

粘性土の強度・変形特性に及ぼす酸性化の影響

亀井健史¹・佐野博昭²

¹正会員 工博 島根大学助教授 理学部地質学科 (〒690 島根県松江市西川津町 1060)

²正会員 工修 石川工業高等専門学校講師 環境都市工学科 (〒929-03 石川県河北郡津幡町字北中条)

本研究では、水素イオン濃度指数 (pH) が粘性土の強度・変形特性にどの程度影響を及ぼすのかを調べるために、4種類の異なる pH 値を有する自然試料に対して一軸圧縮試験を行った。また、同自然試料は、酸化作用によって pH 値が減少する性質を有しているため、この酸性化した試料に対しても同様に一軸圧縮試験を行い、土が酸性側へ移行する過程の違いが強度・変形特性に及ぼす影響について比較・検討を行った。

その結果、粘性土の強度・変形特性は、pH 値とともに土が酸性側へ移行する過程の影響を大きく受けることが定量的に明らかとなった。このことより、pH 値や土が酸性化する過程は地盤の力学的特性を評価する際の重要な要素のひとつであることを示唆している。

Key Words : acidification process, cohesive soil, hydrogen-ion concentration exponent, strength-deformation characteristics, unconfined compression test

1. ま え が き

土が酸性化する原因のひとつとして酸性雨を挙げることができる。ここで、酸性雨とは、工場や自動車等から多量に排出される煤煙や排気ガスに含まれている窒素酸化物、硫黄酸化物が大気中で様々な化学反応を経て、硫酸、硝酸、塩酸等の酸性物質に変化し、それが大気中の水に溶けて地上に降り注ぐ雨で、通常、水素イオン濃度指数 (以下、pH と称す) が 5.6 以下であるといわれている。

環境庁では我が国における酸性雨の実態を調査するために、昭和 58 年度から 5 か年計画で全国に設置した観測地点において降水を採取し、各種の分析調査を行った¹⁾。その結果、全国年平均値で pH 4.4~5.5 が観測され、この値は欧米並かそれ以上の酸性降下物量に匹敵するものであると報告している。また、同調査結果によれば酸性物質のうち硫酸イオン等の降下量が冬期に日本海側で多く測定されていること等も明らかにしている。

土と pH との関連について研究した例として、pH 値の違いによる土構造の変化等の研究例が主として報告されている。しかしながら、土の強度・変形特性と pH 値との関係に着目した研究例は比較的少なく^{2)~6)}、不明な点が多い。

亀井・佐野⁵⁾は、土の酸性化が工学的特性にどの程度影響を及ぼすのかを調べるために、市販の粉末試料であるベントナイトに硫酸を所定の量加えて試料の pH 値を人工的に調整した 5 種類の試料 (pH 3.0, 5.0, 6.0,

7.0 および 9.5) に対して一軸圧縮試験と標準圧密試験を行ったところ、pH 値の違いにより異なった土構造が形成され、その結果、pH 値がベントナイト試料の圧密特性や強度・変形特性に大きな影響を及ぼすことを報告している。

嘉門ら⁸⁾は、土の界面体イオンや一軸圧縮強さに及ぼす酸性雨の影響を調べるために、pH 値の異なる溶液を浸透させた供試体に対して一軸圧縮試験を行い、pH 値が土の強度を評価する上において重要な要素のひとつであることを報告している。

また、山口ら^{7), 8)}は、酸性雨が土に及ぼす影響、特に、土の緩衝能力に着目して各種の室内試験や原位置調査を行っている。さらに、最近の研究⁹⁾では、酸性雨が地盤劣化を促進する役目を果たしていること等も報告している。

一方、酸性雨以外の要因によって土が酸性化する例として風化 (化学的) が挙げられる。風化は、物理的風化と化学的風化とに大別され、このうち化学的風化は、岩石が酸化、炭酸化および水和等の作用を受けることによって化学組成が変化し、最終的に粘土鉱物に変化する現象を指している。

佐々木¹⁰⁾は、新第三紀堆積岩中に含まれる黄鉄鉱 (パイライト, FeS₂) が酸化されると化学反応の進行に伴って土中に硫酸が生成され、その結果、土の pH 値が 2~3 の強酸性になることを明らかにしている。また、このような土は、還元状態では酸性を示さないが、掘削等により土が空気に触れると空気中に含まれている酸素に

よって黄鉄鉱の酸化が徐々に進行し、その結果、酸性へと移行するため、コンクリート構造物等に大きな被害を与えることが報告されている^{11),12)}。

Mitchell¹³⁾ は、異なる温度条件下で保存したクイッククレーの pH 値が保存期間や保存温度の増加に伴って減少し、その結果、せん断強さが増加することを示している。さらに、このような現象には、土中に存在するバクテリアが深く関与していること等も報告している。

しかしながら、上記に示した試料のように採取直後にアルカリ性あるいは中性であった土（還元状態）が酸化作用によって徐々に酸性側へと移行した場合の強度・変形特性について検討した例はほとんど見当たらない。

本研究では、上記の点に着目し、自然試料の pH 値を人工的に調整した試料と同試料を採取後所定の期間空气中に曝しておくことによって自然に酸性化した試料に対して、それぞれ一軸圧縮試験を行い、土の酸性化が強度・変形特性にどの程度影響を及ぼすのかを定量的に把握することを試みた。

2. 試料および実験方法

実験には、石川県河北郡津幡町内にある道路切土部（1990年12月切土）から採取した自然試料（津幡粘土）を練返して再圧密した試料を用いた。切取り後約1年半が経過した1992年7月に行った原位置調査によれば、斜面表層部分の土は、pH 2.5～3.0と強酸性となっていたのに対し、表層から水平方向に1.2m～1.5m掘削した箇所の試料の pH 値は、6.5程度とほぼ中性値を示しており、表層部分と斜面内部とでは試料の pH 値に大きな差があることが示された。

ここで、試料中に含まれている成分を土質試験法¹⁴⁾を参考にして調べたところ、表層部分の試料には水溶性成分が1.5%程度含まれており、このうち約1/3に相当する0.6%程度が硫酸イオンであることが明らかとなった。一方、斜面内部の試料（採取深さ：1.2m～1.5m）からは水溶性成分、硫酸イオン両者ともほとんど検出されなかった。さらに、試料の色調は、斜面内部では暗灰色であるのに対し、表層部分では赤褐色に変色していることも確認された。

これらのことから、斜面表層部分の土は、空気との接触によって生成された硫酸を含有しており、その結果、試料が酸性化したものと考えられる。そこで、本実験には、表層から水平方向に1.2m～1.5m掘削したまだ酸性化の進行していない箇所から採取した試料を用いた。試料の物理的特性を Table 1 に示している。

練返し再圧密試料の作製には、以下に示す2種類の試料を用い、それぞれ直径15cm、高さ30cmの圧密モールドに入れ、所定の圧密圧力下で一次的に圧密を行っ

Table 1 Index properties of soil.

ρ_s (g/cm ³)	w_L (%)	w_p (%)	I_p	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
2.68	68.6	41.6	27.0	7.4	75.6	17.0

た。

①試料を採取した当日に2mmふるいを通した津幡粘土に液性限界の1.5倍程度の含水比になるように蒸留水を加え、ミキサー内で1時間程度十分に練返してスラリー状にした後、1規定硫酸を津幡粘土の乾燥質量1kgに対して0～0.023 mol 加えることにより試料の pH 値を3.0, 4.0, 5.0（酸性）および6.5（ほぼ中性に相当：初期状態）の4種類に調整した試料（人工的に酸性化した試料）。

②採取した津幡粘土を温度20°C、湿度80%の恒温恒湿室内で7, 14, 28, 56, 90, 180 および360日間空気乾燥保存した後、2mmふるい通過土をミキサー内で十分に練返してスラリー状にした試料（自然に酸性化した試料）。

なお、本文では①により作製した練返し再圧密試料を pH 値調整試料、②により作製した試料を空気乾燥保存試料とそれぞれ区別する。

圧密圧力は、斜面崩壊が比較的浅層部において多く発生していること¹⁵⁾に着目し、49.0 kPa とした。また、予備圧密時の圧密時間は、①pH 値調整試料については、pH 値の異なる津幡粘土の強度・変形特性に及ぼす圧密期間の影響を明らかにするために、7日、14日および28日間、②空気乾燥保存試料については、試料の一次圧密終了時間を考慮して7日間とした。pH 値の測定は、土質試験法¹⁴⁾を参考にして行ったが、①、②両試料とも圧密期間中における pH 値の変化はほとんど認められなかった。

圧密終了後、モールドから試料土塊を取り出し、一軸圧縮試験を行った。一軸圧縮試験は、データのばらつきを考慮して、同一条件に対し2本以上の供試体について行った。実験に用いた供試体の形状は、直径5cm、高さ10cmの円柱形である。

実験には、秤量が20kgfの力計を使用し、供試体端面と加圧板との間の摩擦を低減するために、シリコングリースとゴム膜とによりルブリケーションを施した。また、一軸圧縮試験はひずみ制御方式で行い、せん断時のひずみ速度は1%/min¹⁴⁾とした。

なお、練返し再圧密試料の作製から一軸圧縮試験までの一連の操作は、試料に及ぼす周辺温度の影響を考慮して、温度20°Cの恒温室内で行った。

3. 実験結果および考察

(1) pH 値調整試料の強度・変形特性

Fig.1は、pH が 3.0, 4.0, 5.0 および 6.5 の 4 種類の試料（硫酸イオン含有量：0.01～0.06%）を用いた場合の一軸圧縮試験結果について、圧密期間 T が 7 日 (a), 14 日 (b) および 28 日 (c) の代表的な応力-ひずみ関係を示したものである。

図より、圧密期間によらず、応力-ひずみ曲線の初期勾配は、pH 値の減少に伴って大きくなり、一軸圧縮強度 q_u 値も増加する傾向が認められる。ここで、pH 値の違いによる q_u 値を比較すると、圧密期間 7 日の場合、pH 3.0 の酸性試料の q_u 値は 16 kPa 程度であるのに対し、pH 6.5 の中性試料の q_u 値は 12 kPa 程度となり、pH 3.0 の酸性試料の q_u 値は、中性試料の 1.3 倍程度の値を示している。また、圧密期間 28 日では pH 3.0 の酸性試料の q_u 値は、中性試料の q_u 値の 1.3 倍程度となり、このことは、pH 値の減少に伴う q_u 値の増加割合は、圧密期間によらずほぼ同程度であることを示している。

このように、pH 値の減少に伴って土の強度が増加する傾向は、Torrance and Pirnat³⁾, Kumapley and Ishola⁴⁾ および 亀井・佐野⁵⁾ の研究においても確認されており、pH 値を調整する溶液の種類や試験方法に違いはあるものの、今回行った自然試料に対する一軸圧縮試験においてもほぼ同様の傾向が得られた。

一方、応力-ひずみ曲線の形状を比較すると、圧密期間 7 日の場合、pH 6.5 の中性試料では応力-ひずみ曲線にはピークが認められないが、pH 値の減少に伴って試料が酸性側へ移行するとピークを示す傾向が認められる。また、圧密期間が増加すると、中性試料の応力-ひずみ曲線にピークが認められるようになり、圧密期間 28 日では明瞭なピークが現れていることがわかる。

以上の結果より、pH 値や圧密期間の違いにより、土の強度・変形特性は、大きく異なることが示された。この影響を明らかにするために、一軸圧縮試験時における供試体の含水比 w および乾燥密度 ρ_d と pH との関係を示したのが Fig.2, Fig.3 である。

図より、供試体の含水比 w 値は、圧密期間によらず pH 値の減少に伴ってそれぞれほぼ直線的に減少していることがわかる。ここで、pH 値の違いによる w 値を比較すると、圧密圧力が各試料とも 49.0 kPa と同じであるにもかかわらず、圧密期間が 7, 14 日の場合、pH 6.5 の中性試料では w 値は 62% 程度となっているのに対し、pH 3.0 の酸性試料では 60% 程度となり、酸性試料の w 値が中性試料の w 値より小さな値を示している。また、圧密期間の増加に伴って w 値は減少する傾向が認められ、圧密期間 28 日では酸性試料、中性試料によらず圧密期間 7, 14 日の w 値よりも 2% 程度小さな値と

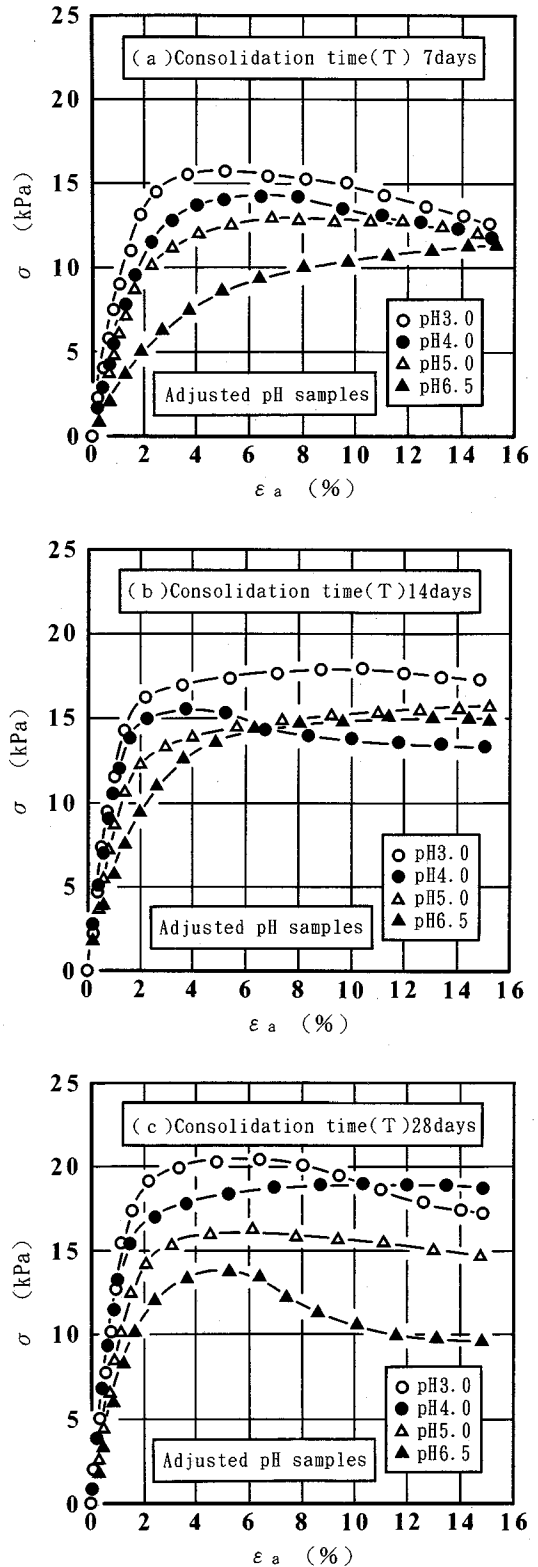


Fig.1 Typical σ - ϵ_a behaviour : adjusted pH samples.

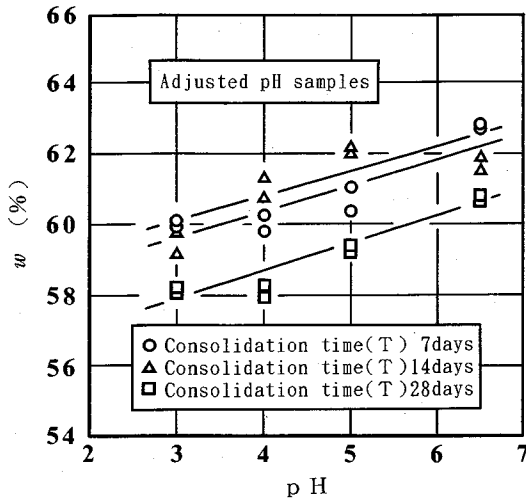


Fig.2 Variation in w -values with pH : adjusted pH samples.

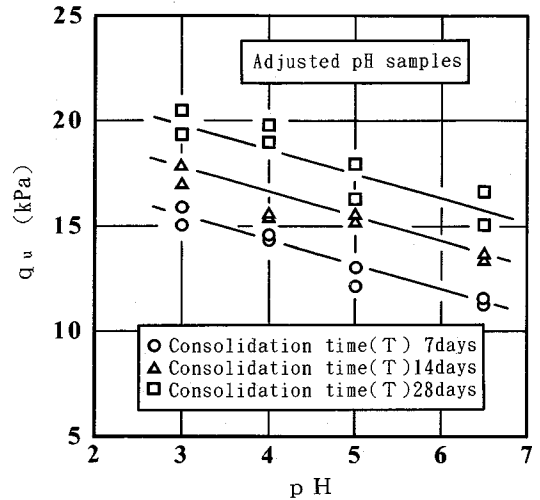


Fig.4 Variation in q_u -values with pH : adjusted pH samples.

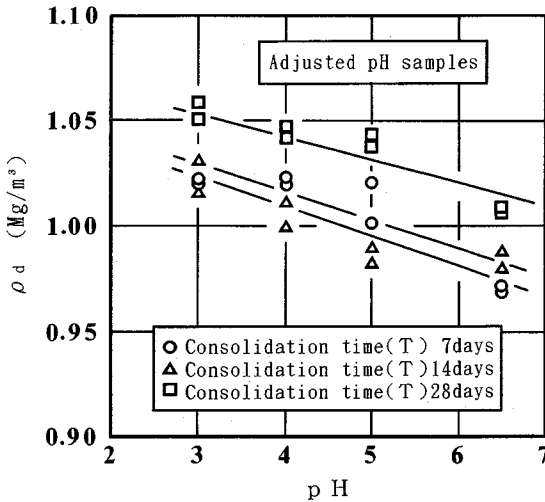


Fig.3 Variation in ρ_d -values with pH : adjusted pH samples.

なっている。なお、供試体の乾燥密度 ρ_d 値も w 値とほぼ対応した変化傾向が認められた。

この現象を圧密特性の観点からみると、酸性試料は、中性試料と比べて短期間で試料の圧密現象が進行し、その結果、同じ圧密期間の条件下では酸性試料が中性試料より大きな一軸圧縮強さを示していることになる。

このような傾向は、市販の粉末試料であるベントナイトを用いて行った亀井・佐野の実験⁵⁾においても認められていることから、この原因として pH 値の違いにより異なった土構造が形成されている可能性を挙げることができ、その結果が土の圧密特性や強度・変形特性に表れているものと考えられる。

Fig.4 は、一軸圧縮強さ q_u と pH との関係を押密期間 T をパラメータにとって示したものである。図より、 q_u

値は圧密期間によらず pH 値の減少に伴ってほぼ直線的に増加する傾向を示している。また、その増加傾向には圧密期間の長短による差は認められず、圧密期間 28 日の条件下で pH 6.5 の中性試料の q_u 値が 16 kPa 程度であるのに対し、pH 3.0 の酸性試料の q_u 値は 20 kPa 程度となり、pH 値の減少に伴って試料が中性から酸性へ移行すると、 q_u 値は 4 kPa 程度増加していることがわかる。

破壊ひずみ (ϵ_a)_f および変形係数 E_{50} と pH との関係を示したのが Fig.5、Fig.6 である。ここで、破壊ひずみ (ϵ_a)_f は、応力-ひずみ曲線において一軸圧縮強さ q_u に対応する軸ひずみ ϵ_a で、また、変形係数 E_{50} は、応力-ひずみ曲線上において圧縮応力 σ が一軸圧縮強さの 1/2 となる点と原点とを結ぶ割線でそれぞれ定義した。

両図より、(ϵ_a)_f 値および E_{50} 値は、pH 値の違いにより大きく異なり、Fig.4 に示した q_u 値の変化傾向と同様にその変化傾向は、pH 値や圧密期間の影響を大きく受けていることがわかる。なお、(ϵ_a)_f 値は、圧密期間 14 日、28 日の条件下で値のばらつきが認められる。

Fig.7 は、一軸圧縮強さ q_u と一軸圧縮試験時における供試体の含水比 w との関係を示している。図より、全試料とも q_u 値は w 値の減少に伴って直線的に増加していることがわかる。ここで、同一含水比条件下での q_u 値を比較した場合、pH 値の大きさによる差はほとんど認められない。

以上、自然試料の pH 値を人工的に調整した試料に対して行った一軸圧縮試験の結果より、pH 値が土の一軸圧縮強さ、破壊ひずみおよび変形係数に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。このことは、土の pH 値が強度・変形特性を評価する上において重要な要素のひとつ

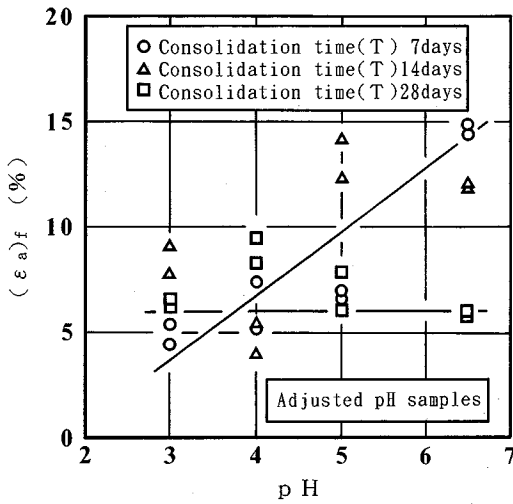


Fig.5 Variation in $(\epsilon_a)_f$ -values with pH : adjusted pH samples.

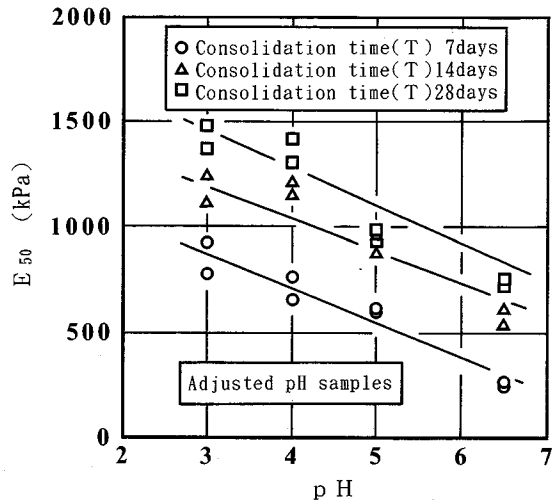


Fig.6 Variation in E_{50} -values with pH : adjusted pH samples.

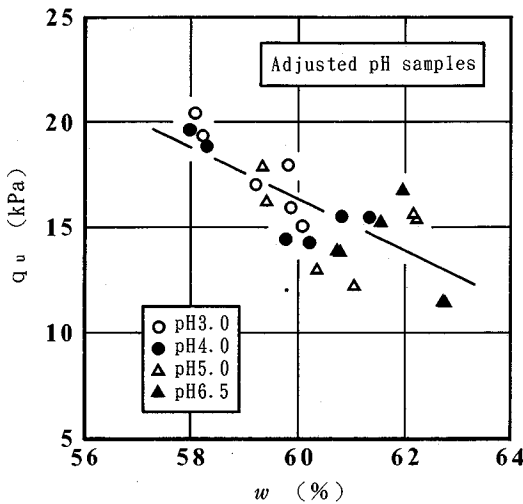


Fig.7 Variation in q_u -values with w : adjusted pH samples.

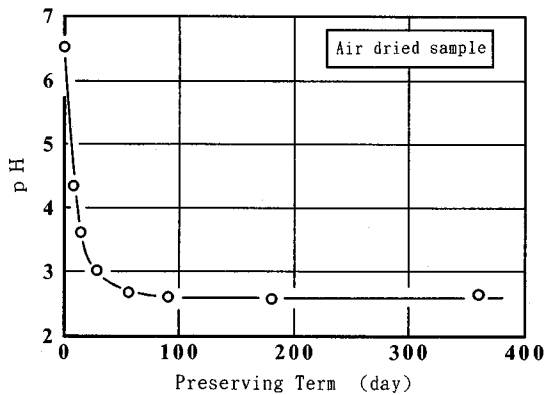


Fig.8 Variation in pH-values with preserving term : air dried samples.

つであることを示唆している。

(2) 空気乾燥保存試料と pH 値調整試料との強度・変形特性の比較

土が酸性化する現象は、酸性雨が直接地盤内に浸透した場合と還元状態にあった土が酸化された場合とに生じることより、このような異なった過程によって酸性化した土の強度・変形特性についても比較・検討しておくことが工学的に重要であると考えられる。

以下では、異なる過程によって酸性化した 2 種類の試料に対して行った一軸圧縮試験の結果について述べる。

Fig.8 は、原位置より採取した津幡粘土を温度 20°C、湿度 80% の恒温恒湿室内で空気乾燥保存した場合の pH と空気乾燥保存日数との関係を示している。なお、

空気乾燥保存 0 日とは試料を採取した当日を意味するものである。

図より、採取直後に pH 6.5 の中性であった試料が 1 週間後には pH 4.5 程度まで減少し、さらにその後の日数の経過に伴って pH 値は徐々に減少し、空気乾燥保存 56 日目においては pH 2.5 程度の強酸性状態にまで変化している。また、56 日以降 360 日まで保存日数が増加しても試料の pH 値は 2.5 程度とほぼ一定値を示しており、この pH 値は、前述した試料採取地点における斜面表層部分の pH 値にほぼ対応するものである。なお、硫酸イオン含有量を調べたところ、採取直後には 0.01% と僅かであったが空気乾燥開始後 1 週間で 0.1% まで増加し、360 日経過した時点では 1.8% 程度となった。

このように試料の pH 値が減少した原因としては、地盤内において還元状態にあった津幡粘土が掘削により空気と接触したため、試料中に含まれていると考えられる

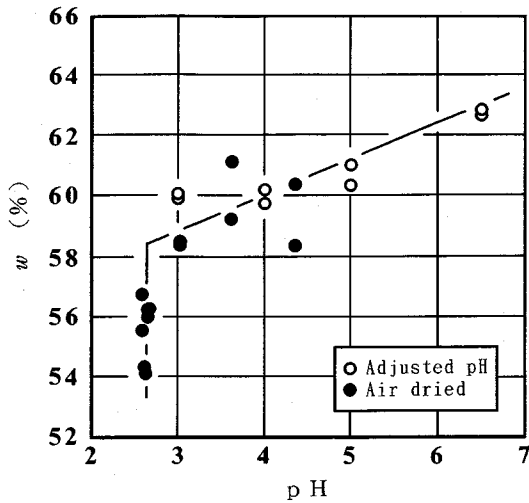


Fig.9 Variation in w -values with pH : air dried and adjusted pH samples.

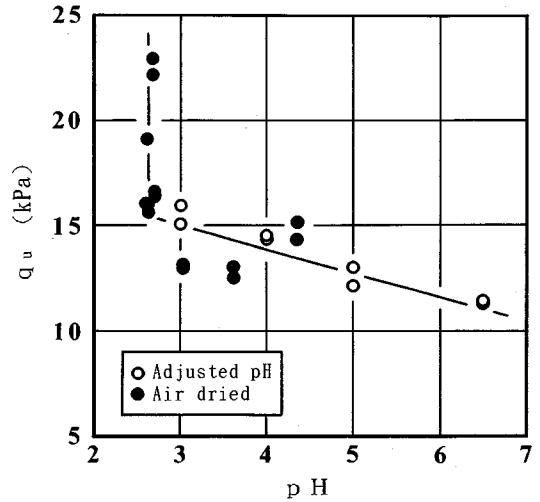


Fig.11 Variation in q_u -values with pH : air dried and adjusted pH samples.

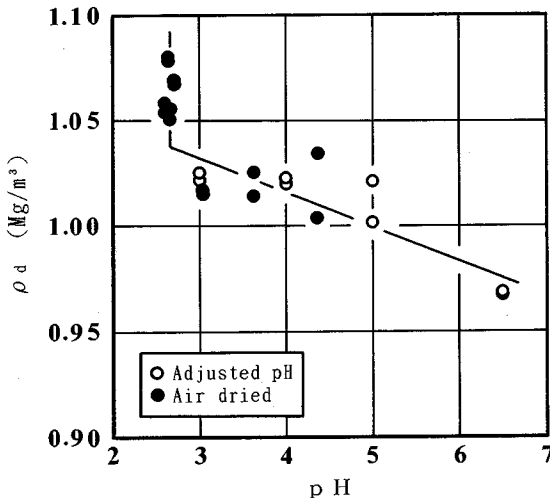


Fig.10 Variation in ρ_d -values with pH : air dried and adjusted pH samples.

黄鉄鉱 (パイライト) が空気乾燥保存日数の増加に伴って徐々に酸化され、その結果、試料中に硫酸が生成されたためと推察される¹⁰⁾。

Fig.9, Fig.10 は空気乾燥保存試料に対して行った一軸圧縮試験結果について、圧密期間 7 日の場合の供試体の含水比 w および乾燥密度 ρ_d と pH との関係を示している。なお、図中には比較のために圧密期間 7 日の場合の pH 値調整試料の結果も併せて示した。

図より、 w 値は、pH 値の減少に伴って減少する傾向を示しており、空気乾燥保存試料と pH 値調整試料とは顕著な差は認められない。しかしながら、空気乾燥保存試料では pH 値が 3.0 以下になると圧密圧力や圧密期

間が同じであり、かつ、pH 値の変化がほとんど認められないにもかかわらず、空気乾燥保存日数の増加に伴って w 値の顕著な減少傾向が認められ、保存日数 360 日条件下での w 値は 54% となった。なお、供試体の乾燥密度 ρ_d 値も w 値とほぼ対応した変化傾向が認められた。

以上の結果より、自然に酸性化した試料と人工的に酸性化した試料とでは、pH 値によって土の圧密特性は大きく異なることが明らかとなった。

Fig.11 は、空気乾燥保存試料と pH 値調整試料に対して行った一軸圧縮試験結果について、圧密期間 T が 7 日の場合の一軸圧縮強さ q_u と pH との関係を示したものである。図より、 q_u 値は、pH 値の減少に伴って増加していることがわかる。

ここで、 q_u 値の変化傾向に着目すると、pH 3.0~6.5 では空気乾燥保存試料と pH 値調整試料との q_u 値の差はほとんど認められず、pH 値の減少に伴って q_u 値はほぼ直線的に増加していることがわかる。しかしながら、空気乾燥保存試料では pH 3.0 を屈曲点として q_u 値の増加傾向が変化し、pH 値が 3.0 以下になると q_u 値は、空気乾燥保存日数の増加に伴って 8 kPa 程度増加する傾向が認められる。また、空気乾燥保存を 360 日行った試料の圧密期間 7 日での q_u 値は、22 kPa となっており、この値は、Fig.4 に示した圧密期間 28 日における pH 3.0 の試料の q_u 値よりもさらに 2 kPa 程度大きな値となった。

Fig.12 は、破壊ひずみ $(\epsilon_a)_f$ と pH との関係を示す。図より、pH 値調整試料の場合、 $(\epsilon_a)_f$ 値は、pH 値の減少に伴ってほぼ直線的に減少しており、このことは、pH 値の減少に伴って応力-ひずみ曲線にピークを示す

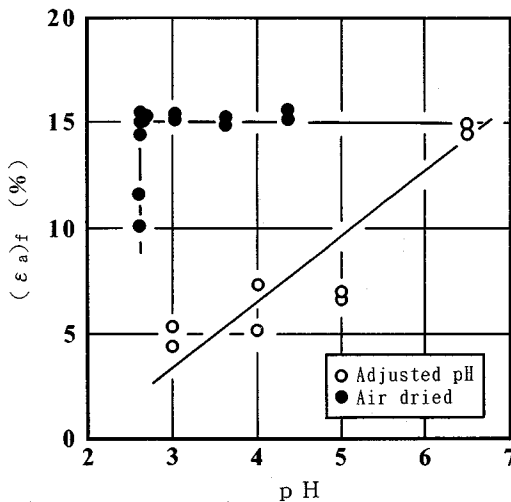


Fig.12 Variation in $(\epsilon_a)_f$ -values with pH : air dried and adjusted pH samples.

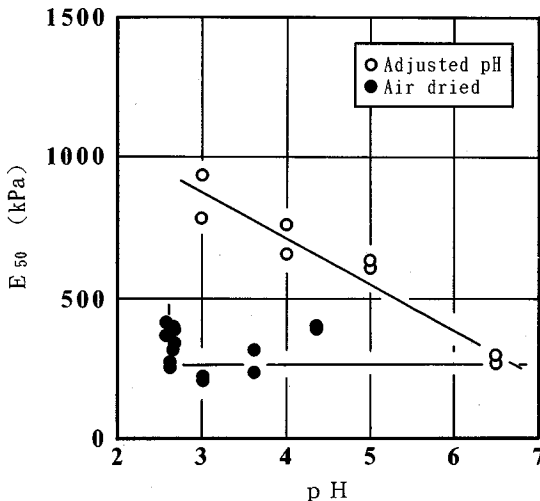


Fig.13 Variation in E_{50} -values with pH : air dried and adjusted pH samples.

傾向が現れることを裏付けている。これに対し、空気乾燥保存試料の場合、pH 値が 3.0 程度までは pH 値の違いによらず、 $(\epsilon_a)_f$ 値は 15% 程度とほぼ一定値を示しており、応力-ひずみ曲線上にピークが認められないが、pH 3.0 以下になると $(\epsilon_a)_f$ 値は 10% 程度にまで減少し、ピークを示す傾向が現れる。

Fig.13 は、変形係数 E_{50} と pH との関係を示す。図より、pH 値調整試料の E_{50} 値は、pH 値の減少に伴って増加する傾向を示す。これに対し、空気乾燥保存試料の E_{50} 値は、pH 値が 3.0~6.5 までは 250 kPa 程度とほぼ一定値を示しているが、pH 3.0 以下になると E_{50} 値は僅かに増加しており、 $(\epsilon_a)_f$ 値と同様その変化傾向は、

pH 値とともに土が酸性側へ移行する過程の影響を大きく受けていることがわかる。

一方、空気乾燥保存試料と pH 値調整試料より得られた q_u 値と w 値との関係を求めたところ Fig.7 とほぼ同様の傾向が得られた。

このことは、自然に酸性化した試料においては土の挙動の変化傾向が異なる pH 値が存在することを示唆しており、このような pH 値を把握することは、土の強度・変形特性を評価する上において重要な要素のひとつであるといえる。いずれにしても、酸性化した土の強度・変形特性を定量的に取り扱う場合、pH 値とともに土が酸性側へ移行する過程を考慮することの必要性を示している。

以上の結果より、土の強度・変形特性は、pH 値の違いにより大きく異なることが示された。また、人工的に硫酸を加えて pH 値を調整した試料と酸化に伴って硫酸が生成された試料とでは、pH 値や酸性物質が同じであっても強度・変形特性に差が生じること、自然に酸性化した試料では空気乾燥保存日数が 56 日以降になると試料の pH 値がほとんど変化しないにもかかわらず、強度・変形特性には大きな差が生じること等が示された。このことより、酸性化した土では、空気乾燥保存日数の増加に伴い、より安定した土構造が形成される可能性が示唆される。その原因としては、土の酸性化には酸化とともに土中に存在する細菌による微生物学的酸化も関与しているものと推察され¹³⁾、このことも土の強度・変形特性に大きな影響を及ぼしている要因のひとつと考えられる。

本研究で明らかになった点に関して、実地盤への適用性を検討した場合、酸性溶液を地盤内に注入することにより地盤の強度が増加し、その結果、地盤が安定化していくことが容易に推定できる。また、このような工法は、イオン交換工法^{16)~18)}とともに斜面崩壊防止対策工法として経済性の面からも有効な工法のひとつであると考えられる。

一方、本研究で用いた空気との接触によって自然に酸性化するような土、言い換えれば、地盤内において還元状態にあるような土に対しては、地盤中に空気を圧入・拡散させて土の酸性化を促進させる手法¹³⁾により、長期間にわたって地盤を安定化させることも十分に可能であると推察される。

しかしながら、酸性雨およびそれに伴う土の酸性化は、植物の植生や酸性化した地盤に接するコンクリート構造物等に悪影響を及ぼすことが最近かなり報告されている。そのため、今回の実験結果からは地盤力学的観点から土の酸性化がある意味で有意であると評価できるが、上記のように酸性雨の地盤への浸透が地盤工学全体に及ぼす影響を総合的に評価する際には、地盤環境等を

含めた総合的な見地から地盤の酸性化の問題を検討することが必要不可欠となる。

4. 結 論

本研究では、人工的に酸性化した試料と自然に酸性化した試料との強度・変形特性に及ぼす pH の影響を明らかにするために、原位置より採取した自然試料に対して、一軸圧縮試験を行った。

以下に、本研究により得られた主要な結果を列挙する。

(1) 人工的に酸性化した試料において pH 値の減少に伴う一軸圧縮強さ q_u 、破壊ひずみ (ϵ_a)_r および変形係数 E_{50} の変化傾向は、圧密期間 T や pH 値の影響を受ける。

(2) 自然に酸性化した試料では空気乾燥保存に伴う土の pH 値の低下 (酸性化) が収束した後も、空気乾燥保存日数の増加に伴い、土の一軸圧縮強さ q_u 、破壊ひずみ (ϵ_a)_r および変形係数 E_{50} に変化が生じる。

(3) 土の強度・変形特性に及ぼす pH の影響を、自然試料に対する室内試験によりある程度定量的に示した。このことより、土の pH や酸性化の過程は、力学的特性を評価する上において重要な要素のひとつである可能性を示唆した。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、石川工業高等専門学校能沢真周技官および得能陽一(現、(株)ホクコク地水)、竹内快充(現、東京電力(株))両氏には実験および結果の整理に多大なるご協力をいただいた。ここに深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) 環境庁：平成2年版環境白書総説，1990。
- 2) Olson, R.E. : Shearing Strengths of Kaolinite, Illite, and Montmorillonite, *Proc. ASCE*, Vol.100, No.GT11, pp.1215-1229, 1974.
- 3) Torrance, J.K. and Pirnat, M. : Effect of pH on the Rheology of Marine Clay from the Site of the South Nation River, Canada, Landslide of 1971, *Clays and Clay*

Minerals, Vol.32, No.5, pp.384-390, 1984.

- 4) Kumapley, N.K. and Ishola, A. : The Effect of Chemical Contamination on Soil Strength, *Proc. 11th ICSMFE*, Vol.13, pp.1199-1201, 1985.
- 5) 亀井健史, 佐野博昭：ペントナイトの工学的特性に及ぼす水素イオン濃度指数の影響，地すべり，第30巻，第2号，pp.30-40, 1993.
- 6) 嘉門雅史, 勝見 武, 応 長雲：酸性雨が土の界面体イオン及び一軸圧縮強さに及ぼす影響，第29回土質工学研究発表会講演集，pp.243-244, 1994.
- 7) 山口晴幸, 鶴居正行, 福田 誠, 黒島一郎：酸性雨と土質，土と基礎，Vol.40, No.12, pp.35-40, 1992.
- 8) 山口晴幸, 鶴居正行, 福田 誠, 黒島一郎：酸性雨をかんがみた土の物理化学的性質に関する考察，土と基礎，Vol.41, No.6, pp.47-52, 1993.
- 9) 山口晴幸, 小林弘樹, 福田 誠, 黒島一郎：酸性雨の化学組成と軟岩劣化への懸念，土と基礎，Vol.42, No.8, pp.57-62, 1994.
- 10) 佐々木信夫：新第三系強酸性硫酸塩土壌に関する研究，岩手県立農業試験場研究報告，第20号，pp.23-54, 1977.
- 11) 落合英俊, 松下博通, 林 重徳：硫酸イオンを含む地盤における住宅基礎，土と基礎，Vol.34, No.6, pp.45-50, 1986.
- 12) 川地 武, 住野正博, 野坂俊夫：RC造地中構造物のイオウ化合物による劣化とその機構—化学的，鉱物学的手法を用いた調査事例—，土質工学と粘土科学の接点をさぐる—粘土鉱物試験結果の活用—共催シンポジウム発表論文集，土質工学会，日本粘土学会，pp.55-60, 1991.
- 13) Mitchell, J.K. : Practical Problems from Surprising Soil Behavior, *Proc. ASCE*, Vol.112, No.GT3, pp.259-289, 1986.
- 14) 土質工学会：土質試験の方法と解説，1990.
- 15) 藤田壽雄：日本の地すべり，基礎工，Vol.13, No.9, pp.2-12, 1985.
- 16) 松尾新一郎, 富田武満：斜面安定に及ぼすイオン交換の影響，材料，第19巻，第205号，pp.53-58, 1970.
- 17) 松尾新一郎, 富田武満：モンモリロナイト系粘土の物理化学的および工学的特性に及ぼすカリウム固定の影響，材料，第26巻，第290号，pp.17-22, 1977.
- 18) 松尾新一郎, 嘉門雅史, 富田武満：地すべりの物理化学的方法による予知とその対策，土と基礎，Vol.28, No.2, pp.45-52, 1980.

(1994.10.11 受付)

INFLUENCE OF ACIDIFICATION ON STRENGTH-DEFORMATION CHARACTERISTICS OF COHESIVE SOILS

Takeshi KAMEI and Hiroaki SANŌ

In order to investigate the influence of hydrogen-ion concentration exponent on strength-deformation characteristics of cohesive soils, unconfined compression tests have been performed on natural soils with different hydrogen-ion concentration exponent. In addition, we conducted unconfined compression tests on natural soils acidified by air drying. As a result, it was found that unconfined compressive strength, axial strain at failure and deformation modulus depend on hydrogen-ion concentration exponent, consolidation time and acidification process.

Hydrogen-ion concentration exponent and acidification process, therefore, are one of the most important factors in considering mechanical properties of soils.