

天井設備複合実験および天井下地モデルの提案

地震時における鋼製下地在来工法天井と設備機器の相互作用に関する研究 その1

正会員 ○望月 洸希*¹ 同 元結 正次郎*²
同 森 大*³ 同 水谷 国男*⁴
同 西川 豊宏*⁵ 同 脇山 善夫*⁶

鋼製下地在来工法天井 設備機器 相互作用
振動実験 静的実験

1. はじめに

天井懐内には設備機器が錯綜しており(図1)、地震時には天井と設備機器が相互に影響することが予想される。故に非構造部材の耐震化を図る上で、両者の相互作用を明確にすることは必要不可欠である。しかし、併存状態にある両者が地震により損傷に至る過程が実験的に確認された事例はない。本報告は、地震時に鋼製下地在来工法天井と設備機器が相互に及ぼす影響を再現するための実験を試みると共に、小規模な実験結果を基に再現解析を行う上で必要となる基本情報の整備を目的としている。

2 天井設備複合実験

実際の天井懐内に設備機器が錯綜している状況を再現し、設備機器と天井が相互作用により両者が損傷に至る経緯を検証するため、予備的な実験を行う。

2.1 実験概要

振動台上に 3.9m×5.7m の天井を作製し、初期状態で天井下地である吊りボルトに接触、もしくは近接する位置に配管・ダクトおよび空調機器を設置した(図2、図3)。これら各設備の加振方向に対する振れ止めの有無、壁と天井板の隙間の有無の計4種類をパラメータとして加振を行う。東北地方太平洋沖地震の工学院大学新宿キャンパス29階における床応答加速度(RW100%,最大加速度316gal)を振動台の入力加速度とし、その振幅を20%から120%まで調整して段階的に加振を行った(表1,図4)。

2.2 実験結果

加振実験に先立ち、天井の特性を得るために自由振動試験を行う。表1に示す結果は得られた変位の自由振動波形に対して、最小二乗法を用いて曲線回帰することで得ている(図5[初期変位20mm])。固有周期から得られる剛性を元結ら¹⁾の理論と比較すると最大で水平剛性に約20%の差が生じていることが確認できる。これは初期変位を与える段階で設備と吊りボルトが接触しており、天井の挙動に影響を及ぼしているためであると考えられ、設備と天井の相互作用と言える。加振実験の結果として、設備機器の振れ止め有り、壁との隙間有り(各75mm)の崩落状態を写真2に示す。天井面の挙動として、天井カセット型空調機を中心に全面的にねじれ挙動を示し、各設備の挙動として鋼管・ダクトは吊り金具の直上に振れ止めが設置されているため、金物を中心とした振り子挙動を

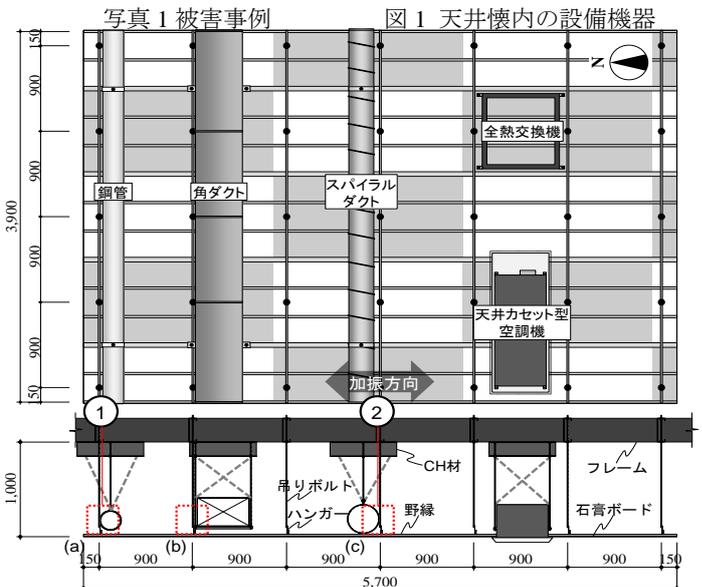
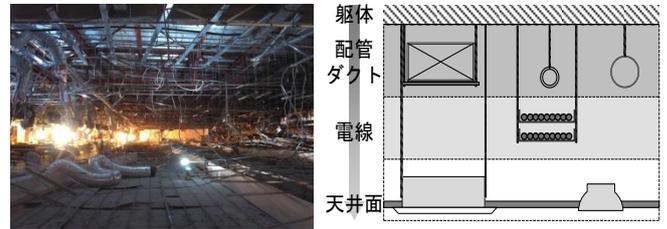


図2 試験体概要

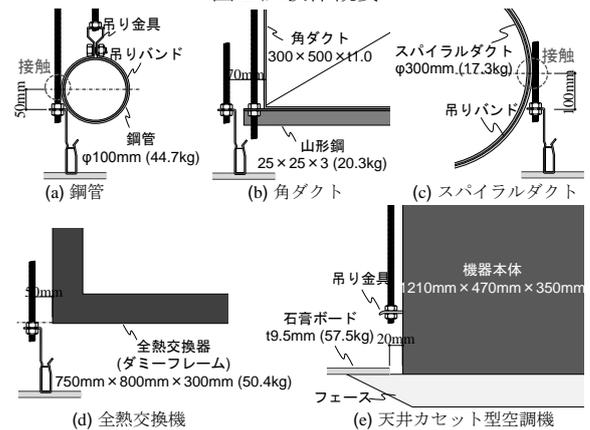


図3 天井下地と各設備機器の取り付け(詳細図)

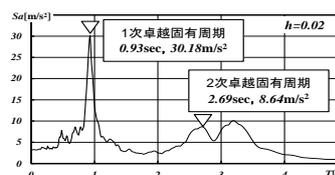


図4 加速度応答スペクトル

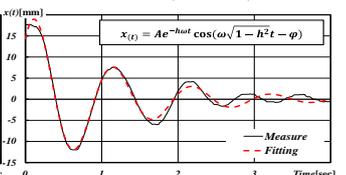


図5 自由振動試験の曲線回帰

示した。損傷状況として、鋼管と吊りボルトの衝突により、最北端のクリップ一列が全て脱落した後、鋼管をつるす吊りボルトの疲労破壊により天井面の上に落下し、端部(図 2(①))の落下が始まり、連鎖的にクリップが脱落し野縁と天井板の落下が開始した。またスパイラルダクトが接触する下地一列(図 2(②))のクリップも同時に脱落し、天井面の全体的な落下となった。これにより、写真 1 に示すような全体的な崩落現象と対応するような天井面の全体的な脱落を確認した。

3. 静的載荷実験による損傷メカニズムの把握

複合実験において天井の損傷は、天井懐内の設備機器が吊りボルトへ衝突することによるクリップの損傷が初期に発生していることが推測される。本章では、小規模な試験体を用いた静的載荷実験を行うことで、天井下地材の力学モデルを構築することを目的とする。

3.1 実験概要

900mm 間隔で配置した吊りボルトの間に設備機器を想定した被衝突体を設置し、天井面に強制変位を与えることで吊りボルトに接触させる(図 6)。天井と設備との間に相対変位を発生させるため、本実験では被衝突体を振れ止めにより固定し天井面に変位を与える。天井面を左右に牽引することで繰返し載荷を行い、水平力をロードセル、変位を巻尺式変位計で計測した。被衝突体の振れ止めの軸ひずみより吊りボルトにかかる衝突力を、吊りボルトの衝突箇所上下各 2 か所の曲げひずみより衝突部上下のせん断力を算出し、下地材にかかる水平力を得る。

3.2 実験結果

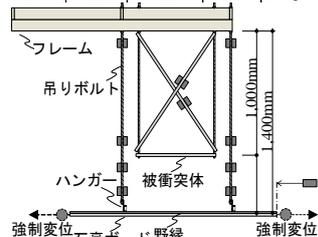
天井面の荷重変位関係を図 7 に示す。水平変位が約 80mm の位置から吊りボルトが被衝突体に接触し、天井の水平剛性の上昇が確認できる。最大耐力は、水平変位 283mm のとき 665N となり、このとき端部の腹掛けのクリップが脱落した後、野縁受けが曲げ降伏し終局状態となった(写真 3)。次にクリップへかかる力を推定するため、図 8 に示すモデルを用いて解析を行った。ここに示す v_s 、 v_w および v_{slip} は Ferdy らによるクリップの要素実験の結果¹⁾から、クリップへ水平載荷時の剛性、脱落および滑りを考慮した非線形ばねを用い、 k_{hanger} は元結らによるハンガーの要素実験結果²⁾から剛性および降伏耐力を考慮した非線形ばねとした。図 9 に実験結果と解析結果の荷重変位関係の比較を示す。解析結果から、実験時と同様に端部のクリップが脱落しクリップの脱落耐力に達した。また、実験結果と比較すると、衝突後の天井の水平剛性を再現できていることから、本モデルの有効性を確認した。

表 1 試験体 No.2 加振履歴

No.	入力波	No.	入力波
1	Sweep (4~0.25Hz)	7	Sweep (4~0.25Hz)
2	RW20% (Max63gal)	8	RW120% (Max380gal)
3	Sweep (4~0.25Hz)	9	Sweep (4~0.25Hz)
4	RW50% (Max158gal)	10	漸増正弦波 (1Hz,Max500gal)
5	Sweep (4~0.25Hz)	11	漸増正弦波 (2Hz,Max900gal)
6	RW100% (Max316gal)		※No.11時に全体的に落下

表 2 自由振動試験結果

初期変位 A [mm]	固有周期 T [sec]	固有振動数 f [Hz]	減衰定数 h	水平剛性 k [N/m]
10	1.00	1.00	0.16	9450[+15.0%]
15	0.99	1.01	0.13	9451[+15.0%]
20	1.02	0.98	0.14	9024[+ 9.8%]
25	0.98	1.03	0.12	9809[+19.3%]



(a) 立面図



写真 2 実験における崩落状態



(b) 下地伏図

図 6 試験体概要および計測機器の配置

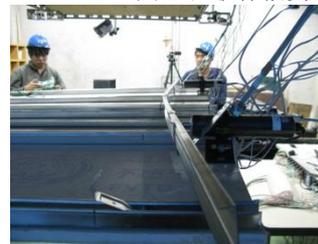


写真 3 最終変形状態

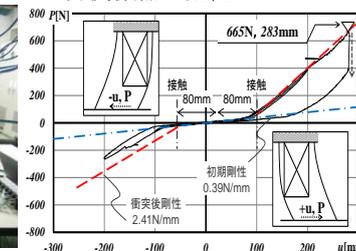


図 7 荷重変位関係

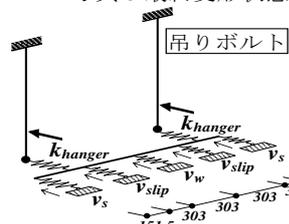


図 8 モデル図

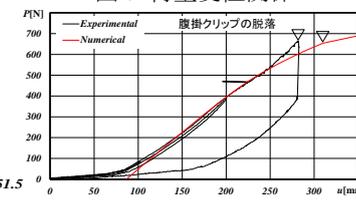


図 9 実験と解析の比較

4. まとめ

本研究は、地震時に鋼製下地在来工法天井と設備機器の相互作用に関する検討を目的とし、天井懐内に設備機器が錯綜している状況を再現し振動台実験を行い、その結果を踏まえて、再現解析を行うための小規模な静的載荷実験を行った。複合実験による結果から、実被害と同様の損傷状況を再現し、天井懐内の設備機器が吊りボルトへ衝突することによるクリップの損傷がひとつの原因であると再確認した。また、小規模な静的実験より、天井下地の力学的挙動および損傷メカニズムを得ると同時に天井下地の力学モデルの有効性を示した。

<謝辞・参考文献については、その 2 にて示す。>

*1 東京工業大学大学院 人間環境システム専攻 大学院生

*2 東京工業大学大学院 人間環境システム専攻 教授・工学博士

*3 株式会社山下設計 (元東京工業大学大学院生)

*4 東京工芸大学 工学部 建築学科 教授 学術博士

*5 工学院大学 准教授 博士(工学)

*6 国土交通省国土技術政策総合研究所

*1 Grad. Student, Dept. of Built Environment, Tokyo Institute of Technology

*2 Prof. Dept. of Built Environment, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 YAMASHITA SEKKEI INC.

*4 Professor, Tokyo Polytechnic University, Ph.D.

*5 Assoc.Prof., Department of Architecture, Kogakuin Univ., Dr. Eng.

*6 National Institute for Land and Infrastructure Management