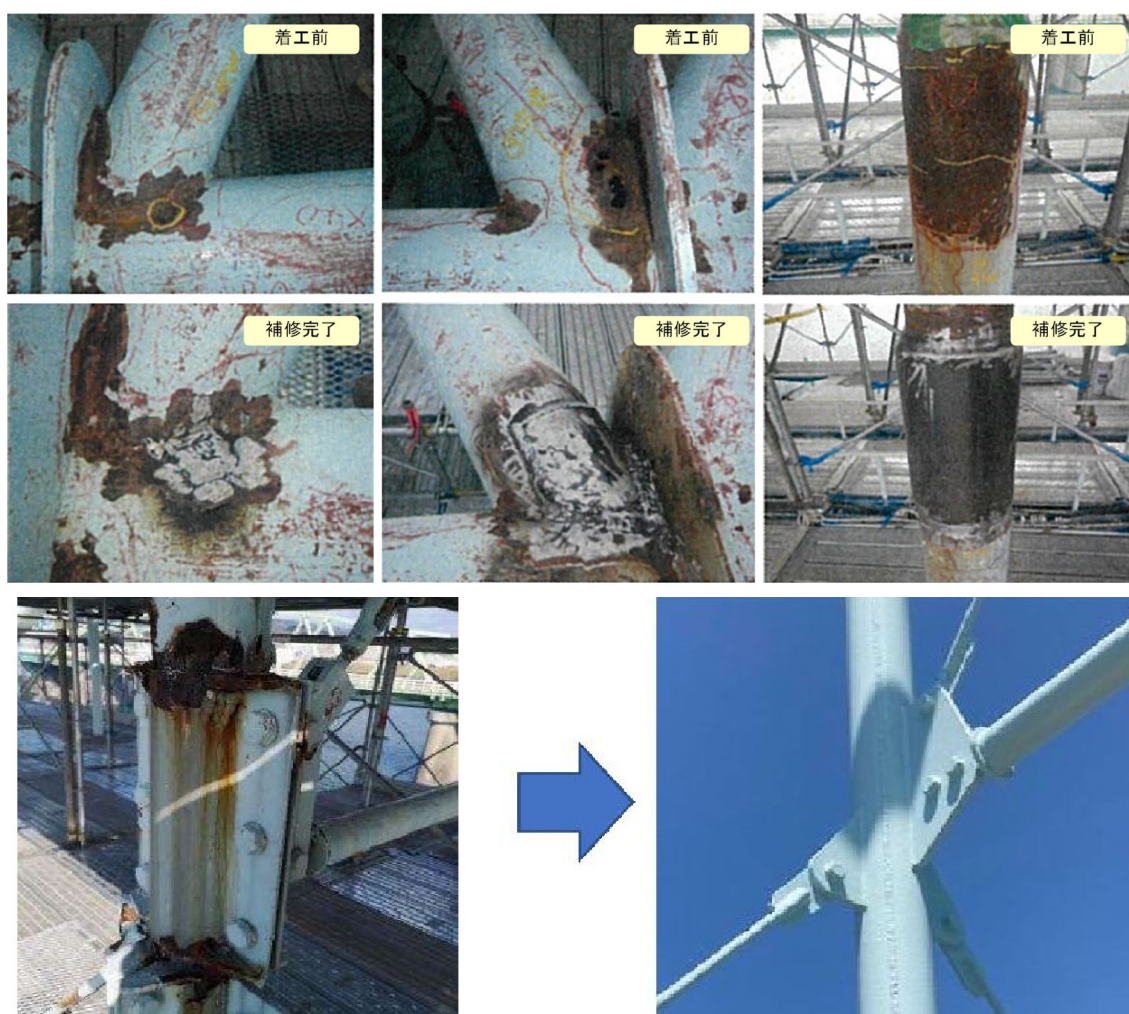
なお、塗装品質を確保するためには、塗替え時に旧塗膜の撤去や塗装面の下地処理（ケレン）を確実にを行うことが重要となる。また、下地処理を行った際に減肉箇所が発見された場合は、必要に応じて別途修繕を行う。

⑤ 橋台・橋脚部の修繕

橋台・橋脚部の修繕は、ガイドラインの「3.2 コンクリート構造物」に基づき実施する。橋台や橋脚のひび割れの発生、継目部の異常なずれなどが、明らかに不同沈下によるものと判明した場合は、荷重、基礎地盤の状態等を検討の上、沈下防止策を講じる。

橋台・橋脚の基礎が洗掘され危険な場合には、河川管理者と協議し、護岸、護床、根固め等の補強策を行う。

なお、これらの修繕にあたっては、点検作業で確認された劣化の種類や原因、劣化状態を考慮した上で適切な修繕方法を検討することが望ましい。例えば、腐食が見られる場合には、**図 5-1** に示すように、防食対策だけでなく腐食しやすい弱点箇所が少ない構造形状への改良も併せて検討するのが良い。また、施設更新の検討時などにおいては、必要に応じて**第 4 章の表 4-6** に示すような構造形式別の点検の留意点なども参考として、点検作業に有利な構造形式への変更も視野に入れることが有効な場合がある。なお、防食対策における塗装仕様については、期待する耐用年数のほかにも施工条件（周辺環境、施工期間、下地処理など）やトータル費用などを総合的に評価し選定する必要がある。



既設吊材に 2 つの割管を溶接取付する構造とし、吊材外形を $\phi 125$ から $\phi 150$ に補強するとともに、管厚を 4.5mm から 7.1mm とした。
 ⇒ 吊材と風対策部材との接続方法を変更し、接続部に雨水やスケールなどの堆積を防止
 ⇒ ケレン再塗装により防食機能を改善
 ⇒ 腐食部の溶接補強

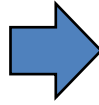
〔吊材の腐食破断部の補強及び構造改善〕

図 5-1 修繕方法の事例（腐食箇所の修繕）

出典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（本編）」（令和 4 年 11 月、和歌山市）より抜粋・編集



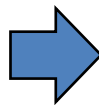
〔ピンホールからの漏水〕



〔クランプによる修繕〕



〔漏水の状況〕

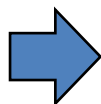


〔板溶接による修繕〕

図 5-2 修繕方法の事例（漏水部の修繕）



〔塗替え前の状況〕



〔塗装塗替えによる修繕〕

図 5-3 修繕方法の事例（塗装塗替えによる修繕）

第6章 点検作業及び修繕の記録

- 点検作業を行った場合には、劣化状況や性能低下の状態（グレード）の評価など、次回の点検作業や維持管理に必要な情報について記録に残す。また、修繕を行った場合にも、点検作業と同様にこれを記録に残すものとする。
- 点検作業及び修繕の記録は、施設を使用する期間保存することとし、手順を定めて適切な状態で管理し、維持管理業務に携わる担当者間で情報を共有する。

点検作業において確認された変状や診断の結果については、変状箇所や劣化の程度等の詳細な情報を含めて記録する。記録する内容は、あらかじめ点検マニュアルの作成段階で施設ごとに検討し、点検作業を繰り返す中で必要に応じて見直しを行うものとする。なお、点検作業の記録は水管橋等の径間、及び部材・部位ごとに整理することを基本とする。

これまでの施設点検では、点検マニュアルなどが整備されていない状態で漫然と行われ、必要な情報が記録・保管されていないケースも多くみられる。

点検情報は、経年的な劣化損傷の進展程度や、点検で注意すべき損傷箇所等を知るうえで非常に重要であるため、これらの情報を確実に記録する。また、補修や塗装更新、耐震補強工事などの修繕工事を実施した場合には、これらも点検時の重要な情報となるため工事内容や使用材料等の情報も併せて記録に残すのが基本である。

点検作業や修繕の記録（以下、点検記録という。）は、必要な時にいつでも利用できるよう保管手順を定めて管理する。情報の保管場所や管理手順は、点検担当者や事業者職員の間で共有・周知しておき、点検担当者が交代した場合でも確実に情報が引き継がなければならない。なお、これらの記録については、経年分析や原因分析等を行いやすいように、電子化などによりデータの蓄積を行うことが基本である。

【点検記録様式の参考例】

ここでは、4章で示した診断方法（グレード判定）に基づく点検記録様式の参考例を表6-1に示す。この様式は1径間のみの場合であり、複数の径間がある場合や変状が多い場合など、必要に応じて追加、複製して使用する。

このほか、施設の一般構造図（平面図、縦断図）や部材番号を付与した平面位置図など、点検作業を行う上で必要な情報を追加して記録を整理すると良い。変状状況の写真については、前回の点検と同じ撮影アングルになるようにすると、過去の点検作業時からの劣化進展状況が判別しやすい。また、損傷図を作成しておくことも、劣化の進展や新たな損傷の発生を知る上で有効となる。

なお、この様式はあくまでも参考例であり、必ずしもすべての水管橋等の点検に使用できるとは限らない。そのため、各事業者において、実際の点検の状況や劣化状況に応じて必要な情報や診断結果などを記録できる様式を作成し、水管橋等の維持管理を行うこととする。

表 6-1 (1) 水管橋等の点検記録様式の参考例 (様式-1)

(様式-1)

管理番号	施設名称	所在地 (自) ●●市●●町●● (至) ●●市●●町●●	竣工年月 19●●年●●月●●年	経過年数 ●年	構造形式 ランガー補剛形式	橋長 30 m	径間数 1 径間	塗装仕様 (現在)				点検作業方針		
								塗装の種類 ●●系塗装	目標耐用年数 ●年	施工年月 19●●年●●月●●年	残存年数 ●年	方針策定年月 20●●年●●月	点検者 委託	点検間隔 2年

点検記録 (グレード判定)											点検日	20●●年●●月●●日	
区間 A1 - A2											点検者	(株)●●● 氏名 ●●●	
点検項目	漏水	腐食	亀裂	破断	ボルトのゆるみ・脱落	防食機能の劣化	伸縮代 (変位)	機能障害	外装材の損傷	留意点	所見 (コメント)		
水道管	グレード●										主に漏水の有無を確認し、漏水がある場合には腐食が生じているおそれがある。		
補剛材		グレード●	グレード●	グレード●	グレード●	グレード●					変状がある場合には急激に性能が低下するおそれがある。特に吊材などの引張材や腐食が生じやすい箇所を中心に入念な点検が必要。		
支承部								グレード●			腐食や変状が生じやすく、支承機能の異常がある場合には安全性が低下した状態と考えられるため、入念な点検が必要。		
支持金物											変状がある場合には急激に性能が低下するおそれがある。特に固定ボルトや受桁等の腐食や変状を中心に入念な点検が必要。		
伸縮可とう管	グレード●	グレード●	グレード●	グレード●	グレード●	グレード●	グレード●				漏水等により腐食や変状が生じやすいため入念に点検する。		
落橋防止装置								グレード●			落橋防止構造にあわせてそれぞれの構成部材を点検し、地震時の安全性を評価する。		
空気弁	グレード●	グレード●			グレード●	グレード●			グレード●		漏水等により腐食や変状が生じやすいため入念に点検する。		
点検歩廊		グレード●			グレード●	グレード●					腐食を中心に点検を行う。特に支持金物や固定ボルトの破損等により今後の点検に支障するおそれがあるため注意が必要。		
防凍工									グレード●		主に外装材の点検を行う。防凍工表面からでも漏水が確認される場合には水道管の腐食を疑う必要がある。		

点検項目	鉄筋腐食	ひび割れ	初期欠陥	経年劣化 (中性化・塩害・ASR・凍害等)	変位・変形	洗堀	アンカーボルト周辺の変状	調整モルタルの変状	留意点	所見 (コメント)
維持管理限界	グレード●	グレード●	グレード●	グレード●	グレード●	グレード●	グレード●	グレード●		
A1橋台	躯体	グレード●	グレード●	グレード●	グレード●					構造物の経年劣化の程度や鉄筋腐食による外観変状を中心に点検を行う。鉄筋腐食が開始されると性能が低下していくことに注意する。
	支承部						グレード●	グレード●		支承アンカーボルトの定着部や台座付近のコンクリートの変状を中心に点検を行う。上部工とあわせて支承機能の低下に着目する。
	全体					グレード●	グレード●			基本調査で判別できる全体の変位や変形がある場合には特に注意する。変状により周辺地盤にも変状があることが多い。
A2橋台	躯体	グレード●	グレード●	グレード●	グレード●					構造物の経年劣化の程度や鉄筋腐食による外観変状を中心に点検を行う。鉄筋腐食が開始されると性能が低下していくことに注意する。
	支承部						グレード●	グレード●		支承アンカーボルトの定着部や台座付近のコンクリートの変状を中心に点検を行う。上部工とあわせて支承機能の低下に着目する。
	全体					グレード●	グレード●			基本調査で判別できる全体の変位や変形がある場合には特に注意する。変状により周辺地盤にも変状があることが多い。

(※) 下部工 (コンクリート構造物) の劣化グレードは、「水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドライン」に則り、「コンクリート標準示方書 維持管理編 2018年制定」(土木学会)を参照して判定する。

診断結果	部材	各部材の劣化グレード (総合評価)	前回の劣化グレード	劣化進展が予想される点検項目	詳細調査の必要性	対策の必要性	点検作業方針の見直し			維持管理履歴	
							見直しの有無	点検間隔	点検方法	点検履歴	修繕履歴
上部工	水道管	グレード●	グレード●	漏水	有・無	有・無	有・無	年		20●●年●●月 初期点検	19●●年●●月 塗装更新工事 (全面)
	補剛材	グレード●	グレード●	腐食, 防食機能の劣化	有・無	有・無	有・無	年		20●●年●●月 定期点検	20●●年●●月 耐震補強工事 (落橋防止装置設置)
	支承部	グレード●	グレード●	腐食, 防食機能の劣化	有・無	有・無	有・無	年		20●●年●●月 定期点検	20●●年●●月 塗装更新工事 (全面)
	支持金物				有・無	有・無	有・無	年			20●●年●●月 コンクリート補修工事 (A1, P1, A2)
	伸縮可とう管	グレード●	グレード●		有・無	有・無	有・無	年			
	落橋防止装置	グレード●	グレード●		有・無	有・無	有・無	年			
	空気弁	グレード●	グレード●	漏水	有・無	有・無	有・無	年			
	点検歩廊	グレード●	グレード●	腐食, 防食機能の劣化, ボルトのゆるみ・脱落	有・無	有・無	有・無	年			
	防凍工	グレード●	グレード●		有・無	有・無	有・無	年			
	下部工	A1橋台	グレード●	グレード●	ひび割れ, 経年劣化	有・無	有・無	有・無	年		
支承部		グレード●	グレード●	アンカーボルト周辺の変状	有・無	有・無	有・無	年			
全体		グレード●	グレード●		有・無	有・無	有・無	年			
A2橋台		グレード●	グレード●	鉄筋腐食, ひび割れ, 経年劣化	有・無	有・無	有・無	年			
支承部		グレード●	グレード●	アンカーボルト周辺の変状	有・無	有・無	有・無	年			
橋脚		グレード●	グレード●		有・無	有・無	有・無	年			

表 6-1 (2) 水管橋等の点検記録様式の参考例 (様式-2)

(様式-2)

管理番号	施設名称	所在地 (白) ●●市●●町●● (至) ●●市●●町●●	竣工年月 19●●年●月●年	経過年数 ●年	構造形式 ランガー補剛形式	橋長 30 m	径間数 1 径間	塗装仕様 (現在)				点検作業方針			
								塗装の種類 ●●系塗装	目標耐用年数 ●年	施工年月 19●●年●月●年	残存年数 ●年	方針策定年月 20●●年●月	点検者 委託	点検間隔 2年	

区間 A1 - A2 点検者 (株)●●● 氏名 ●●● 点検日 20●●年●月●日

変状の状況											
写真番号	部材名	部位	写真番号	部材名	部位	写真番号	部材名	部位	写真番号	部材名	部位
変状種類	劣化グレード		変状種類	劣化グレード		変状種類	劣化グレード		変状種類	劣化グレード	
所見			所見			所見			所見		
写真番号	部材名	部位	写真番号	部材名	部位	写真番号	部材名	部位	写真番号	部材名	部位
変状種類	劣化グレード		変状種類	劣化グレード		変状種類	劣化グレード		変状種類	劣化グレード	
所見			<p>【変状状況写真位置図(A1-2)】</p>						所見		
写真番号	部材名	部位	写真番号	部材名	部位	写真番号	部材名	部位	写真番号	部材名	部位
変状種類	劣化グレード		変状種類	劣化グレード		変状種類	劣化グレード		変状種類	劣化グレード	
所見			所見			所見			所見		

【参考資料】

第7章 事故事例と他の維持管理基準例

1節 最近の水管橋等の破損事故事例

ここでは、近年頻発した水管橋等の破損事故事例とその要因や課題について整理する。

7.1.1 水管橋等の被害事例

【養老川水管橋漏水事例】

〔概要〕

令和3年10月7日、千葉県企業局の養老川水管橋（昭和55年竣工）が地震（千葉県北西部 M6.1 震度4）により伸縮可とう管から漏水した事例である。伸縮可とう管のハウジングのボルトが腐食しており、地震により破断し止水ゴムがずれて漏水が発生した。

〔水管橋の構造諸元〕

形式：トラス補剛形式

水管口径：φ800mm

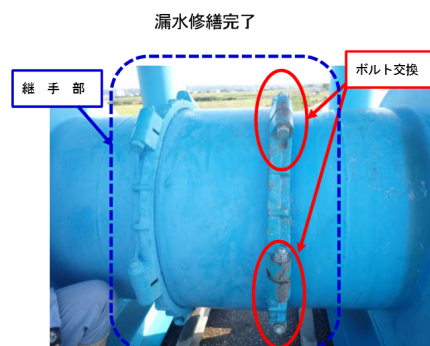
竣工年：昭和55年（1980年）



〔水管橋の損傷状況〕



（漏水状況 全景）



（損傷状況写真 撮影位置）

出典：養老川水管橋の漏水修繕と今後の対応について（2021年10月13日、千葉県企業局 報道資料）
水管橋の漏水状況写真は朝日新聞 DEJITAL（2021年10月20日）掲載写真から引用

【美唄市導水管水管橋崩落事例】

〔概要〕

令和3年2月24日、北海道美唄市の導水管水管橋（昭和51年竣工）が崩落した事例である。竣工後約45年間大規模な修繕工事は行われておらず、経年劣化や積雪による応力増加、溶接部の品質不良等が落橋の要因と推定された。

〔水管橋の構造諸元〕

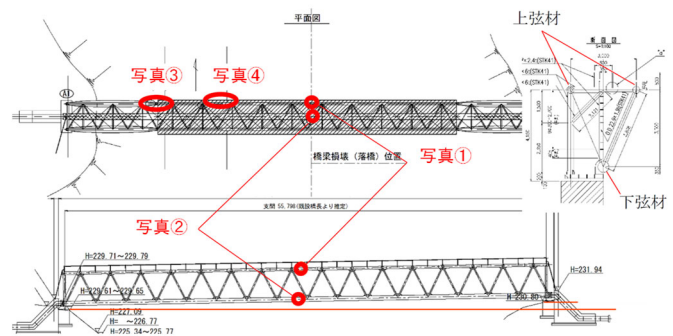
形式：逆三角トラス補剛桁形式
 橋長：L=57.7m
 水管口径：φ500mm
 竣工年：昭和51年（1976年）



〔水管橋の損傷状況〕



（落橋状況 全景）



（損傷状況写真 撮影位置）



【上弦材(破断部)】



【下弦材(破断部)】

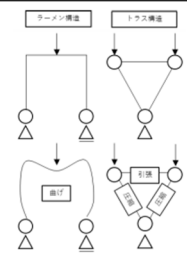


【上弦材(非破断部)】

（水管橋損傷状況）

〔各種調査の結果と考察〕

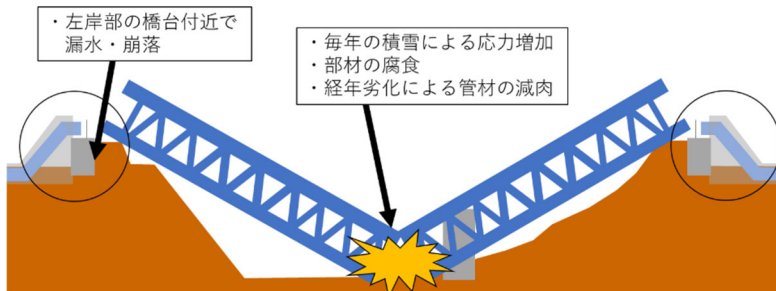
項目	調査結果の概要
崩落前の状況	竣工後 45 年間 <u>大規模な修繕工事が実施なし</u> 。点検用歩廊の手すりが腐食で破損し、脱落。
現地調査	図面と測量結果の寸法違いはあるが、右岸では、橋台の傾斜、移動はレベル測量及び目視では確認されなかった。左岸は、橋台の傾斜が確認された。 上弦材は 1 本が破断し、上面の塗装、溶接部の腐食が著しい。橋の中央部付近で折損。
管体調査	上弦材の破断箇所は、腐食により減肉しており、腐食は数か月前に発生したものでなく、数年前からと判定され、 <u>上弦材の破断は崩落以前から発生</u> していた可能性がある。 <u>下弦材の破断箇所の破断面の腐食は最近発生</u> したものであり、落橋後に発錆したと推察される。下面から破断しており、 <u>曲げモーメントの増大により破損</u> している。 X 線検査の結果、上弦材の溶接部の状態は悪く、 <u>現地施工の溶接が不良</u> であったと推察される。
構造計算	原設計時よりも厳しい積雪荷重の条件であるが、管体が健全であれば <u>降雪時の荷重条件であっても構造的な安定性は確保</u> されている。 <u>トラス構造であり、構造力学的には各構成材には軸力しか伝達しないため、大きな曲げモーメントは発生しない</u> (参考：右図)。



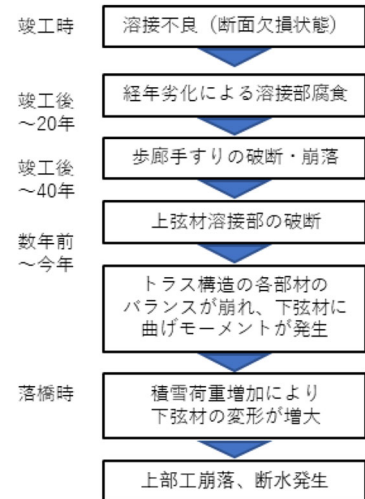
〔落橋要因の推定〕

【崩落の主要因】

- ① 施工時の上弦材溶接部不良および経年劣化による腐食に伴う上弦材の破断
- ② 上弦材の破断による下弦材への曲げ応力増加
- ③ 降雪による上載荷重の増大に伴う下弦材の破断



(落橋の経過と主要因の推定)



出 典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（資料編）」（令和 4 年 11 月、和歌山市）

引用元：美咲市水道事故に関する報告書，令和 3 年 12 月，美咲市都市整備部上下水道課より抜粋・要約

【六十谷水管橋崩落事例】

〔概要〕

令和3年10月3日、和歌山市の六十谷水管橋（昭和49年竣工）が崩落した事例である。竣工後約47年経過しており、吊材が破断したことが直接的な要因となってP4橋脚とP5橋脚の間の径間で上部工全体が大きく変形し、アーチ材や水道管に破断や座屈が生じ崩落に至った。

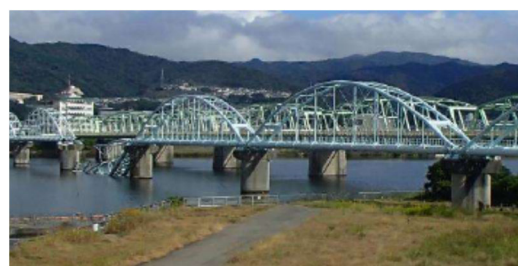
〔水管橋の構造諸元〕

形式：ランガー補剛形式

橋長；L=546.55m

水管口径：φ900mm×2条

竣工年：昭和49年（1974年）



〔水管橋の損傷状況〕



（落橋状況 全景）



（座屈した空気弁付き人孔）



（回収した落橋水管橋の仮置き状況）

〔崩落過程の推察〕

破損・落橋時に撮影されていた動画を解析し、今回の調査による部材の破壊形態や破損状況、変形状況などを踏まえ、本水管橋が破損し落橋に至った過程を整理する。

【ステップ①（破損前）】

- 吊材の一部が破断
- 破断していない吊材に荷重が分配されるが、そのほとんどは腐食等により荷重を負担できる限界の状態まで破断寸前であった（推測）

【ステップ②（破損時）】

- 吊材の腐食が要因となり、吊材の風対策用後付け部材の上下部において、連続的にほぼすべての吊材が破断
- アーチ構造において吊材の支持力が消失したため、水道管中央部が下方向に大きく変位

【ステップ③（落下時）】

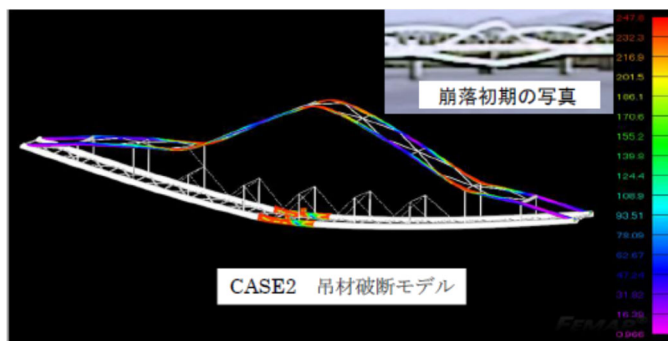
- 水道管の下方向変位に伴い、アーチ材の破断（溶接部）や座屈により大変形が発生

【ステップ④（水没・河底への着床時）】

- さらに、橋脚の支持部分が破損し、落下
- 水管橋全体が水没や河底への着床時に衝撃を受け、アーチ材がさらに破断した可能性あり

〔再現解析〕

吊材 9 本破断モデルの解析結果を示す。事故時の動画や事故後の調査から落橋時に破断が確認されている解析ケースの結果である。この結果より、解析による落橋過程は、動画解析等による本水管橋の落橋過程や破壊状況が概ね再現できており、破損ステップについては構造解析により定量的に説明できるものと考えられる。また、これらの解析により事故状況を再現できたことから、大変形非線形有限要素解析によれば構造安定性および部材耐力を適正に評価可能であることが確認できる。



（落橋の経過と主要因の推定）

〔吊材腐食の要因〕

- ①振動による物理的な損傷
- ②腐食因子（鳥糞・水・塵あい）が溜まりやすく高濃度に推積したことによる錆の発生の促進
- ③六十谷水管橋の特徴や維持管理条件に応じた維持管理が実施されていなかった。



出典：第1回 水道の諸課題に係る有識者検討会資料，令和4年5月，厚生労働省 より抜粋・要約

7.1.2 水管橋等の被害の要因

近年の水管橋等の被害事例より、主な被害の要因は次のように挙げられる。

- 材料の腐食（付属品含む）
- 溶接部の施工不良

材料の腐食については、以下に示すような箇所では鋼材腐食が進行する傾向が確認された。

【鋼材腐食が生じやすい代表的な箇所】

- 溶接部
- 部材接合部
- 隅角部
- 塗装劣化部
- 後付け部材の取付部（吊材バンド、継手等）
- 支承部
- 点検歩廊
- ボルト

スケールや雨水が滞留しやすい箇所や狭隘部は、塗装更新時に旧塗膜の除去が困難であり、塗り重ねを行うことによる新旧塗膜の層間剥離が生じやすい。さらに、塗膜の劣化に伴う防食機能の低下によって腐食が進行しやすい。

7.1.3 道路橋等の崩落事故事例

老朽化により落橋した道路橋などの被害の概要や、破損原因等を以下に整理する。これらの事例から得られる教訓としては、鋼橋では腐食による部材耐荷力の低下が問題となることや、構造上重要な部材の破損が全体系の崩壊につながるおそれがあること、維持管理を怠ると人命に関わる第三者災害となる恐れがあること等が確認できる。

【ミネアポリス I-35W 橋（米国）〔鋼上路トラス橋（3 径間）〕】

■ 概 要

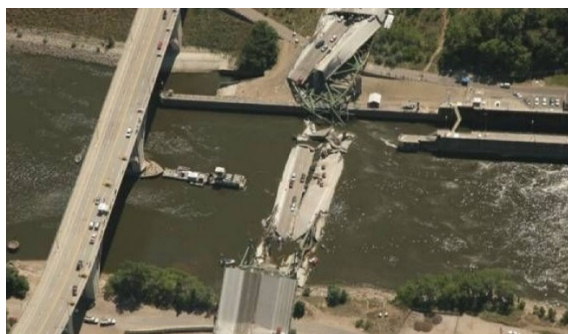
2007 年 8 月 2 日、米国ミネソタ州ミネアポリス市のミシシッピ川を跨ぐ鋼道路橋（高速道路）が供用中に突然崩落し、多数の死傷者が発生

■ 事故状況

- ・ガセットプレートが破損し、これを起点として橋梁が脆性的に崩落
- ・過去の点検で塗膜劣化による鋼材腐食、溶接不良、支承機能障害、鋼材の疲労亀裂等を確認
- ・事故当時、片側 4 車線を通行止めにて橋梁改修工事を施工中

■ 事故原因（推定）

- ・鋼部材の腐食（経年劣化・鳥糞等による）や疲労による部材耐力の低下
- ・ガセットプレートの設計耐力不足
- ・過大荷重の載荷（改修工事の資材仮置き重量を含む）等



（ミネアポリス I-35W 橋 崩落状況）

出 典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（資料編）」（令和 4 年 11 月、和歌山市）

引用元：米国ミネアポリス橋梁崩落事故に関する技術調査報告（平成 19 年 10 月）、米国ミネアポリス橋梁崩落事故に関する技術調査団より抜粋・要約

【南方澳跨港大橋（台湾）〔鋼製アーチ橋（1径間）〕】

■ 概 要

2019年10月、台湾北東部の宜蘭県の港に架かる鋼道路橋（高速道路）が供用中に突然崩落し、巻き込まれた通行車両が停泊中の漁船と衝突して多数の死傷者が発生

■ 事故状況

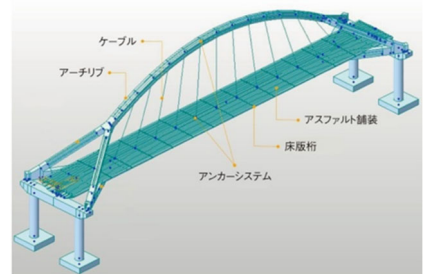
- ・大型車両の通行中に鋼床板箱桁を吊っていたケーブルが次々に切れ、橋梁が脆性的に崩落

■ 事故原因（推定）

- ・PCケーブルや定着部の腐食による耐荷力低下（プレストレス作用下での急激な破断）
- ・腐食原因は、箱桁・ケーブル境界部からの雨水浸入（シール材の経年劣化）、塩分・湿度等と推定
- ・維持管理体制の不備（特殊構造の点検技術者、点検マニュアル整備、構造計算書の保管等）



（南方澳跨港大橋 崩落状況）



（橋梁構造）

出 典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（資料編）」（令和4年11月、和歌山市）

引用元：日経コンストラクション（2020.12.28）より抜粋・要約

【辺野喜橋（日本）〔単純鋼桁 RC 床板橋（1 径間）〕】

■ 概 要

2009 年 7 月 15 日、沖縄県国頭村において、落橋の危険性が指摘されていた鋼桁橋が変状モニタリング監視中に崩落した。2004 年から全面通行止のため、人的被害はなかった。

■ 事故状況

- ・ 離岸距離約 50m の立地（塩害環境下）で耐候性鋼材を使用
- ・ 過去の点検で安全性に影響する鋼桁の著しい腐食状況を把握・監視
- ・ 撤去工事が直近に予定されていたが、その前のモニタリング中に崩落

■ 事故原因（推定）

- ・ 塩害環境下における鋼部材の著しい腐食（※ 桁の外側面は雨による塩洗浄効果あり）



（辺野喜橋 崩落状況）



（鋼桁腐食状況）

出 典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（資料編）」（令和 4 年 11 月、和歌山市）

引用元：腐食により崩落に至った鋼橋の変状モニタリングと崩落過程について，2009 年 8 月 26 日，第 2 回 CAESAR 講演会（講演資料）より抜粋・要約

2節 道路橋の維持管理基準（参考）

国土交通省などが管理する道路構造物では、道路の老朽化対策の本格実施に関する提言を受けて、2014年頃から定期点検による維持管理を行っており、定期点検は、点検する対象や部位、点検方法、評価基準、点検記録の整理等、点検業務の全体を規定した定期点検マニュアルに準拠して実施されている。これらのマニュアルは水管橋等の維持管理の参考となる内容が多く含まれているため、ここでは、国土交通省道路局の「橋梁定期点検要領（平成31年3月）」を例に、主な維持管理の考え方を整理する。

- 定期点検は、第三者被害や落橋など長期に渡る機能不全の回避、長寿命化への対応などを目的とし、維持管理を適切に行うために必要な情報を取得することを目的とする。
- 定期点検の頻度は、初回点検（供用開始または大規模改修後：2年以内）、定期点検（2回目以降：1回／5年以内）を基本とする。
- 対象とする損傷の種類（腐食や亀裂、破断等、さまざまな損傷種類を抽出）に対して、部位・部材ごとに点検する。要領では主要部材に該当するものも明示。
- 点検の方法は近接点検（目視、打音等）を基本とし、必要に応じて詳細調査（物理調査・試験、測定等）の実施を判定する。
- 対策区分の判定や健全性の診断区分は、本要領で客観的な視点で明確化された評価基準や評価手順に基づいて、構造上の部材区分または部位毎、損傷種類毎に判定を行う。（これらの評価基準が明確にされている）
- 定期点検で行った診断の記録は、適切な方法で記録・蓄積する。点検記録は本要領の点検記録台帳の様式を用い、「定期点検記入要領」に基づいて記録する。
- 定期点検の業務全体においては、道路橋の維持管理に関する必要な知識や経験等を有する技術者（本要領では「橋梁診断員」という。）を配置し、これを行わなければならない。

(1) 定期点検の目的

第三者への被害回避、落橋など長期にわたる機能不全の回避、長寿命化への対応など、橋梁の維持管理を適切に行うために必要な情報の取得することを目的とする。

(2) 定期点検の頻度

- ・ 初回点検 : 供用開始 2 年以内
- ・ 2 回目以降 : 1 回/5 年以内 (環境条件、点検結果、修繕予定等により適宜設定)

(3) 対象とする損傷の種類

(対象とする損傷の種類の種類標準)

部位・部材区分		対象とする項目		
		鋼	コンクリート	その他
上部構造	*主桁	①～⑤・⑩・⑬ ⑱・⑳～㉓	⑥～⑬	—
	*主桁ゲルバー部 *横桁 *縦桁 *床板		⑱～㉓	
	対傾構		—	
	横 構 上横構・下横構			
	主構トラス		*上・下弦材 *斜材 *垂直材 *橋門構 *格点 *斜材・垂直材のコンクリート埋込部	
	アーチ		*アーチリブ *補剛桁 *吊り材 *支柱 *橋門構 *格点 *吊り材等のコンクリート埋込部	
	ラーメン		*主構(桁) *主構(脚)	
	斜張橋		*斜材 *塔柱 塔部水平材 塔部斜材	
	*外ケーブル		—	
	*PC 定着部		①・⑤・㉓	
その他				
下部構造	*橋脚	①～⑤・⑩ ⑳～㉓	⑥～⑧・⑩ ⑫・⑱～㉓	—
	*橋台	—	—	
	*基礎	①・②・⑤ ㉓～㉔	⑥～⑦ ㉓～㉔	
	その他			
支承部	支承本体	①～⑤・⑬・⑯ ㉑～㉒・㉓～㉔	—	④・⑬・⑯・ ⑲～㉒・㉓～㉔
	アンカーボルト	①～⑤・㉓	—	—
	落橋防止システム	①～⑤・⑬ ㉑～㉓	⑥～⑧・⑫～⑬ ⑲・㉓～㉔	
	沓座モルタル	—	⑥～⑦・⑫	
	台座コンクリート	—	⑳・㉓	
	その他			

注:部位。部材の区分の「*印」は、「主要部材」を示す。

【対象とする項目(損傷の種類)】					
① 腐食	⑥ ひび割れ	⑪ 床板ひび割れ	⑯ 支承部の機能障害	㉑ 異常な音・振動	㉔ 洗堀
② 亀裂	⑦ 剥離・鉄筋露出	⑫ うき	⑰ その他	㉒ 異常なたわみ	
③ ゆるみ・脱落	⑧ 漏水・遊離石灰	⑬ 遊間の異常	⑱ 定着部の異常	㉓ 変形・欠損	
④ 破断	⑨ 抜け落ち	⑭ 路面の凹凸	⑲ 変色・劣化	㉔ 土砂詰まり	
⑤ 防食機能の劣化	⑩ 補修・補強材の損傷	⑮ 舗装の異常	㉑ 漏水・滞水	㉓ 沈下・移動・傾斜	

出 典 : 「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書 (資料編)」 (令和 4 年 11 月、和歌山市) より一部修正
引用元 : 「橋梁定期点検要領、平成 31 年 3 月」 (p.10、p11) 表・5.1.1 対象とする損傷の種類の種類標準より転記 (一部加筆)

(4) 定期点検の方法

定期点検では、近接目視を基本とした状態の把握と次回定期点検までの措置方針の参考とするための対策区分の判定を行う。

(状態把握の標準的な方法)

材料	番号	損傷の種類	点検の標準的な方法	必要や目的に応じて採用することのできる方法の例
鋼	①	腐食	目視、ノギス、点検ハンマー	超音波板厚計による板厚計測
	②	亀裂	目視	磁粉探傷試験、超音波探傷試験、過流探傷試験、浸透探傷試験
	③	ゆるみ・脱落	目視、点検ハンマー	ボルトヘッドマークの確認、打音検査、緒音波探傷試験(F11T等)、軸力計を使用した調査
	④	破断	目視、点検ハンマー	打音検査(ボルト)
	⑤	防食機能の低下	目視	写真撮影(画像解析による調査)、インピーダンス測定、膜厚測定、付着性試験
コンクリート	⑥	ひびわれ	目視、クラックゲージ	写真撮影(画像解析による調査)
	⑦	剥離・鉄筋露出	目視、点検ハンマー	写真撮影(画像解析による調査)、打音調査
	⑧	漏水・遊離石灰	目視	
	⑨	抜け落ち	目視	—
	⑩	床板ひびわれ	目視、クラックゲージ	写真撮影(画像解析による調査)
	⑪	うき	目視、点検ハンマー	打音検査、赤外線調査
その他	⑫	遊間の異常	目視、コンボックス	—
	⑬	路面の凹凸	目視、コンボックス、ボール	—
	⑭	舗装の異常	目視、コンボックス又はクラックゲージ	—
	⑮	支承部の機能障害	目視	移動量測定
	⑯	その他		—
共通	⑰	補修・補強材の損傷	目視、点検ハンマー	打音検査、赤外線調査
	⑱	定着部の異常	目視、点検ハンマー、クラックゲージ	打音検査、赤外線調査
	⑲	変色・劣化	目視	—
	⑳	漏水・滞水	目視	赤外線調査
	㉑	異常な音・振動	聴覚、目視	—
	㉒	異常なたわみ	目視	測量
	㉓	変形・欠損	目視、水系、コンボックス	—
	㉔	土砂詰まり	目視	—
	㉕	沈下・移動・傾斜	目視、水系、コンボックス	測量
	㉖	洗堀	目視、ポール	カラーイメージングソナー、水中カメラ

出典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書（資料編）」（令和4年11月、和歌山市）

引用元：「橋梁定期点検要領、平成31年3月」（p.14）表-5.1.2 状態把握の標準的な方法より転記（一部加筆）

(5) 対策区分の判定・健全度診断

定期点検では、橋梁の損傷状況を把握したうえで、構造上の部材区分または部位毎、損傷種類毎の対策区分の判定を行う。対策区分の判定結果により、構造上の部材区分または部位毎、損傷種類毎に健全性の診断を行う。

(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、速やか補修を行う必要がある。
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	維持工事で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。

出典：「橋梁定期点検要領、平成 31 年 3 月」(p.21) 表-6.1.1 対策区分の判定区分より転記

(健全性の診断 (判定区分) と対策区分の判定との対応)

区分	状態	対策区分の判定との対応	
I	健全	道路橋の機能に支障が生じていない状態	判定区分 A、B
II	予防措置段階	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。	判定区分 C1、M
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。	判定区分 C2
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。	判定区分 E1、E2

出典：「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書 (資料編)」(令和 4 年 11 月、和歌山市)

引用元：「橋梁定期点検要領、平成 31 年 3 月」(p.27) 表-7.1 判定区分と本文中の説明より作成

(6) 定期点検の記録

定期点検で行った健全性の診断の記録は、適切な方法で記録・蓄積しておかなければならない (基本的に、点検の記録は「定期点検記入要領」にもとづき、点検台帳の様式にて整理・保管する)。損傷評価の程度は、橋梁各部の外観の状態を客観的かつ記号化して記録する。

(定期点検要領の台帳記録様式)



出典：「橋梁定期点検要領 平成 31 年 3 月」(p.32~p.44) より転記 (一部加筆)

(定期点検記録様式に記載する主な内容)

様式	様式タイトル	主な記載内容等
様式(その1)	橋梁の諸元と総合検査結果	橋梁名、所在地、管轄、構造諸元、健全度(点検結果の総合評価)、橋梁診断員等を記録する。
様式(その2)	径間別一般図	橋梁一般図(全体図)、一般図(平面図、側面図、断面図)を添付する。
様式(その3)	現地状況写真	施設の状況や周辺状況写真を撮影し添付する。
様式(その4)	部材番号図及び要素番号図	以降の様式で使用する部材番号と要素番号の位置がわかる位置図を作成し添付する。
様式(その5)	状態把握の方法	近接目視を行えない、または他の方法により状態を把握した箇所について、その理由と対応策などを記載する。
様式(その6)	橋の健全性の診断に関する所見	維持管理を行う上で着目すべき部材や損傷について、損傷写真とともに橋梁診断員の所見、対策区分や健全度を記載する。様式(その1)の総合検査結果の根拠となる。
様式(その7)	対策区分判定結果(主要部材)	主要部材の損傷程度、対策区分(補修、緊急対応、詳細調査)、診断結果(原因、健全度、所見)等を記載する。
様式(その8)	対策区分判定結果(上記以外)	主要部材以外の部材について、様式(その7)に準じた内容を記載する。
様式(その9)	損傷図	橋の損傷状況をスケッチし記録する。現在の損傷状況を客観的に把握し、主観・予見なく記録する。損傷の種類や部材番号を記載する等、定期点検要領に規定する一定のルールに則って記載する。
様式(その10)	損傷写真	様式(その9)の損傷図には写真位置も記載し、これと写真番号を対応させる。径間番号、部材・要素番号、損傷種類や損傷程度を記載する。
様式(その11)	損傷程度の評価記入表(主要部材)	各部材の要素番号ごと、損傷の種類ごとに部材種別(部材名称・記号、要素番号)や損傷程度(損傷程度の評価、定量的に取得した値)、損傷パターンについて記載する。
様式(その12)	損傷程度の評価記入表(上記以外)	主要部材以外の部材について、様式(その11)に準じた内容を記載する。
様式(その13)	損傷程度の評価結果総括	各部材について、今回の定期点検と前回の定期点検の損傷の種類と程度を並べて記載する。

謝 辞

この「水管橋等の維持管理に関する報告書」は、「水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドライン」の改訂と併せて作成されたものであり、これらの検討にあたっては、「六十谷水管橋破損に係る調査委員会報告書」（令和4年11月、和歌山市）の本編や資料編も参考にするとともに、（公社）日本水道協会により設置された「水道施設の維持・修繕に係わる専門委員会」から、数多くの意見や助言をいただいた。

「水道施設の維持・修繕に係わる専門委員会委員」の名簿を以下に示す。

ご多忙の中、多大な御協力をいただいた委員長をはじめ委員の皆様、並びに（公社）日本水道協会等の関係者各位に心から感謝を申し上げます。

水道施設の維持・修繕に係わる専門委員会委員名簿

委員長	神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻准教授	鋏 田 泰 子
副委員長	東京都水道局給水部配水課長	安孫子 昌 弘
委 員	札幌市水道局給水部給水課長	堀 内 靖 康
〃	仙台市水道局給水部南配水課長	本 田 勝 博
〃	横浜市水道局給水サービス部戸塚水道事務所長	栗 原 誠 仁
〃	名古屋市上下水道局技術本部計画部水道計画課長	渡 部 健 一
〃	大阪市水道局工務部配水課長	大久保 忠 彦
〃	広島市水道局技術部維持課長	砂 野 武 文
〃	福岡市水道局浄水部浄水施設課長	北 原 泰 光