

桁橋の橋脚天端に設置した段差防止構造の緩衝効果に関する数値解析的検討

室蘭工業大学大学院 学生員 ○栗橋 大洋
 室蘭工業大学 正会員 瓦井 智貴
 寒地土木研究所 正会員 佐藤 京
 ビー・ビー・エム 正会員 余野 智哉

室蘭工業大学 正会員 小室 雅人
 室蘭工業大学 名誉会員 岸 徳光
 東京ファブリック工業 正会員 久慈 茂樹

1. はじめに

我が国は、世界有数の地震多発地帯である。地震発生によって写真1に示すように橋梁に大きな段差が生じる場合には、避難や救護の遅れが危惧される。このような被害が想定される橋梁の早期機能回復を目的とした対策工の1つに段差防止構造がある。

本研究では、段差防止構造の緩衝性能および上部工の損傷に関する基礎データの収集を目的として、最も簡易な橋梁形式である2主桁橋に着目し、緩衝ゴム設置の有無や上部工の落下高さを変化させた三次元弾塑性衝撃応答解析を試みた。

2. 数値解析の概要

図1には、本研究で用いた有限要素モデルを示している。対象橋梁は2主桁の単純I桁橋(スパン長:26.6 m, 主桁間隔:5.7 m)であり、桁端部横梁はコンクリートで巻き立てられている。数値解析は、地震によって上部工が支承から逸脱して段差防止構造に落下する時点から行うこととし、橋脚や支承部はモデル化していない。また、巻き立て部と段差防止構造のクリアランスは50 mmと仮定した。

境界条件に関しては、各対称切断面の法線方向変位成分を固定するとともに、段差防止構造底部は完全固定とした。また、上部工と段差防止構造間には滑り・剥離を伴う面一面の接触を設定している。その摩擦係数は、緩衝ゴム設置の有無に対して、それぞれ0.5、0.3と設定した。数値解析は、重力を考慮し、上部工を段差防止構造に接するような形で配置し、上部工の全要素に設定落下高さに対応した速度を負荷することにより行った。

数値解析において、上部工の落下高さ H は50～350 mmまで変化させた。ケース名は、緩衝ゴム設置の有無(N:ゴ

ム無し, R:ゴムあり) と、 H に後続する落下高さ(mm)をハイフンで繋いで示している。

図2には、各材料に関する材料構成則を示している。(a)図の鋼材に関しては、塑性硬化係数を弾性係数の1%とするバイリニア型の等方硬化則を適用した。また、降伏の判定には Von Mises の降伏条件式を採用した。(b)図のコンクリートに関しては、圧縮側は完全弾塑性体のバイリニア型とし、降伏の判定には Drucker-Prager の降伏条件式を採用した。引張側に関しては、引張強度に達した時点で引張力を伝達しないモデル(カットオフモデル)を採用した。(c)図の緩衝ゴムに関しては、硬度65の天然ゴムで形状係数が1となる場合を設定し、別途実施した材料試験に基づいて決定した。

3. 数値解析結果および考察

図4には、本数値解析結果より得られた全8ケースに関する衝撃力および桁端部における床版の鉛直方向変位波形を示している。なお、(ii)図に示す鉛直方向変位波形は、下向きを正とし、上部工が段差防止構造と接触した時点を通常時のクリアランス分落下したものととして50 mmとしている。また、表1には各応答波形から得られた最大応答値を载荷初期からの経過時間(以後、単に経過時間

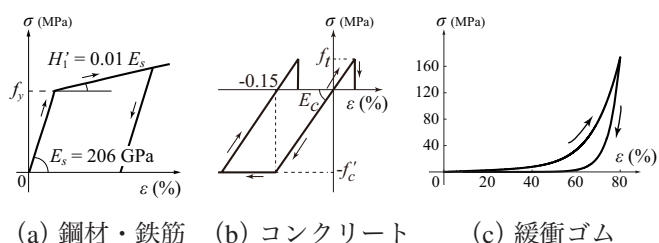


図2 材料構成則



写真1 橋梁の被災事例1)

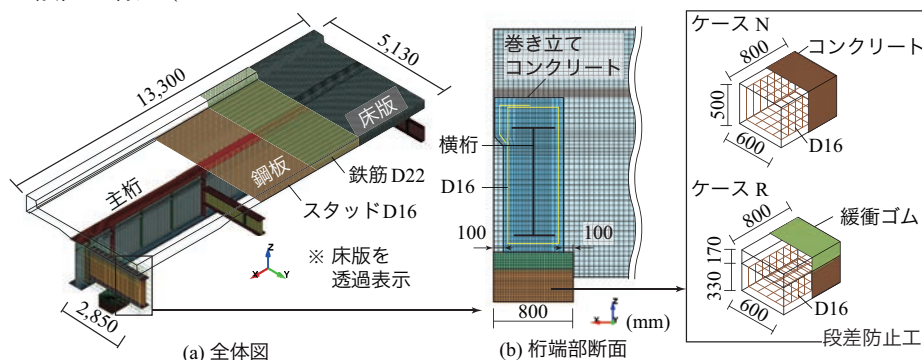


図1 有限要素モデル

キーワード 桁橋, 段差防止構造, 緩衝ゴム, 衝撃応答解析

連絡先 〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 もの創造系領域 社会基盤ユニット TEL 0143-46-5228

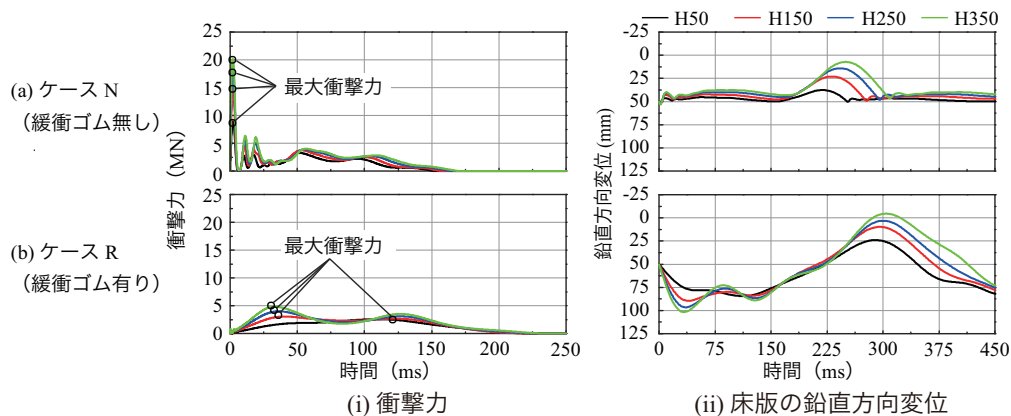


図4 各時刻歴応答波形

表1 最大応答値一覧

ケース名	最大衝撃力 (MN)	最大鉛直方向変位 (mm)
N-H50	8.9 (2)	51 (2)
N-H150	15.1 (2)	52 (2)
N-H250	18.6 (2)	53 (2)
N-H350	20.1 (2)	53 (2)
R-H50	2.6 (110)	85 (113)
R-H150	3.1 (40)	90 (40)
R-H250	4.0 (36)	97 (36)
R-H350	4.8 (33)	102 (33)

(): 最大応答値到達時刻 (ms)

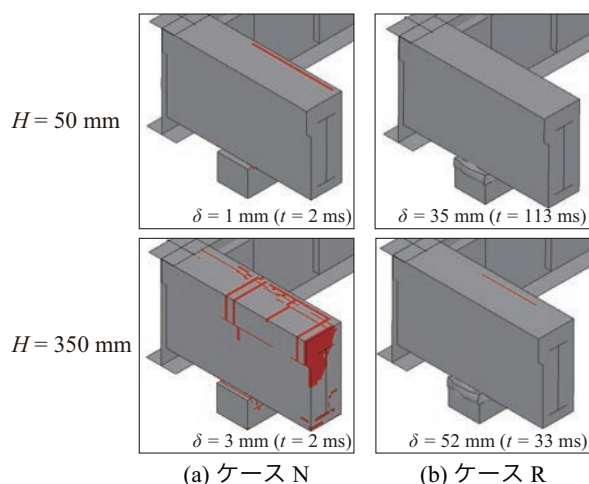


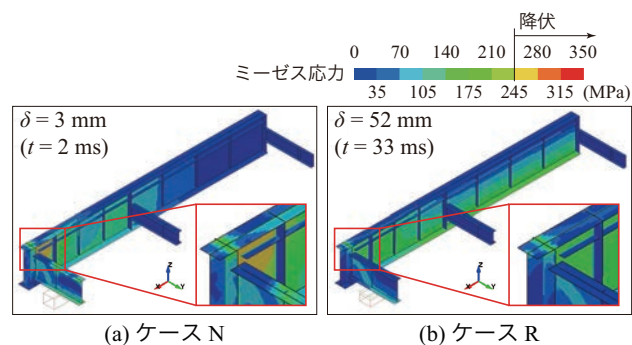
図5 巻き立て部のひび割れ分布

t) とともに示した。

(i) 図より、ケース N の衝撃力波形は、落下高によらず $t = 2 \text{ ms}$ 時に最大値に達し、その後最大値が小さく継続時間が長い第二波が励起していることが分かる。一方で、ケース R の場合にはケース N の場合と異なり、衝突初期に衝撃力が急激に増加する傾向は見られない。表より、最大衝撃力は、ケース N-H50/350 の場合にはそれぞれ 8.9, 20.1 MN であり、ケース R-H50/350 の場合にはそれぞれ 2.6, 4.8 MN となっている。これより、緩衝ゴムを設置することによって、最大衝撃力を 1/4 程度まで低減可能であることが分かる。

(ii) 図より、ケース N における床版の最大変位は、衝撃力波形と対応して衝突初期に励起する傾向にあり、H350 の場合には 53 mm に達している。一方で、ケース R に関する変位波形の振幅は、ケース N の場合に比較して正負ともに大きくなる傾向が見て取れる。これは、緩衝ゴムが変形することによるものと推察される。

図5には、ケース N/R-H50/350 に関する、床版の最大変位到達時におけるコンクリート巻き立て部および段差防止構造部のひび割れ分布図を示している。図より、ケース N の場合において、落下高にかかわらず段差防止構造には軽微な損傷が確認できる。また、落下高 $H = 350 \text{ mm}$

図6 ミーゼス応力コンター図 ($H = 350 \text{ mm}$)

の場合には、上縁から下縁に向かうひび割れの進展が確認できる。一方で、ケース R の場合には、コンクリート巻き立て部や段差防止構造のひび割れ領域が明らかに小さいことが分かる。これは、緩衝ゴムの設置によって、衝撃荷重強度が著しく低減されたことや分散化が図られたことによるものと推察される。

図6には、ケース N/R-H350 の場合に関する床版の最大変位到達時における主桁および横桁部ミーゼス応力コンター図を示している。なお、本研究では鋼材の降伏応力を $f_y = 245 \text{ MPa}$ と設定していることより、黄～赤色領域の要素は降伏に至っていることを表している。図より、衝撃力波形やコンクリート巻き立て部のひび割れと対応して、ケース N の場合には桁端周辺の局所的な領域において、降伏に至っていることが分かる。

一方で、ケース R の場合には、ケース N の場合と同様に、桁端周辺領域において降伏領域が確認されるものの、その領域はケース N の場合よりも小さいことが確認できる。

4. まとめ

- 1) 段差防止構造天端に緩衝ゴムを設置することで、最大衝撃力を 1/4 程度まで抑制可能である。
- 2) 緩衝ゴムを設置することによって衝撃的な作用が緩和され、床版の鉛直方向変位の周期が長くなるとともに、上部工全体の損傷が小さくなる可能性がある。

参考文献：1) (一社)日本橋梁建設協会：熊本地震橋梁被害調査報告書, 2016.