第１章　支承部の基本事項

1.1　支承部の概要

支承部は，図 1.1 に示すように，上部構造と下部構造との接点に位置する．その構造は，図 1.2 および図 1.3 に示すように，支承本体と上部構造，下部構造との取付け部材および沓座モルタルによって構成される．支承部は，上部構造からのさまざまな荷重を確実に支持し，下部構造へ伝達する重要な部位であり，橋梁全体が本来の機能を確実に発揮するために重要な役割を担っている．

支承部がその役割を十分に発揮するためには，支承部が保持すべき機能，設計方法，構成する材料，製作時の品質管理方法，据付方法および維持管理方法などが整理され，活用されなければならない．

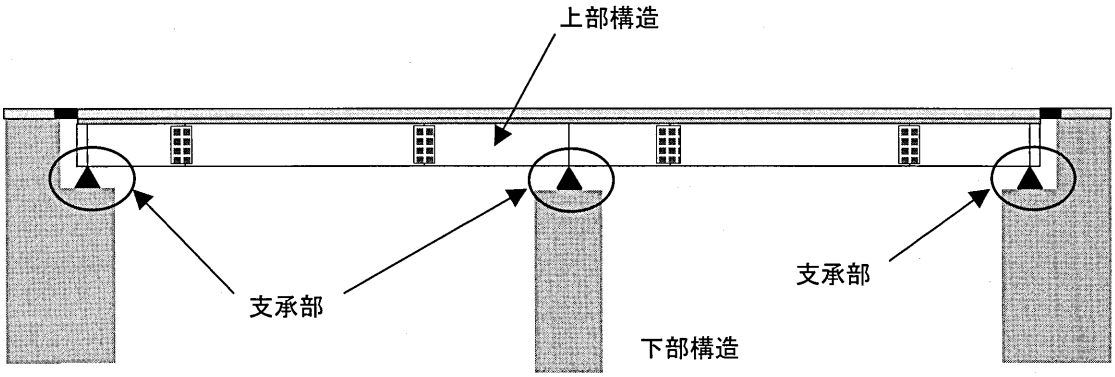


図 1.1　支承部の位置

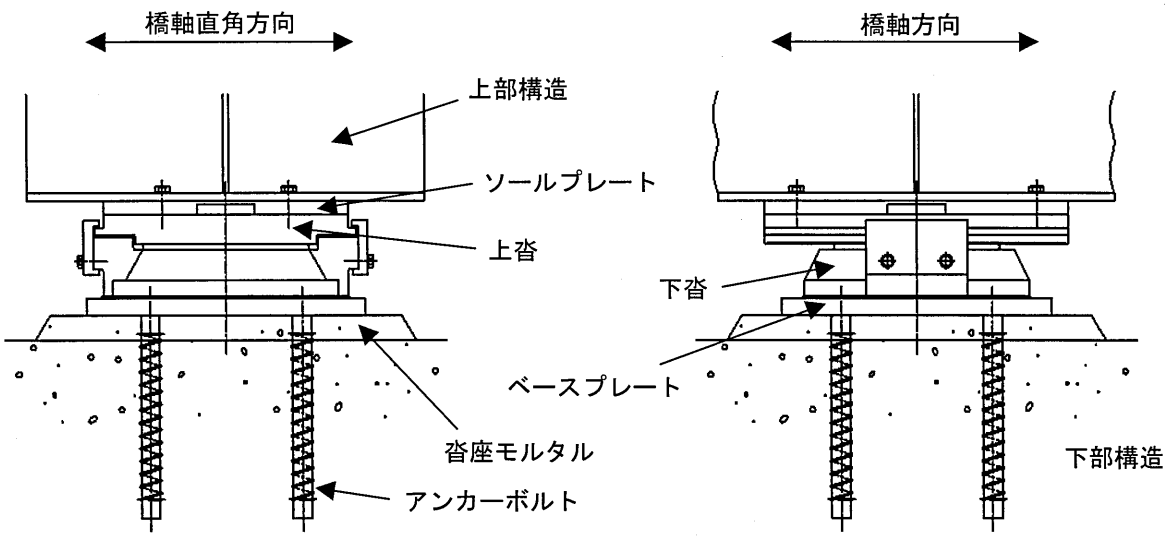


図 1.2　鋼製支承部の構造図

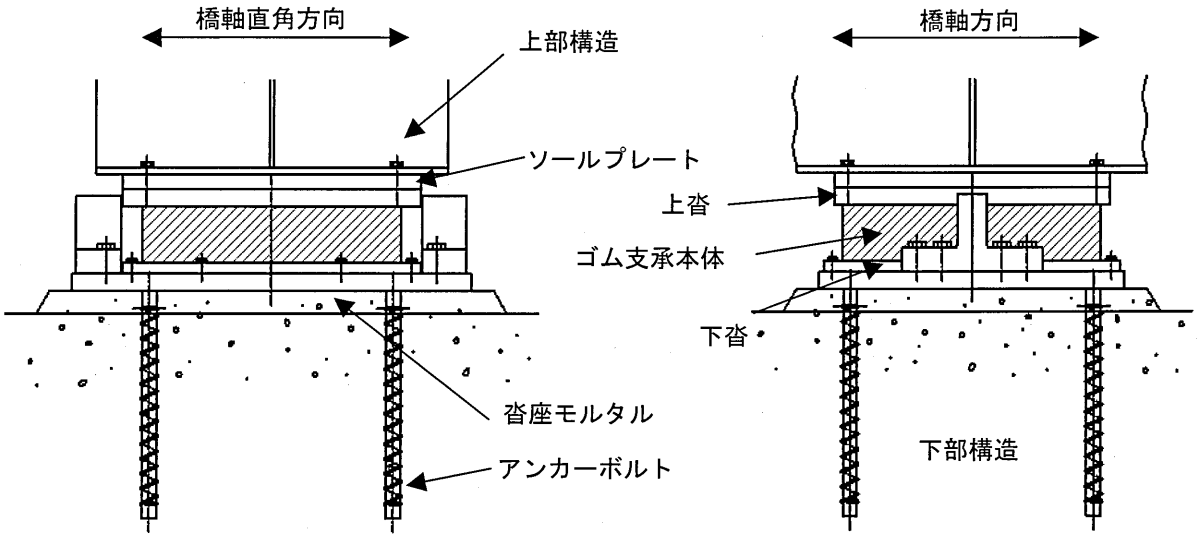


図 1.3　ゴム支承部の構造図

1.1.1　支承部の機能と機構

支承部が保持すべき基本的な機能には，荷重伝達機能としての鉛直力支持と水平力支持の機能があり，変位追随機能としての水平移動と回転の機能がある．また，上揚力支持や減衰などの機能もあり，それぞれの機能に対応した機構がある．

(1) 鉛直力支持機能と機構

鉛直力支持機能は，鉛直荷重を安定的に支持し，上部構造を所定の高さに保持するものであり，材料は，主に鉄鋼材料とゴム材料が使用される．

鉛直力支持機能 ── 接触機構 ----- 鉄鋼，ゴム，コンクリート
　　└ 伝達機構 ----- 鉄鋼，ゴム，コンクリート

鉛直力支持の基本的な機構には，接触機構や伝達機構があり，鉄鋼材料を使用する機構には，**図 1.4** に示す平面接触，線接触，円柱面接触および球面接触などがある．ゴム材料を使用する支承は，ゴム本体により鉛直支持を行うと同時に，鉛直荷重を支持しながら移動・回転のできる機構となっている．

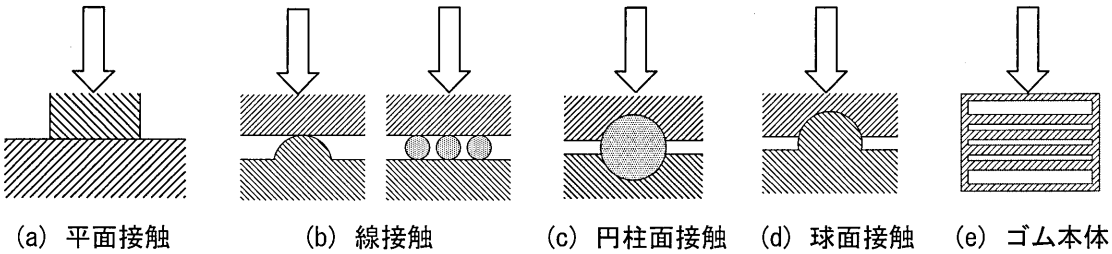


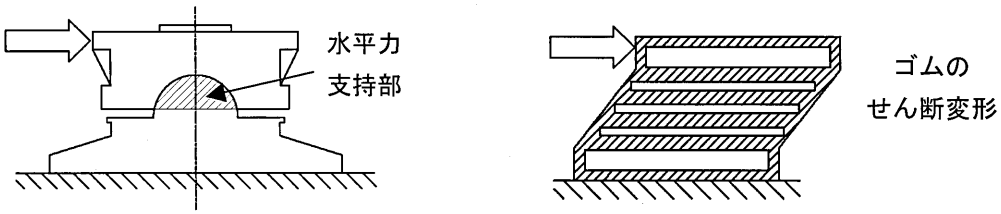
図 1.4　鉛直力支持の機構

(2) 水平力支持機能と機構

水平力支持機能は，基本的に水平荷重に抵抗して上部構造を所定の位置に保持するものであり，材料は，主に鉄鋼材料とゴム材料が使用される．

水平力支持機能 ── 接触機構 ----- 鉄鋼，ゴム，コンクリート
　　└ 伝達機構 ----- 鉄鋼，ゴム，コンクリート

水平力支持機構には，接触機構や伝達機構がある．**図 1.5** に基本的な水平力支持の機構を示すが，鉄鋼材料を使用する水平力支持の機構には，平面接触，円柱面接触および球面接触などがあり，基本的に水平移動を生じさせないで荷重を支持する．ゴム材料を使用する水平力支持の機構には圧縮支持とせん断支持の機構があり，せん断支持機構として使用する場合，ゴム材料は弾性変形をしながら水平荷重に抵抗するため，水平方向に変位が生じる．ゴムのせん断変形は，水平力の分散機能や減衰機能としても利用される．



(a) 鉄鋼　　(b) ゴム

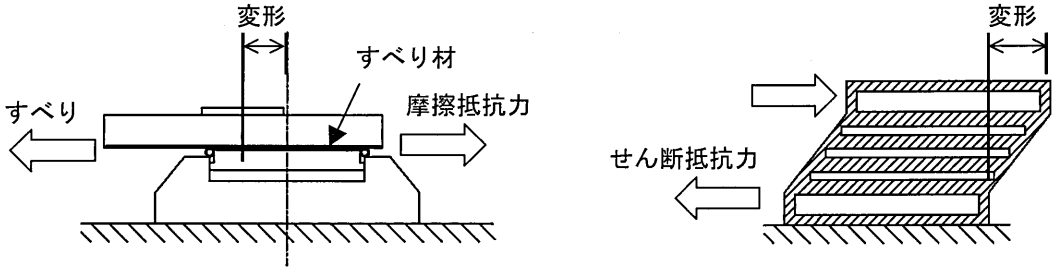
図 1.5　水平力支持の機構

(3) 水平移動機能と機構

水平移動機能は，温度変化などによる上部構造の伸縮にスムーズに追随するものであり，使用する材料は，鉄鋼材料，ゴム材料，樹脂材料などである．

水平移動機能 ── すべり機構 ------- 鉄鋼，樹脂，その他
　　├ せん断機構 ------- ゴム
　　└ ころがり機構 ----- 鉄鋼，コンクリート

水平移動の機構は，**図 1.6** に示すような，すべり材の摩擦を利用するすべり機構とゴム材料のせん断変形を利用するせん断機構がある．そのほか，ローラーのころがりを利用する転がり機構などもある．すべり機構においては，移動時にそれぞれ摩擦抵抗力やせん断抵抗力が生じ，ゴムのせん断抵抗力は，通常の使用範囲では変形量に比例して増加する．



(a) すべり　　(b) ゴムのせん断

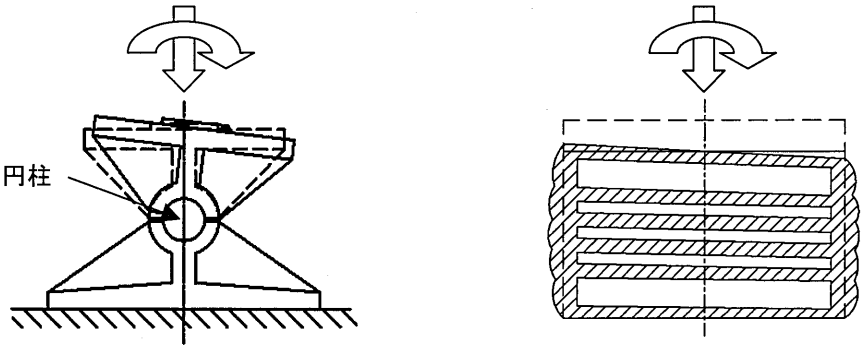
図 1.6　水平移動の機構

(4) 回転機能と機構

回転機能は，車両荷重（活荷重）などの載荷による上部構造の変形にスムーズに追随できるものであり，橋軸方向の回転のみの一方向型と橋軸直角方向も回転できる全方向対応型がある．一般に，鋼橋における設計回転角（rad）は，端支点において 1/150，中間支点では 1/300 が使用されている．使用する材料は鉄鋼材料や非鉄材料，ゴム材料などがある．

回転機能
- すべり機構 ---------- 鉄鋼，樹脂，その他
- 弾性回転変形機構 ----- ゴム
- ころがり機構 --------- 鉄鋼

回転の機構は，すべりや弾性回転変形，ころがりなどがある．**図 1.7** に示すように，鉄鋼材料および高力黄銅鋳物などの非鉄材料では，円柱面接触や球面接触のすべりを利用して回転するものとなっている．また，ゴム材料では，鉛直荷重によるゴムの弾性変位内で回転しており，基本的にゴムに引張力を作用させない．



(a) 鉄鋼　　(b) ゴム

図 1.7　回転の機構

(5) 上揚力支持機能と機構

上揚力支持機能は，橋梁に車両荷重が作用していない場合や車両荷重の載荷時（以下，常時）に発生する負の力または地震力の作用による上部構造の浮き上がりに抵抗するものであり，使用する材料には，鉄鋼材料とゴム材料がある．

上揚力支持機能 ── 接触機構 ----- 鉄鋼，コンクリート
　　└ 伝達機構 ----- 鉄鋼，ゴム，コンクリート

上揚力支持の機構には，接触機構や伝達機構があり，鉄鋼材料を使用する機構は，線接触や面接触により，基本的に変形を生じさせないで荷重を支持する．一方，ゴム材料の場合は，常時においてゴム材料に圧縮が作用するように用いられており，常時において，ゴム材料に引張が作用する橋梁においては，疲労耐久性に対する信頼が不十分であるため適用すべきではない．また，ゴム材料にせん断変形が生じるように使用する場合には，ゴム材料の弾性変形による上向きの変位が生じることに注意する必要がある．**図 1.8** に密閉ゴム支承板支承（「**1.1.3 支承の種類**」参照）のサイドブロックによる上揚力支持機構の構造図を示す．

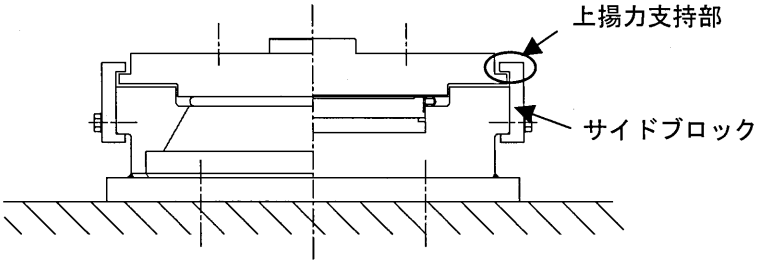


図 1.8　上揚力支持機構の構造図

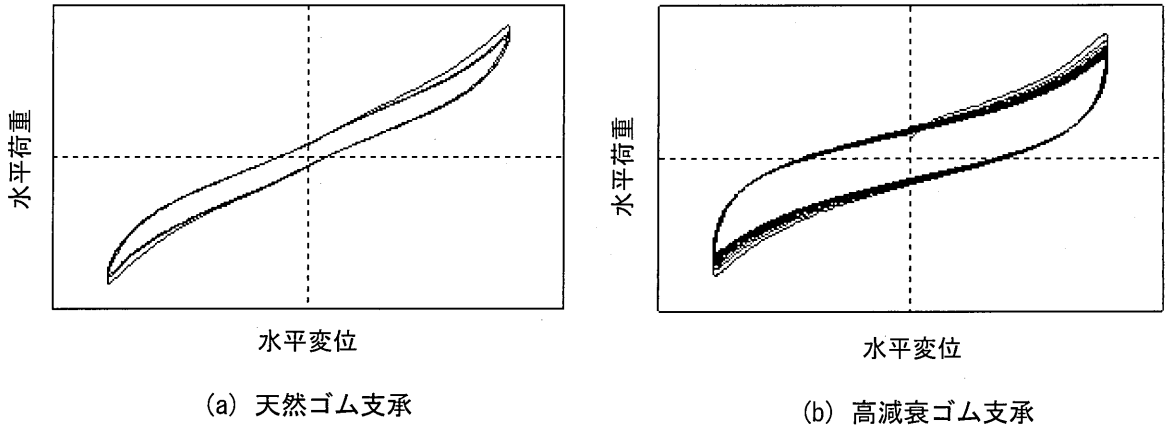
(6) 減衰機能と機構

減衰機能は，地震の振動エネルギーを履歴減衰や摩擦減衰などで吸収し，地震力を低減させるものである．使用する材料には，高減衰ゴムに代表されるゴム材料や鉛などの金属材料と摩擦減衰材としてのテフロンなどの樹脂材料があり，減衰機能を保持した支承は免震支承として使用される．

減衰機能 ── 履歴減衰機構 --------- 鉄鋼，鉛，高減衰ゴム，その他
　　├ 摩擦減衰機構 --------- 鉄鋼，樹脂，その他
　　└ 粘性減衰機構 --------- 油，ポリマー，その他

その機構には，履歴減衰や履歴減衰，粘性減衰などがあり，履歴減衰機構は，高減衰ゴムなど，材料の非線形性を利用した減衰機構である．また，摩擦減衰機構は，摩擦力が移動方向に逆向きの抵抗力として作用することを利用した減衰機構であり，粘性減衰機構は，油や特殊なポリマーなどの粘性材料における抵抗力を利用した減衰機構である．

図 1.9 に減衰機構として，広く用いられている高減衰ゴム支承の履歴曲線の例を，天然ゴム支承の履歴曲線の例とともに示す．**図 1.9** に示す曲線は，鉛直荷重を載荷した状態で，水平荷重によりせん断変形させたものであり，曲線で囲まれる部分のエネルギー吸収により，地震力を低減する．履歴曲線から，天然ゴム支承に比べ，高減衰ゴム支承のエネルギー吸収の大きさが確認できる．



(a) 天然ゴム支承　　(b) 高減衰ゴム支承

図 1.9　ゴム支承の履歴曲線の例

1.1.2　支承部の材料

支承に使用する材料は，主に鉄鋼材料と樹脂材料およびゴム材料がある．鉄鋼材料は構造用圧延鋼材，ステンレス鋼と鋳鋼品などがあり，高張力ボルト材として構造用合金鋼も使用されている．**表 1.1** に主な鉄鋼材料の許容応力度を示す．それらの材料は，それぞれ JIS で化学成分，機械的性質などが規定されており，設計に使用する許容応力度などは道路橋示方書および道路橋支承便覧に示されている．

表 1.1　鉄鋼材料の許容応力度

材料の種類＼応力の種類		鋼材の板厚 (mm)	基準降伏点 (N/mm²)	引張応力度 (N/mm²)	曲げ応力度 (N/mm²)	せん断応力度 (N/mm²)	支圧応力度 (N/mm²)	
							すべりのない平面	すべりのある平面
構造用圧延鋼材	SS400	40 以下	235	140	140	80	210	105
		40 以上	215	125	125	75	190	95
	SM490	40 以下	315	185	185	105	280	140
		40 以上	295	175	175	100	260	130
鋳鋼	SC45	150 以下	225	140	140	80	210	105
	SCW410	150 以下	235	140	140	80	210	105
	SCW480	150 以下	275	170	170	100	250	125
	SCMn1A	150 以下	275	170	170	110	250	125
	SCMn2A	150 以下	345	190	190	110	280	140
炭素鋼	S35C (N)		305	190	190	110	280	140
	S45C (N)		345	210	210	120	310	155

樹脂材料には，テフロン（PTFE，四ふっ化エチレン樹脂）が多く使用されている．また，ゴム材料には，主に天然ゴム（NR : Natural Rubber）やクロロプレンゴム（CR : Chloroprene Rubber）が使用されており，せん断弾性係数 (N/mm²) で 0.6～1.4 程度まで種類分けされている．さらに，ゴム自身に減衰機能を持たせている材料として，高減衰ゴム（HDR : High Damping Rubber）や超高減衰ゴム（HDR-S : Super High Damping Rubber）などもある．

天然ゴムは，ゴム樹液を原料とする材料で，伸び性能がよく，引張強度が高い．また，耐久性にも優れているため，もっとも多く使用されている．一方，クロロプレンゴムは，石油を原料とする材料で，耐候性に優れており，鉄道の枕木の緩衝パッドや 30mm 程度の薄いゴム支承に使用されてきた．**表 1.2** に主なゴム材料の設計に用いる標準値を示す．

表 1.2　ゴム材料の呼び名と設計に用いる標準値

材料の種類	略号	呼び名	せん断弾性係数 (N/mm²)	破断伸び (%)	引張強さ (N/mm²)
天然ゴム	NR	G6	0.6	600	15 以上
		G8	0.8	550	
		G10	1.0	550	
		G12	1.2	500	
		G14	1.4	450	
クロロプレンゴム	CR	G8	0.8	450	
		G10	1.0	450	
		G12	1.2	450	
超高減衰ゴム	HDR-S	G8	0.8	650	10 以上
		G10	1.0	600	
		G12	1.2	550	

1.1.3　支承の種類

支承は，橋梁の形式や規模，地震に対する設計手法の違いなどにより，さまざまな形式や機構が考案されている．また，機能の違いなどによってもさまざまに分類されている．構成している主要材料の違いで分類すると，主に鉄鋼材料で構成されている鋼製支承と，ゴム材料で構成されているゴム支承に分けられる．

主要材料 ――┬― 鉄鋼材料 ----- 鋼製支承
　　└― ゴム材料 ----- ゴム支承

水平力支持機能の違いで分類すると，地震力などの水平力を支持する固定支承と，水平力は支持しないが上部構造の伸縮にはスムーズに対応できる可動支承とに分けられる．

水平力支持機能 ――┬― 無し ----- 可動支承
　　└― 有り ----- 固定支承

地震力に対する機能で分類すると，ゴム支承のせん断剛性を利用して地震力を多支点に分散させることができる地震時水平力分散ゴム支承や，減衰機能を持っている免震支承に分けられる．

地震時機能 ――┬― 地震力分散 ----- 地震時水平力分散ゴム支承
　　└― 減衰効果 ----- 免震支承

また，支承の機能が全体的にどのように構成されているかで分類すると，機能一体型支承と機能分離型支承とに分けられる．

支持機能 ── 一体 ----- 機能一体型支承
　　└ 分離 ----- 機能分離型支承

支承は，対応する設計地震動のレベルに応じて，タイプＡの支承，タイプＢの支承に区分される．タイプＡの支承は，レベル１の地震動には支承のみで抵抗し，レベル２の地震動には変位制限構造と補完しあって抵抗する．タイプＢの支承は支承のみでレベル２の地震動に対応するものであり，タイプＢの鋼製支承の設計・製造も可能で，使用実績も増加している．

地震動 ── レベル１地震動 ----- タイプＡの支承
　　└ レベル２地震動 ----- タイプＢの支承

次に，鋼製支承およびゴム支承の一般的な種類について述べる．

(1) 鋼製支承の種類

鋼製支承は，鉛直力支持や移動・回転などに対応する機構や構造によって，線支承，支承板支承，ローラー支承，ピン支承およびピボット支承などに分けられる．

a) 線支承（LB 支承）

図 1.10 に示す線支承（LB : Line Bearing）は，主に橋長が 30m程度以下の小規模橋梁に使用され，平面と曲面を有する鉄鋼材にて鉛直荷重を支持し，平面と曲面で水平移動と回転に追随している．主要材料には圧延鋼材と鋳鋼品が使用されており，アンカーボルトは２本以上配置することが望ましい（**写真 1.1** 参照）．

一般に，鋼材と鋳鋼品との設計摩擦係数は 0.25 とされているが，平面と曲面を有するため鉄鋼材の接触部がすり減り，さびなどによって摩擦係数が増大し，移動機能や回転機能に悪影響を生じさせることから，可動支承としての使用は望ましくない．また，回転方向は一方向のみであるので，斜橋など，移動方向と回転方向の異なる橋梁への使用は避けるべきである．

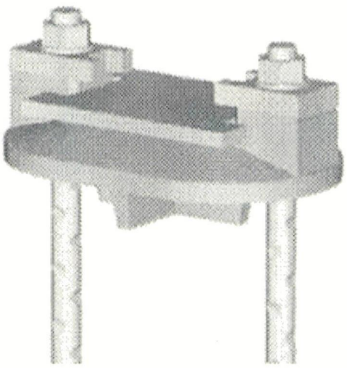


図 1.10　線支承の構造図

写真 1.1　線支承の適用例

b) 支承板支承（BP･A 支承，BP･B 支承）

支承板支承は，**図 1.11** に示す高力黄銅支承板支承（BP･A 支承）と密閉ゴム支承板支承（BP･B 支承）の二種類がある．BP･A 支承は，高力黄銅支承板（ベアリングプレート）にて水平移動と回転に追随しており，また，BP･B 支承は，PTFE 板（テフロン板）とステンレス板にて水平移動に追随し，円筒型ポットに挿入されたゴムプレートで回転に追随している．可動支承の場合には，**図 1.12** に示すように，上沓の切り欠き部とサイドブロックとの間に，移動量に見合った可動範囲を設ける．この支承は，小規模橋梁から大規模橋梁まで幅広く対応可能である．

ステンレス板とすべり板（または固体潤滑材）との組合せによるすべりやベアリングプレート，ゴムプレートの回転に関して，BP･A 支承と BP･B 支承とを比較すると，長期の使用実績や劣化の有無，実験の結果から，BP･A 支承より BP･B 支承の方が優れていると示され，現在では BP･B 支承が，多く使用されている．PTFE 板は酸や薬品に強く，摩擦係数も長期的に安定した，優れたすべり材であり，一般に，設計支圧応力度を 30N/mm^2 としている．

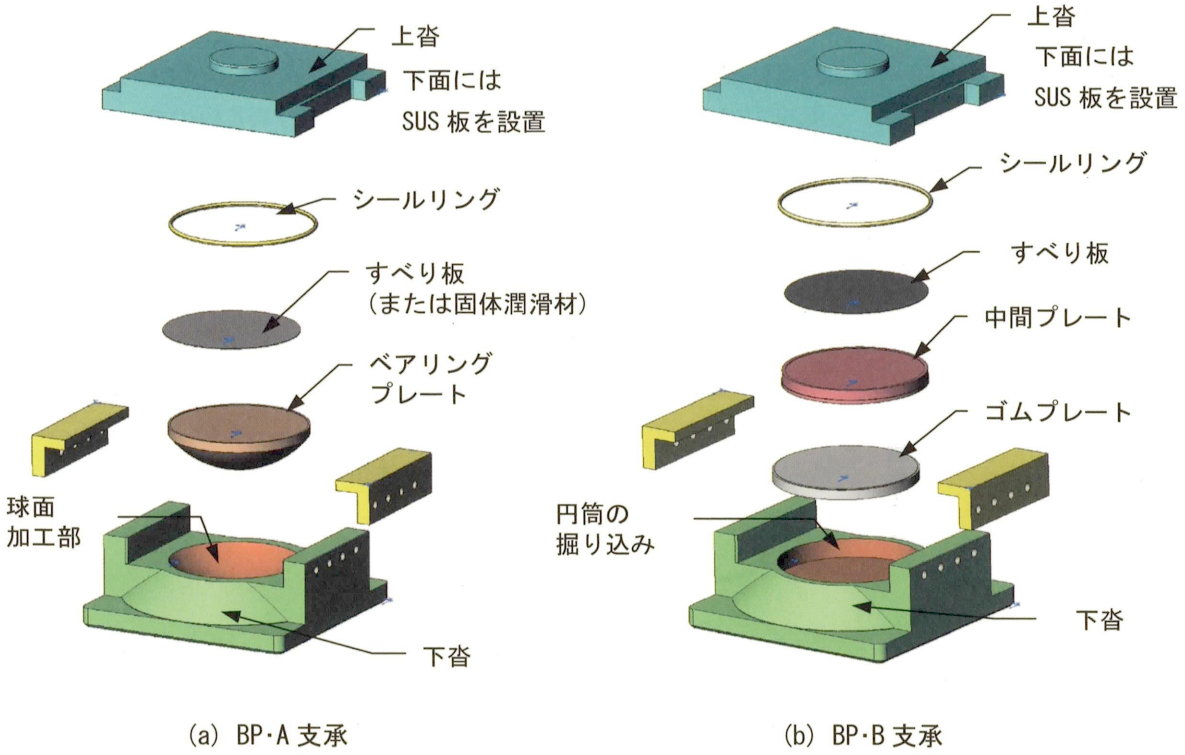
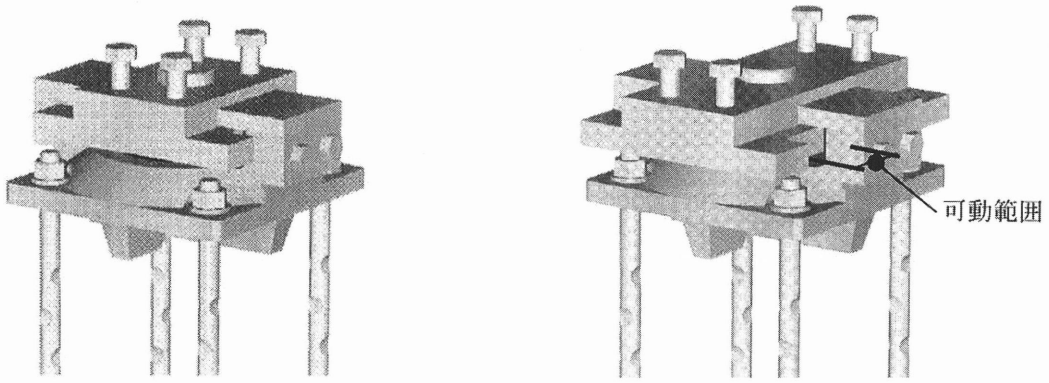


図 1.11　支承板支承の分解図



(a) 固定支承　　(b) 可動支承

図 1.12　固定支承と可動支承（支承板支承）の構造図

支承板支承は，鉛直荷重や移動量，水平力が決定することにより設計を行うことが可能であり，鉛直荷重や移動量が同一であれば，支承高さはゴム支承と同程度である．また，耐震性能についても水平力や上揚力に対する抵抗力はゴム支承と同等であり，近年では，PTFE 板のすべり摩擦減衰を利用した免震設計も採用されつつある．**図 1.13** に鉛直荷重を載荷した状態で，水平荷重により水平変位させた場合の，PTFE 板の履歴曲線の例を示す．ゴム支承と同様に，曲線で囲まれる部分のエネルギー吸収により，地震力を低減することが可能である．

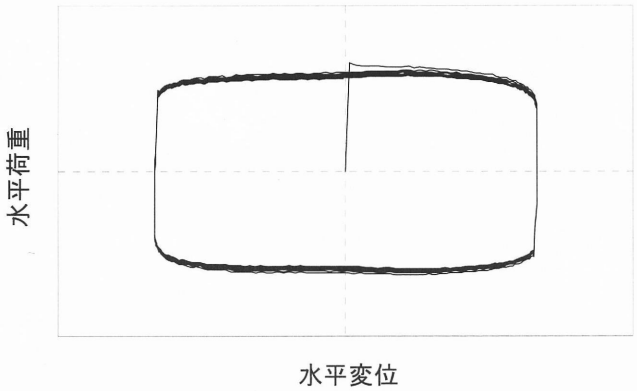


図 1.13　PTFE 板の履歴曲線の例

c) ピン支承（PN 支承）

ピン支承（PN : Pin Bearing）は，**図 1.14** および**図 1.15** に示すように，ピン部材にて一方向の回転にのみ追随する固定支承で，大きな鉛直荷重の設計・製作が可能であり，大規模橋梁にも適用することができる．ピン支承の構造としては，二種類の形式が標準化されており，**写真 1.2** に示す支圧型ピン支承と**写真 1.3** に示すせん断型ピン支承に区別される．支圧型ピン支承は，正反力の荷重と地震時の上揚力のみを支持する固定支承であり，せん断型ピン支承は，正反力と負反力に対応可能な固定支承で，回転角も支圧型に比べ大きくできる特徴がある．

ピン部材には，S35CN などの構造用圧延鋼材を使用し，ピンを受ける上下の部材には鋳鋼品を

使用するのが一般的であり，アーチ橋などに使用される頻度の高い支承である．なお，下沓の平面が大きくなる場合には，排水勾配あるいは水抜きなどを設けることが望ましい．

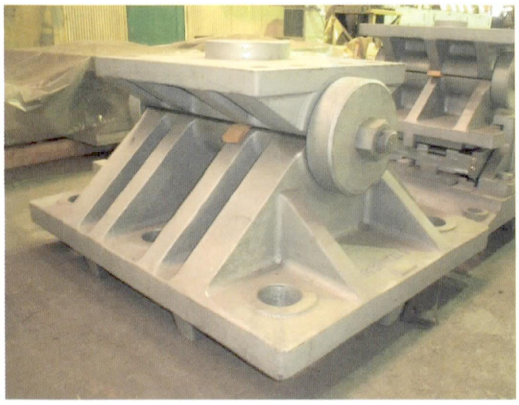


写真 1.2　支圧型ピン支承

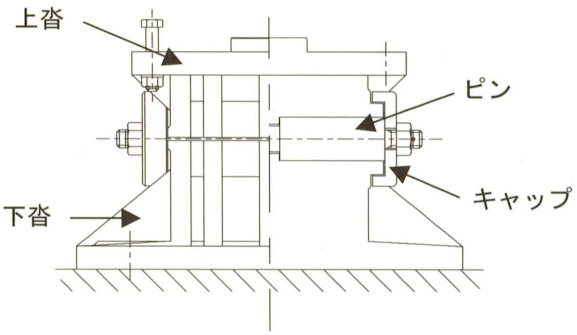


図 1.14　支圧型ピン支承の構造図

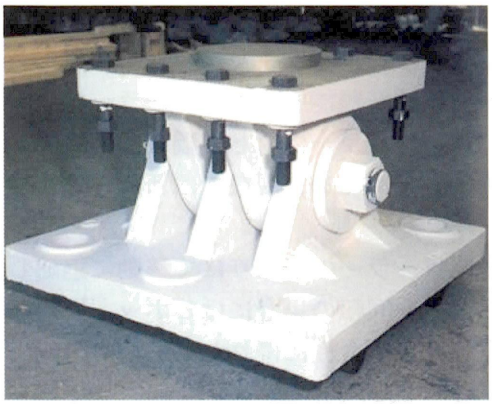


写真 1.3　せん断型ピン支承

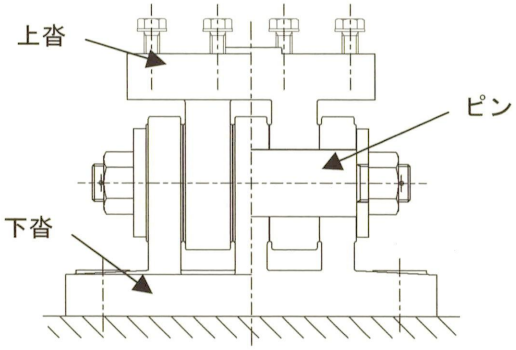


図 1.15　せん断型ピン支承の構造図

d) ピボット支承（PV 支承）

ピボット支承（PV：Pivot Bearing）は，**図 1.16** に示すように，球面形状部で鉛直荷重を支持し，全方向の回転に追随可能な固定支承である．大きな鉛直荷重の支承の設計・製作が可能であり，大規模橋梁にも適用できる．一般的に正反力の荷重と地震時の上揚力のみを支持する支承であり，常時負反力の荷重に対応可能な支承構造も考案されているが，常に上下方向にすき間のない状態で回転できる機構としなければならないため，複雑な構造となる．一般に使用する材料は，上沓・下沓ともに鋳鋼品である．なお，ピボット支承においても，下沓の平面が大きくなる場合には，排水勾配あるいは水抜きなどを設けることが望ましい．

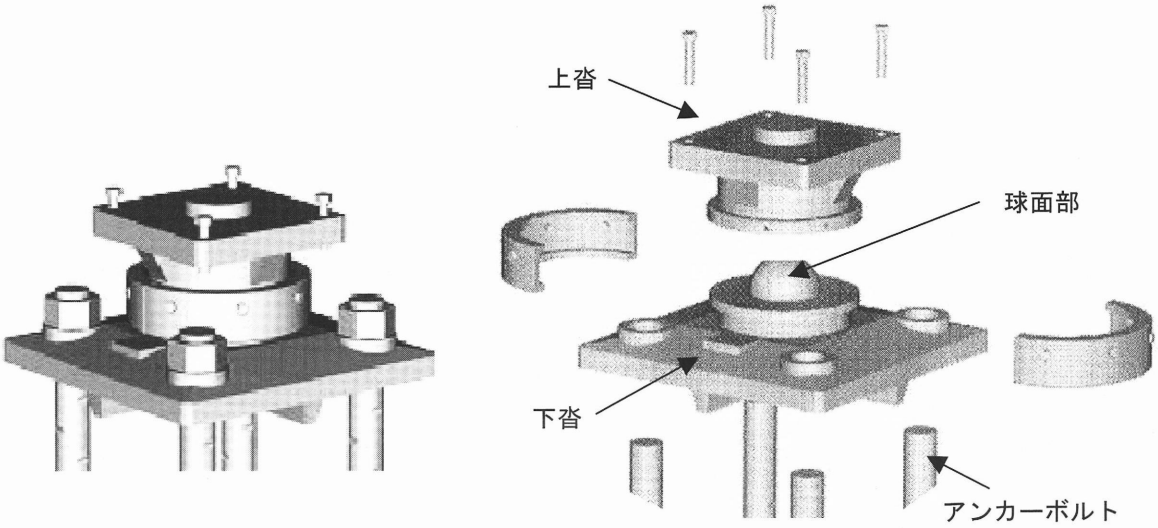


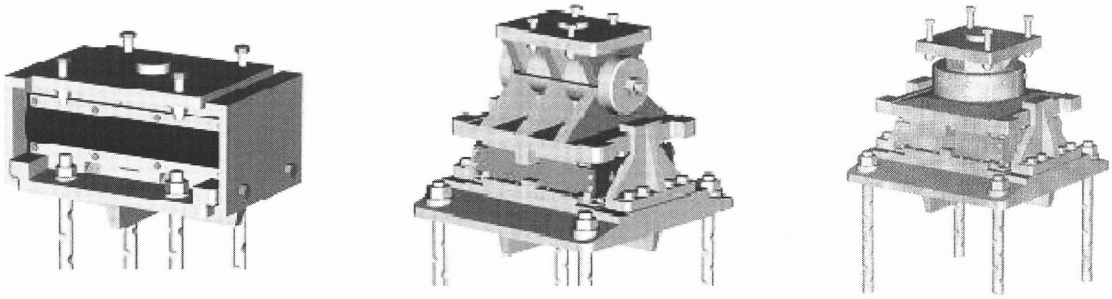
図 1.16　ピボット支承の分解図

e) ローラー支承（RO 支承）

ローラー支承（RO：Roller Bearing）は，**図 1.17** に示すように，１本または複数本のローラーを有する可動支承である．１本ローラー支承は，移動機能と回転機能を１本のローラーで同時に対応しているので，移動方向と回転方向の異なる場合には，ローラーに対して橋軸直角方向の外力が作用し，ねじれなどの支障を生じさせる可能性がある．そのため，現在では新設橋梁に使用されることは少ない．

複数ローラー支承は，ローラーにより鉛直荷重を支持し，ローラーの転がりにて移動に追随している．回転機能は，一方向回転の場合にはピン構造を，全方向回転の場合にはピボット構造をローラー上部に組合せて構成されている．ローラーには高強度で耐食性に優れたステンレス鋼が使用され，ローラー以外の部材には，鋳鋼品を使用するのが一般的である．

複数ローラー支承は，大きな鉛直荷重と移動量に対する設計，製作も可能であることから，大規模橋梁には，今後も使用される可能性がある．そのため，地震時のローラーの逸脱防止機構を付加することやローラー部以外で水平力を確実に止める機構の考案などが必要となる．ローラー部のころがり構造は複雑になることから，ローラーの代わりにすべり機構で移動に追随する支承構造なども実用化されている．



(a)　１本ローラー支承　　(b)　ピンローラー支承　　(c)　ピボットローラー支承

図 1.17　ローラー支承の構造図

f) ロッカー支承（RCK 支承）

ロッカー支承（RCK：Rocker Bearing）は，**図 1.18** に示すように，上沓と下沓の間にロッカーと呼ばれる部材を挿入した可動支承である．平面と欠円柱面の線接触により，鉛直荷重を支持している．桁の回転と移動には，ロッカーの転がりにより対応しており，ローラー支承のローラーの代わりに複数のロッカーを用いた構造もある．

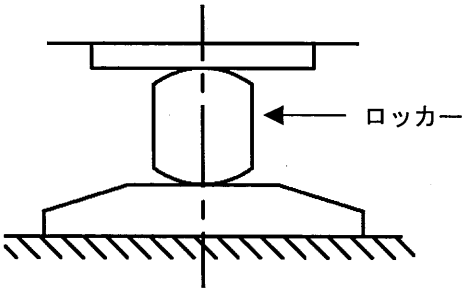


図 1.18　ロッカー支承の構造図

g) ロッキングピアピボット支承（RPV 支承）

ロッキングピアピボット支承（RPV：Rocking pier pivot Bearing）は，**図 1.19** に示すように，柱の上下にピボット支承を配置して可動支承として機能させる支承である．ピボット支承は，前述のように，全方向の回転に追随可能な固定支承であり，単独では移動機能を有していない．しかし，柱の上下にピボット支承を取付けることで，柱の倒れと上下のピボットの回転機能により，上部構造の水平移動と回転に追随することのできる支承となる．支間長の短い跨道橋や高速道路のインターチェンジ橋などに使用されている．

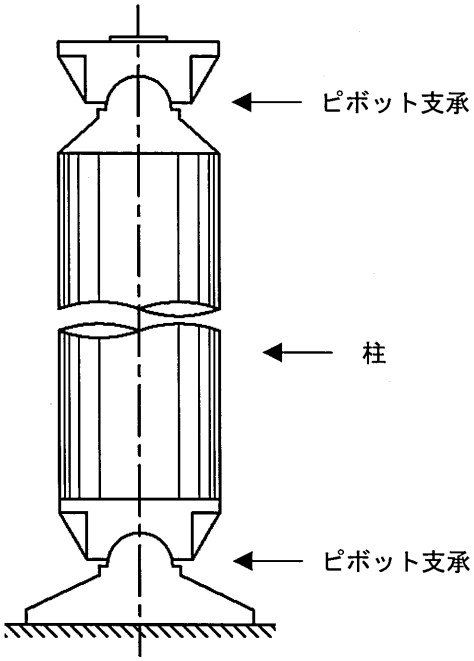


図 1.19　ロッキングピアピボット支承の構造図

(2) ゴム支承の種類

ゴム支承は，ゴム本体で鉛直力の支持機能と移動・回転機能を有しているため，シンプルな構造となりやすい．小規模橋梁から大規模橋梁まで幅広く対応可能であるが，大規模橋梁の端支点における支承の設計条件が小反力で大移動量の場合などでは，支承本体の平面寸法と高さのバランス（二次形状係数）が悪くなり，設計が困難となることがある．ゴム支承を大きく分類すると，パッド型ゴム支承，可動・固定型ゴム支承，地震時水平力分散ゴム支承，および免震支承の四種類となる．

a) パッド型ゴム支承

写真 1.4 に示すパッド型ゴム支承は，ゴム支承本体の上下にある上沓，下沓を持たないゴム支承である．ゴム支承本体のみで使用されるために，下部構造への取付けは沓座に載せているだけであり，上部構造に対してもボルトなどでの接続はしていない．水平力には，アンカーバーと呼ばれるボルトで対応しており，一般的にアンカーバーとの組合せで使用される．鋼橋での使用は少なく，主に橋長が短く移動量の少ないコンクリート橋に使用されている．**写真 1.5** にパッド型ゴム支承の適用例を示す．

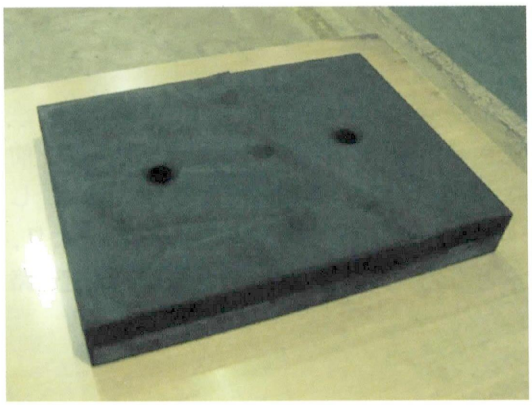


写真 1.4　パッド型ゴム支承

写真 1.5　パッド型ゴム支承の適用例

b) 可動・固定型ゴム支承

可動・固定型ゴム支承は，レベル１地震動に対応するタイプＡの支承と，レベル２の地震動に対応するタイプＢの支承がある．

ゴム材料としては NR と CR があるが，一般的に NR が使用されている．**図 1.20** に示すタイプ A の可動・固定型ゴム支承は，ゴム本体が上沓や下沓とボルトで結合されず，下沓に載せて設置される構造が一般的で，常時などにおける滑動防止のため，すべり止め板などを設置している．一方，**図 1.21** に示すタイプＢの可動・固定型ゴム支承は，ゴム本体が上沓と下沓にボルトで結合されている．

可動型ゴム支承は，桁の水平移動に対してゴムのせん断変形で追随するタイプとゴム本体上面のすべり面ですべらすタイプがあるが，一般的に，**写真 1.6(a)** に示すゴムのせん断変形タイプが使用されている．**図 1.22** に示すすべりタイプの可動型ゴム支承は，すべり材として PTFE 板を使用し，その相手面（上沓の裏側）には，ステンレス板を設置するのが一般的である．水平移動時には，PTFE 板とステンレス板との間で摩擦力が発生し，摩擦力の作用している間はゴム支承本体にせん断変形が生じる．摩擦力以上の水平力が生じると，すべり面で摺動するため，それ以上の水平力が生じることはない．したがって，上下部構造の大きな相対変位を吸収することができ

る．しかし，ゴム支承本体の繰返しせん断変形により，PTFE 板とゴム支承本体との接着切れを起こし，はく離することもある．

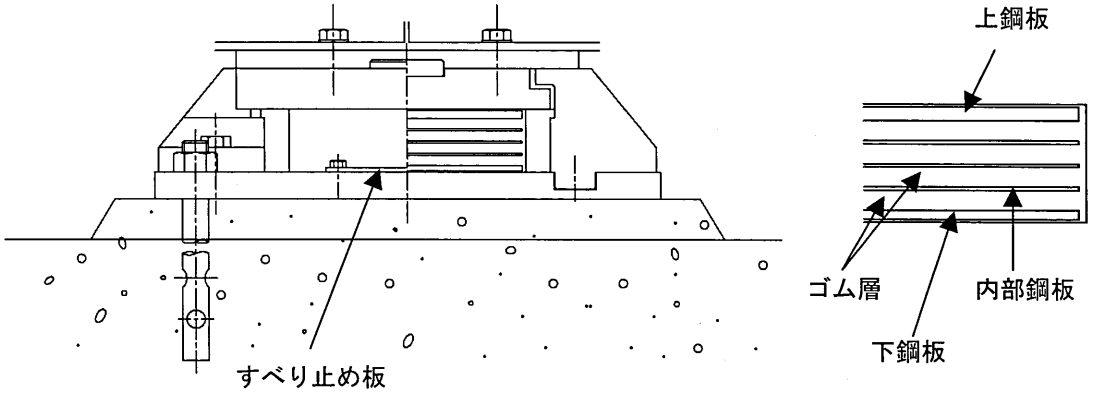


図 1.20　タイプ A ゴム支承の構造図

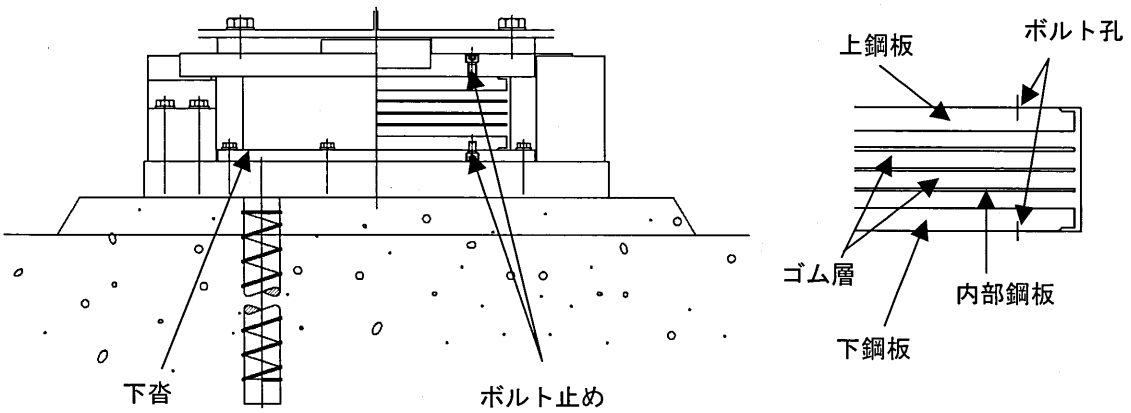


図 1.21　タイプ B ゴム支承の構造図

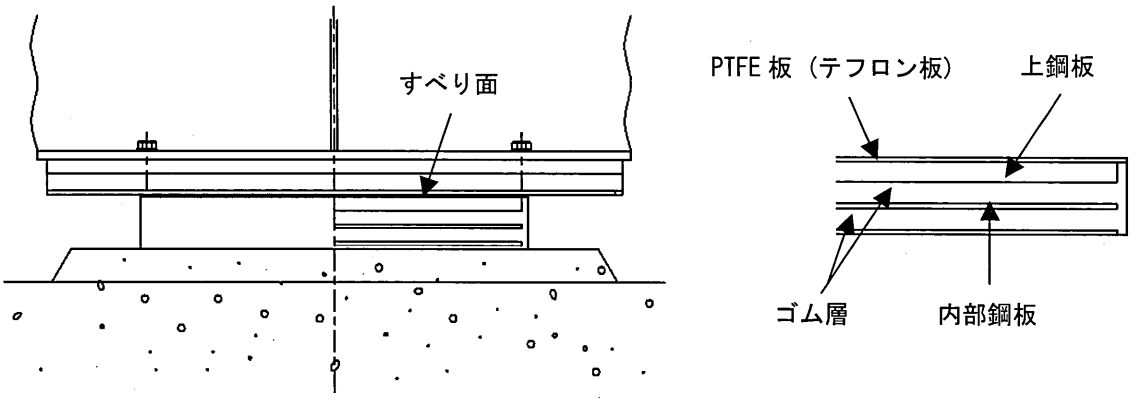
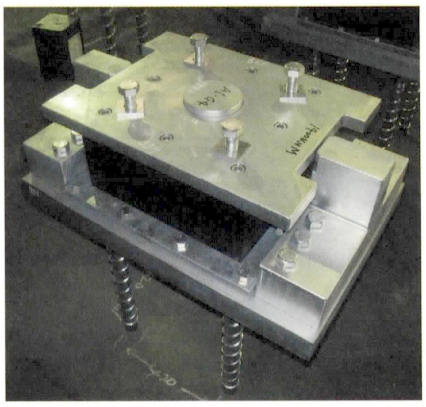


図 1.22　すべりゴム支承の構造図

タイプBの固定型ゴム支承は，**写真 1.6(b)**に示すように，橋軸方向，橋軸直角方向ともに，サイドブロックと称される鋼製の支持部材を設け，水平力に抵抗するのが一般的である．また，固定型ゴム支承は，下部構造の曲げ剛性で地震力を各支点に分散させる多点固定分散設計の支承として使用されることもある．



(a) 可動型ゴム支承

(b) 固定型ゴム支承

写真 1.6 タイプBゴム支承

c) 地震時水平力分散ゴム支承

地震時水平力分散ゴム支承は，ゴム支承本体のせん断剛性を利用し，地震力を複数の下部構造に分散させる支承で，ゴム材料は，一般的に NR が使用されている．**図 1.23** に示す構造は，端支点でレベル1地震動から伸縮装置を保護するために，ジョイントプロテクターと称する部材を橋軸直角方向に取付けた図である．

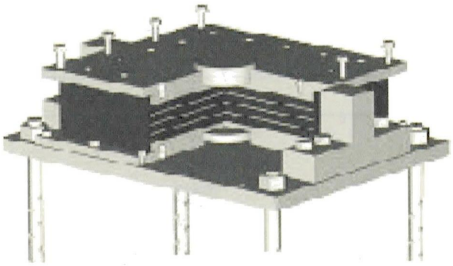
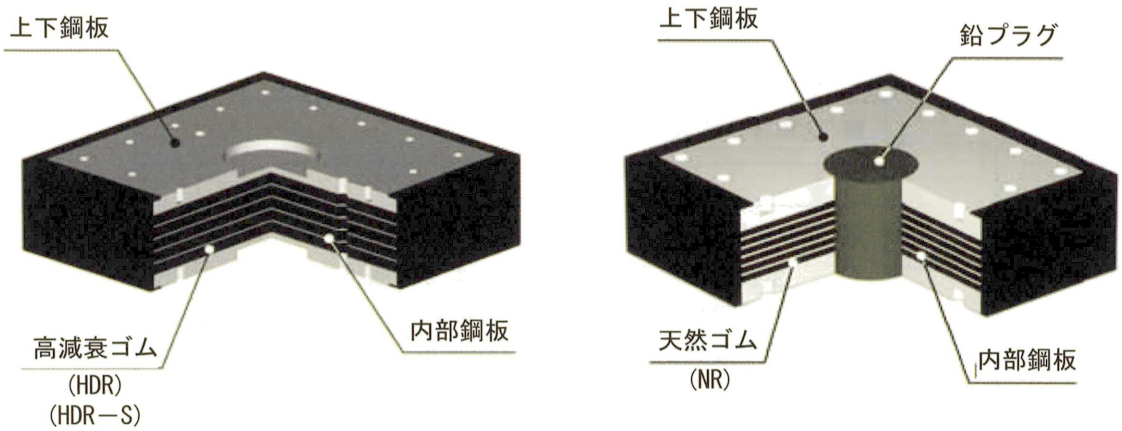


図 1.23 地震時水平力分散ゴム支承の構造図

d) 免震支承

免震支承は，ゴム支承本体のせん断剛性を利用することで，橋梁の固有周期を適度に長くし，さらに減衰機能により地震力を低減する支承である．**写真 1.7** は全方向に免震可能な支承である．ゴム材料として，高減衰ゴムを使用した高減衰ゴム支承（HDR）や超高減衰ゴム支承（HDR-S）および天然ゴム材のゴム支承に鉛棒を挿入した鉛プラグ入りゴム支承（LRB）が使用されている．免震支承の構造図を**図 1.24** に示す．

写真 1.7 免震支承



(a) 高減衰ゴム支承，超高減衰ゴム支承　　(b) 鉛プラグ入りゴム支承

図 1.24　免震支承本体の構造図

1.1.4　支承の設計

支承の設計手法を水平力の支持方法で分類すると，固定支持設計法と弾性支持設計法とに大きく分けられる．固定支持設計法は，固定部の数により，一支点固定設計と多点固定設計とに分けることができる．弾性支持設計法は，ゴム支承による地震時水平力分散設計と免震支承による免震設計に分けられる．

- 水平力の支持方法
  - 固定支持設計法
    - 一点固定設計
    - 多点固定設計
  - 弾性支持設計法
    - 地震時水平分散設計
    - 免震設計

(1) 可動・固定設計（一点固定設計）

可動・固定設計は，上部構造が単純桁あるいは２，３径間連続桁で，一支点固定の橋梁に用いられる設計法である．固定支点がひとつのため，下部構造が過大となり連続化には限界がある．支承には，鋼製支承とゴム支承が使用され，基本的に鋼製支承とゴム支承ともに可動支承と固定支承が同時に使用される．鋼製支承には，一般には支承高さが低く移動機能をすべりで対応する密閉ゴム支承板支承（BP･B 支承）が使用されている．また，固定支承は，鋼製支承およびゴム支承ともに地震力に抵抗するため，橋軸方向および橋軸直角方向に水平力支持機能を持っている．**図 1.25** に BP･B 支承（可動）の設計手順を示す．なお，**参考資料１**に BP･B 支承（可動），**参考資料２**に可動・固定型ゴム支承の設計例を示す．

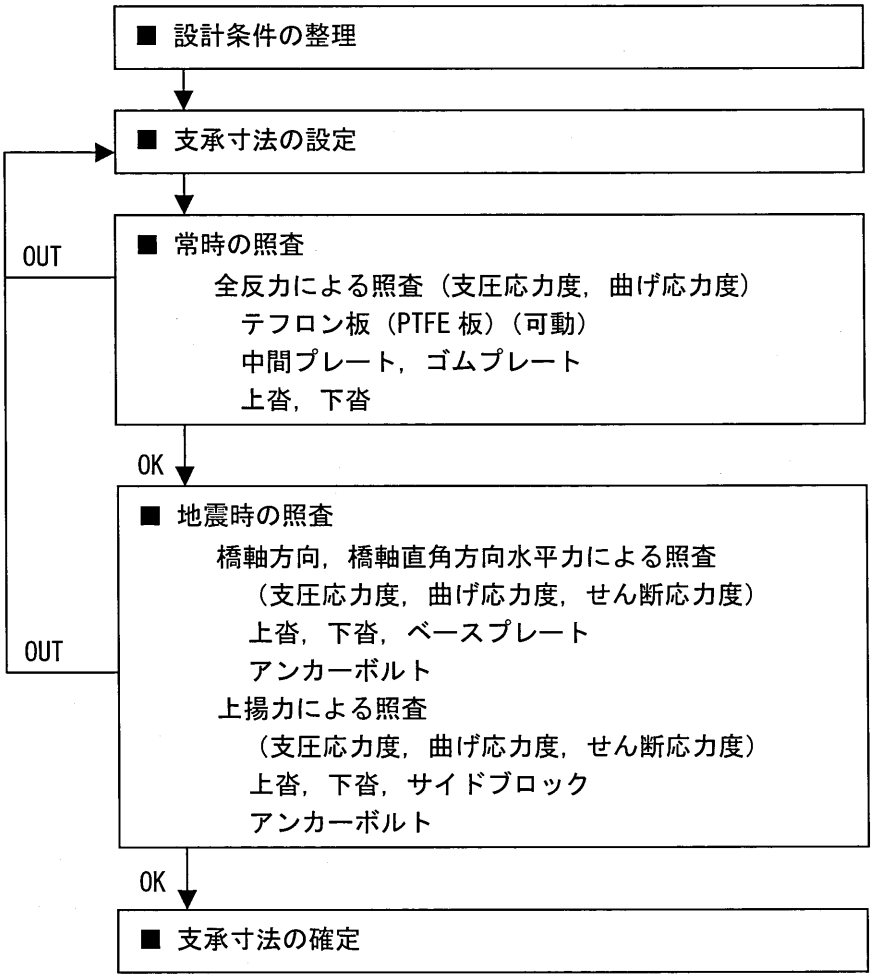
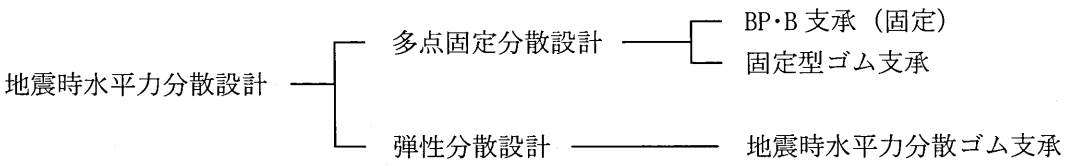


図 1.25　BP･B 支承の設計手順

(2) 地震時水平力分散設計

地震時水平力分散設計は，地震力を一支点のみではなく多支点に分散して負担させる設計法で，固定支承を使用し橋脚の曲げ剛性を利用して，複数の橋脚に地震力を分散させる多点固定分散設計や，ゴム支承のせん断剛性を利用して，各橋脚に地震力を分散させる弾性分散設計がある．

一般に，多点固定分散設計の支承には，固定支承が使用され，弾性分散設計の支承には，分散ゴム支承が使用されている．近年，鉛直力支持機能と水平力支持機能を分けた機能分離型支承も用いられており，鉛直支承には BP･B 支承やゴム支承が使用され，地震力の分散にはゴム支承（「**2.4.4 機能分離型支承に関する設計基準**」参照）が水平弾性体（水平ゴム支承）として使用されている．**図 1.26** に，ゴム支承の設計手順を示す．



(3) 免震設計

免震設計は，橋梁の固有周期を長周期化し，かつ支承の減衰力で地震力を低減させる設計法である．ゴム製の免震支承を用いた設計が一般的であるため，多支点への地震力の分散を同時に行うことができる．免震支承には，HDR，HDR-S および NR に鉛を挿入した LRB が使用されている．近年では，テフロン板などのすべり材の摩擦による摩擦減衰を利用した設計も用いられている(設計手順は図 1.26 を参照)．

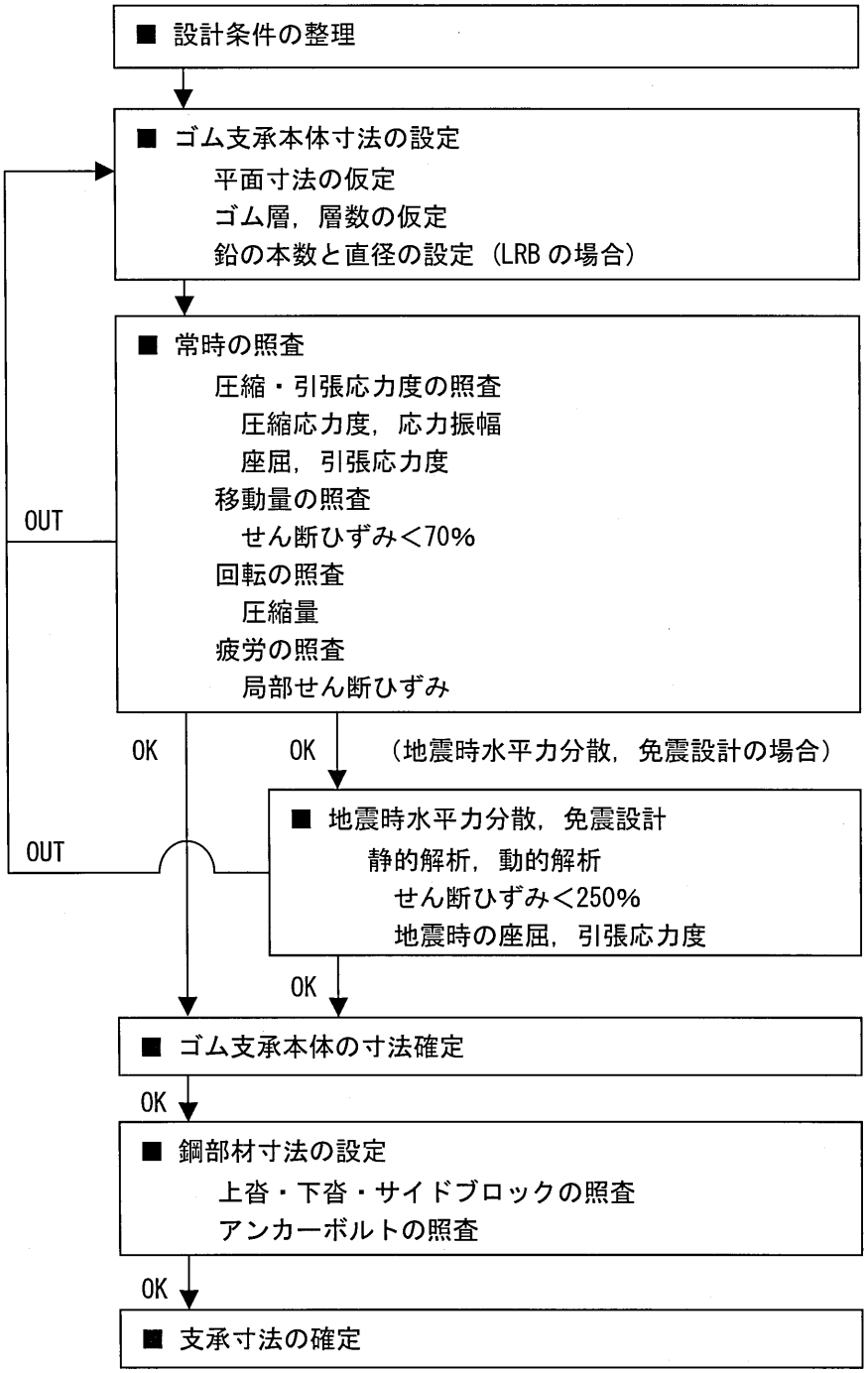


図 1.26　ゴム支承の設計手順

1.2 支承選定の基本的な考え方

支承は，上部構造と下部構造とを結ぶ重要な位置にあり，支承の選定が適切でない場合，温度変化に追随できなかったり，活荷重による回転を阻害したりする恐れもあることから，橋梁本来の機能を発揮するために，適切な支承選定を行うことが重要である．

支承の選定においては，橋梁の特性と支承の特性に留意することが重要である．橋梁の特性として留意すべきものとしては，①橋梁形式，②地盤条件，③設置環境などが挙げられる．例えば，橋梁の設計が分散設計か免震設計かの違いにより使用する支承も変えなければならない．また，基礎地盤の悪いところでは，橋を長周期化することにより，橋梁と地盤が共振を引き起こす可能性があることから，免震設計の適用は難しい．そのため，そのような箇所では，多点固定方式を含んだ分散設計になることが考えられ，それに見合った支承選定がされるべきである．

支承の特性の留意点としては，①支承反力，②移動方向と回転方向，③移動量と回転量，④施工性，⑤維持管理性，⑥経済性などがあり，鋼製支承とゴム支承の特徴，違いを十分理解することが重要である．

鋼製支承の特性としては，①大反力，大移動量，大回転量に対して経済的な設計がしやすくなる，②可動・固定支承はシンプル構造であり経済設計が可能となる，③負反力に対処しやすい，④適切な防食対策が必要となるなどが挙げられる．一方，ゴム支承の特性としては，①衝撃力を緩和できる，②水平力を分散・減衰することができる，③シンプルな構造にしやすい，④大移動量・大回転量に対して設計が困難となるか不経済な設計となりやすいなどが挙げられる．これら支承の特性や機能・構造を勘案して，支承の種類ごとに支承の鉛直荷重および支間長を主要因子とした支承の選定表を**表 1.3** にまとめた．

表 1.3 支承の適用範囲と上部構造の形式

支承の種類	鋼製支承			ゴム支承		
	支承板支承 (BP･B 支承)	ピン支承 ビボット支承	複数ローラー支承	可動・固定型ゴム支承	地震時水平力分散型ゴム支承	免震支承
鉛直荷重 (kN)	300～ 25,000	3,000～	3,000～	300～ 20,000	500～ 40,000	500～ 40,000
支間長 (m)	20～	50～	50～	20～	30～	30～
支持条件	可動・固定	固定	可動	可動・固定	弾性固定	弾性固定
単純桁	◎	○	○	○	△	△
連続桁	○	○	○	△	◎	◎
アーチ系	－	○	－	－	－	－

BP･B 支承およびゴム支承における鉛直荷重は，製作上の制約などから設定している．なお，地震時水平力分散型支承や免震支承などでは，一支承にゴム支承本体を２個配置することも考えられることから，最大反力は可動・固定型ゴム支承の２倍とした．

橋梁の設計方針として，可動・固定構造に加え，地震時水平力分散構造や免震構造などの採用が増加し，各所でゴム支承の採用が多くなっているが，単純桁においては，免震設計の効果は一般に小さく，また，ゴム支承を適用した場合には平面積が肥大化することも考えられ，経済性や

端支点部の鉛直たわみによる通行性（衝撃性）などの観点からも，BP･B 支承の適用が望ましいと思われる．一方，連続桁においては，橋梁の長周期化により橋梁に作用する地震力や応答変位の低減が期待できる場合では，地震時水平力分散ゴム支承や免震支承の採用が望ましく，橋梁を免震構造とした場合の固有周期が固定構造としたときの２倍程度以上となる場合では，免震支承の適用が望ましいと考える．ただし，前述のとおり橋梁と地盤との共振の恐れがある場合には，鋼製支承（BP･B 支承）あるいは固定ゴム支承による多点固定構造とするのが望ましい．

表 1.3 に示すほか，支承部の維持管理や施工性などについても，支承を選定する上で非常に重要な検討事項である．支承部の損傷は，多くの要因が複雑に影響しあいながら発生することが多いことからも，LCC なども勘案した上で，①維持管理のための空間の確保，②取替え可能な（容易な）構造の採用，③取替え時の施工性などを考慮した構造，とすることは橋梁全体の長寿命化に大きな影響を与えることになる．また，施工中における支承固定冶具や予変形冶具などについての検討も設計時点で行われることが望ましく，現場での施工性や安全性も考慮する必要がある．

支承部は，平成７年に発生した兵庫県南部地震を受けて改訂された平成 14 年版の道路橋示方書により，「橋を構成する主要構造部材のひとつ」と位置付けられ，支承部は，重要な構造体として要求性能の明確化などが行われた．鋼製支承については，兵庫県南部地震により多数の被害を受けたが，この主因は，それまで想定していた地震力を大きく上回る地震力の作用によるものである．現在の鋼製支承は，レベル２での地震動にも対応可能であり，耐震性能はゴム支承と同等である．

参考文献（第１章）

社団法人日本道路協会：道路橋支承便覧，平成 16 年 4 月
社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説，平成 14 年 3 月