土木学会論文集 No. 722／III-61, 375-380, 2002. 12

樹木の根系による吸水作用が土中のサクション に及ぼす影響に関する研究

橋本耕作[1]・建山和由[2]・中村良夫[3]

[1]学生会員　京都大学大学院　工学研究科 修士課程　（〒606-8501　京都市左京区吉田本町）
[2]正会員　工博　京都大学大学院　工学研究科土木システム工学専攻　（〒606-8501　京都市左京区吉田本町）
E-mail: tateyama@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp
[3]フェロー 工博　東京工業大学　名誉教授

人工法面に対し安定性の向上を目的として緑化が行われるケースが増えている．植物の根系が法面の安定に及ぼす影響のうち，ここでは，根系が地盤中から水分を吸収することによって地盤内のサクションの増加に寄与する効果について調べるため，テンシオメーターを用いた原位置計測を行った．この結果，降雨後における地盤内のサクションの回復に根系の吸水活動が大きな役割を果たすことが明らかになり，また，この効果の季節や時間帯，さらには樹木の種類による差異等に関しても新たな知見を得た．

Key Words: *roots of plants, field measurement, suction, rainfall, unsaturated soil*

1. はじめに

近年，斜面の安定性向上と景観の改善を目的として，法面に人工的に植物を生育させて緑化を施すことが多くなった．樹木の根系が斜面の安定性に及ぼす影響としては，下記の３要素が考えられる．

1) 根系が地盤内で成長して，土を拘束することにより斜面の安定性を高める効果
2) 根系が地盤内の水を吸収することにより地盤内のサクションの増加に寄与する効果
3) 根系に沿って地盤内に水が浸透することにより，土の強度低下が起こり，安定性を阻害する効果

このうち，2)のサクションは，間隙水圧の負号を取り除き正値としたものであり，土粒子間の結合力を生み出す一因となる[1]．このため一般に地盤内のサクションの増加は土の強度増加をもたらすことになり，法面の安定性に寄与する効果が期待される．植物の根系の吸水活動と地盤内サクションとの関係については，室内においてポットに植物の苗を植え，給水後のポット内土壌水分の変化を計測するポット試験で既に研究が行われているが[2][3]，原位置において調査された例はみられない．そこで，本研究では，根系の吸水活動が降雨時に低下した地盤内サクションの回復に与える影響を検討することを目的として，原位置計測による調査研究を行った．

2. 現地計測概要

本研究では，テンシオメーターを用いた以下の 3 種類の実験を行った．

実験１： 植物の根系の有無が，地盤内サクションの変動に与える影響に関する調査．

実験２： 植物の種類や根の位置による地盤内サクションの発生状況の差異に関する調査．

実験３： 季節や時刻の差による地盤内サクションの発生状況の差異に関する調査．

今回使用したテンシオメーターは図-1 に示すように，先端部のセラミック製ポーラスカップ，脱気水を満たした外径 18mm のアクリルパイプ，そして圧力変化を測定する負圧センサーからなる．埋設されたテンシオメーターでは，周辺の土壌中の水分が少なくなるに従いポーラスカップを通じてアクリルパイプから水が出て行くことになる．しかしポーラスカップは一種の半透膜の役割を果たし，水は透過するが空気は透過することができないため，アクリルパイプ内の圧力は負圧となっていく．これを負圧センサーで計測することにより直接的に土中のマトリックサクション値を計測することができる．

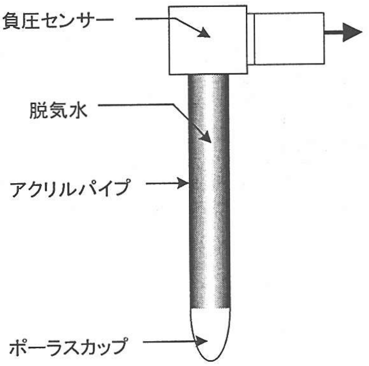

図-1　テンシオメーター概略図

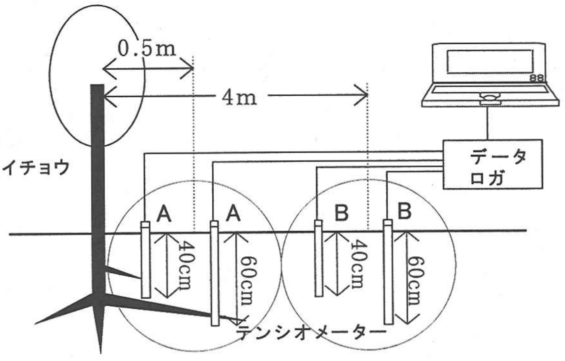

図-3　実験 1 の計測

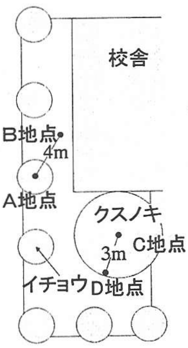

図-2　現地計測地点の略図

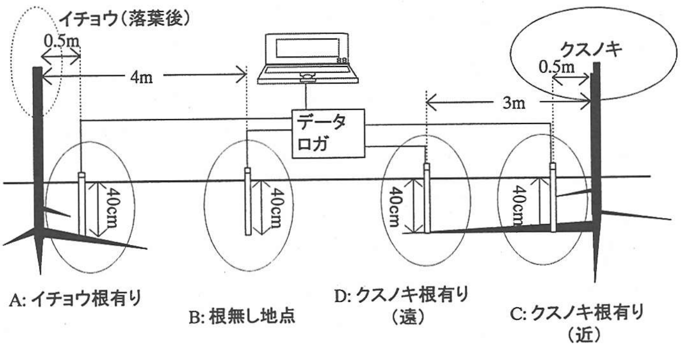

図-4　実験 2，3 の計測

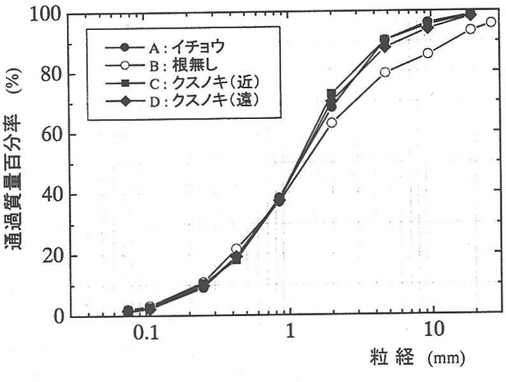

図-5　各地点の粒度分析結果

計測は図-2 に示す京都大学構内で行った．図内の A，B，C，D 地点は計測地点であり，それぞれ，

A：イチョウの根系
B：無植栽
C：クスノキの根系（近）
D：クスノキの根系（遠）

と定義する．

テンシオメーターの設置では，アクリルパイプの直径よりわずかに大きな鉛直孔を堀り，この中にテンシオメーターを挿入後，隙間を掘削した土で埋めた．根系と定義された A，C，D 地点のテンシオメーターはそれぞれの植物根系に土を介して接するように埋設した．

実験 1 は図-3 に示すように A 地点と B 地点の計測結果を比較することにより，また，実験 2，3 は図-4 に示すように A，C，D 地点における計測結果を比較検討することにより実施した．これら 4 地点から土を採取し，粒度分析を行った結果を図-5 に示す．図より土質は 4 カ所ともほぼ同一の粒度特性をもつことが確認できた．また土質以外の条件，例えば日照，気温，降雨量などについては 4 箇所の観測地点が比較的近いことからほぼ等しいとみなすことができる．よって，今回の計測において地盤中のサクションに差が生じれば、それは根系の影響であると考えられる．それぞれの実験では図に示すように 4 本のテンシオメーターを用いて計測を行い，地盤内のサクションに関するデータを個々のテンシオメーターから 1 分間隔で自動計測した．なお，計測地点において地下水位の計測は行っていないが，近接した建築工事の際の地下掘削状況の観察から，地下水面は，計測点の地表面から少なくとも 3m より深いことを確認しており，今回の計測には影響を及ぼさないと考えている．

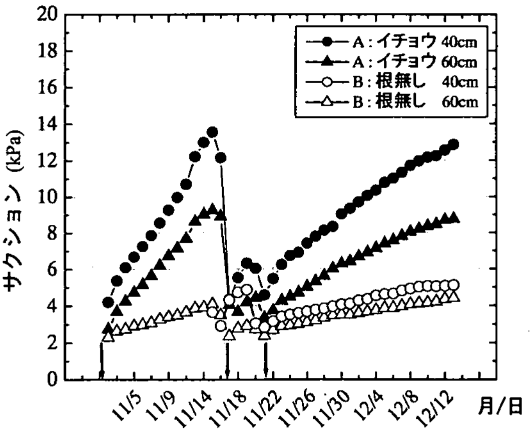

図-6 A地点とB地点の日平均サクションの変化

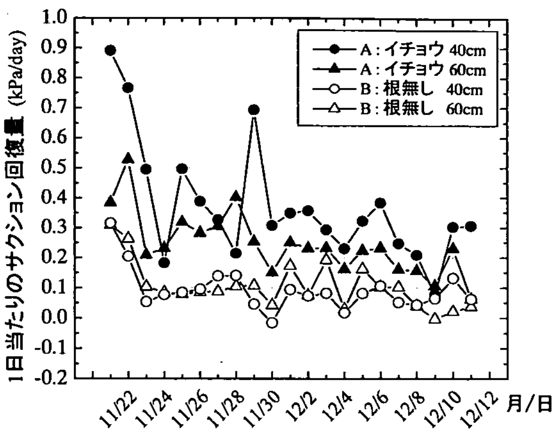

図-7 A地点とB地点の日平均サクションの増加量

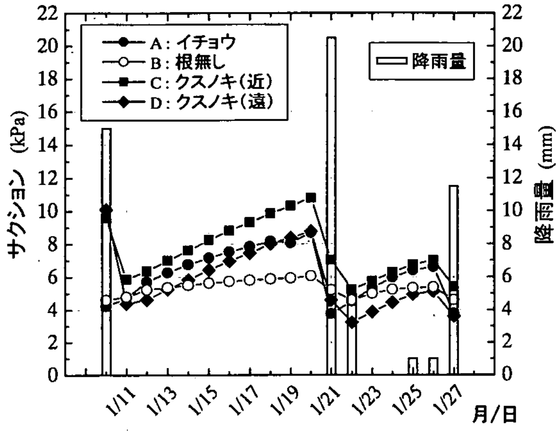

図-8 各地点の日平均サクションの変化

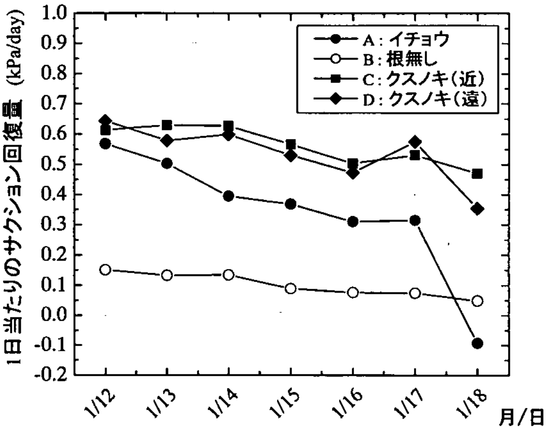

図-9 各地点の日平均サクションの増加量

3. 現地計測結果及び考察

(1) 実験1：イチョウと無植栽地との比較

図-6, 7 は実験 1 の計測結果である．まず図-6 は各地点でのサクション値の一日の平均を取った日平均サクションのデータをプロットしたものである．図中の矢印は降雨があった日時を表している．図から明らかなように降雨時に地盤中のサクションは計測地点によらずほぼ同じ値まで低下するが，雨があがると，イチョウの根系が存在するA地点の方が，無植栽地点であるB地点と比較して，サクションが急激に回復していることがわかる．両地点の土質・気温・日射量・雨量等はほぼ等しいことから，このサクション挙動の相違は根系からの吸水によるものと考えられる．更に埋設深さについて 40cm と 60cm のグラフを比較すると，A地点では深さ 40cm の方がより大きなサクションを示すことが判る．このA地点付近に存在する根系の分布を掘削して調べると地表面下 30cm 付近に集中していた．このことは，一般に植物根系は地表面下 30cm までに集中して存在すると言われることとも一致している [4]．よって 40cm の計測結果の方が 60cm の結果よりも大きなサクションを示すことは，根系が地表面付近に多く分布することに起因して，より地表面に近い深さ 40cm の地点で多くの水分吸収が行われたためであると考えられる．また地表面からの蒸発や地下水位の上昇等もサクションの増加に影響を与えることが考えられる．しかし地表面からの蒸発に関しては，根系の存在しないB地点では深さが異なってもサクション値に大きな差異が認められないことから，地表面からの蒸発の影響は小さいと判断できる．

図-7 は 11/22 以降の降雨後の回復に注目し，サクションの 1 日当たりの増加量を表したものである．乾燥過程にある時にはA地点のサクション増加量が常にB地点のそれを上回っている．このことからも A，B 両地点におけるサクション挙動の相違を生み出した要因はイチョウの根系からの吸水活動であると考えられる．

(2) 実験 2：イチョウとクスノキとの比較

図-8，9 は実験 2 に関する計測結果である．図-8 は図-6 と同様に日平均サクションをプロットし，降雨量に関するデータを付け加えたものである．この実験においても，降雨時に地盤内サクションが低下し，その後サクションが回復すること，ならびに A，C，D 地点というイチョウまたはクスノキの根系が存在する地点でのサクション増加が無植栽地点である B 地点のそれを上回っていることが確認できる．次にイチョウの根系が存在する A 地点とクスノキの根系が存在する C，D 地点のサクション挙動を比較すると，降雨後 C，D 地点のサクションはほぼ一定の割合で増加を続けているが，A 地点では徐々にサクション増加量が少なくなっていることがわかる．このことは，図-9 においてより顕著に確認することができる．すなわち，図-9 は，1/12 以降の降雨後のサクションに注目し，一日当たりのサクション増加量を表したものであるが，C，D 地点のサクションは，A 地点のサクション増加が減少し始めた後もほぼ一定の増加を示している．これに対し，A 地点でのサクション増加量は，降雨から時間が経過するにつれ急激に減少していくことが読みとれる．A 地点のサクション増加量が減少した理由は次のように考えられる．実験 2 を実施した時期は 1 月であり，イチョウの葉は全て落葉した後であった．植物は葉が無くとも葉以外から水分蒸散を行うことが可能なため，ある程度土中から水分を吸収しサクションを増加させることができる．しかし葉からの蒸散が無いため，全体の吸水量が減少し，結果としてより低いサクション値で定常状態に近づいて増加量が減少したと推定することができる．一方 C，D 地点のクスノキは常緑樹であるため，冬季においても葉からの水分蒸散が可能である．よって C，D 地点では，A 地点でサクション増加量が減少した後も，ほぼ一定の増加を続けていたと思われる．降雨後の晴天が長期間継続しなかったこともあり実験データが限られているため明確に結論づけることはできないが，冬季における吸水を考慮すると，落葉樹より常緑樹がより多く吸水すると推測することができる．

(3) 実験 3：季節と時間による吸水挙動の差異

a) 1 年を通じてのサクションの変化

図-10 は実験 3 に関する計測結果である．この実験では実験 2 で使用したものと同じクスノキを対象に，通年を通してのサクションの挙動を比較した．図中の 1 月分のグラフは図-8 と同じものである．図から判るようにクスノキの根系が存在する地点のサクションは冬季では最高でも 11kPa 程度までしか増加しないのに対し，夏季では最高 71kPa 程度まで大幅に増加している．この原因としてはクスノキの根系からの吸収が増大したことが考えられるが，この他，夏季には日照量が多くなるため地表面からの蒸発量が大きくなったこと，また連続した晴天の期間が長く，増加したサクションが降雨によって減少する機会が少ないこと等も影響すると考えられる．そこで，根系の吸水活動と地表面からの蒸発の影響度合いを調べるために，図-10 において根無し地点のサクションを夏季と冬季で比較した．この結果，冬季では最高 8kPa 程度であるが夏季では最高 18kPa 程度まで増加しているものの，このサクション増加量は先に示したクスノキ根系のサクション増加量に比べ約 1/7 であり，小さいことがわかる．

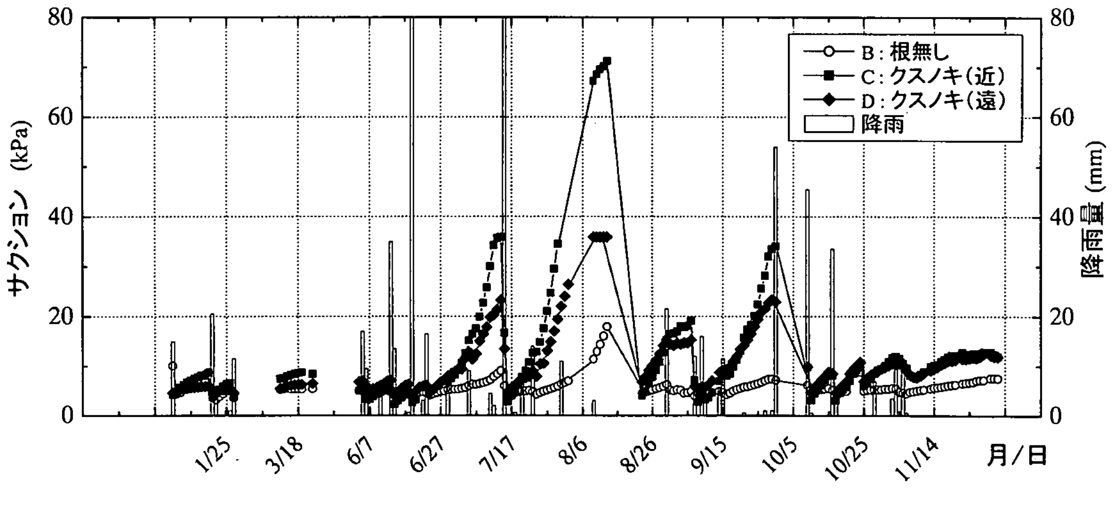

図-10　夏季と冬季におけるサクション日平均の変化

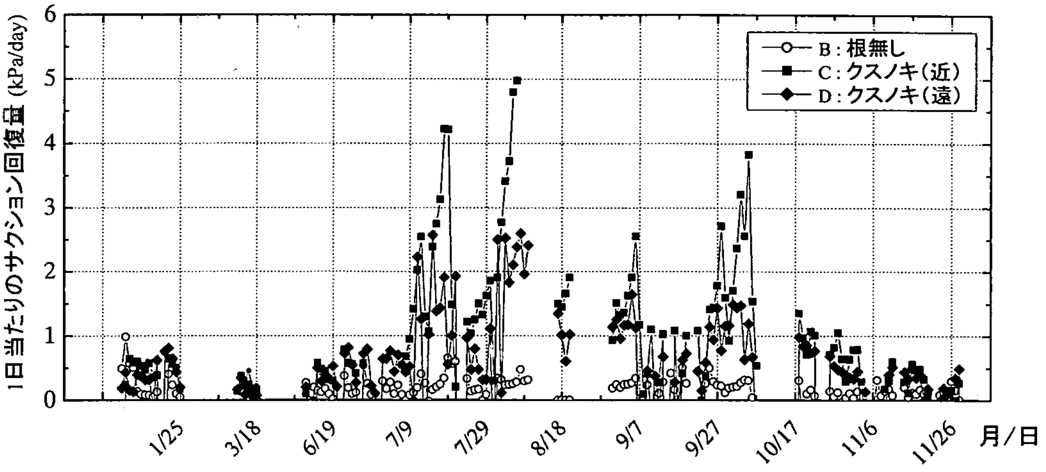

図-11　夏季と冬季におけるサクション日平均増加量の変化

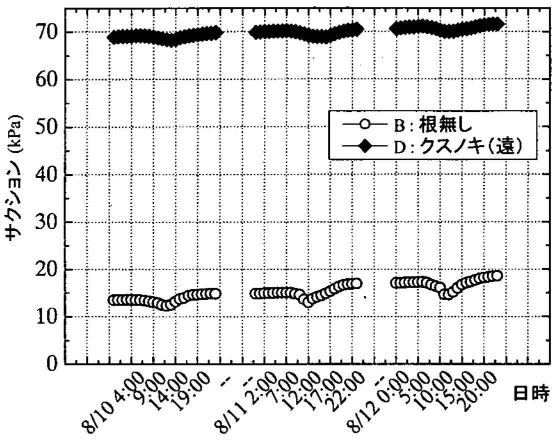

図-12　夏季におけるサクション値の変動例

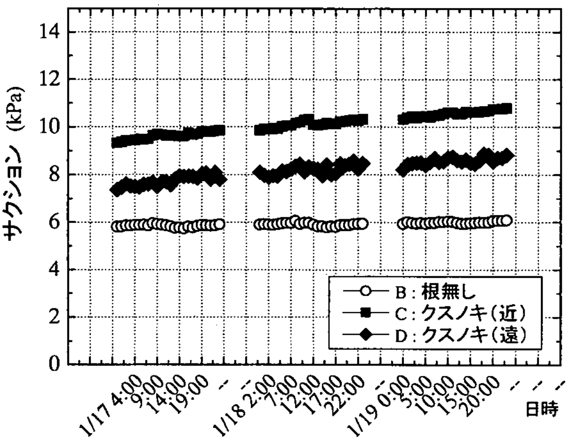

図-13　冬季におけるサクション値の変動例

さらに，図-11は一日当たりのサクション増加量を表したものであるが，これを見るとクスノキ根系地点では，同じ一日という期間でのサクション増加量が夏季には最高約 5kPa と冬季の最高約 1kPa よりも大幅に増加していることが判る．これに対し，根無し地点での一日当たりのサクション増加量も冬季の約 0.6kPa から夏季には約 2kPa と増加しているが，これもクスノキ根系地点のものに比べ小さいことがわかる．以上のことからクスノキの根系地点のサクション増加量が夏季に増大する原因としては，日射量増加による地表面からの蒸発量増加も一因ではあるものの，日射量の増大に伴いクスノキ根系の吸水活動が活発化し，それによってもたらされる影響がより支配的であると考えられる．

b) 1日のうちのサクションの変化

図-12と図-13は，クスノキの根系が存在するC，D地点と根系の存在しないB地点で1日のうちのサクションの変動を計測した結果の一例である．このうち，図-12は葉からの蒸散が盛んな夏季の結果を，図-13は蒸散活動が衰える冬季の計測結果を示している．これらの計測結果は，降雨後サクションが回復していく過程にある日の計測結果を選んで示している．これらの結果より，根系が存在するC，D地点では全体としてサクションが増加している傾向は読み取れるが，日光の照射のある昼間と夜間でサクションの変動に有意な差を見ることができない．一般的な理解では，昼間の方が蒸発散が盛んなため，サクションの増加も夜間に比べて顕著に現れると予想されるが，予想外に計測結果では，昼間と夜間の違いに有意

な差は認められない．植物の蒸発散活動と根系からの吸水活動についてのより深い理解が必要と思われる．

なお，図-12 の夏季における計測結果では，正午前後にサクションの値が若干下がり，夕方になると回復する現象が観察される．この現象はテンシオメーター内の水中に溶けていた空気が昼間の温度上昇に伴って水中から気体となって溶出し，これがサクション値を低下させることによって生じるのではないかと考えている．

4. 結　論

地盤中のサクションの長期計測により，植物の根系の吸水活動について調査を行った．その結果，以下の事項が明らかになった．

1) 樹木の根系の吸水活動は，降雨後における地盤中のサクションの回復に寄与する．
2) 冬季に葉が落ちるイチョウと常緑樹であるクスノキに比べると，イチョウは落葉樹であるため，冬季においては降雨後の地盤中のサクションの回復効果に限界があり，ある程度サクションが回復した後はその増加割合が急激に低くなる．
3) 1年を通じてのサクションの変動は，植物の蒸発散作用が活発な夏季に盛んで，その多くは根系からの吸水活動に起因すると考えられる．
4) 1日を通じてのサクションの変動は，夏季，冬季とも昼間と夜間で有意な差が認められない．

前述のように土中のサクションの増加は，土粒子間の結合力を生み出す一因となるため，土の強度増加に寄与する効果が期待される．今後は，植物の根系の吸水活動によるサクションの増加が土の強度増加に及ぼす影響について，その定量的な把握につとめるとともに，植物の蒸発散活動と根系からの吸水活動についての理解を深め，その知識の地盤工学への有効利用を図りたい．

謝辞：本研究を進めるにあたり，原位置における計測機器の準備において，京都大学 工学研究科 檜垣義雄技官の協力を得た．記して謝意を表す．

参考文献

1) 地盤工学会：ジオテクノート⑤不飽和土，1993.
2) 石田朋靖：土壌－植物系における水分移動に関する研究（東京大学博士論文）山形大学紀要，第 9 巻第 4 号，別冊，pp.573～707，1985.
3) 外狩麻子：植生工の water-uptake 効果に関する実験的研究 第 32 回地盤工学研究発表会講演集，2 分冊の 2，pp.1861～1862，1997.
4) 日本道路協会：道路緑化技術基準・同解説，pp.155～156，1985.

(2002. 1. 11 受付)

EFFECT OF WATER ABSORPTION BY ROOTS OF PLANTS ON THE SUCTION IN UNSATURATED GROUND

Kousaku HASHIMOTO, Kazuyoshi TATEYAMA and Yoshio NAKAMURA

The water absorption by the roots of plants was focused as the main reason of the increase of suction in the ground. Field measurements were carried out to study the effect of the roots of plants on a long-term change of the suction in the ground by using tensiometers. It was made clear from the measurement that the water absorption by the roots of plants plays an important role in the recovery of the suction after rainfall and obtained some knowledge on the difference in the suction by the season in a year, the time in a day and species of plants.