

通信埋設管路の地震対策に活用するスクリーニング手法の提案及び地震被害関数の構築

庄司 学¹・宮崎 史倫²・若竹 雅人³・伊藤 陽⁴・鈴木 崇伸⁵

¹正会員 筑波大学准教授 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail: gshoji@kz.tsukuba.ac.jp

²学生会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 (同上)

E-mail: s1420934@u.tsukuba.ac.jp

³正会員 NTTアクセスサービスシステム研究所 (〒305-0805 茨城県つくば市花畑1-7-1)

E-mail: wakatake.masato@lab.ntt.co.jp

⁴正会員 NTTアクセスサービスシステム研究所 (同上)

E-mail: ito.akira@lab.ntt.co.jp

⁵正会員 東洋大学教授 理工学部都市環境デザイン学科 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

E-mail: tsuzuki@toyo.jp

東北地方太平洋沖地震による通信埋設管の被害を受け、通信埋設管の地震対策が喫緊の課題となっており、それに活用するための埋設管のスクリーニング手法の開発が求められている。本論文では、東北地方太平洋沖地震を受けた通信埋設管の被害率に関するデータセットに基づき、管種、亘長及び微地形区分の観点からみた被害率間の数量関係から埋設管の脆弱性の判断基準を定義した上で、被害率と地震動強さの関係を地震被害関数としてモデル化し、これらを地震対策に活用した埋設管のスクリーニング手法を提案する。また、本スクリーニング手法の適用例をあわせて示す。

Key Words : *The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, ground excitation, buried pipelines of telecommunication systems, damage ratio, screening techniques for vulnerability of pipes*

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震 ($M_w=9.0$) により、日本電信電話株式会社 (以下、NTT) が管理する固定通信に約150万回線の罹障回線が発生した¹⁾。通信ケーブルを地中で収容する通信埋設管に、地震動による甚大な被害に加え津波及び液状化による多様な被害モードが発生した。これにより、通信埋設管の地震対策が喫緊の課題となっており、それに活用するための埋設管のスクリーニング手法の開発が求められている。

東北地方太平洋沖地震による通信埋設管の被害分析及び今後の対策について、山崎ら²⁾は、東北地方太平洋沖地震の被害を受けた埋設管、マンホール、橋梁添架管及び電柱の被害率を算出し、地震動、液状化及び津波エリアに分類して被害率の特徴を分析している。庄司ら³⁾は東北地方太平洋沖地震の際の地震動に曝露された通信埋

設管の被害モードを無被害のデータを含めて分類し、地震動強さの指標として地表面最大加速度 PGA 、地表面最大速度 PGV 及び計測震度 I を取りあげ、それらと通信埋設管の被害との関係を管種、亘長、建設年及び微地形の観点から分析している。しかし、これらの既往の研究によっても、埋設管の脆弱性の判断に活用するためのスクリーニング手法の開発には至っていない。

本研究では、前述した文献²⁾でまとめられた通信埋設管のデータセットを活用し、管種、亘長及び微地形区分の観点からみた被害率間の数量関係から埋設管の脆弱性の判断基準を定義した上で、被害率と地震動強さの関係を地震被害関数としてモデル化し、これらを地震対策に活用した埋設管のスクリーニング手法を提案する。また、本スクリーニング手法の適用例をあわせて示す。

表-1 管種, 亘長, 建設年及び微地形区分の分類・種別

(a) 管種

管名	I		PS・S			SA	V	
種別	I	PL-I	PS・S	PL-PS・UCPS	PL-S	SA	V	P-V
管種名	铸铁管	差込継手铸铁管	塗覆装鋼管 防食鋼管	差込継手塗覆装鋼管 耐候性塗覆装鋼管	差込継手防食鋼管	ジュート巻鋼管	硬質ビニル管	差込継手硬質ビニル管
被覆	なし	なし	ポリエチレン または、なし	ポリエチレン、または 紫外線対策用ポリエチレン	なし	アスファルトジュート	なし	なし

(b) 亘長

種別	100m以下	100m-200m	200m以上
----	--------	-----------	--------

(c) 建設年

種別	-1965年	1966年-1985年	1986年-
----	--------	-------------	--------

(b) 微地形区分

種別	山地・山麓地	丘陵・火山性丘陵	砂礫質台地	ローム台地	沖積平野	埋立・干拓地
微地形区分	山地 山麓地	丘陵 火山性丘陵	砂礫質台地	ローム台地	谷低地, 扇状地, 自然堤防 後背湿地, 旧河道, 三角州, 海岸低地 砂州, 砂礫州, 砂丘, 河原	埋立地 干拓地

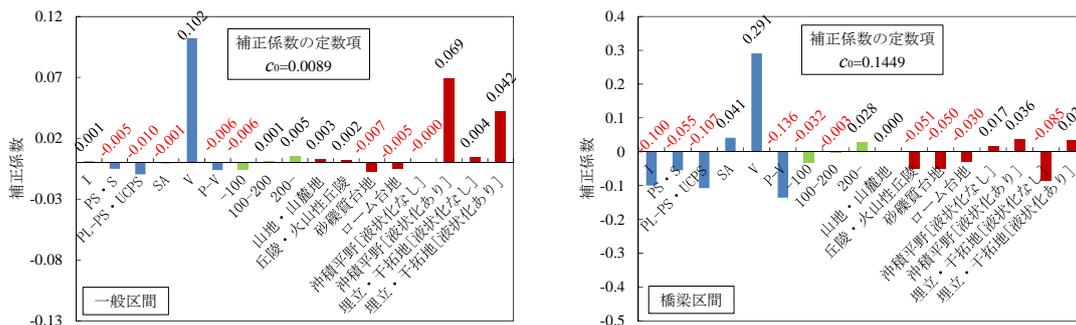


図-1 管種, 亘長及び液状化を考慮した微地形区分の観点からみた被害率間の関係⁷⁾

2. 本研究で用いるデータセット

本研究では、通信埋設管の脆弱性の判断に係わるスクリーニング手法の開発のために文献⁷⁾でまとめられたデータセットを用いる。本データセットは、表-1に示す管種, 亘長, 建設年及び微地形区分の分類・種別の埋設管データと、管種, 亘長及び微地形区分の観点からみた被害率間の数量関係を示す補正係数のデータ群で構成されている。

前者の埋設管データは、マンホールの中心間が1スパンと計量化されており、計346スパンの被害データと、それらの基地局が管理する計22,214スパンの無被害データで構成されている。管種, 亘長, 建設年及び微地形区分の分類・種別毎に、被害スパン数を全スパン数で除した被害率のデータが与えられている。これらの埋設管データを第4章の地震被害関数の構築の際に用いる。

後者の補正係数のデータ群は図-1の通りである。図中、一定の深度でマンホール間に埋設された埋設管のスパンが「一般区間」と定義され、橋梁添架管及び橋台への接続管を含めて橋梁に関わるスパンが「橋梁区間」と定義されている。次章において、これらの補正係数の数値により、埋設管データの脆弱性の判断基準を定める。

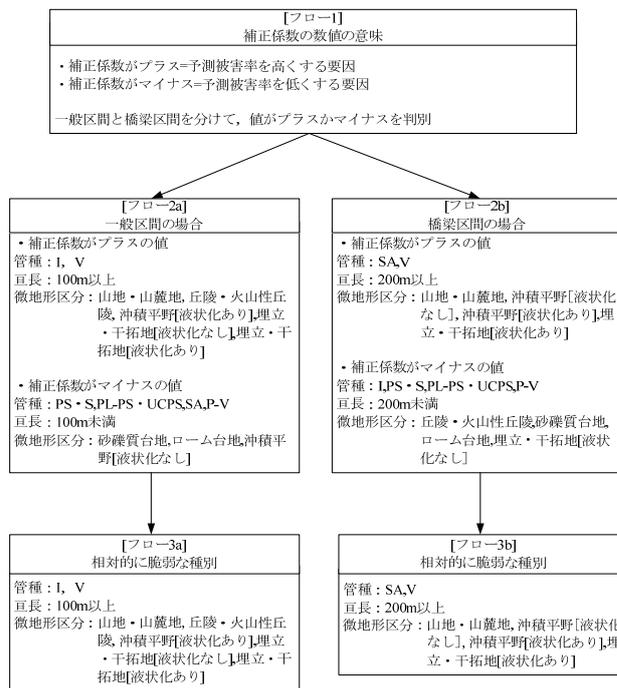


図-2 補正係数に基づく埋設管データの脆弱性の判断基準

3. 埋設管データの脆弱性の判断基準

図-1に示す管種, 亘長及び微地形区分の分類・種別に対して、補正係数の各値が大きいということは埋設管の被害データの中で当該分類・種別の埋設管の被害率の寄与が大きく、これらで予測被害率を回帰した場合に

表-2 地震被害関数のパラメーター

(a) 一般区間						
	λ	ζ	α	u	μ [cm/s]	σ [cm/s]
対数正規分布	6.437	1.085	-	-	1070.50	1530.49
ガンベル分布	-	-	0.011	196.000	249.19	118.12

(b) 橋梁区間						
	λ	ζ	α	u	μ [cm/s]	σ [cm/s]
ガンベル分布	-	-	0.054	59.002	69.77	23.93

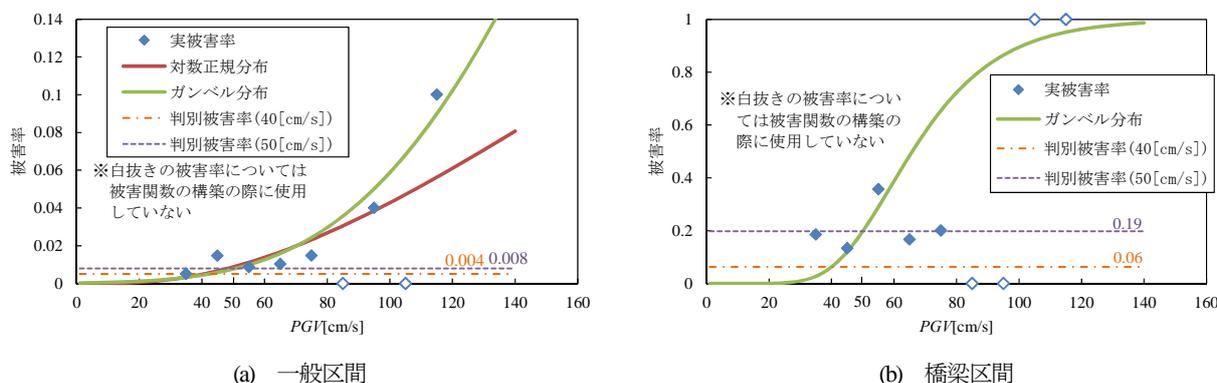


図-3 通信埋設管に対する地震被害関数

当該分類・種別の被害率の要因が高くなることを意味する。逆に、補正係数の各値が小さいまたはマイナスということは被害データの中での当該分類・種別の被害率の寄与が小さいことを意味する。これより、補正係数の数値が高い分類・種別の埋設管は耐震的に脆弱性が高く、補正係数の数値が低い分類・種別の埋設管は耐震的に脆弱性が低いと判断できる。以上より、判断基準を定める過程を図-2に示す。これらの判断基準を第5章で提案するスクリーニング手法の中で活用する。

また、図-1に示すように、橋梁区間の補正係数は一般区間のそれよりも3倍近く高い値となっている。これは、橋梁区間の被害データのほうが同じ分類・種別の埋設管であっても被害率の絶対値が大きいことを意味し、一般区間として定義される埋設管よりも橋梁区間として定義される埋設管のほうが耐震的に脆弱性が高いと判断できる。従って、以降、一般区間と橋梁区間のデータに分類して分析を行なう。

(1) 一般区間として定義される埋設管の脆弱性の判断

a) 管種

- 補正係数がプラスの値になる種別はIとVである。特にVの補正係数は0.102で非常に大きく、継手部が補強されていない硬質ビニル管は脆弱性が高いことを示している。
- 補正係数がマイナスの値になる種別はPS・S, PL-PS・USPS, SA, P-Vである。特にPL-PS・USPSの補正係数は0.010, P-Vの補正係数は0.006とマイナスに

大きな値であり予測被害率を低くする要因となる。これは、継手部が差込継手となっており耐震補強の効果であると言える。

b) 亘長

- 補正係数がプラスの値になる種別は亘長100m-200mと亘長200m以上である。亘長100m-200mの補正係数は0.001, 亘長200m以上の補正係数は0.005と亘長が長いほうが補正係数が大きい。これは、管路が長くなると地震動の影響を受ける範囲が広がり、1スパンの中で被害を受けやすくなる箇所が増えるためである。
- 補正係数がマイナスの値になる種別は亘長100m以下である。逆に、1スパンの中で被害を受けやすくなる箇所が減るため、管路の脆弱性が低くなる。

c) 微地形区分

- 補正係数がプラスの値になる種別は山地・山麓地, 丘陵・火山性丘陵, 沖積平野[液状化あり], 埋立・干拓地[液状化なし]及び埋立・干拓地[液状化あり]である。特に、沖積平野[液状化あり]の補正係数は0.069, 埋立・干拓地[液状化あり]の補正係数は0.042と大きな値となる。これは、液状化によってマンホールや埋設管の被害が甚大となり、管路の脆弱性が高くなるためである。
- 補正係数がマイナスの値になる種別は砂礫質台地, ローム台地及び沖積平野[液状化なし]である。他の微地形区分と比較して、安定した地盤であるため、管路の脆弱性は低くなる。

表-3 脆弱性判断のクラス

クラス1	クラス2	クラス3	クラス4
管路の脆弱性は低い。 耐震化の優先度は低い。	管路の脆弱性がやや高い。 逐次的に耐震化が必要。	管路の脆弱性が高い。 優先的に耐震化が必要。	管路の脆弱性が非常に高い。 最優先に耐震化が必要。

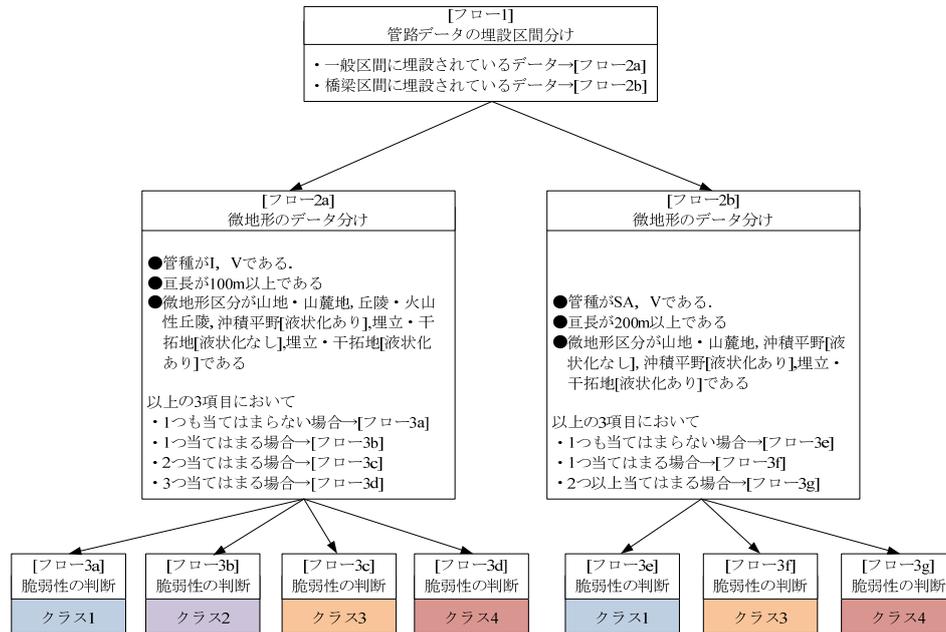


図-4 地震対策を行う際の埋設管の脆弱性判断の1次スクリーニング手法

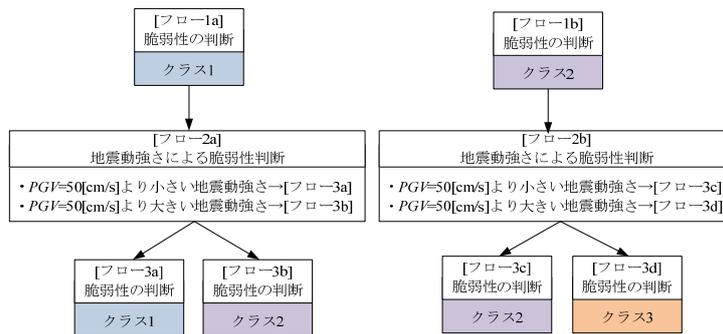


図-5 地震対策を行う際の埋設管の脆弱性判断の2次スクリーニング手法

(2) 橋梁区間として定義される埋設管の脆弱性の判断

a) 管種

- 補正係数がプラスの値になる種別は SA と V である。一般区間の場合と同様に、V の補正係数は 0.291 と非常に大きく管路の脆弱性が高いことを示している。
- 補正係数がマイナスの値になる種別は I, PS・S, PL-PS・USPS, P-V である。特に、PL-PS・USPS の補正係数は-0.107, P-V の補正係数は-0.136 とマイナスに大きな値であり、予測被害率を低くする主たる要因となる。継手部が差込継手に耐震補強されている効果が橋梁区間の埋設管について同様に表れている。

b) 亘長

- 補正係数がプラスの値になる種別は亘長 200m 以上であり、逆に、亘長 100m 以下の補正係数は-0.032, 亘長 100m-200m の補正係数は-0.003 といずれもマイナスの

値となる。管路の 1 スパンが長くなると地震動の影響を受ける範囲が広がり、被害を受けやすくなる箇所が増え管路の脆弱性が高まる一方で、1 スパンの長さが短いと逆の傾向となり、管路の脆弱性が低くなるためである。

c) 微地形区分

- 補正係数がプラスの値になる種別は沖積平野[液状化なし], 沖積平野[液状化あり], 及び埋立・干拓地[液状化あり]である。特に、沖積平野[液状化あり]の補正係数は 0.036, 埋立・干拓地[液状化あり]の補正係数は 0.034 と大きな値となる。橋梁区間として定義される埋設管においても液状化による被害は大きくなり、管路の脆弱性が高まると言える。
- 補正係数がマイナスの値になる種別は山地・山麓地, 丘陵・火山性丘陵, 砂礫質台地, ローム台地及び埋立

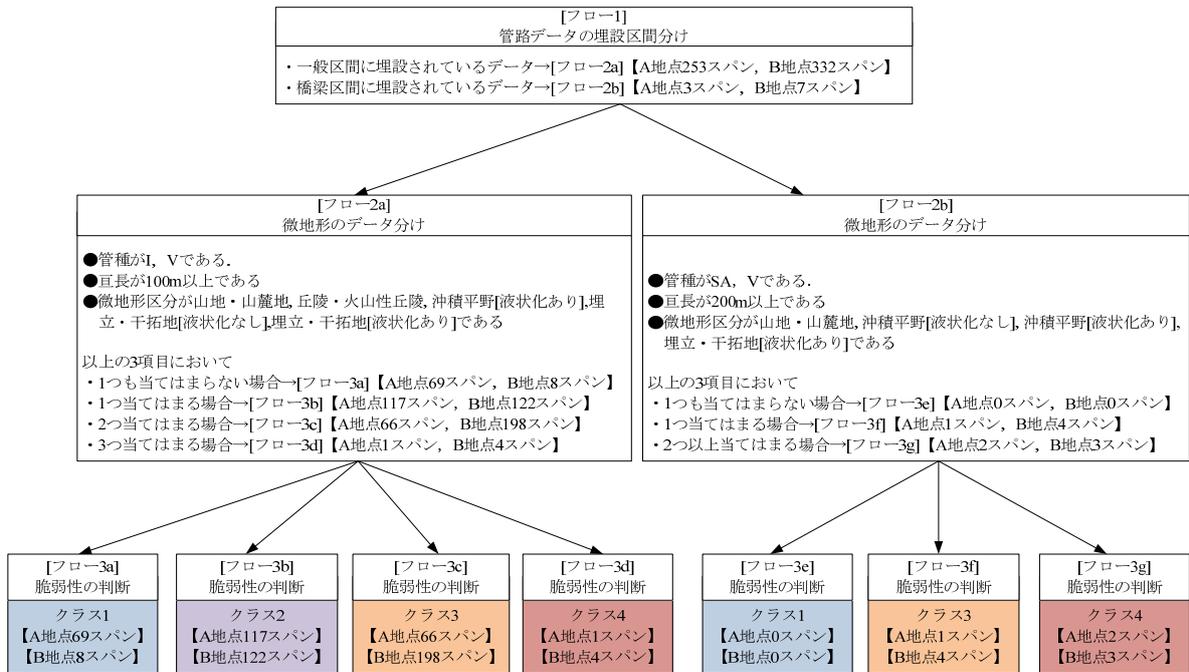


図-6 スクリーニング手法の適用事例

・干拓地[液状化なし]である。一般区間の埋設管と同様に、これらの安定した地盤に埋設された橋梁区間の管路の脆弱性は低い。

(3) 脆弱性判断の共通点と相違点

一般区間と橋梁区間の埋設管の脆弱性に関して、その共通点は、差込継手となっていない管種Vの脆弱性が高く、一方、差込継手の管種PL-PS・USPS, P-Vの脆弱性が低くなるという点である。また、亘長が長くなると地震動の影響を受ける範囲が広がり、1スパンで被害を受けやすくなるため、管路の脆弱性は高くなる。沖積平野及び埋立・干拓地では液状化による埋設管の大きな被害が顕在化したことが反映されて、これらの微地形区分に埋設された管路の脆弱性は高くなる。

相違点は、前述したように、一般区間に比して橋梁区間の埋設管の脆弱性は数倍高いという点である。さらに、橋梁区間の埋設管の場合、管種Vに準じて管種SAの脆弱性が相対的に高くなる。また、橋梁区間の埋設管のほう山地・山麓地、丘陵・火山性丘陵に埋設された場合に、脆弱性がより低く見積もられる。

4. 地震被害関数の構築

第2章で述べたデータセットの埋設管データの中で、スパン数が最も多い SA の管種、100m-200m の亘長、1966年-1985年の建設年及び沖積平野[液状化なし]の微地形区分のデータに基づき、文献8)を参考として対数正規分布及びガンベル分布で地震被害関数をモデル化する。

なお、地震動強さとしては地表面最大速度 PGV [cm/s]を用いる。 PGV の空間分布は文献7)で示されたデータを適用する。文献7)における PGV の算出方法としては、強震観測点における PGV を地盤増幅度で除し工学的基盤面における PGV を算定し、それらのデータ群をレファレンスとして simple kriging 法により 250m メッシュ単位の空間補間を行い、メッシュ毎に再度地盤増幅度を乗じて地表面における面的な PGV 分布を推定している。

以上より、前述した管種、亘長、建設年及び微地形区分の組み合わせに対する予測被害率 $R^*(PGV)$ の対数正規分布およびガンベル分布のモデルは次式ようになる。

$$R^*(PGV) = \Phi\left(\frac{\ln(PGV) - \lambda}{\zeta}\right) \quad (1a)$$

$$R^*(PGV) = \exp[-e^{\alpha(PGV-u)}] \quad (1b)$$

ここで、式(1a)中の λ , ζ は PGV の対数平均値と対数標準偏差である。また、式(1b)中の α はばらつきの大さを表すパラメータ、 u は最頻値である。これらのパラメータ λ , ζ , α , u は被害率データを確率紙にプロットすることで算定する。算定されたパラメータ λ , ζ , α , u を表-3に示す。

図-3には、一般区間と橋梁区間の埋設管に対する地震被害関数のモデルと被害率データをプロットしている。なお、橋梁区間の埋設管の対数正規分布のモデルはパラメータを適切に算定できなかったため、ここには示していない。

図-3(a)より、被害率が 10^3 を超え、地震被害関数が立

ち上がる PGV は、対数正規分布では $PGV=24[\text{cm/s}]$ 、ガンベル分布では $PGV=18[\text{cm/s}]$ である。 $PGV=70[\text{cm/s}]$ 以下では両者のモデルはほぼ同様の傾向を示す。 $PGV=70[\text{cm/s}]$ を超えると両者のモデルは異なる傾向を示すが、 $PGV=115[\text{cm/s}]$ における被害率のデータをガンベル分布のほうが適切にモデル化できており、モデルの適合度はガンベル分布によるモデルのほうが良好である。

図-3(b)より、橋梁区間の埋設管に対して、被害率が 10^3 を超え地震被害関数が立ち上がる PGV は、 $PGV=23[\text{cm/s}]$ であることがわかる。ガンベル分布のモデルは、 $PGV=35, 65, 75[\text{cm/s}]$ において被害率のデータからかけ離れているものの、 $PGV=45, 55, 105, 115[\text{cm/s}]$ の被害率のデータを良好にモデル化できている。

文献 7)より、一般区間において管種 SA、亘長 100m-200m、建設年 1966 年-1985 年及び沖積平野[液状化なし]の被害率はそれぞれ 0.005, 0.008, 0.008, 0.009 であり、0.008 前後の値となる。0.008 の被害率に相当する PGV は図-3(a)より $PGV=50[\text{cm/s}]$ である。一方、橋梁区間において、同様の管種、亘長、建設年及び微地形区分の組み合わせに対してそれらの被害率はそれぞれ 0.187, 0.141, 0.160, 0.165 となり、0.175 前後の値となる。0.175 の被害率に相当する PGV は図-3(b)より $PGV=50[\text{cm/s}]$ である。

同様の考え方にに基づき、 $PGV=40[\text{cm/s}]$ に相当する被害率を一般区間及び橋梁区間の埋設管の地震被害関数に対して求めると、図-3 に示す通り、0.004 と 0.06 となる。 $PGV=50[\text{cm/s}]$ あるいは $PGV=40[\text{cm/s}]$ に相当する被害率の数値を念頭に、スクリーニング手法の中で埋設管の脆弱性を判断する際の PGV の基準値を設定する。

5. スクリーニングの考え方の提案

通信埋設管の管理主体である通信事業者は、通常、本研究で活用しているような 1 スパン毎の管種、亘長、建設年のデータを保有している。各スパンの中心座標もデータ化されているため、それらの座標に対応する微地形区分のデータを各スパンのデータに付与することができる。本研究で提案するスクリーニング手法ではそれらのデータセットを前提とする。

本研究で提案するスクリーニング手法は 1 次と 2 次のスクリーニング手法で構成される。1 次スクリーニングでは、第 3 章で述べたように、補正係数に基づき管種、亘長及び微地形区分の分類・種別の属性から埋設管の耐震的な脆弱性を判断する。2 次スクリーニングでは、第 4 章で求めた地震被害関数により地震動強さ PGV を考慮した脆弱性の判断を行う。

対象とする埋設管の脆弱性の度合いについては、脆弱性が高いと判断された管種、亘長及び微地形区分に符合

する数に基づき、表-4 の示すように、管路の脆弱性が低く耐震化の優先度が低いクラス (クラス 1)、管路の脆弱性がやや高く逐次的な耐震化が必要となるクラス (クラス 2)、管路の脆弱性が高く優先的に耐震化が必要となるクラス (クラス 3)、管路の脆弱性が非常に高く最優先の耐震化が必要となるクラス (クラス 4) の 4 つのクラスに分類する。クラスの判断は以下に示す 1 次スクリーニングと 2 次スクリーニングにより行う。

(1) 1 次スクリーニングの方法

図-4 には 1 次スクリーニングの方法を示す。まず、フロー 1 では埋設管が一般区間と橋梁区間のどちらに位置するかを判別する。埋設管が橋梁区間に位置する場合、第 3 章の考察や文献 7) の知見により一般区間に比べ被害率が 10 倍程度大きくなる傾向があるため、一般区間と橋梁区間の埋設管は峻別してフロー 2 に進む。第 3 章では、補正係数がプラスの値であると埋設管の当該の属性は被害率を高くする要因になるため、脆弱性が高い分類・種別の埋設管であると判断した。そこで、フロー 2 では、対象とする埋設管の脆弱性の度合いについて、脆弱性が高いと判断された管種、亘長及び微地形区分に符合する数を算定する。符号する数が多いほど耐震化の優先度が高い埋設管と位置付けられ、フロー 3 ではそのクラス分けを行う。

(2) 2 次スクリーニングの方法

1 次スクリーニングでは対象とする埋設管の属性によってのみその脆弱性を判別するものである。2 次スクリーニングでは、図-5 に示すように埋設管への作用情報となる地震動強さ PGV を考慮して埋設管の脆弱性の判断を行なう。

1 次スクリーニングにおいて、脆弱性がクラス 1, 2 と判断されたものの、大きな地震動に曝された場合には、埋設管の被害率は高まる可能性がある。そのため、第 4 章で構築した地震被害関数に基づき、被害率が高くなる地震動強さ PGV の基準値を設定する。想定地震に対して、その値より大きな地震動に曝露される可能性が高い場合には対象とする埋設管の脆弱性のクラスを 1 つ引き上げて評価する。

一例として、第 4 章において定めた、 $PGV=50[\text{cm/s}]$ を PGV の基準値と設定した場合には、1 次スクリーニングにおいてクラス 1, 2 の位置付けられた埋設管が $PGV=50[\text{cm/s}]$ を超える地域に位置する場合、脆弱性のクラスを 1 つ引き上げる。

(3) スクリーニング手法の適用事例

ある 2 地点の基地局管理の埋設管を対象として、前述したスクリーニングの適用事例を図-6 のように示す。

基地局 A 地点には、埋設管が 256 スパン収容されている。1 次スクリーニングでは、図-4 のフロー1 で一般区間のデータ 253 スパンと橋梁区間のデータ 3 スパンに分ける。埋設管データに基づきフロー2 を進めた結果、一般区間においてクラス 1 が 69 スパンとなり、耐震化の優先度が低いクラスに位置付けられた。クラス 2 が 117 スパンと最もスパン数が多くなり、逐次的な耐震化が必要なクラスとして位置付けられた。クラス 3 が 66 スパンと算定され、これらは優先的に耐震化が必要であると判断できる。クラス 4 が 1 スパンであり、最優先に耐震化が必要となるスパンが特定された。橋梁区間においては、クラス 3 が 1 スパン、クラス 4 が 2 スパンとなり、3 スパン全てが優先的に耐震化が必要なクラスに位置付けられた。

基地局 B 地点には、埋設管が 316 スパン収容されている。このデータについて同様にスクリーニング手法を適用する。図-4 のフロー1 において、一般区間の 332 スパンと橋梁区間の 7 スパンにスクリーニングされた。一般区間のデータに対して、フロー2 を適用すると、クラス 1 が 8 スパン、クラス 2 が 122 スパンとなり、これらは 1 次スクリーニングにおいて相対的に耐震化の優先度は低いものとして位置付けられた。一方、クラス 3 が 198 スパンで最もスパン数が多く、また、クラス 4 が 4 スパンとなり、相対的に耐震化の優先度が高いスパンが半数以上にも達した。これは、B 地点が湾岸部に位置することから、脆弱性の高い微地形区分に属する埋設管が多かったためである。

次に、図-5 の 2 次スクリーニングでは、東北地方太平洋沖地震による地震動強さの空間分布を A 地点と B 地点にそれぞれ適用した。これらの 2 つの基地局に収容されている埋設管が曝された地震動強さ PGV の値は全て $PGV=40[\text{cm/s}]$ 以下であるため、2 次スクリーニングにおいて定める脆弱性の判断基準とする PGV の値より小さくなった。このため、対象とする埋設管の脆弱性のクラスは 2 次スクリーニングを行っても 1 次スクリーニングの結果と同じ結果となる。

6. 結論

本研究では、既往研究でまとめられた通信埋設管のデータセットを活用し、管種、亘長及び微地形区分の観点からみた被害率間の数量関係から埋設管の脆弱性の判断基準を定義した上で、被害率と地震動強さの関係を地震被害関数としてモデル化し、これらを地震対策に活用した埋設管のスクリーニング手法を提案した。また、本スクリーニング手法の適用例をあわせて示した。以下に本研究で得られた知見を示す。

- 一般区間及び橋梁区間の埋設管に共通して、差込継手となっていない管種 V の脆弱性が高く、差込継手の管種 PL-PS・USPS、P-V の脆弱性が低い。また、亘長が長くなると地震動の影響を受ける範囲が広がり、1 スパンで被害を受けやすくなるため、管路の脆弱性は高くなる。沖積平野及び埋立・干拓地では液状化によって埋設管の脆弱性は著しく高くなる。一方、相違点としては、一般区間に比して橋梁区間の埋設管の脆弱性は数倍高い。橋梁区間の埋設管の場合、管種 V に準じて管種 SA の脆弱性が相対的に高くなり、山地・山麓地及び丘陵・火山性丘陵に埋設された場合に、脆弱性がより低く見積もられる。
- 一般区間の埋設管の地震被害関数は対数正規分布とガンベル分布共に $PGV=70[\text{cm/s}]$ 以下は同様な傾向を示す。 $PGV=70[\text{cm/s}]$ 以上ではガンベル分布のほうが被害率のデータにより適合したモデルとなる。一方、ガンベル分布でモデル化された橋梁区間の埋設管の地震被害関数は、 $PGV=23[\text{cm/s}]$ で被害率が 10^3 と立ち上がりはじめ、 $PGV=100[\text{cm/s}]$ で被害率は 0.89 となり、被害率は 1 に漸近するモデルとなる。
- 通信埋設管の地震対策を行うに当たって、埋設管の耐震化の優先順位を判断するためのスクリーニング手法を提案した。通信事業者が保有する埋設管の属性データにより判断する 1 次スクリーニングと、埋設管への作用情報である地震動強さ PGV を考慮した 2 次スクリーニングを段階的に適用することで、埋設管の脆弱性の合理的な判断を可能にした。

謝辞：本研究は（財）地震予知振興会との共同研究により実施されました。関係者の皆様方には多大なご協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 東日本電信電話株式会社：東北地方太平洋沖地震による被害及び今後の見通しについて、http://www.ntt-east.co.jp/release/detail/pdf/20110330_01_03.pdf, 2014.
- 2) 東日本電信電話株式会社：東日本大震災の復旧状況等について、http://www.ntt-east.co.jp/release/detail/pdf/20110427_02_02.pdf, 2014.
- 3) 東日本電信電話株式会社：東日本大震災における復旧活動の軌跡、http://www.ntt-east.co.jp/info/detail/pdf/shinsai_fukkyu.pdf, 2014.
- 4) 東日本電信電話株式会社：東日本大震災からの本格復旧状況と今後に向けた取り組みについて、http://www.ntt-east.co.jp/release/detail/pdf/20120301_02_01.pdf, 2014.
- 5) 日本電信電話株式会社：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、<http://www.ntt.co.jp/journal/1302/files/jn201302046.pdf>, 2014.
- 6) 山崎泰司，瀬川信博，石田直之，鈴木崇伸：東日本

大震災における電気通信土木設備の被害状況に関する考察, 日本地震工学会論文集, 第 12 巻, 第 5 号 (特集号), pp.55-68, 2014.

7) 庄司学, 岸太陽, 宮崎史倫, 若竹雅人, 伊藤陽, 鈴木崇伸: 東北地方太平洋沖地震の作用を受けた通信

埋設管の被害分析, 第 14 回日本地震工学シンポジウム, 2014.

8) 伊藤學, 亀田弘行: 土木・建築のための確率・統計の基礎, 丸善, 1977.

SCREENING TECHNIQUES FOR SEISMIC VULNERABILITY OF BURIED TELECOMMUNICATION PIPES AND DEVELOPMENT OF SEISMIC DAMAGE FUNCTIONS

Gaku SHOJI, Fumihito MIYAZAKI, Masato WAKATAKE, Akira ITO
and Takanobu SUZUKI

The framework of screening techniques for judging seismic vulnerability of buried telecommunication pipes was proposed. In the 1st screening, seismic vulnerability of target pipes is ranked by four classes for seismic retrofit by using the modification factors showing the relations among damage ratios from the type of pipes, the span length and the microtopography: the highest, higher, moderate, and less priority classes. In the 2nd screening, seismic damage functions are applied to rank up the priority classes for checking the risks of failures of pipes exposed by higher seismic intensity levels.