

地盤と酸性雨問題

ENVIRONMENTAL PROBLEMS BETWEEN SOIL GROUNDS AND ACID RAIN

山口 晴幸* ・ 小林 弘樹*

Hareyuki YAMAGUCHI, Hiroki KOBAYASHI

ABSTRACT; The global environmental problems have socially become very important in recent years. Both the fields of the civil engineering and ground engineering are confronted with the many difficulties that must take the new approaches to the natural environmental problems. In this investigation, the present authors mainly discusse about the natural environmental problems between soil ground and acid rain. At first, the present authors try to describe concretly the main roles and important subjects of ground engineers and soil investigators. Next, based on the results of chemical microanalyses about rainfall and snowfall obtained from the foot of the Mt. Fuji and Yokosuka city, the the real condition of acid rain is shown. Also, test results make it clear that the clayey soils have stronger ability to absorb acidity than the sandy soils.

1. はじめに

地球規模的自然環境問題の社会的重要性と広がりの中で、土木工学や地盤工学分野では、新たな多くの環境問題への取り組みに直面している。本報告では、問題提起と話題提供を主目的として、環境地盤工学的立場から、地盤と酸性雨との環境問題を取り挙げ、地盤工学分野が酸性雨によると思われる影響やその実態を通し、自然環境問題で果すべき主要な役割と課題等について記述する。特に、ここでは、まず著者らが現在、調査研究を継続している富士山麓一帯と神奈川県横須賀地区での降水を対象とした、化学組成レベルからのモニタリング結果に基づいて、酸

表-1 地盤と酸性雨問題での主要な課題

1. 酸性雨に起因する土の酸性化問題と防止対策問題。
2. 酸性化に伴う土の物理的変状とそれに起因する力学的性状の変質問題。
3. 軟岩や残積土地域での酸性雨に起因する風化や劣化の促進問題。
4. 土層・土質の酸性化に伴う地下水や湧水等の水質の酸性化汚染問題と河川や湖水への拡大問題。

1. SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ の年間累積濃度の評価と経年的推移傾向の把握。
2. 各種土層・土質での SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ の沈着機構の解明と定量的評価手法の確立。
・各種土質のイオン組成を加味し土粒子鉱物組成との関連から交換性陽イオンの存在量について考察する
・酸性雨にたいする土の緩衝能力について考察する。

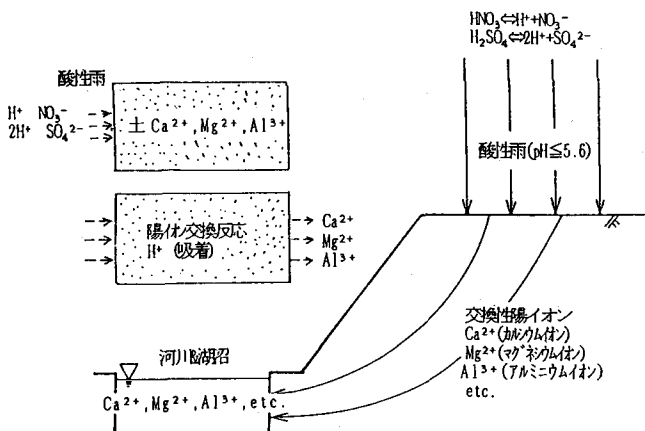


図-1 土の酸に対する緩衝作用の概念図

*防衛大学校 土木工学教室, Department of Civil Engineering, The National Defense Academy.

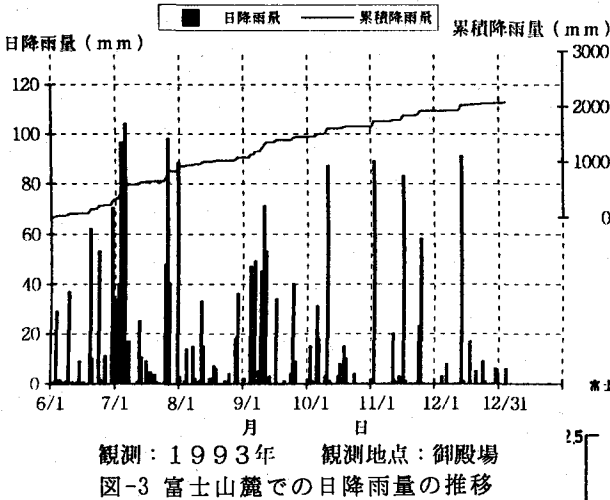
性雨の実態を提示する。さらに、酸性雨の影響を鑑みたカラム試験結果に基づき、土の酸に対する界面化学的作用等について若干の考察を試みる。

2. 地盤工学的立場からの主要な役割と課題

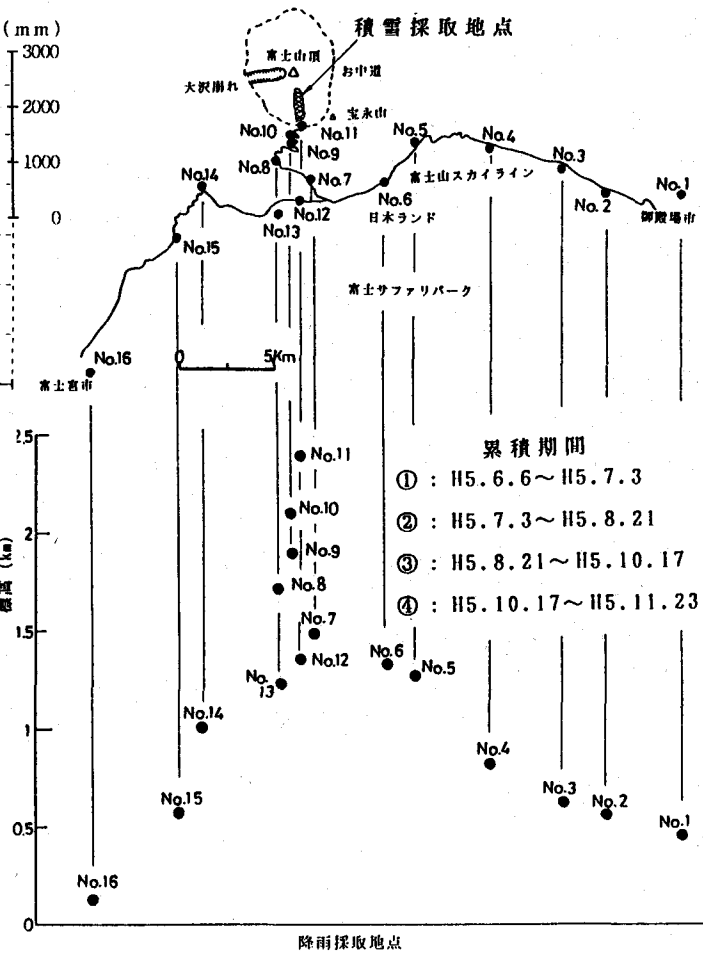
著者らは地盤と酸性雨問題において表-1に示す項目に重点を置いて調査研究を開始している^{1)~3)}。特に、土の酸性化汚染問題や軟岩・残積土地域での地盤劣化問題に関する調査研究が重要であると考えている。そのためにも、図-1に図式化するように、酸性雨が地盤に浸透した際、陽イオン交換反応等に基づく、酸に対する土の緩衝作用や自浄化作用等に関する界面化学的メカニズムを解明することが重要と考えている。また陽イオン交換反応は、土中の交換性陽イオンの存在量に依存するので、土の種類によって当然異なる。表-2に示すように⁴⁾、炭酸ガスを含んだ水による風化作用により、鉱物土粒子によって異なるミネラルイオンと粘土鉱物が生成される。このようなことから、土層・土質のタイプによって構成鉱物土粒子の量と質が異なるので、例えば、日本統一土

表-2 代表的土粒子鉱物の風化による溶出イオン

(f) $2KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2 + 14CO_2 + 7H_2O$ (黒雲母) = $Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 6Mg^{2+} + 2K^+ + 4SiO_2 + 14HCO_3^-$ (カオリン)
(g) $2KAlSi_3O_8 + 2CO_2 + 3H_2O$ (正長石) = $Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2K^+ + 4SiO_2 + 2HCO_3^-$ (カオリン)
(h) $1.61Na_{0.49}Ca_{0.55}Al_{1.35}Si_{2.65}O_8 + 2.20CO_2 + 3.30H_2O$ (斜長石) = $1.10Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 1.0Na^+ + 0.61Ca^{2+} + 1.99SiO_2 + 2.20HCO_3^-$ (カオリン)
(i) $1.61Na_{0.49}Ca_{0.55}Al_{1.35}Si_{2.65}O_8 + 1.90CO_2 + 1.90H_2O$ (斜長石) = $0.95Ca_{0.17}Al_{2.33}Si_{2.83}O_{10}(OH)_2 + 1.0Na^+ + 0.45Ca^{2+} + 0.72SiO_2 + 1.90HCO_3^-$ (モンモリロナイト)
$CaCO_3 + CO_2 + H_2O = Ca^{2+} + 2HCO_3^-$ (石灰石)
$SiO_2 = SiO_2$ (石英) (溶存ケイ酸)



質分類法（土の工学的分類法）⁵⁾に沿って土の交換性陽イオンの存在量や土粒子表面の界面化学的性質を評価するための試験方法の開発や研究分野の確立が重要である。さらに上述の基礎的研究に加え、森林の立枯れや白骨化現象による森林破壊^{6), 7)}が広域に亘って発生すると、大規模な斜面崩壊、地すべり、ガリ浸食の発達等が懸念され、直接、地盤災害や土砂災害へと発展する危険性が非常に高くなる。このような意味からも、酸性雨問題は地盤工学分野において重要な課題と言えます、



酸性雨問題における地盤工学分野の役割と課題の骨組みを早急に確立することが望まれる。

3. 酸性雨調査と実態

長期的モニタリングを継続している富士山麓一帯と神奈川県横須賀地区での平成5年の調査結果に基づいて、酸性雨の実態を化学組成レベルから提示する。富士山麓での積雪と降雨の採取地点の標高と位置関係を図-2に明示している。積雪（H5.5.22採取）は冬季に積もった雪の残雪である。降雨は平成5年6月～11月のもので、16箇所の地点で採取している。4回の採取（①、②、③、④、図-2中参照）を試み、約1箇月から1.5箇月の間に降った雨の累積したものをイオン分析している。図-3に日降雨量の推移を示している。まず図-4に、積雪のpHと

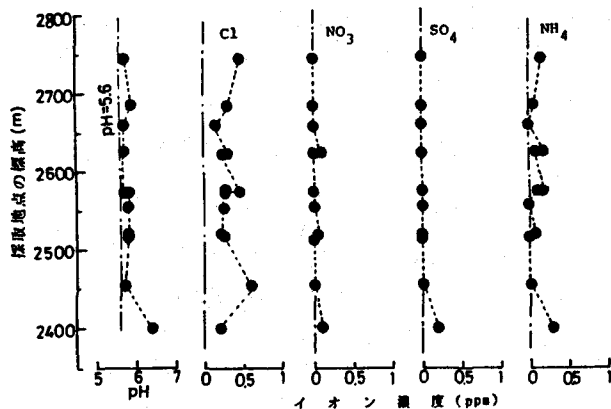


図-4 積雪のpH値と主要なイオンの濃度推移

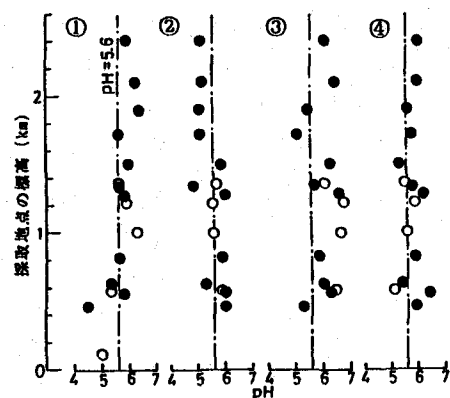
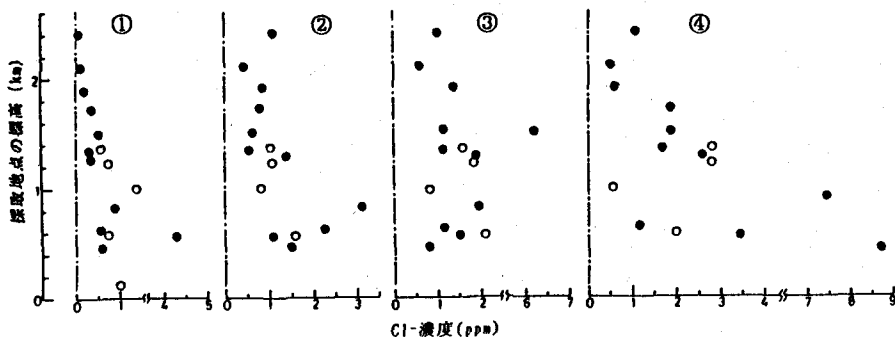


図-5 降雨のpH値の推移

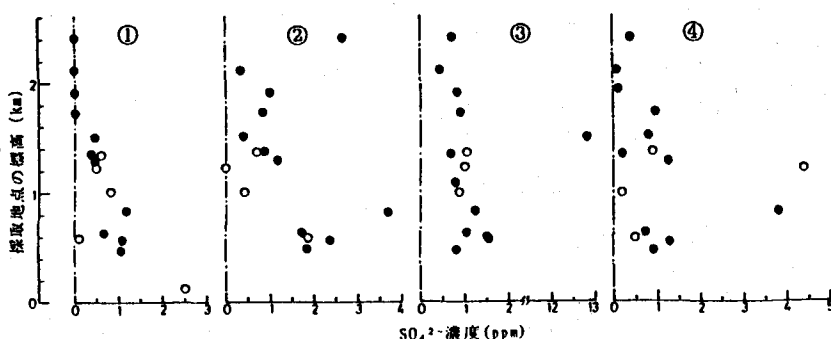
続している富士山麓一帯と神奈川県横須賀地区での平成5年の調査結果に基づいて、酸性雨の実態を化学組成レベルから提示する。富士山麓での積雪と降雨の採取地点の標高と位置関係を図-2に明示している。積雪（H5.5.22採取）は冬季に積もった雪の残雪である。降雨は平成5年6月～11月のもので、16箇所の地点で採取している。4回の採取（①、②、③、④、図-2中参照）を試み、約1箇月から1.5箇月の間に降った雨の累積したものをイオン分析している。図-3に日降雨量の推移を示している。まず図-4に、積雪のpHと



代表イオン

(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+)

の濃度を標高との関係でプロットしている。 Cl^- は他の発生源もあるが主に海塩粒子によるイオンである。



代表イオン

(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+)

の濃度を標高との関係でプロットしている。 Cl^- は他の発生源もあるが主に海塩粒子によるイオンである。

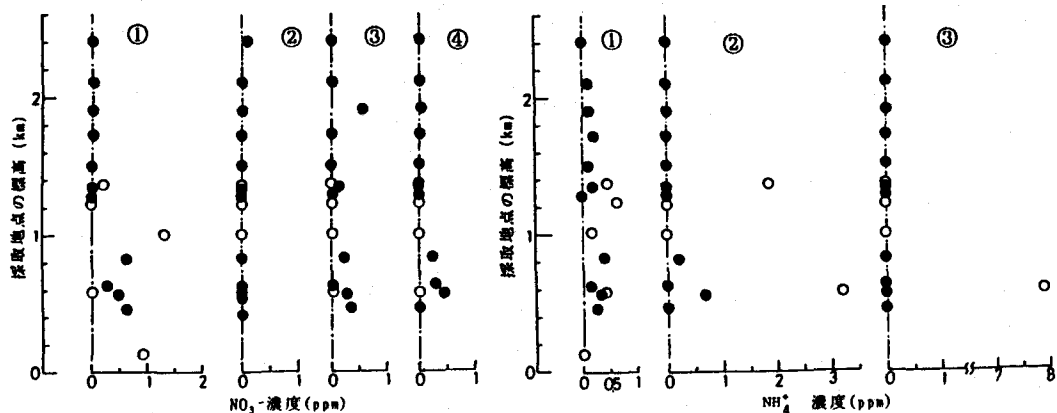


図-6 降雨に含まれる主要なイオンの濃度推移

NO_3^- と SO_4^{2-} は

ほとんど人的活動に依存しており、雨（雪）の酸性雨（酸性雪）化の主要なイオンである。 NH_4^+ は NH_3 が溶解したアルカリであるが、酸化されると H^+ を放出するため潜在的な酸であり、土の酸性化に寄与する陽イオンである。そこで、図-4での積雪に着目する。冬季に積もった標高2400m以上で採取した残積はpHが5.6より多

少高く、酸性雪とはなっていない。また各イオン濃度が非常に低い。特に、標高が高くなるにつれて

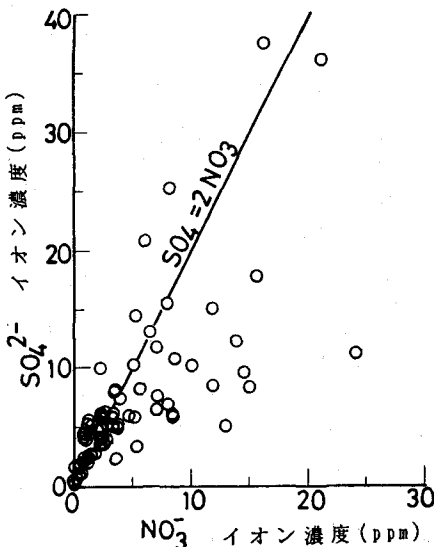


図-8 硫酸と硝酸イオンの濃度比率

NO_3^- と SO_4^{2-} はほとんど検知されなくなる。そこで、残雪の採取地点より低い標高で採取した

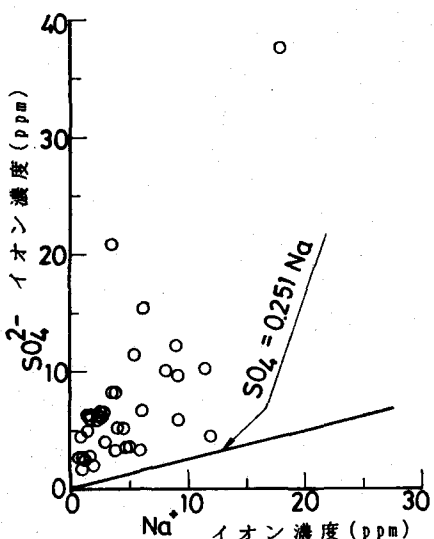


図-9 硫酸とナトリウムイオンの濃度比率

降雨のpHと化学組成を示したのが図-5と6である。降雨については、季節的傾向を捉えるため、採取時期の異なる分析結果を併記している。なお、図中の○印はNo.10~16地点のものである。図-4での積雪の結果と比較して、降雨では酸性雨化の傾向が強く、また各イオン濃度がかなり高くなっている。かなりばらつきもあり、規則的傾向としては捉え難いが、概ね、標高が低い所ほど、人的活動の影響が降雨に反映される可能性が大きくなると考えられる。この主な原因としては、標高の低い採取地点では、住宅街や市街地に近接し比較的人的活動が活発な地域であり、降雨中に汚染物質等を取り込む可能性が高くなることが考えられる。

次に人間活動の極めて活発な大都市近傍に位置する横須賀地区で採取した平成5年の降雨の分析結果を図-7に示す。陰イオンについては通年、 NH_4^+ については1~6月の代表的降雨について示している。採取した

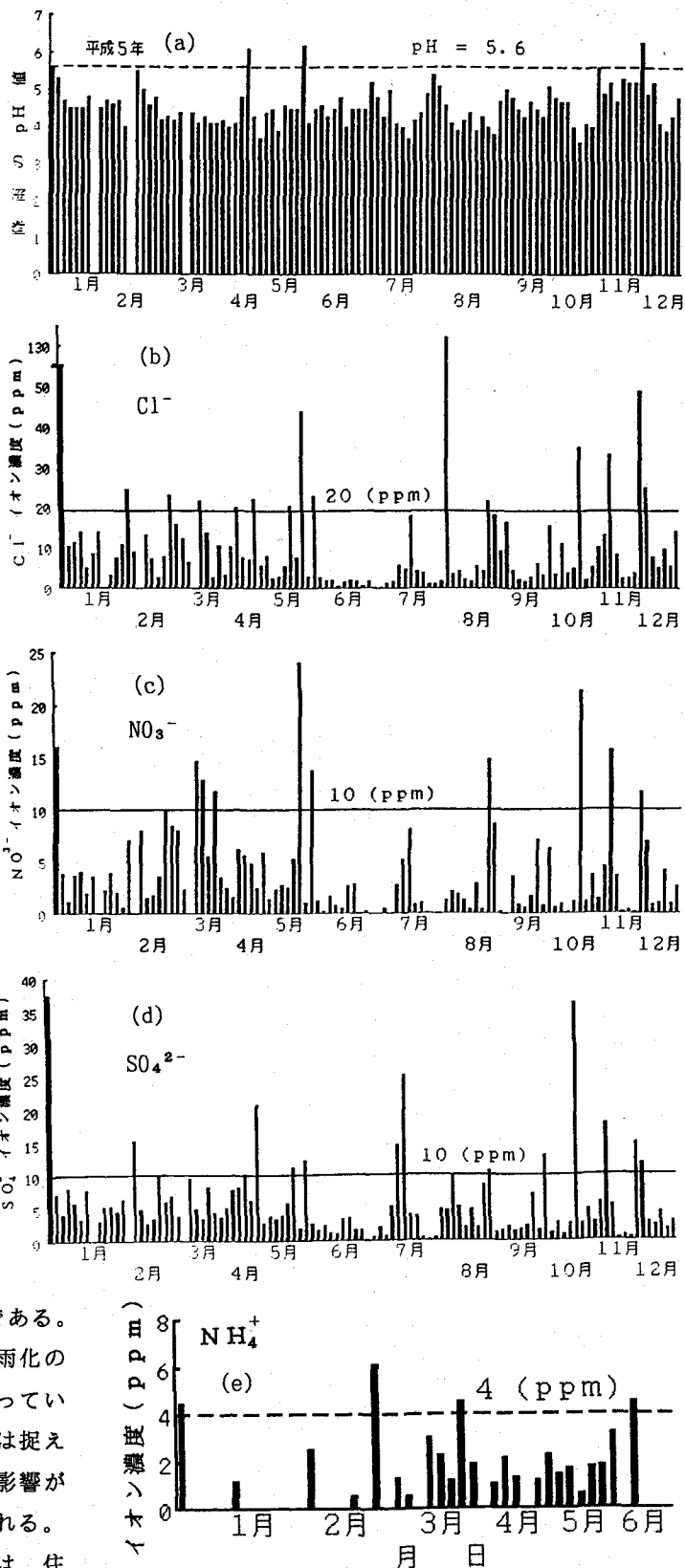


図-7 降雨のpH値と主要なイオンの濃度推移

降雨のpHの年間平均値は約4.6で95%以上の降雨がpH 5.6以下を呈し、降る雨のほとんどが酸性雨であることがわかる。採取地点は東京湾岸に面していることから、主に海塩粒子に発生起源を持つ Cl^- 濃度に富むことは予想できるが、 NO_3^- と SO_4^{2-} 濃度もかなり高く、10ppmをはるかに越える雨も、通年では、しばしば降っていることがわかる。また土の酸性化に寄与する NH_4^+ も、ほとんどの降雨で検出されていることがわかる。 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ は、主に、人間活動に起因する環境悪化のパロメータ的イオンである。図-8に示すように、降雨中の SO_4^{2-} と NO_3^- の濃度比率はかなりばらつきはあるが、概ね2:1の関係にある。また SO_4^{2-} は Na^+ 濃度の0.251倍が海塩粒子に起源を持つと言われているが、図-9より、横須賀地区での降雨中の SO_4^{2-} 濃度には、人間活動に起因する効果分がかなりの割合を占めていることが理解できる。このような降雨の化学組成レベルからの検討は、大

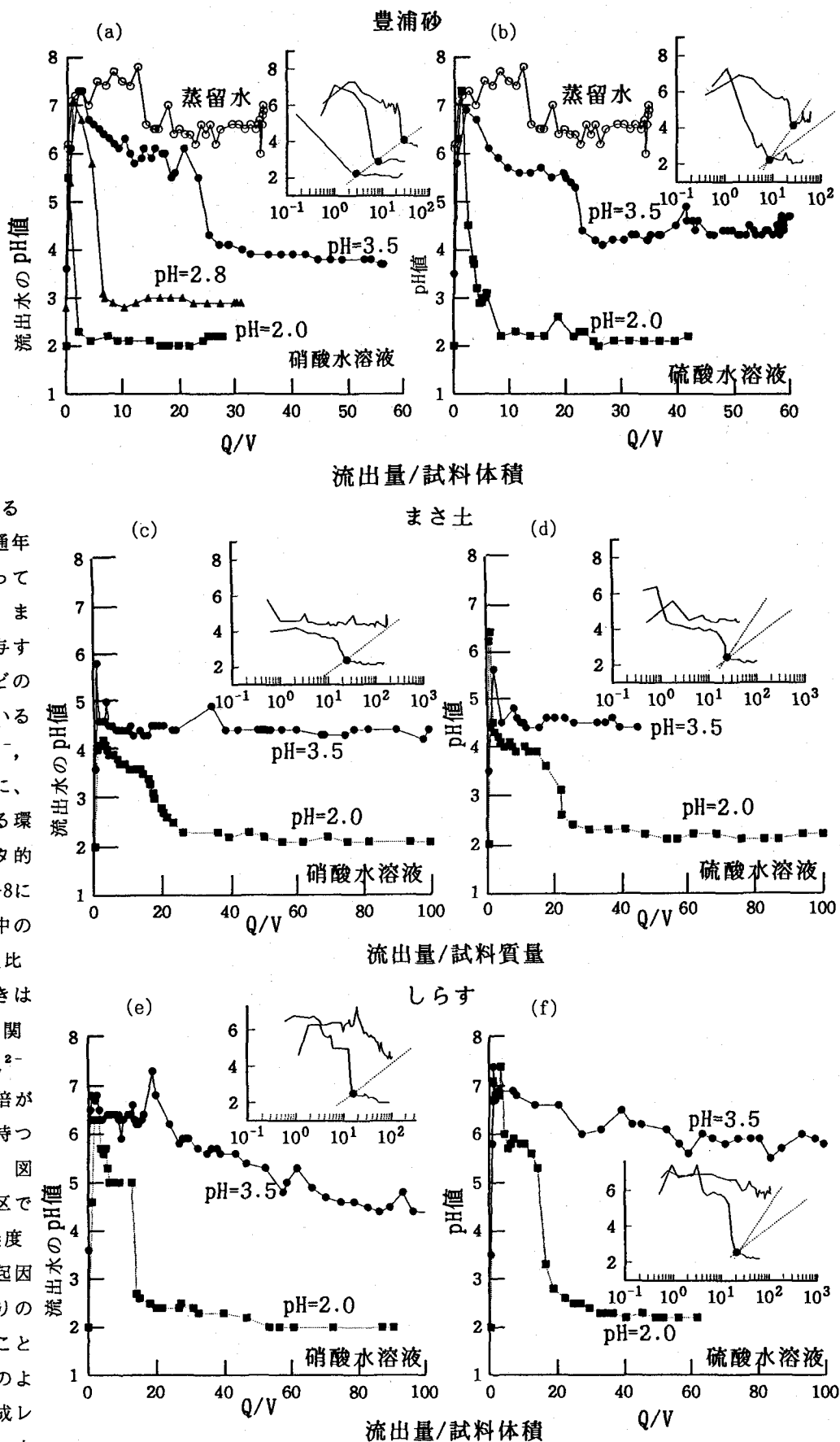


図-10 土中を浸透した流出水のpH値の変化（一次鉱物主体の土のカラム試験）

気汚染状況のモニタリングのみならず、上述した地盤工学的立場から、酸性雨に起因する土の酸性化問題や土の緩衝能力とそのメカニズム解明等のための室内試験での実験条件の設定等に役立て得ると考えられる。

4. 土の界面化学的作用

図-11に図式化したように、土には、風化等によって生成された交換性陽イオンが存在しており、酸の浸入に対し中和化する緩衝作用がある。この作用は当然、交換性陽イオンの存在量に依存するため、土の種類によって異なる。ここでは、一次鉱物主体の砂質系の土と二次鉱物等を主体とした粘性土系の土（表-3と図-13参照）について、酸性雨を鑑みたカラム試験（図-12参照）を実施し、土の酸に対する緩衝作用についての基礎的考察を試みた。土を充填したカラム中にpHを調製した硝酸と硫酸水溶液をそれぞれ浸透させ、随時測定したカラムからの流出水のpHを、流出水量を土試料の充填質量で除して、プロットしたのが図-10と11である。なお、豊浦砂、黒ぼく土、関東ロームについては、pH=6.3の蒸留水（脱イオン水）についても通水した。図-10と11に示す流出水のpH値の推移からも明かなように、土は酸に対して強い緩衝作用を有しているが、土の種類によってその作用がかなり異なっていることが理解できる。特に図-10と11に示す結果の比較から明かなように、一次鉱物主体の砂質系の土に比較して、黒ぼく土（火山灰質有機質土）や関東ローム（火山灰質粘性土）等の粘性土系の土において、酸に対する緩衝作用が非常に高いことがわかる。

最後に、地盤工学的立場から地盤と酸性雨問題に貢献するためにも、表-1に記述した事項に主眼を置いて、基礎的研究と並行して実地盤レベルとの関連で調査研究を継続する必要がある。

（参考文献）1）山口ら（1993.11）；第37回土質工学会シンポジウム発表論文集，pp.207-214， 2）山口ら（1992.12）；土と基礎，Vol.40，No.12，pp.35-40， 3）山口ら（1993.6）；土と基礎，Vol.41，No.6，pp.47-52，

4）北野（1969.7）；水の科学，日本放送出版協会，

5）土質工学会編（1990.3）；土質試験の方法と解説。

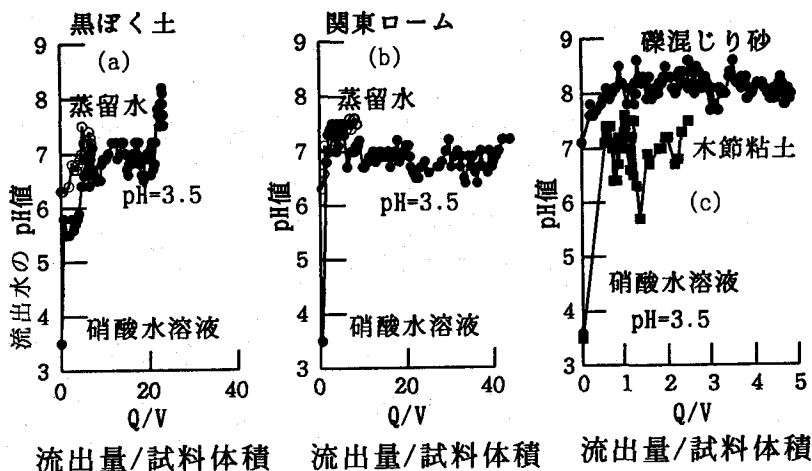


図-11 粘性土についてのカラム試験での流出水のpH値変化

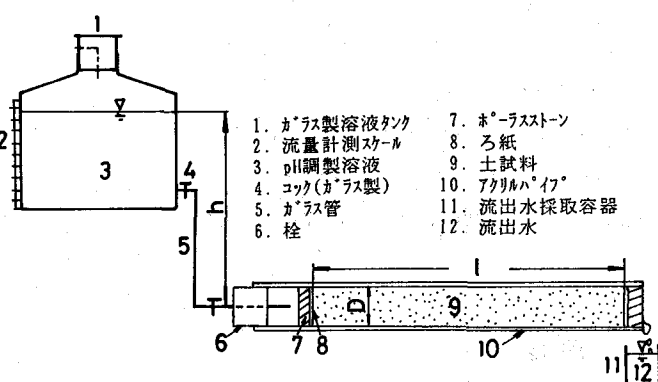


図-12 土を充填したカラム試験の概略図

表-3 カラム試験に用いた土の物理化学的性質

	物理化学的性質				主要鉱物組成と特徴
	含水比(%)	強熱減量(%)	比重	pH値	
豊浦砂 (市販)	0.3	0.3	2.64	7.3	石英、カリ長石 一次鉱物主体
黒ぼく土 (横須賀産)	79.7	23.2	2.33	5.2	分解した有機物を 20%程度含有
関東ローム (横須賀産)	87.1	15.0	2.53	7.4	アロフェン、 ハロイサイト、輝石 非結晶質の二次鉱物主体
しらす (宮崎産)	0.8	3.5	2.37	6.5	火山ガラス、石英、 曹長石 一次鉱物主体
まき土 (福山産)	13.5	1.5	2.61	5.2	石英、曹長石、雲母類 ハートモライト、一次鉱物主体
礫混り土 (横須賀産)	12.9	11.0	2.63	7.1	最大粒径約8cmの礫混入 礫分以外の土は砂質シルト
粘土 (木節、市販)	1.5	6.4	2.65	4.8	蛭石、モンモリロナイト 石英
碎屑泥岩 (横須賀産)	18.8	6.9	2.68	8.2	角闪石、イライト、アロフェン、 モンモリロナイト、蛭石、石英

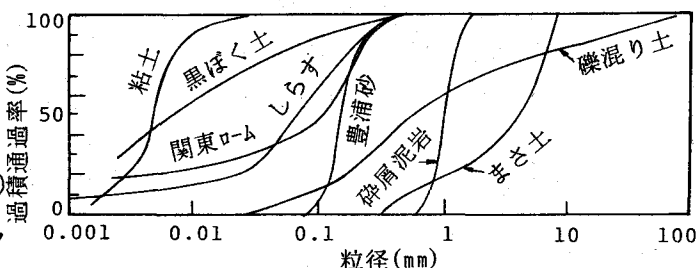


図-13 カラム試験に用いた土の粒度分布