

DEM 解析に用いる捨石マウンドの材料強度設定のための砕石破砕実験

東電設計株式会社	正会員	本田 中
東京電力株式会社	正会員	興野 俊也
国土技術政策総合研究所	正会員	長尾 毅
東電設計株式会社	正会員	中瀬 仁

1. 目的

現在、混成式防波堤の捨石マウンドには、偏心傾斜荷重が作用するため、その支持力の照査は簡易 Bishop 法による円弧滑り解析を用いて行うことを標準としている。簡易 Bishop 法は、港湾施設の技術基準にも採用され、その解説には、室内模型実験、現地載荷実験、既存の防波堤および係船岸の解析等一連の研究結果から、支持力特性を良く表現できることが確認されていると記述されている¹⁾。しかし、捨石マウンドの破壊形態は、条件により様々な形態をとると考えられるため、全ての条件に対してこの手法を用いることは問題である。

今後、性能規定型の設計体系を採用し、信頼性設計法により照査していくためには、捨石マウンドの破壊形態を反映した捨石マウンドの支持力照査法を構築してゆく必要がある。新しい捨石マウンド設計法の構築のための第一歩としては、捨石マウンドの荷重支持メカニズムを把握する必要がある。その計算手法としては、個別要素法が有力であると考えられている。しかしながら、個別要素法を捨石マウンドの支持力解析に適用する場合²⁾のパラメタ設定には、捨石の強度特性などが十分に反映されていない。よって本研究では、個別要素法のパラメタ設定にマウンド捨石の強度を反映するための砕石破砕実験を行った。

2. 個別要素法における粒子間接点力のモデル化と課題

個別要素法では、適当な質量を有する要素（円形）で粒子を表し、個々の粒子間に働く相互作用を、ばねとダッシュポッドを介して伝達するモデルになっている。個別要素法をマウンド支持力解析へ適用するにあたっては幾つか課題があるが、本研究では、ばねの特性について着目した検討を加えたい。

個別要素法にバネについては、様々な特性を持たせることができるが、現状では、要素に集中荷重を作用させると、その接点における荷重方向の変位と力が比例し、どんなに荷重が大きくなっても、要素変形量が要素半径を超えない範囲で、これに抵抗を示すとする力学モデルが一般的である。

図-1 にマウンドを構成する捨石1つを、圧縮したときの荷重(P)と変位()の関係についてのイメージを示す。捨石は、荷重の増大に対してあるレベルまで抵抗するものの、いずれピーク強度を発揮して、破砕し抵抗力を失うことは間違いない。これに対して通常の DEM は、要素半径をこえない限り、どこまでも抵抗するモデルになっている。少なくとも図-2 のように、捨石のピーク強度に対応する荷重より過大な荷重には抵抗できないモデルにする必要があると考える。

3. 砕石圧縮試験の概要

捨石が破砕する荷重を把握するには、捨石そのものを破砕

キーワード 捨石マウンド, 粒子破砕, DEM パラメタ

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 東電設計株式会社 TEL : 03-4464-5563

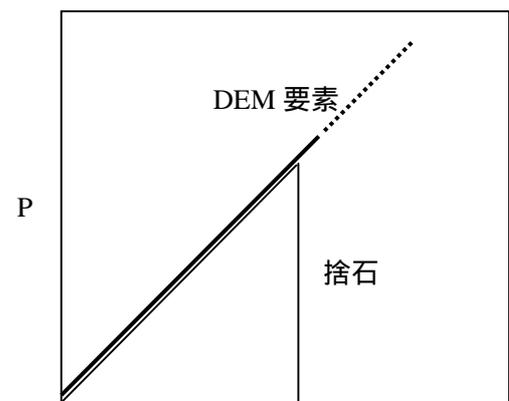


図-1 捨石と現行 DEM 要素の荷重変位関係

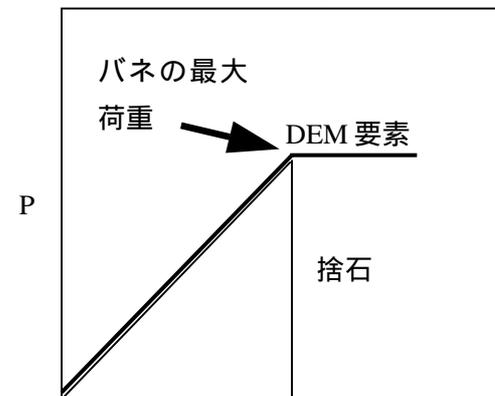


図-2 捨石と改良 DEM 要素の荷重変位関係

すればよいが、実験室レベルで実施することは難しい。そこで、捨石よりは粒径の小さい材料を用いて、岩質材料の強度を大まかに把握するため、砕石の圧縮試験を行った。材料に用いた砕石の大きさ(写真-1)は、1号(粒径 60mm ~ 80mm)、2号(粒径 40mm ~ 60mm)および3号(粒径 20mm ~ 40mm)である。砕石の母岩は、栃木県葛生町産硬質砂岩である。

通常、岩に対する圧縮試験は、コアを切り出し、成型したものを供試体として用いる。しかし、本研究では、マウンド内部の捨石自体の強度に着目しているため、材料不成型によるデータのばらつきには目をつぶり、砕石そのものを直接圧縮した³⁾。圧縮に際しては、砕石1号についてはアムスラーを、砕石2号および砕石3号については一軸圧縮試験機を用い、1.0mm/分程度の速度で載荷した。材料の強度は、その設置方法にも依存すると考えられる。材料がぐらぐらしない最も安定する面を載荷台に向けるよう注意した。

図-3に実験時の荷重(P)と変位()の関係について少し詳細なイメージを示す。材料は、試験機の載荷面に、面としてではなく、頂点で接するため、試料が大きく破砕して最大強度 P_r を発揮する前に、多くの場合、この頂点部分の局所的な破砕が生じ強度の極大値をとる。マウンドの強度を議論する場合、このような局所破砕の影響が無視できない場合もありうるので、最大強度 P_r および、最初の局大値 P_1 を実験データとして記録した。材料の最大強度 P_r は、そのサイズに依存すると考えられる。このサイズを代表する指標として、「基準長さ：l」を導入し、これについて「供試体高さ：試料を設置したときの高さ」と「等価球半径：材料と密度(2,730kg/m³)および質量の等しい球の半径」の2つの候補を考えた。図-4に基準長さ(等価球半径)と最大強度の関係を示す。詳細は割愛するが、局所破壊 P_1 もまたlの関数であることが分った。

4. まとめ

DEM で用いるバネの最大荷重を定めるため砕石の単粒子破砕実験を実施した。破砕時の荷重 P_r や局大値 P_1 は、材料の質量と等価な球の半径等、基準長さlのべき乗に比例する。結果を以下に整理する。

基準長さ：供試体高さ $P_r = 0.1679 \times l^{1.15}$
 基準長さ：等価球半径 $P_r = 0.0178 \times l^{2.05}$
 基準長さ：供試体高さ $P_1 = 0.317 \times l^{0.726}$
 基準長さ：等価球半径 $P_1 = 0.0587 \times l^{1.37}$

参考文献

- 1) 小林正樹他：捨石マウンド支持力の新しい計算法，港湾技術研究所報告，Vol.26，No.2，pp.371-411，1987.
- 2) 中瀬仁他：個別要素法によるケーソン式防波堤の挙動解析，応用力学論文集，Vol.5，pp.461-472，2002
- 3) 加登文学他：破砕性材料の粒子特性と一次元圧縮特性，土木学会論文集 No.701/III-58，pp.343-355，2002



写真-1 材料に用いた砕石

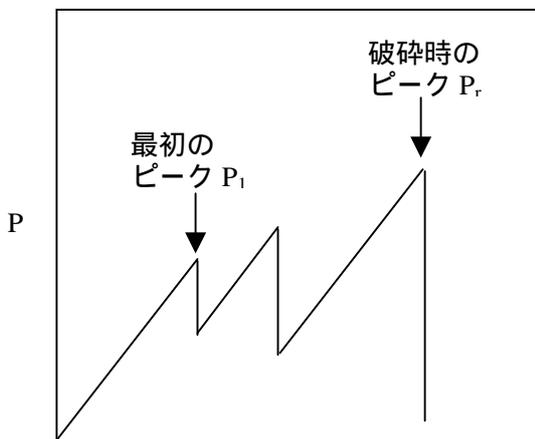


図-3 砕石の破砕実験における変位関係関係

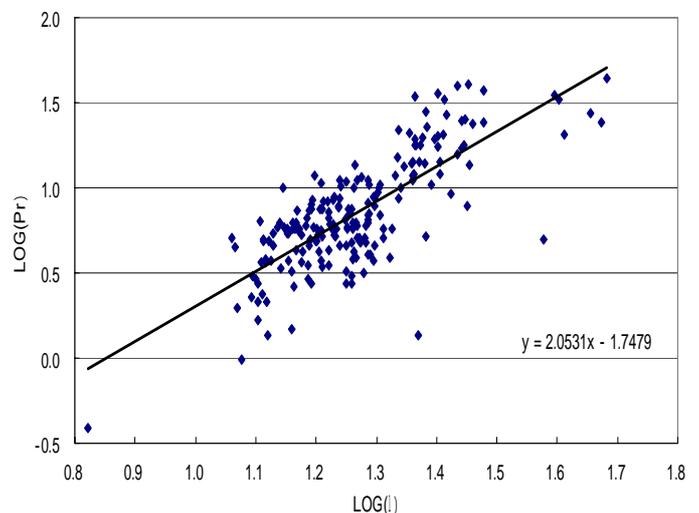


図-4 等価球半径と最大強度の関係