

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 20 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06142

研究課題名(和文)天井落下時に発生する頭部衝撃荷重の評価に関する研究

研究課題名(英文)Research on Impact Road of Dropped Ceilings to A Dummy Head

研究代表者

中楚 洋介(Nakaso, Yosuke)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：70756361

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：これまで既存の天井やこれから設計する天井が落下した際の危険度を評価するため、人頭模型への天井材落下実験を1～20 mの高さから種々の材料を用いて行い、発生する衝撃荷重等を計測してきた。本研究では、天井材落下実験を模擬した数値解析を行い、今後新たに開発される天井材に対してより簡易に衝撃荷重を推定する手法の開発に取り組んだ。

本研究では、衝撃解析で得られた実験値と解析値に高い相関性があることが確認でき、また、これまでデータの蓄積が全くない天井材のひずみ速度依存性について、準静的載荷試験やSHPB法による衝撃試験を行うことで解析時必要となる物性値を取得した。

研究成果の概要(英文)：Ceiling impact has been measured using various materials from one to twenty m high with a dummy head to propose the safety criteria of ceilings. On this research, the numerical analysis simulating the ceiling drop tests was done, and the impact load estimation method for new ceiling materials was developed.

On this research, it is confirmed that the results obtained by the impact analysis are strongly correlated with the experimental results. Also, the strain rate dependency is considered by the quasi-static tests and the SHPB method, and the required material values for the numerical analysis were accumulated.

研究分野：建築構造

キーワード：天井 非構造材 安全性評価 衝撃解析 SHPB法 ひずみ速度 落下実験 人頭模型

1. 研究開始当初の背景

天井落下被害は、世界各国で地震の有無に関わらず日常的に発生している。地震時には躯体の被害に比べて低い震度で発生するため、その被害は広範囲に及ぶ。2011年の東日本大震災でも図1に示すような天井落下被害が2000を超える夥しい数の施設で起こり、少なくとも死者5名を含む77名の死傷者が発生した。東日本大震災を契機に天井落下被害に対する関心は急速に高まり、産学官がこぞって安全対策に尽力している。安全対策を行うに当たり、第一に行わなければならないのが危険度評価である。既存の天井やこれから設計する天井が落下した場合に、人命に危害を及ぼすか否かという天井の危険度を評価することは非常に重要であり、最優先事項である。危険と評価された天井は迅速に天井材の軽量柔軟化、落下防止ネットの設置、撤去等を行い、人命保護を確保しなければならない。著者らは、天井落下時に発生する衝撃荷重と適切な人体耐性を比較することで危険度の評価法を提案している。市販の大きさの各種天井材を1~20mの高さから人頭模型に落下させ、人頭模型下に設置したロードセルで荷重を計測しており、合計約800枚のデータを蓄積してきた(図2)。しかし、新材料の開発時等に毎回天井材落下実験を行うには労力と費用がかかるため、簡易な実験や数値解析による衝撃荷重の推定法の確立が望まれる。

2. 研究の目的

危険度評価法を確立する上で達成すべき課題として、「簡易に衝撃荷重を同定する手法の提案」があり、本研究ではこれを達成することを目的とする。

危険度評価法を確立する上で達成すべき課題を大きく分けると、

- ・天井材落下実験による衝撃荷重の計測
- ・簡易に衝撃荷重を同定する手法の提案

「天井材落下実験による衝撃荷重の計測」に関しては、さらに次の4つの課題に分けられる。1. 種々の高さにおける各種天井材の



図1 天井落下被害事例

衝撃荷重計測、2. 衝突面における衝撃荷重の同定、3. 天井材のスケール効果の検討、4. 人頭模型と実際の人頭の違いの検討、である。1については、既に各種天井材を用いて天井材落下実験を行い、データを蓄積してきた。2については、Nahumらは死体の頭部にインパクトを衝突させることで骨折荷重を提案しており、その荷重はインパクト先端に取り付く荷重変換器により頭部との接触面で計測されている。一方、天井材落下実験では衝突面での荷重計測が困難だったため、人頭模型下に設置したロードセルで荷重を計測してきた。そこで、既往の研究において逆解析によりロードセルの記録から天井材と人頭模型の接触面における荷重を同定した。

「簡易に衝撃荷重を推定する手法の提案」に関して、天井材落下実験を行えば、天井材が落下した際の衝撃荷重を直接計測することはできるが、本実験では特殊な実験装置や労力が必要となる。そこで、本研究では、天井材落下実験を行わなくても曲げ試験等の簡易な実験や数値解析から衝撃荷重を推定する手法の検討を行う。

また、危険度評価を行う上で参考となる実被害のデータを、天井落下被害の調査を行うことで収集する。

3. 研究の方法

マグネシウム合金製の人頭模型を有限要素モデルに置き換え、天井材落下実験を模擬した時刻歴応答解析を行う。本解析では、通常の時刻歴応答解析で良く求める変形モードや固有振動数ではなく衝撃荷重の最大値のみ算出することを目的としているため、人頭模型及び天井材は対称性を利用した1/4モデル(図3)とし、計算コストの削減を図る。人頭模型の底面は固定とし、他の部分は鉛直方向のみ動きを許容している。天井材は線形材料とし、落下開始位置は人頭模型から上空1mmとして所定の高さから天井材を落下させた場合における衝突直前速度を理論式によって算出し、速度荷重として天井材に与える。このときの衝撃荷重は、人頭模型底面に発生する反力を4倍(フルモデルへの換算)した

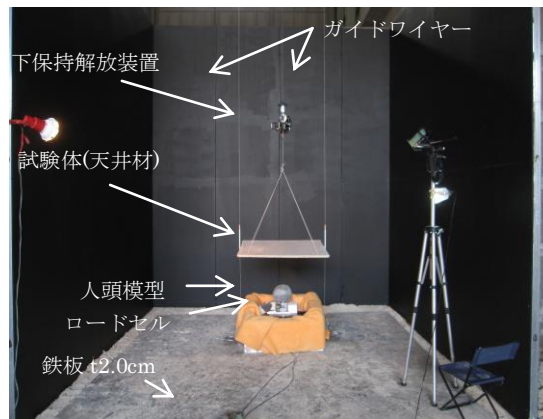


図2 天井材落下実験

ものとして算出する。天井材の物性値には、天井メーカー等企業からの情報から得られる値をまず利用する。但し、天井材落下実験のような衝撃を伴う場合は、ひずみ速度効果を考慮した材料の物性値が必要となるが、このようなデータはほとんどない。そこで、数値解析を進めていく一方で、静的・準静的載荷試験やスプリット・ホプキンソン棒法による衝撃試験により材料のひずみ速度依存効果の検討を行う。

4. 研究成果

(1) 天井材落下実験を模擬した衝撃解析

天井材として最も普及している石膏ボード (GB) 及びケイ酸カルシウム板 (CS) を対象に、人頭模型モデル底面の支持条件を変えた 3 種類のモデルを用いて天井材落下実験を模擬した数値解析により最大衝撃荷重の推定を試みた。モデル 1, 2 では底面を固定とし、モデル 3 ではバネ-ダンパーモデルを設定した。バネの剛性及び減衰定数は人頭模型の打撃試験より得られた荷重履歴から最小 2 乗法により求めた。図 4 に示すように、いずれのモデルにおいても最大衝撃荷重に関して、解析値と実験値には高い相関性があることを確認することができた。しかし、両者の最大衝撃荷重には 9~14 倍程度の差が見られた。この原因としては、材料の非線形性が解析では考慮されていない点が挙げられる。また、本解析はあくまで人頭模型の模擬であり、実際の人頭を模擬してはいない。この影響については別途検討することが望まれる。

(2) ひずみ速度を考慮した材料試験

石膏ボード及びケイ酸カルシウム板を対象に、静的・準静的圧縮試験及び SHPB 法による衝撃圧縮試験を行った。静的・準静的載荷試験は、万能試験機を用いて試験片の長さ及び載荷速度を変え行っている。図 5 に示す通り、両材質共にひずみ速度が上がるにつれて破壊強度が増す傾向が確認できた。ケイ酸カルシウム板は、比較的低いひずみ速度の段階から概ね線形に破壊強度が上がっているのに対し、石膏ボードは SHPB 法の結果のみ大きく破壊強度が上がっている。

(3) 天井落下被害調査

平成 28 年熊本地震等において天井落下被害の調査を行い、危険度評価を行う上で参考となる実被害のデータを蓄積した。

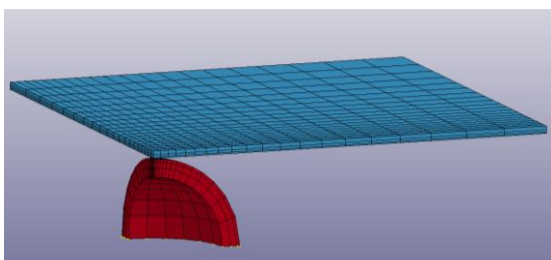


図 3 数値解析モデル

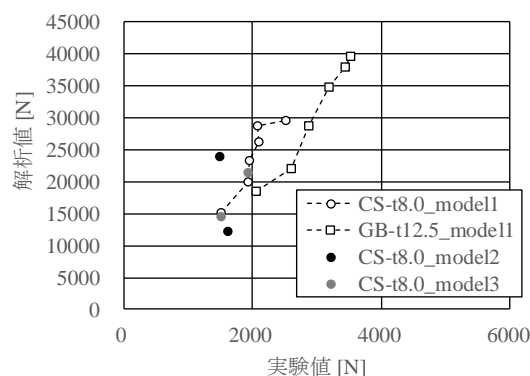


図 4 最大衝撃荷重の解析値と実験値の比較

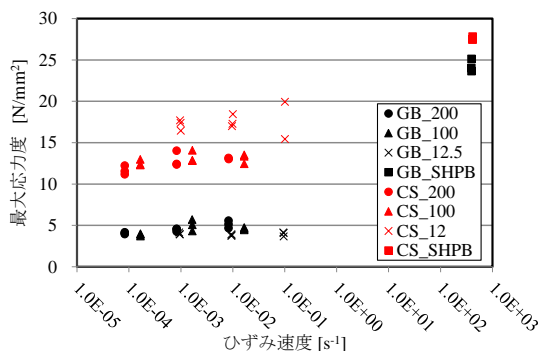


図 5 ひずみ速度と最大応力の関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Yosuke NAKASO, Ken'ichi KAWAGUCHI : Report on some large span structures damaged during the “2016 Kumamoto Earthquake”, Bulletin of Earthquake Resistant Structure Research Center (査読無し), No. 50, 6pp., 2017. 3
- ② 中楚 洋介, 川口 健一: 平成 28 年熊本地震における大規模集客施設の被害調査, 生産研究 (査読無し), Vol. 68 No. 6, pp. 3~8, 2016. 11
- ③ Yosuke NAKASO, Ken'ichi KAWAGUCHI, Yoshiro OGI, Shunji OYA, Yuki OZAWA, Yuya MORI : Seismic Control with Tensioned Cables for Suspended Ceilings, Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures (査読有り), Vol. 56 No. 4, pp. 231~pp. 238, 2015. 12

[学会発表] (計 3 件)

- ① 中楚 洋介, 川口 健一: 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 9 衝撃解析による最大荷重の推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集構造 I, pp. 823~824, 2016. 8. 25, 福岡大学 (福岡)

- ② 中楚 洋介, 川口 健一: 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8 逆解析の妥当性の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造 I, pp. 889~890, 2015. 9. 5, 東海大学 (神奈川県)
- ③ Yosuke NAKASO, Ken'ichi KAWAGUCHI, Yoshiro OGI, Shunji OYA, Yuki OZAWA, Yuya MORI : Seismic Control with Tensioned Cables for Suspended Ceilings, Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2015, Amsterdam, 2015. 8. 18, Amsterdam (The Netherlands)

[その他]

平成 27 年 6 月 4~6 日及び平成 28 年 6 月 2~4 日に行われた東京大学駒場リサーチキャンパス公開では, ポスターを展示し研究紹介を行った.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中楚 洋介 (NAKASO, Yosuke)
東京大学・生産技術研究所・助教
研究者番号: 70756361