

水道管路施設更新の事業費について

令和4年5月16日

杵築市水道事業管路状況

上水道

・総延長 **L=265.8km**

うち耐震管 L=29.7km

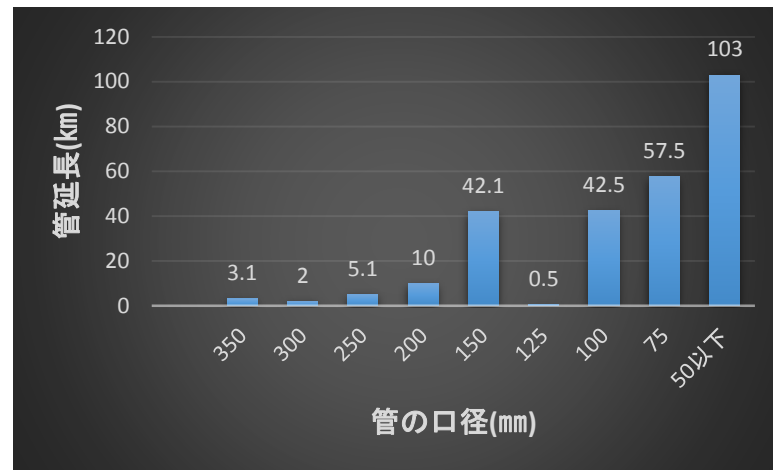


耐震化率 11.2%

管種ごとの内訳

石綿管	0.5 km
ダクタイル鋳鉄管	47.7 km
HIVP管	119.1 km
HPPE管	27.5 km
ポリエチレン管	5.9 km
VP管	61.9 km
鋼管	3.2 km

管径ごとの内訳



統合簡易水道

・総延長 **L=146.9km**

うち耐震管 L=1.4km

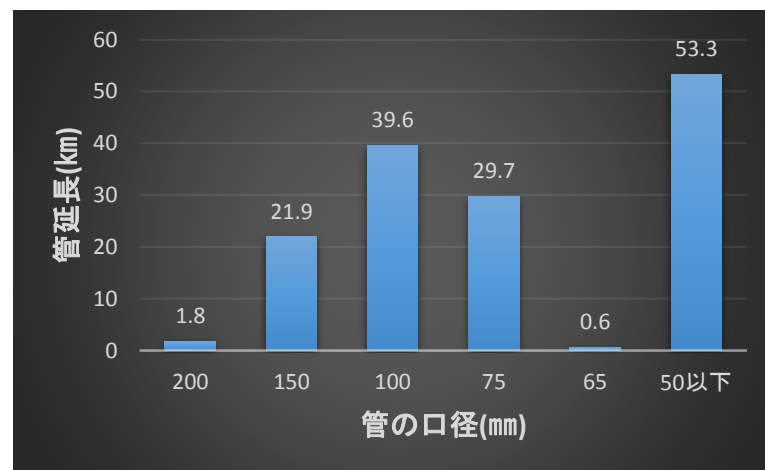


耐震化率 1.0%

管種ごとの内訳

ダクタイル鋳鉄管	17.4 km
HIVP管	27.8 km
HPPE管	1.2 km
ポリエチレン管	7.9 km
VP管	89.5 km
鋼管	3.1 km

管径ごとの内訳



更新計画

検討結果

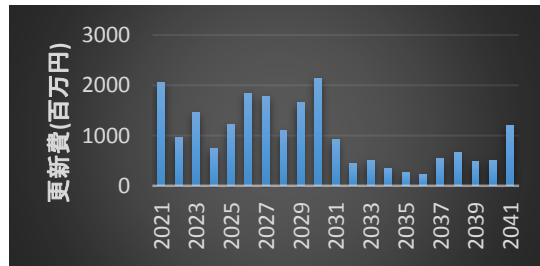
・本検討は、20年後までの管路更新費用を検討した。検討結果は以下のとおりとなった。

全管路(2752路線)を対象とした場合

※詳細は検討①参照

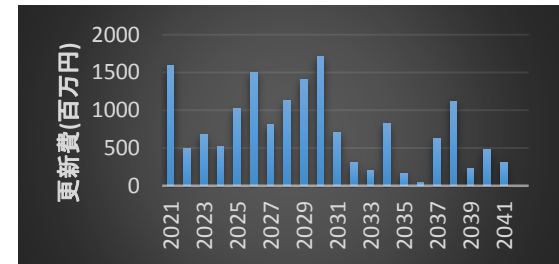
法定耐用年数で更新した場合

・20年間の更新費を平均すると、**約10億円/年**



更新基準年数で更新した場合

・20年間の更新費を平均すると、**約7.6億円/年**

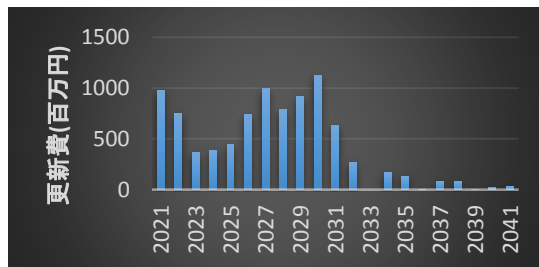


漏水発生予測1回以上(451路線)を対象とした場合

※詳細は検討②参照

更新基準年数で更新した場合

・20年間の更新費を平均すると、**約4.2億円/年**

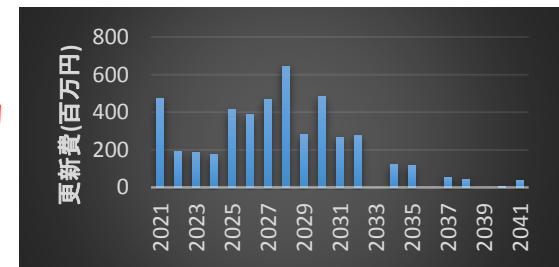


漏水発生予測2回以上(112路線)を対象とした場合

※詳細は検討②参照

更新基準年数で更新した場合

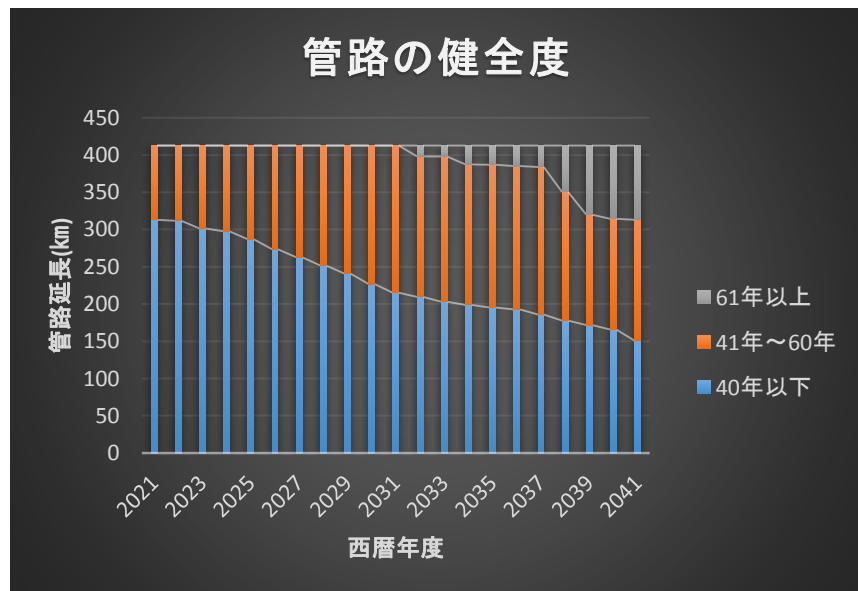
・20年間の更新費を平均すると、**約2.0億円/年**



検討①: 全管路を対象に更新検討

更新を実施しなかった場合

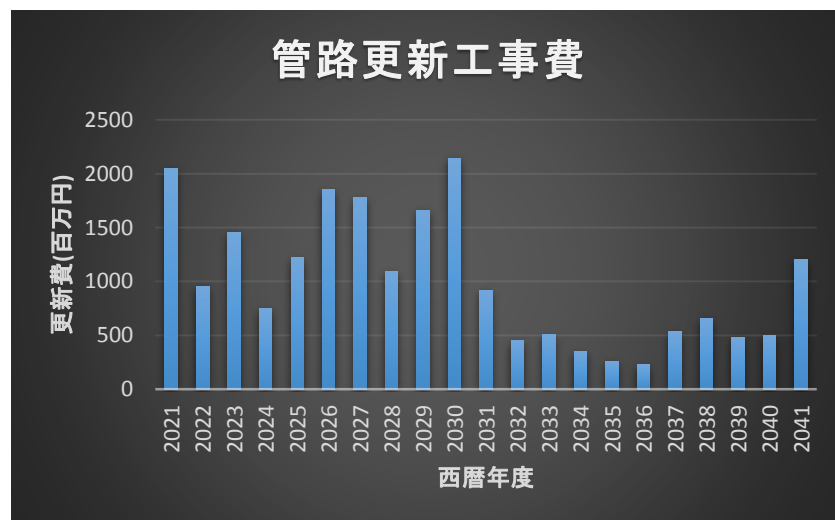
下のグラフは、上水道及び統合簡易水道のすべての管路の健全度を年度ごとにまとめたものである。また、健全度として、法定耐用年数の40年以下、41年~60年及び61年以上の3種類に大別している。



- ・2021年度時点で法定耐用年数を超過している管路は約100kmで、全体の約24%にあたる。
- ・2032年度以降、61年を経過した管路が存在する。
- ・2033年度以降、法定耐用年数を超える管路が全体の半分を占めるようになる。

法定耐用年数で更新した場合

下のグラフは、上水道及び統合簡易水道のすべての管路を法定耐用年数、つまり40年で更新した場合の費用を年度ごとにまとめたものである。この更新費は厚生労働省健康局水道課の簡易支援ツールを用いて算出している。



- ・2021年度の更新費が最も大きく約20.5億円もの費用を必要としている。これは、すでに法定耐用年数を超過した管路が20.5億円分存在することを意味する。最も更新費が少ない年度でも約2.3億円の費用を要する。
- ・20年間の更新費を平均すると、**約10億円/年**となり、現在の水道事業収益を大きく超える。
- ・簡単に考えても水道料金を3倍以上にする必要がある。昨今の料金値上げに対する反応から考えると現実的ではないと判断できる。

更新基準年数で更新した場合

更新基準年数は、日本水道協会発行の「水道維持管理指針」P448 表-8.5.2にある「実使用年数の設定値例 事故率耐震性能を考慮した更新基準としての一策」を使用した。

この案の中で、RR継手以外の硬質塩化ビニル管は法定耐用年数と更新基準年数が等しいことになっている。

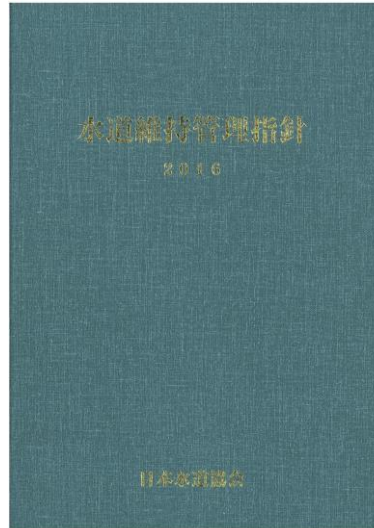
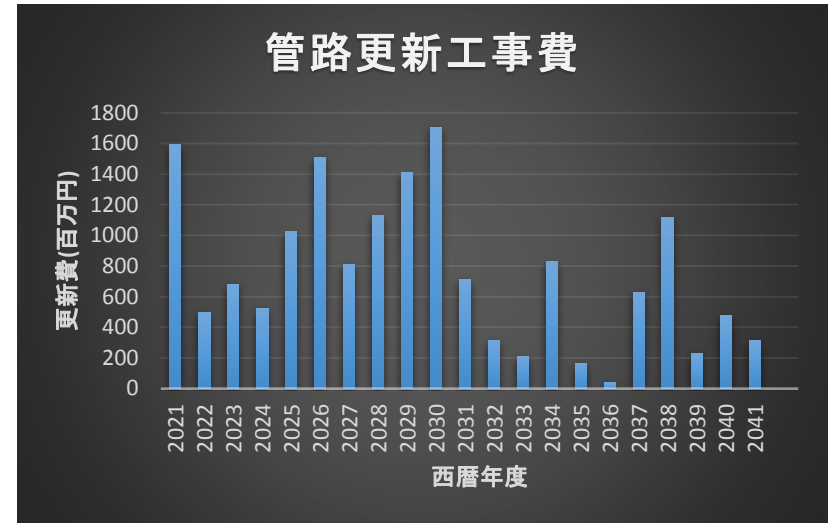


表-8.5.2 管路の更新基準（実使用年数）の設定例

水道統計の管種区分	更新基準の初期設定値 (法定耐用年数)	実使用年数の設定値例		耐震性能*	
		事故率、耐震性能を考慮した更新基準としての一策**		レベル1	レベル2
鑄鉄管（ダクタイル鑄鉄管は含まない）	40年	40～50年	50年	×	×
ダクタイル鑄鉄管 耐震型継手を有する		80年	○	○	
ダクタイル鑄鉄管 K形継手等を有するものうち良い地盤に布設されている		70年	○	注1)	
ダクタイル鑄鉄管（上記以外・不明なものを含む）		60年	○	×	
鋼管（溶接継手を有する）		70年	○	○	
鋼管（上記以外・不明なものを含む）		40年	—	—	
石綿セメント管（m）		40年	×	×	
硬質塩化ビニル管（RR ロング継手等を有する）		60年	○	注2)	
硬質塩化ビニル管（RR 継手等を有する）		50年	○	×	
硬質塩化ビニル管（上記以外・不明なものを含む）		40年	×	×	
コンクリート管		40年	—	—	
鉛管		40年	—	—	
ポリエチレン管（高密度、熱融着継手を有する）		60年	○	注3)	
ポリエチレン管（上記以外・不明なものを含む）		40年	○	×	
ステンレス管 耐震型継手を有する		60年	○	○	
ステンレス管（上記以外・不明なものを含む）		40年	—	—	
その他（管種が不明のものを含む）	40年	40年	—	—	

下のグラフは、上水道及び統合簡易水道のすべての管路を左記の更新基準年数で更新した場合の費用を年度ごとにまとめたものである。この更新費も厚生労働省健康局水道課の簡易支援ツールを用いて算出している。



・2021年度の更新費が最も大きく約16億円もの費用を必要としている。これは、すでに更新基準年数を超過した管路が16億円分存在することを意味する。最も更新費が少ない年度は翌年度の約0.1億円となっている。

・20年間の更新費を平均すると、**約7.6億円/年**となり、現在の水道事業収益を上回り大きな更新費を必要とする。

・簡単に考えても水道料金を2倍以上にする必要がある。昨今の料金値上げに対する反応から考えると現実的ではないと判断できる。

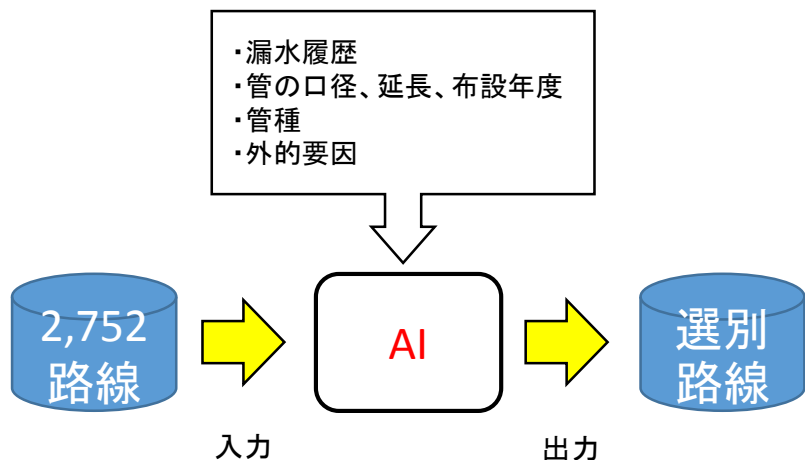
検討②:漏水の恐れのある管路のみを選別して更新検討

選別方針

前頁までのとおり、全管路を対象とした更新計画では需要者の理解が得られにくい更新費用が必要となった。そこで、管の漏水発生がないと予測される管路については更新を行わず、漏水発生の可能性のある管路のみで更新費の算出を行うこととした。

選別方法

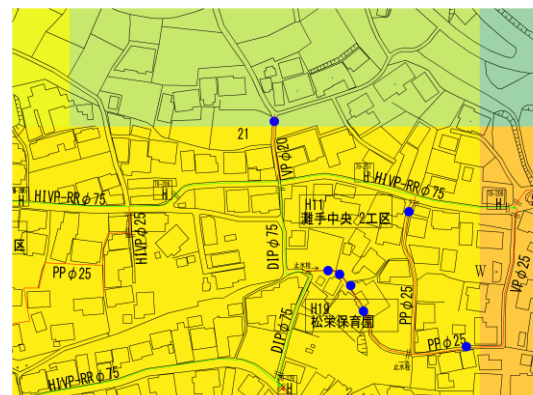
・過去の漏水履歴等のデータをAIに学習させ、20年後(2041年)までに漏水する可能性のある管路を予測させ選別する。学習に使用するデータは、漏水履歴のほか、管の口径・延長・布設年度、管種、フラクタ(業者名)が予測した外的要因による漏水発生確率とした。



選別手順

・CADに管路、外的要因、漏水箇所を落とし込み、その図より、AIに学習させるデータを拾う。

※背景色は外的要因による発生確率を色相で表現したもの。また、青丸は実際に漏水が発生した箇所。



路線番号	管理1	管理2	管理3	管理4	管理5	管理6	管理7	管理8	口径	経過年数	管路長	外的要因	漏水発生数
1a	1	0	0	0	0	0	0	0	40	45	380.7	0.5	c
2a	1	0	0	0	0	0	0	0	50	45	506.7	0.5	c
3a	0	0	1	0	0	0	0	0	50	3	30.2	3	a
4a	0	0	1	0	0	0	0	0	50	4	117.3	1.5	a
5a	0	0	0	1	0	0	0	0	75	6	116.7	1.5	a
6a	1	0	0	0	0	0	0	0	75	45	85.7	1.5	a
7a	0	0	0	1	0	0	0	0	75	7	239.5	1.5	a
8a	0	0	0	1	0	0	0	0	50	7	76.9	1.5	a
9a	0	0	1	0	0	0	0	0	25	2	25.1	1.5	a
10a	1	0	0	0	0	0	0	0	25	45	138.2	1.5	a
11a	0	0	0	1	0	0	0	0	75	7	138.5	1.5	a
12a	0	0	0	0	1	0	0	0	75	35	24.2	0.5	a
13a	0	0	0	0	0	0	0	1	75	45	81.8	0.5	b
14a	0	0	0	0	1	0	0	0	100	19	305.1	0.5	a
15a	0	0	0	1	0	0	0	0	50	18	156.6	0.5	a
16a	0	0	0	1	0	0	0	0	25	17	55.6	0.5	a
17a	0	0	0	1	0	0	0	0	50	18	179.3	0.5	a

・拾ったデータをAIに学習させ、20年後までの漏水発生予測を路線ごとに出力させる。…参考資料

漏水予測が1回以上ある管路を更新した場合

- ・下のグラフは、20年後までの予測で1回以上漏水が発生する管路(451路線)を**法定耐用年数**で更新した場合の費用を年度ごとにまとめたものである。この更新費も厚生労働省健康局水道課の簡易支援ツールを用いて算出している。
- ・20年間の更新費を平均すると、**約4.4億円/年(うち簡水2.4億円/年)**となる。

管路更新工事費



- ・下のグラフは、20年後までの予測で1回以上漏水が発生する管路(451路線)を**更新基準年数**で更新した場合の費用を年度ごとにまとめたものである。この更新費も厚生労働省健康局水道課の簡易支援ツールを用いて算出している。
- ・20年間の更新費を平均すると、**約4.2億円/年(うち簡水2.3億円/年)**となる。

管路更新工事費



漏水予測が2回以上ある管路を更新した場合

- ・下のグラフは、20年後までの予測で2回以上漏水が発生する管路(112路線)を**法定耐用年数**で更新した場合の費用を年度ごとにまとめたものである。この更新費も厚生労働省健康局水道課の簡易支援ツールを用いて算出している。
- ・20年間の更新費を平均すると、**約2.2億円/年(うち簡水1.1億円/年)**となる。

管路更新工事費



- ・下のグラフは、20年後までの予測で2回以上漏水が発生する管路(112路線)を**更新基準年数**で更新した場合の費用を年度ごとにまとめたものである。この更新費も厚生労働省健康局水道課の簡易支援ツールを用いて算出している。
- ・20年間の更新費を平均すると、**約2.0億円/年(うち簡水1.0億円/年)**となる。

管路更新工事費



漏水発生予測結果

杵築地区

○予測結果より

・漏水発生予測2回以上の路線の中に、導水管及び配水池に直接つながっている配水管が含まれている。
早期に更新を行う必要がある。

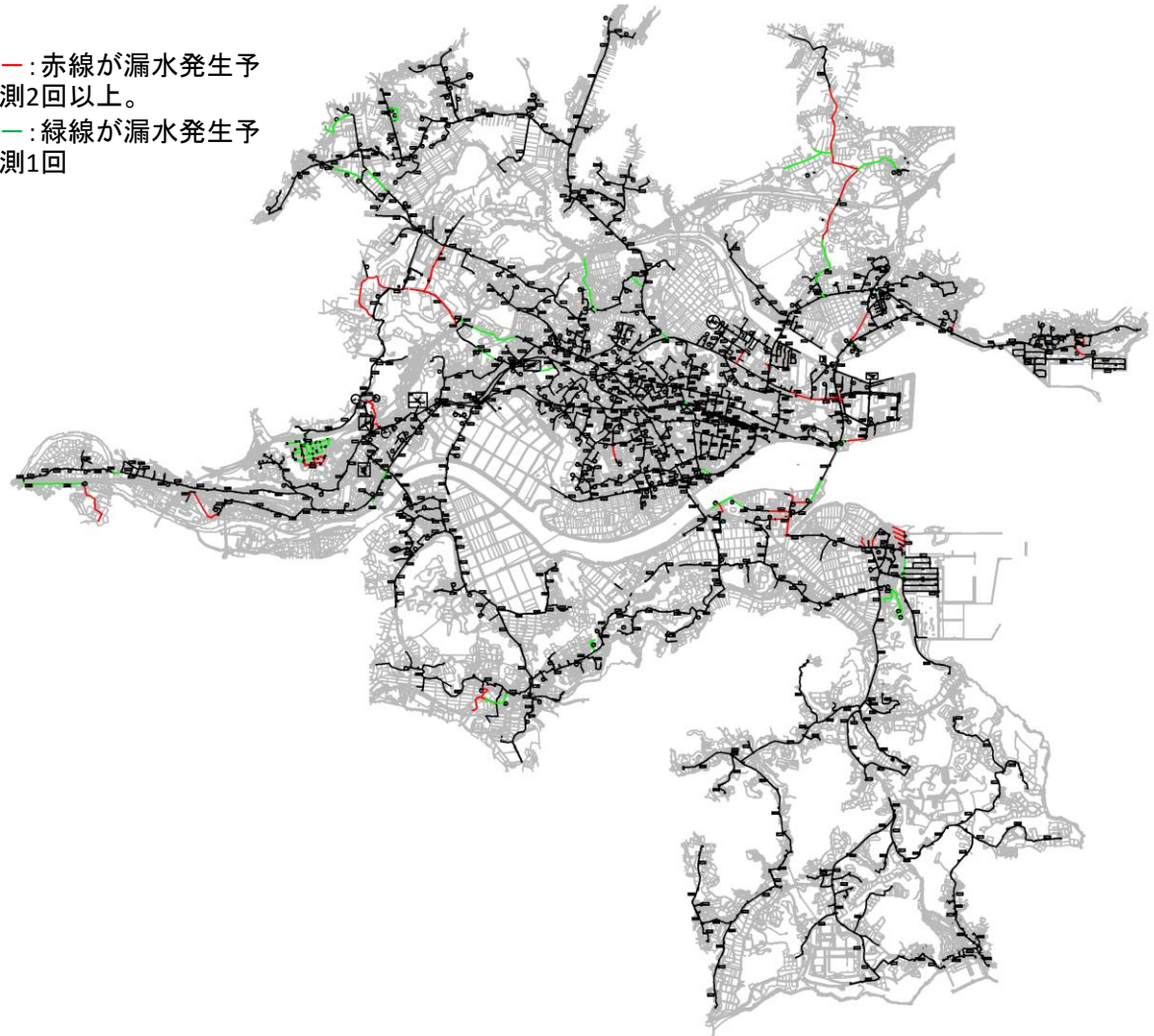
・大左右、平尾台及び新興地区は末端給水区域にあたる。優先度としては低いですが、新興地区はポンプによる配水をしているため老朽化が著しい。そのため、他地区より優先する必要がある。

・影響範囲の広い口径の大きな路線を優先する。

・その他の路線については、基本的に浄水場から近い方から更新を行うこととする。(漏水による圧力損失の影響を少なくするため。)

・中ノ原線の大部分は、現在廃線に向けて工事を行っている。そのため、今回の更新計画の対象としない。

— 赤線が漏水発生予測2回以上。
— 緑線が漏水発生予測1回



山香地区

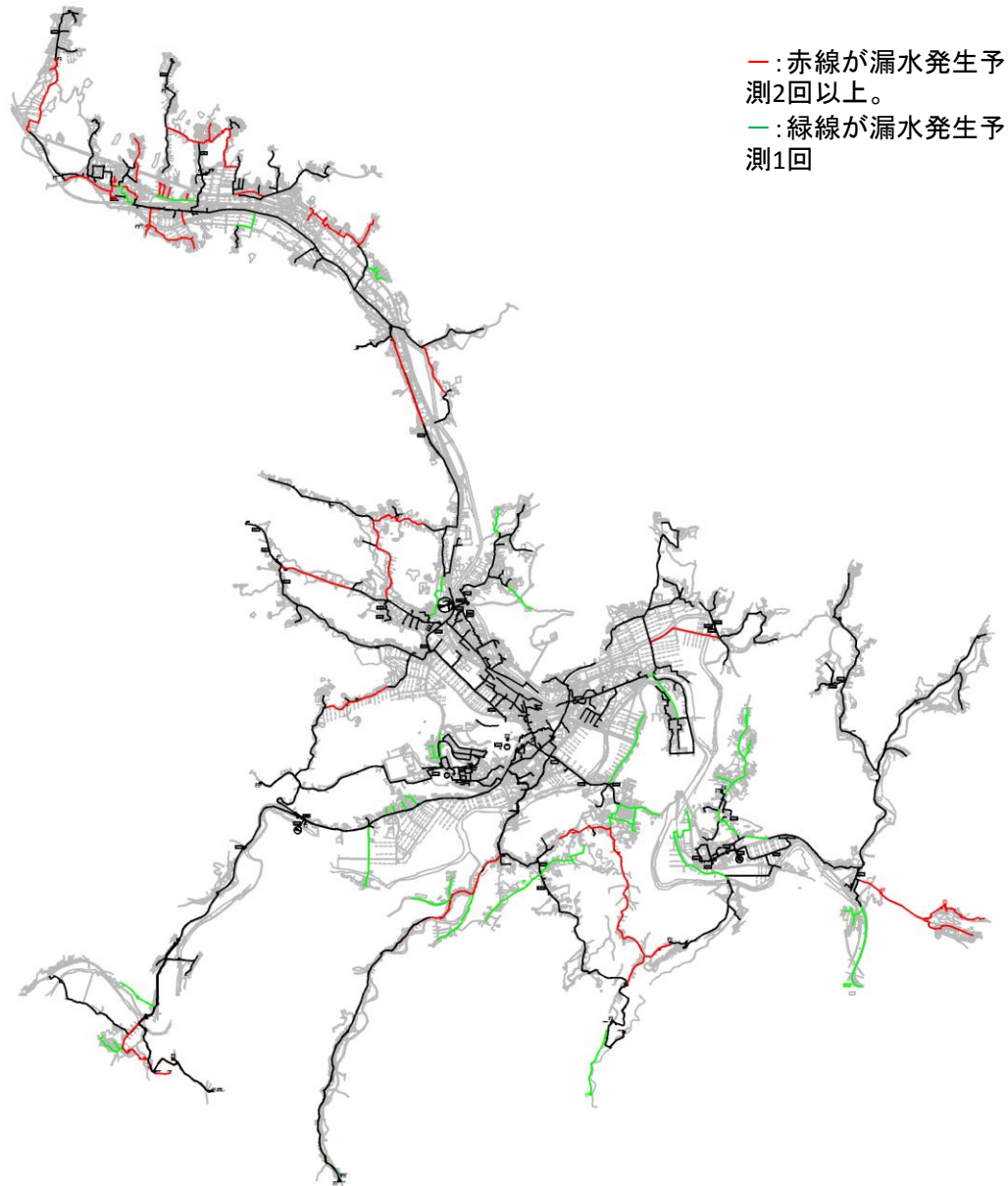
○予測結果より

・漏水発生予測2回以上の路線は、杵築地区の約倍の延長が対象となっている。管の口径が杵築地区より小さいため更新費にはそこまで差がでない。

・漏水発生予測2回以上の箇所は全体的に点在している。特に北端の立石地区に多い。

・東端の大久地区は、現在新設井戸をその地区に施工中で完成すれば、一部の路線を廃線できる。

・影響範囲の広い口径の大きな路線を優先する。

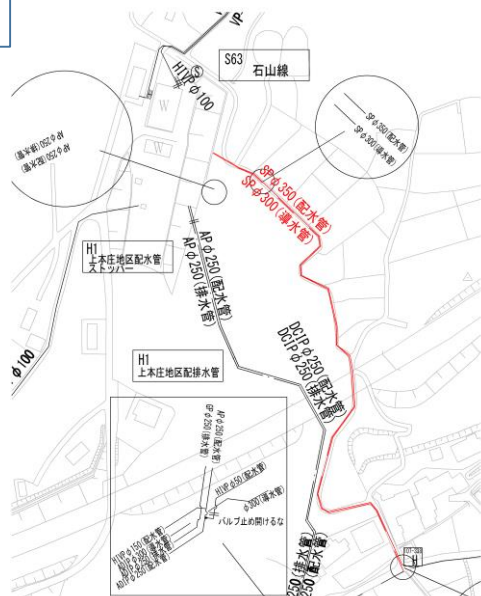


AI予測を考慮した直近5年の更新実施計画

1年目

地区	管種	口径 (mm)	布設年度	延長 (m)	更新費 (千円)
杵築	鋼管	350	1973	316	56,248
杵築	鋼管	300	1973	381	59,770
計					116,018

杵築地区



- ・杵築浄水場に直結している、導水管及び配水管。管が損傷すると多大な影響を及ぼす管であるため、1年目の対象とした。
- ・更新費が上限を超えるため、1年目はこの更新のみとする。

2年目

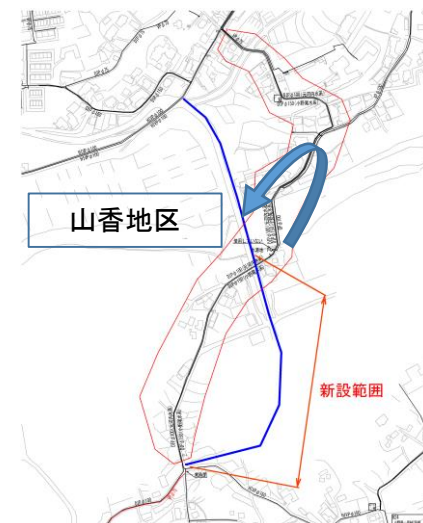
地区	管種	口径 (mm)	布設年度	延長 (m)	更新費 (千円)
杵築	VP	200	1983	372	48,360
山香	DIP	150	1982	340	23,120
山香	DIP	100	1982	380	19,380
計					90,860

杵築地区



- ・中ノ原及び溝井方面に給水する配水管。
- ・費用の関係から2年計画で更新する。

山香地区



- ・沈橋(竜頭橋)に布設されている配水管。リスクを鑑み路線変更を行う。
- ・費用の関係から2年計画で更新する。

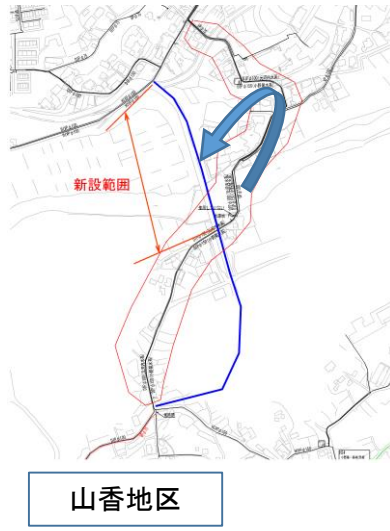
3年目

地区	管種	口径 (mm)	布設年度	延長 (m)	更新費 (千円)
杵築	VP	150	1983	411	43,924
山香	DIP	150	1982	400	27,200
山香	DIP	100	1982	400	20,400
計					91,524



・中ノ原及び溝井方面に給水する配水管。

・2年計画の2年目。



・沈橋(竜頭橋)に布設されている配水管。リスクを鑑み路線変更を行う。

・2年計画の2年目。

4年目

地区	管種	口径 (mm)	布設年度	延長 (m)	更新費 (千円)
杵築	DIP	200	1973	408	48,936
山香	VP	150	1989	693	74,098
計					123,034



・塩田交差点に向かう基幹管路。
市街中心地区であり重要度は高い。また、仕切弁も使用不能となっている箇所が多い。

・標高が低い地域であるため水圧も高い地区になる。



・鶴成地区に布設されている管路、ここを經由して立石地区に給水を行う重要度の高い管路。

・費用の関係から2年計画で更新する。

参考資料:機械学習及び深層学習による漏水発生予測

予測モデル

フラクタより購入した外的要因による漏水予測、管種、管径、布設年度、管延長及び修繕履歴から、機械学習及び深層学習による漏水発生数の予測を試みた。

予測モデルは以下のとおり。

○機械学習

- ・重回帰分析
- ・ロジスティック回帰分析
- ・サポートベクトルマシン
- ・決定木
- ・ランダムフォレスト

○深層学習

- ・chainerモデルによるニューラルネットワーク

ロジスティック回帰分析

複数の変数(ここでは管種他)から分析を行う「多変量解析」の一種であり、質的確率を予測する。簡単に言えば、ある因子から判明していない結果を予測するために用いられる関係式。

○漏水数のクラス分け

路線の漏水発生数を0~5番までにクラス分けを行い計算に使用。

- 漏水発生数:
- 0回⇒aクラス
 - 1回⇒bクラス
 - 2回⇒cクラス
 - 3~5回⇒dクラス
 - 6回以上⇒eクラス

○学習結果

学習用適合率: **89.9%**

検証用適合率: **90.0%**

重回帰分析

重回帰分析は、2つ以上の独立変数により、1つの従属変数を予測しようとする分析で、複数個の独立変数 x_i と、従属変数 y の間に、以下の一次式のような関係を考え計算する手法。

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

ここで y : 従属変数(漏水発生回数予測値)

x_i : 独立変数(管種他)

a : 回帰定数(この定数を変えていき精度をあげる。)

b_i : 偏回帰係数(この係数を変えていき精度をあげる。)

○学習結果

学習用適合率: **16.8%**

検証用適合率: **14.1%**

サポートベクトルマシン

その汎化性能の高さや応用分野の広さからデータ分析の現場において、近年最も注目を集めているモデル。

○学習結果

学習用適合率: **93.6%**

検証用適合率: **87.3%**

決定木

ある簡単な基準に基づいてデータの分割を繰り返し、木のような構造を作り出すアルゴリズム。

○漏水数のクラス分け

路線の漏水発生数を0~5番までにクラス分けを行い計算に使用。

漏水発生数: 0回⇒aクラス
1回⇒bクラス
2回⇒cクラス
3~5回⇒dクラス
6回以上⇒eクラス

○学習結果

学習用適合率: **100%**
検証用適合率: **87.3%**

ランダムフォレスト

複数の予測器の「平均を取る」、もしくは「多数決を取る」などの処理で組み合わせる手法(アンサンブル)

○漏水数のクラス分け

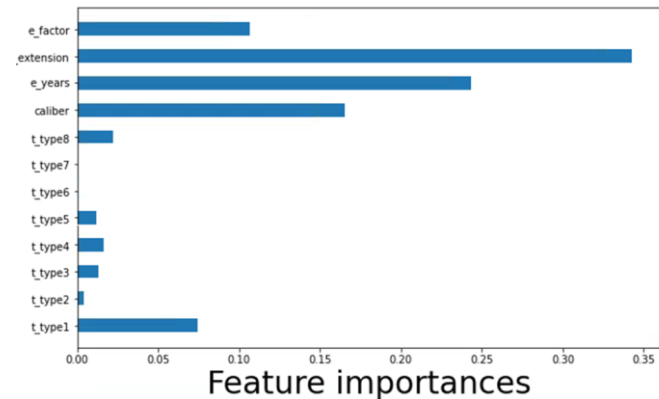
路線の漏水発生数を0~5番までにクラス分けを行い計算に使用。

漏水発生数: 0回⇒aクラス
1回⇒bクラス
2回⇒cクラス
3~5回⇒dクラス
6回以上⇒eクラス

○学習結果

学習用適合率: **99.2%**
検証用適合率: **89.2%**

○各学習データの重要度



各学習データの項目は、上から外的要因、路線長、経過年数、管径、管種(1~8)となる。一番重要度として高いのは路線長となっている。(延長が長ければ当然ながら漏水発生確率は上がる。)

○モデルの採用

今回の更新検討は、このモデルを採用している。

chainerモデルによるニューラルネットワーク

○条件

三層構造の150エポック

○漏水数のクラス分け

路線の漏水発生数を0~5番までにクラス分けを行い計算に使用。

漏水発生数: 0回⇒aクラス
1回⇒bクラス
2回⇒cクラス
3~5回⇒dクラス
6回以上⇒eクラス

○学習結果

学習用適合率: **90.8%**
検証用適合率: **88.6%**

計算に使用したソフト



検索結果: Colaboratory



Colaboratory
colab-team
Colab is a Jupyter notebook environment that runs in the browser using Google Cloud.

使用したソフトは
Googleドライブ上の
Colaboratory。

これは、機械学習及び
深層学習の一連のライ
ブラリが用意されている
pythonが使用できる。

無料で仮想プラウザ上
で操作可能である。

コード(ランダムフォレスト)

```
path="drive/My Drive/rousui/rousuic.csv"

[ ] import numpy as np
import pandas as pd

def load_former_data():
    df=pd.read_csv(path)
    return df

[ ] rousui_mapping = {'a': 0, 'b': 1, 'c': 2, 'd':3, 'e':4}
#元データの読み込み
df=load_former_data()
df["rousui"] = df["rousui"].map(rousui_mapping)
df
```

No	kan1	kan2	kan3	kan4	kan5	kan6	kan7	kan8	keika	nen	nagasa	gaiteki	rousui	
0	1a	1	0	0	0	0	0	0	0	40	45.0	380.7	0.5	2

ここで、rousui1.csvが学習用データ
rousui2.csvが予測したいデータ
(経過年数を20年後にしたデータ)

```
[ ] import numpy as np
import pandas as pd
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier

#元データの特徴量
x_former=df.drop(["No","rousui"],axis=1)
#元データのラベル
y_former=df["rousui"].values

[ ] x_train,x_test,y_train,y_test=train_test_split(x_former,y_former,stratify=y_former,random_state=0)

[ ] tree=DecisionTreeClassifier().fit(x_train,y_train)
tree.score(x_test,y_test)

0.8565737051792829

[ ] from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier

[ ] rnd_forest=RandomForestClassifier(n_estimators=200,max_depth=12,random_state=0).fit(x_train,y_train)

[ ] tree=DecisionTreeClassifier().fit(x_train,y_train)
tree.score(x_test,y_test)

0.8565737051792829

[ ] from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier

[ ] rnd_forest=RandomForestClassifier(n_estimators=200,max_depth=12,random_state=0).fit(x_train,y_train)

[ ] rnd_forest.score(x_train,y_train)

0.9986684420772304

[ ] rnd_forest.score(x_test,y_test)

0.8924302788844621

[ ] import matplotlib.pyplot as plt

[ ] rnd_forest.feature_importances_

array([7.46008398e-02, 3.96393319e-03, 1.28733717e-02, 1.653186689e-02,
       1.18397306e-02, 1.69429399e-04, 0.00000000e+00, 2.21063955e-02,
       1.65001261e-01, 2.43489500e-01, 3.42811399e-01, 1.06602475e-01])

[ ] rnd_forest.feature_importances_.shape

(12,)
```

```
[ ] plt.figure(figsize=(10,6))
plt.barh([0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11],rnd_forest.feature_importances_,height=0.5)
plt.yticks([0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11],["t_type1","t_type2","t_type3","t_type4","t_type5","t_type6","t_type7",
plt.xlabel("Feature importances",fontsize=30)
plt.show()
```