

地震災害から通信サービスを守る耐震技術

NTTアクセスサービスシステム研究所では通信ネットワークを大規模地震から守るため、基盤設備の耐震技術および耐震性評価技術の精度向上に関する研究開発を続けています。本稿では、重要設備の耐震対策として2013年度に導入した特殊専用橋の耐震対策技術、および現在開発中の地下管路設備の耐震性評価技術の高度化に向けた取り組みについて紹介します。

さかき かつみ ※ たなか こうじ

榊 克実 / 田中 宏司

わかたけ まさと いとう あきら

若竹 雅人 / 伊藤 陽

NTTアクセスサービスシステム研究所

ネットワークの信頼性を支える 耐震技術

2011年の東日本大震災では、通信基盤設備も地震や津波により甚大な被害を受けました。今後も、南海トラフ巨大地震や首都直下地震など、大規模な被害想定が政府から発表されており、地震に対する設備の安全性への要求は一層高まっています。

NTTアクセスサービスシステム研究所では、これまで大地震発生 of 都度実施してきた設備被害の分析結果に基づき、設備の改良を行ってきました。特に、阪神・淡路大震災以降、レベル2地震動が土木学会で定義されたことから、とう道や専用橋といった重要設備については、新たな基準により耐震性能評価、および耐震対策を実施しています。本稿では、2013年度に導入した特殊専用橋の耐震対策技術について紹介します。

また、地下管路設備については、これまで地盤の液状化に対する耐震対策を重要視して管路の継手部にフレキシブル性を持たせるなどの改良を加えてきたため、東日本大震災をはじめとす

る大地震に対しても高い耐震効果を発揮してきました。しかし、これら耐震設備の適用は管路の新設時に限定され、改良を加える前に建設された管路の更改までは行われていないのが現状です。

このため、私たちは道路を掘削することなくケーブルを収容したままで、旧仕様管路の耐震補強が実施できる技術の開発に取り組みました。その結果、PIT (Pipe Insertion Type) 新管路方式などの自立型ライニング技術により、地震動や地盤変状に対してケーブル被害を軽減する効果があることを確認しました⁽¹⁾。

現在は、膨大な旧仕様設備に対して、これらの耐震補強技術を効果的に適用するための耐震性評価技術の開発に取り組んでいます。これまでの耐震評価技術は図1に示すような、既往地震による被災事例の統計分析により、震度階・液状化有無・管種・建設年度の関係から広域の被災数をマクロ評価する手法（例えば、液状化が発生する震度6強の地震動に曝される1985年以前に建設された鋼管の被災率はA%である）を採用し、近い将来に発生が予測される大規模地震の被害想定 of 作成などに活用してきました⁽²⁾。しかし、本手法では膨大な旧仕様設備のどこから

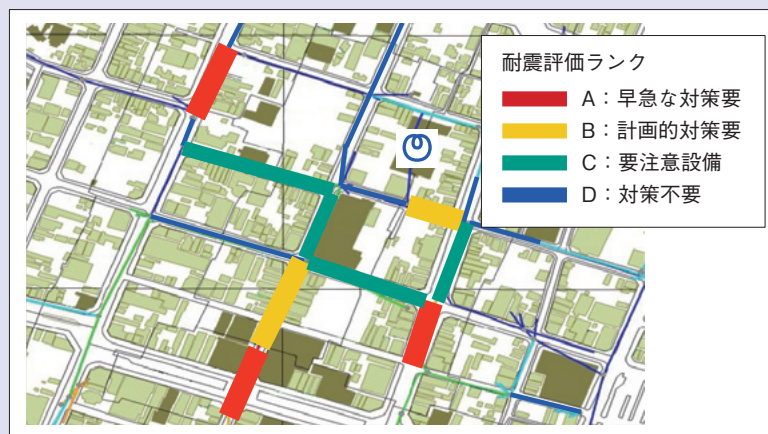


図1 現状の耐震評価技術

※ 現、NTTインフラネット

耐震対策を実施するかを判定するための、ルート上の個体評価への活用には推定精度に課題がありました。そこで私たちは、図2に示すように地震に対する設備個々の弱点個所を抽出する技術に現在取り組んでいます。具体的には、金属管路の劣化による強度低下、平面曲線や縦断勾配、防護コンクリートなど設備形態や地盤種別などの埋設環境の影響といったさまざまな要素を定量的に評価する技術により、高精度な被災予測を可能とする技術を目指しています。

特殊専用橋の耐震性評価技術

NTTは標準の通信専用橋に加え、特殊な構造を持った専用橋も保有しています。これらは旧規格にのっとったもの、もしくは現場の創意工夫によって独自に設計されたものであり、特殊専用橋と呼ばれ、大きく分けると2種類あります(図3)。

現在標準とされている専用橋は耐震性能の評価がなされていますが、こ

いった特殊専用橋は一般的な橋梁とは構造が大きく異なるため、地震時にどのような挙動を示すか不明確でした。これまでの地震においては落橋のような事故は発生していませんが、専用橋は河川を渡るため重要ケーブルが集中する設備であり、落橋などによる第三者被害も想定されることから、ネットワークの信頼性や安全性の観点から重要な施設です。そのため大地震時の被災メカニズムを既設設備の振動特性調査や構造解析により明らかにし、どのような条件で被災が発生するかについて検討を進めてきました⁽³⁾。

地震時の被災要因は、地震の振動によって発生する慣性力と、橋梁を支える地盤の液状化による橋台や橋梁本体の倒壊の2種類です。これらの影響をそれぞれ、簡易に入手できるデータから把握できる技術を構築しました。耐震性評価のフローを図4に示します。

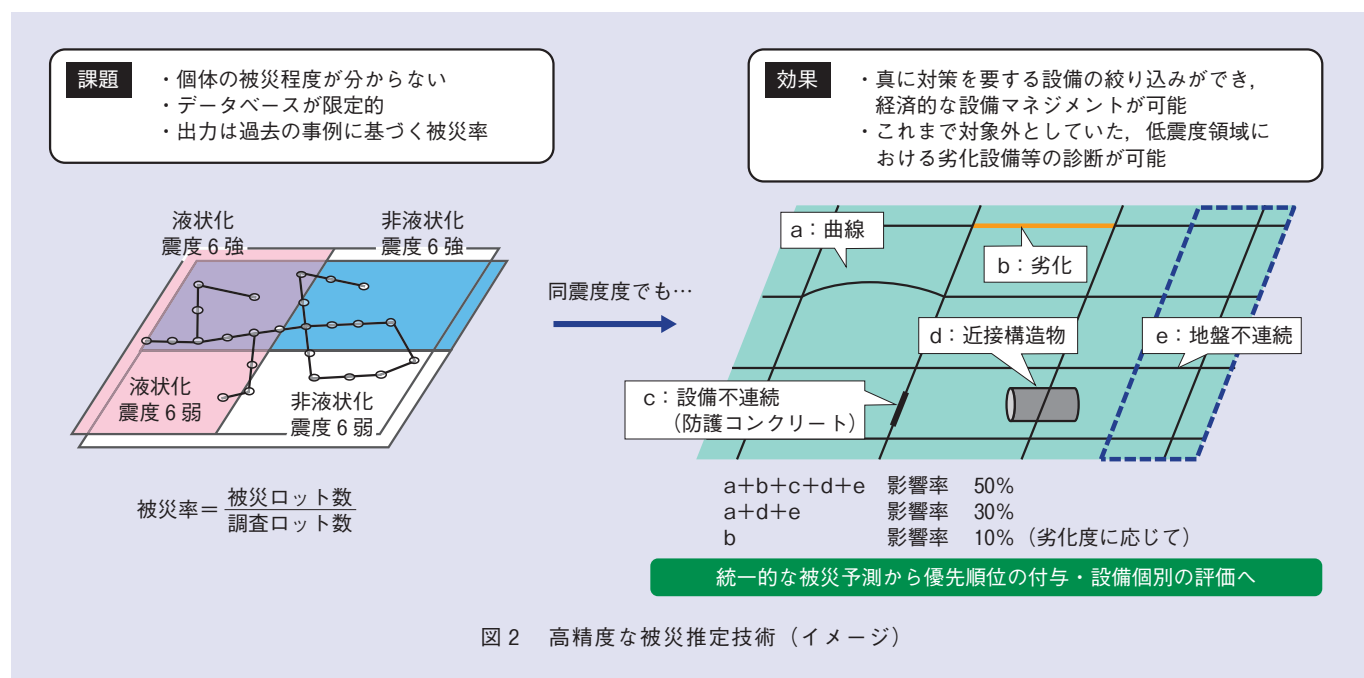
(1) 地震の振動に対する評価

実際の特殊専用橋の調査と、解析を行うことで特殊専用橋の揺れ方を明ら

かにし、橋の長さや管路の条数など、簡単なデータで地震により発生する慣性力と橋の鋼材の耐力を比較できるチャートを作製しました。また、特殊専用橋の一種である片持ち梁橋については条数に関係なく、長さのみで被災可能性の有無を判定できることが分かりました。

(2) 液状化に対する評価

強固な橋台を持たない特殊専用橋は周辺地盤が液状化すると倒壊のおそれがあるため、液状化の危険性が高いエリアに設置されている特殊専用橋は要対策設備としました。また、橋台部が液状化するかの評価は、自治体や研究機関が公開している調査データを用いて液状化エリアを判定するフローを構築しました。これまで、液状化の判定は近隣のボーリングデータの収集が必要なため調査に時間を要していましたが、液状化履歴図、PL(Potential of Liquefaction: 液状化指数)値が記された液状化マップ、微地形図などの公開データが整備されたことから、これ



らの公開データを効果的に活用するフローに従って液状化判定することで、当該エリアの液状化危険度を判断することが可能になります。

以上の2つの視点から、被災発生の危険性が高い特殊専用橋を簡易に抽出し、真に対策を取るべき対象を明確化

することを可能にしました。

耐震性評価技術の高度化

(1) 地下管路の劣化を考慮

これまで地下管路の地震時の被災を推定する際には、健全な状態の管路を想定してきました。しかし、実際には

管路の多くが建設後30年以上経過している状況であり、金属管路が腐食することによって健全な状態と比較して強度が低下している可能性があります。被災が発生する個所をより正確に把握するためには、性能がどの程度低下しているのか、またそういった管路がどこに存在するのかということを把握する必要があります。このため、全国の工事から撤去された管路を収集し、図5のような性能を確認する試験を実施して、どの程度の劣化が発生しているのかを把握しました。

性能試験の結果、埋設されていた管路の性能の平均値は、新品状態と比較して、およそ9割程度の性能を示している、つまり強度が平均1割程度低減していることが分かりました。しかし個体ごとのばらつきが大きく、新品状態と変わらない性能を保持していた管路も多くありました。さらに詳細に観察を行った結果、一部例外はありますが図6に示すように内面に腐食が強く発生していると性能が低下する傾向がみられました。現在はまだ定性的な確認を行った段階ではありますが、今後より基礎的な実験と現場調査を行う

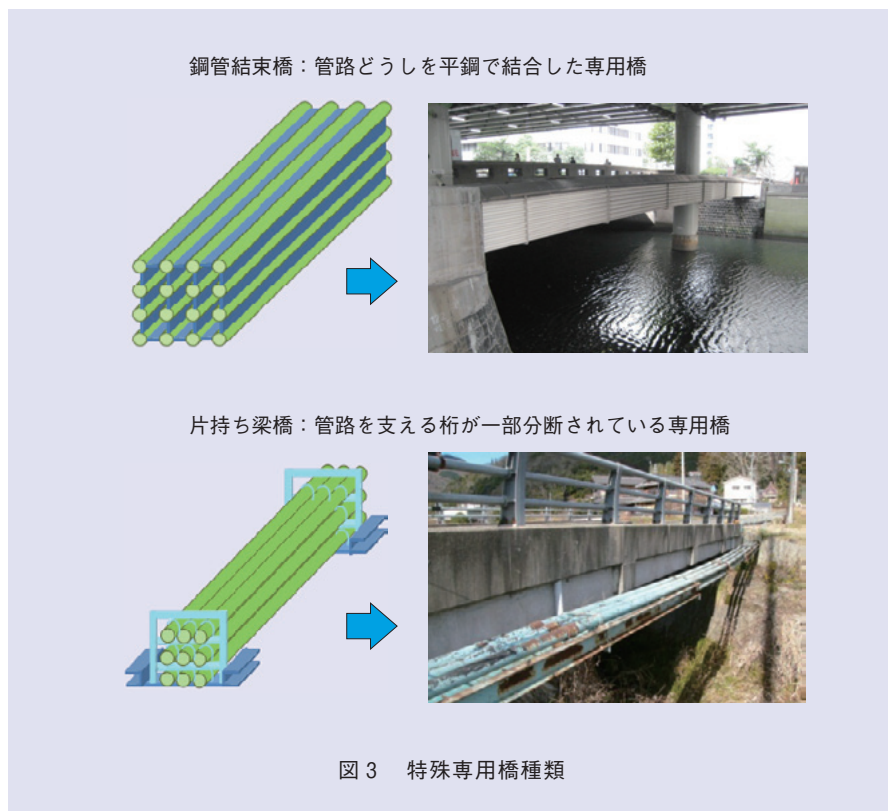


図3 特殊専用橋種類

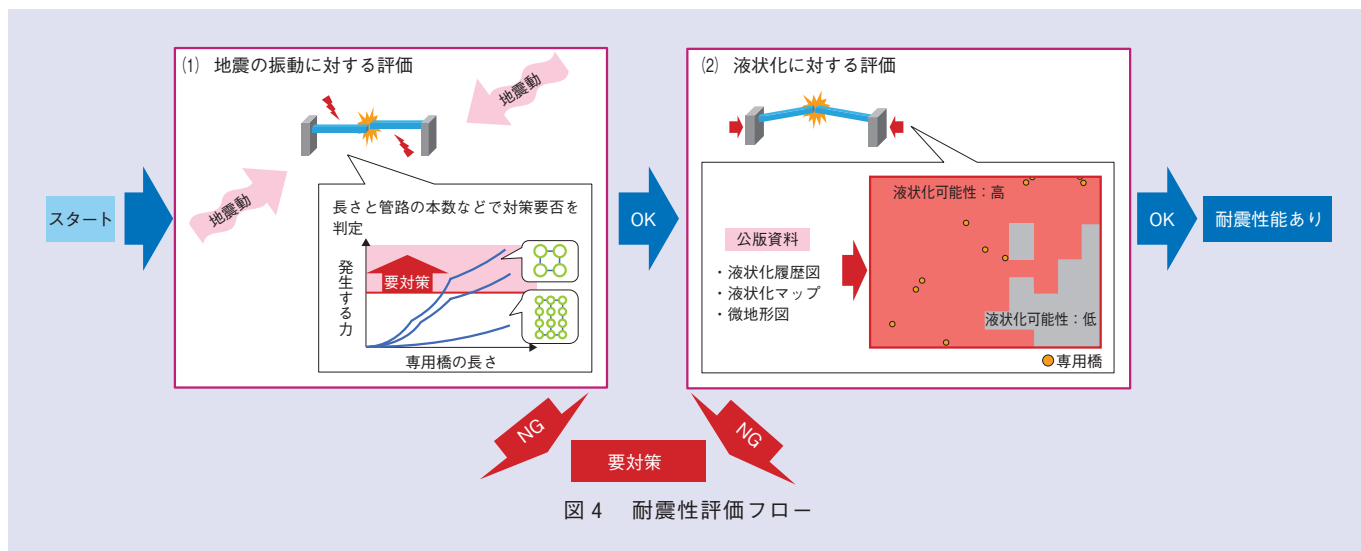


図4 耐震性評価フロー

ことで、どのような環境下でどのくらいの期間埋設されていれば、どの程度弱くなるかを明らかにし、管路個々の性能低下を予測する技術として確立していきます。

(2) 地下管路の布設線形を考慮

NTTの地下管路は道路線形に合わせた布設や、ほかの地下埋設物を回避するために縦横に線形を変化させて布設されることがあります。このような線形変化点は地震時に外力が集中して弱点部となる可能性があります。また地表面から浅い位置に管路が埋設される場合は社外工事から管路と収容ケーブルを保護するために、管路の周囲にコンクリートを打設する防護コンクリート施工（2003年以降は管路防護台という廃光ファイバのリサイクル品により防護されています）がなされる場合があります。このような箇所は管路の特性が不連続となり、地震時に外力が集中し、弱点部となる可能性があります。

NTTの従来の耐震検討ではこのような線形変化を考慮していなかったため、NTTアクセスサービスシステム研究所ではこのような線形変化と地震時における被害の受けやすさについて検討しています。

はじめに東日本大震災における被災事例の布設線形について調査を行いました。検討対象を地下区間と限定しているため、橋梁添架管路等の地上部に露出する区間を除き、今回検討の対象とする金属管に限定して集計した結果を表に示します。

調査の結果、スパン内に防護コンクリート施工がなされている設備は集計対象全体の被災率の約2.8倍、曲率半径100 m以下の曲線布設されている設備の被災率は約1.3倍であり、相対的に

大きな被災率を示すことが分かりました。次に被害の受けやすさの定量化を目的として、曲線布設、縦断布設（屈

曲布設）、防護コンクリート施工の3種のモデルを作成し、数値解析を行いました。線形変化のない直線管路に対

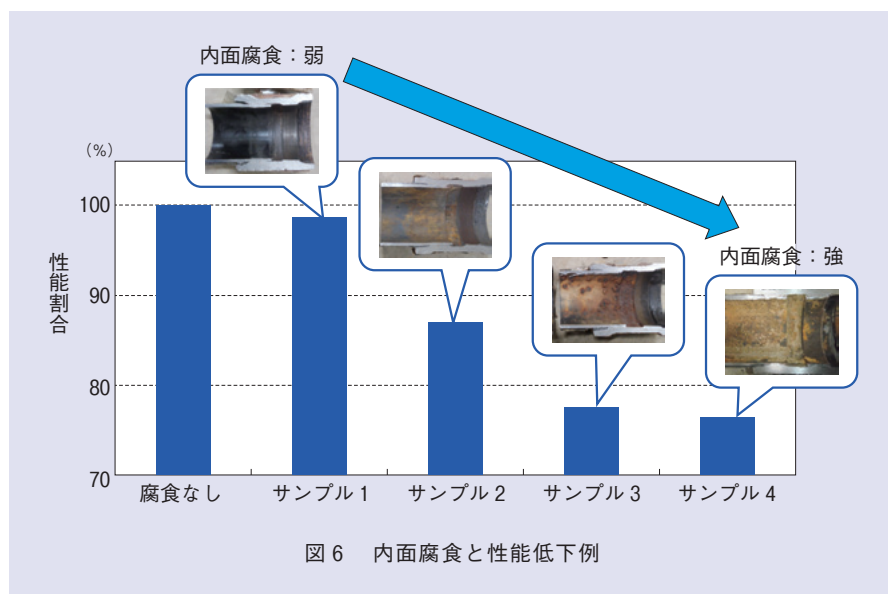
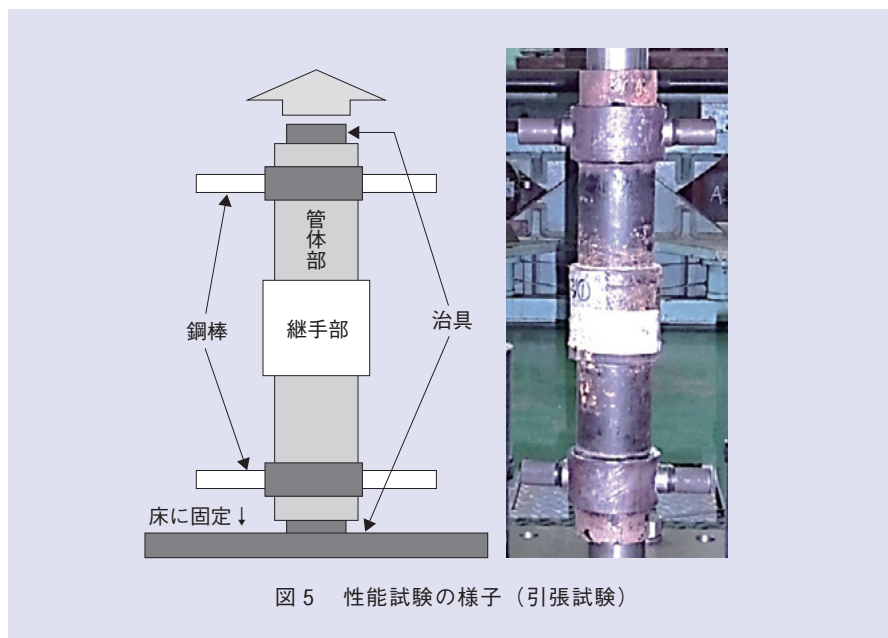


表 布設形態による被災率の分析結果

	点検スパン数	被災スパン数	被災率
全 体	1064	82	7.7%
曲線布設	61（推定）	6	9.8%
縦断布設	不明	56	不明
防護コンクリート有布設	100（推定）	22	22%

する解析結果と比較することにより、地下管路の布設形態が耐震性に与える影響を定量評価しました。その結果を図7に示します。曲線布設の場合は直線管路と比較して最大で3.5倍程度の外力が、縦断布設では直線管路と比較して最大4倍程度の外力が作用する可能性があること、防護コンクリートが存在する場合は存在しない場合と比較して約1.1倍の外力が作用することが分かりました。非常に簡易的な解析であるため、より詳細なモデル設定と数値解析が必要ではありますが、特定の布設形態が地震時における地下管路の弱点部になり得ることを示しました。今後はより詳細なモデル作成とそのモデルに対する解析を実施する予定です。

(3) 地下管路の埋設地盤環境を考慮 ここでは地下管路の地震時における

被害を推定するための切り口として、埋設地盤環境の影響について述べます。2011年3月11日に発生した東日本大震災においても液状化現象によるNTTの地下管路設備の被災が発生しました。NTTアクセスサービスシステム研究所では地震時における地下管路の被災と埋設地盤環境の影響を定量化するために、地盤データと設備データを用いた分析を行いました。

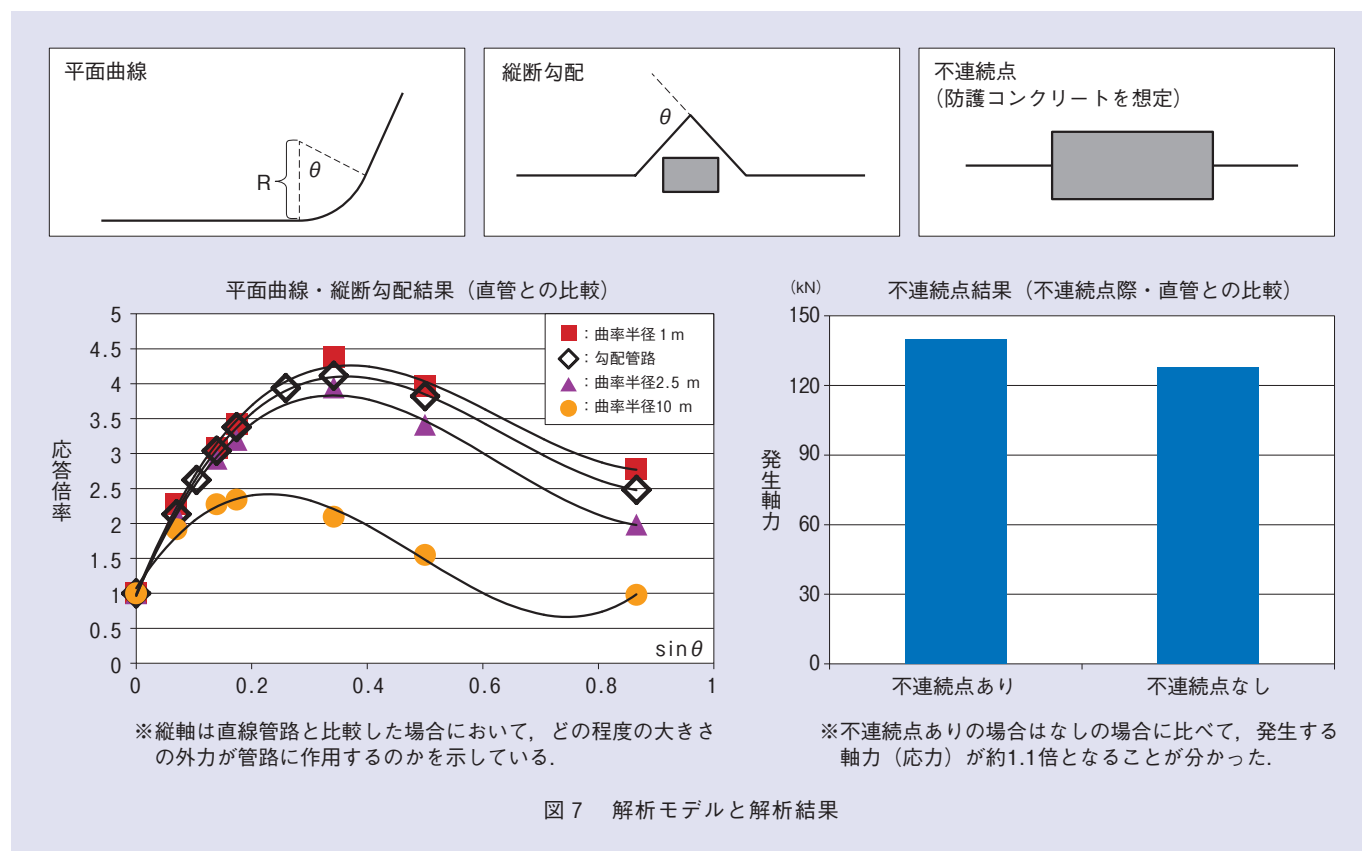
分析に用いた地盤データは震度やPGV (Peak Ground Velocity: 最大地面速度)、地形区分 (埋土地等) の複数のデータを用いました。

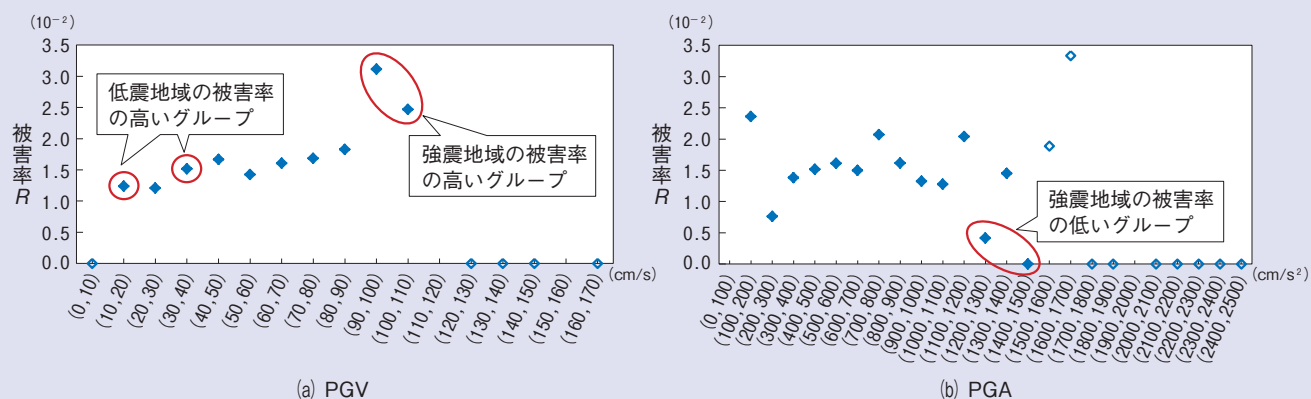
分析対象となる設備データは被害が確認できた数100スパンのデータと被害を受けていない約2万スパンの設備データを用いました。

これらの地盤データと設備データに対して地盤種別と被災有無の間に何ら

かの相関関係があるかを調べるためにGIS (Geographic Information System: 地理情報システム) を利用して分析しました。分析においては、建設年度等の設備の属性や作用された地震動の強さ、埋設地盤条件に着目して各区分の被害率を計算しました。被害率を計算した結果を図8に示します。

強震地域に埋設されていた被害率の高いグループについて、特にPGVが90 cm/s以上の地震動に作用されたグループは被害率が3%程度となっており、ほかのグループと比較して大きな値となっています。これらのグループの中身をもう少し細かくみていくと、該当のグループの被災設備は微地形区分が一般的に軟弱とされている後背湿地に埋設されている設備が多く、管種も現行規格が導入される以前の設備が





※白抜きプロットは母数が全体の0.5%未満の統計的に十分な数を満たさないデータを示す。

図8 分析により得られた地下管路の被害率

多いことが分かりました。つまり、軟弱地盤中の旧規格設備は被害率が高くなることが分析により明らかになりました。

また強震地域に埋設されていても被害率が低かったグループが存在していることも分かりました。これらのグループはPGA（Peak Ground Acceleration：最大地表面加速度）が 1400 cm/s^2 付近の強震地域に埋設されていましたが、被害率が0.5%程度であり、ほかのグループと比較して低い被害率を示しました。該当グループの管種を確認すると現行規格管がそのグループに多く存在していることが分かりました。この結果は現行規格の耐震性能が旧規格管より優れていることを示す結果と考えています。

一方でPGVが 30 cm/s 程度の低震地域において被害率が1%程度である、ほかの強震動にさらされたグループの被害率と同等の値を示すグループが確認できました。このグループの特徴的な属性を調べてみると、埋立地に埋設されている旧規格管路が多く存在していることが分かりました。つまり液状

化地域における旧規格管路の被害率が高くなることを示しています。

ここで紹介した埋設地盤環境に関する3つの傾向は、従来の定性的な地震時に被害を受けやすい地下管路の条件と同じですが、設備データと埋設環境を定量的に重ね合わせた結果は地震時における被災予測の高度化にとって重要な結果と考えています。

今後の展開

基盤設備整備を実施するトリガは、耐震対策のほかにも設備の老朽化、容量不足、中継ケーブルルート重複解消、社外工事との共同施工による経済化、支障移転などさまざまです。これらの要因を重ね合わせて効果的な対策を実施する必要があります。本技術により、耐震上の弱点個所を絞り込むことで重要ルートの信頼性向上に寄与していきたいと考えています。

参考文献

- (1) 山崎・瀬川・奥津・石田・稲村・田中：“ケーブル収容管補修技術（3000心タイプ）による既設設備の耐震性向上,” NTT技術ジャーナル, Vol.23, No.11, pp.42-46, 2011.
- (2) 山崎・瀬川・田中・岡澤・石田・岸本：“通信設備の地震時機能性評価技術の開発,”

NTT技術ジャーナル, Vol.21, No.8, pp.75-78, 2009.

- (3) 伊藤・石田・瀬川・栗林・鈴木：“特殊な構造をもった通信専用橋の耐震性評価に関する研究,” 土木学会論文集A1（構造・地震工学）, Vol.70, No.4, pp.701-709, 2014.



（後列左から）伊藤 陽/ 若竹 雅人

（前列左から）榎 克実/ 田中 宏司

大地震に対する世間の関心は高まるばかりです。地震に強い通信ネットワークを緑の下から支えるために、基盤設備の耐震技術の向上に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
シビルシステムプロジェクト
管路系グループ
TEL 029-868-6220
FAX 029-868-6259
E-mail tanaka.koji@lab.ntt.co.jp