

V-552

個別要素法を用いた吹付けコンクリートのリバウンド特性に関する基礎的研究

埼玉大学建設工学科

正会員 牧 剛史

東京大学生産技術研究所

フェロー会員 魚本 健人

1. はじめに

吹付けコンクリートは施工が容易である反面、品質のばらつきが大きく、未だにその品質に対して十分な信頼を得ていない。その施工時に発生するリバウンドは、吹付けコンクリートの品質管理を困難にする大きな要因となっている。吹付け施工を定量評価するための導入として、筆者らは骨材粒子がペースト面に衝突する挙動について数値的な考察を試みている[1]が、粒子単体の挙動を追跡するだけでは不十分であると考えられる。そこで、本研究では次ステップとして、多数の粒子が吐出された場合の付着・リバウンド性状を定量的に把握することを目指している。その手法として、従来は地盤やコンクリート構造の動的破壊解析[2]に適用されてきた2次元個別要素法の適用を試みている[3]。

2. 解析手法

2.1 個別要素法の原理

個別要素法は、個々の要素毎に運動方程式をたて、差分近似して前進的に解くことによって各要素の動的挙動を追跡するものである。質量 m_i 、慣性モーメント I_i のある要素 i の運動方程式は、以下の式で表される。各要素間の接触点での伝達力や重力などの体積力は、右辺の作用合力およびモーメントに含まれる。

$$\begin{aligned} m_i \cdot \ddot{u} + C_i \cdot \dot{u} + F_i &= 0 \\ I_i \cdot \ddot{\phi} + D_i \cdot \dot{\phi} + M_i &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 F_i ：作用合力、

M_i ：作用合モーメント、

u ：変位ベクトル、 ϕ ：回転変位、

C_i, D_i ：減衰定数

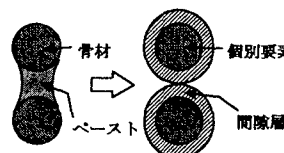


図1 要素モデル

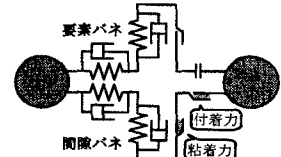


図2 要素パネと間隙パネ

2.2 要素のモデル

要素モデルは、コンクリートを骨材とペーストの二相系材料と考え、図1に示すものを用いた。各個別要素を骨材と見なし、各要素の周囲に一定の層厚を持った間隙層を配置することによってペーストの効果を表現している。図2に示すように、要素同士の接触力については要素パネによって、また、ペースト部分の伝達力については間隙パネによって評価している。各方向の間隙パネの破壊基準を付着力および粘着力と定義し、その値は接触要素半径によって変化する。付着係数・粘着係数はその係数値を示すものである。

3. パラメータと解析条件

3.1 解析条件および測定項目

解析の初期状態と最終状態を図3(a)(b)に示す。図3(a)において、右上の空間①に要素群を溜めておき、空気圧を想定した外力を②の部

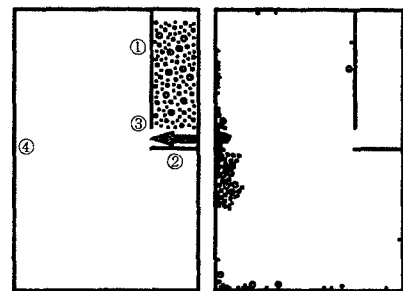


図3 解析条件

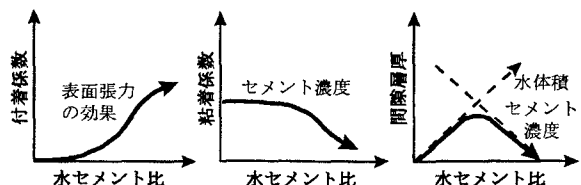


図4 間隙層パラメータと水セメント比との関係

キーワード：リバウンド、間隙層、間隙層厚、付着係数、水セメント比

連絡先：〒338 埼玉県浦和市下大久保 255、048-858-3556 (Dial In, Fax)

分に左向きに作用させることによって、③の吐出口から④の鉛直壁面へ向かって吐出される。測定項目については、図3(b)において、左壁面に付着しなかった要素の総重量を算出し、それを全内部要素総重量で除した値を「リバウンド率」と定義しており、各パラメータの変化がリバウンド率に与える影響について考察を行っている。

3. 2 各パラメータと材料条件

間隙層パラメータはペーストの性質、つまり水セメント比によって決定されるべきである。間隙層パラメータのうち、付着係数、粘着係数、間隙層厚と水セメント比との関係の概念図を図4に示す。また要素バネのパラメータは、骨材の比重、ヤング率、ポワソン比より求められる波動伝播速度から算定する手法[2]を用いて決定した。要素径については簡単のためと計算時間短縮のために0.5m、1.0m、1.5mの3種類の大きめの粒径を持つ要素を分散配置した初期状態のもとで解析を行った。

4. 解析結果及び考察

4. 1 解析結果

本研究においては、特に水セメント比の変化がリバウンド性状に与える影響について観察するために、表1のパラメータを基準として、間隙層の付着係数と粘着係数、および間隙層厚を様々に変化させて解析を行った。その他のパラメータについては表1に示す値で不変としている。リバウンド率への影響を解析した結果を図5に示す。これより、間隙層厚が増加するに伴って付着係数－リバウンド率曲線が下方へシフトする傾向が伺える。

4. 2 水セメント比とリバウンド率との関係に関する考察

図5の解析結果から、水セメント比とリバウンド率の関係について概念的に考察した結果を図6に示す。水セメント比の増加に伴って付着係数は単調増加する傾向を、また、間隙層厚は極大値を取る傾向を示すと考えられる（図4参照）ことから、水セメント比の増加と共にリバウンド率は図に示すように変化すると考えられる。筆者らは水セメント比を変化させてモルタルの簡易吹付け実験を行っており、図7のような結果が得られている。この実験結果との比較から、水セメント比の低下と共にリバウンド率が大きく低下して頭打ちとなる傾向が示されていることが分かる。

5. まとめ

個別要素法解析により、水セメント比とリバウンド率との関係を概念的に示すことができた。解析条件の設定をさらに詳細に行うことによって、リバウンド特性を定量的に把握できる可能性があると考えられる。

謝辞 本研究は東京大学生産技術研究所第5部魚本研究室にて行った修士論文の一部であり、個別要素法プログラムは東京大学生産技術研究所第5部目黒公郎助教授の御厚意により使用させて頂いたものであります。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 [1]牧、魚本：吹付けコンクリートの特性に関する基礎的研究(1)―ペースト・骨材間の付着挙動に関する数値的考察一、生産研究、第49巻2号、pp.111-114、1997.2 [2]目黒：粒状体ジュレーションによるコンクリート構造の破壊解析、東京大学地震研究所彙報、Vol.63、1988 [3]牧、魚本：2次元個別要素法を用いた吹付けコンクリートの吹付けメカニズムに関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集第19巻、投稿中

表1 用いたパラメータ（基準）

内部要素数	115	個
解析時間	10	sec
時間増分	1.0×10^{-5}	sec
作用外力	1.4×10^6	N/m ²
間隙層厚	0.1	m
付着係数	5.0×10^5	N/m ²
粘着係数	5.0×10^4	N/m ²
(法)バネ係数	5.0×10^5	N/m
(法)減衰係数	8.0×10^4	Nsec/m
(接)バネ係数	5.0×10^4	N/m
(接)減衰係数	3.0×10^4	Nsec/m

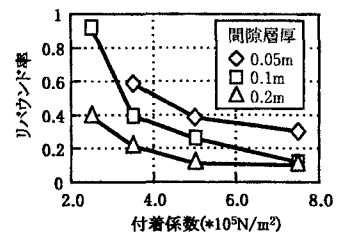


図5 解析結果

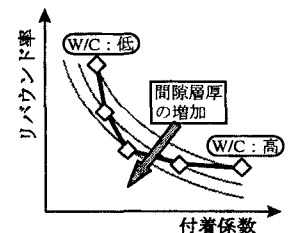


図6 リバウンド特性の概念図

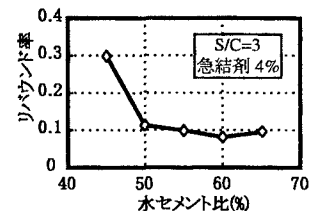


図7 モルタルの吹付け実験結果