

III-B 367 振動測定による凍土形成範囲の一確認方法

鴻池組 技術研究所 正会員 岡村昭彦
同 上 正会員 武田一夫

1. はじめに

土の凍結を確認する方法は、温度を測定する方法が簡便で確実であるため一般に用いられる。しかし、温度を測定できない場合でも、凍土の形成状態の把握を求められることがある。一般に、物体に一定の衝撃を与えたとき、内部状態の違いによって発生する波の特性は異なる。容器に入った粘土が周囲から中心部へ凍結する過程で、容器の見かけの肉厚は増加する。また、容器全体の剛性は増大し衝撃波の減衰も大きくなる。この衝撃波をスペクトル解析すると、振動スペクトルのピーク（卓越周波数）は、凍結前には低い、凍結後には高くなる。その結果、容器に衝撃を与え、振動を測定・分析することで、容器内部の状態変化を知ることができる。

本研究では、室内実験で振動を測定することによって土の凍結状態を把握すると共に、供試体の温度も測定し、その有効性を確かめた。

さらに、実験結果をふまえて、シールド工事でスクリーコンベアの部分凍結を実施し、振動測定によって凍結完了を判定した。

2. 実験概要

図1に示す装置は、突き固め試験用モールド（ $\phi 15\text{cm}$, $h=15\text{cm}$ ）に粘土（含水比40%の笠岡粘土）を詰めた供試体、振動ピックアップ、チャージアンプ、FFTアナライザーで構成される。モールド内中央部水平に、温度センサーを1cm間隔に配置する。実験開始前には、供試体全体が $+2^\circ\text{C}$ の均一温度になるようにした。実験開始と同時に、モールド周囲の雰囲気温度を所定の冷却温度にし、実験中常に一定に保った。供試体は上下面を厚さ5cmの断熱材で覆われて円筒形の周囲から冷却されるので、周囲から中心部へ向けて凍結が進行する。実験は全部で4例行い、各々冷却温度を -10 、 -20 、 -30 、 -40°C とした。凍結の過程において、モールド側部にできるだけ一定の衝撃を加えるために、振り子状の鋼球を定位置から振り下ろす。一回の測定で10回衝撃を与え、平均値から振動スペクトルを算出。その時点での卓越周波数を特定する。このような振動測定を適宜行った。

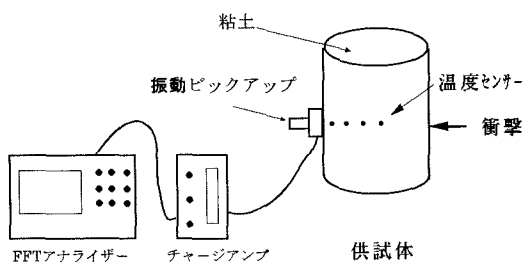
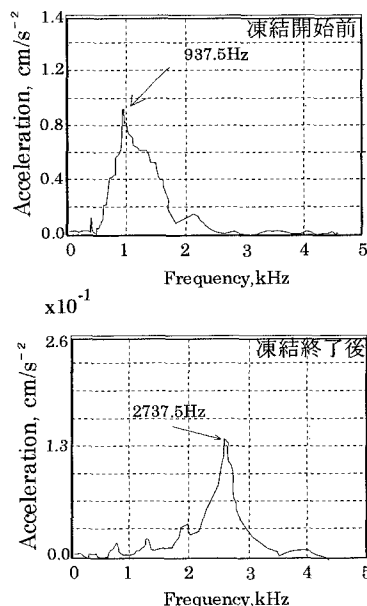


図1 振動測定装置の模式図

図2 振動スペクトル
(冷却温度 -10°C の実験)

3. 実験結果

図2に凍結開始前、および凍結終了後の典型的な振動スペクトルを示す。卓越周波数は、各々937.5Hz

(図3の①), 2737.5Hz (図3の②) が得られた。図3は全実験について、実験開始から卓越周波数の経時変化をまとめたものである。例えば-10℃について、実験開始から2時間まではほぼ一定であるが、2～6時間にかけて急激に増加した。6～9時間に一定値（この間を PLA1 と呼ぶ）となった後、9～10時間に再び増加し、10時間以降約2700Hzで一定値（この間を PLA2 と呼ぶ）になった。24時間以上経過し、供試体を取りだして凍結を確認する前の測定でも、約 2700 Hzと変わらなかった。一方、同じ実験の供試体中心部での温度記録を図4に示した。2時間まで温度が低下し、2～10時間にはほぼ 0℃（最低温度-0.2℃）で一定となり、10時間以降再び温度が低下した。温度結果は、初めの2時間までが供試体の冷却、その後周囲からの凍結の進行、10時間になって凍結完了を示している。冷却温度の異なる他の 3例も -10℃の場合と同様、卓越周波数の変化速度は異なるものの、PLA1, PLA2が現れる点で共通している。また、卓越周波数の最終値も、冷却温度によらず、いずれも 2700 ～ 3000 Hzになり大きな違いはなかった。

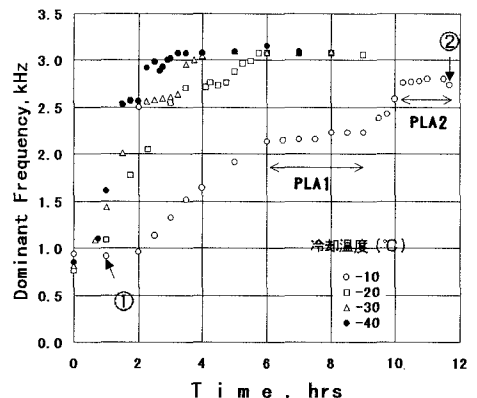
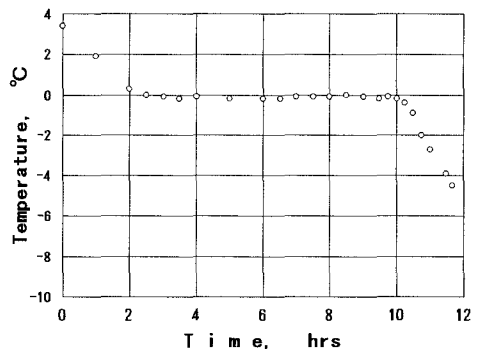


図3 卓越周波数の経時変化


 図4 モールド中心部の温度変化
(冷却温度-10℃の実験)

4. 実験結果の考察

図3の卓越周波数が、供試体の凍結・未凍結の割合を示すと仮定して、粘土の凍結範囲の変化を類推する。-10℃の実験において、2～6時間には凍結範囲が拡大するが、6～9時間のPLA1では凍結範囲はほとんど変化しない。しかし、9時間を過ぎると再び凍結範囲は拡大し、10時間以降PLA2で変化が少ない。一連の過程を図4の温度変化と併せて考察すると、6時間のとき拡大した凍土によって、中心部の未凍結部分は閉塞される。PLA1では冷却は継続し凍結範囲の拡大がほぼ停止するものの、未凍土の圧力は増加する。9時間のとき、凍土は圧力に耐えきれず、亀裂が生じ内部の圧力が開放されると同時に、残った未凍土の凍結は進む。10時間で、凍結が完了したと考えられる。PLA1での未凍土の最低温度-0.2℃から、Clausius-Clapeyronの式によって圧力は2.64MPaとなる。この圧力は、-10℃の粘土凍土の曲げ強度2.45MPa¹⁾に相当し、PLA1の出現を裏付けている。もし、未凍土の圧力増加がなければPLA1は存在しなく、卓越周波数の増加の後PLA2が現れ、その時点が凍結完了と判断できる。したがって、卓越周波数を測定することによって、容器内部にある粘土の凍結状態が把握でき、凍結完了の判定が行える。

5. 現場への適用

シールドマシンスクリーコンベア部（φ72cm）の凍結を実施し、振動測定により凍結範囲の確認を行った。卓越周波数は、凍結開始前 2000Hzであったが凍結進行に伴って増加し、凍結完了と推定される時点以降 7500Hzで一定値を示した。卓越周波数の絶対値は管の大きさや材質によって異なるものの、振動測定から卓越周波数を調べることでコンベア部内部の凍結完了の判定が可能になることが実証された。

【参考文献】 1) 生頼ら, 1983, 雪氷学会講演予稿集, P210