

浄水場配管の地震時復旧シミュレーション

日本上下水道設計 正会員 ○大嶽公康
 篠塚研究所 正会員 静間俊郎
 東京都市大学 フェロー会員 吉川弘道
 日本上下水道設計 正会員 馬場啓輔

1. はじめに

水道の耐震化の指標は管路耐震化率等を用いられることが多い。管路耐震化率はレベル2地震動に対する耐震性が確保されている管路の割合を示すもので、耐震化事業の達成度の指標としては有用であるが、復旧期間は明確にならない。水道利用者から耐震化事業の理解を得るためには、復旧期間を耐震化の指標とすることがより効果的である。本研究では仮想の浄水施設の配水機能を対象とし、信頼性理論に基づいて復旧シミュレーションを行い、復旧期間を指標とした水道の耐震化の効果を考察する。

2. 解析対象施設及び解析モデルの概要

対象施設は、仮想の中規模浄水場（急速ろ過方式、処理能力 $Q=100,000\text{m}^3/\text{日}$ ）であり、神奈川県小田原市に位置する。図-1 に施設概要及び解析モデルを示す。解析対象要素は過去の地震において被害が多い埋設管路と躯体との接続部の継手とした。施設は1期工事と2期工事に分割して建設され、それぞれで使用されている継手条件は異なっている。さらに、浄水池が位置するD～E～Fの配管部は埋戻地盤で軟弱地盤である。それぞれの配管は1系統から4系統で構成されている。

図-2 は当該浄水場の配水機能をモデル化したもので、図中の矩形ブロックは解析対象とした14配管である。ブロック下にはこれらの通水能力（以下、性能）を併記した。この性能は浄水場全体の性能を100%とし、A～Fの配管の性能をそれぞれ設定している。ここで、当該浄水場の性能の確率変数 R_{sys} は文献1) を参照すると、下式で示される。

$$R_{\text{sys}} = \min(R_A, \min(R_{B-1} + R_{B-2}, R_{C1-1}, R_{C2-1}) + \min(R_{B-3} + R_{B-4}, R_{C1-2}, R_{C2-2}), R_D, \min(R_{E-1}, R_{F-1}) + \min(R_{E-2}, R_{F-2})) \quad (1)$$

ここに、 $R_A \sim R_{F-2}$ は個々の配管の性能の確率変数である。

3. モデルの脆弱性の評価（耐力中央値の設定）

水道施設の耐震設計では、接続部の継手伸縮量を静的解析で簡易に算定する場合、地盤変位量と躯体変位量の和より求めてよいとされている²⁾。ただし、本研究の解析対象の急速ろ過池等の構造物は、アスペクト比が大きく、躯体の剛性が非常に大きいため、構造解析による地震時変形量は地盤変位量の1/10以下となる。したがって、本研究では継手伸縮量の評価は地盤変位のみを対象とした。表-1 に各配管の被災時の限界最大速度（耐力中央値）と復旧期間を示す。なお、この耐力中央値は、継手伸縮量の限界変位を図-3 に示す方法に従い、工学的基盤最大速度（以下、PBV）へ変換したものである。

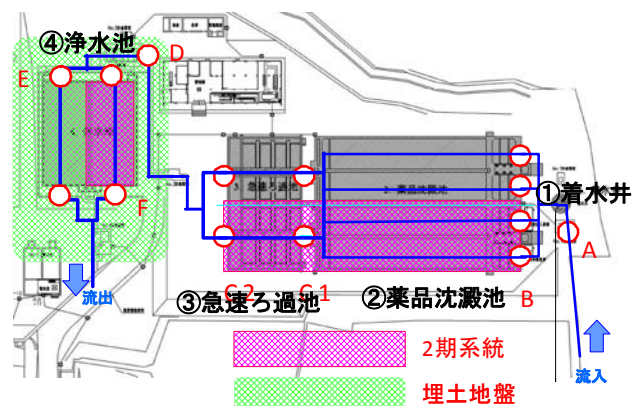


図-1 解析モデル図

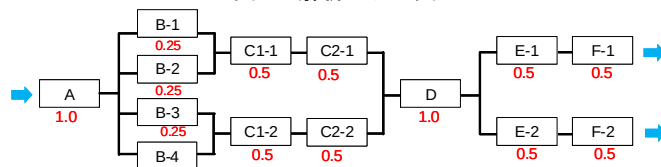
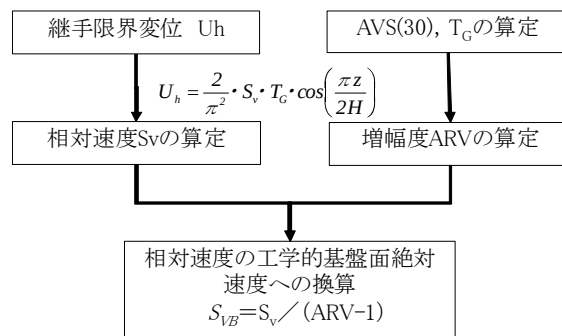


図-2 システム構成図



※地盤増幅度 ARV の算定式は藤本・翠川(2006)の式を適用した

図-3 継手伸縮量の限界変位の工学的基盤面絶対速度への変換

キーワード 埋設管、地震リスクマネジメント、復旧曲線、復旧期間、ボトルネック指標

連絡先 〒141-0031 東京都品川区西五反田 7-20-9 日本上下水道設計（株） 東京総合事務所水道部 03-5745-2890

4. 解析結果

復旧シミュレーションでは、M8.0 および M7.0 関東地震の 2 シナリオ地震³⁾ を検討対象とした。当該敷地における PBV は、安中の距離減衰式より、M8.0 関東地震で 91Kine、M7.0 関東地震で 28Kine となる。なお、復旧シミュレーションでは、地震時の各配管の損傷は独立、復旧は同時に行われるという前提に基づいている。

(1) 現況の復旧シミュレーション

図-4 に M7.0 関東地震と M8.0 関東地震のボトルネック指標 (Bottleneck Index ; 以下, B.I.) の算定結果を、図-5 に復旧曲線を示す。復旧曲線の縦軸は性能回復率 (復旧率) であり、当初の性能 ($Q=100,000\text{m}^3/\text{日}$) を 100% (性能回復率 1.0) とした場合の回復度合を示す。

埋戻地盤で 1 系統のみの D 配管部の被害が最も影響が大きく、次に埋戻地盤の 1 期系の配管と A 配管の影響が大きくなっている。M8.0 関東地震では D 配管の影響が支配的であるため、復旧曲線が直線となっている。

(2) 対策後の復旧シミュレーション

対策後の復旧シミュレーションでは、B.I.の高い要素の限界変位を 20cm(基盤最大速度 195cm/s)に強化するものとして、次の 3 ケースの検討を行った。

Case1: D 配管を強化 Case2: D, E1, F1 配管を強化

Case3: A, D, E1, F1 配管を強化

図-6 に対策後の復旧曲線を示す。M8.0 関東地震では D 配管と A 配管の対策効果が大きい、M7.0 関東地震では D 配管と E1, F1 の配管の対策効果が大きくなった。各シナリオ地震による対策効果の相違は、図-4 の B.I. の相違と一致している。このように復旧曲線を用いることで、対策効果を復旧期間の減少として表示でき、対策効果の違いも明確となった。

5. おわりに

本研究では水道システムのボトルネックを定量的に評価し、対策前後の復旧期間を比較することで、対策効果を明確にすることができた。今後は解析結果を基にして、復旧曲線を用いた耐震化事業の最適投資額の算定を行うとともに、復旧シミュレーションを水道事業全体の水道システムや下水道施設へ応用していく予定である。

参考文献：1)中村孝明他;構成要素の個別性能を考慮したシステムの地震時復旧曲線,土木学会年次学術講演会講演集(投稿中),2010,2)日本水道協会:水道施設耐震工法指針・解説,2009,3)宇賀田健:シナリオ地震による日本全国の地震危険度評価,建築学会構造系論文集,第541号,2001.

表-1 各配管の耐力中央値と復旧期間

記号	系列数	1系列の性能	1期系統 (Uy=2cm)		2期系統 (Uy=10cm)	
			PBV (cm/s)	復旧日数 (日)	PBV (cm/s)	復旧日数 (日)
A	1	100%	65	5	325	3
B	2	50%	65	2		
C	4	25%	65	3		
D	1	100%	20	5	98	3
E	2	50%	20	3		
F	2	50%	20	3		

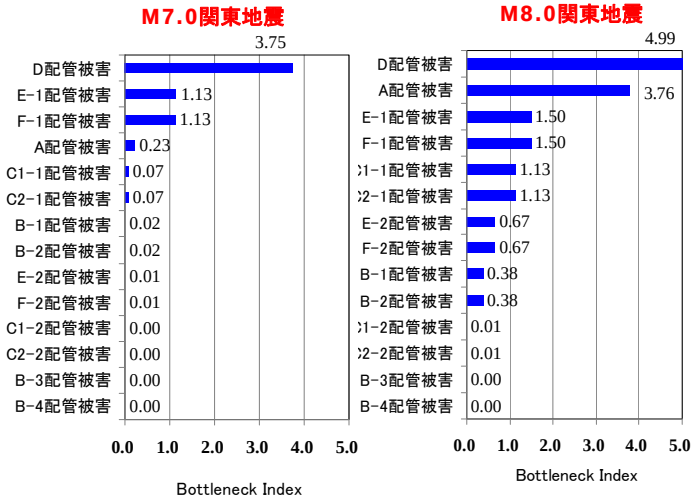


図-4 現況のボトルネック指標

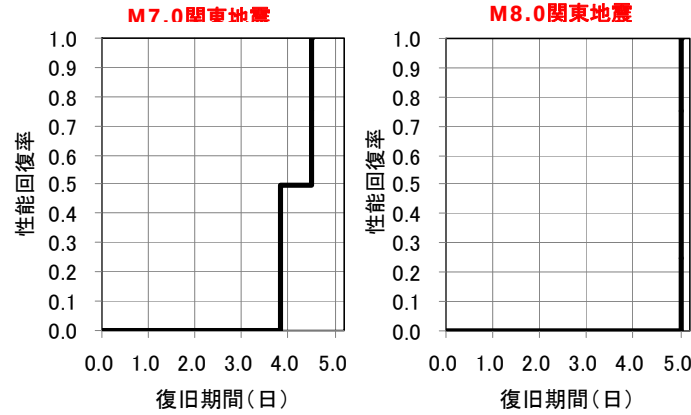


図-5 現況の復旧曲線

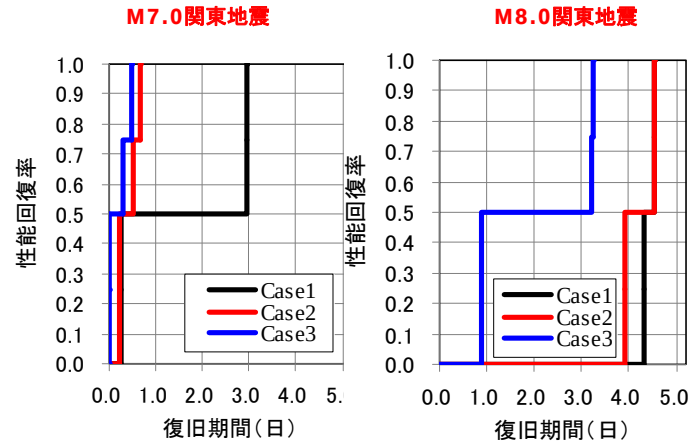


図-6 対策後の復旧曲線