

目次

第1章 免震構造

【執筆者：河村壮一/坊野弘治/山本 裕/高岡栄治】

1.1 免震・制震・耐震構造	1
1.1.1 構造の成り立ち	
1.1.2 地震応答性状	
1.1.3 期待される効果・性能	
1.1.4 コスト	
1.2 免震装置の種類と分類	3
1.2.1 免震構造における装置の役割	
1.2.2 設計における各装置の活用	
1.3 免震建物の効果	6
1.3.1 東日本大震災	
石巻赤十字病院 / 東北医科薬科大学 / 河北新報印刷センター /	
日本物流仙台港物流センター / 建物地震応答加速度比較	
1.3.2 熊本地震	
阿蘇医療センター	

第2章 免震構造の歴史と現状

【執筆者：高岡栄治/日比野浩/可児長英/関 松太郎】

2.1 地震の歴史と被害	12
2.1.1 地震とは	
2.1.2 日本および世界の地震と被害	
2.2 免震建物の歴史と日本の現状	15
2.2.1 免震発想の原点	
2.2.2 代表的な免震建物の歴史	
2.2.3 日本における特徴的な免震建物	
2.3 日本の免震建物の推移と現状	20
2.3.1 免震建物の実績推移	
2.3.2 免震建物および免震装置のトレンド	
2.4 世界の免震建物の状況	23
2.4.1 世界の免震建物分布	
2.4.2 世界の特徴的な免震建物	

第3章 ゴム材料

【執筆者：伊藤眞義/中嶋 健/末安知昌/福田滋夫/和氣知貴/芳澤利和】

3.1 ゴムの歴史	32
3.1.1 天然ゴムの歴史	
3.1.2 合成ゴムの歴史	
3.1.3 日本におけるゴムの歴史	
3.2 ゴムとは	37
3.2.1 ゴム材料の特徴	
3.2.2 ゴム弾性	

3.2.3	金属とゴム材料の違い	
3.2.4	プラスチックとゴムの違い	
3.3	原料ゴムの種類と用途	42
3.3.1	原料ゴムの分類	
3.3.2	原料ゴムの特徴と主な用途	
3.4	ゴム材料の製作	44
3.4.1	配合薬品の種類とその目的	
3.4.2	架橋の目的と効果	
3.5	ゴム材料の力学的特性	46
3.5.1	応力-ひずみ特性	
3.5.2	微小変形と大変形	
3.5.3	線形粘弾性	
3.5.4	動的粘弾性	
3.5.5	温度-時間換算則	
3.5.6	特異な挙動	
3.5.7	力学疲労・破壊	
3.6	ゴム材料の劣化	54
3.6.1	酸化劣化	
3.6.2	オゾン劣化	
3.6.3	熱劣化	
3.7	ゴム材料におけるその他の劣化特性	57
3.7.1	耐オゾン性	
3.7.2	耐薬品性・耐油性	
3.7.3	難燃性・耐炎性	
3.7.4	気体(ガス)透過性	
3.7.5	耐放射線性	
3.8	ゴムと金属の接着	64
3.8.1	接着方法の種類	
3.8.2	接着の生成過程と要因	
3.8.3	接着の破壊と接着力の評価	
3.8.4	固着現象	
第4章 積層ゴム支承		
【執筆者：芳澤利和/福田滋夫/竹内貞光/和氣知貴】		
4.1	積層ゴム支承の歴史	68
4.1.1	防振ゴムの歴史	
4.1.2	橋梁および建物への適用	
4.1.3	免震建物への適用	
4.1.4	日本における積層ゴム支承の歴史	
4.1.5	積層ゴム支承の材料認定制度および標準化	
4.2	積層ゴム支承の構造と原理	74
4.3	積層ゴム支承の種類と特徴	75
4.3.1	素材と構造による分類と特徴	
4.3.2	ゴム形状・フランジ構造・被覆ゴム構造による分類	

第5章 積層ゴム支承の設計

【執筆者：鈴木重信/芳澤利和/福田滋夫/竹内貞光/和氣知貴/高山峯夫
/高岡栄治/中塚光一】

5.1 基本設計式と設計用定数	82
5.1.1 基本設計式	
5.1.2 設計フロー	
5.1.3 材料定数	
5.2 各種積層ゴム支承の設計	89
5.2.1 天然ゴム系積層ゴム支承	
5.2.2 高減衰ゴム系積層ゴム支承	
5.2.3 鉛プラグ入り積層ゴム支承	
5.2.4 錫プラグ入り積層ゴム支承	
5.3 中間鋼板・フランジ・取付けボルトの設計	107
5.3.1 中間鋼板の設計	
5.3.2 フランジの設計	
5.3.3 アンカー・取付けボルトの設計	
5.4 その他の力学特性と構造による影響	113
5.4.1 積層ゴム支承の耐荷機構	
5.4.2 Haringx 理論による積層ゴム支承の水平特性評価	
5.4.3 積層ゴムの形状と水平変形特性	
5.4.4 設計面圧と安定限界変形	
5.4.5 中間鋼板厚さと中心孔が水平特性に及ぼす影響	
5.4.6 引張特性におけるボイドの影響	

第6章 積層ゴム支承の力学的特性

【執筆者：鈴木重信/竹内貞光/和氣知貴/福田滋夫/中塚光一/
高山峯夫/高岡栄治】

6.1 積層ゴム支承の特性試験	126
6.1.1 圧縮・せん断試験装置の構造	
6.1.2 代表的な圧縮せん断試験装置	
6.1.3 試験における留意事項	
試験機差 / 縮小試験体を用いる場合のスケール効果 /	
温度・速度・摩擦補正係数について	
6.2 天然ゴム系積層ゴム支承	133
6.2.1 圧縮特性	
面圧依存性 / せん断ひずみ依存性	
6.2.2 引張特性	
6.2.3 せん断特性	
せん断ひずみ依存性 / 面圧依存性 / 振動数依存性(速度依存性) /	
繰返し依存性 / 温度依存性 / 傾斜特性	
6.2.4 限界特性	
引張限界特性 / せん断変形限界特性	
6.3 高減衰ゴム系積層ゴム支承	144
6.3.1 圧縮特性	
面圧依存性 / せん断ひずみ依存性	

6.3.2	引張特性	
6.3.3	せん断特性	
	せん断ひずみ依存性 / 面圧依存性 / 振動数依存性(速度依存性) / 繰返し依存性 / 風荷重による繰返し依存性 / 温度依存性 / 二方向加力特性 / 傾斜特性	
6.3.4	限界特性	
	引張限界特性 / せん断変形限界特性	
6.3.5	高減衰ゴム系積層ゴム支承のモデル化	
6.4	鉛プラグ入り積層ゴム支承	161
6.4.1	圧縮特性	
	面圧依存性 / せん断ひずみ依存性	
6.4.2	引張特性	
6.4.3	せん断特性	
	せん断ひずみ依存性 / 面圧依存性 / 振動数依存性(速度依存性) / 繰返し依存性 / 風荷重による繰返し依存性 / 温度依存性 / 二方向加力特性 / 累積変形における剛性・減衰の変化 / 傾斜特性	
6.4.4	限界特性	
	引張限界特性 / せん断変形限界特性	
6.4.5	鉛プラグ入り積層ゴム支承のモデル化	
6.5	その他積層ゴム支承	178
6.5.1	錫プラグ入り積層ゴム支承の特性	
	圧縮特性 / せん断特性 / その他特性	
6.5.2	ダンパー一体型積層ゴムの特性	
	圧縮特性 / せん断特性 / 水平二方向特性	
第7章 積層ゴム支承の経年変化		
【執筆者：末安知昌/芳澤利和/福田滋夫/竹内貞光/和氣知貴/濱口弘樹/日比野浩】		
7.1	積層ゴム支承の劣化機構	187
7.1.1	厚肉ゴムの劣化要因と劣化現象	
7.1.2	積層ゴムの劣化機構	
7.2	熱老化促進試験の方法	189
7.2.1	化学反応速度論とアレニウス式	
7.2.2	活性化エネルギーの求め方	
7.2.3	促進温度の考え方	
7.2.4	留意事項	
7.3	各種積層ゴム支承の耐久性	193
7.3.1	天然ゴム系積層ゴム支承	
7.3.2	高減衰ゴム系積層ゴム支承	
7.3.3	鉛プラグ入り積層ゴム支承	
7.4	積層ゴム支承における耐久性能の実証	196
7.4.1	100年以上も耐えてきたゴムの実証	
7.4.2	約40年使用された橋梁用積層ゴム支承の特性変化	
7.4.3	10年使用された橋梁用高減衰ゴム系積層ゴム支承の特性変化	
7.4.4	竹中工務店「船橋竹友寮」	

- 7.4.5 大成建設「八事独身寮」
- 7.4.6 オイレス工業 TC 棟（別置き試験体の経年変化）

第 8 章 積層ゴム支承のクリープ

【執筆者：芳澤利和/高山峯夫/福田滋夫/竹内貞光/和氣知貴/濱口弘樹/
中塚光一/山上 聡】

8.1 積層ゴム支承のクリープ	206
8.1.1 高分子の引張クリープ	
8.1.2 積層ゴム支承の圧縮クリープ	
8.1.3 クリープ評価の留意点	
8.1.4 クリープ試験法	
8.2 各種積層ゴムのクリープ予測試験結果	208
8.2.1 天然ゴム系積層ゴム支承	
8.2.2 高減衰ゴム系積層ゴム支承	
8.2.3 鉛プラグ入り積層ゴム支承	
8.2.4 クリープ試験からの予測方法	
8.3 実用積層ゴム支承の長期クリープ試験結果	212
8.3.1 オイレス工業 TC 棟	
8.3.2 竹中工務店船橋竹友寮	
8.3.3 大林組 R&D 棟	
8.3.4 奥村組技術研究所	

第 9 章 積層ゴム支承の製造と品質管理

【執筆者：芳澤利和】

9.1 製造工程	218
9.2 品質管理	222
9.2.1 積層ゴム支承の品質管理の考え方	
9.2.2 各工程での品質管理，製品検査	
9.2.3 製品検査	

第 10 章 積層ゴム支承の耐火性能

【執筆者：芳澤利和】

10.1 耐火性能が要求される免震建物	227
10.1.1 免震建物構造種別	
10.1.2 積層ゴム支承に要求される耐火性能	
10.2 積層ゴム支承の耐火性能に関する研究の歴史	228
10.3 耐火被覆構造の大臣認定	229
10.3.1 性能担保温度	
10.3.2 ゴム材料の温度特性	
10.3.3 高減衰ゴム系積層ゴム支承の載荷加熱試験	
10.4 認定を取得している耐火被覆	233
10.5 中間層免震構造設計の認可手続きの流れ	234
10.6 各種ゴム材料の熱定数	235

10.7 今後の課題	235
第 11 章 積層ゴム支承の施工における留意事項	
【執筆者：原田直哉】	
11.1 積層ゴム支承の据え付けにおける留意事項	237
11.1.1 ベースプレートの製作管理	
11.1.2 積層ゴム支承の受け入れ検査	
11.1.3 積層ゴム下部基礎の配筋	
11.1.4 積層ゴム下部ベースプレートの施工	
11.1.5 積層ゴム支承の取付け	
11.1.6 積層ゴム支承の養生	
11.1.7 免震層の雨水対策	
11.2 積層ゴム支承上部躯体構造における留意事項	241
11.2.1 仮設計画	
11.2.2 免震クリアランスの確保	
11.2.3 設備配管・配線計画	
11.2.4 上部躯体の乾燥収縮歪の影響	
11.2.5 積層ゴム支承の水平拘束材	
11.2.6 免震層の竣工時検査	
11.3 積層ゴム支承の取換えにおける留意事項	244
11.3.1 事前調査・検討	
11.3.2 ジャッキアップ計画	
11.3.3 積層ゴム支承交換工事フロー	
第 12 章 積層ゴム支承の維持管理	
【執筆者：林 章二/濱口弘樹/芳澤利和】	
12.1 維持管理の目的と位置づけ	247
12.2 維持管理の基本事項	247
12.3 建物所有者・建物設計者・点検技術者の責任と役割	248
12.4 積層ゴム支承の維持管理項目	249
12.4.1 検査・点検対象と項目	
12.4.2 点検に関わる不具合事例	
12.4.3 検査・点検実施要領	
12.5 維持管理における留意点	252
12.5.1 積層ゴム支承の浸漬時の対応	
12.5.2 積層ゴム支承の残留変形	
第 13 章 積層ゴム支承の環境負荷と廃棄	
【執筆者：和氣知貴】	
13.1 積層ゴム支承の CO ₂ 排出量	255
13.2 積層ゴム支承の廃棄とリサイクル	256

第 14 章 積層ゴム支承の材料認定	
【執筆者：速水 浩/鈴木重信】	
14.1 建築基準法第 37 条と告示第 1446 号	257
14.1.1 指定建築材料	
14.1.2 技術的基準	
14.1.3 構造方法等の認定制度	
14.1.4 性能評価申請図書	
14.2 性能評価	258
14.2.1 性能評価申請時の留意事項	
14.2.2 品質基準一覧	
14.3 平成 27 年 12 月 関連法の一部改正	262
14.3.1 改正の背景	
14.3.2 改正された内容	
第 15 章 建築免震用積層ゴム支承の標準化	
【執筆者：鈴木重信】	
15.1 積層ゴム支承標準化の経緯	264
15.2 建築免震用積層ゴム支承の JIS 化について	265
15.3 JIS と材料認定における運用基準との比較	265
15.3.1 技術的背景	
15.3.2 制度の運用	
15.4 JIS 化の今後の方向性と課題	267
15.4.1 JIS と建築基準法の関係	
15.4.2 JIS 規格におけるグレード制度への取組み	
第 16 章 原子力施設への免震技術活用の動向	
【執筆者：矢花修一/高岡栄治】	
16.1 原子力施設への取組みについて	269
16.2 実大積層ゴム支承の限界試験の現状	270

Q&A 集

【執筆者：芳澤利和/鈴木重信/和氣知貴/竹内貞光/福田滋夫】

ゴム一般	274
Q1 積層ゴム支承に用いるゴム素材と配合材の関係は？	
Q2 温度依存性の小さいゴムは造れるか？	
Q3 高減衰ゴム材料における減衰機能のメカニズムは？	
Q4 ゴム材料のハードニング現象とは？	
Q5 エントロピー弾性とは？	
積層ゴムの設計	283
Q6 積層ゴム支承の取付けボルトの取り扱いについて	
Q7 ゴムの厚さはどの程度まで薄くできるか？	
力学的特性	285
Q8 ゴム材料と積層ゴム支承のせん断弾性係数との違いは？	
Q9 鉛プラグ入り積層ゴム支承の水平変形経験後における鉛の状態は？	
Q10 減衰性能を有する積層ゴム支承の変形に伴う温度上昇は？	
Q11 大変形を受けた積層ゴム支承の特性は回復するか？	
Q12 積層ゴム支承に作用する面圧と剛性や変形性能および耐久性との相関は？	
Q13 冷凍倉庫などを免震する場合で、積層ゴム支承に留意する点は？	
Q14 積層ゴム支承がせん断変形を受けた場合、ゴム端部に引張が生じるか？	
Q15 積層ゴム支承の引張特性について	
Q16 風荷重によるクリープ変形について	
耐久性	296
Q17 ゴムの耐久年数はどの程度あるか？	
Q18 ゴムの耐久性と形状の関係および劣化の進行メカニズムは？	
Q19 加熱促進試験と実際の環境温度による考え方は？	
Q20 積層ゴムはどの程度の地震を何回経験したら交換するのか？	
耐火性	300
Q21 ゴムは何度くらいで燃えるか？	
防 錆	301
Q22 積層ゴム支承における防錆処理の種類と期待効果は？	
品 質	303
Q23 ゴムと鋼板を接着させる製造工程と品質管理について	
Q24 設計値のばらつきとその主な要因は？	
Q25 製品性能と製造工程の関係およびその品質管理のポイントは？	
Q26 積層ゴム支承の性能検査における補正とは？	
施工性・維持管理	307
Q27 建物維持点検で施工不良となるような実例は？	
Q28 火災や水害を受けた場合、積層ゴムの性能はどうなるか？	
その他	310
Q29 メーカーを決めずに性能規定で設計できるか？	
Q30 製造可能な積層ゴムの最大径は？	
Q31 積層ゴム支承による長周期化はどこまで可能か？	
Q32 発注から納入までの期間と各プロセスで配慮すべき点は？	
Q33 積層ゴム支承の残留変形について	
Q34 長周期・長時間地震動に対して	

用語集	318
【執筆者：可児長英/河村壮一/伊藤真義/芳澤利和】	
付録-1	345
平成12年建設省告示第1446号（別表第二）	