

点検データ分析による通信用マンホールの 点検優先順位付け手法

森 治郎¹・川端 一嘉²・勝木 康博³・足利 翔⁴

¹正会員 日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所（〒305-0085 茨城県つくば市花畑1-7-1）
E-mail:mori.jiro@lab.ntt.co.jp

²正会員 日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所（〒305-0085 茨城県つくば市花畑1-7-1）
E-mail:kawabata.kazuyoshi@lab.ntt.co.jp

³正会員 日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所（〒305-0085 茨城県つくば市花畑1-7-1）
E-mail:katsuki.yasuhiro@lab.ntt.co.jp

⁴正会員 日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所（〒305-0085 茨城県つくば市花畑1-7-1）
E-mail:ashikaga.sho@lab.ntt.co.jp

NTTは通信用マンホールを全国に約68万個保有しており、その約80%は建設後30年以上経過している。一部では老朽劣化が顕在化し始め、今後のさらなる老朽化進行を見据えると、劣化設備の早期発見等、適切な維持管理が求められている。本研究では、蓄積しているこれまでの設備点検データを対象にベイジアンネットワークを用いて分析を行い、マンホールの劣化に関するモデル化を行った。劣化と因果関係にある項目の条件付け確率により、劣化の可能性が高い設備から優先的に点検を行うことができる手法を検討した。その結果、劣化マンホールの発見確率は、従来のエリア単位の点検に比べ約1.5倍となることを確認した。さらに、実際のマンホール点検業務において、本手法により点検を行った結果を検証する。

Key Words : manhole, inspection, prioritization, Bayesian network

1. はじめに

NTTは地下ケーブルを收容するための通信土木設備（管路、マンホール、とう道等）を保有している。その概要を図-1に示す¹⁾。その中でもマンホールは約68万個と膨大な量であり、図-2のように多くは1960年代後半から1970年代末までの約15年間に集中的に建設され、経年による劣化が顕在化し始めている。マンホールのようなコンクリート構造物は、老朽化に伴い、ひび割れや剥離、鉄筋腐食による強度低下が懸念される²⁾。

コンクリート構造物の劣化機構の研究や維持管理手法

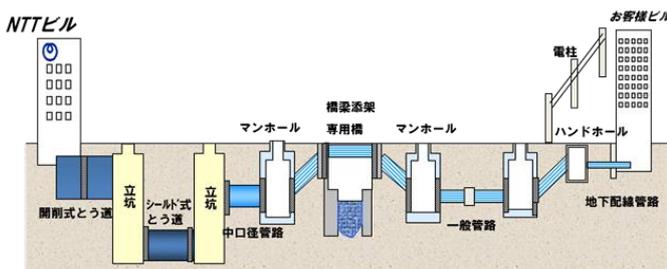


図-1 通信土木設備の概要

に関する研究は、これまで道路、鉄道系の橋梁等の構造物を対象に行われている。しかしながら、道路、鉄道系構造物に比べ通信土木設備は、個別の構造物が小規模で仕様が概ね同様であること、土中に埋設されているため屋外構造物に比べ環境条件が限定されていること、個体数が膨大であることが特徴である。そのために、道路、鉄道系構造物の先行の研究を参考にしながらも、通信土木設備に見合った維持管理手法を構築することが重要である。

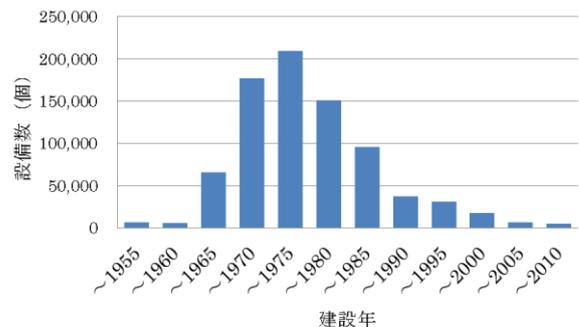


図-2 マンホールの建設年と設備数

このような背景から、本研究では劣化したマンホールの早期発見を目的に、これまでの点検データを分析し、劣化と因果関係にある設備構造や設置環境等の条件を特定することで、劣化の可能性が高いマンホールから点検する優先順位付け手法の検討を行った。

2. 通信用マンホール

(1) マンホールの構成

マンホールは、躯体、首部および鉄蓋から構成されている。躯体部分のケーブル取付け部にはケーブルダクトが形成された額縁、外側には管路周辺からの湧水を防ぐ防水コンクリートおよび地震時に管路の突出を吸収するダクトスリーブ、底部には排水用のピット、ケーブル敷設時に使用するプーリングボルト、収容されたケーブルを支持するための支持金物および出入孔用のステップ、鉄はしごが設置される。(図-4)

長さ4m未満のマンホールでは、上下床版をスラブ、側壁を水平ラーメン構造とした強度設計となっている。また、長さ4m以上の場合、垂直ラーメン構造と妻壁からなる鉄筋コンクリート構造物として、測方土圧、路面荷重等に耐える強度設計となっている³⁾。

(2) マンホールの容量、形状

マンホールの容量、形状は、通信ルート上の管路条数、収容するケーブル条数および分岐方向等によって決定する。躯体の寸法、形状を規格で定めた標準マンホールと個別に寸法、形状を検討する特殊マンホールに分類される。一般的には、標準マンホールを適用する。

ケーブルの分岐の形状、埋設物等の制約条件、特殊な荷重等により標準マンホールが適用できない場合には、特殊マンホールとし個別に形状、構造を設計する³⁾。

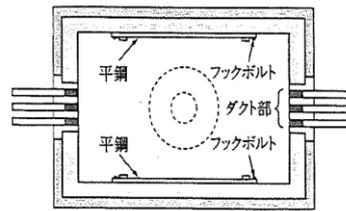
標準マンホールは全体の約85%を占めており、外部荷重条件等が異なる場合でも一定の範囲内では、同一規格の標準マンホールが設置されている。

(3) マンホールの点検

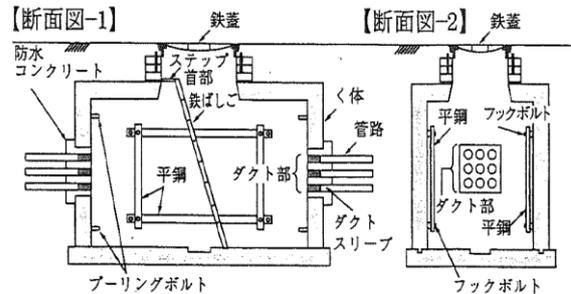
マンホールの点検は管理エリア単位に行っており、そのエリアに設置されている全数を一定周期で点検している。点検方法はマンホールの内部へ入孔し目視にて行っている。NTTではマンホールを構成する部位の点検項目ごとに基準を設けており、その基準を超えたものを不良としている。

本研究では、道路占用物としての安全性確保の観点から、構造耐力を受け持つ躯体と地表面からの荷重を受ける首部の不良を対象とし分析をする。主な点検項目を表-1に示す。

【平面図】



【断面図-1】



【断面図-2】

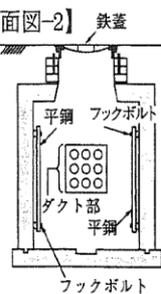


図-3 マンホールの構成

表-1 点検項目

部位	点検項目
躯体	○き裂・ひび割れの幅および長さ
	○コンクリートはく離の範囲
	○き裂等からの漏水量
	○鉄筋露出の有無
首部	○き裂・ひび割れの幅および長さ
	○モルタルはく離の範囲
	○ブロック相互および受枠とのずれ
	○マンホール本体とのずれ
	○ひび割れ等からの漏水量
	○鉄筋露出の有無

3. マンホールの点検データ分析

点検データの分析には、ベイジアンネットワークを用いた。ベイジアンネットワークは、不確実性を含む事象の予測や合理的な意思決定、障害診断などに利用することのできる確率モデルの一種である。ある確率分布を表現し、その確率分布によって計算対象を近似（モデル化）し、様々な条件により変化する確率分布を計算することで、予測や最適な意思決定を行う。この確率分布の計算は確率推論と呼ばれる。

(1) 確率推論

確率推論は、「Aという事象が起きた時にBという事象が起こる確率は〇%である」のように物事を確率的に推論する技術である。「AならばBである」と決定論的に導かれる論理推論とは違い、不確定要素の多い事象のモデル化に向いている。

マンホールにおける「不良の発生」においても、例えば耐用年数のような一つの事象で決まるものではなく、様々な要素が絡み合っている。

(2) ベイジアンネットワーク

ベイジアンネットワークは、確率現象の連鎖を図で表現し、具体的な確率値を算出する技術である。確率現象をノードで表し、そのノードの因果関係を矢印で表す。原因から結果に矢印が向けられ、原因になるノードを親ノード、結果になるノードを子ノードと呼ぶ。簡単な例を図-4に示す。

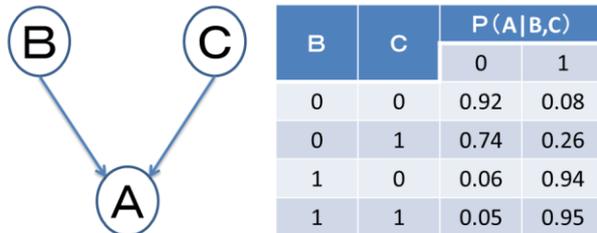


図-4 ネットワーク図の例

この例では、B,Cが親ノードであり、Aが子ノードである。図中の表は、子ノードの親ノードとの関係を表す条件付き確率を示している。表中のP(A|B,C)は、確率変数BとCが0か1かの値をとったとき、Aが0か1をとる確率を表している。このようにベイジアンネットワークを利用すると、あるノードの値が確定したとき、それに結びついたノードの確率値が計算できる。すなわち、確率的な因果関係の連鎖の中で、ある事象が起こったときに、その前後の事象の確率値を得ることができる⁴⁾。

本技術を活用し、劣化の可能性が高いマンホールを抽出する検討に取り組む。これまでの蓄積された点検データから、マンホールの点検結果に関するモデル化を行い、点検結果「不良」と因果関係にある点検項目や設備構造などを特定する。それらを変数とする条件付き確率が高いマンホールから点検することで、不良マンホールの早期発見に貢献する。

ここで不良マンホールとは、点検の結果、躯体と首部のいずれかに点検結果「不良」を有するマンホールをいう。

4. ベイジアンネットワークのモデル構築

ベイジアンネットワークのモデル構築は、当該分野の知識を活用した手動による構築と半自動による構築の二通りがある。後者の場合は、構造に関する大まかな仮説に基づき各データ項目間の因果関係の探索を繰り返しながらモデル構築を行う。本研究では、単にマンホールの点検項目や設備構造のデータだけでなく、構造計算で得られた車両荷重など外力の影響が大きい条件や現地保守部門の暗黙知（ノウハウ）を加えた仮説に基づき、因果

関係探索を繰り返し、モデル構築を行うこととした。

モデル構築にはベイジアンネットワーク構築ツール「BAYONET」⁵⁾を用いた。自動でモデルを構築した後に、マニュアルモードで修正を加えた。

(1) モデル構築の仮説とデータ項目の選定

a) 仮説の設定

マンホールはコンクリート構造物であるので、劣化要因は主に外部要因と内部要因が考えられる。外部要因は、車両荷重や土圧など外部からの力によるもの、内部要因は、中性化などにより鉄筋腐食から発生するひび割れをはじめとする材料に起因するものである。さらに、その他の要因として施工不良などの初期不良が考えられる（図-5）。ここでは、外部要因と内部要因に影響を与えていると考えられるデータ項目（変数）を選定し、モデル構築を行った。

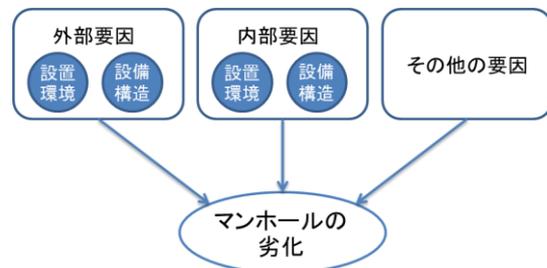


図-5 マンホールの劣化モデル

モデル構築では、BAYONETにて作成されたネットワーク構造、条件付き確率を検証し、データ項目（変数）を選択する等の調整作業を繰り返した。検証の際には、保守部門の経験者も加え、彼らのノウハウに基づく意見も取り入れた。

b) 外部要因

マンホールに作用する外力は、土圧、車両荷重および自重がある。土圧と車両荷重の影響は、マンホールが埋設されている状況で大きく異なるため、それらの設置環境を表しているデータ項目をモデル構築に採用することとした。「首部長（埋設深さ）」と「車両通行位置」である。また、舗装の種別により劣化の発生状況が違う傾向があるという保守部門の意見を取り入れ、「舗装厚」も加えることとした。

ここで、「車両通行位置」と「舗装厚」は点検項目にはなかったため、点検時の設置環境写真から判断した。車両通行位置は、マンホールの鉄蓋と自動車が通行する時のタイヤの位置関係を判定した。舗装厚は、道路状況から、車道（国道）、車道、歩道、舗装なしの大まかな4分類とした。図-6に採用したデータ項目を示す。

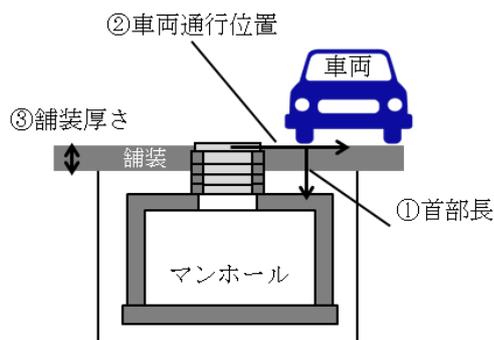


図-6 外部要因として採用したデータ項目

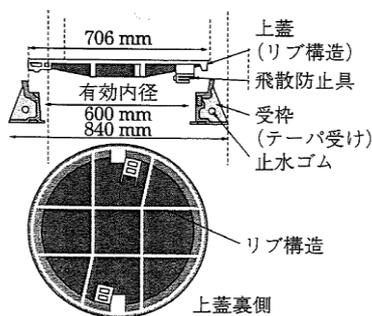


図-7 マンホールの鉄蓋

表-2 モデル構築データ一覧

項目	概要
①首部長	地表面から躯体の上床版までの長さ(埋設深さ)
②車両通行位置	躯体中央から車両が通行する位置までの距離
③舗装厚さ	マンホールが埋設されている道路の舗装の厚さ
④経過年	建設してから経過した年数
⑤号数	マンホールの大きさの規格
⑥構造種別	現場打ちマンホールやセメントブロック製マンホール等
⑦鉄蓋点検結果	鉄蓋点検結果の良/不良

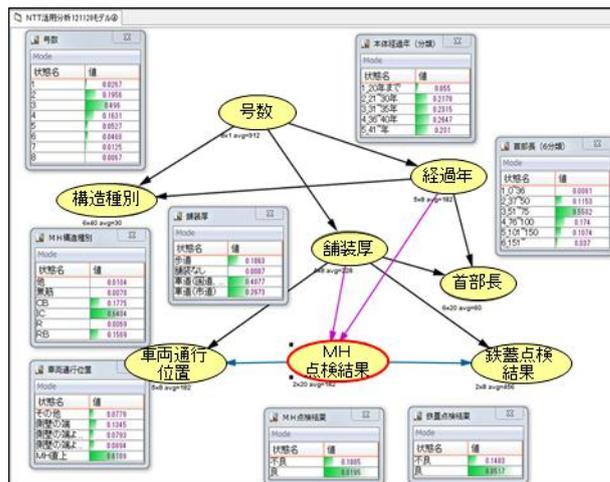


図-8 マンホールの点検結果に関するモデル

C) 内部要因

内部要因として、時間の経過による材料劣化を考慮して、建設後の「経過年」を採用した。次に設備構造の違いが大きく現れる、マンホール大きさの規格である「号数」と構造物としての材料の違いを示す「構造種別」を採用した。

d) その他の要因

その他の要因として、従来より保守部門でノウハウとされている事象を採用した。マンホールの鉄蓋の点検結果が不良であると躯体等にも不良が見られるという事象である。マンホールの鉄蓋は、地下部分の点検とは違うタイミングで通信ルートの踏査時などに点検されている。点検の対象は、マンホールの地表部分を構成する上蓋、受枠とその周辺の舗装の状態である。マンホールの鉄蓋の構造を図-7に示す。

表-2にモデル構築に採用した7つのデータ項目を示す。

(2) モデル構築結果

マンホールの点検結果に関するモデル構築の結果を図-8に示す。点検結果と矢印でつながる項目が4つある。これらがマンホールの点検結果と因果関係にあると考えられる。その4項目と点検結果「不良」に与える傾向は次の通り。

①経過年：長い(古い設備)

表-3 点検結果「不良」となる条件付き確率のイメージ

(1)経過年	(2)舗装厚	(3)車両通行位置	(4)鉄蓋点検結果	不良確率
36~40年	舗装なし	MH直上	不良	41.0%
36~40年	舗装なし	側壁の端	不良	39.4%
21~30年	舗装なし	MH直上	不良	37.1%
21~30年	歩道	側壁の端	良	36.7%

②舗装厚：設置している道路の舗装が薄い

③車両通行位置：マンホールの近くを車両が通行する

④鉄蓋点検結果：過去の点検結果に不良がある

これら4項目を変数としたマンホール点検結果「不良」となる条件付き確率の一例を表-3に示す。例えば1行目は、①経過年は36~40年の間、②舗装なし(未舗装)、③車両通行位置がマンホールの直上、④鉄蓋点検結果が不良である条件のマンホールは、41.0%の確率で不良である、ということを表している。実際にこの条件に該当するマンホールが存在するかどうかは不明であるが、本モデルから予測される確率を示している。

この予測確率が高い条件と合致するマンホールから優先的に点検を行えば、効率的に不良マンホールを点検することができる。

5. 実データによるシミュレーション

アクセスサービスシステム研究所にて保有している約9,000個のマンホール点検データを対象に、優先順位付けを行った。不良率を次のように定義する。

$$\text{不良率(\%)} = \frac{\text{不良マンホール数}}{\text{点検マンホール数}} \times 100 \quad (1)$$

この点検データには不良マンホールが1,600個含まれるため、不良率は17.6%となる。優先順位付けの結果が、この不良率をどの程度上回るかを確認する。

マンホールの不良率は全国平均で7~8%であり、本データの不良率はそれに比べてかなり大きい。これは、不良マンホールの分析を目的に点検データを保有しているため、本データの不良率は高いと考えられる。

(1) 優先順位付けの方法

外部要因を検討した際のマンホールに作用する外力が大きい条件は、不良発生の要因となるだけではなく、他の要因で発生した不良を進行させる恐れがある等、リスクが大きいと考えられる。そこで、優先順位付けは、まず外力が大きい条件か否かで振り分け、その後に予測確率の閾値を設けてそれを超えるか否かに振り分けることとした。図-9に優先順位付けの方法を示す。

(2) 外力による条件

外力は、車両荷重と土圧である。土被りが浅いと車両荷重の影響が大きく、深くなると土圧の影響が大きい。NTTの設計基準では、首部長の標準を0.5mとし、1.5mを超える場合は、首部の構造や躯体の内法高さを高くする等の検討を行うこととなっている。よって、ここでは設計時に何らかの検討が必要としている場合を大きな外力が作用する条件とした。具体的には、首部長が0.5m以下と1.5m以上で車両がマンホールの直上を通行する場合である。

(3) 予測確率による条件

優先的に点検することによる不良率の向上を1.5倍程度期待し、今回使用したデータの不良率：17.6%の1.5倍である23%以上を振り分け条件とした。

表-4に優先順位付けの条件を示す。

(4) 優先順位付けの結果

これまでの方法および条件により、約9,000個のデータを優先順位付けした結果を表-5に示す。不良マンホールの早期発見効果を図-10に示す。横軸はマンホールの点検数、縦軸は発見した不良マンホール数である。優先順位付けを考慮せずに点検を実施した場合（無作為）は、原点を通り全数約9,000個を点検して全不良1,600個を発見する直線(1)となる。また、理論上の理想の点検は、1,600個を点検し全ての不良1,600個を発見する直線(2)である。直線(1)から直線(2)へ近づけることが早期発見の効果といえる。今回優先順位付けした線を(3)とする。優先順位①から③までは、直線(3)は直線(1)を上回り早期発見効果を示すもの、それ以降は傾きが小さくなり母集団の不良率を下回る。

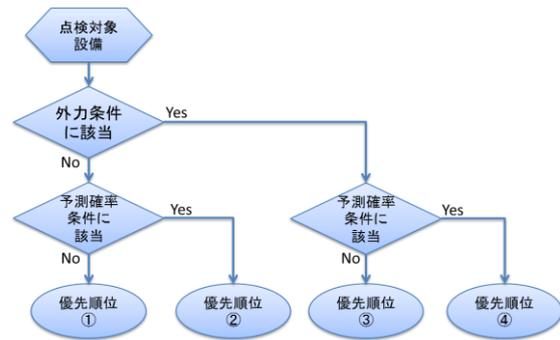


図-9 優先順位付けの方法

表-4 優先順位付けの条件

項目	内容
外力の条件	「車両が直上を通行」かつ「首部長:0.5m以下か1.5m以上」
予測確率の条件	不良の予測確率:23%以上(母集団の1.5倍)

表-5 優先順位付けの結果

	優先順位①	優先順位②	優先順位③	優先順位④
設備数	144個	749個	1,720個	6,519個
不良数	45個	135個	497個	934個
不良率	31%	18%	29%	14%

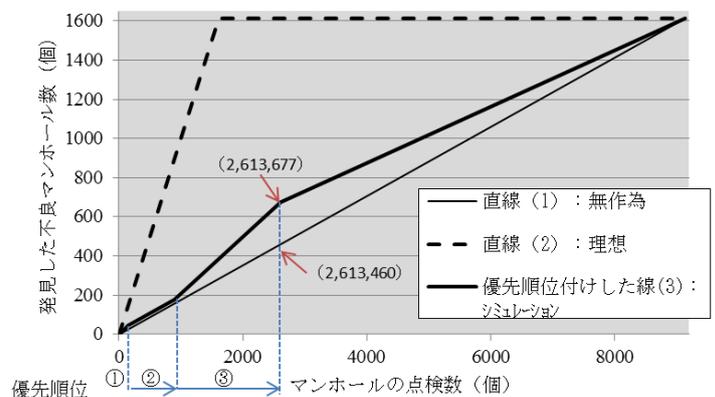


図-10 点検数と不良発見数

見する直線(1)となる。また、理論上の理想の点検は、1,600個を点検し全ての不良1,600個を発見する直線(2)である。直線(1)から直線(2)へ近づけることが早期発見の効果といえる。今回優先順位付けした線を(3)とする。優先順位①から③までは、直線(3)は直線(1)を上回り早期発見効果を示すもの、それ以降は傾きが小さくなり母集団の不良率を下回る。

優先順位①から③までの点検において、直線(3)では直線(1)に比べ、約1.5倍の不良マンホールを点検するこ

とができるシミュレーション結果を得た。

6. 実際のマンホール点検業務での検証

平成25年度に、あるエリアのマンホール点検の対象設備の選定を本手法にて行った。

(1) 優先順位付け

当該エリアのこれまでの点検データ約20,000個に対し、先のモデル構築に選定したデータ項目により、マンホールの点検結果に関するモデルを作成した。その条件付き確率を用いて、点検対象である約7,600個について同様の優先順位付けを行い、①から④のグループに分けた。

表-6に優先順位付けの結果を示す。先の実データによる評価と同様に点検数と不良発見数(想定)のグラフを図-11に示す。ここでモデル構築に用いたデータの不良率は9.5%である。

優先順位①から③までの点検では、優先順位付けした線(3)の想定不良発見数は、無作為の直線(1)の約1.5倍となった。これは先のシミュレーションと同じ結果であった。

(2) 点検結果

極力、優先順位に基づき点検を行ったが、道路使用許可の取得等の作業の都合により、完全に優先順位通りとはならなかった。点検数と点検結果を表-7に示す。最終的に2,665個のマンホールを点検し、354個の不良を発見した。この結果を図-11に丸印でプロットした。直線(3)の優先順位付けした想定よりも不良発見数は20個程度少ないものの、直線(1)に比べ100個程度多く不良を発見することができた。点検結果と優先順位付けした想定を比較を表-8に示す。点検結果と優先順位付けした想定不良率における乖離は1%程度であり、概ね想定通りの結果が得られたと言える。この乖離は、完全に優先順位付け通りの点検ができなかった影響等が考えられる。

また、従来のエリア単位の点検であれば効率的に点検ルートを設定できるが、優先順位に基づく点検場所が点在して点検作業が非効率となる懸念があった。しかし、優先順位①②のマンホールの周辺に③のマンホールがある等、比較的優先順位の高いマンホールは集まっており、点検作業の効率低下はなかった。これは劣化の要因は道路路線の特徴に起因するものが多いためと考えられる。

これらの結果より、実際の点検業務においても、本方法による優先順位付けは、不良設備の早期発見効果があることを確認することができた。

表-6 優先順位付けの結果 (平成25年度点検)

	優先順位①	優先順位②	優先順位③	優先順位④
設備数	74個	63個	3,499個	4,021個
想定不良数	10個	5個	507個	205個
想定不良率	14%	8%	14%	5%

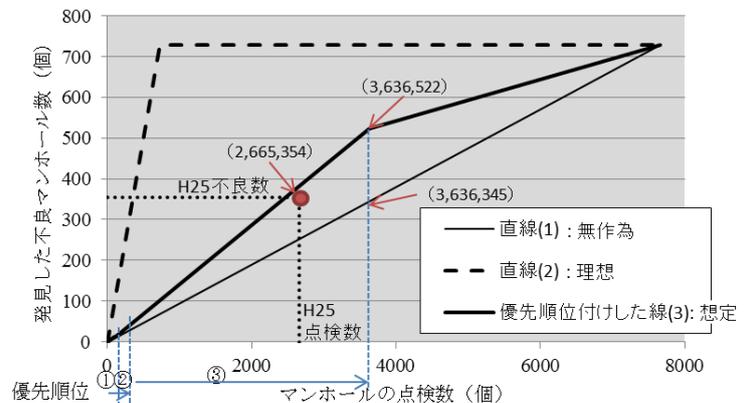


図-11 点検数と不良発見数 (平成25年度点検)

表-7 平成25年度点検結果

	優先順位①	優先順位②	優先順位③	優先順位④	合計	
優先順位付けした設備数	74個	63個	3,499個	4,021個	7,657個	
点検結果	点検数	68個	54個	1,993個	550個	2,665個
	不良数	8個	10個	258個	78個	354個

表-8 点検結果の比較

項目	点検数	不良数	点検結果との差	不良率
点検結果	2,665個	354個	—	13.3%
優先順位付けした想定 (直線(3))	2,665個	378個	-24個	14.2%
モデル構築に用いたデータの不良率から算出 (直線(1))	2,665個	253個	+101個	9.5%

7. まとめ

通信用マンホールを対象に、不良マンホールの早期発見を目的に点検の優先順位付け手法の検討を行った。蓄積している点検データを用い点検結果に関するモデルを構築し、点検結果「不良」と因果関係にある設備構造や設置条件を特定した。その特定した項目を変数とする

条件付き確率と外力の影響を大きく受ける条件を加味し、点検の順位付けを行った。その結果を次にまとめる。

- (1)シミュレーションでは、優先順位を付けた点検は従来の点検に比べ、約1.5倍の不良マンホールを発見できることを確認した。
- (2)実際の点検業務において、優先順位付けした想定不良マンホール発見数は従来の約1.5倍となり、シミュレーションと同様の結果となった。
- (3)実際の点検結果においても、想定と同等の不良数であり、優先順位付けの早期発見効果を確認することができた。

今後は、モデル構築について、例えば全国のデータで行えばいいのか、当該エリアの県域程度の規模で行えばいいのか等、点検エリアの特徴を捉える最適なデータの量や範囲の検討を行い精度向上を図る予定である。また、多くのエリアで本手法を用いた点検を行い、不良マンホールの早期発見に貢献したいと考える。

謝辞：本研究の一部は、東京大学情報学環「情報技術によるインフラ高度化」社会連携講座にて実施したものであり、貴重なご指導、ご助言をいただきました東京大

学・石川雄章特任教授、門間正挙特任講師をはじめ関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 久保園浩明：すべてが解る光ファイバ通信，電気通信協会，2013..
- 2) 杉野文秀：安全・安心なアクセスネットワークを支える通信基盤設備の R&D 動向，NTT 技術ジャーナル，Vol.25, No.2, pp.46-53, 2013
- 3) 社団法人 土木学会編：ライフラインハンドブック，2010
- 4) 涌井良幸，涌井貞美：図解 ベイズ統計学，株式会社ナツメ社，2012.
- 5) 本村陽一：ベイジアンネットワーク構築ソフトウェア:BAYONET-PRO，2002 年ベイジアンネットワークセミナー，2002
- 6) 門間正挙，石川雄章：点検等現場業務の効率化に向けた「現場情報の活用方法」の検討，土木学会第 68 回年次学術講演会,2013

INSPECTION PRIORITIZATION TECHNOLOGY OF THE MANHOLE FOR COMMUNICATION BY THE INSPECTION DATA ANALYSIS

Jiro MORI, Kazuyoshi KAWABATA, Yasuhiro KATSUKI and Sho ASHIKAGA

NTT holds a manhole for communication approximately 680,000 in the whole country, and there are approximately 80% more than 30 years after construction. When superannuation deterioration begins to be actualized in a part and fixes my eyes on future further deterioration progress, appropriate maintenances such as the early detection of deterioration facilities are demanded. I analyzed it using Bayesian net work for the conventional facilities inspection data which accumulated and, in this study, performed modeling about the deterioration of the manhole. I examined the technology that I could inspection from facilities very likely to be the deterioration by the conditioning probability of the item causally associated with deterioration with precedence. As a result, the discovery probability of the deterioration manhole confirmed that approximately 1.5 doubled in comparison with the inspection of the conventional area unit. Furthermore, in real manhole inspection duties, I confirmed the result that I inspected by this technology.