

積層ゴム支承の歴史

1. ゴム材料と構造物への応用

積層ゴム支承はゴム材料と鉄の複合材であり、鉄は鉄器時代に始まり、鉛は古代エジプトにさかのぼることができる。それに控え、天然ゴムは、コロンブスの発見から500年程度が経過している。

これらの素材が産業材料として形を整え、本格的に使用されるようになってから、天然ゴム(NR)は加硫法から170年、クロロプレンゴム(CR)をはじめとする合成ゴムは、その発明から80年程度経過している。

表-1 ゴム材料と開発の主な歴史

年 代	ゴム材料	ゴム支承		内 容
		研 究	導 入	
1493	天然ゴム(NR)			コロンブス、ゴムを欧州へ紹介
1770	天然ゴム(NR)	プリーストリー、消しゴムに推奨		英語ラバー(rubber)の起り
1839	天然ゴム(NR)	グットイヤー加硫方法の発明		硫黄とゴムと加熱により安定したゴムの発明
1889	天然ゴム(NR)		メルボルン橋(メルボルン)	ゴム板(帯状ゴム・ゴムブロック)を支承として使用
1931	クロロプレンゴム(CR)	デュポン社(アメリカ)クロロプレンを合成		合成ゴムの発明
1933, 1934	SBR(ブナS,N)	ドイツ、イー・ゲー社最初のSBRを合成		合成ゴムの大量生産技術
1939-1945	SBR,NBR	Government Rubberプロジェクト		NRやSBRの輸入が絶たれたため国家プロジェクトとして合成ゴムの製造
1950~	天然ゴム(NR)	イギリス運輸省(MOT)		橋梁用ベアリングとしてのゴム材料研究、Momo802
1956	天然ゴム(NR)		ペルハム橋(ロンドン)	積層ゴム支承の採用
1950		G.Lindley ; 服部・武井		防振ゴム(積層ゴム)の物理特性、設計の基礎理論の研究
1959-81	クロロプレンゴム(CR)	デュポン社		CR支承についての広範囲の試験と設計の輪郭を示す
1960		フレシネー社(フランス)		積層ゴム支承の研究開発・実用化
1962-65		ORE Study1964(UICオランダ)		NR, CR支承の製品の設計及び製造技術にかかわる実験によりUIC規格の基礎
1972	天然ゴム(NR)	ニュージーランド科学技術庁		免震支承およびそれらに必要な減衰装置の開発(LRBなど)

橋梁用ゴム支承の材料として 1889 年のメルボルン橋 (25×1255×1225) に天然ゴム (パッド型ゴム) を用いた支承が最も古い実施例として知られている。1956 年のペルハム橋 (600×400×180) に天然ゴムを用いた積層ゴム支承が採用された。クロロプレンゴムを用いた積層ゴム支承についてはハッキリとした文献が残っていないが、1960 年頃にフレシネーによる研究と実用化の歴史があるので、

1960年代の初期には何らかの形で橋梁への適用があったと思われる。また、1972年頃にニュージーランド科学技術庁において免震支承およびそれらに必要な減衰装置の開発研究が行われ、従来の天然ゴムを用いた積層ゴム構造に鉛プラグを埋込み地震時の減衰性能を強化した積層ゴム支承(LRB)が開発され、同時期に橋梁への試験採用もなされている。また、1984年にカリフォルニアで建築用免震のデバイスとして原料ゴム自身に減衰性能を持たせるように調整配合した新しい配合ゴムの高減衰ゴムが開発された。

2. 国内における橋梁への応用

日本においても、ゴムを用いて設置して振動・騒音・地震を制御するアイデアは大正時代の特許に遡ることができるが実施例はない。実用面では、戦後間もなく、鉄道および鉄道橋の振動・耐久性対策として研究開発され、1958年にフランスより導入された、クロロプレンゴムのパッド型ゴム支承が国鉄大阪環状線天王寺駅舎で使用されたのが国内初となる。

積層ゴムの設計法としては、1950年にGent,Lindley;服部・武井らが防振ゴムの設計公式を発表しており、現在も広く適用されている基礎理論である。国内においては、プレストレストコンクリートのフレシネー工法の付属品として、NR及びCRを用いた積層ゴム支承の考え方が示されており、その中でCRを用いたゴム支承のみが国内に導入された。1973年に発行された「道路橋支承便覧」では、それを参考として、クロロプレンゴムを用いた積層ゴム支承の考え方が導入された。支承構造については、フレシネー工法の国内で特許の関係から、防振ゴムでJIS化されていた鋼板を一体加硫した積層ゴムがフレシネー以外橋梁支承として使用できない期間があり、そのために、補強材料としてナイロン板を用いた積層ゴム支承が1960年に、内部補強材としてリングプレートを用いた積層ゴム支承が1971年に開発され現在に至る。その他、亜鉛鉄板を接着しないで重ねるなどの構造があった(図-2-③)が採用例はハッキリしない。

積層ゴム支承の国内製造は、1960年にフレシネーにおけるクロロプレンゴム(CR)及びデュボン社のクロロプレンゴム(特許名ネオプレンで知られる)の研究成果を参考として設計・製造を開始した。その後、1973年発行の「道路橋支承便覧」では、その成果を取入れることで、最初のゴム支承の設計法・品質管理について示された。1982年には「道路橋支承便覧」を受けパッド型ゴム支承の標準設計図集(日本道路協会)が発行された。その後、道路橋示方書及び支承便覧改訂を受け1993年にゴム支承の標準設計図集が改訂されている。

天然ゴムを用いた積層ゴム支承は、1971年に固定可動用として橋梁に使用され、1972年に当時の建設省近畿地方整備局、宿院高架橋において地震時水平力分散型ゴム支承として実用化された。

1987年には建設省土木研究所において免震橋の研究が始まり、1992年に「道路橋の免震設計法マニュアル(案)」として研究成果が発刊された。1995年兵庫県南部地震を受け1996年に改訂された「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」では地震時の慣性力を分散・エネルギー吸収が推奨されることになったため積層ゴム支承の適用が増えることになった

1995年兵庫県南部地震以降、積層ゴム支承の橋梁への採用が急激に増加してきた(図-1)。しかし、それに伴い、様々な橋梁形式、使用条件や使用環境に対して適合したゴム材料や積層ゴム支承の種類や構造の検討及び検証が必要となるが、十分な検証がなされずに適用している場合も近年、多少見られるようになっている。特に、積雪寒冷地など低温地域に設置する積層ゴム支承においてオゾンと思われるクラックの発生が報告されており、低温地域を含む環境を考慮したゴム支承表面のオゾンクラックに対応する被覆ゴム材料の検討が急務となっている。被覆ゴム材料に関しては、本体ゴムと同じ材料を用いオゾン劣化試験条件として50pphm 20%伸張 40±2°Cx96時間としていた。2004年(平成16年)道路橋支承便覧改定において、低温時のオゾン試験として50pphm 20%伸張 -30°Cx96時間が新たに追加された。2009年にNEXCO 施工管理要領において、オゾン劣化試験条件の伸びが25%から50%伸張と厳しくなった。更に2010年にはゴム支承に用いる被覆ゴム材料の変更が示され、本

体ゴムと別に、耐候性が確認された EPDM 又は CR 系を推奨している。

表-1 はゴム支承として国内で製造しているゴム支承の製造年とその構造及び被覆構造について示したものである。これらの情報を元にゴム支承の維持・管理・補修等について検討するための参考としてゴム材料および積層ゴム支承の改良、改善等について研究を進めている。

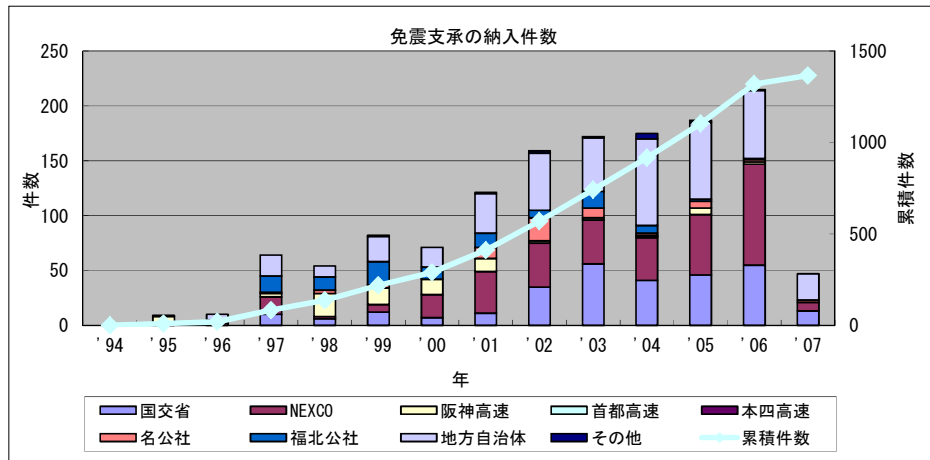


図-1 積層ゴムの使用実績

表-2 日本国内における材料と支承構造の変遷

年	通示・便覧発行年	ゴム支承本体材料	被覆ゴム材料 (オゾン試験)	ゴムの許容せん断ひずみの変遷				被覆厚さ/被覆厚さの規定	中間鋼板の種類	積層ゴムの特許 (フレンジャー・鋼板)
				固定可動 γ=0.5	分散可動 γ=0.7	分散可動 γ=0.7	分散可動 γ=0.7			
1958	S 33	PC桁	フレンジャー工法と一緒に入	CR	○	100psi, 10psi	フレンジャー工法 (鋼板一体加硫方法の特許取得)	被覆無し / 切斷型と一体成形型	切斷型、耐熱性鋼板	○
1959	S 34	CR	—	—	X	—	—	—	—	○
1960	S 35	CR	—	—	X	—	—	—	—	○
1961	S 36	CR	—	—	X	—	—	—	—	○
1962	S 37	CR	—	—	X	—	—	—	—	○
1963	S 38	CR	—	—	X	—	—	—	—	○
1964	S 39	CR	—	—	X	—	—	—	—	○
1965	S 40	CR	—	—	X	—	—	—	—	○
1966	S 41	CR	—	—	X	—	—	—	—	○
1967	S 42	CR	—	—	X	—	—	—	—	○
1968	S 43	CR	—	—	X	—	—	—	—	○
1969	S 44	CR	—	—	X	—	—	—	—	○
1970	S 45	CR	—	—	X	—	—	—	—	○
1971	S 46	CR	—	—	X	—	—	被覆無し又は被覆厚さは被覆1~2mm	被覆無しは耐熱性鋼板 / 被覆タイプはナイロン板タイプ、リソプレートタイプはSS材	○
1972	S 47	道路橋示方書V	CE, NR	—	X	—	—	—	—	○
1973	S 48	支承便覧	CE, NR	—	X	—	—	—	—	○
1974	S 49	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1975	S 50	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1976	S 51	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1977	S 52	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1978	S 53	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1979	S 54	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1980	S 55	道路橋示方書	CE, NR	—	X	—	—	—	被覆無しは耐熱性鋼板 / 被覆タイプは全てSS材へ	○
1981	S 56	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1982	S 57	標準設計図集	CE, NR	—	X	—	—	—	—	○
1983	S 58	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1984	S 59	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1985	S 60	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1986	S 61	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1987	S 62	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1988	S 63	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1989	H 1	CE, NR	—	—	X	—	—	—	—	○
1990	H 2	道路橋示方書	CE, NR	—	X	—	—	—	—	○
1991	H 3	支承便覧	CE, NR	—	X	—	—	—	—	○
1992	H 4	免震マニュアル	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F	E A C F	A	*5mm以上/被覆無しはSSS使用	被覆無しはSSS材へ / 被覆タイプは全てSS材
1993	H 5	標準設計図集	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G	E A C F G	A F	—	—
1994	H 6	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B	E A C F G B	A F G	—	—	—
1995	H 7	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D	—	—	—
1996	H 8	道路橋示方書	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D	—	—
1997	H 9	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B	—	—	—
1998	H 10	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B	—	—	—
1999	H 11	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B	—	—	—
2000	H 12	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B E	—	—	—
2001	H 13	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B E	—	—	—
2002	H 14	道路橋示方書	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B E	—	—
2003	H 15	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B E	—	—	—
2004	H 16	支承便覧	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B E	*被覆無しはSSS材 / 被覆5mm又は10mm基準	被覆無しはSSS材 / 被覆タイプのみならず、SS又はSS材
2005	H 17	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B E	—	—	—
2006	H 18	ゴベリ免震マニュアル	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B E	—	—
2007	H 19	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B E	—	—	—
2008	H 20	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B E	—	—	—
2009	H 21	NEXCO管理規程	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B E	—	—
2010	H 22	NEXCO事務連絡	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B E	—	—
2011	H 23	CE, NR, HDR	—	—	CE J A F G B D	E A C F G B D	A F G C D B E	—	—	—

注：Xは現在製造会社無し

被覆厚さは支承便覧に基準を示した年とした。尚、物件に応じて多少被覆厚さの異なる場合がある

被覆ゴム材料の試験条件の変遷

材料種別	試験方法
① 本体と同じ材料	50pphm 20%伸張 40±2℃x96時間
② 本体と同じ材料	低温時のオゾン試験 (50pphm 20%伸張 -30℃x96時間)
③ 被覆ゴム材料	50pphm 50%伸張 40±2℃x96時間 低温時のオゾン試験 (50pphm 50%伸張 -30℃x96時間)
④ 被覆ゴム材料	ゴム支承に用いる被覆ゴム材料は、耐候性が確認された材料としてEPDM又はCR系を用いる

注) 記号 A-F は製造会社を示す

3. ゴム支承の設計法の変遷

ゴム支承は、1950年代にPC工法と共にフランスより輸入され、沓座に設置するだけの上沓や下沓を持たないパッド型ゴム支承構造であり、施工の簡便さから主にコンクリート橋に多く使用された。

この頃の設計法は、フレシネー工法としてのゴム支承の設計施工資料及びデュポン社のクロロプレンゴムの設計理論を参考として日本国内で運用しており、地震時の水平力を取らせる場合にアンカーバーを設置する考え方が日本独自の設計方法として提案されている。その後、1973年に道路橋支承便覧（日本道路協会）が発刊に伴い、統一されたゴム支承の設計法が示された(表-2)。

1990年（平成2年）道路橋示方書の改定に伴い、1991年（平成3年）に支承便覧の改定が行われ、許容値の変更と共に天然ゴムの追加などが行われた。

1992年に「道路橋の免震設計法マニュアル（案）」として研究成果が発刊され、免震支承の設計法が提案され、1995年（平成7年）兵庫県南部地震では、各種構造物に甚大な被害を引き起こした。支承部の損傷について特徴的な事柄として、ゴム支承の損傷が軽微であった。そのことから、翌年の1996年（平成8年）に改訂された道路橋示方書では免震橋、地震時水平力分散構造を有する橋の動的解析照査や支承部を構造部材とするなどの改訂に伴い、地震時水平力分散型ゴム支承や免震支承が適用しやすい環境となり、改めてゴム支承の変遷を考えた場合、大きな転換期となった。

この震災以後、支承に対する要求性能、とくに耐震性能に関して重要視されるようになった。

1996年（平成8年）に兵庫県南部地震を受け道路橋示方書の改訂が行われ、1997年に支承便覧改訂作業に入ったが、作業が遅れ、2002年（平成14年）道路橋示方書の改訂を待って、2004年（平成16年）に発刊され、最大圧縮応力、地震時の許容せん断ひずみなどが修正され、高減衰ゴムが追加された。

表-1 ゴム支承の設計基準（道路橋支承便覧より）

発刊年月	主な許容値	使用材料	
		ゴム	補強鋼板
1973年 (昭和48年4月)	最大支圧応力度 $< 5\text{N/mm}^2$ 常時のせん断ひずみ $< 0.5 \Sigma te$ 地震時のせん断ひずみ $< 1.75 \sim 2.0 \Sigma te$ (ゴム試験片の破断伸びの1/2)	クロロプレンゴム (CR)	耐候性鋼板, ネオプラス, ナイロン, 亜鉛めっき鋼板 (ゴムと鋼板は未接着)
1991年 (平成3年7月)	最大支圧応力度 $< 8\text{N/mm}^2$ 常時のせん断ひずみ $< 0.7 \Sigma te$ 地震時のせん断ひずみ $< 1.5 \Sigma te$ 局部せん断ひずみの照査	クロロプレンゴム (CR) 天然ゴム (NR)	SS400, SUS304, SUS316, SM490, SGD400-D
2004年 (平成16年4月)	最大支圧応力度 $< 8 \sim 12\text{N/mm}^2$ 常時のせん断ひずみ $< 0.7 \Sigma te$ 地震時のせん断ひずみ (L1) $< 1.5 \Sigma te$ 地震時のせん断ひずみ (L2) $< 2.5 \Sigma te$ 局部せん断ひずみの照査	クロロプレンゴム (CR) 天然ゴム (NR) 高減衰ゴム (HDR)	SS400, SUS304, SUS316, SM490, SGD400-D

4. 積層ゴム支承の構造と変遷

1959年にゴム支承が国内で使用されてから現在までのゴム支承本体構造はほぼ図-3に示すような変遷をたどっている。最初はフレシネーと導入した積層ゴムの構造を当時の製造技術に合わせて日本オリジナル構造の切断加工型となった。次いで、鋼板を一体成形する構造は橋梁用支承として特許権の問題が合ったため補強鋼板の代わりにナイロン板に置き換えた構造や全く鋼板とゴムを接着しない構造などが提案されたが、強度の関係で鋼板またはナイロン板タイプが国内における標準的な積層ゴム構造となった。更に1971年に大型荷重対応および地震時水平力分散構造に対応するために内部補強鋼板をゴムが内部で貫通しているリングプレートタイプが開発された。その後、積層ゴム構造に減衰を付加するために鉛を圧入した構造があるが、ゴムと鋼材の一体加硫構造に変わりはない。

積層ゴム支承の構造の変遷

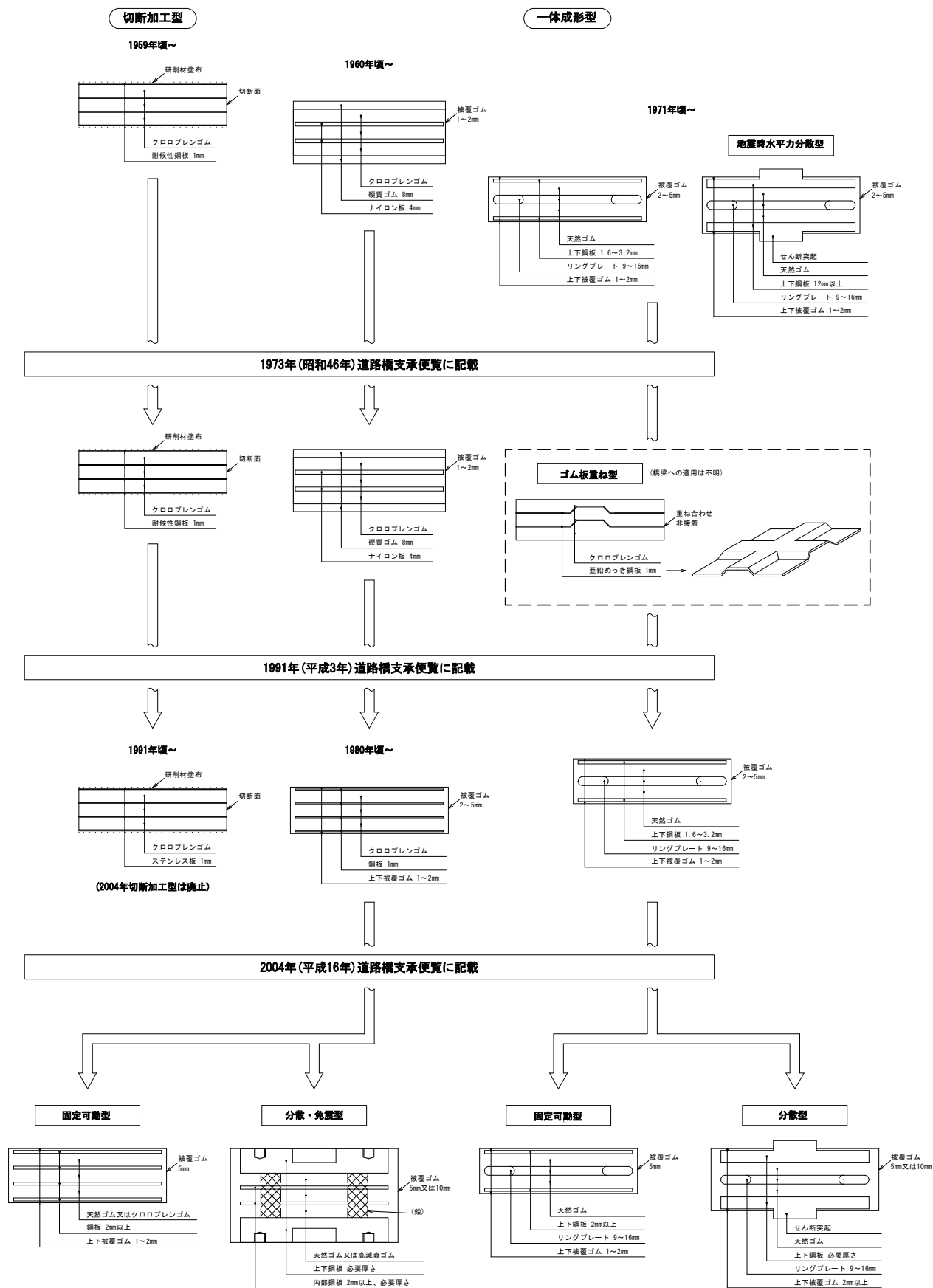


図-3 積層ゴム支承の構造の変遷