

下水処理場と下水管を考慮した総括的な下水道の耐震化

環境計画研究室 高田大資

1. 背景・目的

地震大国である日本では、いつどこで大規模な地震が発生してもおかしくはない。今後も大規模な地震が発生するとの予測もされている。近年の大規模な地震では、下水処理施設も大きな被害を受けている。兵庫県南部地震を契機として、下水道施設の耐震化をはじめ、体制面の対策を含む下水道の地震対策が推進されてきたものの、依然として多くの地方公共団体においては進んでいない状況である。

本研究では、人口減少や限られた耐震化事業費の中で下水処理場と管路の双方の耐震化を行った。管路の被害により汚水放流が出来なくなる被害、処理場の被害により水質の悪い水が放流される被害双方の被害の最小化を目的とする。

2. 研究方法

管路に耐震化を施しても下水処理場が被害を受けてしまうと水質の悪い水が放流されてしまう。また、下水処理場に耐震化を施しても管路が被害を受けると下水処理場に汚水を流すことが出来なくなる。管路と下水処理場の耐震化のバランスを考えなければならない。また、人口減少を考慮することで現在耐震化しないことでの被害と将来的に使わなくなってしまう施設を耐震化した被害の大小も考えることが出来る。予算制約を考慮し、各期に配分された予算内でそれぞれの耐震化を行う。被害が最小となる予算配分が最適な耐震化対策である。地震による被害は人口で表す。管路の被害は、管路に汚水を流せない人口とする。下水処理場の被害は、下水処理場から放出される汚水によって下流が受ける被害としていたが、放流先の河川の流量、水質、滞留時間などの影響を受けるため算出が困難である。そのため、下水処理場から平常時に放出される汚濁負荷と被災時に放出される汚濁負荷を比較し、通常時の汚濁負荷を超えた汚水量を排出した排出人口を被害とする。平常時の処理濃度をこえたため影響を与えるということからである。

被害算出のためにモデル地区を作成した。モデル地区は図 1 である。管路の耐震化は下水処理場

から近い管路から耐震化を行う。下水処理場の耐震化は、最初沈殿池、反応槽、最終沈殿池の順番で行う。各施設によって放流水質のレベルが変わってくる。処理水の指標として BOD を用いる。下水処理場を耐震化せずに放流した場合

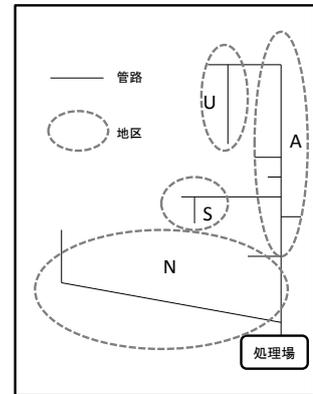


図 1 モデル地区

200mg/Lの放流水が放流される。最初沈殿池のみだと120mg/L、最初沈殿池と反応槽まで耐震化すると10mg/L、最終沈殿池まで耐震化すると5mg/Lの放流水が放出される。

管路 i の耐震化費用を $E_{p,i}$ 、処理系列 $a_{i,t}$ の耐震化費用を $E_{T,i}$ とすると、耐震化費用は式(1)とする。 t 期の耐震化予算を管路と下水処理場に分配し、分配された予算内でそれぞれ耐震化をおこなう。

$$\sum_{i \in RP_t} E_{p,i} + \sum_i E_{T,i} \leq E_t \quad (1)$$

管路の被害を求めるには各管路の被災率を求める必要がある。各管路の被害率の計算は久保・片山(1975)の式を用いる。 R_f は標準被害率(箇所/km)を表しており、 C_g は地盤・液状化係数、 C_p は管種係数、 C_d は管径係数、 C_v は埋設工法係数である。標準被害率の計算方法は式(3)とする。 $A(\text{gal})$ は地震の最大加速度である。

$$R_{fm} = R_f \times C_g \times C_p \times C_d \times C_v \quad (2)$$

$$R_f = 1.74A^{6.1} \times 10^{-16} \quad (3)$$

各管路の被害率 R_{fm} (箇所/km)に管路延長 $L(\text{km})$ をかけることで平均被害発生箇所数とする。管路 i の被災率 b_i は式(4)とする。各管路について被災率 b_i を計算する。耐震化を行った管路は被害を受けないので被災率は 0 とする。よって耐震化が進むと耐震化されていない管路の被災率は小さくなっていく。

$$b_i = 1 - e^{-LR_{fm}} \quad (4)$$

各管路の被災率 b_i を求めた後に、管路 i を含んだエ

エリア*i*が排水できない確率 f_i を求める。エリア*i*は管路*i*から下水処理場までつながる管路の集団のこととし、管路*i*から下水処理場までつながる管路のいずれかが破損したときに、管路*i*を使用している人口が被害を受ける。下水処理場に近い管路ほど排水できない確率は低くなり、下水処理場から遠くなるほど排水できない確率は高くなる。エリア*i*が排水できない確率は式(5)とする。

$$f_i = 1 - \prod_{j \in D_i} (1 - b_j) \quad (5)$$

よって管路の被害は式(6)から求めることが出来る。ただし、 $\bar{D}_1 = D_i \cap \bigcup_{k=1}^{t-1} RP_k$ とする。 D_i は管路*i*に放流するエリア*i*から下水処理場までの管路の集合である。 RP_k は*k*期に耐震化された管路の集合であり、 $h_{i,t}$ はエリア*i*の第*t*期における人口とする。第*t*期の被害 $P_{x,t}$ の計算は式(6)とする。また下水処理場に流入する汚水量は式(7)とする。

$$P_{x,t} = \sum_i \left\{ 1 - \prod_{j \in \bar{D}_1} (1 - b_{j,t}) \right\} h_{i,t} \quad (6)$$

$$Q_t = \sum_i \prod_{j \in \bar{D}_1} (1 - b_{j,t}) h_{i,t} q \quad (7)$$

下水処理場の通常時の総汚濁負荷 L_0 とする。被災時の汚濁負荷は L_t とする。被災時の下水処理場の処理水質が S とする。1人あたりの流量が q とする。よって下水処理場の被害は式(8)で求めることが出来る。

$$P_{y,t} = \frac{L_t - L_0}{qS} \quad (8)$$

3.被害の算出

モデル地区において被害の算出をおこなった。地震の規模は震度6強で最大加速度は1130galである。各期2億円の耐震化予算とする。モデル地区には179本の管路が埋設されている。下水処理場内には4系列の処理施設がある。1系列は最初沈殿池、反応槽、最終沈殿池のフローからなる。下水処理場の被災率は10%、5%、1%と設定した。それぞれ計算結果は以下の表1から表3である。黒文字が各期の予算を管路に配分した割合で、赤文字が各期の予算を下水処理場に配分した割合である。下水処理場の被災率が10%、5%のときは下水処理場を2

系列と1系列を反応槽まで耐震化した耐震化対策の被害が最小になった。また、下水処理場の被災率が1%のときは1系列と1系列の反応槽まで耐震化した耐震化対策の被害が最小になった。1期目の人口は15225人、5期目の人口は8503人になり約55%まで減少するため約2系列の耐震化でよいと考えられる。

表1 被害(下水処理場被災率10%)

1期	2期	3期	4期	5期	被害(人)
0%,100%	70%,30%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	11566
0%,100%	45%,55%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	8453
0%,100%	25%,75%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	8668
0%,100%	15%,85%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	8734

表2 被害(下水処理場被災率5%)

1期	2期	3期	4期	5期	被害(人)
0%,100%	70%,30%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	9240
0%,100%	45%,55%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	7591
0%,100%	25%,75%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	7806
0%,100%	15%,85%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	7872

表3 被害(下水処理場被災率1%)

1期	2期	3期	4期	5期	被害(人)
45%,55%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	10447
35%,65%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	7872
0%,100%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	5185
0%,100%	80%,20%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	5491
0%,100%	70%,30%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	5663
0%,100%	45%,55%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	5945
0%,100%	25%,75%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	6161
0%,100%	15%,85%	100%,0%	100%,0%	100%,0%	6227

また、婦人子ども比(3割増・3割減)、生残率(高位・低位)、移動率(3割増・3割減)を変動させた人口推計を用いて同様に被害の算出を行った。結果は、下水処理場の被災率が10%、5%のときは、2系列と1系列を反応槽まで耐震化した耐震化対策が最初小となり、1%のときは、1系列と1系列の反応槽まで耐震化した耐震化対策の被害が最小になったため結果は変わらなかった。

4.結論

本研究では人口減少と予算制約を考慮し管路と下水処理場のバランスを考え耐震化を行った。人口が減少していくため下水処理場内の系列すべてを耐震化する必要はなかった。

今後の課題として、管路と処理場の老朽化を考慮する必要がある。本研究では老朽化を考慮していない。老朽化を考慮することで被害の精度を上げることが出来る。