

# 地震による天井の脱落被害および耐震対策

建築生産研究グループ 主任研究員 脇山 善夫

## 目次

I	はじめに
II	天井について
III	天井の地震被害について
	1) 近年の地震による天井脱落被害について
	2) 損傷形態毎に見る天井の損傷状況について
IV	天井の脱落による危害について
V	おわりに
	参考文献

## I はじめに

近年の地震の際に、非構造部材の被害が注目されるようになってきている。建築研究所は2011年東北地方太平洋沖地震発生以降行った地震被害調査の中で、外装材や開口部等の外観から確認できる非構造部材の被害を把握するとともに、体育館等について建物内部に入って行う調査において天井や内装材等の被害の把握を行っている。

様々な地震被害調査報告や報道において、天井の脱落被害は、東北地方から関東地方にわたる広い範囲の地域で見られており、天井の耐震対策は建築物の耐震安全性確保における重要な課題の1つとして再認識されている。

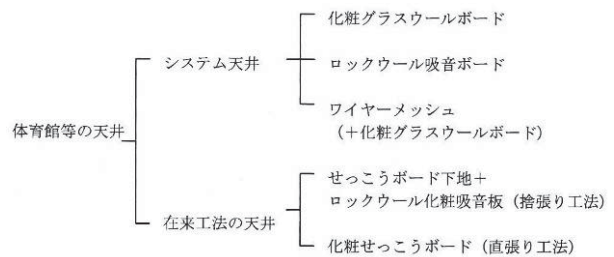
本稿では、近年の地震による天井の脱落被害について、東日本大震災による被害事例も含めて報告する。

## II 天井について

広辞苑で「天井」を引くと、「室内の上部の小屋組または床組を隠すために張った板壁。」「物の内部の最も高い所。」等の解説がある。本稿では「天井」の中でも「吊り天井」を取り上げて地震被害について報告する（以下、特に断らない限り、「天井」は「吊り天井」を指す）。

「吊り天井」と一口で言っても様々なものがあり、参考文献6では体育館等の天井について、表1のように大きく分類して、①システム天井、②在来工法の天井、それぞれについて以下の

表1 体育館等の天井の分類（参考文献6より）



ように説明している。

- ①システム天井：体育館等に用いられるシステム天井は、それぞれの製品のモジュールでスチールまたはアルミ製のTバーのラインを組み、ラインに化粧グラスウールボードまたはロックウール吸音ボードまたはワイヤーメッシュをのせる工法である。ワイヤーメッシュの場合、さらに化粧グラスウールボードをのせることもある。
- ②在来工法の天井：捨張り工法は鋼製下地材（軽量鉄骨下地材ともいう。）にせっこうボードをタッピンねじで張り上げ、仕上げ材にロックウール化粧吸音板を使用して、接着剤と釘またはステーブルを用いて化粧張りする工法である。直張り工法はタッピンねじを用いて鋼製下地材に、化粧せっこうボードを直接張り上げる工法である。

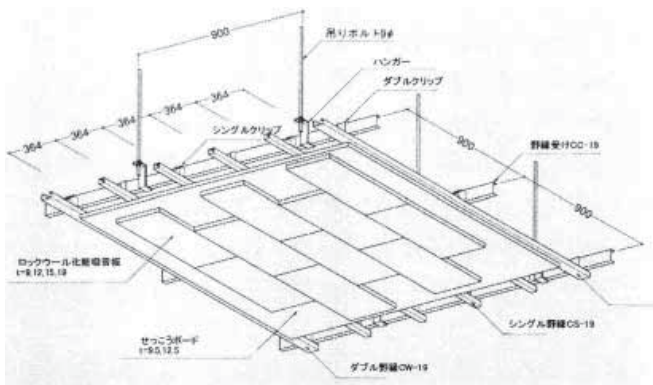


図1 捨張り工法による在来工法の天井の例：斜め下から見上げた姿図（参考文献6）

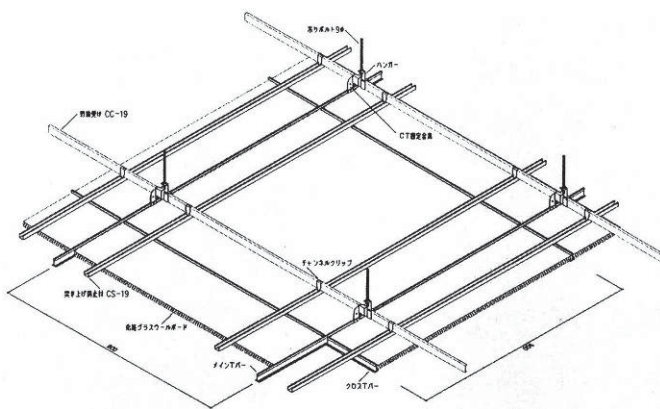


図2 化粧ガラスウールボードを用いたシステム天井の例：斜め上から見下げた姿図（参考文献6）

在来工法の天井で捨張り工法によるものの姿図は図1、システム天井の中で化粧ガラスウールボードを天井板として用いるものの姿図は図2に示すようなものである。

### III 天井の地震被害について

#### 1) 近年の地震による天井脱落被害について

表2-1（23頁）は参考文献2を基に作成した、東日本大震災による天井被害11事例について、対象建物の諸元、天井に被害

地震に関する諸元、被災場所（室）および被害を受けた天井の諸元について一覧にまとめたものである。従来から地震被害が多く報告されている大規模空間に限定することなく、種々の用途、様々な大きさ、天井高さの室における被害情報を収集している。

表2-2（23頁）は参考文献3、7～15を基に作成した、近年の地震における天井被害8事例について、同様に一覧にまとめたものである。従来から地震被害の報告が多い、大規模空間に関する事例を主な対象として整理している。

#### 2) 損傷形態毎に見る天井の損傷状況について

##### 天井端部（壁等との取り合い）での損傷

図3-1～3は在来工法の天井の端部における損傷事例である（図3-1、3-2は表2-1、2-2の事例に含まれていない）。

図3-1は野縁が周囲の壁に衝突する形になっており、野縁の曲がりおよび天井板の脱落が確認される。在来工法天井およびシステム天井の実大振動実験（参考文献21）では野縁方向にSin波で加振した天井端部を周辺に衝突させる加振を行っており、その際には天井の脱落など大きな損傷は生じていない。

図3-2は勾配を有する在来工法の天井の端部における損傷である。周囲の壁に野縁受けが突き付けられるような配置となっており、天井板が脱落した箇所について、天井裏の野縁受けが外周の柱等に衝突して曲がっていることが確認される。在来工法天井およびシステム天井の実大振動実験（参考文献21）では、野縁受け方向にSin波で加振した天井端部を周辺に衝突させる加振を行っている。その際に、衝突した部分の野縁受けが曲がり、クリップが外れて、野縁と天井板が一緒になってダブル野縁1スパン分脱落しており、地震被害同様に、天井面端部の野縁受けが変形し、天井板が脱落につながるような損傷が見られている。

図3-3は下に凸の曲面の在来工法の天井の端部での脱落で



図3-1 天井端部における損傷



図3-2 天井端部における損傷



図3-3 天井端部における損傷

ある(表2-2の事例14)。曲面の方向に配置された野縁受けは、ステージ側の端部はRC梁に埋め込んだ金物に溶接固定され、他端はアリーナ上部の天井の野縁受けに溶接されていたとのことである。

#### 天井面内の段差・折れ曲がり部等における損傷

図4は段差部を含む在来工法の天井の脱落被害である(表2-2の事例15)。参考文献8によると、段差部の接続部分近傍に局所的な力が作用して、野縁受けと野縁の間(クリップ)で破壊が生じて、段差位置近傍を起点として天井落下が生じた、ということである。参考文献18~20の実験等は、事例15における天井材の落下を再現することを目的に実施されており、地震時の屋根面入力加速度を模した水平一方向の加振により、段差部分の天井面が面外に垂れ下がる損傷が生じている。同様に段差部分を有する試験体に対する加振を参考文献21の実験でも行っており、中地震動程度を想定した一方向の加振により下がり壁が外れる損傷を生じている。

#### 天井面の中央部における損傷

図5-1は在来工法の天井面の中央部における損傷である(表2-2の事例13)。棟を中心として軸対象に、勾配中腹の天井面で脱落を生じている。天井端部や段差部における損傷は、天井が、周辺部の壁、あるいは、天井の他の部分に衝突する形で損傷しているのに対して、この損傷は天井の衝突は伴っておらず、天井の吊り元部分の地震時応答の大きさが天井の損傷の発生に影響していると考えられる。参考文献15、16はそれぞれ平成20

年度、平成21年度に国土交通省による建築基準整備促進事業に基づいて、事例13の体育館について、現地での建物の振動特性の実測、モデル解析、それらを踏まえて脱落被害を生じた天井を模した天井試験体の振動台実験を行い、その結果を報告したものである。それらの調査報告に基づき、個々の実験等について、参考文献22~33において報告している。被害を受けた体育館の天井を模した5.2m×5.76mの試験体の振動実験では、水平方向・鉛直方向ともに最大加速度が1.5Gを超える加振によって、試験体の天井面中央部のクリップが十数個外れる損傷を生じている。ハンガーの口が開き、野縁受けが長軸方向と直交方向に変形するなど、実際に地震被害で見られた損傷も生じている。

図5-2は2011年東北地方太平洋沖地震による、在来工法の天井面の中央部における損傷である(表2-1の事例1)。

#### 天井面の全面的な脱落

図6-1は在来工法の天井の全面的な脱落被害(表2-2の事例16)、図6-2はTバーとロックウール吸音板によるシステム天井の全面的な脱落被害(表2-2の事例17)である。

図6-1の事例16については、地震発生時に利用者がおり、天井脱落についての証言が以下のように報道されている。「揺れが始まると、『地震だー』と叫び声があがった。天井に張られた約千平方メートルのパネルが、南隅の方から徐々に落ち始め、あたり一面に散乱した。揺れが大きくなると、真ん中がどかんと落ちた。・・という。」(2005年8月17日朝日新聞)、「『天井の周りから落ちてきたので、とっさにプールの真ん中に潜った』



図4 段差部における損傷



図5-1 天井面の中央部で損傷



図5-2 天井面の中央部での損傷



図6-1 全面的な天井脱落



図6-2 全面的な天井脱落

と・・話した。」(2005年8月17日河北新報)。これらの証言を基にすると、天井が端部から落ち始め、連鎖的に脱落し、大面積の脱落につながったことが分かる。参考文献21の実験ではクリップが部分的に外れた状態の試験体について野縁方向にSin波の加振を行い、同様に、天井の連鎖脱落を生じている。

2011年東北地方太平洋沖地震の際には、茨城県の空港ロビー(表2-1の事例7)で在来工法の天井の脱落が生じ、その脱落の一連の様子がNHKによって撮影・報道されている(参考文献34)。地震の揺れに伴って生じた部分的な天井の損傷が天井の連鎖的な脱落に繋がる様子が記録されており、事例17の天井脱落状況の証言や参考文献21での天井試験体の加振実験で見られたような脱落の経過を確認することができる。

図6-2の事例17は、システム天井が全面的に脱落したものである。体育館の梁間方向に配置されたTバーにロックウール吸音板(幅300mm×長さ1,657mm×厚さ15mm)が載せられている。部材同士をネジ止めしていた形跡はなく、地震の揺れによって天井面が容易に変形し、Tバー同士の間隔があくなどしてロックウール吸音板の全面的な脱落が生じたものと考えられる。

#### IV 天井の脱落による危害について

天井の脱落により生じる危害を想定する場合、その要因として、天井自体について想定されるもの(例:天井質量、面積、設置高さ、天井材の堅さ、天井材の鋭利さ)、天井のある空間(室)について想定されるもの(例:室面積、室用途、退避行動のし易さ(避難経路、退避場所)、人について想定されるもの(例:行動の迅速さ、場所への慣れ、人数の多さ)、などが想定される。本稿では、天井自体に関わる、天井単位面積質量と天井の設置高さを取り上げて、表2-1と表2-2の天井脱落事例に関して考察する。

表2-1と表2-2の天井脱落事例について、天井単位面積質量(吊り部分よりも下の部分を概算)を横軸に、天井設置高さ(ここでは天井最高高さ)をプロットしたものが図7である。在来工法の天井が被害事例として多く上がっていることもあり、在来工法の天井の天井単位面積質量があてはまる $10\text{kg}/\text{m}^2$ 付近に事例が多く集まっている。また、 $10\text{kg}/\text{m}^2$ 付近の事例は3~15m程度までと、それぞれの高さに分布していることが分かる。

一方で、単位面積質量が $20\text{kg}/\text{m}^2$ を越すような比較的質量のある天井は、最高高さが10m以上に分布している。事例19については、天井単位面積質量、天井最高高さともに他の事例とは離れた箇所にあり、特別な位置付けにあることが印象づけられる。

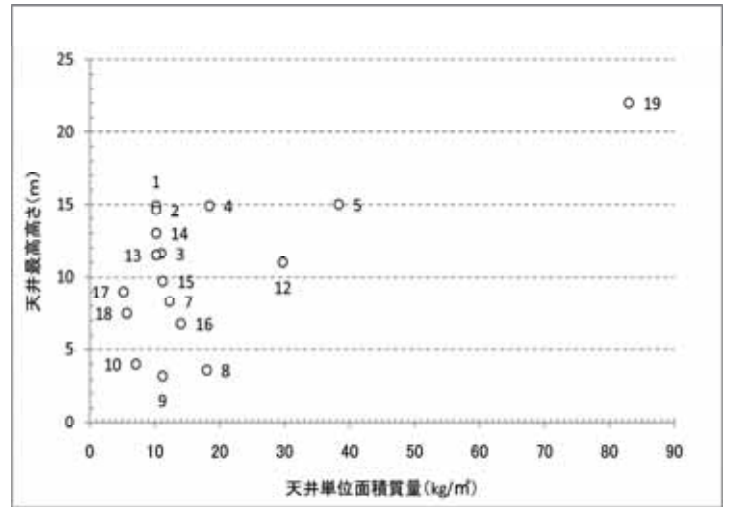


図7 地震被害をうけた天井事例の単位面積質量と天井最高高さ(数字は事例番号)

その他、天井単位面積質量が比較的軽い $8\text{kg}/\text{m}^2$ 以下の事例が、4~9m程度の高さに分布している。

天井の脱落により生じる危害を想定する場合、様々な要素によって想定される危害が変わってくる。設置される高さによって危害の想定が増す場合、その他の要素を減じることで総合的に危害の想定を低減することも考えられる。

#### V おわりに

本稿では、吊り天井を対象に、近年の地震による天井の脱落被害について報告した。テキスト作成にあたっては、平成23年度建築基準整備促進事業の調査事項41「地震被害を踏まえた非構造部材の基準の整備に資する検討」(事業主体:一般社団法人建築性能基準推進協会)による中間報告ならびに委員会・WG等における検討内容を参照した。

表 2-1 : 東日本大震災における天井の被害事例 (参考文献 2 より)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
建設地	茨城県	宮城県	宮城県	宮城県	宮城県	福島県	茨城県	宮城県	福島県	福島県	福島県
建設年	昭和60	平成6	平成17	昭和62	昭和48	昭和45	平成22	平成12	平成5、7	昭和54	昭和45
構造	SRC造・S造・RC造	S造	S造・RC造	RC造・S造	SRC造	SRC造	S造	S造	S造(一部SRC造)	SRC造	SRC造
本震震度	6弱	6強	6強	6弱	6弱	5強	6弱	6弱	5強	6強	5強
被災場所(室)の主な用途	体育館	体育館	体育館	ホール	ホール	ホール	空港ロビー	展示室	観覧席・通路	会議場	展示室
" おおよその広さ(m <sup>2</sup> )	1800	942	850	1100	900	700	942	1450	1450	207	500
" おおよその天井高さ(m)	10.7~14.9	11.6~14.6	10.7~11.6	14.9	15	15	8.3	3.6	2.5~3.2	3.1~4	4.5
天井種類	在来天井	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	システム天井										○
	木製下地天井					○					
天井単位面積質量の概算(kg/m <sup>2</sup> )	10.2	10.2	11.0	18.4	38.3	-	12.3	18.0	11.2	7.1	-
天井の断面概念図											
被害箇所の天井面内の位置	全面・ほぼ全面・区切られた一面	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	端部・他の部位との取り合い部	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	平面の中央部										
	段差・折れ曲がり部			○	○	○			○		
その他								○(Exp.部)			

表 2-2 : 近年の地震による天井の被害事例 (参考文献 3 及び 7~15 より)

	12	13	14	15	16	17	18	19
被災地震	2001芸予	2001芸予	2001芸予	2003十勝沖	2005宮城	2007能登	2007三重	2011東日本
建設地	愛媛県	愛媛県	広島県	北海道	宮城県	石川県	三重県	神奈川県
建設年	平成10年	昭和60年	平成元	平成15	平成17	昭和60	平成19	平成15
構造	RC造・S造	SRC造・S造	SRC・RC・S造	S造	S造	S造	S造	S造
本震震度	5弱	5強	6弱	5強	5強	6弱	5強	5弱
被災場所(室)の主な用途	体育館	武道館	体育館	空港ロビー	プール	体育館	飲食店	ホール
" おおよその広さ(m <sup>2</sup> )	726	535.5	857.5	756	1200	496	980	1400
" おおよその天井高さ(m)	平均11	9.5~11.5	8~13	9.73	6.5~6.8	7~9	3.6~7.5	22
天井種類	在来天井	○	○	○	○	○		-
	システム天井					○	○	
	木製下地天井							
天井単位面積質量の概算(kg/m <sup>2</sup> )	29.7	10.2	10.2	11.2	14.0	5.2	5.7	100
天井の断面概念図								-
被害箇所の天井面内の位置	全面・ほぼ全面・区切られた一面				○	○		○
	端部・他の部位との取り合い部	○			○	○		
	平面の中央部		○	○			○	
	段差・折れ曲がり部				○	○		
その他								

## 参考文献

- 1) 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：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震調査研究（速報）（東日本大震災）、2011.5、国土技術政策総合研究所資料No.636／建築研究資料No.132（<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/20110311/0311quickreport.html>）
- 2) 一般社団法人建築性能基準推進協会：地震被害を踏まえた非構造部材の基準の整備に資する検討 中間報告書、2011年7月
- 3) (財)日本建築防災協会：川崎シンフォニーホール震災被害調査中間報告書、2011年8月
- 4) JISA6517:2010 建築用鋼製下地材（壁・天井）
- 5) JISA6901:2005 せっこうボード製品
- 6) 体育館等の天井の耐震設計ガイドライン、(財)日本建築センター、2005年5月
- 7) 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：芸予地震被害調査 - 体育館など大空間を構成する建築物の天井落下、2001年4月
- 8) 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：2003年十勝沖地震における空港ターミナルビル等の天井の被害に関する現地調査報告、2003年10月
- 9) 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：平成16年新潟県中越地震建築物被害調査報告（速報）全体版、2004年12月
- 10) 国土交通省住宅局建築指導課、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：スポパーク松森における天井落下事故調査報告 一大空間を有するスポーツ等施設の天井落下、2005年8月
- 11) 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：能登半島地震及び三重県中部を震源とする地震の現地調査の実施状況について 速報、2007年5月
- 12) 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：平成19年（2007年）能登半島地震建築物地震被害調査報告、2007年10月
- 13) 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：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震建築物被害調査報告、2007年12月
- 14) 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：平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震建築物被害調査報告・平成20年7月24日岩手沿岸北部の地震建築物被害調査報告、2008年10月
- 15) 戸田建設(株)、西松建設(株)、(財)日本建築センター：大規模空間を持つ建築物の天井脱落等およびスプリンクラー設備の地震時機能維持等に関する調査、2009年3月
- 16) 戸田建設(株)、西松建設(株)：大規模空間を持つ建築物の天井脱落等およびスプリンクラー設備の地震時機能維持等に関する調査、2010年3月
- 17) 戸田建設(株)、西松建設(株)：大規模空間を有する建築物の連層ガラス窓・天井被害に関する調査、2011年3月
- 18) 中本康他：釧路空港ターミナルビル天井材落下に関する研究 その1 天井材落下被害状況、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-1、pp.883-884、2004年8月
- 19) 豊嶋学他：釧路空港ターミナルビル天井材落下に関する研究 その2 振動台実験概要、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-1、pp.885-886、2004年8月
- 20) 仁科雄太郎他：釧路空港ターミナルビル天井材落下に関する研究 その3 実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-1、pp.887-888、2004年8月
- 21) 脇山善夫他：在来工法天井およびシステム天井の実大振動実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.219-220、2008年9月
- 22) 脇山善夫他：学校体育館の振動特性調査 その1 調査の背景と概要、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.585-586、2009年8月
- 23) 稲井慎介他：学校体育館の振動特性調査 その2 天井に地震被害を受けた体育館の常時微動計測・強制加振実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.587-588、2009年8月
- 24) 長谷川隆他：学校体育館の振動特性調査 その3 天井に地震被害を受けた体育館の立体地震応答解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.589-590、2009年8月
- 25) 金川基他：学校体育館の振動特性調査 その4 切妻屋根体育館の常時微動計測・強制加振実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.591-592、2009年8月
- 26) 飯塚信一他：学校体育館の振動特性調査 その5 切妻屋根体育館の立体地震応答解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.593-594、2009年8月
- 27) 渡壁守正他：学校体育館の振動特性調査 その6 切妻屋根体育館の地震観測結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.595-596、2009年8月
- 28) 飯塚信一他：地震被害を受けた体育館の天井脱落挙動に関する実験的研究 その1 屋根勾配を有する天井試験体の振動台実験概、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.49-50、2010年9月
- 29) 高井茂光他：地震被害を受けた体育館の天井脱落挙動に関する実験的研究 その2 振動特性実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.51-52、2010年9月
- 30) 脇山善夫他：地震被害を受けた体育館の天井脱落挙動に関する実験的研究 その3 実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.53-54、2010年9月
- 31) 石岡拓他：地震被害を受けた体育館の天井脱落挙動に関する実験的研究 その4 山形ラーメンの小規模振動台実験および解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.55-56、2010年9月
- 32) 稲井慎介他：天井脱落被害に関する実験的検討 その1 クリップ単体の材料性能、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.395-396、2011年8月
- 33) 金川基他：天井脱落被害に関する実験的検討 その2 小規模試験体実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.397-398、2011年8月
- 34) NHKニュース 東北地方太平洋沖地震・関東地方のニュース（[http://www.youtube.com/watch?v=XRvBbP\\_s7o8](http://www.youtube.com/watch?v=XRvBbP_s7o8)）※2012年1月現在。