



2011年東北地方太平洋沖地震における 茨城県内の公立学校建物の被害傾向

余 剣華¹⁾、金久保 利之²⁾、八十島 章³⁾

- 1) 学生会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科，大学院生
e-mail : hua@rcs.kz.tsukuba.ac.jp
- 2) 正会員 筑波大学システム情報系，准教授 博士（工学）
e-mail : kanakubo@kz.tsukuba.ac.jp
- 3) 正会員 筑波大学システム情報系，助教 博士（工学）
e-mail : yasojima@kz.tsukuba.ac.jp

要 約

2011年東北地方太平洋沖地震における茨城県内の公立学校施設の被害状況の傾向を把握することを目的として、県内全45の自治体に調査を行い、公立学校建物3,148棟の被害状況および耐震性能に関するデータベースを作成した。旧耐震基準で設計された（1981年以前）鉄筋コンクリート造および鉄骨造建物のX方向（主として桁行方向）の構造耐震指標 I_S の分布は、対数正規分布の形状に近い。自治体から被災状況の取りまとめ資料の提供を受けた2,834棟において、ガラス、天井、内壁、エキスパンション・ジョイント破損に関する被害率は、第一年代の建物（1971年以前）で大きく、新耐震建物の被害率が小さくなる傾向が見られる。被災度区分判定の資料が得られた287棟の旧基準の建物について、鉄筋コンクリート造建物の場合、 I_S が0.6程度以上あれば中破以上の被害はほぼ生じていない結果となった。耐震性能残存率の分布の下限値に関しては、気象庁計測震度、PGA、PGV、SI値に対して負の相関が認められた。

キーワード： 建築年代，被害状況，構造耐震指標，被災度区分判定，耐震性能残存率
PGA, PGV, SI, 気象庁計測震度

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、津波被害に象徴される甚大な被害が見られたが、地震動による建築構造物の被害の全容を見渡すことができる公表された報告は意外に少ない。東北地方太平洋沖地震では、主要な強震動が、関東地方から東北地方の非常に広範囲に渡って観測され（気象庁震度階5強以上）、建物の悉皆調査が事実上不可能であった。また、各学会の被害調査報告会でも、地震後の早い段階から建物の構造的被害は少ないという報告がなされていた。

一方で、建物の地震被害想定では、地震動の強さを表す指標と建物の被害率を用いて、被害関数を構築することが通常行われる。被害率を算定する場合には、当然ながら被害の見られない建物の情報も重要であり、強震計や震度計周辺建物の全数調査が行われる^{例えば 1)}。1995年の兵庫県南部地震では様々

な震動強さでの被害データが得られたことから、被害率を算定するための種々の検討が行われた^{例えば2)}。

東北地方太平洋沖地震による地震動被害においても、現在までにいくつかの広範囲な調査結果が報告されている。例えば鉄筋コンクリート（以下、RC）造建物では、宮城県内の公立小中学校 546 棟の被害調査結果³⁾、同じく宮城県内の分譲マンション 1,460 棟の被害調査報告⁴⁾、東北関東圏のプレキャスト建築 808 棟の被害調査⁵⁾などがある。また、全数調査ではないが、福島県の県立高校 RC 造校舎全 440 棟のうちの 62 棟の被害調査報告⁶⁾もある。これらの報告を概観すると、やはり、中破以上の被害があった建物は少数であり被害の見られない建物の棟数が多いこと、中破以上の被害があった建物のほとんどは、1981 年の建築基準法施行令改正（いわゆる新耐震）前の基準（以下、旧基準）で建てられた建物であることがわかる。また、宮城県では旧基準の学校建物の耐震改修が進んでおり（文部科学省資料では、公立小中学校の耐震化率は 2010 年 4 月時点で 93.5%、高等学校で 91.3%）、被害軽減に耐震補強の効果が伺えるとも報告されている。

鉄骨（以下、S）造建物では、東北関東圏の 216 棟の文教施設に対する調査報告^{7),8),9)}がある。この報告も文献 6)と同様に全数調査ではなく、被害が見られ、設置者から調査依頼があった建物に対する調査報告である。これらの報告によれば、旧基準の建物の保有耐力接合されていない鉛直ブレースの破断、新耐震建物では柱脚部の損傷が比較的多く見られたと報告している。

本報告では、東北地方太平洋沖地震により生じた、建築構造物の地震動による被害の全容把握の一助となり、被害関数の構築にも資するための全数調査を目論み、耐震性能を含む建物情報のデータベース化およびアンケート調査を主体とする被害調査を行った。全数調査とはいってもすべての建物の情報を入手することは不可能であるので、RC 造および S 造建物に焦点を絞り、比較的情報が入手しやすい公立学校施設（設置者が県または市町村である小中学校、高等学校、大学校・専門学校および特別支援学校）を対象とした。また、対象地域は茨城県内とした。著者らが茨城県内在住であるということも大きな理由の一つであるが、東北地方太平洋沖地震では茨城県内全域において気象庁震度階で 5 弱から 6 強が観測されており、比較的地震動強さの影響を検討しやすい状況であると思われる。さらに茨城県内でも津波被害は見られたが、公立学校施設で津波による被害があったという情報はなく（一部に浸水はあった）、全数調査によって得られる情報は地震動による被害情報であると考えられる。

文部科学省資料¹⁰⁾によると、茨城県内の公立小中学校の耐震化率は 2011 年 4 月時点で 64.1%、高等学校では 76.9%であり、全国的に見て耐震改修があまり進んでいない地域である（公立小中学校の耐震化率は、2010 年 4 月時点で全国 45 位）。同資料より抜粋した茨城県内公立学校施設の耐震改修状況を、表 1 に示す。小中学校、高等学校および特別支援学校の全棟数は 3,626 棟であり、そのうちの 2,043 棟（56.3%）が旧基準（1981 年以前に建築）の建物である。このうち 844 棟（41.3%）は耐震性ありの判断がなされたか、もしくは耐震改修済みである。すなわち、全棟の 4 割強が新耐震建物、2 割強が旧基準の耐震改修済み建物、3 割強が耐震性なしと判断された建物である。したがって、全数調査により、これら三者の被害状況の比較を行いやすい地域であるといえる。一方で耐震診断の実施率は高く、構造耐震指標などの耐震性能に関する情報が揃いやすい。

表 1 茨城県内公立学校施設の耐震改修状況（2011 年 4 月：文部科学省資料¹⁰⁾より作成）

用途	全棟数	1982 年以後	1981 年以前	1981 年以前の割合	耐震診断実施済	耐震診断実施率	1981 年以前で耐震性ありおよび耐震改修済	耐震化率	1981 年以前の建物の耐震化率	耐震性なしおよび診断未実施
	A	B	C	D=C/A	E	F=E/C	G	H=(B+G)/A	I=G/C	J=C-G
小中学校	2,921	1,261	1,660	56.8%	1,622	97.7%	610	64.1%	36.7%	1,050
高等学校	549	235	314	57.2%	314	100.0%	187	76.9%	59.6%	127
特別支援学校	156	87	69	44.2%	69	100.0%	47	85.9%	68.1%	22
合計	3,626	1,583	2,043	56.3%	2,005	98.1%	844	66.9%	41.3%	1,199

なお、本報告でデータベース化した建物の総数は 3,148 棟である。文部科学省資料による全棟数より少ない理由として、①渡り廊下棟などの規模の小さい建物の公表資料が多くないこと、②施設台帳上では別棟になっているが、エキスパンション・ジョイントがなく、診断では 1 棟扱いになっている建物が少なからず存在すること、③木造建物を対象から除いたこと、が考えられる。

本報告では、以上の対象建物について、おもに設置者が行った初動調査および簡易調査による被害概況の情報収集、および耐震診断・補強設計時の診断概要（被災度区分判定結果も含む）に関する情報収集を行った。

2. 茨城県内の公立学校建物情報のデータベースの概要

2.1 データベース情報の収集方法

茨城県内には、公立学校の設置者として、県、32 の市、12 の町村の計 45 の地方自治体がある。2011 年 6 月以降、これらの自治体の文教施設関係部署に、教育施設の被災状況の取りまとめ資料の提供および耐震診断評定時の概要資料の閲覧を依頼した。全 45 の自治体の回答を得、その結果、40 の自治体から被災状況の取りまとめ資料の提供を受け、43 の自治体から診断評定資料の閲覧可の回答を得た。被災状況の取りまとめ資料に関しては、自治体がすでに整理している任意形式での提供を依頼したため、棟毎の写真とともに詳細な資料を得たものもあれば、復旧工事のための積算根拠資料の提供を受けたものもある。もっとも回答の多かった形式は、県および文部科学省に報告する、簡易的に分類した被害の有無のみをチェックしたものであった。

診断評定資料の閲覧が可能であったものについては、後述する各建物の情報を収集した。さらに診断評定資料の閲覧が不可であった自治体の情報も併せて、各自治体がホームページや公報誌で公表している耐震改修状況（建築年、延べ面積、構造耐震指標等を含む）によりデータを補完した。新耐震の建物に関しては耐震診断は行われていないので、原則として建物の基本情報は各自治体の公表資料によった。これらの情報収集と並行して、著者らによる被災度区分判定調査の情報、他組織により行われた被災度区分判定の情報^{11),12),13)}を取りまとめた。

以上により収集した対象建物の概要を表 2 に示す。対象建物は、学校校舎、屋内運動場、格技場や卓球場、実習棟、寮などであり、それらの構造種別から、鉛直構造部材全部が鉄筋コンクリート造または鉄骨鉄筋コンクリート造である「RC」、同様に鉄骨造である「S」、屋内運動場に多い形式のギャラリーレベルまで鉄筋コンクリート造または鉄骨鉄筋コンクリート造で上部構造が鉄骨造である「RC+S」、および壁式構造やコンクリートブロック造、さらに構造形式が不明である「その他・不明」の 4 種に分類した。屋内運動場で軒まで RC 造のタイプ（R タイプ）は、通常の耐震診断（2 次診断）では RC 造の鉛直部材のみから耐震性能が判断されることから、「RC」に分類した。データベース化した棟数は、全 3,148 棟である。

表 2 調査対象とした建物の概要

用途 構造種別	小学校	中学校	高等学校	大学校 専門学校	特別支援 学校	合計
RC* ¹	1,166	635	304	33	92	2,230
RC+S* ²	70	33	46	0	3	152
S	347	185	116	34	8	690
その他・不明	45	29	0	0	2	76
合計	1,628	882	466	67	105	3,148

*1 屋内運動場で、軒まで RC 造のタイプ（R タイプ）を含む

*2 屋内運動場で、ギャラリーまで RC 造または SRC 造のタイプ（RS タイプ）

2.2 データベースの入力項目

データベースの入力項目を表 3 に示す。被災状況の取りまとめ資料および耐震診断評定時の概要資料の主たる項目を利用した。

建物の耐震性能の各指標には、X方向、Y方向のそれぞれについて、構造耐震指標 I_s の最も小さい階またはゾーンの値を用いた。なお、多くの建物において、X方向が桁行方向に、Y方向が梁間方向に対応しているが、その整合割合は確認していない。また、建物の東西南北の配置方向は記録していない。当然ながら、新耐震建物に対する耐震性能の各指標値のデータはない。「RC」における靱性指標 F は、構造耐震指標 I_s を累積強度指標と形状指標の積 $C_T \cdot S_D$ と経年指標 T で除した見かけの値とした。また、「RC+S」に関しては、最小の構造耐震指標を決定する要因となったメカニズムの構造種別の各指標値によった。すなわち、「RC+S」が「RC」のメカニズムになるのは、ゾーニングにより一部の RC 造鉛直部材（群）の構造耐震指標が最小となる場合に、「S」のメカニズムになるのは、桁行方向や梁間方向のブレースやラーメンが鉄骨部分でメカニズム形成される場合に対応していると考えられる。

被害概況に関しては、関係部署からの回答の多かった形式にあわせ、表中の 10 項目に関して被害が見られたかどうかの情報を統一した。必ずしも建築構造の専門者が判断したものではないと思われるため、「構造材破損」と「内壁破損」、「外壁破損」の差異は不明瞭である。一方で、「ガラス破損」、「漏水」、「天井破損」、「EXPJ 破損」（カバーの落下やずれを含む）は観察者によらず、ある程度明瞭であるものと思われる。

被災度区分判定に関する情報のほとんどは、旧耐震の耐震改修未実施の建物で、2011 年 3 月以降に耐震診断または耐震補強設計が行われた建物に関するものであり、「RC」に関する耐震性能残存率の算出法は精算法¹⁴⁾による。精算法による耐震性能残存率は、各方向、各階で求められており、それらの最小値を入力値とした。なお、著者らの調査および文献 11)、12)による被災度区分判定は略算法によるものであり、その数は 12 棟である。「S」に関しては原則として文献 14)の方法によるが、この場合、非構造部材・仕上げに関する被災度区分に「被害なし」の項目がないので、被害が見られなくても判定上「軽微」の被災度区分になってしまう。本報告では、詳細調査が行われている上で被害が見られない建物に対しては「被害なし」として記録した。

地震動に関する情報は、気象庁発表の震度階級および K-NET、KiK-net の強震動データを利用した。気象庁震度階級は、茨城県内 99 地点の公表震度を用いた。これらの地点で計測された震度階は「5 弱」から「6 強」の 4 段階である。茨城県内にある K-NET および KiK-net 観測点のうち、公表されたそれぞれ 18 カ所および 12 カ所の強震動観測データを利用して、表面最大加速度 (PGA)、表面最大速度 (PGV)、SI 値および気象庁計測震度を得た（水平二成分ベクトル合成波）。各建物の対応する地震動データは、地図上の緯度、経度情報から、直線距離でもっとも近い測定地点のものとした。

表 3 データベースの入力項目

1.建物名称：学校名、棟名、所在地緯度経度
2.建物の基本情報： 建築年、階数、構造種別、建築面積、延べ面積、耐震診断の有無、耐震改修の有無
3.耐震診断または補強時の耐震性能（方向別、 I_s の最小の階またはゾーン）： (RC) 形状指標 S_D 、経年指標 T 、累積強度指標 $C_T \cdot S_D$ 、構造耐震指標 I_s 、 見かけの靱性指標 F (S) 保有水平耐力指標 q 、構造耐震指標 I_s 、靱性指標 F (RC+S) 最小の I_s 決定要因となった構造種別に準ずる
4.被害概況（建物管理者による被害の有無の情報） 構造材破損、ガラス破損、漏水、天井破損、内壁破損、外壁破損、EXPJ 破損、 不同沈下、液状化、外構被害
5.被災度区分判定結果： (RC) 被災度区分判定、耐震性能残存率 R (S) 被災度区分判定、構造骨組および非構造部材・仕上げの被災度区分 (RC+S) 被災度区分の決定要因となった構造種別に準ずる
6.地震動に関する情報（気象庁、K-NET、KiK-net） 気象庁震度階級、表面最大加速度、表面最大速度、SI 値、気象庁計測震度

2.3 建物データの概要

本節では、表3の項目1～3に示す建物の基本情報および耐震診断による耐震性能について述べる。建築基準法の改正により、特に「RC」では建築年によって耐震性能が変化しているため、本報告では、次の年代によって建物を3つのグループに分類する。

第一年代：建築年が1971年以前の建物

第二年代：建築年が1972～1981年および1982年以降でも耐震診断が行われた建物

第三年代（新耐震）：建築年が1982年以降で、新耐震基準で設計された建物

なお、各自治体が公表している耐震改修状況資料によると、1982年以降の建築年で、新耐震基準で設計されておらず、かつ耐震診断に関する情報もない建物は存在しなかった。収集した建物データの概要を表4に示す。構造種別の合計数で見ると、新耐震建物は972棟、旧耐震で耐震性ありと判断された建物もしくは耐震改修済の建物の計は820棟で、耐震化率は56.9%となった。表1に示される数値と幾分異なるが、前述の小規模建物および台帳上の別棟の扱いの違いに加えて、公表資料がなく、「診断未実施または不明」の項目に計上した建物数が多いことが差異の要因と思われる。また、第一年代および第二年代の建物の合計は2,176棟で、表1の1981年以前の建物数の2,043棟より多い。1982年および1983年建築の建物でも旧基準建物として耐震診断が行われているものが49棟あり、これらの計上数が異なること、耐震診断のあとに学校の統廃合が行われ、古い校舎の使用が止められたことなどが要因として考えられるが、詳細は不明である。

建物データによる収集建物の、建築年、階数および延べ面積の分布を、構造種別毎に、図1、図2および図3にそれぞれ示す。収集建物の建築年に関しては、いわゆる第二次ベビーブームの世代が学校に入学し始めた1970年代後半の建物が多い。建物階数に関しては、用途が学校校舎および屋内運動場であることから、「RC」では2、3階建、「RC+S」では2階建、「S」では1、2階建が多い。「RC+S」の大部分は屋内運動場、1階建および2階建「S」のそれぞれ63%および26%は特別教室棟や武道場、残りの大部分は屋内運動場である。「S」では2階建の屋内運動場が多いためか、「S」の2階建の耐震改修済建物の割合が1階建より大きい。延べ面積に関しては、「RC」では500m²～3,000m²の建物が全体の73.3%を占める。延べ面積による耐震改修の有無や耐震性の判断に、明確な傾向は見られない。

すべての構造形式の旧耐震建物について、建築年による耐震診断の結果および耐震改修の状況の相対度数分布を、図4に示す。また、構造形式別に、第一年代、第二年代による同状況の棟数の分布を表5

表4 建物データの概要

構造種別	全棟数 A	第一年代 (～1971) B	第二年代 (1972～ 1981) C	第三年代 (新耐震) D	旧耐震で 耐震改修済 E	旧耐震で 耐震性 あり F	耐震化率 G=(D+E+F) /A	1981年以前 の建物の 耐震化率 H=(E+F) /(B+C)	旧耐震で 耐震性 なし I	診断未実施・不明 J
RC	2,230	407	1,108	715	366	254	59.9%	40.9%	694	201
RC+S	152	40	108	4	69	8	53.3%	52.0%	70	1
S	691	124	375	192	89	32	45.3%	24.2%	297	81
その他	75	6	8	61	1	1	84.0%	14.3%	2	10
合計	3,148	577	1,599	972	525	295	56.9%	37.7%	1,063	293

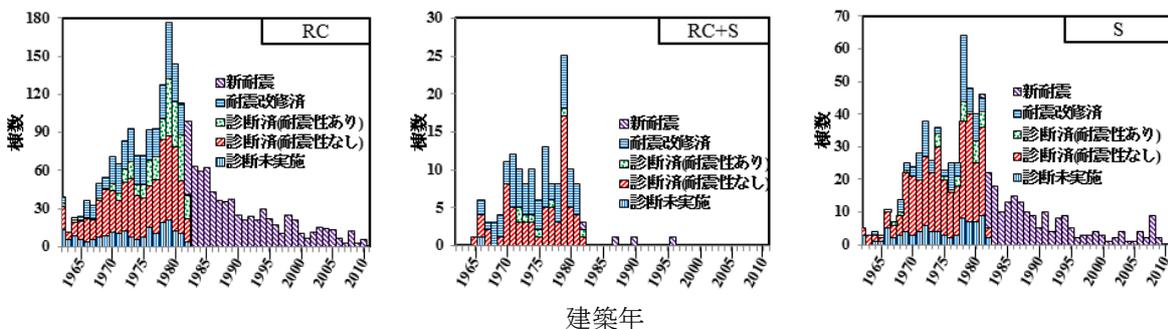


図1 建築年の分布

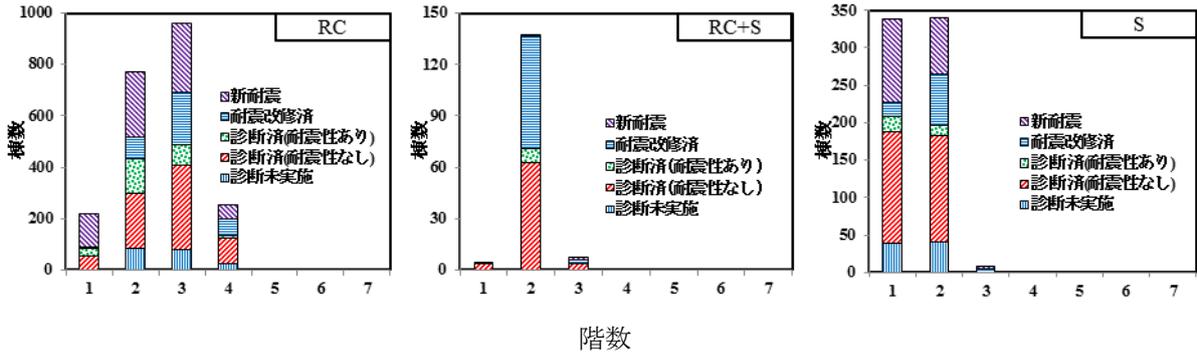


図2 階数の分布

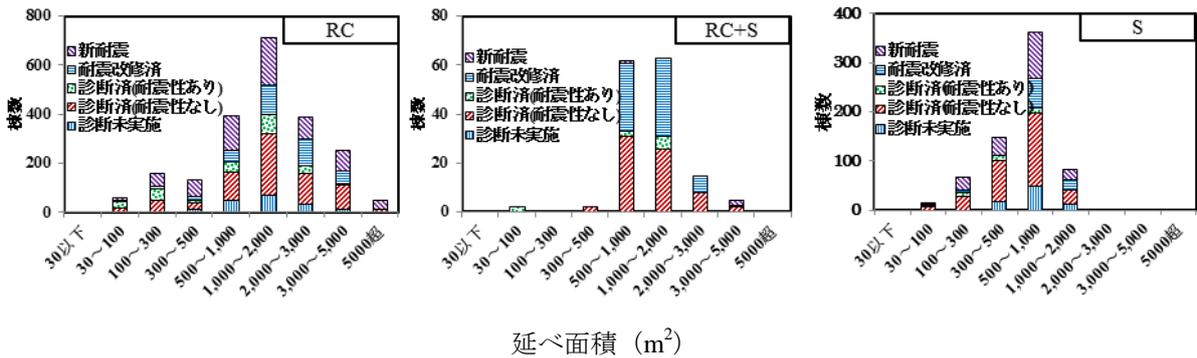


図3 延べ面積の分布

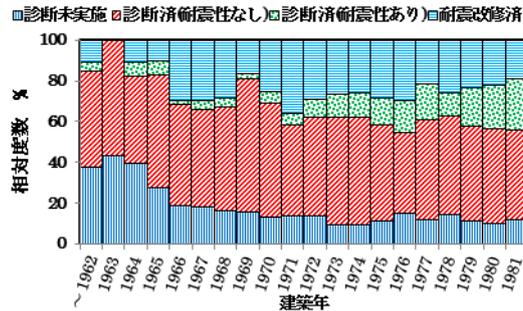


図4 建築年による耐震性能の分布 (旧耐震)

表5 建築年代による耐震性能の分布 (旧耐震)

構造種別	年代*	耐震改修済	耐震性あり	耐震性なし	耐震未実施・不明	合計
RC	第一年代	99	22	206	80	407
	第二年代	267	232	488	121	1,108
RC+S	第一年代	19	0	20	1	40
	第二年代	50	8	50	0	108
S	第一年代	19	4	75	26	124
	第二年代	70	28	222	55	375
その他・不明	第一年代	1	0	2	3	6
	第二年代	0	1	0	7	8
合計	第一年代	138 (23.9%)	26 (4.5%)	303 (52.5%)	110 (19.1%)	577
	第二年代	387 (24.2%)	269 (16.8%)	760 (47.5%)	183 (11.5%)	1,599

* 第一年代：建築年が1971年以前の建物

第二年代：建築年が1972～1981年および1982年以降でも耐震診断が行われた建物

に示す。診断未実施（不明を含む）の建物の割合は建築年が古いほど大きくなる傾向が見られ、学校の統廃合や建物の新築にあわせて診断を見合わせている様子ではないかと想像される。耐震診断により耐

震性ありと判断される建物の割合は、建築年が新しくなるほど大きくなる傾向が明らかである。表 5 より、第一年代では耐震診断の結果として耐震性ありとなった建物の割合は 4.5% であるが、第二年代では 16.8% となっている。なお、それぞれの年代において耐震改修済の建物の割合は同程度で、約 24% である。

2.4 旧耐震建物の耐震性能の傾向

旧耐震基準で設計された建物で、診断未実施または耐震改修済のデータを除いた建物の構造耐震指標 I_s の分布を、構造種別および算定方向別に図 5 に示す。「RC」および「S」の X 方向に関しては、文献 15) に示されるような対数正規分布の形状に近い。ただし、建築年代により最頻値の I_s が変わっており、「RC」の第一年代では 0.3~0.4、第二年代で 0.4~0.5 となっている。「S」では第一年代、第二年代とも 0.2~0.3 の範囲がもっとも大きい。「RC+S」の X 方向では、「RC」、「S」と比較して I_s が小さい傾向にある。これは、水平ブレースの耐力不足によるゾーニングの影響により、単独柱として評価される妻面の RC 柱の面外方向 (X 方向) の構造耐震指標が特に小さくなること等が一因と思われる。一方、「RC+S」の Y 方向では、構造種別にかかわらず I_s は広範囲に分布している。建築年代による明瞭な差異も見られない。

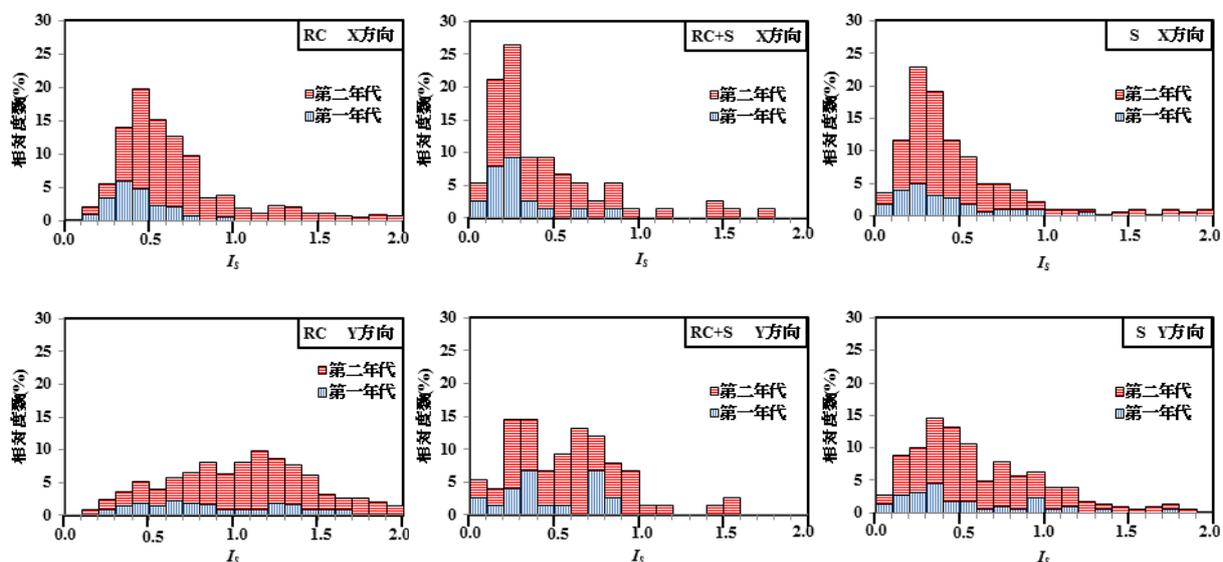


図 5 旧耐震建物の構造耐震指標の分布

同様に、旧耐震基準で設計された建物で、診断未実施または耐震改修済のデータを除いた「RC」および「S」に関して、靱性指標 F (「RC」は見かけの靱性指標) および累積強度指標 $C_T \cdot S_D$ または保有水平耐力指標 q の分布を、それぞれ図 6 および図 7 に示す。靱性指標の分布は、「RC」では 1 程度、「S」では 1.3 程度に集中しており、「RC」では鉛直部材のせん断破壊、「S」では非保有耐力接合による部材の変形能により靱性指標が決定し、構造耐震指標が算出されている様子が伺える。なお、「RC」で一部、見かけの靱性指標が 0.8 より小さいものが見られるが、下階壁抜け柱の軸力比の制限により構造耐震指標の再計算が行われた結果 I_s が小さくなり、その値を $C_T \cdot S_D$ と T で除しているため見かけ上小さくなっている。また、診断判定資料では各数値が小数第二位までしか記載されていないことが多い (多くは、小数第三位は切捨と思われる)、計算から求まる見かけの靱性指標は、実際より 0.01~0.02 程度ばらつくことがある。また、靱性指標がばらついていないため、累積強度指標または保有水平耐力指標の分布は、 I_s の分布と同様な傾向を示す。

旧耐震基準で設計された建物で、診断未実施または耐震改修済のデータを除いた建物の X 方向の構造耐震指標 I_s の階数および延べ面積で階層分けした分布を、それぞれ図 8 および図 9 に示す。「RC」では、2 階建建物の I_s は比較的広範囲に分布しており、3 階建以上の建物の I_s の分布が「RC」の I_s の分布を形成している。一方、「S」の分布では階数による差はあまり見られない。延べ面積による分布ではあまり明

瞭な傾向は見られないが、 $1,000\text{m}^2$ 以下の中規模程度以下の建物の I_s は比較的広範囲に分布しているようである。診断未実施および耐震改修済のデータを含めた建物の耐震診断の結果および耐震改修の状況の棟数の分布を表6に示す。「RC」では、耐震性ありと判定された建物の割合は1階建および2階建建物ではおよそ30%であるのに対し、3階建以上の建物では小さい割合になっている。「S」では、1階建の耐震性ありと判定された建物の割合は2階建のそれより2倍ほどあるが、棟数そのものの数は小さい。

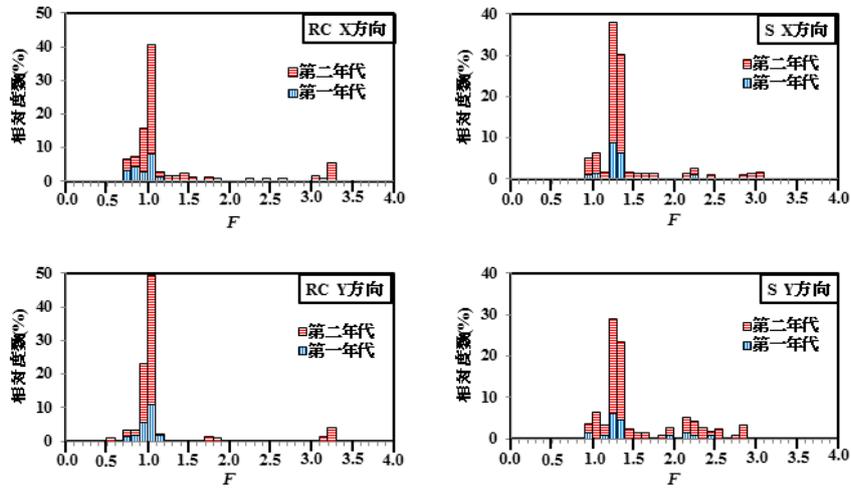


図6 旧耐震建物の靱性指標の分布

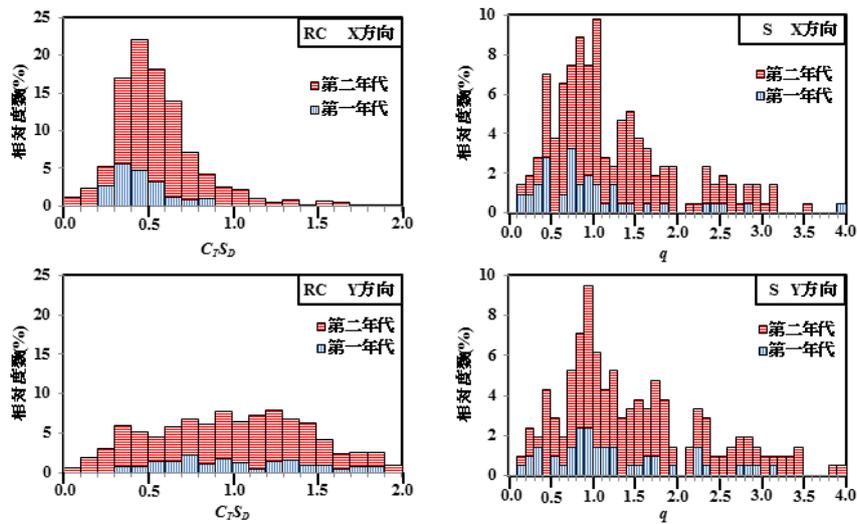


図7 旧耐震建物の累積強度指標・保有水平耐力指標の分布

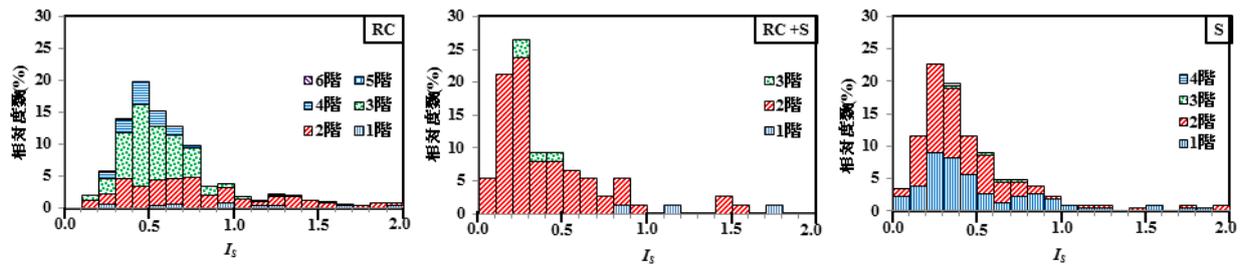


図8 旧耐震建物の構造耐震指標の階数による分布

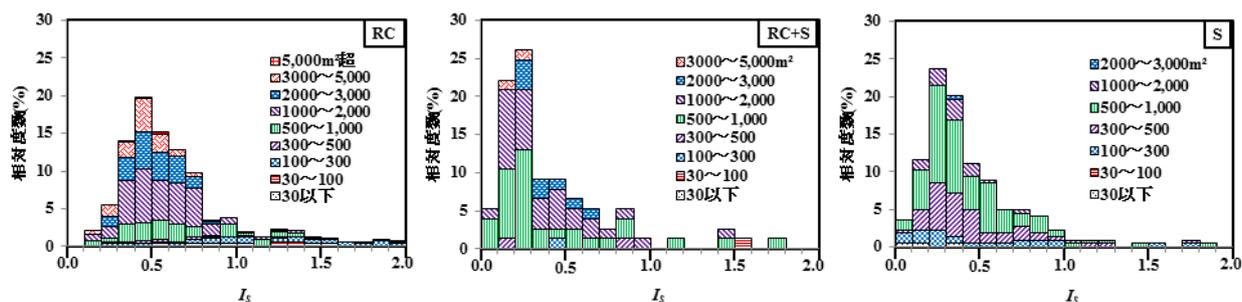


図9 旧耐震建物の構造耐震指標の延べ面積による分布

表6 階数による耐震性能の分布（旧耐震）

構造種別	階数*	耐震改修済	耐震性あり	耐震性なし	耐震未実施・不明	合計
RC	1階	9 (9.7%)	29 (31.2%)	42 (45.2%)	13 (13.9%)	93
	2階	83 (16.0%)	137 (26.4%)	211 (40.7%)	88 (16.9%)	519
	3階	206 (29.6%)	79 (11.4%)	331 (47.6%)	80 (11.4%)	696
	4階以上	68 (32.9%)	9 (4.3%)	104 (50.2%)	26 (12.6%)	207
RC+S	1階	0 (0.0%)	0 (0.0%)	3 (75.0%)	1 (25.0%)	4
	2階	66 (48.2%)	8 (5.8%)	63 (46.0%)	0 (0.0%)	137
	3階以上	2 (33.3%)	0 (0.0%)	4 (66.7%)	0 (0.0%)	6
S	1階	18 (7.9%)	20 (8.8%)	149 (65.6%)	40 (17.7%)	227
	2階	70 (26.3%)	12 (4.5%)	143 (53.8%)	41 (15.4%)	266
	3階以上	1 (16.7%)	0 (0.0%)	5 (83.3%)	0 (0.0%)	6

* 階数が不明なものは除く

3. 茨城県内の公立学校建物の被害傾向の分析

3.1 被害概況の分析

茨城県内の全45の自治体のうち、40の自治体から表3に示す被災状況の取りまとめ資料の提供を受けた。データベース化した全建物から、資料の提供を受けなかった5の自治体が設置者である建物を除いた、被害概況の分析に用いる建物データの概要を表7に示す。全建物のデータである表4の値と比較すると耐震化率に大きな違いはなく、建築年代、耐震改修の有無などの建物の割合もあまり差はない。

被害概況のうち、ガラス破損、天井破損、内壁破損、エキスパンション・ジョイント破損について、建物年代や耐震改修の有無の違いによる被害率の差異を検討する。それぞれの被害率を建物年代および

表7 被害概況の提供を受けた建物データの概要

構造種別	全棟数	第一年代 (~1971)	第二年代 (1972~1981)	第三年代 (新耐震)	旧耐震で 耐震改修済	旧耐震で 耐震性あり	耐震化率 $G=(D+E+F)/A$	1981年以前の 建物の 耐震化率 $H=(E+F)/(B+C)$	旧耐震で 耐震性なし	診断未実施・不明
	A	B	C	D	E	F			I	J
RC	1,993	381	996	616	331	235	59.3%	41.1%	649	162
RC+S	135	37	94	4	62	7	54.1%	52.7%	62	0
S	630	121	343	166	84	31	44.6%	24.8%	289	60
その他	76	6	9	61	1	1	82.9%	13.3%	3	10
合計	2,834	545	1,442	847	478	274	56.4%	37.8%	1,003	232

耐震性能、耐震改修別にまとめたものを表 8～表 11 に示す。なお、対象建物の中で、どの程度の建物が天井やエキスパンション・ジョイントを有しているかは未調査である。また、対象となる区分に該当する建物棟数が 5 棟に満たないデータは省略した。全棟数に対するガラス破損、天井破損、内壁破損、エキスパンション・ジョイント破損に関する被害率は、それぞれ 16.2%、20.2%、20.1%、14.3%である。全体的な傾向を概観すると、ガラス破損と内壁破損について、第一年代の被害率が大きく、新耐震建物の被害率が小さくなる傾向が見られる。第一年代の建物の中でも、診断未実施（不明含む）建物と耐震性なしと判断された建物の被害率が相対的に大きいようである。しかしながら、耐震改修済建物でも相応の被害率が見られ、特段、被害が小さいわけでもないと思われる。特に、ガラス破損、天井破損に関しては、第一年代の建物において耐震改修済建物の被害率は他の分類の建物の被害率と比較しても特段小さくはない。耐震改修において、ガラスや天井の改修も同時に行っていない状況が伺える。

構造種別で比較すると、「RC」の第一年代において、一般的に被害率が大きくなっている。また、「S」では被害率が小さいものが見られるが、学校建物が対象であり、対象「S」の中で 71.1%を占める体育館では、もともと天井やエキスパンション・ジョイントが存在しない建物の数も多いと思われる。年代ごとにどの程度の「S」が天井やエキスパンション・ジョイントを有しているかも不明である。

表 8 被害概況による各年代建物の被害率（ガラス破損）

構造種別	全棟数	第一年代（～1971）				第二年代（1972～1981）				第三年代 新耐震
		耐震未実施・不明	耐震性なし	耐震性あり	耐震改修済	耐震未実施・不明	耐震性なし	耐震性あり	耐震改修済	
RC	17.6	15.3	30.5	13.6	25.8	13.6	20.4	17.4	13.7	12.7
RC+S	14.1	—	38.9	—	5.3	—	11.4	14.3	11.6	—
S	11.4	22.7	9.2	0.0	5.3	2.6	12.2	29.6	7.7	11.4
その他	15.1	66.7	—	—	—	71.4	—	—	—	14.8
合計	16.2	19.0	25.4	11.5	19.9	13.5	17.3	18.5	12.3	12.5

注：数値は%、対象棟数が 5 棟未満のデータは除く

表 9 被害概況による各年代建物の被害率（天井破損）

構造種別	全棟数	第一年代（～1971）				第二年代（1972～1981）				第三年代 新耐震
		耐震未実施・不明	耐震性なし	耐震性あり	耐震改修済	耐震未実施・不明	耐震性なし	耐震性あり	耐震改修済	
RC	22.0	28.8	27.6	13.6	23.7	37.9	20.9	22.5	15.0	20.3
RC+S	10.4	—	22.2	—	26.3	—	9.1	0.0	0.0	—
S	16.0	18.2	9.2	0.0	10.5	10.5	18.8	22.2	15.4	16.9
その他	19.0	66.7	—	—	—	42.9	—	—	—	21.3
合計	20.2	27.4	22.7	11.5	22.1	31.1	19.5	22.2	13.2	19.6

注：数値は%、対象棟数が 5 棟未満のデータは除く

表 10 被害概況による各年代建物の被害率（内壁破損）

構造種別	全棟数	第一年代（～1971）				第二年代（1972～1981）				第三年代 新耐震
		耐震未実施・不明	耐震性なし	耐震性あり	耐震改修済	耐震未実施・不明	耐震性なし	耐震性あり	耐震改修済	
RC	23.5	37.3	41.9	31.8	24.7	19.4	28.9	17.4	19.2	16.1
RC+S	8.1	—	27.8	—	5.3	—	9.1	14.3	2.3	—
S	11.1	18.2	11.8	0.0	15.8	7.9	10.8	18.5	6.2	10.8
その他	14.3	100.0	—	—	—	28.6	—	—	—	27.9
合計	20.1	34.5	33.1	30.8	20.6	16.9	22.2	16.9	14.6	15.8

注：数値は%、対象棟数が 5 棟未満のデータは除く

表 11 被害概況による各年代建物の被害率（エキスパンション・ジョイント破損）

構造種別	全棟数	第一年代（～1971）				第二年代（1972～1981）				第三年代 新耐震
		耐震未実施・不明	耐震性なし	耐震性あり	耐震改修済	耐震未実施・不明	耐震性なし	耐震性あり	耐震改修済	
RC	18.6	25.4	14.8	13.6	17.5	47.6	22.4	15.0	22.6	11.5
RC+S	1.5	—	5.6	—	0.0	—	0.0	14.3	0.0	—
S	3.5	4.5	1.3	0.0	0.0	2.6	2.3	18.5	6.2	3.0
その他	3.2	66.7	—	—	—	14.3	—	—	—	11.5
合計	14.3	21.4	10.7	11.5	12.5	34.5	14.9	15.3	16.7	9.8

注：数値は%、対象棟数が 5 棟未満のデータは除く

なお、被害概況は必ずしも建築構造の専門者が判断したものではないと思われるため、被害の程度（例えば、天井破損に関して、崩落があるのか、一部がずれただけか、など）は不明である。

次に、表 7 に示す全 2,834 棟について、被害概況による被害率と地震動強さの関連を検討する。気象庁震度階級、PGA、PGV、SI 値に対する各被害の被害率の分布を図 10 に示す。各建物に対する地震動強さの指標の求め方は、2.2 節で述べた通りである。同図を概観すると、地震動強さの指標と各被害率の関連は明瞭ではない。地震動強さの指標の増加にともなって被害率も増大するものは構造材破損およびガラス破損程度で、構造材破損では、PGA が 400cm/s² 以下の範囲では 4.6% であるが 1,000 cm/s² 超 1,400 cm/s² 以下の範囲では 16.3% である。また、PGV が 20cm/s 以下の範囲では 3.2% で 70cm/s 超の範囲では 9.5% である。ガラス破損に関しては、震度階 5 弱、5 強、6 弱、6 強の順に、被害率 4.2%、11.7%、19.0%、18.5% となっている。

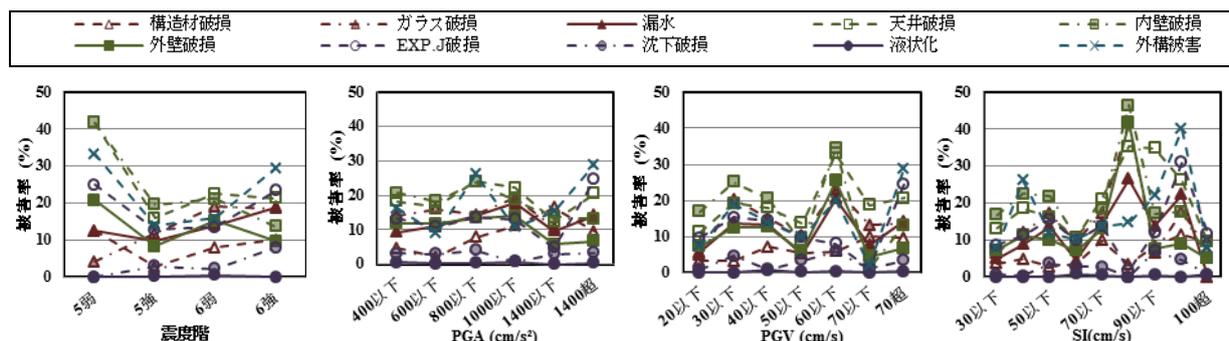


図 10 地震動強さによる被害概況の被害率

3.2 耐震性能残存率の分析

被災度区分判定に関する情報のほとんどは、旧耐震の耐震改修未実施の建物で、2011 年 3 月以降に耐震診断または耐震補強設計が行われた建物に関するものであり、必ずしも母集団全体に対して各グループのサンプルが同じように抽出されたものではない。ただし、従前の報告とは異なり、被害の大きかった建物に偏ったデータではない。なお、既往の報告で被害の大きかった建物の情報は取り込んだが、耐震診断が実施されておらず、かつ、地震被害により取り壊しとなった建物に関しては情報が存在しない可能性がある。

被災度区分判定の情報がある建物データの概要を表 12 に示す。「RC」が 171 棟、「RC+S」が 24 棟、「S」が 91 棟、「その他」が 1 棟の合計 287 棟である。そのうちの 232 棟（80.8%）が第二年代の建物である。前述のように、被災度区分判定に関する情報のほとんどは、旧耐震の耐震改修未実施の建物で、2011 年 3 月以降に耐震診断または耐震補強設計が行われた建物に関するもので、第二年代と比較して第一年代の建物において、2011 年 3 月までに優先的に耐震改修が行われた結果と考えられる。全 287 棟のうち

表 12 被災度区分判定の情報のある建物データの概要

構造種別	年代*	耐震改修済	耐震性あり	耐震性なし	耐震未実施・不明	合計
RC	第一年代	0	0	32	0	32
	第二年代	2	18	119	0	139
RC+S	第一年代	0	0	6	0	6
	第二年代	0	0	18	0	18
S	第一年代	0	0	17	0	17
	第二年代	0	9	65	0	74
その他・不明	第一年代	0	0	0	0	0
	第二年代	0	0	1	0	1
合計	第一年代	0 (0.0%)	0 (0.0%)	55 (100.0%)	0 (0.0%)	55
	第二年代	2 (0.9%)	27 (11.6%)	203 (87.5%)	0 (0.0%)	232

* 第一年代：建築年が 1971 年以前の建物

第二年代：建築年が 1972～1981 年および 1982 年以降でも耐震診断が行われた建物

耐震診断の結果として耐震性なしと判断された建物は 258 棟 (89.9%) である。なお、 $I_s \geq 0.6$ で被災度区分判定が行われた建物が表中に 27 棟あるが、多くの学校建物では構造耐震判定指標 $I_{SO} = 0.7$ が採用されており、 $I_s \geq 0.6$ でも補強対象となった建物 (すなわち、 $0.6 \leq I_s < 0.7$) に該当する。

2.2 節で述べたように、原則として「RC」に関する耐震性能残存率の算出法は精算法¹⁴⁾による。各階、各方向の耐震性能残存率の最小値をデータとした。「S」の被災度区分判定に関しては原則として文献 14)の方法によるが、詳細調査が行われている上で被害が見られない建物に対しては「被害なし」とした。また、被災度区分判定結果を簡易的に数値で表現するため、「RC」に倣い、次のように耐震性能残存率 R を設定した。なお、一部には文献 14)による耐震性能残存率の評価法による値もある。

軽微： $R=95\%$ 小破： $R=80\%$ 中破： $R=60\%$ (大破、倒壊はなし)

「RC+S」では、被災度区分判定の最終的な被災度が決定された構造種別の建物の方法に準じた。

表 12 に示される建物について、構造種別ごとに構造耐震指標 I_s と耐震性能残存率 R の関係を図 11 に示す。なお、 I_s は X 方向と Y 方向の小さい方の値とした。また、「S」の耐震性能残存率は上記の目安の数値であるため、グラフ中に被災度区分判定結果を併記した。「RC」では、 R が 60% を下回る建物 (大破) は 2 棟、「RC+S」および「S」では、 R が 60% を下回る建物はなかった。 $60\% \leq R < 80\%$ の建物 (中破) は、「RC」で 13 棟、「RC+S」で 5 棟、「S」で 4 棟であった。これらの建物については 3.3 節で後述する。「RC」では I_s が 0.6 以上の建物でも中破以上となった建物が 3 棟 (I_s が 0.67、0.79、0.64 の建物で、それぞれ $R = 56.6\%$ 、77.0%、79.6%) あった。図中、番号の添えてあるプロット (後述) を除くと、 R の分布の下限值はおおよそ I_s の増加に対して共に増大する傾向が見られる。この傾向によれば、RC の場合の過去の地震被害 (1968 年十勝沖地震、1978 年宮城県沖地震¹⁵⁾ および 1995 年兵庫県南部地震¹⁶⁾) と同様に、 I_s が 0.6 程度以上あれば中破以上の被害はほぼ生じていない結果となった。

「RC」について、累積強度指標 $C_T \cdot S_D$ および靱性指標 F と耐震性能残存率 R の関係を図 12 に、「S」について、保有水平耐力指標 q および靱性指標 F と耐震性能残存率 R の関係を図 13 に示す。なお、「S」の耐震性能残存率は前述の目安の数値であるため、グラフ中に被災度区分判定結果を併記した。プロッ

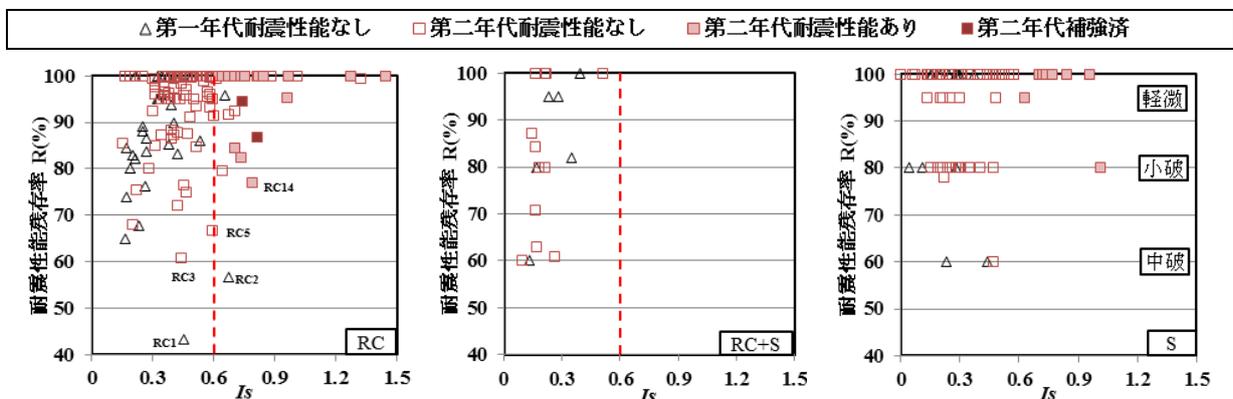


図 11 構造耐震指標と耐震性能残存率の関係

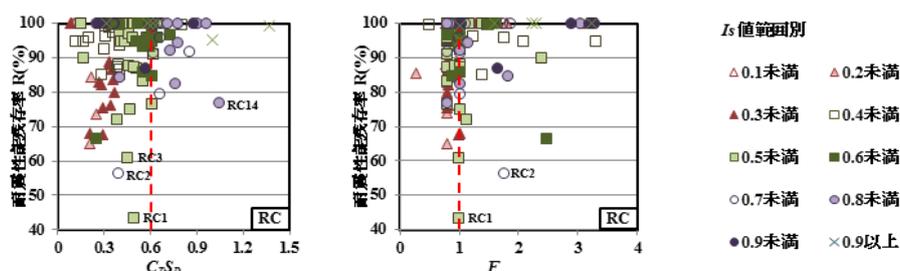


図 12 累積強度指標・靱性指標と耐震性能残存率の関係 (RC)

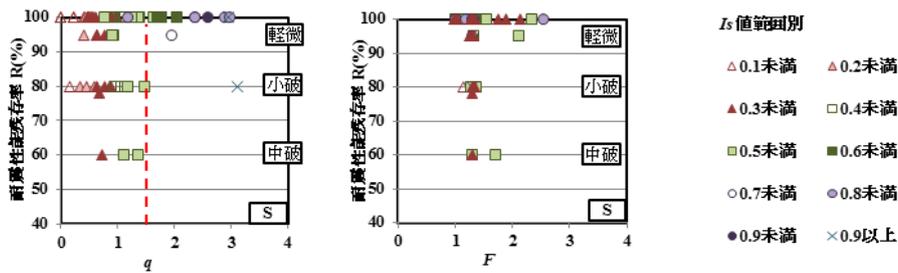


図 13 保有水平耐力指標・靱性指標と耐震性能残存率の関係 (S)

トは I_S の範囲により区別している。「RC」では、 I_S が F 値 1 で決定している場合が多く、 $C_T \cdot S_D - R$ の分布は $I_S - R$ の分布に似通っている。図中、番号の添えてあるプロット（後述）を除くと、 I_S の場合と同様に R の分布の下限値は $C_T \cdot S_D$ の増加に対しておおよそ共に増大する傾向が見られ、中破以上の被害がほぼ生じない $C_T \cdot S_D$ の範囲は I_S の場合と同様に 0.6 程度以上となる。「S」の場合には、 q 値が 1.5 以上あれば中破以上の被害が生じていない結果となった。

次に、表 12 に示される「RC」および「S」について、耐震性能残存率と地震動強さの関連を検討する。気象庁計測震度、PGA、PGV、SI 値に対する耐震性能残存率 R の分布を、「RC」について図 14 に、「S」について図 15 に示す。なお、「S」の耐震性能残存率は前述の目安の数値であるため、グラフ中に被災度区分判定結果を併記した。プロットは I_S の範囲により区別している。各建物に対する地震動強さの指標の求め方は、2.2 節で述べた通りである。同図を概観すると、被害概況の被害率の場合とは異なり、 R の分布の下限値に関して、気象庁計測震度、PGV、SI 値に対して負の相関が認められる。PGA に対してはあまり明瞭な傾向は確認できない。図中、番号の添えてあるプロット（後述）を除くと、中破以上の被害が生じない計測震度、PGV および SI 値は、それぞれ、おおよそ 5.5 未満、40cm/s 未満、60cm/s 未満と見られる。

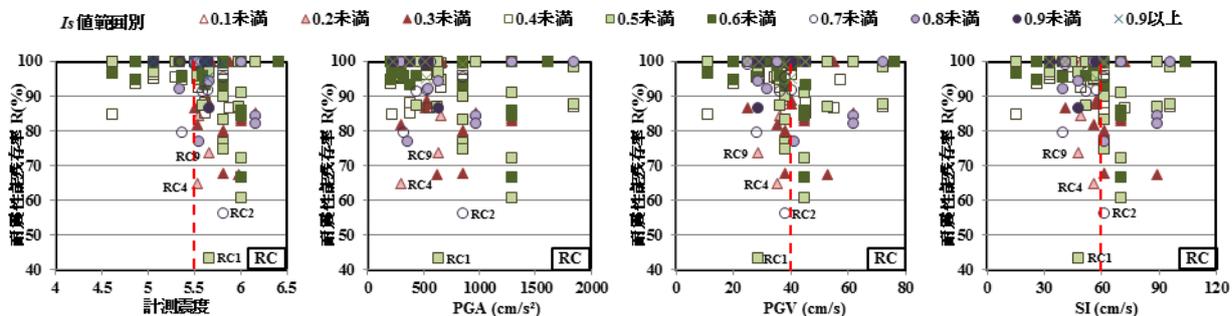


図 14 地震動強さと耐震性能残存率の関係 (RC)

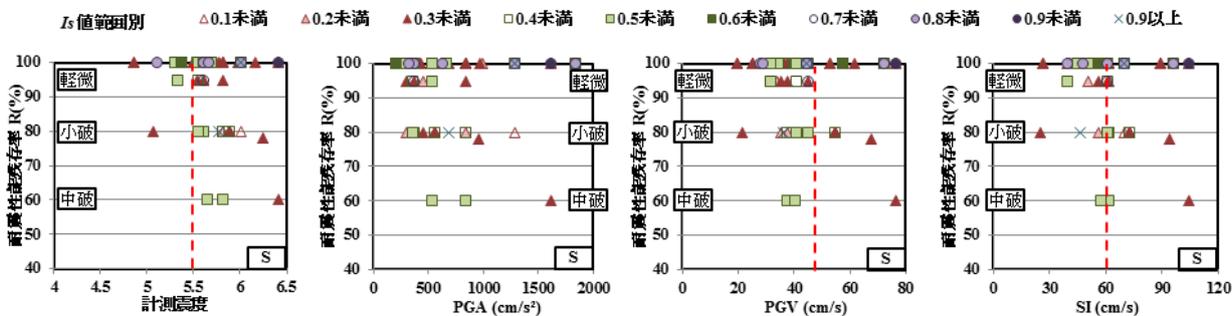


図 15 地震動強さと耐震性能残存率の関係 (S)

3.3 中破以上と判断された建物の概要

本報告で収集したデータでは、大破と判断された建物が2棟、中破と判断された建物が22棟あった。これらの被災を受けた建物の概要を表13に示す。すべて第一年代または第二年代の建物で、耐震改修は行われていない。表中の耐震診断の結果は、各階、各方向（ゾーン分けされている場合は、さらにゾーン毎）の I_s が最も小さい箇所の各数値である。被災度区分判定の欄には、耐震性能残存率 R の値が求まっている建物についてはその値を、「S」部分で文献14)による耐震性能残存率の評価法が行われていない場合には、被災度区分判定を行った際の構造骨組の被災度区分を記載した。図11～図15中に示す番号は、表13中の番号と対応している。

「RC」で大破と判断された2棟は、学校校舎としてはいずれも比較的規模の小さい建物で、RC1は桁行7スパン、梁間1スパン、RC2は桁行8スパン、梁間2スパンで、整形な総2階建の建物である。RC1については、著者らの解析¹⁷⁾により、近隣の地盤傾斜による地震動増幅の可能性がある。RC2については、オープンプレームとなっている梁間方向の梁が大きな損傷を受け、鉛直部材の被災度に梁の損傷を加味したため、耐震性能残存率 R が小さくなっている。その他の中破と判断された「RC」は、短柱（袖壁付柱を含む）のせん断破壊もしくは耐震壁のせん断ひび割れによるものである。

「RC+S」のRCS1とRCS2は、いずれも2階鉄骨部分の鉛直ブレースの破断による。RCS3～RCS5は、1階のRC部分のひび割れによるものである。体育館のRC部分は壁付き柱が多く、ひび割れの本数が多くなってもひび割れ幅が1mm以上あると損傷度Ⅲと判定されやすく、耐力の低減係数が0.3であるために耐震性能残存率 R が小さくなりやすい傾向がある。

「S」のS1とS2は鉛直ブレースの破断、S3は柱の残留変形による柱傾斜である。

表13に示す「RC」建物の、気象庁計測震度、PGA、PGV、SI値に対する耐震性能残存率 R の分布を図16に示す。グラフに示す相関係数および回帰直線は、RC1とRC2を除いた計算結果である。耐震性能残存率 R と気象庁計測震度、PGA、PGV、SI値には負の相関があり、相関係数はそれぞれ-0.51、-0.39、-0.50、-0.51である。気象庁計測震度、PGVおよびSI値では同程度の相関係数を示しており、PGAに対しては、それらより相関の小さいことが確認できる。

表13 中破以上と判断された建物の概要

構造	番号	場所	気象庁震度階	用途	建築年	階数	延べ面積(m ²)	耐震診断の結果*1			被災度区分判定*2 R(%)	特記事項
								I_s	$C_r \cdot S_D$ または q	F		
RC	RC1	東海村	6弱	校舎	1965	2	567	0.45	0.49	1.00	43.4	傾斜地の影響の可能性 ¹⁷⁾
	RC2	茨城町	6弱	校舎	1966	2	968	0.67	0.39	1.75	56.6	Rに梁損傷を考慮(梁間方向)
	RC3	常陸太田市	6弱	校舎	1976	4	3,567	0.44	0.45	0.99	60.9	
	RC4	常総市	6弱	校舎	1970	3	688	0.16	0.21	0.79	65.0	低強度コンクリート、下階壁抜け*2
	RC5	常陸太田市	6弱	渡り廊下	1978	2	53	0.59	0.25	2.46	66.6	
	RC6	北茨城市	6弱	校舎	1965	3	1,938	0.23	0.29	0.99	67.7	
	RC7	ひたちなか市	6弱	校舎	1976	3	3,388	0.20	0.21	1.00	68.0	下階壁抜け*3
	RC8	常陸太田市	6弱	校舎	1980	3	1,489	0.42	0.38	1.12	72.2	
	RC9	東海村	6弱	校舎	1965	3	3,308	0.17	0.25	0.78	73.8	
	RC10	那珂市	6弱	校舎	1979	3	1,865	0.46	0.47	1.02	75.0	
	RC11	水戸市	6弱	校舎	1972	4	3,702	0.22	0.29	0.80	75.5	
	RC12	水戸市	6弱	校舎	1969	4	4,221	0.26	0.34	0.80	76.3	
	RC13	那珂市	6弱	校舎	1979	3	1,414	0.45	0.61	0.80	76.6	
	RC14	小美玉市	6弱	武道場	1977	2	937	0.79	1.04	0.80	77.0	ゾーニングによる(桁行方向)
	RC15	境町	5強	校舎	1978	3	2,816	0.64	0.66	1.00	79.6	
RC+S	RCS1	つくば市	6弱	体育館	1979	2	1,667	0.09	0.27	1.33	IVs	鉛直ブレース破断
	RCS2	水戸市	6弱	体育館	1965	2	1,152	0.13	0.38	1.37	IIIs	鉛直ブレース破断
	RCS3	境町	5強	体育館	1977	2	713	0.26	0.81	1.28	60.8	
	RCS4	水戸市	6弱	体育館	1979	2	922	0.17	0.10	1.77	63.0	
	RCS5	境町	5強	体育館	1977	2	777	0.16	0.50	1.28	70.8	
S	S1	鉾田市	6弱	格技場	1970	1	351	0.23	0.71	1.30	IVs	鉛直ブレース破断
	S2	水戸市	6弱	実習棟	1971	1	1,116	0.44	1.36	1.29	IIIs	鉛直ブレース破断
	S3	土浦市	6弱	校舎	1979	1	338	0.47	1.11	1.69	IIIs	柱傾斜
	S4	桜川市	6弱	体育館	1978	2	810	0.22	0.68	1.29	78.0	水平ブレース破断

*1: I_s のもっとも小さいゾーン、階、方向 *2: R のもっとも小さいゾーン、階、方向 *3: I_s の値は軸力比による補正後の値

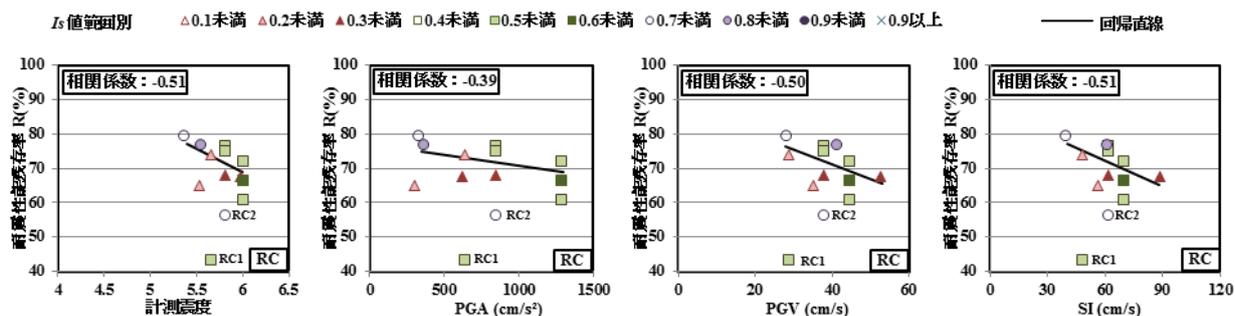


図 16 地震動強さと耐震性能残存率の関係 (RC 中破以上と判断された建物)

4. まとめ

2011 年東北地方太平洋沖地震における茨城県内の公立学校施設の被害状況の傾向を把握することを目的として、県内全 45 の自治体に調査を行い、公立学校建物 3,148 棟の被害状況および耐震性能に関するデータベースを作成した。本報告により得られた知見を以下にまとめる。

- ・収集した全 3,148 棟について、2011 年 3 月時点の耐震性能に関して、
- (1) 旧基準の RC 造および S 造建物の X 方向の構造耐震指標 I_5 の分布は、対数正規分布の形状に近い。一方、Y 方向では広範囲に分布している。
- (2) RC 造建物では建築年代により最頻値の I_5 が変わっており、第一年代 (1971 年以前) で 0.3~0.4、第二年代 (1972 年~1981 年) で 0.4~0.5 であった。S 造建物では、第一年代、第二年代とも 0.2~0.3 の範囲が多い。
- (3) RC 造建物では、2 階建建物の I_5 は比較的広範囲に分布しており、3 階建以上の建物の I_5 の分布の形状が I_5 の分布を形成している。
- ・自治体から被災状況の取りまとめ資料の提供を受けた 2,834 棟について、
- (4) ガラス破損、天井破損、内壁破損、エキスパンション・ジョイント破損に関する被害率は、それぞれ 16.2%、20.2%、20.1%、14.3% であった。第一年代の建物で被害率が大きく、新耐震建物の被害率が小さくなる傾向が見られる。
- (5) 構造材破損およびガラス破損について、気象庁震度階級、PGA、PGV が大きくなると被害率も若干大きくなる傾向が見られた。
- ・被災度区分判定の資料が得られた 287 棟の旧基準の建物について、
- (6) 一部の建物を除いて、耐震性能残存率の分布の下限値は I_5 の増加に対しておおむね増大する傾向が見られた。この傾向によれば、RC 造建物の場合、 I_5 が 0.6 程度以上あれば中破以上の被害はほぼ生じていない結果となった。
- (7) 耐震性能残存率の分布の下限値に関して、気象庁計測震度、PGV、SI 値に対して負の相関が認められた。PGA に対してはあまり明瞭な傾向は確認できなかった。中破以上と判断された「RC」建物において、耐震性能残存率 R と気象庁計測震度、PGA、PGV および SI 値の相関係数はそれぞれ -0.51、-0.39、-0.50、-0.51 であった。気象庁計測震度、PGV および SI 値では同程度の相関係数を示している。

以上の知見の多くは、既往の報告および研究結果を踏襲する内容であり、2011 年東北地方太平洋沖地震における茨城県内の公立学校施設の被害状況の傾向でも、十勝沖、宮城県沖地震および兵庫県南部地震等での被害傾向と同様であったと言えよう。本報告では、3,000 棟余りの建物の全数調査を目標として整理を行えたことで、将来の被害予測や被害軽減に結び付く検討に資するものとなり得ると考えている。

謝辞

データベースの作成にあたっては、茨城県内 45 の自治体の関係部局の方々のご協力を賜った。自治体の名称を下記に掲載させていただく。

茨城県、水戸市、日立市、土浦市、古河市、石岡市、結城市、龍ヶ崎市、下妻市、常総市、常陸太田市、高萩市、北茨城市、笠間市、取手市、牛久市、つくば市、ひたちなか市、鹿嶋市、潮来市、守谷市、常陸大宮市、那珂市、筑西市、坂東市、稲敷市、かすみがうら市、桜川市、神栖市、行方市、鉾田市、つくばみらい市、小美玉市、茨城町、大洗町、城里町、東海村、大子町、美浦村、阿見町、河内町、八千代町、五霞町、境町、利根町

本報告活動の一部は、筑波大学復興・再生支援プログラムによる。地震動のデータは、防災科学技術研究所強震観測網 K-NET、KiK-net のデータを利用させていただいた。

参考文献

- 1) 翠川三郎、伊東佑記、三浦弘之：兵庫県南部地震以降の被害地震データに基づく建物被害関数の検討、日本地震工学会論文集、第 11 巻、第 4 号、pp.34-47、2011
- 2) 村尾修、山崎文雄：自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数、日本建築学会構造系論文集、No.527、pp.189-196、2000
- 3) 高橋香菜子、H. Al-Washali、前田匡樹：2011 年東日本大震災における宮城県内の RC 造学校校舎の被害傾向の分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅳ、pp.29-32、2012
- 4) 井出武：東日本大震災宮城県マンション被害状況報告～宮城県内の分譲マンション全 1,460 棟の被災度調査結果～、Kantei eye 2012 April Issue、pp.7-16、2012
- 5) 飯塚正義：被害状況調査の収集によるプレキャスト建築物の被災の傾向、日本地震工学会論文集、第 12 巻、第 4 号、pp.42-55、2012
- 6) 壁谷澤寿海、楠浩一、加藤大介、市之瀬敏勝、田才晃：東日本大震災における福島県立高校 RC 造校舎の被害率、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅳ、pp.41-44、2012
- 7) 山田哲ほか：東北地方太平洋沖地震等で被災した鉄骨造文教施設の調査—調査の概要—、日本建築学会技術報告集、第 18 巻、第 40 号、pp.935-940、2012
- 8) 伊山潤ほか：東北地方太平洋沖地震等による鉄骨造文教施設鉛直ブレースの震動被害、日本建築学会技術報告集、第 19 巻、第 41 号、pp.147-152、2013
- 9) 吉敷祥一ほか：東北地方太平洋沖地震等による鉄骨造文教施設の柱脚・定着部被害、日本建築学会技術報告集、第 19 巻、第 42 号、pp.585-590、2013
- 10) 文部科学省報道発表資料：公立学校施設の耐震改修状況調査の結果について、http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/08/1310174.htm
- 11) 日本建築学会：2011 年東北地方太平洋沖地震災害調査速報、2011.7
- 12) 国土交通省国土技術政策総合研究所・建築研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震調査研究（速報）、2011.5
- 13) 塩原等監修：東日本大震災における建築物の被害報告 Part 2、建築技術 No.741、2011.10
- 14) 日本建築防災協会：震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針、2001
- 15) 中埜良昭、岡田恒男：信頼性理論による鉄筋コンクリート造建築物の耐震安全性に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、第 406 号、pp.37-43、1989.12
- 16) 日本建築学会：1995 年兵庫県南部地震 鉄筋コンクリート造建築物の被害調査報告書 第Ⅱ編学校建築、pp.69、1997.3
- 17) 佐野貴之、八十島章、金久保利之：2011 年東北地方太平洋沖地震で被災した低層 RC 造建物の構造被害に関する解析的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅳ、pp.203～204、2013.8

（受理：2013年10月12日）

（掲載決定：2014年2月6日）

Damage Tendency of Public School Buildings in Ibaraki Prefecture Suffered in 2011 Off The Pacific Coast of Tohoku Earthquake

YU Jianhua ¹⁾, KANAKUBO Toshiyuki ²⁾ and YASOJIMA Akira ³⁾

- 1) Student Member, Graduate Student, University of Tsukuba
- 2) Member, Associate Professor, University of Tsukuba, Dr. Eng.
- 3) Member, Assistant Professor, University of Tsukuba, Dr. Eng.

ABSTRACT

The objective of this study is to clarify the damage tendency of the public school buildings in Ibaraki Prefecture. The database of damages and the results of seismic inspections is made out through the questionnaire survey for 45 governing bodies, and data of 3,148 buildings has been collected. The distribution of seismic capacity index I_s of RC and S buildings designed under the former laws is close to the form of log-normal distribution. The damage data of 2,834 buildings which were received from the governing bodies, these damage summaries show that the damage ratio of glass, ceiling, wall and EXP.J is larger in the 1st period (constructed before and in 1971) buildings. Meanwhile, the buildings of the 3rd period (constructed after 1981) have slighter damage ratio. According to the damage evaluation results of 287 old standard buildings, for the RC buildings which values of I_s are bigger than 0.6, the mid-damage is almost not observed. The lower limit of the residual ratio R decreases as the values of JMA seismic intensity, PGV and SI increase.

Key Words : Constructed year, Damage summaries, Seismic capacity index, Damage evaluation, Residual ratio of I_s , PGA, PGV, SI, JMA seismic intensity