

執務室レイアウトがスプリンクラー配管の耐震性能に及ぼす影響

Effect of Layout on Seismic Performance of Sprinkler Piping

環境・エネルギー技術部 矢ヶ崎 啓介 KEISUKE YAGASAKI

スプリンクラー配管は、地震による損傷が他の建築設備と比べて多く、漏水による二次被害等が問題視されている。また、間仕切りを増設する執務室レイアウトの変更が生じた際には、スプリンクラーヘッドを増設し、それに伴い配管径を大きくする必要がある場合もある。そこで、本研究では超高層建物を評価対象として執務室レイアウトがスプリンクラー配管の耐震性能に与える影響を評価するとともに、有効な耐震補強について検討した。その結果、本検討において想定した執務室レイアウトでは、脆弱箇所は配水管から枝管への分岐部であり、枝管への耐震補強が有効であることが示された。

キーワード：スプリンクラー、配管、耐震性能、耐震補強

Sprinkler piping is more damaged by earthquakes compared to other building equipments, and secondary damage due to water leakage is considered a problem. In addition, when the office layout is changed to add more partitions, it is necessary to add a sprinkler head and widen the pipe diameter. Therefore, we evaluated the effect of the office layout on the seismic performance of sprinkler piping in a high-rise building. As a result, it is shown that the vulnerable part is the branch part from the water distribution pipe to the branch pipe, and the seismic retrofit of the branch pipe is effective for some office layouts assumed in this study.

Key Words: Sprinkler, Piping, Seismic performance, Seismic retrofit

1. はじめに

近年の地震において、建築構造体の損傷が皆無または軽微であっても、建築の非構造部材や建築設備が損傷し、人命損失だけでなく事業継続に影響を与える被害が生じている傾向が見られる。特に、初期消火を担うスプリンクラー（以下、「SP」と記載する。）配管は、過去の地震被害報告において地震による損傷が他の建築設備と比べて多く¹⁾、損傷や落下が発生した場合は人命に影響を与える被害が生じる可能性があるうえ、漏水による二次被害が問題視されている。

また、SP 設備は消防法の設置基準を満足させる必要があるため、オフィスのレイアウト変更で間仕切りを増設する際には、SP ヘッドを増設し、それに伴い配管径を大きくする必要がある場合があり、SP 配管の耐震性能への影響が懸念される。

そこで、本報告では超高層建物（以下、「評価建物」と記載する。）を評価対象とし、平面計画（執務室レイ

アウト）が SP 配管の耐震性能に与える影響を評価するとともに、有効な耐震補強について検討する。SP 設備の耐震性能を評価するには、実大実験による耐震性能や耐震補強効果の検証が有効であるが、横引き配管を多用し広範に施工される SP 配管においては、実大実験の実施が困難であるため、数値解析ソフトにより執務室レイアウトを想定した SP 配管モデルを再現し、数値計算手法による耐震性能予測を行った。

2. 評価建物概要

表-1 に評価建物の概要を、図-1 に基準階平面図および評価範囲を示す。評価建物は東京都新宿区に所在する地上 29 階、地下 6 階の超高層建物であり、SP 設備は配管内に常に充水・加圧される湿式が採用されている。消火水は地下 6 階の SP ポンプにより、低層系統（地下 3 階～6 階）、中層系統（7 階～16 階）に圧送され、16 階の中間水槽を介して、SP ブースターポンプにより高層

表-1 評価建物の概要

所在地／用途	東京都新宿区／教育施設
延床面積	約 36,000m ² (高層棟)
竣工年	1989 年 7 月
階数	地上 29 階，塔屋 2 階，地下 6 階
建物高さ	142m
構造種別	地上部：S 造 B1F, B2F：SRC 造 B3F～B6F：RC 造
S P 方式	閉鎖型湿式方式
S P ヘッド	熱感知式
消防用水量	150m ³

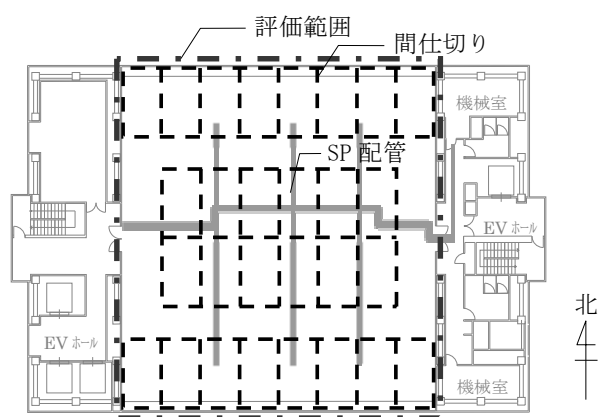


図-1 評価範囲および基準階平面図（レイアウト 3）

系統（17 階～29 階）に圧送される。評価建物は両端コア方式が採用されており，SP 配管は建物東側の SP 縦管より各階の SP 横走り配管に分岐後，西側に向かって設置基準に基づき施工されている。SP 横走り配管には配管用炭素鋼管が使用され，配管径 150A の配水主管より受け持つ SP ヘッド数に応じて縮径され，配管径 25A の SP 巻き出し配管を介して，SP ヘッドまで繋がっている。配水主管および配水管には耐震施工指針²⁾に従い耐震支持が施されている。

3. SP 配管の耐震性能評価概要

（1）SP 配管モデルの計算条件

評価建物の SP 配管の耐震性能を評価するにあたり，地震動に対する配管の応答計算が可能な配管応力解析ツール「AutoPIPE ((株)ペントレー・システムズ)」を用いた。積分法はウィルソンの θ 法を用い，刻み時間は 0.001 秒とした。減衰に関しては定減衰とし，減衰定数は 0.03 とした。

配管のモデル化は，評価建物の竣工図により形状，

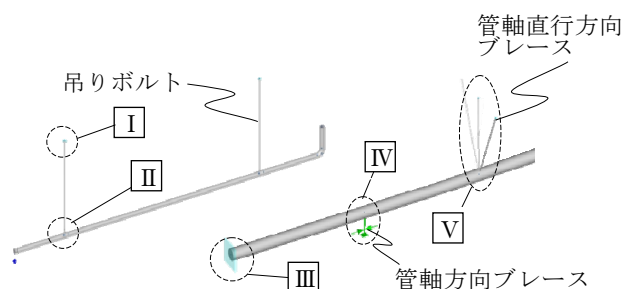


図-2 数値計算の概略モデル

表-2 各部位の接合条件

接合要素		接合条件
I	上階床スラブと吊りボルトの接点	剛
II	吊りバンドと配管の接点	ピン
III	RC 壁貫通部	剛
IV	管軸方向ブレース	管軸揺れ止め
V	管軸直行方向ブレース	管軸直行揺れ止め

表-3 基準階レイアウトと耐震補強の概要

基準階レイアウト	耐震補強箇所
1. 間仕切りのない空間 2. 間仕切りのある空間（南北窓際 16 室） 3. 間仕切りのある空間（南北窓際 16 室，中央 12 室）	① 主管・配水管 ② 主管・配水管・枝管

寸法，材質，接合条件，支持条件を確認し，配管モデルを作成した。図-2 に数値計算の概略モデルを，表-2 に数値計算モデルを作成する際の各部位の接合条件を示す。配管の支持状況や固定状況，防火区画貫通の力学的条件を数値計算上で精密に再現することには限界がある。特に，巻き出し配管として用いたフレキシブル配管と天井材を含む SP ヘッドとの接合部は，挙動特性が極めて複雑で，数値計算における境界条件の再現が困難であるため，本報告では枝管の端部に巻き出し配管に相当する荷重を負荷することで再現した。その他の境界条件は，上階床スラブと吊りボルトの接点をインサートにより緊結されることとし剛節点（要素 I），吊りバンドを用いた吊りボルトと配管の接点をピン節点（要素 II），RC 壁貫通部を剛接点（要素 III）とした。また，耐震補強は管軸方向，管軸直行方向の揺れ止めを想定し，それぞれの変位を抑制する剛接点（要素 IV，V）として再現した。

（2）検討した SP 配管モデルの概要

表-3 に基準階レイアウトと耐震補強の概要を示す。

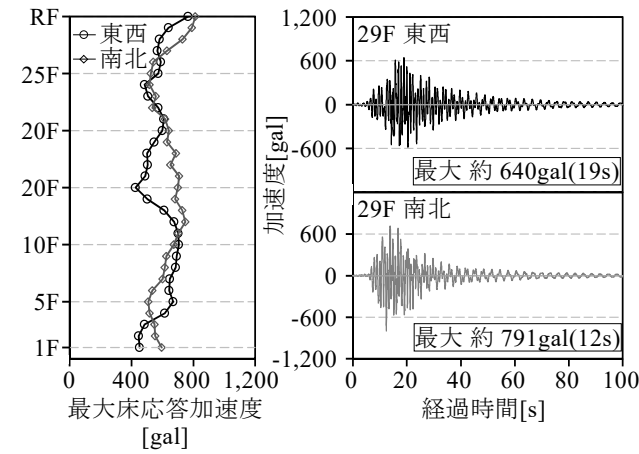


図-3 数値計算に用いた入力加速度波形

本報告ではレイアウト変更による SP 配管の配管径拡大による SP 横走り配管の耐震性能への影響および耐震補強の有効性を評価すべく、図-1 に示した評価範囲を対象に 3 通りのレイアウトと 2 通りの耐震補強を組み合わせた計 6 通りの SP 配管モデルを作成し数値解析を行った。3 通りのレイアウトは、間仕切りのない大空間（レイアウト 1）、間仕切りによる個室設置（レイアウト 2、3）の 2 つに大別され、設置基準に従って SP ヘッドを配置した。SP ヘッド数は、間仕切りのない大空間のレイアウト 1 で最少の 64 個となり、枝管には 40A 配管と 25A 配管を使用した。間仕切りがある場合では、室数に応じて SP ヘッド数を増設し、レイアウト 2 では 80 個、レイアウト 3 では 100 個を想定した。

耐震補強は、耐震施工指針に従って配水主管、配水管に耐震補強が施された耐震補強①に加え、枝管末端部にも耐震補強をした耐震補強②の 2 通りを想定した。なお、現状の評価建物はレイアウト 2、耐震補強①に相当する。

（3）入力加速度波形

図-3 に数値計算に用いた加速度波形を示す。加速度波形は、評価建物において首都直下型地震を想定した強震動予測³⁾により算定した地震動を入力波として、評価建物を立体フレームモデルとした弾塑性地震応答解析⁴⁾から得た 29 階床の応答加速度波形である。東西方向最大加速度 640gal、南北方向最大加速度 791gal、継続時間 100 秒の地震動波形である。

4. SP 配管の耐震性能評価結果

本報告における耐震性能は、配管応力解析ソフトにより算出した応力度を許容応力度で除することで算出し

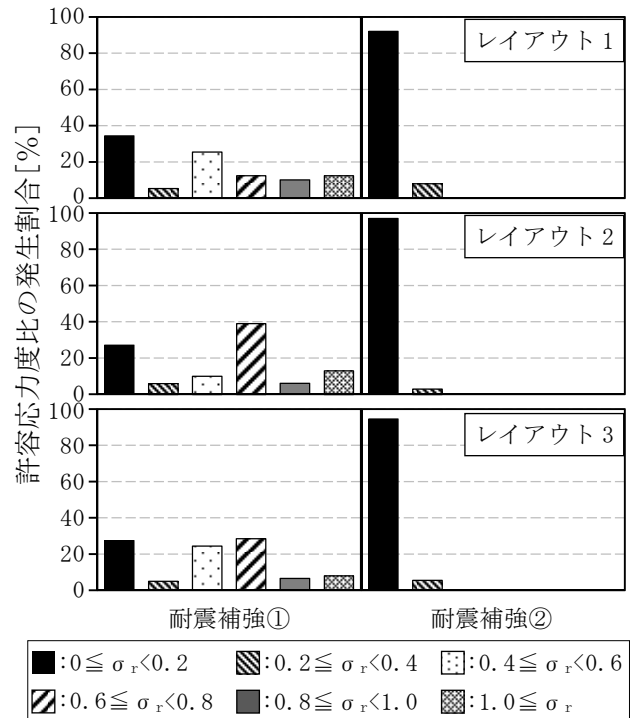


図-4 枝管における補強パターン別応力度比の割合

た許容応力度比 (σ_r) により評価した。配管用炭素鋼管の耐力値は JIS 規格に従って引張強さ 290N/mm²を安全率 2.5 で除し、地震荷重に対する評価を行うため、短期許容応力度を算出した。また、接手部は見かけ上の応力度を大きく評価することで接合効率を考慮した。

主管、配水管はレイアウト、耐震補強の違いによる許容応力度比の違いはみられなかったため、枝管に着目して評価結果を分析することとした。図-4 にレイアウト別、耐震補強パターン別の枝管における許容応力度比の発生割合を示す。許容応力度比の発生割合は、各 SP 配管モデルの枝管に対して生じた許容応力度比を段階ごとに百分率で表した。レイアウトの違いによる耐震性能への影響は見られなかったが、耐震補強の違いによる耐震性能への影響は見られ、耐震補強①では許容応力度を上回る値 ($1.0 \leq \sigma_r$) が算出された。これは、耐震補強①では躯体に緊結された配水主管、配水管に比べ枝管が大きく揺れることにより、配水管からの枝管分岐部に応力集中が生じたためと考える。耐震補強②では枝管にも耐震補強を施したことにより、耐震補強①で生じていた配水管と枝管の変位差はなくなり、許容応力度を上回る値 ($1.0 \leq \sigma_r$) は算出されなかった。評価建物の現状の SP 配管はレイアウト 2、耐震補強①のケースであり、今後、レイアウト 1、3 への変更は耐震性能に大きな影響を与える可能性は低い、枝管に耐震補強がないため大規模地震により被害が出る可能性が示された。

5. まとめ

本報告では執務室レイアウトと耐震補強が SP 配管の耐震性能に与える影響を数値計算手法により評価した。執務室レイアウトの違いにより SP ヘッドの数が増加し SP 配管径の拡大が必要になる可能性があるが、いずれの執務室レイアウトに対しても脆弱箇所は配水管から枝管への分岐部であり、枝管への耐震補強が有効であることが示された。

謝辞：本報告に関して、工学院大学建築学部まちづくり学科の西川豊宏教授にご指導、ご助言をいただきました。ここに記して深謝の意を表します。

参考文献

1) 建築設備技術者協会 震災復興支援会議：東日本大震災による建築設備被害状況に関する調査報告書、

pp.8-16, 2011.10

- 2) 一般財団法人 日本建築センター：建築設備耐震設計・施工指針 2014 年版, pp.72-82, 2014.9
- 3) 田中良一, 久田嘉章：首都圏にある超高層キャンパスの地震防災に関する研究(その 2) 首都直下地震の強振動予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp.615-616, 2007.8
- 4) 島村賢太, 山下哲郎, 久田嘉章, 鱒沢曜, 星幸男：首都圏に建つ超高層キャンパスの地震応答と制震補強に関する研究(その 1) 弾塑性地震応答解析に基づく構造被害の予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp.475-476, 2009.7
- 5) 矢ヶ崎啓介, 西川豊宏：事業継続計画策定を支援する建築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究(その 16) 平面レイアウトがスプリンクラー配管の耐震性能に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.1687-1688, 2020.7