

3. 橋の設計の基本と基準の変遷

3.1 橋の設計

3.1.1 法律、基準

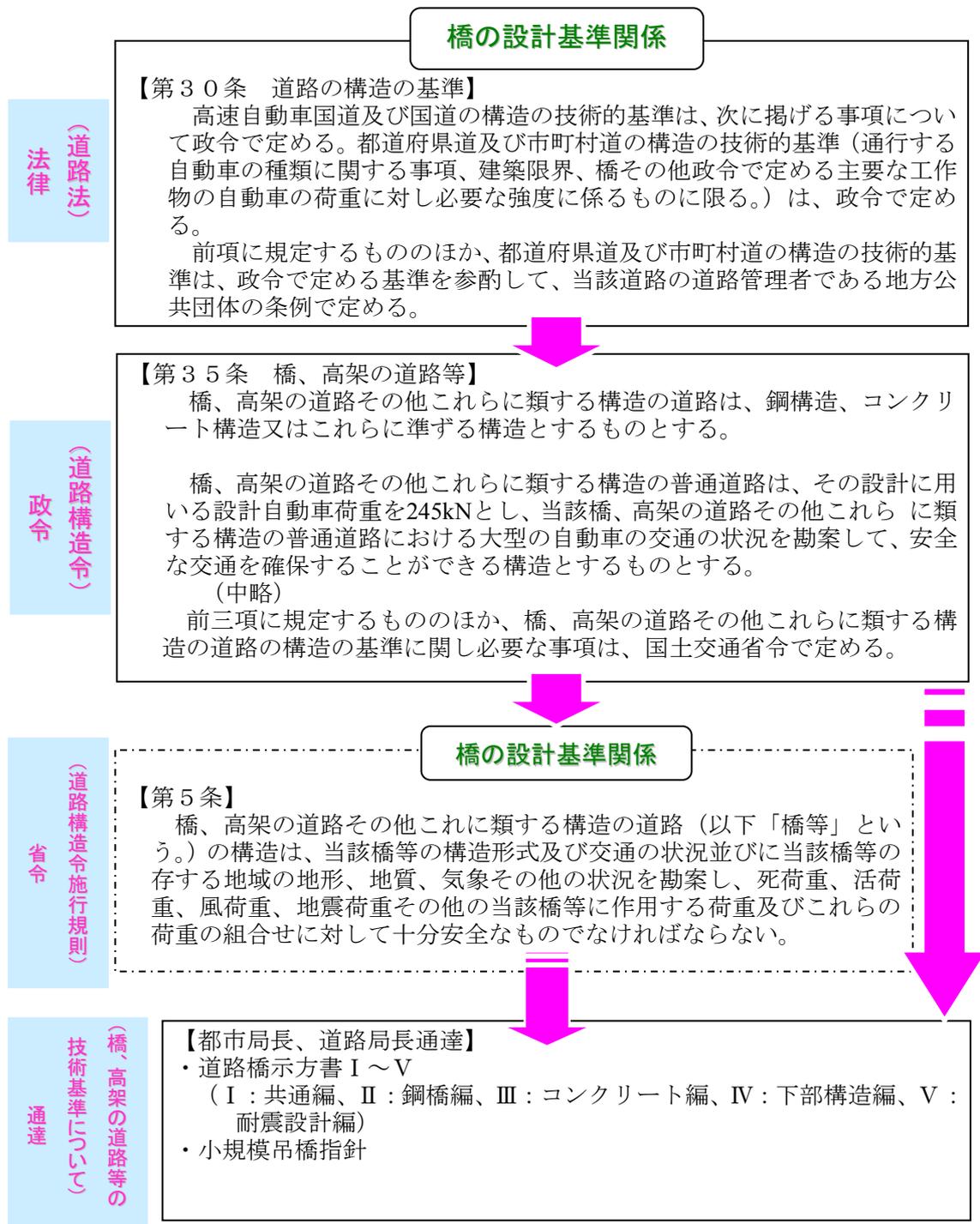


図-3.1.1 道路橋の技術基準の体系

3.1.2 使用材料

(1) 機械的性質に関する用語の説明

- 弾 性：外力(応力)の増加により生じた変形(ひずみ)が、その外力(応力)を取り除いた場合に消失し、原型に戻る材料の性質をいう。
- 塑 性：外力(応力)の増加により生じた変形(ひずみ)が、その外力(応力)を取り除いた場合に消失せず、原型に戻らない材料の性質をいう。この時の変形(ひずみ)を塑性変形(塑性ひずみまたは永久ひずみ)という。
- 降 伏：外力(応力)の増加により弾性状態から塑性状態になることをいう。
- じ ん 性：材料のねばり強さをいい、その破壊が十分な変形を伴って生じる場合をじん性が高いという。
- 疲 労：構造物が繰り返し荷重を受け、その繰り返し荷重によって生じる応力が静的破壊を生じる荷重より低い応力であっても、構造物が機能を失うことをいう。
- ひ ず み 硬 化：構造物が塑性変形するとき、変形の度合いが増すにつれて変形に対する抵抗が増大する現象をいう。

(2) 鋼材

i) 特性

鋼材は、単位体積重量は大きい(比重 7.85)ものの、引張強度が高くかつ延性に富み、一般に鋼板や形鋼などに加工し、それらを単独あるいは組み合わせて部材にして使用される。鋼材は製鋼時に様々な元素を加える、熱処理を行うなどにより欠点を補い、硬さ、強さ、ねばりなどの機械的性質が調整される。

溶鉱炉で鉄鉱石を還元して銑鉄を作る。作られた銑鉄から、まだ残留している不純物や高炉内で取り込んだ炭素分を取り除き、必要な合金元素を添加することで製鋼される。昭和 40 年以前は、製鋼炉で精錬された溶鋼を鋳型に入れて鋼塊にされた後、再加熱してスラブ、ブルーム、ビレットと呼ばれる鋼に分塊し、鋼板、形鋼、棒鋼などに加工される方法が主流であった。現在は、鋳型で造塊せず、溶鋼から直接スラブ、ブルーム、ビレットなどの半製品を作る連続鋳造法が主流となっている。

連続鋳造法が確立する昭和 40 年以前の鋼材は、製造過程の脱酸(不純物の除去)程度により、キルド鋼、リムド鋼、セミキルド鋼の 3 種類に分類される。これらの鋼材では、硫黄(S)やリン(P)などの不純物に起因するラミネーション、ラメラテア、サルファ割れ等の欠陥が報告されている。ラメラテア、サルファ割れは、鋼材における硫黄(S)やリン(P)などの不純物の偏析が要因であるため、竣工年の古い既設橋では、溶接施工を極力避けるように留意する必要がある。

以下に橋梁で使用される J I S 鋼材の代表的な機械的及び化学的特性を示す。

《メモ》

ラミネーション：鋼材に含まれる硫黄等の不純物が熱応力を受け、開裂する現象のこと。

ラメラテア：十字継手、T 継手、角継手などの板厚方向に引張応力を受ける溶接継手で鋼板表面に平行な割れが発生する現象のこと。

サルファ割れ：硫黄偏析が層状に圧延され(サルファバンド)、溶接金属内に柱状晶境界に沿って粒界割れが発生する現象のこと。

《メモ》

道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編^{3.1)}で規定している一般構造用圧延鋼材及び溶接構造用圧延鋼材、並びに溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材の化学成分の制限値を下表に示す。

表-解 1.6.3 一般構造用圧延鋼材及び溶接構造用圧延鋼材、並びに溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材の化学成分

鋼種	化学成分 (%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	その他
SS400		-	-	-	0.050 以下	0.050 以下	-	-	-	-
SM400	A	0.23 以下	-	2.5×C 以上	0.035 以下	0.035 以下	-	-	-	-
	B	0.20 以下	0.35 以下	0.60～ 1.50	0.035 以下	0.035 以下	-	-	-	-
	C	0.18 以下	0.35 以下	0.60～ 1.50	0.035 以下	0.035 以下	-	-	-	-
SMA400 AW・BW・CW		0.18 以下	0.15～ 0.65	1.25 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.30～ 0.50	0.45～ 0.75	0.05～ 0.30	各鋼種とも耐候性に有効な元素のMo, Nb, Ti, Vを添加してもよい。ただし、これらの元素の総計は0.15%を超えないものとする。
SM490	A	0.20 以下	0.55 以下	1.65 以下	0.035 以下	0.035 以下	-	-	-	-
	B	0.18 以下	0.55 以下	1.65 以下	0.035 以下	0.035 以下	-	-	-	-
	C	0.18 以下	0.55 以下	1.65 以下	0.035 以下	0.035 以下	-	-	-	-
SM490Y A・B		0.20 以下	0.55 以下	1.65 以下	0.035 以下	0.035 以下	-	-	-	-
SMA490 AW・BW・CW		0.18 以下	0.15～ 0.65	1.40 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.30～ 0.50	0.45～ 0.75	0.05～ 0.30	各鋼種とも耐候性に有効な元素のMo, Nb, Ti, Vを添加してもよい。ただし、これらの元素の総計は0.15%を超えないものとする。
SM520C		0.20 以下	0.55 以下	1.65 以下	0.035 以下	0.035 以下	-	-	-	-
SM570		0.18 以下	0.55 以下	1.70 以下	0.035 以下	0.035 以下	-	-	-	-
SMA570W		0.18 以下	0.15～ 0.65	1.40 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.30～ 0.50	0.45～ 0.75	0.05～ 0.30	各鋼種とも耐候性に有効な元素のMo, Nb, Ti, Vを添加してもよい。ただし、これらの元素の総計は0.15%を超えないものとする。

ii) 引張強さ・物性

鋼の最も基本的な機械的特性に、応力があるが、一般にひずみと関連させて示す。応力 ($\sigma=P/A$) は引張における荷重 P を鋼材の断面積 A で割った値であり、ひずみ ($\epsilon=\Delta L/L$) は伸び量 ΔL を元の部材長 L で割った無次元量である。その関係は弾性係数 E を用いて $\sigma=E \cdot \epsilon$ という一次式で表示される。

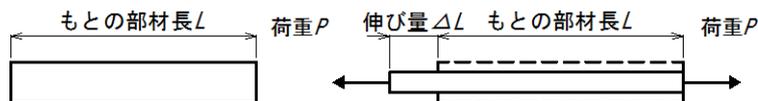


図-3.1.2 荷重 P による部材の伸び量

一般的な鋼の応力とひずみの関係を図-3.1.3 に示す。図-3.1.4 に示すような試験片の両端を引っ張ると、初期の応力とひずみは比例関係(直線)を示す。この関係が成立する限界点を比例限度という。さらに荷重を増加させると除荷しても元の状態に戻らない永久ひずみが残る。この限界を弾性限度といい、弾性限度以降を塑性域という。弾性域における直線の傾きを弾性係数(またはヤング係数)といい、鋼の場合、おおよそ $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ である。さらに引張変形を続けると、応力の値は変化せずにひずみだけ増加する降伏と呼ばれる現象が現れる。降伏以前の最大応力の Y_u 点を上降伏点、上降伏点から応力が下降した Y_l 点を下降伏点という。さらに引張変形を続けると T 点で引張荷重が最大となり、その後 F 点で破断する。この T 点を引張強さという。

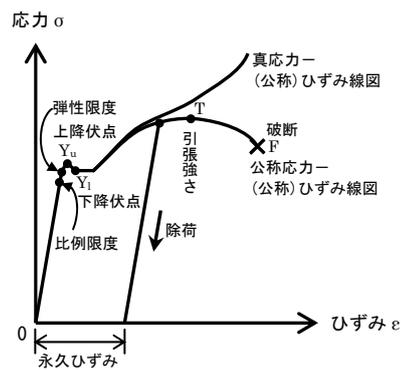


図-3.1.3 軟鋼の応力とひずみの関係

《メモ》

- ・ 比例限度：応力とひずみが直線関係を示す限界点を比例限度という。
- ・ 弾性限度：鋼材に引張力を加えて伸びを生じさせた後に引張力を取り除いたとき、元の長さに戻る応力の範囲を弾性範囲という。この限界点を弾性限度という。
- ・ 上降伏点：鋼材が降伏し始める以前の最大荷重を、原断面積で除した商をいう。
- ・ 下降伏点：上降伏点を過ぎた後のほぼ一定の状態における最小荷重を原断面積で除した商をいう。
- ・ 延性：引張りにより破壊が生じるまでの伸びを示す。
- ・ リラクセーション：材料に一定のひずみを与えたとき、その材料に働く応力が時間とともに減少する現象。

引張強さを確認するための引張試験の実際の状況を以下に示す。

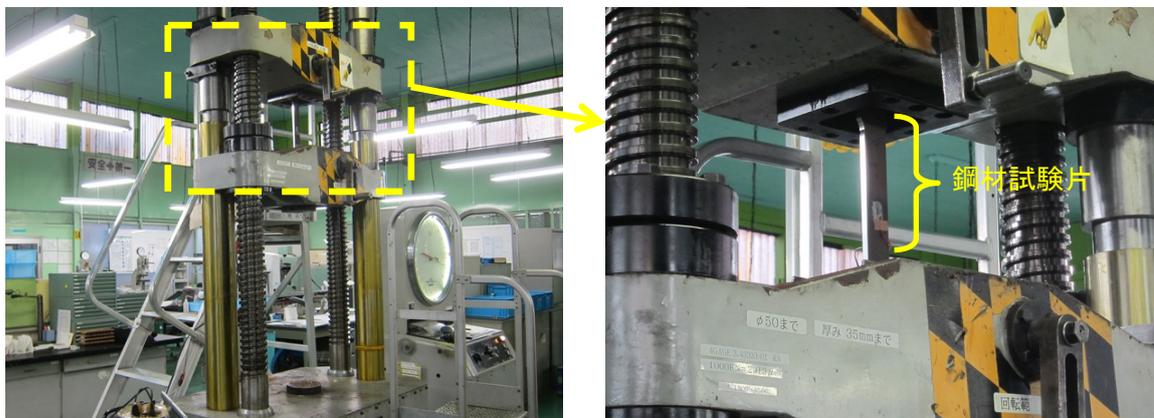


図-3.1.4 鋼材の引張試験の状況

iii) 鋼材の材種

道路橋示方書に示されている JIS 規格の鋼材を表-3.1.1 に示す。道路橋示方書では、使用した鋼材は、橋歴板に記載しなければならないと規定されている。表-3.1.1 に示す鋼材のうち、代表的な鋼材について以下に示す。

表-3.1.1 使用鋼材の例 (JIS 規格)

鋼材の種類	規 格		鋼材記号
1) 構造用鋼材	JIS G 3101	一般構造用圧延鋼材	SS400
	JIS G 3106	溶接構造用圧延鋼材	SM400、SM490、SM490Y SM520、SM570
	JIS G 3114	溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材	SMA400W、SMA490W SMA570W
2) 鋼 管	JIS G 3444	一般構造用炭素鋼鋼管	STK400、STK490
	JIS A 5525	鋼管ぐい	SKK400、SKK490
	JIS A 5530	鋼管矢板	SKY400、SKY490
3) 接合用鋼材	JIS B 1186	摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット	F8T、F10T
	JIS B 1180	六角ボルト	強度区分4.6、8.8、10.9
	JIS B 1181	六角ナット	強度区分4、8、10
4) 溶接材料	JIS Z 3211	軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用被覆アーク溶接棒	
	JIS Z 3214	耐候性鋼用被覆アーク溶接棒	
	JIS Z 3312	軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用のマグ溶接及びミグ溶接ソリッドワイヤ	
	JIS Z 3315	耐候性鋼用炭酸ガスアーク溶接ソリッドワイヤ	
	JIS Z 3320	耐候性鋼用炭酸ガスアーク溶接フラックス入りワイヤ	
	JIS Z 3351	炭素鋼及び低合金鋼用サブマージアーク溶接ソリッドワイヤ	
	JIS Z 3352	サブマージアーク溶接用フラックス	
5) 鍛造品	JIS G 3201	炭素鋼鍛鋼品	SF490A、SF540A
	JIS G 5101	炭素鋼鋳鋼品	SC450
	JIS G 5102	溶接構造用鋳鋼品	SCW410、SCW480
	JIS G 5111	構造用高張力炭素鋼及び低合金鋼鋳鋼品	SCMn1A、SCMn2A
	JIS G 4051	機械構造用炭素鋼鋼材	S35CN、S45CN
	JIS G 5501	ねずみ鋳鉄品	FC250
	JIS G 5502	球状黒鉛鋳鉄品	FCD400、FCD450
6) 線材 線材二次製品	JIS G 3502	ピアノ線材	SWRS
	JIS G 3506	硬鋼線材	SWRH
	JIS G 3536	PC鋼線及びPC鋼より線	SWPR1、SWPD1、SWPR2 SWPR7、SWPR19
	JIS G 3549	構造用ワイヤロープ	
7) 棒鋼	JIS G 3112	鉄筋コンクリート用棒鋼	SR235、SD295A、SD295B SD345、SD390、SD490
	JIS G 3109	PC鋼棒	SBPR785/1030 SBPR930/1080 SBPR930/1180
8) その他	JIS B 1198	頭付きスタッド	呼び名19、22

①一般構造用圧延鋼材 (JIS G 3101)

一般構造用圧延鋼材は SS(Steel-Structure)材と呼ばれ、強度レベルごとに SS330、SS400、SS490、SS540 がある。数字は保証している引張り強さ(N/mm²)の下限値を表す。

②溶接構造用圧延鋼材 (JIS G 3106)

溶接構造用圧延鋼材は SM(Steel-Marine)と呼ばれ、溶接性をとくに考慮し、成分を調整して製造された鋼材である。引張り強さ(N/mm²)により、SM400、SM490、SM490Y、SM520、SM570 の5つに分類される。SM材がSS材と大きく異なるのは溶接性、化学成分のみでなく、炭素当量や溶接割れ感受性組織が規定されているためである。機械的性質も強さだけでなく、粘りを示すシャルピー衝撃値の規定も追加されている。また、SM400 から SM520 の4種類については、記号の末尾に ABC が付記される。シャルピー吸収エネルギーの試験温度と延性・脆性挙動の関係は、試験温度が低下するに従って、吸収エネルギーは低下し脆性破面率が増加する傾向にあるため、低温脆性の目安となるシャルピー吸収エネルギーの要求値によるランク(3種類)が規定されている。

③溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 (JIS G 3114)

溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材(以下、耐候性鋼材)は、SMA材(Steel-Marine-Atmospheric)と呼ばれ、溶接構造用鋼材に Cu、Cr、Ni などの合金成分を加えることにより、耐候性を高めたものである。この鋼材には、無塗装耐候性鋼材である SMA-W と塗装用耐候性鋼材である SMA-P の2種類があるが、無塗装使用される SMA-W 材は、さびが発生しないので



図- 3.1.5 耐候性鋼材の使用例

はなく、鋼材表面に緻密なさび層を形成させ、これが鋼材表面を保護することで、これ以降のさびの進展が抑制され、一般構造用圧延鋼材や溶接構造用圧延鋼材等に比べて腐食速度が低下するものである。SMA-W 材の使用は、無塗装の裸で使用する場合、緻密なさび層の形成を補助し、架設当初のさびむらやさび汁の流出を抑制するため、表面処理剤を塗布する場合がある。道路橋示方書では、裸使用される SMA-W 材のみ規定されている。

耐候性鋼材において重要である緻密なさび層の形成の条件は、大気中の塩分及び亜硫酸ガスの量が少ないこと、継続的に湿潤状態でなく乾湿が繰り返される環境であることが挙げられる。

④鋳鍛造品

鋳鍛造品は、支承のほか排水装置、防護柵、伸縮装置等に使用されている。鋳鋼品の代表的な製品例として、鋼製支承の上杓・下杓などの支承本体がある。従来は、炭素鋼鋳鋼品(SC材)、低マンガン鋼鋳鋼品(SCMn材)、溶接構造用鋳鋼品(SCW)などが使用されてきたが、平成7年兵庫県南部地震において、鋳鋼品を主体とする鋼製支承の多くが被害を受けたことにより、衝撃値を保証した材料を使用するようになってきている。現在では溶接構造用鋳鋼品(SCW)に焼きならし熱処理を施した(SCW-N)を使用している。

iv) 鋼材の種類

鋼材の種類には、鋼板、鋼管のほか、鉄筋などに使用される棒鋼、鋼構造の部材または部材の一部として使用される形鋼、ケーブルとして使用される線材などがある。

(3) ケーブル

ケーブルはPCケーブル(PC鋼線、PCより線)及び構造用ワイヤロープ(ストランドロープ、スパイラルロープ、ロックドコイルロープ)が構造用ケーブルとして使用されている。

ケーブルの特性は用途に応じて要求される性能が異なり、プレストレスト方式ケーブルに要求される特性と構造用ワイヤロープに要求される特性に分けられる。プレストレスト方式ケーブルとは、PC構造などに使用される緊張材を指し、内ケーブルと外ケーブルに分類される。内ケーブルとは、桁内に配置する付着のあるケーブル、外ケーブルとは、桁外に配置する付着のないケーブルである。外ケーブルは、桁の補強のために配置されることもある。

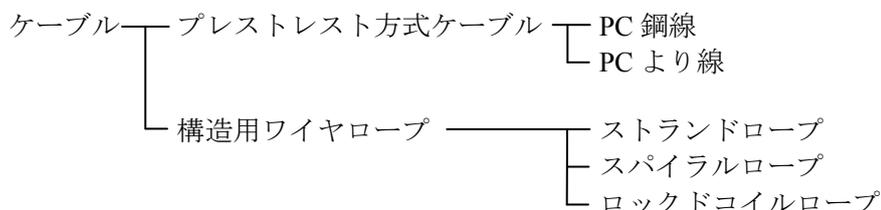
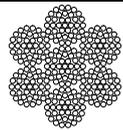
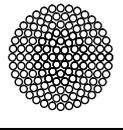
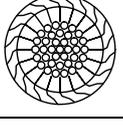


図-3.1.6 主なケーブルの種類

表-3.1.2 構造用ワイヤロープの種類

種類	断面及び外観(例)	特徴
ストランドロープ	 7×37	曲げ剛性が小さく取り扱いが容易であり、取り扱いの不備による損傷は非常に少ない。 他のワイヤロープに比べて安価である。
スパイラルロープ	 1×127	ストランドロープに比べて曲げ剛性、引張強さ及び弾性係数が大きい。
ロックドコイルロープ	 C型	スパイラルロープ同様、曲げ剛性、引張強さ及び弾性係数が大きい。 外層に異形ワイヤをより合わせているため、水密性、耐食性に優れている。

i) 特性

①強度特性

引張試験より、図-3.1.7 に示すような応力-ひずみ曲線が得られる。この応力-ひずみ曲線より、比例限界、弾性限界、上降伏点、下降伏点、耐力、引張強さ及び延性を求める。

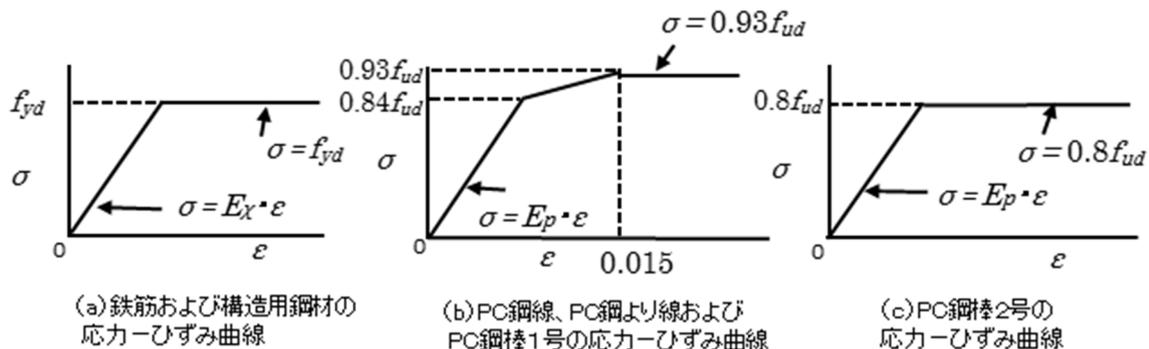


図-3.1.7 鋼材のモデル化された応力-ひずみ曲線

(4) コンクリート

コンクリートが木材や鋼材などの他の構造材料と本質的に異なる大きな特徴は、大小の骨材粒をセメントペーストで結合させた複合材料であること、さらに結合材料であるペーストはセメントの水和反応により漸次強度が発現していくことである。したがって、コンクリートの品質は、セメントペースト(混和材料、空気を含んで考える)、骨材などの個々の構成材料の特性によって左右されるだけでなく、それらの複合性状にも左右される。また、その複合性状には、施工や養生などの条件、材齢の影響が大きいことを、常に考慮しなければならない。

i) 特性

コンクリートの特性では、硬化する前のフレッシュコンクリートの特性と硬化コンクリートの特性に大きく 2 つに分けられるが、ここでは硬化コンクリートの特性について述べる。

①強度特性

コンクリートの強度の中には、圧縮、引張り、曲げ、せん断、支圧などの強度、鉄筋との付着強度、繰り返し荷重下の疲労強度などが含まれる。しかし、単にコンクリートの強度といえば一般に圧縮強度を指す。その理由は、次のとおりである。

- ・圧縮強度が他の強度に比較して著しく大きく、また、鉄筋コンクリート部材の設計でもこれが有効に利用されているため
- ・圧縮強度から他の強度や強度以外の硬化したコンクリートの性質を概略推定できるため
- ・試験方法が簡単であるため

②弾塑性的性質 (応力-ひずみ曲線)

図-3.1.8 にコンクリート及び各材料の応力-ひずみ曲線を示す。図-3.1.8 に示すように、硬化したコンクリートを圧縮すると、コンクリートの応力-ひずみ線図は、応力の小さい初期の段階から曲線をなし、厳密な直線部分はない。しかし初期の段階で繰り返して載荷すると、直線に近くなる。応力-ひずみ曲線は、①直線とみなしうる部分、②曲率を増して最大応力度に達するまでの曲線部分、③ひずみの増加に伴って応力度が徐々に減少し、続いて急激

に破壊に至るまでの曲線部分の3部分に分けて扱われることが多い。コンクリートは荷重を取り除くと残留ひずみを生じるが、全ひずみに対する比は応力度が低いほど小さく、破壊強度の50%程度の応力では10%程度である。

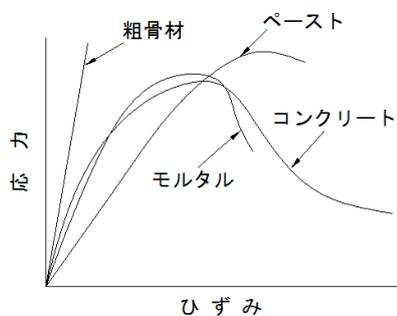


図-3.1.8 コンクリート及び各材料の応力-ひずみ曲線



図-3.1.9 コンクリートの圧縮強度試験の状況

(5) 設計に用いる物理定数

PC 鋼材の純リラクセーション率は、引張ひずみ一定の条件で生じる応力度の減少量を、初期の PC 鋼材の引張応力度に対する比率（百分率）で表したものである。一方、これに対して PC 鋼材がプレストレストコンクリートに用いられる場合は、コンクリートの乾燥収縮、クリープ等によって、最初に与えられた PC 鋼材引張ひずみ時間とともに減少するため、ひずみ一定のもとで行う PC 鋼材のリラクセーション試験で測定した値より引張応力度の減少量は少なく、小さなリラクセーション率を示すこととなる。これを見かけのリラクセーションという。

表-3.1.3 鋼材の物理定数

鋼 種	物理定数の値
鋼 及 び 鋳 鋼 の ヤ ン グ 係 数	$2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$
PC 鋼線、PC 鋼より線、PC 鋼棒のヤング係数	$2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$
鋳 鉄 の ヤ ン グ 係 数	$1.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$
鋼 の せん断弾性係数	$7.7 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
鋼 及 び 鋳 鋼 の ポ ア ソ ン 比	0.30
鋳 鉄 の ポ ア ソ ン 比	0.25

表-3.1.4 PC 鋼材の見かけのリラクセーション (%)

PC 鋼材の種類	リラクセーション率		備 考
	標準値	高温の影響を受ける場合	
P C 鋼 線	5	7	通 常 品
PC 鋼より線	1.5	2.5	低リラクセーション品
P C 鋼 棒	3	5	通 常 品

表-3.1.5 コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

設計基準強度	21	24	27	30	40	50	60
ヤング係数	2.35×10^4	2.5×10^4	2.65×10^4	2.8×10^4	3.1×10^4	3.3×10^4	3.5×10^4

3.1.3 荷重

構造物に影響を与える自動車交通や自然現象は、設計では、荷重に置き換えられ、構造物に負荷される。表-3.1.6 及び図-3.1.10 に設計に用いる荷重の例を示す。

荷重は、向き（作用方向）、作用位置、作用させる大きさや分布形状を有する。

荷重の種類は、大きく2種類に分けられる。

主荷重： 橋の主要構造部を設計する場合において、常に作用すると考えなければならない荷重。たとえば、自重（死荷重）、活荷重（自動車、通行者、群集などを表す荷重）、土圧や水圧など。

従荷重： 橋の主要構造部を設計する場合において、必ずしも常時又はしばしば作用するとは限らないが、考慮しなければならないもの。たとえば、風荷重、地震の影響、温度変化の影響（温度変化の影響により生じる伸縮やそり等の変形の発生）など。

表-3.1.6 荷重の種類

荷重要因	荷 重
自 重	主 荷 重(P)
自 動 車	1. 死 荷 重(D)
歩 行 者	2. 活 荷 重(L)
土	3. 衝 撃(I)
水	4. プレストレス力(PS)
温 度	5. コンクリートのクリープの影響(CR)
浮 力	6. コンクリートの乾燥収縮の影響(SH)
風	7. 土 圧(E)
地 震	8. 水 圧(HP)
そ の 他	9. 浮力又は揚圧力(U)
	従 荷 重(S)
	10. 風 荷 重(W)
	11. 温度変化の影響(T)
	12. 地震の影響(EQ)
	主荷重に相当する
	特 殊 荷 重(PP)
	13. 雪 荷 重(SW)
	14. 地盤変動の影響(GD)
	15. 支点移動の影響(SD)
	16. 波 圧(WP)
	17. 遠 心 荷 重(CF)
	従荷重に相当する
	特 殊 荷 重(PA)
	18. 制 動 荷 重(BK)
	19. 施 工 時 荷 重(ER)
	20. 衝 突 荷 重(CO)
	21. そ の 他

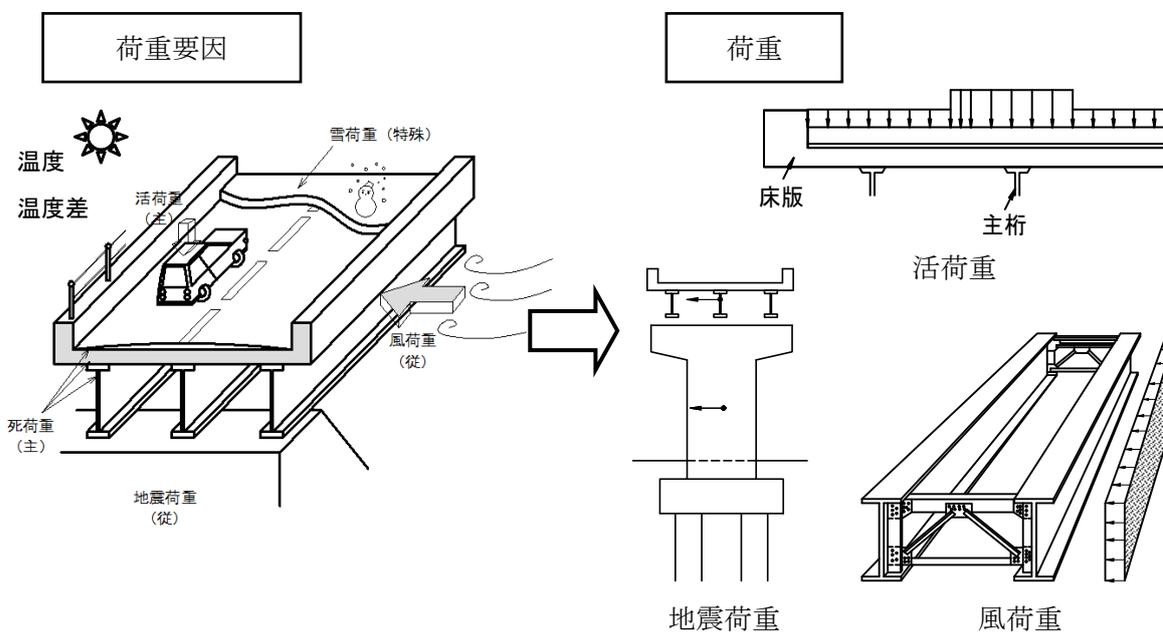


図-3.1.10 自重や自動車荷重、地震や風荷重の例

3.1.4 荷重を受けた部材の応答

(1) 部材の断面に生じる力と部材の応答

橋の各部材には力が作用する。

図-3.1.11 (a) に示すように軸方向の伸び・縮みに対応するのが軸力(N)である。また、単位面積あたりの力を引張り応力や圧縮応力という。鋼材の降伏や破断が生じないように、また、コンクリートが圧壊しないように設計する。

図-3.1.11 (b) に示すように部材を曲げると、部材はたわみ、各断面が回転する。部材をたわませ、断面を回転させる力を、曲げモーメント(M)という。断面が回転し、たわむことで縮んでいる側では、軸方向に沿った圧縮応力が、伸びている方向では、軸方向に沿った引張り応力が生じる。

図-3.1.11 (c) に示すように断面がまわらないように、ずれ変形だけ生じるときに対応するのが、せん断力(Q)である。このときにも物体には、圧縮応力と引張り応力が生じる。

また、ブロックに横力を作用させたと想像すれば、ブロックがずれる。このようなずれに対応する反力をせん断力という。したがって、ずれないように作用する力を考慮して設計する。

実際には、軸力、曲げモーメント及びせん断力、または、圧縮応力、引張り応力の重ね合わせで部材の応答は示される。

鋼橋に用いられるような細長い棒部材や棒部材を構成する板では、材料の降伏や破壊に至らなくても、図-3.1.12 に示すように、部材の形状が変わり、抵抗力を失うことがある。たとえば、細長い棒や板をまっすぐに押したとき、まっすぐ縮んでいたはずが、押している向きと直交方向にたわみが急増しはじめる。このような現象は座屈と呼ばれる。

部材が、細長いほど座屈は生じやすくなる。端部の固定条件によっても生じやすさが変わる。部材の軸線に対して、形状がゆがんでいる場合にも、

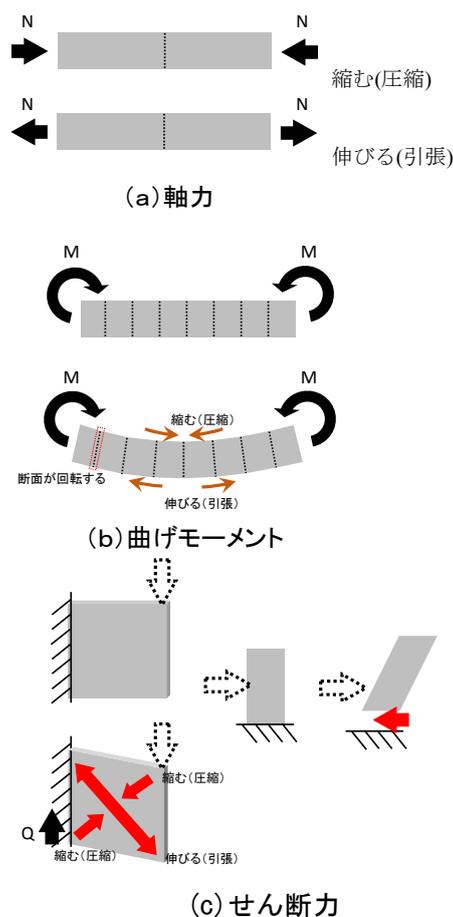


図-3.1.11 部材に作用する力と反力

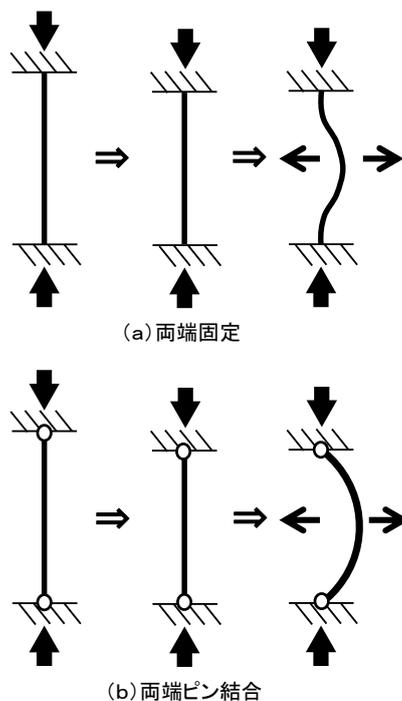


図-3.1.12 座屈現象

座屈は生じやすくなる。

また、偏心載荷される場合も座屈は生じやすくなる。

図-3.1.12 (a)、(b) を比較した場合、(b) の方が座屈が生じやすい構造である。

座屈が生じると、圧縮力や曲げモーメントに対してそれ以上棒や板が抵抗できなくなるため、これを生じさせないように、十分安全な断面になるように設計する。

以上をまとめると、断面力やそれらによって橋の各部材に生じる応力などの効果が、部材に求める性能を確保できるレベルに留まることを確認しなければならない。主な断面力と照査する状況を表-3.1.7 に示す。

表-3.1.7 部材の照査

断面力		設計にて懸念する状態	
軸力		引張	鋼部材：降伏 コンクリート部材：ひびわれ
		圧縮	鋼部材：全体座屈・局部座屈 コンクリート部材：圧壊
曲げモーメント		引張	鋼部材：降伏 コンクリート部材：ひびわれ
		圧縮	鋼部材：全体座屈・局部座屈 コンクリート部材：圧壊
せん断		鋼部材：座屈 コンクリート部材：破壊	

(2) 鋼部材の設計

i) 軸力により圧縮を受ける部材

トラス橋やアーチ橋の弦材など軸力により圧縮を受ける比較的細長い棒部材は、棒部材の座屈が生じないように設計する。部材の座屈を防止するため、図-3.1.13に例を示すような有効座屈長 l と断面二次半径 r と呼ばれるパラメータによる細長比 (l/r) を用いて設計を行う。

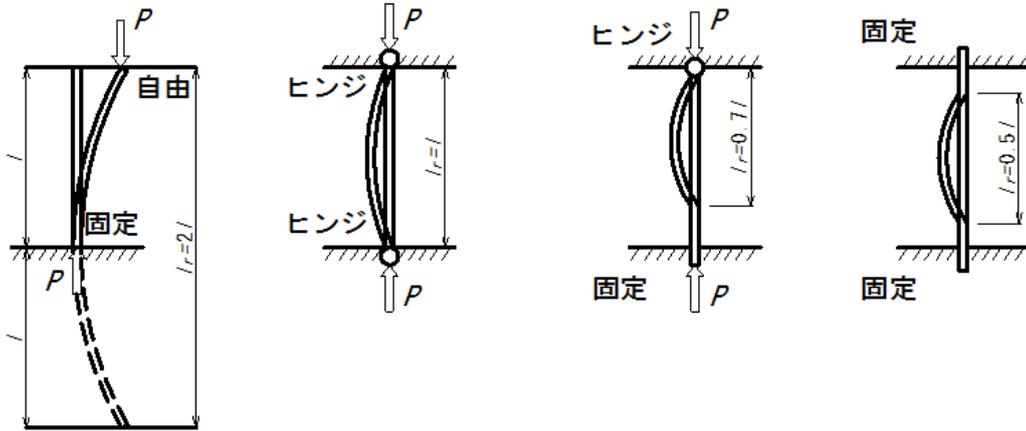
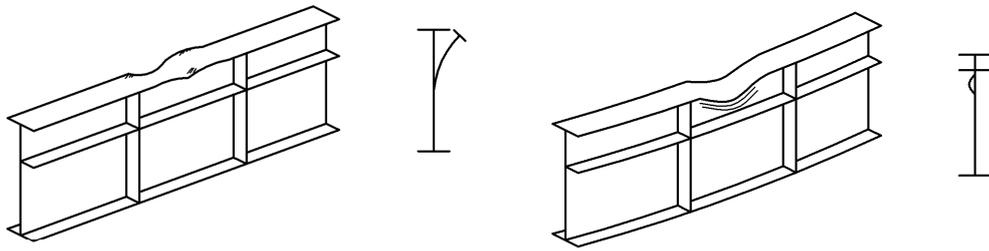


図-3.1.13 有効座屈長の例

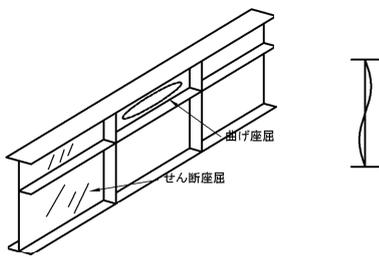
ii) 曲げモーメントによる圧縮領域やせん断力による圧縮領域

曲げモーメントが卓越し、圧縮となる領域では、図-3.1.14に示すような座屈現象が生じないように設計する。

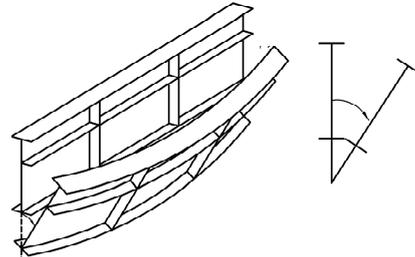
- (a) 曲げモーメントによって桁の圧縮側フランジや柱の圧縮側フランジの板が座屈する局部座屈
- (b) 曲げモーメントによって生じる腹板の局部座屈
- (c) 曲げモーメントを受けるとき、曲げられた向きにたわんでいる桁が、突然、曲げている方向と直交する方向にたわみ出す横倒れ座屈
- (d) 支点からの大きな力による局部座屈（クリッピング）



(a) 圧縮フランジの局部座屈



(b) 腹版の局部座屈



(c) 横倒れ座屈



(d) 支点上の局部座屈(クリッピング)

図-3.1.14 鋼部材の座屈崩壊の例

iii) 軸力及び曲げモーメントによる引張領域

軸力及び曲げモーメントにより引張力が生じる部材は降伏しないように設計する。道路橋示方書では、表-3.1.8に示すように鋼材の基準降伏点に対して、安全率約 1.7 を見込んだ許容引張応力度を超えないことを照査することが規定されている。

表-3.1.8 鋼材の許容引張応力度

鋼種	SS400 SM400 SMA400W		SM490		SM490Y SM520 SMA490W			SM570 SMA570W		
	40以下	40を超え 100以下	40以下	40を超え 100以下	40以下	40を超え 75以下	75を超え 100以下	40以下	40を超え 75以下	75を超え 100以下
鋼材の板厚 (mm)	40以下	40を超え 100以下	40以下	40を超え 100以下	40以下	40を超え 75以下	75を超え 100以下	40以下	40を超え 75以下	75を超え 100以下
基準降伏点 (N/mm ²)	235	215	315	295	355	335	325	450	430	420
許容軸方向 引張応力度 (N/mm ²)	140	125	185	175	210	195	190	255	245	240
安全率	1.68	1.72	1.70	1.69	1.69	1.72	1.71	1.76	1.76	1.75

iv) せん断力を受ける部材

支点上のせん断力が卓越する領域では、腹板にせん断座屈が生じないように設計する。

図-3.1.15に示すような垂直補剛材や水平補剛材を配置し、設計する。

また、支点直上に垂直補剛材を配置することで、支点部からの大きな力に対して支点上で腹板が変形しないようにする。支点部以外でも図-3.1.15に示すように垂直及び水平補剛材と上下フランジで腹板のせん断座屈を防止する。



図-3.1.15 鋼部材の座屈崩壊を防止するために設置する補剛材の例

(3) コンクリート部材の設計

i) 軸力または曲げモーメントを受ける部材

軸力または曲げモーメントを受ける部材の設計では、安全性及び鋼材腐食等の耐久性の観点から鉄筋の引張応力度やコンクリートの圧縮応力度が、鉄筋材料の降伏やコンクリート材料の破壊に対して十分に安全であるように設計する(図-3.1.16、図-3.1.17)。

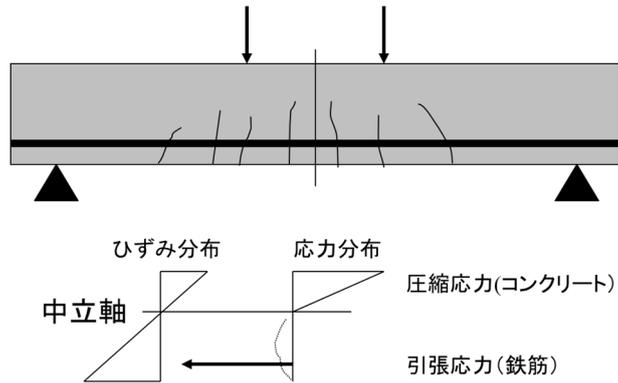
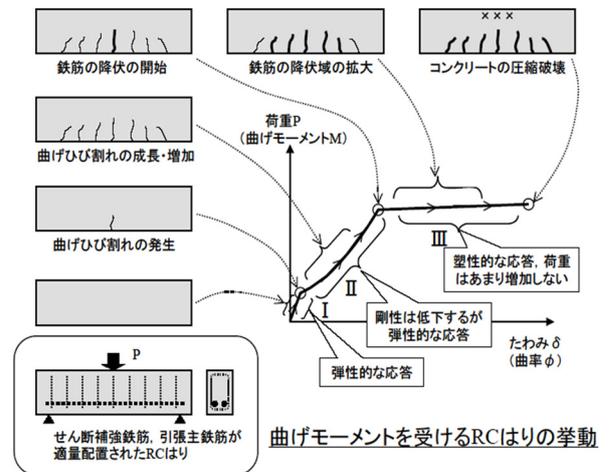


図-3.1.16 曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート部材



(a) 载荷試験の様子



(b) 荷重-たわみ曲線と RC はりの挙動 ^{3.4)}

図-3.1.17 曲げモーメントを受ける RC はりの挙動

ii) せん断力を受ける部材

せん断力を受ける部材の設計は、安全性及び鋼材腐食等の耐久性の観点から斜め方向の顕著なひび割れが生じないように、また、せん断力によりウェブコンクリートの斜め引張り破壊や圧縮破壊に対して、十分安全になるように設計する（図-3.1.18）。設計においては、コンクリートに斜めひび割れが生じてもそこを跨ぐ引張り応力が分担できるように、部材内に、部材軸に直交する方向の鉄筋（せん断補強鉄筋という）を配置することが多い。

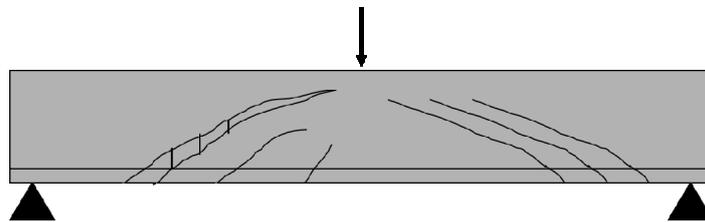


図-3.1.18 せん断力を受けるコンクリート部材

iii) 軸力とともに曲げモーメントやせん断力を受ける柱部材

橋脚の柱部のような部材は、地震の影響などの水平力に起因する曲げモーメントやせん断力に対して十分安全であるように設計する。

頭部に水平力を受ける1本柱に生じる曲げモーメントの分布を示す。曲げモーメントは、橋脚の下部に向かうにつれて大きくなる。そこで、既設の鉄筋コンクリート橋脚では、昭和55年より古い道路橋示方書で設計・施工された鉄筋コンクリート橋脚は、図-3.1.19に示すように軸方向鉄筋の段落しを行っていた。しかし、大規模な地震に対して、段落し部が弱点となることが、これまでの地震被害から明らかになり、それ以後は道路橋示方書において鉄筋の段落しは原則として行わないこととしている。

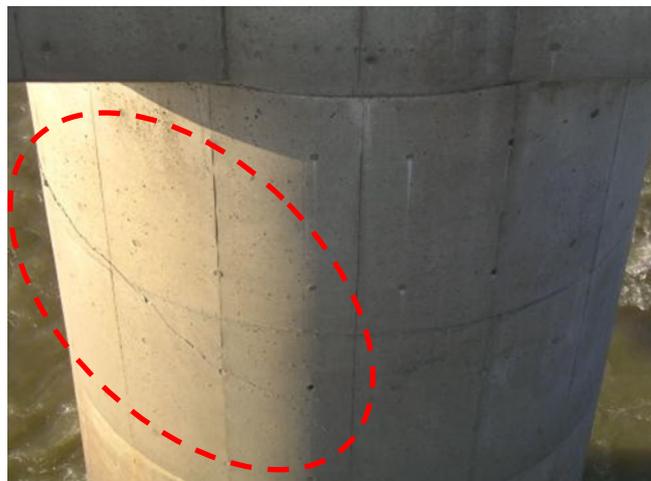
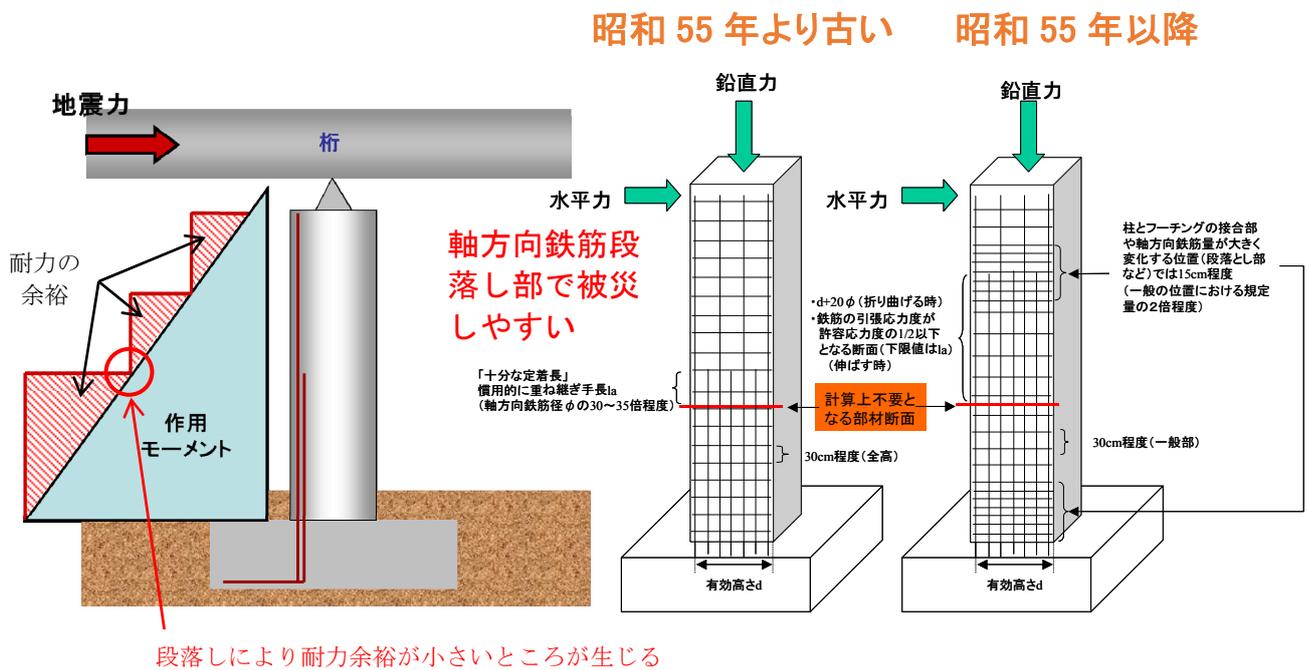


図-3.1.19 地震による鉄筋コンクリート橋脚段落し部の損傷

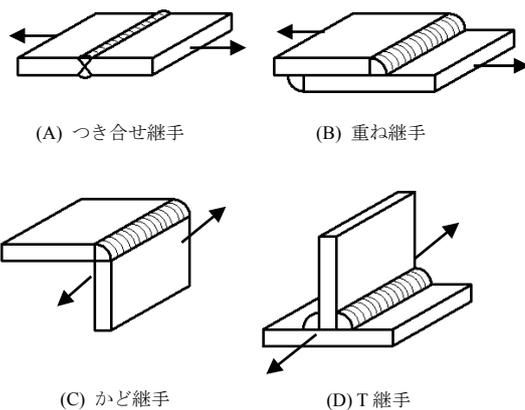
(4) 橋の連結方法

鋼道路橋は、工場で製作した部材同士を現場で連結して架設する。主な部材の連結方法には、溶接接合、高力ボルト接合がある。高力ボルト接合には、摩擦接合、支圧接合及び引張接合がある。古くはリベット接合が広く用いられていたが、鋼材の高強度材料が開発されるとともに、それに見合ったリベット材が無く、1960年代頃から高力ボルト接合が広く採用されてきた。

i) 溶接接合



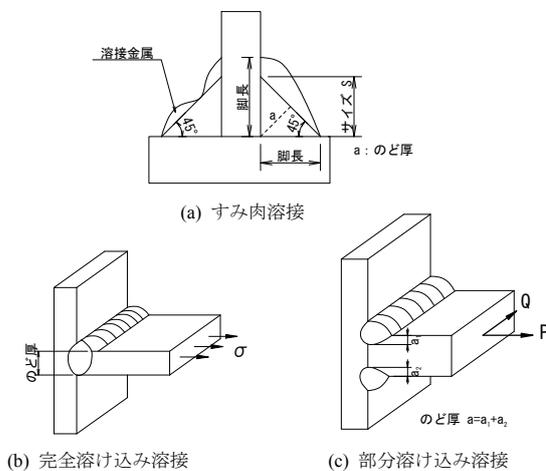
継手の種類



熱によって鋼材を局部的に熔融状態にして、鋼材を一体として接合する方法。

伝達する応力の向きと鋼材の組合せに応じて、複数の継手の種類がある。

溶接部の形状による分類



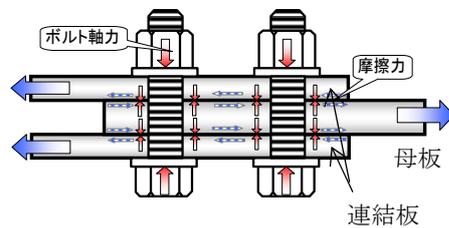
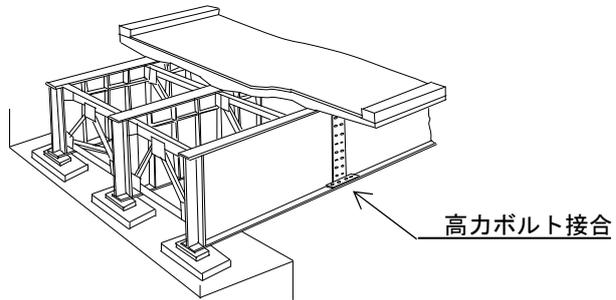
溶接部の形状によって、主にすみ肉溶接、完全溶け込み溶接、部分溶け込み溶接に分けられる。

溶接部は応力集中部となり、疲労亀裂の起点となる。疲労亀裂の発生リスクが高まるので溶接品質の十分な管理が必要である。

溶接中の欠陥としては、主に溶け込み不良、融合不良、凝固する過程での割れがある。

図-3.1.20 溶接接合

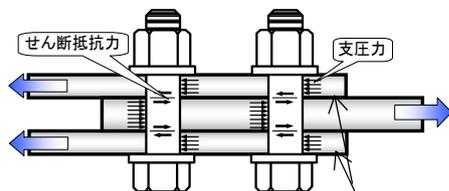
ii) 高力ボルト接合



(a) 摩擦接合

高力ボルトを用いて母板と連結板を締め付け、それらに生じる摩擦力によって応力を伝達する方法。

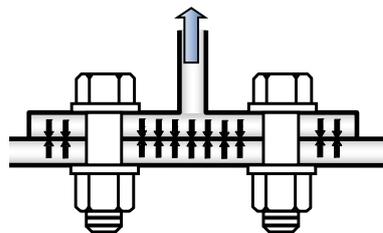
ボルトに設計軸力を導入するために、ボルトの締め付けを確実にを行うことが必要。



(b) 支圧接合

高力ボルトの軸部と、母板および連結板の孔壁との間の支圧により応力を伝達する方法。

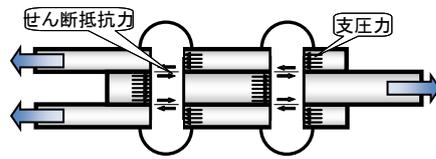
孔とボルトの隙間がないように施工することに注意が必要。



(c) 引張接合

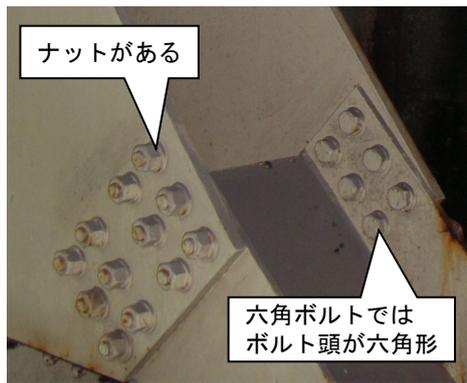
高力ボルトの軸方向引張力によって力を伝達するほか、ボルトで締め付けた継手接触面圧力を介して応力を伝達する方法。

図-3.1.21 高力ボルト接合

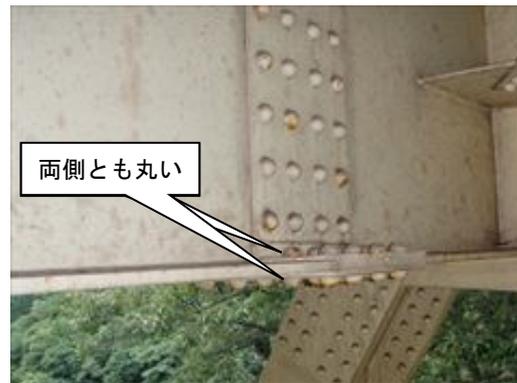


リベットの軸部と、母板および連結板の孔壁との間の支圧により応力を伝達する方法。
 高力ボルト支圧接合と原理は同じである。

図-3. 1. 22 リベット接合



高力ボルト接合（摩擦接合）



リベット接合

図-3. 1. 23 鋼橋の部材の連結方法

<ボルトの種類>

高力ボルトの種類は、以下のものがある。

- ・高力六角ボルトは JIS B 1186 に基づいたボルトであり、ボルト 1 本、ナット 1 個、座金 2 枚を 1 セットとして用いられる。道路橋示方書では F8T と F10T が規定されている。
- ・トルシア形高力ボルトは、ボルト頭部の形状は丸く、ボルト 1 本、ナット 1 個、座金 1 個を 1 セットとして用いられ、ボルト頭部側には座金を使用しない。道路橋示方書では S10T が規定されている。



図-3. 1. 24 高力六角ボルトとトルシア形高力ボルト

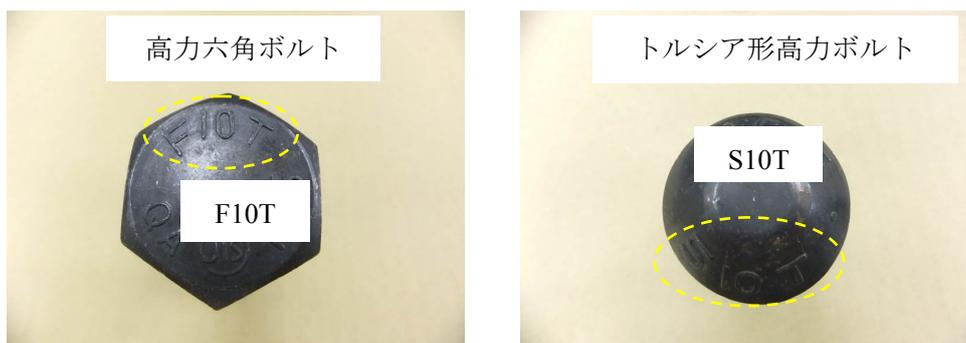


図-3. 1. 25 ボルト頭部の刻印による見分け方

<締付け方法>

高力ボルトの締付け方法には以下の方法がある。

- ・トルク法は、ナットを回して締付けることを原則としている。施工の標準とすべきボルト軸力に達するように施工前に締付けトルクを調整し、トルク係数によって締付け管理を行う。
- ・ナット回転法は、締付けによるボルト軸力をボルトの伸びによって管理するもので、ボルトの伸びはナットの回転量となって現れる。ナット回転法は F8T にのみ適用される。

- ・耐力点法は、高力ボルト締付時の導入軸力とナット回転量との関係が耐力点付近で非線形となる性質を締付け機が捉えることによって管理する。
- ・トルシア形高力ボルトの締付けには、専用の締付け機を用いる。この締付け機はトルクを制御する機能はなく、ピンテールの破断によって締付けトルクを制御し所定の軸力を与える。

ボルトのキャリブレーション

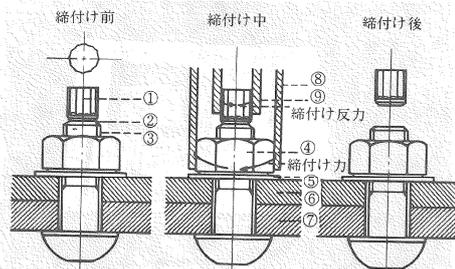


図-3.1.26 トルシア形高力ボルト

《メモ》

【トルシア形高力ボルトの締付け原理】^{3.2)}

トルシア形高力ボルトは、右図に示すように締付け時は、ボルト先端のピンテールで反力を取りナットにトルクを入れて締付ける。ピンテールで反力を取るため、必要なトルクが入った時、せん断で破断させることで締付けを管理している。



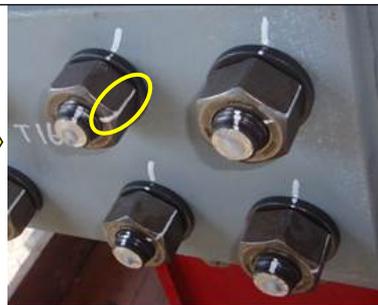
- ① つかみ部(ピンテール)
- ② 破断溝
- ③ ボルトねじ部
- ④ ナット
- ⑤ 座金
- ⑥ 被締付け体
- ⑦ 被締付け体
- ⑧ アウタースリーブ
- ⑨ センタースリーブ

予備締め後、ボルト、ナット、座金、母材に連続したマーキングをする



予備締め (標準締付け力の 60%程度)

本締め後、ナットのマーキングのみがズレていればよい



本締め

施工時には、ピンテールの破断とマーキングのズレを確認することにより、所定の軸力が導入されたことを確認する。

<点検のポイント>

ボルトの点検時には以下の点に注意する必要がある。

- ・ 合いマークは、目視によりボルト、ナットのゆるみを確認可能とするための措置であり、その例を図-3.1.27に示す。ここでいう施工後の合いマークは、前述した施工時の締付け管理のためのマーキングのズレの確認とは目的が異なるため注意すること。

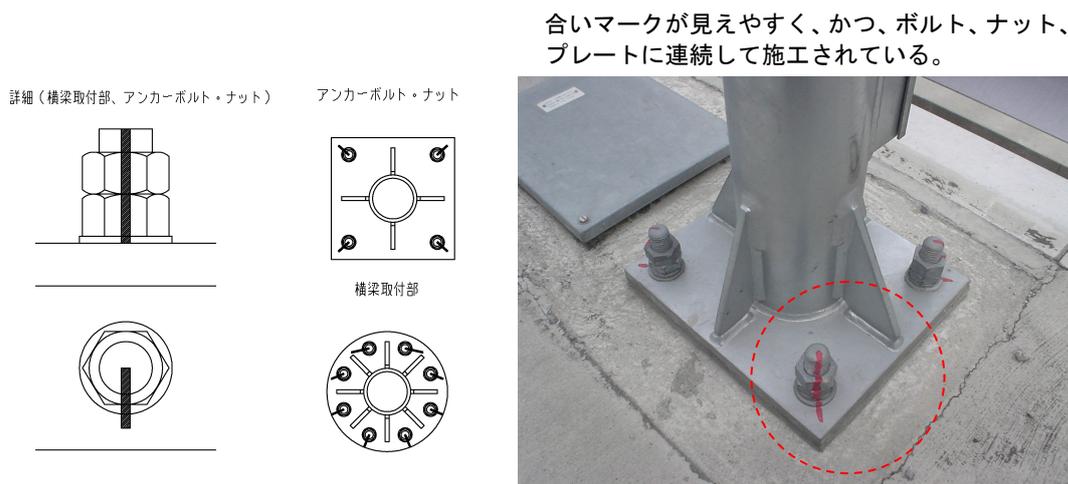


図-3.1.27 合いマークの施工例

- ・ 打音により、ボルトやナットが容易に回転するかどうかだけでなく、座金や連結板周辺のすべり痕の有無についても確認する必要がある。

3.1.5 耐震設計

(1) 耐震性能

橋の耐震性能は、橋全体系の挙動を踏まえた耐震性能 1～3 からなり、表-3.1.9 に示すように定められている。

- ・道示 V では、レベル 1 地震動（供用期間中に発生する確率が高い地震動）とレベル 2 地震動（発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動）の 2 段階の設計地震動を考慮することが定められている。
- ・レベル 2 地震動としては、プレート境界型の大規模な地震によるもの（タイプ I）と内陸直下型地震によるもの（タイプ II）がある。
- ・橋の重要度は、道路種別及び橋の機能・構造に応じて、重要度が標準的な橋（A 種の橋）と特に重要度が高い橋（B 種の橋）の 2 種類に区分されている。

表-3.1.9 橋の要求性能

耐震設計で考慮する地震動		レベル 1 地震動	レベル 2 地震動 タイプ I の地震動：プレート境界型の大規模な地震 タイプ II の地震動：内陸直下型地震	
		橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動	橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動	
橋の耐震性能	ランク	耐震性能 1	耐震性能 2	耐震性能 3
	限界状態	地震によって橋としての健全性を損なわない性能	地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能	地震による損傷が橋として致命的とならない性能
該当する橋の種別 A 種の橋：重要度が標準的な橋 B 種の橋：特に重要度が高い橋		A 種および B 種の橋	B 種の橋	A 種の橋
橋の機能		通行は可能	通行は限定的に可能	通行は困難
耐震設計上の安全性		上部構造および通行車両を確実に支持し、落橋に対する安全性を確保する（上部構造の落橋などの致命的な被害を生じさせない）	上部構造を確実に支持し落橋に対する安全性を確保する（上部構造の落橋などの致命的な被害を生じさせない）	落橋に対する安全性を確保する（上部構造の落橋などの致命的な被害を生じさせない）
耐震設計上の供用性		地震前の同じ橋としての機能を有する（地震前と同様に車両の通行が可能）	地震後橋としての機能を速やかに回復できる（限定的な橋の機能確保）	

(2) 落橋防止システム

- ・橋の複雑な地震応答や流動化に伴う地盤変位等が原因による支承部の破壊により、上部構造と下部構造との間に大きな相対変位が生じる状態に対して、上部構造の落下対策として落橋防止システムを設置しなければならない。
- ・落橋防止システムには、桁かかり長、落橋防止構造及び横変位拘束構造があり、橋の構造形式等に応じて必要な構造を選定する。
- ・桁かかり長は、支承部が破壊したときに、上部構造が下部構造の頂部から逸脱することを防止する機能である。
- ・落橋防止構造は、支承部が破壊したときに、橋軸方向の上下部構造間の相対変位が桁かかり長を超えないようにする機能である。
- ・横変位拘束構造は、支承部が破壊したときに、橋の構造的要因等によって上部構造が橋軸直角方向に変位することを拘束する機能である。

落橋防止システムの形式や機能については、2.2.5を参照のこと。

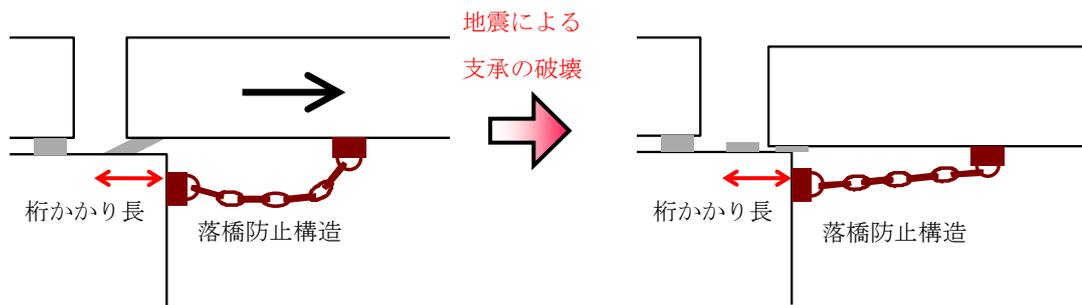


図-3.1.28 落橋防止システムの一例



図-3.1.29 落橋防止構造の機能(地震後)

3.1.6 疲労設計

従来、道路橋の設計においては鋼床版や軌道が併設される場合などの特別な場合を除いて一般には疲労の影響を考慮しなくてもよいこととされていた。

しかし、近年では、主桁への部材の取り付け部や、鋼製橋脚の隅角部等様々な部材、部位で重大な疲労亀裂の発生が報告されるようになり、厳しい重交通の実態等から将来の疲労損傷の増加が懸念されたこと、一方で、疲労設計に関する知見が蓄積されてきたことを踏まえて、2002年（平成14年）に改定された道路橋示方書では、疲労設計を行うことが新たに規定された。以下に鋼橋の疲労設計の変遷を示す。

- ①1997年（平成9年）：「鋼橋の疲労、（社）日本道路協会」が発刊された。
- ②2002年（平成14年）：「道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編」において、鋼橋の設計にあたっては、疲労の影響を考慮することとされた。鋼橋の疲労設計の基本的な考え方と具体的方法は、同時に発刊された「鋼道路橋の疲労設計指針」（日本道路協会）にとりまとめられた。
- ③2012年（平成24年）：「道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編」において、「疲労設計」の章が設けられ、照査方法、疲労強度が規定された。

鋼材の疲労とは、**図-3.1.30**に示す引張試験で得られるような材料の降伏応力より低い応力であっても、それを繰り返し受けることで亀裂が生じ、又は、このようにダメージが蓄積されて亀裂が発展していく現象をいう。亀裂の破壊の発生状況は、繰り返し作用する応力の変動の範囲や振幅及び繰り返し回数、構造的な応力集中部又は溶接部の形状や溶接欠陥等に起因する応力集中の影響、溶接による残留応力の有無などによって異なってくる。

繰り返される応力の元になる外力は、橋の場合、自動車の走行による自動車荷重、風による振動などがある。

また、応力集中の元になる構造的な応力集中部は、溶接継手部や、部材形状の変化部（切欠き部、隅角部など）がある。**図-3.1.31～図-3.1.35**に、鋼橋で用いられる溶接継手の例を示す。

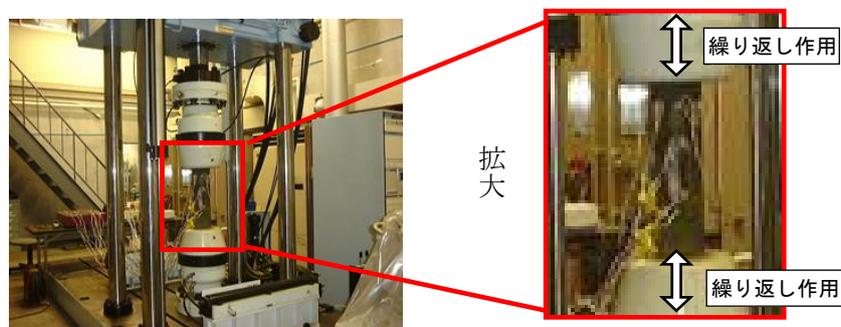


図-3.1.30 鋼材の疲労試験

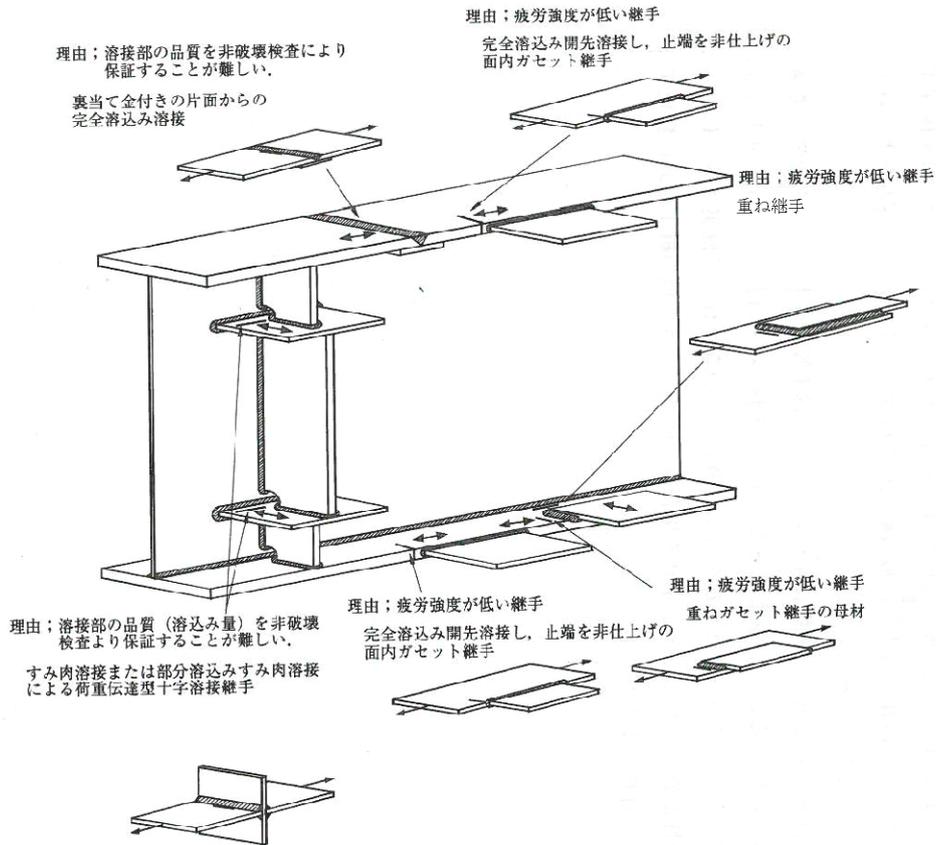


図-3.1.31 鋼鈹桁橋に用いられる継手の例^{3.4)}

カバープレートをすみ肉溶接で取付けた継手 良好な形状の真波を有する片面からの完全溶込み溶接 (1) すみ肉溶接した面外ガセット継手 (2) 完全溶込み開先溶接した面外ガセット継手 すみ肉溶接による荷重非伝達型十字溶接継手

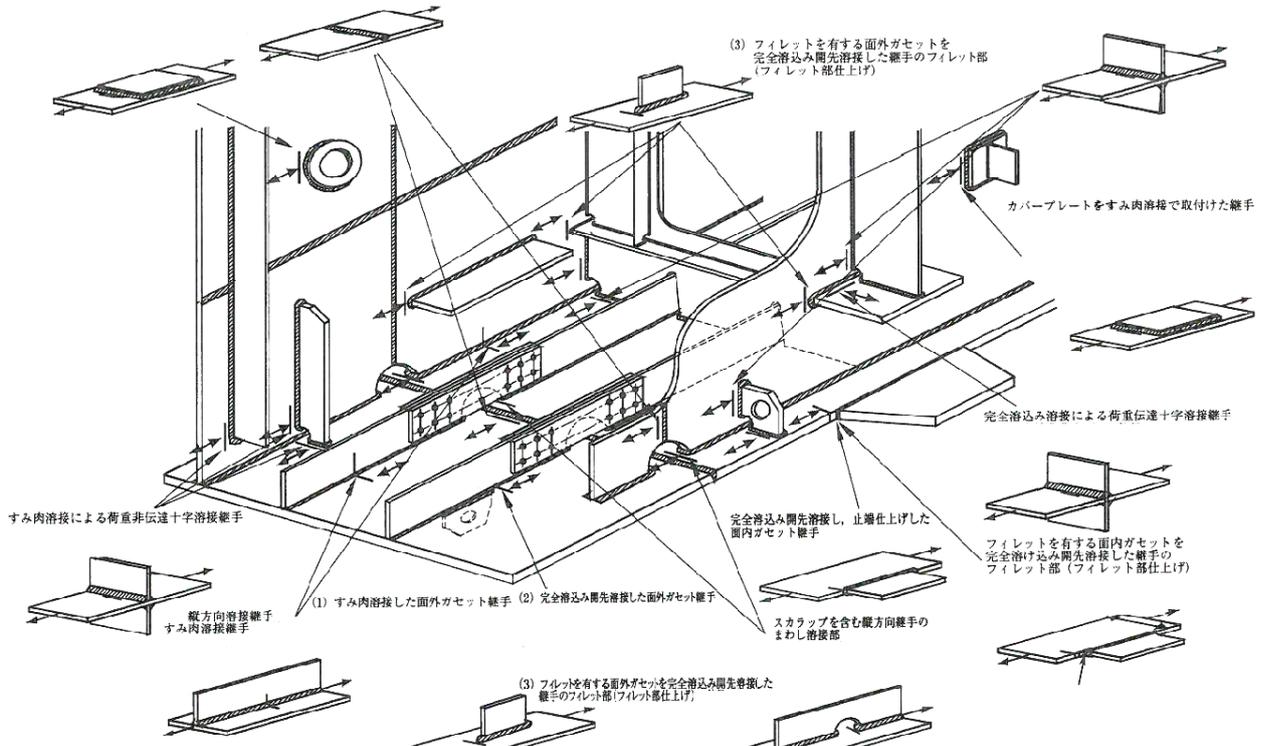


図-3.1.32 鋼箱桁橋に用いられる継手の例^{3.5)}

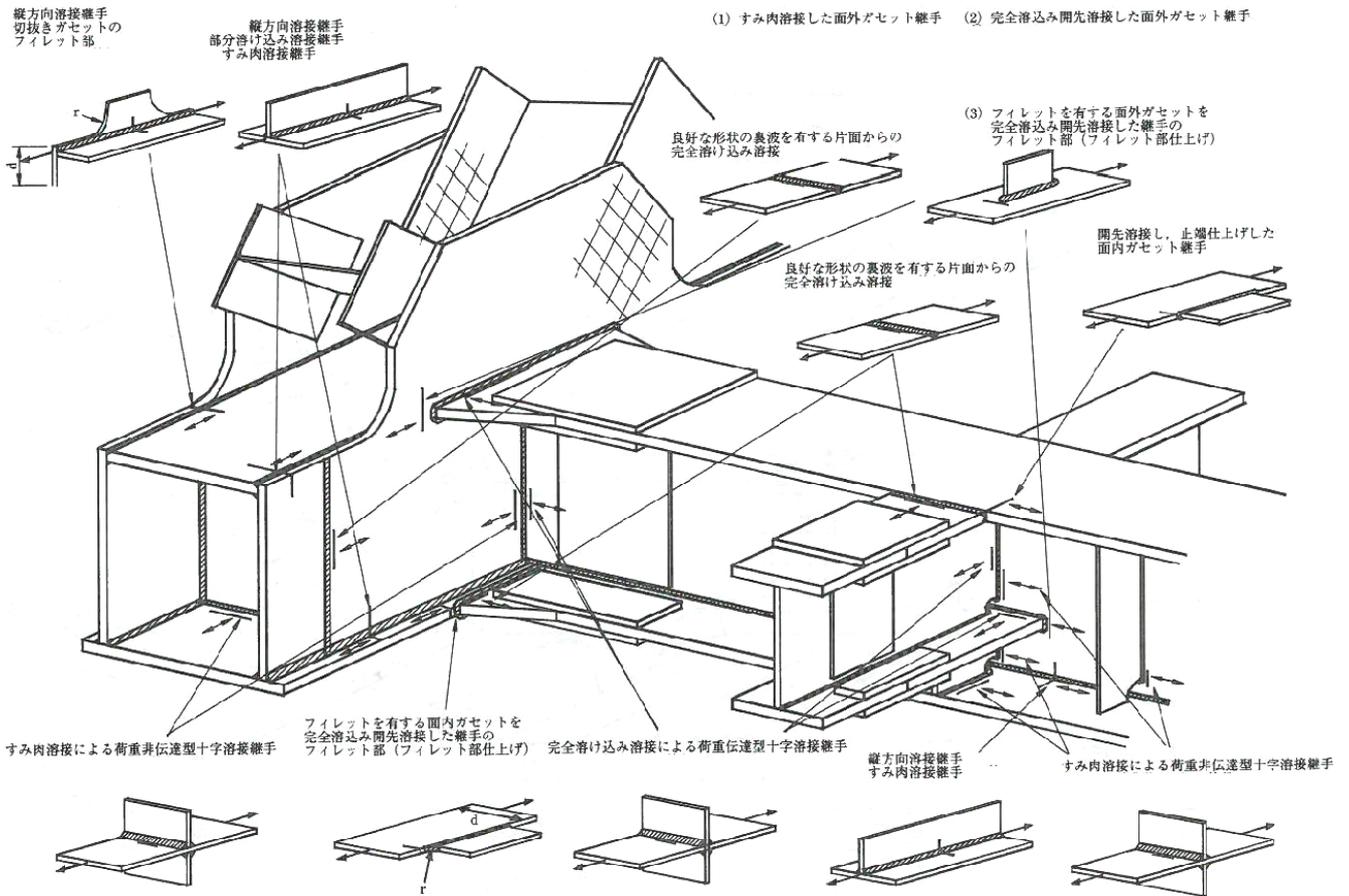


図-3.1.33 鋼トラス橋に用いられる継手の例^{3.5)}

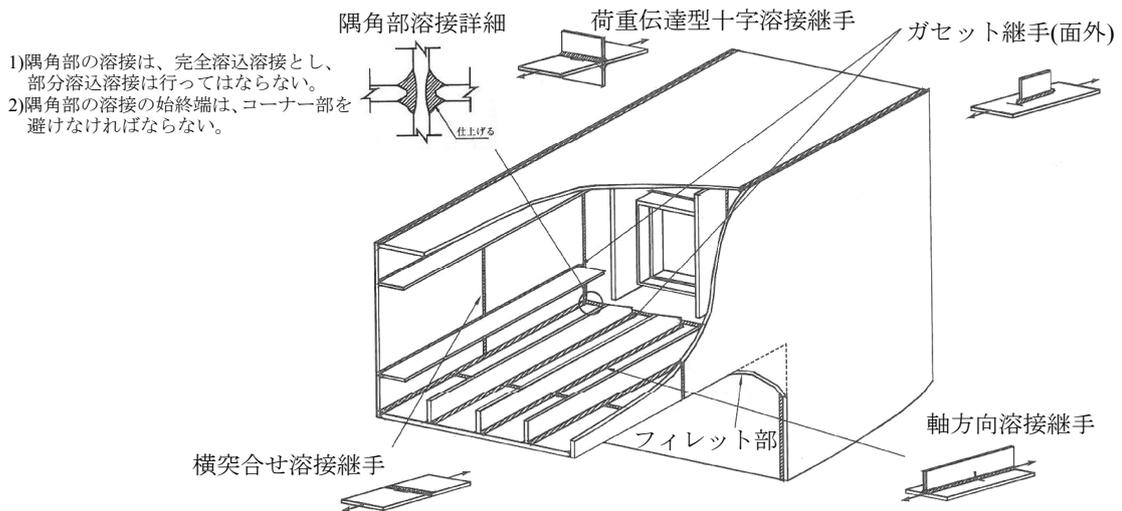


図-3.1.34 鋼製橋脚に用いられる継手の例^{3.3)}

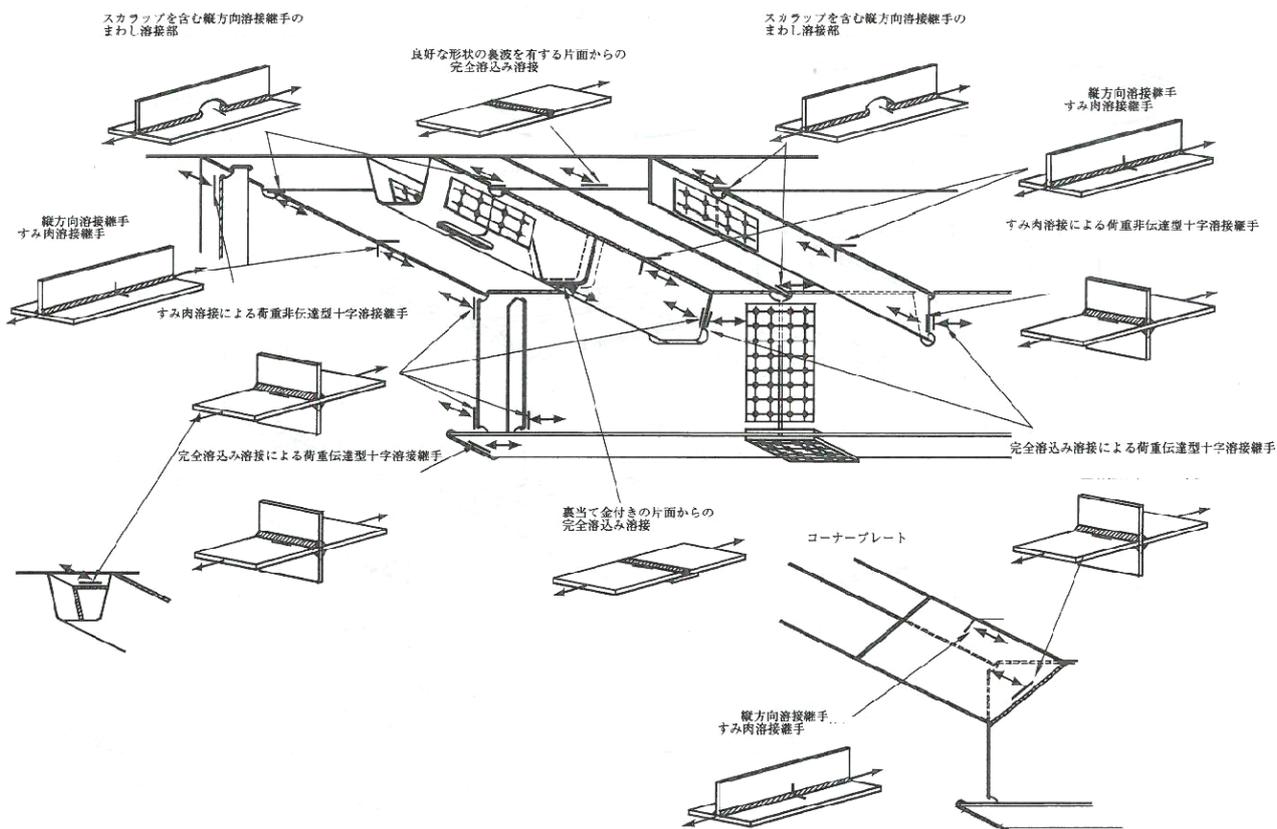


図-3.1.35 鋼床版に用いられる継手の例^{3.5)}

疲労現象は、一般に外力とその繰返し回数の関係で表現することができる。図-3.1.36に示すように、外力は、疲労亀裂が発生する箇所に作用する応力の振れ幅（応力範囲と呼ぶ）により整理される。

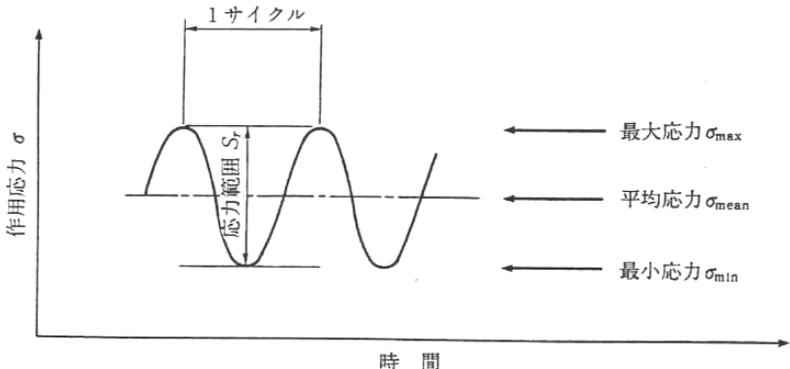


図-3.1.36 作用応力範囲^{3.3)}

図-3.1.37は、溶接継手試験体に一定振幅の応力を繰り返し作用させた場合の、破断に至るまでの回数（破断寿命）を両対数紙上に整理したものである。図中の各点は当該応力範囲で試験体に繰り返し応力を与えた場合の状態を表しており、破断に至るか否かの閾値（境界）を疲労寿命曲線（S-N（エスエヌ）線）として定義している。一定振幅の応力下での試験結果では、両対数紙上において一般に右下がりの直線の傾向を示し、破断寿命Nが応力範囲Sのべき乗（3～5乗程度）と反比例関係にある。また、鋼材の場合には図-3.1.37の例に示すように、応力範囲が小さくなると繰り返し数をいくら大きくしても亀裂が発生または進展しなくなる応力範囲が存在する。この応力範囲を疲労限と呼んでおり、これがS-N線の水平部分に相当する。

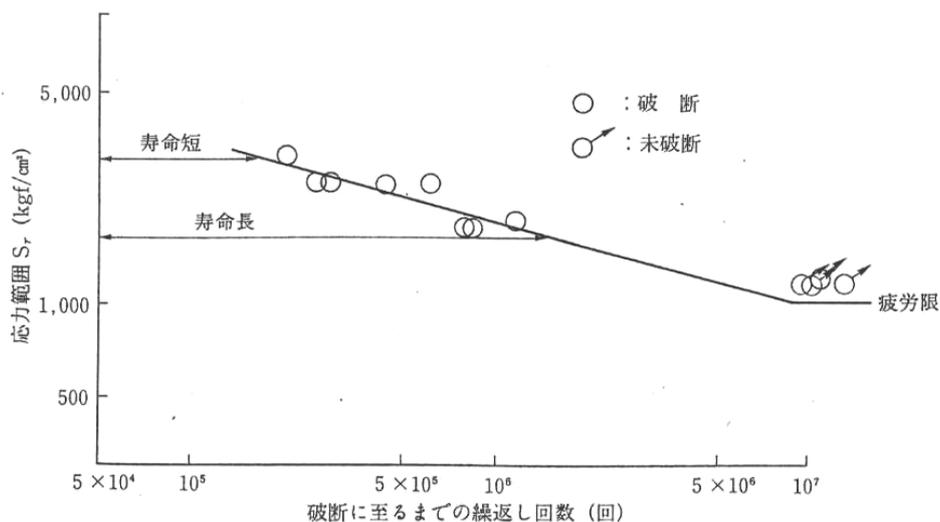


図-3.1.37 S-N線図による実験結果の整理のイメージ図^{3.3)}

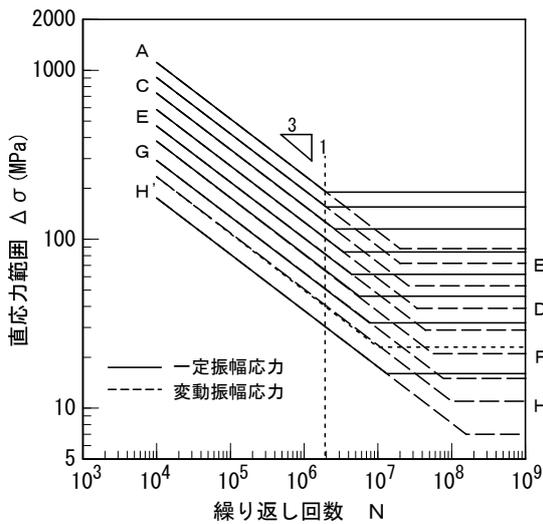
上記の疲労寿命曲線を、継手に作用する応力範囲 S_r と継手の寿命 N_f を用いて、整理すると次式のような形で表現できる。

$$S_r^m \cdot N_f = C \quad (C : \text{一定}) \quad (3.4.1)$$

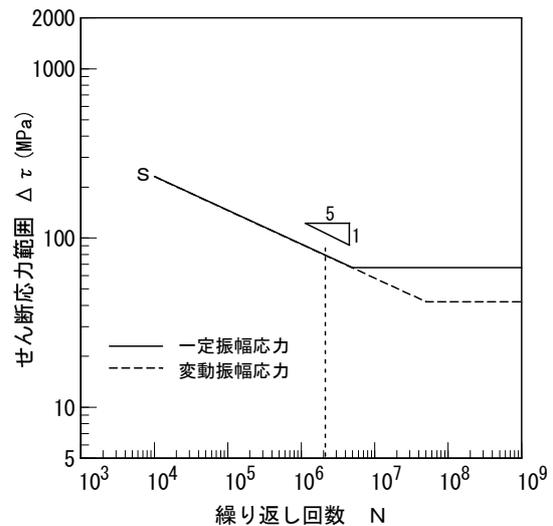
(ただし、 $S_r > \text{疲労限}$)

鋼材では、一般に式(3.4.1)に対して、直応力に対する m を3、せん断応力に対して5とされている(図-3.1.38)。

なお、実際の疲労現象には種々の要因が関係しており、同じ条件で試験を行っても結果は相当の範囲でばらつくのが通常であり、疲労照査に用いるための疲労寿命曲線を設定する際には多数の実験結果をもとに十分な検討が必要である。設計に関する疲労設計曲線の例を図-3.1.38に示す。



直応力を受ける継手の疲労設計曲線



せん断応力を受ける継手の疲労設計曲線

図-3.1.38 疲労設計曲線の例^{3.5)}

なお、一般に疲労強度を表すときに用いられることが多い 200 万回疲労強度（繰返し数 200 万回で継手が破断に至る場合の応力範囲）はあくまで S-N 線を相対的に比較する等のために用いる代表値の 1 つであり、鋼材の溶接部に対して 200 万回という数字は個々の継手の疲労寿命とは直接的には関係がないと考えてよい。

図-3.1.39 は溶接継手の溶接止端部から発生した疲労亀裂の例である。図-3.1.40 は溶接止端部から発生進展した亀裂の破面を示したものである。疲労亀裂は、応力集中部となる、溶接の止端部（溶接線の端部）や始末端（一連の作業で行われる溶接線の始まりと終わり；図-3.1.41）あるいは、溶接部の内部きずなどが始点となって進展することが多く、亀裂の進展にしたがって年輪のようにみえるしま模様（ビーチマークと呼ぶ）が残ることが特徴である。

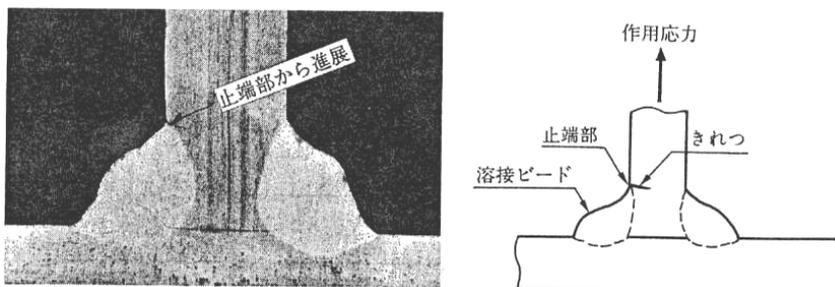


図-3.1.39 溶接止端部から発生した疲労亀裂^{3.3)}



図-3.1.40 継手試験体の溶接止端部から発生した亀裂の進展状況^{3.3)}

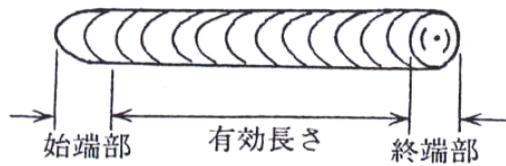


図-3.1.41 溶接の始終端^{3.3)}

(1) 疲労強度に関する影響要因

i) 応力集中の影響

鋼橋のように種々の部材が溶接で組合わされた構造部材の疲労強度は、構造的な応力集中や溶接部の形状等による局所的な応力集中に支配される。

図-3.1.42 は溶接継手部の応力集中について模式的に示したものである。亀裂の起点となる溶接止端部に作用する応力は、公称応力と比べて、①継手全体の力の流れの不連続性に依存する構造的な応力集中と、②溶接部分のごく近傍の溶接ビード形状に依存する局所的な応力集中の影響により高くなる。

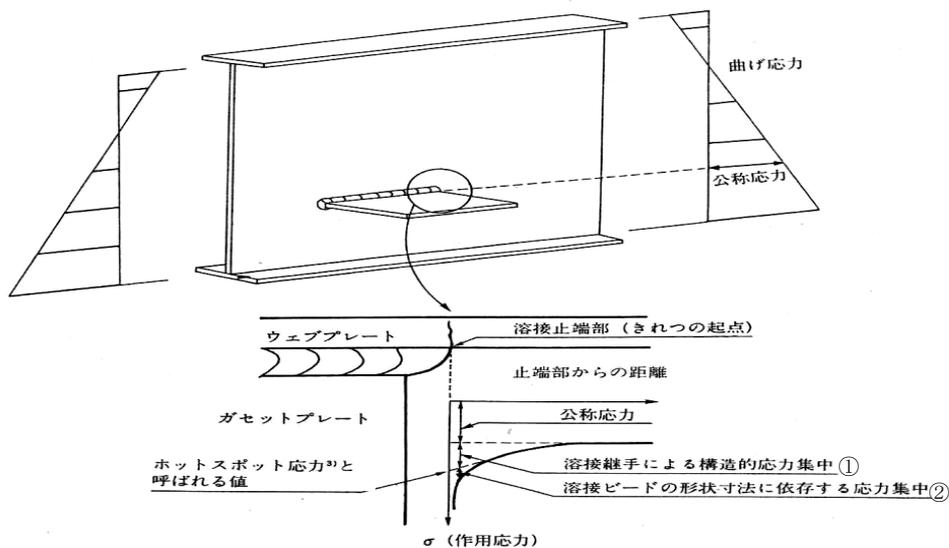


図-3.1.42 溶接継手部の応力集中の影響^{3.3)}

通常疲労設計に用いられる強度等級は、設計応力と対応できるよう公称応力に基づいて定義されている。このとき止端部の形状や仕上げの程度などの諸条件によってそれぞれ疲労強度が異なることに注意が必要である。

ii) 溶接残留応力と溶接欠陥の影響

溶接部には一般に降伏点に近い引張応力が内部応力として残留しており、このような場合には外力による圧縮応力が作用しても、内部応力との和として結果的に引張側の応力が繰返し作用していると考えられる(図-3.1.43)。したがって、疲労設計においてはその継手が静的な設計において圧縮が卓越するかどうかにかかわらず変動する応力の振幅を支配的な要因であるとして扱う。

一方、溶接部に生じる融合不良、われ、アンダーカット、ブローホール等の欠陥は、それらが応力集中の原因となって疲労強度を低下させる。

なお、通常想定される以上の極端な残留応力の存在や一定水準以上の溶接欠陥の存在は疲労強度の設定や各種の補正係数などで考慮されておらず、製作にあたっては、施工品質の確保や適切な品質検査によって溶接部に良好な品質が得られるよう十分な配慮が必要である。

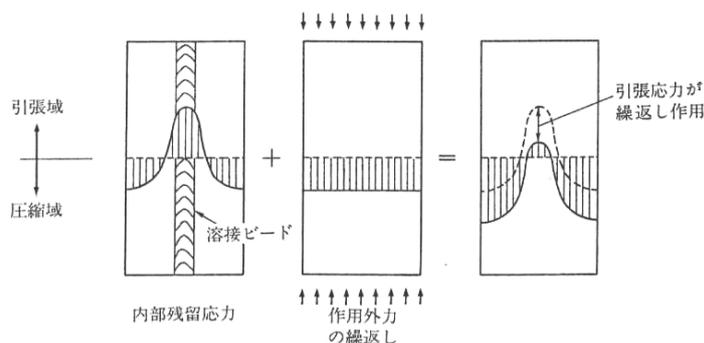


図-3.1.43 溶接残留応力の影響 (模式図) 3.3)

iii) 耐久性上望ましくない溶接継手の例

過去の試験結果や、実際の橋で観察された亀裂のケーススタディなどから分かっている、現在、耐久性上望ましくないとされている溶接継手の例を図-3.1.44～図-3.1.48に示す。

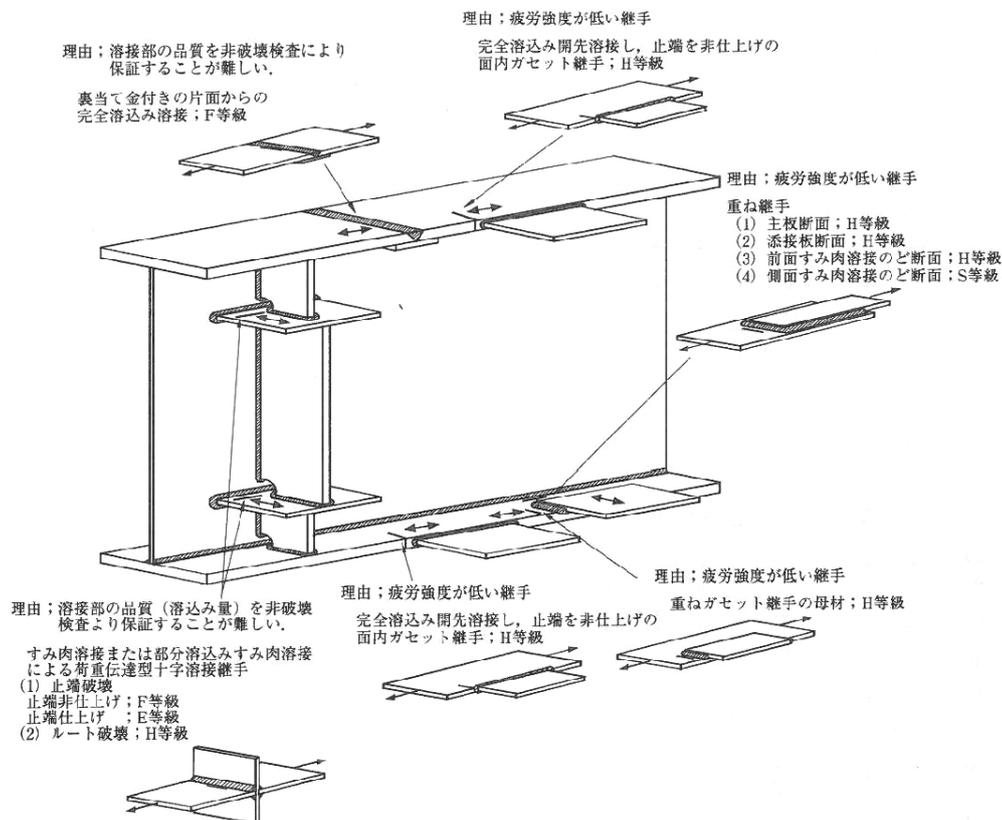


図-3.1.44 過去に鋼桁橋に用いられたが疲労上望ましくない継手の使用例^{3.5)}

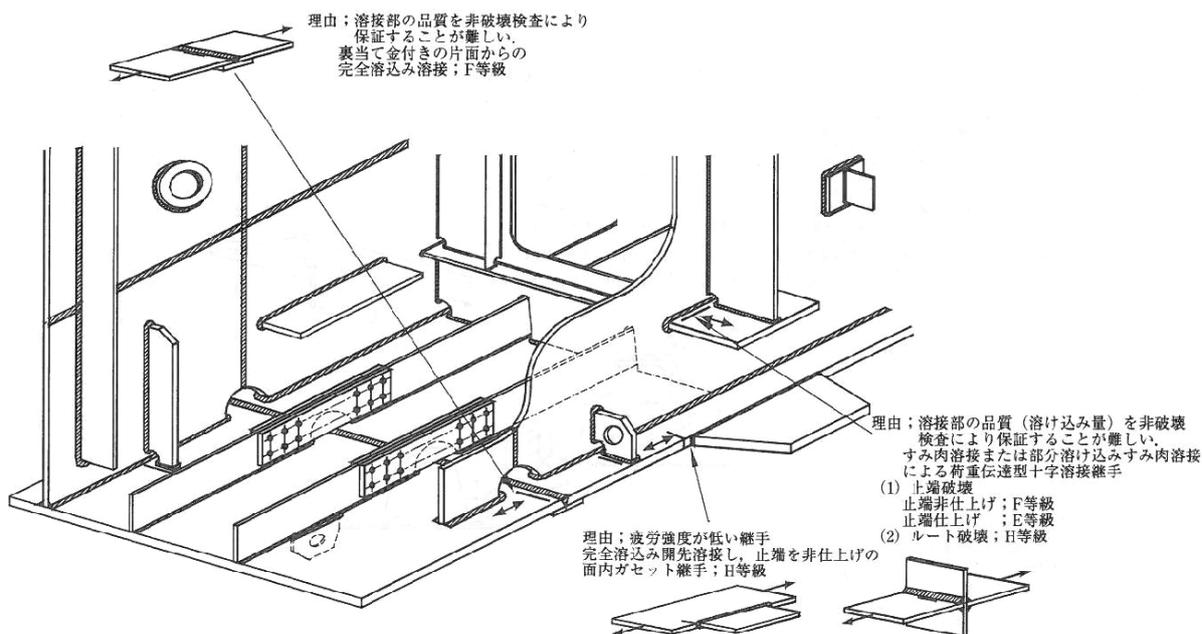


図-3.1.45 過去に鋼箱橋に用いられたが疲労上望ましくない継手の使用例^{3.5)}

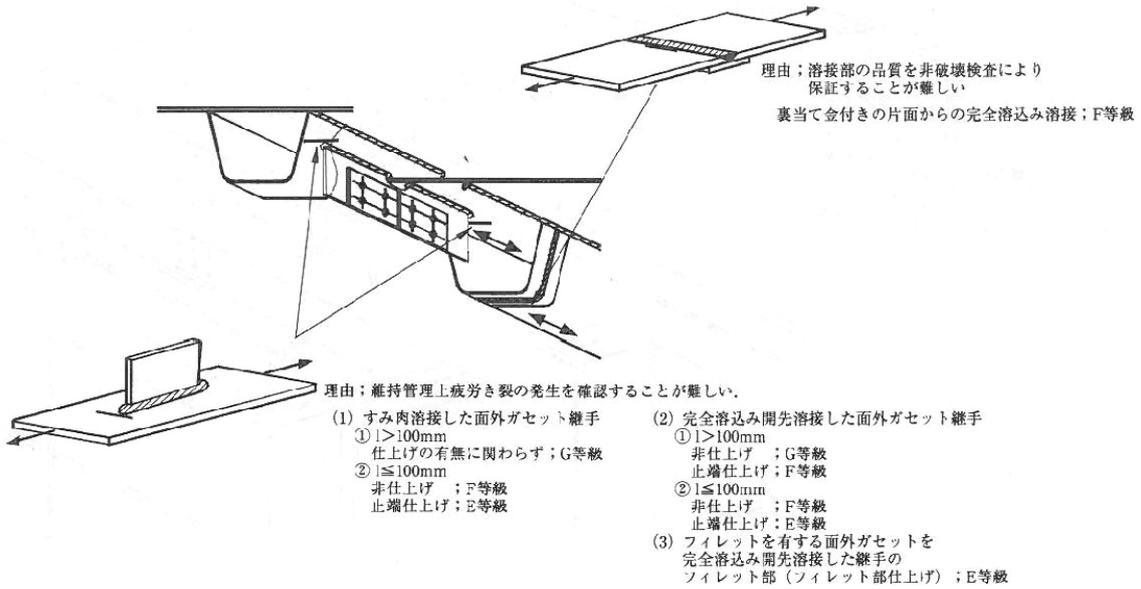
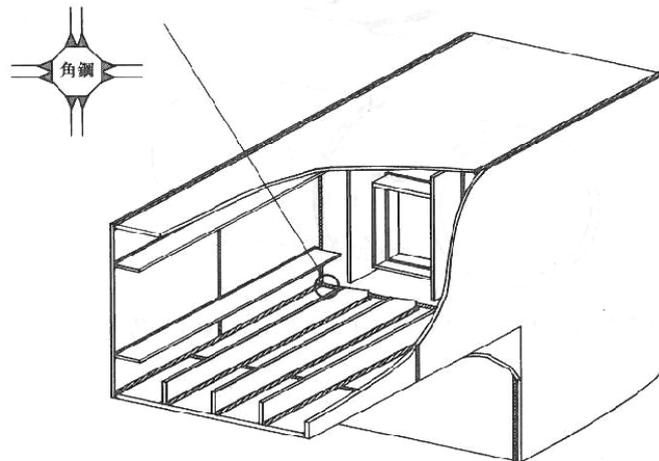
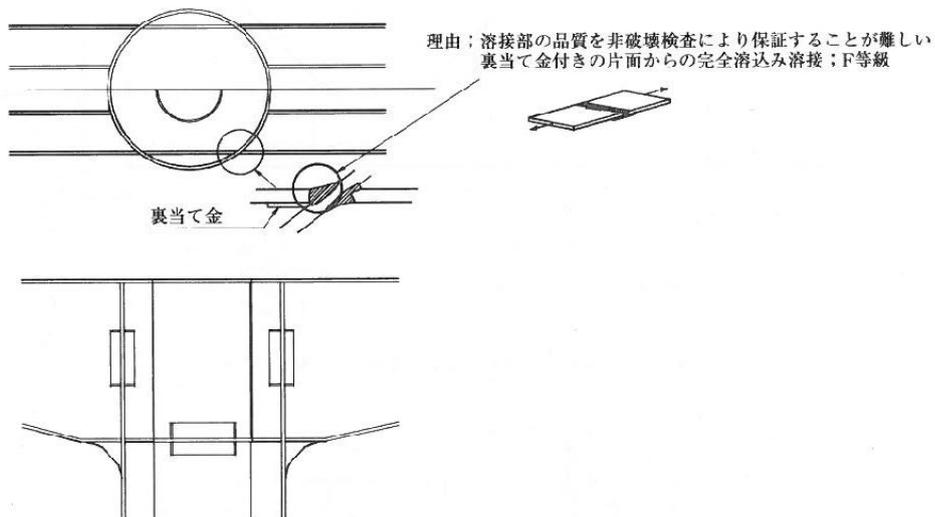


図-3.1.46 過去に鋼床版に用いられたが疲労上望ましくない継手の使用例^{3.5)}

隅角部の構造として下図のような角鋼を用いたディテール
角鋼ではじん性などの品質確保が困難（圧延鋼材から切出すことが望ましい。）、拘束度が大きい場合、角鋼内部が割れることがある。
（溶接後、角鋼においても非破壊検査を行うことが望ましい。）



(a) 角形柱を用いた鋼製橋脚の隅角部の例



(b) 円形柱を用いた鋼製橋脚の隅角部の例

図-3.1.47 過去に鋼製橋脚に用いられたが疲労上望ましくない継手の使用例^{3.5)}

理由：溶接部の品質を非破壊検査により
保証することが難しい。

裏当て金付きの片面からの完全溶込み溶接；F等級

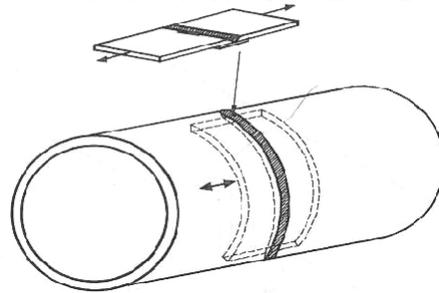


図-3.1.48 過去に鋼管構造に用いられたが疲労上望ましくない継手の使用例^{3.4)}

3.2 橋の設計基準の変遷

ここに示す他には、例えば「橋梁技術の変遷 鹿島出版会」^{3,5)}が参考になる。

3.2.1 橋の設計に用いる荷重（作用）の変遷

(1) 活荷重（車両）

表-3.2.1 技術基準の改定の概要

	年・月	名称	内容
1	M19. 8 (1886)	道路築造保存方法	等分布荷重 455kg/m ²
2	T8. 12 (1919)	道路構造令、街路構造令	群集荷重 490kg/m ² 車両荷重 国道 7. 875t 府県道 6. 375t
3	T15. 6 (1926)	道路構造に関する細則	1等橋、2等橋、3等橋の規定 材料、荷重、許容応力度（及び割増）の規定 群集荷重 600kg/m ² 自動車荷重 12 t（1等橋） 衝撃荷重の規定
4	S14. 2 (1939)	鋼道路橋設計示方書	1等橋、2等橋の規定に変更 等分布荷重 500kg/m ² 自動車荷重 13 t（1等橋） 衝撃荷重の見直し
5	S31. 5 (1956)	鋼道路橋設計示方書	床及び床組みの設計のための T-20 荷重の規定（1等橋） 主桁の設計のための L-20 荷重の規定（1等橋） 自動車荷重 20t（1等橋）を想定し規定 等分布荷重 350kg/m ²
6	S39. 8 (1964)	鋼道路橋設計示方書	適用支間 150m以下 活荷重の載荷方法に関して主載荷幅 5. 5mと残りの部分に分割
7	S47. 3 (1972)	道路橋示方書	適用支間 200m以下
8	S48. 4 (1973)	特定の路線にかかる橋、高架の道路等の設計荷重	TT-43 の規定
9	S55. 2 (1980)	道路橋示方書	TT-43 荷重の規定
10	H5. 11 (1993)	道路橋示方書	1等橋、2等橋の区分の廃止 活荷重の変更（A活荷重、B活荷重） T荷重、L荷重の載荷方法の規定の見直し 自動車荷重 25t 想定し規定

(2) 地震

詳しくは「震災対策便覧 (社)日本道路協会」^{3,6)}を参照のこと。

表-3.2.2 技術基準の改定の概要

	年・月	名称	内容
1	T15.6 (1926)	道路構造に関する細則	最強地震力を考慮 (ただし具体的な数値、計算方法は示されず)
2	S14.2 (1939)	鋼道路橋設計示方書案	水平加速度 0.2g 及び鉛直加速度 0.1g を標準
3	S31.5 (1956)	鋼道路橋設計示方書	水平震度を 0.10~0.35 とし、地域別、地盤別に 9 種類に分類して規定
4	S46.3 (1971)	道路橋耐震設計指針	震度法 (地域別、地盤別、重要度の補正係数を考慮) による耐震計算、応答を考慮した修正震度法、設計水平震度 (0.1~0.3) 液状化の可能性を土質特性等より判定し、液状化する土層の支持力を無視する
5	S55.5 (1980)	道路橋示方書 V耐震設計編	地震時変形性能の照査法 動的解析の位置づけを行い、設計地震入力を規定
6	H2.2 (1990)	道路橋示方書 V耐震設計編	震度法と修正震度法を統合し、新たに震度法 (地域別、地盤別、重要度別、固有周期、の補正係数を考慮) による耐震計算、設計水平震度 0.1~0.3、連続橋の耐震設計法を規定、地震時保有水平耐力の照査を規定 (設計震度 0.7~1.0)、動的解析による安全性の照査法を規定
7	H7.5 (1995)	兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様	地震の影響の大きい部材 (RC 橋脚、鋼製橋脚、基礎、支承等) に対する地震時保有水平耐力の照査の実施 (設計震度 1.5~2.0)、動的解析による兵庫県南部地震に対する安全性の照査、免震設計の採用、ねばり強い構造のための配筋細目等
8	H8.12 (1996)	道路橋示方書 V耐震設計編	兵庫県南部地震の地震動を設計地震動として規定 地震の影響の大きい部材 (RC 橋脚、鋼製橋脚、基礎、支承等) に対する地震時保有水平耐力による耐震設計を実施 液状化が生じる場合の耐震設計法、流動化に対する取り扱いの規定 免震設計法の具体的な規定 鉄筋コンクリートラーメン橋脚の地震時保有水平耐力法の規定 コンクリートを充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力及び変形性能の算定方法の規定、地震時保有水平耐力法に基づく基礎の耐震設計法の規定、支承の地震時の設計法、落橋防止システムの規定
9	H14.3 (2002)	道路橋示方書 V耐震設計編	レベル 1 地震動、レベル 2 地震動の規定、修正物部岡部式に基づくレベル 2 地震時の主導土圧の評価式及びレベル 2 地震時の動水圧の評価方法を導入 液状化地盤上の橋台基礎の照査方法の規定、鋼製橋脚の耐力~変形性能の評価法の見直し、鋼上部構造、コンクリート上部構造に対する耐震性能照査の考え方を規定、レベル 2 地震動に対する支承部の耐力・変形性能の評価法の見直し
10	H24.3 (2012)	道路橋示方書 V耐震設計編	レベル 2 地震動 (タイプ I) の見直し、地震の影響を支配的に受ける部材に要求する基本事項の明示、SD390、SD490 の軸方向鉄筋としての適用、構造の合理化、落橋防止システムの規定の見直し

例えば、点検に際しては以下の点に注意が必要である。

- ・昭和 55 年道路橋示方書より古い基準を適用した RC 橋脚などで、補強が行われていない場合、地震時に鉄筋の段落し部における曲げせん断破壊による損傷の恐れがある。

《メモ》

- ① 震度法：地震の影響によって構造物及び地盤に生じる作用について、震度を用いた静的な(または振動しない)荷重に置き換えて耐震性能の照査を行う方法のこと。平成 2 年以前の道路橋示方書では、実際の構造物の固有周期を考慮した設計法を修正震度法とし分けられていたが、平成 2 年の道路橋示方書より修正震度法を含めて震度法として規定された。
- ② 地震時変形性能：地震の影響に対して、たとえ部材の一部が降伏しても部材が著しく強度を失うことなく変形し得る能力のこと。
- ③ 地震時保有水平耐力：構造物の塑性域の地震時水平耐力や変形性能、エネルギー吸収を考慮して静的に耐震性能を照査する方法のこと。
- ④ 免震設計：免震支承を用いて橋の固有周期を適度に長くするとともに、減衰性能の増大を図って慣性力の低減を期待する耐震設計のこと。
- ⑤ 液状化：地震動による間げき水圧の急激な上昇により、飽和した砂質土層がせん断強度を失い、土の構造に破壊が生じること。
- ⑥ 流動化：液状化に伴い、地盤が水平方向に移動すること。
- ⑦ レベル 1 地震動：橋の耐震設計において、橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動のこと。
- ⑧ レベル 2 地震動：橋の耐震設計において、橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動のこと。レベル 2 地震動には、プレート境界型の大規模な地震を想定したタイプ I の地震動と内陸直下型地震を想定したタイプ II の地震動の 2 種類が設定されている。

3.2.2 鋼橋の技術基準の変遷

表-3.2.3 技術基準の改定の概要

	年・月	名称	内容
1	T15.6 (1926)	道路構造に関する細則	許容応力度（及び割増）の規定 部材の細長比、鋼材は建築用鋼（St39）
2	S14.2 (1939)	鋼道路橋設計示方書案	支間 120m 以下 鋼材は SS41 及び SV34 たわみ 1/600（桁）1/800（トラス）
3	S15.4 (1940)	電弧溶接道路橋設計及び製作示方書	適用対象 SS41 溶接材料、溶接機械、溶接の方法、溶接部の寸法、応力計算等の規定
4	S31.5 (1956)	鋼道路橋設計示方書	鉄筋コンクリート床版設計活荷重の規定 床版配力筋は主筋の 25%以上
5	S32.7 (1957)	溶接鋼道路橋示方書	SM41 の規定 合成応力に対する許容応力度規定
6	S34.8 (1959)	鋼道路橋の合成桁設計施工指針	鋼単純合成桁を対象 床版コンクリート 240 kg/m ² 以上
7	S39.6 (1964)	鋼道路橋設計示方書	50 キロ高張力鋼規定 SS50、SM50、SV41 の規定、たわみ制限の緩和
8	S39.5 (1964)	溶接鋼道路橋示方書	鋼床版構造を規定 現場溶接の許容応力度（工場の 90%）
9	S41.7 (1966)	鋼道路橋高力ボルト摩擦接合設計施工指針	使用ボルト F9T、F11T 設計計算はリベットと同様
10	S48.2 (1973)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	従来の鋼道路橋設計示方書、鋼道路橋製作示方書等を統合し、さらにアーチ、ケーブル、鋼管構造、ラーメン構造を新設 高力ボルト新設 床版関係を大幅に改訂整備
11	S55.2 (1980)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	SM58 材の許容応力度改訂 板と補剛板の局部座屈の考慮（許容応力度規定） 高力ボルト摩擦接合継手の設計法の改訂 合成桁のスタッドに関する規定 アーチ橋の変位の影響の考慮と終局強度の照査
12	H2.2 (1990)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	RC 床版厚の改訂 斜張橋ケーブル安全率の変更（3.5→2.5） 現場溶接部の検査と許容応力度の関係定義
13	H5.11 (1993)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	活荷重の変更に伴う RC 床版の設計規定を改訂 鋼床版の設計規定を変更 床組みにおける縦桁の設計規定を変更
14	H8.12 (1996)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	適用板厚 50mm→100mm SS 材の溶接の禁止 溶接時の余熱温度判定法を $C_{eq} \rightarrow P_{cl}$ に改訂 主要部材の連結部における母材の全強 75%規定 高力ボルトの耐力点法締め付けを規定
15	H14.3 (2002)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	疲労の影響を考慮 高力ボルト引張接合継手の規定 プレストレストコンクリート床版 超音波探傷試験による内部傷検査の規定 鋼床版の製作・施工に関する規定
16	H24.3 (2012)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	疲労設計の規定化 鋼床版デッキプレート 16mm に厚板化 鋼部材の圧縮強度（箱断面柱）の改訂 無機ジンク塗装仕様の高力ボルト摩擦接合継手の改訂

例えば、点検に際しては以下の点に注意が必要である。

- ・高力ボルト F11T、F13T が昭和 40 年代に使用され始めたが、突然脆性的に破壊（遅れ破壊）した脱落事故が相次いだ。道路橋示方書では昭和 55 年に削除されているが、古い橋では使用されているものも残っており、点検時には特に注意する必要がある。

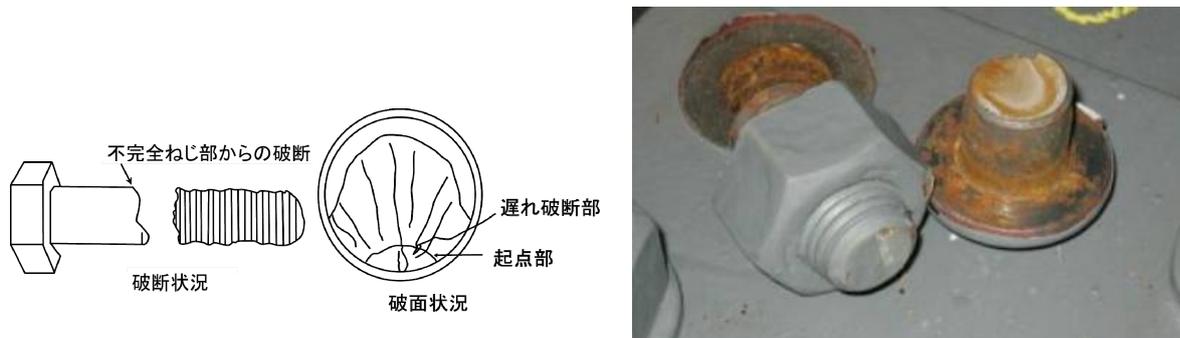


図-3.2.1 高力ボルト（F11T）の遅れ破壊



図-3.2.2 遅れ破壊が生じたボルトが脱落した接合部の例

表-3.2.4 技術基準の改定の概要（溶接）

	年・月	名称	内容
1	S39.5 (1964)	溶接鋼道路橋示方書	定量的な規定がない ・外観、形状は有害な欠陥があってはならない。 ・材片の組み合わせ精度は、著しい誤差がないようにする。
2	S47.10 (1972)	鋼道路橋施工便覧	定量的な規定の設定 ・溶接ビードの表面の凹凸は、ビード長さ 25mm の範囲における高低差が 3mm を越えてはならない ・アンダーカットの深さの規定 a. 主要部材の材片に働く一次応力に直交するビードの止端部（許容値 0.3mm） b. 主要部材の材片に働く一次応力に平行なビードの止端部（許容値 0.5mm） c. 二次部材のビードの止端部（許容値 0.8mm）
3	S48.2 (1973)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	定量的な規定の設定 ・グループ溶接 1) ルート間隔の誤差：規定値±1.0mm 以下 2) 板厚方向の材片の偏心：薄い方の板厚の 10%以下 3) 裏当金を用いる場合の密着度：0.5mm 以下 4) 開先角度：規定値±10° ・すみ肉溶接 材片の密着度：1.0mm 以下
4	H14.3 (2002)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	超音波探傷試験による内部傷検査の規定 鋼床版の製作・施工に関する規定
5	H24.3 (2012)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	施工品質に関する規定を充実

例えば、点検に際しては以下の点に注意が必要である。

- ・昭和 47 年以前では、溶接の検査では定量的な規定がないため、品質の確認方法で客観的な判断基準の統一が図られていない可能性があるため、点検時には注意する必要がある。

表-3.2.5 技術基準の改定の概要 (RC 床版)

	年・月	名称	内容
1	S31.5 (1956)	鋼道路橋設計示方書	T 荷重=80KN 主鉄筋方向の曲げモーメント式の規定 (衝撃は別途考慮) 配力鉄筋量は主鉄筋の 25%以上 鉄筋の許容応力度 140N/mm ² (SR24) 最小床版厚=140mm
2	S39.6 (1964)	鋼道路橋設計示方書	鉄筋の許容応力度 180N/mm ² (SD30)
3	S42.9 (1967)	鋼道路橋の一方向鉄筋 コンクリート床版の配 力鉄筋量設計要領	配力鉄筋量は主鉄筋の 70%以上
4	S43.5 (1968)	鋼道路橋の床版設計に 関する暫定基準 (案)	鉄筋の許容応力度 140N/mm ² (SD30) 最小床版厚=30L+110≧160mm
5	S46.3 (1971)	鋼道路橋の鉄筋コンク リート床版の設計につ いて	T 荷重=80KN (大型車 1 方向 1000 台/日以上の場合 20%増し) 曲げモーメント式の見直し 配力筋方向の曲げモーメント式の規定
6	S48.2 (1973)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	同上
7	S53.4 (1978)	道路橋の鉄筋コンク リート床版の設計施工に ついて	鉄筋の許容応力度 140N/mm ² (SD295) 20 程度の余裕 をもたせる 最小床版厚=k1・k2・d ₀ d ₀ =30L+110≧160mm k1=1.0~1.25 (大型車交通量、補修難易、合成・ 非合成による) k2: 付加曲げモーメントが生じる場合の割増
8	S55.2 (1980)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	同上
9	S59.2 (1984)	道路橋鉄筋コンク リート床版の設計施工指針	最小床版厚=k1・k2・d ₀ d ₀ =30L+110≧160mm k1=1.1~1.25 (大型車交通量による)
10	H2.2 (1990)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	同上
11	H5.11 (1993)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	活荷重の変更に伴い床版の規定を改訂 T 荷重=100KN B 活荷重の場合に曲げモーメント式の割増係数考慮
12	H8.12 (1996)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	同上
13	H14.3 (2002)	道路橋示方書 Ⅱ 鋼橋編	PC 床版の規定

昭和 46 年の道路局長通達とその内容を受けた昭和 47 年道示で RC 床版の設計法が大幅に改訂されている。その後設計された RC 床版と比較すると、それ以前に設計された RC 床版は、床版厚が薄く配力鉄筋量が主鉄筋量の 25%しか入っていないなど、疲労耐久性も低く、一部コンクリートが抜け落ちるなどの損傷事例も報告されている。

表-3.2.6 技術基準の改定の概要（塗装）

	年・月	名称	内容
1	S46.12 (1971)	鋼道路橋塗装便覧	海岸、田園、都市、工業地帯の分類にて塗装系を選定
2	H2.6 (1990)	鋼道路橋塗装便覧	環境の厳しさに応じた塗装系を選定 施工管理と維持管理の手法の見直し
3	H17.12 (2005)	鋼道路橋塗装・防食便覧	塗装仕様は、厳しい腐食環境に耐え、耐久性に優れる塗装系を基本 塗装以外の防食技術についての記述を追加
4	H26.3 (2014)	鋼道路橋防食便覧	近年得られた知見、実績等より、塗装仕様、素地調整、点検及び診断、塗替え方法、有害物質処理、留意事項等を見直し 耐候性鋼材、金属溶射の適用、施工方法、留意事項を見直し

表-3.2.7から表-3.2.9に一般外面塗装系の例を示す。

一般的に塗装系は、下塗り塗料は防錆性と被塗物への付着性を有し、上塗り塗料は耐候性を保持し、中塗り塗料が下塗り塗料と上塗り塗料の付着性を良好に保つというように、複数の塗料それぞれが必要な機能を有し役割を分担することによって、適切な塗装性能が得られるよう構成される。

道路橋の塗装では、耐久性と防食性に優れる防食被覆となるように、機能や特性の異なる複数の塗料を組合せて多層の被膜を形成している。

①防食下地および下塗り塗料

直接的な鋼材の防食は、直接鋼材と接触している最下層の下地塗装がその機能を担い、過去より防食性の優れた塗料が用いられてきた。特に近年の塗装では、鋼材より卑な電位をもち犠牲防食効果（異種金属間接触腐食参照）が期待できる亜鉛を含有した塗料（ジンクリッチペイント）が用いられた重防食仕様とよばれる塗装系が主流となっている。さらに、鋼材面と密着し犠牲防食効果を有する防食下地と、防食下地と密着して水、酸素、塩類などの腐食因子の浸透を抑制する機能を有する下塗り塗料に分けている。また、下塗り塗料を塗付したときに発泡を防ぐために、多孔性の防食下地の上にミストコートと呼ばれる塗料を塗付する。

②中塗り塗装

下地と上塗り塗装の一体性を確保するために、付着性に優れる中塗り塗装が、上塗り塗装と下塗り塗装の間に何層か塗り重ねられ、塗膜全体が形成される。

③上塗り塗装

塗膜の劣化を防止して耐久性を確保するために、塗膜の最外層に腐食因子の遮断効果や紫外線を始めとする様々な環境作用に対する耐候性に優れた塗料が上塗り塗装として施工される。近年は、ポリウレタン樹脂やフッ素樹脂を主体とした塗料が多く用いられている。

点検においては、このような塗装の構造や各層の役割などを理解して、塗膜の変状の状態が防食機能の観点でどのような影響を及ぼしている状態なのか、または予防保全の観点なども踏まえて補修などの措置を行う必要性についても考慮した評価を行うことが重要となる。

表-3.2.7 昭和46年塗装便覧 外面塗装系の例 (A-1 塗装系)

塗装種別	前処理	工場塗装			現場塗装		
		下塗1層	下塗2層	中塗	中塗	上塗1層	上塗2層
A-1	1種ケレン 金属前処理塗料 長ばく用 80g/m ²	鉛丹さび 止ペイン ト1種 200 g/m ²	鉛丹さび 止ペイン ト2種 180 g/m ²			長油性フタル酸樹脂系・中塗 120 g/m ²	長油性フタル酸樹脂系・上塗 100 g/m ²

注) 表中の数値 (単位 g/m²) は使用量を示す。

表-3.2.8 平成2年塗装便覧 外面塗装系の例 (A-1 塗装系)

塗装種別	前処理	工場塗装			現場塗装		
		2次素地調整	下塗1層	下塗2層	中塗	上塗1層	上塗2層
A-1	ブラスト処理 長ばく形エッチングプライマー 130 g/m ² (15 μm)	動力工具処理	鉛系さび止めペイント1種 170 g/m ² 35 μm	鉛系さび止めペイント1種 170 g/m ² 35 μm		長油性フタル酸樹脂塗料中塗 120 g/m ² 30 μm	長油性フタル酸樹脂塗料上塗 110 g/m ² 25 μm

注) 表中の数値 (単位 g/m²) は使用量を、(単位 μm) は目標膜厚をそれぞれ示す。

表-3.2.9 平成17年塗装・防食便覧 外面塗装系の例 (C-5 塗装系)

塗装種別	前処理	工場塗装					
		2次素地調整	防食下地	ミストコート	下塗	中塗	上塗
C-5	ブラスト処理 無機ジンクリッチプライマー 160 g/m ² (15 μm)	ブラスト処理	無機ジンクリッチペイント 600 g/m ² 75 μm	エポキシ樹脂塗料 下塗 160 g/m ²	エポキシ樹脂塗料 下塗 540g/m ² 120 μm	ふっ素樹脂塗料用 中塗 170 g/m ² 30 μm	ふっ素樹脂塗料 上塗 140 g/m ² 25 μm

注) 表中の数値 (単位 g/m²) は使用量を、(単位 μm) は目標膜厚をそれぞれ示す。

1種ケレン：ケレンとは素地調整の通称であり、1種ケレンとはブラストによる素地調整の作業内容を示している。素地調整後の処理状態を具体的に規定しているものではない。

ブラスト処理：研掃材を噴出しその衝撃力で黒皮、さびなどは完全に除去する方法であり、原板処理や新設の工場塗装に適用される。

プライマー：ブラスト処理した直後の鋼材の発錆を防ぐための塗装のこと。ブラスト処理後の鋼材表面はさびを生じやすいので、ブラスト処理後できるだけ早く短期間の防錆を目的とした速乾性の塗料を塗る必要がある。

長ばく形エッチングプライマー：速乾性があり、鋼材面への優れた密着性を有しており、3か月程度の屋外暴露に耐える。種々の塗料を塗り重ねることができるが、無機ジンクリッチペイントを塗り重ねることはできない。

無機ジンクリッチプライマー：速乾性があり、鋼材面への優れた密着性を有しており、6か月程度の屋外暴露に耐える。さび面とは密着しないので、ブラスト処理を行った鋼板に塗布する。

3.2.3 コンクリート橋の技術基準の変遷

表-3.2.10 技術基準の改定の概要

	年・月	名称	内容
1	S30.4 (1955)	プレストレストコンクリート設計施工指針	コンクリートの品質と許容応力度を規定 PC鋼材の規格値の設定
2	S31.11 (1956)	鉄筋コンクリート標準示方書	鉄筋のJIS規格化
3	S36.6 (1961)	プレストレストコンクリート設計施工指針	許容軸方向圧縮応力度が圧縮部材と引張部材とに区分 PC鋼材のJIS規格化
4	S39.6 (1964)	鉄筋コンクリート道路橋設計示方書	床版橋、T桁橋、箱桁橋、ラーメン橋及びアーチ橋の設計や細部項目の規定 床版の設計曲げモーメントの算定式を規定 最低設計基準強度(28日強度)を規定
5	S43.3 (1968)	プレストレストコンクリート道路橋示方書	床版橋軸方向の設計曲げモーメントの算定式を規定 軸方向引張力はフルプレストレストと規定
6	S53.1 (1978)	道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	道路橋示方書としてRC示方書とPC示方書を統合。 終局荷重作用時の破壊に対する安全度の照査を規定 せん断に対する設計の改訂
7	H2.2 (1990)	道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	床版の設計に関する規定、曲線橋の規定、斜張橋の規定、フレッシュコンクリート及びグラウトの許容塩化物量の規定
8	H5.11 (1993)	道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	活荷重の変更に伴う 床版の設計規定を改訂
9	H8.12 (1996)	道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	終局荷重作用時の荷重の組合せの変更 設計基準強度 $600\text{kgf}/\text{cm}^2$ を規定 T桁橋の中間横桁設置に関する規定 プレキャストセグメント橋の規定 支承及び落橋防止装置などから水平力を受ける部材の構造細目の規定 外ケーブル構造の規定 塩化物含有量の規定 ($0.30\text{kg}/\text{m}^3$) グラウトのブリーディング率の規定 (原則 3%)
10	H14.3 (2002)	道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	コンクリートの斜引張応力度、押抜きせん断応力度の見直し 死荷重作用時の鉄筋の許容応力度の規定 塩害対策規定 ノンブリーディング型グラウトを標準 プレグラウトPC鋼材の規定 施工に関する規定の充実
5	H24.3 (2012)	道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	従来よりも降伏点の高い鉄筋SD390、SD490を規定 合成桁橋の桁と床版の接合に関する規定を見直し 複合構造の基本的事項を新たに規定 かけ違い部の規定を削除

例えば、点検に際しては以下の点に注意が必要である。

- 平成2年の道路橋示方書制定以前（「コンクリートの塩化物総量規制について、昭和61年6月、建設省」通達以前）の構造物の中には、塩化物イオンの総量規定前であるため、除塩されていない海砂が使用されている場合もある。
- 平成2年の道路橋示方書制定以前（「アルカリ骨材反応抑制対策について、平成元年7月、建設省」通達以前）ではアルカリシリカ反応性試験を実施していないため、アルカリ骨材反応が生じる骨材も使用されていた可能性もある。
- PC定着工法については、平成6年以降は旧建設省の標準設計から上縁定着方式がなくなったが、それまでに建設されたPC橋には上縁定着されている場合がある。橋面の排水が上縁の後埋めコンクリート打継ぎ面から定着具やシース内に浸入し、PC鋼材を腐食・破断へと導く危険性がある。特に橋面に凍結防止剤が散布されている路線の橋梁で生じる可能性が高い。

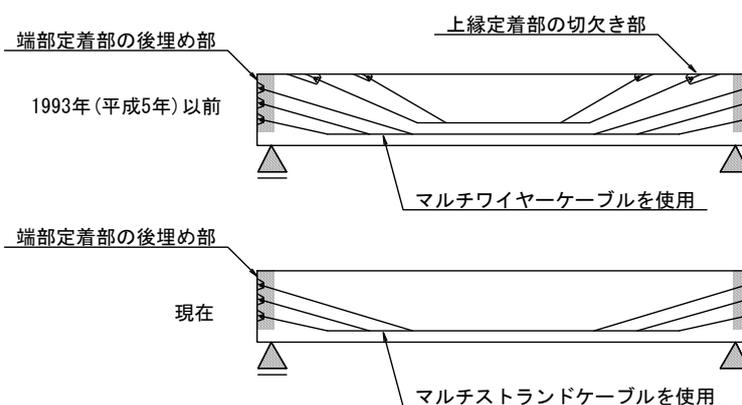


図-3.2.3 PC鋼材の定着部

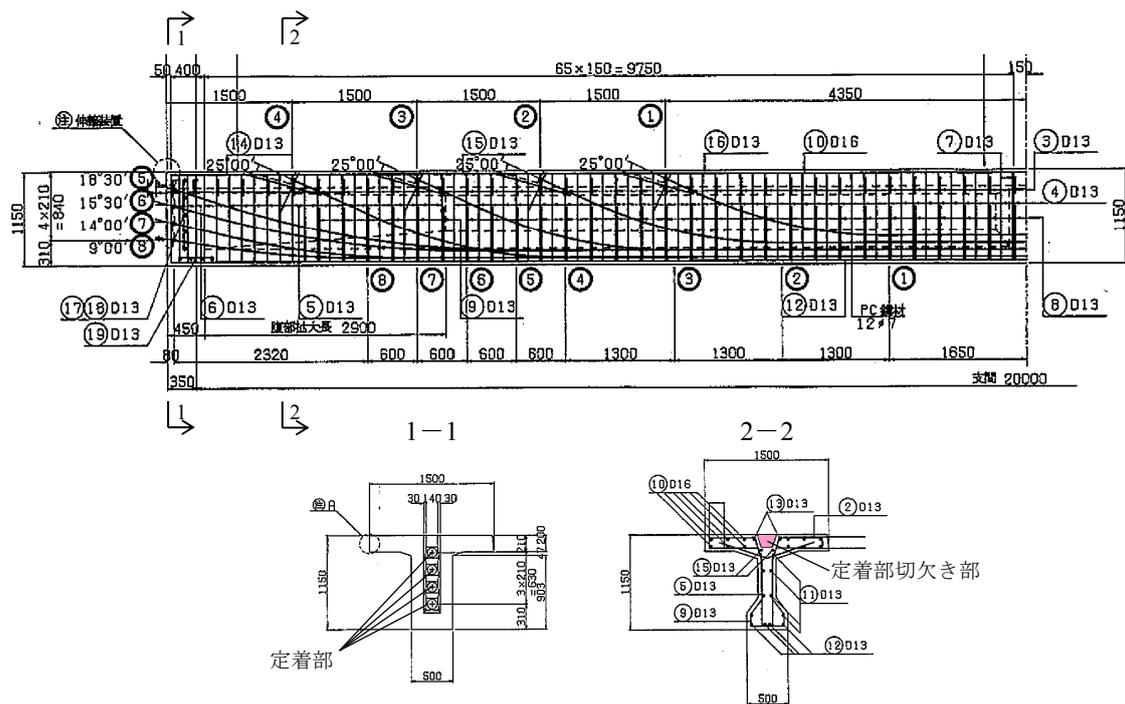


図- 3. 2. 4 PC 鋼材の定着部の配筋例（平成 5 年以前）

- ・ PCT 桁橋の間詰め床版は、古くは PCT 桁の上フランジ側面は鉛直であったが、ポストテンション方式 T 桁では昭和 44 年、プレテンション方式 T 桁では昭和 46 年の標準設計及び JIS の改定によって、上フランジ側面にテーパーが付けられ床版が抜け落ちにくい構造に改良された。

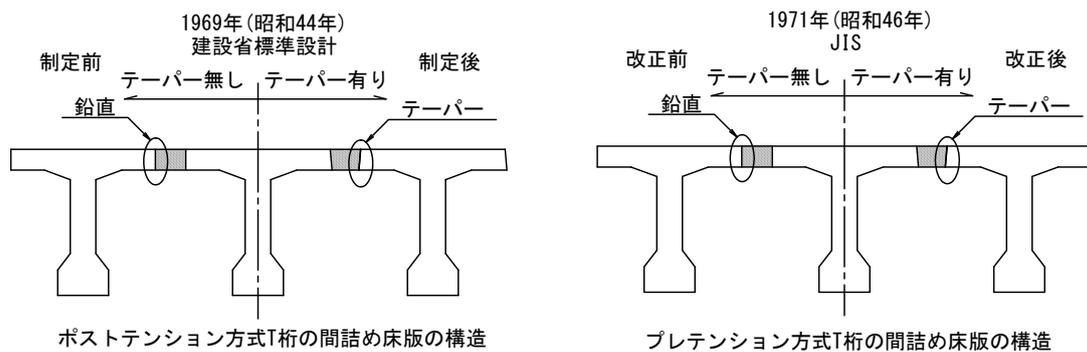


図-3. 2. 5 PCT 桁の間詰め床版の構造



図-3.2.6 PCT 桁の間詰め部の写真（漏水、さび汁）

《メモ》

- ① 設計基準強度：コンクリート部材の設計において基準となる圧縮強度のこと。一般的に材齢 28 日の強度を示す。
- ② フルプレストレス：コンクリートに引張応力を発生させない応力状態のこと。
- ③ フレッシュコンクリート：セメント、水、骨材等を練り混ぜた直後から凝結・硬化するまでの状態のコンクリートのこと。
- ④ グラウト：空げきや間げきに注入するセメントミルクや薬液等のこと。
- ⑤ ブリーディング：コンクリート打設後に、骨材、セメント粒子の沈降または分離によって、練り混ぜ水の一部が遊離して上昇する現象のこと。

3.2.4 下部構造の技術基準の変遷

表-3.2.11 技術基準の改定の概要

	年・月	名称	内容
1	S39.3 (1964)	道路橋下部構造設計指針 くい基礎設計編	設計の一般事項
2	S41.11 (1966)	道路橋下部構造設計指針 調査及び設計一般	クーロン土圧による土圧計算 粘性土に粘着力を考慮 許容応力度・許容支持力の規定
3	S43.3 (1968)	道路橋下部構造設計指針 橋台・橋脚設計篇 直接基礎設計篇	斜橋の橋台に働く土圧、地震荷重の統一的な算定方法を規定 直接基礎の設計の規定
4	S43.10 (1968)	道路橋下部構造設計指針 くい基礎の施工篇	鉄筋コンクリート杭、PC杭、鋼杭を中心に規定 継手、杭頭仕上げについて規定
5	S45.3 (1970)	道路橋下部構造設計指針 ケーソン基礎設計篇	くい基礎・ケーソン基礎・直接基礎の範囲を示す 鉛直、水平の荷重分担要素の明確化 ケーソンの設計に必要な項目の規定
6	S48.1 (1973)	道路橋下部構造設計指針 場所打ち杭の設計施工篇	場所打ち杭の定義（深礎も場所打ち杭） 杭の設計径、コンクリートのヤング係数、許容支持力度を規定 具体的な施工手引きとして、機械掘削・人力掘削に分けた
7	S55.5 (1980)	示方書・同解説 IV下部構造編	部材照査方法に関してコンクリート橋編と整合 杭基礎の鉛直支持力の算定方法を改訂 中掘り杭工法の設計施工規定
8	H2.2 (1990)	道路橋示方書 IV下部構造編	各種基礎の設計法の適用範囲に関する解説の充実 地盤反力係数の算定式やフーチングの剛体判定式の統合 岩盤上直接基礎の許容支持力度や弾性体基礎の許容変位量の規定 高強度水中コンクリートや太径鉄筋の規定 暴風時の取り扱いの見直し
9	H5.11 (1993)	道路橋示方書 IV下部構造編	下部構造の設計における活荷重の載荷方法の見直し 胸壁設計における断面力算定式の見直し
10	H8.12 (1996)	道路橋示方書 IV下部構造編	橋梁の各部位に地震時保有水平耐力法を導入したことに伴う照査方法の規定 部材のじん性向上のための細目 建設費縮減のための構造形状の単純化 鋼管矢板基礎の規定 ケーソン基礎設計法の改訂
11	H14.3 (2002)	道路橋示方書 IV下部構造編	死荷重作用時の鉄筋の許容応力度の規定 コンクリート部材の塩害対策規定 フーチングの曲げ及びせん断に対する設計法の見直し 直接基礎の極限支持力算定式の見直し プレボーリング杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、パイプ ロハンマ杭工法の規定 場所打ち杭、中掘り杭、鋼管矢板基礎及び地中連続壁基礎の 支持力推定式の見直し
12	H24.3 (2012)	道路橋示方書 IV下部構造編	従来よりも降伏点の高い鉄筋 SD390、SD490 を規定 橋台部ジョイントレス構造の設計を規定 橋台背面アプローチ部の規定 道路橋基礎に求められる基本事項を規定 回転杭工法の規定

3.2.5 支承の技術基準の変遷

表-3.2.12 技術基準の改定の概要

	年・月	名称	内容
1	S39.6 (1964)	鋼道路橋設計示方書	鋳鉄製の鋼製支承が基本 水平震度（固定支承）は0.2を標準として地震別、過去の被災別に割増を考慮
2	S47.3 (1972)	道路橋示方書 I 共通編	可動支承には移動制限装置を設けることが規定 巻末資料に旧 JH 標準設計図
3	S48 (1973)	道路橋支承便覧	支承の設計、製作、架設を含めた内容の指針
4	S51、S54 (1976、 1979)	支承標準設計	ゴム支承、すべり支承、ピン支承、ころがり支承の標準設計集
5	S55.2 (1980)	道路橋示方書 II 鋼橋編	S53 宮城県沖地震の調査をもとに、耐震上の配慮から鋳鉄製の支承は使用しないように示唆される
6	H8.12 (1996)	道路橋示方書 V 耐震設計編	地震力の分散と高減衰化に重点をおいた免震設計法の規定 支承高さの高いピンローラー支承及びピボットローラー支承は極力使用を避けるのがよい
7	H16.4 (2004)	道路橋支承便覧	機能分離型の支承部を追加

3.2.6 河川管理施設等構造令の変遷^{3.7)}

(1) 昭和 51 年「河川管理施設等構造令」

河川管理施設又は河川法第 26 条第 1 項の許可を受けて設置される工作物のうち主要なもの（ダム、堤防、床止め、堰、水門及び樋門、揚水機場、排水機場、取水塔、橋並びに伏せ越しを対象）についての構造基準として施行された。

第 60 条 河川区域内に設ける橋台及び橋脚は、計画高水位（高潮区間にあつては、計画高潮位）以下の水位の流水の作用に対して安全な構造とするものとする。
2. 河川区域内に設ける橋台及び橋脚は、計画高水位以下の水位の洪水の流下を妨げず、付近の河岸及び河川管理施設の構造に著しい支障を及ぼさず、並びに橋台又は橋脚に接続する河床及び高水敷の洗掘の防止について適切に配慮された構造とするものとする。

河川管理施設等構造令より引用

堤防に設ける橋台の位置は、洪水の流下断面を阻害しない位置に設置しなければならない、特に川幅が 50m 未満の小規模な河川については、橋台の設置位置が洪水流下に与える影響が特に大であるとして、堤防の表のり肩より表側の部分に橋台の前面が出ないようにしなければならない。

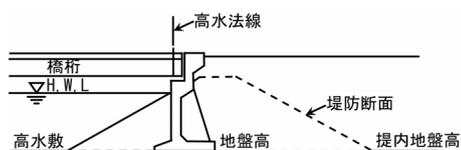


図-3.2.7 橋台の位置（川幅 50m 以上）

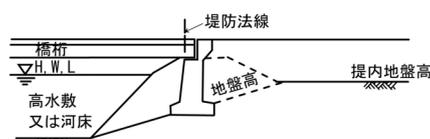


図-3.2.8 橋台の位置（川幅 50m 未満）

第 62 条 河道内に設ける橋脚の水平断面は、できるだけ細長い楕円形その他これに類する形状のものとし、かつその長径の方向は、洪水が流下する方向と同一とするものとする。ただし、橋脚の水平断面が極めて小さいとき、橋脚に作用する洪水が流下する方向と直角の方向の荷重が極めて大きい場合であつて橋脚の構造上やむを得ないを認められるとき、又は洪水が流下する方向が一定でない箇所には設けるときは、橋脚の水平断面を円形その他これに類する形状のものとする事ができる。

河川管理施設等構造令より引用

河積を阻害する程度を必要最小限にとどめるための一般的な目安としては、河積阻害率（橋脚の総幅が川幅に対して占める割合）により検討されている。ここで川幅とは、流向に対して直角に測った計画高水位と堤防のり面の交点間の距離であり、橋脚の幅とは流向に対して直角に測った計画高水位の位置における幅のことである。

一般の橋の河積阻害率は原則として 5%以内を目安とし、新幹線鉄道橋及び高速自動車国道橋の河積阻害率は 7%以内を目安としている。これは一般的な目安であるが、橋の構造上やむを得ず河積阻害率が上記の値を超える場合であっても、一般の橋は 6%、新幹線鉄道及び高速自動車国道橋は 8%以内にそれぞれとどめるようにするべきである。既設橋梁の補

修・補強に関しては、補修・補強工法と河積阻害率について十分に検討する必要がある。

橋脚の根入れが不足すると、橋脚自体の安全性が損なわれるとともに、橋脚付近における局所洗掘が助長され著しい支障を及ぼし、さらには洪水時の異常洗掘によって最悪の場合には落橋して大きく河積を阻害するような事故も起きている。河道内に設ける橋脚の基礎部は、低水路及び低水路の河岸の表面から深さ 2m 以上の部分に、その他の高水敷においては高水敷の表面から深さ 1m 以上の部分に設けるものとされている。

図-3.2.10に河床低下や洗掘を受けた橋の例を示す。洗掘は河川の流れ、海水の潮汐流などにより基礎を支持する地盤の土砂が流され、基礎の支持状態が不安定になって基礎が傾斜・沈下する現象である。河床洗掘を受けやすい橋梁基礎の特徴としては以下のものがあげられる。

- 1) 河川の特性としては、急流河川、扇状地、湾曲部、水衝部、狭隘部、河川の合流部など
- 2) 橋梁の構造としては、河積阻害率が大、桁下高が不足、パイルベント橋脚、根入れの小さい基礎（直接基礎）、設計年代の古い橋梁（S55 道示や S51 河川管理施設等構造令の発刊以前）、など
- 3) 自然現象としては、集中豪雨が発生した場合、多量の流木が河川内に流入した場合など

さらに、河川の状況としては、図-3.2.9に示す要因を有している場合、外観上変状がみられなくても、基礎が洗掘している可能性が高い。

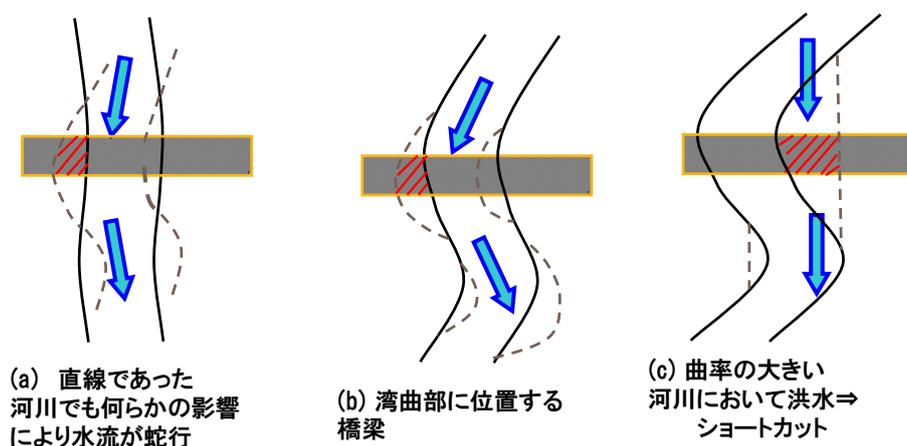


図-3.2.9 洗掘発生の要因（河川の状況）



図-3.2.10 河床低下や洗掘を受けた橋の例

計画高水位以下の洪水はすべて安全に流下させなければならない、橋に流木などが引っかかりそれが原因で災害などが発生するようなことは起きてはならないため、構造令では径間長の規定が設けられている。

第 63 条 橋脚を河道内に設ける場合においては、当該箇所において洪水が流下する方向と直角の方向に河川を横断する垂直な平面に投影した場合における隣り合う河道内の橋脚の中心線間の距離は、山間狭窄部であること、その他河川の状況、地形の状況等により治水上の支障がないと認められる場合を除き、以下の式により求められる値以上とするものとする。

$$L = 20 + 0.005Q$$

ここで、L：径間長 (m)

Q：計画高水流量 (m³/s)

河川管理施設等構造令より引用

この基準径間長のほか、5m の緩和規定、中小河川の緩和規定、流心部以外の部分の特例、近接橋の特例などもある。

橋脚の影響による流水の乱れ又は流木などに対し堤防を保護するとともに、橋台の設置による堤防の弱体化に対する補強措置、また橋による日照障害により芝の生育不能に代わるのり覆工として、護岸を設ける必要があり、護岸を設ける範囲は図-3.2.11のとおりである。

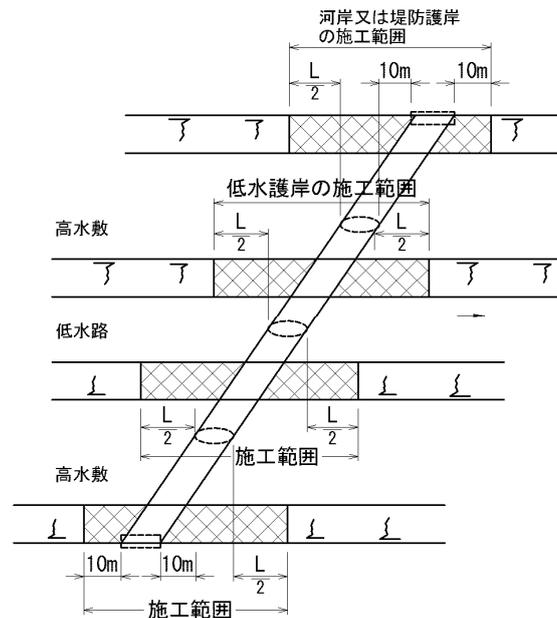


図-3.2.11 橋の設置に伴い必要となる護岸長

4) 平成10年「河川管理施設等構造令及び同令施行規則の施行について」河川局長通達

河川法の一部を改正する法律の施行に伴い、河道内に設ける橋脚の径間長に関する基準の緩和、等を行ったものであり、橋に関する具体的な内容は以下のとおりである。

- 5) 流木の集団流下の主な原因であった木橋の設置数の激減、これまでの実験結果及び閉塞事例等から径間長の最大値を50mに緩和。
- 6) これまでの同種の橋の閉塞事例、木橋の設置数の激減等から、大都市地域の大河川の橋及び新幹線、高速道路等に係る橋の径間長の10mの加算を廃止。
- 7) これまでの流心部以外の部分での橋の閉塞事例から、基準径間長が25mを超える場合、流心部以外での最低径間長を25mに緩和。

参考文献

- 3.1) 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編 平成24年3月 (社)日本道路協会
- 3.2) 鋼道路橋設計便覧 昭和54年2月 (社)日本道路協会
- 3.3) 鋼橋の疲労 平成9年5月 (社)日本道路協会
- 3.4) 長岡技術科学大学環境・建築系 コンクリート研究室 下村教授 HP
 コンクリートに関する講義のページ 建設工学課程3年生「コンクリート構造の力学」
 「資料3・鉄筋コンクリート棒部材の曲げ・曲げの計算仮定」
http://concrete.nagaokaut.ac.jp/edu/rc/rc_katei_2014.pdf
- 3.5) 鋼道路橋の疲労設計指針 平成14年3月 (社)日本道路協会

- 3.6) 橋梁技術の変遷 平成 12 年 12 月 鹿島出版会
- 3.7) 道路震災対策便覧(震前対策編) 平成 18 年 9 月 (社)日本道路協会
- 3.8) 解説・河川管理施設等構造令(財)国土開発技術研究センター編 平成 11 年 11 月