

橋梁型のライフライン施設の耐震性評価

鈴木 崇伸¹・若竹 雅人²

¹正会員 博士(工) 東洋大学教授 理工学部都市環境デザイン学科 (〒350-8585 川崎市鯨井2100)

²正会員 修士(工) NTTアクセスサービスシステム研究所 (〒302-0805 茨城県つくば市花畑1-7-1)

1. はじめに

水道、ガス、電力、通信などの都市ライフライン施設は道路下に埋設されるのが一般的であるが、河川横断区間などでは道路や鉄道と同様に橋梁構造あるいは添架管構造となっている。本報告ではこれらを総称して橋梁型のライフライン施設と呼ぶ。管路を支持する桁構造となるが、多くの場合道路橋に準じて設計計算がなされている¹⁾。本報告はこうした橋梁に準拠したライフライン施設の耐震性評価の課題をまとめている。

都市ライフライン施設は日本の高度経済成長に合わせて全国で整備が進められた²⁾。都市生活に不可欠な水の供給と排除、エネルギーの供給、通信インフラの整備が高度経済成長を支えたともいえるが、これらの設備は老朽化し、その対処が問題とされている。これらの施設の特徴は小規模で施設数が多く、設計が標準化されていることが挙げられる。またNTTのように全国レベルで施設の管理を行っている事業体と、水道のように市町村単位で施設の管理を行っている事業体もあり、管理レベルがさまざまであることも特徴といえる。

耐震診断や補強の指針は監督官庁から出されるが、その対応が十分でないケースもあり、簡易に診断でき、耐震補強を事業に組み込む仕組みづくりが必要とされていると考える。準拠している指針が同じであり、架管を支持する構造も同じであることから、業種に関係なく耐震診断フローの構築が可能であると考える。

筆者らは通信管路を対象として専用橋の耐震性評価を行う技術³⁾⁴⁾や、免震支承をもつ橋梁に添架された管路の挙動分析の研究⁵⁾を行ってきた。通信管の評価技術は管種が変わってもパラメータを変更するだけで適用可能であり、基本スキームは同じと考え

られる。本報告は通信管のこれまでの研究を概説するとともに、それらの他ライフラインへの応用の可能性について考察している。

2. 橋梁型のライフライン施設の被害

(1) 通信

橋梁型のライフライン施設の被災例として、まず著者らが分析を行ってきた通信施設の代表的なものを紹介する。写真-1は水平力に対して支承のアンカーが抵抗できず、浮き上がったケースである。ここでは軽微な損傷であるが、固定部が不安定になれば桁の移動や落橋のおそれもある。写真-2は橋台の転倒による損傷である。桁部はコンクリート橋に固定されていて損傷はなかったが、橋台部において管路が切断されている。脇にはガス管橋が設置されていたがガス施設も被害となっている。

多くみられる被災ケースが桁部の変形である。写真-3は両側の固定部から張り出した管路が途中で座屈している。また写真-4は管路を支持するH鋼が座屈した例である。また写真-5はカルバート部を通過するために地上配管となった部分が折れ曲がった例である。通常の橋梁に比べて桁部の耐力がないことが被害の特徴であり、自重が軽くスレンダーな構造になることが原因である。

道路橋などにおいては橋長の短い橋は作用する慣性力も小さいために耐震上有利とされているが、ライフライン施設は小規模な構造の場合、自重も小さくなり耐力不足になるため、独自の評価基準が必要とされる。また支承に作用する水平せん断力や橋台、橋脚の安定性に関しては、道路橋など同様のメカニズムによると考えられる。



写真-1 鋼桁橋の支承の被害



写真-5 地上配管の被害

(2) その他のライフラインの被害

水管橋の被災例を紹介する。写真-6は水管橋支承部の被害で伸縮継手部に大きな変位が生じている。地下を通過してきた管を地上に取り出すために複雑な配管となり、地下部と地上部の間に伸縮部が設置されるが、地震動が大きい場合には地盤変位と地上部の動的応答の影響を受けて接合部に大きな力がかかることになる。また写真-7はパイプビーム部分と橋脚が損傷した例である。通信施設と同様にスレンダーな構造であるため大きな水平力に抵抗できなかったことが原因と考えられる。地震被害原因を分析して適切な評価と補強が望まれる。



写真-2 橋台の被害



写真-3 管橋の被害

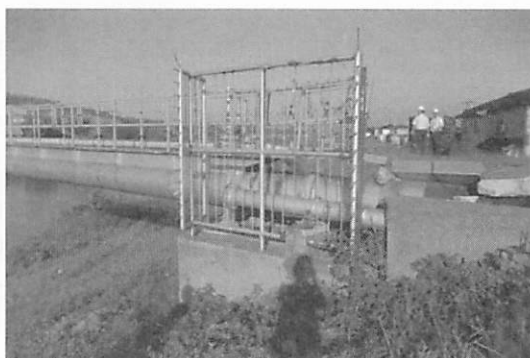


写真-6 水管橋の支承部の被害



写真-4 鋼桁橋の被害



写真-7 水管橋の桁部の被害

(3) 免震橋に添架された管の被害

最近では弾性支承を用いた道路橋が多くなっている。桁の地震時変位を大きくすることにより長周期化でき、水平慣性力を低減できる効果がある。一方で橋梁に添架された管には過大な強制変位が作用することになる。写真-8から写真-10は2007年新潟県中越沖地震の柏崎市内の添架管の被害であり、ゴム支承を用いた同じ橋の写真である。写真-8は電力管であり、取り外されているが過大な変位により管とケーブルが損傷していたと推察する。写真-9はガス管。写真-10は水道管の被害であり、伸縮継手部が破損して離脱している。

いずれの被害もゴム支承による過大な変位が被害の原因と考えられ、これらの被害を教訓に通信に関して免震橋梁用の添架方法の研究を行っている。



写真-8 電力管の被害



写真-9 ガス管の被害



写真-10 水道管の被害

(4) 津波被害

2011年東日本大震災では沿岸部に設置された多数の橋梁型のライフライン施設が被災した。写真-11は気仙大橋に添架されていた通信管の残骸である。橋桁が流出する場合には、対処不能であり、代替ルートなどを準備するしかない。写真-12と写真-13は志津川の道路橋の脇に取り付けられた通信管と水道管である。橋自体が流出していないので管も残っているが、軽量化のために硬質ビニールを用いた通信管は破損し、鋼管を用いた水道管は破損していない。漂流物の衝突によると考えられるが、今後の検討を要する課題である。



写真-11 橋桁の流出

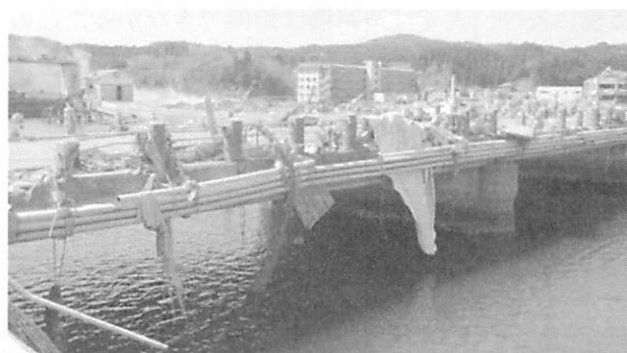


写真-12 津波後の通信管の状況

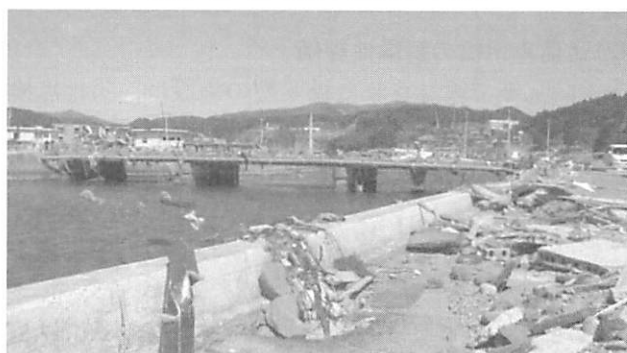


写真-13 津波後の水道管の状況

3. 通信施設の耐震性評価の研究

2章で述べた通信施設の地震被害と設計の際に準拠した道路橋示方書の変遷を受けてNTTでは橋梁型の施設の改良を加えてきた。最近の研究状況を紹介する。

(1) 通信用の橋梁型施設

日本全国に通信用ケーブルを張り巡らすために河川横断区間等に橋梁型施設が建設された。高度経済成長期には道路の建設と都市ライフラインの建設が別々に行われたため、添架構造は少なく、専用橋が多く建設された。数mから数10mに及ぶ設計を効率的に行うために構造が標準化されたが、架設区間が長い場合には個別の設計が行われている。

表-1にNTTの橋梁型施設の区分と機能を示している。専用橋には管路を支持する構造を有するものと管路自体が重力に抵抗する特殊専用橋がある。特殊専用橋は小規模なものが多いが、経済設計を目的として構造部材を省略した設計もなされていたことがある。

橋梁の計画段階から通信ルートを確認する調整がなされた場合には橋梁添架管路がつくられている。道路下から橋台を通過させ、添架金物により橋桁に固定する方式が最近では一般的になっている。橋台、橋脚部では伸縮継手を用いて相対変位の影響を緩和する構造としている。NTTの橋梁型施設は全国で4万橋に及び、古くは道路橋に添架できなかったため専用橋も3000橋程度を有している。

表-1 NTTの橋梁型施設の分類

区分		概要
専用橋	専用橋	管路を支持する構造を有し、管路自体はケーブルを防護する
	特殊専用橋	管路を支持する構造がなく、管路と補強部材が荷重を分担する
橋梁添架	—	道路橋等に管路を一定間隔で固定し、道路橋の荷重とする。

(2) 通信専用橋の耐震性評価

古い基準で設計された橋梁型の施設は、劣化点検とともに最新の基準に照らして性能照査が必要とされる。昭和の時代に多く建設された専用橋を今後も使い続けるために地震荷重の見直しを行い、安全性に懸念のある設備は落橋防止機構などの対策を施すこととしている。

専用橋に関する検討概要³⁾を説明する。表-2は重要度による分類であり、3区分に対応させて地震時の性能を設定するとともに、診断・補強の優先順にも用いている。表-3は性能区分表であり、3区分の

性能を地震動レベルと重要度に対応させている。数が多いために、対策方法の選定にも性能区分を反映させることとしている。

管路を支持する代表的な構造を選定し、道路橋示方書に従い耐震解析を行った結果、桁部で損傷する可能性は低く、支承部の耐力が不足することが判明した。支承反力は積載する管路条数におよそ比例することを確認するとともに、標準的な支承の選定基準とあわせて、簡易判定ダイアグラムを作成した。図-1に例を示す。I種地盤においてプレートガーダーで支持した専用橋では雪のない地域では地震力が耐力を上回ることはないが、多雪地域においては支承の耐力が不足する橋長と条数の条件が明示されている。地盤種別と構造ごとに同様のダイアグラムを作成し、詳細診断が必要な施設の1次スクリーニングに役立てている。

表-2 専用橋の重要度区分

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 ・重要ルート橋
	A-2	・2次災害の可能性のある橋 ・機能回復が困難な橋
ランクBの橋		上記以外の橋

表-3 専用橋の耐震性能表

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 地震動	(耐震性能1) 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		
レベル2 地震動	(耐震性能2) 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、機能回復が速やかに 行い得る性能	(耐震性能3) 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	

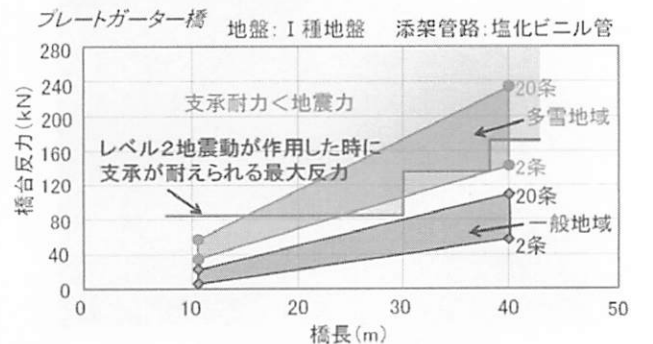


図-1 プレートガーダー橋の判定ダイアグラムの例

(3) 特殊専用橋の耐震性評価

特殊専用橋にも表-2と表-3の区分表を適用して検討している⁴⁾。架管部分は基本的にネジ接合部を溶接により補強した鋼管であり、一体化するために補剛材を取り付けている。ケーブルを収容する管に重力や地震力が作用する構造であり、専用橋に比べて安価に建設できる。支承の反力とともに桁部のたわみが問題となる。桁部がたわみやすく固有振動が発生することから、微動計測と構造解析を実施し、単純ばりと固定ばりの中間の挙動となることを確認した。図-2に構造解析の例を示す。さらに両端をバネとしたはりで近似して水平力が作用するときのたわみの評価式を作成した。評価式に基づき橋長と管路条数をパラメータに作成したダイアグラムが図-3である。専用橋と同様に不安全設備を見つける1次スクリーニングに利用できる。



図-2 桁部の解析モデル

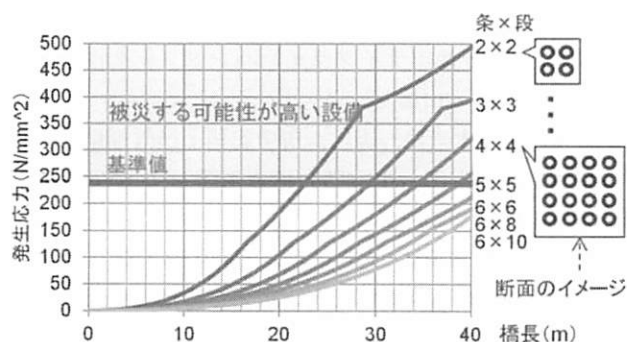


図-3 特殊専用橋の判定ダイアグラムの例

(4) 免震橋に添架された管の応答

ゴム支承を用いた橋梁が多くなってきたことと、2007年新潟県中越沖地震の他ライフラインの被災を受けて、橋梁添架管の構造の見直しを行っている⁵⁾。通信管の添架状況を写真-14に示す。道路橋下部の空間を占用し、一定間隔で管路を固定している。桁端部には伸縮継手を設置しているが、伸縮しろを上回る変位が作用すれば、管路が破損しケーブルが損傷する。

ゴム支承を用いた橋梁に添架している実績調査を行い、橋梁規模が大きいほど応答変位が大きくなることから、設計目標とする変位の値を動的解析により算定した。図-4は橋脚天端と桁端部の相対変位の

トレースを示している。橋軸方向で1m、橋軸直角方向で0.7mの動きに対応できるよう可とう・伸縮構造を考案した。さらに収容ケーブルへの影響を評価するために、加力実験・振動実験を行っている。図-5は伸縮継手の曲げ試験の様子であり、収容ケーブルの伝送特性を測っている。対策を施した状態でも同様に実験を行い、橋梁の動きに追従でき、収容ケーブルに影響のないことを確認している。免震化により、橋梁自体の安全性は向上するが、添架設備にとっては過大な変位が作用するために、適切な対策を取らなければ損傷することが一連の検討により判明した⁶⁾。



写真-14 免震橋に添架された通信管

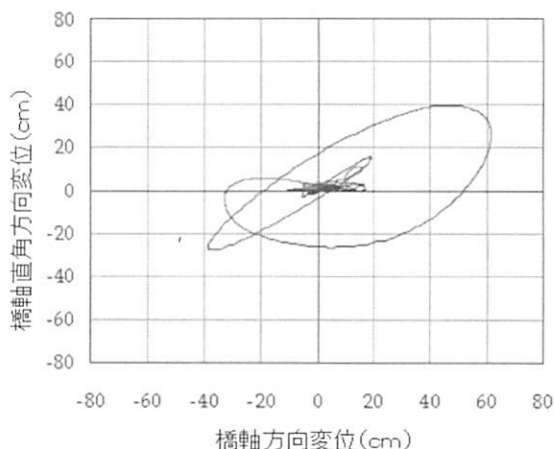


図-4 相対変位のトレース

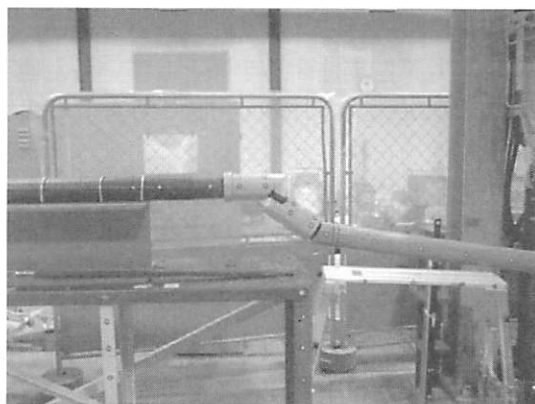


図-5 継手の曲げ試験

4. 橋梁型ライフライン施設の耐震性評価

NTTにおける橋梁型施設の耐震性評価技術の検討を元にライフライン全般の課題を考察する。

(1) 地震被害の原因

ライフライン施設は内容物とサイズの違いはあれパイプ構造が基本であり、橋梁区間においても同様の構造となる。独自の設計基準をつくることなくその時代の道路橋示方書¹⁾を引用して設計していることが多い。その結果として地震被害の要因もよく似てくる。2章で通信施設と水道施設の地震被災例を紹介したが、原因をまとめると以下のように整理できる。

- ・桁部の剛性と強度
- ・支承の強度
- ・橋台・橋脚の安定性
- ・伸縮性能
- ・流体力に対する耐力

支承の強度と橋台・橋脚の安定性は道路橋と同様の原因であるが、桁部がたわみやすいことと伸縮性能はパイプ特有の原因となる。桁がたわむことによる固有振動の影響の評価と伸縮・可とう部の設計が重要となる。なお津波の影響に関して小規模であることの有利さと不利さがあり、分析を進める必要がある。

(2) 評価技術と対策

ライフライン施設は全国に膨大な量が建設されており、管理する事業者が地域ごとに細分されている事業もある。建設時には効率化を図るために標準設計にならって同じような構造物をつくる方法がとられたが、既設の診断・補修においては個々の状態に応じて性能保証を行うことが望ましい。NTTにおいては重要度区分と耐震性能区分を設定したうえで、不安全設備をみつけるスクリーニングを行い、優先順位を決めて対策を実施する手順としている。他ライフラインにおいても同様の手順で効率よく耐震診断・補強が進められると考える。

評価と対策は内容物によって要求性能が異なる。通信ではケーブルに影響がないことが第一であり、管路の破損が直接影響するわけではない。一方、水道やガスでは水漏れ、ガス漏洩を防止することになるが、どの程度の変形に収めるかは詳細に検討し、評価技術と補強技術を整理する必要がある

(3) 今後に向けて

厚生労働省⁷⁾では水道の耐震化を進める指針を出しており、管路の耐震化も重点項目に挙げられている。水管橋に関して「水管橋、伏せ越し部など特殊形態管路についても耐震性診断の結果にもとづいて必要な補強対策等を講じる」と記述されているが、具体的な方法は示されていない。また経済産業省⁸⁾は工業用水に関し耐震対策の方針を示しているが、個別検討の必要性を示している。水管橋に関しては参照する指針類が列举されている。事業体においてもたとえば東京都⁹⁾はガイドラインを公表しているが、池状構造物の評価法が中心であり、水管橋は基本的な考え方が記述されているだけである。

このような状況から、耐震対策の実施は事業者任せになっており、対策実施の必要性は感じながらも実施手順も決められない状況が推察される。そこで構造を大別して、不安全設備を簡易に見つけられる判定ダイアグラムがあれば、検討対象とする数量が把握でき、耐震化が推進できると考える。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書（各種年代）。
- 2) 土木学会編：都市ライフラインハンドブック（通信の章）、丸善、2010。
- 3) 馬場進，鈴木崇伸，森敦，田中宏司：通信専用橋の耐震性能評価方法、土木学会構造工学論文集Vol.54A、pp.305-314、2008.3。
- 4) 伊藤陽，石田直之，瀬川信博，栗林健太郎，鈴木崇伸：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、2014。
- 5) 田中宏司，鈴木崇伸，岩田克司，山崎泰司：通信管路の免震橋梁への添架方法に関する研究，土木学会論文集A1(構造・地震工学) Vol. 65、99.737-747、No.1、2009。
- 6) 田中宏司，山崎泰司，石田直之，鈴木崇伸，杉山俊幸：ケーブル防護機能を考慮した通信管路の耐震対策，土木学会論文集A1(構造・地震工学) Vol. 69 No.4、2013。
- 7) 厚生労働省：水道の耐震化計画等策定指針、2008.3
- 8) 経済産業省：工業用水道施設更新・耐震・アセットマネジメント指針、2013.3。
- 9) 東京都水道局：東京都水道局耐震設計ガイドライン、2013。