

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 8日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560600

研究課題名（和文） 建築構造物における衝撃的破断現象の解明に関する基礎研究

研究課題名（英文） FUNDAMENTAL STUDY OF STRUCTURAL FRACTURE BY IMPACT LOADS

研究代表者

高島 秀雄（TAKABATAKE HIDEO）

金沢工業大学 環境・建築学部・教授

研究者番号：20064462

研究成果の概要（和文）：

構造物が衝撃的破壊を生じる場合として、構造物剛性の局所的変化と作用荷重の衝撃性について検討し、以下の事項を解明した。(1) セットバック等による急激な剛性変化を持つ超高層ビルの局所的応力を求める簡易理論の構築 (2) 岩手・宮城内陸地震の驚愕的上下動加速度の発生原因の究明 (3) 外力の作用効果と構造物自重の相互関係の解明 (4) 地震による隣棟建築物同士の衝突メカニズムの解明と衝突緩和対策の提示 (5) 衝撃的外力による梁及び平板の応答性状。

研究成果の概要（英文）：

The impact features of structures depend on the rapid variation for structural stiffnesses and the impulse of external loads. This study clarified as the following items. (1) formulation of a simplified theory which is solvable the local stress distribution of high-rise buildings with rapid variation of stiffness such as a setback; (2) finding out the cause of the astonishing magnitude of vertical acceleration and the wave form; (3) explication of interaction between the effect due to external loads and the dead loads; (4) impact effect of pounding between adjacent buildings and the reduction of pounding damages; and (5) clarification of beams and plates subjected to impact loads.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
21年度	1,400,000	420,000	1,820,000
22年度	1,300,000	390,000	1,690,000
23年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：建築構造

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：建築構造、耐震設計、衝撃的破壊、建物の衝突、衝突緩和

## 1. 研究開始当初の背景

現在の耐震設計法は構造物の靱性に期待している。しかし、構造物の剛性が局所的に変化する部分では応力集中が発生し、構造物全体で靱性を発揮する前に、局所的な損傷が

発生して破壊することは、過去の地震被害でも多く見られている。一方、荷重のパルス性が高い場合、構造物の応答は荷重が作用する局所的部分で崩壊し、構造物全体として外力に抵抗するメカニズムが成立しなくなる。構

造物の耐震性を高めるためには、構造物の剛性変化に対応出来る簡易で高精度な解析法の確立と、荷重のパルス性に対して構造物がどのような衝撃的破壊現象を呈するかを解明することが必要となる。

## 2. 研究の目的

構造物が衝撃的破壊を生じる場合として、構造物の局所的剛性変化と、作用外力のパルス性がある。本研究は、以下の事項を明らかにする。

(1) 構造物の剛性が局所的に急変する場合、その部分に発生する応力の局所の変化を、簡易で且つ高精度に把握出来る理論を構築する。

(2) 次に、衝撃性が高い外力が作用したときの構造物の応答性状を解明すると共に、地震力等にパルス性が高い場合について、その発生原因も合わせて検討する。更に、地震動により隣接して建設されている建物同士が衝突する場合のメカニズムと衝突による被害を緩和する為の方法について提案する。

## 3. 研究の方法

(1) 構造物の局所的剛性変化による検討では、セットバックや有開口耐震壁が偏在する超高層ビル等の動的応答を簡易に求めることが出来る2次元の棒材理論を提示、その有効性を NASTRAN を用いて検証した。NASTRAN による計算では、beam 及び shell 要素を用いた線材及び面材の解析を行った。2次元の棒材理論は、高島が超高層ビルの簡易解析法として既に開発した1次元棒材理論を局所的な変形を考慮出来る様に改良した理論である。

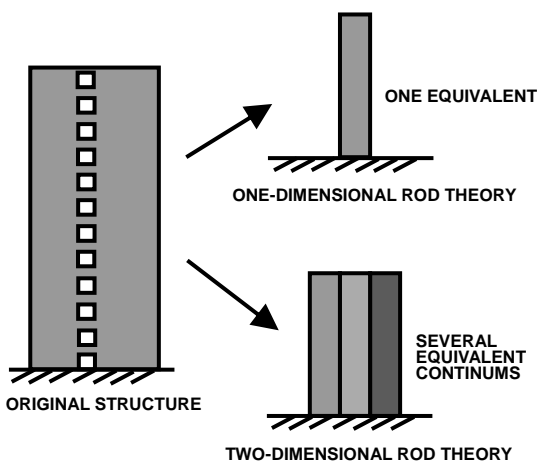


図1. 2次元棒材理論

(2) 外力のパルス性による検討では、最初に、岩手・宮城内陸地震動で観測された上下動加速度が4Gを超えた問題を、数値計算に

より検討した。この加速度波形は上向きのスパイク状(の突出した)パルスであり、且つ、驚愕的な大きさを呈している。このパルスのな挙動の発生原因は、研究の当初では振動理論から説明出来ると判断していたが、地盤内の層による局所的浮き上がりによる衝突を考慮しないと説明できないことが判明した。そこで、地盤内での衝突を考慮した理論を提示し、実際の加速度時刻歴を表わせることを数値計算により検証した。

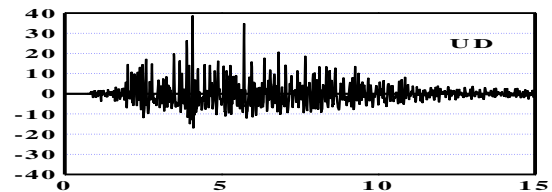


図2. 地表面の加速度上下動成分の時刻歴

(3) 構造物は最初に dead load を受けている。この状態に live load が作用すると、dead load により存在していた保存的応力(初期応力)のなす仕事を考慮する必要がある。この効果を考慮した梁及び平板の支配方程式を定式化し、数値計算により、live load による応答が dead load の効果により変動することを明らかにした。

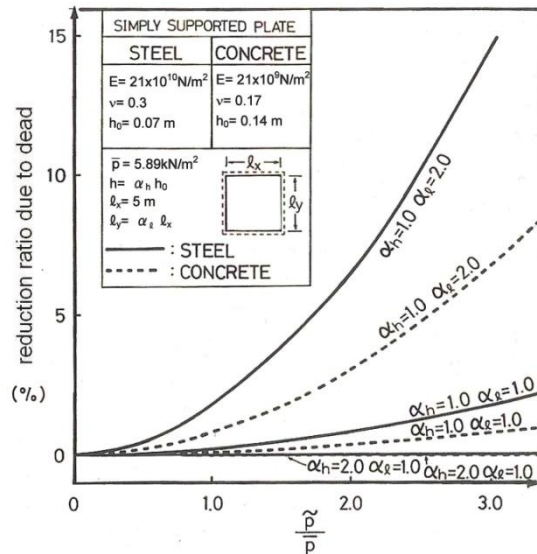


図3. 単純支持平板における固定荷重と荷重比との関係

(4) 地震動により、隣接した建物同士が Expansion Joint (以後EXP.Jと略記)で衝突する際の力学的挙動を振動台を用いた模型実験により実験的に検討した。互いに質量が異なる1スパン4層建てのラーメン構造骨組(アルミ合金製縮小模型)からなる2棟を用いて、振動台による加振実験をして、EXP.Jで衝突させる。建物同士の空きはEXP.Jの空きを調整する事によって、2棟の建物同士の衝突の発生の有無

と、その時発生する衝撃力の大きさとEXP.Jの空きとの関係を調べた。

次に、衝突力を緩和するため、独自に考案した緩衝材をEXP.Jに挿入した場合の有効性を実験的に検討し、その有効性を確認した。衝突時に作用する実験的挙動を理論的に再現するため、多質点系モデルによる衝突理論を提示し、数値計算結果と実験値を比較検討した。構造物同士の衝突に関する既往理論の結果と比較し、新たな知見を得た。

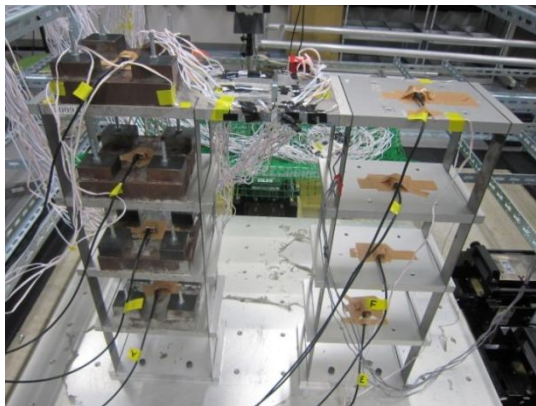


図 4. 隣棟建物同士の衝突実験

(5) 梁にパルス性を変化させた衝撃力を作用させて、それらの応答性状の違いと、破壊性状の違いを実験的に検討した。これらの実験で得られた結果は、陽解法系の汎用ソフトDYTRANを用いて、数値解析した結果と良好な一致を見ることが出来た。



図 5. 試験体側面図

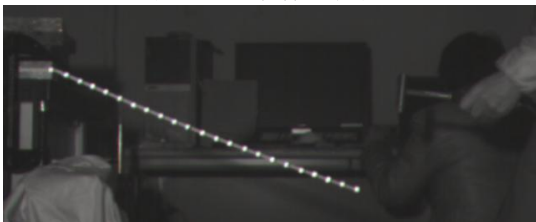


図 6. 片持梁の破壊状態(ゴム)

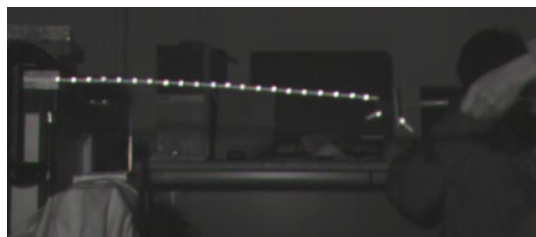


図 7. 片持梁の破壊状態(プラスチック)

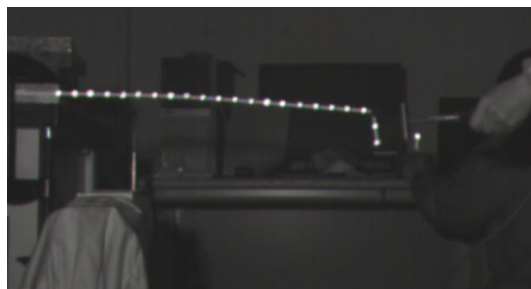


図 8. 片持梁の破壊状態(金属)

#### 4. 研究成果

(1) セットバック等により構造物の剛性が局部的に変化する場合、その剛性が急変する部分では非線形な分布をした局部的応力が発生する。構造物の安全性から、これらの局部的応力を把握する事が不可欠であるが、一般には解析が線材要素から面要素になり簡易に解析する事が困難となる。本研究は、局部的に変化する剛性に対して、局部的な応力を簡易に解析出来る2次元の棒材理論を定式化し、その有効性を数値計算により検証し、国際的 Journal に論文発表した。

(2) 岩手・宮城内陸地震で、震源近くに設置した地震計が観測した4G 近い上下動加速度について、加速度の大きさに加えて、加速度波形の非対称なパルス形状の発生原因を数値計算から解明し、地盤内で生じた衝突により発生した事を先駆的に研究した。その研究成果は国際的 Journal に論文発表(印刷中)した。

(3) 構造物に作用する外力の作用効果は、構造物の自重によりその効果が影響する事を、梁及び平板について理論的に解明し、国際的 Journal に論文発表した。近年、構造部材の軽量化が加速する場合、自重の重い建物に比べて自重の軽い建物は、荷重の作用をもろに受けやすい事を指摘した。

(4) 地震動によりEXPJで隣棟建物同士が衝突する場合は過去の地震被害で発生している事から、EXPJで衝突した際の応答性状を明らかにした。また、衝突時の損傷を緩和する対策として、衝撃緩和材をEXPJに挿入し衝撃力を低減して衝突によるダメージを提言するアイデアを提案し、その有効性を実験的・理論的に証明した。研究成果は国際的 Journal に論文投稿準備中である。

(5) 衝撃性の大きさによる梁の衝撃破壊現象を実験的及び数値計算により解明し、Journal に論文投稿準備中である。尚、平板に対する展開は、まだ検討の余地があり、目下、追加検討を要する状態である。

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 6 件)

- ① Hideo TAKABATAKE, 他 1 名 (1 番目)  
Origin of the anomalously large upward acceleration associated with the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, Earthquakes and Structures, An International Journal, (印刷中) (査読有)
- ② Hideo TAKABATAKE  
Effects of Dead Loads on the Static Analysis of Plates, Structural Engineering and Mechanics, Vol.42, No.6, pp.761-781, 2012. (査読有)
- ③ Hideo TAKABATAKE, 他 2 名 (1 番目)  
A simplified analysis of super building structures with setback, Earthquakes and Structures, An International Journal, Vol.2, No.1, pp. 43-64. 2011. (査読有)
- ④ Hideo TAKABATAKE, 他 3 名 (4 番目)  
Smart passive damper control for greater building earthquake resilience in sustainable cities, Sustainable Cities and Society, Vol.1, pp.3-15. 2010. (査読有)
- ⑤ Hideo TAKABATAKE,  
Effects of dead loads on dynamic analyses of beams, Earthquakes and Structures, An International Journal, Vol. 1, No.4, pp. 411-425, 2010. (査読有)
- ⑥ Hideo TAKABATAKE,  
Two-dimensional rod theory for approximate analysis of building structures, Earthquakes and Structures, An International Journal, Vol. 1, No.1, pp.1-19, 2010. (査読有)

[学会発表] (計 3 件)

- ① 高島秀雄、他 2 名、  
2 次元の剛性変化を考慮した棒材理論その 1、理論の定式化、日本建築学会大会学術講演梗概集、2009 年 9 月 26 日、東北学院大学、宮城県。
- ② 高島秀雄、他 2 名、  
2 次元の剛性変化を考慮した棒材理論その 2、有開口壁の数値計算、日本建築学会大会学術講演梗概集、2009 年 9 月 26 日、東北学院大学、宮城県。
- ③ 西島雅士、高島秀雄、  
岩手・宮城内陸地震の上下動波による地盤の跳び上がりについて、日本建築学会大会学術講演梗概集、2009 年 9 月 26 日、東北学院大学、宮城県。

[その他]

ホームページ等

金沢工業大学地域防災環境科学研究所

<http://wwwr.kanazawa-it.ac.jp/ides/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高島 秀雄 (TAKABATAKE HIDEO)

金沢工業大学・環境・建築学部・教授

研究者番号：20064462