

文化財地区の消火用水道管路の耐震性評価に関する研究

Seismic Evaluation of Underground Firefighting Water Pipeline in Cultural Areas

土岐 憲三・高田 至郎・鍬田 泰子・山崎 修一
Kenzo TOKI, Shiro TAKADA, Yasuko KUWATA,
Shuichi YAMASAKI

1. はじめに

本研究では、文化財地区の地震時の延焼防止力の評価とその能力を向上させることを目的に、文化財地区周辺にある消火施設の耐震性評価を行っている。

文化遺産とされる建造物の多くは、木造の可燃物である。近年、老朽化した木造建造物の耐震性を評価する研究が行われているが、地震時には建造物の震動被害だけでなく、延焼火災による被害も考えられる。著者らの調査¹⁾によると、兵庫県南部地震時、神戸市内にある寺社と神社の総数は657社あり、そのうち153社(全体の約23%)は地震によって被害を受けており、さらに11社は日本火災学会²⁾が示す火災延焼地域に含まれていた。これらの地震火災は、寺社からの出火ではなく近隣住家からの出火・延焼によるものであった。文化財は過去数百年、数千年にわたって維持・保存されてきたものであるため、長年にわたって培われた歴史的価値は、地震で損壊しても多額の費用で復旧できない。そのため、文化財の地震防災においては、建造物や芸術品を地震動による損壊から守るだけでなく、地震後の火災から守ることも重要である。

地震火災において消火施設が機能するためには、管路網だけでなく貯水施設などの耐震性とともにより火災に対して十分な消火用水が必要となり、それらの機能を総合的に評価するしくみが望まれる。本研究ではその一段階として、文化財地区の消火施設の耐震性について検討した。施設の多くは地中管路であり、敷設場所は建造物に放水できるように狭い範囲に複雑に配管されているため、地震時の管路応答も複雑になる。本研究では、京都市内にある清水寺の消火用水道管路網を対象にして、その地域に想定される地震に対して十分な耐震性を確保するかを分析するために、地盤調査ならびに管路網の地震応答解析を行い、地震応答の大きい箇所を評価した。

2. 清水寺周辺の地盤調査

地中管路の地震応答は、周辺地盤の特性に影響される。そのため、数値解析には解析対象地区の詳細な地盤情報が必要となる。しかし、文化財地区という性質上、地盤調査に制限があるため本研究では地盤を掘削せずに地盤特性を評価できる表面波探査法を用いた。

表面波探査は、地表面に沿って伝播する波(表面波)を観測し、地下の地盤構造によって表面波の波長ごとの伝播速度が変化する特性を活かして波を逆解析することによって、地盤の表面波速度構造を求めるものである。表面波の伝播速度はせん断弾性波の伝播速度の90~95%である

ため、表面波の速度構造から間接的にせん断弾性波の速度構造を求めることができる。調査では、測線に沿って等間隔に受振器を設置し、かけやによる打撃で表面波を起振させて行った。表面波探査機器は、応用地質株式会社のMcSEIS-SXWを用いた。

調査は、清水寺境内の計5地点で表面波探査を実施した。消火用水道管路網周辺で約50mの測線で計測するため、図1に示す対象地区の中で直線を確保できる場所を選定した。また、日中は観光客が多いこともあり、調査はノイズが少ない早朝に実施した。図1中の5つの図は、各測線のS波速度構造を示したものである。

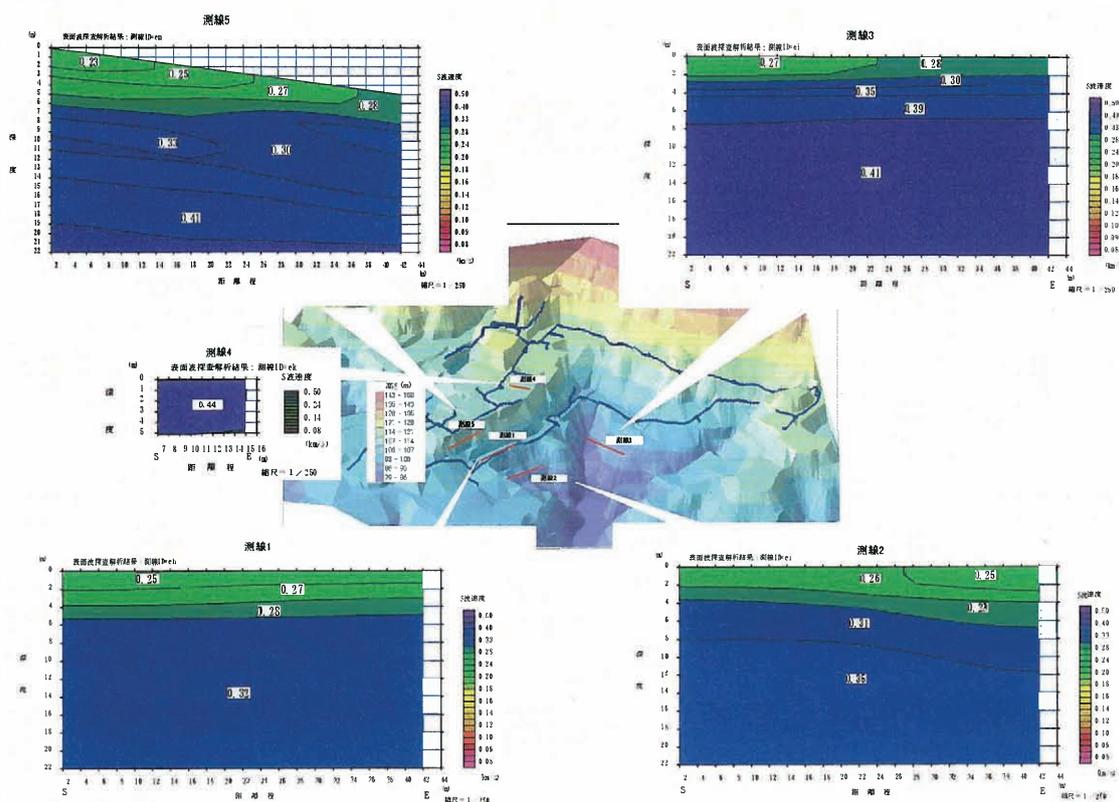


図1 清水寺周辺の表面波探査結果

調査地区では、平行した測線を3本測定しているが、全体的に類似した地盤構成であることが分かる。表層のせん断波速度が遅い層でも $V_s=230\text{m/s}$ 以上であり、地表から約3~5mで $V_s=300\text{m/s}$ 以上の層が現れる。また、山手の測線4では、表層地盤が見られず基盤が露頭していることがわかる。これらのことから、清水寺周辺の地盤は表層に薄く風化土が堆積していることが示された。また、調査結果を既往の電磁探査結果と比較したが、表層厚については整合的であった。

3. 管路網のモデル化と地震応答解析

管路網の解析検討地域は狭い範囲に高低差のある地形となっているため、平面的な配管だけでなく立体的な管路位置が意味をもつ。そこで、GISを用いて周辺地形ならびに管路網を図2に

示すように 3 次元でモデル化した。また、解析対象の管路は主管によってループ化されており、地下式消火栓、放水銃などの消火施設と接続している枝管が主管から分岐している。枝管端部は消火施設に接続されているため配管形状がさらに立体的になっているが、それらについてもモデル化を行った。

地震応答解析では、管路を弾性床上のはり要素として扱っている。主管の管種はポリエチレン管、口径は $\phi=150\text{mm}$ 、枝管の管種は鋼管、口径は $\phi=80\text{mm}$ 、または $\phi=100\text{mm}$ である。さらに、枝管端部の消火施設の立ち上がり管はダクタイル鉄管とした。地盤ばね係数は、表面波探査の結果を用いて決定した。

当検討地域近傍には、大きな活断層帯(花折断層帯)が存在し、この断層帯についての調査¹⁾や想定される地震動についての研究²⁾が行われている。そこで、花折断層が動いた場合の基盤面での地震動を用いて地盤調査の結果を反映させながら表層地盤の速度応答スペクトルを算出し、地震時の地盤応答を推定した。解析は擬似静的解析として卓越する周波数をもつ正弦波の

地盤変位を管路に与えるが、表層地盤の薄い層箇所では振幅も小さくなるものとして設定した。また、解析では水平地震動の位相や伝播方向をランダムに変動させた50ケースを行い、その中で最も大きな断面力を示す箇所を分析した。

4. 管路網の地震応答

図3は、50ケースを行った解析の中での管体要素の最大断面力を評価し、その中で顕著な応答を示した箇所を示している。図中の管網上にある緑色の○は主管上の応答の大きい箇所、赤色の○は枝管上の応答の顕著な箇所を示している。全体の応答の傾向として、軸応力よりも曲げ応力が卓越していた。応答の顕著な箇所は、T字の分岐部や曲管部に集中していた。

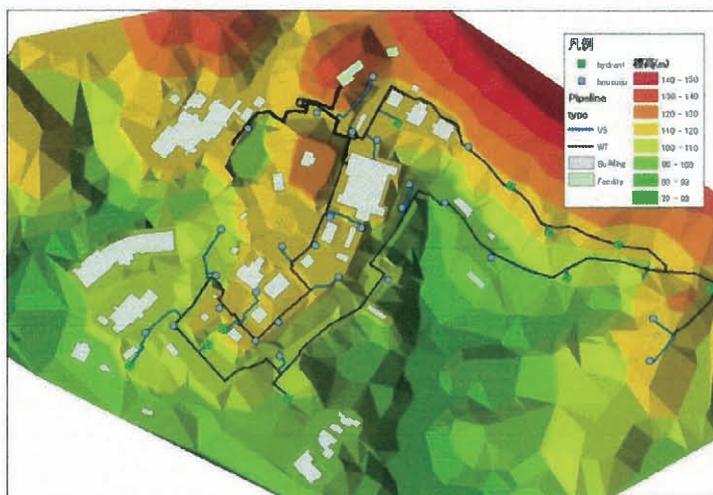


図2 敷設地域周辺の標高と管路網

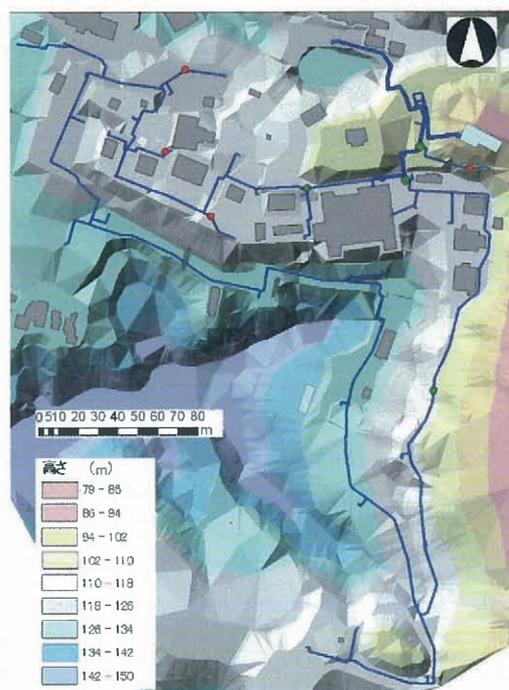


図3 管路の地震応答が大きい箇所

これらの箇所は異形管が連続して隣接しており、地盤変位に追従して管体の変位する際に異形管同士が隣接していることにより、互いの変位挙動を拘束し合い、T字部に大きな応力が発生するためと考えられる。いずれも、許容値を超える値は発生しておらず、想定される地震に対しても管路は十分機能すると考えられる。また、枝管末端部で消火施設に連結している管路についてもとくに大きな応力は発生しておらず、地震時に消火活動を妨げるような可能性は低いと考えられる。

しかし、解析検討地域は斜面地域であるが、地すべり等の検討を行っていない。これらについては、今後検討が必要である。また、管路網がループ形状をなしているので1箇所でも破断しても逆方向から送水すれば管路の機能を持たせることができる。そのためにも、地盤変状が起こりそうな箇所においては、適宜、遮断弁を設置して管路網全体に地震被害が波及しないような対策も兼ね備えることが望まれる。

5. まとめ

本研究では、文化財地区である京都市清水寺の既存消火用水道管路網の耐震性を評価するため、地盤調査ならびに想定される地震動に対する管路応答解析を行った。解析の結果、T字の分岐部や曲管に大きな断面力が発生することが分かったが、いずれも許容値内の応答であり、地震動に対しては安全であることが分かった。

参考文献

- 1) 高田至郎, 鋤田泰子, 山崎修一, ラソール・コシュラバン・アザル, 土岐憲三: 兵庫県南部地震における文化財の火災事例と文化財構内消火システム管路の耐震性検討, 建設工学研究所論文報告集, 第49号, pp197-210, 2007
- 2) 日本火災学会: 1995年兵庫県南部地震に関する火災報告, 1996
- 3) 地震調査研究推進本部: 三方・花折断層の長期的評価について
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/03mar_mikata/index.htm
- 4) 土岐憲三, 岸本英明, 古川秀明, 酒井久和: 花折断層による京都盆地の3次元非線形有限要素法による強震動予測, 日本地震工学会論文集, 第7巻, 第5号, pp.45-59, 2007