

京都大学工学研究科 正会員 ○原田英治

京都大学工学研究科 正会員 後藤仁志

京都大学工学研究科 フェロー 酒井哲郎

京都大学工学部 学生員 大野正博

1. はじめに

最も一般的な防波堤様式の一つである消波ブロック被覆堤は、消波ブロックが波浪に直撃されるため、ブロックの沈下・散乱等の被災事例も多く報告されている。ブロック間に消波に有効な適切な容量の空隙を確保しつつ、来襲波に対してはブロック間の噛み合わせによりブロック群としての十分な抵抗力を有することが、消波ブロック被覆層に求められる要件となる。また、被覆層支持地盤の一部が洗掘等により沈下したときにも、個々のブロックは剛体連結されていないから、被覆層全体としては地盤高の変化に応じて容易に変形できる。このような柔軟性は、消波ブロック被覆層の利点でもある。沈下・変形後に被覆層が引き続き有効に機能するには、ブロック間の噛み合わせが損なわれないことが必要となるが、ブロックの再配置の過程でブロック間作用応力がコンクリートの圧縮およびせん断強度を超えると、ブロックが折損（足折れ）し、局所的に噛み合わせ効果が損なわれることとなる。実際に、消波ブロックの被災事例調査においても、足折れがしばしば報告されている。この種の局所的な噛み合わせ効果の損失は、被覆層からの単一ブロックの離脱（拔出し）を誘発し、それを契機に被覆層の大規模な破壊を招きかねない。本研究では、このような消波ブロック被覆堤の被災機構の一端に迫るべく、ブロック間衝突を陽に取り扱える個別要素法型の数値シミュレーションによって、「テトラポッド」を積上げた被覆層が局所的な支持地盤の沈下に見舞われた際のブロック間接触応力の動態を数値予測する。

2. 研究概要

計算に用いたモデルは、剛体連結モジュールを組み込んだ拡張型の個別要素法を基礎とした3次元ブロック間干渉モデルである。「テトラポッド」は直径1.0mの球の周囲に直径0.5mの4個の球を、4個の小球の中心が正四面体の頂点となり、正四面体の重心に大球の重心が一致するように剛体連結して表現した。接触状態にある要素間にはバネ・ダッシュポットを配置して相互作用を評価し、剛体を構成する個々の要素には、剛体の重心周りの角運動量が保存されるように相対回転角を算定し、要素間の相対位置が変化ないように座標修正を施すことにより、剛体挙動させる。計算領域は、長さ14.5m、奥行き12.5mの領域で、領域の中央部の床面が幅5.0mにわたって落差1.0mの瞬間的陥没を生じる場合に、上層56個、中層56個、下層72個の3層に規則積みされた「テトラポッド」群の変形とブロック間応力の時間的変化を計算した。また比較のため、同様の配列を鉛直面に投影した2次元モデルを用いた沈下過程の計算も行った。

3. シミュレーション結果

packing終了時からの床面の瞬間的陥没に伴うブロック群の挙動を、図-1、図-2にそれぞれ3Dモデル、2Dモデルのsnap shotで示す。3Dモデルでは、ブロック間の噛み合わせによる z 軸（奥行き）方向へのブロック群の運動が表現され、2Dモデルと比較しより、リアリティーのある再現計算が実施されている。また、2Dモデルと3Dモデルの双方とも、床面の瞬間的陥没後のブロック群の最終形状は比較的良好に一致

しており、ブロック群の変形予測の観点では、2Dモデルを用いた再現計算で最終形状推定が可能であると考察される。続いて、ブロック間の相互作用力を検証するため、3Dモデル、2Dモデルのブロック間の応力状態を図-3、図-4にそれぞれ示す。ここでは、ブロック間の応力状態をstress chainで示し、ブロック間の応力が大きい程、太いシリンダーで表示している。なお、3Dモデルでは、表示が煩雑になるためブロック要素は非表示としている。3Dモデルのstress chainは2Dモデルと比較し、本数が多く、かなり太いものが見られる。これは、3Dモデルではz方向にも噛み合わさり、2Dモデルと比較しブロック群が密な状態を形成し、1つのブロックに多方向より応力が作用するためである。また、3Dモデルと2Dモデルのstress chainの分布を比較すると、双方とも床面が陥没して生じる溝の淵周辺に応力集中が示されており、応力集中が生じる位置については、定性的な一致が確認された。図-5にブロック群の平均応力の時系列をしめす。2Dモデルでは沈下の終盤付近でスパイクノイズ的な応力の急増減が生じているが、3Dモデルでは変動は伴うものの漸増傾向で推移する。2Dモデルは3Dモデルと比較して要素間の接触点が少ないので、過度の応力集中が生じやすいことがこのような特性の相違の一因と考えられる。

4. おわりに

自明ではあるが、このように2Dモデルから3Dモデルへの拡張が、被覆ブロック群挙動のより高度な予測を可能にし、本研究ではその一面を示した。

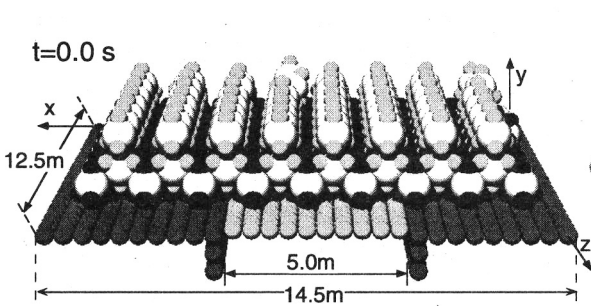


図 -1 snap shot (3D-model)

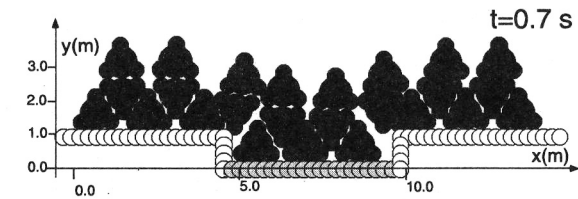


図 -2 snap shot (2D-model)

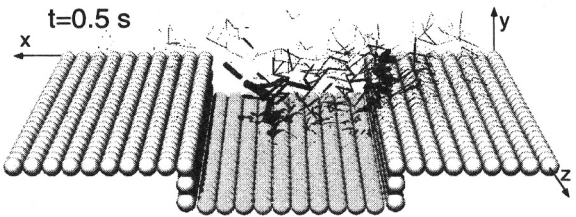


図 -3 stress chain (3D-model)

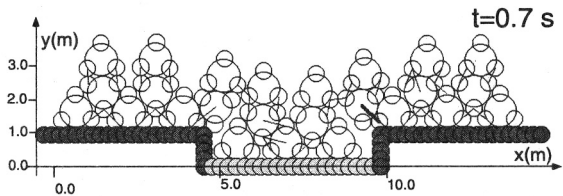


図 -4 stress chain (2D-model)

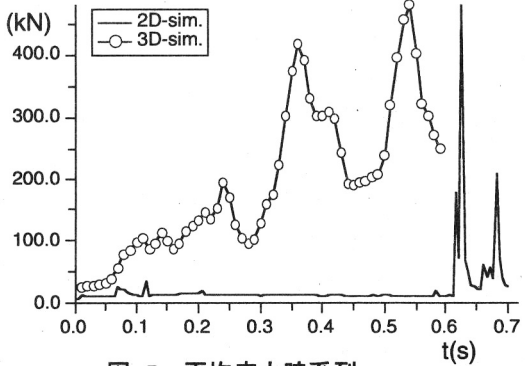


図 -5 平均応力時系列