

学校施設における非構造部材の耐震対策の推進に関する調査研究報告書

—校舎等における非構造部材の耐震対策の推進について—

平成26年3月

学校施設における非構造部材の耐震対策の推進に関する調査研究協力者会議

はじめに

- 学校施設は、未来を担う子供たちが集い、いきいきと学び生活する場であり、また、非常災害時には地域住民を受け入れ、避難生活のよりどころとして重要な役割を果たす。だからこそ、学校施設は子供たちを始め、そこに集う人たちの安全と安心を十分に確保したものでなければならない。
- 平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災は、広範囲に甚大な被害をもたらした。地震動による建物の被害は、構造体のみならず、天井材や照明器具、内・外装材など非構造部材にまで及び、人命も失われた。学校施設についても多数が被災し、屋内運動場の天井材が全面的に崩落し生徒が負傷するなど人身被害が生じた例もあり、高所からの落下物を防止することの重要性に改めて気づかされた。
- 本協力者会議では、このような問題意識の下、学校施設における非構造部材の耐震対策を一層加速していくための方策等について検討を重ねてきた。平成 24 年度は致命的な被害が起こりやすい屋内運動場等の天井等落下防止対策を中心に検討を進め、25 年 8 月には「学校施設における天井等落下防止対策のための手引」を策定した。さらに、本年度は校舎等における非構造部材全体を対象を拡大し、その耐震対策について検討を進めてきた。
- 検討に当たっては、東日本大震災における非構造部材の被害状況について全体像を把握するとともに、特に非構造部材の中でも著しい被害があったものに着目し、可能な限り、具体的な被害要因等を分析した。本報告では、これらの分析を踏まえて、既存の学校施設に対し現時点で有効と考えられる対策手法等を提案するとともに、別冊として、現行の「学校施設の非構造部材の耐震化ガイドブック」等の見直しの方向性についても提言している。
- 首都直下地震や南海トラフ地震など、大地震発生の切迫性が指摘されている中、建物の構造体のみならず、非構造部材についても一層の対策の推進が求められる。文部科学省においては、速やかに耐震化ガイドブック等の見直しに着手するとともに、各学校設置者においては、本報告及び耐震化ガイドブック等の活用により、非構造部材の耐震対策が一層推進されることを強く願う。
- なお、本報告は小中学校等を中心に記載しているが、ここで示した基本的考え方や対策手法等は、類似の建物を持つ大学や社会教育施設、社会体育施設等の対策を講じる上でも有効であり、各設置者においては、安全性の強化のために本報告を積極的に活用していただきたい。

目次

I 編 学校施設における非構造部材の耐震対策の背景と必要性

第1章 近年の大規模地震による非構造部材の被害と対応

- 1-1 近年の大規模地震による非構造部材の被害状況 5
- 1-2 文部科学省等におけるこれまでの対応 6

第2章 東日本大震災における非構造部材の被害と対応

- 2-1 東日本大震災における非構造部材の被害の概況 7
 - 2-1-1 校舎の被害の概況 8
 - 2-1-2 屋内運動場の被害の概況 9
 - 2-1-3 武道場の被害の概況 9
- 2-2 文部科学省等におけるこれまでの対応 10

第3章 東日本大震災における屋内運動場の天井被害調査の実施

- 3-1 屋内運動場における天井の震動被害と構造性能・特性の関係に関する検討 11
 - 3-1-1 調査方法の概要 11
 - 3-1-2 天井の震動被害と屋根架構との関係 12
 - 3-1-3 天井の震動被害と屋内運動場の構造形式との関係 12
 - 3-1-4 天井の震動被害と建築年代、耐震診断・補強の状況との関係 13

第4章 屋内運動場等の天井等落下防止対策の推進

- 4-1 天井脱落対策に係る技術基準の制定 15
- 4-2 「学校施設における天井等落下防止対策のための手引」等の作成 15
- 4-3 屋内運動場等における天井等落下防止対策の推進の要請 17

II 編 校舎等における非構造部材の耐震対策について

第1章 東日本大震災における校舎等の非構造部材被害調査の実施

- 1-1 調査方法の概要 19
- 1-2 全数調査・分析の実施 20
- 1-3 個別調査・分析の実施 21

第2章 被害調査結果

- 2-1 全数調査・分析の結果及び所見 22
 - 2-1-1 校舎における天井の震動被害の傾向等に関する検討 22
 - 2-1-2 屋内運動場における非構造部材の震動被害と構造性能・特性の関係に関する検討 27
 - 2-1-3 校舎・屋内運動場の被害に関する補足調査・分析 31

2-2	個別調査・分析の結果（校舎）	35
2-2-1	階高の高い大空間の天井の脱落	35
2-2-2	折れ曲がり天井の脱落	35
2-2-3	システム天井の脱落	36
2-2-4	天井裏の設備等の脱落	36
2-2-5	横連窓の障子ごとの脱落	37
2-2-6	渡り廊下における外壁等の脱落	38
2-2-7	ALC パネルの脱落	39
2-2-8	バルコニー先端の RC 造腰壁の傾斜	39
2-2-9	教室のコンクリートブロック間仕切り壁の倒壊	40
2-2-10	エキスパンション・ジョイントカバーの脱落	41
2-3	個別調査・分析の結果（屋内運動場）	41
2-3-1	大開口部のはめ殺し窓の破損・脱落	41
2-3-2	横連窓の大規模な破損・脱落	42
2-3-3	外壁妻面のラスシートの全面脱落	43
2-3-4	外壁妻面の ALC パネルの脱落	44
2-3-5	外装材（フレキシブルボード等）の脱落	44
2-3-6	内壁妻面の大規模脱落	45
2-3-7	内壁モルタルの脱落	46
2-3-8	軒天井の脱落	47

第3章 非構造部材の耐震対策手法の検討

3-1	非構造部材の耐震対策に係る基本的な考え方	48
3-1-1	学校施設の非構造部材が備えるべき性能目標	48
3-1-2	学校設置者による専門的な点検の実施	48
3-1-3	老朽改修等と併せた効率的・効果的な対策の実施	49
3-1-4	構造体との一体的な検討	49
3-2	対策手法を示すに当たっての留意点	49
3-3	既存の校舎における非構造部材の耐震対策手法	50
3-3-1	天井の脱落防止対策	50
3-3-2	天井裏の設備等の脱落防止対策	52
3-3-3	横連窓の障子ごとの脱落防止対策	52
3-3-4	渡り廊下における外壁等の脱落防止対策	53
3-3-5	ALC パネルの脱落防止対策	54
3-3-6	バルコニー先端の RC 造腰壁の傾斜防止対策	55
3-3-7	コンクリートブロック間仕切り壁の落下防止対策	56
3-3-8	エキスパンション・ジョイントカバーの脱落防止対策	57

3-4	既存の屋内運動場における非構造部材の耐震対策手法	58
3-4-1	大開口部のはめ殺し窓の破損・脱落防止対策	58
3-4-2	横連窓の破損・脱落防止対策	59
3-4-3	外壁妻面のラスシート等の脱落防止対策	61
3-4-4	外壁妻面のALCパネルの脱落防止対策	61
3-4-5	外装材（フレキシブルボード等）の脱落防止対策	62
3-4-6	妻面内壁の脱落防止対策	63
3-4-7	内壁モルタル・ラスシート等の脱落防止対策	64
3-4-8	軒天井の脱落防止対策	65

Ⅲ編 今後の推進方策について

第1章 既存施設に関する推進方策

1-1	国における推進方策	66
1-1-1	優先度の明確化と対策の促進	66
1-1-2	耐震対策推進に係る予算の確保と積極的な活用の促進	67
1-1-3	非構造部材の耐震化ガイドブック等の改訂	67
1-1-4	技術的な情報提供機能の充実	67
1-1-5	天井落下防止対策に係る判定・審査の機会の充実	67
1-1-6	応急危険度判定に係る環境整備の促進	68
1-1-7	地震災害に対する防災教育の推進	68
1-2	学校設置者等における推進方策	68
1-2-1	優先度の検討と対策の実施	68
1-2-2	耐震対策推進に係る予算の確保と積極的な活用	69
1-2-3	技術的な情報提供機能の積極的な活用	69
1-2-4	震災後の余震に備えた緊急点検のための体制整備	69
1-2-5	地震災害に対する防災教育の推進	69

第2章 新築等施設に関する推進方策

2-1	国における推進方策	69
2-2	学校設置者における推進方策	70

第3章 地震以外の災害を含めた非構造部材の安全対策の推進方策

3-1	国における推進方策	70
3-2	学校設置者における推進方策	70

別添	個別調査・分析の調査事例一覧	71
----	----------------	----

参考資料		77
------	--	----

Ⅰ 編 学校施設における非構造部材の耐震対策の背景と必要性

第1章 近年の大規模地震による非構造部材の被害と対応

1-1 近年の大規模地震による非構造部材の被害状況

- ・我が国は世界有数の地震国であり、過去にも大きな地震が頻発しており、倒壊、大破など建物構造上の甚大な被害とともに、天井や照明器具等の非構造部材¹の落下や転倒などによる被害も多発している。
- ・近年では兵庫県南部地震（平成7年）を始め、芸予地震（平成13年3月）、新潟県中越地震（平成16年10月）、福岡県西方沖地震（平成17年3月）、新潟県中越沖地震（平成19年7月）などにおいて、非構造部材の落下などによる人身被害等が発生しており、平成17年に発生した宮城県沖を震源とする地震ではスポーツ施設の天井が全面的に崩落し、35名の負傷者を出す大惨事になった。
- ・これらの震災では学校施設においても甚大な被害が発生しており、非構造部材の落下・転倒等の被害により、通常の学校における教育活動はもとより、地域住民の避難所としての使用に耐えない被害により、児童生徒や地域住民等に大きな不安を与えた。
- ・非構造部材は、構造体が致命的な被害に至らない場合であっても、落下・転倒等により児童生徒等に多大な障害を与えるおそれがあるとともに、災害時の避難経路確保の観点からも、天井材の落下やガラスの飛散等に対する配慮は重要である。

平成7年 1月	兵庫県南部地震	多くの構造体に被害が発生し、非構造部材も様々な被害が発生。非住宅で42,000棟超に天井被害。
		⇒「建築物の耐震改修の促進に関する法律」の制定等
13年3月	芸予地震	システム天井及び在来工法による天井の天井材が脱落。
		⇒国土交通省がクリアランスの確保等について通知（技術的助言）
15年9月	十勝沖地震	空港ターミナルロビー上部の在来工法による天井が大面積にわたって脱落。
		⇒国土交通省がクリアランスの確保等に追加して通知（技術的助言）
16年10月	新潟県中越地震	学校施設において天井や外壁等非構造部材の脱落被害。
17年3月	福岡県西方沖地震	市街地のSRC造オフィスで窓ガラスが大量に破損及び落下。（ほとんどのガラスが硬化性パテ止め）
17年8月	宮城県沖地震	スポーツ施設（温水プール）で天井が大面積で脱落。負傷者35名。
		⇒国土交通省が天井の崩落対策の徹底について通知（技術的助言）
19年7月	新潟県中越沖地震	学校施設を始め、大規模空間における天井が脱落。
20年6月	岩手・宮城内陸地震	建物の構造体の被害報告がほとんどない一方、窓ガラス、外壁、天井等が破損及び脱落。学校の屋内運動場の天井も大面積で脱落。

表1：近年の大規模地震と非構造部材の主な被害（東日本大震災を除く）

¹ 本報告書において、非構造部材とは、構造設計・構造計算の主な対象となる構造体（骨組み）と区分した天井材、照明器具、窓ガラス、外装材、内装材、設備機器、家具等を指す。



天井材の脱落



照明器具の脱落



ステージ前部の壁の脱落



外装材の損傷



窓ガラスの破損



書棚の転倒

写真1：近年の大規模地震による非構造部材の主な被害（東日本大震災を除く）

1-2 文部科学省等におけるこれまでの対応

- ・平成13年に発生した芸予地震において大空間建築物の天井が落下する被害事例が報告され、国土交通省から技術的助言が示されて以降、文部科学省は、平成14年に日本建築学会に調査研究を委託²し、平成17年には国立教育政策研究所文教施設研究センターにおいて耐震対策事例集を作成³するなど、非構造部材の耐震対策の必要性について周知を図ってきた。
- ・平成22年には、非構造部材の耐震点検・対策の考え方や具体的な点検方法等を示した「地震による落下物や転倒物から子どもたちを守るために～学校施設の非構造部材の

² 「学校施設の非構造部材等の耐震点検に関する調査研究」（平成14年3月 社団法人日本建築学会文教施設委員会 文教施設の耐震性能等に関する調査研究小委員会）

³ 「学校施設における非構造部材等の耐震対策事例集」（平成17年12月 国立教育政策研究所文教施設研究センター「学校施設の耐震化の促進に関する調査研究」研究会報告書）

耐震化ガイドブック～」（以下「耐震化ガイドブック」という。）を作成し、平成 24 年には、耐震化ガイドブックで示した各点検項目に関する既存事例等を収集した「学校施設の非構造部材の耐震対策事例集」（以下「耐震対策事例集」という。）を作成し、学校設置者に対し非構造部材の耐震対策の推進を働きかけてきた。

第 2 章 東日本大震災における非構造部材の被害と対応

2-1 東日本大震災における非構造部材の被害の概況

- ・平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災では、多くの建築物において非構造部材の落下等による被害が発生し、中でも、大規模空間を有する建築物の天井については、比較的新しい建築物も含めて脱落する被害が多く見られ、被害件数は 2,000 件以上⁴にのぼると報告されている。
- ・また、国土交通省の調査⁵によると、同震災における非構造部材の落下等により死亡・重傷といった重大な人身被害が発生したのものとして、天井の落下については天井板、鉄骨等の落下により 5 件 6 名、外壁・内壁の落下については石膏ボード、ALC パネル、モルタル材、土蔵の土壁の落下等により 6 件 6 名、屋根ふき材の落下については瓦の落下により 2 件 2 名の計 15 件 17 名の人身被害が確認された。また、配管・空調機器等の建築設備の落下等については配管の落下やボイラーの転倒により 2 件 3 名に被害があった。このような人身被害に至らなかったものでも、施設の被害は甚大であり、非構造部材の落下等による危険性を改めて認識するに至った。
- ・一方、同震災では、多くの学校施設においても非構造部材の被害が発生した。学校の校舎も多数が被災したが、特に、天井高の高い屋内運動場等の天井材が全面的に落下した事象や部分的に落下した事象など落下被害が多く見られた。これらの中には新耐震基準⁶の施設あるいは構造体の損傷が軽微な場合でも大きな被害が生じたものがあり、天井材等の落下により生徒が負傷する人身被害や、学校施設が避難所として使用できない事態も発生した。
- ・本協力者会議では、同会議の下に天井落下防止対策等検討ワーキンググループ（以下「WG」という。WG 主査：清家剛東京大学大学院准教授）を設置し、文部科学省の平成 23 年度公立学校施設の災害復旧事業計画書等（以下「災害復旧資料」という。）を基に、東日本大震災における非構造部材の被害調査分析を実施した。
- ・以下は調査の概況であり、屋内運動場の天井に関する調査結果の詳細は本編第 3 章に、校舎等における非構造部材に関する調査結果の詳細はⅡ編に記載する。なお、武道場については、屋内運動場における非構造部材に関する調査により傾向を把握できると判断し、概況を把握することとどめ、詳細な調査を省略した。

⁴ （一社）日本建設業連合会からの報告による。

⁵ 非構造部材等の落下等による重大被害の再発防止を図ることを目的に、東日本大震災及びその余震における死亡・重症被害について調査。救急による死亡・重症被害の事案について、特定行政庁の建築物情報や消防署の救助情報など関係部局の情報から被害情報を把握した（平成 25 年 8 月 1 日付け国土交通省報道発表資料）。

⁶ 昭和 56 年 6 月に施行された建築基準法に基づく現行の耐震基準。震度 5 強程度の中規模の地震動に対して大きな損傷がないものとして設計。また、阪神・淡路大震災クラスの震度 6 強から 7 に達する程度の大規模の地震動に対して倒壊などの大きな損傷を防ぎ人命を保護するものとして設計。

(調査対象)

- ・災害復旧資料のうち、公立の小学校、中学校、中等教育学校、高等学校及び特別支援学校の資料を対象。
- ・校舎の被害については学校単位、屋内運動場及び武道場の被害については棟単位で集計。
- ・対象都県は青森、岩手、宮城、山形、福島、茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、新潟、山梨、長野、静岡。(本編第3章及びⅡ編は地域を限定し詳細に調査)
- ・校舎の被害については、天井、窓ガラス、外壁、内壁、エキスパンション・ジョイント(以下この章において「EXP.J」という。)を対象。
- ・屋内運動場の被害については、天井、舞台前部の内壁、窓ガラス、外壁、内壁、照明器具、運動器具(バスケットゴール等)、軒天井を対象。武道場(格技場、卓球場など屋内運動場以外の運動施設を含む)についても、天井、窓ガラス、外壁、内壁、照明器具、軒天井を対象。
- ・災害復旧資料が提出された学校で津波被害を受けていない学校は1,895校ある。調査対象とした校舎は、そのうち何らかの非構造部材の被害が確認された1,560校である。また、屋内運動場は、その1,560校の中で存在が確認された1,553棟を対象とした。なお、武道場は非構造部材に被害が認められた100棟を対象とした。

2-1-1 校舎の被害の概況

- ・校舎における非構造部材の被害の概況について図1に示す。天井の脱落被害は150件確認され、また一部破損は188校であり、338校で何らかの被害があり、普通教室や特別教室、職員室、廊下などで発生している。ガラスの割れは236校で見られた。外壁の被害630校のうち、一部脱落被害が21校、それ以外はクラックが生じた被害である。内壁被害は821校であり、その大部分がクラックの発生であるが、破損・脱落32校のうち12校はコンクリートブロック壁の脱落によるものであった。EXP.Jの被害は806校あった。

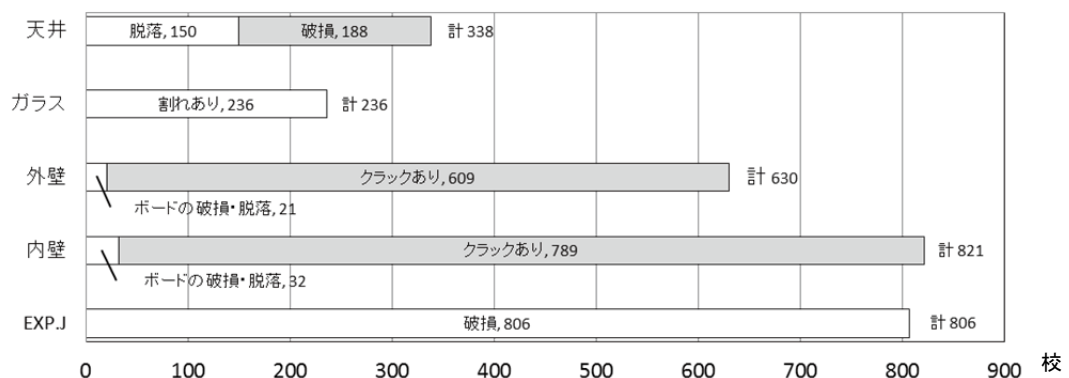


図1 校舎における非構造部材の被害

2-1-2 屋内運動場の被害の概況

- ・屋内運動場における非構造部材の被害の概況について図2に示す。天井⁷被害は152件であり、全面脱落が25棟、一部脱落が88棟、破損が39棟である。人身被害につながるおそれのある全面脱落及び一部脱落を合わせると113棟であり、天井被害の約74%を占める。
- ・アリーナの照明の脱落被害は72棟で見られた。
- ・運動器具の本体の脱落は見られなかったが、一部で破損や部品等の脱落が見られた。
- ・ガラス被害は220棟で見られ、うち可動サッシでのガラスの割れが142棟と最も多く、障子ごと脱落した被害も34棟で見られた。
- ・外壁の被害は379棟と多く、そのうち脱落被害は97棟であった。
- ・屋内運動場の舞台前部の壁は脱落すると人身被害につながる危険性があり、過去の地震でも脱落していることが報告されている。今回、舞台前部の壁の脱落は破損を含めた被害37棟中14棟と、過去の地震に比べて少ない割合であった。
- ・その他の内壁でも52棟で脱落が見られ、舞台前部の壁と合わせると66棟で内壁の脱落が見られた。
- ・軒天井については79棟で脱落していた。

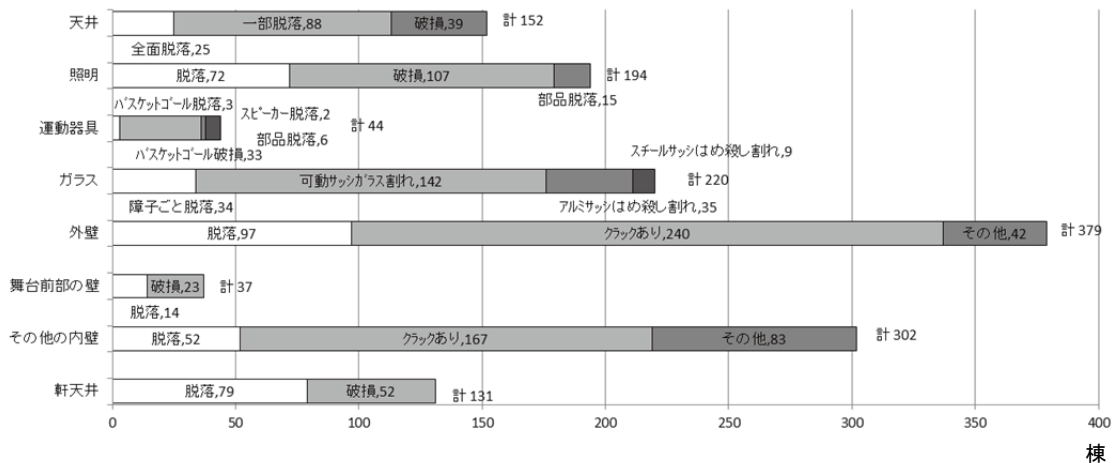


図2 屋内運動場における非構造部材の被害

2-1-3 武道場の被害の概況

- ・武道場における非構造部材の被害の概況を図3に示す。武道場の天井は全面脱落が3棟、一部脱落が36棟、破損が18棟の合計57棟の被害があった。人身被害につながるおそれのある全面脱落及び一部脱落を合わせると39棟であり、天井被害の約68%を占める。武道場は内装を和の趣の仕上げにすることが多く、屋内運動場と比べて天井を設けている傾向があるが、高さが6mを下回るものでも脱落している。
- ・その他、照明が20棟、窓ガラスが16棟、外壁が18棟、内壁が14棟の被害となっており、天井の被害が最も多いことが特徴である。

⁷ 本調査における「天井」は吊り天井を指し、直天井や野地板のみの場合は「天井なし」とした。また、本調査における天井は屋内運動場のアリーナの天井のみを対象としている。

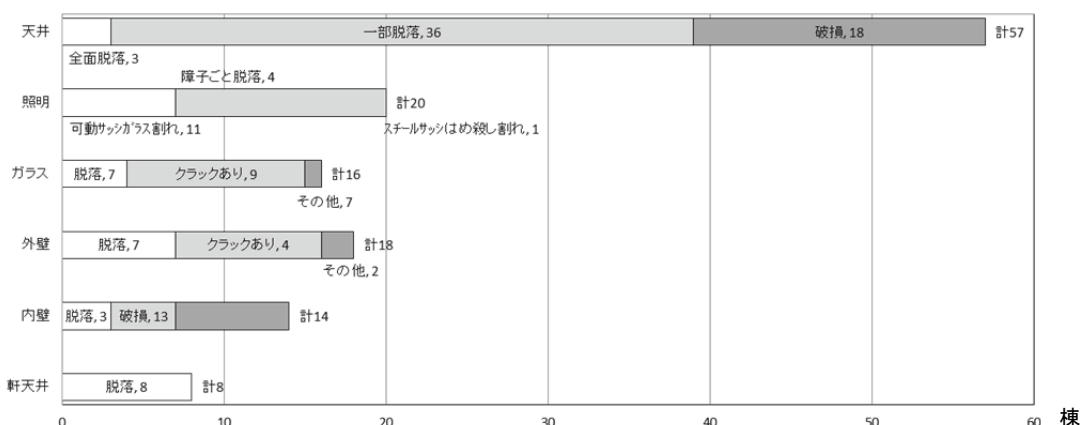


図3 武道場における非構造部材の被害

2-2 文部科学省等におけるこれまでの対応

- ・文部科学省では、東日本大震災の被害を踏まえて有識者会議を開催し、平成23年7月に「東日本大震災の被害を踏まえた学校施設の整備について」とする緊急提言を取りまとめた。その中で、構造体の耐震化だけでなく、非構造部材の耐震対策も速やかに実施する必要があること、特に、致命的な被害が起りやすい屋内運動場の天井材、照明器具等の落下防止対策を進める必要があること等を提言した。また、こうした提言も踏まえ、平成24年度には、非構造部材の耐震対策や避難所としての防災機能強化などの財政支援制度を新たに設けるなど、学校設置者における取組を支援してきた。
- ・さらに、学校施設における非構造部材の耐震対策を一層加速していくための方策等について検討するため、平成24年5月に本協力者会議を立ち上げ、順次、検討の成果を取りまとめてきたところである（本編第4章4-2参照）。
- ・一方で、平成25年4月現在、公立小中学校における非構造部材の耐震対策実施率（人に重大な被害を与える恐れがある箇所について、耐震対策を実施しているかを調査）は60.2%⁸と、構造体の耐震化⁹と比べ非構造部材の耐震対策の取組は遅れている状況であり、これまでの震災による被害等を教訓に、学校設置者の取組をより一層推進していくことが必要である。

⁸ 調査対象は学校施設の非構造部材（天井材・照明器具・窓ガラス・外装材・内装材・設備機器・家具等）全体から、屋内運動場・武道場・講堂及び屋内プールの吊り天井・照明器具・バスケットゴールを除いたもの（これらについては別項目で調査）。

⁹ 公立学校施設の耐震化率（平成25年4月現在）は、小中学校88.9%、幼稚園79.4%、高等学校86.2%、特別支援学校94.6%となっており、このうち、公立小中学校については、平成26年度予算執行後は約96%まで進捗する見込み。国立学校施設の耐震化率（平成25年5月現在）は91.5%となっており、平成26年度予算執行後は約96%まで進捗する見込み。私立学校施設の耐震化率は、幼稚園から高等学校の耐震化率（平成25年4月現在）が77.9%、大学等の耐震化率（平成25年5月現在）が83.7%となっている。

第3章 東日本大震災における屋内運動場の天井被害調査の実施

- ・本協力者会議では、平成24年5月に会議を開催して以降、非構造部材のうち、致命的な被害が起りやすい屋内運動場等の天井等落下防止対策を先行して検討してきた。本章及び次章では、非構造部材のうち、屋内運動場等の天井等に関する検討を示す。

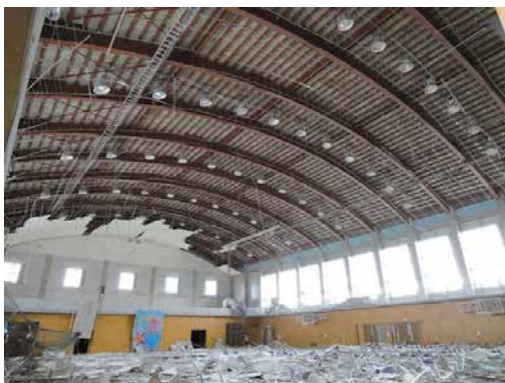
3-1 屋内運動場における天井の震動被害と構造性能・特性に関する検討

3-1-1 調査方法の概要

- ・本編第2章と同様の災害復旧資料を活用し、屋内運動場における非構造部材の震動被害について、構造性能・特性との関係に着目し整理分析を行った。非構造部材の震動被害が建物の構造的な特徴や構造が受けた震動被害とどのような関係にあったのかを調べることは、非構造部材の耐震対策を考える上で重要な課題の一つである。
- ・調査対象として、地震動が強かった地域である岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県（以下「調査対象5県」という。）に限定し、公立の小学校、中学校、中等教育学校、高等学校及び特別支援学校の屋内運動場¹⁰、538棟を対象に、天井、窓ガラス、外壁、内壁の震動被害と、構造の震動被害や構造形式、建築年代などとの関係を調査した。本章では、天井被害について記載することとし、天井以外の窓ガラス、外壁、内壁の調査結果については、Ⅱ編第2章にその詳細を記載する。

(天井被害の分類)

- ・災害復旧資料において、上記の屋内運動場のうち、アリーナに吊り天井が設置されていることが確認できた165棟について、天井被害の程度に応じ、「全面脱落」、「一部脱落」、「破損」の3分類に区分した上、天井の存在が確認されたが被害の報告がなかったものを「被害報告無し」¹¹として加えた。165棟のうち、全面脱落したものが23棟、一部脱落したものが72棟、破損したものが28棟で、被害報告無しは42棟である。全面脱落と一部脱落の例を写真2に示す。



(1) 全面脱落の例



(2) 一部脱落の例

写真2 天井の震動被害の例

¹⁰ 調査対象は屋根架構が鉄骨造（S造）の屋内運動場とし、屋根架構が鉄筋コンクリート造（RC造）あるいは木造等、一般的な屋内運動場で採用されている鉄骨造とは異なる構造形式であることが確認できたものは除く。

¹¹ 被害報告無しについては、天井以外の部位が受けた被害報告の中で天井の設置が確認できたものであり、天井が設置されていて震動被害がなかった屋内運動場の全てを表すものではない。

3-1-2 天井の震動被害と屋根架構との関係

- ・天井の震動被害と張間のスパンとの関係を図4に示す。張間のスパンが短いほど全面脱落となる割合は低下しており、スパンが長くなるほど大きな被害を受けた天井が多くなっている。また、屋根架構の立体形状を表す指標であるライズスパン比¹²と天井の震動被害との関係などについても分析を試みたが、本文では省略する。(参考資料2 2.2 参照)
- ・屋根架構の形状がわかったもののうち、山形かアーチかという架構形状と天井の震動被害の関係を図5に示す。屋根架構にライズがあるものの大部分は山形の架構である。アーチのものは少ない数ではあるものの、天井の設置が確認された屋内運動場の全てで全面脱落か一部脱落という大きな被害が発生している。これは、屋根架構の形状が円弧状であり、天井材の吊り長さが必然的に一定とならないことから、耐震上不利な条件¹³と対応している。

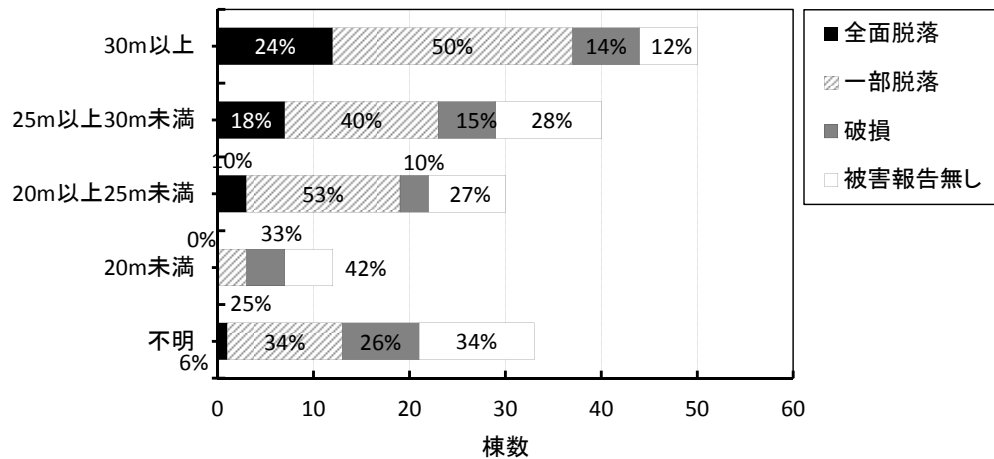


図4 天井の震動被害と張間のスパンとの関係

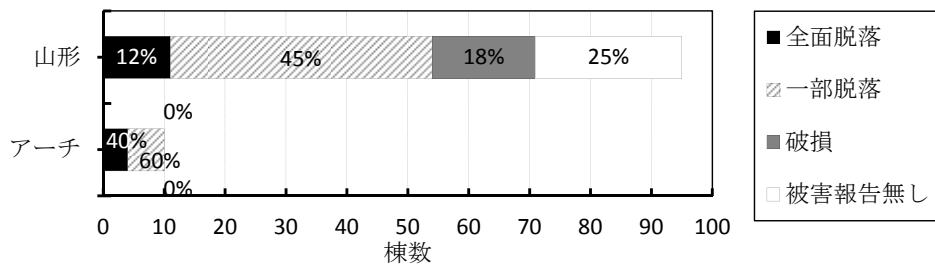


図5 天井の震動被害と屋根の架構形状との関係

3-1-3 天井の震動被害と屋内運動場の構造形式との関係

- ・図6に示すように、屋内運動場の構造形式を大まかに純鉄骨構造である「Sタイプ」、下部をRC架構とし上部を鉄骨架構とした「RSタイプ」、RC架構の上に鉄骨造の屋根架構を載せた「Rタイプ」に分類し、これに上部は鉄骨造であるが下部の構造が確認できなかった「S若しくはRS」を合わせ、天井の震動被害と構造形式との関係を図7に

¹² 屋根架構の立体形状を表す指標であり、屋根架構のライズ (R) の張間スパン (L) に対する比率 (R/L) を指す。(参考資料2 2.2 図3 参照)

¹³ 吊り長さが異なる場合、地震時に有害な応力集中が生じるおそれがあることから、建築物における天井脱落対策に係る技術基準 (本書 p.15 第4章 4-1 参照) では、吊り長さをおおむね均一とすることを求めている。

示す。SタイプあるいはRSタイプの屋内運動場に比べ、Rタイプの屋内運動場で全面脱落となるような大きな被害の発生が顕著となっている。

- Rタイプの屋内運動場において天井の被害が大きくなったことについて、幾つかの分析を試みたが、規模・形状と構造形式には明白な関係は見られなかった。また、屋根架構と下部RC架構の接合方式、定着部（接合部）における被害などとの関係についても分析したところ、屋根架構と下部RC架構の一体性に問題があるものが多いことがRタイプで天井の被害が多く発生した一因と考えられることがわかった。（参考資料2.2.3参照）

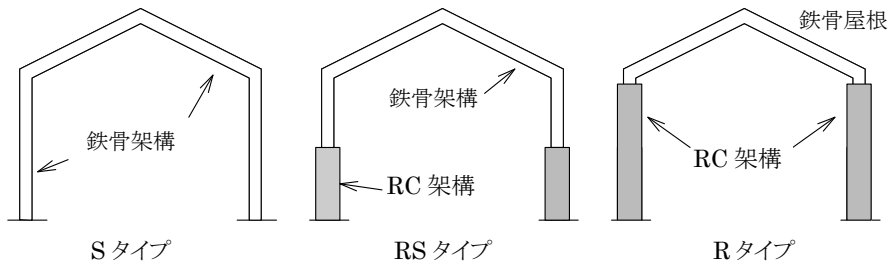


図6 屋内運動場の構造形式

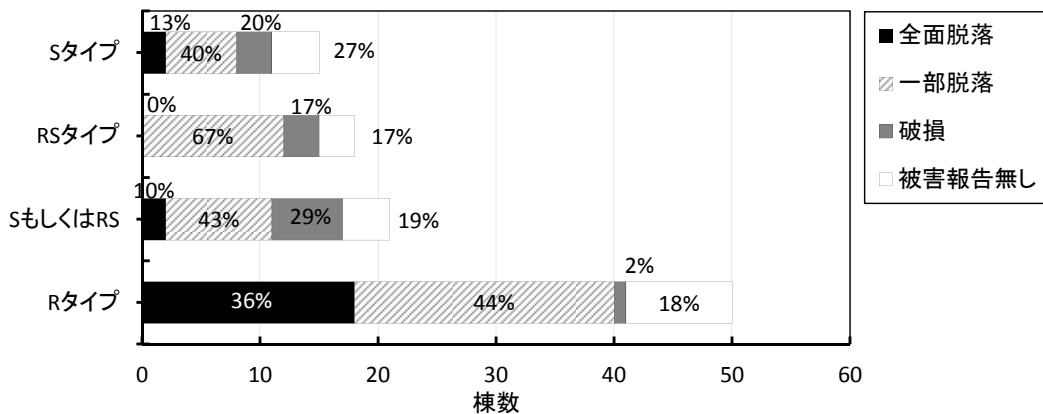


図7 天井の震動被害と屋内運動場の構造形式との関係

3-1-4 天井の震動被害と建築年代、耐震診断・補強の状況との関係

- 天井の設置が確認された屋内運動場を、建築年代及び耐震診断・補強の有無で分類し、①新耐震基準で建てられた施設（以下「新耐震」という。）、②耐震補強工事が施されている施設（以下「補強済み」という。）、③耐震診断の結果 I_s 値¹⁴が0.7以上であると判定された施設（以下「補強不要」という。）、④耐震診断が実施されていない、あるいは耐震診断の結果 I_s 値が0.7を下回っているが耐震補強工事が実施されていない施設（以下「未対応」という。）、⑤災害復旧資料からは建築年代や耐震診断・補強の実施状況が不明あるいは耐震診断は行われているものの診断値が不明である施設（以下「不明」という。）、の5つのグループに分類した。更に新耐震の施設については、

¹⁴ 建築物の構造耐震指標であり、構造体の耐震性能を表す指標。 I_s 値が大きいほど耐震性が高い。国土交通省の告示では、 I_s 値0.6以上を地震に対して倒壊又は崩壊する危険性が低いものとしているが、文部科学省では、地震時の児童生徒の安全性、避難所としての機能性を考慮し、耐震補強後の I_s 値が0.7を超えることを求めている。

2001年以降に建てられた施設，1991年から2000年の間に建てられた施設，1982年から1990年の間に建てられた施設に細かく分類した。

- ・分類の結果，新耐震が108棟と，天井の設置が確認された165棟の2/3程度を占めており，このうち2001年以降の施設が22棟，1991年から2000年の施設が42棟，1982年から1990年の施設が44棟であった。また，補強済みは21棟，補強不要は7棟，未対応は24棟，不明は3棟であった。
- ・天井の震動被害と建築年代，診断・補強の状況との関係を図8に示す。天井の被害の程度については，比較的新しい1991年以降の施設で全面脱落したものが比較的多いが，全体的に見ると，構造の耐震性能が低いものが含まれる未対応の施設を含めて，天井の被害の程度には大きな違いは見られない。言い換えれば，建築年代が新しい施設でも，新耐震あるいは耐震補強済みの施設であっても，天井の被害が生じており，構造体の耐震化が図られている施設も含め，天井の耐震対策を急ぐ必要がある。

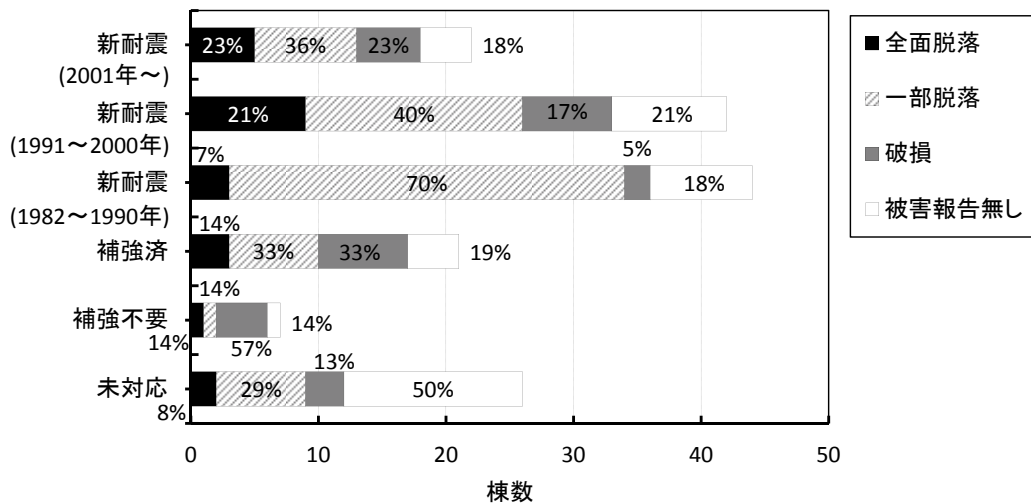


図8 天井の震動被害と建築年代，診断・補強の状況との関係

- ・このほか，被災度区分判定¹⁵の結果から，構造が受けた震動被害との関係についても分析したが，構造の被害の大小に関わらず，天井は大きな被害を受けていることがわかった。（参考資料2 2.5 参照）

¹⁵ 地震により被災した建築物を対象に，建築構造技術者がその建築物の内部に立入り，建築物の沈下，傾斜及び構造躯体の損傷状況などを調査することにより，被災度の区分を行うとともに，継続的に使用するための復旧の可否を判定するもの。日本建築防災協会：再使用の可能性を判定し，復旧するための震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針 第2版，2002.8

第4章 屋内運動場等の天井等落下防止対策の推進

4-1 天井脱落対策に係る技術基準の制定

- ・東日本大震災において、多数の建築物で天井が脱落し、かつてない規模で甚大な被害が生じたことを踏まえ、国土交通省では、地震時における天井脱落への対策を強化することを趣旨とし、建築基準法施行令の一部を改正する政令（平成25年政令第217号）を平成25年7月に、同政令に基づく天井脱落対策関連告示（以下「技術基準」という。）を同年8月に公布し、同年9月には、技術基準に伴う解説書及び設計例を作成し公表した。平成26年4月には、技術基準が施行され、建築物を建築する際には当該基準への適合が義務づけられることとなる。

「建築基準法施行令の一部を改正する政令について」（平成26年4月施行）

http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_fr_000053.html

「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」（平成25年10月改訂版）

<http://www.seinokyo.jp/tenjou/top/>

4-2 「学校施設における天井等落下防止対策のための手引」等の作成

- ・本協力者会議では、こうした技術基準の検討を踏まえ、非構造部材の耐震対策のうち、天井高の高い屋内運動場等の天井等については、落下した場合に致命的な被害につながるおそれ大きいこと等、被害の影響度等を十分に考慮し、緊急性をもって優先的に対策を講じる必要があるという視点に立ち、平成24年5月より、屋内運動場等の天井等落下防止対策を中心に検討を進め、同年9月には「学校施設における天井等落下防止対策の推進に向けて」（中間まとめ）を取りまとめ、既存の屋内運動場等における天井等の総点検と落下防止対策の速やかな実施を求めるとともに、対策を推進するために国及び学校設置者等において講ずべき方策等について提言した。
- ・同中間まとめでは、各学校設置者が所管する学校施設の総点検及び対策を円滑に推進できるよう、天井等落下防止対策の具体的な手順等を示した手引の策定を求めており、本協力者会議における議論を踏まえ、平成25年8月、文部科学省は「学校施設における天井等落下防止対策のための手引」（以下「手引」という。）を作成・公表した。
- ・同手引は、既存の屋内運動場等の吊り天井等について、点検と対策の手順や内容等をわかりやすく解説したものであり、
 - 対策工事の可否を迅速かつ効率的に判断するため、詳細な実地診断等を行わずとも、対策の検討に着手できるフローチャートを提示したこと、
 - ①天井撤去、②補強による耐震化、③撤去及び再設置、④落下防止ネット等の設置といった手法を示しつつ、確実な安全確保方策として「天井撤去を中心とした対策の検討」を促したものであることなどを特長としている。

「学校施設における天井等落下防止対策の推進に向けて」（中間まとめ）（平成24年9月）

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/025/toushin/1325217-htm

「学校施設における天井等落下防止対策のための手引」（平成25年8月）

http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/25/08/1338394-htm

学校施設における天井等落下防止対策のための手引（概要）

平成25年8月 文部科学省

背景

- ・東日本大震災では、非構造部材で甚大な被害が生じ、学校の屋内運動場等の天井材が全面落下した事象等が多数発生。
- ・平成24年5月以降、有識者会議*で屋内運動場等の天井等の落下防止対策を中心に検討。同年9月、全国の学校設置者に対し天井等の総点検及び対策を要請。
- ・国土交通省において、建築基準法施行令等を改正し、吊り天井に関する技術基準を制定（平成25年8月公布、26年4月施行）。



※「学校施設における非構造部材の耐震対策の推進に関する調査研究協力者会議」（主査：岡田恒男 日本建築防災協会理事）

「技術基準」を踏まえ、既存の屋内運動場等の吊り天井等について、点検と対策の手順や内容等をわかりやすく解説した手引を作成。

主な内容

第1章 屋内運動場等における天井等落下防止対策の考え方

- ・致命的な事故が起こりやすい屋内運動場等の天井等は緊急性をもって優先的に対策を実施。
- ・構造体の耐震化が図られている施設であっても天井等の落下防止対策が必要。

第2章 天井等総点検用マニュアル

☆対策工事の要否を迅速かつ効率的に判断するため、詳細な実地診断等を行わずとも対策の検討に着手できるフローチャートを提示

第1節 天井の耐震点検と対策の実施

○天井の耐震点検から対策の実施までの手順を5つのステップに分けて解説。

（天井の耐震性に関する基本項目）

- ・壁際のクリアランス（隙間）の有無
- ・天井の耐震措置に関する特記事項の有無
- ・斜め部材の有無
- ・屋根形状と天井形状の比較による吊り長さの違い

→ 外観からの目視等により
大半が点検可能

○①天井撤去、②補強による耐震化、③撤去及び再設置、④落下防止ネット等の設置という手法を示しつつ、確実な安全確保方策として「天井撤去を中心とした対策の検討」を要請。

○天井撤去と併せて断熱・吸音等の工夫を施したケーススタディも提示。



天井撤去後の屋根面に吹付け材を塗布し断熱性能等を確保



第2節 照明器具・バスケットゴール等の取付部分との耐震点検と対策の実施

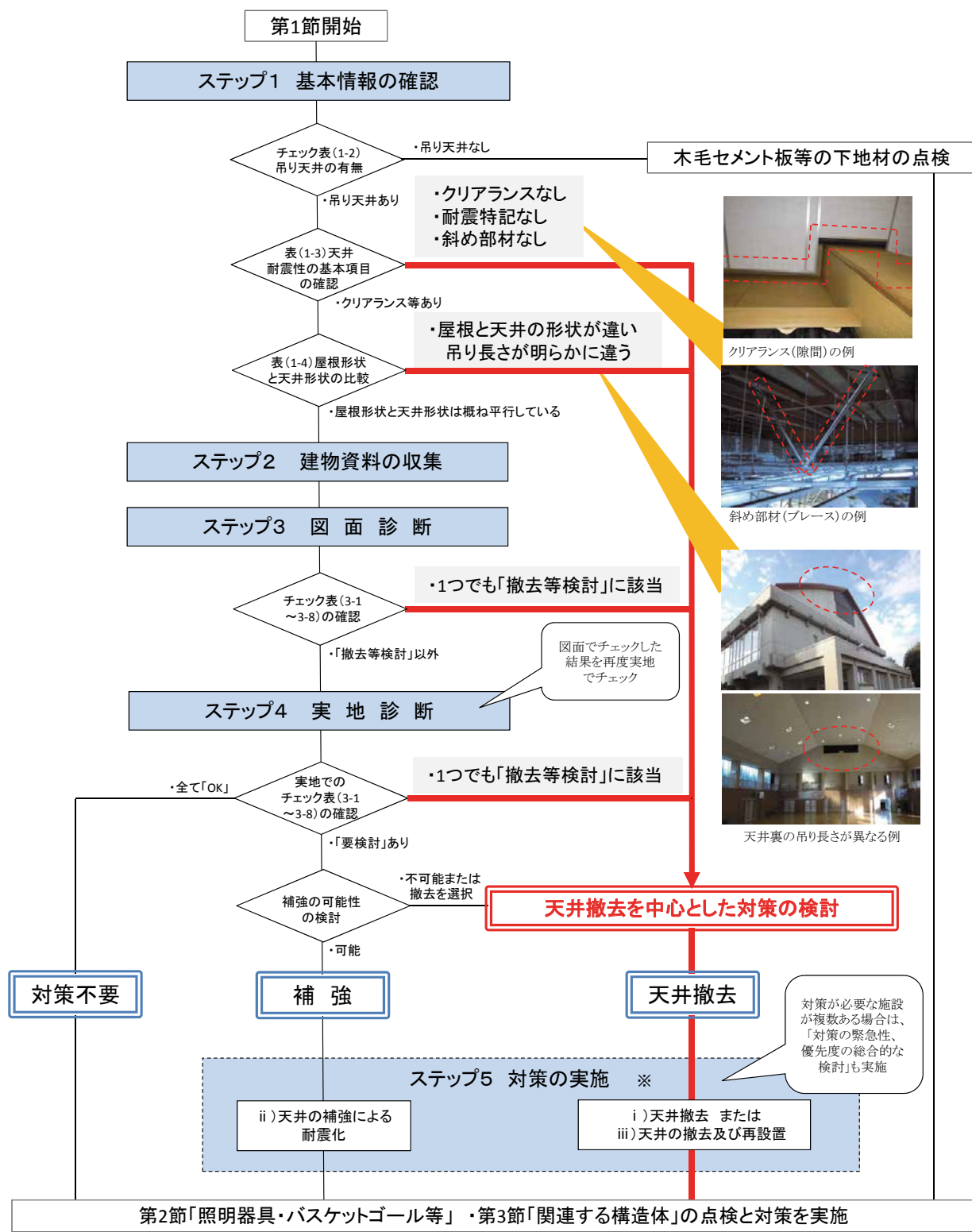
第3節 関連する構造体の耐震点検と対策の実施

- ・第2節、第3節の耐震点検と対策は、吊り天井の有無にかかわらず実施する。

第3章 震災後の余震に備えた屋内運動場等の天井等の緊急点検チェックリストの活用

○二次災害防止の観点等から震災後の余震に備えた緊急点検チェックリストを提示。

図9 「学校施設における天井等落下防止対策のための手引」（概要）



※ 対策を実施するまでの間の応急的な措置として「落下防止ネット等の設置」を実施する場合を含む

図10 「天井等総点検用マニュアルの全体概要(フローチャート)」(簡略版)

4-3 屋内運動場等における天井等落下防止対策の推進の要請

- ・文部科学省では、技術基準及び手引を踏まえ、平成25年8月に、全国の学校設置者に対して、既存の屋内運動場等における天井等落下防止対策の一層の推進を図るよう要

請し、公立及び国立学校施設については、平成27年度までの対策の完了を要請したところである。なお、私立学校についても、公立及び国立学校施設の取組の状況を踏まえ、早期の対策の完了を要請している。

- ・また、同省では、学校設置者が行う天井等非構造部材の耐震対策に対して財政的な支援を行うとともに、天井等落下防止対策の実証的研究を行う先導的開発事業の実施、天井等落下防止対策のための講習会の開催による天井等落下防止対策アドバイザーの養成・活用など、取組の加速化に向けた支援を実施している。
- ・一方、平成25年4月現在、公立小中学校施設のうち、吊り天井を有する屋内運動場等¹⁶は6,554棟（屋内運動場等の全棟数34,438棟のうち約19%）あることが判明しており、学校における屋内運動場等の吊り天井等の耐震対策を一層加速し、児童生徒等の安全を速やかに確保することが必要である。

学校設置者に対する対策加速化の要請（平成25年8月7日通知）

1. 屋内運動場等の天井等の総点検の実施

（天井）

- 学校施設の中でも、屋内運動場、武道場、講堂、屋内プールの天井については、特定天井に加え、①高さが6mを超える天井、②水平投影面積が200㎡を超える天井のいずれかに該当する天井も全て総点検を実施すること。

（照明器具、バスケットゴールなど）

- 上記4施設の照明器具、バスケットゴール等は、吊り天井の有無に関わらず、総点検を実施すること。
- 鉄骨屋根定着部コンクリート、水平プレースの接合部等の点検も実施に努めること。

2. 屋内運動場等の天井等の落下防止対策の実施

（天井）

- 児童生徒等の安全に万全を期す観点から、天井撤去を中心とした対策を検討すること。
撤去に伴い使用に影響を及ぼすことのないよう、断熱・音響等の対策を実施すること。
- 現在進行中の事業については、竣工と同時に既存不適格となることから、天井を設置しない又は軽量の天井にするなど、設計変更等を検討すること。

（照明器具、バスケットゴールなど）

- 照明器具、バスケットゴール等は、総点検の結果を踏まえ、必要な落下防止対策を実施すること。
- 鉄骨屋根定着部コンクリート、水平プレースの接合部等の耐震対策について検討し実施に努めること。

3. 屋内運動場等以外の施設の天井

- 玄関ホール、多目的スペース、図書室、食堂等の特定天井についても速やかに点検し対策を講じること。

公立・国立学校施設における屋内運動場等の天井等落下防止対策については、平成27年度までの速やかな完了を目指し取組を加速するよう改めて要請

図11 天井等落下防止対策の推進を要請する通知（概要）

¹⁶ 屋内運動場、武道場、講堂、屋内プールを対象とした調査。

II編 校舎等における非構造部材の耐震対策について

第1章 東日本大震災における校舎等の非構造部材被害調査の実施

1-1 調査方法の概要

- ・ I編で述べたとおり，東日本大震災においては非構造部材の被害が甚大であり，様々な特徴的な被害がみられたことから，これら被害事例から得られる知見を整理し，今後の対策に生かすとともに，現行の耐震化ガイドブックや耐震対策事例集の改善・充実に努めることを目的とし，本協力者会議のWG委員を中心に，更なる被害調査・分析を進めることとした。
- ・ 調査分析の進め方は，以下のとおりであり，調査・分析の全体像を表2に示す。

■全数調査・分析

被害の程度や特徴等の把握，構造被害との関係等の把握を目的とし，ある程度事例数が多くデータによる傾向の分析が可能なものについて災害復旧資料に基づき被害状況を整理・分析。

被害状況の概況のうち，軽微な被害を除いた上で調査・分析を実施しており，項目によっては更に対象を抽出している場合もある。

■個別調査・分析

具体的な対策手法の検討を目的とし，被害程度が著しい事例を個々に収集し，詳細な図面・写真等により分析。必要に応じ，現地調査を実施。

- ・ なお，今般の調査の対象は建築非構造部材に限り，設備機器や家具等は対象としていない。また，調査・分析については，設計図書や被害写真等から読み取れる範囲において検討したものであり，推測している部分も含まれる。

被害状況の概況 ※1			全数調査・分析	個別調査・分析
校舎	天井	脱落 150 校 破損 188 校	被害のあった岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都の9都県における脱落被害の全数を調査・分析構造被害との相関についても分析	大空間天井の脱落事例 折れ曲がり天井の脱落事例 システム天井の脱落事例 等
	窓ガラス	割れ 236 校	全数調査・分析までは実施せず	大開口部のはめ殺し窓の破損事例 横連窓の障子ごとの脱落事例
	外壁	破損・脱落 21 校 クラック 609 校		ALC パネルの脱落事例 コンクリートの腰壁の傾斜事例
	内壁	破損・脱落 32 校 クラック 789 校	破損・脱落中、コンクリートブロック壁脱落 12 校（棟）を補足調査・分析	コンクリートブロック間仕切り壁の脱落事例
	EXP. J※3	破損 806 校	全数調査・分析までは実施せず	EXP. J カバーの脱落事例
屋内運動場	天井	全面脱落 25 棟 一部脱落 88 棟 破損 39 棟	被害のあった 152 棟のうち岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県の調査対象5県の被害 123 棟に無被害※2の事例もあわせ、天井が設置されていた 165 棟について構造被害との相関を分析（I 編第3章）	手引の検討の際に 対策手法等を検討済み
	照明	脱落 72 棟 破損 107 棟 部品脱落 15 棟	全数調査・分析までは実施せず	
	運動器具	脱落 11 棟 破損 33 棟		
	窓ガラス	障子ごと脱落 34 棟 可動サッシ割れ 142 棟 はめ殺し割れ 44 棟	調査対象5県の被害 206 棟について構造被害との相関を分析。 加えて、障子ごと脱落 34 棟中、25 棟を補足調査・分析 ※詳細に調査可能な資料があるもの等を調査	大開口部のはめ殺し窓の破損事例 横連窓の大規模な脱落事例 等
	外壁	脱落 97 棟 クラック等 282 棟	脱落 97 棟中調査対象5県の被害 84 棟について構造被害との相関を分析。 加えて、脱落 97 棟中、外壁モルタル脱落 28 棟を補足調査・分析 ※詳細に調査可能な資料があるもの等を調査	ラスモルタルの脱落事例 ALC パネルの脱落事例 等
	内壁	脱落 66 棟 クラック等 273 棟	脱落 66 棟中調査対象5県の被害 44 棟について構造被害との相関を分析。 加えて、脱落 66 棟中、内壁妻面脱落 30 棟を補足調査・分析 ※詳細に調査可能な資料があるもの等を調査	内壁ボードの脱落事例 内壁モルタルの脱落事例
軒天井	脱落 79 棟 破損 52 棟	全数調査・分析までは実施せず	軒天井ボードの脱落事例	

※1 校舎の被害は学校単位、屋内運動場の被害は棟単位で集計。全数調査・分析は校舎も棟として再集計。

※2 天井が設置されていて震動被害がなかった屋内運動場の全てが含まれるものではない

※3 本表においては、エキスパンション・ジョイントをEXP. Jと記す。

表2 調査・分析の全体像

1-2 全数調査・分析の実施

- ・ I 編で述べた被害調査をベースとし、校舎と屋内運動場とを別にして入力し、傾向の分析を試みた。なお、武道場は屋内運動場により傾向を把握できると判断し追加調査を省略した。
- ・ 各被害事例の調査・分析の内容等については、被害事例の母数に応じ検討した。母数が多い被害事例は、非構造部材の被害の傾向や構造被害との相関等を調査・分析した。また、校舎のコンクリートブロック間仕切り壁の脱落被害や、屋内運動場の窓ガラスにおける障子ごとの脱落被害など、注意喚起が必要な対象部材の被害傾向を明らかにするため、幾つかの対象部材を抽出した上、母数が少ない状況ではあるが、経年の状

況等と非構造部材の被害状況の関係等に着目し傾向の分析を試みた。

- ・なお、校舎の調査・分析、屋内運動場の調査・分析、及び、対象部材を抽出した補足調査・分析については、WG委員及び事務局において分担して実施された。したがって、個々の調査報告では、必ずしも分析の方法や記述方法等が統一されていないことに留意が必要である。

i) 校舎の全数調査・分析

- ・天井被害について、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都の9都県を対象に、天井に何らかの脱落被害があったもので、架構が木造等を除く205棟について、天井被害の傾向及び構造被害との相関を分析した。(本編第2章2-1-1)

ii) 屋内運動場の全数調査・分析

- ・天井被害については、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県を対象に、無被害の事例も含め天井が設置されていた165棟について構造被害との相関を分析した。
(I編第3章)
- ・また、上記の調査対象5県を対象に、窓ガラスの被害のあった206棟、外壁の脱落があった84棟、内壁の脱落があった44棟について構造被害との相関を分析した。(本編第2章2-1-2)

iii) 対象部材を抽出した補足調査・分析

- ・被害程度が著しい事例(被害件数が多い又は被害が発生した場合に児童生徒等に及ぶ危険性が高い事例で、特に注意喚起を要すると思われるもの)に限定して調査することとし、以下の対象部材について被害傾向を分析した。(本編第2章2-1-3)
 - ・校舎のコンクリートブロック壁の脱落被害 12棟
 - ・屋内運動場の窓ガラスにおける障子ごとの脱落被害 25棟
 - ・屋内運動場の外壁モルタルの脱落被害 28棟
 - ・屋内運動場の内壁妻面の脱落被害 30棟

1-3 個別調査・分析の実施

- ・具体的な対策手法の検討を目的とし、東日本大震災における学校施設の被害事例の中から、全数調査の内容や具体的な被害事例を確認した結果、非構造部材の被害程度が著しい事例(被害件数が多い又は被害が発生した場合に児童生徒等に及ぶ危険性が高い事例で、特に注意喚起を要する被害と判断した事例)について、設計図書や被害写真等の詳細な資料を基に、被害の原因等を一定程度分析した上で、想定される対策手法等の検討を行った。また、必要に応じ、現地調査を実施し、被害要因等について情報を収集した上で再度分析を行った。
- ・調査・分析を行った被害事例は34事例で、概要は別添「個別調査・分析の調査事例一覧(東日本大震災における学校施設の非構造部材の被害事例より)」の通りである。その中から被害事例として重複するもの、資料の制約上十分に調査・分析ができなかったものを除き、本報告書では18事例(別添において○で示した事例)の被害概要・原因を掲載するとともに、想定される対策手法等を掲載することとした。

第2章 被害調査結果

2-1 全数調査・分析の結果及び所見

2-1-1 校舎における天井の震動被害の傾向等に関する検討

①調査方法の概要

- ・ I 編第2章と同様の災害復旧資料を活用し、校舎における天井の震動被害について、その傾向を把握するとともに、構造性能・特性との関係に着目し整理分析を行った。
- ・ 調査対象として、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都の9都県に限定し、公立の幼稚園、小学校、中学校、中等教育学校、高等学校及び特別支援学校の校舎のうち、天井に何らかの脱落被害があったもので、架構が木造等のものを除く205棟を中心に、天井の被害傾向等を調査した。
- ・ 以下、分析の内容に応じ、「棟」では建物単位で、「件」では室単位¹⁷で集計している。なお、分析する項目によって災害復旧資料から判断できるものが異なる¹⁸ため、項目により合計値が異なる場合があることに留意が必要である。

②脱落した天井被害の傾向

(校舎の構造種別、建設年代別)

- ・ 天井が脱落した校舎はRC造が151棟、S造が54棟であった。そのうち、建物の構造種別と建設年代が判明した計180棟について分析を行った。
- ・ また、建設年代別を10年ごとに区切って比較したところ、RC造は1970年代と1980年代が多く、S造は2000年代が最も多かった。

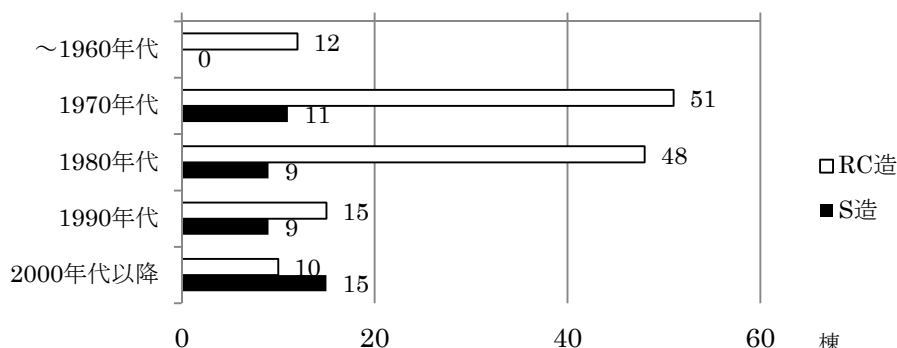


図12 天井が脱落した校舎の構造種別

(天井が脱落した部屋の位置)

- ・ 建物の階数と、天井脱落被害があった階¹⁹を分析したところ、建物の最上階に被害が集中している傾向があった。5階建てでは60%、4階建てでは56%、3階建てでは60%、2階建てでは69%であった。すなわち、天井脱落被害を受けていた建物の6割以上が、その最上階で被害があった。一般的に、高層になればなるほど、地震時の揺れが強くなるため、建物の階数が高くなるに従って、脱落被害が多くなる傾向があると言える。

¹⁷ 廊下の場合は、折れ曲がりなどがなく、ひと続きのものを1件と集計している。

¹⁸ 同一の建物でも、天井が脱落した部屋の種別は判断できるが、部屋の規模や形状は判断できないものもある。

¹⁹ この項目のみ、同一階で重複しないように集計した。例えば、ある階の3つの部屋で天井脱落被害があった場合、他の項目では「3件」であるが、この項目では「1件」として集計している。

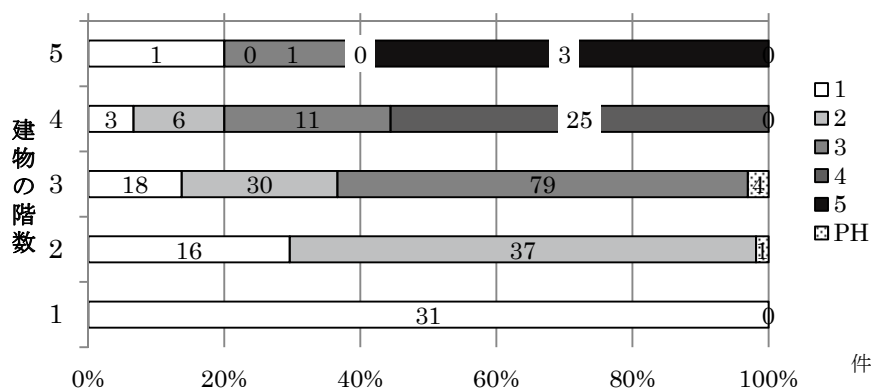


図 13 天井が脱落した部屋の位置

(天井が脱落した部屋の用途)

・天井が脱落した部屋の用途を図面などの資料に記載されている部屋の名称に基づいて分類し、更に最上階にあるものを特定した。最上階での被害は、普通教室が70件のうち37件、音楽室や美術室などの特別教室が145件のうち91件、実習棟などの比較的小規模な建物である別棟が20件のうち12件、廊下が85件のうち34件といった状況であった。すなわち、最上階で天井脱落の被害を受けた割合は他の階に比べて高かった。最上階に位置する音楽室などに段差・折れ曲がりのある天井が設けられている場合は、一層の注意が必要である（後述の「脱落した天井の形状」等を参照）。



(1) 普通教室の天井脱落

(2) 特別教室（多目的室）の天井脱落

(3) 廊下の天井脱落

写真 3 校舎天井の脱落被害の例

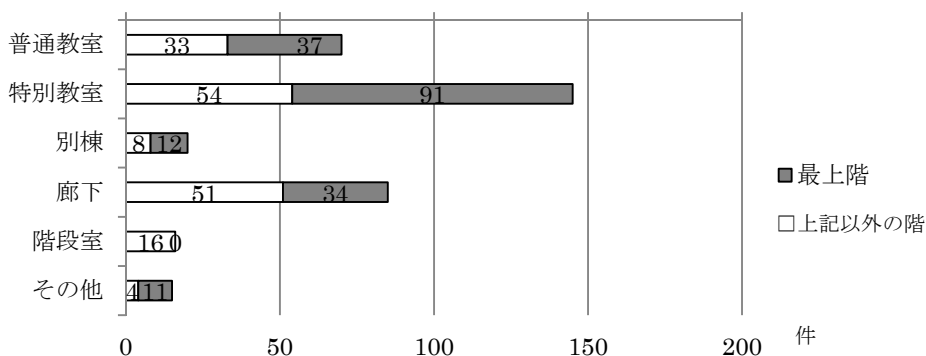


図 14 天井が脱落した部屋の用途

・また、普通教室と特別教室，別棟の3つについて，廊下と階段室，その他を除いた「教

室」を面積規模と高さで分類を試みた²⁰。すなわち、通常の面積（60 m²程度）の教室を「通常教室」、それより規模の大きい音楽室や美術室などを「大教室」とし、天井高については、3 m以下のものを「通常天井高」、3 mを超えるか2層以上にわたる天井高のものを「吹き抜け」として分類した。

- これによると、通常天井高の通常教室が 53 件、通常教室のうち吹き抜けのものが 3 件、大教室で通常天井高のものが 103 件、大教室で吹き抜けのものが 35 件であり、大教室における天井脱落被害が多く発生している。一方、「吹き抜け」の教室にとどまらず、通常天井高でも数多くの脱落被害が確認されている。
- 大教室の中には、水平投影面積が 200 m²を超える規模の天井も含まれており、大規模な面積になるほど、落下危険性の範囲が広がり、安全な場所に退避することが困難となることから危険性が高くなる可能性がある。

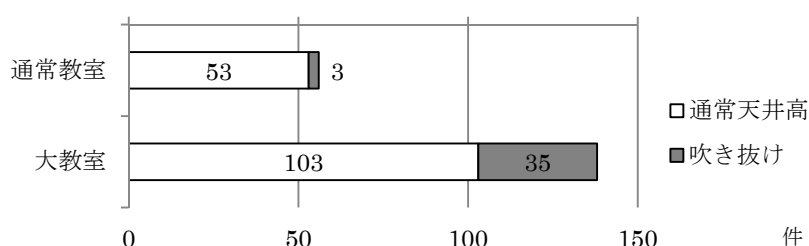


図 15 天井が脱落した部屋の規模

(脱落した天井の形状)

- 脱落した天井の形状²¹をみると、平天井が 272 件、舟底天井 6 件、傾斜天井が 8 件、のこぎり天井が 31 件であった。また、のこぎり天井について部屋の規模を比較すると、脱落のあったのこぎり天井は「大教室」のみで、そのうち「通常天井高」が 28 件と 90% を占めていた。
- 音楽室などは音響環境を確保するため、反射性能を期待して折れ曲がりのある天井（本調査では「のこぎり天井」として集計）を設けることがある。段差や折れ曲がりのある天井は、段差・折れ曲がり部分に局所的な力が作用し損傷する危険性が高まること指摘されており、今般の天井被害においても、こうした天井の脱落被害が見られた。



(1) 音楽室の折れ曲がり天井脱落



(2) 音楽室の折れ曲がり天井脱落

写真 4 折れ曲がり天井（のこぎり天井）の脱落被害の例

²⁰ ただし、集計にあたっては教室の面積と階高が、写真や図面から判別できるものを対象とした。そのため、図 5 と図 6 では母数が異なっている。

²¹ 平天井は勾配や段差等がないフラットな天井、舟底天井は中央が両端より高くなった山形の天井、傾斜天井は勾配のある天井、のこぎり天井はのこぎりの刃のような形をした折れ曲がりのある天井を指す。

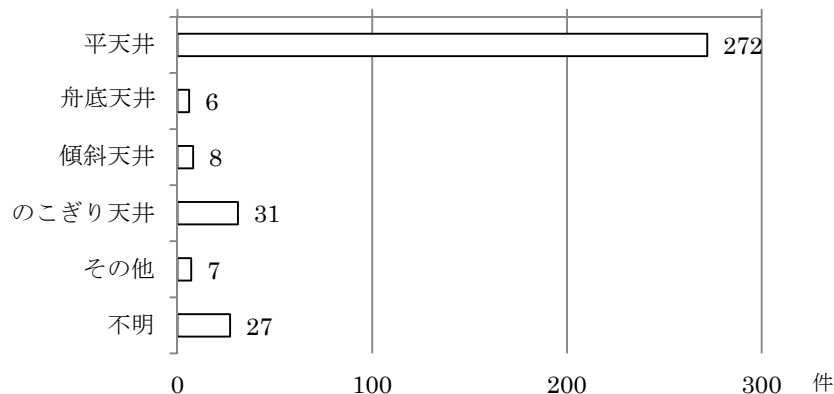


図 16 脱落した天井の形状

(脱落した天井の被害程度)

- 脱落した天井の被害の程度をみると、野縁などの下地を含む脱落 114 件、天井板のみの脱落が 220 件であり、下地を含む脱落は全体の脱落被害の 34%あった。これを天井の形状別にみると、下地を含む脱落は「のこぎり天井」で最も多く、船底天井や傾斜天井、のこぎり天井といった傾斜がある天井に被害が多い傾向があった。また、下地の種類別でみると、鋼製下地の「在来天井」と「システム天井」ではシステム天井の方が「板のみ脱落」の割合が多い一方で、システム天井でも「下地を含んだ脱落」被害が 34%あった。
- 学校施設の天井面は、一般的に、鋼製下地に石膏ボードを取り付け、ロックウール吸音板を仕上げ材として張っていることが多く、この場合の天井面構成部材²²の単位面積質量は、10.2~13.1 kg/m²²³となる。下地を含んだ脱落は、人的被害の拡大につながるおそれがあり、一層の注意が必要と考えられる。
- 既述のとおり、段差や折れ曲がりのある天井では地震時に有害な応力集中が生ずるおそれがあり、また、傾斜天井や舟底天井において吊り長さが異なった場合には、地震力に対する応力が複雑化し天井の挙動が不規則になり、その結果、局所的な力が作用して損傷する危険性が高まる可能性があることに注意が必要である。

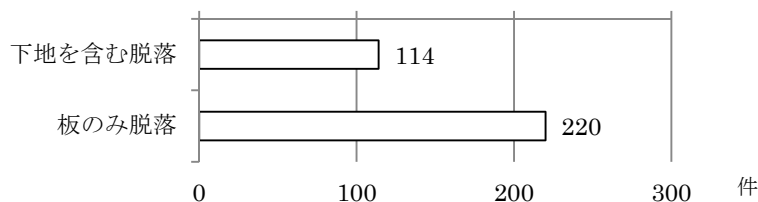


図 17 脱落した天井の被害程度

²² 天井面を構成する天井板、天井下地材及びこれに附属する金物をいう。

²³ 「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」(平成 25 年 9 月 国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人建築研究所, 一般社団法人新・建築士制度普及協会) p. 23 の表 2.1 「各種の吊り天井における天井面構成部材の単位面積質量」より

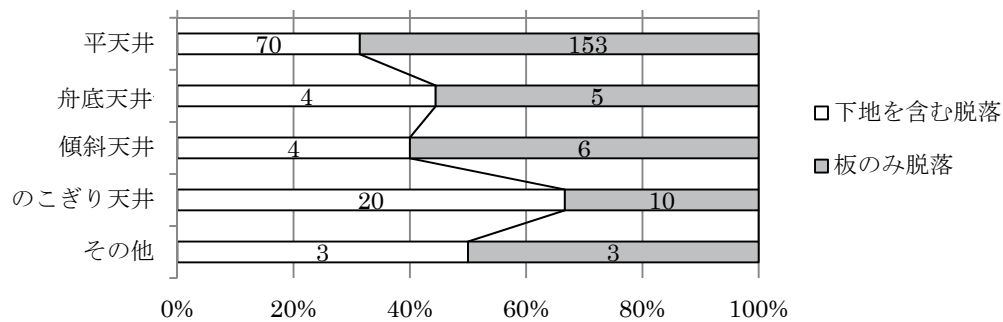


図 18 脱落した天井の被害程度（天井の形状別）

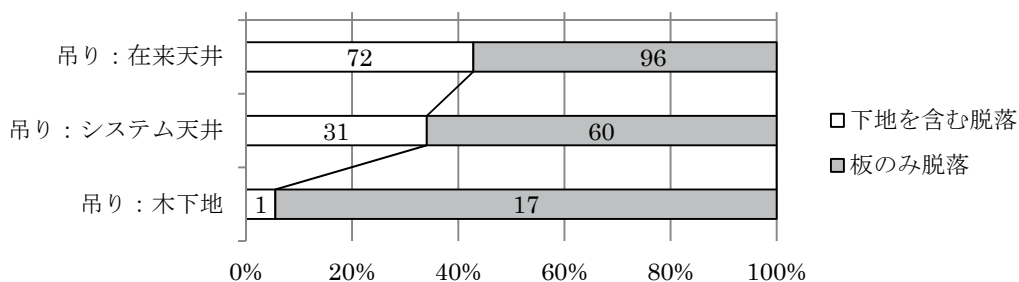


図 19 脱落した天井の被害程度（天井の下地別）

③天井の振動被害と構造の震動被害等との関係

（構造の震動被害との関係）

- ・校舎の天井に脱落被害のあった建物について、構造の震動被害²⁴との関係について確認したところ、RC造の校舎については、ほとんどの建物において構造被害は軽微であった。また、S造の校舎についても、ほとんどの建物で構造被害が報告されておらず、軽微あるいは小破にとどまっている。このことから、天井震動被害と構造被害との明確な相関は見受けられなかった。

（構造性能との関係）

- ・また、天井に脱落被害のあった建物について、耐震診断・補強の実施状況について詳細に調査は実施していないものの、図 12 にあるとおり、RC造、S造ともに、明らかに新耐震基準で建てられている 1990 年代、2000 年以降の建物でも、天井の脱落被害が発生している。言い換えれば、建築年代が新しい施設でも、新耐震基準の施設であっても、天井の被害が生じており、構造体の耐震化が図られている施設も含め、天井の耐震対策が求められると言える。

²⁴ 構造の被災度区分については、被災度区分判定手法に基づき、軽微、小破、中破、大破に分類。被災後に日本建築学会が実施した「文教施設の耐震性能等に関する調査」の対象施設については、その結果を入力しているが、調査対象外の施設については、学校設置者からの報告、被害写真や図面等に基づき被災度を区分しており、被害の概略を捉えるものとは考えられるが、個別建物を詳細に調査した結果ではないことに注意が必要である。

2-1-2 屋内運動場における非構造部材の震動被害と構造性能・特性の関係に関する検討

a). 窓ガラス

①調査方法の概要

- ・ I 編第 3 章 3-1 に記載のとおり，調査対象 5 県の公立の小学校，中学校，中等教育学校，高等学校及び特別支援学校の屋内運動場 1,538 棟を対象に，窓ガラスの震動被害と，構造の震動被害や構造形式，建築年代などとの関係を調査した。
- ・ 調査対象施設のうち，災害復旧資料から建築年代や耐震診断・補強の実施状況が判明した屋内運動場は 1,482 棟あった。
- ・ 1,482 棟のうち，窓ガラスについて何らかの震動被害が報告された屋内運動場は 206 棟あった。窓ガラスの被害については，「障子ごと脱落」，「可動サッシガラス割れ」，「サッシ窓はめ殺し割れ」²⁵の 3 つに分類し整理²⁶した。各被害の例を写真 5 に示す。



(1)障子ごと脱落

(2)可動サッシガラス割れ

(3)サッシ窓はめ殺し割れ

写真 5 窓ガラスの震動被害の例

②窓ガラスの震動被害と屋内運動場の構造形式との関係

- ・ 窓ガラスに関する震動被害が報告された屋内運動場 206 棟のうち災害復旧資料から判断できなかったものを除く 160 棟について，窓ガラスの震動被害と屋内運動場の構造形式との関係を図 20 に示す。可動サッシガラス割れとサッシ窓はめ殺し割れについては，どのタイプの屋内運動場においても同様にみられるが，障子ごと脱落した棟数は，RS タイプの屋内運動場で最も多い。RS タイプの屋内運動場で障子ごと脱落した被害が多かった原因としては，図 21 に例示するように，鉄骨架構と窓面のある外壁が離れて設置された屋内運動場で外壁が剛性の低い軒梁等に接合されたような場合に，張間方向の応答に伴い軒梁先端が大きく上下方向に変形したことが考えられる。

²⁵ アルミサッシはめ殺し割れ，スチールサッシはめ殺し割れの計。はめ殺し窓とは，枠材にガラスをはめ込み固定した，開閉しない窓。

²⁶ 同じ棟で 2 種類の被害が見られた場合は，より大きな変形で発生したと考えられる被害で代表した。

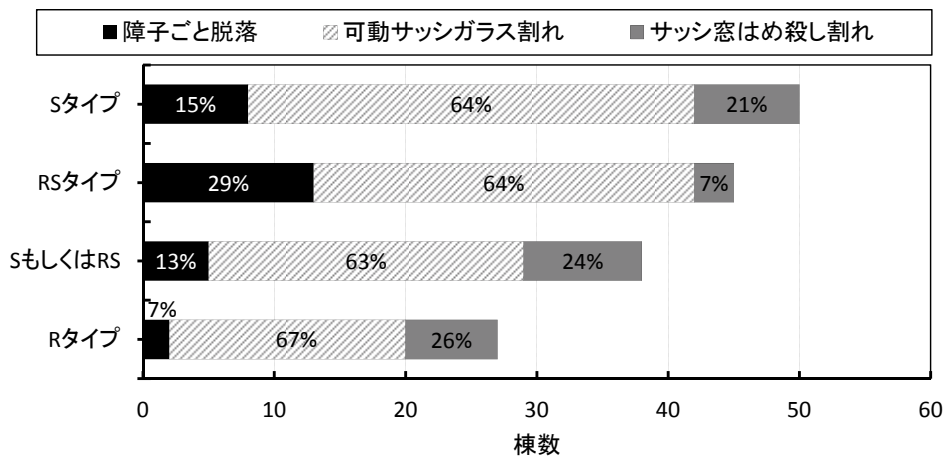


図 20 窓ガラスの震動被害と屋内運動場の構造形式との関係²⁷

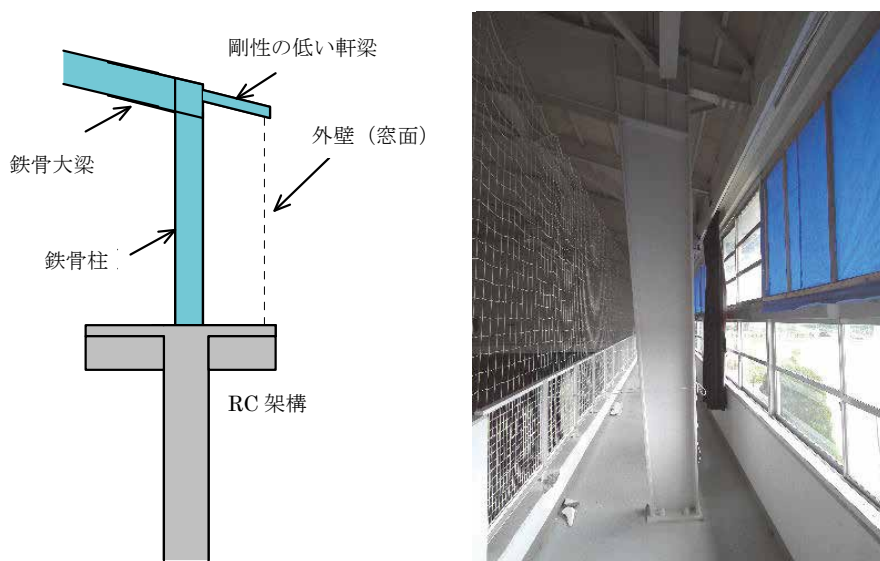


図 21 障子ごと脱落した RS タイプの屋内運動場の例

③窓ガラスの震動被害と屋内運動場の建築年代、耐震診断・補強の状況との関係

- ・窓ガラスに関する震動被害が報告された屋内運動場 206 棟のうち災害復旧資料から判断できなかったものを除く 202 棟について、I 編第 3 章 3-1 の天井の場合と同様に建築年代及び耐震診断・補強の有無で分類し、図 22 に示す。ここで、調査対象とした屋内運動場 1,482 棟の内訳は、新耐震 732 棟、うち 2001 年以降の施設 146 棟、1991 年から 2000 年の間の施設 239 棟、1982 年から 1990 年の施設 347 棟であり、補強済み 260 棟、補強不要 67 棟、未対応 423 棟であった。
- ・窓ガラスに何らかの被害があった棟数と調査対象に占める割合は、新耐震の施設全体で 77 棟 (10.5%)、このうち 2001 年以降の施設 10 棟 (6.8%)、1991 年から 2000 年の間の施設 22 棟 (9.2%)、1982 年から 1990 年の間の施設 45 棟 (13.0%)、補強済み 40 棟 (15.4%)、補強不要 9 棟 (13.4%)、未対応 76 棟 (18.0%) と、耐震性能の低い施設が多く含まれる未対応の施設で、窓ガラスの被害が発生した棟数、割合共に高くなっている。また、新耐震の施設、構造の耐震性能が新耐震と同等と考えられる補

²⁷ 各々のタイプ分類については、本報告書 p.12~13 I 編第 3 章 3-1-3 参照。

強済み及び補強不要の施設においても、建築年が古いものほど窓ガラスに被害が発生する割合が増えている。

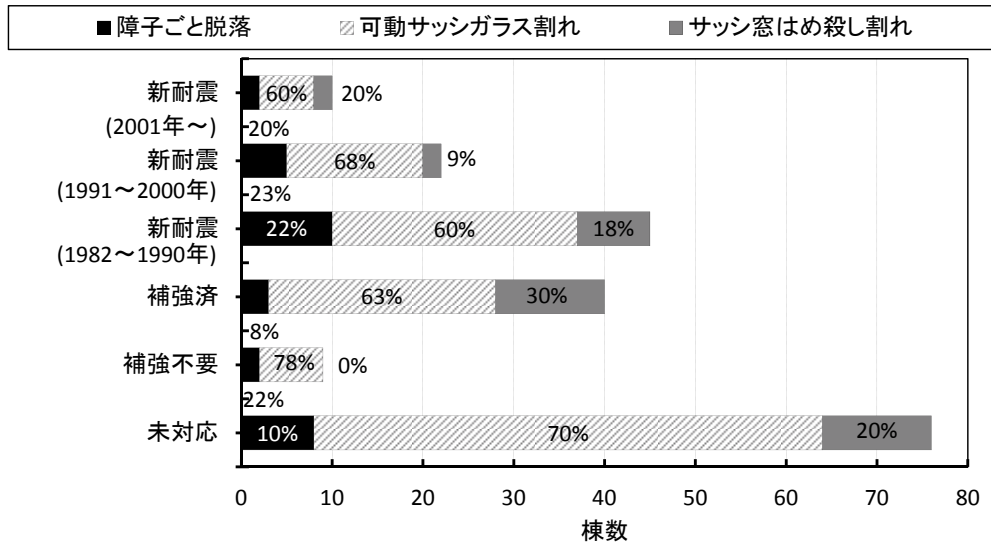


図 22 窓ガラスの震動被害と建築年代、診断・補強の状況との関係

- ・このほか、被災度区分判定の結果から、構造が受けた震動被害との関係についても分析したが、構造の被害の大小に関わらず、窓ガラスは大きな被害を受けていることがわかった。（参考資料 2 3.4 参照）

b). 外壁・内壁

①調査方法の概要

- ・本章 2-1-2 a) 窓ガラスと同様、調査対象 5 県の公立の小学校、中学校、中等教育学校、高等学校及び特別支援学校の屋内運動場 1,538 棟のうち災害復旧資料から建築年代や耐震診断・補強の実施状況が判明した 1,482 棟を対象に、外壁、内壁の震動被害と、構造の震動被害や構造形式、建築年代などの関係を調査した。
- ・外壁・内壁の脱落の例を写真 6 に、外壁及び内壁の脱落が報告された屋内運動場における建築年代、耐震診断・補強の状況と主架構を構成する構造要素の被災度区分（最大値）の関係をそれぞれ図 23、図 24 に示す。
- ・外壁が脱落したものは、新耐震 28 棟、補強済み 16 棟、補強不要 12 棟、未対応 28 棟で、調査対象に占める割合はそれぞれ 3.8%、6.2%、17.9%、6.6%となっている。図 15 を見ると、変形追従性の低い外壁が使われていることが多い建築年代の古い施設で脱落が多く発生していることがわかる。補強不要の施設での発生率が高いことと、構造要素の被災度区分との関係から、構造の耐震性能との相関性は低いと言える。

- ・また、写真6 (2)に例示するように、サイディングなど変形追従性が高いと考えられている外壁の脱落も発生している。個別の被害事例を見ると、構造骨組みと離れた位置に壁が取り付けられ構造骨組みと一体になっていなかった、あるいは構造骨組み自体の剛性が不足していたといったものもある。変形追従性の高いと考えられている構法であっても脱落した原因の一つとして、そうした状況により壁の取り付け位置での応答変形が大きくなったことが考えられる。



写真6 外壁・内壁の脱落被害の例

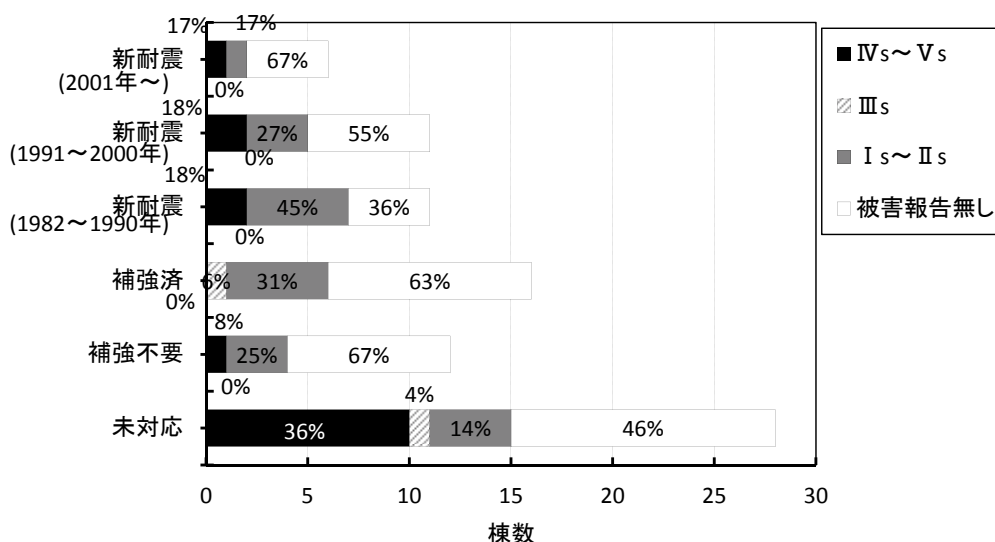


図23 外壁が脱落した屋内運動場における構造の被災度区分²⁸

- ・一方、内壁の脱落については、新耐震17棟、補強済み12棟、補強不要4棟、未対応11棟で発生しており、調査対象に占める割合はそれぞれ2.3%、4.6%、6.0%、2.6%と建築年代の古い屋内運動場で多く発生している傾向はあるが、外壁同様に構造の耐震性能との相関性は低いと言える(図24)。

²⁸ 日本建築防災協会：再使用の可能性を判定し、復旧するための震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針 第2版，2002.8 参照。I s～V sは被災度区分判定基準に基づく構造骨組みの被災度を指す（I s～II s：小破～中破。III s：中破。IV s～V s：中破～大破。）

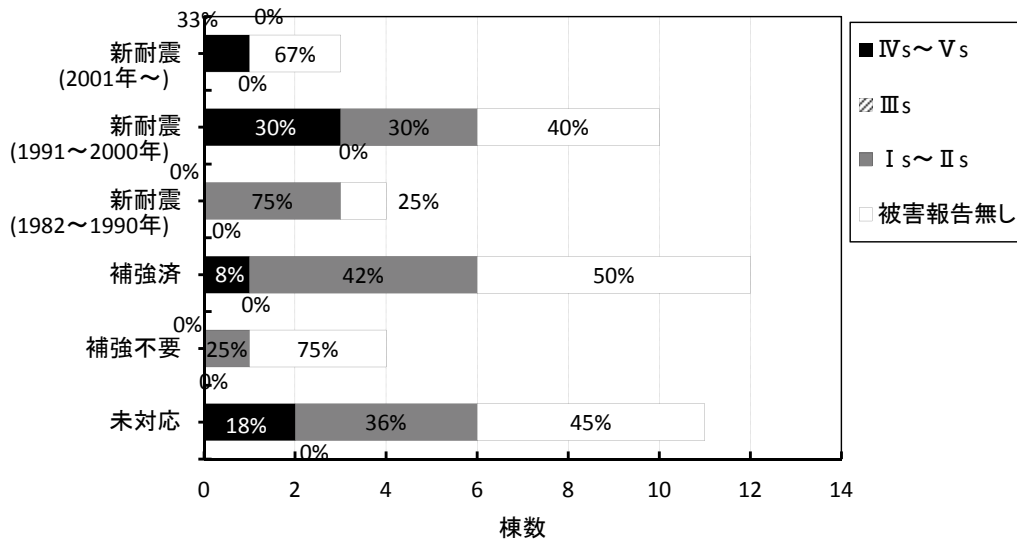


図 24 内壁が脱落した屋内運動場における構造の被災度

2-1-3 校舎・屋内運動場の被害に関する補足調査・分析

①校舎のコンクリートブロック壁の被害

(調査結果)

- ・コンクリートブロック壁の脱落被害があった 12 棟すべてが、建築後 25 年以上経過²⁹している老朽施設³⁰であった。
- ・被害の発生した場所は、教室等が 5 棟 (約 42%)、便所等が 7 棟 (約 58%) であった。また、脱落被害 12 棟のうち 10 棟 (約 83%) が天井裏のコンクリートブロックが脱落した被害であった。(写真 7)
- ・被害の状況については、脱落被害 12 棟のうちコンクリートブロック壁と周囲との緊結がなかったものは 10 棟 (約 83%) であった。なお、周囲と緊結されていたものは 3 棟 (緊結の有り、無しの両方の被害を含む事例 (2 棟) はダブルカウントしている。以下同じ。)、緊結状況が不明なものは 1 棟であった。



写真 7 コンクリートブロック壁の一部脱落

²⁹ 東日本大震災の発生年 (2011 年) を基点とし、築年数が 25 年以上の施設を集計した。以下、2-1-3②~④も同様の集計としている。

³⁰ 文部科学省が設置した有識者会議の報告「学校施設の老朽化対策について～学校施設における長寿命化の推進」(平成 25 年 3 月 学校施設の在り方に関する調査研究協力者会議)において、築年数が 25 年以上の施設を「老朽施設」としており、本報告書においても同様の考え方とした。

(調査結果に対する所見)

- ・被害の発生した場所については、教室等が約 42%となっており便所等と比較すると低くなっているが、室の用途を考えると1日の大半の時間を過ごす教室等に一層の注意が必要であると考えられる。
- ・脱落被害 12 棟のうちコンクリートブロック壁と周囲との緊結がなかったものが8割を超えており、コンクリートブロック壁と周囲を鉄筋等で緊結しないと地震に対してぜい弱である(弱い)ことが確認された。また、周囲との緊結があつたにもかかわらず脱落したのも3棟あり、配筋の間隔等に配慮し適切に緊結する必要性が確認された。
- ・これらの被害傾向に加え、コンクリートブロック壁については、天井裏からコンクリートブロックの固まりが天井を突き抜けて落下する危険性を有しており、今後一層の注意喚起を行うとともに、脱落を防止するための耐震対策を講じる必要がある。
- ・なお、上記の脱落被害 12 棟の全てが老朽施設であつたが、緊結の状況については老朽度合いにかかわらず注意が必要である。

②屋内運動場の窓ガラスにおける障子ごとの脱落被害

(調査結果)

- ・障子ごとの脱落被害 25 棟のうち、老朽施設は 17 棟(68%)、非老朽施設は 8 棟(32%)であった。
- ・被害の発生した面(桁行/張間)については、桁行面が 21 棟(約 84%)であった。そのうち被害のあつた開口部の幅が 10m以上のものは 17 棟(約 81%)であり、また 17 棟全てについて、被害のあつた開口部の面が構造体の柱から水平方向に外側に離れており、その距離は約 0.5m~1.5mであった。(写真 8, 図 25)



写真 8 桁行面の窓と柱の関係(例)

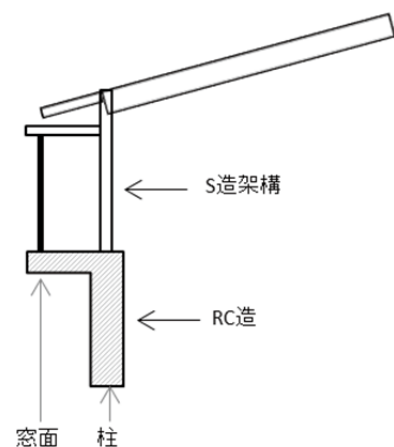


図 25 桁行面開口部の断面図

(調査結果に対する所見)

- ・桁行面で開口部の幅が 10m以上の箇所での被害が 8 割を超えており、桁行面の大

開口を有する屋内運動場の特徴を捉えた被害である。

- ・被害のあった開口部の幅が 10m 以上のもの 17 棟全てについて、被害のあった開口部の面が構造体の柱から水平方向に外側に離れており、同様の形式の建物は注意が必要であると考えられる。
- ・これらの被害傾向から、屋内運動場における桁行面の大開口部の窓については、開口部の面が構造体の柱から外側に持ち出したものを中心に、より一層の注意喚起を行うとともに、障子の脱落防止やガラスの飛散防止対策を講じる必要がある。

③屋内運動場の外壁モルタルの脱落被害

(調査結果)

- ・屋内運動場の外壁脱落被害 97 棟のうちモルタル脱落被害は 28 棟（約 29%）であり、その全てが老朽施設であった。
- ・被害規模については、おおむね 10 m²以上の脱落被害（以下「面的脱落」という。）が 20 棟（約 71%）、おおむね 6m 以上の高所からの脱落被害（以下「高所脱落」という。）が 20 棟（約 71%）であった。
- ・被害の発生した面については、28 棟のうち 24 棟（約 86%）が張間面（妻面）であった。（写真 9、図 26）



写真 9 外壁妻壁のラスシートの全面脱落

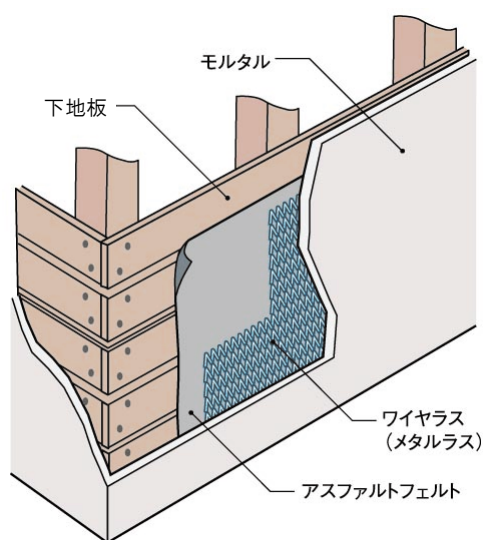


図 26 ラスモルタルの施工例

(調査結果に対する所見)

- ・屋内運動場の外壁脱落被害 97 棟のうちモルタル脱落被害の割合は約 3 割であるが、被害規模については、面的脱落、高所脱落ともに 7 割を超えており、重大な被害につながるおそれのある事例が多い。
- ・妻面の被害が約 9 割と多く、妻面の開口部が少なく壁になっている屋内運動場の特徴を捉えた被害である。また、脱落被害のあった 28 棟全てが老朽建物であり、建築後 25 年以上経過している建物の外壁モルタル等については注意が必要である。
- ・これらの被害傾向から、屋内運動場における外壁妻面のモルタル壁については、面的脱落又は高所脱落のおそれのある老朽化したものを中心に、より一層の注意喚起を行うとともに、脱落防止対策を講じる必要がある。

④屋内運動場の内壁妻面の脱落被害

(調査結果)

- ・屋内運動場の内壁脱落被害 66 棟のうち、妻面の面的脱落又は高所脱落等、危険性の高い被害は 30 棟³¹ (約 45%) であり、これらについて傾向の把握を試みた。
- ・老朽施設は 20 棟 (約 67%)、非老朽施設は 10 棟 (約 33%) であった。
- ・面的脱落が 8 棟 (約 27%)、高所脱落が 24 棟 (80%) であり、高所脱落 24 棟のうち天井や梁との取り合い部の脱落被害は 13 棟 (約 54%) であった。(写真 10, 11)
- ・脱落した材料はボード類が 27 棟 (90%)、モルタル類が 3 棟 (10%) であった。なお、モルタル類が脱落した建物は全て老朽建物であった。



写真 10 内壁（有孔ベニヤ板）の脱落



写真 11 内壁（ラスモルタル）の脱落

(調査結果に対する所見)

- ・屋内運動場における内壁妻面の脱落被害のうち、約 7 割が老朽施設であり、経年 25 年以上経過している建物の内壁は注意すべきであると考えられる。
- ・面的脱落については、高所脱落と比較すると発生率が低いですが、面的脱落が発生した場合には多くの児童生徒等が被害に巻き込まれる危険性がある。また、高所脱落については、内壁妻面の脱落被害のうち 8 割と発生率が高く、またそのうちの約半数が天井や梁の取り合い部から脱落しており、重大な被害につながる危険性がある。
- ・これらの被害傾向から、屋内運動場の内壁妻面については、より一層の注意喚起を行うとともに、大規模な脱落や天井・梁等の取り合い部を含めた高所からの脱落を防止するため、耐震対策を講じる必要がある。

³¹ 66 件中の内数は 29 件であるが、29 件のうち 1 件が 2 棟含んでいるため、30 件として整理している。

2-2 個別調査・分析の結果（校舎）

- ・本調査は、東日本大震災における被害を踏まえ、個別の被害事例について調査・分析を行うことを通じ、推定される被害原因から具体的な対策手法を検討するために行うものであり、個別の学校の被害に対する原因を特定するためのものではない。
- ・そのため、地方公共団体から提出のあった設計図書や被害写真等の限られた資料から調査・分析を行い、第3章で示す想定される対策手法を検討したものである。
- ・なお、より詳細な情報を得るために必要に応じて現地調査を行い、その結果を踏まえて調査・分析及び対策手法の提案を行っている。

2-2-1 階高の高い大空間の天井の脱落

（建物概要）³²

栃木県／中学校／校舎／RC造2階建て／1990年／多目的室

（被害概要・原因）

- ・1.5層分の階高を持つ大空間（高さ5.6m、面積279㎡）の多目的室の天井が下地材ごと脱落している。当該室の屋根は他の校舎から突出した形になっている。天井の仕様は石膏ボード下地にロックウール吸音板仕上げの在来天井である。屋根形状は緩やかなアーチ状になっている一方で、天井形状は平天井（段差あり）であり、吊り長さが均一ではない。天井面が段差部分で破損したり、壁際で野縁が曲がっていたりしていることから、地震時の天井面の衝突により破損・脱落したものであると思われる。



写真12 階高の高い大空間の天井の脱落

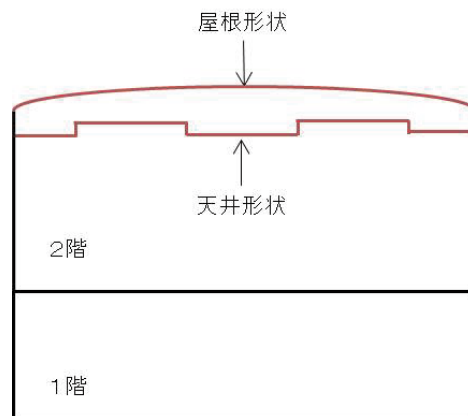


図27 断面図

2-2-2 折れ曲がり天井の脱落

（建物概要）

宮城県／小学校／校舎／RC造2階建て／1985年／音楽室

（被害概要・原因）

- ・2階建てRC造校舎の2階音楽室の折れ曲がり天井が脱落している。天井の仕様は石膏ボード9mm捨て張りの上に化粧ロックウール吸音板19mmである。天井裏には斜め部材などが全くない。天井を取り付けているコンクリートスラブが約1/30の

³² 建物概要として、所在地／学校種／校舎・屋内運動場の別／構造種別・階数／築年数／調査対象箇所

勾配を有しており、折れ曲がり方向と直交する方向に吊りボルトの長さが若干違っている。

- ・斜め部材が全くなく、折れ曲がり天井であったため脱落したと考えられる。



写真13 折れ曲がり天井の脱落

2-2-3 システム天井の脱落

(建物概要)

福島県／中学校／校舎／RC造3階建て／1976, 1978年／普通教室等

(被害概要・原因)

- ・3階建て校舎の全ての階及び階段室のペントハウス部分で天井が脱落している。
- ・被害は、天井板のみの脱落、破損したTバーを含めた脱落、脱落に至らないまでもTバーに変形が生じている、などである。
- ・天井板の脱落は、1階では1～2枚ずつ点々と、2階では5枚程度まとまった一列で、3階では10枚程度まとまって見られ、上階に行くほど被害の程度がひどくなっている。
- ・脱落箇所は壁際や梁際が多く、中央部での脱落も一部で見られる。
- ・Tバーに変形が見られ、天井板の脱落が多く生じていることから、天井と周囲の壁などとの衝突が天井板の脱落に影響を与えていることが考えられる。



写真14 システム天井の脱落（普通教室）



写真15 Tバーの破損・変形（廊下）

2-2-4 天井裏の設備等の脱落

(建物概要)

宮城県／小学校／校舎／RC造3階建て／1985年／理科室等

(被害概要・原因)

- ・3階建て RC 造校舎における天井面の輻射暖房の設備で、アルミルーバー、反射板、放射管の一部が脱落している。脱落した部屋は、職員室、普通教室、特別教室等である。
- ・暖房設備が脱落したのは特別教室等のスパンの大きい教室で、比較的スパンの小さい普通教室では脱落していない。また、上階ほど被害が多かった。
- ・部屋の内部に口の字型に輻射暖房が回っているが、その設備が脱落しており、天井板はほぼ無被害であった。口の字の内側より外側の天井の方が揺れにくいいため、間に挟まれている設備が脱落したと考えられる。
- ・当該設備は古いタイプの設備で、天井に全ての荷重を負担させていることに注意が必要である。



写真 16 天井裏の暖房設備の脱落

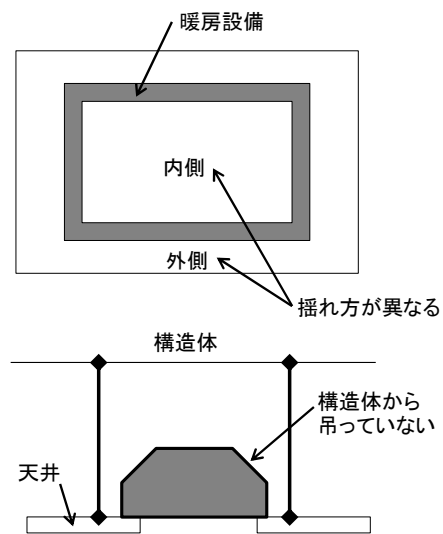


図 28 天井裏の暖房設備の状況

2-2-5 横連窓の障子ごとの脱落

(建物概要)

宮城県／小学校／校舎／RC 造 4 階建て／1990 年／音楽室

(被害概要・原因)

- ・音楽室は 4 階の搭屋に位置し、搭屋は円形の平面形状となっており、階高が比較的高い。この音楽室の横連窓において、障子の脱落及び窓ガラスの損傷が確認された。横連窓の部分は RC 造架構の外側に張り出したサッシであり、一部で下階が吹き抜けとなっている。
- ・被害があった音楽室の窓は、片引き形式で、障子が 1 枚脱落した。窓の上下には垂れ壁と腰壁が取り付け、層間変形が集中しやすい横連窓であった。窓面が RC 造架構の外側に張り出しており、架構面内における変形の制限を受けることなく大きく揺れたことが考えられる。また、一部で下階が吹き抜けのため、一般的な窓と比較して上下方向の変形も受けやすい状態にあったと考えられる。
- ・地震による揺れによって当該窓に過大な変形が集中して、窓ガラスの破損等が生じたと考えられる。



写真17 横連窓の障子ごとの脱落 (4階音楽室)



写真18 校舎外観

2-2-6 渡り廊下における外壁等の脱落

(建物概要)

宮城県／中学校／校舎／RC造3階建て(校舎)，S造(渡り廊下)／1991年

(被害概要・原因)

- ・東西方向に長い校舎2棟の間をつなぐ渡り廊下と校舎のエキスパンション・ジョイント近傍で、渡り廊下の2階外壁の押出成形セメント板が脱落しており、1階の外部天井も天井板が脱落している。2階外壁の脱落は上部の方がより大きくなっている。
- ・さらに、渡り廊下を支えているRC造校舎との定着部において、アンカーボルトの破断や変形、コンクリートの破壊、脱落が生じている。
- ・この渡り廊下は、独立柱によって自立した構造ではなく、両側のRC造の校舎に支えられている構造であり、全ての地震水平力は定着部を通じて校舎に伝達される構造として設計されたものであると推察される。しかし、渡り廊下の鉄骨梁を校舎に定着している部分が地震時に水平せん断力を伝えきれず、この部分のアンカーボルトやコンクリートに被害が生じたものと考えられる。
- ・さらに、この被害のため、渡り廊下の水平支持能力が低下して構造全体が水平移動してしまい、これに伴って外壁の過大な変形や校舎との衝突を生じ、外壁及び天井が脱落したのと考えられる。また、外壁脱落は上部の方が大きいことから考えて、渡り廊下の骨組み自体の水平剛性も不十分であった可能性が想定される。



写真19 外装材(押出成形セメント板)の脱落

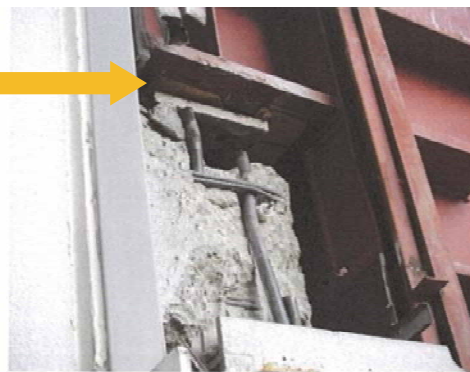


写真20 アンカーボルトの破断・変形

2-2-7 ALC パネルの脱落

(建物概要)

宮城県／中学校／校舎／S 造 4 階建て／1979 年

(被害概要・原因)

- ・ S 造 4 階建ての校舎における西側の階段室の外壁 ALC パネルが広範囲にわたって破損している。そのうち、数枚はパネルの交換が必要な破損である。破損は目地部分を中心にパネルの欠損を伴っている。内壁のパネルも破損が見られる。
- ・ 破損箇所の一部は 4 階のペントハウスへの階段室部分であり、周囲との挙動の違いが影響した可能性もあると思われる。1979 年建築の校舎で、縦壁挿入筋構法³³で ALC パネルが取り付けられていた。
- ・ 脱落はしていないが、重量のある ALC パネルが高所から落下した場合に児童生徒等に被害が及ぶ危険性が高いと考えられる。



写真 21 外装材 (ALC パネル) の損傷



(参考) 写真 22 過去の震災における ALC パネルの脱落被害

2-2-8 バルコニー先端の RC 造腰壁の傾斜

(建物概要)

茨城県／中学校／校舎／RC 造 4 階建て／1975 年

(被害概要・原因)

- ・ バルコニー先端に手すりとして設置された一体打ち RC 造の腰壁が、一部で傾斜して、隣接する腰壁との間にずれが生じている。
- ・ 地震時に大きな加速度が作用し、慣性力によってこの部分の腰壁が傾斜したことが推察され、その基部では縦筋が降伏している等の損傷が危惧される。腰壁には水平距離 8.5m ごとに幅 100 mm の間隔 (スリット) が設けられており、その間に繋ぎ筋はない。
- ・ この事例では脱落は免れたが、地震の揺れ方によっては重量のある RC 造腰壁が高所から落下する可能性があり、重大な被害を招く恐れがある。

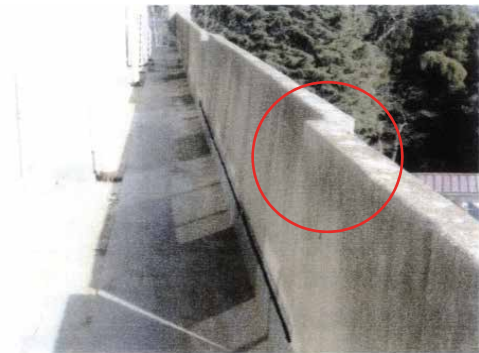


写真 23 バルコニー先端の RC 造腰壁の傾斜

³³ ALC パネルを外壁の縦壁として取付ける構法。層間変位追従性に乏しく、2002 年に廃止され、現在は耐震性のより高いロッキング構法へと全面的に変更されている。

2-2-9 教室のコンクリートブロック間仕切り壁の倒壊

(建物概要)

茨城県／中学校／校舎／RC造3階建て／1981年

(被害概要・原因)

- ・教室間の間仕切り壁として用いられていたコンクリートブロック壁が、全面にわたって倒壊している。コンクリートブロック壁が倒壊後も一体性を保っていることから、コンクリートブロック壁内には配筋がなされているものと推察される。
- ・一方、コンクリートブロック壁側部と周辺のRC造架構との緊結については、元々は可動式の間仕切り壁の戸当たりとしてRC造架構にとめ付けてあった木材にコンクリートブロックをはめ込んでおり、緊結されていなかったと見られる。
- ・また、コンクリートブロックをはめ込んでいる木材は、RC造架構にくぎのようなもので数箇所がとめ付けられているのみである。そのため、面外方向の振動を受けてコンクリートブロック壁の荷重に耐えきれずにとめ付け箇所が引き抜かれ、コンクリートブロック壁が倒壊したものと推察される。
- ・上記は極めてまれなケースで今回の地震被害では唯一の事例であるが、コンクリートブロック壁は、十分な配筋及び周辺の構造体との有効なつなぎあるいはアンカーがないと、振動によって部分的に落下する危険性が高い。今回の地震被害でも、RC造架構との緊結が不十分であったためにコンクリートブロックの塊が部分的に落下した事例が複数ある。(写真26, 27参照)



写真24 コンクリートブロック壁の全面倒壊



写真25 RC造架構との境界部分



(参考) 写真26 頂部にアンカーがなく
ブロック壁が落下した事例



(参考) 写真27 教室間のブロック壁が天井裏から落下した事例