

積層ゴム支承の低温特性



一般社団法人

ゴム支承協会

Rubber Bearing Association

2025/11/26

1



本日の内容

- 支承部の基本
- 積層ゴム支承の基礎知識
- 低温環境が積層ゴム支承に与える影響
- 低温特性評価の方法
- まとめ

支承部の基本

- 支承とは？
- 支承部に求められる機能
- 支承の分類

支承とは？

シュー

shoe



沓



支承



桁の履く沓



※ 鉄道は現在も“シュー”の表記を用いている

支承部に求められる機能

▶ 荷重伝達機能

- ・ 鉛直方向
- ・ 水平方向

▶ 変位追従機能

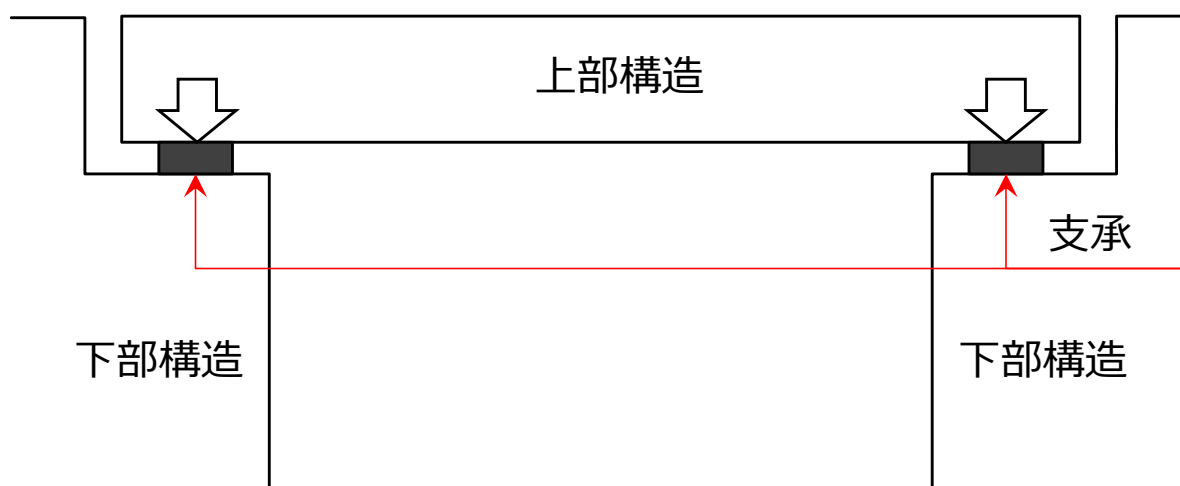
- ・ 水平変位
- ・ 回転変位

支承部とは

支承本体，アンカーボルト，セットボルト等の上下部構造との取り付け部材，沓座モルタル，アンカーバー等，支承の性能を確保するための部分をいう。

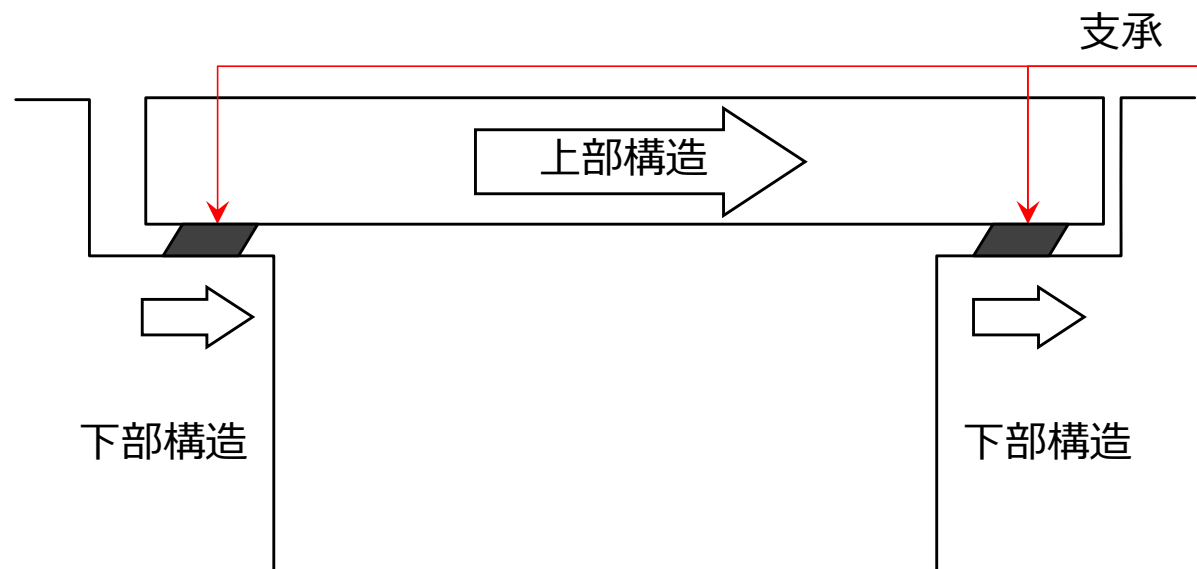
上記の他に、地震時に生じる振動に対する減衰機能を有する支承もある

(1) 鉛直方向の荷重伝達



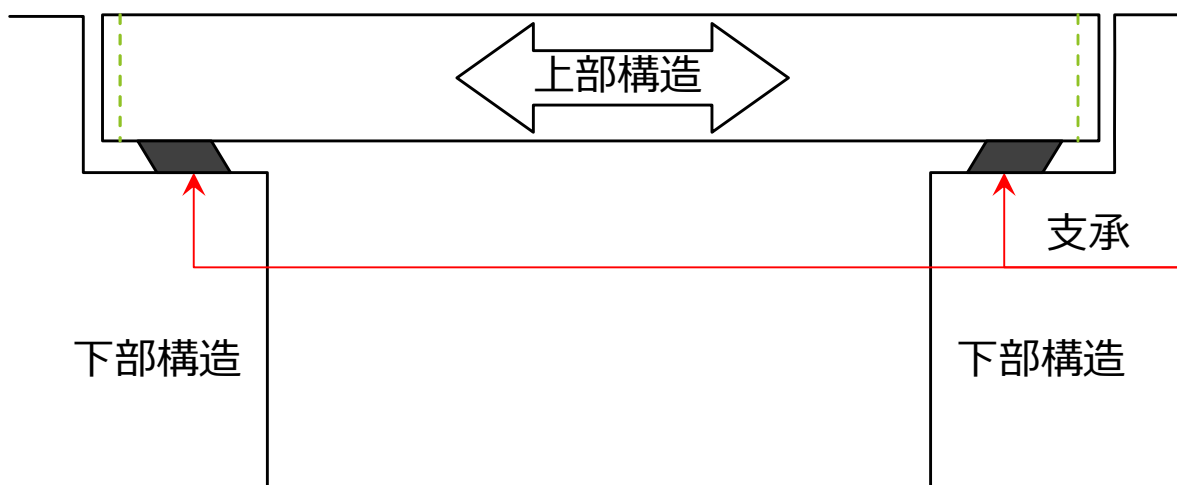
上部構造を支持し、所定の高さに保持する

(2) 水平方向の荷重伝達



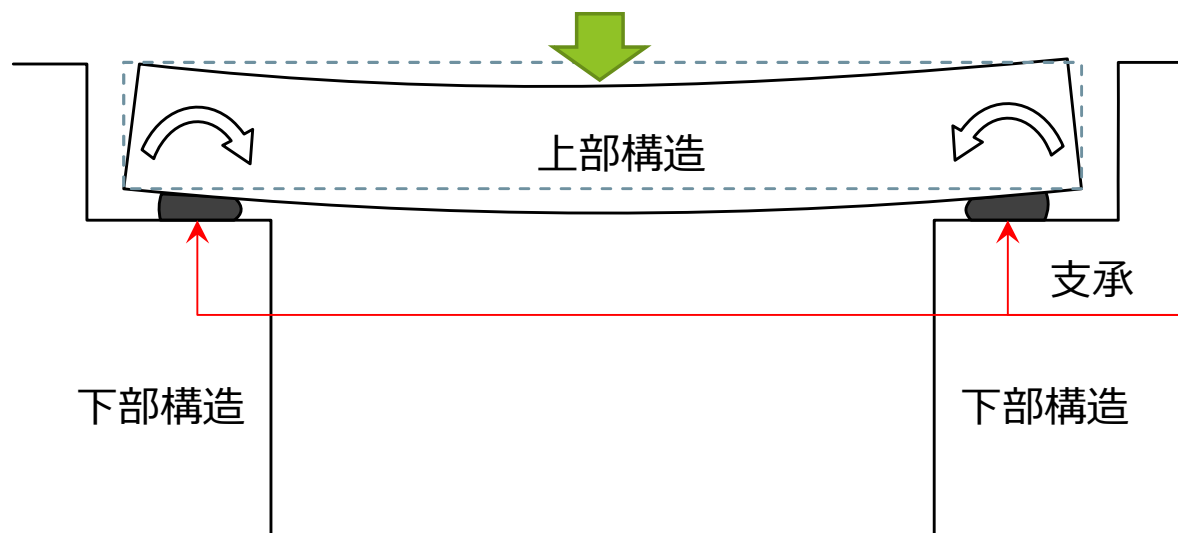
上部構造からの水平方向の荷重を下部構造に伝達する

(3) 水平変位への追随



上下部構造間に生じる相対変位に追随する

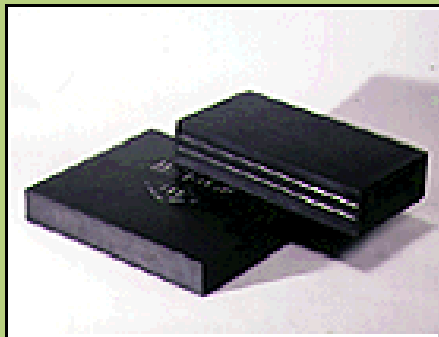
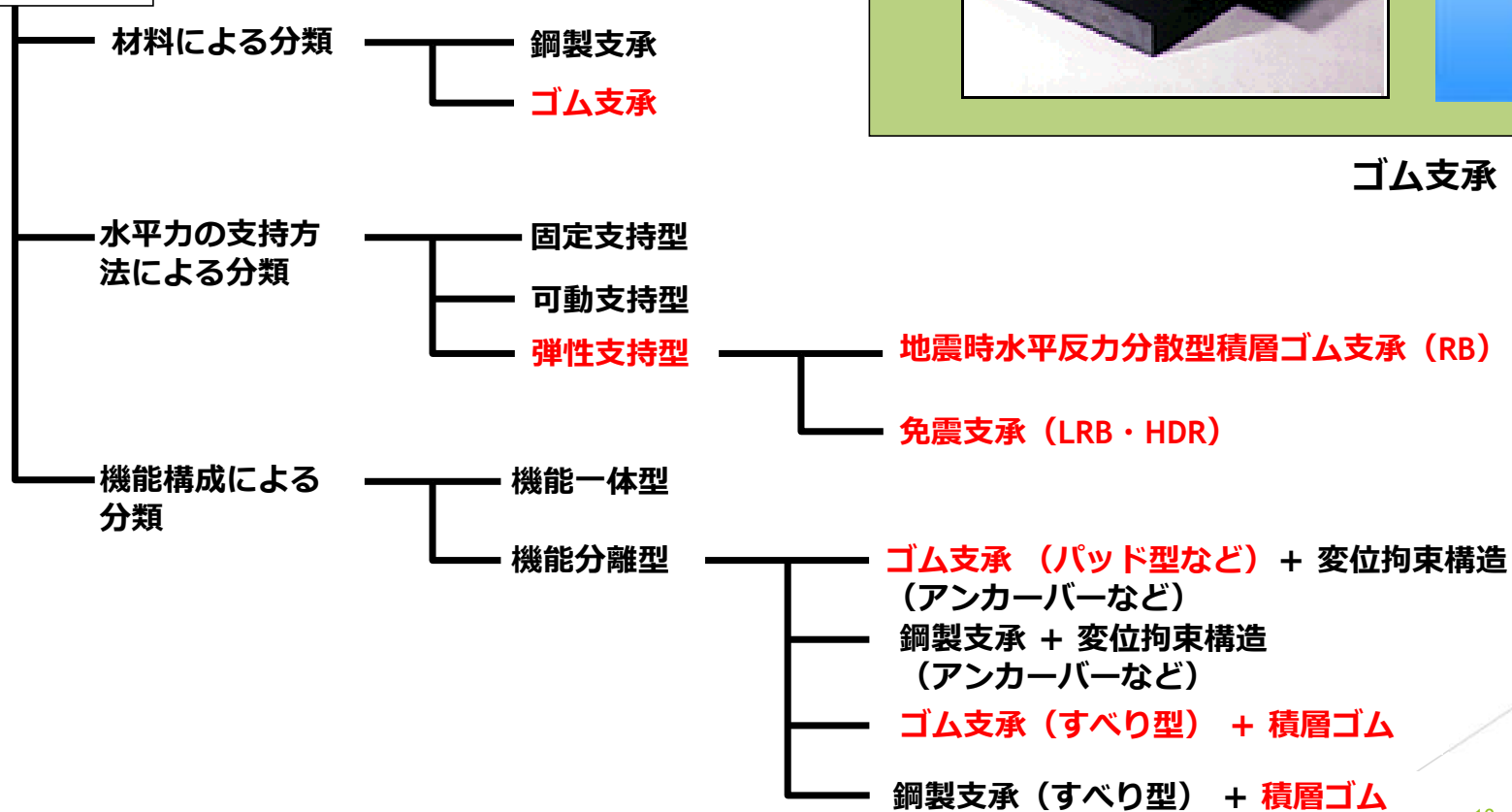
(4) 回転変位への追随



活荷重たわみにより生じる支点部の回転変移への追随

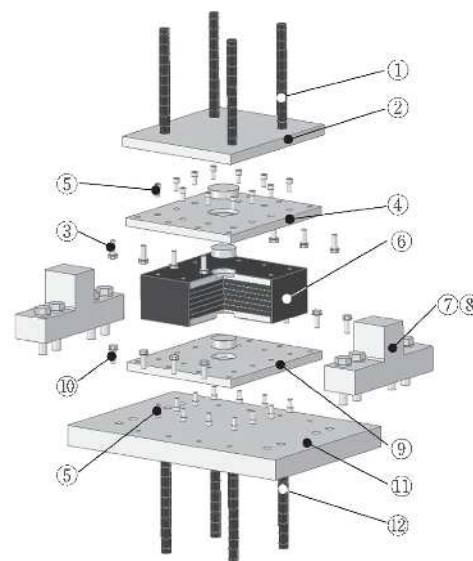
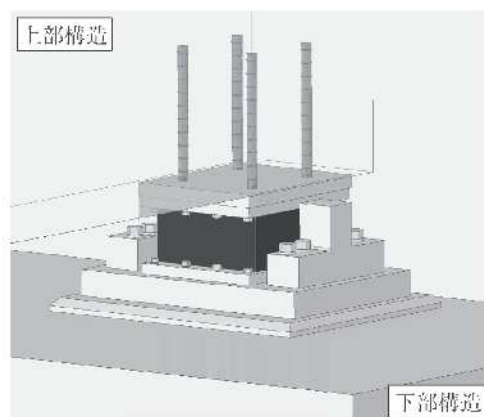
支承の分類

支承部の分類



ゴム支承

支承の分類 ゴム支承の荷重の伝達



部番	部材名称	部番	部材名称
①	上部アンカーボルト	⑦	サイドブロック
②	ソールプレート	⑧	サイドブロック取付けボルト
③	上沓取付けボルト	⑨	下沓
④	上沓	⑩	下沓取付けボルト
⑤	支承取付けボルト	⑪	ベースプレート
⑥	積層ゴム	⑫	下部アンカーボルト

図-4.5.1 ゴム支承の構造図

鉛直圧縮力

② ⇔ ④ ⇔ ⑥ ⇔ ⑨ ⇔ ⑪

水平力(弾性支持)

① ⇔ ② ⇔ ③ ⇔ ④ ⇔ ⑤ ⇔

⑥ ⇔ ⑤ ⇔ ⑨ ⇔ ⑩ ⇔ ⑪ ⇔ ⑫

水平力(固定支持)

① ⇔ ② ⇔ ③ ⇔ ④ ⇔ ⑦ ⇔

⑧ ⇔ ⑪ ⇔ ⑫

鉛直引張力

① ⇔ ② ⇔ ③ ⇔ ④ ⇔ ⑤ ⇔

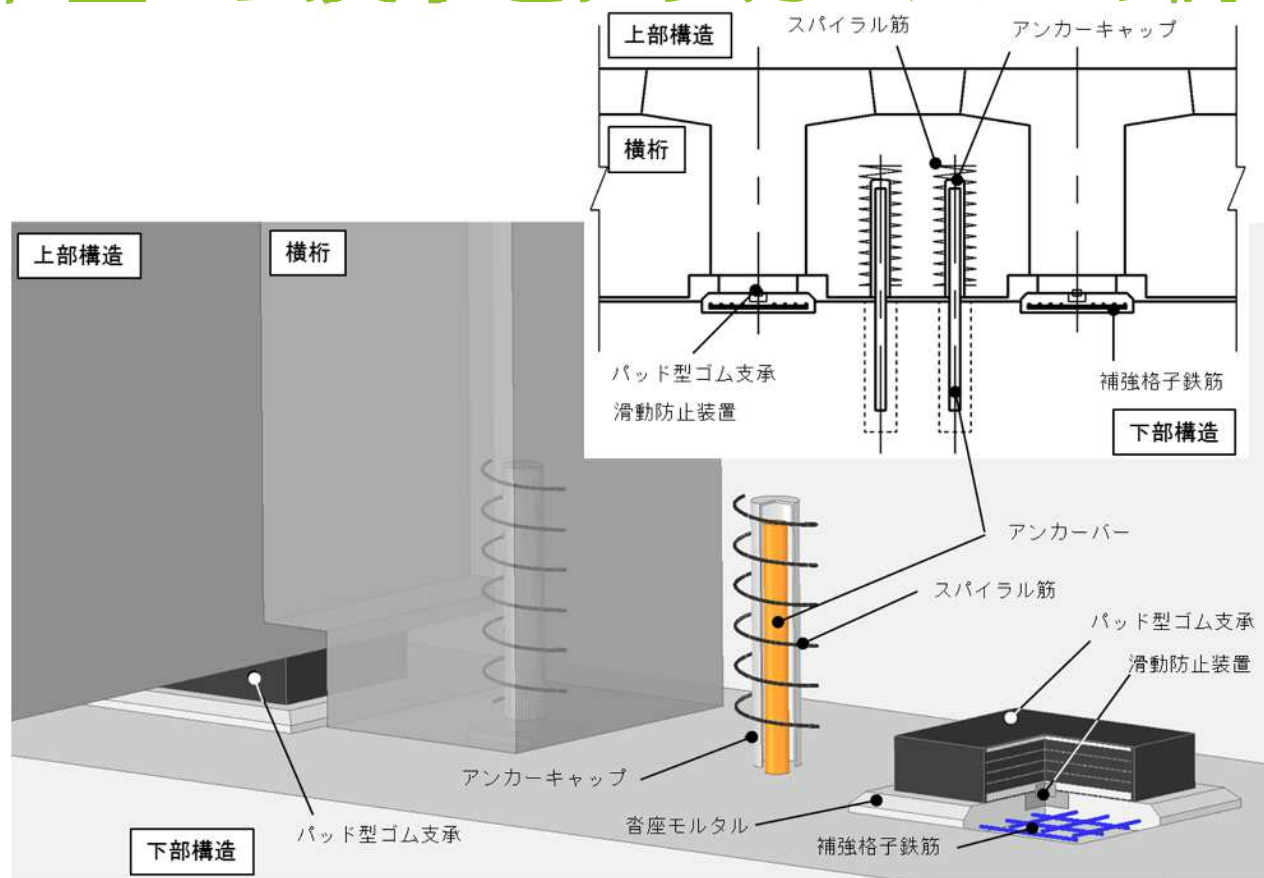
⑥ ⇔ ⑤ ⇔ ⑨ ⇔ ⑩ ⇔ ⑪ ⇔ ⑫

道路橋支承便覧（平成30年12月版）より

11

支承の分類

パッド型ゴム支承とアンカーバーの例



道路橋支承便覧（平成30年12月版）より

12

積層ゴム支承の基礎知識

- ・ ゴム材料・ゴム支承の歴史
- ・ 橋梁用のゴム材料の種類

ゴム材料・ゴム支承の歴史①

西暦	年号	世界での出来事	日本での出来事
1493年	明応2年	コロンブス：ゴムを欧州へ紹介(天然ゴム：NR)	  織田信長誕生
1534年	天文3年		
1770年	明和7年	ジョセフ・プリーストリー：ゴムに消字性のあることを発見 「rub out」⇒「rubber」	
1772年	安永元年		
1837年	天保8年		田沼意次が老中に
1839年	天保10年	チャールズ・グッドイヤー：加硫法の発見 ※グッドイヤー社は、彼の名前にちなんでいるが、彼や彼の一族はグッドイヤー社とは何の関係もない	大塩平八郎の乱
1840年	天保11年	アヘン戦争勃発	  
1889年	明治22年	オーストラリア・メルボルン橋に天然ゴムのパッド(単層)が使用される	
1923年	大正12年		関東大震災 地震による橋の倒壊⇒地震への配慮
1931年	昭和6年	アメリカ・デュポン社：クロロプレン(CR)を合成、製造を開始	満州事変
1934年	昭和9年	ドイツ・IG(イー・ゲー)社：最初のスチレンブタジエンゴム(SBR)を合成。合成ゴムの大量生産技術の開発	5・15事件
1939年 ～ 1945年	昭和14年 ～ 昭和20年		Government Rubber Project：NRやSBRの輸入が立たれたため国家プロジェクトとして合成ゴムを製造

ゴム材料・ゴム支承の歴史②

西暦	年号	世界での出来事	日本での出来事
1950年	昭和25年	イギリス運輸省(MOF)：橋梁用ベアリングとしてのゴム材料研究 Momo802	G. Lindly・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
1956年	昭和31年	イギリス・ペルハム橋(ロンドン)に積層ゴム支承が使用される	
1958年	昭和33年		フランスより導入されたCR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る
1961年	昭和35年		国鉄東北本線鬼怒川橋梁でCR系積層ゴムが使用される
1972年	昭和47年	ニュージーランド科学技術庁で免震支承およびそれらに必要な減衰装置の開発(LRBなど)	建設省近畿地方整備局宿院高架橋にて地震時水平力分散型ゴム支承が国内ではじめて採用
1973年	昭和48年		「道路橋耐震設計指針」 「道路橋支承便覧」 発刊
1991年	平成3年		国内初の免震橋として、宮川橋に鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB)が採用
1992年	平成4年		「道路橋支承便覧」改訂 山あげ大橋に高減衰積層ゴム支承(HDR)が国内で初めて採用
1995年	平成7年		「建設省道路橋の免震設計法マニュアル(案)」 兵庫県南部地震 地震を機に橋梁へのゴム支承の採用が急増

ゴム材料・ゴム支承の歴史③

西暦	年号	世界での出来事	日本での出来事
1996年	平成8年		道路橋示方書でレベル2地震動が設定されゴム支承の採用が推奨される
2004年	平成16年		「道路橋支承便覧」改訂
2011年	平成23年		東北地方太平洋沖地震 ゴム支承の損傷が確認される
2016年	平成28年		熊本地震 ゴム支承の損傷が確認される
2018年	平成30年		「道路橋支承便覧」改訂
2024年	令和6年		能登半島地震 ゴム支承の損傷が確認される
2025年	令和7年		「道路橋示方書・同解説」改定 上下部接続部編・発刊

積層ゴム支承の設計基準の変遷

発刊	主な許容値・制限値		使用材料	
			ゴム	補強材
1973年 昭和48年4月版	最大圧縮応力度 $\leq 5\text{N/mm}^2$ 常時のせん断ひずみ $\leq 0.5\sum te$ 地震時のせん断ひずみ $\leq 1.75\sum te$ (ゴム試験片の破断伸びの1/2)		CR : G8,G10,G12	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月版	最大圧縮応力度 $\leq 8\text{N/mm}^2$ 常時のせん断ひずみ $\leq 0.7 \times \sum te$ 地震時のせん断ひずみ $\leq 1.5 \times \sum te$ 局部せん断ひずみの照査		CR : G8,G10 NR : G8,G10	SS400、SM400、 SUS304、SUS316、 SGD400-D
2004年 平成16年4月版	最大圧縮応力度 $\leq 8 \sim 12\text{N/mm}^2$ 常時のせん断ひずみ $\leq 0.7 \times \sum te$ 地震時のせん断ひずみ $\leq 1.5 \times \sum te$ 局部せん断ひずみの照査		CR : G8,G10,G12 NR : G6,G8,G10, G12,G14 HDR : G8,G10,G12	SS400、SM490、 SUS304、SUS316
2018年 平成30年12月版	耐荷 性能	鋼材の引張応力度 $\leq \sigma_{sa}$ ゴムの引張応力度 $\leq \sigma_{ta}$ 、座屈安定性 $\leq \sigma_{cra}$ 限界状態1 $\leq 2.5 \times \sum te \times \xi 1 \times \varphi$ (RB) 限界状態1 $\leq 1.75 \times \sum te \times \xi 1 \times \varphi$ (免震) 限界状態2,3 $\leq 2.5 \times \sum te$	CR : G8,G10,G12 NR : G6,G8,G10, G12,G14 HDR : G8,G10,G12	SS400、SM490、 SUS304、SUS316
	耐久 性能	最大圧縮応力度 $\leq 8 \sim 12\text{N/mm}^2$ せん断ひずみ $\leq 0.7 \times \sum te$ レベル1地震動 $\leq 1.5 \times \sum te$ 局部せん断ひずみの照査		

17

現在の橋梁用のゴム材料の種類

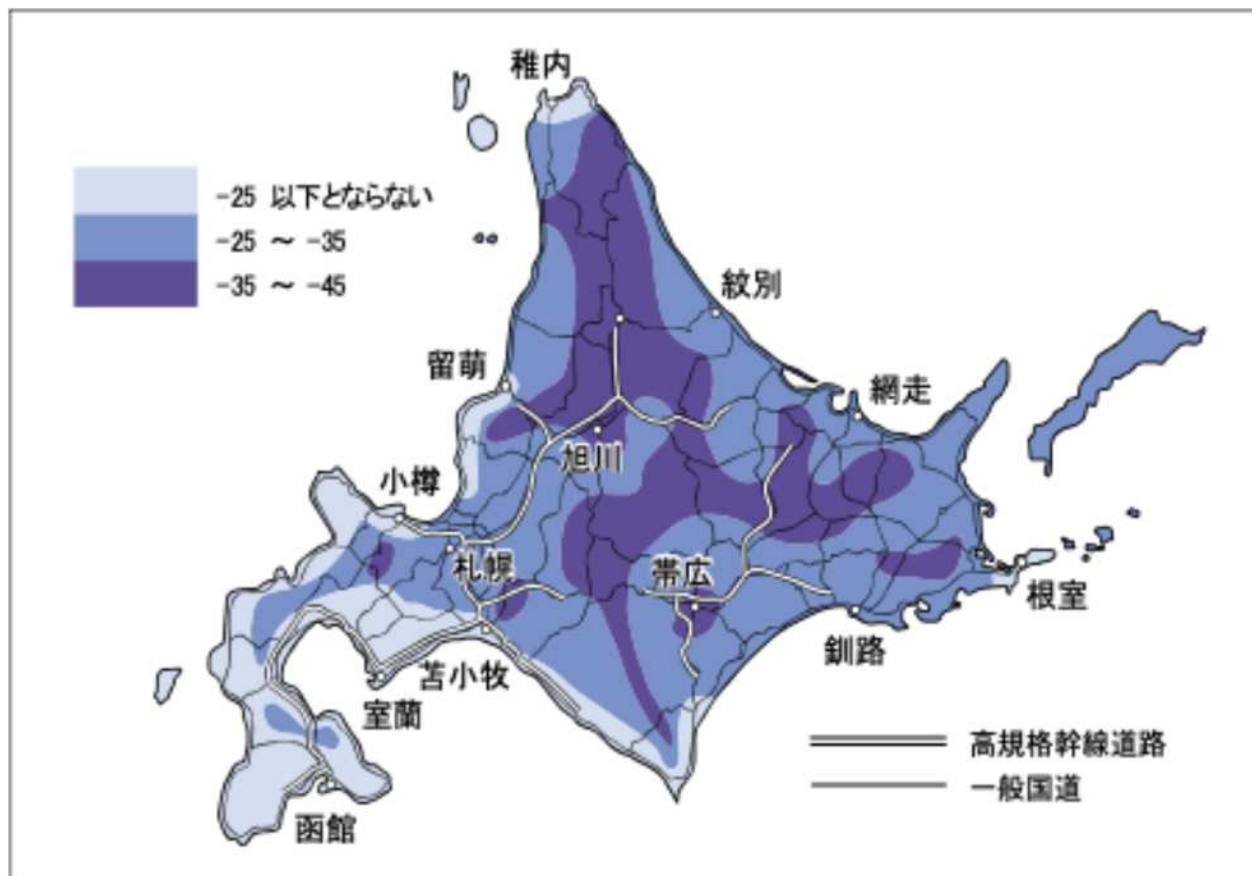
ゴム材料	静的せん断 弾性係数の 呼び	規格値		
		破断伸び	引張強さ	圧縮永久ひずみ率
		(%)	(N/mm ²)	(%)
天然ゴム (NR)	G6※	600以上	15以上	35以下
	G8	550以上		
	G10			
	G12			
	G14			
クロロプレンゴム (CR)	G8	450以上	15以上	35以下
	G10			
	G12			
高減衰ゴム (HDR)	G8	650以上	10以上	60以下
	G10	600以上		
	G12	550以上		
試験方法のJIS規格		JISK6251 : 2017		JISK6262 : 2013
		加硫ゴム及び熱可塑性ゴム －引張特性の求め方		加硫ゴム及び熱可塑性ゴム －常温，高温および低温における 圧縮永久ひずみの求め方 試験条件：70℃×24hr

※ : 使用実績が殆ど無い

低温環境が積層ゴム支承に与える影響

- 低温環境におけるゴム材料
- 低温による耐荷性能への影響
- 低温による耐久性能への影響

最低気温分布（北海道の例）



地 域	温度変化(°C)
-25°C以下とならない	-20~+40
-25°C~-35°C	-30~+40
-35°C~-45°C	-40~+40

低温環境におけるゴム材料

- ▶ -30℃以下の極低温環境ではガラス転移と呼ばれる相転移を起こし脆化する可能性がある。
 - ⇒変形が制限されて、破断しやすくなる？
- ▶ 低温環境でのオゾン劣化は、材料が硬化・結晶化しやすい状態でひずみがかかるため、常温よりクラックが早期に発生する可能性がある。
 - ⇒オゾン劣化を起こしやすくなる？
- ▶ 低温環境ではゴム弾性が低下し、硬くなる。
 - ⇒剛性が高くなる？



オゾンクラックの事例

21

低温による積層ゴム支承の耐荷性能への影響

- ▶ 低温によって剛性が硬くなり、橋梁の挙動の変化が起こる
- ▶ 地震による変形量が同じだとすると、発生する水平力が大きくなる
- ▶ 低温によってエネルギー吸収量が増加する傾向になり、地震による変位量は小さくなる？

⇒温度依存性試験（道路橋支承便覧平成30年12月版より）により
温度変化による特性（剛性、減衰など）の確認が可能。

低温による積層ゴム支承の耐久性能への影響

- ▶ 低温環境における繰返し作用による影響
 - ▶ 繰返し荷重の作用によって疲労が増加する可能性がある？
- ▶ 環境作用による劣化に対する影響
 - ▶ ゴム被覆がオゾン劣化による亀裂が入り、積層部の鋼板まで亀裂が伸展し鋼板が錆びることで耐荷性能の低下につながる可能性がある？



低温特性評価と試験結果

- 低温環境におけるゴム材料の試験
- 低温環境における積層ゴム支承の試験
- 低温環境における実物大積層ゴム支承の試験

低温環境におけるゴム材料の試験方法 耐寒性

▶ 耐寒性試験

- ▶ -30℃以下の極低温下で、脆化しないことを確認する。
- ▶ JIS K 6261 : 2017 加硫ゴム及び熱可塑性ゴム－低温特性の求め方
- ▶ ゴム材料を低温状態にして衝撃を与え、破壊の有無から脆化温度を求める。
- ▶ 低温脆化温度が-30℃以下であること（寒冷地では-40℃以下）

試験結果例

ゴム材料	低温衝撃ぜい化温度
NR・G12	-52℃
CR・G10	-46℃
被覆ゴム	-56℃

被覆ゴムは耐候性に優れた素材とした場合

低温環境におけるゴム材料の試験方法

耐オゾン性

▶ 耐オゾン性試験

- ▶ 低温下で、オゾン劣化が無いことを確認する。
- ▶ JIS K 6259 : 2015 加硫ゴム及び熱可塑性ゴム－耐オゾン性の求め方
- ▶ 低温での試験条件（-30℃×96hr, 50pphm, 50%伸長）

試験結果例

ゴム材料	耐オゾン性
NR・G12	き裂なし
CR・G10	き裂なし
被覆ゴム	き裂なし

被覆ゴムは耐候性に優れた素材とした場合

低温環境における積層ゴム支承の試験 温度依存性

- ▶ 積層ゴム支承の抵抗特性に影響を及ぼす依存性を評価するための試験
- ▶ 温度依存性試験
 - ▶ 積層ゴム支承の水平力支持機能や減衰機能の温度環境の変化に対する依存性を検証するために複数の温度において、水平変位の特性値又は制限値に対する有効設計変位による地震時水平力分散型ゴム支承のせん断剛性又は免震支承の等価剛性及び等価減衰定数の温度依存性を確認することを目的としている。

表-5.2.2 特性検証試験に用いる積層ゴム支承の形状、寸法例

積層ゴム支承 の種類	地震時水平力分散型ゴム支承 高減衰積層ゴム支承		鉛プラグ入り積層ゴム支承	
供試体の種類	No.1	No.2	No.1	No.2
上下鋼板平面寸法(mm)	240 × 240	400 × 400	240 × 240	400 × 400
内部鋼板平面寸法(mm)				
ゴム1層厚(mm/層)	5	9	5	9
ゴム層数(層)	6	6	6	6
内部鋼板厚(mm/枚)	2.3又は3.2	3.2又は4.5	2.3又は3.2	3.2又は4.5
内部鋼板数(枚)	5	5	5	5
被覆ゴム厚(mm)	5	10	5	10
鉛プラグ径(mm)	—	—	φ34.5	φ57.5
鉛プラグ本数(本)	—	—	4	4
1次形状係数	12.00	11.11	11.22	10.39
2次形状係数	8.00	7.41	8.00	7.41

道路橋支承便覧（平成30年12月版）

27

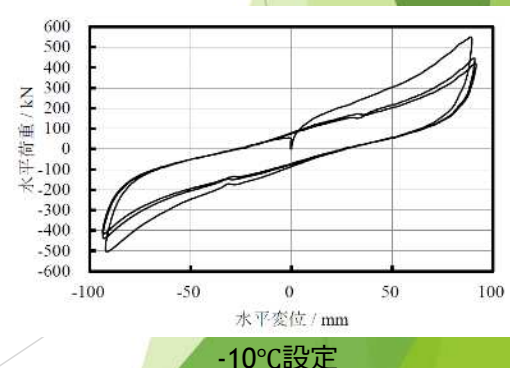
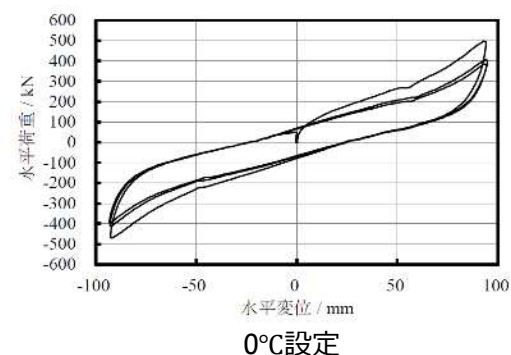
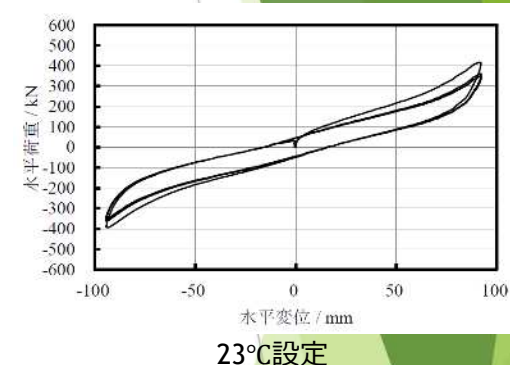
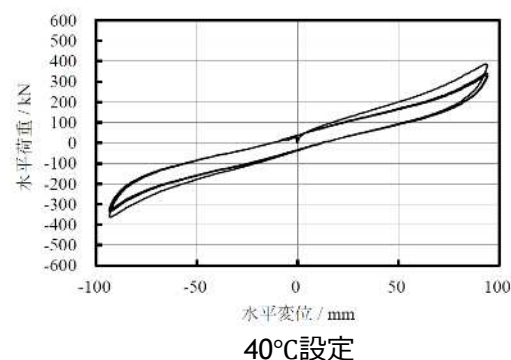
低温環境における積層ゴム支承の試験 温度依存性（例えばNR・G12）

項目	条件
支承タイプ	RB(分散沓)
平面寸法	□400
ゴム材料	NR・G12
ゴム積層	9mm×6層
形状係数	S1=11.1, S2=7.4
水平変位	±175%
載荷面圧	6Mpa
加振周期	2sec/正弦波
載荷回数	3回
設定温度	40℃, 23℃, 0℃, -10℃

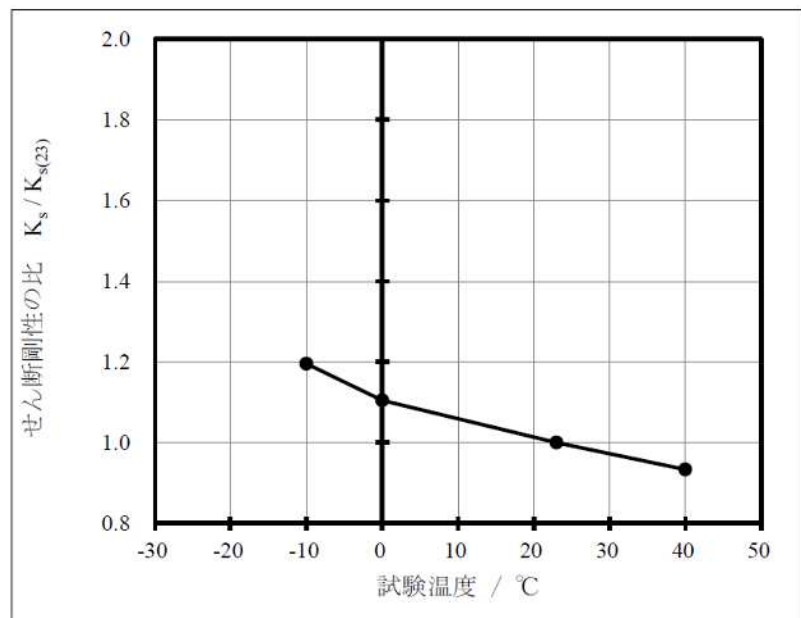
道路橋支承便覧（平成30年12月版）参照

試験機能力（水平力）：400kN用高速ジャッキ

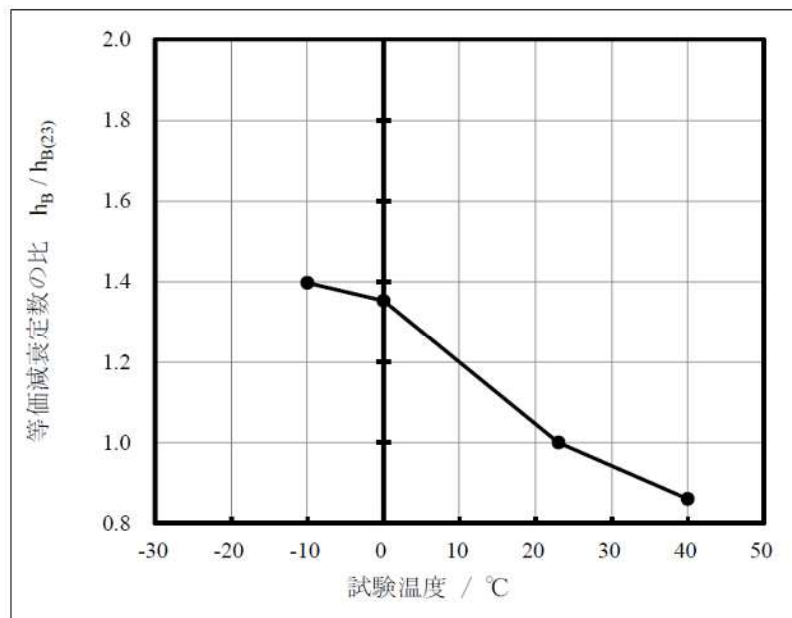
-20℃設定は、試験機能力により試験不可



低温環境における積層ゴム支承の試験 温度依存性（例えばNR・G12）



試験温度－せん断剛性変化



試験温度－等価減衰定数変化

- ▶ 低温下では、硬くなり剛性が高くなる。
- ▶ 履歴面積が大きくなりエネルギー吸収量が大きくなる。

低温環境における積層ゴム支承の試験 繰返し荷重の作用

- ▶ 繰返し圧縮力に対する積層ゴムの疲労特性の確認の例
 - ▶ 道路橋支承便覧 平成30年12月版 参考資料-11より抜粋
- ▶ ゴム材料は一般に低温では硬くなることが知られており、寒冷地において、 -10°C を下回る環境下で積層ゴム支承が繰返し载荷でどのように性能が変化するかを把握するために試験を行っている。
- ▶ 低温環境下での一定せん断下の繰返し圧縮試験400万回においても、常温状態での一定せん断下の圧縮繰返し200万回試験の結果と変わらない等価剛性と等価減衰定数の変化であった。また、地震時水平力分散ゴム支承について、400万回後に $\pm 250\%$ 、 $\pm 300\%$ の履歴を確認し、異常は見られなかった。その後に確認した $\pm 175\%$ の等価剛性の変化は400万回後と変わらないことを確認した。本試験の結果、外観等の損傷、破断や鋼板とゴムの剥離は見られないため、鉛直力、水平の繰返しに対してゴム支承の性能や鋼板とゴムの接着力に対する耐久性を確認できた。

低温環境における 実物大積層ゴム支承の試験

研究の背景と目的

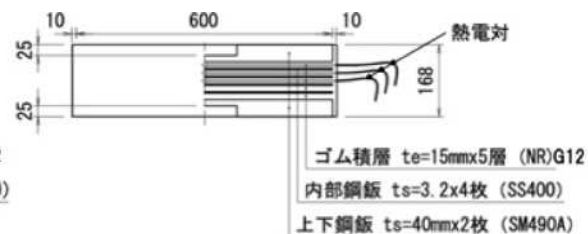
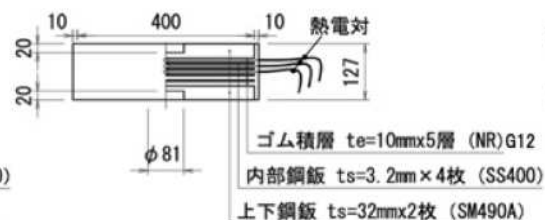
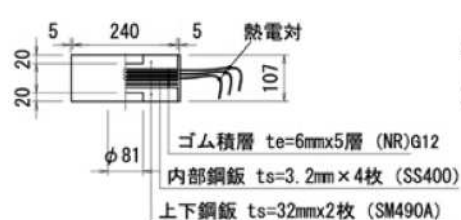
- ▶ ゴム支承の温度依存性評価を行う際、特に低温時の水平荷重が高くなる.
- ▶ 機器の仕様による制約に影響され小型支承による議論に限定されてきた.
⇒□160、□240など
- ▶ 実規模支承を用いた高速でのせん断試験が国内で可能となった.
- ▶ そこで、支承寸法が温度依存性に与える影響を検討を行なっている.
- ▶ 本報告では、寸法の違いが積層ゴム支承の性能評価に与える影響を評価するための知見を得ることを目的とする.

試験概要（試験機性能と試験体）

試験機のパフォーマンス

加力方向	荷重速度(mm/s)	荷重(kN)	変位(mm)
水平	<15	±3,000	±390
	<800	±2,000	±350
鉛直	<3	+5,500	+600

試験体概要



項目	単位	□240	□400	□600
ゴム体積	mm ³	1.728×10 ⁶	8.0×10 ⁶	2.7×10 ⁷
ゴム体積比	—	1.0	4.63	15.63
鋼材体積	mm ³	4.424×10 ⁶	1.229×10 ⁷	2.765×10 ⁷
鋼材体積比	—	1.0	2.78	6.25
ゴム：鋼材	—	1：2.56	1：1.54	1：10.2

試験概要（試験体と試験概要）

試験体の設計値と実測値

試験体	ゴム引張強さ N/mm ²	圧縮永久ひずみ %	低温衝撃 ぜい化温度 ℃	接着はく離強さ N/mm	せん断ばね定数 (試験値は70%水平変位による)	
					設計値kN/mm	試験値kN/mm
□240	24.9 (15以上)	29 (35以下)	-52 (-30以下)	31 (7以上)	2.304	2.352
□400					3.840	4.166
□600					5.760	5.907

()内は、道路橋支承便覧による規格値を示す

試験条件

圧縮応力度	6.0Mpa
せん断ひずみ	±175%
試験前温度(加振直前)	□240;-30℃, -20℃, -15℃, -11℃, -8℃, -6℃, -4℃, -2℃, 5℃, 10℃, 12℃, 15℃, 23℃
測定点;ゴム3層目	□400;-32℃, -18℃, -12℃, -6℃, 0℃, 4℃, 10℃, 13℃, 23
(0℃以上の記号は省略)	□600;-26℃, -15℃, -6℃, -1℃, 8℃, 13℃, 25℃
加振周期、加振波、回数	2.0秒, 正弦波, 4回(機械保護のための加振後に1加振が含まれる)

34

試験体冷却状況



保温庫全景

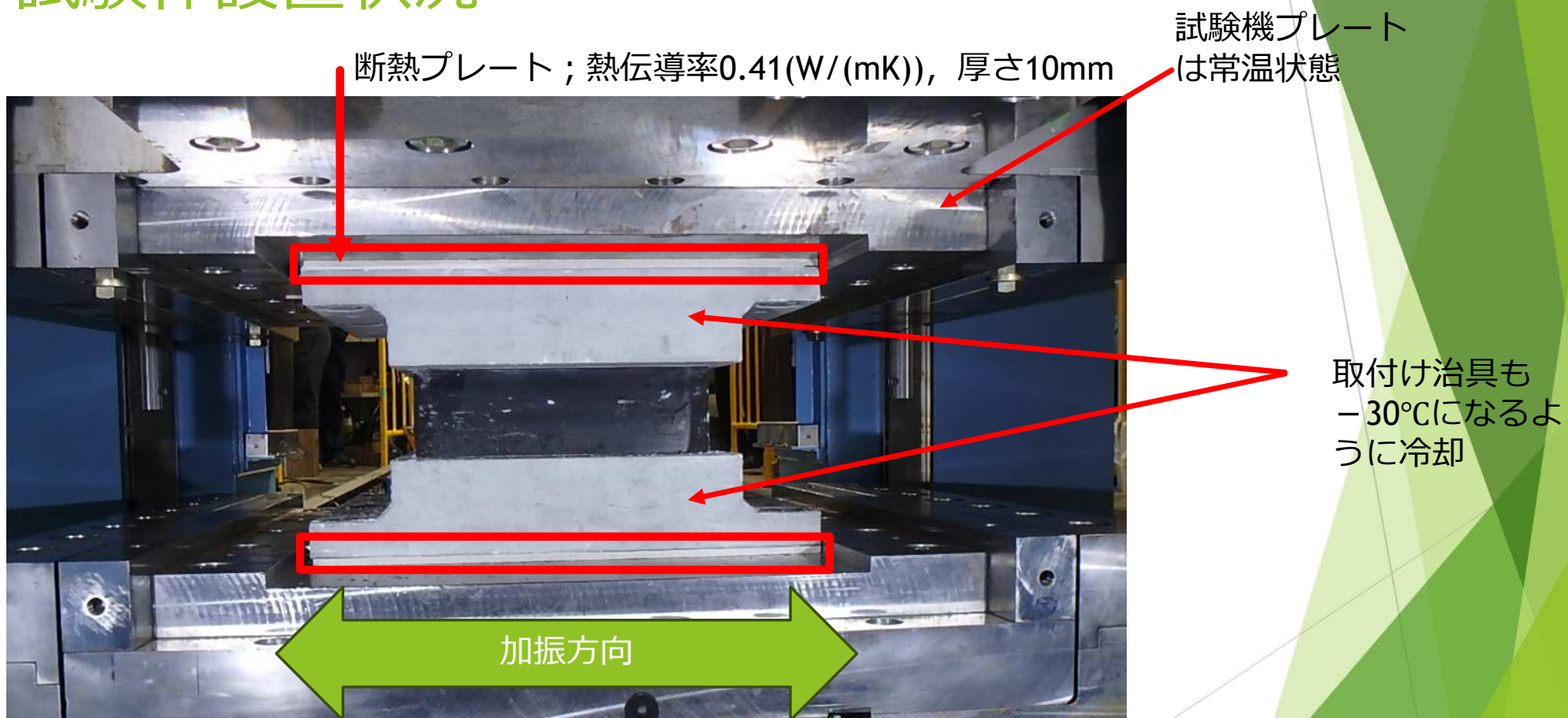


保温庫内部

□600を冷却している状況

保温庫内温度を-30℃以下になるように維持

試験体設置状況



□400の天然ゴム支承を試験機に配置した様子

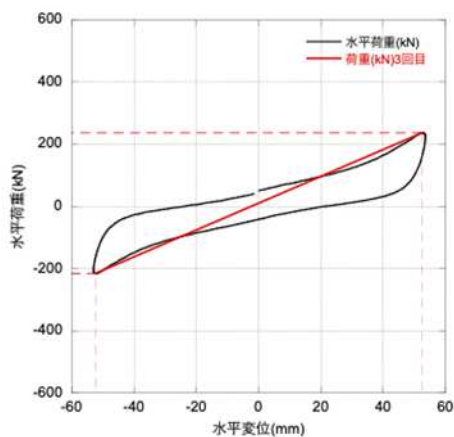
低温での試験状況



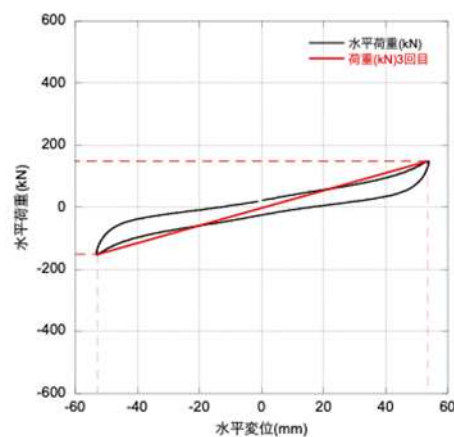
□600の試験状況：±175% 2sec加振
(試験体温度-30℃、外気温10℃程度の場合)

37

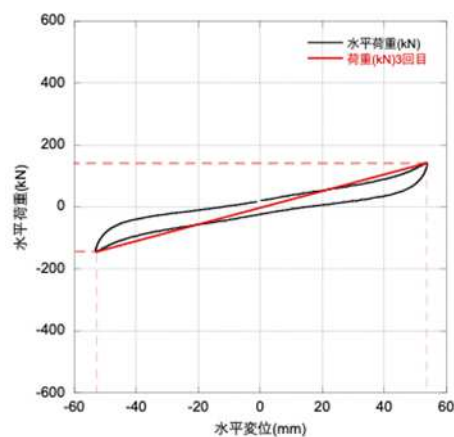
試験結果 (□240)



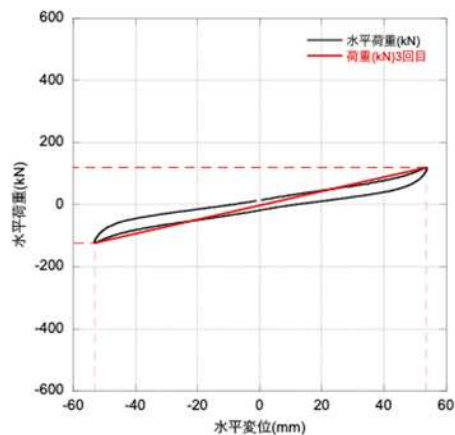
(a) 載荷前 (3 層) -29.8°C



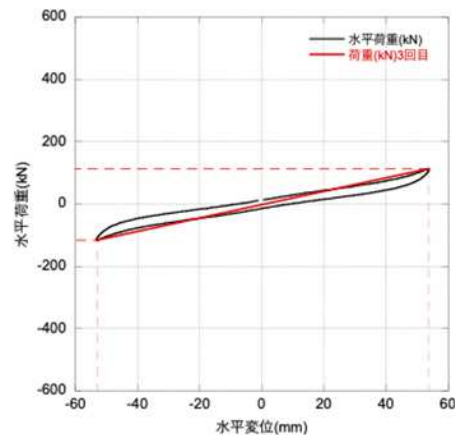
(b) 載荷前 (3 層) -5.6°C



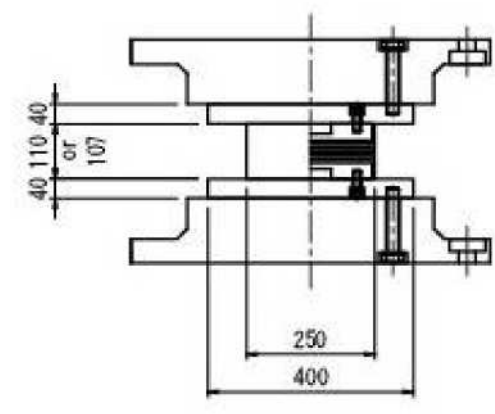
(c) 載荷前 (3 層) -1.9°C



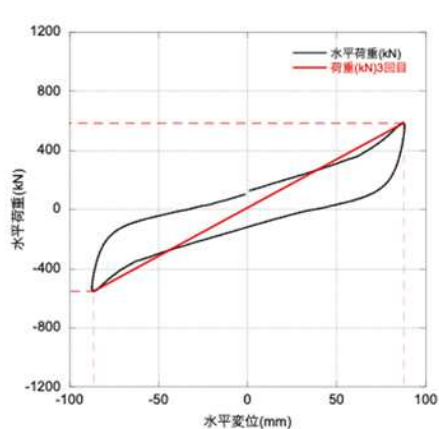
(d) 載荷前 (3 層) +9.3°C



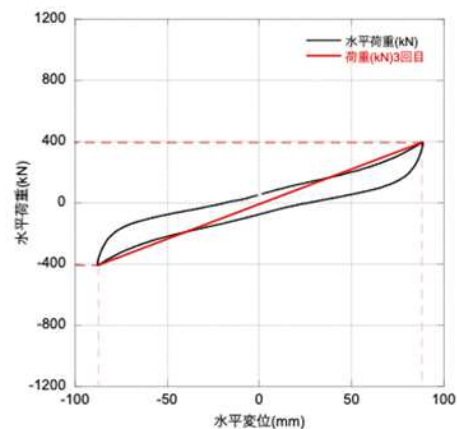
(e) 載荷前 (3 層) +23.3°C



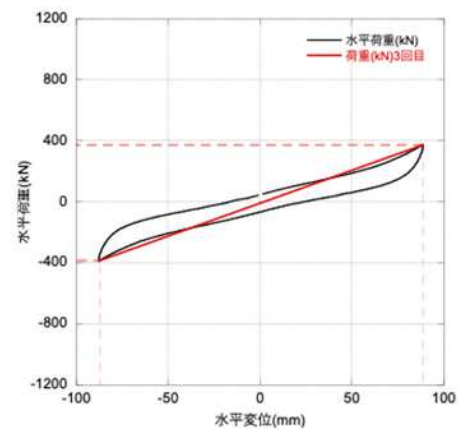
試験結果 (□400)



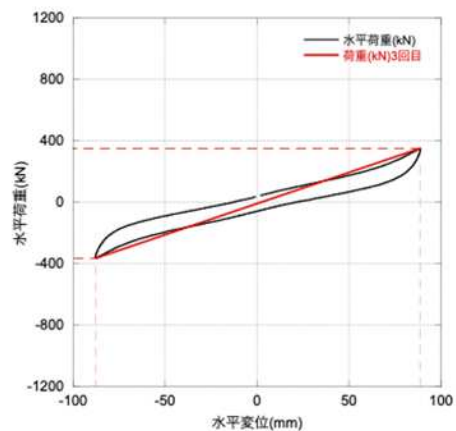
(a) 載荷前 (3 層) -31.6°C



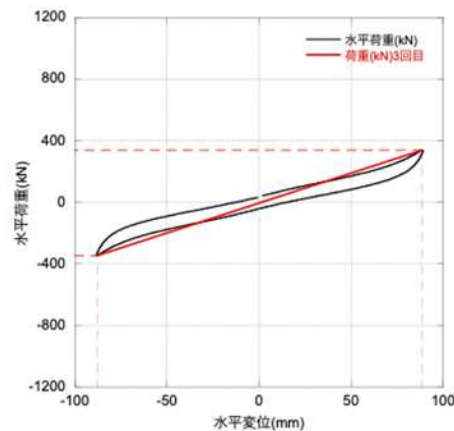
(b) 載荷前 (3 層) -5.9°C



(c) 載荷前 (3 層) +0.4°C



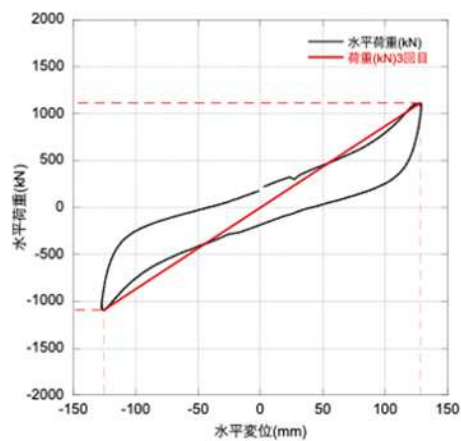
(d) 載荷前 (3 層) +9.9°C



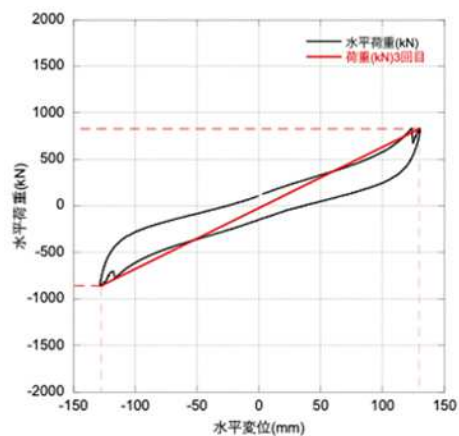
(e) 載荷前 (3 層) +22.9°C



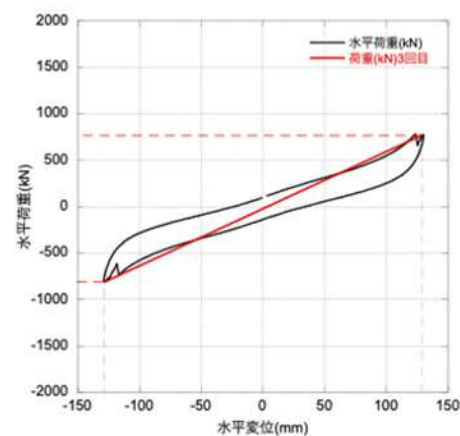
試験結果 (□600)



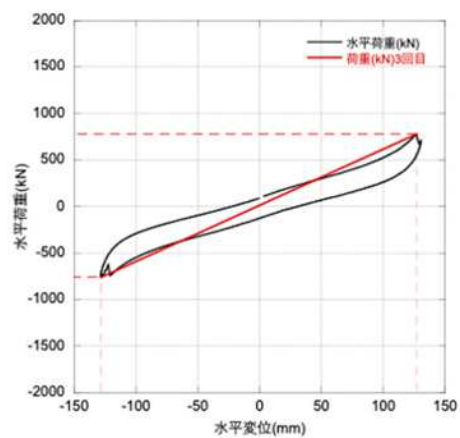
(a) 載荷前 (3 層) -25.6°C



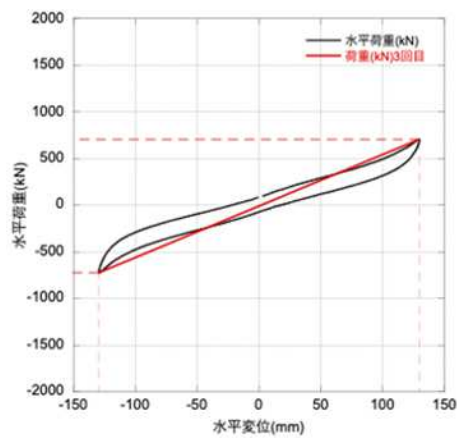
(b) 載荷前 (3 層) -6.4°C



(c) 載荷前 (3 層) -1.3°C

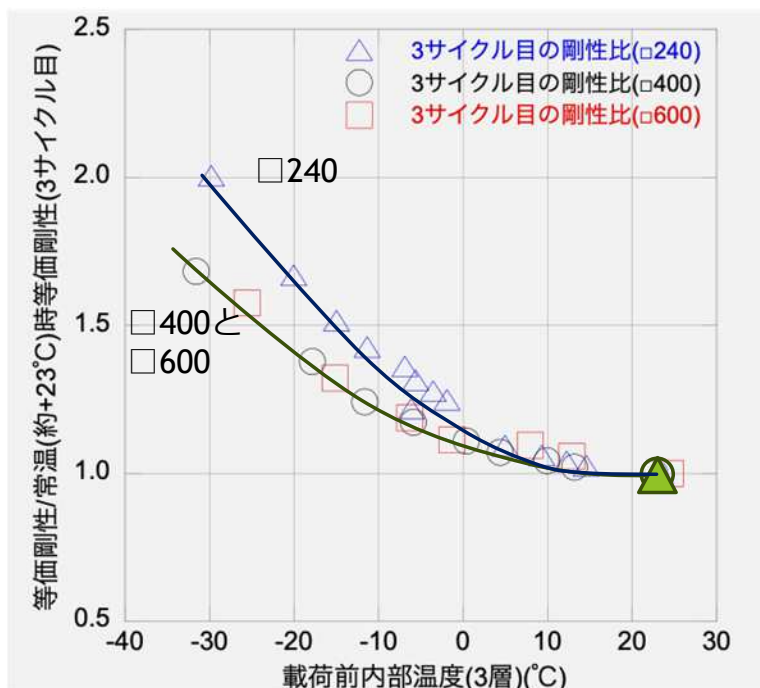


(d) 載荷前 (3 層) +8.0°C



(e) 載荷前 (3 層) +24.5°C

試験開始時の内部温度と剛性の関係



ゴム3層目の温度と等価剛性比

- ▶ □240だけ傾向が異なる。
- ▶ □400と□600の傾向が同じである。

傾向が異なる要因として

- ▶ 冷却しているゴムと鋼材の比率が異なる。
- ▶ 一緒に冷却している取付け治具の影響も考えられる。

まとめ

- ▶ 現在、低温環境におけるゴム材料・積層ゴム支承への要求性能を、材料開発によって、満足できるようになっている。
- ▶ 低温脆化温度が-30℃以下であること（寒冷地では-40℃以下）を確認している。
- ▶ 低温オゾン試験（-30℃×96hr, 50pphm, 50%伸長）でき裂がないことを確認している。
- ▶ 温度依存性により積層ゴムの低温での特性を確認している。
- ▶ 低温環境での繰返し载荷試験で疲労特性を確認している。
- ▶ 低温環境での実物大積層ゴムの低温での特性を確認中である。
 - ▶ 実物大試験体と縮小試験体とのばらつきが大きいので、試験方法・保冷手法等の精査を行っていく予定である。



一般社団法人

ゴム支承協会

Rubber Bearing Association

協会員

 **オイルス工業株式会社**

 **SANKA**
山陽化学株式会社

 **住友理工株式会社**

 **東京ファブリック工業**
TOKYO FABRIC INDUSTRY

 **NITTA ニッタ株式会社**

 株式会社 **ビー・ビー・エム**

 **BRIDGESTONE** 株式会社ブリヂストン



HP : <https://www.j-rba.com/>



一般社団法人

ゴム支承協会

Rubber Bearing Association

沿革

年月	履歴
平成2年5月（1990年）	ゴム支承製造メーカー9社により 『ゴム支承設計連絡会』発足
平成3年10月（1991年）	『ゴム支承設計連絡会』を発展的に解消し 『ゴム支承協会』設立
令和4年4月（2022年）	『ゴム支承協会』を発展的に解消し 『一般社団法人 ゴム支承協会』を ゴム支承製造メーカー7社により設立



HP : <https://www.j-rba.com/>