

鋼 橋

損傷の概要

ここで、鋼橋における代表的な損傷は、以下の通りです。

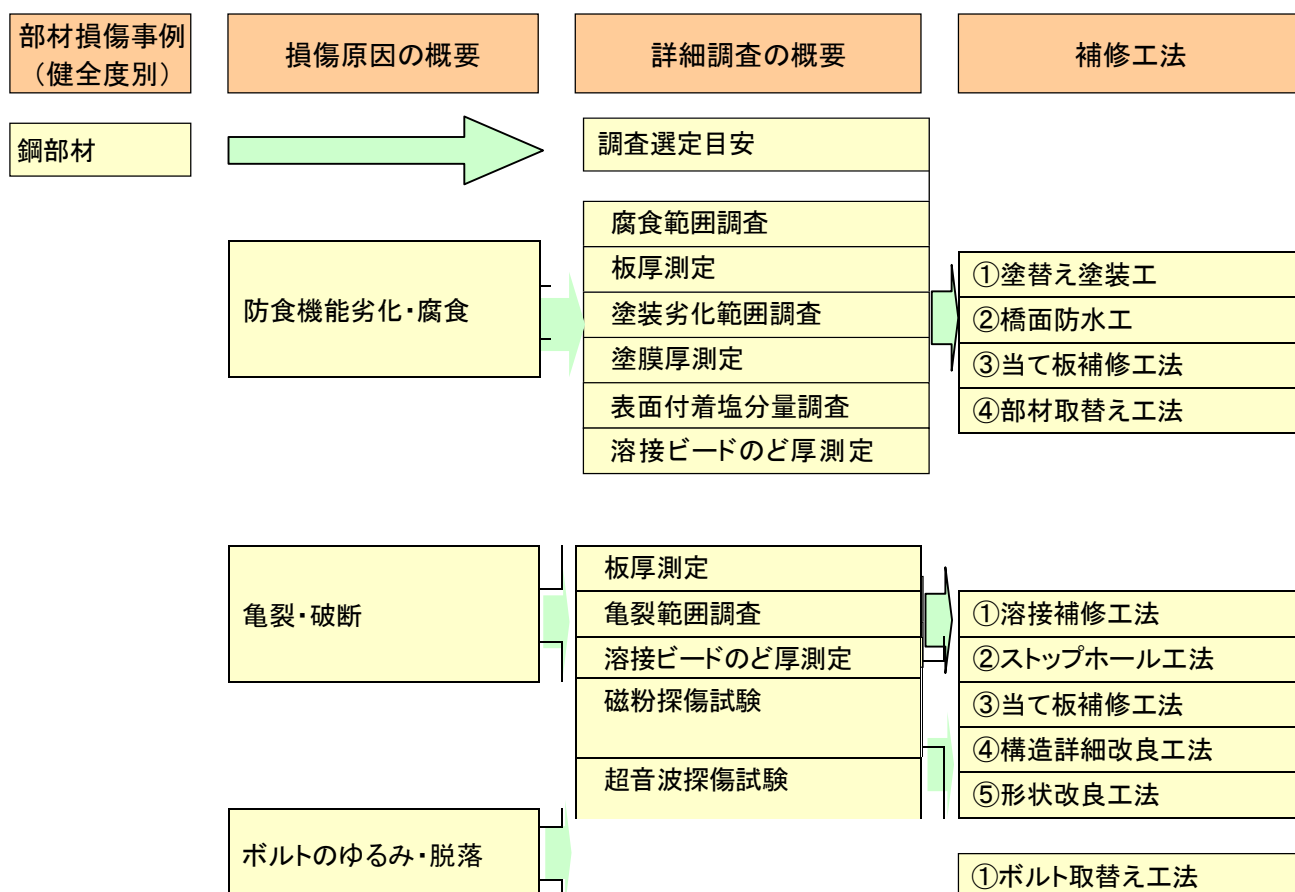
- (1) 鋼部材における防食機能劣化および腐食。
- (2) 鋼部材の溶接部、継手部、切欠き部等における疲労による亀裂・破断。
- (3) 継手部における高力ボルトの遅れ破壊、リベットのゆるみ。
- (4) R C床版における損傷（ひび割れ、剥離・鉄筋露出等）。

これら以外にも車両の衝突や地震・火災による部材の変形や座屈、支承機能の低下に伴う桁端部の変形などの損傷があります。

また、コンクリート橋における代表的な損傷は、以下の通りです。

- (1) 中性化等のコンクリート部材の劣化。
- (2) 塩害によるコンクリート中の鋼材腐食。
- (3) アルカリ骨材反応によるコンクリート部材のひび割れ。

鋼部材補修



R C 床版（鋼橋）

詳細調査

1.適用範囲

詳細調査は、各損傷における発生原因の究明および損傷の進行性を把握し、補修の必要性を検討することを目的とします。調査方法は、詳細な目視調査に加え、計測機器を用いた形状調査、各種非破壊検査、コア採取や資料による強度試験、化学的試験・分析などがあります。

2.損傷原因の推定

詳細調査の実施する調査項目を限定するためには、設計・施工資料ならびに維持管理段階で蓄積された既存資料などより損傷原因を推定することが必要です。代表的な損傷原因を表－1 に示します。

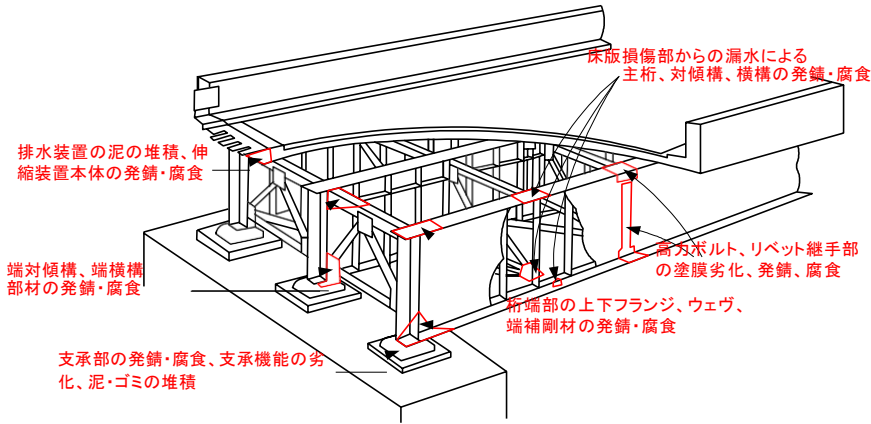
主な推定原因		損傷原因
外的原因	外力作用	繰返し荷重、持続荷重、衝突、偏土圧・圧密沈下、洗掘・侵食、地震、火災
	環境	乾燥収縮・温度変化、塩害、凍害、化学的腐食
内的原因	材料劣化	アルカリ骨材反応、中性化、品質不良
	製作・施工	製作・施工不良、防水・排水工不良
	構造	構造形式・形状不良

【表－1 代表的な損傷原因】

主な損傷	主な推定原因					主な 発 生部位
	外 力 作 用	環 境	材料劣化	製作・施工	構 造	
防食機能劣化 ・腐食	火災 (防食機能劣化)	塩害、 化学的腐食	品質不良	製作・ 施工不 良防 水・ 排水工不良	構造形 式・形状 不良	主桁、 副部 材、 他鋼部材全般
亀裂、破断(破損)	繰返し荷重、衝 突、地震	――		製作・ 施工不 良		
ゆるみ、脱落						
変 形	繰返し荷重、衝突、 偏土圧・圧密沈下、 洗掘・侵食、地震、 火災	――	――	製作・ 施工不 良		主桁、 鋼製橋脚他
異常振動	繰返し荷重、地震					主桁他

【表－２ 鋼部材の損傷原因】

3.鋼部材（防食機能劣化・腐食）の損傷と原因

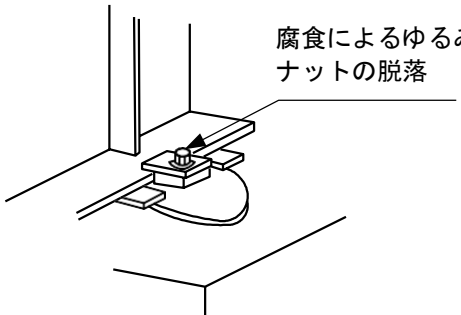
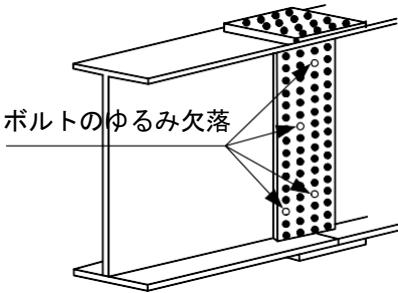
鋼部材(防食機能劣化・腐食)			
損傷概要	鋼部材の腐食を防止するためには、塗膜の劣化状態に応じた定期的な塗装の塗替えを実施することが適切な方法です。しかし、特殊な要因による局所的な塗膜劣化に関しては、点検・調査による確認が難しく、腐食が著しく進行することもあります。また、海岸への近接や凍結防止剤散布などの環境条件が、湿気・温度などの自然環境条件と重なり、予想以上に早期に塗膜が劣化し腐食が生じた事例もあります。以下に代表的な腐食事例を示します。 (a) 特殊要因による局所的な腐食 ① 桁端部の腐食 桁端部の伸縮装置の排水機能が不十分な場合は、この部位から雨水が漏水し、主桁端部のフランジ、ウェブや端対傾構部材などに腐食が発生します。 ② 床版漏水部の腐食 RC床版の打継ぎ部やひび割れ劣化部からの漏水が、鋼桁部の腐食を発生することがあります。床版内を伝わった雨水はアルカリ性であり、アルカリに弱い塗装系では、塗膜が早期に劣化し、桁のフランジやウェブ部が局所的に腐食する場合があります。 ③ 箱桁内部の腐食 箱桁内部に水が滞水し、フランジやウェブ、縦リブなどに腐食が生じた事例があります。湿気のこもりや結露などが原因の一つと考えられ、高力ボルト継手部におけるすき間や桁端ダイヤフラムの開口部からの雨水の浸入も大きな要因です。 (b) 塩害による腐食 海岸付近の橋梁は、飛来塩分の付着が腐食を促進し、上部構造全体に腐食が進行している事例があります。また、山間寒冷地などにおいて凍結防止剤が路面に散布される橋梁においても同様の腐食の生じることがあります。 (c) 耐候性鋼材の裸使用部材における異常さびの発生 桁端部や漏水部などでは、さびの安定化のための環境条件が得られにくく、進行性の異常さびが生じる場合があります。また、部材の下面、上下線間の内桁部など、雨水に洗われにくい部位では、飛来塩分や凍結防止剤が付着堆積し、層状剥離さびと呼ばれる進行性の異常さびが発生する場合があります。		
	点検時における着目点は、右図を参照とする。 		
	腐食原因の分類	腐食原因	腐食の種類
損傷原因と種類	特殊要因による局所的な腐食	桁端部伸縮装置からの漏水	・橋台上に泥状の堆積物に起因します。
		R C床版劣化部からの漏水	
		箱桁内部への雨水の侵入	
	塩害による腐食	沿岸部に近く飛来塩分による腐食	・付着塩分が堆積する部位断面欠損が大きい。 ・桁端部等層状剥離さび断面欠損が大きい。
		寒冷地及び山間部での凍結防止剤による腐食	

4.鋼部材（亀裂・破断）の損傷と原因

鋼部材(亀裂・破断)		☞	☞
損傷概要	疲労の発生原因は、直接的には車両の走行に伴う応力の繰り返し作用であるが、それを助長する要因が種々あります。疲労が確認された場合には、まずは既存の事例を調査し、それらの適応の可否を含め、発生原因の判定や対策について十分に検討することが必要です。 これまで確認された代表的な疲労部位とその主な要因は以下の通りです。なお、疲労の詳細やその対策については、「鋼橋の疲労(日本道路協会 平成9年)」に記載されています。 (a) R C床版における対傾構と主桁の取付部 要因：車両走行に伴う床版のたわみや対傾構の荷重の分配に伴う2次応力の発生と構造細目における応力集中の発生。 (b) 鈑桁・箱桁支承ソールプレート溶接部 要因：支承機能（移動、回転など）の低下に伴う2次応力の集中発生、およびソールプレート取付位置での断面急変に伴う応力集中。 (c) 鈑桁・箱桁のけた端切欠き構造部 要因：切欠きコーナー部における構造詳細特有の応力集中。 (d) 上路アーチ橋の垂直材取付部 要因：垂直材取付部に関しての設計仮定と実挙動との相違。（設計仮定は軸力のみを伝達、実挙動は曲げモーメントも伝達）に伴う過度な2次応力の発生。 (e) トラス橋およびアーチ橋の床組材（縦桁と横桁）の接合部、横桁と主構との接合部 要因：取付部に関しての設計仮定と実挙動との相違（設計仮定はせん断力のみを伝達、実挙動は曲げモーメントも伝達）に伴う2次応力の発生。 (f) 鋼製橋脚の柱-梁隅角部 要因：シェアラグに伴う応力集中の発生、構造詳細上の不適切さ(未溶接部の発生)		
	点検時における着目点は、右図を参照とする。		
損傷原因と種類	疲労原因の分類	疲労原因	疲労の種類
	(g) 作用外力からみた要因	(h) 活荷重による影響	(i) ・輪荷重の繰り返し回数 (j) ・風により励起された振動の繰り返し回数
		(k) 活荷重以外の荷重の影響	
	(l) 設計上の要因	(m) 構造的な応力集中を引き起こす不適切な構造	(o) ・鋼製橋脚の梁-柱の隅角部 (p) (q) ・トラス・アーチ橋床組み部材の床組材の接合部、横桁と主構の接合部
		(n) (ディテール) の採用 (r) 過大な二次応力の発生（モデル化と実構造の挙動の相違）	
	(s) 製作上の要因	(t) 製作誤差や溶接品質の不良に伴う応力集中	(u) ・主桁板継部

5.鋼部材（ボルトのゆるみ・脱落）の損傷と原因



鋼部材(ボルトのゆるみ・脱落)			
損傷概要	鋼橋の現場継手部に用いられている高力ボルトまたはリベットの劣化は、継手の耐荷性能に影響を及ぼし、高力ボルト、リベットの桁下への落下の恐れもあることから、劣化が確認された場合には、早急に対策を実施しなければなりません。 高力ボルトあるいはリベットの劣化としては、以下の通りです。(a)腐食による劣化 現場継手（高力ボルトおよびリベット継手）部における添接板、ボルト・リベットの頭部などの形状が、一般部と比べて複雑で凹凸があるため、塗膜厚の不均一が生じやすく、鋼材の腐食が発生しやすい箇所です。高力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、それに伴い締め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ります。 また、リベットの腐食に関しては、その頭部のみでなく、リベット軸部にまで腐食が進行した場合は、支圧強度の低下、ゆるみの発生につながります。 (b)リベットのゆるみによる劣化 リベット接合においては、高力ボルト接合の場合と異なり、締め付け軸力が導入されていないことから、腐食などによりゆるみが発生しやすいです。ゆるみが発生した場合は、継手部に隙間が生じ、さらに腐食が進行し、支圧接合としての継手強度の低下により、継手の安全性を確保することができなくなる場合があります。 (c)高力ボルトの遅れ破壊による劣化 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、突然脆性的に破壊する現象です。遅れ破壊の発生は、いずれも外観からは確認することができないため、実橋ではボルトの叩き点検や超音波探傷試験などにより、割れが内在しているボルトを推定することになります。 遅れ破壊の発生限界は、ほぼ引張強さ 1200N/mm^2 程度と言われており、現在用いている高力ボルト F10T（引張強さ $1000\text{--}1200\text{N/mm}^2$）では、遅れ破壊の発生事例は報告されていません。 F11T（引張強さ $1000\text{--}1200\text{N/mm}^2$）では、遅れ破壊の可能性があります。また、鋼材の成分等の関係から昭和 50 年代後半に施工されたものに遅れ破壊が発生しています。		
	 		
損傷原因と種類	劣化原因の分類	劣化原因	劣化の種類
	腐食	環境及び塗膜厚の不均一	締め付け軸力の低下に伴いすべり耐力の低下。
	リベットのゆるみ	腐食	支圧接合としての支圧耐力の低下、継手の安全性の低下。
損傷原因と種類	高力ボルトの遅れ破壊	環境、温度、応力分布、強度レベル、化学成分、熱処理温度、表面処理等々	外観から確認することは出来ません。

1.補修工法の概要

(1) 適用可能な補修工法

鋼部材（防食機能劣化・腐食）における適用可能な補修工法の概要を表-3 に示します。

- ① 塗膜の劣化及びさび・腐食が確認された場合は、適切な時期に塗装の塗替えを実施します。
- ② 塗膜の劣化、腐食の原因が特定できる場合は、腐食環境改善策を実施します。
- ③ 腐食による部材板厚の減少が著しく、部材の耐荷性能に重大な影響を及ぼす場合は、断面補強を実施します。

補修工法	適用可能な補修工法	補修方針
塗装工法	①塗替え塗装工（部分、全体）	・防食機能の回復 ・適切な塗装系の選定 ・適切な塗替え期間の設定 ・飛来塩分・凍結防止剤等の塩害に対する補修重防食塗装系塗料の使用、塩分堆積部の水洗い、構造検討（塩分堆積を防ぐ）
防水工	②橋面防水工	・漏水源の除去 ・桁端部の止水 伸縮装置の非排水化、取替えを検討 ・RC 劣化部からの漏水 床版の補修、取替えを検討 ・路面の滞水 排水装置の補修を検討
部材補修工法	③当て板補修工法	・腐食減厚部の断面回復
取替え工法	④部材取替え工法（一部、全体）	・腐食部材の機能回復

【適用可能な補修工法（防食機能の劣化・腐食）】

2.損傷原因と補修工法の日安

鋼部材の防錆機能劣化・腐食による損傷と補修工法の日安を表-4 に示します。

損 傷	損傷原因	補修工法				備 考
		①塗替え塗装工	②橋面防水工	③当て板補修工法	④部材取替え工法	
防食機能劣化	環 境	◎				塩害、化学的腐食
	材料劣化					品質不良
	製作・施工					製作・施工不良
			◎			防水・排水工不良
腐 食	環 境	◎		○	○	塩害、化学的腐食
	材料劣化					品質不良
	製作・施工					製作・施工不良
			◎			防水・排水工不良

◎：適用可 ○：適用検討

【表-4 損傷原因と補修工法の日安】

1.補修工法の概要

(1) 適用可能な補修工法

鋼部材（亀裂・破断）における適用可能な補修工法の概要を表-7 に示す。

① 鋼部材の疲労に対する補修工法の選定に際しては、疲労の発生部位、原因、進行程度を十分に考慮する。

② 疲労に対する補修・補強は、以下の対策を適切に組合せ実施する。

(a) 局部応力の低減、継手強度の向上を目的とした主な対策

- ・ ストップホール
- ・ 溶接補修と溶接継手の疲労強度向上
- ・ 当て板補強
- ・ 構造詳細の改良

(b) 主桁の一次応力を低減させることを目的とした主な対策

- ・ 主桁断面補強工法

【適用可能な補修工法】

補修工法	適用可能な補修工法	補修方針
亀裂補修工法	①溶接補修工法	・ 数 c m の亀裂長の場合 疲労の起点となった欠陥や不良部を排除することで、疲労の再発を防止することが可能。 溶接部の十分な品質検査が行えない場合には、当て板補強板（ボルト接合）が必要。 再溶接部の品質を確保することが重要。
	②ストップホール工法	・ 数十 c m の亀裂長の場合 亀裂の先端にストップホールを設け、当て板のボルト接合（ストップホールのボルト締付けも兼用）により、抵抗断面を確保する工法（当て板補強）を検討。 早急な対策が必要であり、亀裂部を溶接補修すると、新たな欠陥を残すことや溶接補修時に亀裂が急激に伝播する危険性が高い。
	③当て板補修工法	
取替え工法	④部材取替え工法 （一部、全体）	・ 構造詳細の改良により、二次応力や局所的な応力集中を改善 応力の伝達をスムーズにし応力の集中を低減。部材の拘束開放により二次応力の発生を除去。 部材の抵抗断面を増加させることで発生応力を低減。 支承機能を回復させ二次応力の発生を除去。
改良工法	⑤形状改良工法	・ 一次応力が原因かどうかの判定は、実橋の応力計測結果や立体 FEM 解析結果に基づき行う ・ 疲労照査の結果、継手強度の改善では十分な疲労耐久性の確保が困難な場合には、主桁、主構の一次応力低減のため主桁断面補強を検討
緊急対策工法	原因究明や補修・補強対策の選定に時間を要する場合 ・ 桁の仮受 ・ ストップホールと当て板補強 （ボルト接合）	・ 亀裂の発生が、主要部材の引張領域に及び、すでに数十 c m に成長している場合は、脆性的な破壊に移行し、一気に部材が破断する危険性あり

2.損傷原因と補修工法の目安

鋼部材の亀裂・破断による損傷と補修工法の目安を表－3.6 に示します。

【損傷原因と補修工法の目安】

損 傷	損傷原因	補修工法					備 考
		①溶接補修工法	②ストップホール工法	③当て板補修工法	④構造詳細改良工法	⑤形状改良工法	
亀 裂	外 力	◎	○	◎	○	◎	繰返し荷重
							衝突、地震
	材料劣化			○	○	○	品質不良
	製作・施工	◎		○	○	○	製作・施工不良
	構 造					○	構造形式・形状不良
破 断	外 力	○		○	○		繰返し荷重
					◎		衝突、地震
	材料劣化				◎		品質不良
	製作・施工	○			○		製作・施工不良

◎：適用可 ○：適用検討

1.補修工法の概要

(1) 適用可能な補修工法

鋼部材（ボルトのゆるみ・脱落）における適用可能な補修工法の概要を表－3.10 に示します。

- ①高力ボルトは、腐食により締付け軸力が低下するため、腐食量（ナット肉厚やボルト頭の掛かり長が半分程度で急激に軸力低下）により、新規ボルトに取替え、腐食環境を改善します。
- ②F11T 高力ボルトは、遅れ破壊や腐食等の劣化が生じる恐れがあるため、その場合は、F10T 高力ボルトあるいは S10T 高力ボルトに取替え、腐食環境を改善します。
- ・劣化ボルトのみ取替え。
 - ・劣化ボルトの発生した添接部の全ボルトの取替え。
 - ・劣化ボルトと同一ロット製造の全ボルトの取替え。
- ③リベット軸部の腐食やゆるみの生じたリベットは、F10T あるいは S10T ボルトに取替えます。
- ・劣化リベットのみ取替え。
 - ・劣化リベットの発生した継手部の全ボルトの取替え。

補修工法	適用可能な補修工法	補修方針
ボルト取替え	①高力ボルト取替え工法 ・ F 10 T または、S 10 T への取替え ②リベット取替え工法 ・ F 10 T または、S 10 T への取替え	・ 防錆処理ボルトの使用（防錆ボルト・防錆キャップ） ・ 腐食環境の改善（桁端部の漏水防止、箱桁内への雨水侵入防止） ・ 取替え方法の選定 劣化ボルトのみの取替えは、劣化後 10 年以上経過し新たな劣化が発生しない場合のみ適用可能。 添接部の全ボルトおよび同一ロットの取替えは、連結部の照査が必要。 ・ 落下が生じた橋梁は、第三者被害の防止処置を実施 防護ネット、落下防止キャップ ・ リベット頭と母材部の接面に腐食が生じる前に取替え

【表－3.10 適用可能な補修工法】

(2) 損傷原因と補修工法の目安

鋼部材（ボルト）のゆるみ・脱落による損傷と補修工法の目安を表－3.11 に示します。

損 傷	損傷原因	①ボルト取替え工法	備 考
ゆるみ・脱落	外 力 材料劣化 製作・施工	◎	繰返し荷重、衝突、地震品質不良 製作・施工不良

◎：適用可

【表－3.11 損傷原因と補修工法の目安】