

人体耐性指標を用いた天井材の安全性評価に関する基礎的研究  
その3 天井材落下実験2

正会員 ○内田拓見\*  
同 川口健一\*\*  
同 荻芳郎\*\*\*  
同 大矢俊治\*\*\*\*

非構造材 大規模集客施設 人体耐性指標  
天井 吊り天井 地震

1. 天井材落下実験概要

1.1 実験目的

天井材が落下して人体と衝突した際に与える影響は、その設置高さや材質及び衝突角度や人体部位などによって異なると考えられる。本研究では、4種類の天井材を様々な高さから落下させ、人頭模型に衝突させた際の衝撃を、人体耐性指標を用いて評価する。

1.2 実験概要

1.2.1 天井材

天井材は体育館等で多く用いられている材質を中心に採用した。捨て張り天井として、ケイ酸カルシウム板とロックウール吸音板を張り合わせた物も用意した。表1に試験体の材料特性を示す。実験に用いた天井材のサイズは、一般に市販使用されているサイズの材である。

表1. 試験体の材料特性

材質名	製造元	商品名	サイズ(mm)	重量(kg)
ロックウール吸音板	日東紡株式会社	ソーラトン	300×600×12	0.7
ケイ酸カルシウム板	三菱マテリアル株式会社	NAラックス	910×910×8	5.5
捨て張り天井	三菱マテリアル株式会社	NAラックス	910×910×8	9.5
	日東紡株式会社	テラトーン	300×600×12	
野縁付き捨て張り天井	ニチアス株式会社	NAラックス	910×910×8	10.5
	日東紡株式会社	テラトーン	300×600×12	
		シングル野縁	17×25×0.8	
		ダブル野縁	17×50×0.8	

1.2.2 実験方法

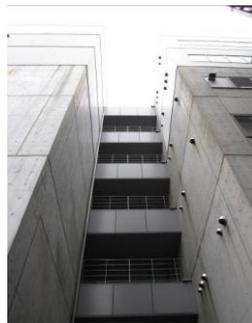
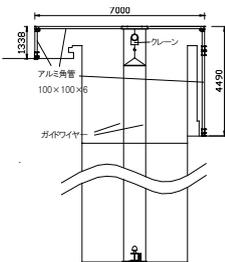


図2. アルコブ部分

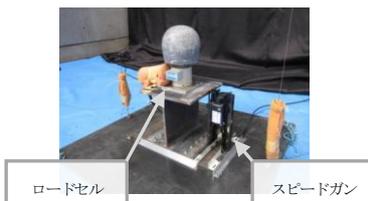
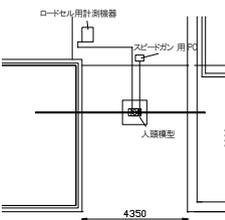


図3. 人頭模型

図1. 実験装置全体図

図1のように、アルミ角パイプを用いて作成した門型フレームを建物アルコブ(図2)の屋上に架け渡し、ウィンチを中央部に設置した。ウィンチによって水平に吊下げた天井材を落下

高さまで上昇させ、吊下げている紐を高枝切り鋏で切断し、天井材を落下させた。天井材は門型フレームと土台を結ぶ2本の金属製ワイヤーに誘導されて水平のまま垂直に落下し、人頭模型(図3)に衝突する。人頭模型は JIS 規格乗用人頭模型を用いており、H形鋼及び鉄板の土台の上に設置されている。なお本実験では、模型下に設置したロードセルで人頭模型への衝撃荷重、人頭模型付近に設置したスピードガンで距離と落下速度をそれぞれ計測した。

2 実験結果と考察

2.1 最大速度

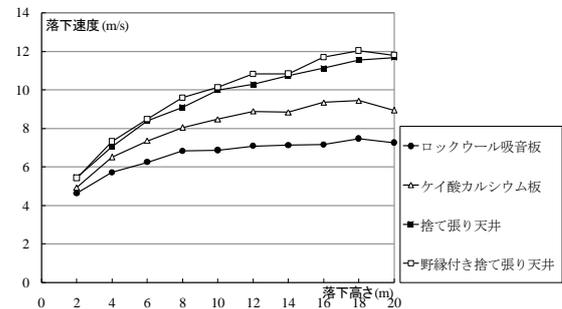


図4. 最大速度平均値

図4に最大速度の落下高さ毎の分布を示す。この表から判るように、最大速度はすべての天井材で落下高さと共に上昇し、その後その勾配は次第に緩やかになる。質量が大きな捨て張りや野縁付き捨て張りは20mでも完全な収束には至らず、速度も大きくなっていることが確認できた。

2.2 人体耐性指標による安全性評価

2.2.1 最大衝撃荷重による評価

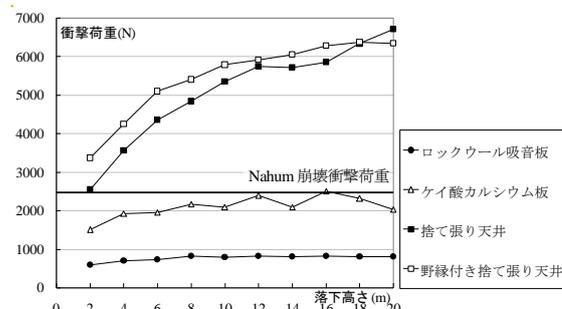


図5. 最大衝撃荷重平均値

図5に、本実験により得られた最大衝撃荷重の3回ずつの平均値を比較したものを示す。また、人体耐性指標として、Nahumによって行われた頭蓋骨に関する衝撃実験の結果に基づき提案された、頭頂骨の崩壊衝撃荷重(2450N)を実線で示す。捨

て張り天井が野縁なし・野縁付き共に全ての高さにおいて危険域となっている。ケイ酸カルシウム板では16mのみ危険域となっているが、12m付近でも危険域に入る可能性は十分にあると考えられる。ロックウール吸音板は安全域となっている。過去の被害例として、ケイ酸カルシウム板(8mm)捨て貼り・ロックウール(12mm)仕上げの天井板が、約8mの高さから落下するという事故の場合、3名が頭蓋骨あるいは脊椎、腰椎の骨折という重傷を負った。この3名は立位であったと考えられ、人間の身長を差し引くとこの時の天井板と頭部の距離は6~7m程度ある。上記の結果は、Nahumの実験による評価危険域に入っている。頭蓋骨ではないが、その他の箇所が折れる程度の衝撃が起きているという事実から、本評価方法には妥当性があると言える。

### 2.2.2 最大衝撃加速度による評価

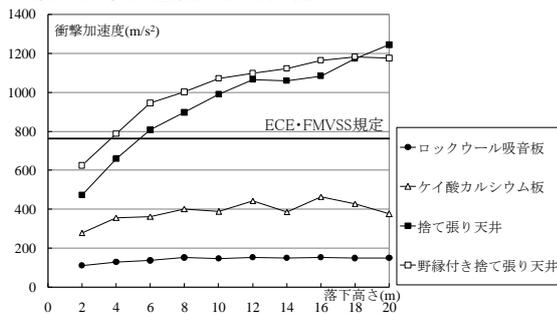


図6 最大衝撃加速度平均値

図6に最大衝撃加速度を示す。ECE 94 欧州経済委員会による基準 94 項「前面衝突時における乗員の保護」、並びに FMVSS 208(Federal Motor Vehicle Standards) 米国連邦自動車安全基準 208 項「衝突時の乗員保護」において、「衝突時の頭部の加速度が 80G 以下(784 m/s<sup>2</sup>)にする」と定義されている。閾値 80G を実線で示すと、捨て張り天井が 4m 以降で危険域、野縁付き捨て張り天井が 6m 以降で危険域、その他は全て安全域となっている。既述の屋内プールの落下事故において、捨て張り天井 7m で骨折や脳挫傷等の被害が起きていることから、この辺りが閾値であるとは考えにくい。その原因として、加速度の作用方向の違いが考えられる。本指標は自動車事故などを想定し考案され、前方への衝撃を想定して作成されたものである。様々な研究により、頭部の鉛直方向の耐性は水平方向の約半分であるといわれていることから、本実験のように鉛直方向への衝撃の評価に用いることは、必ずしも適切であるとは言えない。鉛直方向からの天井材の衝突の安全性評価に用いることが可能かどうかは、今後更なる検討が必要であると考えられる。

### 2.2.3 HIC による評価

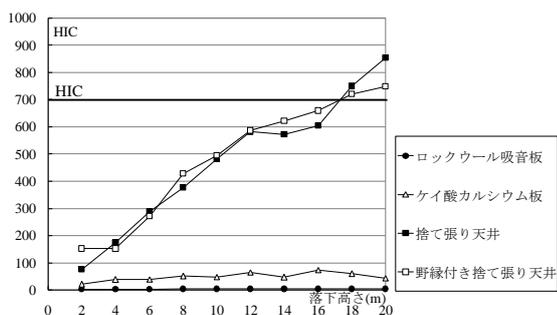


図7 HIC 平均値

図7に現在、自動車のダミー実験で頭部障害の可能性を評価するために広く用いられている HIC を示す。

HIC は以下の式によって算出される。

$$HIC = \left( \frac{\int_{t_1}^{t_2} a dt}{t_2 - t_1} \right)^{2.5} (t_2 - t_1)$$

a: 頭部の重心の加速度(単位は重力加速度 g)

t<sub>1</sub>: パルスの任意の時刻

t<sub>2</sub>: t<sub>1</sub>を決めた時、HIC を最大にする時刻

強い接触衝撃の評価において、積分時間 t<sub>2</sub>-t<sub>1</sub> に関しては、15ms 以下、閾値が 700 と定義されている。この提案されている閾値 700 を実線で示す。

捨て張り天井と野縁付き捨て張り天井が 16m 以降で危険域、その他は全て安全域となっており、実際に傷害が起きているケースでも安全域になっている。HIC は現在、一般に最も信頼性の高い指標と考えられているが、本実験では妥当な評価とは言えない。この原因として、加速度の作用方向の違いが考えられる。HIC は前節と同様に自動車事故などを想定し考案されたため、前方への衝撃を想定して作られたものである。今回の実験のように鉛直方向への衝撃の評価に HIC を用いることが可能であるかどうかは、今後更なる検討が必要であると思われる。

### 3. 結論

本研究は、非構造材の設置高さや材質による落下時の人体への安全性を評価する手法を開発することを目的とし、天井材の人頭模型への落下実験によって得られた衝撃力を様々な人体耐性指標により評価して閾値と比較することで、これらが評価手法となりうるかどうかを検討した。以下に、得られた知見を記す。

- ・Nahum の頭蓋骨骨折を引き起こす最大衝撃荷重を用いて評価した場合は、概ね妥当な結果が得られた
  - ・ECE・FMVSS 規定による最大衝撃加速度及び自動車事故の分野でよく用いられている HIC による評価では、実際に傷害が起きているケースでも安全域になっており、頭頂部へ衝突することの多いと考えられる天井材の安全性評価には向かないことがわかった
- 加速度に関する評価あるいは力積を用いる HIC であまり妥当な評価は得られなかった。理由としてどちらも前方方向からの衝撃を想定したものであるためだと考えられる。
- 天井落下被害時の状況には様々な様態が考えられるが、本実験である程度基本的な性状が把握できるものと考えている。

### 謝辞

本研究の一部は国土交通省平成 20 年度建設技術研究開発助成研究「大規模集客施設内部の非構造材の落下安全性評価法の開発」の助成を受けている。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- [1] Japan Automobile research Institute, inc(JARI), Handbook of Human Tolerance, 1976
- [2] (社)自動車技術会 安全部会歩行者保護分科会.交通外傷バイオメカニクス
- [3] 片山慎一郎・川口健一・内田拓見・荻芳郎・大矢俊治, 人体耐性指標を用いた天井材の安全性評価に関する基礎的研究 その 1・その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp1081-1084, 2009.

\*東京大学大学院

\*\*東京大学生産技術研究所 教授・工博

\*\*\*東京大学生産技術研究所 助教

\*\*\*\*東京大学生産技術研究所 技官

\*Graduate Student, University of Tokyo

\*\* Professor, IIS, University of Tokyo, Dr.Eng.

\*\*\* an assistant lecturer, IIS, University of Tokyo

\*\*\*\*Technical Researcher, IIS, University of Tokyo