

平成 26 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：強風防災

研究期間：H26 ～ H27 [平成 26 年度で終了]

課題番号：133006

研究課題名（和文）： 衝撃的な事象（隕石等）による風工学的問題に関する研究

研究課題名（英文）： Wind engineering studies for the damage prediction of a meteoroid impact.

研究代表者：野津 剛

交付決定額（当該年度）：390,000 円

1. 研究の目的

2013 年 2 月 15 日、ロシア連邦ウラル連邦管区のチェリャビンスク州付近で隕石の影響で周辺建物に甚大な被害が発生した。被害の要因は上空を隕石が超音速で移動し、爆発的に分裂したことにより発生した衝撃波によるもので、複数の建築物の屋根や窓ガラスに大きな被害が発生した。隕石が市街地の上空に接近する発生確率は非常に小さいが、仮に接近した際には上空で強烈な衝撃波が発生するため、市街地全体（今回のケースでは半径約 100km）に被害が生じることになる。このような衝撃的な事象により地上構造物に作用する衝撃荷重の算定や、構造物の被害予測、さらには減災への提案などはある意味で風工学が関係する分野とも考えられる。そこで本研究課題では、これまで研究を行ってきた水素ガス爆発を対象とした爆風圧の伝播解析や構造物の応答解析技術を活用し、隕石のような衝撃的な事象を対象に衝撃荷重の評価、被害予測を行うことを目的とする。

2. 研究の方法

衝撃的な事象として、隕石被害および水素ガス漏洩爆発を対象とする。主な実施項目は以下の 3 項目である。

1) 隕石による衝撃的事象

ロシア・チェリャビンスク州に甚大な被害を引き起こした隕石を対象に、ガラス被害率から衝撃荷重を推定する手法を確認し、それをもとに隕石の落下頻度と衝撃荷重の関係を整理する。また、外部ハザードとして考慮するべきかを判断するために、日本における隕石被害の発生頻度を算出する。

2) 水素ガス爆発による衝撃的事象

水素ガス爆発を対象に衝撃荷重の評価・被害予測をめざし、水素ガスの燃焼（爆燃）を計算する解析コードの整備を引続き実施する。ここでは、屋外爆発実験を対象に解析コードの精度検証を実施する。

3) 研究集会の開催

昨年度の研究集会では主に外力としての衝撃現象に注目したので、今年度の研究集会では建築的観点から建物被害に注目したものを中心とする。そのため、衝撃荷重として津波、隕石、ガス爆発を対象とした建物被害の研究・調査、さらには建築物の耐衝撃設計の考え方に関して研究集会を開催する。

3. 研究成果

研究成果は以下のとおり。

1) 隕石による衝撃的事象

ロシア・チェリャビンスク隕石を対象にした建物にかかる衝撃荷重の推定 (P. G. Brown et al., 2013, Kummer, P., 2004)、および隕石の落下頻度を推定する予測式 (Gareth S. C. et al., 2005) から、隕石の落下頻度と衝撃荷重との関係を整理した。また、外部ハザードとしてどの程度、考慮するべきかを判断するための材料として、日本の隕石被害の発生頻度を算出した。

表 1-1: ガラス破損率から衝撃荷重の推定

Window Type	Breakage (%)	Resulting Overpressure (kPa) <small>Source</small>
All	12.5	2.6 ⁴⁴
A	4.7	4.0 ⁴⁵
B	14.1	3.1 ⁴⁵
C	23.8	2.8 ⁴³
D	57	3.1 ⁴⁵
All (shard velocity)	7.8m/s	2.6 ⁴⁶
(A+B)	10.4	4.2 ⁴³
(C+D)	28.4	3.0 ⁴³

表 1-2: ガラス飛散怪我率からの衝撃荷重推定

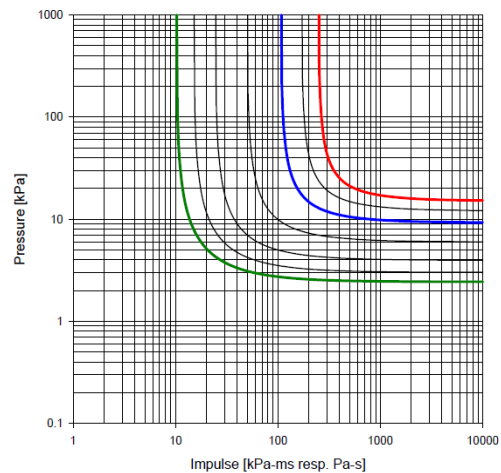


表 1-3: 隕石の落下頻度と衝撃荷重

直径	落下頻度	爆風圧	被害
1m	10日に一度	1Pa以下	空中で小規模爆発 大気圏で燃え尽きる
10-20m	100年に一度	1-10kPa	空中で中規模爆発 一部の破片が地面に到達
50m	1000年に一度	10-200kPa	1908年ツングースカ大爆発 東京と同面積が焼け野原
100m	1万年に一度	-	空中で大爆発 1~2kmのクレーター
1km	100万年に一度	-	クレーター 気候変動
10km	1億年に一度	-	巨大なクレーター 気候変動 大量絶滅

参考論文:

P. G. Brown et al., A 500-kiloton airburst over Chelyabinsk and an enhanced hazard from small impactors, Nature 503, doi: 10. 1038/nature12741 (2013)

Kummer, P., Glass Breakage and Injury-Yet Another New Model, 31st Department of Defense Explosives Safety Seminar, August 24-26, San Antonio, TX, 2004-10001BY (2004)

Gareth S. C. et al., Earth Impact Effects Program: A Web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth, Meteoritics & Planetary Science 40, Nr 6, 817-840 (2005)

2) 水素ガス爆発による衝撃的事象

水素ガス爆発を対象とした衝撃荷重の評価・被害予測をめざし、水素ガスの燃焼（爆燃）を計算する解析コードの検証解析を実施した。ここでは、2種類の屋外爆発実験を対象とした。

2-1) 検証解析①

屋外空間において、水素濃度 30%の混合ガス 5.3 m³をテント内に溜め、その混合ガスに電気スパークで着火させた爆発実験 (T. Nozu et al., 2005) を対象とした。着火点から 5m 離れた位置に設置した幅 10m、高さ 2m、厚さ 15cm の RC 壁の表面および裏面の爆風圧について、実験結果と解析結果を比較したところ、両者がほぼ一致した。

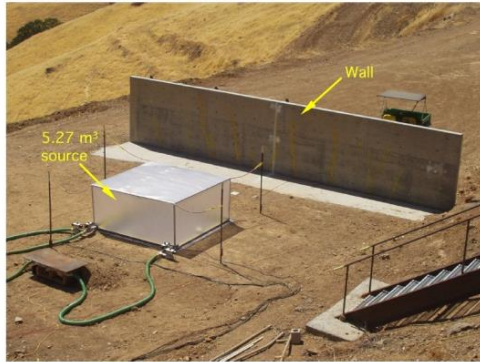


図 2-1 : 爆発実験の様子

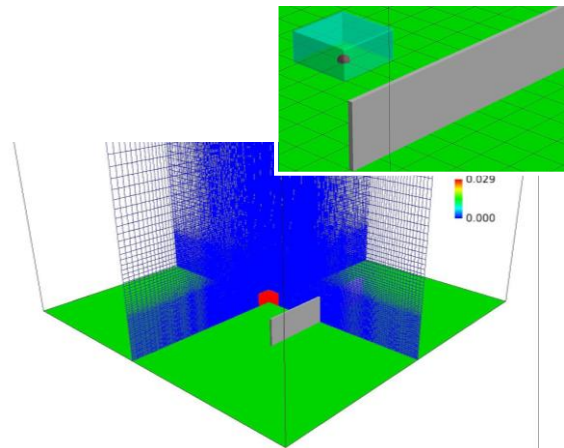


図 2-2 : 解析空間および解析格子

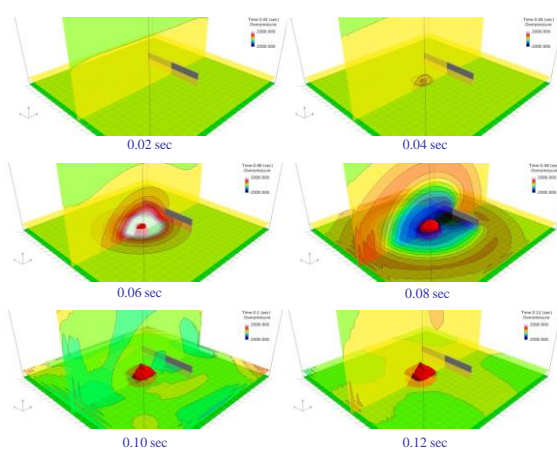


図 2-3 : 火炎面・圧力の時間変化

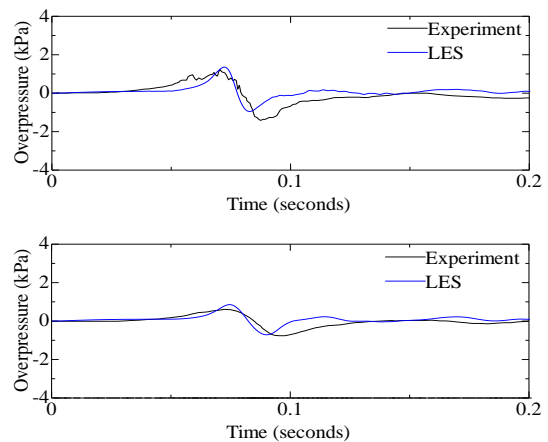


図 2-4 : 壁面圧力の実験との比較

(上 : 表面、下 : 裏面)

参考論文 :

T. Nozu, R. Tanaka, T. Ogawa, K. Hibi, Y. Sakai, Numerical simulation of hydrogen tests with barrier for blast mitigation. International conference on hydrogen safety, Pisa (2005)

2-2) 検証解析②

検証解析①で行った爆発実験を基準として、テント内部に鉄筋で組んだ障害物を設置してから水素濃度 30%の混合ガスを溜め、電気スパークにて着火させた。爆発実験では障害物の影響により火炎伝播速度が増速して非常に大きな爆風圧が得られたが、着火点から同距離で測定された爆風圧について実験結果と解析結果とを比較したところ、解析結果が大幅にずれた結果（過小評価）となった。その要因を調査中である。

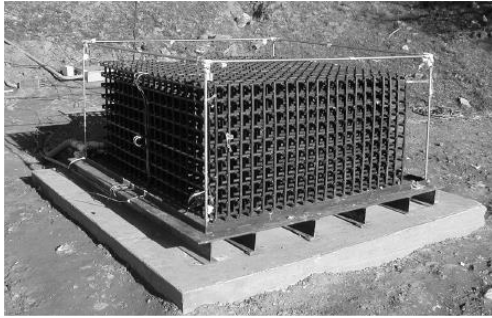


図 2-5：爆発実験の様子

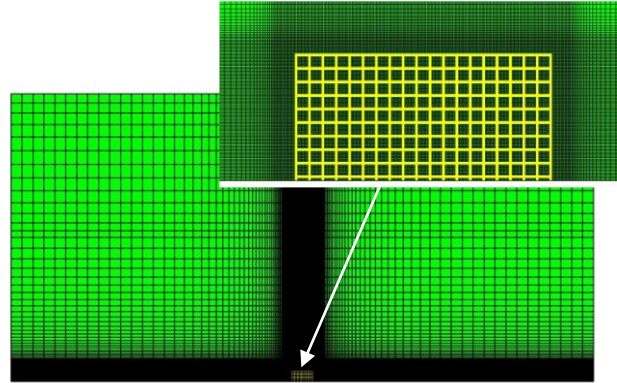


図 2-6：全体および障害物近傍の計算格子

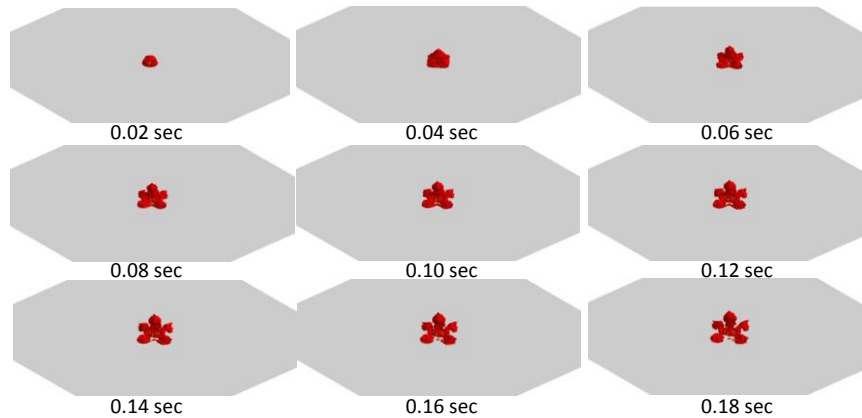


図 2-7：火炎面の時間変化

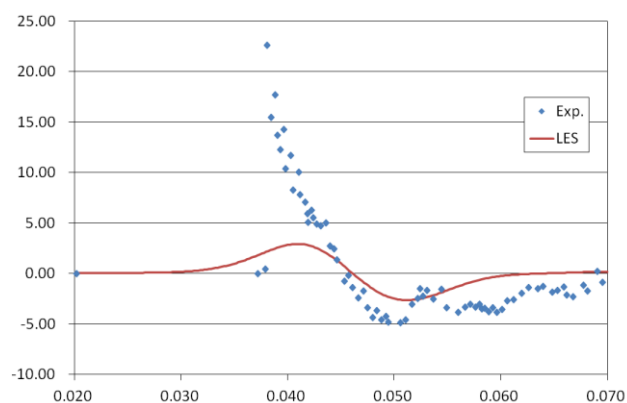


図 2-8：着火点から 11m 離れた地点における圧力の時刻歴比較

参考論文：

新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成 13 年度成果報告書 NEDO-WE-NET-0102、平成 14 年 3 月

3) 研究集会の開催

研究集会の発表内容は以下のとおり。

① 隕石による建物被害に関する調査 (野津 剛 (清水建設 (株)))

ロシア・チェリャビンスク隕石を対象にした建物被害に関する論文調査を進め、被害率から衝撃荷重を推定する手法、および、隕石の落下頻度と衝撃荷重との関係について発表があった。日本の隕石被害の発生頻度を算出したところ、外部ハザードとしては比較的低いとの報告があった。

表 3-1 : 隕石の落下頻度と衝撃荷重

直径	落下頻度	爆風圧	被害
1m	10日に一度	1Pa以下	空中で小規模爆発 大気圏で燃え尽きる
10-20m	100年に一度	1-10kPa	空中で中規模爆発 一部の破片が地面に到達
50m	1000年に一度	10-200kPa	1908年ツングースカ大爆発 東京と同面積が焼け野原
100m	1万年に一度	-	空中で大爆発 1~2kmのクレーター
1km	100万年に一度	-	クレーター 気候変動
10km	1億年に一度	-	巨大なクレーター 気候変動 大量絶滅

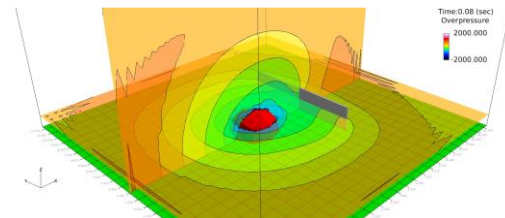
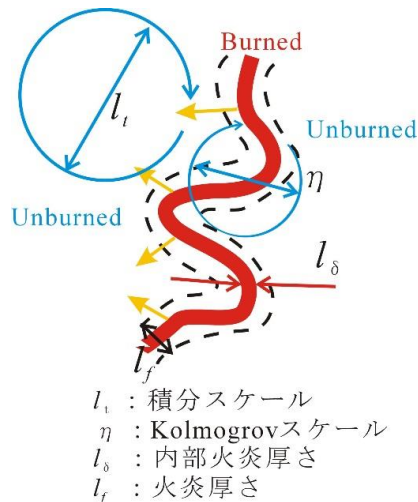
表 3-2 : 隕石で死亡する確率

Cause of Death in USA in 2001	Lifetime Odds
Flood	1/30,000
Tornado	1/60,000
Lightning Strike	1/83,930
Earthquake	1/131,890
Asteroid Impact	1/200,000
Tsunami	1/500,000

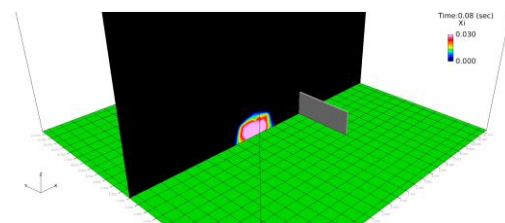
② 障壁を有する解放空間での水素爆発による圧力変動予測解析

(西家 隆行 (株式会社数値フローデザイン))

水素ガスの燃焼を解くための色々な Flamelet モデルの紹介、乱流火炎伝播速度のモデル化、さらにこれらのモデルを組み込んで実施した水素爆発解析について発表があった。実験と比べると、圧力の立ち上がりのタイミングに差が見られたが、圧力ピークのタイミングおよび振幅を良好に再現できることが確認できたとの報告があった。



(a) 圧力と火炎



(b) 混合分率

図 3-1 : 乱流場、燃焼場スケールの概念図

図 3-2 : 圧力と火炎、及び混合分率の等値面図

③津波荷重評価の現状と課題 (長谷部 雅伸 (清水建設(株)))

東北地方太平洋沖地震津波での建築物被害、建築物における荷重評価の概要、数値シミュレーションによる津波荷重評価の例について発表があった。数値シミュレーションにより、到来する津波の特性、立地周辺条件の詳細な考慮が可能で、荷重の時間変化や空間分布など詳細に知ることができるとの報告があった。

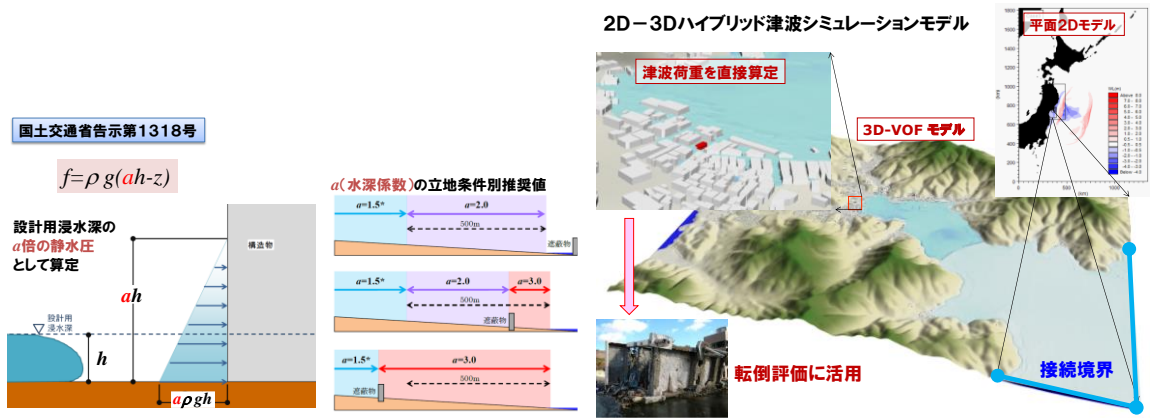


図 3-3：荷重算定式の見直し

図 3-4：2D-3D ハイブリッド津波シミュレーションモデル

④『建築物の耐衝撃設計の考え方』(日本建築学会)の発刊にあたって

(濱本 卓司 (東京都市大学))

日本建築学会から『建築物の耐衝撃設計の考え方』が発刊されるにあたり、その中から設計事例を中心に発表があった。構造種別としては鉄骨造、RC造とし、想定シナリオとして自動車の衝突、ガスによる内部爆発および外部爆発を対象にして衝撃荷重(衝突荷重)の算定、応答評価手法についての報告があった。

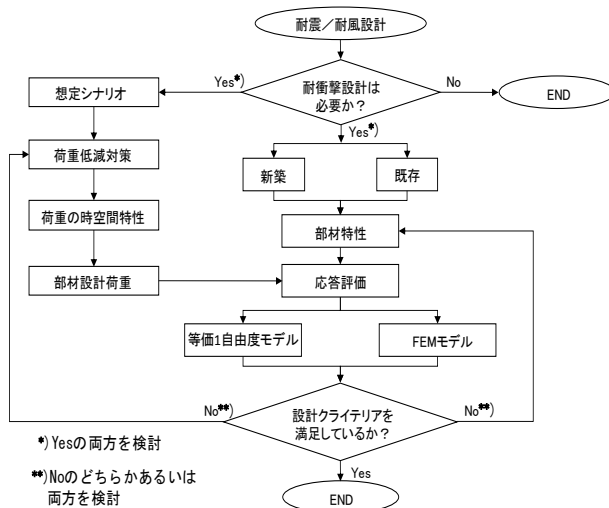
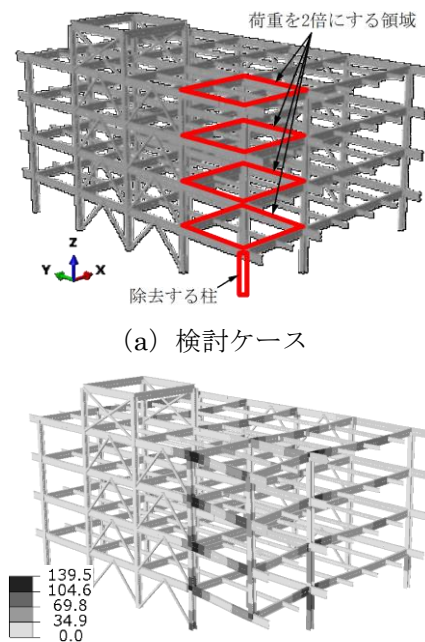


図 3-5：想定内作用に対する設計フロー



(b) 各部材に生じる鉛直変位

図 3-6：構造安定性の検討

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[その他]

研究集会配布資料 (衝撃的事象による風工学的問題に関する研究集会)

5. 研究組織

(1) 研究代表者

野津 剛 清水建設(株)技術研究所

(2) 研究分担者

菊池 浩利 清水建設(株)技術研究所

佐々木 澄 清水建設(株)技術研究所

ファム・フック 清水建設(株)技術研究所

小野 梓 清水建設(株)技術研究所

田村 幸雄 東京工芸大学

日比 一喜 株式会社数値フローデザイン