水素ガスの土中での拡散特性

早稲田大学　　正会員　　赤木　寛一
早稲田大学　学生会員　○遠山　怜奈

１．まえがき

現在，資源や環境への配慮から新しいエネルギーとして水素ガスが注目されてきている．日本でも，水素ステーションができるなど,燃料電池を使った水素をエネルギーとする乗用車が一般市場に登場するのも間近になりつつある．しかし，燃料電池に使われる水素ガスは着火エネルギーが小さく燃焼範囲が広いなどの性質をもつため，漏洩した場合には迅速に検知しなければならないガスである．よって，新しいエネルギーを普及させていくためにも，水素ガス漏洩の事態に備えるための技術が必要となる．水素ガスを，地中の埋設管によって供給することを想定すると，埋設管から水素が漏洩した場合に，できるだけ早く正確に水素ガスの漏れを探知できるように，土中の水素ガス拡散特性を把握しておかなければならない．

この研究では，水素ガスの土中での移流拡散特性を実験的に解明することを目的とし，土壌中での水素ガスの拡散係数 De の値を測定する実験を行い，含水比や締固め回数などの土壌の状態の違いによる拡散係数への影響を調査した．

２．水素拡散試験

図 1 のようなガス拡散試験装置の拡散容器の中に，水素ガスを十分に充満させ，その上に供試体を設置し，この供試体にガスを拡散させ,酸素センサーを用い拡散容器内の酸素濃度の時間変化を求める試験を行った．水素ガスは酸素よりも軽いため，この試験により大気中の酸素と拡散容器内の水素ガスの入れ替わりに基づく土壌中の水素ガス拡散現象を調査することが出来る．このときの酸素センサーの濃度変化を 1 分ごとに測定し，その結果より土中の水素ガスの拡散係数を求めた．

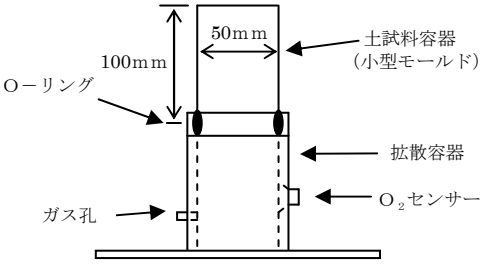

図１　水素拡散試験装置

表１　山砂の密度

密度(g/cm3)	
14号山砂	5mm ふるい通過山砂
2.845	2.641

供試体は小型モールド(内径 50mm，高さ 100mm)に土壌を締固めて作成した．この供試体の締固め回数，含水比を変化させて，土壌の状態の違いによる拡散係数への影響を調査した．締固め回数及び含水比は，10，25，50 回及び，5%，10%，15%のそれぞれ 3 条件で，合計 9 条件で実験を行った．供試体の土壌には，14 号山砂の 5mm ふるい通過分を使用し，土粒子密度はそれぞれ表 1 に示す．

３．実験結果

(1) 拡散試験結果

計測した酸素濃度の値を，酸素濃度変化，および酸素濃度勾配のグラフに整理した．含水比 5%，締固め回数 10 回の場合の酸素濃度変化，および酸素濃度勾配を図 2，3 に，含水比 15%，締固め回数 50 回の場合の酸素濃度変化,および酸素濃度勾配を図 4，5 に示す．ここで，酸素濃度変化図は縦軸に Ct/Ci（濃度測定値／空気中の濃度），横軸に時間、また酸素濃度勾配図は縦軸に－ln((Ct/Ci)/(Ci－Co))（濃度勾配），横軸に時間をとった．

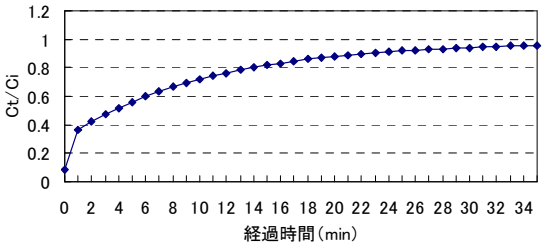

図2　酸素濃度変化(5%,10回)

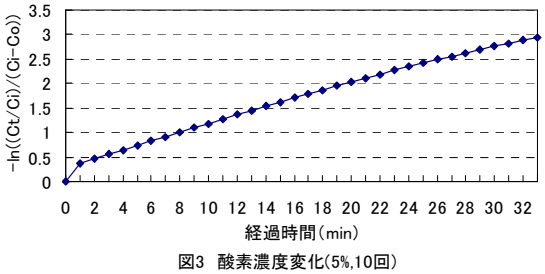

図3　酸素濃度変化(5%,10回)

キーワード　水素ガス，拡散係数，乾燥密度，飽和度
連絡先　　〒169-8555　東京都新宿区大久保 3-4-1　早稲田大学理工学術院　赤木研究室　　ＴＥＬ03-5286-3405

Co は試料容器中での初期濃度である．

図 2、4 より，どの土壌条件下でも，グラフの形状は似たようなものとなり，酸素濃度変化は初めに大きく上昇し，その後，徐々に変化が緩やかになった．また，図 3，5 より酸素濃度勾配は，ほぼ直線で近似できることがわかる．

しかし，測定に要した時間は，土壌条件によって異なり，含水比が高くなるにつれて，また締固め回数が多くなるにつれて拡散に時間がかかり，そして，酸素濃度勾配は緩やかになった．

(2)拡散係数の算出

水素拡散試験の結果より，拡散係数 De を算出する．一次元の Fick の法則(式(1))をもとに，図 3 のような縦軸に－ln((Ct/Ci)/(Ci－Co))（濃度勾配），横軸に時間をとった酸素濃度勾配図の近似直線の傾きを最小二乗法により求めた値から De を算出することができる．算出した結果を表 2 に示す．

$$\frac{\partial c}{\partial t}=\frac{D_e}{n_a}\cdot\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \qquad (1)$$

ここに，c：ガス濃度，na：空気間隙率

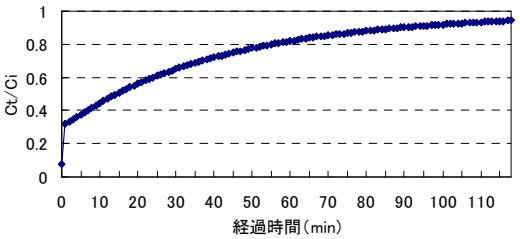

図4　酸素濃度変化(15%,50回)

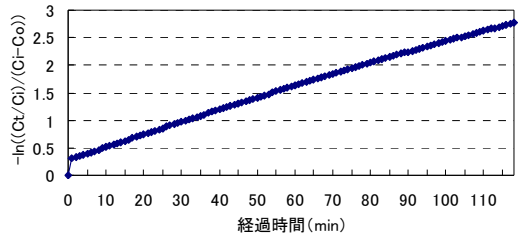

図5　酸素濃度変化(15%,50回)

表 2　拡散係数 De　(単位：cm^2/s)

		締固め回数		
		10回	25回	50回
含水比	5%	0.007661	0.006551	0.004835
	10%	0.004319	0.002734	0.002068
	15%	0.002627	0.001225	0.001194

表 2 より拡散係数 De は締固め回数が多いほど小さくなり，また，含水比が大きいほど小さくなることがわかった．土壌中の空気間隙が減小すると，拡散係数が小さくなり拡散の速度が遅くなるといえる．

(3) 拡散係数と飽和度、乾燥密度の関係

求めた拡散係数と，土壌条件との関係を考察する．土壌の状態を表す指標として飽和度，乾燥密度を求め，拡散係数 De と飽和度，乾燥密度の関係を図 6，7 に示した．

図 6 から，同じ含水比では，飽和度が大きくなるにつれ，拡散係数が小さくなる傾向があることがわかる．しかし，拡散係数 De と飽和度の関係は一義的にはならない．

図 7 から、乾燥密度が大きくなると拡散係数は小さくなり，乾燥密度と拡散係数は一義的な関係にあることがわかる．これより，水素ガスの拡散係数 De は土壌の乾燥密度に依存し，より多くのデータを取ることで，山砂の拡散係数 De と乾燥密度の関係を導き出せるであろう．

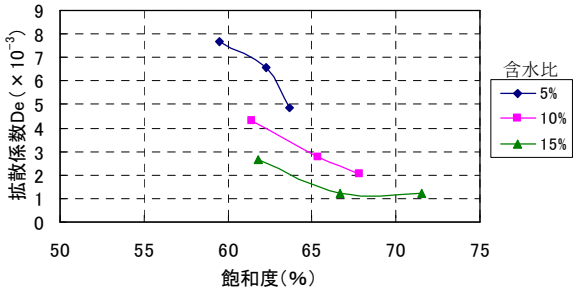

図6　拡散係数と飽和度の関係

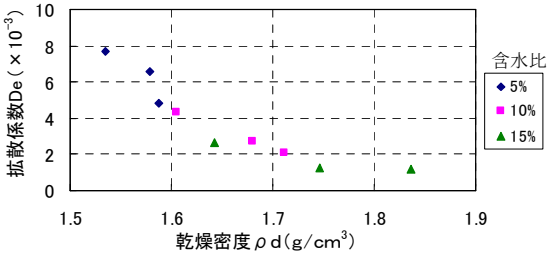

図7　拡散係数と乾燥密度の関係

4．まとめ

本研究では土壌状態の違いによる，水素ガス拡散特性の変化を実験的に調査した．

(1) 水素ガスの拡散係数は土壌締固め回数が多いほど，また，含水比が大きいほど小さくなる．

(2) 土中間隙中の水の割合が増えると，拡散しにくくなる．

(3) 土壌の乾燥密度が大きくなると拡散係数は小さくなる．

謝辞　本研究の実施にあたり，東京ガス㈱基盤技術部技術研究所，五味保城氏より貴重なアドバイスを頂いたことを記し，謝意を表する．

参考文献 1)遅沢省子，土壌のガス拡散係数の測定法，1987，日本土壌肥料学雑誌 第 58 巻 第 5 号

2)島村一訓，町野彰，高木宣雄，地中内ガス拡散に関する研究（第 1 報），1991，東京ガス基礎技術研究所報告 Vol.36