既設吊橋のレベル 2 地震時における耐震性評価

西日本高速道路(株)　正会員　今村　壮宏　熊本大学大学院　正会員　松田　泰治
(株)ドーユー大地　フェロー会員　坂手　道明　正会員　○松田　宏
(株)横河ブリッジ　小深田　祥法

１．目的

検討対象の関門橋(支間構成 178+712+178m の鋼 3 径間吊橋)は，建設より 40 年以上経過しており，供用期間中に発生確率は低いが大きな強度を有するレベル 2 地震動に対する耐震設計はなされていない. 吊橋は長周期構造であり，長周期化による免震効果で地震時の影響は比較的小さいと考えられてきたが，側径間が 200m 未満で比較的短周期構造のため，橋軸直角方向に対して慣性力の増大とともに，補剛桁，床トラス等の主構及び横構，ウィンドタングシステム，橋台支承などが損傷する可能性があることがわかってきた [1)]．本稿は，さらに損傷が生じる可能性のある主塔，橋台支承取付け部（アンカーフレーム等）の挙動についても着目し，各部位の損傷状況を整理した.

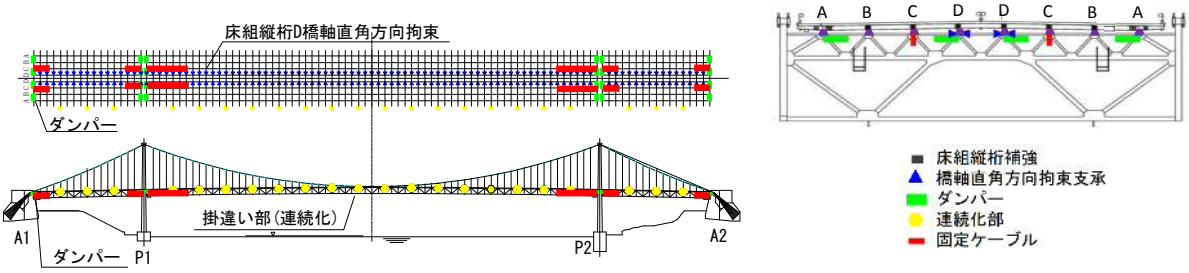


図-1　対象橋梁とケーブル併用制震システム構造

２．解析条件

解析モデルは 3 次元モデルとし，**図-1** に示すケーブル併用制震システムの各種非線形性を考慮してモデル化した. また, ウィンドタング周辺の挙動把握のためウィンドタングに隣接する部位を 3 次元弾性シェル要素, ウィンドタングと主塔，アンカレイジへの連結部を**図-2** に示すとおりモデル化した．補剛桁，床トラス垂直材についても塑性化が考えられる範囲はファイバー要素でモデル化した. 横構はガセットとの取付け状況より軸力部材でモデル化し，**図-3** のとおり圧縮座屈を考慮できる若林モデルにより復元力特性を設定した [2)].

３．粘性減衰力のモデル化

対象橋の主要な固有振動数，モード減衰定数の関係を**図-4** に示す．本検討では Rayleigh 減衰を用いることとし，橋梁全体系の応答が支配的となる中央径間，側径間の補剛桁及び主塔の振動モードの範囲に着目して，刺激係数の大きい次数を選択し，α, β は最小 2 乗法により設定した [3)].

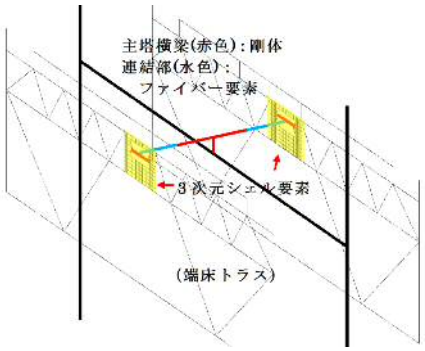
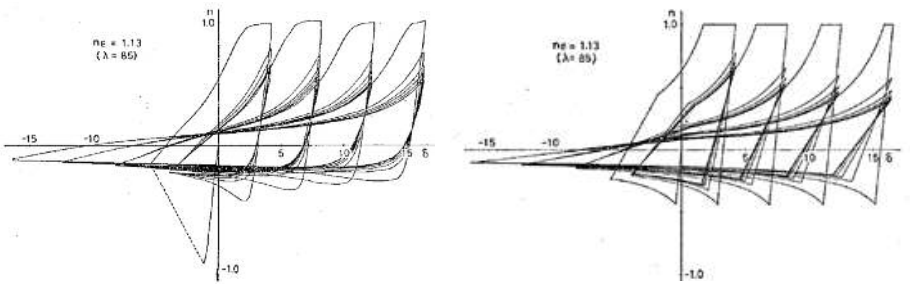


図-2　解析モデル図（主塔付近）



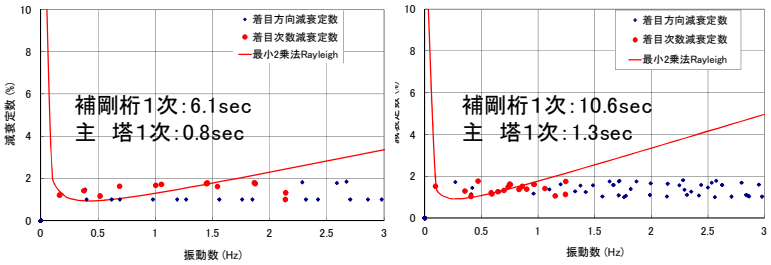
(a) 長方形断面筋違の交番繰返し載荷実験例　　(b) 動的解析に用いる復元力モデル

図-3　若林モデルによる横構のモデル化

キーワード　吊橋，ノージョイント，ウィンドタング，補剛桁，アンカレイジ水平支承，圧縮座屈
連絡先　〒336-0017　埼玉県さいたま市南区南浦和 2-25-1　(株)ドーユー大地　東京支店構造技術部　TEL　048-711-4810

4．解析結果

死荷重，プレストレス力および温度変化±30 度による初期断面力を考慮し，標準波形を用いて，橋軸方向及び橋軸直角方向に対して非線形動的解析を行った．弾性挙動する部材は道示Ⅱ鋼橋編により照査を行い，非線形性を考慮した部材については塑性率を確認した．



(a)橋軸方向　　(b)橋軸直角方向

図-4　Ray-leigh 減衰の設定

表-1 に塑性化に至る部材の一覧を示す．主部材である補剛桁上弦材，床トラスは，橋軸直角方向加震時に軽微な損傷が生じる．主部材以外の上下横構は，側径間の桁端部付近において圧縮座屈により強度が低下し，床トラスの上下弦材に残留変形が残る可能性があることがわかった．一例として，入力波形Ⅰ－Ⅰ-3 による最終ステップでの下弦材の残留変形状況を**図-5** に，下横構の応答履歴を**図-6** に示す．

主塔については，縦リブ剛度，ダイヤフラム間隔が道示の規定を満たしていないが，実構造は耐震設計上の照査断面より縦リブ剛度が高い．ウィンドタング連結部との結合部付近は塑性化率が高く，局部弾塑性 FEM 解析による検証が必要である．

センターステイケーブルは塑性化するが，メインケーブルと補剛桁間の剛性が低下し全体系の挙動として長周期化するため，補剛桁等の損傷は生じない．なお，メインケーブル，ハンガーケーブルは許容安全率を確保している．

橋台水平支承は，塑性化により過大な水平力はアンカーフレームに作用しないが，鉛直方向はアンカーボルトが降伏軸力を超過する可能性がある．

表-1　解析結果

構造要素	部材等（着色部は塑性化を考慮）	橋軸方向	橋軸直角方向加震時
補剛桁	上弦材	なし	側径間の標準断面で 1.17 εy
	上横構	なし	(側径間)δmax/δy=8.9 残留変位：102mm
	下横構	なし	(側径間)δmax/δy=11.4 残留変位：122mm
床トラス	上・下弦材	なし	(側径間)端床トラスで 1.4 εy
	垂直材	なし	標準断面で 1.75 εy
ケーブル	センターステイケーブル	塑性化するが破断には達しない	なし
主塔	塔柱	なし	縦リブ剛度不足 ダイヤフラム間隔：大
	上水平材		
	下水平材	なし	縦リブ剛度不足 ダイヤフラム間隔：大 ウィンドタング連結部との結合部で塑性化
	斜材	なし	縦リブ剛度不足 ダイヤフラム間隔：大
ウィンドタング	連結部	なし	塑性化(6.7 εy)するが破断荷重には達しない
アンカレイジ	水平支承	塑性化するが破断には達しない	塑性化するが破断には達しない
	鉛直支承(アンカーフレーム)	なし	アンカーボルトが塑性化
弾性固定ケーブル	軸ひずみ	塑性化するが破断には達しない	なし

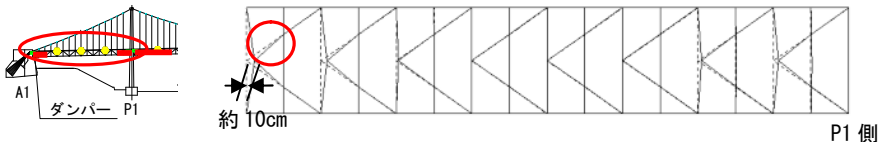


図-5　残留変形状況（側径間側床トラス下弦材）

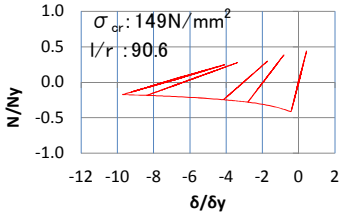


図-6　下横構の応答履歴(桁端○部材)

5．まとめ

橋軸方向に対しては，ケーブル併用免制震システムの効果により耐震性を確保できると考えられる．一方，橋軸直角方向については，特に短周期成分が卓越する側径間に損傷が集中する可能性がある．道示 V では，鋼上部構造は弾性域に留めることが望ましいとしているが，横構は耐力低下により，主部材の損傷を軽微なレベルに留める効果も有しているため，大規模地震後の修復性に配慮して，最小限の損傷に留めるよう補強計画を検討する必要があると考えられる．

参考文献　1)松田他：既設吊橋の大規模地震時挙動に関する解析的研究，第 35 回地震工学研究発表会講演論文集，2015.10　2) 若林他：鉄骨筋違の履歴特性の定式化－その 1 定式化関数の誘導－，日本建築学会論文集第 316 号,1982.6　3)(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編に関する参考資料，2015