

# 通信専用橋の耐震性能評価方法

馬場 進<sup>1</sup>・鈴木 崇伸<sup>2</sup>・森 敦<sup>3</sup>・田中 宏司<sup>4</sup>

<sup>1, 4</sup> 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: s-baba@ansl.ntt.co.jp kojit@ansl.ntt.co.jp

<sup>2</sup> 東洋大学教授 工学部環境建設学科 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100)

E-mail: Suzuki@eng.toyo.ac.jp

<sup>3</sup> 日本技術開発株式会社 (〒164-8601 東京都中野区本町 5丁目 3番 11号)

E-mail: moria@jecc.co.jp

通信地下ケーブルは道路下に埋設され、面的な広がりを持って構成されている。しかし河川等の横断区間では一時的に集約され、専用橋あるいは橋梁に添架された管路に収容される。これらが被災を受けると通信に大きな影響を与えることが予想される。また専用橋が落橋に至る被災を受ければ第三者に被害を及ぼす可能性がある。全国に約4500橋ある専用橋に対して効果的かつ効率的に耐震対策を実施するため、専用橋の重要度、必要な耐震性能の定義を設定し、耐震性能評価の手順を整理し、個々の専用橋の耐震性を簡易に評価する手法を検討した。

**Key Words :** 通信, 橋梁, 地震

## 1. はじめに

兵庫県南部地震以降、社会インフラの防災性能は大幅に見直され、稀に発生する大規模地震に対しても所定の機能が要求されている。平成14年には道路橋示方書もレベル2地震動に対して必要な耐震性を確保する内容に改定されている。このような社会の要求から専用橋についても耐震性能の向上を図る必要がある。

兵庫県南部地震も含め、専用橋は幸いにも過去に落橋等の大きな被災はなく、耐震性検討は先送りされてきた。しかし、専用橋は構造的に慣性力の影響を受けやすい。通信ケーブルの損傷はなかったが、新潟県中越地震<sup>5)</sup>、能登半島地震においても専用橋の被災が報告されている。また落橋には至らなかったが、支承部の破損により上部工が不安定な構造になった事例も報告されている。これらの事例から専用橋が通信網の弱点になることが懸念される。今回、専用橋の耐震性強化を合理的に進める手順を検討するため委員会を設置し、被災事例の分析、道路橋示方書を参考にした耐震性能の評価手順の整理を行い、個々の専用橋の耐震性能を簡易に評価する手法を検討した。

## 2. 専用橋の種別と特徴



図-1 専用橋設置状況

### (1) 橋桁の種別と特徴

専用橋は主に道路に埋設された通信ケーブルが河川等を横断するために設置される。このため図-1に示すように道路橋の近傍に設置されているのが一般的である。支持するのは通信ケーブル、管路、橋桁であり荷重は小さく、道路橋と比較すると橋桁断面の小さい軽い橋となっている。

橋桁には多様な橋種が使用されているが、NTTグループでは圧延鋼桁橋、プレートガータ橋、トラス橋、パイプ梁橋と呼ばれる4種の専用橋については社内で設計図が標準化されている。圧延鋼桁橋は溝型鋼2本を主桁とした橋で支間長20m程度の小規模の専用橋に

用いられる。全専用橋に対する設置比率は52%である。プレートガータ橋はI型鋼2本を主桁とし、支間長40m以下の中規模の専用橋に多く使用されている。設置比率は10%である。トラス橋の構造は道路橋、他の橋梁と同じである。支間長60m程度までの大規模な専用橋に多く使用されている。設置比率は2%である。パイプビーム橋は鋼管1本を主桁とし、鋼管内に管路、ケーブルを収容した専用橋である。近年になって標準化された支間長30mまでの比較的小規模な専用橋である。設置比率は6%である。これら標準化された専用橋の設置比率は全専用橋に対して71%を占めている。今回の検討は標準化された4種の専用橋に対して実施している。

## (2) 橋台の種別と特徴

専用橋は道路橋に隣接して設置されているため、道路橋と橋台を共有しているケースも多い。単独で使用する橋台には、重力式、逆T式、マンホールと橋台を兼用したマンホール兼用式がある。重力式と逆T式の形状は道路橋の橋台と代わらないが、規模は支持荷重に見合う小型のことが多い。この2種の橋台は橋桁と同様に標準化された設計図により設計可能である。設置比率も重力式が58%、逆T式が27%と高くなっている。この他にはMH兼用式橋台が15%あり、この3種でほぼ100%となる。

## 3. 専用橋の地震被災

図-2に浦河沖地震以降の主だった地震による被災状況を示した。最も大規模な被災を受けた兵庫県南部地震の被災記録が不完全ではあるが、過去の被災事例から定性的に被災の傾向を把握することは可能と思われる。

ただし、第三者被害と通信への影響を考慮し被災に重み付けをする必要がある。上部工の主桁損傷は主桁に座屈が生じている<sup>6)</sup>が、落橋もしくは通信ケーブルに損傷を与える大きな変形でない。支承損傷は図-3に破損状況写真を示した。支承が破損することにより、上部工は不安定な構造となり落橋の可能性が生じる。下部工のクラック・剥離については橋台が崩壊するような激しい損傷ではなく、落橋の危険性は少ない。橋台背面側の沈下は橋台に拘束された管路を沈下により押し下げることになるため、通信ケーブルが切断される可能性がある。橋台の移動については液状化による変形計算および道路橋の被災事例から橋桁が橋台の移動を抑制する効果があることが分かっている。このため落橋に至ることは少なく、通信ケーブルの切断に至るような変位が生じる可能性も低いと判断した。管路部は平常時に通信

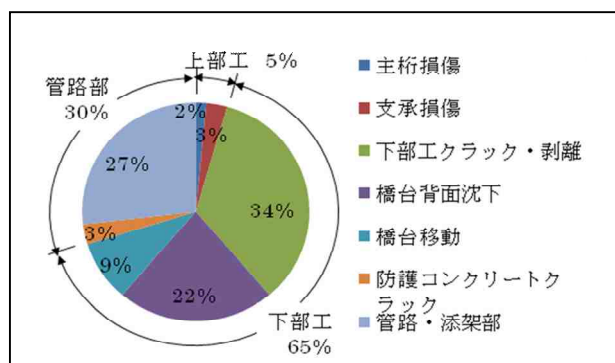


図-2 専用橋の地震被災内容



図-3 支承の破損状況

ケーブルを保護する機能を持つが、地震による破損が生じても更に外力が通信ケーブルに作用しなければ損傷する可能性は少ないと考えられる。以上のことをまとめ、支承破損3%と橋台背面の沈下22%が第三者被害の発生および通信へ影響を与える危険性の高い被災と判断した。

## 4. 専用橋に求める耐震性能

### (1) 専用橋の重要度区分

専用橋はそれぞれ設置状況や通信設備としての重要性が異なっている。災害時における通信の確保と第三者被害の防止を優先課題と考え、かつ、効率的に耐震対策を施すために設置状況に対する重要性和通信設備の重要性から専用橋をランク分けして対策を検討した。通信設備および橋の機能の重要性に応じて重要度の高い専用橋をランクA、重要度が標準的な専用橋をランクBとした。表-1に専用橋の重要度による区分として対象となる橋梁を示した。ランクAの橋梁は通信設備としての重要性和社会的影響としての重要性からA-1とA-2に分けた。

表-1 専用橋の重要度による区分

| 重要度区分  |     | 対象となる橋                        |
|--------|-----|-------------------------------|
| ランクAの橋 | A-1 | ・ とう道としての機能を有する橋<br>・ 重要ルートの橋 |
|        | A-2 | ・ 2次災害の可能性のある橋<br>・ 機能回復が難しい橋 |
| ランクBの橋 |     | 上記以外の橋                        |

表-2 専用橋の要求性能

| 設計地震動       | ランクAの橋                                                          |     | ランクBの橋                                               |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------|
|             | A-1                                                             | A-2 |                                                      |
| レベル1<br>地震動 | 耐震性能1<br>地震によるケーブルの損傷はなく、専用橋としての健全性も損なわない性能                     |     | 耐震性能3<br>地震によるケーブルの損傷が一部発生するが、専用橋としての損傷が不安定構造とならない性能 |
|             | 耐震性能2<br>地震によるケーブルの損傷はなく、専用橋としての損傷が限定的なものにとどまり、機能の回復が速やかに行い得る性能 |     |                                                      |

## (2) 専用橋に要求される耐震性能

L1地震動とL2地震動に対する要求性能を道路橋示方書を踏まえて表-2に整理した。

耐震性能1に対する専用橋の限界状態は地震力による応力が弾性範囲内に留まり、専用橋、通信ケーブルともに損傷を受けない状態とした。耐震性能2に対しては専用橋の機能回復が可能な範囲の損傷に留まり、通信ケーブルに損傷を与えない状態とした。塑性化を考慮した橋台、橋脚に塑性変形が生じ、支承部が過度の変形を生じない範囲で破損する。耐震性能3に対しては専用橋各部材に塑性変形と通信ケーブルの一部に損傷が生じるが、専用橋は不安定構造にはならない状態とした。落橋には至らないが、支承部の破損、橋台背面側の陥没、主桁の座屈等により一部の通信ケーブルに損傷が生じる。

## 5. 専用橋の耐震性評価

### (1) 上部工の耐震性評価

専用橋の耐震性評価の手順は道路橋示方書に準拠し実施した。図-2に示した被災内容から上部工の被災は全体の5%にすぎない。しかしながら、落橋に至る危険性を考えたならば、破損により上部工と下部工の連結を失い不安定構造となる支承部は弱点箇所と言える。上部工に所定の慣性力を作用させて耐震解析を行った結果からも、パイプビーム橋を除く3橋についてはアンカーボルトが、パイプビーム橋についてはリングサポートが他

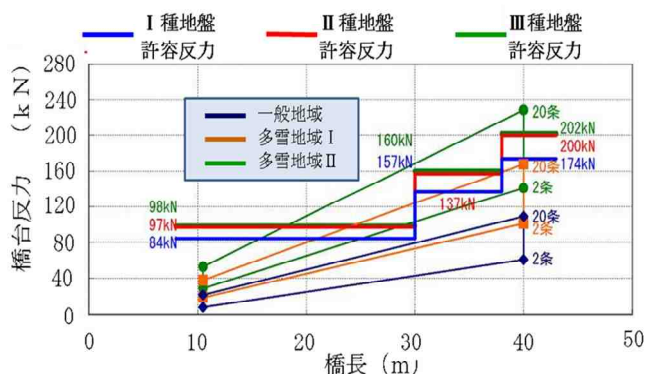


図-4 プレートガータ橋の橋長、添架条数と橋台反力の関係

の部材に比べ、必要耐力が不足することが判明した。

このことから専用橋の耐震性はアンカーボルトもしくはリングサポートの耐力と地震力の比較によって評価することとした。評価の一例としてプレートガータ橋の結果を図-4に示す。橋長とケーブル条数から求められる地震力による橋台反力と、アンカーボルトもしくはリングサポートの耐力から算出される許容反力の比較によって、耐震性の評価が可能となっている。プレートガータ橋は積雪地域を除けば許容反力が橋台反力を上回り、L2地震動による落橋の可能性は少ない。設置数の52%を占める圧延鋼桁橋については積雪地における許容反力が橋台反力を上回り、落橋の可能性は極めて低い。トラス橋、パイプビーム橋についても同様の耐震性の評価が可能となった。

### (2) 液状化による地盤の変形計算

被災率の22%を占める橋台背面側の沈下、その中でも大きな沈下が想定される地盤の液状化に対して通信ケーブルの安全性を検討した。橋台の諸元および地盤定数が地盤流動によって生じる残留変位量に与える影響を解析した。残留変位量の算定手法としては橋台および周辺地盤を一体化とした2次元FEMでモデル化し、液状化層の剛性低下を考慮した静的な残留変形解析（解析コード「ALID」<sup>1)</sup>）を用いた。「ALID」は液状化した地盤が水平方向に移動する側方流動量、液状化層の過剰間隙水圧の消散によって生じる沈下を定量的に予測する地盤の永久変形解析手法である。解析手法としてのALIDの特徴は液状化による地盤流動メカニズムを液状化発生と加振の継続、土粒子構造の劣化、液状化層の剛性低下としてとらえ、流動解析を地盤の剛性低下を考慮した静的な自重解析に帰着させた点である。解析ケースを表-3に、地盤定数を表-4、構造物の材料定数を表-5に示す。

ALIDによる解析結果の一例として、液状化層厚が残留変位に与える影響の解析結果を図-5に示す。また表-3の

表-3 ALIDによる解析ケース

| 着目する項目 | 液状化層厚<br>(底面直下) | 支間長 | 躯体高  | 橋台形式 |    |    | 基礎形式 |    | 上部工 |
|--------|-----------------|-----|------|------|----|----|------|----|-----|
|        |                 |     |      | 重力   | 逆T | MH | 杭    | 直接 |     |
| 基本ケース  | 5m              | 20m | 5m   | ○    | —  | —  | ○    | —  | —   |
| 液状化層厚  | 1m              | 〃   | 〃    | ○    | —  | —  | ○    | —  | —   |
|        | 3m              | 〃   | 〃    | ○    | —  | —  | ○    | —  | —   |
| 支間長    | 5m              | 10m | 〃    | ○    | —  | —  | ○    | —  | —   |
|        | 〃               | 40m | 〃    | ○    | —  | —  | ○    | —  | —   |
| 躯体高    | 〃               | 20m | 3.2m | ○    | —  | —  | ○    | —  | —   |
| 基礎形式   | 〃               | 〃   | 5m   | ○    | —  | —  | —    | ○  | —   |
| 上部工    | 〃               | 〃   | 〃    | ○    | —  | —  | ○    | —  | ○   |
| 橋台形式   | 〃               | 〃   | 〃    | —    | ○  | ○  | ○    | —  | —   |

表-4 解析に用いた地盤定数

|                | 想定<br>N値 | 単位重量<br>$\gamma t$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | 変形係数<br>$E_0$<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | せん断<br>弾性係数<br>$G$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 細粒分<br>含有率<br>FC(%) | 液状化に<br>対する抵抗率<br>FL |
|----------------|----------|--------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|----------------------|
| 砂質土<br>(不飽和)   | 5        | 18                                         | 14000                                 | 5400                                    | —                   | —                    |
| 砂質土<br>液状化層)   | 5        | 18                                         | 14000                                 | 5400                                    | 10 <sup>※1</sup>    | 0.7 <sup>※2</sup>    |
| 粘性土<br>(非液状化層) | 2        | 16                                         | 5600                                  | 2200                                    | —                   | —                    |
| 支持層<br>(非液状化層) | 50       | 20                                         | 14000                                 | 53800                                   | —                   | —                    |

※1 砂質土(液状化層)は「中砂」を想定し、物性値を設定

※2 液状化層の液状化に対する抵抗率FLは、FL0.7と設定

表-5 解析に用いた構造物の材料定数

| 部 材 名          | 設計基準強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 単位重量<br>$\gamma t$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | ヤング係数<br>$E$ (kN/m <sup>2</sup> ) | せん断<br>弾性係数<br>$G$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|
| 躯体 (コンクリート)    | 21                             | 23.0                                       | $2.35 \times 10^7$                | $1.02 \times 10^7$                      |
| 基礎杭 (PHC杭Φ500) | 80                             | 25.0                                       | $4.00 \times 10^7$                | $1.74 \times 10^7$                      |

解析ケースを行った結果以下のことが確認された。

- ① 液状化層の増加に伴い、橋台に生じる変位量は、鉛直方向、水平方向に増加する。
- ② 左右岸からの水平方向変位は、支間長が狭い場合にはお互いに抑制し、支間長が増加するとその効果がうすれ水平変位が増加する傾向にある。
- ③ 躯体高の増加に伴い、橋台前面側と背面側との不均衡差が増加することに起因して、水平変位量も増加する傾向がある。しかし、鉛直方向変位については大きな差が生じない。
- ④ 上部工の存在が橋台に生じる変位量（特に水平方向）を抑制する効果がある。
- ⑤ 直接基礎の橋台については、水平方向、鉛直方向共

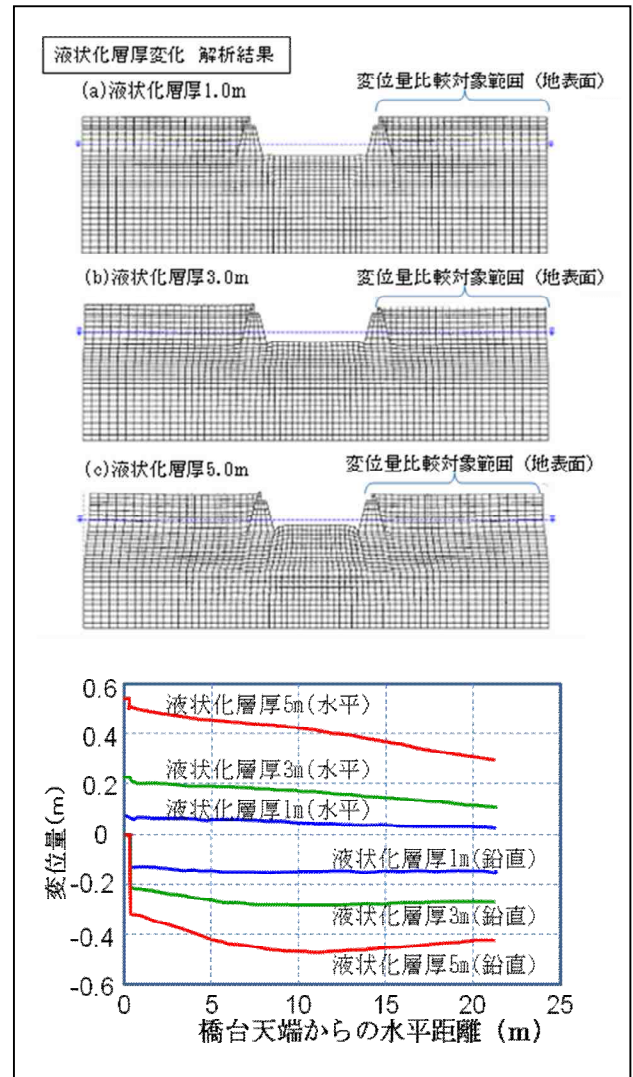


図-5 ALIDによる液状化層厚-残留変位の解析結果

に多大な変量を生じる可能性が高い。

- ⑥ 重力式・逆T式・MH兼用式の橋台形式の違いによる水平方向、鉛直方向共に有意差はない。

次に被災事例から被災が発生する沈下量の推定を試みた。沈下量が20cmを超えると被災が生じている事例はあるが、件数が少なく被災と沈下量の関係を一概に断じることにはできない。このため解析により通信ケーブル被災と沈下量の関係を求めた。

### (3) 管路の耐震性評価

不等沈下が生じやすい橋台背面側には鋼管が使用されている。このため、せん断、曲げによる破損は生じ難く、被災は沈下に伴う管路の抜け出しにより発生すると仮定した。解析モデルを図-6<sup>3)</sup>に示す。解析手順を以下に示す。完全弾塑性型の非線形ばねで支持されたはり解析により、沈下量 $\delta$ に応じた弾性線形を求める。微分方程式

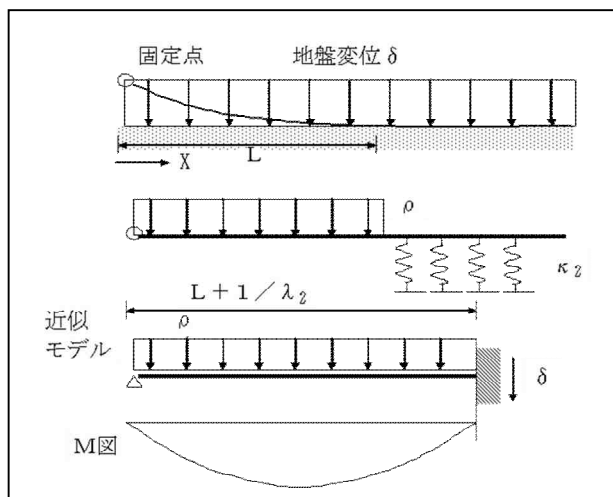


図-6 沈下に伴う管路の抜き出し解析モデル

より等分布力が作用する区間長さ $L$ とたわみ曲線 $w(x)$ が決まる。たわみ曲線を積分することにより、曲線長を計算し、元の長さ $L$ を引いた伸び量を引き出し長とする。

求められた沈下量と管の抜き出し長を図-7に示す。管の抜き出し長が5cmに達する沈下量はヒンジ端で約50cm、固定端で約70cmであり、沈下量の約10%が引き出される結果となっている。しかし、この変位量は割り増して考える必要がある。1つは通常、管路が多条布設されていることである。多条布設は管路1本の場合と比較すると地盤抵抗力が大きくなる。地盤抵抗力が大きければ、曲げ変形区間は短くなり、曲げ変形は大きくなる。その結果、管の引き出し長は大きくなる。もう1つは管路に継手部があることである。継手部の曲げ剛性 $EI$ は一般部に比べて小さくなると考えられる。曲げ剛性 $EI$ が小さくなれば曲げ変形は大きくなり、管の引き出し長は大きくなる。これらのことから引き出し長の推定結果には安全率2を見込み、沈下量の20%程度の引き抜き長が発生すると考える。

一方、橋台背面側には伸縮継手を使用され、地盤の変状に追従できる構造となっている。しかし、その機能は建設年次によって異なる。現在は1983年に導入された引き抜き量145mmの離脱防止継手を使用されており、専用橋の約3割に設置されている。1965年～1982年には引き抜き量85mmの鋼管伸縮継手とP S伸縮継手（伸縮構造は同じであるため、以下P S伸縮継手を代表とし、鋼管伸縮継手を含む）が使用され、現在も専用橋の約7割に設置される。1964年以前には温度伸縮だけを見込んだ継手もしくは伸縮が考慮されていない設備がわずかにある。離脱防止継手を使用した専用橋では橋台背面側の沈下によりケーブルが被災した報告はなく、被災はP S伸縮継手以前の設備で発生している。1964年以前の設備については許容沈下量は設定できず、沈下が想定

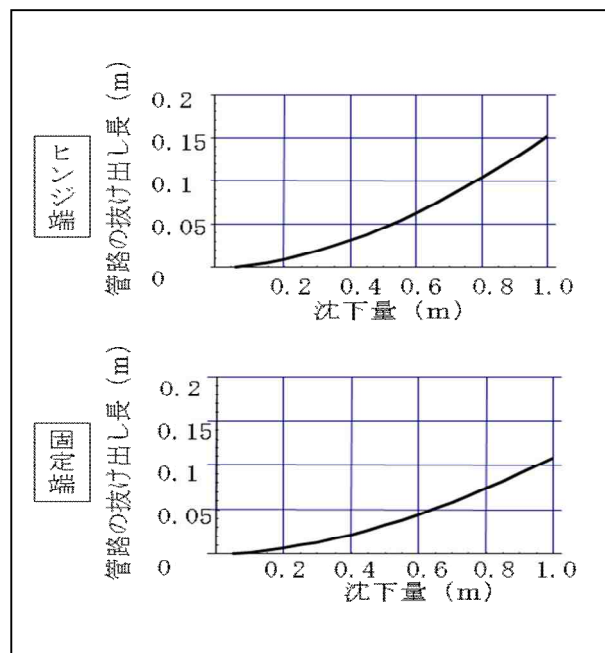


図-7 沈下に伴う管路の抜き出し長

される地盤では被災する可能性が高い。P S伸縮継手の引き抜き量から推定する許容沈下量は425mmとなるが、件数は少ないものの被災事例が沈下量200mmから発生していることを考慮し、許容沈下量は300mmとした。沈下量が300mmを超える場合には耐震対策が必要となるが、その判定方法として、液状化層厚の5%を沈下量として見込む方法<sup>2),4)</sup>を用いることとした。この方法の適正については図-5のALIDによる液状化層厚-残留変位の解析結果を踏まえて判断した。

## 6. まとめ

上部工については被災事例と解析により専用橋の弱点箇所を抽出し、耐震性能評価の手順を整理した結果、専用橋全体の71%を占める標準化された4種専用橋については橋種、橋長、添架管路条数から耐震耐力の判定が可能となった。さらに52%を占める圧延鋼桁橋は小規模であるため地震動に対して十分な耐力を有していることも分かった。耐震対策は第三者被害に対するフェールセーフも踏まえて実施する必要があるが、今回の検討結果により対策実施範囲の絞り込み、優先順位の決定が効果的に実施可能となった。

下部工については被災事例とALIDによるシュミレーション結果から検討ポイントを橋台背面側の沈下に絞込みを行った。さらに被災事例と解析によって沈下量と被災の関係を求め、専用橋の7割に使用されているP S伸縮継手の許容沈下量を30cmとした。下部工の耐震対策

は交通環境, コストから実施が困難な場合もある. しかし, 被災時における通信の確保を責務として可能な手段を用いて対策を実施して行く予定である.

現在, 今回の検討結果を基に耐震対策実施箇所を選定中であり, 今後優先順位の高い箇所から順次対策が行われる予定である.

**謝辞:** 本報告は専用橋の耐震対策委員会のH17年度および18年度の検討結果を元に作成したものであり, 委員会メンバーである東京電機大学安田進教授, 武蔵工業大学小池武教授, 通信土木コンサルタント(株)金津博部長, 森健治課長, NTT-インフラネット(株)中尾憲一郎部長, 江崎良彦主査, 本多文夫主査にご協力に感謝いたします.

#### 参考文献

- 1) 安田、吉田、安達、規矩、五瀬、増田：液状化に伴う流動の簡易評価法、土木学会論文集、No. 638/Ⅲ-49、pp71-89、1999.
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、1999
- 3) 鈴木崇伸：非線形なばねで支持されたはりの近似解析法、土木学会論文集No. 689/Ⅰ-57、109-116、2001
- 4) 下水道施設の耐震対策指針と解説2006年版
- 5) 田中、鈴木：新潟県中越地震の電話施設の被害分析、第12回地震工学会シンポジウム、2006
- 6) 馬場、鈴木、柏井、森：新潟県中越地震における通信専用橋の座屈被害分析、第12回地震工学会シンポジウム、2006

(2007. 7. 20受付)

## SEISMIC MEASUREMENT OF COMMUNICATION BRIDGE

### NTT Access Network Service Systems Laboratories

Communication Bridge is an essential facility which cables are integrated to hold in. Seismic measurement of the Bridge is, therefore, should be done with priority as a damaged bridge may cause huge influence against communication traffic or others in the worst case such as the Bridge fell. In this paper, the evaluation process for each bridge to carry easily is shown by defining of seismic ability and evaluation flow of it to correspond to some 4500 bridges efficiently in Japan