

Z型 NC ブレース架構の一方向漸増変形性能に関する実験的研究

高松 隆夫*・玉井 宏章**・山西 央朗***・小松 真吾****・中山 雅隆*****

(平成26年10月30日受付)

Experimental study on one-direction incremental deformation behavior of Z-type NC braced frame

Takao TAKAMATSU, Hiroyuki TAMAI, Teruaki YAMANISHI,
Shingo KOMATSU and Masataka NAKAYAMA

(Received Oct. 30, 2014)

Abstract

The non-compression brace proposed by the authors is a slender brace with an end installed by a set of the wedge device. The NC brace resists tension without buckling due to no compression. The steel framed structure arranged Z-type NC brace is named Z-type NC braced frame. The braced frame can absorb elastic strain energy by one directional incremental deformation behavior. Shaking table tests and numerical analysis of a single story specimen are carried out to clarify a convergent point of the incremental deformation of the Z-type NC braced frame. It is concluded that no incremental deformation occurs in cyclic behavior of elastic-plastic NC braced frame.

Key Words: wedge device, Z-type NC braced frame, Shaking table tests, Numerical analysis

1. はじめに

2011年3月に起きた東北地方太平洋沖地震は多くの建物に甚大な被害をもたらした。中でも屋内運動場のような大空間を有する建物では屋根と柱の接合部の破断、ブレースの座屈といった被害があったことが報告されている。またこのような建物は災害時に避難場所として使用されるため大地震にも耐えうる構造でなければならない。近年では大地震の応答を低減するため座屈拘束ブレースのような塑性化させることでエネルギーを吸収することを目指した制振ダンパー等が普及してきている。

一方著者らが研究しているノンコンプレッションブレース(以下NCブレースと呼ぶ)は細径の丸鋼の先端に図1(a)

のような楔デバイスを設置したブレースである¹⁾。細長いブレースを採用する上で一番の問題となるのが圧縮軸力による座屈の問題である。しかしNCブレースは圧縮方向に軸力が作用すると図1(b)のように楔デバイス側の端部が離間するため圧縮力が作用しない。従ってNCブレースは座屈を起こさない。そして端部が離間するとバネの復元力によりすぐに楔が貫入し隙間を埋めるため、引張方向に力が働くとすぐに抵抗することができる(図1(c)~(d))。このことからNCブレースは地震時に座屈を起こさず引張力にのみ抵抗し、効率よくエネルギーを吸収するブレースとして効果を発揮する。

また、NCブレースを鉄骨ラーメン架構にZ型に配置した「Z型NCブレース架構」が提案されている。既往の研

* 広島工業大学工学部建築工学科

** 長崎大学工学部工学科

*** 広島大学大学院建築学専攻

**** 広島工業大学大学院工学系研究科知的機能科学専攻

***** 広島工業大学大学院工学系研究科建設工学専攻

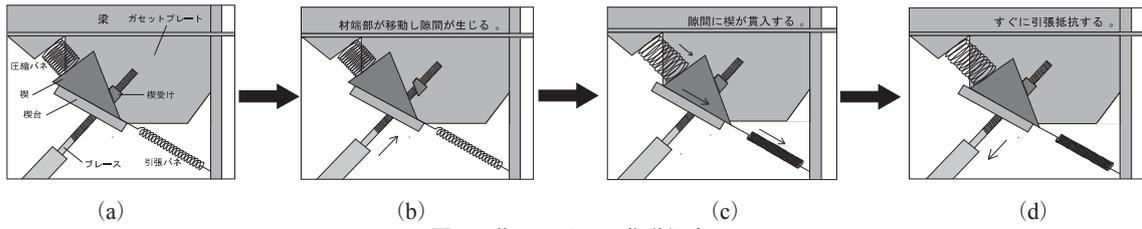


図1 楔デバイスの作動概念

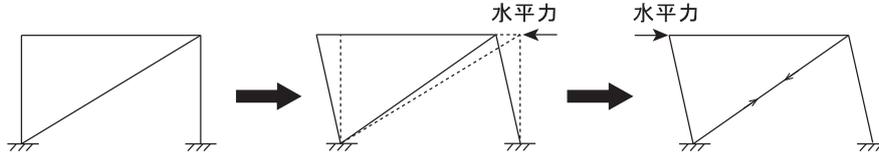


図2 Z型の一方向変形漸増

究結果からZ型 NC プレース架構は地震時に NC プレースの抵抗特性によって図2のように変形が漸増することが明らかになっている²⁾。これを一方向漸増変形性能と呼んでいる。これまで実験や多層の解析を行い、Z型の変位をある程度制御できることは分かってきた³⁾⁴⁾。しかしさらに大きな地震によってNC プレースが塑性化した後の変位応答や収束位置についてはまだ詳しく議論されていない。また近年ではZ型 NC プレース架構は一方向漸増変形性能により架構に生じた弾性のひずみエネルギーを吸収することができ、制振ダンパーを組込んだ建物以上に地震応答を低減できる可能性を秘めていることが示唆されている。そこで著者らはまず漸増変形収束位置を明瞭にするためZ型 NC プレース架構を模した1層試験体の振動台実験と数値解析を行った。

2. Z型 NC プレース架構の復元力特性と漸増変形収束位置

図3にZ型 NC プレース架構の復元力特性を示す。NC プレースに引張が作用する方向を正とする。また仮定として正負で同じ大きさの水平力が作用すると考える。プレースの初期張力無しの状態をO点として負方向に水平力が作用すると主架構のみの剛性 K_F で抵抗し、A点まで変位する。そして正方向に水平力が作用すると主架構とNC プレースの剛性 K_F+K_b で抵抗し、A'点まで変位する。つまり水平力に対して抵抗時の剛性が異なるため一方向の変形漸増が生じる。またこの間にO、A点を基点として履歴面積が生じるため架構は弾性状態でありながら、弾性のひずみエネルギーを吸収することができる。そしてB～D点間はNC プレースの弾性限界範囲の応答となる。故に弾性応答時の最大変位はB点で漸増変形の収束位置はC点でとなる。以降これより水平力が増加すると弾塑性応答となる。そうなった場合、負方向へはG点まで変位し、D→F→G点を通る。この時Z型 NC プレース架構は

Bi-Linear型の復元力特性を示す。さらにD→E点間はNC プレースに塑性伸びが生じるため、結果としてC点を中心とした履歴ループを描く。よって収束位置もC点で弾性応答時と収束位置はほとんど変わらないと考えられる。

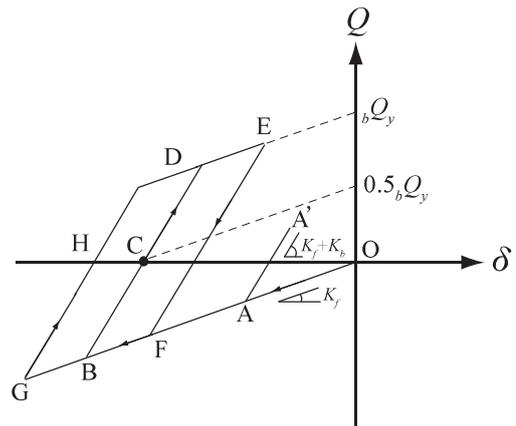


図3 Z型の復元力特性

3. 実験概要

3-1. 試験体

図4に試験体と計測計画を、表1に素材特性を、表2に試験体諸量を示す。試験体は柱に角型鋼管 \square -40x40x2.3を、梁にH-100x100x6x8を用いて製作された1層1スパン(スパン長 x, y 各方向1000mm)の整形な立体架構である。各部材は全周隅肉溶接されている。柱脚はベースプレートと振動台をネジで緊結して固定端とみなしている。計測治具として試験体に近接している計測用柱は断面を比較的大きくして固有振動数を高めているため、振動時に計測値に大きな影響を与えることはない。NC プレースは加振方向に対して平行なY1, Y2構面に設置する。本数はガセットプレートに偏心曲げが作用しないように一構面に2本ずつ計4本としている。

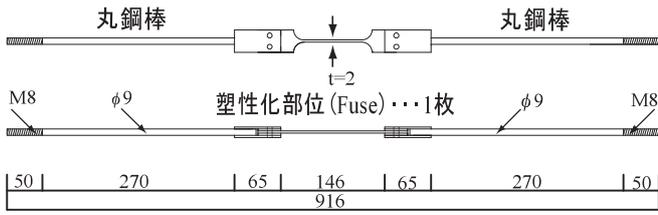


図6 (a) 全体

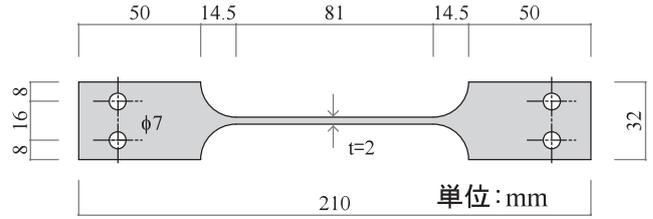


図6 (b) ヒューズ (塑性化部位)

図6 NC ブレース

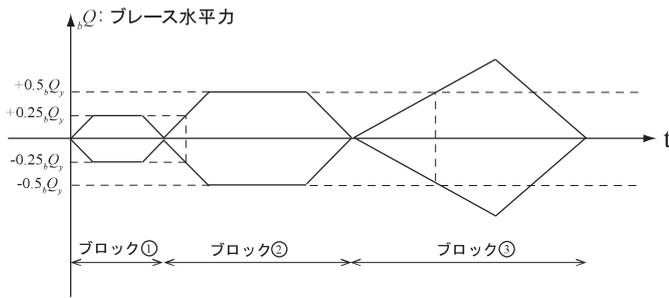


図7 加振プログラム

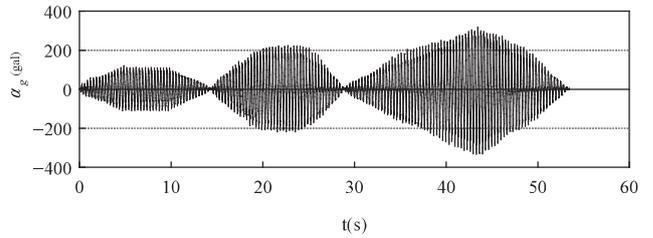


図8 地動加速度

4. 数値解析

4-1. 解析モデル

数値解析に用いた解析モデルを図9に示す。柱と梁は試験体と同サイズのものを用いている。質量は節点5～8に0.4tずつ与え、試験体と同じにしている。1層の床に関しては剛床が成立しているものとする。試験体の柱頭と柱脚にはガセットプレートが付属しているため、断面二次モーメント、剛性の評価が複雑になる。したがって解析モデルでは柱の長さを調整し、試験体と剛性を一致させた。NCブレースは単軸バネにより表現し、図10に示す完全弾塑性型の復元力特性を設定し、圧縮耐力を0.001kNとしている。これにより圧縮方向の軸力には抵抗せず、引張力のみ抵抗するというNCブレースの力学特性を再現できるものとなっている。

4-2. 地震応答解析概要

解析には任意形状立体フレームの弾塑性解析プログラム「SNAP」を用いる。以下解析条件を示す。

- ・解析方法として Newmark- β 法 ($\beta=0.25$) を用いた。
- ・入力波は振動台実験にて振動台上に設置した加速度計で計測されたものを用いる。
- ・減衰定数は初期剛性比例型とし、各試験体と同じ値とした。
- ・刻み分割数は 0.01s で実験と同じである。

表3 試験状況

試験体 type	試験ブロック		
	①	②	③
2-Z	○	○	○
2-T	○	○	○
4-Z	○	-	-
6-Z	○	-	-

(○は実施した試験を示す)

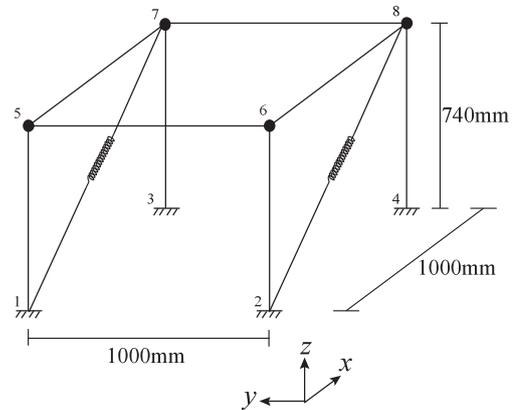


図9 解析モデル

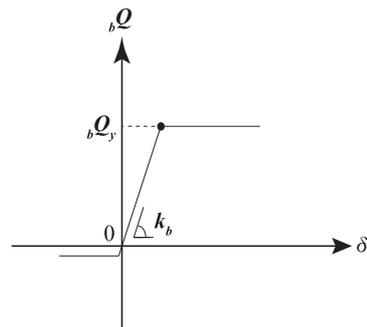


図10 NC ブレースの復元力特性モデル

5. 実験結果と解析結果の比較

以下実験値と解析値について比較検討する。なお、結果については代表して主に2-Ztype 試験体のものを示すが、必要とあればその他の結果も示していく。

・加速度応答時刻歴

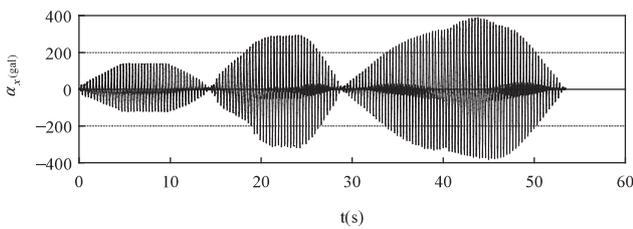
図11に1層部分の加速度応答 α_x を示す。地動の入力は正負でほぼ同じ大きさの値を記録している。これに対する応答は実験も解析も加振が進むにつれて応答がどちらかに偏るといったことはなく、正負で同じ応答性状を示している。Ttype 試験体も同じ結果が得られた。

・復元力特性

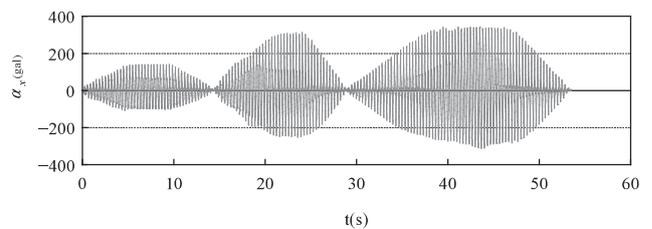
図12に弾性限界時（2ブロック目終了時まで）の $Q_x-\delta_x$ 関係を、図13に弾塑性応答時（3ブロック目）の $Q_x-\delta_x$ 関係を示す。図12について実験結果および解析結果は初期位置（荷重、変位ともに0）から負方向に漸増変形しながら Bi-Linear 型の復元力特性を描き、正方向では線形応答を示している。解析結果は実験結果と比較すると概ね良好に対応している。図13について実験では正方向で NC プレースの塑性伸びが生じており、紡錘型に近い復元力特性を描いている。また最大層せん断力の大きさは正負で等しい。解析では NC プレースの耐力をヒューズの引張試験の結果から得た耐力で設定したため実験よりも最大層せん断力は小さくなっている。

・変位応答時刻歴

図14に変位応答時刻歴を示す。それぞれの解析結果は実験結果と概ね対応している。Ztype では NC プレースが弾性状態にある間は変位漸増が見て取れる。Ttype では NC プレースが弾性状態では大きな変位漸増は見られなかった。実験では両 type の3ブロック目の試験においてわずかながら漸増変形する傾向が見られた。これは2ブロック目の試験終了時にヒューズの耐力についてまだ余力を残していたことが要因と考えられる。解析では弾塑性応答時に漸増変形は全く見られない。図15に各試験体の各試験サイクル終了後の変位収束位置を示す。図中に表示している括弧内の数字は解析値に対する実験値の比率である。なお4-Ztype と6-Ztype は1ブロック目の加振のみ実施したためグラフの横軸には試験体名称を示した。これらから解析は実験と概ね対応している。2-Ttype の1サイクル目で実験値が解析にくらべて低いが、これは加振中に NC プレース端部のナットに緩みが生じてしまったために変位が少々正方向に戻ったと考えられる。ヒューズが2枚の試験体について弾塑性加振後の収束変位は実験値の方が若干大きくなっている。4-Ztype と6-Ztype は実験と解析が良好に対応している。

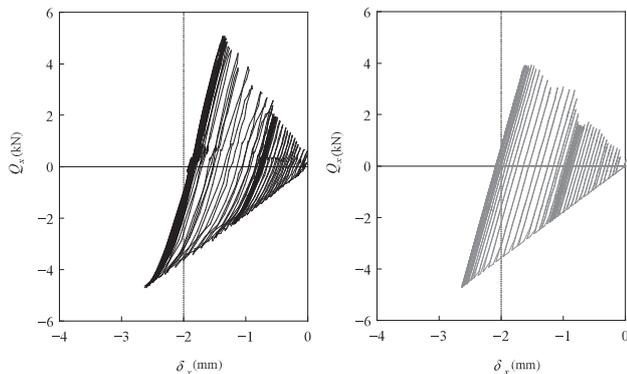


(a) 実験

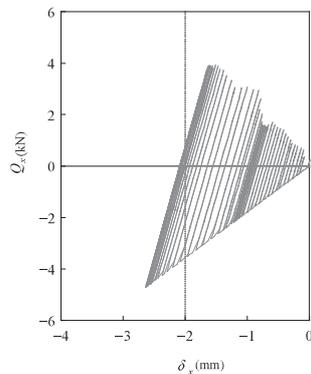


(b) 解析

図11 加速度応答時刻歴 (2-Ztype)

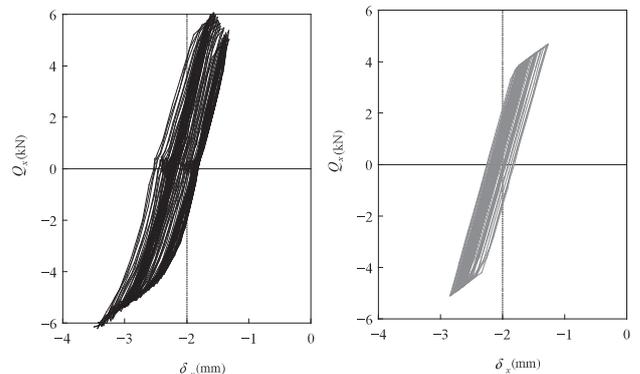


(a) 実験

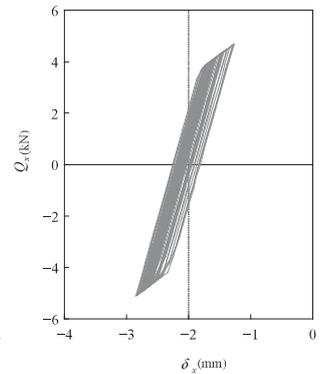


(b) 解析

図12 $Q_x-\delta_x$ (弾性)



(a) 実験



(b) 解析

図13 $Q_x-\delta_x$ (弾塑性)

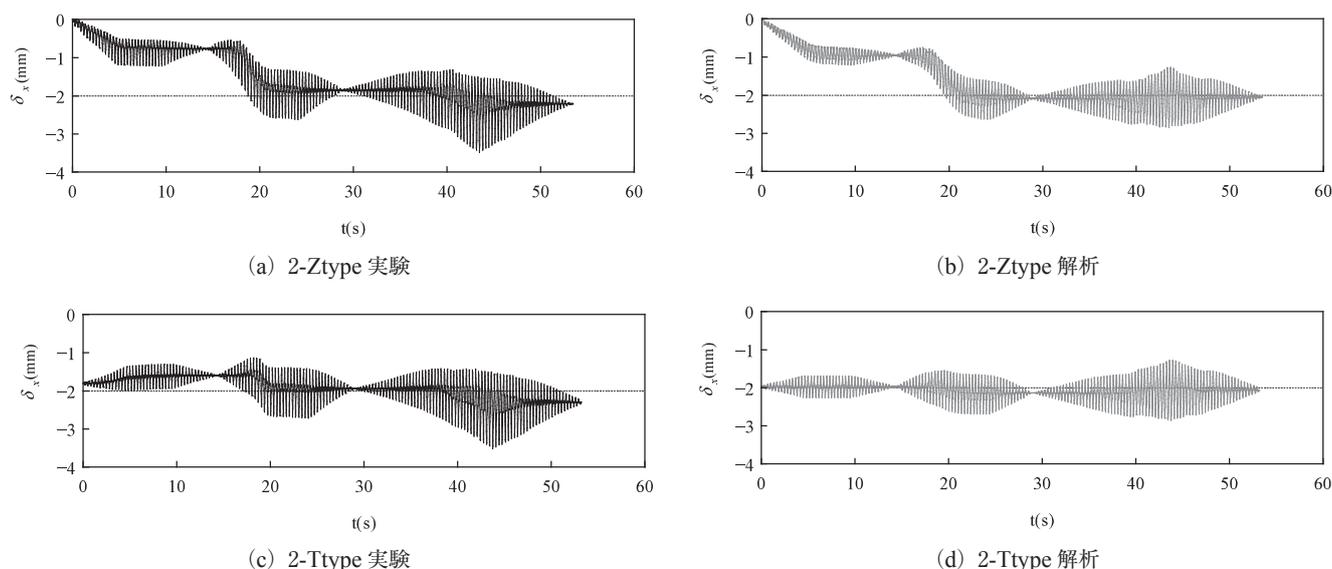


図 14 変位応答時刻歴

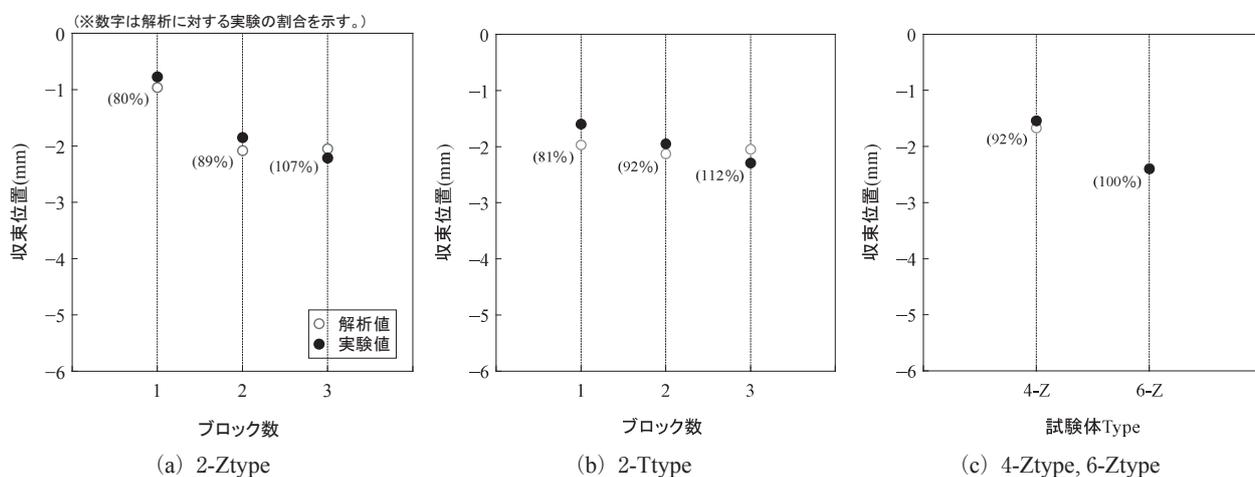


図 15 漸増変形収束位置

6. まとめ

1層Z型NCブレース架構の振動台実験と数値解析を行い、以下の知見が得られた。

- 1) NCブレースが弾性範囲にある間は架構が一方に漸増変形する。
- 2) NCブレース降伏後はBi-Linear型の復元力特性を示す。
- 3) 外力の大きさが正負で同じと仮定した場合NCブレース降伏後は変位漸増が起らず、弾性限界収束位置で収束する。
- 4) 数値解析によりZ型NCブレース架構の挙動を追跡できる。

謝 辞

本研究は、広島工業大学「高性能構造システム開発センター」(代表 高松隆夫教授)の研究の一環として実施されました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 玉井宏章, 高松隆夫, 松尾彰: ノンコンプレッションブレースの耐震性能向上について, 日本建築学会構造系論文集, 第595号, pp131-138, 2005.9
- 2) 高松隆夫, 玉井宏章, 山西央朗, 澤田樹一郎, 松尾彰: Z型ノンコンプレッションブレースの構造システムと数値解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp841-842, 2001.8
- 3) 澤田樹一郎, 高松隆夫, 玉井宏章, 松尾彰, 山西央朗, 三好行則, 荊尾友裕: 振動台実験と時刻歴応答解析によるZ型NCブレース付き鋼構造骨組の一方変形漸増性能と累積塑性エネルギー吸収量評価, 日本建築学会構造系論文集, 第656号, pp1883-1890, 2010.10
- 4) 高松隆夫, 玉井宏章, 荊尾友裕, 澤田樹一郎, 土江葉菜子: Z型ノンコンプレッションブレース付き2層骨組みの振動台実験と数値解析, 広島工業大学紀要研究編, 第45巻(2011), pp77-84