

地震時の水道管属具施設破損に関する一考察

金沢大学大学院工学研究科

○片原 道男

金沢大学大学院自然科学研究科

正会員 宮島 昌克

金沢大学工学部

正会員 北浦 勝

1. はじめに

昨今大地震が相次ぎ、そのたびに水道管路の被害が報じられている。水道管路破壊が直接人命を奪うことはないが、飲料水の断絶は地震後の生活を困難なものとする。これまで、地震による水道管路被害の要因分析が多くの研究機関で行われており、埋設管の地震応答解析も行われている。しかし属具についての地震応答解析は、ほとんど行われていない。そこで本研究では属具の構造に注目し、破壊メカニズムを解明することにより、今後の水道管属具設備耐震向上の一助とする。

2. 水道管属具被害の概要

一般に属具設備とは、仕切弁、消火栓、空気弁などのことを示す。これらの被害件数は、仕切弁、空気弁、消火栓の順に多く、被害率（被害件数／設置数）では、空気弁が3%前後と、他の10倍以上あったといわれている。一般的な地下式消火栓室、空気弁室は、図1に示す形状をしている。地震時における水道管属具の被害形態は、①フランジ部の漏水、②フランジ付きT字管枝管付け根部の折損、③属具自体の破損であり、1995年兵庫県南部地震における被災頻度は、各種被害報告書により、①>③>②であったと報告されている。

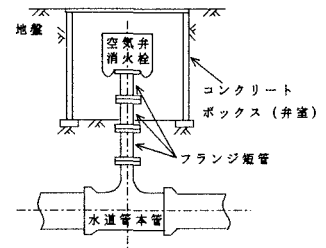


図1 地下式消火栓室・空気弁室の構造の概要

3. 破壊メカニズム

仕切弁は図1に示されるような構造ではなく、弁本体が水道管本管に挟まれる形で土中に埋設されている。したがって仕切弁の破損は、継手離脱や管体破損などの破壊原因と同様、地盤変状によるものと考えられる。

空気弁の被害率が消火栓の10倍以上であった原因は、空気弁の方が弁本体の質量が大きく、フランジ部の長さも長いことにあると思われる。したがって本研究では、空気弁を対象に破壊メカニズムの解明を行う。

3.1 フランジ部の漏水

空気弁を、図2に示す1自由度バネモデルと考え、地震応答解析を行った。減衰定数及び固有周期は実験による測定値である。地震動が直接水道管に作用するものと仮定し、入力地震動に神戸海洋気象台で観測された南北方向の加速度記録を用いた。解析結果を表1に示す。表より、最大相対加速度が1Gを越えていることがわかる。

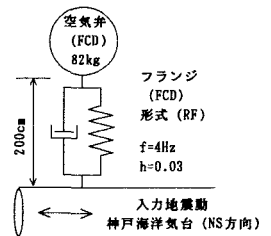


図2 1自由度応答解析モデル

ここで、フランジ接合部に働く曲げモーメントは次式で表される。

$$M = A \times m \times L \quad \dots (1)$$

(M: 曲げモーメント, A: 相対加速度, m: 弁質量, L: フランジ長さ)

本解析における最大曲げモーメントは表1の最大相対加速度 $A = 1251.3 \text{ gal}$ を用いて、 $M = 0.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$ と算出される。静的実験におけるフランジ部の漏水は、曲げモーメント $2 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 作用時に発生しており、動的解析の結果は静的実験の値に及んでいない。動的効果による漏水は、静的曲げモー

表1 地震応答解析結果 (最大値)

	加速度 (gal)	速度 (cm/s)	変位 (cm)
入力	818.0	91.5	20.2
相対	1251.3	54.0	2.6
応答	1642.9	113.8	21.0

ント以下で発生すると考えられるが、動の実験における確認が必要である。

図1に示したように、弁は弁室に取り囲まれて弁室の中央に設置されている。地震後の調査によると、弁が弁室に接した状態で存在していたという報告があり、地震時に弁が弁室に衝突していた可能性が考えられる。衝突による弁の応答加速度は次式のように表される。

$$A = V(1+e)/t \quad (V: \text{衝突速度}, e: \text{反発係数}, t: \text{力積時間}) \quad \dots (2)$$

本解析における弁の衝突応答加速度は、衝突速度に表1に示した最大応答速度 $V = 113.8 \text{ cm/s}$ を用い、経験的に $e = 0.5$ 、 $t = 0.002$ が得られているのでこれを用いると、 $A = 85,000 \text{ gal}$ となる。したがって式(1)より曲げモーメント $M = 14.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$ が求まる。この値であれば、静的実験の値を大きく超えており、衝突により漏水をもたらす可能性があるといえる。

3.2 弁本体の破損

弁本体の破損は兵庫県南部地震以外ではあまり報告されておらず、大地震特有のものであると考えられる。兵庫県南部地震と、これまでの地震との大きな違いの一つは震動速度にあり、場所によっては 100 cm/s 以上であったといわれている。先にも述べたように、弁と弁室が衝突していた形跡があり、この弁体破損被害は高速度衝突が原因であるように思われる。衝突破壊には、圧縮破壊と引張り破壊（脆性破壊）が考えられるが、铸铁は圧縮強度が大きく、引張り強度が小さいことから、この被害は衝撃による脆性破壊であると考えられる。このことから、铸铁の脆性破壊を波動理論を用いて検討することとする。

铸铁管の物性値は、引張り強度 $\sigma_s = 2.0 \times 10^8 \text{ kgf/cm}^2$ 、弾性係数 $E = 1.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、密度 $\rho = 7.3 \times 10^6 \text{ kg/cm}^3$ である。細い弾性棒中の縦波応力の伝播速度は一次元の波動方程式より、

$$C_b = \sqrt{E/\rho} \quad \dots (3)$$

であり、铸铁の場合 $C_b = 4.0 \times 10^5 \text{ cm/s}$ となる。ここでは簡単のために、モデルとして図3に示すような 80 cm の棒を考える。この铸铁棒に、図4に示すような引張り強度と同等な衝撃荷重が作用したとすると、 0.5 ms 後には、図5に示すような応力状態が棒中に存在することとなる（応力は自由端で符号を反対にして反射する）。圧縮応力を正で示している。図5より、モデルの中央点で引張り強度に達しており、脆性破壊に至ると考えられる。

ここで、設定した数値についての検証を行う。衝撃荷重時間については、前述の通り経験値 $t = 2 \text{ ms}$ であり、今回用いた 0.4 ms は、かなり小さい値である。しかし地盤とパイプがそれぞれ異なる振動をしていると考え、このような短い衝突時間もあり得ると考えられる。衝撃荷重については、弁の応答解析より、最大 $F = mA = 135,000 \text{ kgf}$ の力で振動しており、弁の一部分に衝突した値ということになる。以上より、弁体破損は衝突による脆性破壊ではないかと考えられる。

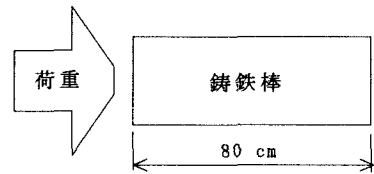


図3 モデル図

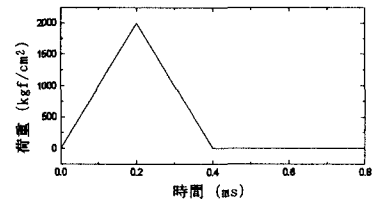


図4 荷重波形

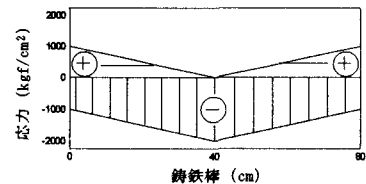


図5 荷重載荷 0.5 ms 後における棒中の応力分布

4. まとめ

以上より、弁と弁室の衝突が、水道管属具施設の破損原因の一つであると考えられる。衝突において、力積時間が長いとフランジ部の漏水、短いと弁体破損という破壊メカニズムになる。今後の耐震対策としては、弁と弁室が衝突していると考えられることから、弁室を拡大する、弁室表面に緩衝剤を張り付ける、フランジ接合部を屈伸可能なものにするなど、柔軟な構造に改良することが望まれる。