

最下層柱中間部浮き上がり架構の簡易モデルによる地震応答
その1 架構モデルの解析

正会員 ○麻里 哲広*1 同 小谷 直人*2 同 緑川 光正*3
同 岡崎 太郎*4 同 石原 直*5 同 小豆畑 達哉*6

鉄骨構造 柱中間部浮き上がり 応答解析
簡易モデル 鋼材ダンパー ロッキング架構

1. はじめに

地震時に上部構造が浮き上がることで上部構造への被害が低減される場合があるという指摘(例えば1)を基に、意図的に上部構造の浮き上がりを許容し、かつ浮き上がり部でエネルギーを吸収するロッキング架構が提案されている(例えば2)。本報告その1では、架構最下層の柱中間部の浮き上がり(Colum Mid-height Uplift、以下 CMU という)を意図的に許容し、かつこの位置にダンパーを組みこむ架構(以下 CMU 架構)及び浮き上がり機構のない通常の架構(以下 MF 架構)を対象に地震応答解析を行い、浮き上がりの有無が上部構造のエネルギー応答等に及ぼす影響を検討する。

2. 解析モデル

解析には汎用弾塑性解析プログラム³⁾を用いた。架構モデルは図1に示す10、6、4層(それぞれ塔状比5.04、3.07、2.08)の平面鉄骨架構であり、梁降伏先行型となるよう設計した。柱と梁には材端にトリリニア型の塑性ヒンジを組み込み、材料の降伏応力度は294 N/mm²とした。各階の質量は29.3tとした。すなわち、各階毎に節点を柱梁接合部及び梁中央の3個所に設け、柱梁接合部節点の質量を7.33t、梁中央節点の質量を14.7tとした。

減衰はレーリー減衰とし、1次、2次モードに対する臨界減衰比をそれぞれ2%とした。ただし、浮き上がり部分の減衰は0とした。

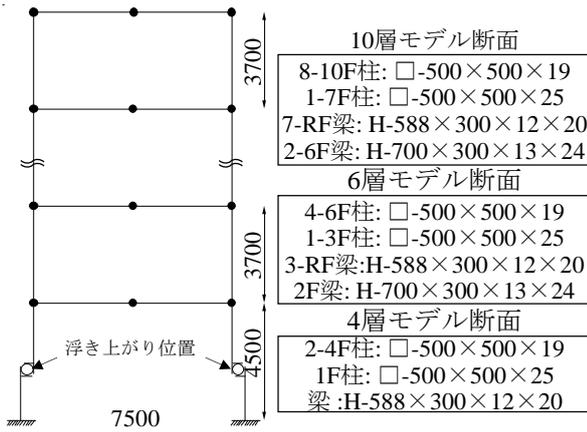


図1 架構モデル(単位mm)

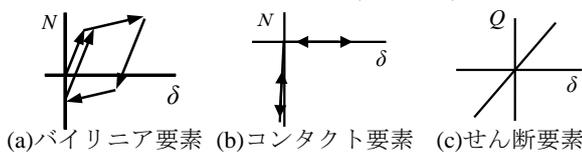


図2 浮き上り部のばねモデル

CMU 機構の挙動を表すために、1層柱中間部に(a)バイリニア弾塑性要素、(b)引張方向には抵抗せず圧縮剛性が高いコンタクト要素、(c)せん断力を伝える要素、を設定した(図2)。バイリニア要素(a)の剛性は CMU 架構への適用を想定したダンパーの実験結果⁴⁾に基づき、初期剛性は1層柱軸方向剛性の10%、降伏後2次剛性比は引張側で1次剛性の3%、圧縮側で1%とした。また、バイリニア要素の降伏耐力の和が上部構造重量の30%となるようにした。コンタクト要素(b)の圧縮剛性は最下層柱の軸剛性の10倍とした。せん断要素(c)の剛性は、最下層柱と同断面で、高さ150mmの部材のせん断剛性と等しくなるように設定した。また、この CMU 架構の他、比較のために、浮き上がり機構がない MF 架構、CMU 機構からダンパー機能である(a)バイリニア要素を除いた架構(以下 CMU-ND という)、MF 架構の1層柱中間部をピンとした架構(以下 CMP という)についてもそれぞれ解析を行った。

入力地震動は表1に示す17記録を用いた。水平方向 PGV が最大となる方位を求め、その PGV が1.0m/s 及び1.25m/s になるよう規準化し用いた。ロッキング架構において、地震動の上下動成分による影響は小さいと判断し⁵⁾、上下動成分を無視した。

3. 解析結果

表2に各架構モデルの固有周期を示す。浮き上がり時のモード解析は1層柱の片方を CMU-ND、他方を CMP として行った。

図3に Ai 分布の静的増分解析により得られたベースシア係数 CB と架構頂部水平変形角 theta の関係を示す。10層モデルの浮き上がり開始時点のベースシ係数は CMP 架構の降伏時

表1 地震動

Year	Event	Station
1966	Parkfield	Temblor pre-1969
1968	十勝沖地震	八戸
1978	宮城県沖地震	Tohoku
1979	Imperial Valley-06	El Centro Array #7
1979	Imperial Valley-06	Aeropuerto Mexicali
1980	Mammoth Lakes-01	Convict Creek
1980	Mammoth Lakes-01	Long Valley Dam
1984	Morgan Hill	Gilroy Array #2
1986	Palm Springs	Morongo Valley
1987	Superstition Hills-01	Wildlife Liquefaction Array
1989	Loma Prieta	Capitola
1994	Northridge-01	Tarzana - Cedar Hill A
1994	Northridge-01	Santa Monica City Hall
1995	Kobe, Japan	JMA Kobe
1999	Chi-Chi, Taiwan-03	CHY028
2000	Tottori, Japan	TTRH02
2004	新潟県中越地震	山古志

表2 架構モデル

固有周期(単位:s)

層数	10層			6層			4層		
	MF架構	CMU架構	CMP架構	MF架構	CMU架構	CMP架構	MF架構	CMU架構	CMP架構
1次	1.358	0.867	0.601	-	-	-	-	-	-
2次	0.464	0.271	0.177	-	-	-	-	-	-
3次	0.249	0.145	0.089	-	-	-	-	-	-
1次	1.371	0.881	0.65	-	-	-	-	-	-
2次	0.468	0.274	0.182	-	-	-	-	-	-
3次	0.25	0.145	0.107	-	-	-	-	-	-
1次	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2次	0.476	0.322	0.309	-	-	-	-	-	-
3次	0.291	0.255	0.174	-	-	-	-	-	-

のベースシア係数の64%であり、6層モデルでは70%、4層モデルでは87%となる。

CMU 架構、CMU-ND 架構の最大頂部水平変位及び浮き上がりによる剛体回転成分を除いた最大頂部水平変形を MF 架構と比較したものを図4及び図5に示す。図中の破線は縦軸と横軸が同じ値となることを示す。浮き上がることで上部構造の変形が MF 架構に比べて低減される。また、浮き上がることで最大頂部水平変位は増加するものの、CMU 架構ではダンパーの効果で最大頂部水平変位の増加は抑制される。

塑性変形により蓄積された上部構造歪エネルギーを CMU 架構または CMU-ND 架構と MF 架構と比較したものを図6に示す。CMU 架構に蓄積された上部構造歪エネルギーは102ケース中95ケースにおいてMF 架構よりも低減される。また、浮き上がることによる上部構造歪エネルギーの低減効果は塔状比の最も大きい10層モデルで大きい。

図7に CMU 架構、CMU-ND 架構における最大頂部水平

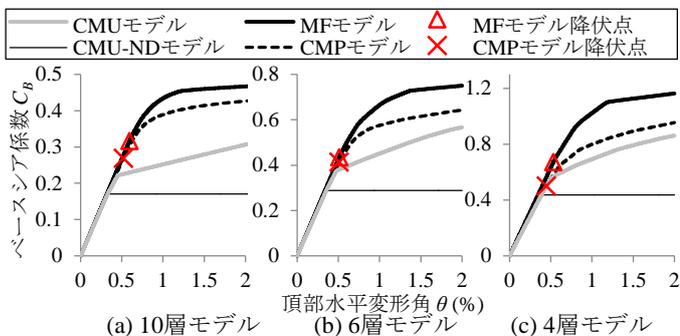


図3 静的増分解析結果

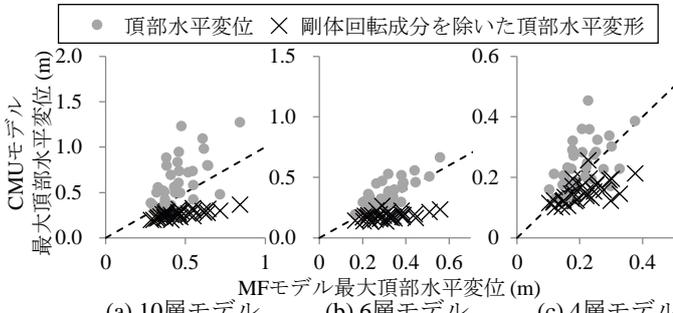


図4 CMUモデルとMFモデルの頂部水平変位の比較

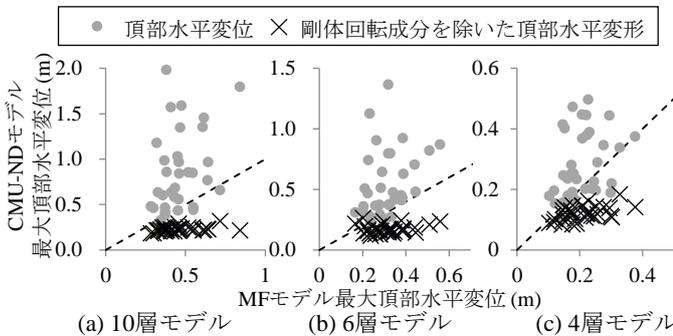


図5 CMU-NDモデルとMFモデルの頂部水平変位の比較

加速度を MF 架構と比較したものを示す。最大頂部水平加速度に大きな相違はみられなかった。

3. まとめ

- 1) 杭頭浮き上がり建物や柱脚浮き上がり建物の場合の指摘と同様に、ロッキング振動に伴い浮き上がりが生じると、頂部水平変位は増加するものの上部構造の変形が抑えられる。
- 2) CMU 機構に組み込まれる履歴ダンパーには浮き上がりにより増加する頂部水平変位を抑制する効果がある。
- 3) 浮き上がりにより、最終的に蓄積される上部構造歪エネルギーが低減される。この低減効果は塔状比の大きい10層モデルで特に大きい。

【謝辞】本研究の一部は日本学術振興会科学研究費(25289177)の助成を得た。ここに謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 林康裕：直接基礎構造物の浮上りによる地震被害低減効果，日本建築学会構造系論文集，第485号，pp.53-62,1996.7
- 2) 緑川光正，小豆畑達哉，石原直，和田章：地震応答低減のためベースプレートに浮き上がり降伏させた鉄骨架構の動的挙動，日本建築学会構造系論文集，第572号，pp.97-104,2003.10
- 3) MIDAS IT Co., Ltd.: Analysis & Design, MIDAS/Gen ver.845, 2015
- 4) 加藤百合子，緑川光正，河合良道，石原直，松本博樹：鋼材ダンパーを組み込んだ柱中間部浮き上がり機構の静加力実験，鋼構造年次論文報告集，第22巻，2014.11
- 5) 緑川光正，須藤智文，麻里哲広，小豆畑達哉，石原直：ベースプレート降伏により柱脚浮き上がりを許容した10層鉄骨架構の3次元地震応答，日本建築学会構造系論文集，第637号，pp.495-502, 2009.10

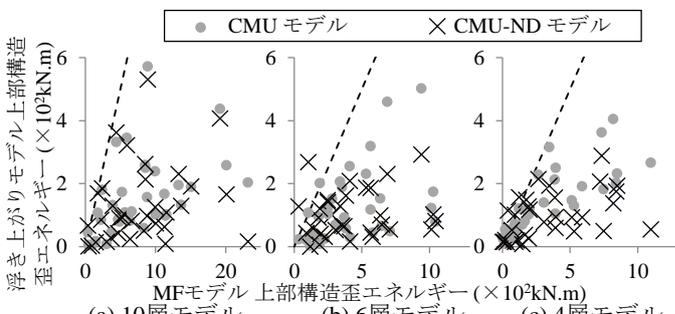


図6 架構全体で吸収した上部構造歪エネルギーの比較

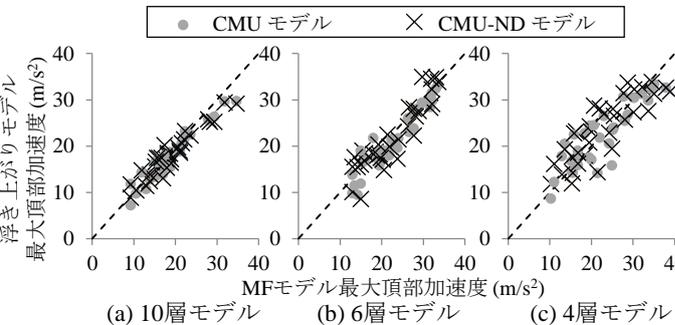


図7 最大頂部水平加速度の比較

*1 北海道大学 大学院工学研究院 助教・博士(工学)

*2 一般財団法人ベターリビング (前 北海道大学大学院生)

*3 北海道大学 名誉教授・工博 (建築研究所 客員研究員)

*4 北海道大学 大学院工学研究院 准教授・Ph.D.

*5 建築研究所 主任研究員・博士(工学)

*6 建築研究所 上席研究員・博士(学術)

*1 Asst. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

*2 Tsukuba Building Research and Testing Laboratory Center for Better Living (Formerly Graduate Student of Hokkaido Univ.)

*3 Prof. Emeritus., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

*4 Assoc. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Ph.D.

*5 Senior Research Engineer, Building Research Institute, Dr. Eng.

*6 Chief Research Engineer, Building Research Institute, Ph. D.