

第2章 支承の変遷

橋梁用支承の歴史は古く、その源流は明治時代にさかのぼる。明治時代以前は、木橋や石橋が多く、支承構造物は明確でなかったが、明治期に入ると近代橋梁が海外から移入され、ここで、初めて支承を有する構造の橋梁が出現する。当時の支承としては、1枚ないし2枚のプレートにより、ただすべらせていた支承や、ロッカーないしローラーを挿入することにより、桁の水平移動・回転に追随するといった支承などであった。その後、さまざまな開発により、その材料や機能なども多様化し、支承の種類も多くなっていった。一方で、関東地震をはじめとして、宮城県沖地震や兵庫県南部地震など経験する中で、構造の改良や設計思想など、支承の考え方にも変化が求められてきた。

表2.1に示す支承変遷の一覧表は、過去の大きな地震をはじめ、示方書・指針類の改訂や支承の設計体系などについて示している。また、支承種類ごとの適用年代についても示しているが、正確な年代の特定が困難であった支承もあり、参考程度に留めていただきたい。なお、表中の矢印の実線は主に使用されている時代、点線は使用されていたと考えられるが、断定できない時代を示している。

2.1 示方書・指針・標準設計類の変遷

道路橋に関する規定は、明治19(1886)年の内務省訓令による「国県道築造標準」(450kg/m²満載)により始まる。この「国県道築造標準」では、荷重のほか、橋の幅員などについて規定されていた。道路に対する統一的な法制度の気運が明治の後期に高まり、道路法に基づいて大正8(1919)年に、「道路構造令」および「街路構造令」が内務省令として公布された(490~613kg/m²満載)。当時、道路交通の主体は馬車や荷車であったが、このとき初めて道路橋に車輛荷重(7.9t, 11.25t)や幅員が制定された。

2.1.1 関東地震

大正12(1923)年に発生した関東地震のうち、大正15(1926)年には、自動車交通の発達に伴う交通事情に即応するため、内務省土木局より橋梁を意識した基準である「道路構造に関する細則案」が制定された。この細則案では、衝撃荷重の追加、一等級から三等級という橋梁の等級の設定、さらに、それら等級に対する活荷重を定めている。この頃から、ピン支承やローラー支承はその原形を確立していったと考えられる。

昭和に入ると、自動車台数の増加につれ、規定の内容も自動車交通を対象とするものになり、昭和14(1939)年に、橋梁の等級や活荷重に関して、内務省土木局より「鋼道路橋設計示方書案」が発刊された。この示方書では、設計震度(水平震度 $k_h=0.2$, 鉛直震度 $k_v=0.1$)など、鋼橋に対する設計・施工指針が定められ、現在の示方書の原点となるものであったが、本格的な対応は第二次世界大戦後の経済復興からであった。

2.1.2 高度経済成長期

経済成長の伸びに応じて車両の大型化や重量化が進み、道路規格も昭和31(1956)年に、日本道路協会より発刊された「鋼道路橋設計示方書」により、近代的自動車交通に見合う規格に改正がなされ(TL-20, TL-14 荷重の制定)、支承材料の最小厚、設計荷重、縁端距離、斜橋の支承配置など、支承の細部規定が設けられた。さらに、設計水平震度においても、地域別、地盤別に区

表 2.1(a) 支承の変遷 (明治初期～昭和 36 年)

年代		発生地震	示方書/指針/ 標準設計等	設計体系
明治初期	—			可動支承と固定支承の区別なし
明治中期	—			アンカーボルトなし
明治 23 年	1890 年			
明治 28 年	1895 年			
明治 32 年	1899 年			
明治 40 年	1907 年			
大正 5 年	1916 年			
大正 12 年	1923 年	関東地震		アンカーボルトによる下部構造への定着 上沓, 下沓の連結 浮き上がり止めサイドブロック配置等の改良
大正 15 年	1926 年		道路橋構造細則案 (内務省土木局)	アンカーボルト, ピン, ローラー, コンクリート等の許容応力度を規定 (アンカーボルト許容せん断応力 900kgf/cm^2)
昭和初期	—			下沓下面のリブで水平力負担 アンカーボルト (1 本) の付着で上揚力を負担
昭和 12 年	1937 年			
昭和 14 年	1939 年		鋼道路橋設計示方書 案 (内務省土木局)	震度: $kh=0.2$, $kv=0.1$ アンカーボルト埋め込み深さ $15d$ 以上, 2 本配置 曲げ, せん断等の応力度規定
昭和 27 年	1952 年			
昭和 30 年代	—			
昭和 31 年	1956 年		鋼道路橋設計示方書 (改訂)	構造用鋼材, 鋳鋼, 鋳鉄の応力度の追加改訂 支承材料の最小厚, 設計荷重, 縁端距離, 斜橋支承配置等の支承詳細規定 の明確化 アンカーボルトは, 大支間の橋では 4 本以下, 小支間の橋では 2 本以下 地域別, 地盤別に水平震度を区別: $kh=0.1\sim 0.35$
昭和 33 年	1958 年			
昭和 34 年	1959 年			
昭和 36 年	1961 年			

特記事項	支承タイプごとの適用年代														
	線 支 承	鋼製支承						ゴム支承					機 能 分 離 型 支 承 ※		
		支 承 板 支 承		ピ ン 支 承	ピ ボ ット 支 承	ロ ー ラ ー 支 承			パ ッド 型 ゴ ム 支 承	ゴ ム 支 承	可 動 ・ 固 定 型	す べ り ゴ ム 支 承		地 震 時 水 平 力 分 散 ゴ ム 支 承	免 震 支 承
		B P ・ A 支 承	B P ・ B 支 承			1 本 ロ ー ラ ー 支 承	ロ ー ラ ー 支 承	ピ ン 複 数							
錬鉄板を配置した単純なすべり支承 桁の下面を円筒部で受ける角形の支承（線支承の 原形）	■														
鋳鉄製のころがり支承	■														
ボーストリングトラス橋でロッカー支承を採用 線支承の下面に突起を設置 ヒンジ支承の上下沓の間にピンを挿入	■		■			■									
ローラー支承を採用（国鉄阿武隈川橋梁）（回転機 能なし、アンカーボルトなし）	■		■			■									
クーパー桁において回転機能のあるローラー支承 を使用	■		■			■									
橋桁の支柱に鋳鋼製ピボット支承の採用	■		■			■									
ローラー支承の上下沓の間にピンを挿入	■		■			■									
ローラー支承・ピン支承でせん断型のピン構造を採 用	■		■			■									
ピン支承、ローラー支承は現在の原形を確立	■		■			■									
線支承が開発され、鋼桁用として広く普及（摩擦係 数を低く抑えるため鋳鉄品を使用） 中華民黄河橋梁にローラー逸脱防止装置を初めて 設置（国内は昭和24年）	■		■			■									
溶接用圧延鋼材のJIS化	■		■			■									
BP・A支承の開発 高硬度1本ローラー支承の開発 ピン・高硬度ローラー支承の普及 フランスよりパッド沓（ゴム支承）を輸入	■	■	■			■				■					
支間長が30m以下では、すべり支承（線支承）、反 力の大きい場合や伸縮量の大きい場合にはころが り支承 低合金鋳鋼品のJIS化	■	■	■			■				■					
国鉄でパッド沓を採用	■		■			■				■					
BP・A支承が国内初採用（五号橋） 日本独自のパッド沓が採用され、以後、構造の単純 さ、施工の簡便さから利用が増加	■	■	■			■				■					
BP・B支承の研究開始	■	■	■			■				■					

表 2.1 (b) 支承の変遷 (昭和 38 年～昭和 63 年)

年代		発生地震	示方書/指針/ 標準設計等	設計体系
昭和 38 年	1963 年		鋼道路橋設計示方書 (改訂) 鋼道路橋製作示方書	SS490, SM490A, FC150, FC200, FC250 等の規定を追加 支承に作用する負反力の取り扱いを規定
昭和 39 年	1964 年	新潟地震	鋼道路橋設計示方書 (改訂)	
昭和 40 年代	—			
昭和 41 年	1966 年			
昭和 45 年	1970 年		支承標準図集 (日本道路公団)	
昭和 47 年	1972 年		道路橋耐震設計指針	支承の耐震性能明確化 (移動制限装置, 縁端距離, 桁間連結装置, 落橋防止装置等を規定) 震度: $kh=0.1\sim0.24$
昭和 48 年	1973 年		道路橋示方書・同解説 道路橋支承便覧	修正震度法 $0.05\sim0.34$, $kv=0.1$ アンカーボルト 2 本配置 (大支間は 6 本以下) アンカーボルト埋込み深さは 10d 以上 SCW410, SCW480, SCM1A, SCM2A 追加
昭和 51 年	1976 年		道路橋支承標準設計 (ゴム支承・すべり支承編)	アンカーボルト埋め込み深さ, 実績を考慮して 15d 以上
昭和 53 年	1978 年	宮城沖地震		ストッパー部の損傷が報告され, 応力集中箇所への丸み付けが始まる
昭和 54 年	1979 年		道路橋支承標準設計 (ピン支承・ころがり支承編) 道路橋支承便覧 (施工編)	先に発刊されている (ゴム支承・すべり支承編) と合わせて, 支承の設計が標準化
昭和 55 年	1980 年		道路橋示方書・同解説 (I・II・V改訂)	支承および落橋防止構造に関する規定の改訂 鋳鉄を主要部材に使用しないように示唆 負反力の算定方法が改訂
昭和 57 年	1982 年		道路橋支承標準設計 (改訂)	
昭和 58 年	1983 年	日本海中部地震		
昭和 60 年	1955 年		構造物標準設計図 (日本道路公団)	
昭和 62 年	1987 年			
昭和 63 年	1988 年		維持修繕要領 (橋梁編) (日本道路公団)	

特記事項	支承タイプごとの適用年代																	
	線支承	鋼製支承						ゴム支承					機能分離型支承 ※					
		支承板支承		ピン支承	ピボット支承	ローラー支承			ピボット支承	ロッキングピア	ロツカー支承	パッド型ゴム支承		可動・固定型ゴム支承	すべりゴム支承	ゴム支承	地震時水平力分散	免震支承
		BP・A支承	BP・B支承			1本ローラー支承	ピン複数ローラー支承	ピボット										
土木研究所にてBP・A支承の摩擦試験を実施 高硬度ローラーを採用(東名高速) BP・B支承を採用(中央道)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							
高硬度ローラーの普及 コロウェルドローラー(硬質肉盛り溶接型ローラー)を採用(高津川橋) ローラー逸脱防止装置(ガイドプレート)の採用	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							
高硬度ローラー支承のローラーと支圧板にSNCM材およびCWA材の肉盛りを明記 すべり支承のすべり材にHBsC材, PTFE材を明記 また, 相手面にクロムめっき, 固体潤滑材焼付被膜を明記 地震時水平力分散支承が実用化	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					■		
溶融亜鉛めっき支承の開発 高硬度ローラー支承のローラーおよび支圧板はC-13BおよびCWAで標準化	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					■		
「溶融亜鉛めっき支承の製作および検査基準(案)」(日本支承協会)を作成	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					■		
移動制限装置の改良(R加工), 鋳鋼の使用の改訂 東名・名神高速道路において支承点検を実施 昭和57~58年にかけて, 日本道路公団試験所において「ゴム支承の耐荷力に関する試験」を実施	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					■		
隅角部のR処理の明記 溶接部めっき支承の不めっき処理部分の明記(ステンレス板の設置など) 溶融亜鉛めっき支承製作基準(案)の明記	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					■		■
土木研究所にて免震橋の研究が開始	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					■		■

表 2.1(c) 支承の変遷 (平成元年～平成9年)

年代		発生地震	示方書/指針/ 標準設計等	設計体系
平成元年	1989年		施工管理要領基準集 (日本道路公団)	
平成2年	1990年		道路橋示方書・同解説 I, II, III, IV, V (改訂)	修正震度法に一本化 温度+地震の荷重の組合せ削除
平成3年	1991年		道路橋支承便覧 (改訂)	
平成4年	1992年		建設省道路橋の免震設計法マニュアル (案) (土木研究センター)	
平成5年	1993年	北海道南西沖地震	道路橋示方書・同解説 I, II, III, IV (改訂) 道路橋支承標準設計 (改訂)	道路構造令の設計自動車荷重の改正に伴い改訂 アンカーボルトの埋め込み深さを15dから10dへ変更 公称全反力125t以下のアンカーボルトの本数を2本から4本に変更 アンカーバーの形状および上巻の接合方法を変更 鋳鋼製部品の材質をSCMn1Aに統一 (ころがり支承) ゴム支承の設計において、許容最大圧縮応力度と許容せん断ひずみを変更、局部せん断ひずみの照査を追加
平成6年	1994年		維持修繕要領 (橋梁編) (改訂) (日本道路公団)	
平成7年	1995年	兵庫県南部地震	兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様 (復旧仕様) (建設省)	
平成8年	1996年		道路橋示方書・同解説 I, II, III, IV, V (改訂)	免震設計法を規定 3種類の地震を想定し、水平震度を区別 震度法 : $kh=0.1\sim 0.3$ 地震時保有水平耐力法 (タイプ I) : $khc=0.3\sim 1.0$ 地震時保有水平耐力法 (タイプ II) : $khc=0.6\sim 2.0$
平成9年	1997年		設計要領第二集 (日本道路公団)	

表 2.1(d) 支承の変遷 (平成 11 年～平成 19 年)

年代		発生地震	示方書/指針/ 標準設計等	設計体系
平成 11 年	1999 年		構造物施工管理要領 (日本道路公団)	
平成 14 年	2002 年		道路橋示方書・同解説 I, II, III, IV, V (改訂)	性能規定型の表現に移行 鋼材の地震時割増係数を 1.5 から 1.7 へ引き上げ
平成 16 年	2004 年	新潟県中越地震	道路橋支承便覧 (改訂) 構造物施工管理要領 (改訂) (日本道路公団)	地震時の移動量を追加 同一支承線上の各個撃破対策を施す 風時, 地震時の性能照査を追加 ゴム支承の照査方法を一部変更
平成 17 年	2005 年	福岡県西方沖地震		
平成 19 年	2007 年	能登半島地震 新潟県中越沖地震		

特記事項	支承タイプごとの適用年代																						
	線支承	支承板支承		ピン支承	ピボット支承	ローラー支承				ピボット支承	ロッピングピア	ロッカー支承	ゴム支承										
		BP・A支承	BP・B支承			1本ローラー支承	ローラー支承	ピン複数	複数ローラー支承				ピボット	パッド型ゴム支承	ゴム支承	可動・固定型	すべりゴム支承	ゴム支承	地震時水平力分散	免震支承	機能分離型支承		
支承に求められる複数の機能を複数の構造体で構成する「機能分離型支承」(例えば、鋼製支承とゴム支承の組合せ)が使われ始める																						※	
橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動、発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動をそれぞれレベル1地震動、レベル2地震動と定義 支承および落橋防止装置の機能と要求性能の明確化																							
線支承、BP・A支承の使用 방법에制限 鋳鋼品を使用する場合は、じん性の保証された材料を用いる 鋳鋼品の質量効果の影響を考慮 ピン、ローラーの切り欠き部などで抵抗させない構造が望ましい、また、ローラーの逸脱防止装置を設置 ベースプレートを用いる場合は、アンカーボルト用孔のガタを小さくする																							
ゴム支承の鋼材部の設計標準(案)(日本支承協会・ゴム支承協会)を作成																							

※ 機能分離型支承に関しては「2.4.4 機能分離型支承に関する設計基準」を参照。

別 ($kh=0.1\sim 0.35$) された。昭和 33 (1958) 年には、「道路構造令」が一新された。この改訂では、道路に舗装を行うことや、線形や設計速度に関する規定、最高速度の規格向上 (最高 80km/h) および道路の幅員と交通容量の規定などが行われた。

昭和 38 (1963) 年の「鋼道路橋設計示方書」改訂および「鋼道路橋製作示方書」の発刊により、支承に作用する負反力の取り扱いについて規定された。その後、高速道路の建設が進められ、昭和 45 (1970) 年には、3 度目の「道路構造令」の改正がなされた。主な改訂内容は、①海上コンテナの陸送等輸送の合理化に対応して自動車の制限高さを 3.8m とした、②地方の道路にも歩道の設置し、安全施設等の規定を設けた、③道路種別に応じて、最高 120km/h までの設計速度を制定した、などである。道路橋も車輛の大型化に対応するため、昭和 48 (1973) 年に、大型トレーラ荷重に対する規定を制定している (TT-43 荷重の制定)。

昭和 47 (1972) 年に発刊された「道路橋耐震設計指針」では、地震時に橋が落ちないことを焦点とし、移動制限装置や縁端距離、桁間連結装置や落橋防止装置などについて規定され、設計震度の見直し (水平震度 $kh=0.1\sim 0.24$) など支承に対する耐震性能についても示された。

昭和 48 年の「道路橋示方書・同解説」では、可動支承の移動量、負反力に対する安全性などについても詳細が示された。

昭和 30 年代より、これまでの線支承、ピン支承、ローラー支承などに加え、摩擦係数の低い BP・A 支承や BP・B 支承などさまざまな支承が開発され、橋梁ごとに支承の選定および設計が行われるようになった。選択肢が増えた反面、設計および製作の面では必ずしも統一が図れていなかったものの、昭和 48 年の「道路橋支承便覧」、昭和 51 (1976) 年および昭和 54 (1979) 年の「道路橋支承標準設計 (ゴム支承・すべり支承編)」、および (ピン支承・ころがり支承編)」の発刊により、支承の設計が標準化された。さらに、昭和 54 年には、支承の施工方法について示した「道路橋支承便覧 (施工編)」が発刊された。

2.1.3 宮城県沖地震

昭和 53 (1978) 年に発生した宮城県沖地震を受け、昭和 55 (1980) 年に「道路橋示方書・同解説」が改訂された。この改訂で、負反力の算定方法についても見直しが行われ、支承および落橋防止構造に関する規定も見直された。その後、昭和 57 (1982) 年には「道路橋支承標準設計」が改訂された。

平成 2 (1990) 年に改訂された「道路橋示方書・同解説」では、従来規定されていた「主荷重 + 温度 + 地震」の荷重組合せが削除され、また、修正震度法に一本化された。道路橋示方書の改訂に伴い、平成 3 (1991) 年には「道路橋支承便覧」が改訂された。

平成 4 (1992) 年には、建設省土木研究所より「建設省道路橋の免震設計法マニュアル (案)」が発刊され、橋梁の免震化が広がりはじめた。平成 5 (1993) 年に、経済活動の効率のよい推進を図るため、「道路構造令」が改正され、道路橋の車輛の大型化への対応として、自動車荷重を従来の 20t もしくは 14t から一律 25t に改訂された。これに伴い、道路橋示方書では、橋梁の等級が廃止され、25t の大型車の走行頻度が低い状況を想定した A 活荷重と、走行頻度の高い状況を想定した B 活荷重が設定された。道路構造令において、設計自動車荷重が改正されたことから、平成 5 年には「道路橋示方書・同解説」の改訂が行われた。また、「道路橋支承標準設計」も改訂された。

2.1.4 兵庫県南部地震

平成 7 (1995) 年に発生した兵庫県南部地震では、支承にも多くの損傷が生じ、支承部に起因

すると思われる橋梁の被害も多く見受けられた。これを受け、同年に建設省から「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に関わる仕様（復旧仕様）」が通知され、翌平成8（1996）年には、「道路橋示方書・同解説」の改訂が行われた。改訂では、支承部について「橋を構成する主要構造部材のひとつ」と位置付け、マグニチュード7クラスの内陸直下型地震に対しても、必要な耐震性能を確保するように規定された。また、耐震設計に関する規定の改訂により、新たに免震設計法が規定され、設計水平震度についても3種類の地震を想定し区別された（震度法：水平震度 $k_h=0.1\sim 0.3$ 、地震時保有水平耐力法（タイプⅠ）：水平震度 $k_{hc}=0.3\sim 1.0$ 、地震時保有水平耐力法（タイプⅡ）：水平震度 $k_h=0.6\sim 2.0$ ）。

平成14（2002）年に改訂された「道路橋示方書・同解説」では、支承部に用いられる鋼材の地震時割増係数が1.5から1.7へ引き上げられた。また、橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動をレベル1地震動、発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動をレベル2地震動と定義された。なお、この改訂では、従来の仕様規定型から性能規定型への移行が図られ、支承および落橋防止構造についての機能と要求性能も明確化されている。

道路橋示方書の改訂を受け、平成16（2004）年には「道路橋支承便覧」の改訂がなされた。この改訂では、従来の標準仕様の記述を性能規定型へ見直し、支承部の役割・機能・要求性能について記載されている。また、支承部に必要となる機能を整理し、そのための機構・材料・構造の選定についても解説され、支承部の施工・維持管理についても詳細が記された。さらに、ゴム支承の照査方法の一部についても、さまざまな知見や試験データなどから変更となり、支承部に求められる複数の機能を複数の構造体で構成する「機能分離型支承」（例えば、鋼製支承とゴム支承の組合せ）について新たに記載された。

平成17（2005）年には、日本支承協会およびゴム支承協会により、「ゴム支承の鋼材部の設計標準（案）」が作成され、これによって、鋼材部の設計において、着目する項目と作用力の考え方が統一され、設計の合理化が図られた。

2.2 支承材料の変遷

2.2.1 鋼製支承

明治初期に使用されていた支承は、鍛鉄板を用いた単純なすべり支承であった。明治中期になると、材料に鋳鉄を用いたころがり支承などが見られ、この頃より、鋳鉄製支承の時代に入ったものと考えられる。さらに、鋳鉄の間に鋼ローラーを組合せたローラー支承やピン支承なども現れた。明治末期までには、ローラー支承やピン支承に鋳鋼が使用されたものと考えられる。

大正 15 年の「道路構造に関する細則案」では、アンカーボルトやピン、ローラーやコンクリートなどの支圧応力度が定められ、アンカーボルトの許容せん断力は 900kgf/cm^2 と定められていた。昭和に入ると、摩擦係数を低く抑えるために、支承材料に鋳鉄品を使用した線支承が開発され、鋼桁用として広く普及した。昭和 14 年の「鋼道路橋設計示方書案」により、鋼材や鋼棒に関する許容応力度（曲げ、せん断、支圧など）が規定され、昭和 31 年の「鋼道路橋設計示方書」では、鋼材、鋳鉄、鋳鋼の応力度の改訂が行われた。

昭和 30 年頃まで、支承に用いられていた材料に変化はなく、鋳鉄、鋳鋼、鋼材の 3 種類により構成されていたが、昭和 30 年代には、ローラー支承のローラーについて、その支圧強度や耐腐食性を向上させる研究が行われ、圧延鋼材、鍛鋼品、合金鋼と移行し、ついには、高硬度ローラー支承が完成した。また、摩擦係数の低いすべり支承の研究も行われ、高力黄銅支承板やふっ素樹脂板を用いる支承も登場するようになった。

昭和 38 年の「鋼道路橋設計示方書」および「鋼道路橋製作示方書」により、一般構造用圧延鋼材 (SS490)、溶接構造用圧延鋼材 (SM490A)、ねずみ鋳鉄品 (FC150, FC200, FC250) などの規定が追加され、それぞれの許容応力度が示された。また、昭和 48 年の「道路橋示方書・同解説」では、鋳鋼として従来の炭素鋼鋳鋼品 (SC450) に加え、溶接構造用鋳鋼品 (SCW410, SCW480) や低マンガン鋳鋼品 (SCMn1A, SCMn2A) が追加され、支承材料として用いる鋳鋼品の種類が増加した。さらに、「道路橋支承便覧」も発刊され、高硬度ローラー支承のローラーと支圧板にニッケルクロムモリブデン鋼鋼材 (SNCM) や特殊マルテンサイト系ステンレス鋼 (CWA) の肉盛りが明記された。また、すべり支承のすべり材に高力黄銅鋳物 (CAC (HBsC)) 材や PTFE 材、その相手面 (上沓下面) としてクロムメッキや固体潤滑材焼付被膜などが明記された。

さまざまな開発などが行われる一方で、昭和 53 年に発生した宮城県沖地震により、支承材料として鋳鉄を主要部材に使用しないよう示唆された。平成 3 年には「道路橋支承便覧」が改訂され、隅角部に対する丸み付けやすべり支承のすべり材相手面としてステンレス板を溶接することなどが明確に示され、溶融亜鉛めっき支承の製作に関する留意事項なども示された。さらに、平成 5 年の「道路橋示方書・同解説」の改訂では、ころがり支承において鋳鋼製部品の材質が SCMn1A に統一された。

兵庫県南部地震において、大型のピボット支承などに見られた損傷形態が脆性破壊であったことから、このような破壊を回避するため、高じん性材料の開発が行われた。震災以前の設計では、強度を優先するため、支承本体の主な材料は SCMn1A であったが、この材料はじん性に乏しいものであることから、シャルピー衝撃試験によりエネルギー量の規定がなされている SCW480 を標準とすることにより、じん性値を高めることとした。なお、シャルピー衝撃試験を行った事例によれば、表 2.2 に示すように、SCW480 は震災以前の材料に比べ、非常に高いじん性値を示していることが確認できる。

また、近年では、すべり系支承による免震設計が用いられるようになり、ふっ素樹脂板以外にさまざまな材料を用いたすべり支承の開発が行われている。

表 2.2 シャルピー衝撃試験の結果

分類	材質	吸収エネルギー (J)
震災以前に使用 していた材料	SC450	36, 36, 43
	SCMn1A	46, 42, 47
現在標準的に使用 されている材料	SCW480	120, 148, 167

2.2.2 ゴム支承

ゴム支承は、昭和 30 年代にフランスより輸入され、広く用いられるようになった。当時のゴム材料は CR で、その構造は、パッド型と呼ばれるものであった。ゴム材料は、骨格となるとなる原料ゴム（ポリマー）と種々の特性や加工性を調整するための添加剤類がブレンドされた複合的な高分子化合物であった。ゴムの最大の特徴である大きく伸び縮みするゴム弾性は、この高分子鎖の変形に因り、材料の基本的な特性は、ポリマーの性質に依存している。さらに昭和 48 年には、ゴム材料に NR を用いた地震時水平力分散型ゴム支承が実用化された。以降、耐疲労性の観点から、CR に代わり NR が用いられるようになった。

近年では、免震支承による免震設計が取り入れられている。免震支承は、ゴム支承本体のせん断剛性を利用したアイソレート機能と、減衰機能（エネルギー吸収）を併せ持った支承であり、その構造は、特殊配合により減衰機能を付加した HDR によるものと積層ゴム中央部に鉛プラグを挿入し一体化した LRB の二種類がある。また、高減衰ゴムは、さらなる高性能化を目的とした開発が進められ、製品化に至っている。

ゴム支承の破断特性については、減衰機能の比較的小さい NR を用いた積層ゴム支承 107 体を対象とした破断試験により、 $\gamma=300\%$ 以上を有していることが確認されており、その中央値としては、 350% 付近であることが分かっている。また、旧日本道路公団の「構造物施工管理要領」においては、平面形状が 1,000mm 以上の大型のゴム支承に対し、1 年 1 回以上の破断試験を行い、 $\gamma=300\%$ 以上の破断特性を有していることを確認するように規定されており、この規定に該当するゴム支承については、品質が保持されている。しかし、品質を保持するために多くの破断試験が行われるが、近年、破断試験に用いた試験体の処分問題が顕在化してきている。ゴム支承は、成形段階における加硫反応の影響により、可逆的にゴム材料に戻すことができないため、再利用が難しい。また、ゴムと鋼板とを分離させる技術についても、まだ、合理的な手法が確立されていないため、ゴム支承材料の再利用技術の開発は、環境問題も含めて今後の大きな課題である。

2.3 支承構造の変遷

2.3.1 鋼製支承

明治初期に使用されていた錬鉄板は、図 2.1(a)に示すように、支点部に配置されているだけであり、可動・固定の区別はなく単純なすべり支承であった。線支承が用いられ始めたのもこの頃である。線支承の初期のタイプは、桁の下面を円筒部で受ける角形ものが採用されており、アンカーボルトは使用されていない。

明治中期に入ると、支承下面に凸型突起を設けるようになり、鋳鉄製のころがり支承が登場した。図 2.1(b)に示す初期のロッカー支承は、明治 23 (1890) 年に、ボーストリングトラス橋に使用されたものの一例である。これは、上下鋼板の間に 1 本のロッカーを挿入し、桁の水平移動と回転に追従するものである。また、図 2.1(c)は、明治 28 (1895) 年に、国鉄の阿武隈川橋梁に使用された初期のローラー支承である。上下の鋳鉄沓の間に鋼ローラーを挿入したもので、支点位置における桁の回転に追従できない構造となっており、アンカーボルトも使用されていない。

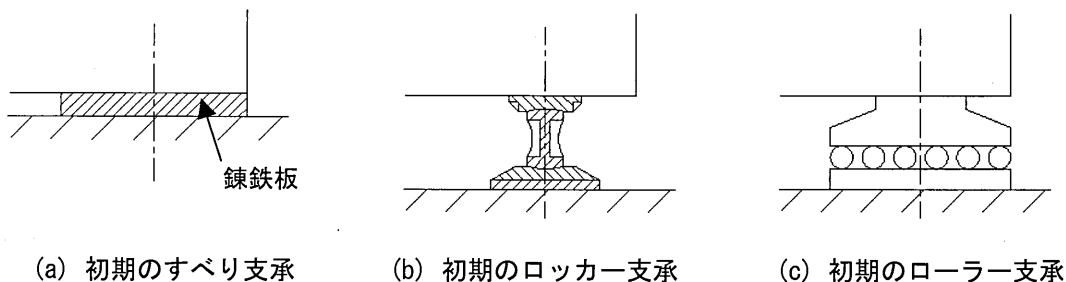


図 2.1 初期の支承構造（明治初期～大正中期頃）

その後、支承構造は、ほとんど変わらなかったが、大正 12 年に発生した関東地震を境に、地震に対する配慮がなされ、各部位の構造の変更と機能の改良がなされた。当時の支承は、上沓と下沓の連結、橋軸直角方向のずれ止めなどが考慮されていなかったため、上沓および下沓の連結、アンカーボルトによる下部構造への定着、浮き上がり防止サイドブロックの配置などの改良がなされた。また、ローラー支承においては、桁の回転に追従するよう、図 2.2 に示すとおり、上・下沓の間にピンを挿入するように改良された。

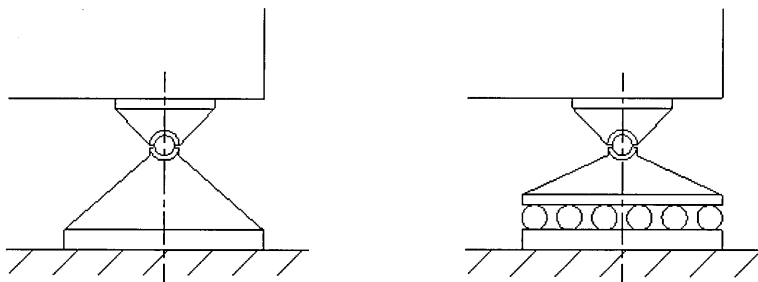


図 2.2 関東地震以降に改良されたピン支承、ピンローラー支承

次に、鋼製支承の構造変遷について述べる。

(1) 線支承

小判型の線支承は、昭和初期から用いられるようになった。支承本体は鋳鉄製で、下沓下面の突起により水平力を、アンカーボルトにより上揚力をとらせる構造であったが、昭和31年の「鋼道路橋設計示方書」では、すべり支承（線支承）の使用については、桁の移動量が30mm以下（支間30m以下）の場合となっていた。

(2) BP・A 支承と BP・B 支承

昭和30年代には、すべり支承の研究が進められ、低い摩擦係数を有する支承板（ベアリングプレート）を上沓と下沓の間に挿入するBP・A支承が開発された。BP・A支承は、当初線支承とソールプレート間に移動機能を持たせるため長方形の支承板を挿入する構造であり、図2.3(a)に示すような中央部の板厚が薄いものであった。その後、中央部での損傷事例が報告されたため、中央部の板厚の厚い円盤状に改良された（図2.3(b)参照）。また、現在すべり材として用いられている四ふっ化エチレン樹脂（PTFE）についても研究がなされ、昭和38年以降、高速道路でふっ素樹脂支承板支承が使用され始めた。さらにゴムプレートを下沓内に設置したBP・B支承も開発された。

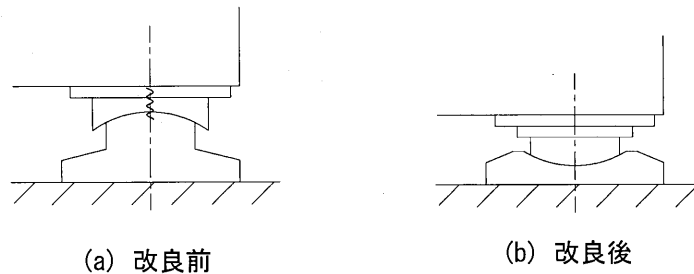


図 2.3 支承板支承の改良

BP・A支承およびBP・B支承について標準図を比較すると、表2.3に示すような違いが見られた。昭和51年の日本道路協会標準設計では、上沓ストッパー部や下沓立ち上がり部の丸み付けがなく、上沓下面のステンレス板は設置されていなかった。また、BP・A支承に用いられるベアリングプレートには高力黄銅鋳物三種（CAC303（HBsC3））を使用していた。さらに、シールリングは矩形断面のクロロプレングムであり、アンカーボルトの埋め込み深さは $15d$ （ d ：アンカーボルト径）であった。

昭和53年に発生した宮城県沖地震では、支承のストッパー部の損傷が報告された。そのため、昭和56（1981）年の日本道路協会標準設計では、応力集中の生じやすい隅角部に丸み付けを行うように改良された。昭和57年の首都高速道路公団支承標準設計図集では、ベアリングプレートに高力黄銅鋳物の中で特に硬く、高荷重においても耐摩耗性のよい高力黄銅鋳物四種（CAC304（HBsC4））が使用され、シールリングには環状タイプのクロロプレングムの使用が規定された。平成5年の日本道路協会標準設計では、上沓下面にステンレス板が設置され、ベアリングプレートにCAC304（HBsC4）が、シールリングには環状リングがそれぞれ設置されている。

表 2.3 BP・A 支承および BP・B 支承の構造変遷

昭和 51 年 (1976)	日本道路協会 標準設計	<ul style="list-style-type: none"> ・上沓ストッパー部の丸み付けなし ・下沓立ち上がり部の丸み付けなし ・上沓下面ステンレス板なし ・ベアリングプレートに HBsC3 を使用 (BP・A 支承) ・シールリングは矩形断面 ・アンカーボルトの埋め込み深さ 15d
昭和 56 年 (1981)	日本道路協会 標準設計	<ul style="list-style-type: none"> ・上沓ストッパー部の丸み付け ・下沓立ち上がり部の丸み付け
昭和 57 年 (1982)	首都高速道路公団 支承標準設計図集	<ul style="list-style-type: none"> ・ベアリングプレートに HBsC4 を使用 (BP・A 支承) ・シールリングに環状リングを使用
平成 5 年 (1993)	日本道路協会 標準設計	<ul style="list-style-type: none"> ・上沓下面にステンレス板を設置 ・ベアリングプレートに HBsC4 を使用 (BP・A 支承) ・シールリングに環状リングを使用 ・アンカーボルトの埋め込み深さ 10d

一般に、BP・A 支承の支承板は、**図 1.11 (a)**に示したようなベアリングプレートを使用している。ベアリングプレートには、その上面に PTFE 板を設置するものと、固体潤滑材を埋め込んだものがある。曲面部の曲率半径を小さくすることで、回転量を大きくとることができる利点がある反面、水平移動や回転の機能は、支承板とそれに接触してすべり合う相手材との摩擦係数に依存するため、摩耗や摩擦係数の増大の原因となるじん埃や防食対策に十分な配慮が必要となり、近年 BP・A 支承を道路橋に適用するケースは少なくなっている。一方、BP・B 支承の支承板は、すべり板と弾性体（ゴムプレート）とを組合せている。**図 1.11 (b)**に示したように、弾性体であるゴムプレートを挿入した下沓の凹部に鋼製の間接プレートを嵌め込んで弾性体を密閉し、中間プレートの上には PTFE 板などのすべり板を設置している。密閉された弾性体の変形により、回転追従することから確実性も高く、近年広く使用されている。ここで、BP・A 支承と BP・B 支承の構造比較を**表 2.4**に示す。

表 2.4 BP・A 支承と BP・B 支承の構造比較

項目		BP・A 支承	BP・B 支承	
鉛直力 支持	部品	ベアリングプレート CAC304+SL (HBsC4+SL)	ゴムプレート (クロロプレンゴム)	
	許容支圧応力度	30.0 N/mm ²	25.0 N/mm ²	
水平移動	部品	組合①	上沓下面のステンレス板とベアリングプレート (上面に固体潤滑材)	
		組合②	上沓下面のステンレス板とベアリングプレート上面の PTFE	
	すべり面の 摩擦係数	組合①	設計摩擦係数 : 0.15	設計摩擦係数 : 0.10
		組合②	設計摩擦係数 : 0.10	—
回転	部品	ベアリングプレート	ゴムプレート	
	追隨時の挙動	ベアリングプレート球面のすべり機構	ゴムプレートの弾性変形	
	特徴	接触曲面の製作精度管理や経年劣化により摩擦特性が変動することで、回転追隨を阻害する懸念がある。	密閉度が高いことから劣化しにくく、また膨出防止のための圧縮リングが設置されており、回転追隨の確実性が高い。	
近年の動向		希少 (鉄道橋, 水管橋で多く使用)	多用 (道路橋で多く使用)	

(3) ローラー支承

ローラー支承においては、支承の小型化、活荷重の増大、および橋梁規模の大型化に伴う耐荷力の増大に向け研究が進められた。その結果ローラーには、焼入れにより強度の高めることができる特殊マルテンサイト系ステンレス鋼 (C-13B) やニッケルクロムモリブデン鋼鋼材 (SNCM) が規定された。焼入れされたローラーが使われるまでは SS 材などが用いられていたが、耐荷力が小さく、耐久性や耐食性においても不利であったため、特殊ステンレス鋼や合金鋼が使用されるようになった。ローラーにステンレス鋼などを用いることで、耐食性および耐荷力が向上し、かつローラー径を小さくするなどの改良も図られた。また、桁の水平移動や回転に追隨できる構造として、図 1.17(a) に示したような高硬度一本ローラー支承が開発された。

関係機関の一本ローラー支承の機能や材料を比較すると、表 2.5 に示すように多少の違いが見られる。昭和 45 年の日本道路公団標準設計では、ローラーの脱落防止や防じんカバーなどの設置は見られなかったが、昭和 48 年の首都高速道路公団支承標準設計図集 (アーマローラー, コロウェルドタイプ) では、ローラーの脱落防止および防じんカバーが採用されている。さらに、昭和 54 年の日本道路協会標準設計においては、ローラーの脱落防止部分の構造が詳細に規定されており、防じんカバーの形状も変更となった。しかし、方向性が制限されることによる損傷などが多く報告されたことから、昭和 50 年前半より一本ローラー支承は、ほとんど使用されなくなった。

表 2.5 一本ローラー支承の構造変遷

昭和 45 年 (1970)	日本道路公団 標準設計	<ul style="list-style-type: none"> ・ローラーの脱落防止なし ・防じんカバー等の設置なし ・上沓, 下沓に SC46 を使用 ・ローラー, 支圧板に SNCM を使用
昭和 48 年 (1973)	首都高速道路公団 支承標準設計図集	<ul style="list-style-type: none"> ・ローラー脱落防止の設置 ・防じんカバーの採用 ・上沓, 下沓に SCMn2A, SCW を使用 ・ローラー, 支圧板に SNCM を使用
昭和 54 年 (1979)	日本道路協会 標準設計	<ul style="list-style-type: none"> ・ローラー脱落防止の詳細構造を規定 ・防じんカバーの形状変更 ・上沓, 下沓に SCMn1A を使用 ・ローラー, 支圧板に C-13B を使用

(4) ピン支承, ピンローラー支承

昭和 30 年代には、図 1.17(b)に示したような、ピンと組合せたピン高硬度ローラー支承なども広く使用され始め、以降、さまざまな支承が開発されてきた。ピン支承に関して、日本道路協会の標準設計を比較した結果、表 2.6 に示すような違いが見られた。昭和 54 年の標準設計では、上沓および下沓の材料に炭素鋼鋳鋼品 (SC46) が用いられており、アンカーボルトの埋め込み深さは 15d (d: アンカーボルト径) とされていたが、平成 5 年の標準設計においては、高い支圧強度と引張強度を得るため、炭素鋼鋳鋼品にマンガンを追加して機械的性質を改善した SCMn1A が上沓および下沓に使用された。さらに、アンカーボルトの埋込深さが 10d となった。なお、兵庫県南部地震以降、上沓および下沓の材料は、じん性を考慮して、SCMn1A 材から SCW 材に変わっている。

表 2.6 ピン支承の構造変遷

昭和 54 年 (1979)	日本道路協会 標準設計	<ul style="list-style-type: none"> ・上沓, 下沓材料に SC46 を使用 ・アンカーボルトの埋め込み深さ 15d
平成 5 年 (1993)	日本道路協会 標準設計	<ul style="list-style-type: none"> ・上沓, 下沓材料に SCMn1A を使用 ・アンカーボルトの埋め込み深さ 10d

(5) ピボット支承, ピボットローラー支承

ピボット支承やピボットローラー支承 (図 1.16, 図 1.17(c)参照) は、平成 5 年の標準設計にて標準化された。表 2.7 に示すように、上沓および下沓の材料には SCMn1A が、ローラーには C-13B がそれぞれ規定され、アンカーボルトの埋め込み深さも 10d と規定された。なお、ピボット支承などにおいても、兵庫県南部地震以降、上沓および下沓の材料は、じん性を考慮して、SCMn1A 材から SCW 材に変わっている。

防食に対しては塗装が多かったが、近年、溶融亜鉛めっきを施した支承や高耐候性鋳鋼支承などが使用されてきており、亜鉛溶射やふっ素樹脂塗料なども使用されるようになった。

表 2.7 ピボット支承, ピボットローラー支承の仕様

平成 5 年 (1993)	日本道路協会 標準設計	<ピボット支承> ・上沓, 下沓, 底板に SCMn1A を使用 ・アンカーボルトの埋め込み深さ 10d <ピボットローラー支承> ・上沓, 下沓, 底板に SCMn1A を使用 ・ローラーに C-13B を使用 ・アンカーボルトの埋め込み深さ 10d
------------------	----------------	--

2.3.2 ゴム支承

ここでは、ゴム支承の構造変遷について述べる。

(1) パッド型ゴム支承

パッド型ゴム支承は、加硫ゴムと鋼板で構成されている。昭和 30 年代にフランスからパッド型ゴム支承を輸入し、コンクリート橋などで採用されたが、昭和 34 (1959) 年には、国内独自の規格によるゴム支承が開発された。

(2) 可動・固定型ゴム支承

可動型ゴム支承は、すべり面ですべらせる機構を有するすべり型ゴム支承と、ゴムのせん断変形により桁の水平移動に追随するゴム支承に分けられる。すべり型ゴム支承は、ゴムの上に設置したすべり面（一般には、PTFE 板とステンレス板）とのすべりによって水平移動に追随する。また、後者のゴム支承は、上下部構造に固定しないで直接沓座に設置するパッド型ゴム支承と、上下に鋼板を取付け、上下部構造に固定する構造のものがある。前者は、ゴム支承の中でもっとも単純な構造をしており、基本的にボルト類などで定着されず、沓座に置くだけの構造となっている。パッド型ゴム支承は、小規模な橋梁の可動・固定構造の支承部に採用される場合が多く、昭和末期まで一般的に採用されており、後者の支承は、地震時水平力分散型ゴム支承として取り扱われている。

固定型ゴム支承は、ゴム支承本体に固定機能を有していないため、別途、固定装置により水平移動を拘束する。この固定装置は、固定機能が必要とされるレベルの外力に対して設計する。

(3) 地震時水平力分散型ゴム支承

地震時水平力分散型ゴム支承の構造は、ゴム支承の上下に鋼板を設置し、水平力を下部構造に伝達させるものである。このタイプの支承は、橋梁の多径間連続化において、上部構造の慣性力を複数の下部構造に分散させるための一手法として用いられ、昭和 48 年に宿院高架橋において実用化されたが、当時は鋼製支承による可動・固定形式の設計が主流で、この時期にゴム支承構造の採用が拡大することはなかった。

(4) 免震支承

平成に入ると、建設省土木研究所と民間企業とにより、免震設計に関する官民共同研究が行われ、国内初の免震ゴム支承が宮川橋において実用化された。免震支承は、地震時水平力分散型ゴム支承に減衰機能を持たせたゴム支承であり、ゴム自体に減衰機能を持たせた HDR や HDR-S とゴム支承内部に鉛プラグを挿入した LRB が代表例である。

平成 16 年に改訂された道路橋支承便覧において、支承部は、タイプ A とタイプ B とに分類され、レベル 2 地震動への対応が求められた。これに伴い、加硫ゴムと鋼板のみであった構造は、図 1.23 に示したように、上下鋼板やサイドブロック、アンカーボルトなどを設置する構造とな

り、タイプB対応となった。近年では、図 1.24 に示した HDR や LRB のほかに、新しいアイソレータやダンパー構造を用いた免震設計法の開発が行われている。

2.4 支承設計の変遷

支承設計の最初の大きな転換期は、昭和 53 年に発生した宮城県沖地震であった。線支承やローラー支承、ピン支承などから始まった支承は、昭和 30 年以降になると、BP 支承などさまざまなものが開発され、その性能も飛躍的な向上を見せていった。その中で発生したこの地震では、アンカーボルトの被害や上沓ストッパー部の被害が顕著であった。被害は、昭和 38 年以前の示方書に準拠された橋に集中しており、昭和 47 年の道路橋耐震設計指針に準拠した橋では被害が見られなかった。この被害結果を受け、昭和 55 年に改訂された道路橋示方書では、支承に作用する負反力の算定式の追加が行われている。

次に大きな転換期は、平成 7 年の兵庫県南部地震であった。当時の橋梁においては鋼製支承が多く採用されており、設計では水平応答加速度を $200\sim 300\text{cm/sec}^2$ 程度の比較的小さな地震力（レベル 1 地震動）を想定していたが、構造物に $1500\sim 2000\text{cm/sec}^2$ の非常に大きな地震力が作用したことで、支承部を構成していた部材は、終局強度を超えて破壊に至ったことが明らかにされている。この地震を契機として、支承構造は、鋼製からゴム製へと大きく変化を遂げることになった。この急激な変革期には、当時の建設省を始めとして、旧道路公団などを含む各機関において、橋梁の耐震設計法や橋梁全体の設計手法からの抜本的な改訂が行われた。これに伴い、支承部の設計手法についても、大きな変革を迎えることになった。

ゴム支承自体の特性評価に関しても、それまでは、主としてパッド型などの小型な支承を対象としていた状況が一変し、地震時水平力分散・免震支承として、大きな荷重の支持・大きな変位への追随性、品質管理のための全数検査など求められる性能が多様化することとなった。この中で得られたより詳細な技術的な検証データについては、ほぼ同時進行的に検討が行われ、設計式の改訂やさらなる高減衰化などの開発が実施されてきた。

現在では、後述する機能分離型支承のように、従来にない新しい支承形式も開発されており、減衰機能を有する装置に対する性能評価方法、その減衰機能を橋梁全体系の応答解析に取り込む手法に関する議論（減衰モデルの問題）、日本の耐震設計基準の中で免震橋梁が確保すべき安全性の考え方（エネルギー吸収のバランス、橋脚の安全率の設定方法等）など種々の検討がなされてきている。このような点を踏まえ、ここでは、兵庫県南部地震を転換期として捉え、表 2.8 に示すように、関係示方書や便覧、また関係機関の基準がどのように変わったのか着目して整理した。

表 2.8 比較に用いた示方書、便覧、関係基準

道路橋示方書	平成8年 → 平成14年の改訂内容
道路橋支承便覧	平成3年 → 平成16年の改訂内容
各機関におけるゴム支承に関する設計基準	旧日本道路公団 旧首都高速道路公団 旧阪神高速道路公団 名古屋高速道路公社 福岡北九州高速道路公社
高減衰ゴム支承、鉛プラグ入りゴム支承に関する設計基準	土木研究センター HDR 研究会 LRB 研究会 旧日本道路公団 名古屋高速道路公社 日本道路協会 民間1社
機能分離型支承に関する設計基準	名古屋高速道路公社 旧阪神高速道路公団 土木研究所、民間8社

2.4.1 道路橋示方書、道路橋支承便覧の改訂

現在では、平成14年に改訂された「道路橋示方書・同解説」および平成16年に改訂された「道路橋支承便覧」によって、設計思想の統一は図れているように思われるが、ゴム支承の採用が急激に増加した平成7年以降の約10年間に、主として用いられてきた設計法を改めて整理しておくことも、今後の維持管理上の観点などからは重要である。

平成8（1996）年～平成14年の時期に着目すると、表2.9に示す「道路橋示方書・同解説」では設計思想が“仕様規定”から“性能規定”へと変わっている。設計水平力については、橋脚および基部に塑性化を許容する場合などの詳細規定が盛り込まれ、動的補正係数が規定された。許容応力度については、支承部に用いられる鋼材部に限りレベル2地震動に対する割増係数が1.7とされ、アンカーボルトに対しても、レベル2地震動では鋼材と同じ許容せん断応力度が規定された。さらに、ゴム支承の設計においては、座屈に対する照査が新たに規定された。一方、近年の疲労試験結果から耐震設計に規定される大きなせん断ひずみが地震応答により数十回作用しても、ゴム支承が破断に至る可能性は低いことから、地震時における局部せん断ひずみの照査項目が削除された。

一方、道路支承便覧は、道路橋示方書の改訂に伴い改訂が行われている。改訂では、ゴム支承の設計に対するものが多く、支圧応力度や引張応力度、二次形状係数などが規定された。また、回転照査や座屈照査について、その照査式が変更となった。さらに、局部せん断ひずみに関しては、道路橋示方書の改訂により、地震時の照査は行わないものとなり、常時の照査では、免震支承の場合においても安全率は1.5となった。表2.10に、平成3年および平成16年の道路橋支承便覧による設計法の主な改訂内容を示す。

表 2.9 道路橋示方書の改訂内容 (平成8年 → 平成14年)

	項目	平成8年道示	平成14年道示	記載箇所	
	主旨	仕様規定	性能規定	—	—
設計思想	照査法	震度法, 保有水平耐力法および動的解析	静的照査法 動的照査法	5.5 耐震性能の照査方法	P43
	設計水平力	・等価水平震度 ・動的解析による最大応答値	・設計水平震度 (名称のみ変更) ・橋脚に塑性化を考慮する場合は橋脚の終局水平耐力 ・基礎に塑性化を考慮する場合は基礎の最大応答変位に相当する水平力 ・動的照査法による照査を行う場合は動的解析による最大応答値	15.2 支承部の照査に用いる設計地震力 15.1 一般	P247 P246 P245
設計水平力	動的補正係数	記述なし	免震支承および地震時水平力分散構造に用いるゴム支承を採用した橋において, 静的に支承に作用させる水平力を算出する場合には, 動的補正係数 ($C_m=1.2$) を使用する (この補正係数は, 動的照査法により照査する場合には考慮する必要はないが, 等価線形化法を用いた応答スペクトル法を採用する場合には使用すること)	15.2 支承部の照査に用いる設計地震力 9.3.3 免震支承の等価線形モデル	P248 P144
	慣性力の下限值	$R_d \times 2/3$	規定削除 (下限値による制約ではなく, 橋全体系して耐震性の向上を図る方法の選択を可能とするため)	6.3.2 慣性力の算定方法	P81
	割増し係数	1.5	レベル2に対しては1.7 (鋼部材にのみ適用)	15.3 支承部の照査	P250
許容応力度	アンカーボルト	・耐震編には記述なし ・鋼橋編では, 安全のため鋼材の許容せん断応力度に対して70%程度と規定	レベル2に対しては, 鋼材と同じ許容せん断応力度を用いてよい	15.3 支承部の照査	P251
	ゴムの許容せん断ひずみ	250%以下でなければならない	250%以下であることを照査の目安としてよい	15.3 支承部の照査	P252
	座屈照査	記述なし	照査を規定	15.3 支承部の照査	P250
照査内容	地震時の局部せん断ひずみの照査	ゴムの破断ひずみを安全率で除した値以下でなければならない	照査規定削除 (ただし, 常時については照査すること)	15.3 支承部の照査	P252
	二次形状係数	記述なし	「4程度以上とするのがよい」	15.3 支承部の照査	P253
構造	接合部	「ボルトにより接合することを原則とする」	「ボルト等により接合することを原則とする」	15.3 支承部の照査	P254
	せん断キー	記述なし (役割が不明瞭)	「せん断キーによって設計地震力を伝達する場合…」と, 水平力伝達部材として記述	15.3 支承部の照査	P253
	セットボルト	地震力は…ボルトによって負担することが望ましい → せん断応力度を照査	前回の記述は削除され, 「せん断キーによって設計地震力を伝達する場合は…鉛直方向力に対して固定ボルトが抵抗することを照査しなければならない → せん断応力度の照査は不要	15.3 支承部の照査	P253
免震設計	固有周期	免震時と非免震時とで2倍の固有周期差が必要	十分な検討があれば2倍の固有周期差を確保しなくてもよい	9.1 一般	P137
	減衰定数の参考値	ゴム支承の等価減衰定数2%	「最近の実験的研究成果によれば4%程度以上が得られることが多いことから, 使用するゴム支承の減衰特性を十分に把握した上で適切な等価減衰定数を設定するのがよい」	7.3.2 部材のモデル化	P114
	免震支承を用いた分散設計時の動的解析	記述なし	「支承のモデル化において免震支承の減衰効果を過度に見込まないように配慮し, 支承の減衰定数としては通常のゴム支承の減衰定数程度を用いるのがよい」	9.1 一般	P138
ジョイントブロッカー	設置箇所	落橋防止システムの選定フローの中で, 端支点部に対して設置することになっている	「支点だけでなく, 中間支点にも設置するのがよい」	14.4.3 ジョイントブロッカー	P241
	耐力の上限	記述なし	「ジョイントブロッカーの耐力に過度な余裕を持たせない等の配慮が望ましい」	14.4.3 ジョイントブロッカー	P242

表 2.10 道路橋支承便覧の改訂内容（平成3年 → 平成16年）

項目	平成8年支承便覧	平成16年支承便覧	記載箇所	
温度変化による移動量について		複合構造の橋についての記述が追加された	3.4.1 常時の移動量	P103
	・設計に用いる温度変化範囲：±全温度範囲	・設計に用いる温度変化範囲 一般的な据付を行う場合：±全温度範囲+5℃ 変位調整を行う場合：±想定温度+5℃	3.4.3 余裕量	P115
支圧応力度		許容値の規定を改訂	3.5.1 ゴム支承	P120
引張応力度	規定なし	照査方法，許容値を規定	3.6.1 ゴム支承本体	P140
二次形状係数	規定なし	算出式を規定「4程度を確保するのがよい」	3.6.1 ゴム支承本体	P140
せん断ひずみ		レベル2地震動に対する許容値を規定	3.5.1 ゴム支承	P123
弾性係数		実績データから設計式を変更	3.6.1 ゴム支承本体	P148
回転に対する検討		・圧縮量の算出に実製品のばらつき（検査の合格範囲）を考慮 ・活荷重半載荷時における圧縮量を1mm以内に抑える	3.6.1 ゴム支承本体	P146
局部せん断ひずみ		・常時については従来どおり照査（この時，許容値となるゴムの破断ひずみの数値を改訂） ・地震時について照査は行わない	3.6.1 ゴム支承本体	P149
座屈照査	形状から求まる照査式	座屈応力度から求まる照査式	3.6.1 ゴム支承本体	P138
補強材の応力度		支圧応力度の分布状態を考慮して，照査式を改訂 （→ 積層ゴム，高減衰ゴムでは2倍，鉛プラグ入りゴムでは3倍の応力）	3.6.1 ゴム支承本体	P142

2.4.2 各機関におけるゴム支承に関する設計基準

平成7年以降，ゴム支承の採用を多用してきた機関（旧日本道路公団，旧首都高速道路公団，旧阪神高速道路公団，名古屋高速道路公社，福岡北九州高速道路公社）の設計基準の概略を表2.11に示す。しかし，これらはいくまでも当時の設計基準であり，現行の設計体系とは異なる点もある。その後は，それぞれ現行の設計基準へと移行している。

2.4.3 高減衰ゴム支承，鉛プラグ入りゴム支承に関する設計基準

免震支承の技術に関しては，平成4年に当時の建設省より「道路橋の免震設計法マニュアル（案）」が刊行されているが，これに先立ち，平成元（1989）年から行った官民共同研究で，技術基準の基本思想は確立している。しかしながら，実際に免震支承の採用が増加するにつれて，新しく得られた知見等も多く，それらを踏まえる形で，設計式やモデル化の手法などが改訂されている。これらの経緯の概略を表2.12および表2.13に示す。

表 2.11 (a) ゴム支承に関する設計基準

項目	機関		阪神高速道路公団				首都高速道路公団			
	年月		平成6年				平成9年			
	道路橋示方書		平成2年				平成8年			
適用範囲		(1) 支承の設計 ① 一点・多点固定方式 ・固定/可動支承 (鋼, ゴム支承) ② 反力分散方式 ・弾性固定ゴム支承 ・可動支承 (鋼, すべりゴム支承)				(1) 支承の設計 ① 弾性支承 (分散, 免震支承) ・固定/可動支承 (天然ゴム, 鋼製支承) ・可動支承 (分散, 免震橋梁の可動用) (2) 落橋防止システムの設計				
一般・基本事項	支承タイプ					タイプB 支承を原則				
	橋軸直角方向の分散, 免震					橋軸一方向か全方向かは状況に応じて判断				
	分散, 免震における端支点部の構造	特に規定なし				分散, 免震支承または可動支承				
	一支承線上の支承種類	ゴム支承・・・1種類 鋼製支承・・・2種類以下				特に規定なし				
	支承の据え付け方向	橋軸接線方向				特に規定なし				
支承構造	ゴム支承構造	積層ゴム支承が標準				積層ゴム支承が原則				
	上下部構造との連絡構造	水平力はせん断キ一, 上揚力はセットボルトが負担				水平力, 上揚力, モーメントともにセットボルトが負担. ただし, せん断キ一も水平力で照査				
	アンカーボルト埋め込み長さ	10φ以上 (φ: ボルト径)				規定なし. 実設計 15φ				
ゴムの種類と破断ひずみ	ゴム種	G6	G8	G10	G12	G6	G8	G10	G12	
	天然ゴム	—	500%	500%	400%	—	500%	500%	400%	
	クロロプレンゴム	—	400%	400%	350%	—	400%	400%	—	
	高減衰ゴム	—	—	—	—	—	600%	550%	500%	
	備考					HDRは?				
支承本体の設計に用いる常時移動量 ① 鋼上路橋 ② 鋼下路橋 鋼床版橋 ③ プレキャストPC	分散・免震	温度変化	①	②	③	①	②	③		
		クリープ, 乾燥	—	—	0.3L	—	—	—	考慮	
		PSの弾性変形	—	—	—	—	—	—	—	
		死荷重たわみ	特に規定なし				算定式あり			
		活荷重たわみ	特に規定なし				算定式あり			
		予変形残留分	予変形量の20%考慮				特に規定なし			
		余裕量 (mm)	特に規定なし				0			
	標準温度	特に規定なし				20°C				
	備考	温度移動は全移動量				温度移動は標準温度から				
	可動	温度変化	①	②	③	①	②	③		
		クリープ, 乾燥	—	—	0.3L	—	—	—	考慮	
		PSの弾性変形	—	—	—	—	—	—	—	
		死荷重たわみ	規定なし	規定なし	規定なし	考慮	考慮	—	考慮	
		活荷重たわみ	考慮	考慮	考慮	—	—	—	—	
		余裕量 (mm)	規定なし	規定なし	規定なし	±10mm				
標準温度		規定なし				20°C				
備考	温度移動は全移動量				温度移動は標準温度から					
設計水平震度	地盤	I種	II種	III種	I種	II種	III種			
	震度法	1.1 Kh				1.1 Kh ₀				
	保耐法タイプI					道示のKhe (μ=3)				
	保耐法タイプII					道示のKhe (μ=3)				
	最小上揚力					-0.3 R _D				
常時負反力算定	活荷重+死荷重	特に規定はなく, 道示に準拠				Ru=2R _{L+I} +R _D +R ₂ /1.5 (鋼橋)				
	死荷重+風荷重					Ru=2R _{L+I} +R _D (他の橋) Ru=R _d +R _w				

日本道路公団名古屋建設局				日本道路公団静岡建設局				名古屋道路公社				福岡北九州高速道路公社			
平成9年9月 平成8年				平成9年 平成8年				平成9年 平成8年				平成9年 平成8年			
鋼橋およびPC橋に適用 (1) 反力分散ゴム支承の設計 (2) 落橋防止システムの設計				免震橋梁に適用 (1) 免震支承の設計 (2) 落橋防止システムの設計				(1) 支承の設計 ・ゴム支承 ・免震支承 (2) 移動制限装置				(1) 支承の設計 ・ゴム支承 ・免震支承 (2) 落橋防止システムの設計			
特に規定はないが、実設計ではタイプB支承に限定				タイプB支承に限定				特に規定はないが、実設計ではタイプB支承に限定				特に規定はないが、実設計ではタイプB支承に限定			
		震度法	保耐法			震度法	保耐法			震度法	保耐法			震度法	保耐法
端		固定	ばね	端		固定	ばね	端		固定	ばね	端		固定	ばね
中間		ばね	ばね	中間		ばね	ばね	中間		固定	ばね	中間		固定	ばね
特に規定はないが、実設計では分散支承に限定				特に規定なし				特に規定はないが、実設計では免震支承に限定				特に規定はないが、実設計ではE+E+E+M支持			
ゴム支承…1種類				ゴム支承…1種類				分散・免震支承…1種類				分散・免震支承…1種類			
鋼製支承…なし				鋼製支承…なし				他のゴム支承…2種類以下				他のゴム支承…2種類以下			
中間支点…桁接線方向				桁接線方向				桁接線方向				桁接線方向			
端支点…移動方向															
積層ゴム支承が原則				積層ゴム支承が原則				積層ゴム支承が原則				積層ゴム支承が原則			
保耐地震水平力はせん断キーが負担。上揚力はセットボルトが負担				水平力、上揚力、モーメントともにセットボルトが負担。ただし、せん断キーも水平力で照査				保耐地震水平力はせん断キーが負担。上揚力はセットボルトが負担				保耐地震水平力はせん断キーが負担。上揚力はセットボルトが負担			
5φ以上 10φ以下				規定なし。実設計10φ				規定なし。実設計10φ				規定なし。実設計10φ			
G6	G8	G10	G12	G6	G8	G10	G12	G6	G8	G10	G12	G6	G8	G10	G12
550%	500%	500%	500%	—	600%	550%	500%	—	500%	500%	400%	—	500%	500%	400%
—	400%	400%	400%	—	—	—	—	—	400%	400%	350%	—	400%	400%	350%
—	—	—	—	—	600%	550%	500%	—	600%	550%	500%	—	600%	550%	500%
暫定				暫定				HDRは設計上NRに同じ				暫定			
①	②	③		①	②	③		①	②	③		①	②	③	
±25°C	—	±25°C		±30°C	±40°C	25°C		±30°C	±40°C	25°C		±30°C	±40°C	25°C	
—	—	—	考慮	—	—	—	考慮	—	—	—	考慮	—	—	—	考慮
特に規定なし				特に規定なし				特に規定なし				特に規定なし			
特に規定なし				算定式あり				算定式あり				算定式あり			
特に規定なし				特に規定なし				予変形量の20%考慮				予変形量の20%考慮			
特に規定なし				特に規定なし				特に規定なし				特に規定なし			
15°C				15°C				15°C				15°C			
プレキャストセグメントは無視				架設時温度誤差±5°C				架設時温度誤差±5°C				架設時温度誤差±5°C			
①	②	③		①	②	③		①	②	③		①	②	③	
—	—	—		±30°C	±40°C	25°C		±30°C	±40°C	25°C		±30°C	±40°C	25°C	
—	—	—		—	—	—	考慮	—	—	—	考慮	—	—	—	考慮
特に規定なし				特に規定なし				特に規定なし				特に規定なし			
特に規定なし				算定式あり				算定式あり				算定式あり			
特に規定なし				特に規定なし				特に規定なし				特に規定なし			
15°C				15°C				15°C				15°C			
可動支承規定がない				架設時温度誤差±5°C				架設時温度誤差±5°C				架設時温度誤差±5°C			
I種	II種	III種		I種	II種	III種		I種	II種	III種		I種	II種	III種	
道示の Kh				道示の Kh				1.1 Kh ₀				—			
道示の Khe (μ=3)				道示の Khem (μ=2)				道示の Khe (μ=3)				—			
道示の Khe (μ=3)				道示の Khem (μ=3)				道示の Khe (μ=3)				—			
-0.3 R _D				-0.3 R _D				-0.3 R _D				-0.3 R _D			
道示に準拠				III種地盤は免震設計を行わず、設計水平震度は道示による				名濃道路の支承には、名濃道路に特定して適用する震度がある				実設計の規定を示していた			
特に規定はなく、道示に準拠				特に規定はなく、道示に準拠				特に規定はなく、道示に準拠				特に規定はなく、道示に準拠			

表 2.11 (b) ゴム支承に関する設計基準

項目	機関		阪神高速道路公団		首都高速道路公団	
	年月		平成6年		平成9年	
	道路橋示方書		平成2年		平成8年	
ゴム支承の設計 (常時)	最大支圧応力		80 kgf/cm ² 以下		80 kgf/cm ² 以下	
	最小支圧応力		15 kgf/cm ² 以下 ※1		15 kgf/cm ² 以下 ※1	
	応力度振幅		50 kgf/cm ² 以下		50 kgf/cm ² 以下	
	許容せん断ひずみ		70 %		70 %	
	予変形ひずみ		85 %以下		特に規定なし	
	回転吸収照査		$\delta_V \geq \delta_R$ ※2		$\gamma_V \geq \gamma_R$ ※2	
	局部ひずみ安全率		1.5		分散免震2.5, 固定可動1.5	
	座屈安定照査		$\Sigma te \leq a/5$		免震マニュアル準拠	
	一次形状係数		$S \geq 6$		$S \geq 5$	
	備考		※1 せん断キヤ、ボルト等による 接合を行わない場合 ※2 δ_V : ゴムの圧縮たわみ δ_R : 回転によるたわみ		※1 せん断キヤ、ボルト等による 接合を行わない場合 ※2 γ_V : 圧縮による局部せん断 ひずみ γ_R : 回転による局部せん断 ひずみ	
ゴム支承の設計 (分散-地震時)	せん断ひずみ	震度法	150 %		照査せず	
		保耐法			250 %	
	局部ひずみ安全率	震度法			1.8	
		保耐法			1.2	
ゴム支承の設計 (可動-地震時)	せん断ひずみ	震度法				
		保耐法				
	局部ひずみ安全率	震度法				
		保耐法				
ゴム支承の許容引張応力度			G=8	G \geq 10	G=8	G \geq 10
	$2R_{L+1} + R_d$		ゴムで負反力に抵抗させることが できない		-	
	$R_d + R_w$				12 kgf/cm ²	
	耐震編の R_u				15 kgf/cm ²	
	0.3Rd				16 kgf/cm ²	
ゴム支承の設計で考慮する 特性値のばらつき	ゴムの安全照査		照査せず		特に規定なし	
	常時検討用		0.55 ~ 1.05 倍			
	地震時検討用		0.85 ~ 1.40 倍			
	連結桁圧縮ばね		0.80 ~ 1.50 倍			
ボルトの強度区分と防食			特に規定なし		強度区分 10.9 のボルトを溶融亜 鉛めっきする場合は、許容応力度 は8.8に低減する	
ゴム支承の転倒安定照査			特に規定なし		特に規定なし	

表 2.12 高減衰ゴム支承に関する設計基準

文献/発行機関/年月	改訂主旨	単位系	等価剛性 K_B	減衰定数 h_B	モデル特性 K_1, K_2, Q_d	緩速特性 K	縦弾性係数 E
道路橋の免震設計法マニュアル(案) / (財) 土木研究センター /平成4年10月	設計法を規定	kgf	設計式を規定したが、計算に必要な係数はゴム材質に依存するため、ここでは定めていない				$E_0 (1+2_k S^2)$
高減衰ゴム支承共通設計式(案) /HDR研究会 /平成8年6月	算出係数を規定	kgf	算出に必要な各係数を関連メーカー5社の統一式として規定				$(3+6.58S^2)G$
高減衰ゴム支承共通設計式(案) /HDR研究会 /平成8年11月	減衰および緩速特性の向上	kgf	実績の見直しとゴム配合調整の結果として、関連メーカー5社の統一式として改訂				↓
第二東名高速道路免震支承の設計に関する検討報告書 /日本道路公団静岡建設局委託 (財) 高速道路調査会 /平成9年3月	既往の知見に準拠	kgf	各設計式に関しての改訂はなく、既往の知見を設計要領としてまとめたもの				↓
ゴム支承設計基準 /名古屋高速道路公社 /平成10年4月	既往の知見に準拠	kgf					
高減衰ゴム支承共通設計式 /HDR研究会 /平成12年5月	SI単位系への移行	SI	SI単位系への移行のみ				↓
名岐道路他標準ゴム支承の設計計算例(改訂版) /名古屋高速道路公社 /平成12年9月	支承便覧改訂の内容を先取り	SI	当時の支承便覧改訂案を参照しているため、最終の便覧改訂内容とは異なる点を含む				$E = \alpha \beta SG$
名古屋高速道路非線形動的解析実施要領(案) /名古屋高速道路公社 /平成13年5月	トリリニアモデル	SI	高ひずみ域のハードニングを考慮するため、トリリニアモデルを規定。また、動的解析結果に対する許容ひずみを300~325%とした				
高減衰ゴム支承(HDR)共通設計式 HDR研究会 /平成15年1月	支承便覧改訂に準拠	SI	モデル化手法(ピーク点の取り方)を改訂。G1, G2の評価法を $c(\gamma)$, $d(\gamma)$ による回帰式に変更				$E = 45 \beta SG$
超高減衰ゴム支承(HDR-S)共通設計式 /HDR研究会 /平成15年3月	設計式、算出係数を規定	SI	設計式自体はHDRと同一であり、その算出係数のみが異なる				〃
道路橋支承便覧 /日本道路協会 /平成16年4月	モデル化手法を変更(特性値変更)	SI	モデル化手法(ピーク点の取り方)を改訂。G1, G2の評価法を $c(\gamma)$, $c(\gamma)$ による回帰式に変更				〃

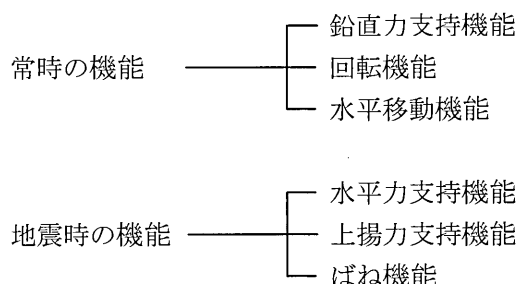
表 2.13 鉛プラグ入りゴム支承に関する設計基準

文献/発行機関/年月	改訂主旨	単位系	等価剛性 K_B	減衰定数 h_B	モデル特性 K_1, K_2, Q_d	緩速特性 K	縦弾性係数 E
道路橋の免震設計法マニュアル(案) / (財) 土木研究センター / 平成4年10月	設計法を規定	kgf	規定	規定	規定	$0.2Q_d + K_B U_S$	規定
鉛プラグ入り積層ゴム新特性式 / LRB研究会 / 平成8年6月	微小ひずみ域の動特性・緩速特性変更	kgf	qの係数を修正	q0の係数を修正	↓	$K_S U_S$ 鉛の抵抗削除	↓
第二東名高速道路免震支承の設計に関する検討報告書 / 日本道路公団静岡建設局委託(財) 高速道路調査会 / 平成9年3月	既往の知見に準拠	kgf	各設計式に関する改訂はなく、既往の知見を設計要領としてまとめたもの(鉛の面積比 A_p/A_g の規定が追加されている)				
ゴム支承設計基準 / 名古屋高速道路公社 / 平成10年4月	既往の知見に準拠	kgf					
名岐道路他標準ゴム支承の設計計算例(改訂版) / 名古屋高速道路公社 / 平成12年9月	支承便覧改訂案の内容を先取り	SI	当時の支承便覧改訂案を参照しているため、最終の便覧改訂内容とは異なる点を含む				$E = \alpha \beta SG$
名古屋高速道路非線形動的解析実施要領(案) / 名古屋高速道路公社 / 平成13年5月	トリリニアモデル	SI	高ひずみ域のハードニングを考慮するため、トリリニアモデルを規定。また、動的解析結果に対する許容ひずみを300%とした				
スプリング拘束型鉛プラグ入りゴム支承(SPR)設計式 川口金属工業(株) / 平成13年8月	支承便覧改訂に準拠	SI	G(γ)の表記に変更	↓	↓	↓	$E = 45 \beta SG$
道路橋支承便覧 / 日本道路協会 / 平成16年4月	G(γ)表記、緩速特性評価法の変更	SI	〃	〃	〃	q(γ)により鉛の抵抗考慮	〃

2.4.4 機能分離型支承に関する設計基準

従来の支承部の基本思想は、支承部への要求性能を一体化させて単一の装置で負担しており、鉛直力や水平力を支持する機能、水平移動や回転への追従、および地震時上揚力の負担（場合によっては、ジョイントプロテクター、変位制限装置等々）などを担ってきた。このような構造は、合理的である一方で、ひとつの機能に問題が生じた場合、同時にそのほかの機能も失われてしまうことや、機能を集約することで支承本体が肥大化して、経済性の観点からも望ましくない状況も指摘されていた。

この点を改良したものが、個々の機能を分離させた機能分離型支承と呼ばれる形式である。鉛直力支持や回転などの常時の機能と、水平力支持や上揚力支持などの地震時の機能に対して二種類の異なる支承で対応する支承の構成体であり、常時と地震時の機能を分けて対応するので、一般に設計が容易となり、支承がコンパクト化される傾向となる。一般に、常時の機能には BP・B 支承やゴム支承などが対応しており、地震時の機能にはゴムバッファやダンパーなどが対応している。

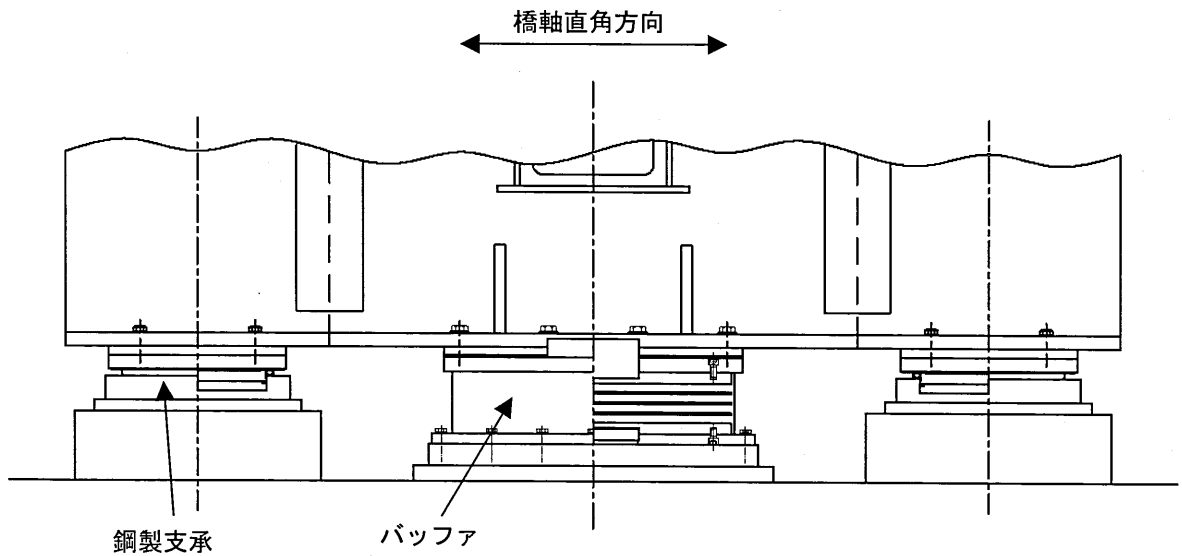


ゴムバッファの設置方法には、鉛直荷重を支持しないで上部構造と一定のすき間を設けて平面的に設置する横置きタイプと、ブラケットのような取付け部材に立てて設置する縦置きタイプの二種類がある。また、ゴムバッファの材料には、設計方針に応じて、NR や HDR, LRB が使用されている。図 2.4 に機能分離型支承の構造図を、写真 2.1 に適用例を示す。なお、機能分離型支承の適用に当たっては、現場施工時にバッファの取付けが不可能あるいは非常に困難な構造とならないような配慮が必要であり、また、仮固定装置あるいは治具などについてもよく検討することが望ましい。

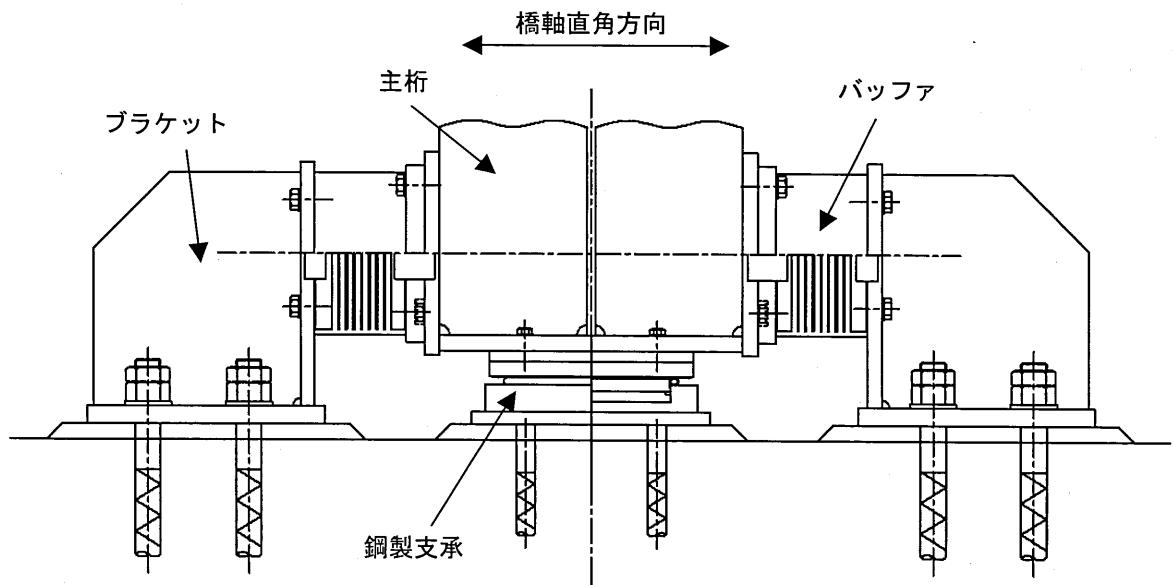
次に、関係機関における基準の詳細を比較したものを表 2.14 に示す。ここで整理した基準の特徴として、平成 14 年に名古屋高速道路公社より発刊された「鋼構造物設計要領VI機能分離型支承」は、試験フィールドにより具体的な詳細検討を実施するなど、実際の構造物・設計実務に主眼を置いた技術基準であり、設計例・標準図なども整備されている。機能分離型支承の技術体系をとりまとめた先駆けといえる。また、旧阪神高速道路公団より平成 15 年に発刊された「すべり免震支承システムの設計手引き（案）」では、学会における最新の研究知見などを多く取り込み、動的解析における減衰モデルの作成方法や、摩擦特性の依存性・ばらつきの評価方法などの設計思想を規定している。なお、本基準は、京都高速道路・油小路線を中心に採用されている。平成 18（2006）年に土木研究所より発刊された「すべり系支承を用いた地震力遮断機構を有する橋梁の免震設計法マニュアル（案）」は、官民共同研究として、土木研究所、コンサルタント 3 社、支承製作会社 5 社による 2 年間の研究成果をマニュアル様式にまとめた資料である（ただし、国土交通省が行政上通達する技術基準ではない）。従来の PTFE 系の材料のみならず、多数のすべり材に対して評価を行うとともに、2 回の振動台実験により実際の地震時応答性状の確認や

動的解析を行う場合のモデル化の検証などを行い、これらの知見をマニュアル化している。また、従来の「建設省道路橋の免震設計法マニュアル（案）」と同様な書式により、機能分離型支承を構成する装置の性能試験方法を規定している。

これらは、それぞれ特徴があり、着目している視点およびその基準を策定した際の技術的な知見が異なることから相違点も見られるが、その思想については、適宜、参照することが望ましい。



(a) バッファ横置きタイプ



(b) バッファ縦置きタイプ

図 2.4 機能分離型支承の構造図



(a) バッファ横置きタイプ



(b) バッファ縦置きタイプ

写真 2.1 機能分離型支承の適用例

表 2.14 (a) 機能分離型支承に関する設計基準

	発行機関	① 名古屋高速道路公社	② 阪神高速道路公団
概要	基準名称	鋼構造物設計要領 VI 機能分離型支承	すべり免震支承システムの設計手引き (案)
	発行日	2002年4月	2003年5月
	検討形態	・名古屋高速道路公社「防音壁標準図改訂補助業務及び耐震設計基準・機能分散型支承検討業務委託」 ・試験フィールド：県道高速清洲一宮線一西春（その3）工区	・阪神高速道路耐震問題検討委員会「すべり免震支承システム作業部会（部会長：伊津野和行立命館大学教授） ・阪神高速道路鋼構造物検討委員会（委員長：渡邊英一京都大学教授）
	検討組織	名古屋高速道路公社・日本橋梁建設協会・日本支承協会他	作業部会委員（立命館大学、京都大学、阪神公団他）
	実験・解析的検証 (代表例)	・「支承の設計基準改訂補助業務 I」, 日本支承協会, 2001年3月 → 鋼製支承の性能試験・「鋼製支承と高減衰ゴムダンパーによる機能分離型支承の耐震性能実験」, 第26回地震工学研究発表会, 2001年8月など	例えば、「機能分離型支承装置の動特性と設計手法に関する研究」, 土木学会論文集, 2000.7 など, 解析的検討を中心に参照あるいは実施
	支承の呼称	鉛直荷重支持機能：鋼製支承 水平荷重支持機能：ゴムダンパー	鉛直荷重支持機能：すべり支承 水平荷重支持機能：水平荷重分散装置
目的	将来技術の問題点	(1.1 目的) ゴム支承は優れた免震・耐震性能を有する一方、上部構造や下部構造の形式によっては、死荷重や活荷重等の常時荷重によるゴムの弾性変形・クリープ現象に起因する問題や、上部構造を弾性支持している問題も懸念される。	(まえがき) コスト面からも合理的で振動問題にも対応する免震橋梁を設計する必要がある。
	機能分離型支承の利点	(1.1 目的) 鉛直剛性の高い鋼製支承と分散・免震機能に優れるゴムダンパーを組合せることで、優れた地震時機能に加え、 <u>常時機能の改善および向上を図る。</u>	(まえがき) 桁下空間の狭い支承取り替え工事においても有効であり、コスト面において優位性を示す場合があること、実構造物への採用が増加傾向にあることなどから手引き書を作成した。
支承構造	鉛直荷重支持装置	(1.3 機能分離型支承の構造) 密閉ゴム支承板支承 (PTFE-SUS)	(2.3 使用材料) PTFE-SUS ※ 具体的な支承構造の記述はなし
	水平荷重支持装置	(5.1 基本方針) ダンパーには、復元力と減衰性能を併せ持つ材料を用いること。通常は免震支承（高減衰ゴム支承、鉛プラグ入りゴム支承）を用いて良い。	(2.3 使用材料) 天然ゴムを原則とする。
	機能分担	鉛直荷重支持装置 → 鉛直荷重, <u>ジョイントロッカー</u> , 上揚力 水平荷重支持装置 → 水平荷重	鉛直荷重支持装置 → 鉛直荷重 水平荷重支持装置 → 水平荷重, <u>上揚力</u> (<u>ジョイントロッカー</u> は、 <u>アカーバー</u> または <u>サイドブロック</u> 形式)
解析	固有値計算	(3.1 基本方針) 固有値計算に対しては水平力分散ゴム支承と同様に扱ってよく、 <u>摩擦の影響は考慮しないのを基本とする。</u> (一般に摩擦を無視すると安全側の評価となり、また、摩擦を考慮した場合の挙動説明が十分とはいえないことから、これを設計に見込まない)	<特に規定なし>
	レベル1	(3.1 基本方針) 分散計算に対しては水平力分散ゴム支承と同様に扱ってよく、 <u>摩擦の影響は考慮しないのを基本とする。</u> ※ ただし、水平力分担率が死荷重比と大きく異なる場合等では摩擦力を単純和として評価する。	(3.1 一般) 動的解析を実施し、 <u>摩擦特性を考慮する。</u> → レベル1も減衰効果を期待した耐震設計を行って良い。 ※ 摩擦による減衰効果は、すべりによる変位に伴い自然に発揮されるため。
	レベル2	(3.1 基本方針) 分散計算に関しては、レベル1と同じ動的解析においては <u>摩擦特性を考慮する。</u>	(3.1 一般) 動的解析を実施し、 <u>摩擦特性を考慮する。</u>

③ 土木研究所 (官民共同研究)	備考
すべり系支承を用いた地震力遮断機構を有する橋梁の免震設計法マニュアル (案)	※ ③は国土交通省が行政上通達する技術基準ではない。
2006年10月 ・官民共同研究「すべり系支承を用いた地震力遮断機構を有する橋梁の免震設計法の開発」(2004年～2005年)	※ ③はホームページで公開されている。
土木研究所耐震研究グループ, 民間8社 ・「すべり系支承を有する免震橋梁の振動台実験」, 第9回保耐法シンポジウム, 2006.2. 他, 2回の振動台実験, すべり摩擦特性の温度依存性試験, 密閉ゴム支承板支承の回転変形追従試験等を実施。	
鉛直荷重支持機能: すべり系支承 水平荷重支持機能: ゴムバッファ	※ それぞれ呼称が異なる。
(まえがき) ゴム系の免震支承を用いた免震橋の場合には, <u>地盤条件や周期特性, 構造条件などから適用範囲が限定されること</u> , また, 免震支承に機能が集約することで, 支承サイズが大きくなり, さらに遊間量の確保ために伸縮装置等が <u>不経済となる場合がある</u> 。	※ ③では交通振動対策の観点については記述されていない。
(まえがき) <u>免震設計の適用範囲を拡大するとともに, 従来の免震設計よりもさらに地震力の遮断を図り, 耐震性の向上とコスト削減の両立を可能とする免震技術の開発を行う</u> 。	
(4.2.1 一般) 摩擦材料として, 高～低摩擦までの3種類が紹介されている「焼結金属, PTFE, 熱硬化樹脂等」 密閉ゴム支承板支承等, 8種類の構造例が紹介されている。	※ ③では従来のPTFEのみならず, 多種の材料の検証事例・可能性を示している。
(4.3.1 一般) 天然ゴム系材料を用いた積層ゴムまたは減衰機能をあわせもつ積層ゴムを用いる。	※ ③では「高摩擦材+免震ゴム」の組合せについては実験的検証が行われていないため注意が必要としている。
※ 基本性能以外は具体的な規定はなし。	※ ①と②で機能分担の思想が異なる。
(参考資料-7, 8, 9) すべり系支承の剛性 (摩擦の影響) は無視して, ゴムバッファの剛性のみを考慮する。 ※ 摩擦力は振動モードに寄与しないと考えられるため。	
(5.2 解析方法) 静的照査法によって良い。また, 地震力遮断デバイスの等価剛性を以下により求めて良い。 ※ 摩擦力を考慮する。 $K_B = Q_d / u_{Be} + K_s$	
(5.2 解析方法) 動的照査法を用いる。 ※ 摩擦特性を考慮する。	

表 2.14 (b) 機能分離型支承に関する設計基準

	発行機関	① 名古屋高速道路公社	② 阪神高速道路公団
解析	バネ要素のモデル化	(3.3 動的解析) トリリニアモデルによりモデル化。	(4.3 水平荷重分散装置) 線形バネ ※ 免震効果がより発揮される剛性設定の目安値としては、Ⅰ種地盤では周期を1.1秒、Ⅱ種地盤では1.3秒より長くすることが望ましい。
	摩擦係数	(3.3 動的解析), (4.1 基本方針) $\mu = 0.10, 0.12$	(4.2 すべり支承) 試験結果に基づき設定すること基本とする。ただし、目安値としては、 $\mu = 0.07 \sim 0.15$ (過去の実績値から設定) として良い。
	摩擦係数のばらつき評価	<特に規定なし>	(4.2 すべり支承) ±20%を目安として良い → 日本免震構造協会データに基づく数値。 (4.4 支承システムの力学特性におけるばらつき等の取り扱い) $\mu = 0.1$ を基準とし、±20% ($\mu = 0.08 \sim 0.12$) を目安として良い。 (5.3 照査基準) 下限値、上限値のそれぞれの条件に対して、耐震性の照査を行う。
	摩擦係数の依存性評価	<特に規定なし>	(5.2 計算モデルおよび基本条件) 面圧、速度に対する依存性を評価する。 → ただし、検証例では依存性考慮の有無の影響は1割程度で簡易モデルも適用可能。
	動的解析における粘性減衰モデル	<特に規定なし>	(5.2 計算モデルおよび基本条件) すべり支承に過度な粘性減衰を付与しないように配慮。 ① 要素別 Rayleigh 型粘性減衰。 ② バイリニアの初期剛性を曲線関数で表す。 ③ バイリニアをトリリニアとして、初期剛性を便宜的に柔らかく定義する。 ④ 基準モードを1次振動数と50Hzに設定し、双方に同じ減衰定数を与える。 ⑤ 橋脚剛性の10程度のバイリニア初期剛性を与える。
	エネルギー吸収性能の確認	<特に規定なし>	(5.3 照査基準) 累積ひずみエネルギーの時刻歴なども評価し、すべり支承部において適切な摩擦減衰が得られているかを照査することが望ましい。
	地震動の入力方向	<特に規定なし>	(5.2 計算モデルおよび基本条件) 直角方向において桁のロッキング振動が影響を及ぼすと想定される場合や、橋梁の幾何形状などによっては3次元の構造モデルを用いる。
細目	すべり面の確保	(4.2 鋼製支承の設計) すべり板の移動方向長さの2/3を確保できればよい。	(3.3 耐震性能と限界状態) 耐震性能3の規定として、健全度3(すべり面の損傷を許容→ある程度のみ出しを許容?)との記述がある。 ※ ただし、通常は耐震性能2(上記以下)を確保する。
	水平荷重装置の構造	(2.4 ダンパー取付け部と補強構造) 常時の桁のたわみによる回転変形量を逃がすために隙間を設けた構造とする。	<特に規定なし>
	アンカーボルト	<特に規定なし>	(6.4 水平荷重分散装置) アンカーボルトが水平荷重分散装置よりも先に破壊しないように、アンカーボルトの強度を高めて設計を行う。

③ 土木研究所 (官民共同研究)	備考
(4.3.2 ゴムパuffersのモデル化) 線形モデルまたはバイリニアモデルとする。 (参考資料 8) 振動台実験のトレース解析ではトリリニアモデルを使用。	
(4.3.1 一般) 材料によって異なる。目安としては、高摩擦材 $\mu=0.2\sim0.4$ 程度、中摩擦材 $\mu=0.1\sim0.15$ 程度、低摩擦材 $\mu=0.02\sim0.08$ 程度。 (参考資料 2) 各材料の計測事例を掲載。	
(4.2.2 すべり系支承のモデル化) 使用する摩擦材料に応じたばらつきの範囲を考慮する。 (5.2 解析方法) 各種デバイス毎に摩擦係数を確認し、デバイスのばらつき範囲で橋の照査に決定要因となるケースについて動的解析を実施すること。	※③では、ばらつき幅は一律に規定されておらず、メーカーの品質管理幅によるものとなる。
(4.2.2 すべり系支承のモデル化) 面圧、速度に対する依存性を評価する。 依存性評価式を提示し、7章に規定する性能試験法に基づき、各パラメーターを設定する。 $\mu(\sigma, v) = \mu'(\sigma)(1 - e^{-Dv}) + \mu''(\sigma)e^{-Dv}$	※③では、依存性を考慮することが原則であるが、PTFE系においては実験的にその影響が小さいことが確認されているため、無視しても良いとしている。
(5.2 解析方法) すべり系支承の摩擦力自体は粘性減衰には影響しないものとして作成するのが良い。例えば、①要素別剛性比例減衰、②要素別Rayleigh減衰 この他、便宜的にすべり系支承の1次剛性を小さくしたトリリニアでモデル化する方法も提案されている。 ※ 瞬間剛性比例減衰は、数値解析が不安定になったり、応答値が実験値よりも大幅に大きくなったりする場合もあるので注意が必要。	※②、③では、粘性減衰マトリックスが摩擦履歴の初期剛性の影響で過大になることを回避する方法について言及している。
(2.1 一般) 橋梁各部分のエネルギー吸収量を計算し、支承部におけるエネルギー吸収量がその他の部材によるエネルギー吸収量より大きいことを確認する方法などがある。→ 例：参考資料 8	
(5.2 解析方法) 上下地震動の影響はPTFE系では、地震時応答への感度が小さいことが実験的に確認されているため、この場合、設計に考慮する必要性は低い。直角方向入力に起因するロッキング振動などの影響については、橋梁条件に応じて考慮すること。	
(4.2.3 限界状態) すべり系支承の限界変位は、すべり板の摺動面全体で鉛直支持を確保できていることを原則とする。 ※ はみ出すことを想定する場合には、実験により確認すること。	
(4.3.3 限界状態) 常時の桁の回転変形を負担させないように隙間などを設けること。 ゴムパuffersに回転変形が作用する場合には別途、性能試験により疲労耐久性等を確認すること。	
<特に規定なし>	

表 2.14 (c) 機能分離型支承に関する設計基準

発行機関	① 名古屋高速道路公社	② 阪神高速道路公団
他	<p><u>(2.1 鋼製支承およびダンパーの配置)</u> 標準的な支承配置例を規定.</p> <p><u>(4.3 ジョイントプロテクターの設計)</u> ジョイントプロテクターの耐力を下限および上限から規定. → 橋脚の降伏耐力を上回らないこと.</p> <p><u>(6章 補強部材, 台座およびアンカーボルトの設計)</u> 上部構造, 下部構造側の取付け構造・設計法を規定.</p> <p><u>(8章 計算例)</u> 設計計算の詳細.</p> <p><u>(9章 参考図)</u></p>	<p><u>(3.3 耐震性能と限界状態)</u> 残留変位への注意喚起を明記.</p> <p><u>(7. モニタリング)</u> 別途, 荷重が作用しない状態のすべり支承を橋脚上の空きスペースに設置して, これをモニタリング対象とする. モニタリングにおいては, 定期的なすべり支承の劣化状況検査や性能試験などを行う.</p> <p><u>(参考資料)</u> 橋梁の動的応答特性と解析パラメーターの関係に着目した検討事例. → 1次, 2次剛性の設定・速度依存性の感度・複合モデルによる評価.</p>

③ 土木研究所（官民共同研究）	備考
<p>(2.2 限界状態) 上部構造の残留変位に関する留意点を明記。 (7章 地震力遮断デバイスの性能検証方法) すべり系支承，ゴムバッファの性能検証に必要な各試験項目・要求性能を規定。 (8章 耐震補強への応用) 既設橋梁の耐震補強の際における考え方を提示。 (参考資料 1～4) 支承部の実験データ等。 (参考資料 5～9) 計算手法，計算例，振動台実験結果，解析的検討結果等。</p>	

参考文献（第2章）

- 社団法人日本道路協会：道路橋支承便覧，平成3年7月
関西道路研究会，道路橋調査研究委員会，支承・伸縮継手小委員会：これからの支承・伸縮継手
に向けて，平成10年3月
社団法人日本橋梁建設協会：支承部補修工事施工の手引き，昭和59年6月
多田宏之：橋梁技術の変遷，鹿島出版会，2000年12月
社団法人日本道路協会：道路橋支承標準設計（ゴム支承，すべり支承編），昭和51年1月
社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説・V耐震設計編，昭和55年5月
社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説・I共通編II鋼橋編，昭和55年2月
社団法人日本道路協会：道路橋支承標準設計（ピン支承，ころがり支承編），昭和54年1月
社団法人日本支承協会：溶融亜鉛めっき支承の製作及び検査基準（案）（高力黄銅支承板支承編），
昭和55年4月
室井智文：支承の補修と補強 日本道路公団における支承の現況－東名・名神高速道の調査より
一，橋梁と基礎，pp.165～169，1983年8月
日本道路公団：構造物標準設計図集V（支承および橋りょう付属物編），昭和60年4月
社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説，平成2年2月
社団法人日本道路協会：道路橋支承標準設計（すべり支承編），平成5年5月
社団法人日本道路協会：道路橋支承標準設計（ゴム支承，ころがり支承編），平成5年5月
徳田浩一，岩崎雅紀：支承の活荷重挙動に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.41A，1995
年3月
山本泰幹，稲田育朗，徳田浩一，岩崎雅紀：密閉ゴム支承の取替えに対する適用性と耐久性に関
する研究，構造工学論文集，Vol.42A，1996年3月
社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説，平成8年12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
社団法人日本道路協会：道路橋支承便覧，平成16年4月
社団法人日本支承協会，ゴム支承協会：ゴム支承の鋼材部の設計標準（案），平成17年10月
ぎょうせい：道路基準通達集 監修 建設省道路局企画課，平成3年4月
社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説，平成6年2月
社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用，昭和45年11月
阿部雅人，吉田純司，藤野陽三，森重行雄，鷓野禎史，宇佐美哲：金属支承の水平終局挙動，土
木学会論文集 No.773/I-69，pp.63～78，2004年10月
独立行政法人土木研究所耐震研究グループ（耐震）：すべり系支承を用いた地震力遮断機構を有
する橋梁の免震設計法マニュアル（案），2006年10月
Yasuhisa HISHIJIMA, Takehiko HIMENO: State of the Art Bridge Bearings in Japan Since the
Hanshin-Awaji Earthquake Disaster, The 4th Civil Engineering Conference in the Asian
Region, 2007年6月
日本道路公団：構造物施工管理要領（案），平成16年4月
社団法人日本支承協会，社団法人日本道路協会 道路橋支承標準設計図面集 昭和56年改訂版，
昭和57年10月
首都高速道路公団：支承標準設計図集，昭和57年3月
日本道路公団：日本道路公団標準設計，昭和45年

- 首都高速道路公団：支承標準設計図集，昭和48年
- 阪神高速道路公団：阪神高速道路公団設計基準第2部，平成6年7月
- 首都高速道路公団：支承・落橋防止システム設計要領（案），平成9年7月
- 日本道路公団名古屋建設局：第二東名・名神高架橋 反力分散型ゴム支承の設計基準（案），平成9年9月
- 日本道路公団静岡建設局：免震支承を用いた橋梁の支承、落橋防止構造等の設計マニュアル（案），平成9年
- 名古屋高速道路公社：ゴム支承設計基準（案），平成8年9月
- 福岡北九州高速道路公社：設計基準第2部構造物設計基準（橋梁編），平成9年10月
- 建設省：道路橋の免震設計法マニュアル（案），平成4年10月
- HDR 研究会：高減衰ゴム支承共通設計式（案），平成8年6月
- HDR 研究会：高減衰ゴム支承共通設計式（案），平成8年11月
- HDR 研究会：高減衰ゴム支承共通設計式，平成12年5月
- HDR 研究会：高減衰ゴム支承（HDR）共通設計式，平成15年1月
- HDR 研究会：高減衰ゴム支承共通設計式（HDR-S），平成12年8月
- HDR 研究会：超高減衰ゴム支承共通設計式（案），平成14年6月
- HDR 研究会：超高減衰ゴム支承（HDR-S）共通設計式，平成15年3月
- 日本道路公団静岡建設局委託高速道路調査会：第二東名高速道路免震支承の設計に関する検討報告書，平成9年3月
- 名古屋高速道路公社：名岐道路他ゴム支承標準設計例（改訂版），平成12年9月
- 名古屋高速道路公社：名古屋高速道路非線形動的解析実施要領（案），平成13年5月
- LRB 技術研究会：鉛プラグ入り積層ゴム新特性式，平成8年6月
- 川口金属工業株式会社：スプリング拘束型鉛プラグ入りゴム支承（SPR）設計式，平成13年8月
- 名古屋高速道路公社：鋼構造物設計要領VI機能分離型支承，2002年4月
- 阪神高速道路公団：すべり免震支承システムの設計手引き（案），2003年5月