

関西大学環境都市工学部 学生員 ○行藤 晋也 関西大学大学院理工学研究科 学生員 戸井干輝
 関西大学大学院理工学研究科 学生員 木野村宏昭 関西大学環境都市工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき

2003 年 9 月 26 日に発生した十勝沖地震では、長周期の地震動が観測され、固有周期の長い橋梁への被害も報告されている。今後想定される東海・東南海・南海地震でも長周期地震動が問題視され、近年、その影響評価が注目されている。

免震設計された橋梁は長周期地震動に共振しやすく、上部工の応答変位が顕著になると考えられる。その結果、桁間衝突や桁と橋台間の衝突が起きるので、使用性や修復性の点から十分な検討を要する。しかし、長周期地震動による桁間衝突や桁のずれなど、上部工の地震挙動に注目した研究は少ない。ここでは、連続高架橋の地震時応答を解析的に検討し、免震支承で支持された連続高架橋の桁間衝突現象を明らかにする。

2. 解析対象と入力地震波

解析対象は、図-1 に示すような免震支承で支持される単純桁橋と、5 径間連続桁橋が隣接する橋梁系である¹⁾。両橋梁の上部工は RC 床版と 5 本の非合成鋼 I 桁からなり、それを支える RC 橋脚はいずれも 10m の高さである。橋梁系における橋軸方向の曲げ 1 次振動に対応する固有周期は 1.73sec である。鋼材とコンクリートのヤング率は 200GN/m²、28GN/m²、ポアソン比は 0.3、0.2 である。

入力地震動として、近年発生した 4 つの大地震を取り上げた。その地震波の加速度波形を FFT 解析し、卓越周期を分析した。ただし、最大加速度を 1,000gal とした。入力地震動の概要を表-1 に示す。

3. 数値解析法とその条件

数値解析を汎用有限要素プログラム“Marc2010.2”で行った。ここに、Up-dated Lagrangian 法で定式化された有限要素法を用い、その運動方程式を Newmark β 法 (β=1/4, γ=1/2) で多元連立の非線形代数方程式に変換し、それを Newton-Raphson 法と増分法の混合法で解き、連続高架橋の地震時弾性応答を求めた。

RC 床版と RC 橋脚を断面積と断面 2 次モーメントが鋼あるいはコンクリートと等価な断面に換算した棒要素でモデル化した。免震支承は、バネ定数が 11.3kN/mm のバネ要素でモデル化した。基礎-地盤系は、基礎を 1 質点の剛体要素とし、地盤を水平・鉛直・回転成分の 3 自由度からなるバネ要素でモデル化した。衝突現象を再現するため、桁端部を衝突体と定義し、ソリッド要素でモデル化した。地震動は、上部工の重心位置で橋軸方向に作用させ、上部工と RC 橋脚を完全弾性体に仮定した。なお、節点数は 197、要素数は 78 である。

4. 数値解析結果とその考察

苫小牧の地震動 (②) を受ける場合の時刻歴応答変位を描けば、図-2 を得る。桁間、桁と橋台の遊間量を 237mm としたため、単純桁と橋台の衝突は単径間が-237mm、5 径間連続桁と橋台の衝突は 5 径間が +237mm の時に生じる。また、このような時刻歴応答を多く求め、以下のような関係図を示した。

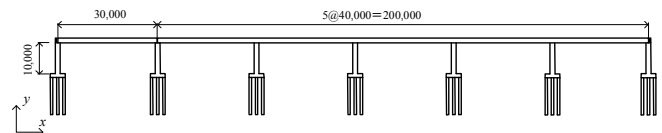


図-1 解析対象(単位 : mm)

表-1 入力地震動の概要

	地震名	観測場所	最大加速度 (gal)	卓越周期 (sec)	観測時間 (sec)
①	十勝沖地震	釧路(N-S)	1,000	1.425	120
		苫小牧(E-W)		5.201	300
		札幌(N-S)		2.464	200
④	宮城県沖地震	築館(E-W)		0.292	140
⑤	新潟中越沖地震	新宿(N-S)		2.482	180
		名古屋(E-W)		1.092	100
		豊中(E-W)		1.998	80
⑧	東北地方太平洋沖地震	新宿(N-S)		0.936	300
		名古屋(N-S)		3.724	300
		大阪(N-S)		2.409	160

4.1 衝突応力と衝突回数および応答速度の関係

衝突回数と衝突応力の関係を描けば、図-3 を得る。同じ地震加速度でも、衝突回数は0~18回で、かなり異なる。①と⑦の地震動を除けば、衝突回数が多くなるほど最大衝突応力も高くなる。なお、①と⑦の地震動の卓越周期は1.43secと1.99secで、構造物の固有周期1.73secに近く、共振現象によって応答速度が速くなり、衝突応力が大きくなる。それゆえ、衝突回数が5回以下であっても衝突応力が大きい。

図-4 に示す衝突応力と最大応答速度の関係によれば、ほぼ線形の関係にある。それゆえ、応答速度から衝突応力が算出でき、損傷度が評価できる。

4.2 地震動の加速度が高架橋の地震応答に及ぼす影響

周期特性を変えず、最大加速度が500galの地震動を高架橋に作用させる。解析モデルと解析条件などは先の解析と同様である。卓越周期と衝突応力および衝突回数の関係を調べれば、図-5 (a), (b) を得る。

1,000galの地震動が作用する場合と同様に、固有周期1.73secの約1.5倍である卓越周期2.4secの地震動で衝突回数と衝突応力が卓越した。地震動が500galの場合、卓越周期0~2secの短周期の地震動では衝突が生じないことが分かった。また、卓越周期が0~1secの地震動では、いずれの地震加速度の場合でも衝突現象は生じなかった。

5. あとがき

本研究で得られた結果をまとめれば、以下のとおりである。

- 1) 衝突の回数と応力との間には、ほぼ比例関係にある。共振するような場合には、衝突回数に関わらず、衝突応力は大きくなる。
- 2) 衝突速度と衝突応力との間には、ほぼ線形の関係がある。
- 3) 最大衝突応力は地震動の加速度の大きさに関係なく、固有周期の約1.5倍の卓越周期の地震動で衝突応力が最大を示した。
- 4) 卓越周期が0~1secの地震動では、いずれの地震加速度でも衝突は生じなかった。

参考文献

- 1) 日本道路協会編：道路橋の耐震設計に関する資料，丸善，1996.3.
- 2) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善，2002.3.

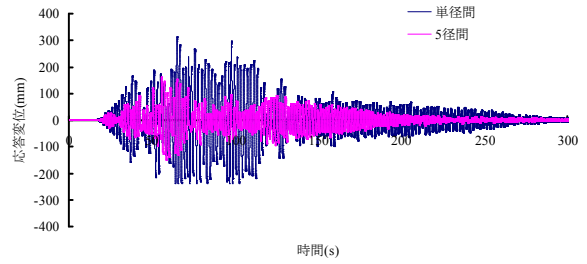


図-2 時刻歴応答変位 (②苦小牧)

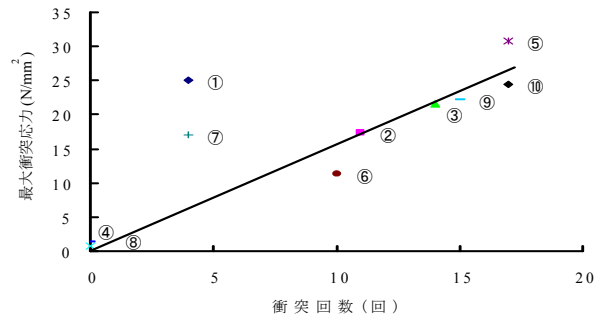


図-3 衝突回数と衝突応力の関係

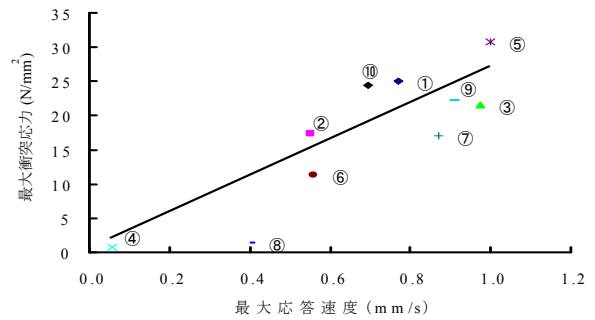
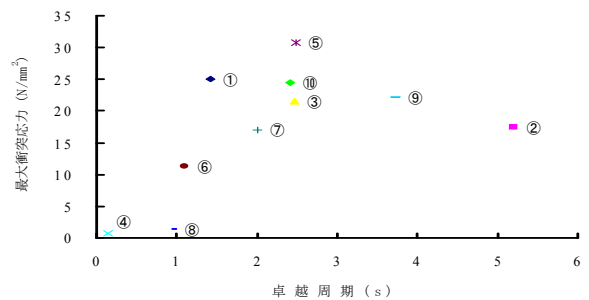
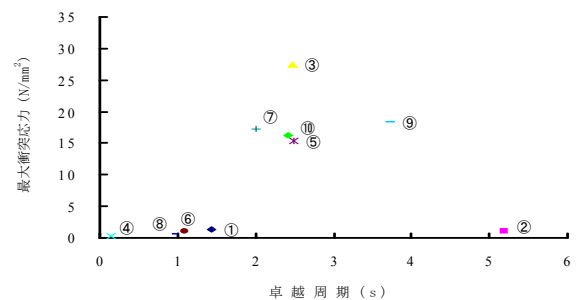


図-4 応答速度と衝突応力の関係



(a) 1000gal



(b) 500gal

図-5 卓越周期と衝突応力の関係