

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・充実を図ることを目的とし，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			全数調査・分析	個別調査・分析
校舎	天井	脱落 150 件 破損 188 件	脱落 150 件の全数を調査・分析 構造被害との相関についても分析	段差・折れ曲がり天井の脱落事例 大空間天井の脱落事例 システム天井の脱落事例 等
	窓ガラス	割れ 236 件	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 件 クラック 609 件		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 件 クラック 789 件	破損・脱落 32 件中、コンクリートブロック 壁脱落 12 件を補足調査・分析	コンクリートブロック間仕切り壁 の脱落事例
	EXP. J	破損 806 件	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 件 一部脱落 88 件 破損 39 件	被害のあった 152 件のうち岩手県、宮城県、 福島県、茨城県、栃木県の調査対象 5 県の被害 123 件に無被害※の事例もあわせ、天井が 設置されていた 165 件について構造被害との 相関を分析（第 I 編第 3 章）	昨年度、手引の検討の際に 対策手法等を検討済み
	照明	脱落 72 件 脱落 15 件 破損 107 件	全数調査・分析までは実施せず	
	運動器具	脱落 11 件 破損 33 件		
	窓ガラス	障子ごと脱落 34 件 割れ 142 件 はめ殺し 44 件	調査対象 5 県の被害 206 件について構造被害 との相関を分析。 加えて、障子ごと脱落 34 件中、25 件を補足 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 件 クラック等 282 件	脱落 97 件中調査対象 5 県の被害 84 件につい て構造被害との相関を分析。 加えて、脱落 97 件中、外壁モルタル脱落 28 件を補足調査・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 件 クラック等 273 件	脱落 66 件中調査対象 5 県の被害 44 件につい て構造被害との相関を分析。 加えて、脱落 66 件中、内壁妻面脱落 30 件を 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 件 破損 52 件	全数調査・分析までは実施せず	軒天井ボードの脱落事例

※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

※校舎の被害については学校単位、屋内運動場の被害については棟単位で集計

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体の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

ガラスの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、天井落下防止対策等検討ワーキンググループ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

- ・天井被害に着目し、〇〇県を対象に、〇件について、構造被害との相関を分析した。
(P) (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 件について構造被害との相関を分析した。
(第 I 編第 3 章)
- ・また、上記の 5 県を対象に、窓ガラスの被害のあった 206 件、外壁の脱落があった 84 件、内壁の脱落があった 44 件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 件
 - ・屋内運動場の窓ガラスでの障子ごとの脱落被害 25 件
 - ・屋内運動場の外壁モルタルの脱落被害 28 件
 - ・屋内運動場の内壁妻面の脱落被害 30 件

1-3 個別調査・分析の実施

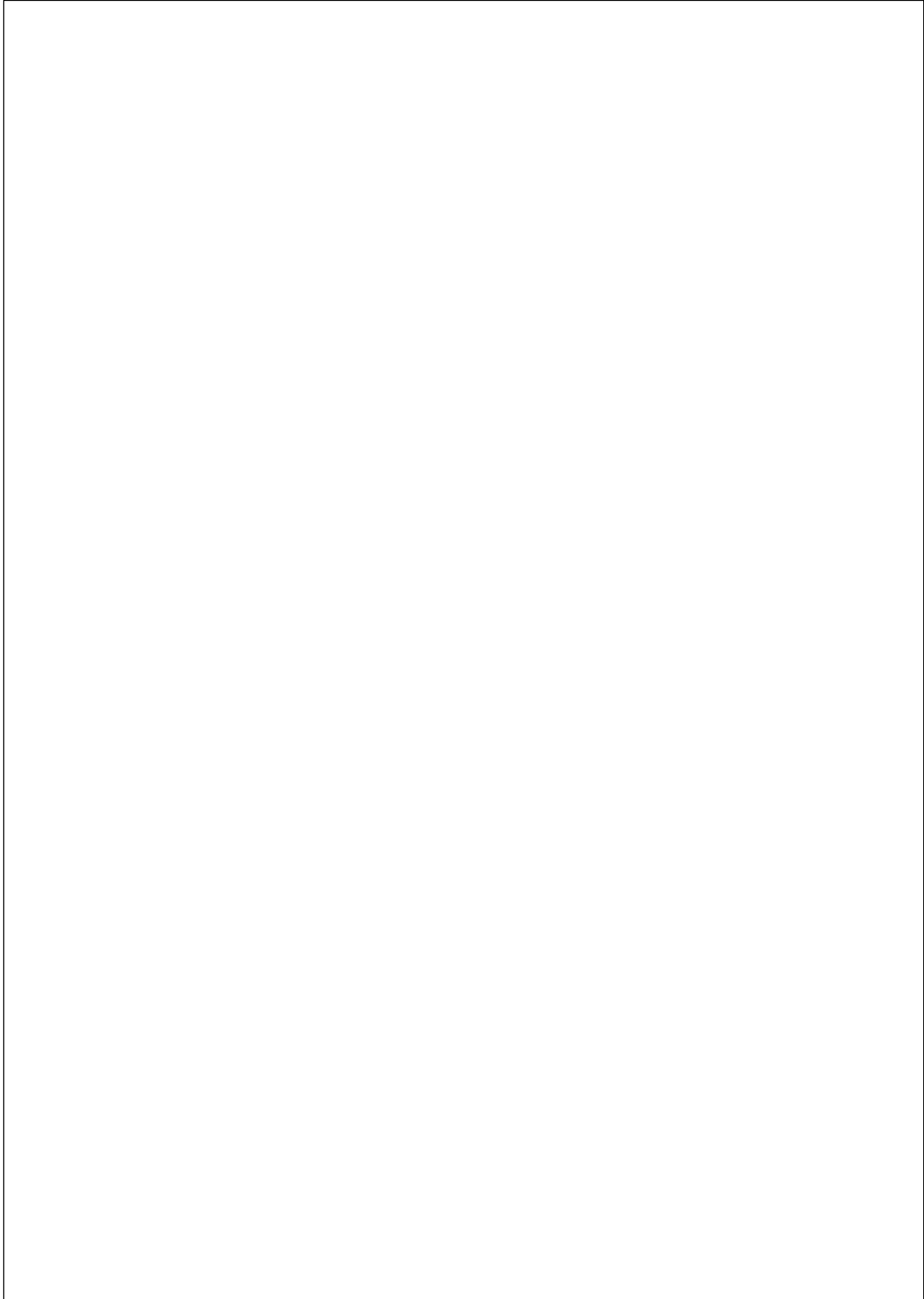
- ・具体的な対策手法の検討を目的とし、東日本大震災における学校施設の被害事例の中から、全数調査の内容や具体的な被害事例を確認した結果、非構造部材の被害程度が著しい事例（被害件数が多い又は被害が発生した場合に児童生徒等に及ぶ危険性が高い事例で、特に注意喚起を要する被害と判断した事例）について、設計図書や被害写真等の詳細な資料を基に、被害の原因等を一定程度分析した上で、想定される対策手法等の検討を行った。また、必要に応じ、現地調査を実施し、被害要因等について情報を収集した上で再度分析を行った。
- ・調査・分析を行った被害事例は 34 件で、概要は別添「個別調査・分析の調査事例一覧」の通りである。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 件（別添において○で示した事例）について被害原因及び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と構造性能・特性に関する検討

非構造グループが作成している校舎天井の被害分析をまとめて記載



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，中学校及び高等学校の屋内運動場 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」¹⁵の 3 つに分類し整理¹⁶した。各被害の例を写真 3 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 3 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 12 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 13 に例示するように，鉄骨架構と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。

¹⁵ 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。

¹⁶ 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。

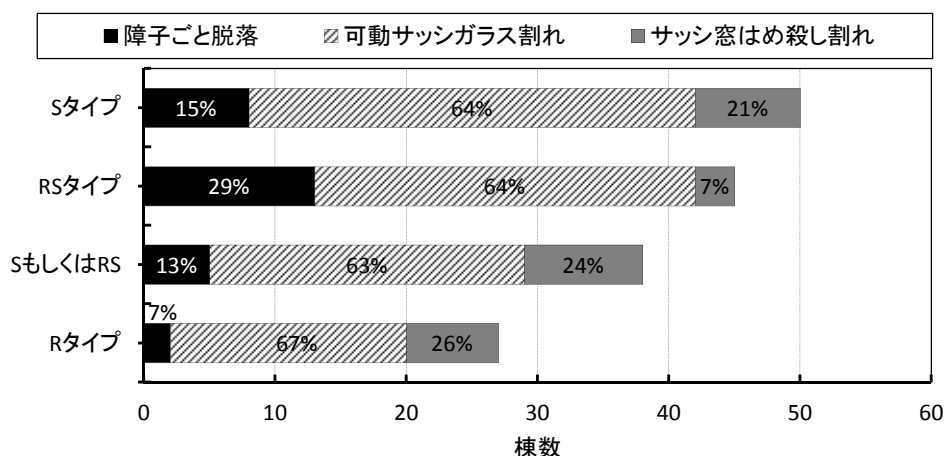


図 12 窓ガラスの震動被害と屋内運動場の構造形式との関係

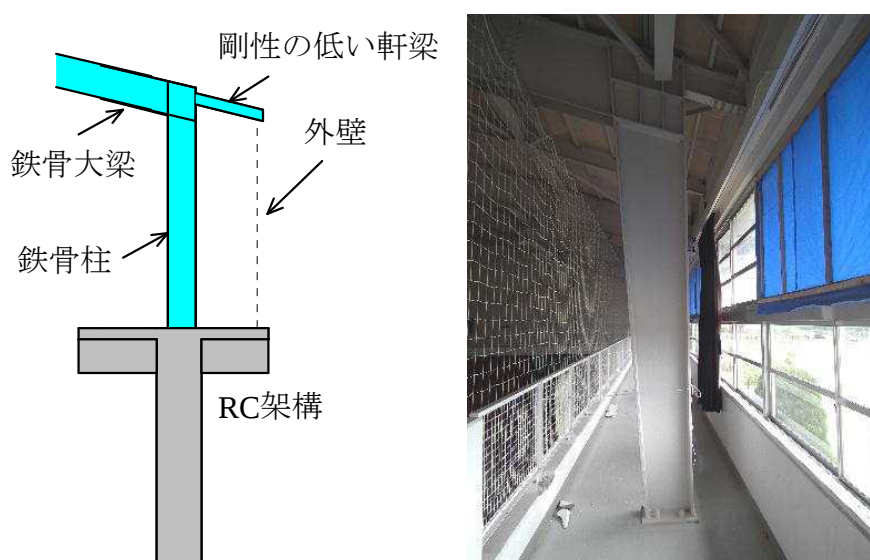


図 13 障子ごと脱落した RS タイプの屋内運動場の例

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 14 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その割合は，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。

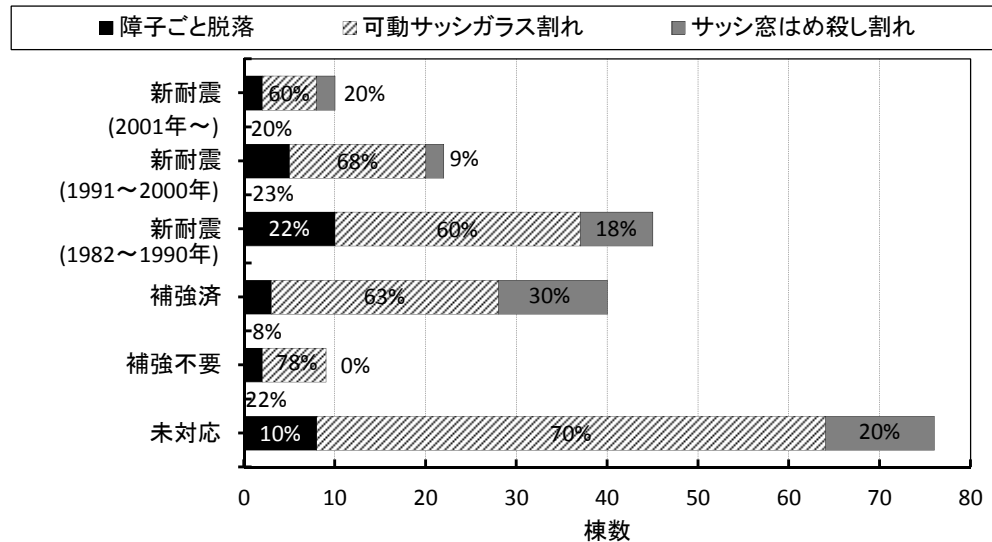


図 14 窓ガラスの震動被害と建築年代、診断・補強の状況との関係

- ・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。（参考資料〇3.4 参照）

b). 外壁・内壁

①調査方法の概要

- ・Ⅰ編第3章3-1及びⅡ編第2章2-1-2に記載のとおり、調査対象5県の公立の小学校、中学校及び高等学校の屋内運動場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4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⁶⁾の最大値の関係をそれぞれ図15、図16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、変形追従性能が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4(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4 外壁・内壁の脱落

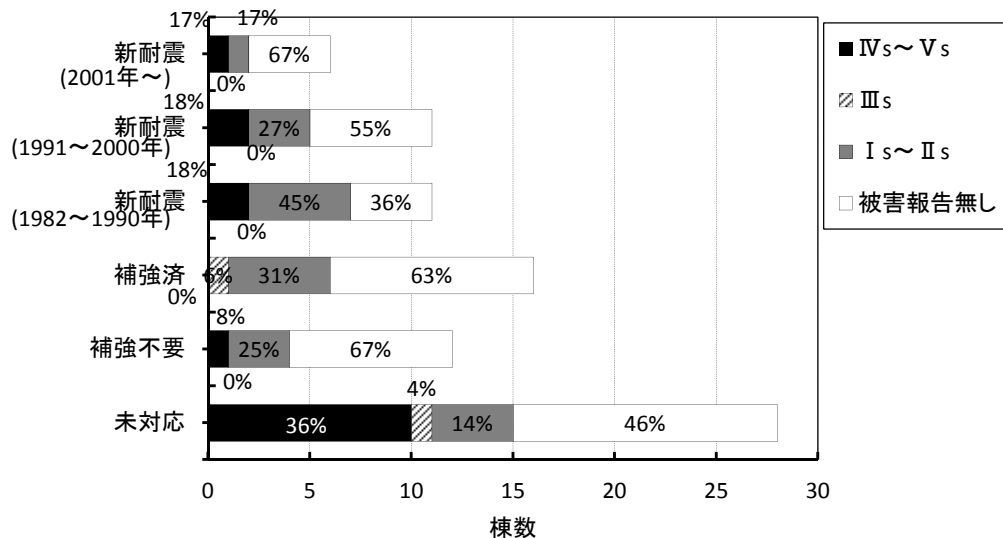


図15 外壁が脱落した屋内運動場における構造の被災度区分

- 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%となっている。図 16 を見ると、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いえる。

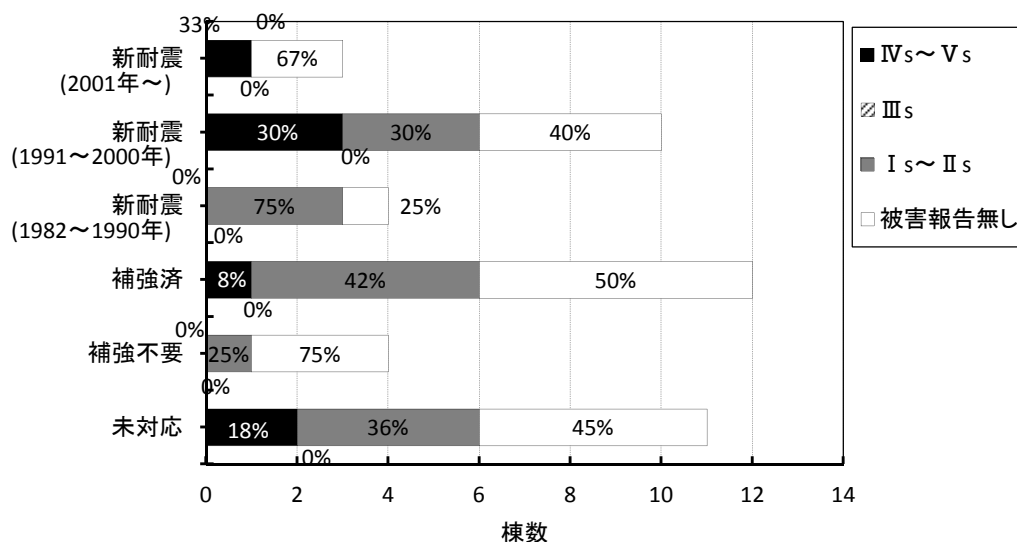


図 16 内壁が脱落した屋内運動場における構造の被災度

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 12 件のうち、建築後 25 年以上経過している老朽施設¹⁷、25 年未満の非老朽施設の別については、全て老朽施設であった。
- ・被害の発生した場所は、教室等が 5 件（約 42%）、便所等が 7 件（約 58%）であった。また、脱落被害 12 件のうち 10 件（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 5）
- ・被害の状況については、脱落被害 12 件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 件（約 83%）であった。なお、周囲と緊結されていたものは 3 件（緊結の有り、無しの両方の被害を含む事例（2 件）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 件であった。



写真 5 コンクリートブロック壁の一部脱落

¹⁷ 文部科学省が開催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」としている。

(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 件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脆弱であることが確認された。また、周囲との緊結があつたにもかかわらず脱落したものも3件あり、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 件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 件のうち、老朽施設は 17 件(68%)、非老朽施設は 8 件(32%)であつた。
- ・被害の発生した面（桁行/張間）については、桁行面が 21 件（約 84%）であつた。そのうち被害のあつた開口部の幅が 10m以上のものは 17 件（約 81%）であり、また 17 件全てについて、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であつた。（写真 6，図 17）



写真 6 桁行面の窓と柱の関係（例）

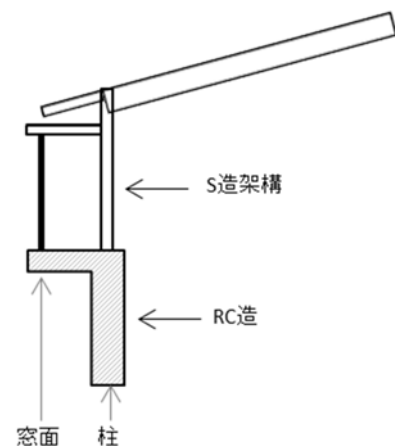


図 17 桁行面開口部の断面図

(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 件全てについて、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 件のうちモルタル脱落被害は 28 件（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、概ね 10 m²以上の脱落被害（以下「面的脱落」という。）が 20 件（約 71%）、概ね 6 m 以上の高所からの脱落被害（以下「高所脱落」という。）が 20 件（約 71%）であった。
- ・被害の発生した面については、28 件のうち 24 件（約 86%）が張間面であった。
（写真 7，図 18）



写真 7 外壁妻壁のラスシートの全面脱落

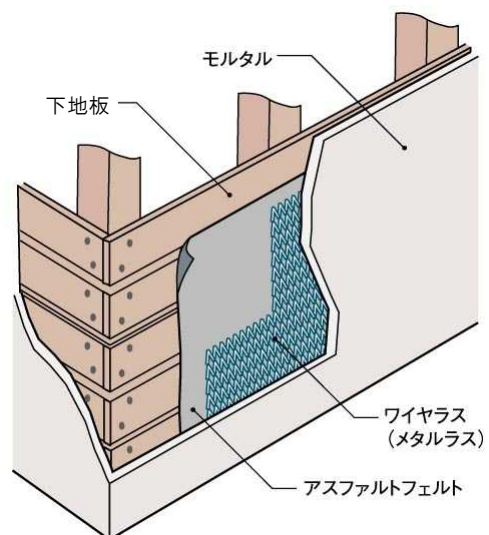


図 18 ラスモルタルの施工例

(調査結果に対する所見)

- ・屋内運動場の外壁脱落被害 97 件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。
- ・張間面の被害が約 9 割と多く、張間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 件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ラスモルタル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 件のうち、妻面の面的脱落又は高所脱落等、危険性の高い被害は 30 件¹⁸（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 件（約 67%）、非老朽施設は 10 件（約 33%）であった。
- ・面的脱落が 8 件（約 27%）、高所脱落が 24 件（80%）であり、高所脱落 24 件のうち天井や梁との取り付け部の脱落被害は 13 件（約 54%）であった。（写真 8，9）
- ・脱落した材料はボード類が 27 件（90%）、モルタル類が 3 件（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 8 内壁（有孔ベニヤ板）の脱落



写真 9 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付け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・梁等の取り付け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。

¹⁸ 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。