

敷砂緩衝材を設置した RC 製覆道模型の重錘落下衝撃挙動に関する数値解析的検討

札幌市役所 正 会 員 ○花岡 健治 室蘭工業大学大学院 フェロー 岸 徳光
 寒地土木研究所 正 会 員 山口 悟 寒地土木研究所 正 会 員 牛渡 裕二

1. はじめに

著者らは、落石覆道の合理的な性能照査型耐衝撃設計法を確立することを最終目的に、実物大の 1/2 縮尺模型を作製し、重錘落下衝撃実験を実施して、落石覆道の耐衝撃性に関する検討を行っている。本研究では、現行設計と同様に緩衝材として頂版上に 90 cm 厚の敷砂を設置した場合における数値解析手法の妥当性を検討することを目的に、実験結果に対応した数値解析を実施し、実験結果と比較することにより、その妥当性を検討した。なお、数値解析には非線形衝撃応答解析用汎用コード LS-DYNA を用いている。

2. 数値解析概要

2.1 試験体概要および解析ケース

本実験で用いた覆道模型の断面寸法は、幅 × 高さが $5,500 \times 3,500$ mm、道路軸方向長さが 6,000 mm、柱部の高さが 2,250 mm である。また、覆道模型の内空幅 × 内空高さは $4,500 \times 2,500$ mm となっている。軸方向鉄筋として頂版上面、下面および底版下面に D22 を、底版上面に D16 を 125 mm 間隔で配筋している。また、柱部には D13 を 62.5 mm 間隔で配筋している。配筋筋については、各部で D13 を用いており、柱部では 75 mm 間隔で、その他部材では 125 mm 間隔で配筋している。コンクリートのかぶりは、芯かぶり 75 mm としている。

本実験では、载荷点位置を頂板中央部に限定し、10 ton 重錘を落下高さ $H = 1.0$ m, 2.5 m, その後 $H = 10.0$ m からは増分落下高さを 10.0 m として終局に至るまで実施した。

なお、実験では同一覆道模型に対して繰り返し载荷実験を行っているが、実験毎に载荷点周辺部の砂を掘り返して締め固めを行い、単一载荷時と同様の条件下で実験を行っている。

2.2 数値解析モデルおよび解析条件

図-1 には、本数値解析で用いた 覆道模型の要素分割状況を示している。本数値解析では、構造および荷重条件の対称性を考慮し、道路軸方向の中心線位置で 2 等分した 1/2 モデルを用いて解析を行うこととした。また、減衰定数は質量比例分のみを考慮するものとし、予備解

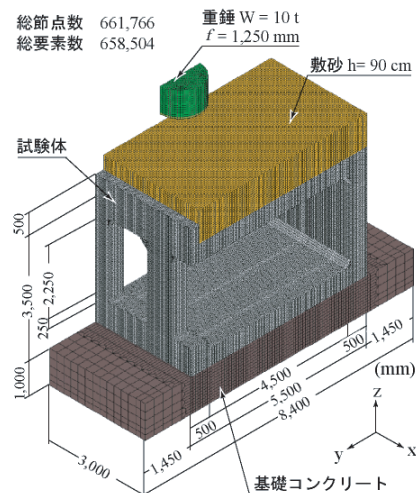


図-1 要素分割状況

析を実施して鉛直方向最低次固有振動数に対して 5.0 % と設定している。なお、過去の実規模 RC 桁に関する数値解析結果から、繰り返し载荷時における各载荷実験結果は、損傷が著しくない場合には単一载荷時と類似の性状を示すことが明らかになっている。これより、本研究では要素数が多く数値解析に多大時間を要することから、損傷の累積を考慮せずに単一载荷条件下で数値解析を実施することとした。

2.3 材料物性モデル

コンクリートについて、圧縮側に関しては、圧縮ひずみが $1,500 \mu$ に達した時点で降伏するバイリニア型とし、引張側には引張応力が圧縮強度の 1/10 に達した時点で零レベルにカットオフしている。降伏の判定には Drucker-Prager の降伏条件式を採用している。

鉄筋には、塑性硬化係数 H' を弾性係数 E_s の 1 % とするバイリニア型の等方便化則を適用している。また、降伏の判定には von Mises の降伏条件式を採用した。

本研究で適用した敷砂の材料構成則モデルは、過去に実施した敷砂緩衝材に対する重錘落下衝撃実験結果 ($W = 3$ tons, $H = 5 \sim 30$ m) と数値解析結果の比較検討により、その妥当性を検証したものであり、次式のように示される。

$$\sigma_{sand} = 50 \epsilon_{sand}^2 \quad (1)$$

キーワード：落石覆道、三次元弾塑性衝撃応答解析、重錘落下衝撃実験

連絡先：〒050-8585 室蘭工業大学大学院 暮らし環境系領域 社会基盤ユニット TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

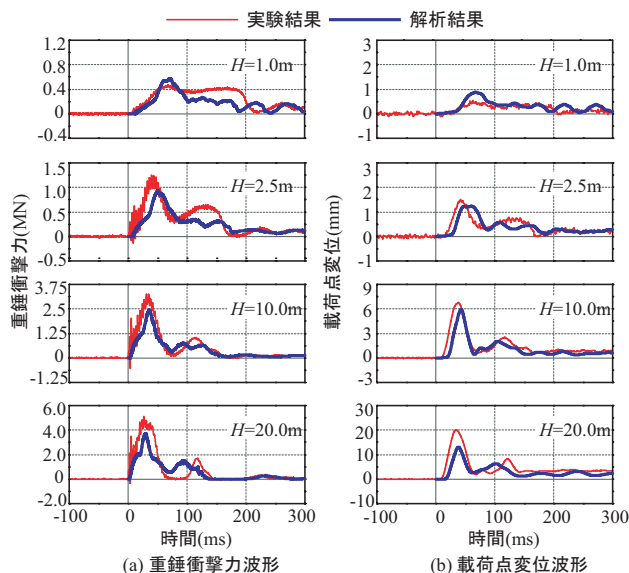


図-2 衝撃力波形と载荷点変位波形の比較

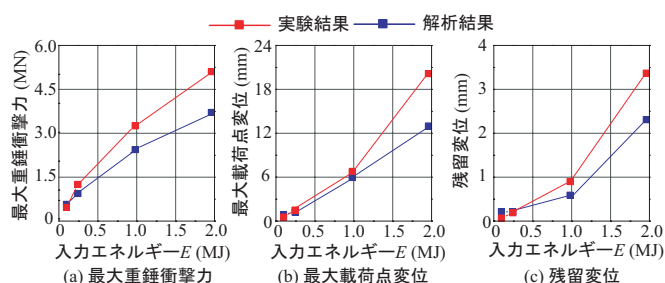


図-3 各応答値と入力エネルギーの関係

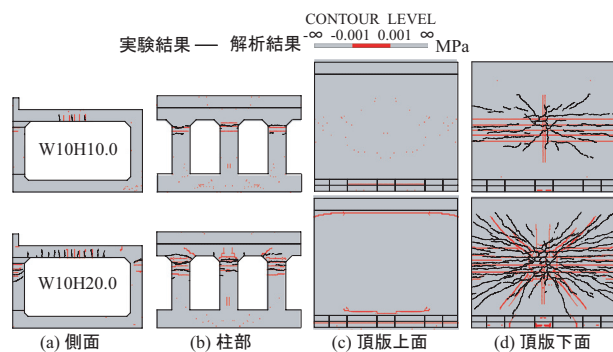


図-4 ひび割れ分布図

ここで、 σ_{sand} は相当応力 (MPa), ε_{sand} は体積ひずみである。荷重の除荷勾配は $E_{ul} = 10 \text{ GPa}$ と仮定した。

また、本実験は中速度衝突であることや、敷砂緩衝材を設置していることにより、各材料の歪み速度効果は小さいものと判断し、考慮しないこととした。

3. 実験結果および数値解析結果

3.1 各種応答波形

図-2 には、衝撃力波形と载荷点変位波形に関する実験結果と数値解析結果の比較を示している。(a) 図より、衝撃力波形に関しては、数値解析結果は実験結果よりも若干緩やかに第1波が励起し、その後実験結果よりも周

期の長い第2波で構成されている。しかしながら、第1波の最大値及び波形性状は実験結果をよく再現していることが分かる。

図-2 (b) 図より、数値解析結果は、第1波目が実験結果よりも若干遅れて励起し、その後残留変位成分を含む振幅が小さい第2波で構成されている。しかしながら、最大値及び残留変位は実験結果とよく対応していることが分かる。

3.2 各応答値と入力エネルギーの関係

図-3 には、各応答値と入力エネルギーの関係に関して、実験結果と数値解析結果を比較して示している。(a) 図より、最大重錘衝撃力は、実験結果、数値解析結果共に入力エネルギーに対してほぼ1/2乗に比例して増加する傾向を示している。

(b), (c) 図に着目すると、実験結果の最大载荷点変位、残留変位は、共に $E \leq 1.0 \text{ MJ}$ の場合には線形に、 $E > 1.0 \text{ MJ}$ の場合には放物線状に増加する傾向を示している。特に、 $E > 1.0 \text{ MJ}$ の場合には、繰り返し载荷によって損傷が蓄積され、著しい増加の傾向を示したものと推察される。これに対して、数値解析結果は、最大载荷点変位の場合には $E = 2.0 \text{ MJ}$ まで、残留変位に関しても $E = 1.0 \text{ MJ}$ まではほぼ線形に増加していることが分かる。

3.3 ひび割れ分布性状

図-4 には、落下高さ $H = 10.0 \text{ m}$ と 20.0 m 载荷時におけるひび割れ分布性状を実験結果と数値解析結果とを重ねて示している。図より、頂版上面では実験結果、数値解析結果共にひび割れはほとんど生じていない。一方、頂版下面では、実験結果は落下高さ $H = 10.0 \text{ m}$ の時点では一方向曲げと二方向曲げによるひび割れが確認できる。ただし、数値解析結果からは、一方向曲げのみが発生している。また、柱部に関しては、実験結果と数値解析結果はいずれも上縁部に道路軸方向に平行なひび割れが発生している。落下高さ $H = 20.0 \text{ m}$ の場合には、数値解析結果においても二方向曲げが発生しており、数値解析結果は実験結果と比較的よく対応していることが確認できる。

4. まとめ

本研究では、落石防護覆道の性能照査型耐衝撃設計法を確立することを最終目的に、1/2 覆道模型を対象として繰り返し重錘落下衝撃実験を実施し、実験結果と比較する形で数値解析手法の妥当性について検討を行った。単一载荷を仮定して解析を実施したが、提案の数値解析手法を用いることにより大略実験結果を評価可能であることが明らかになった。