
論 文

竹林の表層地盤特性について

小泉圭吾*・谷本親伯**

大阪大学大学院工学研究科*, 大阪大学サンフランシスコ教育センター**

Characteristic of subsurface ground in the bamboo stand

Keigo KOIZUMI* and Chikaosa TANIMOTO**

**Department of global Architecture, Graduate school of engineering,
Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita City, Osaka, 565-0871, Japan****Osaka University San Francisco Center
120 Montgomery St. Suite 1270 San Francisco, CA 94104***Abstract**

Bamboo stands under uncared conditions for several years are spreading from planted fields to wooded areas. In general, bamboo stands have effect for the protection of soil erosion and groundwater storage by dense roots and rhizomes. On the other hand, there is a possibility that wooded area where is gradually changing to natural bamboo stand, does not have any advantages compared with pure bamboo stands. The purpose of this study is to discuss the conditions of subsurface ground in two type bamboo stands, wooded area and afforestation area by cone penetration tests.

The field tests indicate that there is difference between the pure bamboo stand and the bamboo stand extended from wooded area. The authors conclude as follows:

- 1) In this field, the roots of bamboo are densely distributed in the depth of less than 50cm from the ground.
- 2) In the bamboo stands where are used to be wooded area, the density of roots is lower than that of pure bamboo stands. And the rate of trees is low compared with pure wooded area. Therefore, the possibility to be expected for the effect to the protection of soil erosion is low.

Keywords : Field Survey, Penetration test, Root, Subsurface Ground

1. 緒 言

竹林の拡大による周辺環境への影響が懸念されていることから、竹林の有する機能について把握する必要がある。人の手によって管理されていた樹林地の表層地盤では、地盤内の地下水を貯留する効果や降雨の分散による土壌の侵食防止効果などが認められており、根系による表層の緊縛効果、杭効果など



図1 竹の根 Fig.1 Roots of bamboo

も報告されている^{1),2)}。しかし、近年の樹林地の竹林化によって、土壌安定効果の発現形式が変化する可能性がある。そこで本論では、竹林特有の根に着目し、根を含んだ表層地盤の特性について検討を行った。

竹の地上部は竹稈、枝、葉で形成され、地下部分は基稈部、地下茎、根によって形成されている。上田³⁾によると、モウソウチクの地下茎は深度1m以内で、100㎡当たり250～1129m、マダケは630～1874mと報告されており、室井⁴⁾からもほぼ同様の報告(10a当たり3000m～11000m)がなされている。また、地下茎の直径はモウソウチクで1.7～2.6cm、マダケで1.7～2.4cmと報告されている³⁾。図1は基稈部および地下茎から伸びている根を捉えた写真である。この図より、竹林の地中には無数の根が存在しており、それらが土壌を緊縛している様子が伺える。苧住¹⁾の報告によると、スギ林の土壌緊縛力が200kg～833kg、ブナ林では100kg～1360kgであったのに対し、竹林の土壌緊縛力はマダケ林で1560kg、モウソウチク林で1840kgと高い値を示しており、このことだけで判断すると竹林の表層地盤は樹林地に比べ、表層崩壊、浸食等に強いものと考えられる。しかし、一般的に大木とよばれているスギ、アカマツ、カツラなどの根は地中1.5m～3.0m程度にまで分布することから、竹の根に比べると、より深い部分にまで根が分布していることになる。稲垣^{5),6)}は樹木の根系層だけで起こる表層崩壊を根系層崩壊とし、地形、地質との関係について報告しているが、竹林は対象としておらずまた、根系を含めた表層崩壊の工学的取り組みについては今後の課題としている。従って、自然拡大が問題視されている竹林の根系の防災的見地から捉えた解釈についてはまだ研究が進んでおらず、現時点では多くの課題が残されている。本論文では将来の課題として、竹林の拡大地における地盤災害特性の把握を目的とし、本論では竹林の根を含んだ表層地盤の強さに着目し、竹林の残存地と拡大地における表層地盤特性の違いについて検討を行った。

2. 調査概要

2.1 調査地の概要

図2に示すように調査地は大阪府島本町桜井地区の一部とした。選定理由は、①竹林の自然拡大地が存在すること、②比較対象となる人工林、雑木林が近接していること、③現地調査が可能であることが挙げられる。また図2下線部には、対象とする竹林、人工林(スギ)、雑木林の位置関係を示した。竹林に関しては、現地調査と空中写真判読(1974年、2000年撮影)により1974年以降竹林に遷移したエリア(以下、拡大地と記す。)と1974年より竹林として存在していたエリア(以下、残存地と記す。)に分けて示した。また、本調査地における拡大地について空中写真で判読したところ、1974年時点では雑木林であった。対象地の雑木林はコナラ林である。

調査地における竹林の分布状況を把握するために、残存地、拡大地それぞれの分布密度および

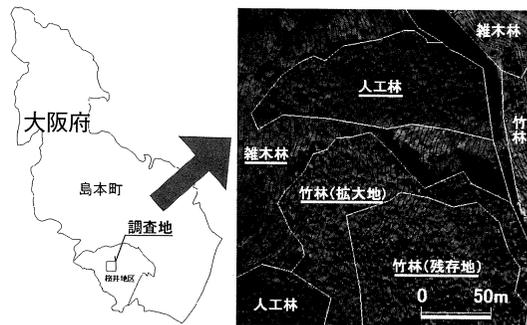


図2 調査地 (大阪府島本町)

Fig.2 Study region (Shimamoto-cho, Osaka Pref.)

表1 5m×5m内の竹、樹木の本数と立竹密度、植生密度
Table Number and density of the bamboo and the tree
in 5m×5m

| No. | 竹 (本数) | 低木 (本数) | 高木 (本数) | 立竹密度 (本数/m ²) | 植生密度 (本数/m ²) |
|-----|-----------|------------|------------|------------------------------|------------------------------|
| 残-1 | 27 | 0 | 1 | 1.1 | 1.1 |
| 残-2 | 22 | 0 | 1 | 0.9 | 0.9 |
| 残-3 | 25 | 0 | 1 | 1.0 | 1.0 |
| 残-4 | 22 | 0 | 1 | 0.9 | 0.9 |
| 拡-1 | 15 | 14 | 0 | 0.6 | 1.2 |
| 拡-2 | 11 | 4 | 0 | 0.4 | 0.6 |
| 拡-3 | 16 | 4 | 0 | 0.6 | 0.8 |
| 拡-4 | 11 | 10 | 3 | 0.4 | 1.0 |

残存地、拡大地ともほぼ同様であった。これは本調査地における拡大地が元々雑木林であったことに関係している。ただし、拡大地における樹木の多くは低木であり、高木の多くは枯死していた。

次に表2に残存地と拡大地における竹稈直径の測定結果を示した。直径の測定位置は地上高120cmとし、残存地、拡大地ともそれぞれ10稈を測定した。その結果、残存地の竹に比べ拡大地の竹の直径は平均して1.8cm太いことが確認された。一般に稈径の太さは、地下茎、土壌、水分、日照、立竹密度などに影響を受けるとされており⁷⁾、本調査地においては残存地よりも拡大地の立竹密度の方が低いことから、立竹密度の影響が考えられたが、原因を確定するためにはより詳細な調査が必要である。

2.2 粒度試験

調査地における土粒子の分布状況を把握するために粒度試験を行った。試験は日本工業規格「土の粒度試験方法」(JIS A 1204)に準じて行った。一般に粒度分布は、その地点の土の密度、透水性、せん断強さなどに関係するといわれている。試験は竹の根を含んだ表層地盤特性を把握するための基礎データ収集を目的として行ったもので、試料は竹林の残存地、拡大地、雑木林、人工林の4地点から採取した。試験は採取地ごとに2試料ずつ行いそれらの平均を各採取地の代表とした。試料採取に当たり、表層の腐葉土等の有機質土を含まないように深度20~30cm付近の土を用いることとした。また、土壤図(1:50000)、地質図(1:50000)を用いて採取地の土壌、地質条件を統一するように検討を行ったが、竹林の残存地の地質のみが他の3地点と異なる結果となった。しかし土壌は4地点とも乾性褐色森林土壌(Pom2)であったことから、表層地盤においては4地点ともほぼ同一の地質条件であるものとして調査を進めた。地質は竹林の残存地のみが固結堆積物(泥質岩・珪質岩互層)で、それ以外は固結堆積物(砂岩・泥質岩互層)であった。粒

竹稈の直径を測定した。密度の測定は5m×5mの方形区中に存在する立竹本数から1m²当たりの本数を算出した。また、測定地内の樹木(低木・高木)についてもその本数を測定した。測定箇所は残存地、拡大地とも4箇所(残-1~残-4、拡-1~拡-4)とし、それぞれの分布状況を把握し、測定結果を表1に示した。その結果、残存地に比べ拡大地の立竹密度は半分程度と低いことが確認された。一方、低木、高木を含めた植生密度は、

表2 竹稈の直径

Table2 Diameter of bamboos

| No. | 残存地 稈径(cm) | 拡大地 稈径(cm) |
|-----|---------------|---------------|
| 1 | 9.6 | 11.1 |
| 2 | 13.1 | 12.3 |
| 3 | 6.1 | 7.0 |
| 4 | 10.2 | 16.2 |
| 5 | 12.4 | 13.4 |
| 6 | 12.7 | 14.0 |
| 7 | 7.6 | 9.2 |
| 8 | 8.9 | 11.1 |
| 9 | 11.1 | 12.1 |
| 10 | 9.2 | 12.7 |
| 平均 | 10.1 | 11.9 |

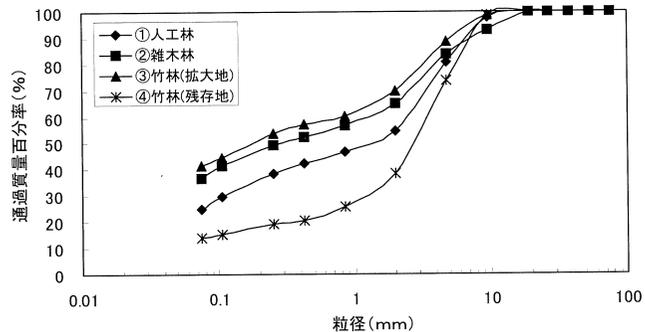


図3 粒径加積曲線 Fig.3 Grain size accumulation curves

度試験結果を粒径加積曲線として図3に示した。

この結果、元々雑木林であった竹林の拡大地と雑木林の粒度分布は非常に似通っており、竹林の残存地、人工林に比べて細粒分の割合が大きいことが確認された。また、竹林の残存地は4地点の中で最も粗粒分の割合が大きいことが確認された。この原因として地質の違いが考えられたが、竹林の残存地は他の3地点に比べて斜面下部にあることも原因の1つであると考えられる。また、人工林における粒度分布も竹林の拡大地、雑木林と比べて粗粒分の割合が大きいことが確認された。

2.3 根を含んだ表層地盤特性評価の検討

ここでは、竹林の表層地盤特性について検討を行った。これまでササ植物等の土壌浸食防止効果などの報告⁸⁾以外で、樹木の根系を含めた地盤の強さに関する研究例はほとんどなく、苜住¹⁾が行った竹を含めた樹木の根系の土壌緊縛力測定のみである。しかし苜住が行った測定では、自然拡大した竹林を対象としているわけではないことから、現在問題となっている竹林の拡大地における地盤特性については研究が進んでいない。そこで、本節では原位置で地盤の強さ(Nc値)を簡易に測定できる簡易動的コーン貫入試験機を一部改良し、根を含んだ表層地盤の強さをNc'値として表し、竹林の残存地と拡大地における表層地盤特性について検討を行った。

2.3.1 簡易動的コーン貫入試験

簡易動的コーン貫入試験(以下、簡易貫入試験と記す)とは、5kgの錘を高さ50cmから自由落下させ、外径 Φ 25mm、先端角60°のコーンを10cm貫入させるのに必要な打撃回数Nc値を測定し、土の相対的な貫入抵抗値を簡易に求めることを目的とした動的貫入試験のことであり、一般的には、本試験により、表層崩壊と関連性がある崖錐堆積物や風化層の分布傾向を捉えることができる。この試験に用いる試験機は、総重量が10kg~15kg程度と携帯可能であり、急傾斜地や植生分布密度の高い地点でも比較的取り扱いが簡単である。また深度3m程度までの表層地盤に対応する試験機であることなどから、竹林の表層地盤の把握を目的とする本調査に合致する。そこで、本簡易貫入試験機を用いて竹林の表層地盤特性を把握することとした。尚、本試験法は、地盤工学会基準(JGS 1433)に準拠する。

2.3.2 竹林の根の特性

苜住¹⁾によると、モウソウチクの地中部分は単軸分岐型の地下茎と根から構成されており、モウソウチクの地下茎は土壌の深いところで1m程度に分布するが、山地斜面では一般的に地下数十cmで浅の地点に分布すると考えられている。また、地下茎の長さ³⁾は100m²当たり250~1129mで、根は長いもので1m以上に達するも、30cm~50cmのものが多い。竹の根は基稈部および地下茎の節から1次根が分枝し、3次根まで存在するが、それ以上は分枝しない。根は地下茎の節からでるものよりも、基稈部から分枝するものの方が長大であり、中には直径5mm以上、長さ1m以上のものも存在するが、通常は直径2~3mm、長さ30cm~50cm程度のものが多い。2次根は1次根に比べ著しく細く、通常直径0.2~0.3mm程度であり、2次根から直径0.1~0.2mmのひげ状の細根が分枝して3次根で終わる。以上のことから、竹林の表層地盤では少なくとも深度1m程度までは根が縦横無尽に張り巡らされており、根量の多さから他の植生地に比べて土壌を緊縛する力が大きいものと考えられる。

なお、本論で対象とする根とは、土壌中に密に分布し、土の粒子間の隙間に入り込み土壌を緊縛する

働きがあると考えられる竹林の1次根~3次根のことを指し、地下茎は含まないものとする。また、竹林との比較のため雑木林、人工林においても簡易貫入試験を行ったが、これら樹林地においても、条件を統一するため木質化した主根、側根等は対象外とし、竹林の根と同径程度の細根のみを含んだ地点を対象とした。

3. 結果と考察

3.1.1 竹林におけるNc値

竹林の残存地、雑木林および人工林において簡易貫入試験を行い、それぞれのNc値で竹林の表層地盤の強さを検討した。試験は竹林の残存地5箇所、雑木林3箇所、人工林4箇所の計12箇所で行った。2.2により実測地の地質条件はほぼ同一と考えられるが地形の影響による誤差を小さくするために、各測定箇所の標高をほぼ同じにした。また、根の影響による測定箇所ごとの誤差を小さくするために、竹稈（樹木）と竹稈（樹木）のほぼ中間地点を測定点とした。測定間隔は深度方向に10cmとし、測定深度は、竹林の根の深度を考慮して100cm~150cmとした。また、Nc値が

50を越えた場合はその深度で測定を打ち切ることとした。

図4は竹林（残存地、測定点：5箇所）、雑木林（測定点：3箇所）および人工林（測定点：4箇所）における深度方向のNc値

を示したものである。横軸に地盤の強さを表すNc値、縦軸に深度方向の深さ（h、cm）をとり、カテゴリーごとに測定結果の平均値で示した。この結果、深度にかかわらず雑木林のNc値が最も小さい値を示した。竹林（残存地）のNc値は深度30cm程度までは人工林と変わらなかったものの、30cmよりも深くなると人工林のNc値は大きな値となり、竹林のNc値は深さ方向に一定になる傾向を示した。また、深度140cm付近では、雑木林と竹林（残存地）のNc値が同様の値を示した。このことから、調査地における雑木林と竹林（残存地）の表層地盤は人工林に比べて、貫入抵抗が小さいことがわかった。

この調査結果により、対象地域における竹林（残存地）、雑木林、人工林の表層地盤の強さの違いを確認することはできたが、竹林の根の特性を把握することはできなかった。これまでの報告より竹林の根は表層1m以浅に最も多く分布することが確認されているため、特に竹林ではこれらの根のせん断抵抗力がNc値として表れるものと予想していた。

しかし、図4の結果を見る限りでは、竹林のNc値に根のせん断抵抗力が含まれていたかどうかを確認することはできなかった。この原因として考えられることとして試験機の形状が挙げられる。試験機の先端は図5に示すように外径Φ25mm、先端角60°の円錐形をしており、この部分が土中に貫入する際の貫入抵抗値

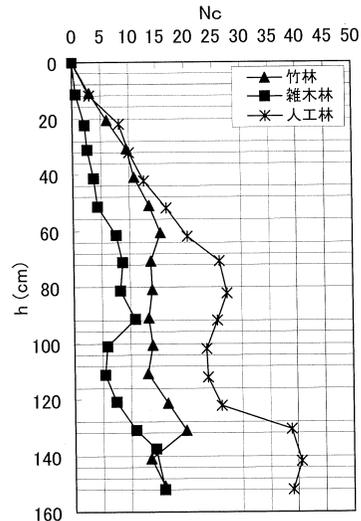


図4 簡易貫入試験結果

Fig.4 Results of cone penetration tests

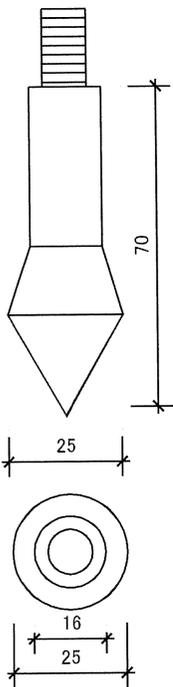


図5 簡易動的コーン貫入試験機（先端部分）

Fig.5 Apex part of portable cone penetrometer

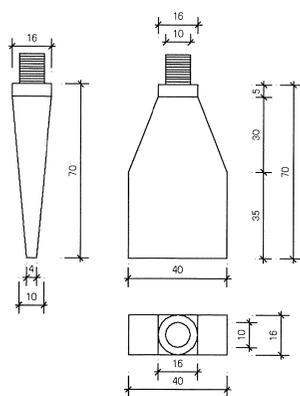
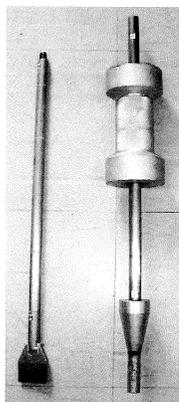


図6 改良した先端部分

Fig.6 Reformed apex part from original portable corn penetrometer



をNc値として求めている。ところが、この試験機の場合、試験機の先端が円錐形状のため地盤を点として捉えており、地盤内に線状に分布する植生の根系の強度も含めた貫入抵抗値を捉えることはできない。

そこで、本調査では、植生の根系の強さも考慮した地盤の貫入抵抗値を求めることができるように、試験機のコーン部分を改良した。改良した部分の詳細を図6に示す。先端部分が点であったものを、4mm×40mmの細長い長方形断面にすることで、地盤内に縦横無尽に分布している根を捉えることができ、根を含めた地盤の強度を相対的に評価することができると考えた。そこで、この試験機により測

定された地盤貫入抵抗値をNc'値として表した。測定方法は、簡易貫入試験と同様で、5kgの錘を高さ50cmから自由落下させ、試験機を10cm貫入させるのに必要な打撃回数をNc'値として求めることとした。

3.1.2 Nc'値とNc'値

コーン先端部分を改良した簡易貫入試験機から得られるNc'値とNc値の関係を調べるために、同一条件下での測定を行った。測定地は均一性が保たれると考えられるグラウンド（大阪大学吹田キャンパス内）とし、4地点において深度方向に5cm間隔で深度50cm前後まで測定した。この結果、同一地点を測定した場合、Nc'値はNc値よりも若干高い値を示すことが確認された。また、両者の相関係数は0.91と高い値となった。このことから本研究で改良した簡易貫入試験機により測定されるNc'値と地盤工学会基準（JGS 1433）であるNc値には相関があり、その関係は式(1)で表すことができる。

$$Nc' = 1.08 \cdot Nc \quad (1)$$

3.1.3 竹林におけるNc'値

改良を加えた簡易貫入試験機を用いて、竹林の根を含めた表層地盤強度を測定した。測定地は竹林の残存地（測定点A-1、A-2）と、比較のため人工林（測定点J-1、J-2）とし、それぞれ2箇所ずつ測定した結果を、図7に示した。なお、測定深度は1mまでとし、竹林に関しては5cm間隔で測定を行った。また、比較のために図8に同地点A、Jの簡易貫入試験結果を示した。

改良型の結果は従来の簡易貫入試験結果に比べて竹林と人工林の深度方向による違いが明らかとなった。改良型における竹林A-1の深度25cm、竹林A-2の深度45cm付近でNc'値がそれぞれ26、38と相対的に高くなっており、この付近に根が密に存在することが確認された。一方、人工林では目視により竹林ほど根の密集している箇所がなかったことから、従来型での測定結果とほぼ同様に、深度が深くなるにつれてNc'値が大きくなる傾向を示した。

3.1.4 結果と考察

簡易貫入試験機の先端部の形状を改良することにより、地盤内に線状に分布する竹の根を考慮した

表層地盤の強さについて検討を行った。その結果、地盤内に竹林の根を確認することができ、根の存在が密な付近で N_c' 値が大きい値を示すことがわかった。また、山地斜面では竹林の根は一般的に地下数十cm以浅の地点に分布すると考えられているが、本調査においても、目視により深度25cm~50cm付近において根の存在が確認された。このことから、調査地における竹林の根においても表層数十cm程度の浅い部分に分布しているものと考えられる。一方、人工

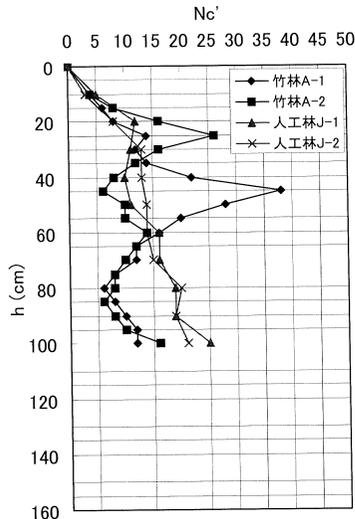


図7簡易貫入試験結果（改良型）
Fig.7 Results of cone penetration tests by the apex part reformed from original parts

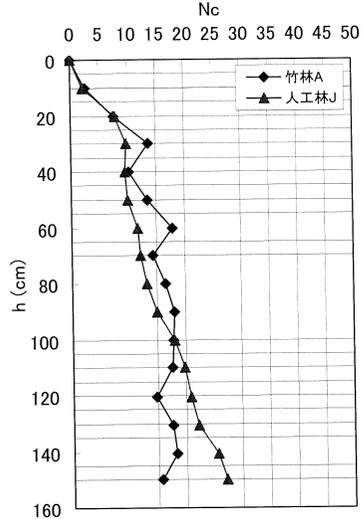


図8簡易貫入試験結果（従来型）
Fig.8 Results of cone penetration tests

林では N_c 値、 N_c' 値ともに大きな変化は見られなかった。このことから、人工林においては根が N_c' 値に与える影響は少なかったものと考えられる。竹林の根は基稔部だけでなく地下茎からも分岐することから、竹林の表層地盤に網の目状に分布している。一方、調査地において樹木の根は水平方向にも分布するが、主に鉛直方向に分布することから、樹木と樹木の間地点で行った今回の測定では、竹林に比

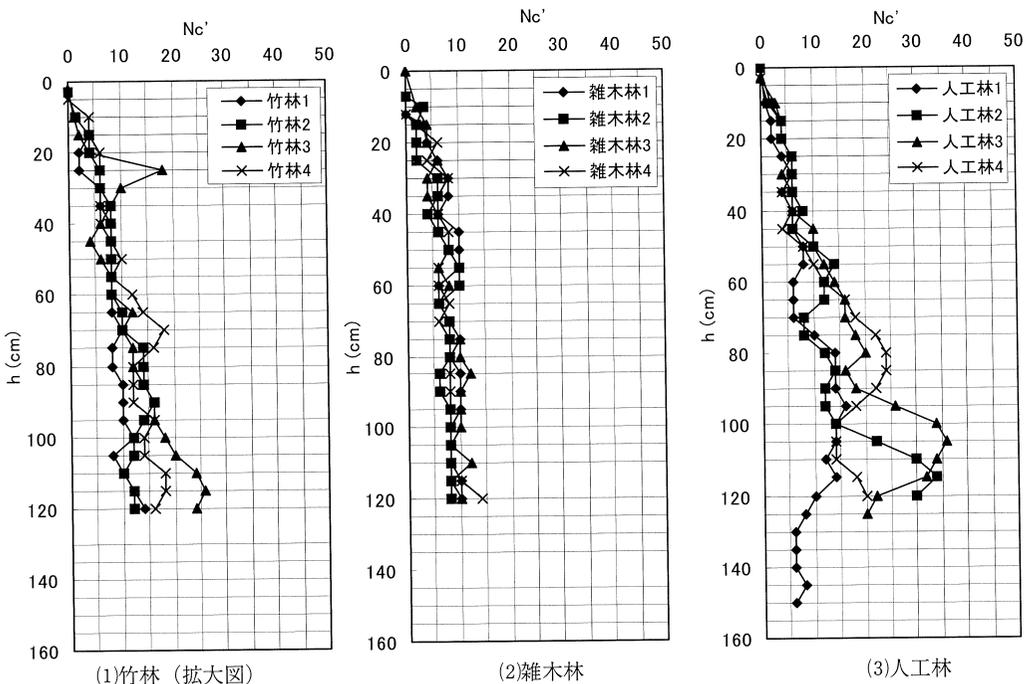


図9 竹林（拡大地）、雑木林、人工林における N_c' 値
Fig.9 N_c' values in bamboo stands, wooded area and afforestation area

べると根の影響が小さかったことが原因であると考えられた。

3.2 Nc'値を用いた竹林拡大地の表層地盤特性の把握

2.3により、Nc'値を用いることで、竹林の根を含めた表層地盤の貫入抵抗値を人工林と比較することで相対的に表すことができた。そこで、本節では竹林拡大地におけるNc'値を測定することで、樹林地が竹林化した地点の表層地盤の状態について検討を行った。

3.2.1 竹林拡大地のNc'値

実測地として、竹林の拡大地4箇所と、比較のため、雑木林4箇所、人工林4箇所の計12箇所のNc'値を測定した。2.2により実測地の地質条件はほぼ同一と考えられる。また、根の影響による測定箇所ごとの誤差を小さくするために、幹と幹のほぼ中間地点を測定点とした。測定間隔は深度方向に5cmとし、測定深度は、竹林の根の深度を考慮して100cm～150cmとした。また、Nc'値が50を越えた場合はその深度で測定を打ち切ることとした。各カテゴリーにおける測定結果を図9(1)～(3)に示した。この結果から竹林(拡大地)と雑木林のNc'値が深度方向に非常に似通った分布傾向を示すことが確認された。図7より、竹林(残存地)においては明らかに根の影響によるNc'値の大きい地点を確認することができたが、竹林(拡大地)では4箇所中わずか1箇所のみで、深度30cm付近において根の影響が確認された。また、人工林では測定箇所毎にばらつきはあるものの、竹林(拡大地)および雑木林に比べ、深度方向に深くなるにつれてNc'値が大きくなっていることが確認された。

3.2.2 結果および考察

竹林の拡大地においては、竹林の残存地で見られたような根の影響を含んだNc'値は4箇所中わずか1箇所しか確認することができなかった。このことから、対象とした竹林の拡大地においては、残存地に比べ、根の発達が悪いものと推測される。これは表1に示した立竹密度とも関係している。竹林の立竹密度は地下茎の分布密度と関連しているため、現在遷移途中である竹林の拡大地では竹林の残存地に比べ、立竹密度と地下茎密度は低く、根の密度も低いと考えられる。従ってこの根の密度の違いが、竹林の残存地と拡大地におけるNc'値の違いとなって表れたものと考えられる。また、竹林の拡大地のNc'値が雑木林のNc'値と似通った結果となったのは、図8の雑木林と竹林の拡大地の位置関係を見ると明らかのように、元々同じ群落の雑木林であったことから、表層地盤特性にも大きな違いがなかったものと考えられる。これは図3の粒度試験結果からも確認することができる。

本調査で測定した雑木林、人工林におけるNc'値からは根の影響を確認することができなかった。これは、測定地点を樹木直下から離して設定したため、樹木の根密度が低くなったことが原因であると考えられる。一般に雑木林、人工林などの樹木は、主根を中心として水平方向、鉛直方向に根が分布しているため、特に樹木直下付近の地盤では根の杭効果や土壌浸食防止効果が期待されている^{1)・2)}。従って、本調査で測定した雑木林、人工林におけるNc'値が樹林地の根を含んだ表層地盤状態を捉えたものではなく、樹木の根を含めた表層地盤特性の把握は今後の課題である。

4. 結 言

簡易貫入試験機を改良して行った本試験により、竹林の残存地と拡大地の表層地盤特性の違いを把握

することができた。竹林の残存地における根は主に深度50cm以浅の地点に分布していることが確認された。一方、竹林の拡大地では根密度が残存地に比べて低いことが確認された。本調査地の竹林の拡大地は元々雑木林であったことから、竹林が遷移する以前は樹木の根による杭効果や土壌浸食防止効果など考えられた。しかし、竹の侵入により、これらの高木の大部分が枯死してしまったため（表1参照）、①竹林の拡大地における樹木の根による杭効果や土壌浸食防止効果は期待できず、②竹林の根の密度も残存地に比べると低いことから、竹林の拡大地における表層地盤は竹林の残存地や樹林地に比べて、根による土壌緊縛効果は小さいものと考えられる。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、大阪府北部農と緑の総合事務所、大阪府環境農林水産部緑整備室の関係者には現地調査の支援を得た。ここに深甚の謝意を表する。

参考文献

- 1) 苜住昇：新装版 樹木根系図説、誠文堂新光社、pp.437-445、2000。
- 2) 中野秀章、有光一登、森川靖：森と水のサイエンス、東京書籍、176p、1977。
- 3) 上田弘一郎：竹の観賞と栽培、129p、北隆館、1976。
- 4) 室井綽：有用竹類図説、六月社、1962。
- 5) 稲垣秀輝：1998年台風4号による福島県白河地方での表層崩壊の特徴、応用地質、Vol.40、No.5、pp.306-315、1999。
- 6) 稲垣秀輝：滋賀県南西部に分布する風化花崗岩の表層崩壊の特徴、応用地質、Vol.41、No.2、pp.103-112、2000。
- 7) 京都府農林水産部林務課専門技術員室編：竹栽培のてびき（マダケ・モウソウチク）栽培技術指針、京都府、71p、1985。
- 8) 苜住昇：ササ類の地下部の構造と土壌緊縛力、Bamboo Journal、No.4、pp.167-174、1987。