

津波被害を受けた鉄筋コンクリート造建築物の復旧状況調査

DISASTER RESTORATION SURVEY FOR REINFORCED CONCRETE BUILDINGS DAMAGED BY TSUNAMI

松川和人 — *1

中埜良昭 — *2

Kazuto MATSUKAWA — *1 Yoshiaki NAKANO — *2

キーワード：
津波、復旧、解体

Keywords:
Tsunami, Restoration, demolition

In this report, results of field survey for tsunami-damaged reinforced concrete (RC) buildings are explained. The survey was carried out to study validity of an index to help building owners to judge the building shall be demolished or restored. The index describes the relative inundation heights, which is defined as the highest number of inundated stories divided by number of stories of building. From the results of the survey, it is found that the index will be helpful for the restoration/demolish judgement of tsunami-damaged RC buildings.

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震は、併発した津波により東北地方太平洋沿岸部を中心として甚大な被害をもたらした。今般ほど多くの建築物が津波により浸水被害を受けるという経験は近年では初めてのことであり、震災を受けて、津波外力に対する建築物の設計法に関する研究など、その対策に向けた検討が数多く進められている。一方で、浸水した建築物の継続使用の可否や復旧の困難さ/容易さ等を判断する方法を整備することも、広い意味での防災対策としては非常に重要なことである。

津波による浸水を受けた鉄筋コンクリート造（以下RC造）建築物の被害の特徴としては、概ね下記のようなものが挙げられよう。

- ① 上部構造の構造被害は船舶等の衝突被害を除けば軽微
- ② 建築物内部に土砂や瓦礫が流入し、非構造材や設備等の損耗や破壊が発生
- ③ 火災被害も場合によっては併発

2011年の発災時には、こうした被害を評価し継続使用あるいは解体等の判断を行うために参考となる技術資料が存在しなかったため、少なからぬ混乱を生じた。すなわち、建築物の継続使用を行う上では構造躯体の復旧と非構造材や設備等の復旧とを行う必要があるが、後者に要するコストが前者のそれよりも大きくなるケースが多かったと想定され、直接的にコストを判定対象とはしていない被災度区分判定基準¹⁾などの資料を用いて継続使用可否の判断を行うことが難しかった。著者らは、被災度区分判定基準（2001年版）の改訂委員会に所属し、津波被災建築物の継続使用可否を判断するための目安に関する議論に参加してきた。本論文では、そこで議論された判断目安の妥当性を、2011年東北地方太平洋沖地震で津波被害を受けた建築物の復旧状況調査を行い個々の建築物になされた継続使用可否判断の結果を分析することにより評価した。

2. 復旧状況調査の概要

復旧状況調査は、2012年11月23日～25日、2013年7月24日～

29日、2014年10月10日～14日において、著者らが所属する東京大学生産技術研究所 中埜研究室により行われた²⁾³⁾。調査範囲は2011年に同研究室にて被害調査を行った青森県三沢市～福島県相馬市の太平洋沿岸部である⁴⁾。調査対象建築物は文献⁴⁾に記載の2011年に調査されたRC造建築物がほとんどであるが、2014年の調査時には岩手県釜石市大町地区（ほぼ300m四方の市街地）において新たにRC造建築物の全数調査を行っており³⁾、ここで調査された建築物をはじめとして2013年以降新たに調査を行った建築物も含んでいる。

調査項目は、①用途、②階数、③特筆すべき構造被害、④浸水深、⑤最高浸水階、⑥復旧状況などである。それぞれの定義と分類方法を以下で述べる。

- ①用途：文献¹⁾の分類に従い、建築物の主たる用途を分類した。
- ②階数：建築物の主要な部分の階数を記録した。
- ③特筆すべき構造被害：2011年調査報告書⁴⁾及び調査時の記録、文献⁵⁾より、上部構造に特筆すべき構造被害が生じている場合はその旨を記載した。転倒・局所破壊・中破（上部構造・基礎構造を対象に文献¹⁾に準じて評価した）以上の被害・火害が該当する。
- ④浸水深：2011年調査報告書⁴⁾、文献⁵⁾より、計測された浸水深を記載した。当該建築物での浸水深の記録が無い場合、別の近接する建築物で計測された値があればその値を採用した。
- ⑤最高浸水階：当該建築物中浸水した層のうち、最も高い位置にある階を記録した。最高浸水階の判断は、調査時の記録や写真により最高浸水階を明確に特定可能であったものはその階を最高浸水深として採用し、それ以外のものでは窓ガラスの破損状況等から推定したのもも存在する。
- ⑥復旧状況：まず2012年以降の復旧状況調査報告書²⁾³⁾及び調査時記録から、建築物を「残存」/「撤去」に分類した。「残存」は津波被災建築物がその場に残存していれば、その状態を問わず「残存」と分類した。「撤去」は、津波被災建築物がその場に残存していなければ「撤去」と分類した。また、その利用が再開されている建築物

*1 東京大学生産技術研究所 助教・博士（工学）
（〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1）

*2 東京大学生産技術研究所 教授・工博

*1 Research Associate, The University of Tokyo,
Institute of Industrial Science. Ph.D

*2 Professor, The University of Tokyo,
Institute of Industrial Science. Ph.D

については「継続使用されている」、そうでない建築物については「継続使用されていない」と分類した。当然のことながら、「撤去」された建築物はそのすべてが「継続使用されていない」に該当する。

加えて、写真1にその一例を示すように、調査時には個々の建築物ごとに2011年調査時と同角度からの定点写真撮影を行っている。



写真1 定点写真撮影例

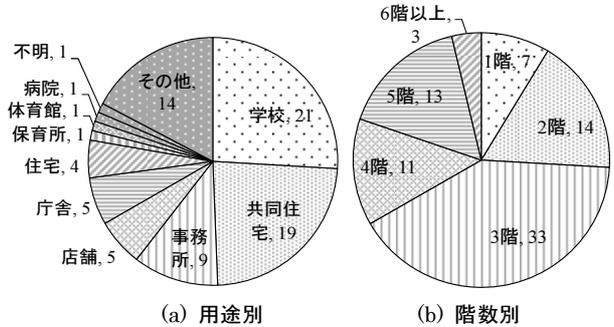


図1 分析対象建築物の用途別・階数別の度数

3. 調査結果

3.1 調査結果の概要

本論文では津波による浸水被害を受けた建築物の継続使用可否に関する現実的な判断目安を分析することを目的としているため、以降の分析では調査対象建築物のうち「③特筆すべき構造被害」が生じた建築物を除き、残った建築物を分析対象建築物とする。表1(次頁)に分析対象建築物の全リストを示し、図1に分析対象建築物全81棟の(a)用途別、(b)階数別の度数の内訳を示す。

3.2 復旧状況

図2に浸水レベルと「残存」及び「撤去」された建築物の度数の関係を示した。また、同図には全分析対象建築物を母数とした「残存」に該当する建築物の割合も併記している。ここで、前述の被災度区分判定基準改訂委員会での議論から、被害に対する復旧可否の判断には建築物の浸水延べ面積の大小が、土砂や瓦礫の流入に対する清掃、破損した設備・建具などの更新などの復旧コストと相関し、継続使用可否の判断に影響するであろうとの予測のもと、浸水階数の建築物階数に対する比率を継続使用可否に関連付ける被害レベルの大きさを表す指標として用いた。本論文ではその最高浸水階/建築物階数を R_m と定義し、同じく被災度区分判定基準改訂委員会での議論から、その値を0.5未満、0.5以上1.0以下、1.0と区分し、浸水被害の大小を表すこととした。図2より、浸水レベル R_m が小さいほど、残存している建築物の割合が大きくなる傾向が見られ、 R_m が0.5未満の建築物のうち約90%が残存していた。一方 R_m が大きい建築物ほど解体され撤去される傾向が強くなり、 R_m が0.5以上1.0未満の建築物では65%、 R_m 1.0の建築物ではその30%程度の建築物しか残存していない。

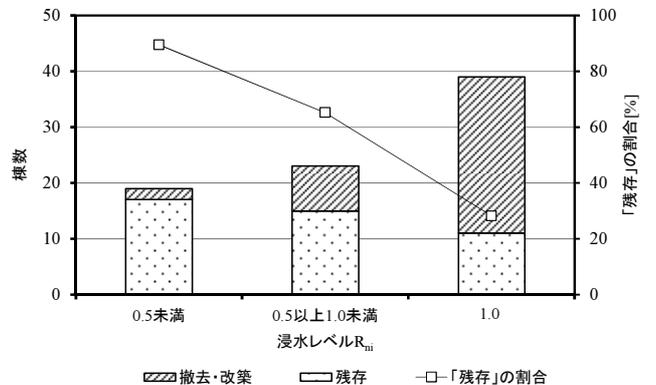


図2 残存・撤去到該当する建築物の度数と浸水レベルの関係

続いて図3に、浸水レベル R_m とそれぞれ「継続使用されている」「継続使用されていない」建築物の度数の関係を示した。なお、図中には全分析対象建築物を母数とした「継続使用されている」建築物の割合も併記している。同図より、 R_m が小さい建築物は継続使用されている割合が高く、 R_m 0.5未満の建築物ではその9割近くが継続使用されている。一方で、 R_m が0.5以上1.0未満の建築物では55%程度、 R_m 1.0の建築物では15%程度と、その割合が低くなっていることから、浸水レベル R_m は建築物継続使用の現実的な可否を判断するための目安となり得ると考えられる。

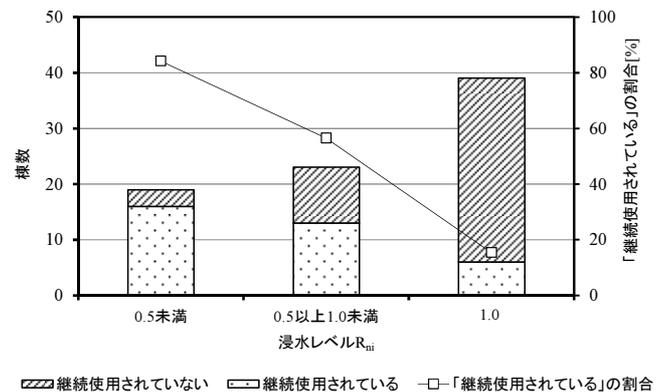


図3 建築物の継続使用状況と浸水レベルの関係

4. 特徴的な被害とその継続使用状況

4.1 R_m 0.5未満であったが継続使用されていない建築物の事例分析

全体的な傾向は第3章で述べた通りであるが、ここでは R_m が0.5未満でありながらも継続使用されていなかった建築物(表2)について分析を行う。表2より、 R_m 0.5未満かつ継続使用されていない建築物は、そのすべてが学校建築物や庁舎などの防災拠点となるべき公共建築物である。これらの建築物は、今後、地震時や津波襲来時の避難所として利用されるべきものであり、また、政治的・行政

的な判断により都市計画全体の中に位置づけられるものでもあるため、建築物として継続使用可能であったとしても、津波浸水域から移転すべきという被災建築物解体への動機付けがその他の民間建築物よりも強かったものと推察される。尚、表2の中ではW中学校のみ現地でピロティ形式かつ屋上への避難機能を有する新校舎への改築がなされているが、O中学校、K合同庁舎は、それぞれ津波危険区域、災害危険区域に新たに自治体から指定された地域に立地しており、かつ高台移転が予定されている。

表1 分析対象建築物リスト

No.	分析対象	用途	階数	最高浸水階	復旧状況			R _m
					残存	撤去	継続使用	
1	Hフェリーターミナル	その他	2	1	○		○	0.50
2	H警察署水上警備派出所	庁舎	2	1	○*		○*	0.50
3	M団地一号楼 A棟	共同住宅	3	1	○		○	0.33
4	M団地一号楼 B棟	共同住宅	3	1	○		○	0.33
5	K漁港漁業集落排水処理施設	その他	2	2	○		○	1.00
6	O中学校 校舎	学校	3	1	○			0.33
7	T第一中学校 教室棟1	学校	2	1	○		○	0.50
8	T第一中学校 教室棟2	学校	3	1	○		○	0.33
9	T地区漁業協同組合	事務所	3	2	○		○	0.67
10	雇用促進住宅K宿舎 1	共同住宅	5	3		○		0.60
11	雇用促進住宅K宿舎 2	共同住宅	5	3		○		0.60
12	雇用促進住宅K宿舎 3	共同住宅	5	3		○		0.60
13	雇用促進住宅K宿舎 4	共同住宅	5	3		○		0.60
14	K住宅	共同住宅	5	3		○		0.60
15	K市営住宅	共同住宅	3	3		○		1.00
16	T小学校 校舎棟	学校	3	3		○		1.00
17	U幼稚園	保育所	2	2		○		1.00
18	KH中学校 普通教室棟	学校	3	3		○		1.00
19	KH中学校 特別教室棟	学校	4	4		○		1.00
20	KH中学校 管理棟	学校	1	1		○		1.00
21	U小学校 普通教室棟①、⑧	学校	2	2		○		1.00
22	U小学校 普通教室棟②、⑦	学校	3	3		○		1.00
23	U小学校 管理・特別教室棟	学校	3	3		○		1.00
24	K海員会館	事務所	4	3		○		0.75
25	市営Kビル	事務所	8	2	○		○	0.25
26	K海上保安部	庁舎	4	2	○		○	0.50
27	Kハイツ	共同住宅	5	2	○		○	0.40
28	KKビル	店舗	2	2	○		○	1.00
29	SK園	店舗	3	2	○		○	0.67
30	Aビル	事務所	3	2	○		○	0.67
31	Tスポーツ	店舗	3	2	○		○	0.67
32	K保健福祉センター	病院	8	2	○		○	0.25
33	O3丁目 住居	住宅	2	2	○		○	1.00
34	Aハイツ	共同住宅	4	2	○		○	0.50
35	O3丁目 商業ビル	店舗	3	2	○		○	0.67
36	M第一ビル	その他	4	2	○		○	0.50
37	Sブロードネット	その他	4	2	○		○	0.67
38	M第二ビル	その他	5	2	○		○	0.40
39	T旅館	その他	3	2	○		○	0.67
40	O市営住宅	共同住宅	7	2	○		○	0.29
41	OK小学校 管理・普通・特別教室棟	学校	3	3		○		1.00
42	OK小学校 屋内運動場	体育館	1	1		○		1.00
43	OF小学校 特別教室棟1	学校	3	1	○		○	0.33
44	OF小学校 特別教室棟2	学校	3	1	○		○	0.33
45	OF小学校 管理教室棟1	学校	3	1	○		○	0.33
46	OF小学校 管理教室棟2	学校	3	1	○		○	0.33
47	A生命	事務所	3	3		○		1.00
48	MY生命	事務所	3	3	○			1.00
49	OFシルバー人材センター	事務所	3	3		○		1.00
50	土木事務所港務所	事務所	2	2		○		1.00
51	土木事務所港務所隣のRC 平屋	不明	1	1	○			1.00
52	SG 商会	店舗	2	2		○		1.00
53	雇用促進住宅RT第2 宿舎 5号棟(海側)	共同住宅	5	5	○			1.00
54	雇用促進住宅RT第2 宿舎 6号棟(陸側)	共同住宅	5	5		○		1.00
55	TK高等学校 教室棟	学校	3	3		○		1.00
56	RC 造壁式7 階建て集合住宅・P.F	共同住宅	3	3		○		1.00
57	RC 造7 階建て住宅	住宅	3	3		○		1.00
58	K合同庁舎(県)	庁舎	5	2		○		0.40
59	K合同庁舎(国)	庁舎	5	2	○		○	0.40
60	町営住宅(津波避難ビル)	住宅	4	4		○		1.00
61	防潮堤水門脇のRC 造平屋観測小屋	その他	1	1	○			1.00
62	RC 造3 階建て集合住宅・3 棟のうち1 棟	共同住宅	3	3		○		1.00
63	RC 造3 階建て集合住宅・3 棟のうち1 棟	共同住宅	3	3		○		1.00
64	RC 造3 階建て集合住宅・3 棟のうち1 棟	共同住宅	3	3		○		1.00
65	RC 造9 階建てMS 旅館	その他	5	5		○		1.00
66	ON消防署	庁舎	2	2		○		1.00
67	RC 造8 階建て住宅	共同住宅	4	4		○		1.00
68	ON町商工会館	事務所	4	4		○		1.00
69	市営M住宅	共同住宅	4	3		○		0.75
70	かんぼの宿M	その他	4	2	○			0.50
71	A小学校	学校	4	2	○			0.50
72	W中学校 校舎	学校	3	1				0.33
73	W温泉鳥の海	その他	5	2	○		○	0.40
74	W小学校 校舎	学校	3	1	○		○	0.33
75	WY第二小学校	学校	2	1		○		0.50
76	T RC6 階住宅	住宅	2	2		○		1.00
77	YN小学校 校舎	学校	2	2	○			1.00
78	Y浄化センター 管理棟	その他	1	1	○		○	1.00
79	Y浄化センター ポンプ室	その他	1	1	○		○	1.00
80	Y浄化センター 汚泥棟	その他	3	1	○			0.33
81	SH地方卸売市場	その他	1	1	○*		○*	1.00

※2013年7月調査時の復旧状況である。それ以外は2014年10月調査時の復旧状況を示した。

4.2 R_{mi} 1.0 でありながら継続使用されている建築物の事例分析

R_{mi} が 1.0 でありながら継続使用されている建築物は計 6 棟である。このうち、Y 浄化センターのポンプ室ならびに事務棟 (表 1 中 No. 78, 79) は RC 造平屋建てであり、発災時にはほぼ水没したと考えられるが 2013 年調査時には復旧され継続使用されていた (図 4 (a))。K 漁港漁業集落排水処理施設 (表 1 中 No. 5) は、RC 造 2 階建ての排水処理施設であり、津波により漂着したと思われるゴミが屋根面に多く残存していた⁴⁾ことから、ほぼ完全に水没したと考えられる。2014 年調査時には復旧され継続使用されていた (図 4 (b))。

上記の建築物は、ほぼ全層が浸水したと考えられるため、 R_{mi} の値は 1.0 となる。しかしながら、これらの建築物は復旧され継続使用がなされており、第 3 章で分析した全体の傾向からは説明できない事例である。以下でその理由についての分析を試みる。

これらの建築物はその用途が排水処理施設であり、各地域の水道系統の中に位置づけられているため他の建築物で代替する等の措置を行うことは難しく、また、地域住民の衛生的な生活を支えるための基盤的な建築物である。従って、津波により大きな被害を受けたからと言って撤去・解体・改築することは、地域住民の生活に長期に渡って大きな影響を与えることが予想されるため、容易に行うことは出来ない。以上のような事情を勘案すれば、これらの建築物が R_{mi} 1.0 相当の津波による浸水を受けたとしても、復旧され継続使用が行われていることを説明することが出来る。実際に継続使用する／しないの判断を行う際には、その建築物が代替可能であるか等の要素が優先される場合があることを端的に示唆する事例である。

尚、他にも KK ビル (No. 28)、03 丁目住居 (No. 33)、SH 地方卸売市場 (No. 81) の 3 棟が $R_{mi}=1.0$ でありながら継続使用されていた。これらの建築物が継続使用されるに至った意思決定のプロセスは明らかでないが、KK ビル、03 丁目住居は比較的小規模な建築物であり、加えて 2 階床レベルをわずかに越える程度の浸水レベルであったことから、継続使用へのコストが他の $R_{mi}=1.0$ の建築物と比較して小さかった (清掃程度で復旧可能であったなど) 可能性がある。SH 地方卸売市場は土間床の典型的な市場建物であり、浸水被害を受けたとしても復旧は比較的容易であった可能性が高い。

5. まとめ

本論文では、津波により被災した鉄筋コンクリート造建築物の復旧状況を調査し、建築物階数に対する相対的な浸水高さとの関係を調査した。本研究で得られた知見を下記に示す。

- ・最高浸水階/建築物階数の値である R_{mi} と建築物の復旧状況は良好に対応し、 R_{mi} が 0.5 未満の建築物はその 90% が現地に残存していた一方、 R_{mi} が 1.0 の建築物はその 30% ほどしか残存していなかった。
- ・ R_{mi} と建築物の継続使用状況の関係を分析し、 R_{mi} が 0.5 未満の建築物はその 90% 近くが復旧され継続使用されていたが、 R_{mi} が 1.0 の建築物では 15% ほどしか継続使用されていなかった。
- ・上記の検討で R_{mi} が 0.5 未満でありながらも継続使用されていなかった建築物はその全てが公共建築物であり、これらの建築物は地震後に避難所として利用される可能性が高いため、浸水域での継続使用を行わない動機付けがその他の建築物よりも大きいと推察される。
- ・ R_{mi} が 1.0 の浸水被害を受けながらも復旧され継続使用がなされている建築物のうち浄化処理施設が 3 例存在した。この種の建築物は、

表 2 R_{mi} 0.5 未満でありながら継続使用されていなかった建築物

No.	建築物名称	用途	階数	最高浸水階	R_{mi}	備考
6	O中学校 校舎	学校	3	1	0.33	
58	K合同庁舎 (県)	庁舎	5	2	0.40	
72	W中学校 校舎	学校	3	1	0.33	ビロティ形式で改築



(a) Y 浄化センター事務棟



(b) K 漁港漁業集落排水処理施設

図 4 R_{mi} 1.0 でありながら継続使用されていた建築物

住民の生活を支えるための重要な基盤施設で他の建築物で代替することが出来ない性質があり、建築物固有の性質が継続使用可否判断に影響すると考えられる。

以上のことから、浸水のみ被害を受けた建築物のうち、 R_{mi} が 0.5 未満であった建築物は特別な事情が無い限り継続使用可能であり、 R_{mi} が 1.0 であった建築物は現実的に継続使用が困難であると考えられよう。 R_{mi} 0.5 以上 1.0 未満の建築物は、継続使用される場合とされない場合がほぼ半数ずつであり、現状では判断が難しい。

謝辞

本研究は、(一財)日本建築防災協会に設置された被災度区分判定基準改訂委員会 RC 造部会 (部会長: 前田匡樹 東北大学教授) での議論が端緒となっております。調査においては、東京大学生産技術研究所 中埜研究室で実施いたしました。関係各位に感謝の意を記します。また、調査に協力頂いた被災地の方々にも謝意を記すと共に、一日も早い復興を祈念します。

参考文献

- 1) 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 年改訂版), 2001 年
- 2) 東京大学生産技術研究所 中埜研究室: 東北地方太平洋沖地震 復旧復興状況調査報告書, 2013 年 10 月
- 3) 東京大学生産技術研究所 中埜研究室: 津波避難施設の建設に資する情報収集を目的とした東日本大震災被災地調査報告書, 2014 年 12 月
- 4) 東京大学生産技術研究所 中埜研究室: 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震による建築物の地震被害および津波被害調査報告, 2012 年 3 月
- 5) 日本建築学会: 文教施設の耐震性能等に関する調査研究 報告書, 2012 年 3 月