

橋梁桁上の静止トラックドライバーの体感震度特性

神戸大学 フェロー会員 高田至郎
 神戸大学 正会員 RADAN IVANOV
 神戸大学 正会員 鋤田泰子
 神戸大学 学生会員 ○山本聡

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、地震の被害を低減する為の橋梁技術として、免震構造が注目を浴びてきている。平成8年12月に改定された同示方書耐震設計編¹⁾において、免震設計が章として初めて取り上げられたこともあり、新設ならびに既設の橋梁において耐震化のための免震設計が急速に採用されつつある。免震橋に代表される橋梁では、桁から下部構造に伝達される地震力を低減する目的で桁を柔らかく支持している。このことより構造系が長周期化し桁の応答変位が増大してしまう。よって、地震時の桁の揺れは大きなものになり、条件によっては、地盤の揺れと桁上の揺れでは大きく異なったものになることなどが推測できる。そこで、静止トラックモデルを用いて桁上にあるトラックの地震応答解析を行う。そして得られた加速度をもとに ISI 震度値を計算して安全性の検討を行う。

2. 解析方法

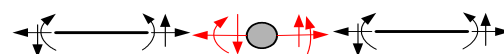


図-1 はりと要素の反力

2.1 概要

本研究では3次元の個別要素法を用いる。個別要素法は、媒質を小要素あるいは粒体の集合体として取り扱うシミュレーション手法であり、不連続面で区切られた要素の集合体において個々の要素ごとに独立した2階常微分の運動方程式をたて(式-(1)、式-(2))、これを差分近似して、時間領域でステップ・バイ・ステップで前進的に解くことにより要素の挙動を追跡し、その集合体としての動的挙動を解析しようとするものである²⁾。この時間要素に作用する力は、小要素間のはりを通じて伝達され、作用反作用の法則に従う(図-1)。

表-1 車両の構造緒元

	Front		Rear	
	upper	lower	upper	lower
Weight (KN)	42.9	4.9	128.3	14.7
Natural frequency (Hz)	3			
Spring constant (KN/m)	1578	3146	4724	4724
Damping coefficient (KNs/m)	4.61	9.11	13.72	13.72

$$\ddot{\mathbf{x}}_i + \alpha \dot{\mathbf{x}}_i = \mathbf{F}_i / m_i + \mathbf{g} \quad (1)$$

$\mathbf{x}_i$: 要素の座標, α : 減衰定数, $\mathbf{F}_i$: 要素に働く合力, m_i : 要素 i の質量, $\mathbf{g}$: 重力加速度

$$\ddot{\omega}_i + \alpha \dot{\omega}_i = \mathbf{M}_i / I_i \quad (2)$$

ω_i : 要素の回転変位, $\mathbf{M}_i$: 要素に働く合モーメント, I_i : 要素 i の慣性モーメント

2.2 トラックのモデル化

トラックのモデル化については文献³⁾に示されているトラックモデルに若干の修正を加えて3次元でモデル化した。モデルの構造諸元を図-2、表-1に示す。車両については、18自由度系で車体本体に関する運動としては上下運動、縦揺れ運動、横揺れ運動、縦方向水平運動、横方向水平運動、ねじれ運動、前軸に関し

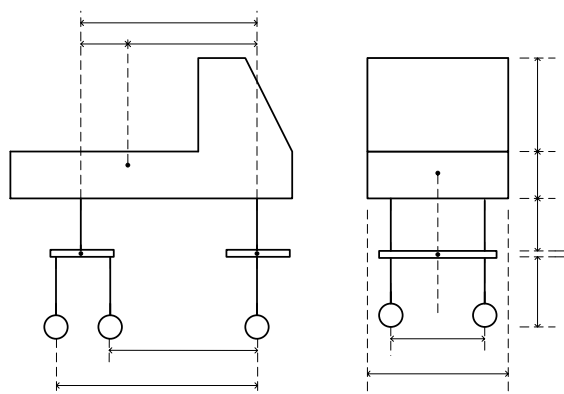


図-2 モデルの構造緒元

ては上下運動、縦揺れ運動、横揺れ運動、縦方向水平運動、横方向水平運動、ねじれ運動、後軸に関しては上下運動、縦揺れ運動、横揺れ運動、縦方向水平運動、横方向水平運動、ねじれ運動である。また、車体は剛体としている。upper バネ, lower バネはそれぞれ線形バネとしている。また、タイヤの滑り現象を考慮する際の最大静止摩擦係数は0.8としている

キーワード 個別要素法, ISI 震度, 免震支承

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 神戸大学自然科学研究科 TEL 078-803-6047

2.3 橋梁のモデル化

橋梁についてはゴム支承を用いたものと、支承板を用いたものの2種類についてモデル化した。ゴム支承の軸方向剛性は $kn=5.6 \times 10^5 (\text{kN/m})$ で支承破壊に関しては考慮していない。寸法は $0.53(\text{m})/0.53(\text{m})/0.17(\text{m})$ で減衰定数 $h=0.12$ とした⁴⁾。またせん断方向剛性については後述の解析ケースで示す。橋脚はヤング係数 $E=2.35 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$ の RC 構造を想定した。また、桁は剛体としてモデル化した。橋脚基礎部は地盤支持を考慮した等価はりとして表現している。次に、支承板を用いたものは簡易的に橋脚と桁を剛結したモデルとした。

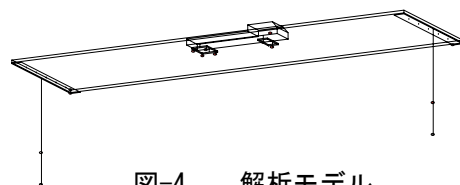


図-4 解析モデル

表-2 解析ケース

	支承の水平剛性(kN/m)	固有周期(s)
case1	1640	1.29
case2	4500	0.99
case3	3000	0.84
case4	6000	0.76
case5	7500	0.71
case6	10500	0.65
case7	13500	0.6
case8	∞ (剛結)	0.2

2.4 入力地震動

入力地震動としては兵庫県南部地震において鷹取で観測された地震波の NS, EW, UD の3成分を用いる。それらの波形で最大加速度が 500gal となるように補正した波形を用いる。この波形の卓越周期はおよそ $1.0(\text{s})$ である。NS が橋軸方向, EW が橋軸直角方向になっている。

3. 解析ケース

3次元 DEM 上での解析モデルを図-4に示す。Case1 から case7 まではゴム支承を用いてそれぞれ橋梁の橋軸方向の固有周期を変化させたもので、case8 は支承板を用いたものである。詳細を表-2に示す。

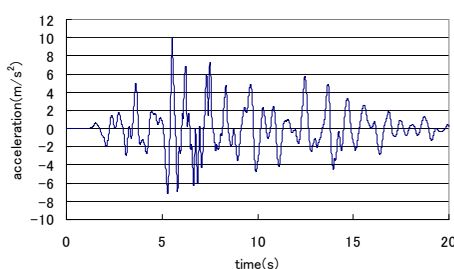


図-3 桁の時刻歴応答加速度 (case6)

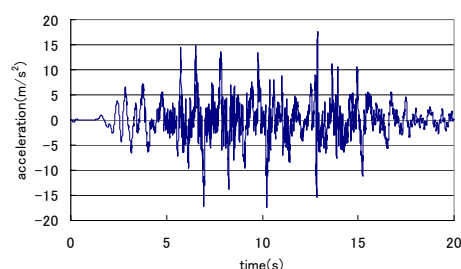


図-4 トラックの地震応答加速度 (case6)

4. 解析結果と考察

(1)時刻歴応答加速度 時刻歴応答加速度の一例を図-3, 図-4に示す。図-3はCase6での桁の応答加速度のNS成分, 図-4はcase6でのトラックの応答加速度のNS成分である。桁もトラックも非常に大きな加速度を示していることが分かる。

(2)ISI 震度値 得られた加速度から ISI 震度値を求めた。また、入力地震動の ISI 震度値は 6.17 である。それぞれのケースで、応答値の ISI 震度値/入力 ISI 震度値と橋梁の橋軸方向の固有周期との関係を図-5に示す。これより、地面

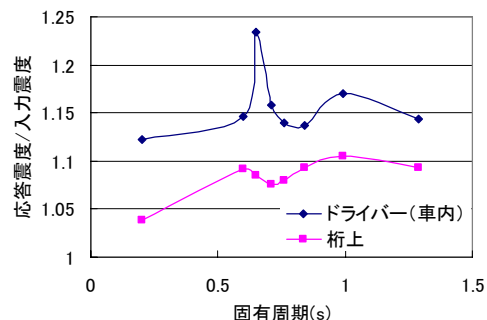


図-5 固有周期と震度値の関係

上、桁上、車内の順に ISI 震度値は大きくなっていくことが分かる。また、固有周期が $0.65(\text{s})$ の時にドライバーの震度値が、かなり大きくなっているのは図-6, 図-7に示すように、桁の応答加速度の EW 成分

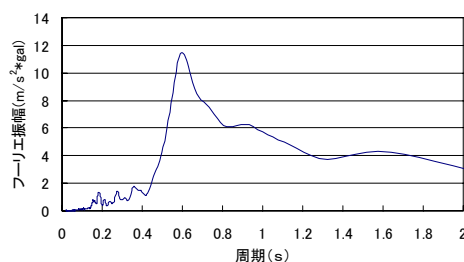


図-6 桁の応答加速度フーリエスペクトル (EW 成分)

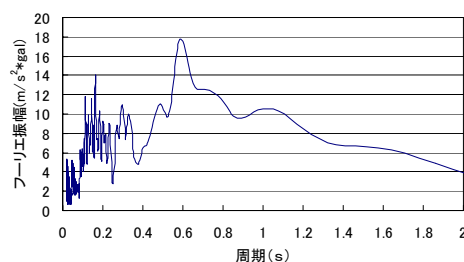


図-7 トラックのフーリエスペクトル (EW 成分)

分の卓越周期とトラックの EW 成分の卓越周期が共に $0.6(\text{s})$ 付近であり共振を起こしており、トラックの車輪は桁から浮き上がって傾いている。ドライバーの体感震度はきわめて大きいものとなり、大きな震度が発生し、非常に危険であることが知られた。

【参考文献】(1)社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，1996.12 (2) 伯野元彦：破壊のシミュレーション，森北出版，1997.10 (3) 川谷充郎：三次元車両モデルによる桁橋の動的応答解析，土木学会論文集，No.584，I-42，pp.79-86，1998.1 (4) Ivanov,R.I.(2001) “Seismic behavior of the superstructure of a multispan simply supported bridge with rubber bearings and cable restrainers