

ケーブル併用制震すべりシステムを適用した既設吊橋の 非線形時刻歴応答解析における解析時間短縮による応答への影響

西日本高速道路エンジニアリング九州(株) 正会員 ○坂田裕彦 正会員 松田哲夫
熊本大学大学院 正会員 松田泰治 西日本高速道路(株) 非会員 今村壮宏
オイレス工業(株) 正会員 宇野裕恵 (株)ドュー大地 正会員 松田 宏
JIPテクノサイエンス(株) 非会員 打越丈将 神鋼鋼線工業(株) 正会員 榎 一平

1. 目 的

吊橋の耐震性を適正に評価するには、全部材を多質点系モデルとして構造系の特性を極力忠実に反映させた立体解析モデルの活用が望ましい。しかし、検討対象橋の節点数は約 10,000 点と多く、例えば標準地震波 I - I - 3¹⁾の継続時間は 240 秒と長いので解析に多大な時間を要する。しかも、検討段階での解析ケースは、制震ダンパーの抵抗力、すべり支承の摩擦係数、固定ケーブルの抵抗力と長さ、温度変化等の種々のパラメータにより相当に多い。このため解析時間は膨大になり、実質的な検討は不可能である。そこで、最大応答を短時間で精度よく把握することを目的として、地震波の主要動近傍の時間に着目して解析の効率化を図った。本論文では、標準地震波 I - I - 3 について加速度が大きい主要動に至るまでの時間も含めて 90 ～ 110 秒間を検討用波形として選定し、その妥当性を検討した結果を報告する。

2. 対象橋

検討対象橋は図-1に示す支間 178 + 712 + 178 m の鋼 3 径間吊橋である。本橋は支承の機能を回復させると共に、常時・地震時の床組トラス上弦材の断面性能を確保すること等を目的として、図-1に示すように床組縦桁を支間毎に全連を連結して一体化した。すなわち、支承にはすべり支承を用い、さらに常時・地震時の残留変位の抑制等の観点からアンカレッジや主塔に制震ダンパーおよび固定ケーブルを連結し、床組(重量 10,500tonf)の水平力を主塔に直接伝達させている。

3. 入力地震波の解析区間の検討

図-2に地震波 I - I - 3 の全波形とその 90 ～ 110sec の解析区間を示す。両者の加速度応答スペクトルは図-3に示すように極めてよく一致している。そこで、本橋に対する適用性を確認するため、橋軸方向地震による応答を比較した。中央径間の補剛桁、床組縦桁、主塔、制震ダンパーおよび固定ケーブルの応答をそれぞれ図-4、図-5、図-6、図-7および図-8の(a)に示す。ここで、80 秒以下および 120 秒以上の応答は小さいので同図では省略した。さらに、時刻毎の時間短縮による応答の差異をそれぞれ同図の(b)に示す。

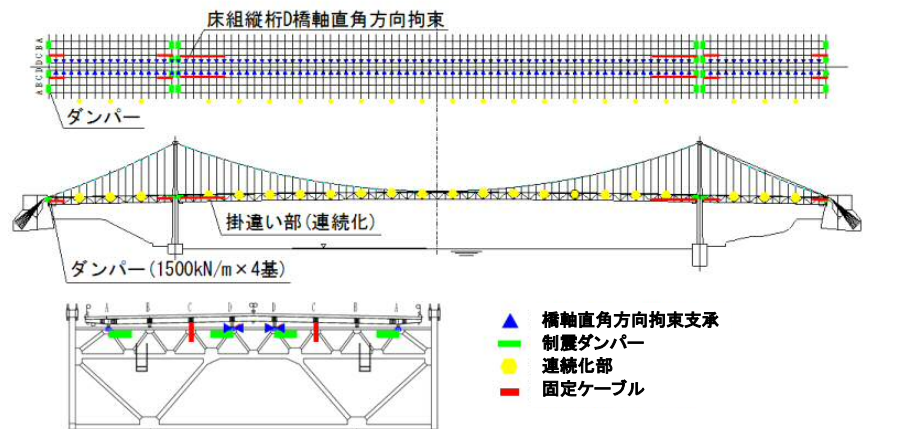


図-1 耐震補強構造

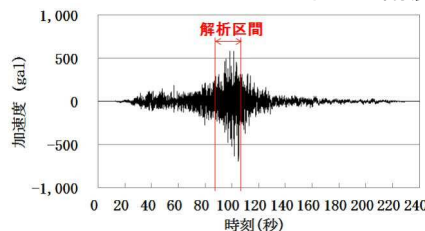


図-2 地震波 I - I - 3 と解析区間

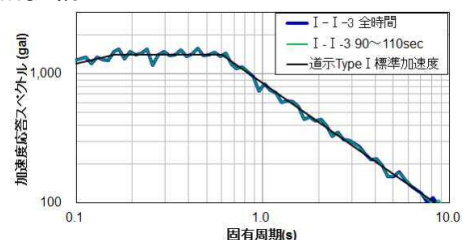


図-3 加速度応答スペクトル

キーワード 吊橋、桁連結、制震ダンパー、すべり支承、固定ケーブル、耐震補強

連絡先 〒810-0073福岡市中央区舞鶴1-2-22天神ジャパンビル 西日本高速道路エンジニアリング九(株) TEL 092-771-1434

4. 応答値の評価

全時間と短縮時間との応答の差異は非常に小さいが、以下の相違が見られる。

① 補剛桁やすべり支承の応答変位には、全時間にわたって有意な差異があまり見られず、最大値を示す同時刻で補剛桁は 5%程度、すべり支承は 4%程度である。

② 主塔の応答加速度は初期時刻帯(90 秒)で若干大きくなっているものの、数秒後にはほとんど差異は見られなくなっており、最大値や最小値を示す時刻で 1%程度以下である。

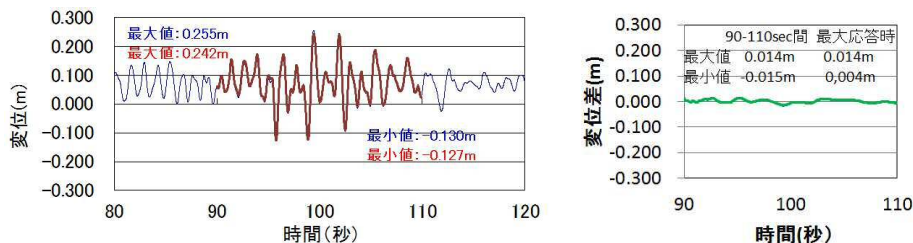
③ 制震ダンパーの応答抵抗力は初期時間帯でこそ差異が大きいですが 2 ～ 3 秒後にはほぼ同じとなり、その後の継続時間の所々で瞬間的な差異が生じるが、最大値を示す時刻で 2%程度以下である。これは抵抗力が速度の 0.1 乗則に比例することにより、速度が小さくても応答抵抗力が大きく、ゼロ近傍で抵抗力が急変するためである。

④ 固定ケーブルの応答変位は初期状態で有意な差異が生じるが、時間と共に差異が解消されていく傾向にあり、最大値を示す時刻で 1%以下である。これは、固定ケーブルは線形なばね特性を有することにより徐々に安定するためと思われる。

以上より、本対象橋の耐震性の検討に地震波 I - I - 3 を用いる場合、90 ～ 110 秒区間の波形を用いても十分な精度の応答が得られることが確認された。したがって、検討段階ではこの地震波を適用することは妥当であると考える。

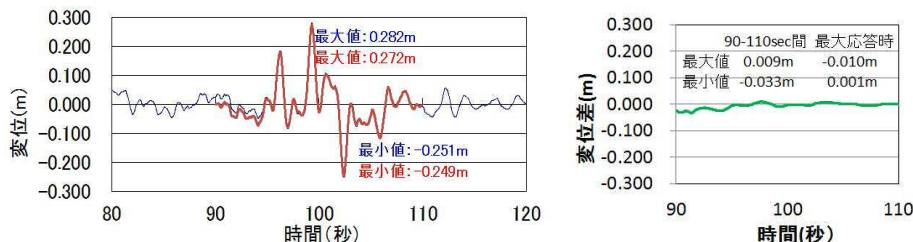
参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012

2) 松田他：既設吊橋に適用するケーブル併用制震すべりシステムの研究，土木学会論文集A1, Vol. 70No. 4 (2014. 2受理)



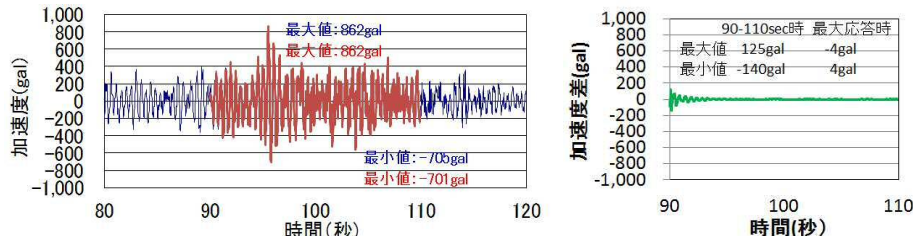
(a) 全時間解析と 20sec (90-110sec) 解析 (b) 20sec 解析－全時間解析

図-4 中央径間1/4点の補剛桁の橋軸方向応答変位



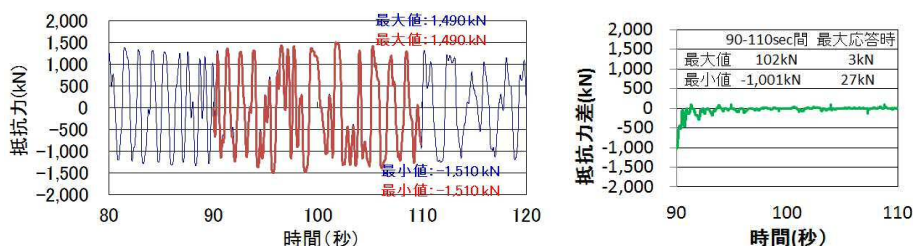
(a) 全時間解析と 20sec (90-110sec) 解析 (b) 20sec 解析－全時間解析

図-5 中央径間中央のすべり支承の橋軸方向応答変位



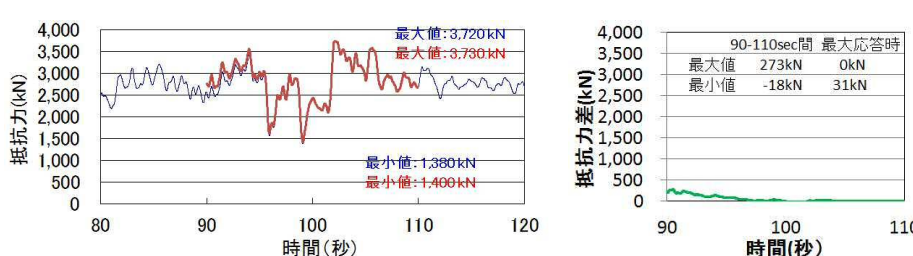
(a) 全時間解析と 20sec (90-110sec) 解析 (b) 20sec 解析－全時間解析

図-6 主塔の橋軸方向応答加速度



(a) 全時間解析と 20sec (90-110sec) 解析 (b) 20sec 解析－全時間解析

図-7 制震ダンパーの応答抵抗力



(a) 全時間解析と 20sec (90-110sec) 解析 (b) 20sec 解析－全時間解析

図-8 固定ケーブルの応答抵抗力