

地震時の塑性化を許容した変位拘束ケーブルとすべり支承の連続桁橋への適用

京都大学工学研究科 学生会員○栗野 翔太
オイレス工業(株) 正会員 宇野 裕恵

京都大学防災研究所 正会員 五十嵐 晃
神鋼鋼線工業(株) 正会員 榎 一平

1. はじめに

道路高架橋の耐震性能確保のための構造形式として、多径間連続桁橋の上部構造をすべり支承で支持し、各径間に塑性変形を許容する変位拘束ケーブルを付加した構造システムの検討を行った。簡易な構造モデルを用いてレベル2地震に対する耐震性能の確保を目的とした場合の設計上の現実性を検討するため、ケーブルの設定パラメータによる地震応答特性の傾向を検討した結果について述べる。

2. ケーブル制震すべりシステムの概要

想定した構造システムを図1に示す。多径間連続桁は全ての橋脚においてすべり支承で支持され、桁一橋脚間に変位拘束ケーブルを橋軸方向に配置した構造となっている。変位拘束ケーブルの剛性の設定とすべり支承の摩擦により、常時の桁の温度伸縮変位への対応、地震時の水平反力分散、長周期化とエネルギー吸収による地震力低減が期待される構造である。さらに、レベル2地震時の変位拘束ケーブルの塑性変形を許容することによりケーブルによるエネルギー吸収性能付加の効果と必要ケーブル長の短縮を図ることで、このような構造の設計上の優位性や実現性を高めることができる可能性が考えられる。本構造システムは、現在広く用いられているゴム支承に関わる、温度依存性・載荷履歴依存性・速度依存性や新規設置または更新のコスト等の課題に対応するための、設計上の他の選択肢とすることを意図している。

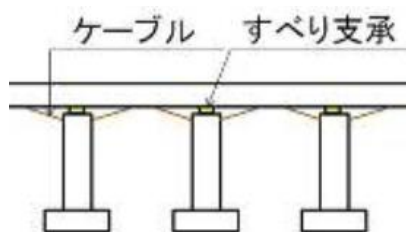


図1 変位拘束ケーブルとすべり支承を用いた連続桁橋

3. 変位拘束ケーブルの特性とモデル化

変位拘束ケーブルとして想定したPC鋼より線(7本より線, 外径12.4mm)の引張試験データに基づく応力ひずみ関係のモデル化¹⁾に、破断点を別途考慮したペンタリニアモデルを図2のように設定して用いた。破断時ひずみは7%, 応力は最高荷重点における応力の95%の値を仮定している。ケーブルの端末金具を含む定着効率は単純化のため考慮していない。

さらに、地震時の繰返し変位に対しては、引張側のケーブルのみ抵抗し圧縮側のケーブルは抵抗しないものとする。また、引張時の降伏点を越えたひずみ領域では、ケーブルの塑性ひずみが残留ひずみとして蓄積し、除荷時には初期剛性でゼロまで戻る、スリップ型の履歴法則を仮定した。

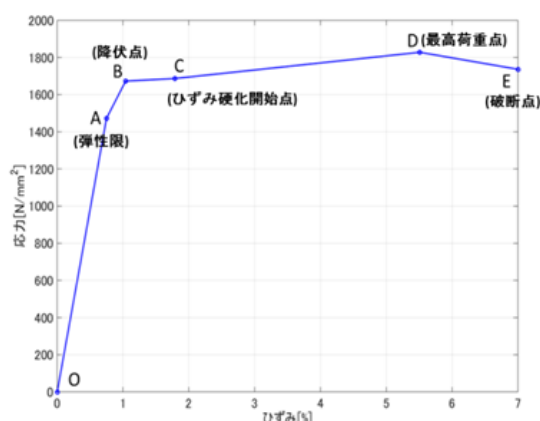


図2 ケーブルの応力-ひずみ関係のモデル

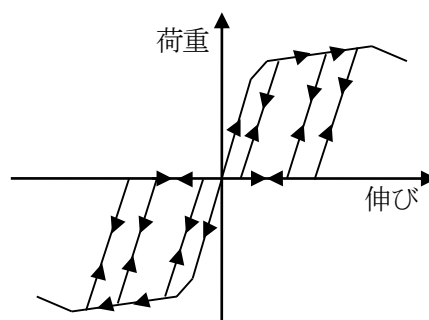


図3 左右側ケーブルの荷重-伸びの履歴モデル

キーワード 多径間連続桁, PCケーブル, スリップ型履歴, すべり支承, エネルギー吸収, 非線形動的解析
連絡先 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所 都市耐水研究領域 TEL 0774-38-4137

4. 解析モデル

全長 287m の 11 径間連続桁橋への適用を想定し、非線形時刻歴応答解析を実施した。単純化のため上部構造と橋脚天端の各々の橋軸方向応答を 2 つの自由度とした 2 質点系としてモデル化し、すべり支承は $\mu=0.14$ の摩擦履歴モデル、変位拘束ケーブルには前述のスリップ型ペンタリニアモデル、橋脚はバイリニアモデルを用いて復元力特性をモデル化した。荷重、復元力、剛性、質量はすべての径間の合計値とし、1 つの部材として集約した。

ケーブルの特性値に関するパラメトリックスタディのため、ケーブルの片側 1 径間あたりの本数(総断面積)および長さの組み合わせを、3 種類の 1 次モードの固有周期 $T=1.1s, 1.25s, 1.4s$ に対し 12 ケースずつ設定し、最大応答の変化を比較する。設定したケーブル総断面積とケーブル長さの関係を図 4 に示す。入力地震波は道路橋示方書のレベル 2 の標準加速度波形 18 波を用い、各タイプ、地盤種別ごとに 3 波平均の結果で整理した。数値積分法には Newmark の β 法($\beta=1/6$)を適用し、積分時刻は $0.01s$ とした。

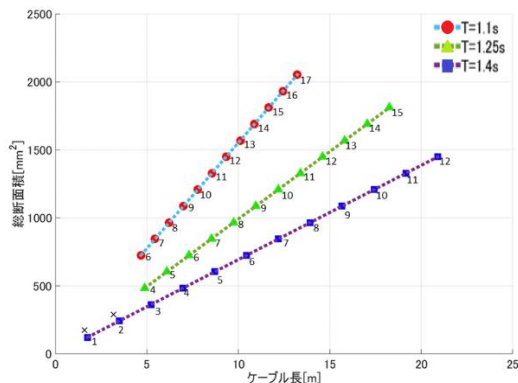


図 4 計算ケースとケーブル長・総断面積

5. 解析結果

ここでは、代表としてタイプ II 地震動の I 種地盤に関する結果のみを示す。各解析ケースについて、横軸を橋脚最大塑性率、縦軸を上部構造最大変位としてプロットした結果の例を図 5 に示す。ケーブルに破断が生じたケース(×印)を除外すると、橋脚最大塑性率および上部構造最大変位の設計上の要求を満足することは可能と見込まれる。

ケーブルの降伏耐力とシステムのエネルギー吸収量(すべり支承とケーブルのエネルギー吸収量の合計)の関係を図 6 に示す。図 7 に示すように、システムのエネルギー吸収量が大きいほど橋脚の最大応答塑性率が低減

される傾向がある。

ケーブルの長さや断面積の設定によるシステムのエネルギー吸収量や変位、橋脚の応答塑性率の変化を検討すると、本解析例では、橋脚 1 本あたりのケーブルの降伏荷重の橋脚降伏耐力(2810kN)に対する比が 0.7~0.9 の範囲の場合に最も望ましい地震応答低減効果が得られている。この降伏荷重に関する比の値は、用いるすべり支承の摩擦係数の値によっても変化するものと考えられる。

さらにケーブル長の選択による橋梁の弾性固有周期およびケーブルの降伏変位の変化により、全体系の最大応答への影響を評価できるものと考えられる。

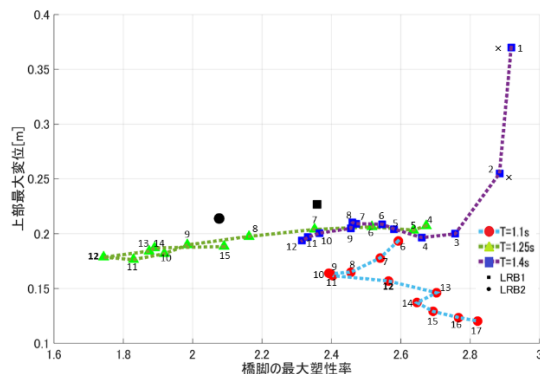


図 5 橋脚最大塑性率—上部構造最大変位

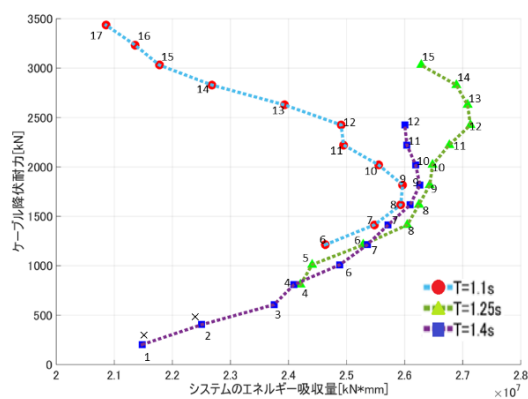


図 6 システムのエネルギー吸収量—ケーブル降伏荷重

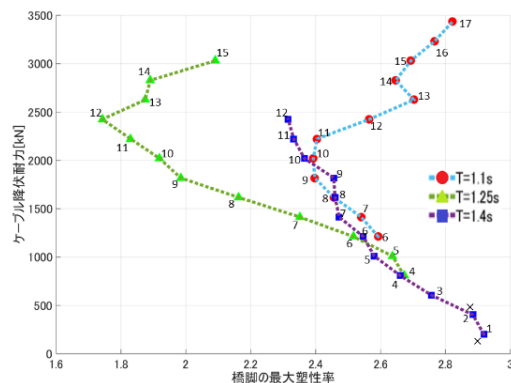


図 7 橋脚最大塑性率—ケーブル降伏荷重

参考文献 1) 日本建築学会構造委員会：コンクリート構造(PC, PRC)部材の靱性設計手法と耐震架構への応用, 1997.