

桁端衝突を受ける橋台の損傷度評価および衝突ばね特性に関する解析的研究

九州大学大学院

学生会員 ○後藤恵一

学生会員 玉井宏樹

正会員 園田佳巨

正会員 梶田幸秀

1. 緒言

大地震発生時には、橋梁の上部構造に生じる応答変位が遊間を超え、桁端部と橋台が衝突する可能性がある。これまでに、桁端衝突を考慮した橋梁の地震時挙動に関する解析的研究は数多くなされているが、それらの多くは骨組モデルを用いた解析であり、衝突後の桁端部および橋台の損傷度を定量的に評価するまでには至っていない。そこで、本研究では、大規模地震時に支承や橋脚の損傷によって桁が橋台に衝突することを想定し、桁端衝突による橋台の損傷度を定量的に評価することを目的に、3次元有限要素法を用い、桁端衝突の詳細解析を行った。また、詳細解析で得られた結果を設計に直接反映することは困難であるが、骨組要素による橋梁全体系解析で利用可能な衝突ばね特性を決定することは有意であるため、得られた結果から桁端衝突現象を簡易にレオロジーモデルで表現することで、衝突ばね特性に関する検討を行い、レオロジー定数の決定法に関しての考察を行った。

2. 詳細解析の概要

2.1 解析対象橋梁

本研究では、図-1に示す支間長40.0mの両端部に橋台を有する2径間のPC箱形断面橋梁を解析対象として用いた。対象とした橋梁の支承条件はA1, A2橋台において可動支承、P1橋脚において固定支承としている。

2.2 解析モデルおよび解析条件

図-2に解析モデルを示している。衝突体である橋桁に関しては1/2径間部分をモデル化している。コンクリートおよび裏込め土の要素に関しては8節点ソリッド要素、鉄筋要素に関しては2節点トラス要素で離散化している。総節点数及び総要素数はそれぞれ24762, 34303である。

表-1には、本解析に用いた材料定数を示している。鉄筋要素はバイリニア型の弾塑性モデルとし、コンクリート要素は、圧縮側にはバイリニア型の弾塑性モデル、引張側にはひずみ軟化の影響を考慮したモデルを仮定している。裏込め土に関しては弾性体としてモデル化している。

本解析では、衝突速度をパラメータとして、地震時に起こりうる衝突速度である1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0(m/s)で橋台に衝突する5ケースを想定した。

2.3 解析結果および考察

(1) 衝突速度と衝撃力の関係

図-3に衝撃力波形を示している。この図より、衝突速度が上がるにつれて最大衝撃力および衝撃力継続時間が増加しているのが確認できる。また、最大衝撃力がA2橋台における死荷重反力(約4400kN)の5~13倍に達していることから、落橋防止構造の耐力を死荷重反力の1.5

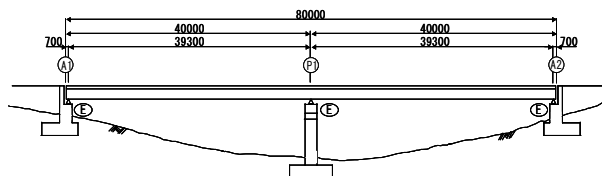


図-1 解析対象橋梁の側面図 (単位: mm)

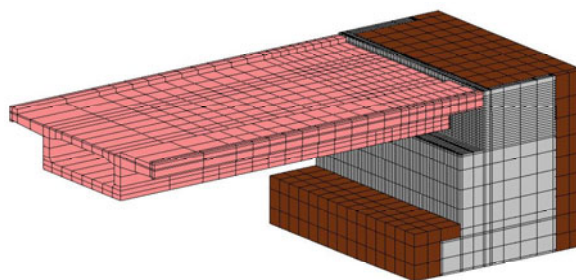


図-2 解析モデル

表-1 本解析に用いた材料定数

	橋台		橋桁	裏込め土
	鉄筋	コンクリート	コンクリート	
弾性係数 (GPa)	206	20.6	28.8	0.014
ポアソン比	0.30	0.20	0.20	0.45
密度 (g/cm ³)	8.00	2.45	2.69	1.80
圧縮強度 (MPa)	294 (降伏応力)	29.4	29.4	-
引張強度 (MPa)		2.94	2.94	-

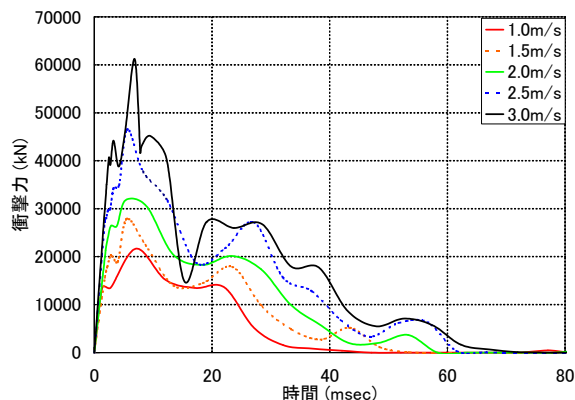


図-3 衝撃力波形

倍にするといった死荷重反力ベースの考えは必ずしも適切ではないと考えられる。

(2) 引張ひずみに着目した損傷度

図-4 に衝突速度 3.0m/s 時の橋台のコンクリート要素における引張ひずみの分布図を示している。この分布図は、コンクリート要素が引張強度に達した時点のひずみをゼロとし、0.0012 を超えて黒色で示されている領域でひび割れが発生していることを意味している。衝撃初期の 7msec 時ではパラペット基部で、20msec 時にはさらにウイングおよび橋台全体に損傷が広がっていることから、橋台全体の破壊の恐れがあることが確認できる。

3. 衝突ばね特性に関する一考察

ここでは、詳細解析により得られた衝撃力-変位関係を用いて、衝突ばね特性の算定方法に関する考察を行った。本研究では、詳細解析により得られた複雑な衝撃力-変位関係を再現するために、ばねとダッシュポットから構成される図-5 の 4 要素レオロジーモデルに着目した。4 要素モデルにはその力学特性を表す定数として k_1 , c_1 , k_2 , c_2 の 4 つが存在し、図-6 に示す手順で決定した。まず詳細解析より得られた変位応答をレオロジーモデルの入力値として式 (1) から衝撃力応答を計算し、詳細解析により得られた衝撃力応答と比較した際の最大衝撃力および力積の誤差が 10% 以内となった定数をレオロジー定数として決定した。

$$f_{t+\Delta t} = k_2 \left\{ x_{t+\Delta t}^{total} - x_t^{vo} - x_t^{da} - \frac{(f_t - k_1 x_t^{vo}) \Delta t}{c_1} - \frac{f_t \Delta t}{c_2} \right\} \quad (1)$$

$$x_t^{vo} = \frac{(c_1 - k_1 \Delta t) x_{t-\Delta t}^{vo} + f_{t-\Delta t} \Delta t}{c_1} \quad (2) \quad x_t^{da} = \frac{c_2 x_{t-\Delta t}^{da} + f_{t-\Delta t} \Delta t}{c_2} \quad (3)$$

ここに、 $x_{t+\Delta t}^{total}$ は時刻 $t + \Delta t$ における詳細解析によって得られたデータ、 x_t^{vo} は時刻 t における Voigt モデルの変位、 x_t^{da} は時刻 t におけるダッシュポットの変位、 Δt は時間刻み、 f_t は時刻 t における出力衝撃力である。

図-7 に衝突速度 2.0m/s 時の衝撃力応答の比較図を、表-2 に算定された各定数を示している。これらよりレオロジーモデルを用いることで桁衝突による衝撃力波形を再現でき、衝突速度に応じた各レオロジー定数が算定されていることが分かる。

4. 結言

桁端衝突の詳細解析を行うことで、橋台には死荷重反力を大きく上回る衝撃力が作用し、橋台全体の破壊が懸念されるほどの損傷領域の広がりが見られた。また、レオロジーモデルを用いることで桁衝突による衝撃力波形を再現でき、簡易にレオロジー定数を算定可能であることから、桁衝突を想定した耐震設計を解析的に行う際の衝突ばね特性の決定法に本手法が有効であると言える。今後は、衝突条件および構造物諸元を変更した解析を行い、種々の条件下における各レオロジー定数の特性について検討していく予定である。

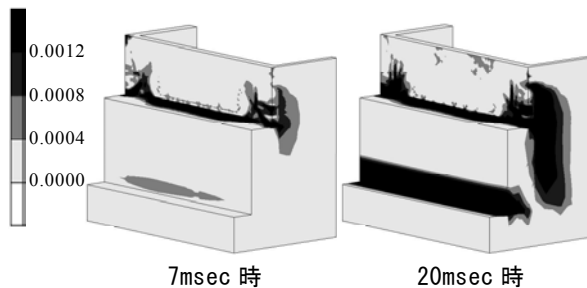


図-4 引張ひずみのコンター図 (3.0m/s)

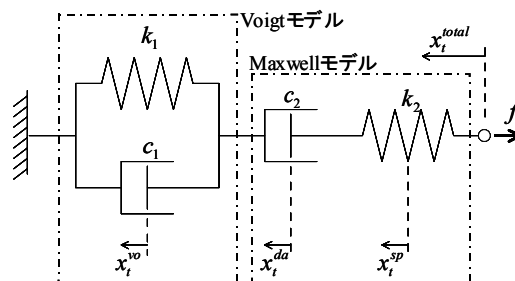


図-5 4要素のレオロジーモデル

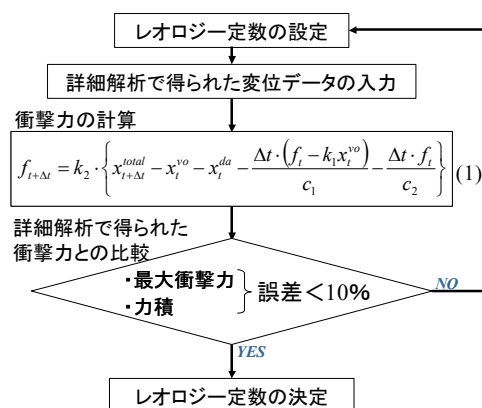


図-6 レオロジー定数決定までの流れ

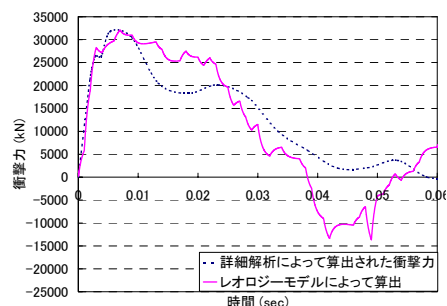


図-7 衝撃力応答の比較図 (2.0m/s)

表-2 算定されたレオロジー定数一覧

各定数 衝突速度	k_1 (kN/mm)	c_1 (kN·s/mm ²)	k_2 (kN/mm)	c_2 (kN·s/mm ²)
1.0 (m/s)	800	60	35000	100
1.5 (m/s)	500	40	35000	100
2.0 (m/s)	400	30	35000	200
2.5 (m/s)	200	35	35000	250
3.0 (m/s)	150	30	35000	300