

鋼橋維持管理技術者の トレーニングマニュアル

I . 現地検査編

橋梁検査員トレーニングマニュアル 目次

はじめに	1
1. 既設橋梁の維持管理	2
1. 1 維持管理の実態	2
1. 2 現地検査の実情	3
1. 3 維持管理の流れ	5
2. 損傷事象と事例	6
2. 1 損傷発生箇所	6
2. 2 疲労亀裂	12
2. 3 変形・破断	14
2. 4 腐食	15
2. 5 支承	16
2. 6 その他	20
3. 鋼橋の特徴	21
3. 1 使用鋼材	21
3. 2 溶接接合	25
3. 3 鋼床版	32
3. 4 リベットおよび高力ボルト接合	33
3. 5 防錆	36
3. 6 支承	42
3. 7 伸縮装置	45
3. 8 落橋防止装置	49
4. 破壊検査	51
4. 1 鋼材の機械試験	51
4. 2 塗膜試験	54
5. 非破壊検査	57
5. 1 種類と特徴	57
5. 2 目視検査	59
5. 3 超音波探傷検査	60
5. 4 磁粉探傷検査	61
5. 5 染色浸透探傷検査	63
5. 6 渦流探傷検査	64
5. 7 応力測定	65

6. 現地検査の実際	70
6. 1 検査対象部位	70
6. 2 検査手順	74
6. 3 目視検査	76
6. 4 疲労亀裂	78
6. 5 変形・破断	82
6. 6 腐食	85
6. 7 塗膜の異常	90
6. 8 無塗装耐候性橋梁	97
6. 9 支承の変状	102
6.10 リベットおよび高力ボルト継手	104
6.11 伸縮装置	108
6.12 落橋防止装置	110
6.13 応力測定	112
6.14 記録	115
7. 安全衛生管理	118
8. 今後の維持管理の方向	121

はじめに

橋梁の維持管理では、従来の変状等問題点を検出し、措置の必要性和方法を判断して対策していく、というものに加え、最近では老朽構造物が増大傾向にあることから、延命化を図るとか、既存橋梁を有効に活用していくことが重要な役割となりつつある。

そのためには、橋梁をよく評価・判定したり効果的対策を立てる技術を蓄積するだけでなく、同時に、判定や対策を有効にするために利用する実態把握データの収集整理をよりよいものとしていく必要がある。

しかし、このような技術をもつ技術者は非常に少なく、今後この分野の技術者をいかに養成していくか課題になってくる。

当ワーキンググループでは、鋼橋の維持管理における現地検査を行う技術者が身につけるべき基本的知識について当ワーキンググループメンバーの知識をベースに調査した結果をまとめてみた。

以下に今回まとめた主な項目を示す。

- ① 既設橋の維持管理の実態と動向
- ② 鋼橋における損傷の事例
- ③ 維持管理に当って必要となる鋼橋の特徴
- ④ 破壊検査と非破壊検査

まだ、十分な内容となっていない面も多々あるが、現行の実務でよく用いられるものを中心に整理してみた。

少しでも役に立てば幸いに思う。

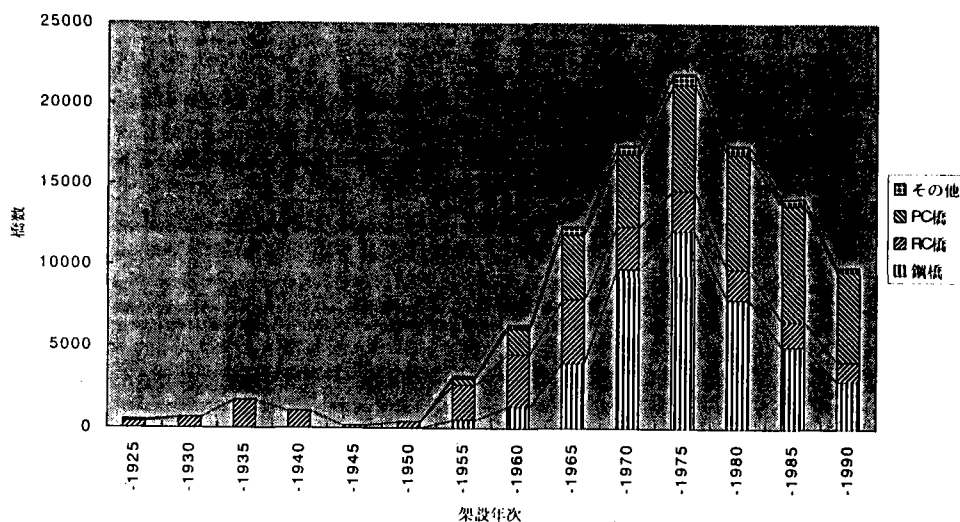
1. 既設橋梁の維持管理

1. 1 道路橋の維持管理の実態（出典：西川、山本、中島：ミニマムメンテナンス橋に関する研究、第21回日本道路会議、774）

1.1.1 供用年数別の橋梁数

全国に124,604橋（平成5年4月1日現在、橋長15m以上）が、既設橋として存在し、延長で約7,000kmにのびている。図1-1は、架設年次別の橋数を示したものである。

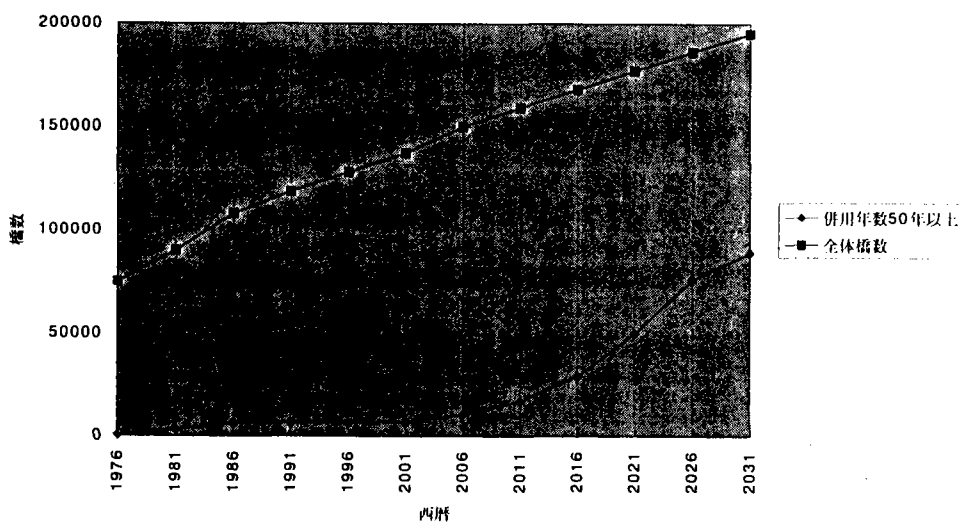
図1-1 架設年次別橋数



1.1.2 供用年数50年以上の橋数割合の将来予測

新設および架替えの橋梁数が現在のペースで進めば、図1-2に示すように、2030年には供用年数50年以上の橋が過半数にも及ぶこととなる。つまり、寿命を迎える程の古い橋が大半となり、維持管理の手間もコストも今後急増することになる。

図1-2 道路橋数の将来動向



1. 2 現地検査の実情

1.2.1 現地検査に関する基準類の整備状況

建設省の各地建、高速道路公団、主要都市などにおいては、橋梁の点検要領などの維持管理基準類の整備はなされており、橋梁諸元、点検歴、補修歴などのデータベース化も現在進められている所である。

1.2.2 現地検査の種類

現地検査は、各機関で定めた一定の頻度で定期的に行う「定期点検」のほか、必要に応じて実施される「震災点検」などの臨時的な点検として行われることが多い。点検の後、損傷の原因や程度・範囲を詳細に把握するために行われる「詳細調査」も現地検査の一つである。「詳細調査」は損傷や異常がない場合でも、耐荷力を判定するために行われる場合もある。

1.2.3 現地検査の教育および資格制度

建設省の外郭団体である財団法人道路保全技術センターでは、平成6年度から橋梁点検技術研修を始め、橋梁点検員の技術力向上を図るとともに、点検員の資格化を進めようとしている。

1.2.4 損傷の生じやすい部位（土木研究所資料第2682号、38）

表 1-1 部材別損傷別の損傷数とその構成比率 (径間単位)

部 材	部材記号	対象径間数	損 傷 径 間 数					損傷径間比率 (%)					
			I	II	III	IV	OK	I	II	III	IV	OK	
上 部 工	鋼	主桁 Ms	1654	0	119	133	69	1333	0.0	7.2	8.0	4.2	80.6
		横桁 Cs	1456	0	42	21	21	1372	0.0	2.9	1.4	1.4	94.2
		縦桁 Ss	335	0	7	3	0	325	0.0	2.1	0.9	0.0	97.0
		対傾構 Sw	1320	0	3	19	25	1273	0.0	0.2	1.4	1.9	96.4
		横構 Lb	1289	0	2	22	25	1240	0.0	0.2	1.7	1.9	96.2
		床版 Ds	26	0	1	4	2	19	0.0	3.9	15.4	7.7	73.1
工	コンクリート	主桁 Mc	1054	0	135	173	60	686	0.0	12.8	16.4	5.7	65.1
		横桁 Cc	1037	0	46	68	26	897	0.0	4.4	6.6	2.5	86.5
		縦桁 Sc	32	0	0	0	0	32	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
		床版 Dc	2841	0	609	684	350	1198	0.0	21.4	24.1	12.3	42.2
下 部 工	鋼橋脚	橋脚 Ps	18	0	9	3	0	6	0.0	50.0	16.7	0.0	33.3
		橋脚 Pc	2091	0	100	185	62	1744	0.0	4.8	8.9	3.0	83.4
		橋台 Ac	1322	0	130	175	45	972	0.0	9.8	13.2	3.4	73.5
		基礎 Fo	2866	0	4	14	0	2848	0.0	0.1	0.5	0.0	99.4
支 承	本体	鋼 Bs	-	0	363	87	27	-	-	-	-	-	-
		ゴム Bc	-	0	11	0	5	-	-	-	-	-	-
		モルタル Bm	-	0	61	17	42	-	-	-	-	-	-
		アジャスター Ba	-	0	22	3	15	-	-	-	-	-	-
高 橋	鋼	Es	-	0	55	115	184	-	-	-	-	-	-
		コンクリート Ec	-	0	94	42	80	-	-	-	-	-	-
防 護 柵	鋼	Rs	-	0	3	9	17	-	-	-	-	-	-
		コンクリート Rc	-	0	0	0	1	-	-	-	-	-	-
地 覆	鋼	Fs	10	0	0	0	1	9	0.0	0.0	0.0	10.0	90.0
		コンクリート Fc	2857	0	56	36	132	2634	0.0	2.0	1.3	4.6	92.2
舗 装	鋼	Pm	2866	0	230	32	245	2359	0.0	8.0	1.1	8.5	82.3
伸 縮 装 置	鋼	Js	1768	0	71	25	20	1652	0.0	4.0	1.4	1.1	93.4
		ゴム Jr	819	0	52	1	35	731	0.0	6.4	0.1	4.3	89.3
排 水 施 設	鋼	Dr	2866	0	220	42	21	2583	0.0	7.7	1.5	0.7	90.1
落 橋 防 止 装 置	鋼	Ts	1266	0	23	13	4	1226	0.0	1.8	1.0	0.3	96.8
		コンクリート Tc	491	0	0	0	0	491	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
点 検 施 設	鋼	Al	86	0	0	5	1	80	0.0	0.0	5.8	1.2	93.0
遮 音 施 設	鋼	So	37	0	0	0	0	37	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
照 明 施 設	鋼	Il	-	0	0	10	8	-	-	-	-	-	-
添 架 物	鋼	Ut	1260	0	10	29	9	1212	0.0	0.8	2.3	0.7	96.2
標 識	鋼	In	-	0	0	0	2	-	-	-	-	-	-
袖 籠 壁	鋼	Ww	924	0	5	12	6	901	0.0	0.5	1.3	0.7	97.5
中 央 分 離 帯	鋼	Cr	408	0	2	0	2	404	0.0	0.5	0.0	0.5	99.0
縁 石	鋼	Cu	1327	0	11	5	15	1296	0.0	0.8	0.4	1.1	97.7

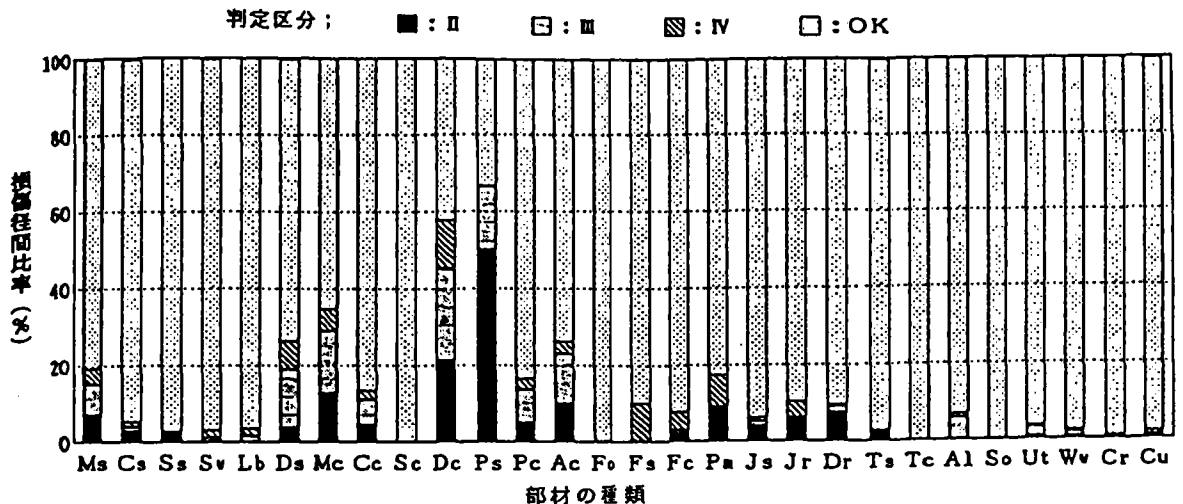


図 1-3 部材別損傷発生率 (径間単位)
注)部材記号は、表 1-1 参照

1. 3 維持管理の流れ

維持管理の流れは、日常点検、定期点検、異常時点検などの『点検』から始まり、『点検』の結果から必要と判断された橋梁の『調査』（損傷や欠陥の有無の判断までを『検査』と呼び、場合によっては予備検査、詳細検査に分けて行われる事もある。本マニュアルはこの部分を対象としている。）、そして、『調査』の結果から必要と判断された橋梁の『補修設計』が実施され、最後に『補修工事の施工』が行われる。橋梁の維持管理の流れを図1-4に示す。

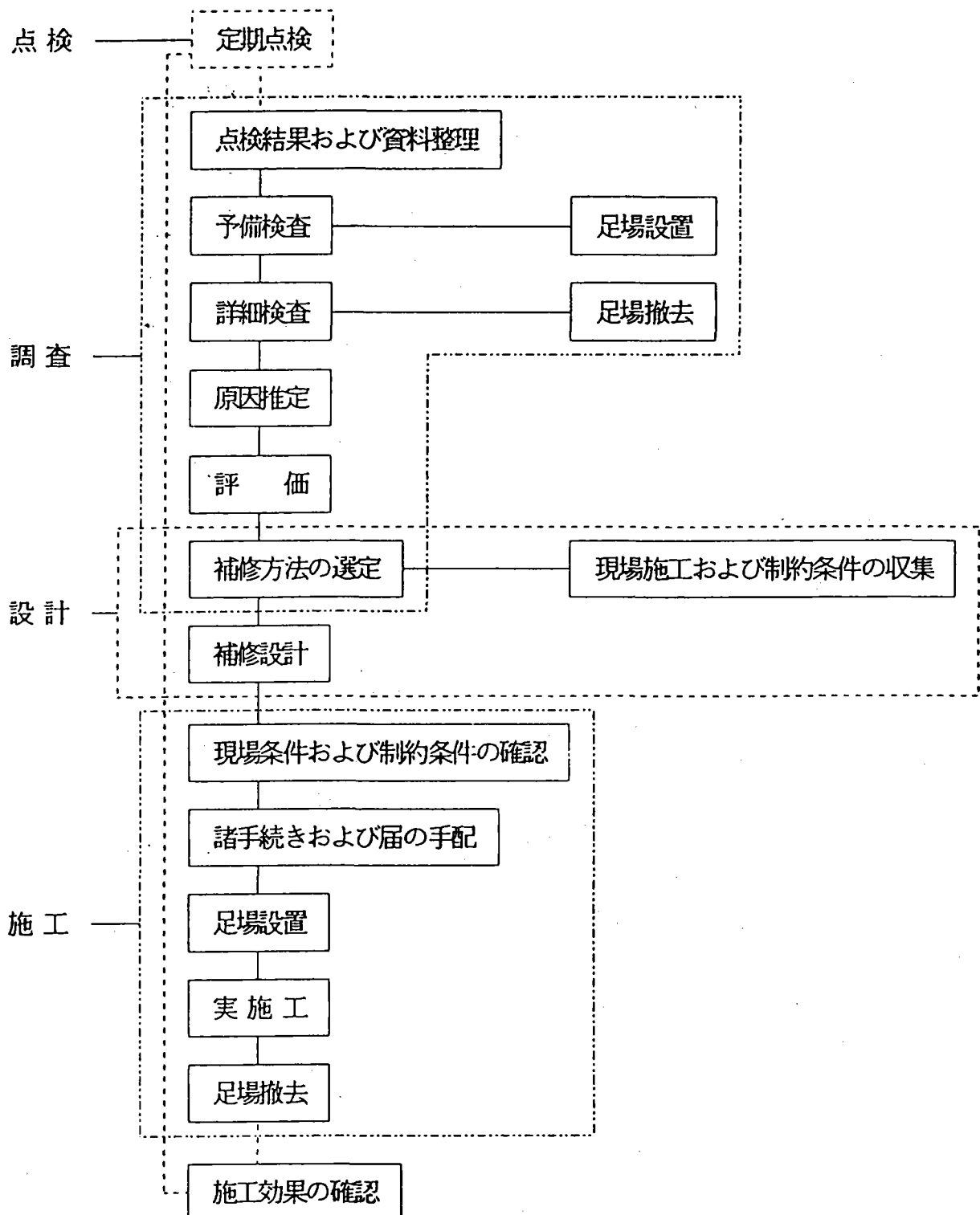


図1-4 維持管理の流れ

2. 損傷事象と事例

2.1 損傷発生箇所

(出典：橋梁点検マニュアル(案) (社)日本橋梁建設協会)

2.1.1 鋼 桁

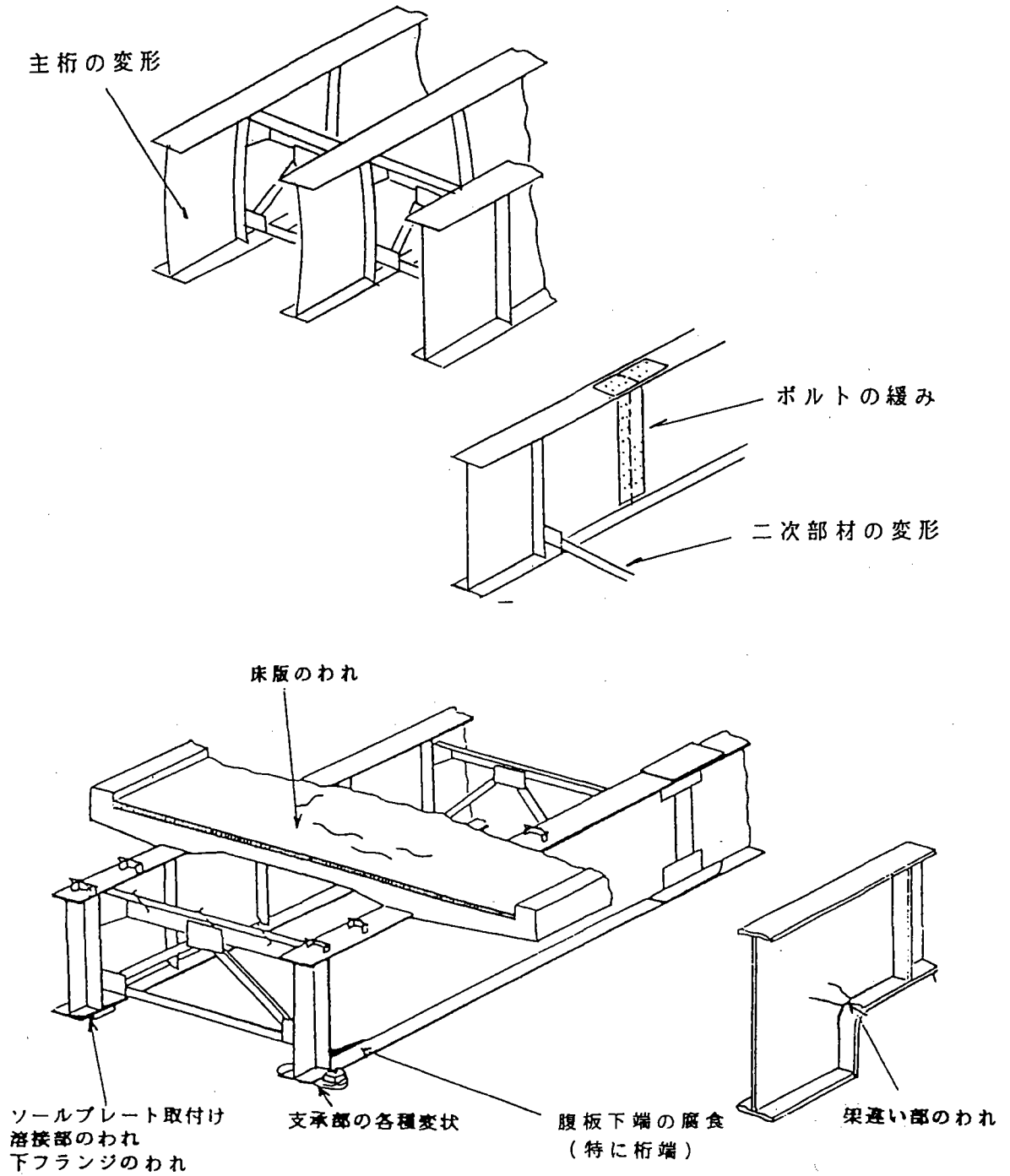


図 - 2.1.1 鋼桁の主な損傷箇所

2.1.2 箱 桁

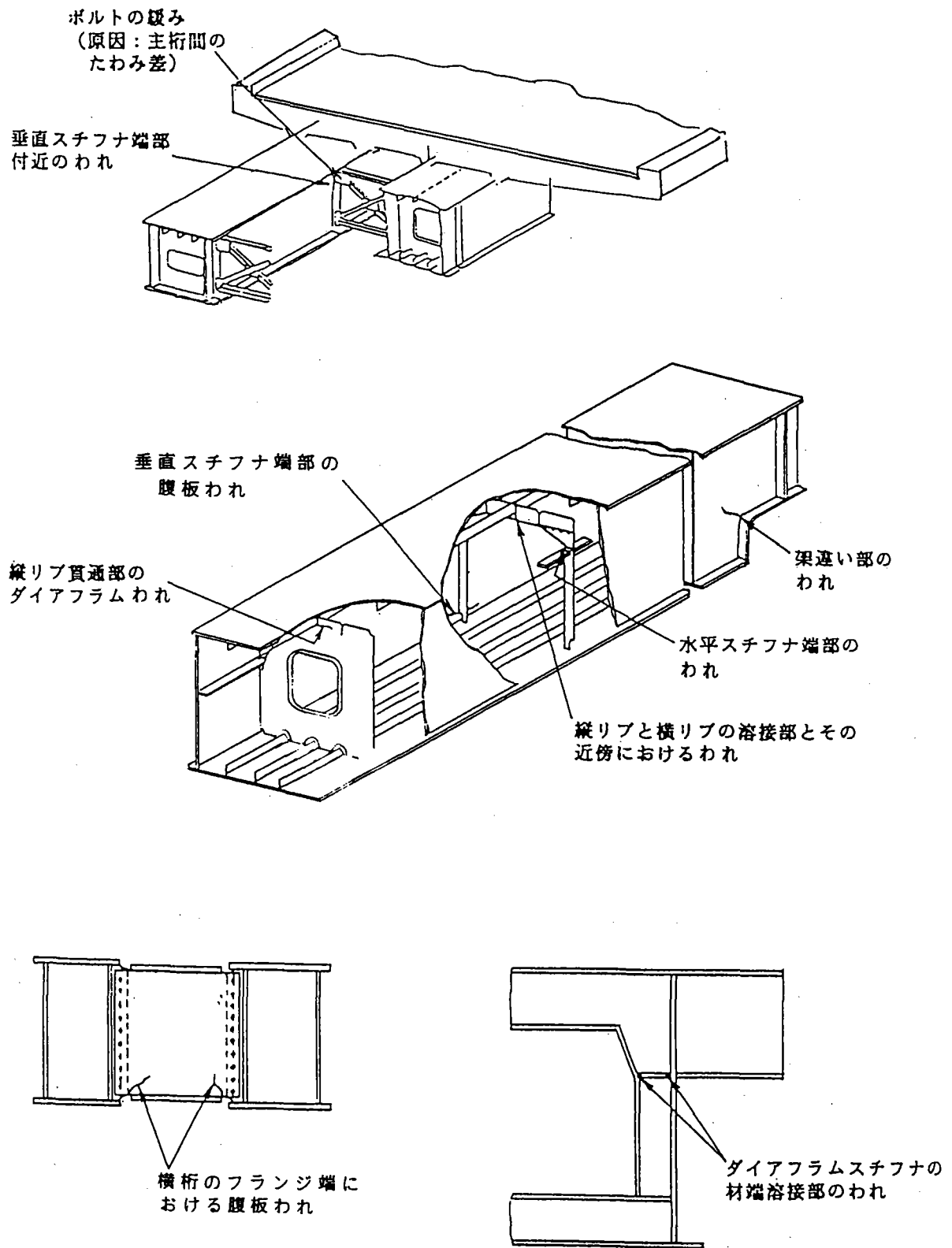


図 - 2.1.2 箱桁の主な損傷箇所

2.1.3 鋼床版

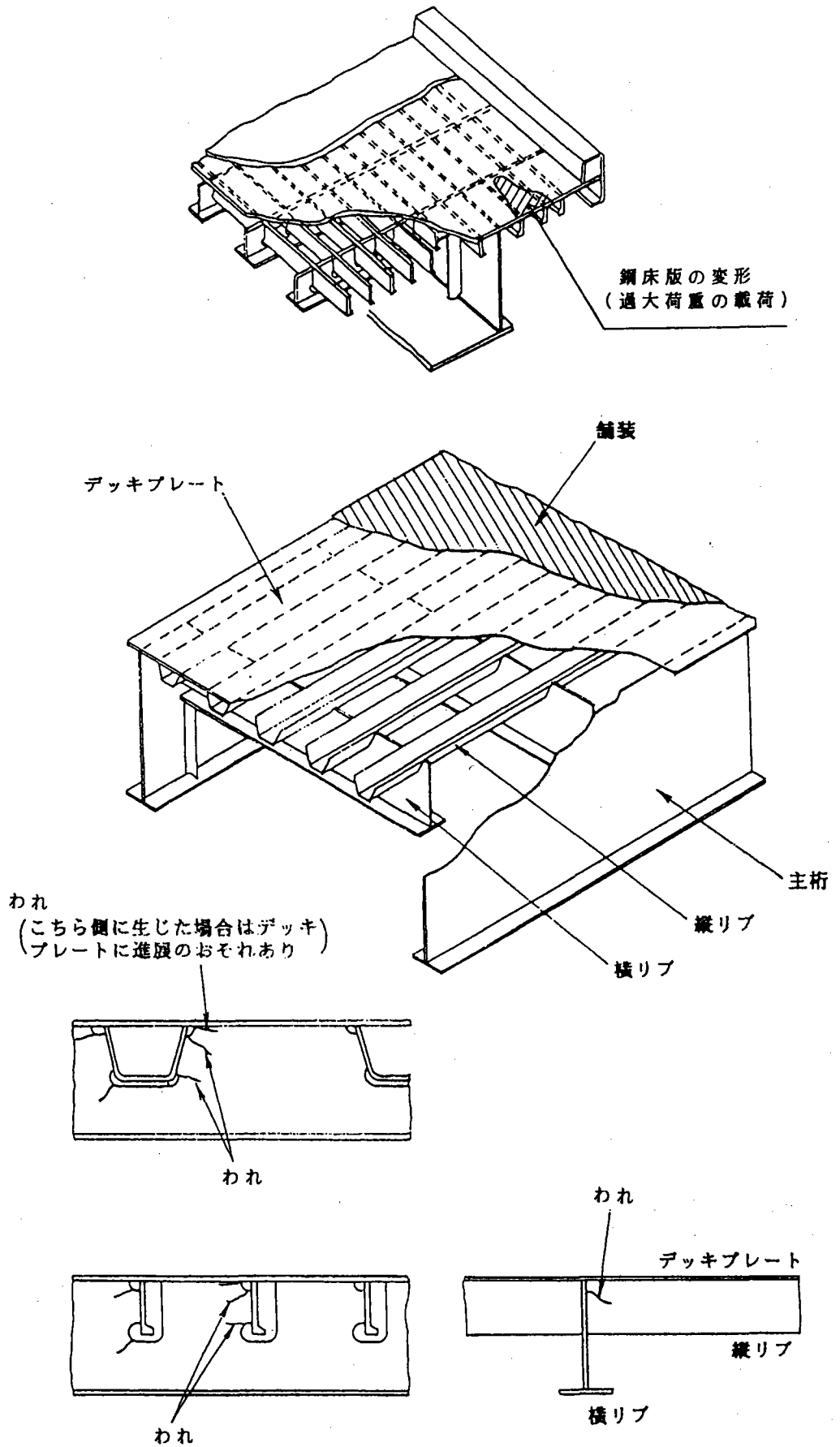


図 - 2.1.3 鋼床版の主な損傷箇所

2.1.4 トラス

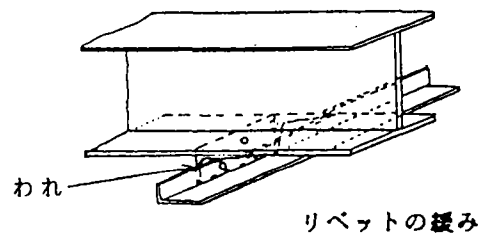
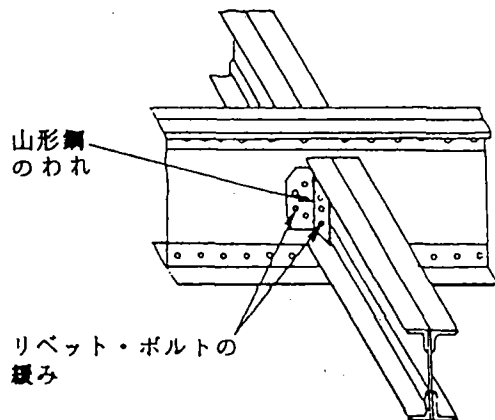
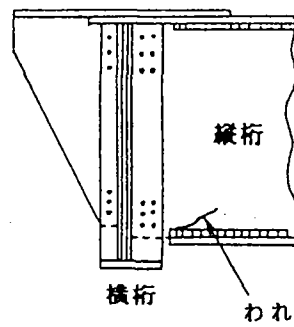
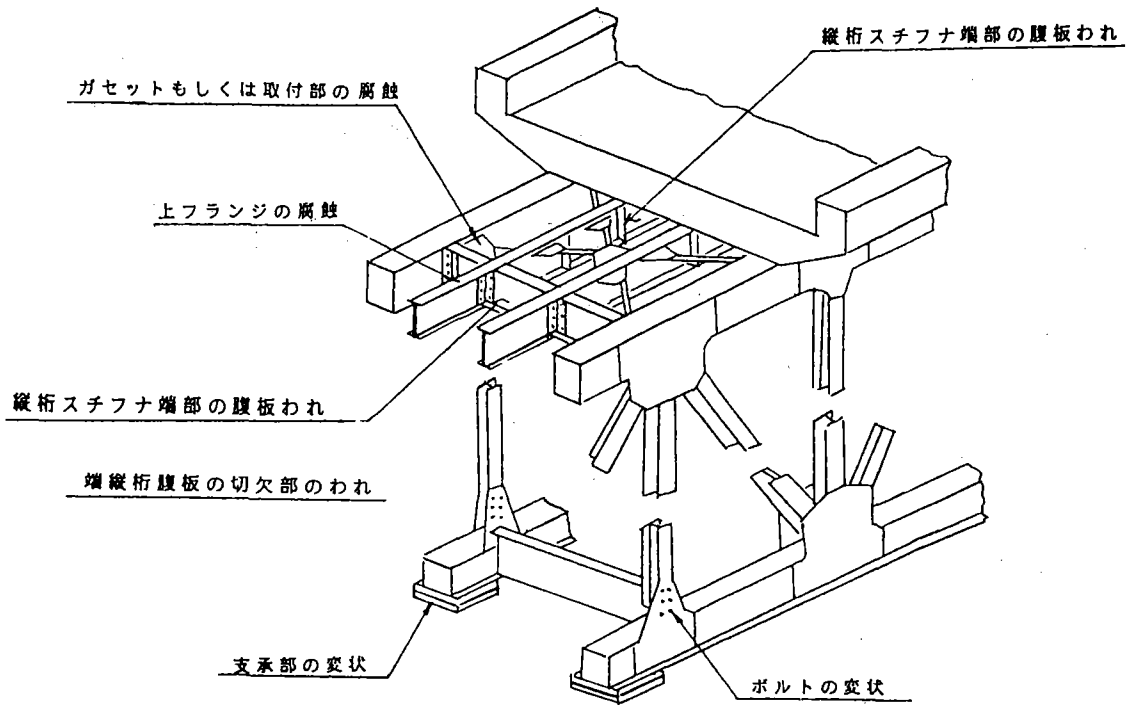


図 - 2.1.4 トラス 橋の主な損傷箇所

2.1.5 アーチ・ランガー

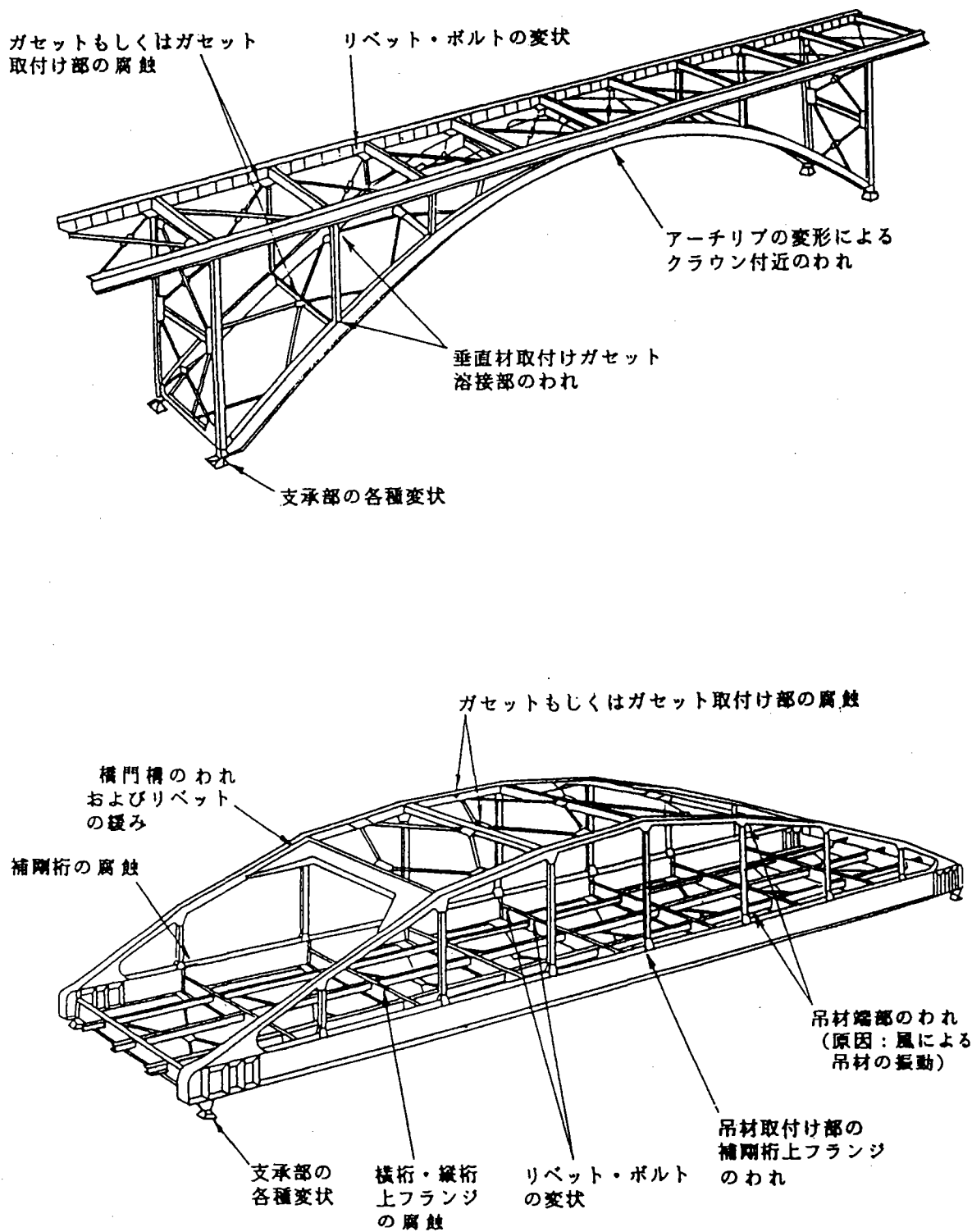


図-2.1.5 アーチ桁・ランガー桁の主な損傷箇所

2.1.6 吊り橋

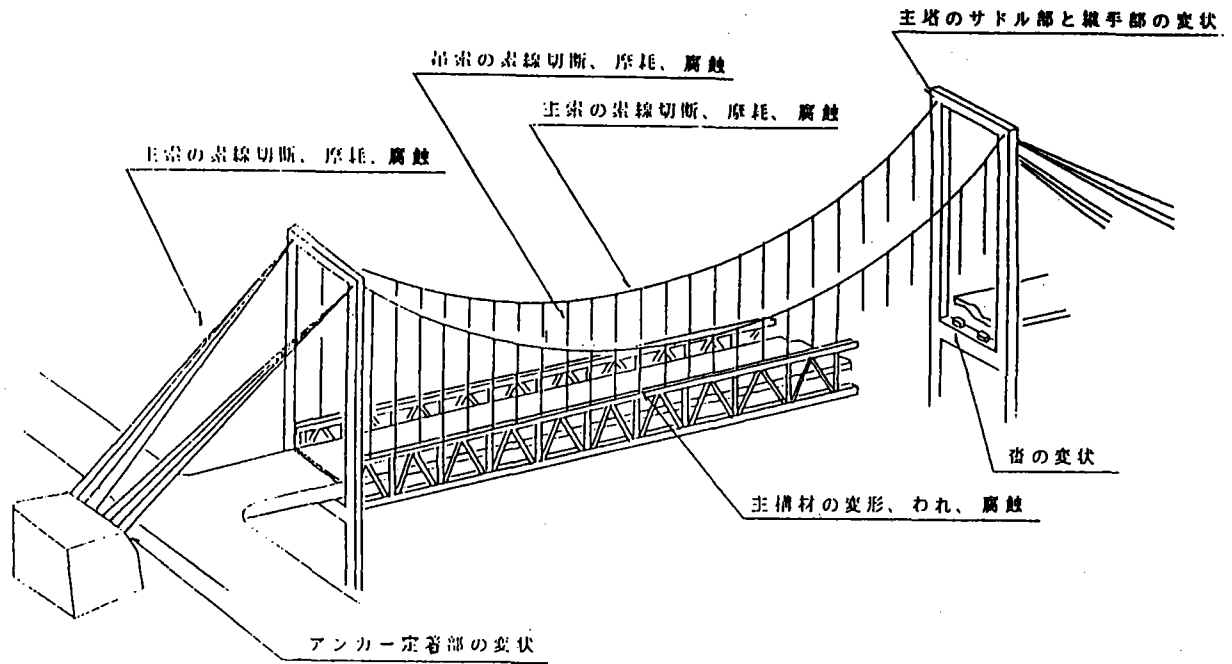


図 - 2.1.6 吊り橋の主な損傷箇所

2.1.7 鋼製橋脚

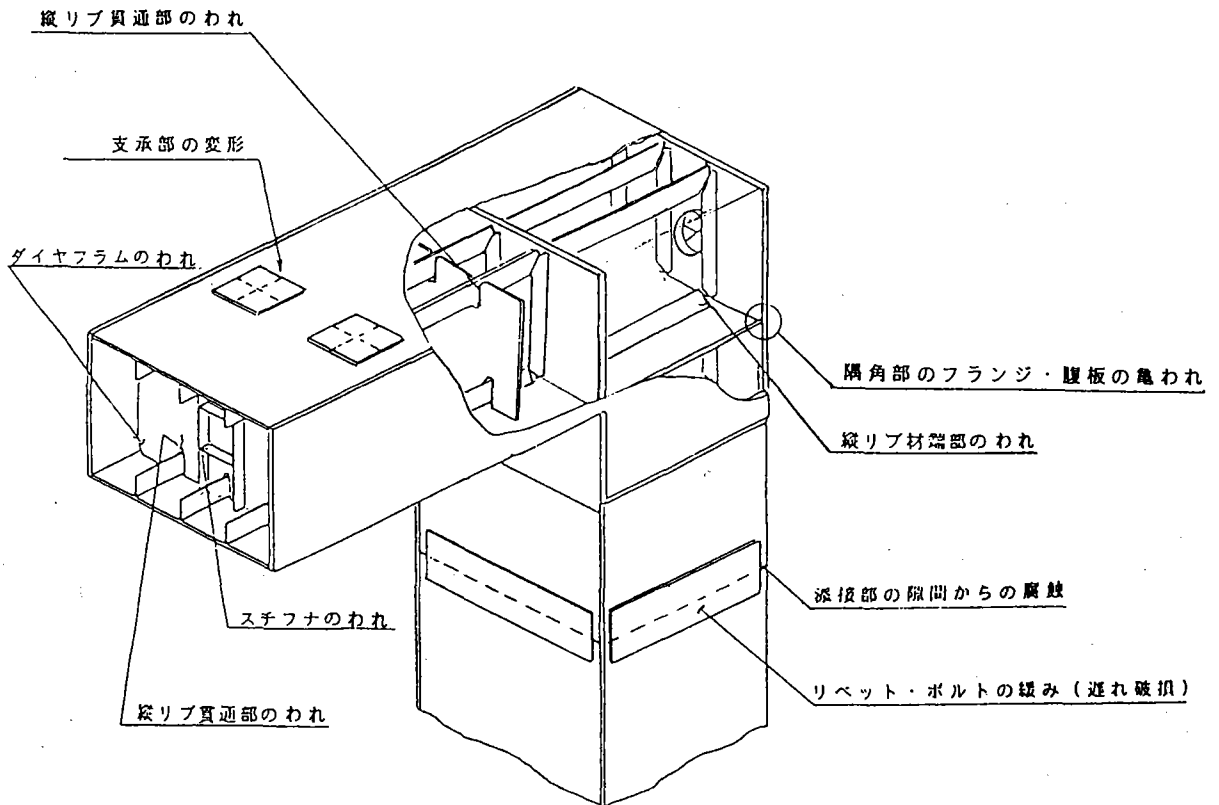


図 - 2.1.7 鋼製橋脚の主な損傷箇所

2.2. 疲労亀裂

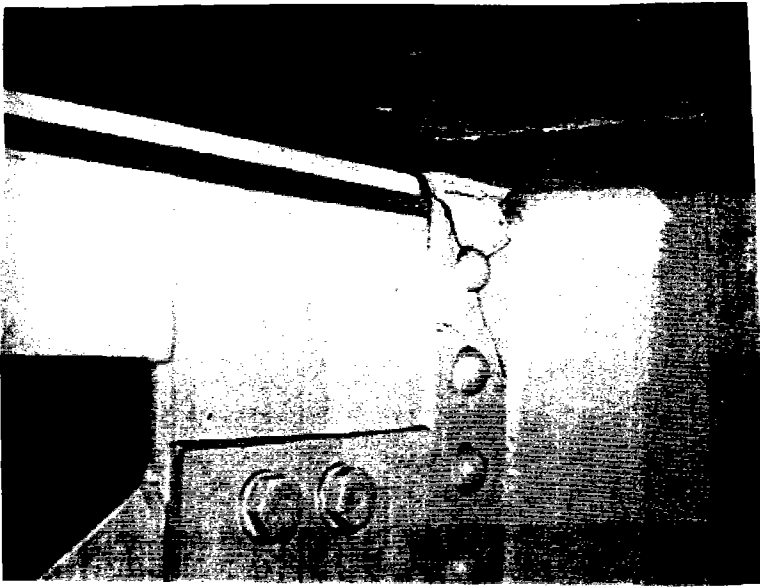
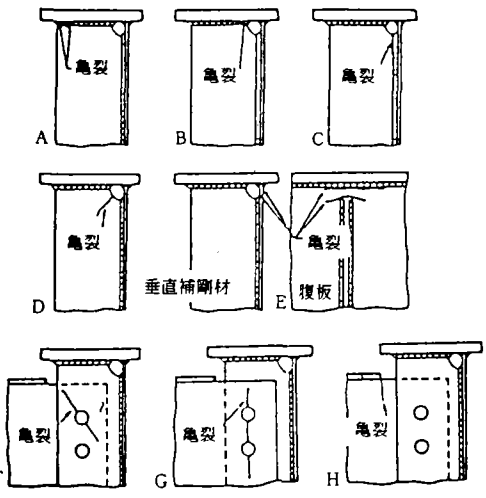
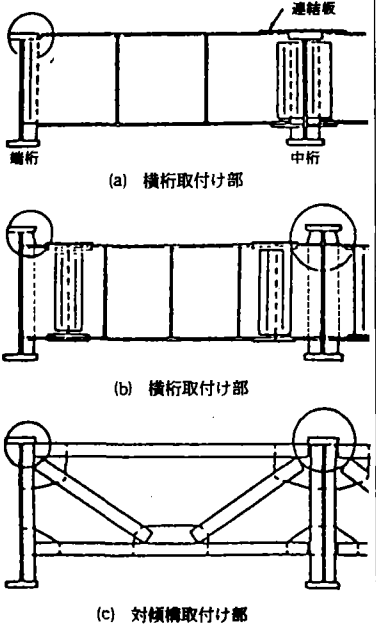

疲労亀裂の発生原因は、大きく次の3つに分類される。

- ① 欠陥の存在又は不十分な設計ディテールによるもの。
- ② 横分配作用によるもの。
- ③ 予期せぬ振動によるもの。

実際にはこれらの原因が複合して発生している場合が多い。

表 - 2.2.1 疲労亀裂の発生状況

原因	事 例	状 況
① 欠陥の存在又は不十分な設計ディテール		<p>フランジとウェブの首溶接部に生じていたブローホールを起点として亀裂が発生</p> <p>(試験片切り出しによる断面の観察)</p>
		<p>鋼桁ウェブ、切欠部のウェブと下フランジの隅肉溶接部に亀裂が発生</p>

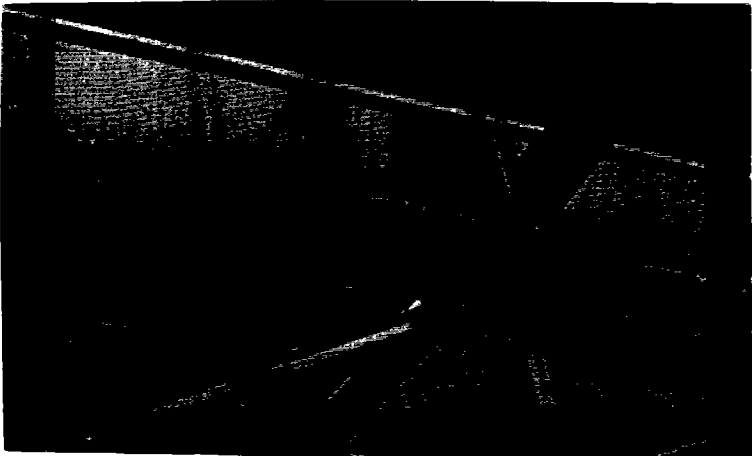

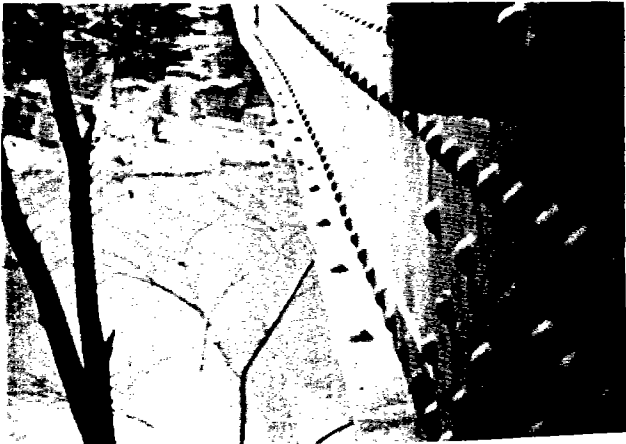
原因	事 例	状 況
② 横 分 配 作 用	  <p>A, B, C: Cracks in the upper flange of the crossbeam.</p> <p>D: Crack in the upper flange of the crossbeam.</p> <p>E: Cracks in the vertical stiffener and the double plate (複板).</p> <p>G, H: Cracks in the upper flange of the crossbeam.</p>	<p>対傾構取付け部において 垂直補剛機の廻し溶接部 から亀裂が発生</p>  <p>(a) 横桁取付け部 端桁 連結板 中桁</p> <p>(b) 横桁取付け部</p> <p>(c) 対傾構取付け部</p>
③ 予 期 せ め 振 動		<p>列車通過時の振動による 検査路手摺溶接部の破断</p>

2.3 変形・破断

変形・破断の発生原因としては、以下のような場合がある。

- ① 車両等の衝突や重量物の落下によるもの。
- ② 火災等による熱影響によるもの。
- ③ 洪水、強風等の自然災害によるもの。

表 - 2.3.1 変形・破断の発生状況

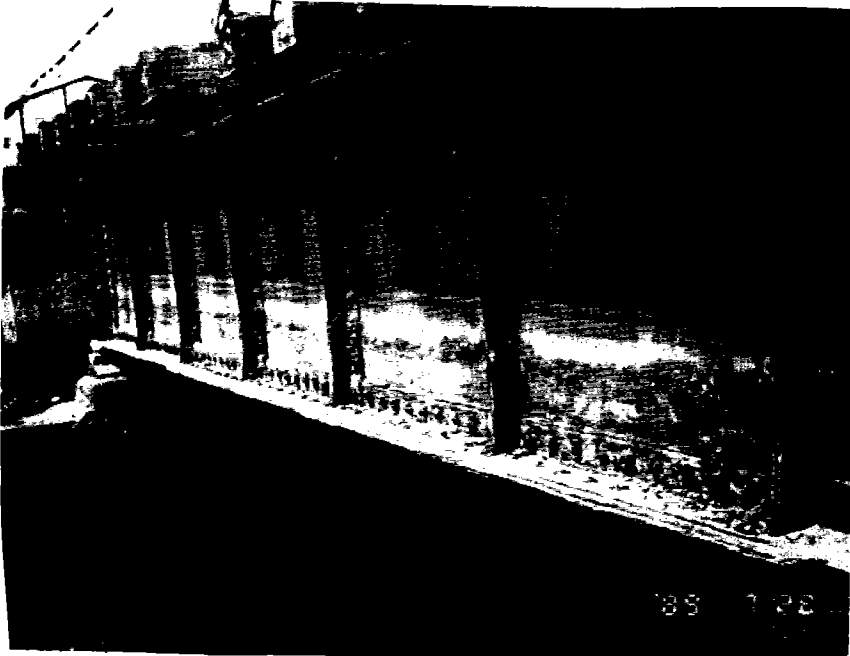

原因	事 例	状 況
① 車両等の衝突や重量物の落下		衝突により下フランジが変形
② 火災等による熱影響		火災時の熱により、主桁ウェブ等が変形
③ 洪水、強風等の自然災害		洪水時の流木の衝突により下フランジが変形

2.4 腐食

腐食の発生原因としては、以下のような場合がある。

- ① 浸水、漏水、滞水等によるもの。
- ② 塵埃等の堆積によるもの。
- ③ 周辺環境条件の変化と防錆仕様の不備によるもの。
- ④ 塗装施工の不備によるもの。

表 - 2.4.1 腐食の発生状況

事 例	状 況
	海水の浸水による主桁下部の腐食
	箱桁内面の滞水による添接部の腐食

2.5 支 承

2.5.1 支承の変状の種類

支承部の変状は支承本体の変状と取付け部の変状とに大別できる。

分 類			
支 承 本 体	鋼 製 支 承	上 査	① 浮き上り防止装置の破損 (サイドブロック) ② 移動制限装置の破損 (上下ストッパー)
	回 転 面 と 支 承 面	下 査	③ 移動制限装置の破損 (下ストッパー) ④ 各部材の腐食 ⑤ ナットのゆるみ ⑥ タップボルト、セットボルトのゆるみ、抜落ち
取 付 け 部			⑦ すべり面、これ及びローの腐食 ⑧ ローン及びローの落下 ⑨ ピン異音 ⑩ 異常音
			⑪ 充填モルタルのひびわれ ⑫ アンカーボルトの切断、引抜け ⑬ 査座コンクリートの圧壊、剝離

2.5.2 支承変状とその原因

支承変状とその原因は大別すると

- 1) 設計、製作、施工及び維持管理の不備が原因の場合
 - 2) 地震あるいは下部構造の予想外の変位など不慮の災害が原因の場合
- とに分けられる。

以下に、支承各部の変状の主たる原因について述べる。

(1) 浮上り防止装置の損傷 (サイドブロック)

曲線橋や斜橋などのように構造やその挙動が複雑な場合予想外の負反力が作用して損傷する場合がある。

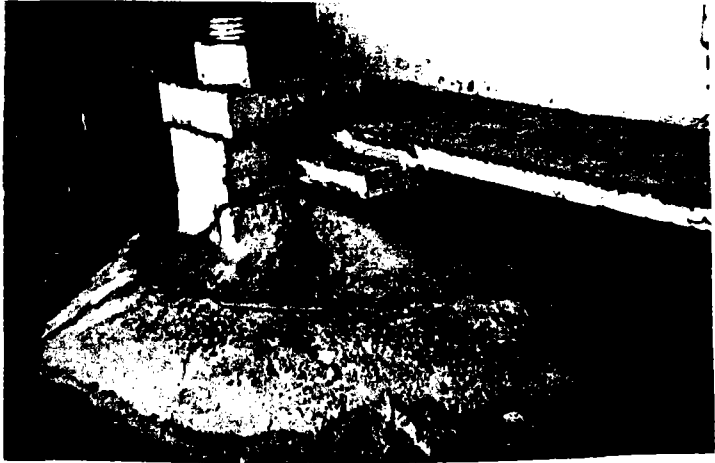
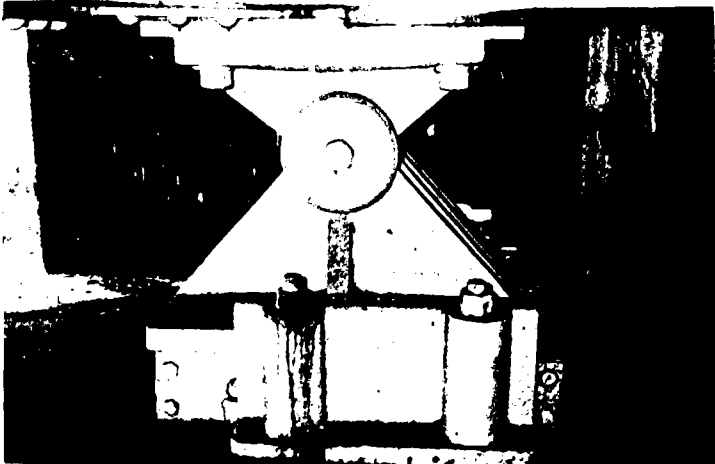
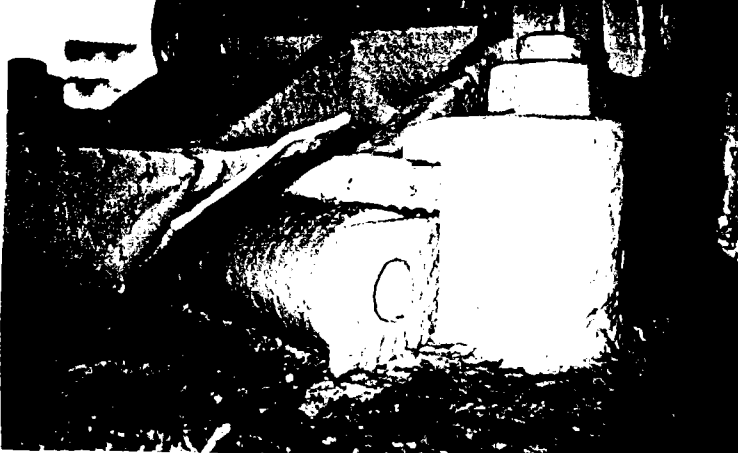

(2) 移動制限装置の損傷

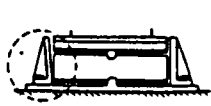
- ・ 曲線桁や斜橋の可動支承のように、移動方向と回転方向が一致しない場合で支承の形式選定及び配置が適切でないために損傷する場合がある。
- ・ 施工時のセット量の誤り
- ・ 同一橋脚及び橋台上に多数の支承を設置する場合、橋軸直角方向の上下の支承の隙間が一定でない場合、地震時水平力が特定の支承に集中して作用するため損傷する場合がある。

(3) 支承部のわれ

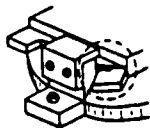
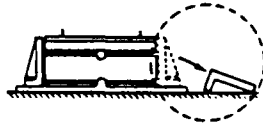
- ・ モルタルの充填不良、あるいはライナプレートの腐食等により損傷が生じる場合がある。
- ・ 曲線橋や斜橋などのように構造やその挙動が複雑な場合に於いて、不均等な反力が局部集中し、支承本体のわれが生じる場合がある。
- ・ 不十分な品質管理、製作の困難さによる鑄巣、われ、傷などの材料の欠陥

- (4) 各部材の腐食
 - ・塗装系の選定の誤り、防錆の不良及び防水・排水装置の損傷による漏水
 - ・浸水など
 - ・沓座面の清掃不十分
- (5) ナットのゆるみ
 - ・施工時のナットの締込み不足及び振動
- (6) タップボルト、セットボルトの抜落ち
 - ・抜落ちに対する設計上の配慮不足
- (7) すべり面、ころがり面のさびつき
 - ・すべり面、ころがり面への塵埃、異物の混入
 - ・伸縮装置の止水装置及び防水、排水装置の損傷による漏水、浸水
- (8) ローラーのずれ及び落下
 - ・移動量あるいは移動方向の検討不足
 - ・施工時のセット量の誤り
 - ・下部構造の変位
- (9) ピン及びローラーのわれ
 - ・橋軸直角方向のピン及びローラーのすきが一方に寄りすぎ
- (10) 異常音
 - ・ローラーのずれ及び片よりによりローラーと沓本体の摩擦音
 - ・ローラーカバーと沓本体の摩擦音
 - ・ストッパー部の片よりによる摩擦音
 - ・すべり面の摩擦音
- (11) 充填モルタルのひびわれ
 - ・無収縮モルタルの充填不良による場合、及びモルタルの配合不良
 - ・伸縮装置の止水装置や排水装置の破損による漏水がモルタル内部に浸透し、凍結などによりひびわれが生じる。
- (12) アンカーボルトの切断、引抜け
 - ・アンカーボルトの本数、埋込み長に対する検討不足
 - ・負の反力を受ける支承の定着装置の不備
 - ・モルタルの充填の不良
- (13) 沓座コンクリートの圧壊、剝離
 - ・支承縁端距離の不足及び沓座補強鉄筋の不足
 - ・支承底面突起及び支承底面の形状寸法に対する検討不足
 - ・モルタルの充填の不良

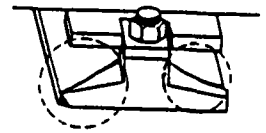
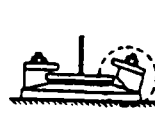
事例	状況
	LB下沓突起部ワレ
<p>支 承</p> 	遊間異常
	ローラー斜行飛出し
	BOX 内部腐食 ローラー部腐食



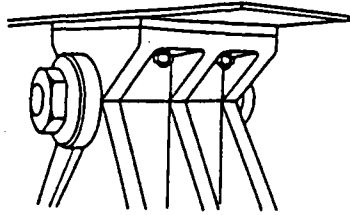
(1) 浮上り防止装置の破損



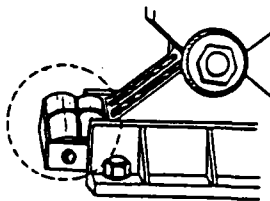
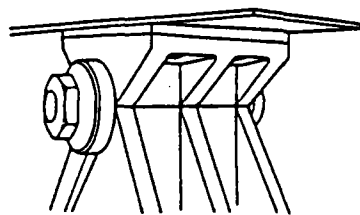
(2) 移動制限装置の破損



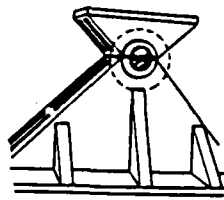
(3) 支承部のわれ



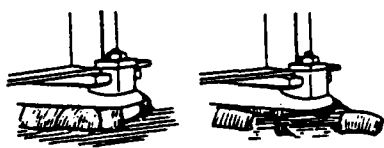
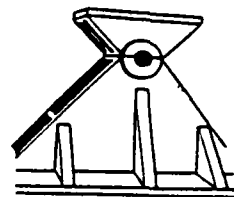
(6) セットボルトのゆるみ、抜落ち



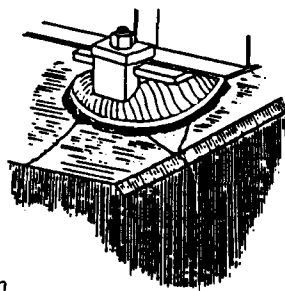
(8) ローラーのずれ及び落下



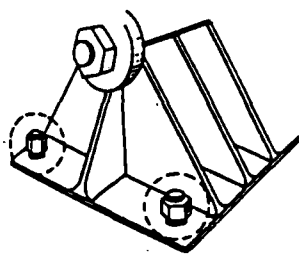
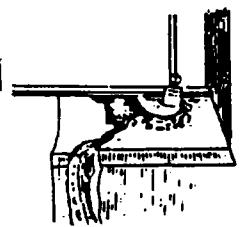
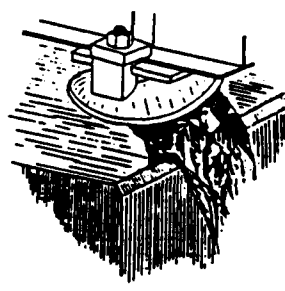
(9) ピン及びローラーのわれ



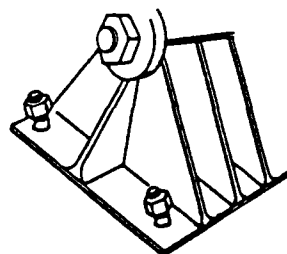
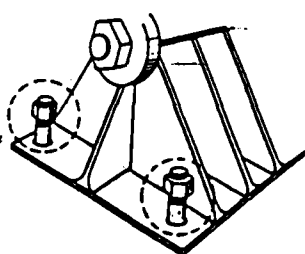
(11) 充填モルタルのひびわれ

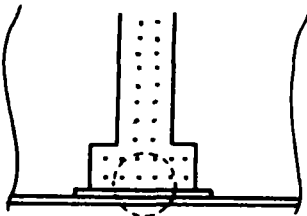

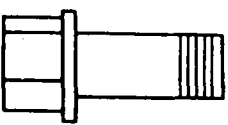
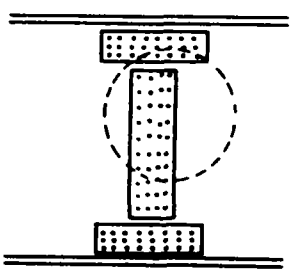


(13) 沓座コンクリートの圧壊、剝離



(12) アンカーボルトの切断、引抜け



事 例	状 況
<p>高力ボルトの損傷（その1：折損）</p> 	<p>鋼構造物の現場継手に使用されている摩擦接合用高力ボルトが折損。</p>
<p>高力ボルトの損傷（その2：ゆるみ）</p> 	<p>鋼I桁の現場継手部に使用されている高力ボルトにおいて、添接部1ヶ所42本中16本にゆるみが発生。</p>
<p>高力ボルトの損傷 （その3：折損およびゆるみ）</p> 	<p>鋼製橋脚全体の高力ボルト12080本中76本が折損。折損以外にも多くのゆるみを発見。他区との差異点は、発錆、スラグの付着、軸部および頭部での折損。</p>
<p>高力ボルトおよび添接板の腐食</p> 	<p>3径間連続鋼床版箱桁橋の内部の添接板および高力ボルトが著しく腐食。</p>

高力ボルトおよび高力ボルト継手

3 鋼橋の特徴

3. 1 使用鋼材

1) 鋼材の歴史

18世紀に橋梁用材料として、鑄鉄や練鉄が使用されるようになった。

19世紀後半に製鋼法が確立されると、鋼が鑄鉄や練鉄にとって変わるようになった。初期の鋼は高炭素鋼で、しだいに強度と溶接性を改善した合金鋼の開発が進められ今日に至った。

橋梁用鋼材の歴史を表-3. 1. 1に示す。

鋼道路橋関係の示方書等の変遷と使用鋼材の推移を表-3. 1. 2に示す。

表-3. 1. 1 橋梁用鋼材の歴史

年	構造用鋼材の発達	海外の橋梁	日本の橋梁
1750	<ul style="list-style-type: none"> ○ 鋳鉄 ○ ルツボ鋳鋼 (英) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Glorywitz橋 (独)……鋳鉄チェーン吊橋 ○ Wynch橋 (英)……支間約21mの鋳鉄チェーン吊橋 	
1800	<ul style="list-style-type: none"> ○ 鋳鉄 ○ バドル鋳鋼 (英) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Coalbrookdale橋 (英)……支間30.5mの鋳鉄型アーチ橋 	
1850	<ul style="list-style-type: none"> ○ 鋼 ○ ベッセマ製鋼法 (英) ○ マルチン平炉製鋼法 (仏) ○ トーマス塩基性耐火材 (英) ○ 高炭素鋼 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Finley型吊橋 (米)……ケーブルチェーンに鋳鉄使用 ○ Menai吊橋 (英)……中央支間175mの鋳鉄使用吊橋 ○ 最初の本格的な鋳鉄橋Glasgo (英) ○ Britannia橋 (英)……鋳鉄使用の箱桁橋 (最大支間140m) 	
1900	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ni鋼 (米) ○ Ni-Cr鋼 (独) ○ Mn鋼 (Ducol鋼) (英) ○ Cr-Cu鋼 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Eads橋 (米)……アーチリブに鋼使用のアーチ橋 (中央支間158m) (ニューマチックケーソンによる橋脚建設) ○ Ashtabulaの橋 (米)の落下……鋳鉄橋はこの後使われなくなる。 ○ Brooklyn橋 (米)……鋼線使用長径間吊橋 (中央支間486m) ○ Firth of Forth鉄道橋 (英)……平炉鋼使用トラス鋼 (中央支間521m) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ くろがね橋 ○ 吉田橋……輸入鋳鉄橋 ○ 心斎橋 ○ 八幡橋……上弦材は鋳鉄, その他は鋳鉄のトラス橋 ○ 天竜川橋梁……ベッセマ鋼使用 ○ 石狩川道路橋……ベッセマ鋼使用
1920	<ul style="list-style-type: none"> ○ Si-Mn (St 52) (独) ○ Cor-ten鋼 (耐候性) (米) ○ 2~3%Ni鋼 (低温用) (米) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Hell Gate橋 (米)……高炭素鋼使用アーチ橋 (中央支間298m) ○ Quebec橋 (カナダ)……Ni鋼使用トラス橋 (中央支間549m) (架設途中部材の座屈発生) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 北上川橋梁……Mn鋼使用 ○ 永代橋……Ducol鋼使用 ○ 清州橋……Ducol鋼使用 ○ 旭橋……アーチのタイにCr,Cu鋼使用 ○ 田端大橋……全溶接構造橋梁
1940	<ul style="list-style-type: none"> ○ 低合金鋼 ○ 調質高張力鋼 (T-1) (米) ○ 標準Mn-V-Ti系高張力鋼 (日) ○ Si-Mn系の2H鋼 (日) ○ 析出硬化による非調質高張力鋼 (米) (日) ○ JIS SM50 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Benjamin Franklin橋 (米)……Ni鋼使用吊橋 (中央支間533m) ○ Köln-Deutz橋 (独)……Ni, Cr鋼使用橋 (中央支間185m) ○ George Washington橋 (米)……Ni鋼使用吊橋 (中央支間1,067m) ○ Bayonne橋 (米)……Ducol鋼使用アーチ橋 (中央支間504m) ○ San Francisco-Oakland Bay橋 (米)……Ni鋼使用吊橋 (中央支間704m) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 角川橋梁……高力ボルトを使用 ○ 相模大橋……52キロ鋼使用 ○ 木曾川橋梁他……60キロ鋼使用
1960	<ul style="list-style-type: none"> ○ 低炭素アルミキルド鋼 (米) ○ 溶接用Cor-Ten鋼 (米) ○ 調質鋼 ○ 100キロ級鋼 (日) ○ マレージング鋼 (Ni,熱処理) ○ 耐ラメラティア鋼 ○ JIS SM50Y, SM53, SM58 ○ JIS SMA ○ 本四規格 HT70, HT80 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tacoma Narrows橋 (米)の落橋……以後空気力学の重要性認識 ○ Stromsund橋 (スウェーデン)……最初の近代斜張橋 ○ 橋梁へのT-1鋼の適用 (米)……80キロ鋼使用橋 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 長良川橋梁……耐候性鋼塗装使用 ○ 知多2号橋……耐候性鋼無塗装使用 ○ 花輪跨道橋……80キロ鋼使用 ○ 新石狩大橋……SMA 58-SMA 50 使用 ○ 港大橋……70キロ鋼, 80キロ鋼大盤使用 ○ 平戸大橋……AS工法による吊橋
1980	<ul style="list-style-type: none"> ○ 耐ラメラティア鋼 ○ 溶接構造用耐候性鋼 ○ 低炭素アルミキルド鋼 ○ 耐ラメラティア鋼 ○ T MCP鋼 ○ JIS SMA-W, SMA-P 	<ul style="list-style-type: none"> ○ コンピュータの進歩により高次不静定の橋梁の設計が可能となる ○ 米国の高速道路橋に初めて耐候性鋼材使用 ○ Verrazano Narrows橋 (米)……中央支間1,298mの吊橋 ○ New Port橋 (米)……初のプレハブ平行線ストランド工法による吊橋 (中央支間488m) ○ Severn橋 (英)……流線形断面の吊橋 (中央支間985m) ○ St. Nazaire橋 (仏)……中央支間404mの斜張橋 ○ New River Gorge橋 (米)……耐候性鋼による支間518mのアーチ橋 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 大和川橋……PWS 使用斜張橋 (中央支間355m) ○ 因島大橋……PWS 工法による吊橋 (中央支間770m) ○ 美和川橋梁……制振鋼板使用 ○ 第五厚内川橋梁……TMCP鋼使用 ○ 明石海峡大橋……180キロ級ワイヤー使用 ○ 多々羅大橋……中央支間890mの斜張橋
2000	<ul style="list-style-type: none"> ○ 制振鋼板 ○ TMCP鋼 ○ 180キロ級鋼線 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Humber橋 (米)……中央支間1,410mの吊橋 ○ Rama IX橋 (タイ)……中央支間450mの斜張橋 ○ Yangpu橋 (中国)……中央支間602mの斜張橋 	

表-3. 1. 2 鋼道路橋関係の示方書等の変遷

名 称	橋 の 等 級		備 考	使用規格、規格
	道路の種類	等 級		
明治19年8月(1886年) 国道の築造保存方法(内務省訓令第3号)	国 道	} 規定なし	道路全般について示し、7章46条からなる。	
大正8年12月(1917年) 道路構造令及び街路構造令(内務省)	街 路 国 道 府 県 道			
大正15年6月(1926年) 道路構造に関する細則案(内務省土木局)	街 路	1等橋	3章40条よりなり、第2章に橋梁に関する事項を規定。	JES 20 (ST 39相当)
	国 道	2等橋		
	府 県 道	3等橋		
昭和14年2月(1939年) 鋼道路橋設計示方書案(内務省土木局)	国道および小路(I) 等以上の街路	1等橋	○設計細目、構造細目の整備された鋼道路橋設計示方書としては我が国最初のものである。 ○鋼道路橋設計示方書案解説を日本道路技術協会にて刊行	JE 430 (SS 400相当)
	府県道および小路 (II)等以上の街路	2等橋		
昭和14年2月(1939年) 鋼道路橋製作示方書案(内務省土木局)	-		我が国最初の鋼道路橋製作示方書案	
昭和15年4月(1940年) 電弧溶接鋼道路橋設計示方書(案)(内務省土木局)	-		我が国最初の電弧溶接鋼道路橋設計示方書案	
昭和31年5月(1956年) 鋼道路橋設計示方書(建設省)	一 級 国 道 二 級 国 道 主 要 地 方 道	1等橋	○昭和31年5月(1956年)日本道路協会刊行 ○この示方書より日本道路協会刊行となる。	JIS G 3101 SS 41
	都道府県道、市町村道	1等橋または2等橋		
昭和31年5月(1956年) 鋼道路橋製作示方書(建設省)	-		昭和31年5月(1956年)日本道路協会刊行	
昭和32年7月(1957年) 溶接鋼道路橋示方書(建設省)	-		昭和32年7月(1957年)日本道路協会刊行	JIS G 3106 SM 41 追加
昭和34年8月(1959年) 鋼道路橋の合成桁設計施工指針(建設省)	-		○昭和34年8月(1959年)日本道路協会刊行 ○我が国最初の合成桁の設計施工指針	
昭和39年11月(1964年) 溶接鋼道路橋示方書(建設省)	-		昭和39年5月(1964年)日本道路協会刊行	
昭和39年11月(1964年) 鋼道路橋設計示方書(建設省)	一 級 国 道 二 級 国 道 主 要 地 方 道	1等橋	昭和39年6月(1964年)日本道路協会刊行	JIS G 3101 SS 50 JIS G 3106 SM 50 追加
	都道府県道、市町村道	1等橋または2等橋		
昭和39年11月(1964年) 鋼道路橋製作示方書(建設省)	-		昭和39年6月(1964年)日本道路協会刊行	
昭和40年6月(1965年) 鋼道路橋の合成桁設計指針(建設省)	-		昭和40年6月(1965年)日本道路協会刊行	
昭和41年7月(1966年) 鋼道路橋高力ボルト摩擦接合設計施工指針 (建設省)	-		○昭和41年7月(1966年)日本道路協会刊行 ○我が国最初の高力ボルト摩擦接合設計施工指針 ○昭和39年6月(1964年)制定の高力ボルトのJIS規格を基本とし制定	
昭和42年11月(1967年) 溶接鋼道路橋示方書 1967年追補	-		昭和43年3月(1968年)日本道路協会刊行	JIS G 3106 SM 50 Y SM 53, SM 58 追加
昭和43年(1968年) 溶接鋼道路橋示方書 増補	-			
昭和47年3月(1972年) 道路橋示方書 I. 共通編 II. 鋼橋編(建設省)	第1種、第2種、第3種(第4級、第5級を除く)、第4種(第4級を除く)の道路	1等橋	○昭和48年2月(1980年)日本道路協会刊行 ○将来、コンクリート橋下部構造などを含め一体化した示方書にするを目的として改訂され、合成桁、溶接等の規定を含んで、共通編、鋼橋編の2編からなっている。 ○耐震設計については「道路橋耐震設計指針」として整備した。	
	上記以外の道路	1等橋または2等橋		
昭和55年4月(1980年) 道路橋示方書 I. 共通編 II. 鋼橋編(建設省)	同	上	昭和55年2月(1980年)日本道路協会刊行	本四公団規格 HBS G 3102 HT 70, HT 80 S 52年11月制定
	同	上		
平成2年2月(1990年) 道路橋示方書 I. 共通編 II. 鋼橋編(建設省)	同	上	平成2年2月(1990年)日本道路協会刊行	
平成6年2月(1994年) 道路橋示方書 I. 共通編 II. 鋼橋編(建設省)	橋の等級の廃止		○設計自動車荷重を25トンに統一 ○橋の等級の廃止 ○活荷重の適用区分をA、B活荷重の2つに設定	

(佐伯彰一：鋼道路橋の変遷、橋梁と基礎、Vol. 15 No. 8 1981より作成、一部追記)

2) 各種鋼材の溶接性

鋼材	特 徴
S S 4 0 0	<p>炭素の含有量が高いため、また、硫黄や燐の偏析も顕著なことが多いので溶接には注意を要する。</p> <p>道路橋示方書では板厚が厚くなると鋼の組織が粗大になり、ぜい性が増す懸念があるため、22mm以下の板厚にのみ使用するとの規定がある。</p>
S M 4 0 0 S M 4 9 0	<p>溶接性を考慮した材料ではあるが、板厚が厚くなると、継ぎ手の拘束や熱影響部の冷却速度が大となり、溶接割れの恐れがあるため、低水素系の溶接棒を用いたり、余熱をする等の対策が必要である。</p>
S M 4 9 0 Y S M 5 2 0 S M 5 7 0	<p>溶接入熱量が過大になると焼き戻し温度以上に加熱される範囲が広くなり軟化部が生じ、必要な継ぎ手効率が得られない場合があるため、注意しなければならない。低水素系の溶接棒を用い、適切な施工条件を試験などにより、設定しなければならない。</p>

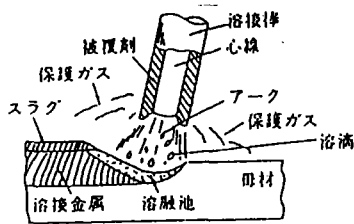
3. 2 溶接接合

3. 2. 1 溶接方法

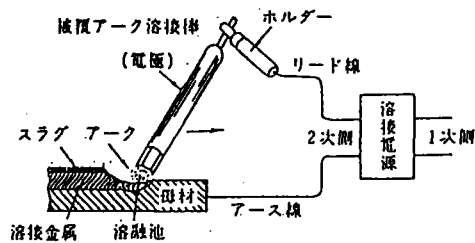
鋼橋に使用される溶接法は、以下に示す表-3. 2. 1と表-3. 2. 2のものが主である。

表-3. 2. 1

種類	特徴	適用箇所
被覆アーク溶接	手溶接と呼ばれる。 すべての姿勢での溶接が行える。 設備費が安く、装置も簡単である。 作業者が手で運棒するため適用範囲が広い 能率は劣る。	ウェブの水平継ぎ手 Uリブ、側縦桁のウェブ、 付属物全般
炭酸ガスアーク溶接 (半自動溶接)	細径ワイヤに高電流を流すので容着速度が大きくとけ込みも深くなり、作業効率がよい。 他の溶接法に比べてビード外観が劣りスパッタも多い。 シールドガスは風の影響を受けやすい為暴風対策が必要である。 手溶接に比べてプライマーによるブローホールが多い。 自動走行台車と組み合わせて能率的な溶接が行える。	下向、立向、横向姿勢の片面裏波溶接箇所 両面裏はつり箇所 上向初層溶接

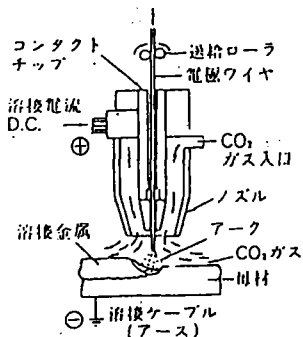


(a) 溶接法の概略図

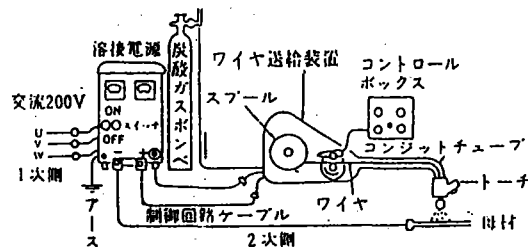


(b) 溶接機の構成図

図-3. 1. 1 被覆アーク溶接法



(a) 溶接法の概略図



(b) 溶接機の構成図

図-3. 1. 2 炭酸ガスアーク溶接法

表 - 3. 2. 2

種 類	特 徴	適用箇所
サブマージ アーク溶接 (自動溶接)	<p>下向溶接に限定される。</p> <p>他の溶接法に比べ容着量が多く能率的であり板厚16mmまでの片面裏波溶接を1層で仕上げる事が出来る。</p> <p>アークがフラックスで覆われているため、一般に防風設備は不要である。</p> <p>曲率半径の小さな橋は能率が悪い。</p> <p>溶接線の傾斜角が溶接線方向で10%、溶接線と直角方向で7%を越えると溶接できない。</p>	<p>鋼床版のシーム及びバット溶接継手</p> <p>下フランジ内面からのバット溶接継手</p>
エレクトロ ガスアーク 溶接	<p>板厚25mm程度まで1パス溶接が行え、能率的である。</p> <p>入熱量が大きいため、溶接部のじん性確保に注意する必要がある。</p> <p>シールドガスを使用するので防風設備が必要である。</p>	<p>ウェブの立ち向き溶接継手</p>

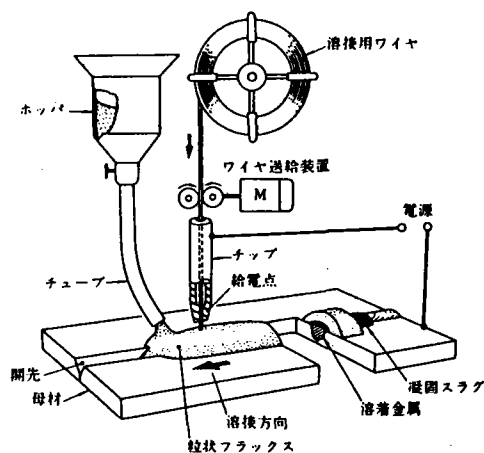


図-3. 1. 3 サブマージアーク溶接法

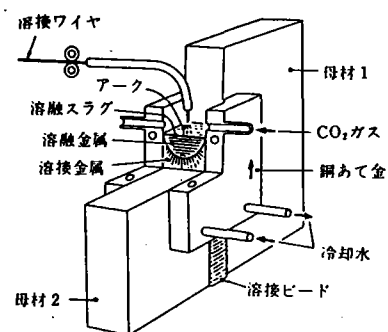
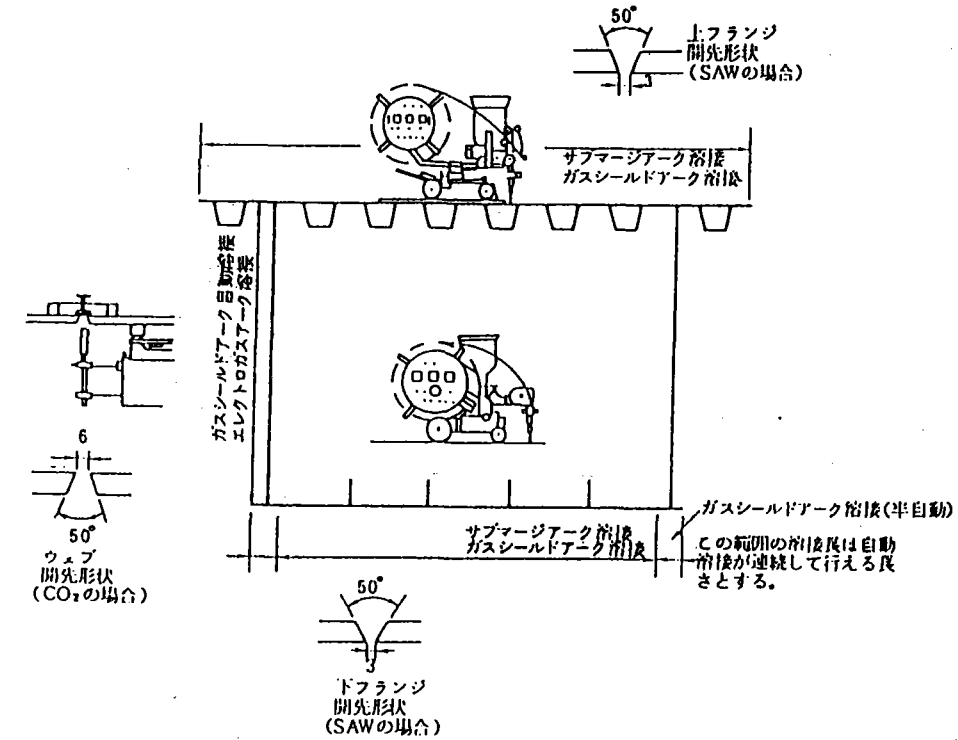


図-3. 1. 4 エレクトロガスアーク溶接法

3. 2. 2 現場溶接法

箱げたの現場溶接を例にして以下に説明をする。



(a) 下フランジ 下向き溶接の場合

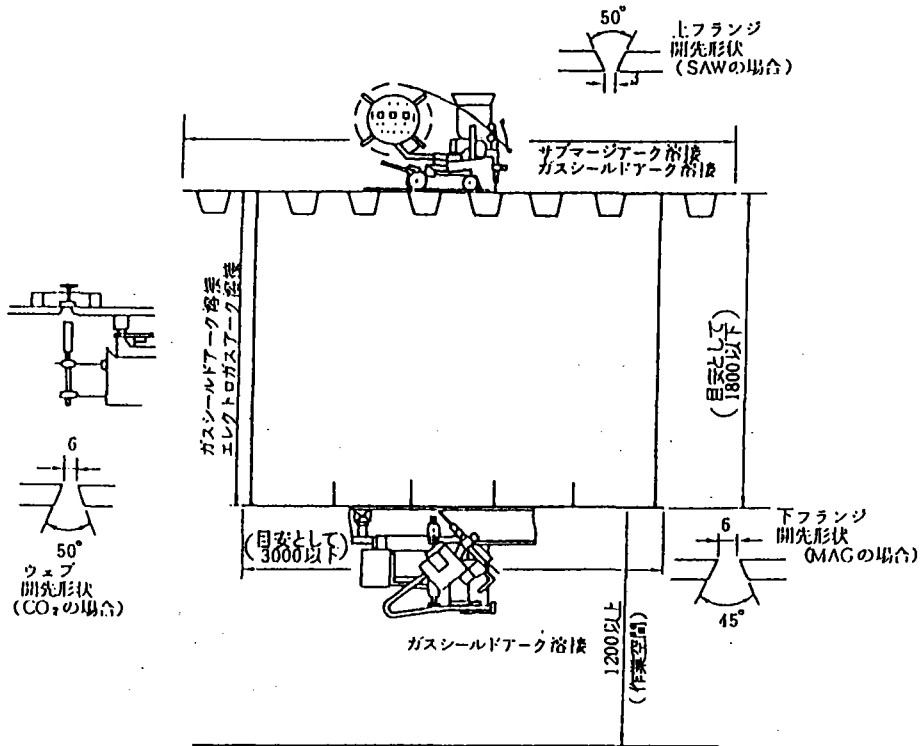


図 - 3. 2. 5 全断面溶接施工方法

(社) 橋梁建設協会 鋼橋の現場溶接より

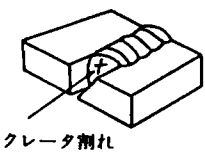

3. 2. 3 溶接欠陥

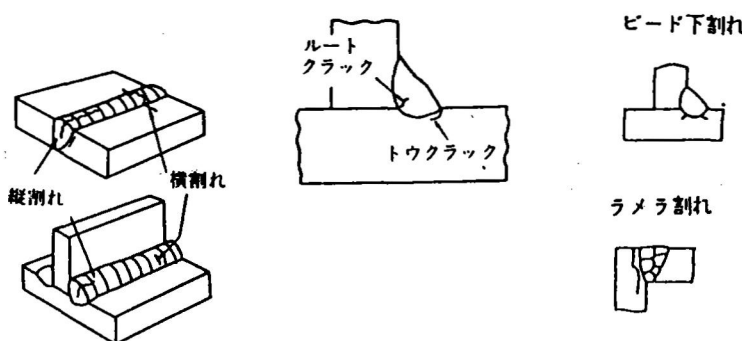
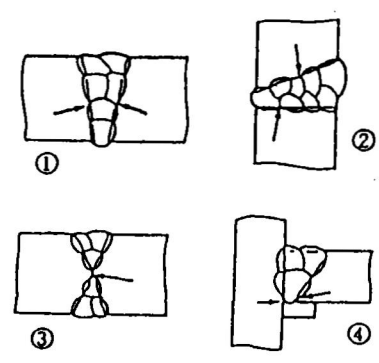
溶接欠陥の種類としては、以下のものがあげられる。

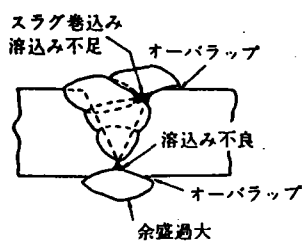
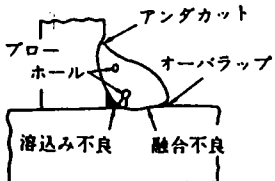
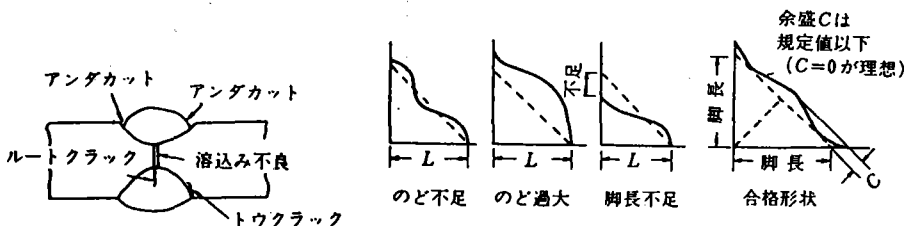
- ① 溶接割れ
- ② 融合不良、溶け込み不足
- ③ スラグ巻き込み
- ④ ブローホール
- ⑤ 溶接の不整形状

このうち① ④の欠陥は主に内部欠陥として考えられているものであり、
⑤の欠陥は外部欠陥として考えられている。

以下に個々の欠陥について説明をする。

種 別	特 徴
溶接割れ	<p>鋭い切り欠きを有するとともに、非常に伝播しやすいため、構造物の耐力上特に注意を要する。</p> <p>溶接割れには高温割れと低温割れに大別される。</p>
	<p>高温割れ 溶融金属が凝固時延性の乏しい状態で収縮力を受けて発生する割れで、溶接金属中の硫黄、燐、などが割れを促進する因子と考えられている。</p> <p>低温割れ クレータ割れと梨の実割れが代表例である。</p> <div style="text-align: center;">   </div>

種 別	特 徴
	<p>低 溶接部が300°C以下に冷却してから発生する割れで 温 溶接金属に生じるものと熱影響部に生じるものがある。 割 ビード下割れ、ビード縦割れ、ビード横割れ、トウ割れ れ ルート割れ、ラメラテア割れなどがある。</p> 
<p>融合不良 溶込み不足</p>	<p>融合不良は、溶接金属と母材間で、母材が十分溶融せずに溶接金属が接しているだけの状態であり、溶込み不足はさらに空隙ができた状態で、継手のルート部でも生じやすい欠陥である。下図は、これらの発生しやすい例を示したものである。①のように開先幅が狭く、深いグループ溶接でアークがうまくあたらない場合とか、②のような横向き溶接などで発生しやすい。③、④に示すルート部でも、ルートギャップ量や開先形状、溶接方法、電流値などが適正でなければ、アークが十分届かずに、溶け込み不足が生じやすい。場合によっては、施工試験等を行って適切な溶接条件を設定する必要がある。</p> 

種 別	特 徴
スラグ巻き込み 込み	<p>多層溶接の溶接ビード層間の不完全な清浄により、残留スラグがそのまま次層の溶接金属内に残るか、溶接操作が悪くて溶接金属内にスラグ混入することに起因している。</p> 
ブローホール	<p>溶接金属の凝固中に水素ガスや炭酸ガスが外へ抜けきらずに、閉じこめられたために生じる欠陥である。 ガス量が少ない場合、ブローホールはルート近傍に球状または、やや管上になって発生する。</p> 
溶接の不整形 形状	<p>アンダーカットやオーバーラップ、溶接余盛の過大形状などの強度上影響のある溶接ビードの不完全な形状のこと。</p> 

3. 2. 4 供用下にある鋼橋の現場溶接

供用中にある橋梁の補修等のために、現場溶接を行う必要が生じた場合は、極力交通を規制するなどして変動の防止に努める。

やむ得ないときのみ変動荷重下での溶接を計画し、判定基準に照らし合わせる。判定基準を満足しないときは、交通止めの処置やベント等で振動を押さえなくてはならない。

変動荷重下での溶接の可否は、静荷重、振動、変動荷重等の外的条件と継手形状や鋼材の材質、板厚等を把握し、下記の判定を行い決定する。

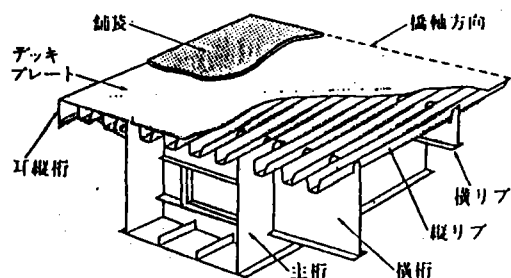
① ルートギャップと開口変位量による高温割れの判定

② 振動による溶接欠陥の判定

尚、詳細は（社）日本鋼構造協会「供用下にある鋼構造物の溶接施工指針（案）」（平成4年6月版）を参照のこと。

3. 3 鋼床版

鋼床版は鋼板（デッキプレート）を適当な間隔に配置した縦リブ、横リブを用いて補強し、鋼板（デッキプレート）上に防水層や舗装を施した床構造をいう。



縦リブは各種の形状があるが、幅員が変化する場合や、曲率半径が200m～250m以下の場合は、バルブプレートを使用し、曲率半径が大きく幅員の変化が小さい場合は、Uリブを使用する例が多い。Uリブは $t = 6\text{ mm}$ と $t = 8\text{ mm}$ の2種類が、一般的であり、継手部分に $t = 8\text{ mm}$ を使用する例が多い。

鋼床版では活荷重応力の占める割合が大きいため、自動車の走行による繰り返し応力度も大きい。道路橋示方書では鋼床版の疲労破壊を防ぐため、疲労に対する照査規定を設けている。許容応力度は、疲労強度が応力振幅のみに支配されると考え、200万回程度の繰り返しに対して疲労クラックが発生しないような応力度振幅を採用している。

設計時に応力を計算できないものについては、拘束力や局所的な応力集中を生じないような細部構造を検討し採用する。

3. 4 高力ボルト接合およびリベット接合

鋼橋の現場継手は、初期の頃はリベットによる接合が普通であった。リベット接合は溶接接合の信頼性が得られていない間は部材輸送上、および、架設上の現場継ぎ手部に用いたり、断面構成上の溶接の役割を担っていたが、溶接技術の向上や高力ボルトの普及とともに姿を消していった。昭和39年に日本工業規格 J I S B 1 1 8 6 (摩擦接合用高力ボルト・ナット平座金のセット)が制定され、これを契機として、リベットに変わり高力ボルトが急速に使用されるようになった。昭和40年代後半になると、橋梁にはほとんどリベットが使われなくなった。特に接合形態が似ている高力ボルト接合は、リベットに比べ下記の点で利点があり普及したものと考えられる。

- ・作業に熟練を要求されない
- ・施工時の騒音が小さい
- ・火気を使わなくて済む
- ・作業性がよい
- ・安全である

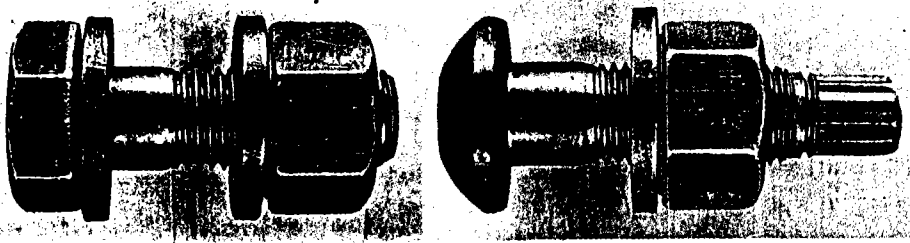
3. 4. 1 高力ボルトの変遷

	内 容
昭和30年代後半	60キロ級中炭素鋼 --> 熱処理材
昭和37年	F11Tを連結部に使用。一部F13Tも有り
昭和39年	J I S B 1 1 8 6 制定 「ウイトねじ-W7/8」 (F7T, F9T, F11T, F13T) F13T遅れ破壊発生
昭和42年	J I S B 1 1 8 6 改正・・・F13T削除
昭和45年	J I S B 1 1 8 6 改正・・・メートルネジ全面採用
昭和46年頃	ボロン添加鋼を採用
昭和50年代	F11Tにも遅れ破壊発生(主に昭和46年～昭和52年頃に用いたボロン鋼採用のF11Tに多く発生)
昭和54年	J I S B 1 1 8 6 改正・・・遅れ破壊のためF11Tを使用しないよう()付きとなる。 F8T, F10T, (F11T) ボルトメーカーでF11Tの生産を中止
昭和56年	鋼構造協会でトルシアボルト J S S II - 0 9 制定
昭和59年	道路協会でトルシアボルト制定

3. 4. 2 接合方法

1) 高力ボルト

高力ボルトによる接合方法には、摩擦接合、指圧接合、引っ張り接合があり以下に概要を述べる。

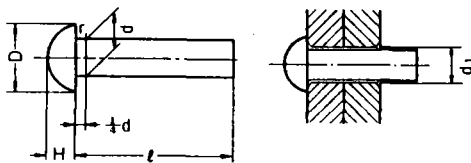
接合方法	内 容
摩擦接合	<p>高力ボルトにより、継ぎ手を構成する板相互を高い軸力で締め付け、その板の接触面に生じる摩擦で力を伝えようとするものである。</p> <p>接合部における摩擦力は次式で表される。</p> $F = \mu * N$ <p>F : 1 摩擦面、ボルト 1 本当たりの摩擦力 N : 導入ボルト軸力</p> <p style="text-align: center;"> <u>六角形高力ボルト</u> <u>トルシア形高力ボルト</u> </p> 
支圧接合	<p>継ぎ手を構成する板の孔とボルト軸部との支圧力により、ボルトのせん断抵抗力を介して力を伝える方式である。工場製作時の孔精度が厳しく、道路橋ではほとんど使用されない。</p>
引っ張り接合	<p>ボルト軸と同方向の力を伝える方式である。橋梁の分野ではほとんど使用実績がない。設計に際しては、(社)日本鋼構造協会「橋梁用高力ボルト引っ張り接合設計指針(案)」(平成6年3月版)を参照のこと。</p>

2) リベット接合

昭和40年代前半まで現場継手の方法として、リベット接合があった。リベット締めの方法は、リベット焼き炉で900℃～1100℃（桜色ないし橙色）に焼いたリベットを、リベット孔に差し込み、リベット頭を当盤で押さえた後、他側の新しいリベット頭をリベットハンマーをあてリベットを孔いっぱい充填させる。最後にハンマーを回しながら打ち規定の形に仕上げる。

(JIS B 1214)

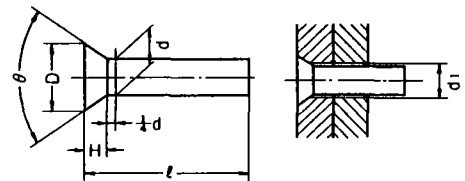
丸リベット



単位：mm

呼 び	d	D	H	r	d ₁	リベット頭による 塗装面積の増加 (参考)	リベット頭の 重量
	基準寸法	基準寸法	基準寸法	最大	(参考)	m ² /1000頭	kgf/1000頭
19	19	30	13.5	0.95	20.5	0.5726	47.568
22	22	35	15.5	1.1	23.5	0.7548	73.839
25	25	40	17.5	1.25	26.5	0.9621	108.344

さらリベット



単位：mm

呼 び	d	D	H	θ	d ₁
	基準寸法	基準寸法	基準寸法	約	(参考)
19	19	30	9.5	60°	20.5
22	22	35	11	60°	23.5
25	25	39.5	12.5	60°	26.5

図 - 3. 4. 1

3. 5 防錆

3. 5. 1 鋼道路橋の防錆方法

一般に鋼構造物の防食には、金属あるいは非金属の材料で鋼材表面を被覆する方法が用いられる。

鋼橋に用いられる防錆方法は塗装が一般的であるが、最近では、メッキ桁橋梁や耐候性鋼材を使用した無塗装橋梁も増加している。

表 - 3. 5. 1 鋼道路橋の防錆方法 (文献1)

防錆方法	塗 装		溶 射	めっき	耐候性鋼
	一般塗装	重防食塗装			
防錆原理	塗膜による環境遮断	塗膜による環境遮断とジंकリッチペイントによる防錆	アルミ・亜鉛層による防錆	亜鉛層による防錆	安定錆による防錆
防錆材料処理方法	塗料表面塗付	塗料表面塗付	亜鉛・アルミ溶射ガンによる溶射	熔融亜鉛めっき処理槽に浸せき	なし 製鋼時に調整
構造上の制限	特になし	特になし	特になし	熔融めっき槽による寸法制限あり	構造上の配慮が必要
作業素地調整	パワーツール処理	ブラスト処理	ブラスト処理	酸洗	
作業内容	塗装作業 防護, 足場	塗装作業 防護, 足場	溶射作業	めっき作業	
維持管理	塗替えが必要	塗替えが必要	アルミ・亜鉛層の追跡調査	亜鉛層の追跡調査	安定錆の生成を追跡調査
色・外観	色彩は自由に選択できる	色彩は自由に選択できる	色彩は限定される	色彩は限定される	色彩は限定される

文献1 (社)日本道路協会 鋼道路橋塗装便覧(平成2年6月版)

3. 5. 2 塗装

1) 塗膜の劣化

塗膜は大気中に暴露されると、年月の経過とともに防錆効果や光沢保持率が失われる。塗膜の劣化は変退色に始まり、ふくれ、割れ、はがれ、などが生じ錆の発生につながる。

塗膜劣化は、塗装系、構造物の形式や部位、環境条件などによって、その形態や進行の程度が異なる。

2) 鋼道路橋塗装便覧（平成2年6月版）〔（社）日本道路協会〕による塗装系の選定

次に鋼道路橋塗装便覧の抜粋を示す。

塗装系の選定

外面用塗装系の防錆効果が十分に維持される期間は、架橋位置の腐食環境の厳しさと塗装系の防錆性能の強さとの関係で決定される。管理面から要請される塗替え周期を確保するためには、腐食環境の厳しさに応じて塗装系を選定することが必要である。鋼道路橋塗装に用いられる塗装系には、2-3「塗装系の分類」に示すように、A塗装系、B塗装系、C塗装系の3種類があり、防錆性能はA塗装系、B塗装系、C塗装系の順に強くなる。一般には、架橋位置の腐食環境を表-1・1のように分類し、各環境に対して表-2・7のように塗装系を選定することが行われている。

塗装系を選定する際の実用的な方法は、架橋位置の周辺あるいは同様の環境に架橋されている橋梁その他の鋼構造物について、塗装の劣化状態あるいは塗替え周期を調査することである。例えば、架橋予定地点の近くにあるA塗装系を用いた橋梁の塗替え周期が短いと判断される場合は、BあるいはC塗装系を選定対象とし、必要とする塗替え周期の長さや塩分の飛来状況とから適用塗装系を決定することが望ましい。

C塗装系の防錆性能はB塗装系やA塗装系より優れているので、3種類の塗装系を同一環境において使用した場合は、C塗装系の塗替え周期が最も長くなる。跨線橋や立体交差部の橋梁のように、塗替えが容易でなく塗替え周期を通常の橋梁よりも長くする必要がある場合は、C塗装系を用いるのが適当である。

橋梁外面の色調を長期間保持する場合は、耐候性の良い上塗り塗料を用いた塗装系を環境の腐食作用の強さに応じて、表-2・7のように選定することが必要である。

表-2・7 外面用塗装系の適用分類

腐食環境分類	通常の場合	上塗りの色調を長期間保持する場合
一般環境	A-1, A-2	A-3, A-4
やや厳しい腐食環境	B-1	C-3, C-4
厳しい腐食環境	C-1, C-2	

一般環境に適用する。

表-2・2 外面用塗装系A

塗装系	前 処 理			工 場 塗 装			工 場 塗 装			現 場 塗 装				
	素地調整	プライマー	間 隔	2次素地調整	下 塗 り	間 隔	下 塗 り	間 隔	下 塗 り	間 隔	中 塗 り	間 隔	上 塗 り	
A	1	プラスト処理	長ばく形エッチングプライマー	3ヵ月	動力工具処理	鉛系さび止めペイント1種	2日	鉛系さび止めペイント1種	6ヵ月	-	長油性フタル酸樹脂塗料中塗	2日	長油性フタル酸樹脂塗料上塗	
		SIS Sa 2.5	130g/m ² (15μm)			170g/m ² 35μm	10日				170g/m ² 35μm	10日	120g/m ² 30μm	10日
	2	SPSS Sd 2	長ばく形エッチングプライマー	3ヵ月	SPSS Pt 3	鉛系さび止めペイント1種	2日	鉛系さび止めペイント1種	2日	フェノール樹脂MIO塗料	12ヵ月	長油性フタル酸樹脂塗料中塗	2日	長油性フタル酸樹脂塗料上塗
		Sh 2	130g/m ² (15μm)			170g/m ² 35μm	10日	170g/m ² 35μm	10日	300g/m ² 45μm		120g/m ² 30μm	10日	110g/m ² 25μm
3	プラスト処理	長ばく形エッチングプライマー	3ヵ月	-	鉛系さび止めペイント1種	2日	鉛系さび止めペイント1種	6ヵ月	-	シリコンアルキド樹脂塗料用中塗	2日	シリコンアルキド樹脂塗料上塗		
4	SIS Sa 2.5	130g/m ² (15μm)	170g/m ² 35μm		10日	170g/m ² 35μm	10日			120g/m ² 30μm	10日	110g/m ² 25μm		

- 工場塗装と現場塗装の間隔が表に示す間隔を超えた場合は、2-4-3「塗装間隔が長期化した場合の処置」により処置する。
- 塗装使用量 工場塗装：スプレー塗りの場合を示す。
現場塗装：はけ塗りの場合を示す。
- プライマーの膜厚は総膜厚に加えない。
- 塗装間隔の下限は20℃の場合を示す。気温が低い場合には塗料の乾燥状態を調べ、硬化乾燥していることを確認し塗り重ねを行う。

やや厳しい腐食環境に適用する。

表-2・3 外面用塗装系B

塗装系	前 処 理			工 場 塗 装			工 場 塗 装			現 場 塗 装				
	素地調整	プライマー	間 隔	2次素地調整	下 塗 り	間 隔	下 塗 り	間 隔	下 塗 り	間 隔	中 塗 り	間 隔	上 塗 り	
B	1	プラスト処理	長ばく形エッチングプライマー	3ヵ月	動力工具処理	鉛系さび止めペイント1種	2日	鉛系さび止めペイント1種	2日	フェノール樹脂MIO塗料	12ヵ月	塩化ゴム系塗料中塗	1日	塩化ゴム系塗料上塗
		SIS Sa 2.5	130g/m ² (15μm)		SPSS Pt 3	170g/m ² 35μm	10日	170g/m ² 35μm	10日	300g/m ² 45μm		170g/m ² 35μm	10日	150g/m ² 30μm

- 工場塗装と現場塗装の間隔が表に示す間隔を超えた場合は、2-4-3「塗装間隔が長期化した場合の処置」により処置する。
- 塗料使用量 工場塗装：スプレー塗りの場合を示す。
現場塗装：はけ塗りの場合を示す。
- プライマーの膜厚は総膜厚に加えない。
- 塗装間隔の下限は20℃の場合を示す。気温が低い場合には塗料の乾燥状態を調べ、硬化乾燥していることを確認し塗り重ねを行う。

厳しい腐食環境に適用する。
塗替えが容易でない構装に適用する。
鋼床版桁に適用する。

表-2・4 外面用塗装系C

塗装系	前 処 理			工 場 塗 装						工 場 塗 装						現 場 塗 装		
	素地調整	プライマー	間 隔	2次素地調整	下 塗 り	間 隔	ミストコート	間 隔	下 塗 り	間 隔	下 塗 り	間 隔	中 塗 り	間 隔	上 塗 り	間 隔	中 塗 り	間 隔
C	1	プラスト処理	無機シンクリッチプライマー	6ヵ月	プラスト処理	無機シンクリッチペイント	2日	ミストコート	1日	エポキシ樹脂塗料	1日	エポキシ樹脂MIO塗料	12ヵ月	-	ポリウレタン樹脂塗料用中塗	1日	ポリウレタン樹脂塗料上塗	
		SIS Sa2.5	200g/m ² (15μm)			700g/m ² 75μm	10日	160g/m ²	10日	300g/m ² 60μm	10日	360g/m ² 60μm			140g/m ² 30μm	10日	120g/m ² 25μm	
	2	SIS Sa2.5	無機シンクリッチプライマー	6ヵ月	SIS Sa2.5	無機シンクリッチペイント	2日	ミストコート	1日	エポキシ樹脂塗料	1日	エポキシ樹脂塗料	10日	170g/m ² 30μm	ポリウレタン樹脂塗料用中塗	1日	ポリウレタン樹脂塗料上塗	
		SPSS Sd 2	200g/m ² (15μm)			700g/m ² 75μm	10日	160g/m ²	10日	300g/m ² 60μm	10日	300g/m ² 60μm			140g/m ² 25μm	10日	140g/m ² 25μm	
3	プラスト処理	無機シンクリッチプライマー	6ヵ月	-	無機シンクリッチペイント	2日	ミストコート	1日	エポキシ樹脂塗料	1日	エポキシ樹脂MIO塗料	12ヵ月	-	ふっ素樹脂塗料用中塗	1日	ふっ素樹脂塗料上塗		
4	SIS Sa 2.5	200g/m ² (15μm)	700g/m ² 75μm		10日	160g/m ²	10日	300g/m ² 60μm	10日	300g/m ² 60μm	170g/m ² 30μm			10日	140g/m ² 25μm			

- 工場塗装と現場塗装の間隔が表に示す間隔を超えた場合は、2-4-3「塗装間隔が長期化した場合の処置」により処置する。
- 塗料使用量 工場塗装：スプレー塗りの場合を示す。
現場塗装：はけ塗りの場合を示す。
- プライマーとミストコートの膜厚は総膜厚に加えない。
- 塗装間隔の下限は20℃の場合を示す。気温が低い場合には塗料の乾燥状態を調べ、硬化乾燥していることを確認し塗り重ねを行う。
- ミストコートは、エポキシ樹脂塗料下塗160g/m²を80g/m²のシンナーで希釈したものを用いる。

3) 塗料の塗り重ねの適合性

塗装の防錆は異なった塗料を塗り重ねて塗装系とし、機能を発揮させる。

この場合各層間での相互作用に注意する必要がある。

主な注意点は以下の通りである。

- ・層間の付着が悪い場合
- ・上の塗料が下の塗料を湿潤軟化させる場合
- ・塗膜の乾燥や効果を遅らせる場合

表 - 3. 5. 2 各種塗料間の塗り重ねの適否(文献2)

上塗塗料の種類 \ 下塗塗料の種類	油性系	フタル酸系	フェノールMIO系	塩化ゴム系	塩化ビニル系	エポキシ系	変性エポキシ系	タールエポキシ系	ウレタン系	シリコンアルキド系	よっ素系
長ばく形エッチングプライマー	○	○	○	○	○	△	△	△	○	○	○
エポキシシンクリッチプライマー	×	×	×	○	○	○	○	○	○	×	○
無機質シンクリッチプライマー	×	×	×	△	○	○	○	○	△	×	○
油性系	○	○	○	△	×	×	×	×	×	○	×
フタル酸系	○	○	○	△	×	△	△	△	△	○	×
フェノールMIO系	○	○	○	○	×	×	×	×	×	○	×
塩化ゴム系	△	△	△	○	△	△	△	×	△	△	×
塩化ビニル系	×	×	×	△	○	×	×	×	×	×	×
エポキシ系	△	△	△	○	×	○	○	○	○	△	○
変性エポキシ系	△	△	△	○	×	○	○	○	○	△	○
タールエポキシ系	△	△	△	△	×	△	△	○	△	×	×
ウレタン系	△	△	△	△	×	△	△	△	○	△	○

○: 塗り重ね可
 △: 条件付で塗り重ね可 (塗料メーカーに事前に確認のこと)
 ×: 不可

4) 塗料の特性

塗膜は色々な環境に合った塗料により保護する必要がある。

表 - 3. 5. 3 に塗料の性能を示す。

表 - 3. 5. 3 塗料の性能(文献3)

塗料(一般名称)	塗膜性能										塗装作業性					
	耐候性	耐熱性	耐寒性	耐酸性	耐アルカリ性	耐水性	耐溶剤性	耐油性	耐摩耗性	耐衝撃性	乾燥性	補修作業性	取扱い易さ	塗装間隔制限	寒地塗装の作業性	気温の影響
鉛系油性さび止めペイント	△	○	△	△	×	×	×	△	×	×	×	◎	◎	○	◎	△
シンクリッチペイント	有機質系	○	◎	◎	×	△	◎	○	△	◎	◎	△	△	◎	△	○
	無機質系	○	◎	◎	×	△	◎	◎	△	◎	◎	×	×	◎	×	○
MIO系塗料	フェノール系	◎	○	○	△	△	△	×	×	×	×	○	◎	◎	◎	△
	エポキシ系	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	○	△	△	△	◎	△	△
長油性フタル酸樹脂塗料	○	○	△	△	×	×	△	×	×	△	◎	◎	△	△	△	
塩化ゴム系塗料	◎	×	△	○	◎	◎	×	△	×	×	◎	◎	◎	◎	△	◎
エポキシ樹脂塗料	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	△	△	△	×	△	△
タールエポキシ樹脂塗料	×	△	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	△	△	△	×	△	△
変性エポキシ樹脂塗料	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	△	△	△	×	△	△
ポリウレタン樹脂塗料	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	△	△	△	×	△	○
よっ素樹脂塗料	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎	◎	○	△	×	△	△

◎: 非常に良い ○: 良い △: やや劣る ×: 劣る
 (注) 耐熱性: グラスアスファルト施行に対しては◎のみ可、低温度(90℃)以下では○印の塗料も可

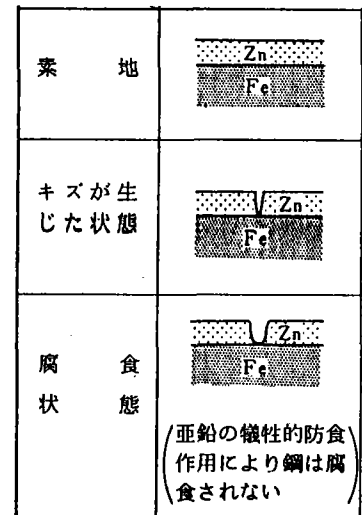
文献2 関西鋼構造物塗装研究会編 「塗る」 P56

文献3 (社)日本橋梁建設協会 橋梁技術者のための塗装ガイドブック
 1993年4月版

3. 5. 3 熔融亜鉛メッキ

440°前後の熔融した亜鉛浴中に鋼材を浸せきし、その表面に鉄と亜鉛の合金層と純亜鉛層からなる皮膜を形成させて、錆の発生を防ぐ方法である。亜鉛メッキは腐食環境中におかれると、その表面に緻密な酸化膜を形成する。この酸化膜が強力な保護皮膜となり、その後の腐食を抑制する（保護皮膜作用）。また皮膜は傷を生じた場合でも、傷の周囲の亜鉛が陽イオンになり鋼材の腐食を抑制し、電気化学的に保護する（犠牲陽極作用）。亜鉛メッキはこの2つの作用により優れた防錆効果を示す。

橋梁及び橋梁付属施設の亜鉛メッキは、J I S H 8641 熔融亜鉛メッキにより行われる。（鋼構造物塗装便覧 9 ページより）



3. 5. 4 耐候性橋梁

耐候性橋梁（＝大気中での腐食に耐える性質を有する橋梁）は無塗装耐候性鋼材（J I S G 3114のグレードWのもの）を使用した橋梁を言う。鋼材表面に薬品処理した場合と、無塗装使用をするものとあるが、無塗装使用のものが主流である。

この鋼材は、通常の赤錆と異なる緻密で安定した酸化膜を表面に形成し、それによって錆が内部に進行するのを阻止する。この鋼材の使用は、塩分（NaCl、CaCl₂）量の多い箇所の海岸地域や硫化物（SO_x、H₂S等）の特に多い温泉地等での使用は適さない。尚、詳細については「耐候性鋼材の橋梁への概要に関する共同研究報告書」（建設省土木研究所＜社＞鋼材倶楽部＜社＞日本橋梁建設協会）が発行されているため参照のこと。

3. 5. 5 電位差による腐食

金属は水溶液中ではそれぞれ一定の電位を持っている。表 3. 5. 4 は海水中における各種金属の電位の順を示したものである。これらの中から 2 種類の金属を取り出した場合、電位の大きい方を「貴」といい、小さい方を「卑」という。

この電位の異なる 2 つの金属を接触させ水につけると、2 つの金属間で腐食電池が構成され、「卑」の金属が溶けだし（酸化され）、「貴」の金属部で水素が発生する（還元される）。ここに腐食が生じ、これを異種間金属接触腐食という。この作用を積極的に利用したものととして溶融亜鉛メッキの犠牲陽極作用がある。

橋梁構造物の例

「卑」の金属	「貴」の金属	腐食例
炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼に炭素鋼の普通ボルトを使用すると普通ボルトが腐食する。
亜鉛メッキ	ステンレス鋼	亜鉛メッキ材にステンレス製のボルトを使用すると亜鉛メッキ材が腐食する。
アルミニウム	炭素鋼	鋼床版に直接アルミニウム高欄を取り付けると接触部のアルミニウムが腐食する。

表-3.5.4 海水中における金属の電位の順

卑 ↑ ↓ 貴	マグネシウム
	亜鉛
	アルミニウム
	炭素鋼
	铸铁
	13%クロム ステンレス鋼(活性)
	18-8 ステンレス鋼(活性)
	鉛
	黄銅
	アルミニウム青銅
	銅
	モネル
	13%クロム ステンレス鋼(不動態)
	チタン
	18-8 ステンレス鋼(不動態)

3. 6 支承（道路橋支承便覧より）

3.6.1 支承の機能

支承は上部工からの鉛直力を下部工に伝達し、上部工の伸縮を逃がし、水平力を上部工から下部工に伝達するなどの重要な部材である。







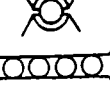


表-3.6.1

機能の種類	伝達の機能	機能による支承の種類	
		線で支持	線支承、1本ローラー支承
支持機能	死荷重反力	線で支持	線支承、1本ローラー支承
	活荷重反力	面で支持	BP支承、ピン支承、ピボット支承、ゴム支承
		線と面で支持	ピンローラー支承、ピボットローラー支承
移動機能	温度変化による移動	すべりで移動	線支承、BP支承
		ころがりで移動	1本ローラー支承、ピンローラー支承、ピボットローラー支承
	桁の回転による移動	せん断変形で移動	ゴム支承
回転機能	活荷重反力載荷による回転	すべりで回転	ピン支承、ピンローラー支承、ピボットローラー支承、BP-A支承
		ころがりで回転	線支承、1本ローラー支承
		弾性変形で回転	BP-B支承、ゴム支承

移動機能を有する支承が可動支承、有さない支承が固定支承。

3.6.2 支承の種類と機構

表-3.6.2

支承の名称		可動、固定の区別	形状	支持機構	移動機構	移動方向	回転機構	回転方向
鋼製	線支承	可動及び固定		平面と円柱面の線接触	すべり	1方向	ころがり	1方向
	支承板支承	可動及び固定		平面、円柱面球面の面接触	すべり	1方向または全方向	すべり	1方向または全方向
				平面と平面の面接触	すべり	1方向または全方向	ゴムプレートの弾性変形	1方向または全方向
	ピン支承	固定		凹凸円柱面の面接触	—	—	すべり	1方向
	ピボット支承	固定		凹凸球面の面接触	—	—	すべり	全方向
支ーラー承	1本ローラー支承	可動		平面と円柱面の線接触	ころがり	1方向	ころがり	1方向
	ピンローラー支承	可動		ピン支承+円柱面と平面の線接触	ころがり	1方向	すべり	1方向
	ピボットローラー支承	可動		ピボット支承+円柱面と平面の線接触	ころがり	1方向	すべり	全方向
ゴム支承	可動及び固定		平面と平面の面接触	せん断弾性変形	全方向	弾性変形	全方向	

3.6.3 支承の特徴

表-3.6.3

支 承 の 名 称		形 状	支 承 の 特 徴
線 支 承			上沓と下沓の接触面は前者を平面後者を円柱面とし、それぞれが線接触した構造で一方の移動・回転を逃がす構造の支承である。主として小スパンの橋梁に使用される。
支承板支承	BP-A		上沓と下沓の間に支承板を挿入した構造のもので支承板の種類によりBP-A支承とBP-B支承に分類され、この支承の移動と回転はその方向を自由にすることが可能である。高力黄銅物に固体潤滑材を埋め込んだものがBP-A支承、フッ素樹脂板、中間プレート及びゴムプレートを使用したものがBP-B支承である。中スパン及び小スパンの橋梁に使用される代表的支承であり、連続桁にもその使用例が多く見られる。
	BP-B		
ピ ン 支 承			上沓と下沓の間にピンを配した構造のもので、一方のみ回転可能な固定支承である。大スパン及び中スパンの橋梁に使用され、固定支承として古くから使用されていた代表的な支承。
ピ ボ ッ ト 支 承			上沓と下沓に一組の球面（ピボット）を設け、回転方向を自由にした固定支承。大スパン及び中スパンの斜橋や曲線橋に多く使用される。
1 本 ロ ー ラ ー 支 承			上沓と下沓の間に高硬度ローラーを挿入した構造のもので、一方の移動と回転を逃がす機能をもつ可動支承。斜橋や曲線橋に使用されるとローラーの逸脱等があり、現在新しい橋梁には使用されていない。
ピ ン ロ ー ラ ー 支 承			ピン支承の下に複数のローラーを挿入した構造のもので、一方の移動と回転を逃がす機能をもつ可動支承。大スパン及び中スパンの橋梁に使用され、特に長大橋及び大反力支承としては最適である。
ピ ボ ッ ト ロ ー ラ ー 支 承			ピボット支承の下に複数のローラーを挿入した構造のもので、一方の移動と全方向回転自由な機能をもつ可動支承。大スパン及び中スパンの橋梁に使用され、斜橋や曲線橋に多く使用される。
ゴ ム 支 承			上沓と下沓の間にゴム支承を挿入した構造のもので、移動はゴムのせん断変形で、回転はゴムの弾性変形で逃がす機能をもつ支承。最近、中スパン及び小スパンの橋梁に使用され出している。

3.6.4 支承の主な使用材料と使用規格

表-3. 6. 4

材料の種類	適用規格		材料記号	主な用途	溶接の可否
構造用 圧延鋼材	JIS G 3101	一般構造用圧延鋼材	SS400	支承本体、アーカーボルト、アーカーナット	可
	JIS G 3106	溶接構造用圧延鋼材	SM400, SM490	付属部品	可
鋳鋼品	JIS G 5101	炭素鋼鋳鋼品	SC450	支承本体	可
	JIS G 5102	溶接構造用鋳鋼品	SCW410, SCW480		可
	JIS G 5111	構造用高張力炭素鋼及び低合金鋼鋳鋼品	SCM _n 1A SCM _n 2A		*可
構造用合金鋼	JIS G 4051	機械構造用炭素鋼材	S35CN	ピン、アーカーボルト、ローラー	可
			S45CN	ピン、アーカーボルト、ローラー	否
	JIS G 4105	クロムモリブデン鋼鋼材	SCM435	高強度ボルト 高硬度ローラー支承のローラー及び 支圧板	否
	JIS G 4103	ニッケルクロムモリブデン鋼鋼材	SNCM439, SNCM439		否
鋳鍛鋼品	JIS G 3201	炭素鋼鍛鋼品	SF490A, SF540A	極太径のピン	否
	JIS G 5501	ねずみ鉄品	FC150, FC250	支承本体	否
ステンレス鋼	JIS G 4303	ステンレス鋼棒	SUS430, 431 [㊦]	アーカーボルト、付属部品	否
	JIS G 4304	熱間圧延ステンレス鋼板	SUS304, 316 [㊦]	上巻の滑り面の防食張り付け板	可
	JIS G 4305	冷間圧延ステンレス鋼板	SUS304, 316 [㊦]		
特殊ステンレス鋼			C-13B	高硬度ローラー支承のローラー及び 支圧板	否
			CWA		否
高力黄銅鋳物	JIS H 5102	高力黄銅鋳物	HB _s C4	高力黄銅支圧板	否
合成ゴム	JIS K 6386	防振ゴムのゴム材料	C08, C10	ゴム支承、支圧板	—
天然ゴム	JIS K 6386	防振ゴムのゴム材料	A08, A10	ゴム支承	—
ふっ素樹脂	JIS K 6888	四ふっ化エチレン樹脂板	PTFE	支圧板、滑りゴム支承	—

注) 溶接の可否に於いて*印の材料はシール程度の溶接は可。

3-7伸縮装置

伸縮装置は橋の温度変化、コンクリートのクリープ及び乾燥収縮、荷重等にたいして車輪が橋面を支障無く走行できるようにするための装置である。

伸縮装置を機能・材料・施工法を参考に分類すると下表となる。

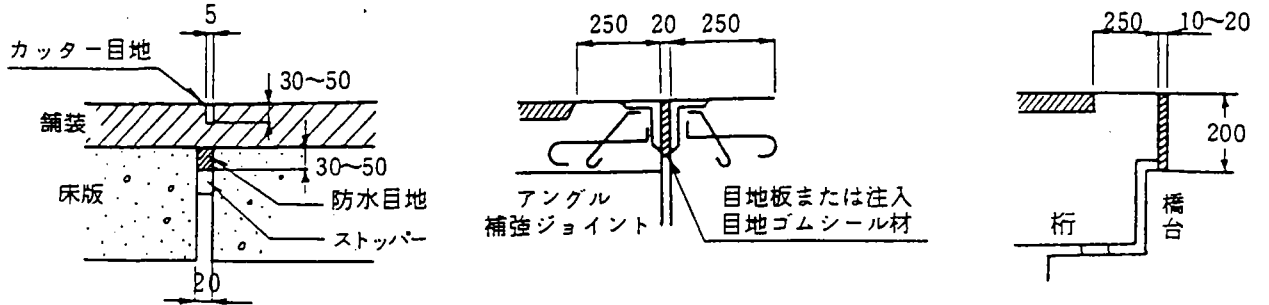
表-3.7.1 伸縮装置の種別

分類	形式	種類	備考	
突合せ式	ダミー目地形式	ダミー目地 切削目地	変位をアスファルト舗装等の変形でとらせる構造	切削目地等
	突合せ先付け形式	目地板ジョイント アングル補強ジョイント 補剛鋼材ジョイント	舗装施工前に設置する突合せ目地構造	
	突合せ後付け形式	—————	舗装施工後に設置する突合せ目地構造	ゴムジョイント
支持式	ゴムジョイント形式	—————	ゴム材と鋼材を組合わせて輪荷重を床版遊間で支持する構造	
支持式	鋼製形式	鋼フィンガージョイント 鋼重ね合わせジョイント	フェースプレートまたはフィンガープレートを使用した鋼製構造	鋼製ジョイント

(1) 切削目地等

ダミー目地形式は橋端の変位をアスファルト舗装の変位で取らせる構造であり、切削した目地部には目地材を注入している。突合せ先付け形式にはシール材が注入してある。

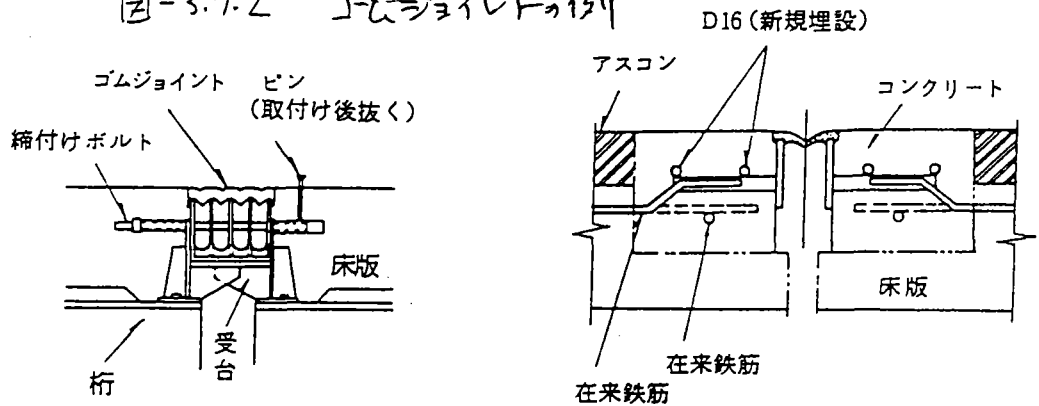
図3.7.1 切削目地、ダミー目地等



(2) ゴムジョイント

ゴムジョイントは各種形式のゴム材と鋼材とを組合せて突合せ式にしたものと支持式にしたものがある。また舗装の施工性、平坦性からいえば後付け形式のものも多く用いられている。

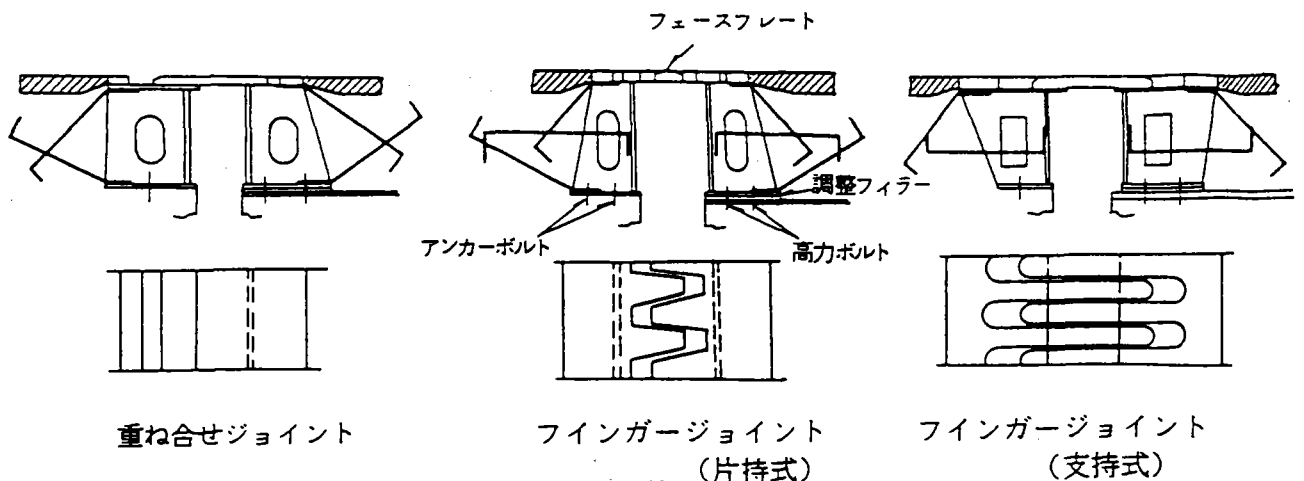
図-3.7.2 ゴムジョイントの例



(3) 鋼製ジョイント

鋼製ジョイントにはフィンガージョイントと重ね合せジョイント等があるが、一般的にはフィンガージョイントが多く重ね合せジョイントは支間30m以下の小支間の橋梁に用いられる。

図-3.7.3 鋼製ジョイントの例



伸縮装置の排水の処理方法としては一般に3つの方法が使用されている。

(1) 特に排水の処理をしない (図-3.7.4)

水・土砂が支沓の回りに体積するが、(2) に比べ掃除がしやすく、騒音・水処理の問題が少ない場所で良く用いられている。

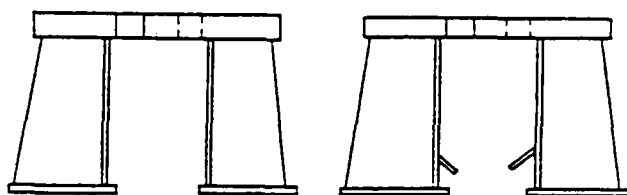
(2) 排水樋 (ガッター) を取り付けたモノ (図-3.7.5)

従来多く使用されている形式であるが、土砂が樋に堆積し清掃が困難なため、本来の目的をはたしにくく、またそれが腐食の原因ともなるため次第に (3) 非排水方式が採用される傾向に有る。

(3) 非排水方式 (図-3.7.6)

止水のための弾性シール材とシール材を受けるバックアップ材及び漏水を処理する止水樋から構成されている。

市街地における高架橋や騒音が問題になる住宅地等で最近多く採用されてきている。



(a) 特に排水の処理のないもの (b) 水切りの板のみ取り付け付けたもの

図-3.7.4 特に排水処理のない例

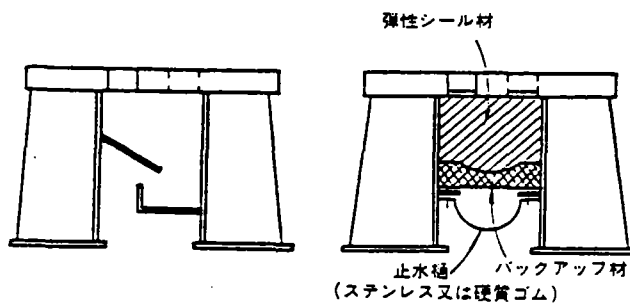


図-3.7.5 ガッター形式

図-3.7.6 非排水形式

伸縮装置の伸縮量については、下記により求められる（単位mm）

表-3.7.2 伸縮装置の伸縮量

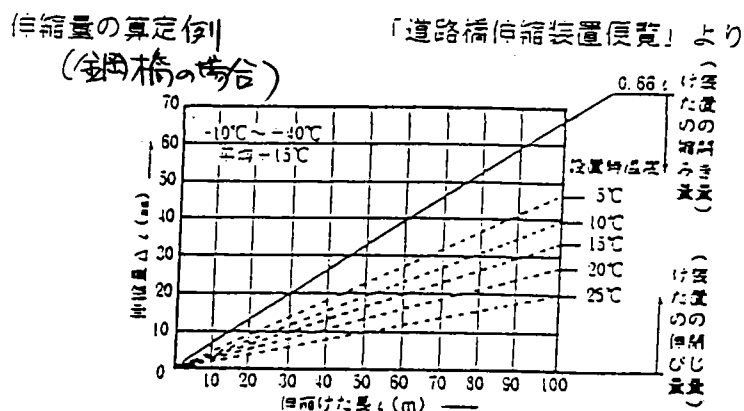
橋種	鋼橋	鉄筋コンクリート橋	P C 橋
温度変化	-10℃～+40℃	-5℃～+35℃	-5℃～+35℃
伸縮量			
温度変化	0.60*ℓ	0.40*ℓ	0.40*ℓ
乾燥収縮	—	0.20*ℓ*β	0.20*ℓ*β
クリープ	—	—	0.40*ℓ*β
小計	0.60*ℓ	(0.4+0.2*β)*ℓ	(0.4+0.6*β)*ℓ
余裕長	0.06*ℓ	0.04*ℓ	0.04*ℓ
伸縮量	0.66*ℓ	(0.44+0.2*β)*ℓ	(0.44+0.6*β)*ℓ
5° C修正量	0.066*ℓ	0.055*ℓ	0.055*ℓ

コンクリートの材令(月)	0.25	0.5	1	3	6	12	24
β=低減係数	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1

(ℓ=伸縮けた長 (m)、β=低減係数)

上記より鋼橋の温度変化による伸縮量は1000mについて1℃の温度変化で12mmとなる。（コンクリートは1000mについて1℃の温度変化で10mmとなる）
 （なお鋼橋は温度変化が-10～40℃の50℃の範囲なので50*12/1000=0.6ℓ、コンクリートは温度変化が-5～35℃の40℃の範囲なので40*10/1000=0.4ℓとなる。）

表-3.7.3 伸縮量の算定



(注) 実線は伸縮量を示し、点線は設置温度時のけたの伸び量（装置の閉じ量）あるいは基本遊間長（構造上の余裕は含まない）である。
 したがって、点線と実線との長さは、設置温度時におけるけたの縮み量（装置の開き量）あるいは初圧縮量でもある。

(算出例)

伸縮けた長ℓ=60m 上図より 伸縮量=40mm
 設置時温度を10℃とすると、構造上の余裕を考えない純理論値はつぎの値となる。
 けたの伸び量（装置の閉じ量）=24mm
 けたの縮み量（装置の開き量）=16mm

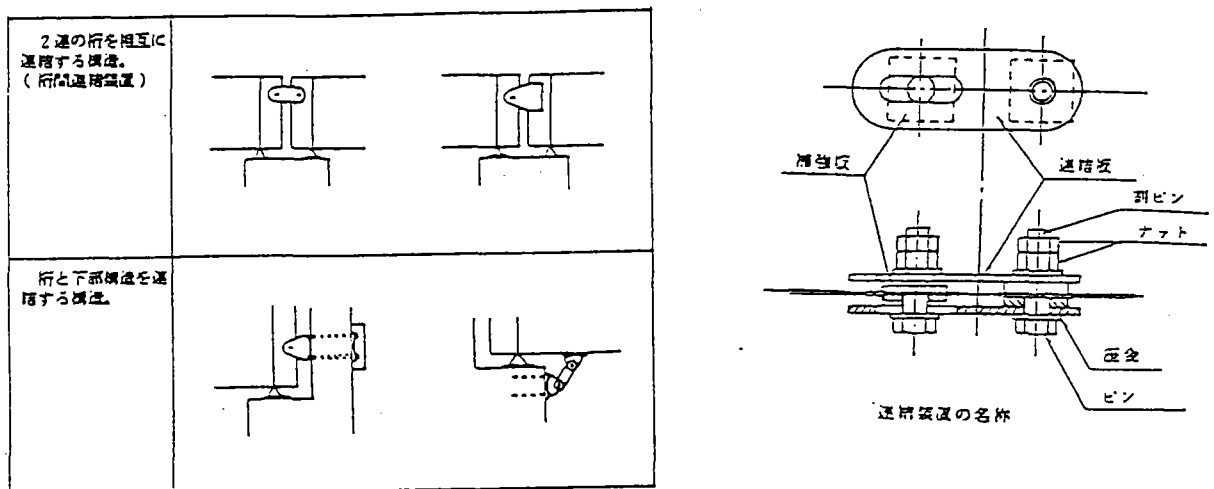
3-8 落橋防止装置

落橋防止装置は地震時における落橋を防止するために設けられる。

落橋防止装置には大別すると

- (1) 2連の桁を相互につなぐ構造と、
- (2) 桁と下部構造を連結する構造とがある。

図-3.8.1 落橋防止装置



落橋防止装置の機能は、支峯が破損してから働くものと考えられ、伸縮装置および支峯の伸縮量・移動量との関連により構造をきめている。つまり、落橋防止装置の全移動可能量は支峯の移動制限装置の破断後に落橋防止装置が作動するように決めている。

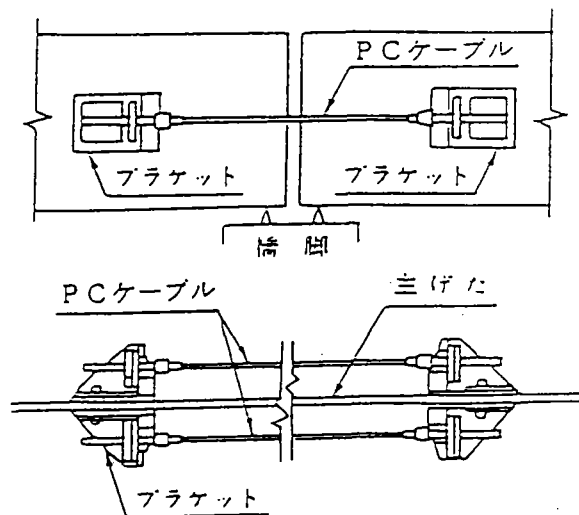
なお、兵庫県南部地震にたいする復旧仕様（平成7年2月）によると

- (1) 道路橋示方書V耐震設計編7.2.1の規定に従い、けた端から下部構造頂部縁端までのけたの長さ S_E を確保すると同時に、落橋防止装置を設ける。なお、橋脚の両側の支間長が異なる場合には、大きい方の支間に基づいて S_E の値を算出する。
- (2) 落橋防止装置は、道路橋示方書V耐震設計編7.2.4に規定するけたと下部構造を連結する構造のうち、複数を併用することが望ましい。また、落橋防止装置は橋脚からの橋げたの落下を防止できる強度を有するものとする。
- (3) 落橋防止装置は、これに作用する橋軸方向、橋軸直角方向の地震力に対して所要の強度とねばりが発揮できるように、装置本体だけでなく、これを取り付けるけたおよび下部構造側の構造にも留意しなければならない。また、落橋防止装置は、衝撃的に作用する力を吸収できる構造としなければならない。

とされている。これは、橋梁の落橋を防止するために、二重の装置を設置することと、過大な地震力が作用した場合でもこれを伝えられるように、装置本体だけでなく、これを取り付けるけた及び下部構造側の構造系に留意する必要がある。たとえば、落橋防止装置にゴムクッション等緩衝材を付加したり、ゴム系支杓を付加的に設置することにより、衝撃的な地震力を緩わらげることの出来る構造とする。さらに、橋軸直角方向の地震力に対しても、落橋防止装置および取付け部が損傷を受けないように配慮しておく必要が有るとされており、例として、下記のような落橋防止が提案されている。

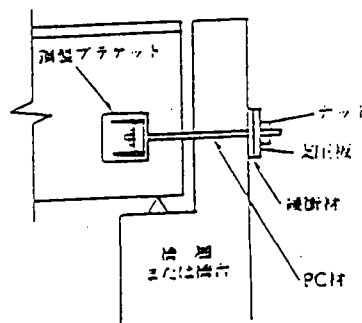
図-3.8.2 復旧仕様による落橋防止装置 (案)

- 落橋防止装置
 1) 2連のけたを相互に連結する構造
 ① 鋼けたの例



- 2) 下部構造とけたを連結する構造

鋼けたの場合



4. 破壊試験

4.1 鋼材の破壊試験

現地検査の対象項目として、疲労亀裂・変形・破断・腐食等が考えられる。橋梁構造物損傷の中でも疲労亀裂の発生位置およびその時期を精度良く予知することは難しい。

疲労亀裂は橋梁中のいろいろな箇所にいろいろな原因で発生する。ここでは、応急補修後に試験片を採取して機械試験および供試体を用いた実験等により、材料の機械的性質並びに補強方法の適否を判断する試験について述べる。

4.1.1 試験の種類

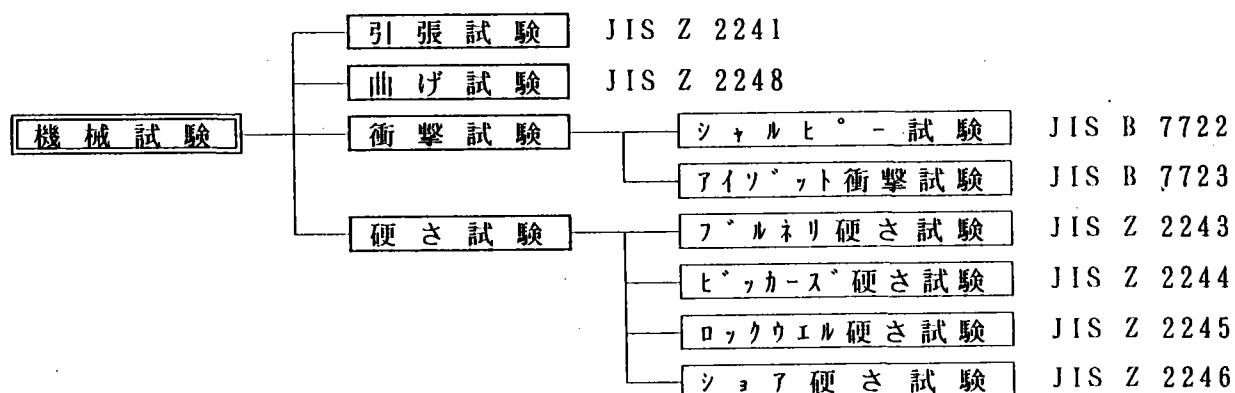


図 - 4.1.1 機械試験の種類

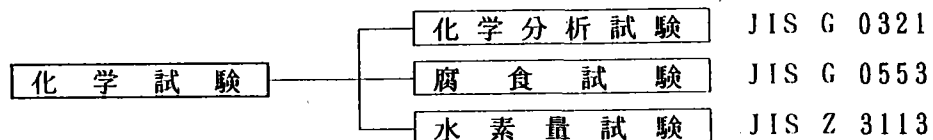


図 - 4.1.2 破壊試験の一例

破壊試験の要領・目的および特性（その1）

機 械 試 験	
引 張 試 験 (JIS Z 2241)	曲 げ 試 験 (JIS Z 2248)
<p>JISで定められた形状・寸法の試験片に引張荷重を加えると、低炭素鋼の場合は、図-1に示すような応力-ひずみ曲線が得られる。実線は荷重を当初の断面積で割った値を、破線は荷重を変化していく断面積で割った値を応力として示したものである。</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">図-1 応力-ひずみ曲線（低炭素鋼）（文献2）</p>	<p>JISで定められた形状・寸法の試験片に曲げ荷重を負荷させ、曲げられた試験片のわん曲部の外側の変形能を調べる。試験法には押し曲げ法・巻付け法・Vブロック法などがある。図-2 参照</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">図-2 曲げ試験</p>
要 領	
<p>目的・特性</p> <p>低炭素鋼の場合、材料（鋼材）の降伏点・耐力・引張強度・伸び・絞り等の特性を判断できる尚、高張力鋼の場合は、一般に、降伏比が大きく、伸びが小さい。</p>	<p>試験片を規定の内側半径で規定の角度になるまで曲げ、わん曲部の外側の裂けきず、その他の欠点の有無により、材料の特性を判断する。</p>

破壊試験の要領・目的および特性（その2）

機 械 試 験	
衝 撃 試 験 (JIS Z 2242)	硬 さ 試 験 (JIS Z 2243~46)
<p style="margin: 0;">要 領</p> <p style="margin: 0;">JISで定められた形状・寸法の試験片中央に切込みを付け、2点支持状態で切込み背面からハンマー等により衝撃を与え破断させる。試験法にはシャルピー・アイゾット衝撃試験法等の種類があり、切込み形状下記の種類がある。</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> </div> <p style="margin: 0; text-align: center;">図 - シャルピー衝撃試験片</p>	<p style="margin: 0;">一定の鋼球圧子を試験片の表面に押しつけて、そのときの試験荷重を生じたくぼみの表面積で割った値で材料の硬さを求める。（ブルネル硬さ試験） その他にダイヤモンド圧子を用いたビッカース・ロックウェル・ショア硬さ試験等がある。</p>
<p style="margin: 0;">目 的 ・ 特 性</p> <p style="margin: 0;">この試験破断に要したエネルギーの大小、破面の様相、変形挙動、亀裂の進展挙動などによって材料の特性（じん性）を評価する。</p>	<p style="margin: 0;">一般に、硬さが高いほど引張強度・切削性・耐摩耗性が高くなるが、耐衝撃性は低下する。相互に関連した多くの基本的性質（引張強度・降伏点・じん性・ヤング係数等）が複合した結果して、必ずしも物理的意味が明確ではない。</p>

4.2 塗膜試験

4.2.1 塗膜劣化の種類

塗膜劣化は塗装系や環境条件などによってその形態や進行の程度が異なるが、一般には下記の塗膜異常現象がみられる。

(6.7 塗膜の異常参照)

- ① さび
- ② はがれ(はく離)
- ③ われ
- ④ ふくれ
- ⑤ 変退色
- ⑥ 失沢
- ⑦ チョーキング(白亜化)

4.2.2 簡易調査

初期の調査では、目視あるいは双眼鏡を用いた塗膜外観の調査及び漏水や滞水の有無の確認を行う。

表-4.2.1 塗膜異常が生じやすい箇所とその原因

塗膜劣化が生じやすい箇所	考えられる原因
部材の鋭角部 フランジ下面	塗膜厚不足
ボルト継手部 溶接部	素地調整が不十分、塗膜厚が不均一 アルカリ性スラッグやスパッターの付着
伸縮装置周辺部、支承 桁の架け違い部 床版の陰の部分 床版の内部	雨水やほこりがたまりやすい 湿気がこもりやすい

4.2.3 詳細調査

検査路・橋梁点検車・簡易な足場などを用いて塗膜に接近し、橋梁各部位の詳細な塗膜状況を調査し原因を究明する。調査は目視あるいは双眼鏡を用いた塗膜外観の調査および漏水や滞水の有無の確認を主とし、必要に応じて機器を用いて試験を行う。ここでは、破壊試験の代表的な付着力試験について説明を行う。

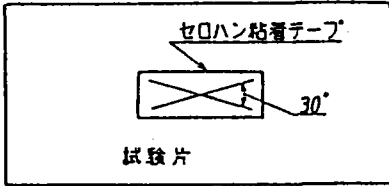
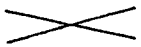
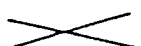
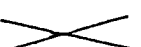



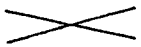
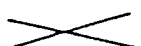
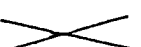



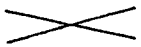
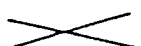
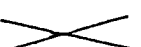



「鋼道路橋塗装便覧」平成2年6月

塗膜の付着力試験（その1）

付着力の低下には金属素地と塗膜の界面、下塗りと上塗りの層間から生じるものがある。付着力低下の原因には、塗膜自体の劣化およびそれらの影響を受けて素地が脆弱化した（さびの発生等）場合から生じる。付着力低下は塗膜はがれにつながり、さらに母材の腐食へと発展する。ここでは、付着力評価に最も簡易な碁盤目法・碁盤目テープ法およびクロスカットテープ法の塗膜破壊試験について要領並びに評価方法を紹介する。

	碁盤目法・碁盤目テープ法 (JIS K 5400)														
要 領	<p>① 塗膜を貫通して、素地面に達する切り傷を碁盤目状に付けたときに生じる塗膜の付着状態を目視によって観察する。切り傷は、カッターナイフを用い、規定するすきま間隔のカッターガイドにより行う。</p> <p>② 碁盤目法同様の碁盤目状切り口上に粘着テープを貼り、はがした後の塗膜の付着状態を目視によって観察する。粘着テープは18mmまたは24mmを使用する。</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> <p>表 切り傷の間隔とます目の数</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">すきま間隔</td> <td style="text-align: center;">1 mm</td> <td style="text-align: center;">2 mm</td> <td style="text-align: center;">5 mm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ます目の数</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: center;">25</td> <td style="text-align: center;">9</td> </tr> </table> </div>	すきま間隔	1 mm	2 mm	5 mm	ます目の数	100	25	9						
すきま間隔	1 mm	2 mm	5 mm												
ます目の数	100	25	9												
評 価	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> <p>表 碁盤目試験の評価点数</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">評価点数</th> <th style="text-align: center;">傷の状態</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">10</td> <td>切り傷1本ごとが、通くて真直が清らかで、切り傷の交点と正方形の一目一目にはがれがない。</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8</td> <td>切り傷の交点にわずかなはがれがあつて、正方形の一目一目にはがれがなく、欠損部の面積は全正方形面積の5%以内。</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td>切り傷の両側と交点にはがれがあつて、欠損部の面積は全正方形面積の3~15%。</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td>切り傷によるはがれの幅が広く、欠損部の面積は全正方形面積の15~35%。</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>切り傷によるはがれの幅は4点よりも広く、欠損部の面積は全正方形面積の35~65%。</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td>はがれの面積は、全正方形面積の65%以上。</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> <p>図 評価の一例</p> </div> <p>塗面に付けた碁盤目状の傷の状態を観察して図一を参考にし、表一によって評価する。多層膜の場合は、はがれがどの層からであるかを記録する。</p>	評価点数	傷の状態	10	切り傷1本ごとが、通くて真直が清らかで、切り傷の交点と正方形の一目一目にはがれがない。	8	切り傷の交点にわずかなはがれがあつて、正方形の一目一目にはがれがなく、欠損部の面積は全正方形面積の5%以内。	6	切り傷の両側と交点にはがれがあつて、欠損部の面積は全正方形面積の3~15%。	4	切り傷によるはがれの幅が広く、欠損部の面積は全正方形面積の15~35%。	2	切り傷によるはがれの幅は4点よりも広く、欠損部の面積は全正方形面積の35~65%。	0	はがれの面積は、全正方形面積の65%以上。
評価点数	傷の状態														
10	切り傷1本ごとが、通くて真直が清らかで、切り傷の交点と正方形の一目一目にはがれがない。														
8	切り傷の交点にわずかなはがれがあつて、正方形の一目一目にはがれがなく、欠損部の面積は全正方形面積の5%以内。														
6	切り傷の両側と交点にはがれがあつて、欠損部の面積は全正方形面積の3~15%。														
4	切り傷によるはがれの幅が広く、欠損部の面積は全正方形面積の15~35%。														
2	切り傷によるはがれの幅は4点よりも広く、欠損部の面積は全正方形面積の35~65%。														
0	はがれの面積は、全正方形面積の65%以上。														

塗膜の付着力試験（その2）

	クロスカットテープ法 (JIS K 5400)																					
要 領	<p>塗膜を貫通して、素地面に達するクロス状の切傷（Xカット）をカッターナイフで付け、その上にセロハン粘着テープをはり付けて引きはがし、素地または塗膜間との付着性の優劣を調べる。粘着テープは、碁盤目テープ法と同様。</p> <p style="text-align: center;">図 テープのはり付け方</p> <div style="text-align: center;">  </div>																					
評 価	<p style="text-align: center;">表 評価点数</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">評価点数</th> <th style="width: 55%;">Xカット部の状態</th> <th style="width: 35%;">現象</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>はがれが全くない。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>交点にはがれがなく、Xカット部にわずかにはがれがある。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Xカット部の交点からいずれかの方向に、1.5 mm 以内のはがれがある。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Xカット部の交点からいずれかの方向に、3.0 mm 以内のはがれがある。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>テープをはがしたときのXカット部の大部分に、はがれがある。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>Xカット部よりも大きくはがれる。</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>テープをはがしたときのXカット部のはがれ状態を目視により観察し、表-に示す評価点数を求めて、製品規格に規定する評価点数と比べる。尚、塗り重ねで作製されている場合は、塗膜間のはがれの状態についても評価する。</p>	評価点数	Xカット部の状態	現象	10	はがれが全くない。		8	交点にはがれがなく、Xカット部にわずかにはがれがある。		6	Xカット部の交点からいずれかの方向に、1.5 mm 以内のはがれがある。		4	Xカット部の交点からいずれかの方向に、3.0 mm 以内のはがれがある。		2	テープをはがしたときのXカット部の大部分に、はがれがある。		0	Xカット部よりも大きくはがれる。	
評価点数	Xカット部の状態	現象																				
10	はがれが全くない。																					
8	交点にはがれがなく、Xカット部にわずかにはがれがある。																					
6	Xカット部の交点からいずれかの方向に、1.5 mm 以内のはがれがある。																					
4	Xカット部の交点からいずれかの方向に、3.0 mm 以内のはがれがある。																					
2	テープをはがしたときのXカット部の大部分に、はがれがある。																					
0	Xカット部よりも大きくはがれる。																					

5. 非破壊検査

5.1 種類と特徴

図-5.1.1に非破壊検査に用いられる試験方法を示す。図中、特に鋼橋の維持管理検査に用いられる試験方法を で囲んである。(放射線透過試験は頻度は大きくないが使用される場合がある。)

表-5.1.1には代表的な非破壊検査方法の特徴を欠陥の検出性能で示す。

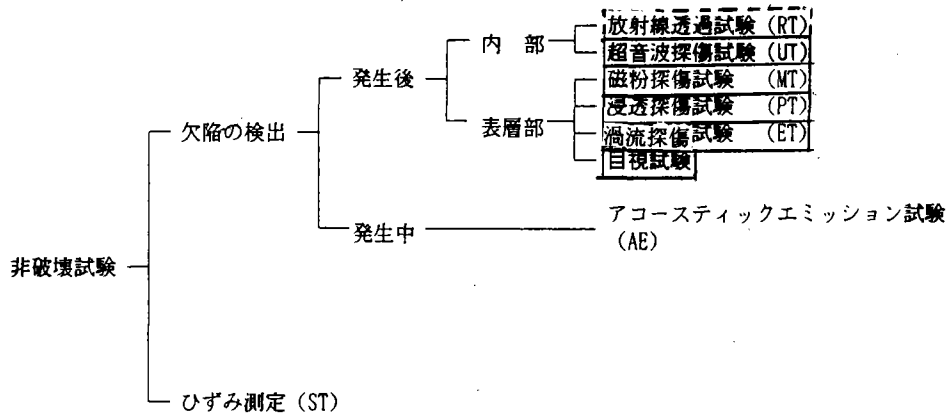


図-5.1.1 非破壊検査の分類

表-5.1.1 非破壊検査の適用性比較

G=良好 F=やや良好 P=不良 空欄=適用外		非破壊検査方法の比較																				
		一般			板			溶接部			処理		使用状態									
		微小	深い	内部	内部	板厚	冶金的変化	板厚	ラミネーション	内部亀裂/融合不良	スラグ巻き込み/ポロシティ	内部亀裂/融合不良	スラグ巻き込み/ポロシティ	表面	熱処理	グライディング亀裂	疲労亀裂/熱割れ	応力腐食	ふく	板厚減少	腐食ピット	
放射線透過	X線	F	F	G	F	F	G		G	G	G	G	P	P			P	F	P	F	G	
	蛍光透過			P	F				G	F	F	F	F								P	P
	ラジウムおよび放射線同位体	F	F	G	F	F	G		G	G	G	G	P				P	P	P	F	P	
超音波	接触法	1/2インチ以上、表面直角			G	G	G	F	G	G	G			G			G	G	G	G	P	
		送受信			G	G	G	P		G			G				G	G	G	G	G	
		斜角	P	G	G	G		P		F	F	G	P	G	F	P	F	P	G			P
	水浸法	表面に直角	G	G											P	F	G	F	F			
		斜角	P	G	G	G				F	F	F	F	G	F	G	F	P	G			
		透過法			F	G		F		G		F	F								F	
		共振			P	P	G	P	G	G											G	G
板厚計					G		G	G											G	G	F	
音弾性振動		P				G																
磁粉探傷	AC	湿	G	G					F	F	F		G	G	G	G	G					P
		乾	F	G						F	F	F		G	G	G	G	F				
	DC	湿	G	G	P				G		F	F		G	G	G	G	G				
		乾	F	G	F	P			G		G	G	G	G	G	G	G	G	F			P
電磁気法 (渦流探傷)	消電流	F	G			F	G	P				P		P	F	G	F				F	
	磁性解析	P	F	P	P	F	G	F			P		P	P	G	F	F				P	
	漏洩場検出	F	G	F						P		F		F	G	G	F	G				
	直流誘導	F	F	P	P	F	P	F	P	P				F	F	F	F	F				F
浸透探傷	目視探傷剤	F	G						F	P				G	G	G	G				F	
	蛍光探傷剤	G	G						F	P				G	G	G	G				F	

また、表-5.12には、適用上の特徴を示す。

表-5.1.2 各種非破壊試験の適用上の特徴

種類	方法	特徴	塗膜の検出精度への影響
目視試験 (VT)	<ul style="list-style-type: none"> 検査者自身の目により、構造物の状況、変化を外観的に観察する。 	<ul style="list-style-type: none"> その構造物の全体的な判断が可能。 軽微な器具にて検査が行え、作業性に優れる。 内在する欠陥については検出不可能であり、検査結果は検査者の技量に左右されやすく、客観的な検査を必要とされる。 	<ul style="list-style-type: none"> 進展性亀裂の検出の間接手法として塗膜の亀裂検出が考えられ、亀裂がある程度進展した段階ではある程度の誤差をもちながら検出が可能となる。 △
浸透探傷試験 (PT)	<ul style="list-style-type: none"> 表面に開口したワレ欠陥などを検出するもので、浸透液を表面上に吹き付け、欠陥部に浸透させ、現像液を用いて欠陥部に残っている浸透液を吸い出させて欠陥の位置・大きさ・形状を調べる。 	<ul style="list-style-type: none"> 軽微な器具で検査が行える。 内在する欠陥については検出不可能。 表面の凹凸がはなはだしい場合は欠陥の判断誤りやすい。 表面に水分が付着している場合には測定が困難である。 	<ul style="list-style-type: none"> 適用性は目視検査と同程度と考えられるが塗膜の色が赤色では検出が難しい。 △
超音波探傷試験 (UT)	<ul style="list-style-type: none"> 超音波を探触子によって母材表面より伝播させ、その反射波(エコー)をブラウン管上で観測し、欠陥の位置・大きさを検出する。 	<ul style="list-style-type: none"> 高度な判定技術が必要なため熟練技術者を必要とする。 欠陥の状態によっては検出が困難(例えば、止端部では亀裂とアンダーカットの判別が難しい)。 	<ul style="list-style-type: none"> 感度調整に用いる対比試験片に塗膜を施すことにより、基本的な問題はなくなる。ただし、実際の塗膜が浮いているなど劣化している場合には適用が難しくなる。 ○
渦流探傷試験 (簡易式) (ET)	<ul style="list-style-type: none"> 金属などの導体に交流を流したコイルを近接させ、健全部と欠陥部とのコイルに誘起される電圧、電流の変化を利用して欠陥を検出する。 	<ul style="list-style-type: none"> 軽微な器具で検出が行え、作業性に優れている。 指示の大きさから欠陥の寸法をある程度推定することができる。 材質の変化、形状変化により欠陥指示に影響がある。 亀裂の有無を調べるのに有効である。 	<ul style="list-style-type: none"> 端部の探傷不可範囲は残るが、その他の範囲では適用が可能。 ○
磁粉探傷試験 (MT)	<ul style="list-style-type: none"> 強磁性体を磁化させ、欠陥漏洩磁場への磁粉の吸着を利用して、欠陥の位置、大きさ、形状を検出する。 	<ul style="list-style-type: none"> 表面および表面近傍の内部欠陥が検出可能である。 表面からはなれた内部欠陥は検出しにくい。 表面の凹凸がはなはだしい場合は欠陥の判断誤りやすい。 作業性がよい。 	<ul style="list-style-type: none"> 塗膜により、検出能力の低下や塗膜自体の亀裂により亀裂の識別性が低下する。 ○

各々の非破壊試験によって検出される疲労亀裂の長さ寸法を求めた試験結果を表-5.13に示す。適用する鋼橋の部位や表面状態によって異なるが、一応の目安にはなるとともに、目視検査でも注意して行えば有効であることが分る。

表-5.1.3 各種非破壊試験の亀裂検出限界寸法

	亀裂検出限界寸法(mm)		寸法推定精度
	塗膜上	塗膜除去後	
目視検査	4.0	8.0	ばらつき大
磁粉探傷試験	(4.0)	2.0	適正(±1mm)
浸透探傷試験	(4.0)	8.0	過小評価
超音波探傷試験	5.0	5.0	過大評価
渦流探傷試験	5.0	5.0	不可

5.2 目視検査

5.2.1 目視検査の目的

鋼橋の維持管理検査において、目視検査法は重要な検査方法である。次項に述べるように大方の損傷事象は発見することが可能である。しかしながら、欠陥寸法の大きさ、広がり等について詳細に測定する場合には、5.3 項以降の他の非破壊検査方法を適用する必要がある。

この様な意味で、目視検査は損傷が存在することをマクロ的に検出し、損傷状況の全体的な把握を行うとともに、次のステップである詳細検査実施の要否を決定することを目的としているといえる。

5.2.2 検査方法

目視検査は足場や橋梁検査などを用いて行うのが望ましいが、これらが無い場合は、支点上や検査路から検査可能な範囲に絞ることや、望遠鏡等の使用を考える必要がある。

検査の対象や判定基準は以下による。

表-5.2.1

検査対象	判定基準
① 部材の変形等 ② 部材、H.T.B等の脱落、破断 ③ 腐食、塗膜異常 ④ 亀裂	・ 形状的な変化部の有無 ・ 欠損部の有無 ・ 塗膜のハク離、変色等の有無 ・ 塗膜面のワレ及びワレよりの錆汁の有無等の異常

5.3 超音波探傷検査

5.3.1 検査の目的

超音波探傷検査の目的は、主として、疲労亀裂の有無の確認及びその長さ、深さ、範囲を測定するものである。この他には超音波を利用した板厚測定もあるが、ここでは前者に限定する。

5.3.2 検査方法

超音波探傷試験は、高い周波数の弾性波が材料中の欠陥に当たった場合に反射することを利用したものであり、その反射波は欠陥の位置、性質、形状、寸法などの数多くの情報を含んでいる。

超音波探傷試験方法は一般に、パルス反射式超音波探傷法と呼ばれるものが多く利用されている。このうち、利用する超音波特性(表-5.3.1)により、板面に垂直に縦波を入射させる垂直探傷法と斜めに横波を入射させる斜角探傷法などがある。垂直探傷法は、図-5.3.5(a)に示すように試験体の表面から垂直に超音波を送り込む方法で、超音波ビームが欠陥に当たるような位置に垂直探触子を接触させた場合、ブラウン管には図中に示すような探傷図形が現れる。斜角探傷法とは、図-5.3.5(b)のように試験部を直接ねらう直射法と、裏面で一回反射させてねらう一回反射法とがある。この時、ブラウン管には、図-5.3.6のような探傷図形が得られ、超音波ビームの進行方向に沿った探触子の入射点から欠陥までの距離が測定できる。

垂直探傷法は板面に平行なラミネーション状の欠陥検出には有効であるが、板面と直角方向にある欠陥検出は困難である。特に、疲労亀裂のように表面や内部に進展している欠陥、さらにその方向（角度）が任意であるような欠陥を検出するには斜角探傷法が有効である。

表-5.3.1 超音波の種類

波の種類	特徴の説明	音速
縦波	通常の音波。音速が最も速い。	物質により音速が定まる
横波	固体中の横振動の波。	
表面波	表面に沿って伝わる波。	モードにより音速が著しく異なる
板波	薄板の中を伝わる波。	

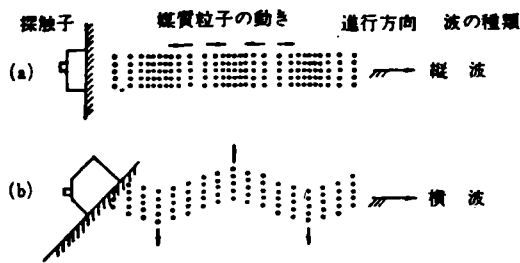


図-5.3.2 超音波の種類

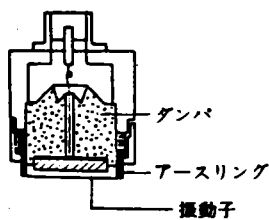


図-5.3.3 垂直探触子 (水晶振動子)

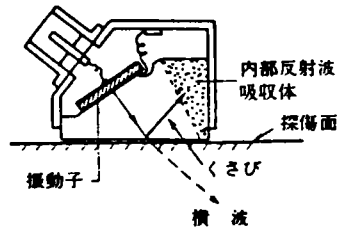
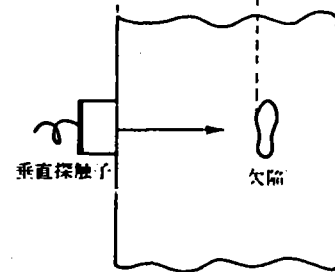
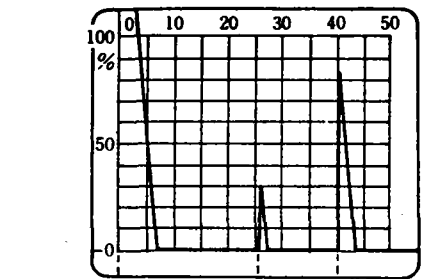
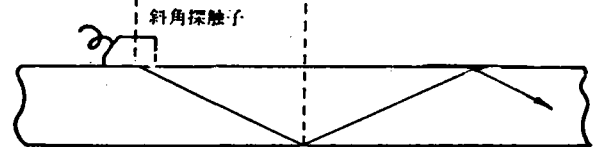
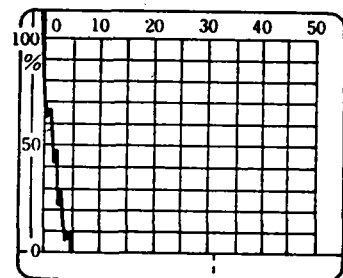


図-5.3.4 斜角探触子



(a) 垂直探傷



(b) 斜角探傷

(垂直探傷では底面エコーが現れるが斜角探傷では、一般にスキップ点でエコーが現れない)

図-5.3.5 垂直探傷と斜角探傷の比較

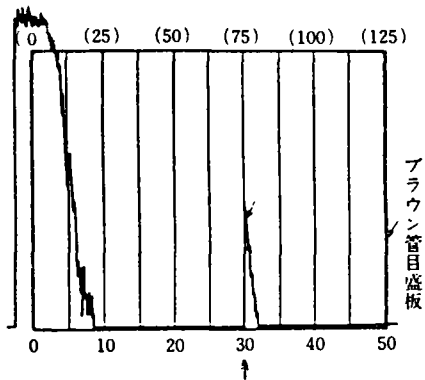


図-5.3.6 探傷図形

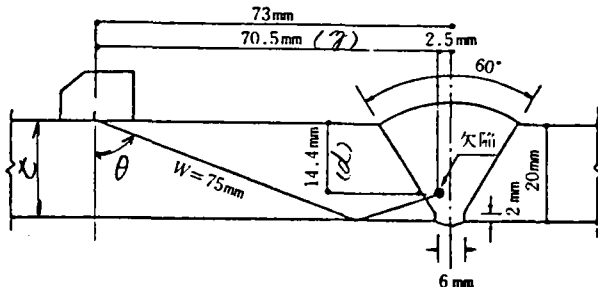


図-5.3.7 欠陥位置図



写真-5.3.1 超音波探傷検査状況

(解き方)

- ① 欠陥までのビーム路程 W は探傷図形から 75mm と読みとれる。
- ② 探触子-欠陥距離 y は図から

$$y = W \cdot \sin \theta = 75\text{mm} \times 0.940 = 70.5\text{mm}$$
- ③ 欠陥の深さ d は図から

$$d = 2t - W \cdot \cos \theta = 2 \times 20\text{mm} - 75\text{mm} \times 0.342 = 40\text{mm} - 25.7\text{mm} = 14.3\text{mm}$$
- ④ 図-5.7 に y と d の値から欠陥の位置を記入したところ、この欠陥は溶接金属内にあるから明らかに溶接欠陥である。

5.4 磁粉探傷検査

5.4.1 検査の目的

磁粉探傷検査は、主として鋼材表面に開口した、あるいは表面直下の疲労亀裂の長さ、方向等を測定するために用いる。

5.4.2 検査方法

磁粉探傷試験は、欠陥部に発生する漏洩磁束に散布した磁粉が付着することを利用して、視覚的に検出する方法である。

磁粉探傷は、通常5.5項に示す探傷液浸透法よりも感度が高い。現場で適用する場合は、電磁石を用いて検査個所に局部的に磁場をつくり、微粉状の鉄粉を吹き付ける。もし欠陥がない場合は鉄粉は磁場の方向に並び、亀裂のような磁場をみだすものが存在する場合は、その位置に鉄粉が集中する。

表-5.4.1 磁粉の種類による特徴

乾式法	長所	被検査物の防錆を考慮する必要がない。 使用中の磁粉管理が特にいらなく使い捨てで使用するため。 比較的荒い表面状態で使用できる。
	短所	被検査物、磁粉ともに乾燥していなければならない。 散布方法が比較的むずかしい。 大量に使用する場合には、集塵装置等が必要。
湿式法	長所	微細欠陥の検出ができる。 連続使用ができる（検査液の回収が容易）。 検査液の散布が容易。
	短所	検査液の管理がむずかしい。 被検査物の防錆を考えなければならない。 添加剤を必要とする。 油分散は特に火災、臭気等に注意する。
非蛍光磁粉	長所	白色光の下で検査（特別な照明がいらぬ）できる。 磁粉の色の種類が多い。
	短所	被検査物とのコントラストを考慮しなければならない。 蛍光磁粉より高濃度で使用する。
蛍光磁粉	長所	被検査物とのコントラストが良い（被検査物の表面の色を考慮しなくてよい）。 微細欠陥の検出に適する。 低濃度で利用できる。
	短所	暗室が必要。 紫外線灯（ブラックライト）が必要である。

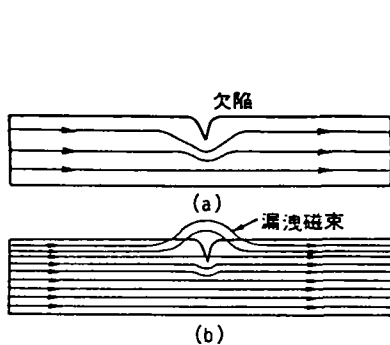


図-5.4.2 欠陥部における磁束の漏洩説明図

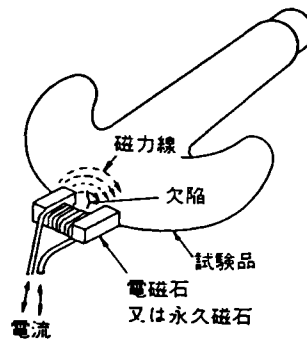


図-5.4.3 極間法

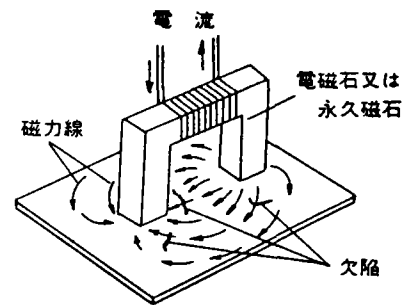


図-5.4.4 極間法

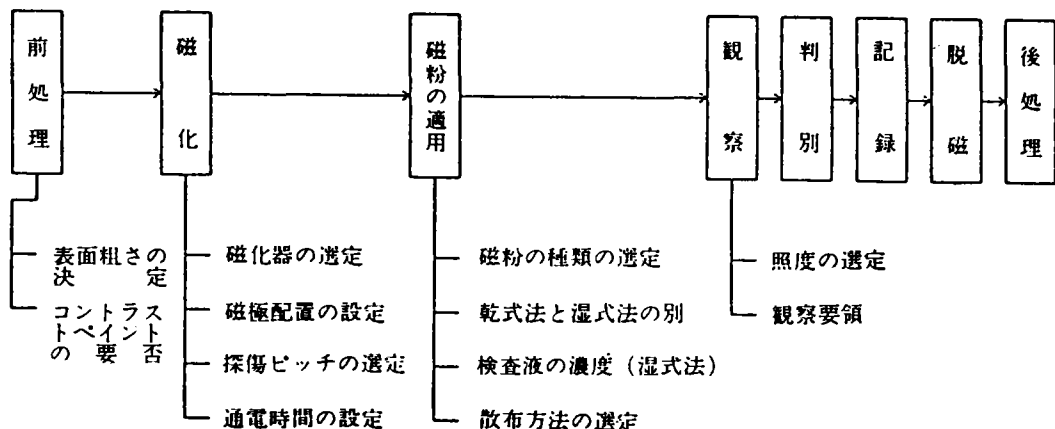


図-5.4.5 極間法による溶接部の検査手順

5.5 染色浸透探傷検査

5.5.1 検査の目的

染色浸透探傷検査は、鋼材表面に開口した疲労亀裂などの欠陥の検出に用いる。

5.5.2 検査方法

浸透探傷試験は、欠陥内部に浸透液が浸みこみ、現像剤中に毛細管現象によりにじみだることを利用した方法で、磁粉探傷と同様、視覚的に欠陥を検出する方法である。浸透探傷試験の原理は、浸透液が欠陥中に浸透する毛細管現象と、余剰浸透液の洗浄または除去を行うために浸透液と水との乳化現象、または、溶剤による溶解の原理を利用している。試験体の表面に開口している傷を目で見易くするために、黄緑色の蛍光浸透液または赤色の染色浸透液により拡大した像にして指示模様を形成する方法で、図-5.5.1に示すような種類がある。

検査手順は、初めに図-5.5.2に示す前処理を行い、次に図-5.5.4に示す4段階からなる基本処理を行う。

探傷液浸透法は、技量もほとんど必要とされず、また経費も安い。しかし、表面亀裂のみしか検出できないことが欠点である。

図-5.5.1 浸透探傷試験の種類

水洗性蛍光浸透探傷試験 後乳化性蛍光浸透探傷試験 溶剤除去性蛍光浸透探傷試験	水洗性染色浸透探傷試験 後乳化性染色浸透探傷試験 溶剤除去性染色浸透探傷試験
--	--

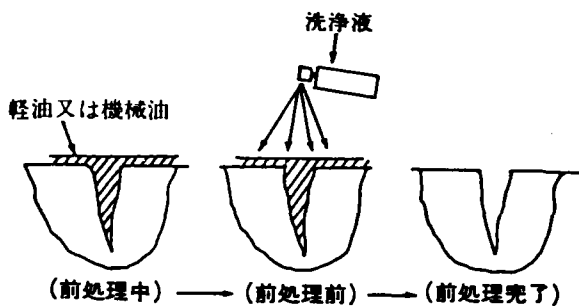


図-5.5.2 前処理（洗浄剤を用いた）の一例

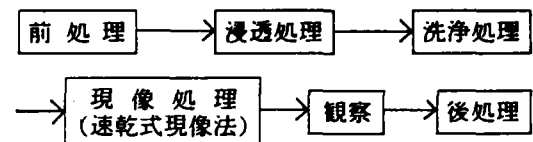


図-5.5.3 浸透探傷検査の手順
（溶剤除去性染色浸透探傷検査）

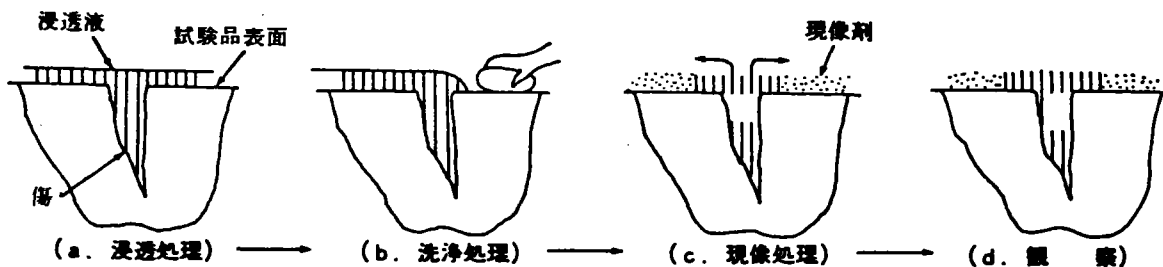


図-5.5.4 浸透探傷検査の基本処理

5.6 渦流探傷検査

5.6.1 検査の目的

渦流探傷試験は電磁誘導試験ともいい、本法を用いた検査の目的は、鋼材表面あるいは表層部に存在する疲労亀裂の検出である。ただし、他の非破壊検査方法に比べると現場での適用はほとんどない。簡易な方法も開発されているので、今後の適用が期待される方法である。

5.6.2 検査方法

渦流探傷試験は磁粉探傷試験に近い方法であるが、欠陥は磁場の乱れではなく電流の乱れにより検出される。金属などの導体に交流を流したコイルを接近させた時、亀裂が存在すると電磁誘導現象により発生した渦電流分布が変化し、コイルに誘起される電圧が変化することを利用したものである。

すなわち、図-5.6.1 に示すように試験体に接近したコイルに交流電流を流して磁束を発生し、試験体に誘起されたうず電流の作用によって生じるコイルのインピーダンスの変化、または他の検出コイルに誘起される電圧の変化を利用して探傷試験を行うものである。

現在のところ適用は形状が単純なものに限定されているが、塗膜等の表面状態に影響されないなどの利点がある。

うず電流は表皮効果によって試験体の表面近傍では大きい、内面ほど小さい。したがって、渦流探傷試験では試験体の表面にある微小な傷を感度よく検出することが可能である。

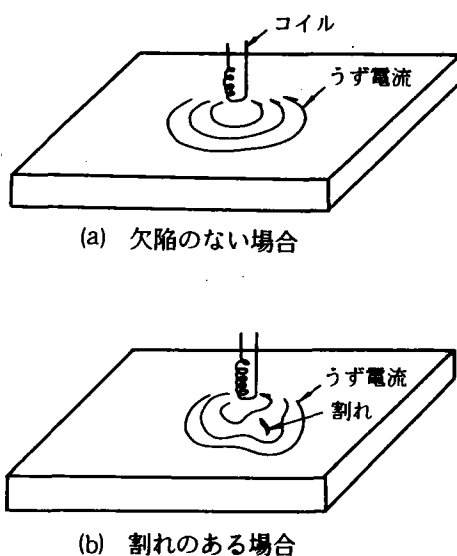


図-5.6.1 渦流探傷試験の基本原理

5. 7 応力測定

5. 7. 1 応力測定の目的

橋の耐荷力、耐久性、使用性あるいは補強効果などを判定するために、計算上だけでなく、実際の発生応力を把握する目的で行う。

5. 7. 2 測定方法の種類と使用機器および特徴

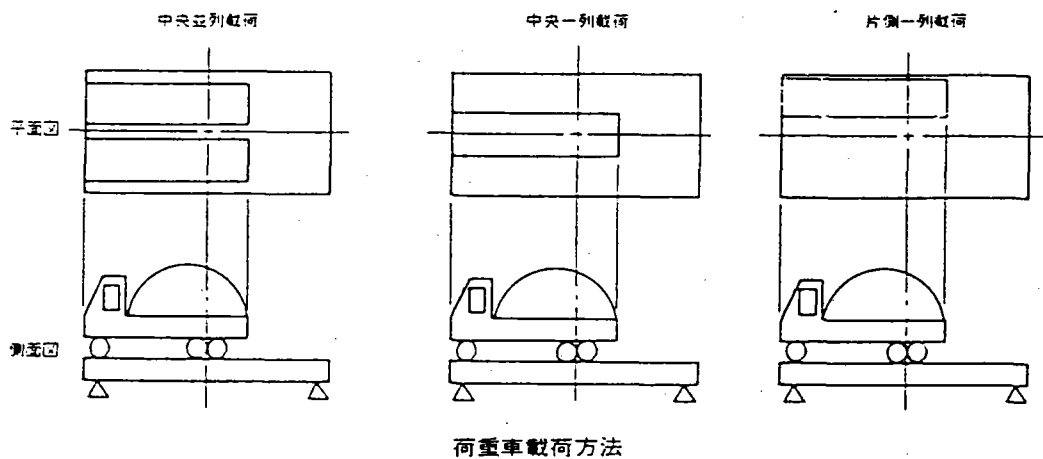
(1) 静的試験

1) 測定概要

・ 載荷方法

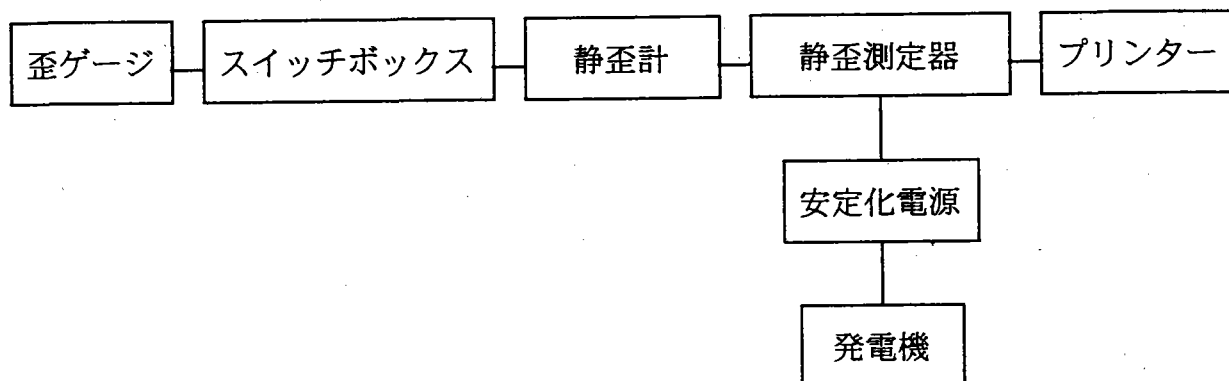
載荷は、一般にはダンプトラックを使って総重量20t程度で行われ、計算値を算出するため事前に各軸重を測定しておく。荷重車の載荷位置は、下図に示すように中央並列、中央一列、片側一列の3種類が一般的である。

なお、載荷時には、静的測定値を得るための交通規制を実施する必要がある。



測定方法

最大たわみ・ひずみ発生点のたわみ・ひずみを各載荷ケースについて測定する。一般にはたわみ測定には1/100刻みのダイヤルゲージ以上の精度を有する器具が用いられる。ひずみはひずみゲージを2または4枚貼って感度を上げる事が多い。測定時の機器構成を次図に示す。



静的試験の使用機器構成図

2) 試験の特徴

- 長所：
- 静的载荷のため測定値に衝撃の影響を受けていない、従って計算値にも衝撃の影響を含めずに対比できるので、構造解析係数（測定値／計算値）の信頼性は高い。
 - 測定計器が比較的廉価である。
- 短所：
- 測定時には交通規制が必要であり、交通事情によっては測定が困難となる事もある。
 - 荷重の違いのため設計値と比べて測定値が小さい。

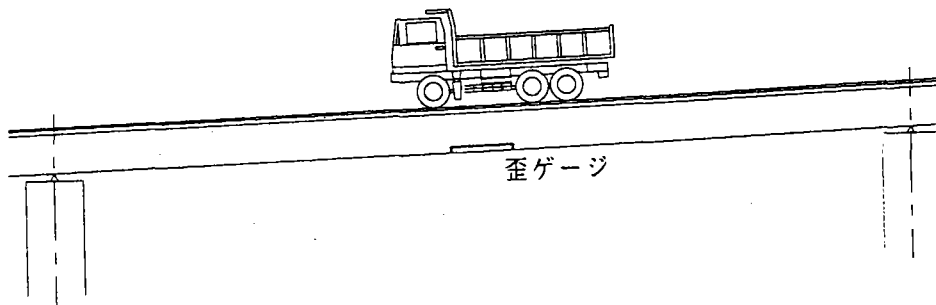
(2) 動的試験

1) 測定概要

- 載荷方法

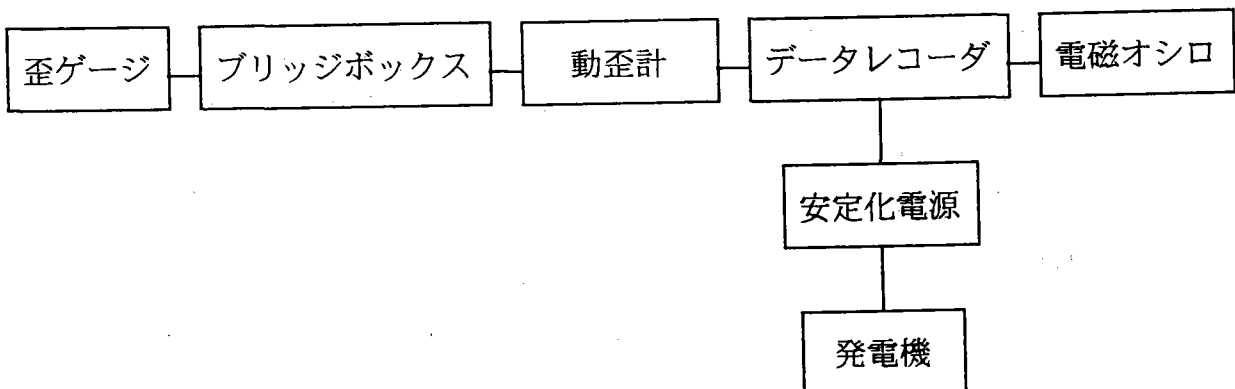
載荷は、一般にはダンプトラックを使って総重量20t程度で行われ、計算値を算出するため事前に各軸重を測定しておく。荷重車は40km/h程度の速度で、走行車線を各々3回単独走行させて測定するのが一般的である。

なお、試験車が単独走行をするための交通規制は実施しないが、測定を交通量の少ない深夜に行い、信号の間合いを利用するなどの工夫を必要とする。



- 測定方法

最大たわみ・ひずみ発生点のたわみ・ひずみを各載荷ケースについて測定する。一般にはたわみ測定には1/100刻みのダイヤルゲージ以上の精度を有する器具が用いられる。ひずみはひずみゲージを2または4枚貼って感度を上げる事が多い。測定時の機器構成を次図に示す。



動的試験の使用機器構成図

2) 試験の特徴

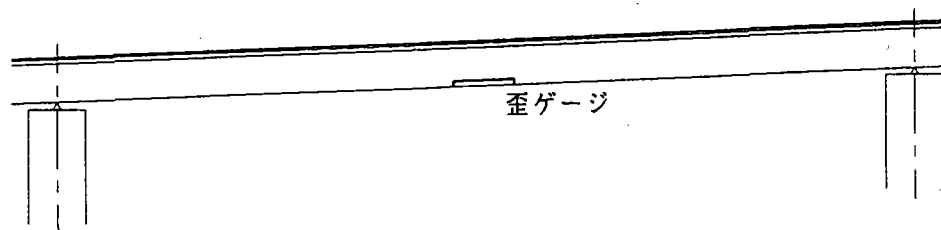
- 長所：
- ・ 測定時には交通規制が不要であり、交通事情の厳しい路線でも測定が可能である。
 - ・ 荷重が供用荷重のため設計値と対比できる。
- 短所：
- ・ 動的載荷のため測定値に衝撃の影響を受けるが、荷重が確定できないので構造解析係数は得られない。

(3) 頻度測定

1) 測定概要

- ・ 載荷方法

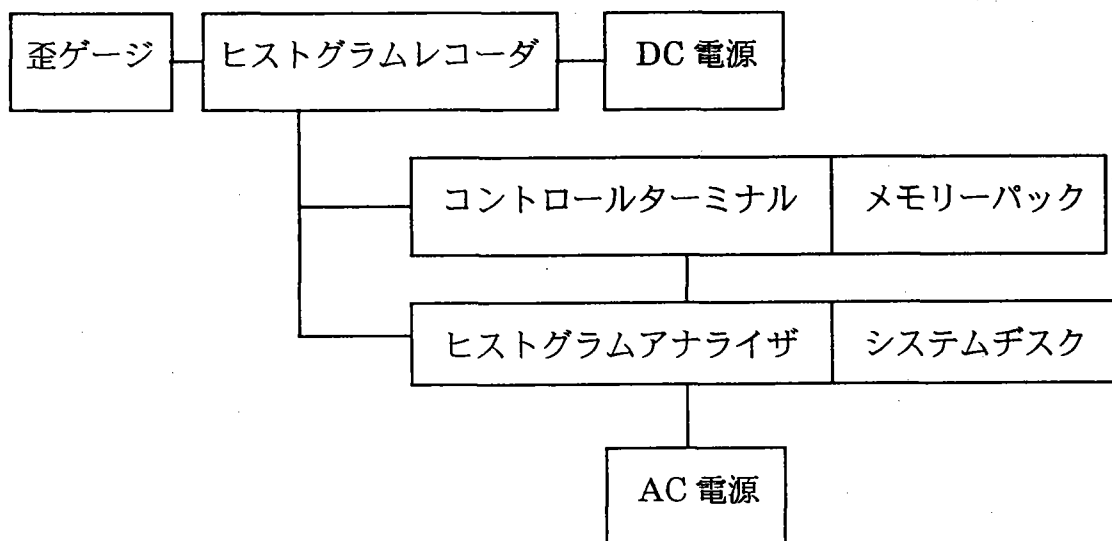
載荷は、供用荷重を使って行われ、測定の期間を1～7日とするのが一般的である。動的試験のあと、つづいて測定されることが多い。



- ・ 測定方法

長期間の測定になるので、トラブルをなるべく回避するためひずみを測定することが多いほかは、動的試験と同様である。

ただし、応力頻度の測定方法は、その目的により異なり、疲労の検討が目的であればレインフロー法、耐荷力の検討が目的であればピークバレー法が一般的である。



頻度測定の使用機器構成図

2) 試験の特徴

長所： ・ 測定時には交通規制が不要であり、交通事情の厳しい路線でも測定が可能である。

短所： ・ 動的载荷のため測定値に衝撃の影響を受ける、従って計算値にも衝撃の影響を含対比するので、その分構造解析係数（測定値／計算値）の信頼性は劣る。
 ・ 測定計器が比較的高価である。
 ・ 荷重の違いのため設計値と比べて測定値が小さい。

6. 現地検査の実際

検査では、日常・定期点検等により損傷が発見された箇所以外に、損傷の種類によっては数倍以上になることもある。鋼材の亀裂および腐食では橋梁形式・構造特性などにより損傷箇所をおおよそ特定できる。ここに、亀裂および腐食における検査対象部位を鈹桁とトラス桁について示す。(図-6.1.1、表-6.1.1) (図-6.2.1、表-6.2.1)

6.1 検査部位図

6.1.1 鈹桁

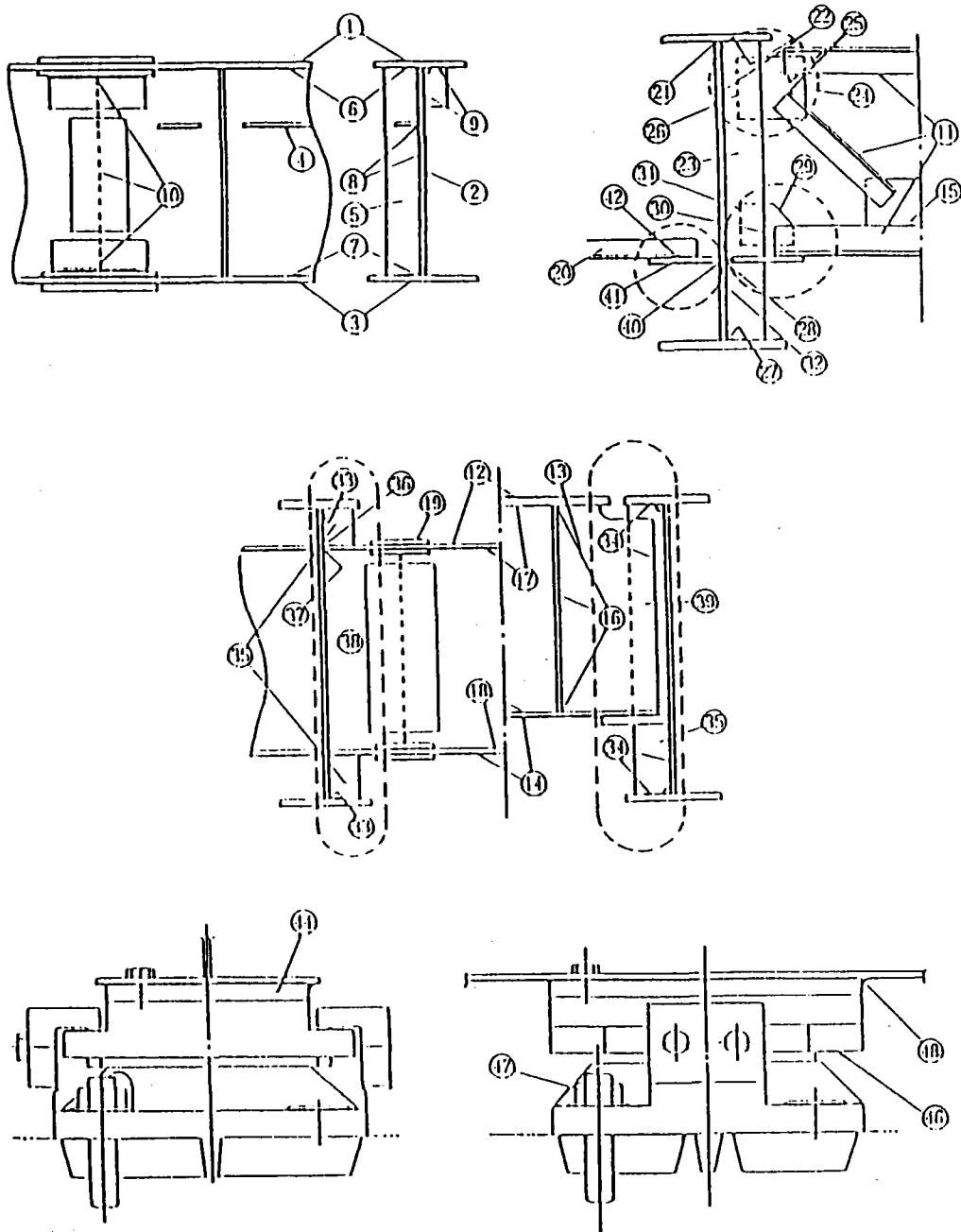


図-6.1.1 検査部位図

表-6.1.1 検査部位

検査部位		検査対象損傷項目			
		亀裂	腐食	部材変形	HTB・リベットのゆるみ・欠損
① 主桁 一般部	(1) 上フランジ		○	○	
	(2) ウェブ		○	○	
	(3) 下フランジ		○	○	
	(4) 水平補剛材		○	○	
	(5) 鉛直補剛材		○	○	
	(6) 上フランジとウェブ溶接部		○		
	(7) 下フランジとウェブ溶接部		○		
	(8) ウェブと補剛材溶接部	○	○		
	(9) リブとフランジ、ウェブの溶接部		○		
	(10) 主桁添接部		○		○
② 対傾構 ・ 横構 一般部	(11) 上下弦材及び斜材		○	○	
	(12) 上フランジ		○	○	
	(13) ウェブ		○	○	
	(14) 下フランジ		○	○	
	(15) ガセット及び斜材、下弦材との溶接部		○		
	(16) 補剛材及びフランジ、ウェブとの溶接部		○		
	(17) 上フランジとウェブ溶接部	○	○		
	(18) 下フランジとウェブ溶接部	○	○		
	(19) 横桁添接部		○		○
	(20) 横構		○	○	
③ 取手部 主桁と 対傾構	(21) 上フランジとウェブ溶接部	○	○		
	(22) 取合鉛直補剛材と上フランジ、ウェブ溶接部	○	○		
	(23) 取合鉛直補剛材(上下部)	○	○	○	
	(24) 対傾構ガセット	○	○	○	
	(25) 対傾構ガセットと上弦材、斜材溶接部	○	○		
	(26) 取合鉛直補剛材との添接部	○	○		○
④ 取合部 主桁と 対傾構	(27) 下フランジとウェブ溶接部	○	○		
	(28) 横構ガセットとウェブ溶接部	○	○		
	(29) 対傾構ガセット	○	○	○	
	(30) 対傾構ガセットと下弦材溶接部	○	○		
	(31) 取合鉛直補剛材との添接部	○	○		○
	(32) 取合補剛材とウェブ溶接部	○	○		
⑤ 横取合部 主桁と	(33) 上下フランジとウェブ溶接部	○	○		
	(34) 取合補剛材と上下フランジ、ウェブ溶接部	○	○	○	
	(35) 取合鉛直補剛材、リブ	○	○		
	(36) 横桁仕口リブと上フランジ、ウェブ溶接部	○	○		
	(37) 横桁仕口フランジとウェブ溶接部	○	○		
	(38) 横桁仕口ウェブと主桁ウェブ溶接部	○	○		
	(39) 取合鉛直補剛材との添接部	○	○		○
⑥ 取部 横構	(40) 横構ガセットとウェブ溶接部	○	○		
	(41) 横構ガセット		○	○	
	(42) 横構ガセットと横構添接部		○		○
	(43) 横構と水平補剛材突合せ溶接部	○	○		
⑦ 取部 支承と 主桁	(44) ソールプレート	○	○	○	
	(45) 支承外面		○		
	(46) 支承内部摺動部		○		
	(47) 支承アンカーボルト		○	○	
	(48) ソールプレートと主桁溶接部	○	○		

6.1.2 トラス桁

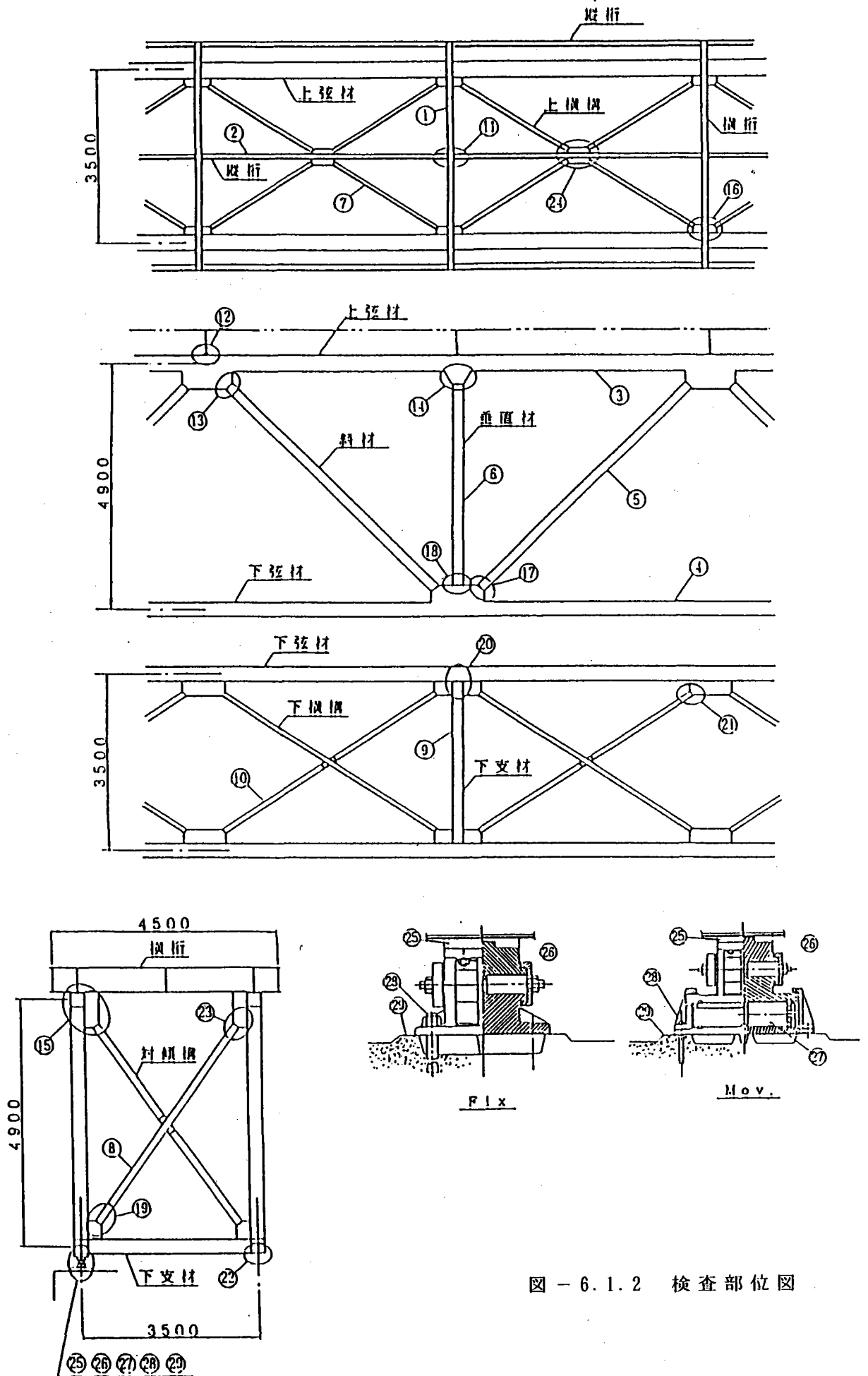


図 - 6.1.2 検査部位図

表-6.2.1 検査部位

検査部位		検査対象損傷項目			
		亀裂	腐食	部材変形	HTB・リベットのゆるみ・欠損
主 構 部	(1) 横桁		○	○	
	(2) 縦桁		○	○	
	(3) 上弦材		○	○	○
	(4) 下弦材		○	○	○
	(5) 斜材		○	○	
	(6) 垂直材		○	○	
	(7) 上横構		○	○	
	(8) 対傾構		○	○	○
	(9) 下支材		○	○	
	(10) 下横構		○	○	○
取 合 部	(11) 横桁と縦桁	○	○		○
	(12) 上弦材と横桁	○	○		○
	(13) " 斜材	○	○		○
	(14) " 垂直材	○	○		○
	(15) " 対傾構	○	○		○
	(16) " 上横構	○	○		○
	(17) 下弦材と斜材	○	○		○
	(18) " 垂直材	○	○		○
	(19) " 対傾構	○	○		○
	(20) " 下支材	○	○		○
	(21) " 下横構	○	○		○
	(22) " ソールプレート	○	○		○
	(23) 垂直材と対傾構	○	○		○
	(24) 縦桁と上横構	○	○		○
支 承 部	(25) ソールプレート			○	
	(26) 支承外面			○	
	(27) 支承内面摺動部			○	
	(28) 支承アンカーボルト			○	
	(29) 沓座モルタル			○	

6.2 検査手順

予備の検査では、目視検査が損傷箇所確認・情報収集・他に重要な役割である。目視検査により詳細検査対象項目を選定して、非破壊検査・破壊検査・報告書作成（場合により応急処置等を含む）へと進む。以下に検査手順の代表的なフローチャートを示す。

検査手順フローチャート

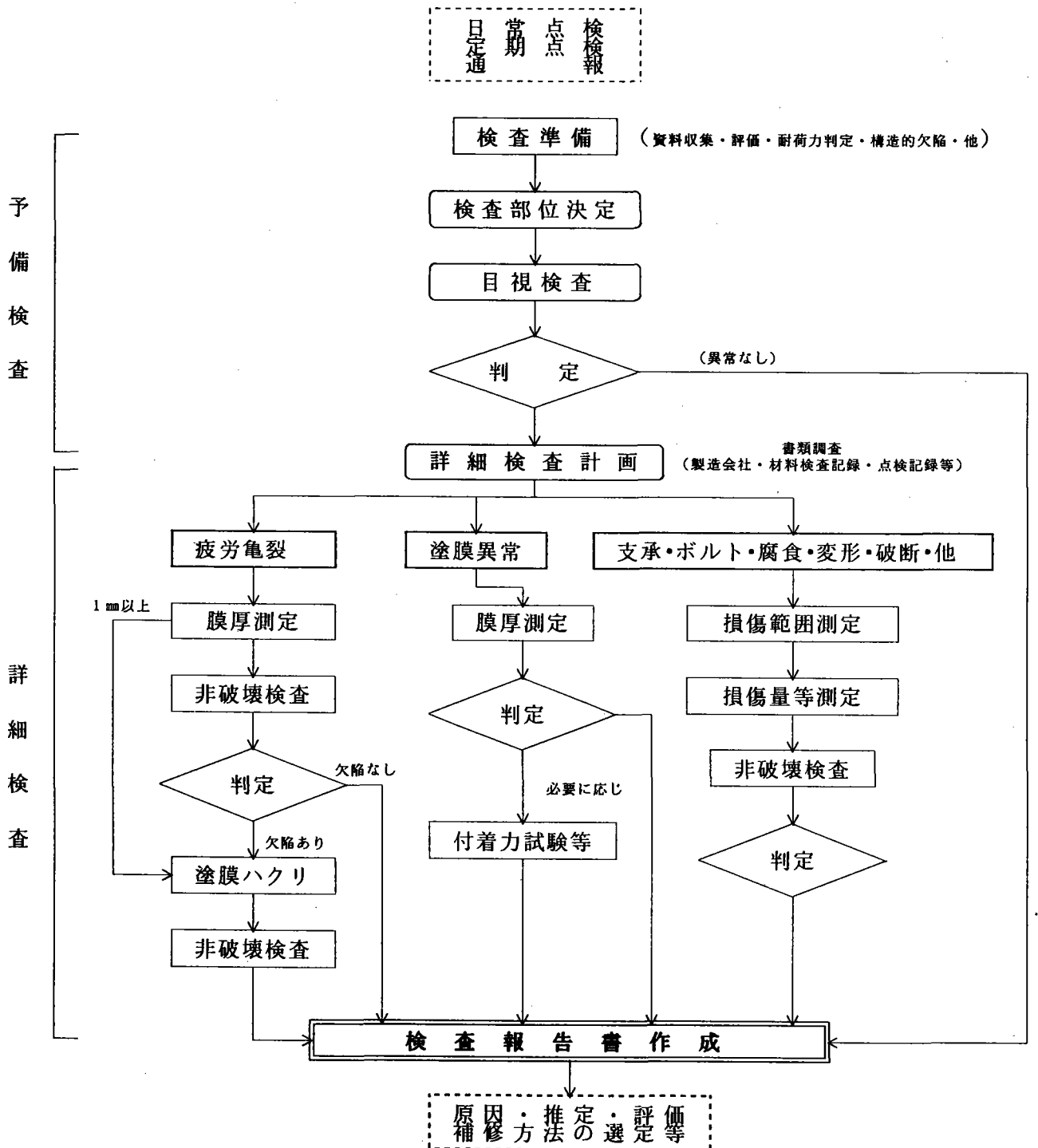


表-6.2.1 検査結果記録シート

		検出	(19)損傷名
			(20)損傷NO.
シートNO.		維持管理 検査結果記録シート	
		(作成年月日)	(作成者)
		H 年 月 日	

項目	内容	(7) 一般図
一般事項	(1)橋梁名	
	(2)橋形式	
	(3)管理者	
	(4)設置時期	
	(5)供用年数	
	(6)最新点検時期	

項目	① 予備検査	② 詳細検査	備考
(8)検査有無	有・無	有・無	
(9)検査時期			
(10)検査範囲			
(11)検査部位			
(12)対象数			
(13)塗膜有無			
検査方法	(14)方法		
	(15)条件		
(16)検査者			
(17)検査結果			
(18)損傷位置			
(21) 詳細検査結果	(部位、位置、損傷の程度を図及び数値により具体的に記録する)		
(22) 特記事項	(検査状況、損傷状況、又は追加検査の要否、その要領などを記述する)		

6.3 目視検査

目視検査は外観検査（たたき・触手・簡単な計測器利用）の一種に含まれ、鋼構造物の点検の最も基本的で、外観の変状を人間の五感を利用して調べる方法である。

鋼構造物の変状は、下記に分類できる。

- ・ 疲労等における亀裂、又は損傷
- ・ 過大応力、事故災害による変形
- ・ 高力ボルトの緩み、又は脱落
- ・ 塗装の劣化
- ・ 鋼材の腐食

これらの変状調査はほとんど目視検査（VT）によって行われてきた。又、目視検査を行うことによって変状の度合いを把握することができ、それによって詳細検査の方法の選択を行うこともできる。

6.3.1 現場状況に応じた検査

検査対象となる橋梁の設置箇所は、市街地・山間部・河川上・海上等さまざまである。目視検査では足場設備が整備されていることは少ないので、事前に現地状況を考慮した上で乗込むことが望ましい。

6.3.2 検査道具・設備

目視検査に必要な小道具として、下記が挙げられる。

- ① カメラ・双眼鏡（ズーム機能付きで倍率の高いもの）
- ② 懐中電灯（ヘッドライト式）・拡大鏡・手鏡
- ③ 金づち・差し金等・温度計・表面温度計・湿度計
- ④ 計測器具（隙間ゲージ・溶接ゲージ・鋼製巻尺等）
- ⑤ 筆記用具（野帳・チョーク・黒板・電卓）
- ⑥ その他（キャタツ・ブラシ・ウェス等）

6.3.3 目視検査における安全衛生

現地検査では、安全設備が不十分な上、高所作業が多い。また、作業環境としても安全衛生上の配慮が必要となる。

- ・ 作業者は、ヘルメット・安全靴の着用並びに安全帯の着用と使用を怠ってはならない。
- ・ 点検作業は、2人以上にて行うことが望ましい。
- ・ 点検通路などの足場設備が無い箇所を検査する場合は、地上または、高所作業車等により目視検査を行う。
- ・ 海上橋梁の検査で、船舶等を利用する場合にはかならず救命胴衣などの着用を怠ってはならない。
- ・ その他点検作業の際は、「労働安全衛生法」、「労働安全衛生」「クレーン等安全規則」などに従ったものでなければならない。

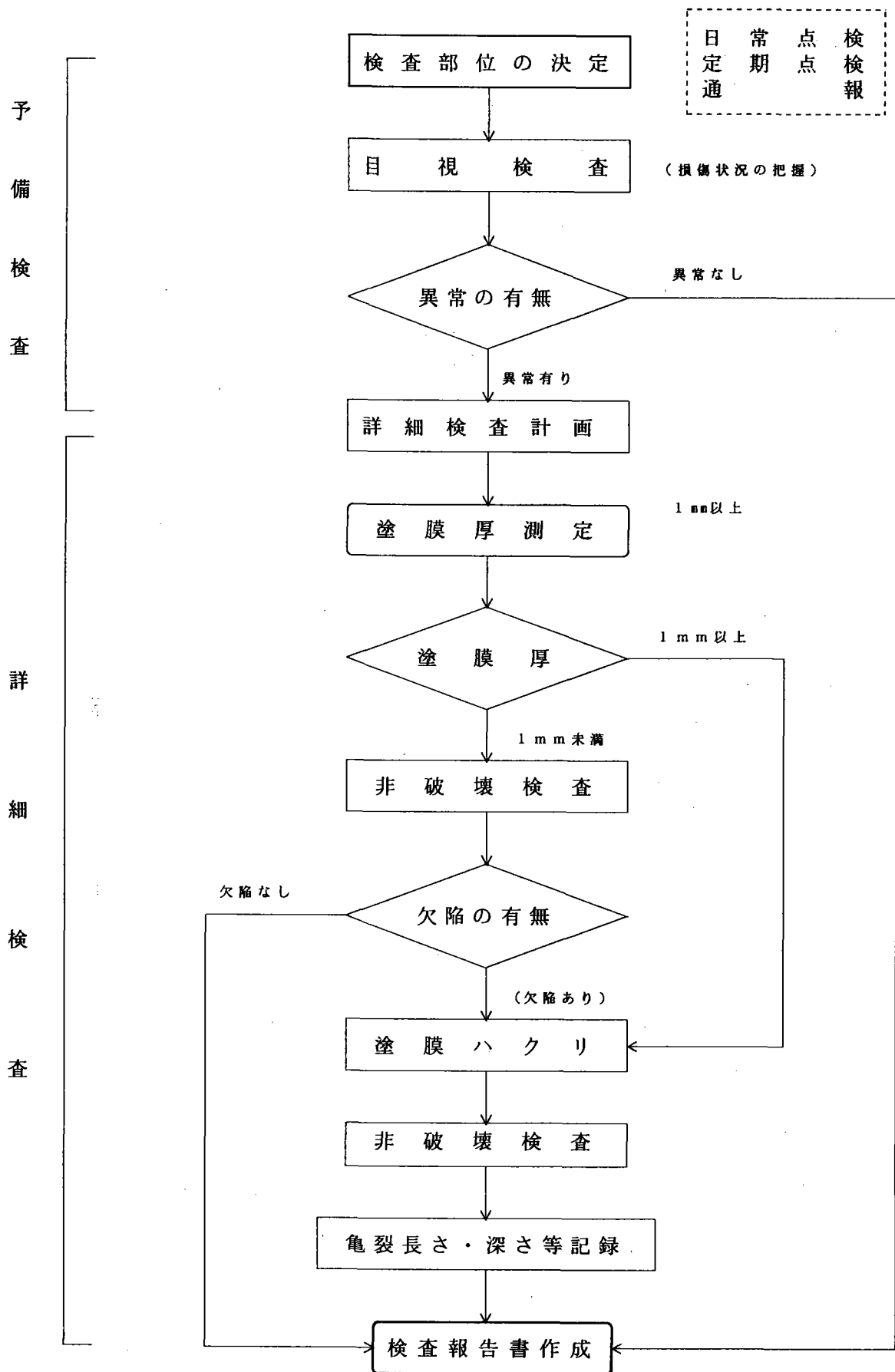
6.4 疲労亀裂

鋼を含む構造部材に、繰り返し応力が作用すると、その応力が材料の引張強さあるいは降伏点以下であっても繰り返し回数により破断することがある。このような現象を疲労破壊、または単に疲労と呼んでいる。

疲労による亀裂損傷箇所は、6.1「検査対象部位」に示す位置が主な箇所であり、鋼構造物の日常点検・定期点検あるいは通報（異常音など）により発見される。ただし、損傷箇所は狭隘部や暗所が多く、また塗装や汚れなどにより発見が難しくなる場合がある。

疲労亀裂による損傷箇所を目視により発見するには、検査員としての経験・構造上の知識（着目箇所、発生箇所、亀裂方向等）などが必要となる。

(1) 検査手順



(2) 予備検査要領

橋梁構造物の日常点検・定期点検あるいは通報等により、亀裂箇所の状態または箇所数等を把握するものである。

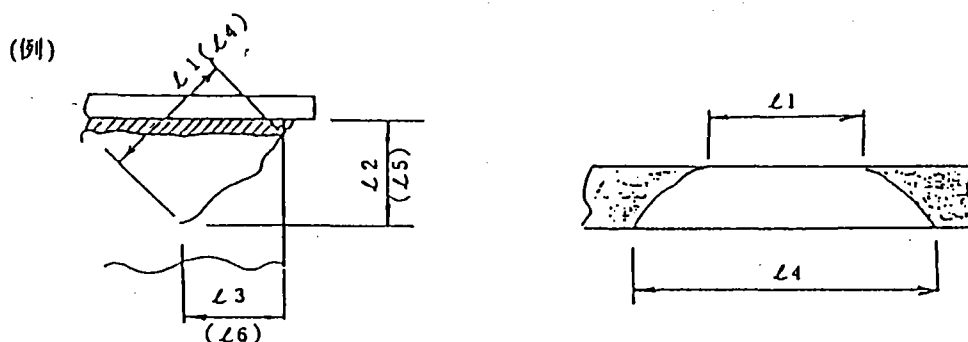
- 1) 昇降設備及び点検設備の有無・位置・足場設置用の吊金具取付状況などを調査する。
- 2) 検査対象部位を事前に確認し、亀裂損傷箇所の状況等を把握する。
- 3) 検査範囲は、橋梁形式・構造・発生状況等を考慮して、目的に応じて選定する。
 - a) 亀裂損傷の発生した箇所と対称の位置にあり、荷重載荷条件も同一な場所。
 - b) 橋桁一連または橋脚一基内で亀裂損傷箇所と同一構造部位。
 - c) 橋桁一連または橋脚一基の全ての箇所。
- 4) 検査部位への接近及び部材表面の清掃（ブラシまたはウェスぶき）を行う。
- 5) 部材表面を目視観察し、汚れ以外の塗膜面の異常を検出する。
- 6) 塗膜面の亀裂、部材及び溶接部の亀裂、塗膜面の錆汁の認められるもの、または、疑わしいと判断される箇所を異常と判断する。
- 7) 異常部位及び位置を「検査結果記録シート」に記録する。

(3) 詳細検査要領

① 現地詳細検査

詳細検査では事前に、必要な器機・仮設備・人員の手配及び手続きなど、現地での非破壊検査等に対応できる準備を行う。

- ① 2点調整式電磁膜厚計を用いて塗膜面に異常のある部位または疑わしい部位近傍の塗膜厚を測定する。尚、膜厚が1mmを越す場合は、原則として塗膜ハクリ後に非破壊検査を行う。
- ② 部材（含溶接部）の欠陥の有無を確認する目的で非破壊検査（浸透探傷・磁粉探傷・超音波探傷・渦流探傷の内、検査条件に合った探傷法を選定する）を行う。
- ③ 非破壊検査により、部材（含溶接部）に発生している欠陥であることを確認し、塗膜ハクリ範囲の決定を行う。ただし、塗膜ハクリについては、管理者との協議により決定する。
- ④ 非破壊検査は、部材の両面について表面亀裂の幅・深さ・長さ・方向等を確認する。特に板厚方向についての欠陥が部材の一方の表面のみ認められる場合は、超音波探傷法による。
- ⑤ 調査結果は、欠陥の発生部位・位置・寸法及び形状をを整理して以下の要領で「検査結果記録シート」に記録する。



・部材の両面について記録する。

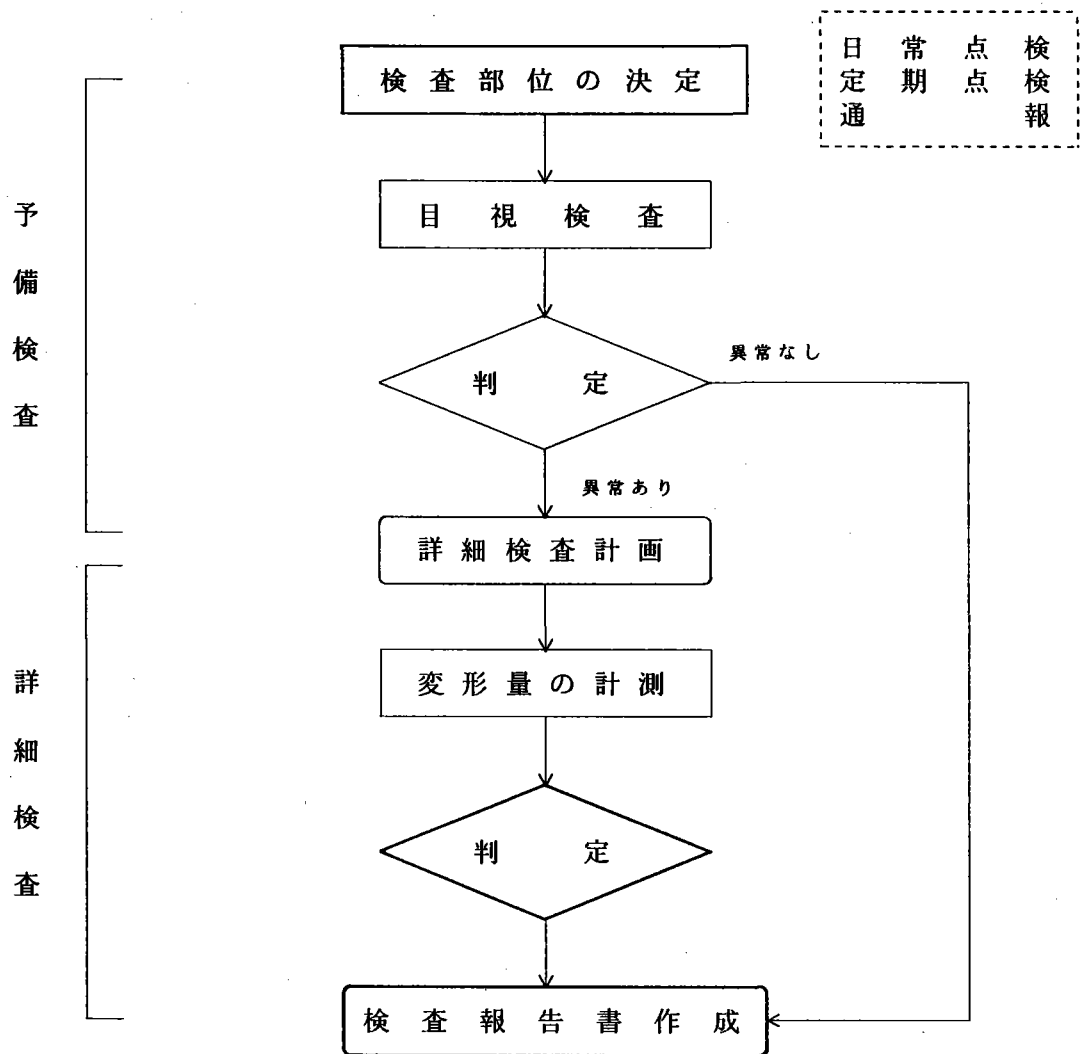
図- 6.4.1 記録要領

- 注.) 1. 寸法はmm単位とし、小数点以下第1位を切り上げる。
2. ()内は裏面での測定寸法を示す。

6.5 変形・破断

構造物に発生する変形・破断は局所的な応力集中、繰返し応力、及び過大な荷重が作用したことなどによる部材の座屈現象と、自動車などの衝突や地震・火災などの災害によるものがある。

(1) 検査手順



(2) 予備検査要領

橋梁構造物の日常点検・定期点検あるいは通報等により、変形及び破断箇所の状態または箇所数等を把握するものである。

- 1) 昇降設備及び点検設備の有無・位置・足場設置用の吊金具取付状況などを調査する。
- 2) 検査対象部位を事前に確認し、損傷箇所の状況等を把握する。
- 3) 部材の変形・座屈および破断の有無を目視により検査する。
- 4) 該当部分がある場合は、その部位及び位置を「検査結果記録シート」に記録する。

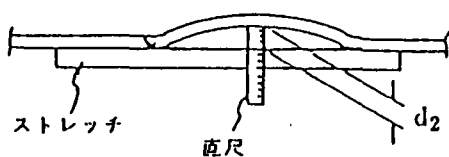
(3) 詳細検査要領

◇ 現地詳細検査

詳細検査では事前に、必要な器機・仮設備・人員の手配及び手続きなど、現地での検査等に対応できる準備を行う。

1) 大曲り変形の場合

ストレッチまたは張り糸により最大変形量(d_1)を直尺により計測する。



大曲りは主として下図のように部材全体が変形している場合をいう。

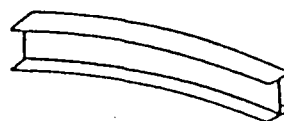
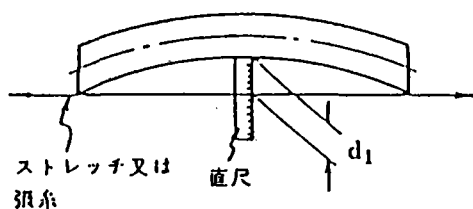


図- 6.5.1 記録要領

2) 局部変形の場合

ストレッチを当てて、最大凹量(d_2)を直尺により読みとる。母材及び近傍溶接部の亀裂等の有無を染色浸透探傷法により検査する。



局部変形は下図のように張出しフランジの自由縁が変形しているような場合をいう。

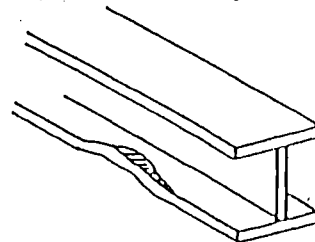


図- 6.5.2 記録要領

3) 破断の場合

破断した部位(位置)・破断形状・破断写真(ぜい性破壊またはえん性破壊を区別できる写真)及び状況等を整理する。

4) 変形・破断の発生部位、位置および寸法形状または、染色浸透探傷検査の結果を「検査結果記録シート」に記録する。

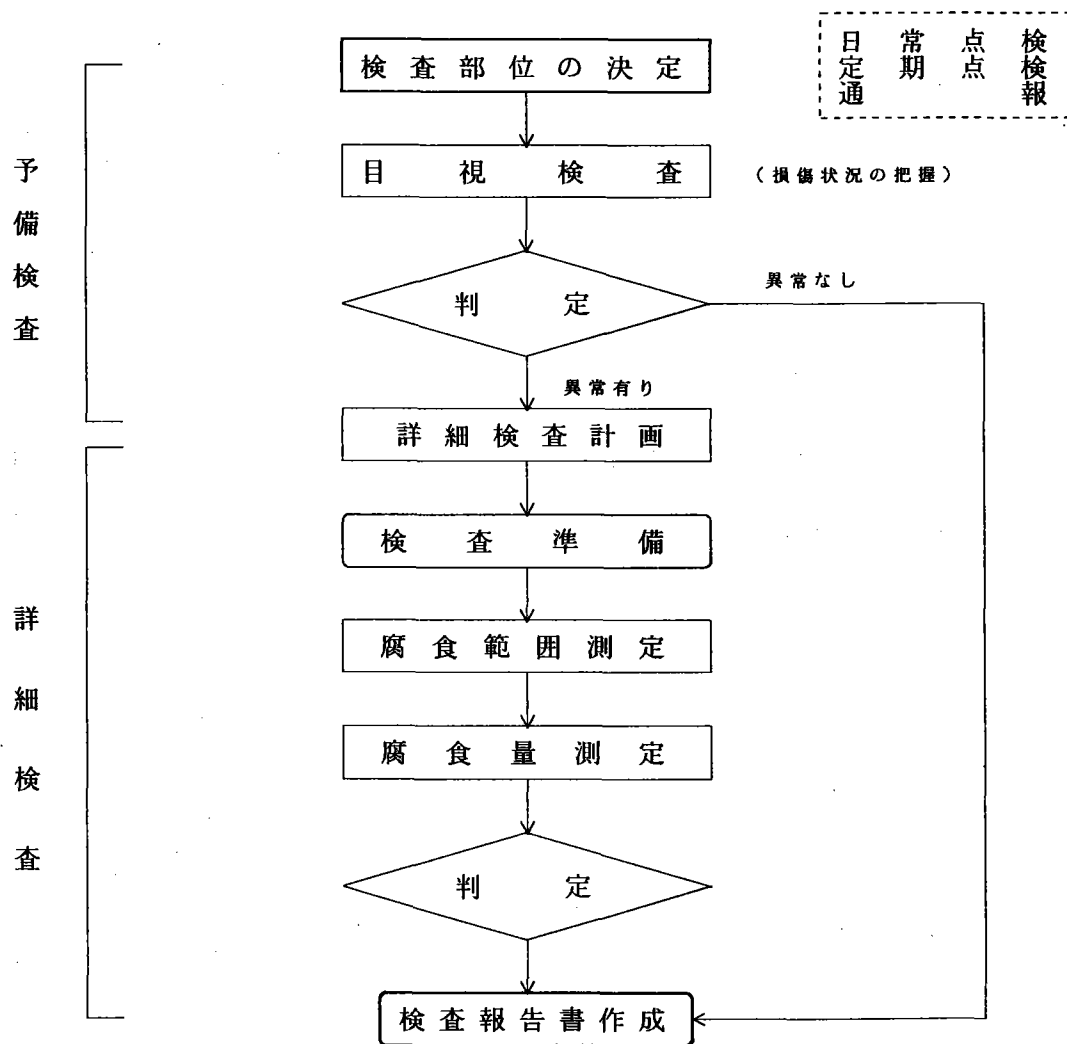
6.6 腐食

腐食は鋼材断面を減少させ強度低下をきたし、亀裂や部材変形の発生原因となる。その主な要因は塗膜劣化箇所に水分(降雨・結露・霧雨等)と腐食性物質(亜硫酸ガス・海塩粒子等)があげられる。橋梁の腐食しやすい部位としては、漏水の多い桁端部、支承部付近、通気性の悪い連結部、泥・埃・鳥の糞などが堆積しやすい下フランジ上面等である。

6.1「検査対象部位」の腐食の項を目安に検査部位を決定する。

(1) 検査手順

腐食検査フローチャート



(2) 予備検査要領

橋梁構造物の日常点検・定期点検あるいは通報等により、腐食箇所
の状態または箇所数等を把握するものである。

- 1) 昇降設備及び点検設備の有無・位置・足場設置用の吊金具取付状況
などを調査する。
- 2) 検査対象部位を事前に確認し、腐食損傷箇所の状況等を把握する。
- 3) 塗膜の著しい変色部、発錆部位及び塗膜ふくれなど疑わしい箇所を
目視により検査する。
- 4) 塗膜そのものの劣化部は「6.7 塗膜の異常」による。
- 5) 異常部位及び位置を「検査結果記録シート」に記録する。

(3) 詳細検査要領

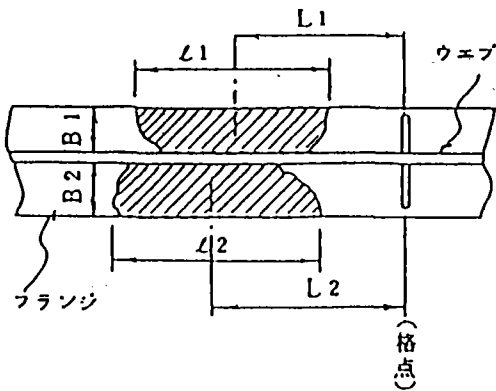
◇ 現地詳細検査

詳細検査では事前に、必要な器機・仮設備・人員の手配及び手続き
など、現地で対応できる準備を行う。

- ① ハクリ状態の塗膜、浮き錆等をスクレーパーまたはハンマー打撃
等により除去する。
- ② 塗膜変色部はウェスぶきまたはサンドペーパーがけにより表面の
みの異常か否かを確認する。尚、内部まで異常がある場合はスク
レーパー等により塗膜をハクリする。また、塗膜表面のみの異常
は「塗膜損傷」と記録し、腐食より除外する。

- ③ 明らかに母材腐食が認められる範囲の長さ、幅と腐食範囲の概略中心と近傍格点位置の距離をコンベックスにより計測する。また部材の両面及びウェブで2分されるフランジ面の場合は各々の面において計測する。

(例)



貫通腐食についてはその寸法形状、位置を下図要領にて計測する。

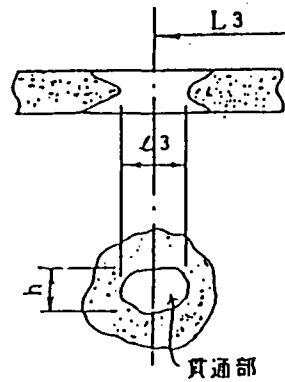


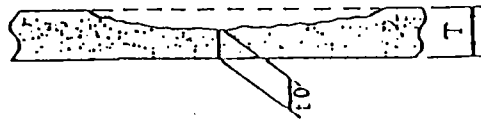
図- 6.6.1 記録要領

- 注.) 1) 長さ・幅の計測はmm単位で、小数点以下1位を切り上げる。
 2) 板厚の計測はmm単位で、小数点以下1位まで読みとるものとする。

- ④ 腐食量の測定方法は下記に示す2通りのいずれによっても良いものとする。また、腐食量(t)は③で測定した範囲内で行う。

(1) 残存板厚計測

- ・ ノギス, キャリパーゲージ又は超音波板厚計による残存板厚(L0)の計測。



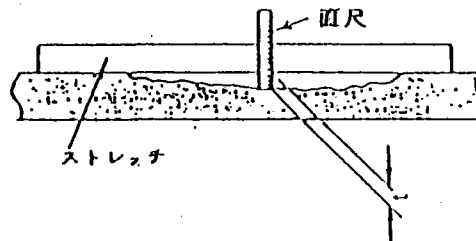
$$\text{腐食量 } t = T - L_0$$

T: 健全部板厚

- ・ 超音波板厚計を用いる場合は腐食面の凹凸により精度が影響されるので、取扱説明書を確認するとともに別の方法による計測値によりキャリブレーションを行なうのが良い。

(2) 直接腐食量計測

- ・ ストレッチ及び直尺を用いて計測



- ・ 計測は、約100mmピッチの格子状とする。

- ・ 直尺の代わりにマイクロメータを用いた簡易治具が有効である。

- ・ ただし、1ライン上最低3点は計測する。

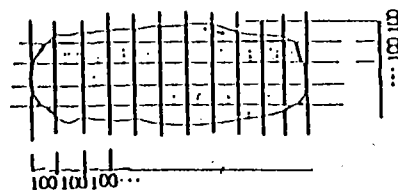


図- 6.6.2 記録要領

- ⑤ 調査結果は、以下の要領で、表- 6.2.1 「検査結果記録シート」と合わせて記録する。

- 腐食範囲、位置
- 貫通腐食範囲、位置
- 最大腐食部分の応力直角方向計測ライン上の計測値平均
- 最大腐食量

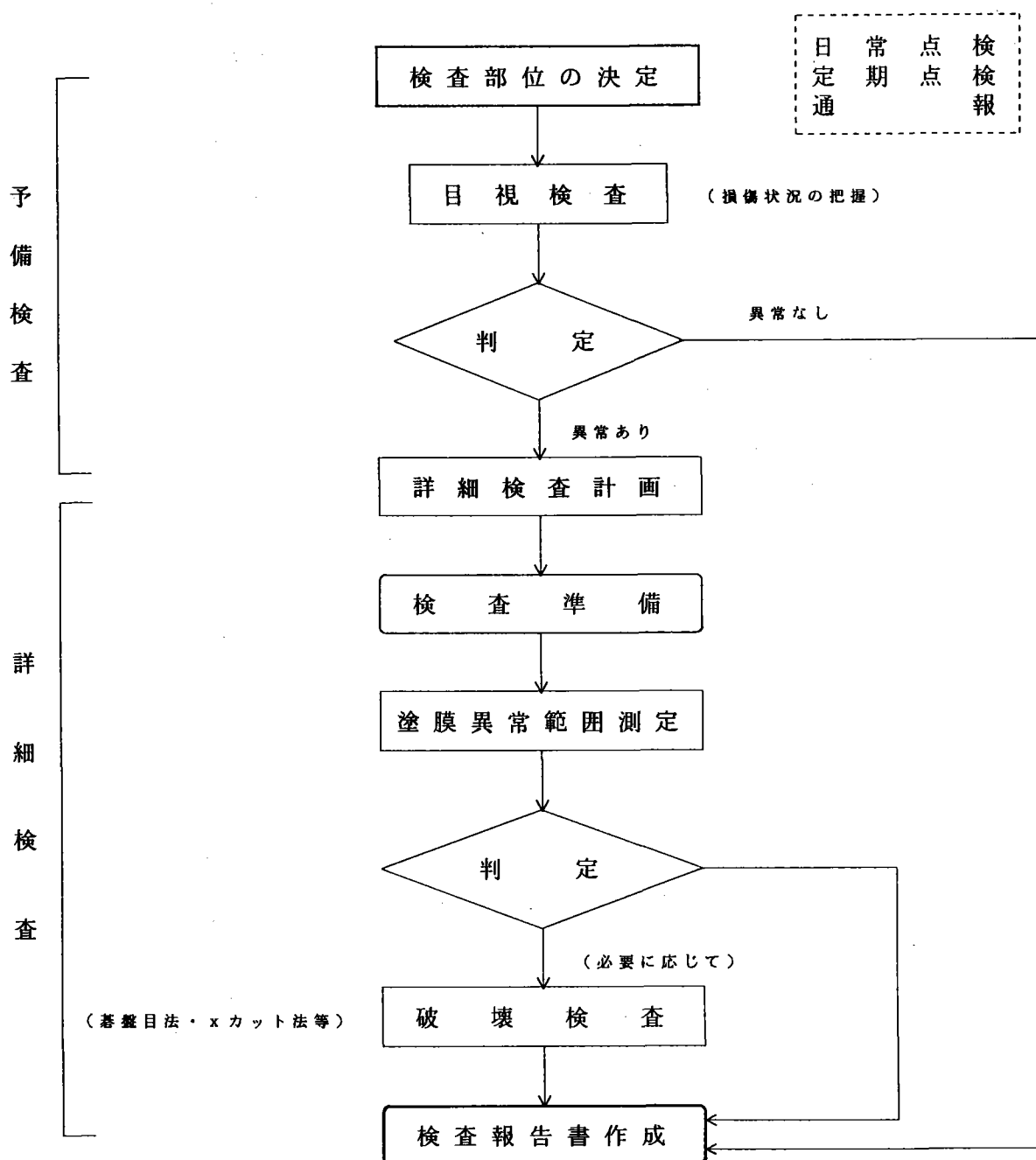
腐食詳細検査結果記録表

測点NO	各測点での厚さ (mm)												平均厚さ
(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	(mm)

6.7 塗膜の異常

塗膜の異常は、塗膜のさび・はがれ・われ・ふくれ・変退色・失沢・チョーキングを目視検査や写真記録等により調査し、塗膜の評価基準と対比して、今後の対策（補修・塗り替え等）を検討する。

(1) 検査手順



(2) 予備検査要領

橋梁構造物の日常点検・定期点検あるいは臨時点検等により、塗装異常の状態・箇所または範囲等を把握するものである。

- 1) 昇降設備及び点検設備の有無・位置・足場設置用の吊金具取付状況などを調査する。
- 2) 検査対象部位を事前に確認し、塗装異常箇所の状況等を把握する。
- 3) 塗膜の著しい変色部、発錆部および明らかに異常部位を目視により検査する。
- 4) 異常部位及び位置を「検査結果記録シート」に記録する。

(3) 詳細検査要領

◇ 現地詳細検査

詳細検査では事前に、必要な器機・仮設備・人員の手配及び手続きなど、現地で対応できる準備を行う。

- ① 塗膜の異常状態を各々評価基準と対比し、異常度合いを判別する。
- ② 塗膜異常部位・範囲等を確認し、塗装面積に対する比率を調査する。
- ③ 付着力試験を「4.2 塗膜試験」により計測する。ただし、塗膜試験については、管理者との協議により決定する。
- ⑤ 検査結果は、「検査結果記録シート」に記録する。

評価方法

定期点検では、塗膜外観を調査し塗膜の状態を標準写真等と対比して4段階(1. 健全, 2. ほぼ健全, 3. 劣化している, 4. 劣化が著しい)に評価する。

(1) さび

さびは標準写真と対比して4段階に評価する。さびの発生形態(点さび, 糸状さび, ふくれさび, われさび)や分布状態(全面的, 部分的, 局部的)が分類できるものについては備考欄に記入する。また, さびが外部から飛来した, いわゆるもらいさびは汚れとして評価するが, 目視による外観観察ではもらいさびであるか否かの判断が困難な場合はさびとして評価する。塗膜表面がさび汁で汚れている場合には, さびの評価が過大になりやすいのでさび汁の発生箇所とその周辺状況をよく確認することが必要である。さび汁自体は汚れとして評価する。

(2) はがれ

はがれは塗膜にとっては重大な欠陥であり, 塗膜の外観上の問題に止まらず塗膜の防錆性能の低下に直結する。標準写真と対比して4段階に評価する。また, はがれの生じた層, はがれの大きさ(面積), はがれの状態(連続したはがれ, 点状はがれ)などを記録することが望ましい。はがれが鋼材面から生じている場合にはさびとして評価する。

(3) 変退色

塗膜の変退色は塗膜の防錆性能の低下を直接示すものではないが, 景観が重視される国立公園内や都市部の橋梁では重要な点検項目である。変退色は時間の経過とともに徐々に進行するものであるが, 塗装後1~2年程度で生じる早期の変退色はその原因を十分に調査することが必要である。

なお, 変退色は部材の日射の受け具合や汚れ具合によって, 大きく異なるので, 点検時にはこれらの点を考慮する必要がある。

変退色は標準塗板または標準色見本と対比して評価することが望ましく, それができない場合は, 橋梁で最も変退色の少ない上フランジ下面など, 直接日光が当たらない箇所と比較して判定する。塗膜の劣化に伴い塗膜がチョーキングしたり, 塗膜の表面に粉塵が付着して表面が白っぽく変色したように見えることがあるので, かなり経時した塗膜を調査する場合は, あらかじめ表面を水洗してから判定する必要がある。また, 塗膜に手が届く場合には, 色差計や光沢計で評価することが望ましい。

(4) 汚 れ

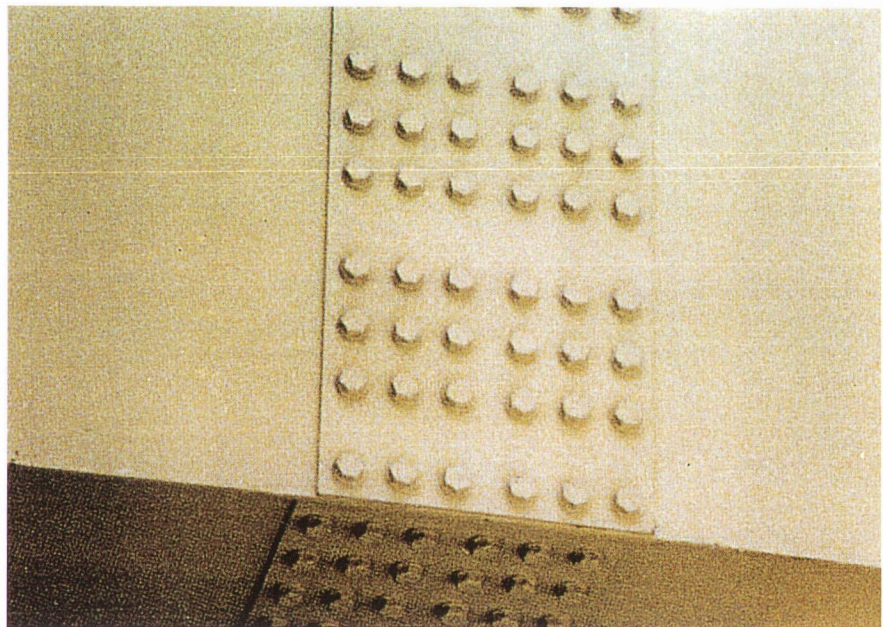
汚れは変退色と同じく、塗膜の防錆性能の低下を直接示すものではないが、景観が重視される国立公園内や都市部の橋梁では重要な点検項目の一つである。塗膜の汚れは橋梁が設置されている環境や交通量に大きく左右される。汚れには砂塵などによる非油性の汚れと、自動車排気ガスなどによる油性の汚れとがある。前者は施工条件さえ整えば水で容易に洗い落とすことができるが、後者は水洗のみでは容易に洗い落とすことができないため、景観上問題となる場合には塗替え等の処置が必要となる。

(5) われ、ふくれ

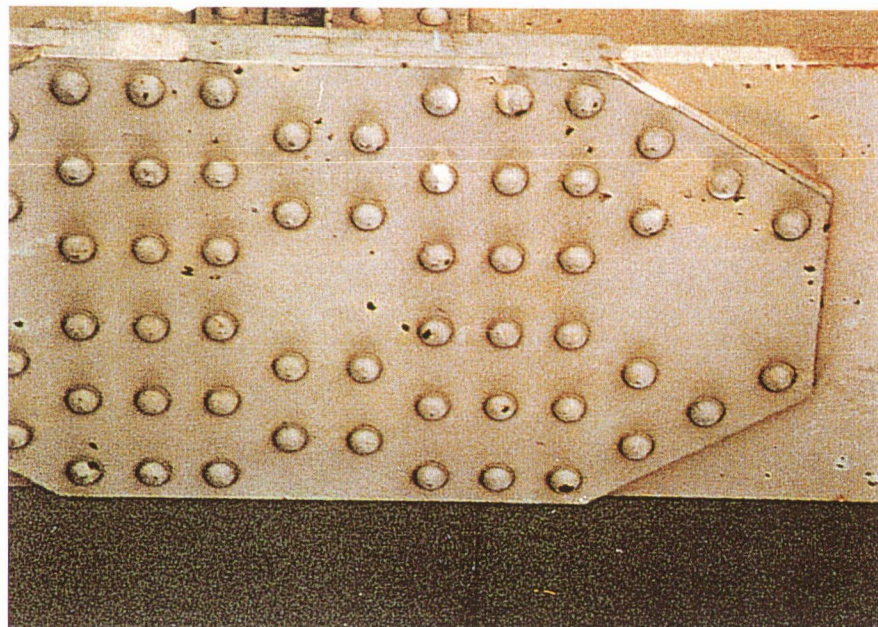
われ、ふくれは遠隔目視では4段階に評価することが難しいので、発生状況を記録しておき、塗替え時期の判定に際して参考にする。

橋梁名		路線名		工事事務所		出張所		調査日					
所在地				架設環境	海岸部、都市部、田園部、山間部			天候					
橋梁形式	<input type="checkbox"/> 鈹桁 <input type="checkbox"/> 箱桁 <input type="checkbox"/> トラス <input type="checkbox"/> その他()	環境条件		一般環境、やや厳しい腐食環境、厳しい腐食環境、茶観を考慮する			調査者						
架設年	年	塗装経過年数	年	前回調査結果									
塗装系	外面()、鋼床版裏面()、現場継手部()、その他												
総合評価	さび()、はがれ()、変退色()、汚れ()：当面塗替えの必要はない、数年後に塗替えを計画する、早い時期の塗替えを検討する、部分塗替えを検討する												
項目	部位	腹板	下フランジ 下面	対傾構	継手部	桁端部	支承	鋼床版裏面	水平材	垂直材	合計	平均	備考 (ふくれ われ等)
	第一径間	さび											
	はがれ												
	変退色												
	汚れ												
第二径間	さび												
	はがれ												
	変退色												
	汚れ												

1.3 鈹桁添接部



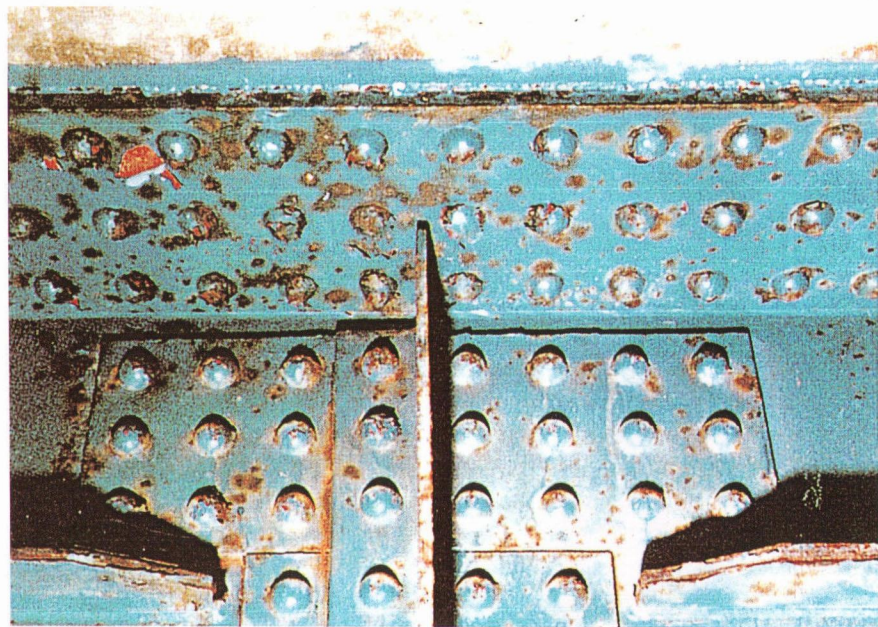
評価 1



評価 2

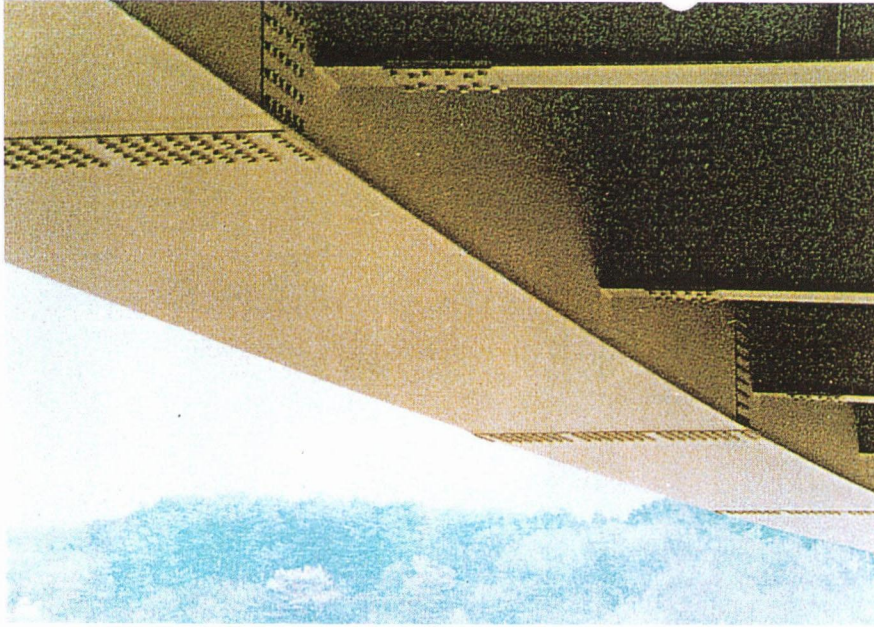


評価 3

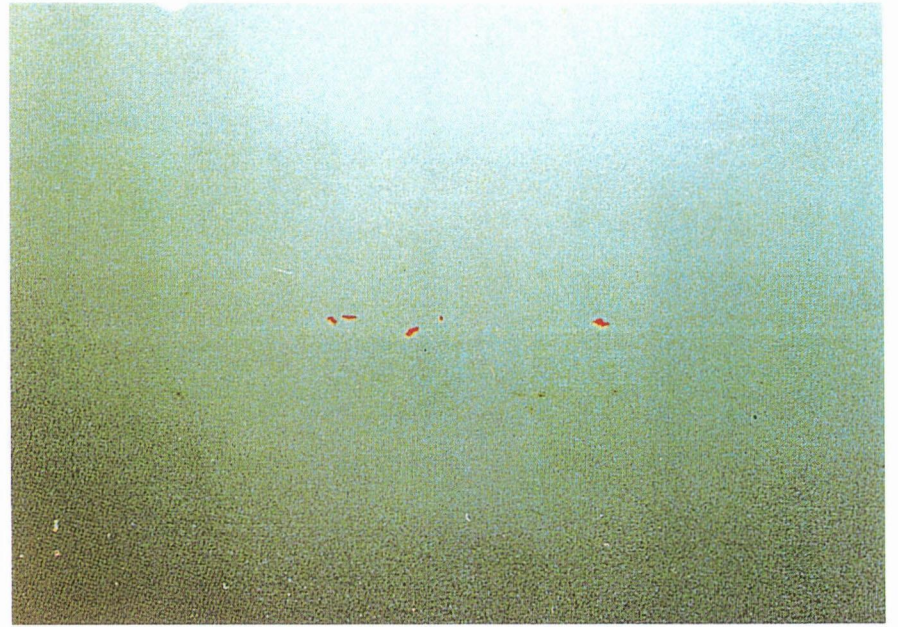


評価 4

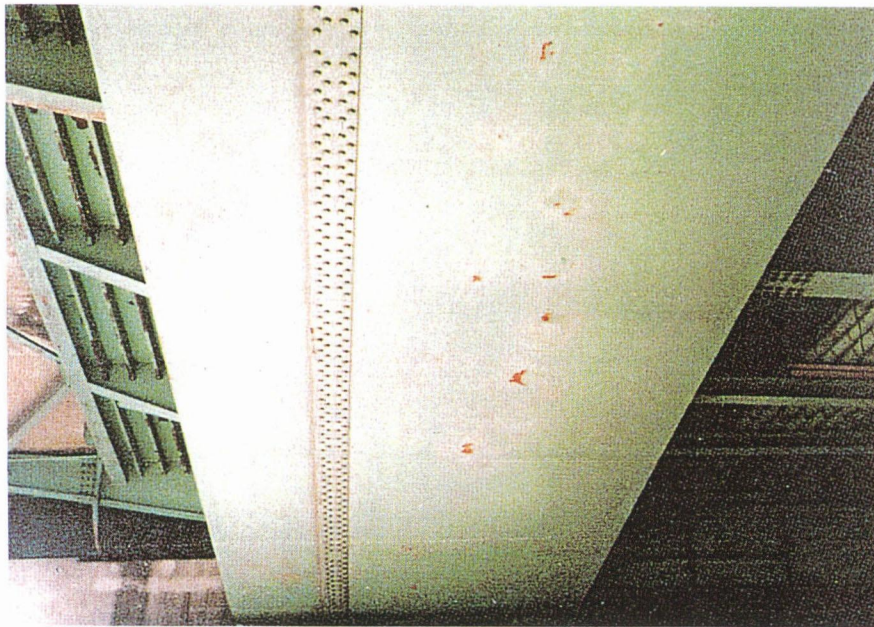
1.7 箱 桁



評価 1



評価 2



評価 3



評価 4

6-8 無塗装耐候性橋梁

無塗装耐候性橋梁はメンテナンスフリー橋梁と呼ばれることもあったが、塗装の点検、維持管理を除いては塗装橋梁と同様の点検、維持管理が必要でありさびの状態の良否などの無塗装耐候性橋梁固有の点検、維持管理も必要である。

1) 検査項目

無塗装耐候性橋梁において大切なことは将来安定さびになるかを判断することである。

その為に無塗装耐候性橋梁の検査は、

- ①鋼板上の異常なさび
- ②鋼板上の安定さびの生成の阻害要因

の2項目の有無を検査することであり、検査項目としては以下の項目があげられる。

表-6.8.1 無塗装耐候性橋梁の検査項目

①異常なさびの有無	(1) 層状剥離さびの有無 (2) 粗いさびの有無
②安定さびの生成の阻害要因の有無	(3) さび面にかかる漏水の有無 (4) 滞水の有無 (5) さび面に接触する不純物の有無

(1)層状剥離さびがある場合

安定さびにならないので適当な時期に塗装する等の処置が必要である。

既設の無塗装耐候性橋梁では、安定さびの判定よりも、構造物としての機能に影響を及ぼすような板厚減少の有無を確認する事が重要である。

一般に層状剥離さびが見られる場合は板厚減少量が比較的多い傾向がある。

層状剥離さびの検査は原則として目視にて行う。

なお層状剥離さびは素手ではがせる場合もあるが、全てはがしてしまうと層状剥離さびの有無の判定の指標を欠くことになるので、はがす場合でも、必要最小限とするのがよい。

層状剥離さびは鉛直部材より水平部材の方が発生しやすい。水平部材では下面より上面のほうが発生しやすい。又、排水装置や伸縮装置などの水の集中する箇所にも発生しやすいので注意する必要がある。

(2)粗いさびがある場合

安定さびにならないことも考えられるので以後の経過観測を行う必要がある。

(3)～(5)の漏水・滞水・不純物等がある場合

安定さびになりにくいので原因を調査して適切な処置をおこなう必要がある。

2) 重点検査部位

無塗装橋梁にて重点的に検査する部分は、塗装橋梁の塗膜異常が発生しやすい部分とおなじであり、以下のような構造部分である。

- (1) 下フランジ下面、下フランジとウェブの溶接部
- (2) 箱桁内面、上下フランジ下外面
- (3) トラス格点部
- (4) 桁端および支点附近、支沓部
- (5) 部材取付部や連結部
- (6) ラーメンの隅角部等の節点部
- (7) ゲルバー桁のかけ違い部
- (8) 伸縮装置、排水装置

【参考】

層状剥離さびまたは粗いさびが見られる場合の対応の目安を以下に示す
 (耐侯性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書 (XIII) 一無塗装耐侯性橋梁の
 点検要領 (案) 平成3年3月一建設省土木研究所他による)

表-6.8.2 層状剥離さびまたは粗いさびが見られる場合の対応の目安

さびの状態	拡がり	主部材	二次部材
層状剥離さびがある (注3)	部材全体に 拡がっている	裸仕様から塗装仕様への変更についての必要性を検討する	漏水などの他の構造的損傷をともなっていないか調査して 応急対策を講ずる
	局部的なものにとどまっている	漏水の原因となる他の構造的損傷を伴っていないか調査して 応急対策を講ずる	経年的追跡調査をおこなう。 漏水の原因が容易に判明する さいは、対策を講ずる
粗いさびがある	部材全体に 拡がっている	特になし (注1)	漏水の原因が容易に判明する さいは、対策を講ずる
	局部的なものにとどまっている	漏水の原因となる他の構造的損傷を伴っていないか調査して 応急対策を講ずる	特になし (注2)

(注1) 主部材に粗いさびが見られる場合は、架橋地点の環境条件によるものと考えられ、層状さびが見られない限り特に対応する必要は無い。

(粗いさびは層状剥離さびが発生するまでの過渡期である場合と、過渡期であるか否か明確で無い場合があり、損傷とみなせるか否かの判定を誤る恐れがあるので層状剥離さびが見られない限り現段階では損傷とはみなさない。)

(注2) 鋼材表面に層状剥離さびや粗いさびが見られない限り、特に安定さびの生成を確認する必要は無い。

(注3) 層状剥離さびの有無の判定についての参照文献の記述を添付する。

2.2 層状剥離さびの有無の判定

(1) 層状剥離さびの有無は写真-1～3を標準として目視で判定する。

写真-1

層状剥離さびあり

（暴露7年目
海岸部
海岸線から1.5km
（縮尺70%）



写真-2

層状剥離さびなし

粗いさびあり

（暴露7年目
海岸部
海岸線から1km
（縮尺70%）

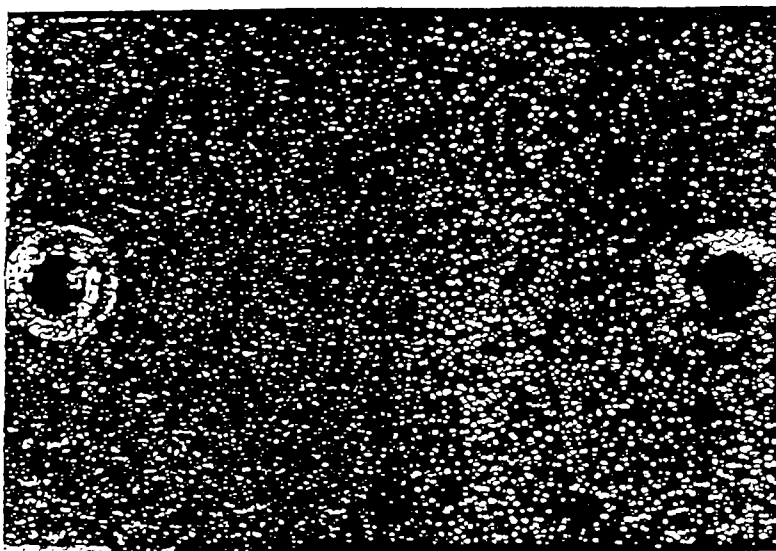


写真-3

層状剥離さびなし

粗いさびなし

（暴露7年目
山間部
海岸線から35km
（縮尺70%）



(1) 層状剝離さびの有無の判定に用いる標準写真

写真-1は海岸線から1.5kmの海岸部に暴露されていた試験片であり、試験片の表面に層状のさびが見られる。現物では、手でもさびの層をはがせる場合もあり、明らかに層状剝離さびであることが確認できる。海岸部に多く見られる現象であり、特に海岸線の近くでは部位を問わず全体的に層状剝離さびが見られる場合がある。また、海岸部以外の地域でも、伸縮装置、排水装置、あるいは床版などの不慮の損傷に伴う漏水によって、局部的に層状剝離さびが見られることもある。

写真-2は海岸線から1kmの海岸部に暴露されていた試験片であり、写真-1に示したような層状のさびは見られないが、写真-3よりも比較的粗いさびが見られる。これまでの暴露試験結果では、粗いさびは層状剝離さび発生までの過渡期である場合と、過渡期であるか否か明確でない場合があり、損傷と見なせるか否かの判定を誤る恐れがあるので、この点検要領では層状剝離さびが見られない限り損傷と見なさないこととした。したがって、写真-2のような状態は損傷として扱わないが、伸縮装置、排水装置あるいは床版などの不慮の損傷に伴う漏水によって局部的に粗いさびが見られることがあるので、それらの指標として注意するようにここに示した。

写真-3は海岸線から35km離れた山間部に暴露されていた暴露試験片であり、試験片の表面に層状剝離さびや粗いさびは見られない。

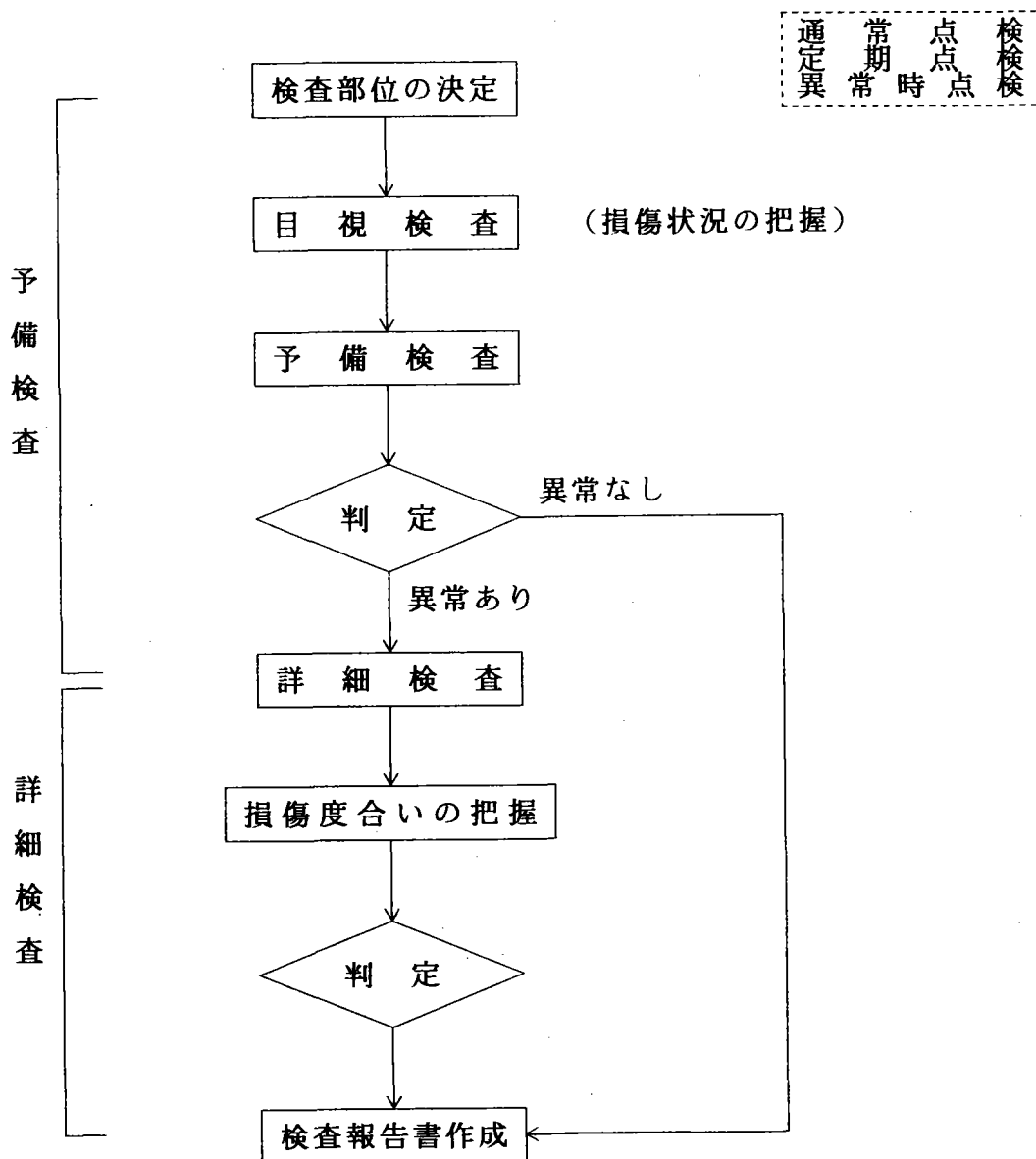
6. 9 支承変状の検査

支承は橋梁全体の耐久性・安全性に係る重要な構造部材であり、設計条件に対して常に忠実に挙動することを要求される。荷重の支持伝達、移動、及び回転といった支承の諸機能を長期にわたり保持してゆくためには、こうした機能を阻害する塵埃異物の介在、錆の発生等がないように、日常の維持管理が必要である。

検査箇所としては、支承本体・付属品・支承と上下部構造との取合部等がある。

(1) 検査手順

支承検査フローチャート



(2) 予備検査

日常点検・定期点検・異常時点検には目視・聴音・感覚等により変状を把握する。点検時に注意をはらうべき項目としては次のようなものがある。

- ・路面の不等沈下、段差
- ・車両通過時の異常音及び車上感覚の異常
- ・路面のひびわれ

(3) 詳細検査

詳細検査では損傷・支承機能低下・老朽化の判定を行うため、詳細な点検が必要である。損傷・支承機能低下・老朽化が ocorrênciaやすい検査部位及び検査項目を下表に示す。

	検査部位	検査項目
支承本体	支承構造部（上・下沓・底板・移動制限装置）	部品のわれ・変形・腐食・異常音の有無
	ベアリングプレート・ローラー	正常位置からのずれ・われ・腐食異常音の有無
	アンカーボルト・セットボルト	切断・曲り・腐食・ナットの緩み欠落の有無
	浮上り止めアンカーボルト	曲り・切断の有無
支承機能	（移動・回転）	遊間異常の有無
支承部周辺	沓座コンクリート・保護モルタル（伸縮装置）	圧壊・ひびわれ・空洞の有無 漏水の有無

注）異常音については支承が伸縮装置や落橋防止装置の近傍にあるので、異常音の発生源がどこの部位であるか、確認の必要がある。

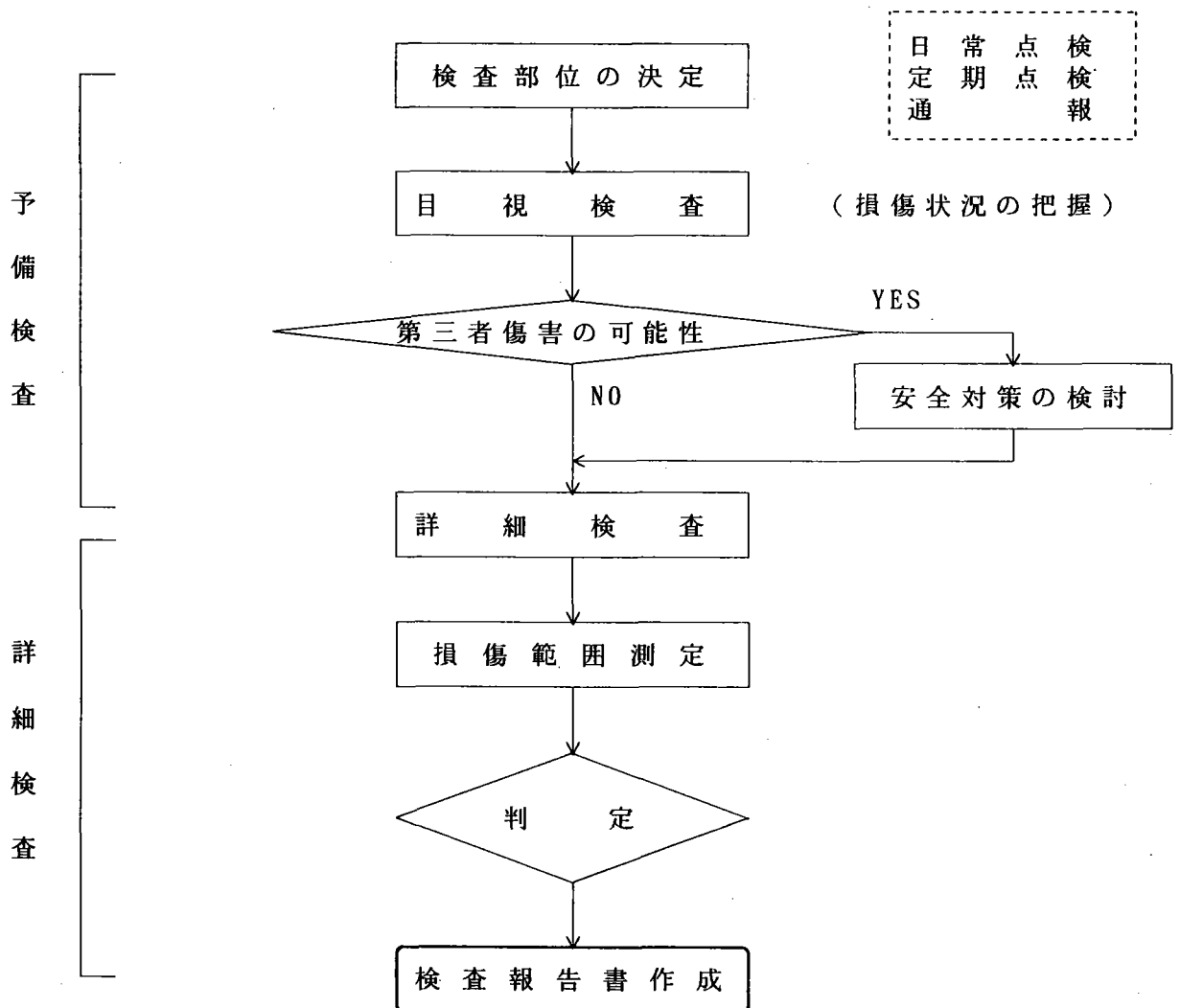
6.10 高力ボルト継手

高力ボルトの損傷は、鋼材の変状・腐食等と異なり、外見上からは目視によって損傷箇所や損傷程度、損傷時期を見つけることは極めて難しく、鋼構造物の日常点検・定期点検あるいは通報などにより、ボルトの脱落状態で発見されるのが通例である。

この現地検査では、仮設備を設置することなく、目視により高力ボルトの脱落箇所・本数・その箇所の桁下状況などを把握して、緊急措置の必要性の判断や詳細検査時の資料として用いる。

脱落箇所が道路上の橋梁等では、第三者の安全に配慮して、その箇所を防護ネット等で応急処置することがある。

(1) 検査手順



(2) 予備検査

この予備検査は、鋼構造物の日常点検・定期点検あるいは通報等により、高力ボルトの脱落現状を把握するものである。

- 1) この高力ボルト調査で脱落のある場合は、箇所・本数などを把握する。
- 2) 昇降設備及び点検設備の有無・位置・足場設置用の吊金具取付状況などを調査する。
- 3) 脱落ボルトの回収、第三者障害の有無等の把握を行う。

(3) 詳細検査

1) 現地詳細検査

補修範囲・補修方法及び補修時期の決定のための資料とするために、書類調査とともに下記項目の現地詳細検査を行う。

- ① 損傷ボルトが発生した継手部の周囲の環境（ボルトが損傷した箇所の汚れ、滞水有無、活荷重による振動状況、塗装及び発錆の状況等）の調査。
- ② たたき点検や超音波探傷法等による周囲ボルトの異常の有無の調査。調査の範囲は損傷ボルトの発生状況や桁下利用状況により下記の中から選定する。
 - Ⓐ 損傷ボルトが発生した継手部のボルト
 - Ⓑ 損傷ボルトが発生した継手部と対称の位置にあり、荷重載荷条件も同一の継手部のボルト。
 - Ⓒ 第三者障害の可能性のある継手部のボルト。
 - Ⓓ 橋桁一連または橋脚一基内で損傷ボルトと同一ロットのボルト。
 - Ⓔ 橋桁一連または橋脚一基の総てのボルト。
- ③ 検査結果は、その内容を整理し記録する。

(4) 損傷ボルトの検査

損傷した高力ボルトについて、原因を追求する必要性に応じて、下記の非破壊又は破壊検査の中から選定して行う。

- ① 外観調査（破断状況、破断位置） …… カラー写真撮影、寸法測定
- ② 化学組成分析 …………… J I S G 0 3 2 1
- ③ 頭部側面硬さ測定 …………… J I S Z 2 2 4 5
- ④ ねじ部断面硬さ、硬さ分布測定 …… J I S Z 2 2 4 4
- ⑤ 引張り試験 …………… J I S B 1 1 8 6
- ⑥ 非金属介在物清浄度測定 …………… J I S G 0 5 5 5
- ⑦ 光顕組織観察 …………… 光学顕微鏡による観察
- ⑧ 破面走査電顕観察 …………… 走査型電子顕微鏡による観察

表 6.10.1 高力ボルト検査シート

管理番号

高力ボルト検査シート			点検年月日	平成 年 月 日	
維持事務所名			監督職員	印	
工事工区名			損傷状況		
構造形式	桁	型式	連結板ごとにボルト本数 損傷本数を記入		
		支間			
	橋脚				
架設年月			周辺のボルトの異常		
損傷発見年月			連結板ごとにボルト本数 損傷本数を記入		
経過年月					
高力ボルトのメーカー					
高力ボルトの種類			過去の記録		
高力ボルトの素材			年月日	点検補修の状況	
高力ボルトの製造年月					
路下利用状況					
連結部の周囲の環境					
(所見)					

- 注1) この調査シートは橋桁1スパン、橋脚1基ごとに作成すること。
 2) 損傷状況写真を、損傷箇所を明示する図と併せて添付すること。

6-11 伸縮装置

伸縮装置の検査項目としては下記があげられる。

表-6.11.1 伸縮装置の検査項目

検査項目	内容	ゴムジョイント	鋼製ジョイント
(1)本体の損傷	腐食又は塗膜異常の有無		○
	フェースプレートとウェブの溶接部の異常の有無		○
	フェースプレートの破断の有無		○
	フェースゴムのひびわれ破損の有無	○	
	アンカーボルトの取付金具の緩み有無		○
(2)後打材の損傷	損傷の有無	○	○
(3)遊間の異常	遊間異常の有無（桁間のぼらつき）	○	○
(4)漏水	ゴムジョイントの破断の有無	○	
	排水桶の泥詰まりの有無の有無		○
	シール材・バックアップ材の破損の有無		○
(5)異常音	本体の損傷の有無	○	○
	取付ボルトの破断の有無		○
	フェースプレートの段差の有無		○
	フェースゴムの破断・めくれの有無	○	

(1) 本体の損傷

伸縮装置を構成している鋼部材のフェースプレート・ウェブ・下フランジ・樋等についての腐食や塗膜の異常の有無について検査する。

フェースプレートとウェブ、フェースプレート同士等の溶接部の異常、フェースプレートのフィンガーの破断、アンカーボルトの取付金具に緩みがないかについて検査する。

フェースゴムのひびわれや破損の有無について調査する。

(フェースプレートの異常、アンカーボルトの取付金具の緩み等については異常音が発生している場合に見受けられる事が多い)

なおフェースプレートの溶接部の破損または長さ1m以上の浮き上がり、アンカーボルトの取付金具に欠損のある場合は交通に支障があるため補修が必要となる。

(2) 後打材の損傷

ゴムジョイントおよび鋼製ジョイントの後打材については損傷の規模・形状が様々であるが、ひび割れの幅が0.3mm以上、長さが50cm以上のある場合は交通に支障があるため一般には補修が必要となる。

なお、後打材の付着の程度にも注意する必要がある。

(3) 遊間の異常

遊間は温度変化による桁の伸縮、桁のたわみによる回転等を考慮して設定されている。

遊間は温度の影響を大きく受けるので遊間の変化、桁間のぼらつきの・有無等について温度差のある場合について数回調査するのがよい。

なお遊間が閉塞されていたり異常に開いている場合は、橋梁本体に設計値以上の力が働いている恐れがある。

但し、一般には遊間の異常自体は直ちに交通の支障になるとは考えられないので別途詳細な検討をおこなって処置をおこなう。

なお、遊間に異常のある場合は漏水・異常音及びフェースプレートのフィンガー長・厚さについても検討を加える必要がある。

(4) 漏水

漏水は、ゴムジョイントの破断または鋼製ジョイントの排水桶の泥詰まり、シール材やバックアップ材の破損等により発生するのでこれらについて検査する。

附近に人家等のある場合はとくに念入りに検査する必要がある。

なお、漏水が他の部材や第三者に支障を与えている場合は早急に補修をおこなう必要がある。

(5) 異常音

大きな異常音は段差（フェースプレートと舗装面、フィンガー面のかみ合い部の高低差）や本体の損傷・取付ボルトの破断に起因して発生している場合が多いので、その発生位置を路上及び路下から見つけだし原因の究明をおこなう必要がある。

特に支持タイプでフェースプレートの浮き上がり等により異常音が発生している場合には伸縮装置の本体のウェブとフランジの溶接部にも亀裂が発生している場合もあるので溶接部も検査する必要がある。

また、支杓・落橋防止装置部にも異常がないか検査する必要がある。

（上記の判定基準は鋼道路橋点検マニュアル

（社）日本橋梁建設協会平成7年5月を参照した。）

6-12 落橋防止装置

落橋防止装置の検査項目としては下記があげられる。

検査項目		内容
本体の損傷	腐食 亀裂 ゆるみ 破断 塗膜異常 段差 変形	断面欠損、腐食の有無 亀裂の有無 ボルト等のゆるみの有無 破断の有無 塗膜異常の有無・範囲 凸凹の有無 変形の有無
遊間の異常	遊間異常	遊間異常の有無（桁間のばらつき）
異常音	異常音	異常音が発生するか、セリがないか

(1) 本体の損傷

落橋防止装置本体の鋼板・ボルトについて腐食・ゆるみ・変形等の有無について検査する。

鋼板に変形がある場合およびボルトのゆるみがある際は直ちに処置をおこなう必要がある。

(2) 遊間の異常

遊間は温度変化による桁の伸縮および桁のたわみによる回転等を考慮して設定されている。

遊間は温度の影響を大きく受けるので遊間の変化、桁間のばらつきの有無等について温度差のある場合に数回調査するのがよい。

温度は気温だけでなく桁の温度を接触温度計等にて測定しておくと共に、日照の当たり具合を記録しておく必要がある。

遊間が閉塞されていたり異常に開いている場合は、橋梁本体に設計値以上の力が働いている恐れがある。

但し、一般には遊間の異常自体は直ちに交通の支障になるとは考えられないので別途詳細な検討をおこなって処置をおこなう。

なお、遊間に異常のある場合は沓及び伸縮継手の遊間及び桁端と構造物の間隔についても調査・検討を加える必要がある。

(3) 異常音

大きな異常音は本体の損傷に起因して発止している場合が多いので、その発生位置を路上及び路下から見つけだし原因の究明をおこなうことが必要である。

【遊間測定の例】

図-6.12.1及び図-6.12.2に日本道路公団の落橋防止の標準図の一例をしめすが
 遊間測定は図（本図は標準状態をしめしている）での落橋防止のピンの中心から長孔の
 端部までの寸法 L_1 、 L_2 を計測する。（場合によっては L_1 、 L_2 の片方で良い）
 この際、桁端と構造物（または相対する桁端）との間隔 L_0 も計測しておくが良い。

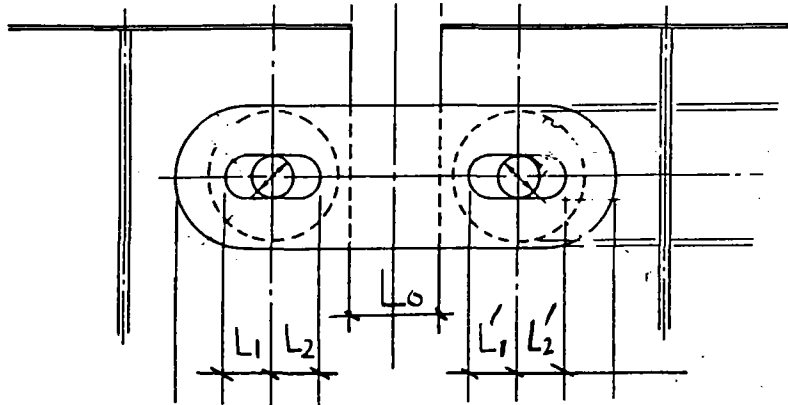


図-6.12.1 日本道路公団の標準図の一例（桁同士）

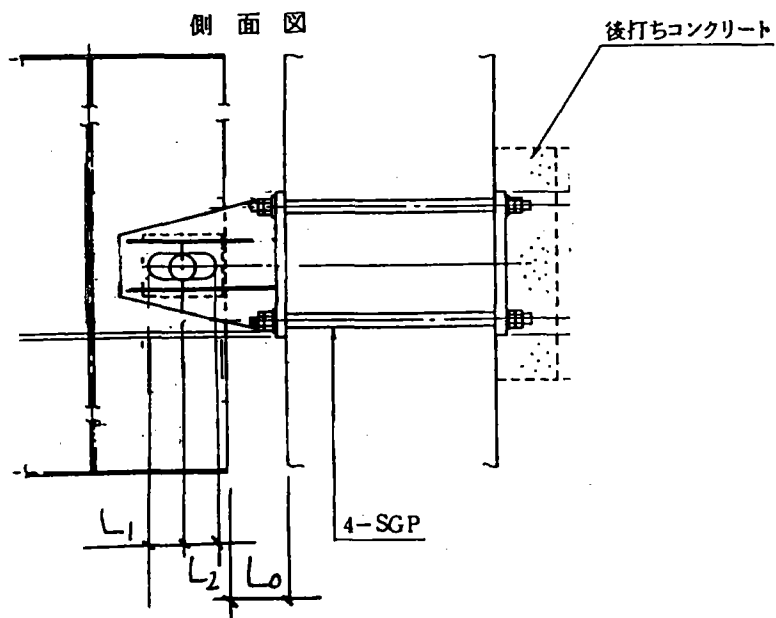
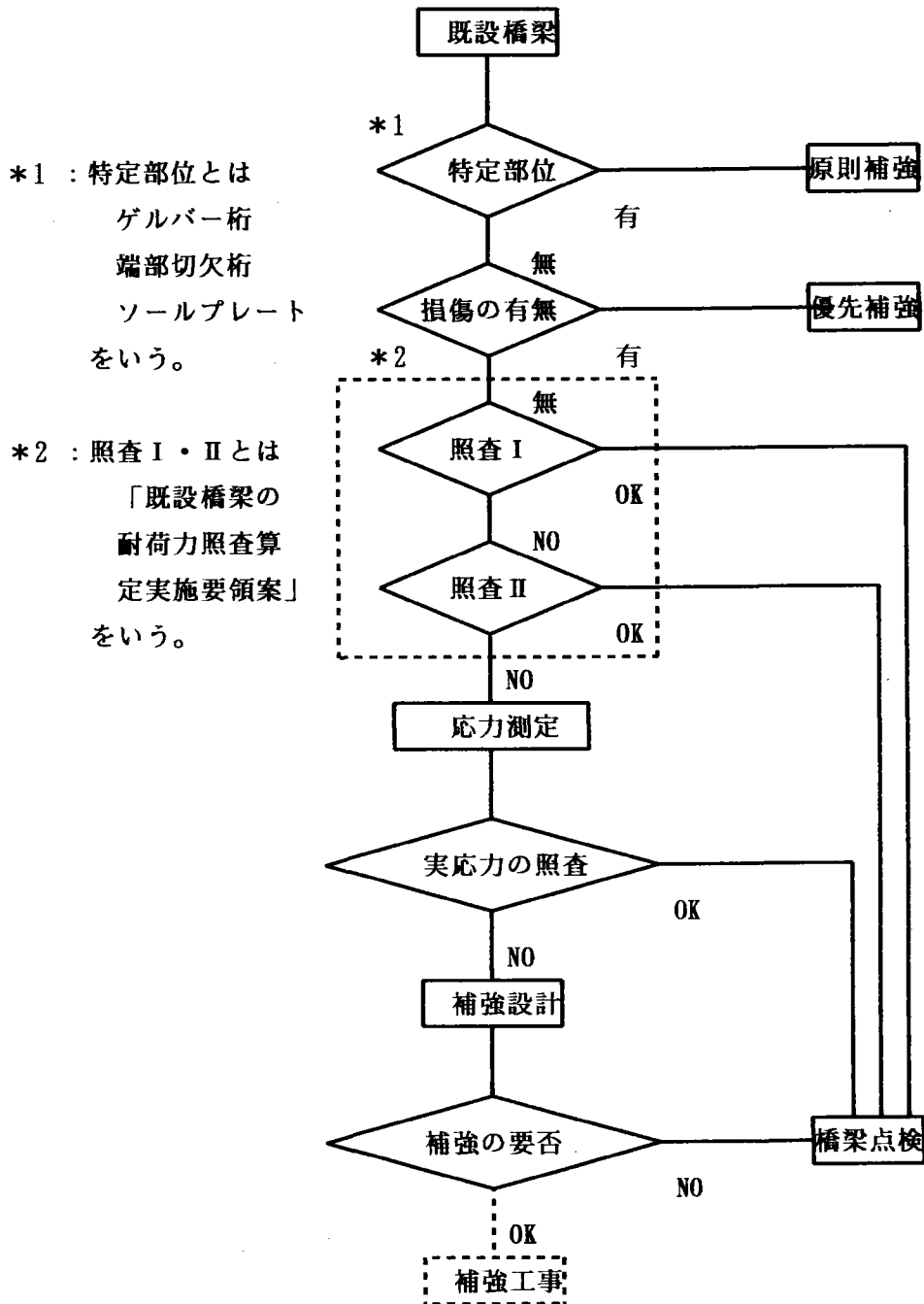


図-6.12.2 日本道路公団の標準図の一例（桁と橋台）

6. 1.3 応力測定

応力測定に至るフローと測定時の留意点を以下に示す。

6.13.1 応力測定に至るフロー



既設橋補強までの手順（建設省）

6.13.2 応力測定時の留意点

(1) 静的試験

- 交通規制…… 橋梁上に荷重車以外が載荷されないように、測定時は交通規制が必要となる。載荷ケース1回当たり5分間程度を載荷ケース分繰り返し規制することになる。
この場合、警察署への道路許可申請、路線バス会社など関係企業との事前協議、周辺住民への事前告示のための看板の設置などが必要となる。

(2) 動的試験

- 単独走行…… 測定時は交通規制を行わないため、荷重車を単独走行させるための工夫が必要である。
このため、測定時間を深夜（場合によっては休日の深夜）とし、信号の合間を利用して測定することが多い。有料道路では道路管理者のパトロールカーに協力依頼することもある。

(3) 頻度測定

- 電源確保…… 長期測定のための電源を確保しなければならない。交流電源の場合と直流電源の場合は、機器の構成が異なるので注意を要する。
- 初期値設定… 計器設置終了後は、初期値の設定に注意しなければならない。測定値のゼロ点を非載荷状態で測定することがまず必要である。次に、測定で得られる最大値を事前に計算しておき、一定の余裕を持たせて、測定範囲を設定しなければならない。
測定終了前に、測定値が設定した範囲内に収まっているかを確認し、もしオーバーしているようであれば、再度測定する必要がある。

(4) 応力測定共通

- 現地踏査…… 十分な現地踏査を事前に行っておくことが必要。点検車の使用の可否、足場設置の必要性、通行車両の種類、交通量、渋滞状況、道路下の状況、交差点からの距離、迂回路の有無、計測車の駐車場所、電源の確保、測定状況を視認出来る場所の確保などが必要であることを認識して踏査するとよい。事前にチェックシートを用意しておくことも有効である。
- 事前準備…… 荷重車の数、載荷位置、載荷ケース、測定回数、測定方法、タイムスケジュールなどを定めた作業計画書を作成し、関係機関と協議する。測定開始の1時間前には測定機器の機能に異常がない事を最終確認する。測定の直前には、測定関係者全員に各自の役割、安全対策、非常時の連絡体制を周知徹底する。
- 事後処理…… 測定終了後は、関係者の点呼、器材の確認、センサー撤去後の補修、清掃を行う。使用器材のチェックリストがあれば有効である。

6.14 記 録

現地検査の結果に基づいて、現橋の耐久性の評価や補修・補強設計などを行う。検査はそのための客観的で可能な限り定量的なデータを提供するために行うものである。従って、検査結果の記録は客観的かつ正確に行う必要があり、次項に示すような「損傷マップ」と「検査結果記録シート」を作成し、損傷の発生位置や状況を図で表示するなどの配慮が必要である。

6.14.1 損傷マップの作成

橋梁全体のどの位置にどのような損傷が発生しているかを明確にするために、図-6.14.2に示すような「損傷マップ」を作成する。このような「損傷マップ」によって、損傷の発生分布や傾向が判り原因究明の資料として利用できる。各々の損傷については次項に示す検査結果記録シートの個別シートNo.を付すことによって、参照できるようにしておくのがよい。

6.14.2 検査結果記録シートの作成

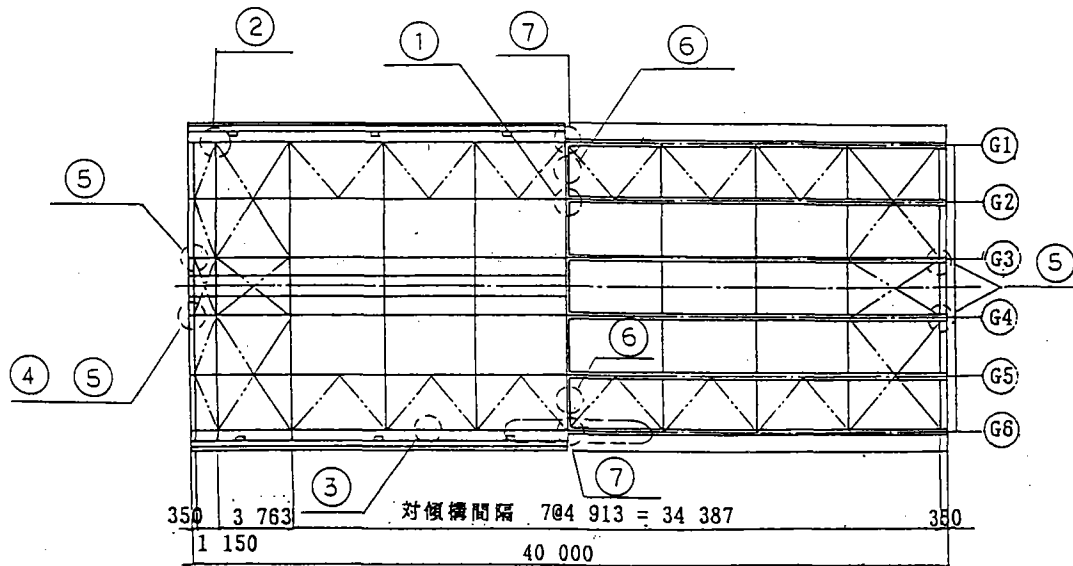
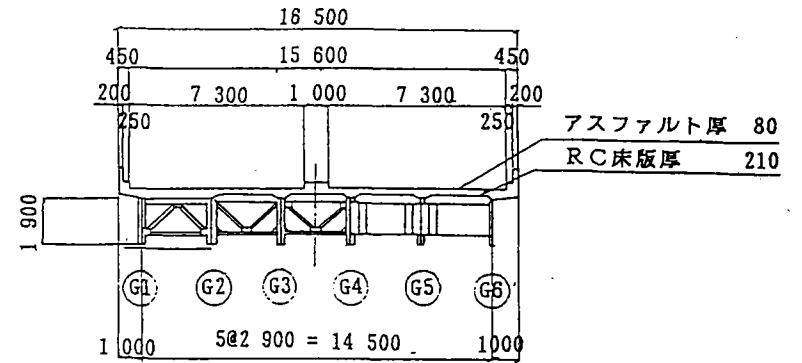
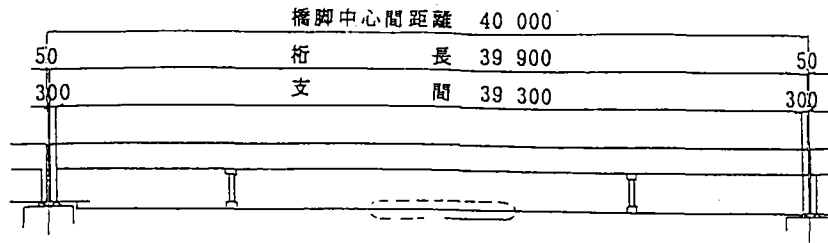
- ①誰が作成しても必要な要件がもれなく記録されるように図-6.14.1に示すような「検査結果記録シート」の様式を定めておくのがよい。例えば、鋼桁部分と支承では損傷事象やこれに応じた検査項目が異なるので、個別に「検査結果記録シート」の様式を準備しておくのがよい。
- ②損傷の発生状況を客観的に記録するためには、以下のように主観的な推測は出きる限り排除し、観察あるいは計測した状況をありのままに記録する必要がある。
 - i) 検査部位の形状を立体図や必要に応じて正面、側面、断面図等を用いてスケッチする。
 - ii) 部位や方向を明記する。
 - iii) 損傷状況を定量的に記録するために、必要な測定値（寸法、面積、個数 etc）を記載する。
- IV) 次頁の記録シートは、垂直補剛材と主桁ウェブとの溶接部上部に発生している亀裂の例である。アンダーカットが亀裂の発生原因であるか否かは検査の段階では特定出来ないので、観察された状況として“アンダーカットあり”と記録している。
- V) 母材部分の異常に伴って、塗膜面に発錆やワレなどの異常が発生する場合があるが、明らかに母材部分に異常があると判定できない場合には、“塗膜面に〇〇の異常が発生しているが、母材部分に〇〇が発生しているかどうかは分からない”などのように記録するのがよい。

シートNo. 101-007	維持管理 検査結果記録シート	① 損傷名 亀裂	山
		② 損傷No. 101-7	(作成年月日) H3年 月 日
		(作成者) 〇〇	

項目	内容	⑦ 一般図	
一般事項	① 橋梁名 △△橋		
	② 橋形式 単純合成鉄桁		
	③ 管理者 〇〇地建		
	④ 設置時期 50年〇月		
	⑤ 供用年数 〇〇年		
	⑥ 最新点検 検査時期 50年〇月		
		<small>〇〇方</small> Mov. <small>〇〇方</small> Fix. <small>〇〇方</small> <small>(精線図とし、部位表示のために、桁No.橋点No.を任意に付す)</small>	

項目	④ 予備検査	⑤ 詳細検査	備考
① 検査有無	有・無	有・無	・〇印を付す。
② 検査時期	H.〇〇〇〇 ~ H.〇〇〇〇	H.〇〇〇〇 ~ H.〇〇〇〇	・以降有の場合記入
③ 検査範囲	41~46 ①~⑨	41.46 ⑤	・一般図のNo.で示す。
④ 検査部位	C, D, E	E-34	・部位記述
⑤ 対象数	54	2	・検査範囲内数取
⑥ 塗膜有無	有・無(ハクリ方法)	有・無(ハクリ方法 塗料(ハクリ剤))	
検査方法	⑦ 方法 目視	MT, U.T.	・目視, NDI他
	⑧ 条件 目視にて塗膜上の異常(亀裂, 錆)テック	・前処理として塗膜表面の汚水及び亀裂部+塗膜を除去し(MT) ・塗膜の凹凸を無くす(U.T)	・ほほ条件他
検査者	〇〇	〇〇	
⑨ 検査結果	異常あり	41-⑤に亀裂あり	
⑩ 損傷位置	41.46 ⑤	(下図中に図示する)	・一般図中No.を用いて記述
⑪ 詳細検査結果	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>(西面状況)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>(断面状況)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">(部位、位置、損傷の程度を図及び数値により具体的に記録する)</p>		
⑫ 特記事項	(検査状況、損傷状況又は追加検査の要否、その要領などを記述する)		

図 - 6.14.1 検査結果記録シートの一例



- ① 主桁と分配横桁の交差部に生じた亀裂 (記号≡十NO. I01-001)
- ② 主桁の腹板ガセット溶接部の亀裂 (" I01-002)
- ③ 水平補剛材端部 (腹板と水平補剛材の溶接部) (" I01-003)
- ④ ソールプレート端部に生じた亀裂 (" I01-004)
- ⑤ 端対傾構のガセットの亀裂 (" I01-005)
- ⑥ 分配横桁切欠き部に生じた亀裂 (" I01-006)
- ⑦ 横桁を連結した垂直補剛材接合部に生じた亀裂 (" I01-007)

図-6.14.2 損傷の一例

7 安全衛生管理

7-1 検査時の注意事項

- (1) 鋼橋の現地検査に先だって検査の現場責任者を定めて作業を行う。
- (2) 現場責任者は作業前に作業員に対して調査方法、危険な個所、危険な作業を十分に説明し、安全に対する注意及び教育を行い安全意識の保持・高揚に努める。
- (3) 作業員はヘルメットを着用し2mを越える高所作業においては安全帯を必ず使用する。又、作業時には作業に適した服装で作業を行う。
- (4) 高所作業車使用時は墜落災害防止のため、必ず安全帯を使用する。又、高所作業車のバケットは、作業規制帯からはみ出る事の無いように十分注意する。
- (5) 作業規制帯は、バリケード、コーン等を用いて確保し、作業員の保護をはかる。
- (6) 車線規制時には、見通しの良い場所にガードマンを配置し、交通の障害の無いように誘導する。又、安全チョッキを身につける。
- (7) 作業開始前に前日の作業の話し合いと当日の安全及び作業打合せをふまえた危険予知活動（KYK）を行う。
- (8) 作業開始前に使用する機械・工具等の始業前点検を行う。
- (9) 作業は単独作業でなく、2名以上にて作業するようにする。
- (10) 河川上・海上の検査の場合には必ず救命胴衣を身につける。

7-2 緊急時対策

(1) 事故対策

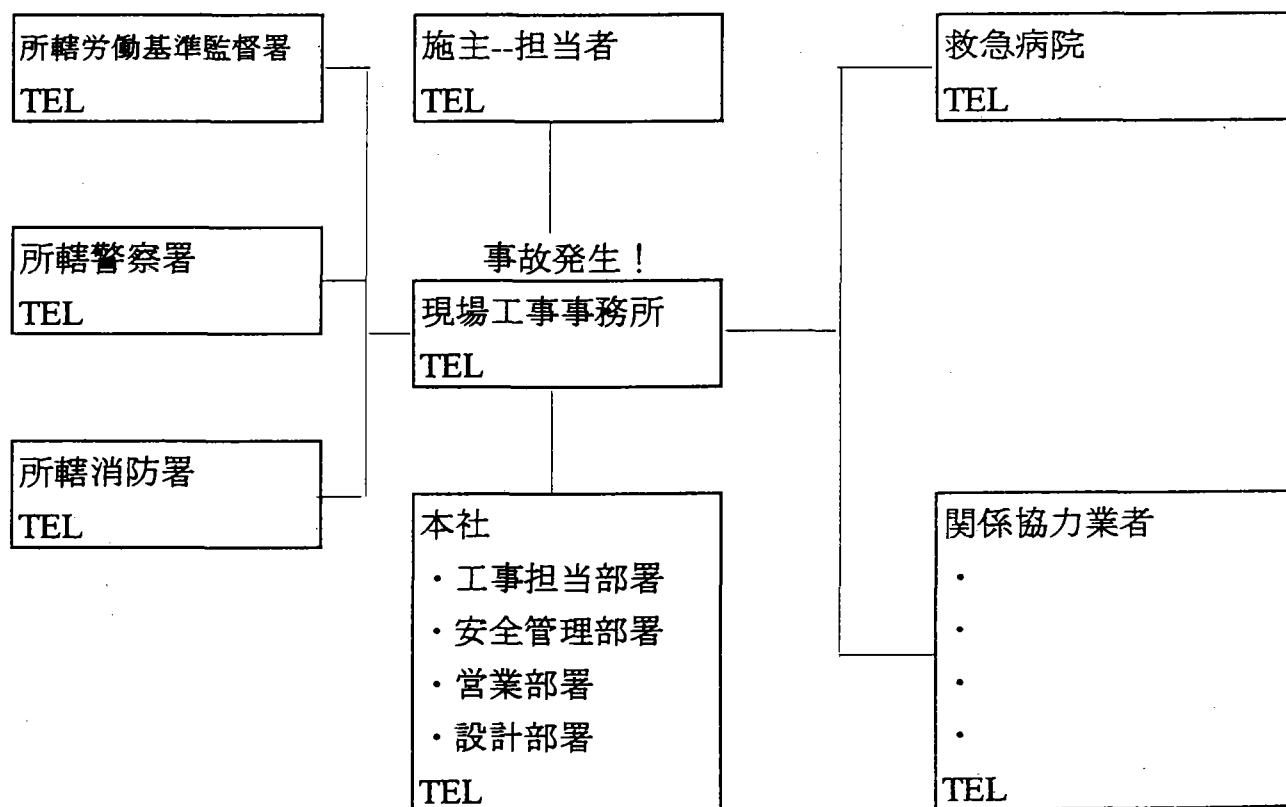
検査工事の場合、足場等の安全設備がまま不完全な場合が見受けられるがいかなる場合でも安全第一にて工事をすすめ、中途半端な状態でなく足場等を必ず設置した後検査を行う。

なお万一現場内において事故等の災害が発生した場合に備え、下記のような緊急時の連絡系統図を作成しかつ連絡先の順番をつけておくことと良い。

また救急病院の所在を調査し全員にその所在を明らかにしておくことも大切である。

検査工事は一般には短期間の工事のため事務所等を設置せずに行うことが多いが、そのような場合でも、プラスチック等に緊急時の連絡系統図及び救急病院を記入したものをいれておくようにする。(本社等は休日・夜間の連絡先も記入しておくこと)

図-7.2.1 緊急時連絡系統図



7-3 保護具

(1) 保護具

検査時はその作業内容に応じて以下に示すような保護具を使用する。
特に、検査に使用する器具等にて両手がふさがれることを防止するためリック
サック等を準備して小物の運搬に供するのが良い。

保護具例

- ・保護帽（ヘルメット）
- ・安全帯
- ・耳栓
- ・防塵眼鏡・マスク
- ・救命胴衣
- ・保護手袋
- ・安全靴/地下足袋
- ・安全チョッキ
- ・その他

(2) 保護帽（ヘルメット）

保護帽（ヘルメット）は頭によくあったものを使用し、あごひもは必ず正しくしめる。また、一度でも大きな衝撃を受けた、安全帽は、外観に損傷がなくても使用しない。

(3) 安全帯

2m以上の高所で、墜落の危険のある場所で作業する場合には、安全帯を使用する。

安全帯はできるだけ腰骨の近くで、落下阻止時に足部の方に抜けないような位置に装着する。又、朝礼時等に使用訓練等を行うのが良い。

7-4 高所作業車

高所作業車を使用する場合の資格については下記のように決められている。

表-7.4.1 高所作業車使用時の資格

業務内容	要件	規則
作業床の高さが10m以上の 高所作業車の運転の業務	技能講習修了者	労働安全衛生法施工令 20条（H2.8.31）
作業床の高さが2m以上10m未満の 高所作業車の運転の業務	特別教育修了者	労働安全衛生規則36条 （H2.9.26）

高所作業車の仕様に際しては、上記の資格にあった要件にて使用する。
又周囲の状況、足下について充分注意を払って使用する。

8. 今後の橋梁維持管理の方向

1) 維持管理費の増大

橋梁の平均供用年数が増加するに従って、維持管理費の占める割合が増加するのは当然であるが、その傾向は、平均供用年数が耐用年数（一般には50～60年と考えられている。）に近づくに伴い、著しくなると予想されることは、冒頭に示した通りである。

2) 労働人口の減少

一方、建設産業に従事する労働者の人口は、減少傾向にあり、かつ、高齢化が進んでいる。つまり、維持管理に従事する労働力が将来的に増加することは期待できない状況である。

3) 維持管理体制の改革の推進

従って、今後の維持管理体制においては、抜本的な改革が必然とも言える状況にあり、以下のような各種の研究や改善策が検討されている。

- ・ ミニмумメンテナンス橋の研究……初期コストを多少犠牲にしても、長寿命化することにより、維持管理費を最小とし、トータルコストを抑えることの可能な橋の研究。
- ・ ライフサイクルコストの研究……初期コスト、メンテナンスコストなどの橋の一生に要するコストをトータルとして評価しようという研究。
- ・ 維持管理用ロボットの研究……3K（きつい、汚い、危険）対策と同時に将来の労働者減少の対策として、維持管理作業におけるロボットの適用性を研究。
- ・ 予防的維持管理の適用……損傷や劣化が進行する前に、予防的に手当を施すような維持管理の方が、トータルコストを低減するという考え方の適用。

- ・ モニタリング橋梁の研究……………一定の路線上にある橋梁群の中から、代表橋梁を選定し、荷重の実態、疲労の進展、損傷・劣化の進行をモニターすることにより、予防的な維持管理を行うことを目的とした研究。
- ・ エキスパートシステムの研究……………維持管理業務に熟練した技術者でなくとも、一定の水準の維持管理が可能となるように、熟練技術者の経験、知識をデータベース化し、コンピューターで支援するシステムの研究。
- ・ 維持管理技術者の教育……………維持管理に関わる技術者の水準を向上させるとともに、均一化を図るため、資格制度や研修制度の検討や、教材の作成が必要である。本マニュアルも維持管理技術者の教材として使用されることを想定している。

以 上