

温度勾配を受ける土の水分の移動について

東北大学工学部 正会員 柳沢栄司
東北大学大学院 学生会員 田中元幸

1. はじめに

地盤の凍結・凍上の影響を与える要因には土中水の凍結と土中に発生する温度勾配とによる土の水分移動がある。本研究はこれらの要因を調べるために2つの実験を行なった。1つは凍結点以上の温度からなる一定の温度勾配を受ける土の水分移動を調べた室内実験(以下室内不凍結実験とする)である。2番目の実験は凍結点以下の温度も含む一定の温度勾配を受ける土の水分移動を調べた現場実験(以下現場凍結実験とする)である。

2. 実験方法

(1)室内不凍結実験 初期含水比25.6%に調整した粘土質ロームを試料とし、これを高さ30cm内径10cmの塩ビパイプに詰めて乾燥密度1.36g/cm³になるように高さ26.7cmまで締め固めた。これらの供試体を6個作製し、側面を厚さ約4mmのガラスウールで包み、上面をビニールで覆った。これを約2℃の冷凍室中へ入れて垂直に立て、下面に約12℃の熱源を接触させた。うち1個の供試体にサーミスター温度計6本を埋め込み、温度分布を測定した。別に同型の供試体を2個作製し、これらには温度勾配をかけないで(以下ダミーと称する)各供試体と同じ時間内隔で各ダミーの含水比分布を測定した。

(2)現場凍結実験 室内不凍結実験と同じ試料を高さ105cm内径15cmの塩ビパイプ1本と高さ100cm内径7.5cmのシンウォール9本に詰めて室内実験と同じ乾燥密度になるように締め固めた。これらの供試体を現場(仙台市青葉区)に上面が地表面よりわずかに高くなるようにして埋設し、この上面もビニールで覆った。塩ビパイプ供試体中にサーミスター温度計を埋め込み、断面中央に凍結深測定管を挿入した。次に室内実験と同様に一定の時間内隔で各々のシンウォール供試体の含水比分布を測定した。

3. 実験結果と考察

(1)室内不凍結実験 図1に供試体中の温度分布を示す。横軸は供試体下面からの距離である。図中の各点はそれぞれの距離における測定温度の23日後までの平均である。温度分布は直線に近似され温度勾配は $-0.21^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ となる。図2に初期含水比分布に対する9・16・23日後の含水比分布の変化を示す。ただし表面からの乾燥・重力ポテンシャル等による水分移動を除くためダミーの9日・16日後の含水比分布を考慮して供試体の含水比分布を修正している。これは、あまり大きな修正を必要としなかった。図2によれば時間と共に全体の含水比が低下している。これは温度勾配により高温側から低温側へ移動した土中の水蒸気が供試体上面(低温側)を通過し系外へ拡散したか、または移動した水蒸気の一部が上面付近の土中で凝結してその部分の含水比を高め、上面との間に含水比差による拡散が生じて上面から系外へ蒸発したと考えられる。図3に供試体の平均含水比の時間変化と供試体から系外へ拡散した土中水分のフラックスの時間変化を示す。前にも述べたように平均含水比はほぼ一定な割合で低下している。系外拡散フラックスは時間と共に増加する一方、その割合は減少しているが、このことから土中水分の系外拡散フラックスはある定常状態へ向っているように思われる。

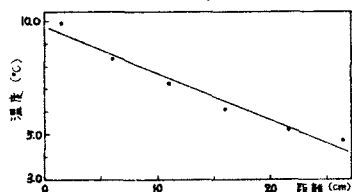


図1. 温度勾配

再び図2によれば9日・16日後の含水比変化において距離2cm~8cmと18cm~23cmの領域での含水比低下が他の領域より大きく、また13cm~17cmの領域では含水比低下が小さい。これは温度勾配により高温側である2cm~8cmの領域の間げきにおける平衡蒸気圧と低温側である13cm~17cmの領域の間げきにおける平衡蒸気圧との間に差が生じ、

と中の水蒸気は高温側から低温側に移動して結

氷 13°C ～ 17°C の領域で水蒸気が過飽和状態とな

る。その一部が凝結して考えられる。これによ

り 2°C ～ 8°C の領域で含水比がより低下し、 13°C

～ 17°C の領域で含水比があまり低下しないとい

うことになる。23日後のグラフでは含水比がほ

ぼ一様低下している。通常の含水比差が

生じると土中水分が高含水比領域から低含水比

領域へも浸透作用により液相で移動し、含水比差も減少さ

れるが、これが9日・16日後の含水比分布を23日後には一様

化する原因と考えられる。また上述のことにより 23°C 付近

下の含水比の増加も説明できるだろう。

さらに図2によれば、上下面付近(距離 1°C ・ 25°C)で

の含水比低下が他に比べて小さいが、これは上面(低温)

については、前述したように湿度勾配により移動する水

蒸気の一部が上面付近で凝結し、その部分の含水比も高め

ると考えられる。あるいは系外へ拡散した水蒸気が凝結し

て上面に水滴を生じさせ、これが逆に土中へ拡散すること

で上面付近の含水比を高めることも考えられる。後者に

ついては事実、上面の一部に厚さ数mmの濃い部分が観察された。下面については、下面付近の土の締め具合がよ

く密度が高いとすれば、その部分の向ゲキが小さいと考えられ、向ゲキ中の湿度勾配による水蒸気移動は他の部

分に使って小さくなって下面付近の領域の含水比もあまり低下させないで推察できる。またこのことは、図2で

2°C ～ 8°C の領域の含水比低下を大きくする要因の一つであるとも考えられる。上記の推論を確かめるためには、

試験終了各領域の向ゲキ率を知る必要がある。

(4) 現場凍結実験 図4に12/24～2/9までの地温の変化を示す。

図中の各曲線は等温線である。各曲線の間隔がほぼ同じであることから

湿度勾配は一定で約 $+0.06^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ となる。

図5に初期含水比分布(12/28)に対する9日後・24日後の含水比分布の

変化を示す。図4からわかるように9日後(1/6)と24日後(1/21)の

凍結深はそれぞれ 9°C ・ 15°C となっている。図5によれば9日後の地下

1°C ～ 24°C の領域の含水比が低下し、 4°C ～ 9°C の領域の含水比が増大して

いる。これは凍結領域(4°C ～ 9°C)の水分が凍結し氷品となって成長す

る過程における氷品分離時のサクシオンアレナによって未凍結領域(1°C ～ 24°C)の水分が凍結領域へ液相で移動することによると考えられる。

5. おわりに

上に述べた考察はいずれも推論の域を出ておらず、今後これらの推論

を定量的に検証していかねばならない。また凍結が湿度勾配による

水分移動にどのような影響を与えるかも同時に明らかにしてゆきたい。

(参考文献) 大森修造 “低湿をうける土の熱物性値の変化と

間隙水分の移動” 東北大学土木学科 修士学位論文

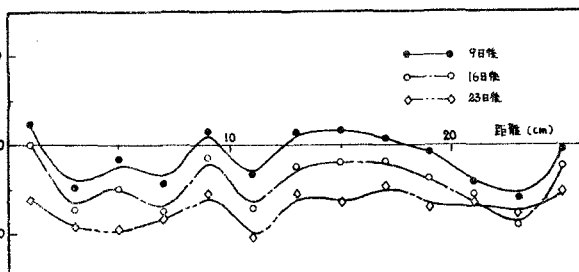


図2. 初期含水比分布に対する含水比分布の変化

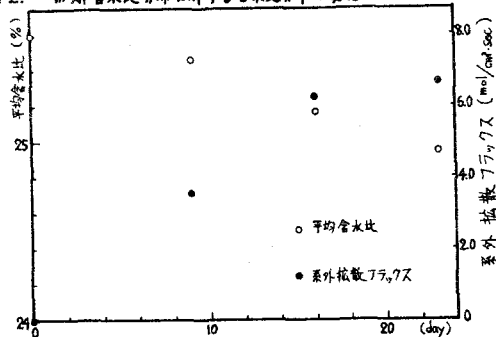


図3. 平均含水比と系外拡散フラックスの経時変化

図3. 平均含水比と系外拡散フラックスの経時変化

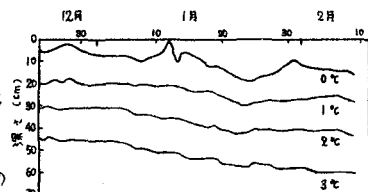


図4. 地温の変化

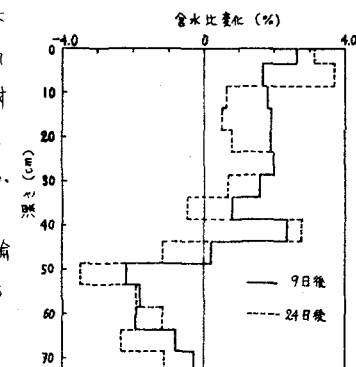


図5. 含水比分布の変化