

通信専用橋の耐震耐力評価について

日本電信電話株式会社 正会員 ○石田直之

同上 正会員 山崎泰司

株式会社エイト日本技術開発 正会員 岩田克司

東洋大学 理工学部 正会員 鈴木崇伸

1. はじめに

NTTの通信管路が河川を横断する方法には、道路橋に管路を添架する橋梁添架と、管路の河川横断を目的として、NTT独自の通信専用橋を構築する方法がある。

阪神淡路大震災以降、社会インフラの防災性能が大幅に見直され、橋梁構造物にはレベル2地震動に対する所定の機能が要求されるようになった。NTTにおいても、道路橋の免震化に伴う添架方法や、一般的な専用橋の耐震対策を検討し、対策を実施してきている。一方で、専用橋には、高度成長期に経済設計として構築された特殊な構造をもつものが存在する。これらの専用橋は、道路橋示方書改定以前に構築された設備であり、レベル2地震動を考慮した設計はされていない。よって、今後発生し得る大規模地震を想定した場合には、被災による通信サービスへの影響が危惧される。

本稿ではその一例として、鋼管結束橋の耐震耐力を評価した結果について報告する。鋼管結束橋は、鋼管と平鋼(結束板)を溶接し、ケーブルを収容する鋼管自体が荷重を受け持つ構造である。よって、劣化や地震による被災が通信サービスへ大きな影響を与える可能性がある。

2. 振動計測による振動特性の把握

鋼管結束橋はケーブルを収容する鋼管を軸方向に溶接して繋げ、鋼管同士を結束板と溶接して一体とし、一定間隔で橋軸直角方向に補剛板を設置した構造である。このため、結束板が桁断面の一部であるとともに、結束板と鋼管で応力の伝達が行われる複雑な構造となっている。そこで、鋼管結束橋の振動特性を把握し、解析モデル作成に反映させることを目的として、振動計測を実施した。計測対象とした橋の写真を図-1に、計測データを基に作成した振動モードを図-2に示す。



図-1.鋼管結束橋

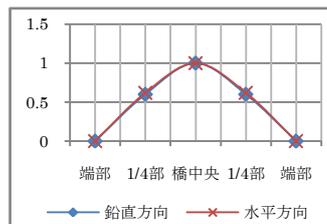


図-2.振動モード図

モード図では、橋の端部、1/4部、中央部の各計測点に

おいて変位波形のパワースペクトルをとり、中央部を基準としてピーク振幅の比を示した。計測結果より、対象とした鋼管結束橋は中央部での変位が最も大きい1次モードが主要モードとして卓越する構造物であり、卓越振動数は水平方向が3.10Hz、鉛直方向が3.54Hzであることが判明した。

3. 解析モデルの検討

計測結果を基に解析モデルを作成した(図-3)。モデル化の範囲は支承部及び桁部とし、桁部のうち、鋼管は3次元線形はり要素、結束板は3次元線形板要素、両端支承はバネ要素でモデル化した。単位体積重量はモデル全体で一律とし、解析モデルの支点反力が桁の総重量と一致するように設定した。両端の支承は固定-可動支承とし、道路橋示方書に準じてバネ定数を表-1のように設定した。作成した解析モデルに関して固有値解析を行った結果、固有振動数、振動モードともに計測結果と一致し、妥当性が確認された。

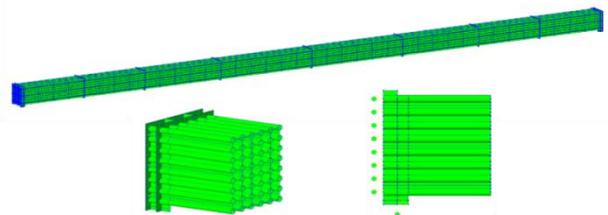


図-3.解析モデル

表-1. 支承バネモデル条件

	橋軸方向	水平方向	鉛直方向	橋軸回り	水平軸回り	鉛直軸回り
固定側	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+00	1.0E+00
可動側	1.0E+00	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+00	1.0E+00

(単位:kN/m, kN・m/rad)

4. 動的解析に基づく耐力照査

作成した解析モデルを基本として、管路条数及び支間長をパラメータとして動的解析を実施した。解析ケースは実在する鋼管結束橋のデータを元に、表-2のとおりパラメータに関して特徴的な4ケースを設定し、水平方向に地震動を入力した場合の鋼管一本あたりの応力照査を行った。

入力地震動は道路橋示方書に準じたレベル2地震動とし、解析ケースに対して最も不利となるタイプ2のI種地盤の地震動を入力した。また、レベル2地震時の上部構造や支承

キーワード 専用橋, 耐震, 評価, 管路, 動的解析, 照査

連絡先 〒305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1 NTTアクセスサービスシステム研究所 石田直之 029-868-6242

によるエネルギー吸収を考慮し、道路橋示方書を参照して1次モード及び2次モードで減衰定数が3%となるようなレーリー減衰を採用した。許容値については、実際に用いられている鋼材(SS400)の許容応力度に地震時割り増し係数 1.7 を乗じた値を用いた(許容曲げ応力度 238N/mm², 許容せん断応力度 136N/mm²)。

表-2.解析ケース

解析ケース	管路条数(条×段)	径間長(m)
多条・短径間	15条(3条×5段)	10.4
少条・短径間	4条(2条×2段)	5.7
多条・長径間	48条(6条×8段)	38.0
少条・長径間	4条(2条×2段)	24.6

鋼管及び結束板における照査結果を表-3 に示す。「多条・長径間」以外のケースは、桁端部及び桁中央部ともに、全て発生応力が許容応力度を下回っており、耐震性能は満足していると考えられる。一方で、「多条・長径間」のケースは桁端部において、許容値を超える大きな曲げ応力が発生している。せん断応力については、全ケースで許容応力度を大きく下回っている。したがって、鋼管結束橋は軽いため、せん断変形によって損傷しない構造であると考えられる。

表-3.動的解析 照査結果

検討ケース	鋼管		結束板		
	曲げ応力	せん断応力	曲げ応力	せん断応力	
桁端部	多条・短径間	32	1.9	7	2.5
	少条・短径間	5	0.3	1	0.7
	多条・長径間	451	51.5	208	67.4
	少条・長径間	178	4.4	112	19.9
桁中央部	多条・短径間	8	0.5	9	0.8
	少条・短径間	1	0.1	2	0.2
	多条・長径間	133	6	153	11.2
	少条・長径間	57	0.6	107	3

(単位:N/mm²)

5.桁端部の鋼管に関する非線形解析

動的解析では「多条・長径間」の桁端部において、曲げ応力が許容応力度を超える結果となった。これは、鋼管の一次振動に加え、水平に取り付けられた結束板の変形が、間に挟まれた鋼管を更に変形させているためと考えられる。このため、桁端部の鋼管に関して、材料非線形性を考慮した解析を実施し、鋼管降伏後の地震時挙動を詳細に把握した。

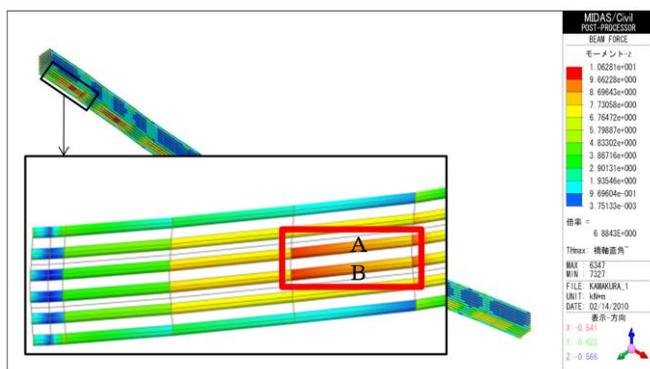


図-4.「多条・長径間」における曲げモーメント図

非線形性を考慮する部材は、特に高い応力が発生した固定支側下面端部の鋼管とし、ファイバー要素でモデル化した(図-4)。解析により得られる鋼管の軸方向歪みについて照査した結果を表-4 に示す。

表-4.非線形解析 照査結果

要素	断面	最大引張歪み ϵ_T	ϵ_T / ϵ_y	最大圧縮歪み ϵ_C	ϵ_C / ϵ_y
A	固定端側	3.16E-03	2.7	3.52E-03	3.0
	桁中央側	2.25E-03	1.9	2.46E-03	2.1
B	固定端側	2.82E-03	2.4	3.72E-03	3.1
	桁中央側	2.11E-03	1.8	2.65E-03	2.2

(1)引張歪み

鋼管の引張方向における最大歪みは 3.16×10^{-3} であり、使用されている鋼管の最大伸び量(JIS-G3452:縦方向 30%以上, 横方向 25%以上)と比較して十分小さい値であるため、鋼管に発生する引張歪みは破断に至るものではない。

(2)圧縮歪み

鋼管の圧縮方向における最大歪みについては、降伏歪みに対して何倍の歪みが発生しているかで照査を行った。鋼管の降伏歪み ϵ_y は、降伏応力度 $\sigma_y = 238 [N/mm^2]$ より $\epsilon_y = 1.19 \times 10^{-3}$ となる。「鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン(日本鋼構造協会)」によれば、鋼材における地震後の損傷度を照査する基準として、部材健全度 2(軽微な損傷)は $\epsilon_C \leq 2 \epsilon_y$, 部材健全度 3(限定的な損傷/補修・補強により再使用可能)は $\epsilon_C \leq 8.4 \epsilon_y$ としている。鋼管に発生する最大歪みは健全度 3 を超過しないことから、地震時に生じる損傷は限定的であり、修復可能な範囲にあると考えられる。

以上のことから、鋼管結束橋の端部にはレベル 2 地震時に局所的に大きな断面力が発生するものの、鋼管の最大歪みは降伏歪みの 3 倍程度であることから損傷は限定的であり、修復が可能な範囲であることが確認された。

6.まとめ

今回検討対象とした鋼管結束橋は、耐震耐力が不明であり、レベル 2 地震動を考慮した設計はなされていないため、地震動と共振することにより桁自体が破壊する恐れを孕んでいた。解析により、小規模な橋に関しては地震時に受ける慣性力も小さいため、被災する可能性は低いことが判った。しかし、「多条・長径間」のケースでは、桁端部において鋼管の許容応力度を超えており、限定的ではあるが局所的な変形が発生する可能性が確認された。

7.今後の予定

今回の検討では、健全体の鋼管結束橋の耐震耐力評価を行った。しかし、実際の設備は、常時微動による継手の緩みや経年劣化による耐力の低下が懸念される。また、地震動により護岸に永久変位が生じた際の橋への影響についても別途検討が必要である。これらの影響を明らかにし、対策が必要な設備に対して事前に耐震対策を施す予定である。