

RC 製覆道の 2/5 模型に関する繰り返し重錘落下衝撃挙動解析の妥当性検討

室蘭工業大学大学院 学生会員 ○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 西 弘明 寒地土木研究所 正会員 今野 久志
 寒地土木研究所 正会員 山口 悟

1. はじめに

本研究では、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、2/5 模型を作製し、繰り返し重錘落下衝撃実験を実施した。本研究では、敷砂を設置しない場合の数値解析手法の妥当性を検討することを目的に、繰り返し載荷実験結果に対する数値解析を実施し、実験結果と比較することで、その妥当性を検討した。なお、本数値解析では、効率よく要素分割を行うために、領域ごとに要素長を変えている。本研究では、このような要素に対してもコンクリートの引張破壊を適切に評価するために、各要素に対して引張破壊エネルギー等価の概念を適用し、その妥当性も検討している。

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 $4,400 \times 2,800 \text{ mm}$ 、道路軸方向長さが $4,800 \text{ mm}$ 、柱部の高さが $1,800 \text{ mm}$ である。また、覆道模型の内空幅×内空高さは $3,600 \times 2,000 \text{ mm}$ となっている。覆道模型の配筋は、底板下面道路軸方向、各ハンチ部の帯鉄筋には D16、それ以外の主鉄筋、帯鉄筋、軸方向鉄筋には D13 が配置されている。また、軸方向鉄筋は側壁内側、頂版、底板上面には 50 mm 間隔、その他の軸方向鉄筋は 100 mm 間隔で、芯かぶりを 60 mm として配筋されている。

本実験は、質量が 2 ton の重錘を $25 \text{ cm} \sim 125 \text{ cm}$ まで増分落下高さを 25 cm として覆道模型のスパン中央部に自由落下させることにより行っている。

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。本数値解析では要素長にバラつきがあるため、コンクリート要素に引張破壊エネルギー等価の概念を導入し、各要素長に対して換算の引張強度を設定することとした。なお、本研究では同概念を適用する場合と適用しない場合について数値解析を行い、実験結果と比較することにより妥当性を検討することとしている。

解析モデルは、構造および荷重条件の対称性を考慮して、道路軸方向の中心線位置で 2 等分した 1/2 モデルと

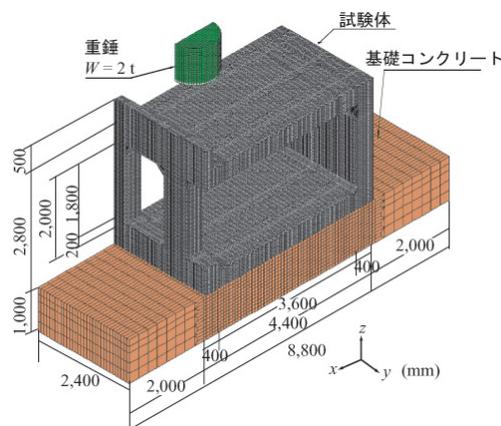


図-1 要素分割状況

している。また、減衰定数は質量比例分のみを考慮し、鉛直方向最低次固有振動数に対して 5.0% としている。

2.3 材料物性モデル

コンクリートの応力-ひずみ関係には、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。圧縮強度は材料試験結果を用い、 29.7 MPa としている。降伏の判定には Drucker-Prager の降伏条件式を採用している。

鉄筋の応力-ひずみ関係には、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硬化則を適用している。また、鉄筋の降伏応力には材料試験結果より 413 MPa とした。降伏の判定には von Mises の降伏条件式を採用している。

2.4 繰り返し衝撃荷重載荷時の解析概要

本数値解析では、繰り返し衝撃荷重載荷実験を適切に再現するために、以下の手順で数値解析を実施している

1) 重錘要素を繰り返し載荷回数分だけ、予め覆道模型上に重複して設置する。2) 一次載荷時に衝突させる重錘要素に落下高さに対応した所定の衝突速度を付加し、数値解析を実施する。なお、減衰定数は、前項で述べているように、鉛直方向最低次固有振動数に対して 5.0% とする。3) 一次載荷時の数値解析終了後、鉛直方向最低次固有振動数に対する臨界減衰定数を入力して数値解析を実施し、覆道模型を数値解析的に静止させる。同時に一

キーワード：落石覆道、破壊エネルギー等価、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

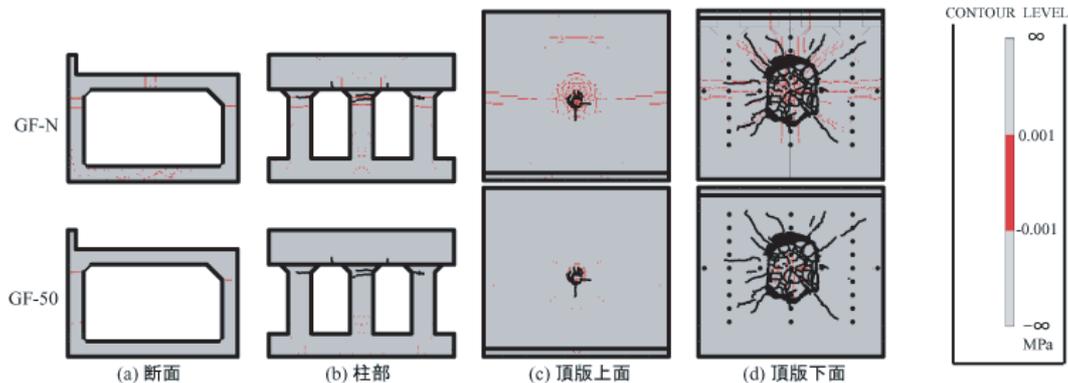


図-3 ひび割れ分布図

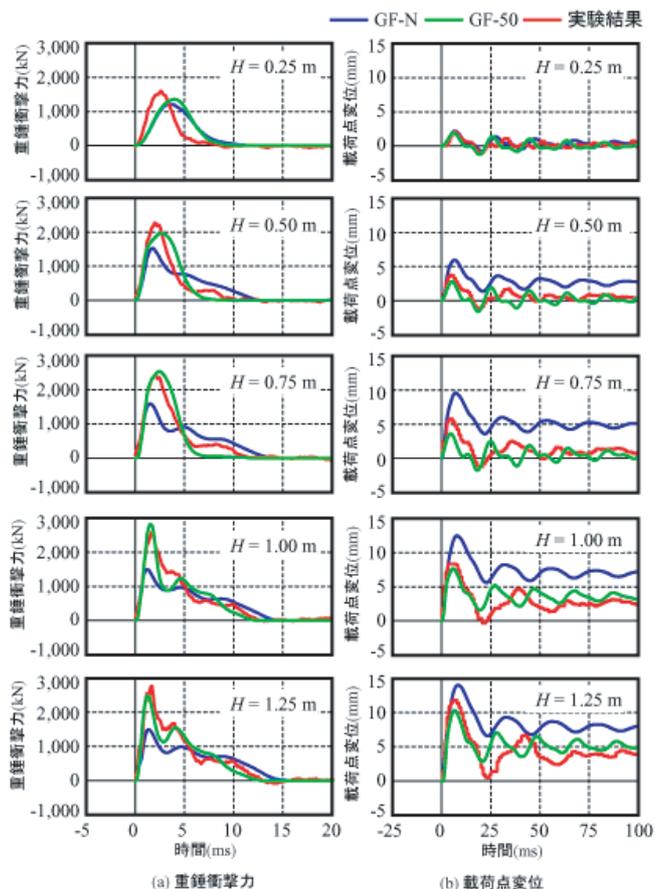


図-2 各種応答波形

次载荷時に使用した重錘要素を除去する。4) 二次载荷時に衝突させる重錘要素に一次载荷時と同様に所定の衝突速度を付加し、数値解析を実施する。なお、減衰定数は、一次载荷時と同様の値を入力することとした。5) 以降 n 時载荷終了までは3), 4)の手順を繰り返す。

3. 数値解析結果

3.1 各種応答波形

図-2には、実験結果および解析結果の各種応答波形を示している。なお、破壊エネルギー等価の概念を導入していない解析モデルをGF-N、基準長を50mmとして同概念を導入した解析モデルをGF-50としている。

図-2(a)の重錘衝撃力波形に着目すると、GF-Nでは

最大重錘衝撃力は実験結果より小さく示されているのに対し、GF-50では最大重錘衝撃力を示す第1波および後続する第2波、第3波の波形性状が実験結果と類似しており、実験結果を概ね再現しているものと考えられる。

図-2(b)の载荷点変位波形は、GF-Nの場合は、実験結果より最大値および残留変位が過大評価となっているのに対し、GF-50では実験結果と周期等に若干の誤差はあるものの、最大値、残留変位共に実験結果を概ね再現できていることが分かる。

3.2 ひび割れ分布性状

図-3には、5回目 ($H = 1.25\text{ m}$) 载荷終了時の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。なお、数値解析結果は、第一主応力が零近傍となる要素を赤色として示している。

図より、実験結果では頂版上面の重錘衝突部分に局所的なひび割れが生じ、頂版下面には放射状にひび割れが発生していることより、载荷点近傍部は押し抜きせん断破壊が生じていることがわかる。さらに、柱部ではハンチ部近傍に曲げひび割れが発生していることが分かる。

次に、解析結果を見ると、GF-Nでは全体的に実験結果と比較してひび割れが広く分布する傾向にあることが分かる。一方、GF-50のひび割れ分布は実験結果と比較して、若干小さい傾向にある。特に、頂版下面ではせん断ひび割れは出現していない。しかしながら、残留変位等は実験結果と類似しており、頂版内部にはせん断コーンの形成を確認している。

4. まとめ

本研究より、提案の手法を用いることにより、繰り返し重錘落下衝撃荷重を受けるRC製覆道2/5モデルのひび割れの発生に起因した剛性低下及び重錘衝撃力と载荷点変位波形に関する波形性状や最大値、および残留変位等を大概評価可能であることが明らかになった。