

作業道の路体構造と支持力について

小林洋司*¹・仁多見俊夫*¹・有賀一広*²・桜井倫*¹・杉浦直重*¹

On the Structure and Bearing Capacity of Forest Road

Hiroshi KOBAYASHI*¹, Toshio NITAMI*¹, Kazuhiro ARUGA*², Rin SAKURAI*¹
and Naoshige SUGIURA*¹

I. はじめに

現在、わが国の林業は、生産コストが低い諸外国産材との競合などもあり、産業として厳しい状況にある。森林の公益的機能維持の観点からも、林業を活性化する必要がある。これを改善するには、経営をより合理化することが考えられるが、集運材などの現場作業の効率化による生産性の向上が重要である。このため新しい機械や効率的な伐採手法など、数多くの研究がなされているが、同時に必要なのが森林基盤整備である。すなわち林道、路網を整備することが、立木の管理、間伐や材の搬出など種々の作業負担を減らし、作業コスト軽減に寄与する。

一般的に「林道」と呼ばれるものは、林道規程に基づき定められる林道と、森林作業のための作業道に大きく分けられる。前者は規程により1級から3級まで分類され、公道としての性格が強いものである。一般的な作業道とは、林道から分岐し、一時的な集運材など森林作業のために作設されるものを言う (I, 7, 8)。

高密度林内路網の概念とは、森林での作業を効率化するために、従来の路網密度より高密度かつ低コストで作設された林道・作業道の路網である。高密度路網を整備することでさまざまな林業機械を導入することが可能になり、作業の効率化を進めることができる。当然、導入する機械とその目的によって、路網の構成や規格、構造が異なる。本論文で扱う作業道はこの高密度路網の路網を言う。

大阪東南部で山林経営を行っている大橋慶三郎氏は、いち早くこういったことを実践し、山づくりの経験の中からさまざまな手法を編み出している (II, 12)。大橋氏の山林経営の概念は、森林を疲弊させることなくコストを縮小し、利益率を高めることである。育林環境を整えることで優良材を育てつつ、少しでも良い間伐材を生産できるようにする。日々の管理や間伐を簡便かつ低コストで行うためには、熟練作業でなくても作業可能にすべきであると提案している。具体的には、架線集材などは極力せず、小型車両系機械などの導入が可能な路網の整備を進めるといことである。そのために大橋氏は、林内路網の作設方法を工夫している。従来の林内作業道は、地山の切り盛りだけで作設されていたが、路盤下に間伐材の構造物を施工している。これにより安定度が増すことは経験的に実証され、その研究もすすんでいる。以下大橋式 (路網作設法) という。

*¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻
Department of Forest Science, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

*² 宇都宮大学農学部森林科学科
Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University

本論文では、大橋式の路網について路体構造の強度を実証的に明らかにすることを目的とする。実験路線は、埼玉県大滝村角仲林業の山林で作設した作業道である。調査に協力いただき、便宜を計っていただいた山仲敬久社長に、この場を借りて謝意を表すものである。また機材を快く貸して下さった森林総合研究所林道研究室長の梅田修史氏に合わせて謝意を表すものである。

II. 調査路線の概要

本論は、大橋式路網作設法で作設した路体と、間伐等を使用しない従来工法による路体を路面支持力で比較し、構造の違いと支持力について検討するものである。調査対象とした路線は、2路線であり、実験は、埼玉県秩父市大滝村、角仲林業（山中敬久社長）所有の森林で行った（図-1）。平成14年に第1作業道を従来工法で作設、平成15年から大橋式路網作設法に基づき第2作業道を作設した。

測量結果の平面図、縦断面図、横断面図をもとに測点を設定し、簡易支持力測定器、山中式土壌硬度計で路面支持力と法面硬度を、スエーデン式サウンディング試験で路盤下の盛土部分の締固め度をそれぞれ測定した。工法と測定結果と測量結果などを比較検討し、考察を試みた。

2.1 第1作業道の概要

第1作業道は小型クローラ式車両「やまびこ号」による材の運搬を想定したもので、延長が約700m、幅員は1.5mである。屈曲点の多くは、スイッチバックを必要とするほどの小半径を採用

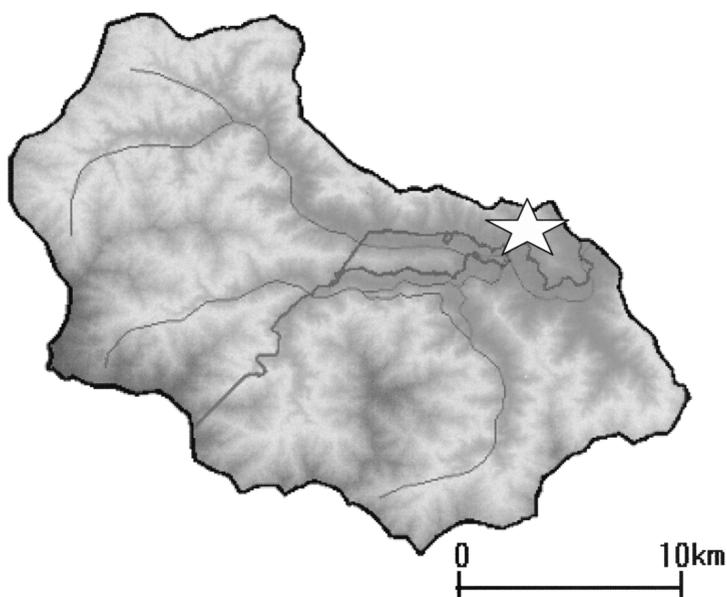


図-1 大滝村における調査地の位置図
Fig. 1. Location of test area in Ohtaki village

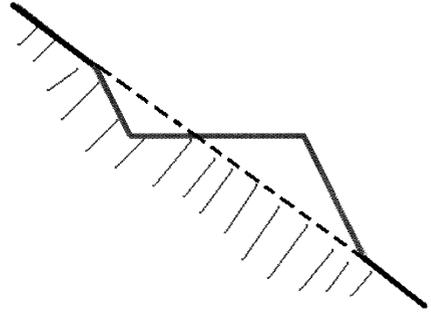


図-2 第1作業道の現状と横断面図（従来型の作業道）
Fig. 2. Photo and Cross section of “No.1 route” of traditional typed spur road

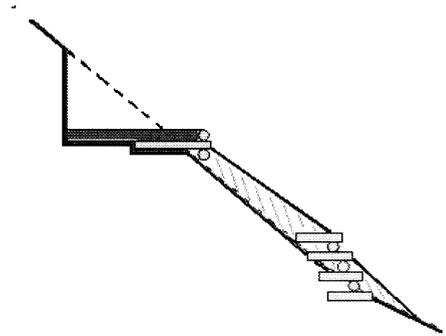


図-3 第2作業道の現状と横断面図（大橋式路網）
Fig. 3. Photo and cross section of “No.2 route” of Ohasi-typed forest road

し、切り返して進むよう設計されている（図-6）。そのため通常の四輪車両では通行が困難な箇所がある。構造はほぼ地山の切り盛りのみで作設され、費用は1mあたり約1100円で、完成から2年10ヶ月経過している。従来工法による作設法で、地山の土を切り谷側に盛るという方法である。一部、路体の崩壊を防ぐため路肩に丸太を設置する場合がある（図-2）。

2.2 第2作業道の概要

第2作業道は、四輪車両や小型林内作業車の導入を想定して設計された。延長が約1700mで幅員は平均2.5m、カーブと直線で構成されている（図-7）。第2作業道は、大橋式路網作設法による作業道で、路体に木製構造物を施工することで、路体の安定性が増す方法である。これは大橋慶三郎氏が提唱し、実践している路網整備である（図-3）。間伐材による木製構造物が、路肩、法尻に組まれ埋設されている。図-3の点線は地山を示し、上部の構造物が路肩を支え、下部（谷



図-4 第2作業道の盛土状況（大橋式路網）

Fig. 4. Photo of the banking slopes at “No.2 route” of Ohasi-typed forest road

側)の構造物が盛土を抑えるように組まれている。図-4は、第2作業道の作設状況である。また路面には、一部碎石が敷かれている。作設費用は1mあたり約3000円で、箇所によって完成後2~10月経過している。

Ⅲ. 作業道の路面支持力

3.1 概要

第1作業道と第2作業道を対象に、路面の支持力を測定した。また、地山地盤の強度を推定するために、地盤のサウンディング試験、作業道法面の土壌硬度測定も行った。路体支持力の測定には簡易支持力測定器（以下CASPOL）、山中式土壌硬度計を使用した。法面硬度の測定では、山中式土壌硬度計を用いた。サウンディング試験としては、スウェーデン式サウンディング試験を実施した。

まず両作業道の平面図を作成し、総延長に対しほぼ同数の測点数の候補を設定した。その上、現地踏査で測点を決定した。その際、各測点での横断測量および平面測量も行った。作業道にできる車両の走行跡（ワダチ部）では、転圧による路面の締固めが起り、ワダチ部と中央部の支持力に差が出るとの指摘により、これらを分けて測定することにした（4, 5, 6）。ワダチは山側のものを対象とし、中央は2本のワダチの間とした（図-5）。CASPOLと山中式土壌硬度計を用い、各測点のワダチと中央の測定を行った。また、山中式土壌硬度計で法面強度の測定も行った。以上の測点は、第1作業道に10点、第2作業道に11点を設定した。さらに、測点ないしその付近でスウェーデン式サウンディング試験を実施した。各測点の横断測量図をもとに、路床から地山までの硬度変化を示しやすい地点を推定し測点を決定した。サウンディング試験のための測点は、第1作業道が「その1」「その2」「その3」の3点、第2作業道がA, B, C, D, E, Fの6点となっている（図-6, 7）。



図-5 横断面における計測点の位置
Fig. 5. Testing point of road cross section

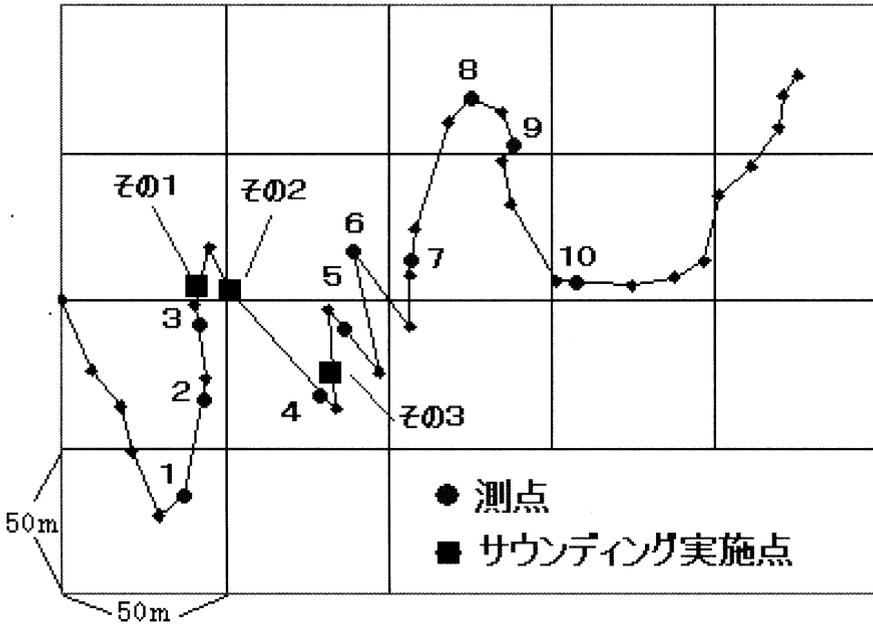


図-6 第1作業道の測点の位置図
Fig. 6. Testing point of "No.1 route" in road alignment

3.2 路面支持力測定法

CASPOL は、衝撃加速度法に基づき地盤の支持力を調べるための装置である（図-8, 9）。衝撃加速度法とは、加速度計を内蔵したランマーを一定の高さから地盤上に自由落下させ、そのランマーが地盤に衝突する際に得られる衝撃加速度の最大値を、地盤反力係数などと相関させる方

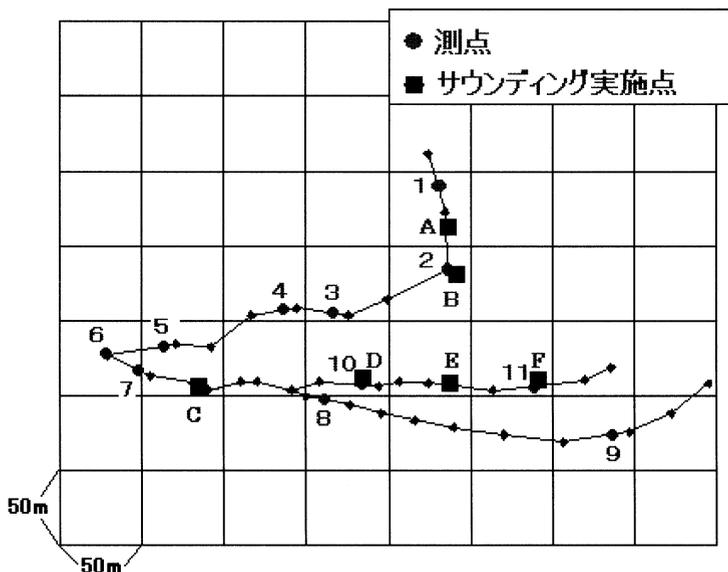


図-7 第2作業道の測点の位置図
 Fig. 7. Testing points of "No.2 route" in road alignment

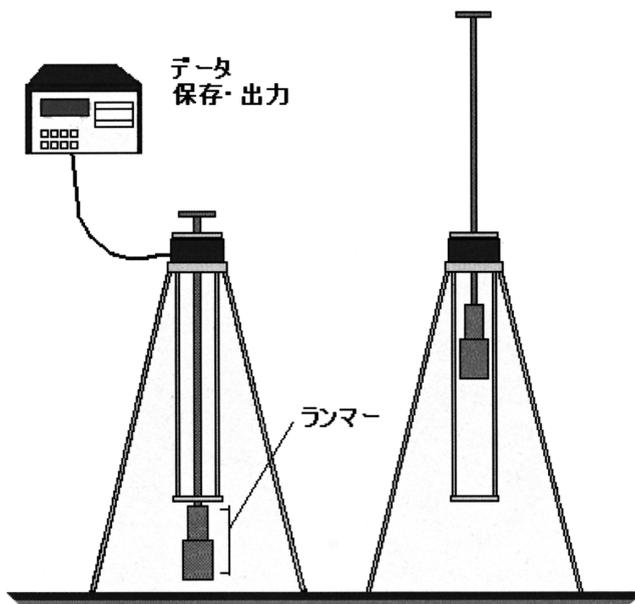


図-8 簡易支持力測定器 (CASPOL)
 Fig. 8. Handy typed bearing capacity apparatus (CASPOL)



図-9 CASPOLによる測定状況
Fig. 9. Photo of testing by CASPOL

法のことである。一般的な現地調査方法である平板載荷試験，CBR試験が大掛かりな装置を必要とするのに比べはるかに簡易で，短時間で行うことができる(9)。測定は次のように行う。

測定地点としてなるべく平坦な箇所を探し，平坦ではない場合は適宜地盤面を削り，平坦に仕上げる。そこにランマーが鉛直に落下するよう，測定器を調整する。ランマーを引き上げると，所定の高さで固定される。ストッパーを解除しランマーを自由落下させる。衝撃を計算し，インパクト値(Ia値)とCBR値が表示されるので，それをプリントアウトする(2, 3)。

CBR値とは本来，CBR(California Bearing Ratio)試験によって得られる値である。これは路床の強さを測定する方法としてカリフォルニア州道路局によって提案されたものであり，土や粒状物質の支持力を標準材料の支持力と対比し，百分率で示すものである。CBR試験はJISの測定規格として定められている(10)。

両作業道各測点のワダチ部・中央部を対象にそれぞれ3点ずつ選び，1点につき3回(1測点につき3回×3箇所×2通りの計18回)の落下測定を行った。出力されるインパクト値とこの値から理論的に推定されるCBR値を記録した。また比較のため既設林道と未整備の地山にも実施した。

山中式土壤硬度計は，土壤の圧着密度・凝集力などを現地状態で直接的に測定することができる(図-10)。一般的に土壤面測定に活用され，測定する土壤面を平らに削り，コーンを面に対し垂直に押し込む。コーンが土壤の反力により本体に押し込まれると，後部のスケールが伸張する。ガードと土壤面が接触したら抜き出し，0.5cm刻みのスケールの値(cm)を読み取る。換算表より支持力強度(kg/cm²)を得る。両作業道に設定した測点のワダチ，中央を測定することで，各測点における路盤支持力の違いを調べる。さらに法面を測定し，地山の強度の違いを推定する。

各測点のワダチ・中央・法面の3箇所に対して，3回ずつ(1測点につき3点×3通りの計9回)実施した。CASPOLの時と同じく，比較のために既設林道にも実施した。

3.3 路体構造内構造物の測定

サウンディングとは，現地における貫入試験などで地盤のせん断力を測定し，地盤の相対強度，密度を判定することに主眼をおいた試験のことである。特にスウェーデン式サウンディング試験

は、スウェーデン国有鉄道が考案した方法である。分銅荷重による沈下測定を行い、さらに分銅荷重重載荷のまま回転させ、その貫入抵抗を測定し、土層の構成を判定するものである。構成は以下のようにになっている。25cmごとに目盛りをつけた、径19mm長さ100cmの継ぎ足しロッド、長さ20cmの特殊鋼製スクリーポイント、重量5kgの载荷用クランプおよび10kgが2個、25kgが3個の計100kgの分銅からなる(図-11)。スウェーデン式サウンディングの試験方法については、JIS(原案)の定めるところであり、以下のようにして行う(8)。ロッドの下端にスクリーポイントを取り付け、地面に垂直に突き立てる。ロッドには、上下に動き固定もできるクランプを

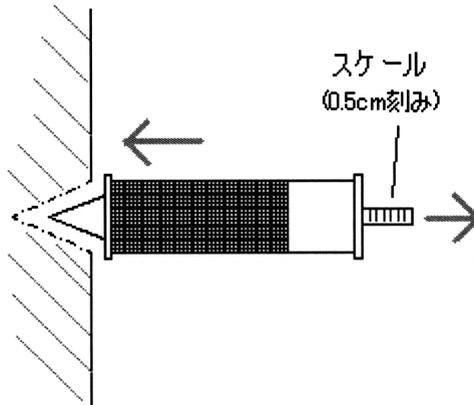


図-10 山中式土壌硬度計
Fig. 10. Yamanaka typed soil penetrometer

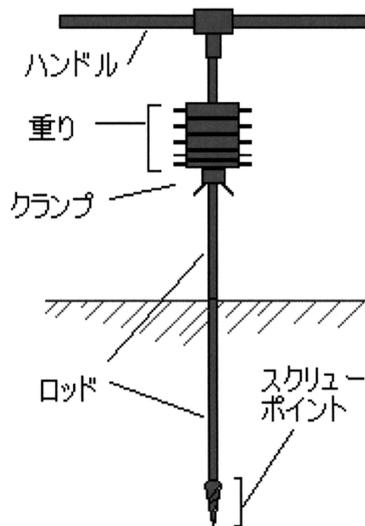


図-11 スウェーデン式サウンディング試験器
Fig. 11. Sweden typed sounding tester

通し、上端にハンドルを取り付けておく。この状態で載荷 5kg とし、自重で貫入した量を記録する。以後、貫入が止まるたびに重りを追加、載荷を 15, 25, 50, 75, 100kg としていく。それぞれの状態での貫入量を記録する。自重での貫入が止まったら、ハンドルを回転させスクリーポイントの掘進により強制的にロッドを貫入させる。このとき 25cm 貫入するのに何回転したかを記録する。クランプが地盤に接触した場合、ハンドルと重りを取り外し新たなロッドを継ぎ足し、クランプを所定の高さまで引き上げ、重りとハンドルを装着する。このようにして、所定の深度まで記録を続ける (図-12)。

第2作業道の路盤下には杵状の木製構造物が組まれている。これは従来工法で作設された第1作業道には無い特徴である。木製構造物は路面中央から路肩にかけて埋設されている。これが存在することで、路盤・路肩の支持力が高まり、作設時に切り取り法面の高さを低くすることができることが実証されている (11, 12, 14)。2つの路線でサウンディング試験を実施し、構造物の有無がどれくらいの深度まで影響を及ぼすかを調査した。

サウンディング試験は路盤・盛土部分・地山と、連続的なせん断強度の測定が目的である。谷側の路肩がもっとも盛り土が厚いため、出来るだけ路肩に近い場所で実施した。また、サウンディング試験は、測点の横断図をもとに地山の高さを推定し、路盤と地山が離れている測点を選んだ。第2作業道より6点、第1作業道より3点を選択して実施した (図-6, 7)。比較のため地山にも実施した。

IV. 支持力測定結果

4.1 各路線の支持力測定結果

今回の測定では、第1作業道、第2作業道、既設林道、林内の林地について支持力について測定した。CASPOLによるCBR値換算値を示したのが図-13であり、表-1である。各種類の平均値の違いについては、5%の危険率で有意差が見られた。各平均値は過去の測定値とはほぼ同じといえ、測定結果は妥当な値であると考えられる (4, 5, 6)。



図-12 スウェーデン式サウンディング試験状況
Fig. 12. Photo of testing by Sweden typed sounding tester

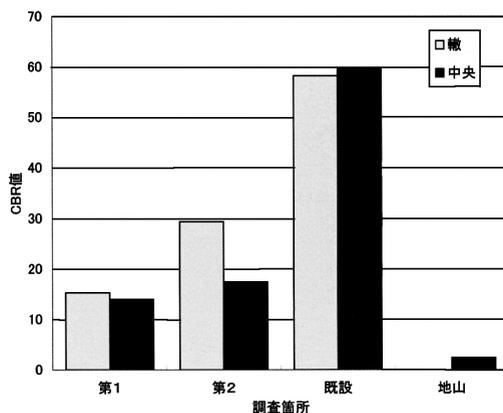


図-13 各路線の支持力測定結果
Fig. 13. The Values of bearing capacities of each route

表-1 CASPOLによる測定結果 (CBR 値)
Table 1. The value of the bearing capacities of each route (CBR)

	第1作業道	第2作業道	既設林道	地山
轍CBR値	15.30	29.39	58.20	
中央CBR値	13.99	17.44	59.50	2.40
路面平均値	14.65	23.42	58.85	2.40

測定結果から、以下のようなことが言える。第2作業道の平均値は、通常の既設林道路面の支持力より低いが、第1作業道より高く、特にワダチに顕著である。第1作業道では、中央の値とワダチとはあまり差がない。既設林道でも同様である。測定内容について述べると、第2作業道の測点によってはCBR値が40~50となり、既設林道に迫る支持力を示した。

以上の結果からは、大橋式路網作設法による第2作業道は、路面支持力が従来型の作業道、既設の林道と比較してもほぼ作業道として妥当な支持力が得られたと言える。

4.2 路線中央の値とワダチ部の支持力

車両の通行によってできるワダチでは、転圧によって締め固められ、ワダチ以外の部分に比べ支持力が高くなっていることが予測された(4)。第2作業道では車両機械での作業が日常的に行われており、その頻度が第1作業道よりも高い。主に作業に使用されているのは第1、第2ともクローラ式車両である。また、第2作業道では四輪の車両の通行がある。そのため、ワダチと中央の支持力の差は、第2作業道のほうが第1作業道より高いと予測された。これはCASPOLの結果、ワダチ・中央の路線ごとの平均値をとることで明らかになった(図-13参照)。

山中式土壌硬度計の測定結果についてみる。1測点につき法面、ワダチ部、中央部、各3回づつ行い、その値を支持力強度(kg/cm^2)に換算したものを示す(図-14, 15)。得られた支持力強度の平均を路線ごとに示す(表-2)。図と表から以下のようなことが言える。両作業道を比較すると、第2作業道の方が平均値、及びすべての測点で高い値を示している。ワダチの方が中央

より硬度が高い測点が多い。特に第2作業道で顕著である。比較対照となる既設林道の示す値が極めて高い。既設林道は、既往の文献からも明らかであり、第2作業道は、路肩と盛土法面に木製構造物を施工することで法面の滑落を抑制する効果があることが実証されている(13)。

4.3 路体構造内の測定結果

スエーデン式サウンディング試験によってえられた結果からそれぞれの作業道路体内の締め固め度について推定できる。さらにサウンディングの測定結果は、次式でN値へ換算できる(10)。

$$N \text{ 値} = (\text{半回転数}) \times 0.03 + (\text{载荷重量}) \times 0.05$$

N値とは、地盤調査として認知されている標準貫入試験の測定値である。これを25cmごとに換算し、測点ごとに支持力の推移を求めることができる。路線ごとの平均値の推移を図-16に示す。表面から2mまでの深度で、第2作業道が高い値を示している。これは路体内の締め固めが第1作業道より第2作業道の方が締まっていることを示している。図-3に示した大橋式路網作設法によって丸太を使用することで作業道の路体が強固に作られたことを示している。また深度0cmではほぼ荷重のみで貫入がおこるため、0cmでのN値は、低く示されている。既存の文献でも、木製構造物を適用することで施工中に盛土の締め固めが促進されることを示唆している(11, 12)。構造物を施工することで、車両による転圧で谷側に土が流出するのを抑制し、路体基部の締め固めを促進しているものと考えられる。

第1作業道、第2作業道の切り取り法面については、山中式土壌硬度計によって測定した。両路線を検定したところ、危険率5%で有意差はない。このことから、地山の強度に差は無いものと考えられる(図-14, 15, 表-2)。

4.4 測定器間の違いについて

CASPOLと山中式土壌硬度計の測定結果について、測定値の検証を行った。図-17は、第1作業道、第2作業道について対比してグラフに示したものである。相関係数は、第1作業道ワダチ部(0.967)、同センター部(0.779)、第2作業道ワダチ部(0.781)、同センター部(0.793)、全

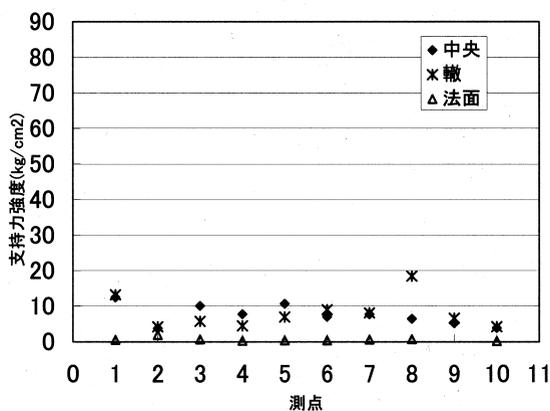


図-14 山中式土壌硬度計による測定結果(第1作業道)
Fig. 14. The values of Yamana typed soil penetrometer (No.1 route)

表-2 山中式土壌硬度計の測定結果 (kg/cm²)
 Table 2. The value of Yamanaka typed soil penetrometer of each route (kg/cm²)

	第1作業道	第2作業道	既設林道
法面支持力強度	0.67	1.62	
ワダチ支持力強度	8.12	38.36	514.15
中央支持力強度	7.52	12.98	332.16
路面平均支持力強度	7.82	25.67	423.16

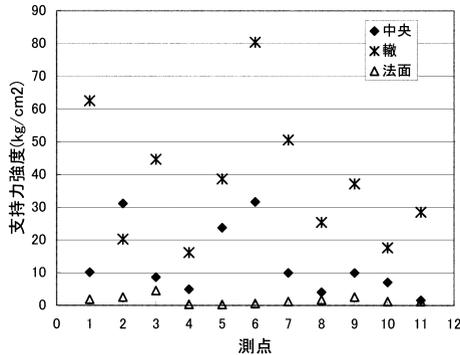


図-15 山中式土壌硬度計による測定結果 (第2作業道)
 Fig. 15. The values of Yamanaka typed soil penetrometer (No.2 route)

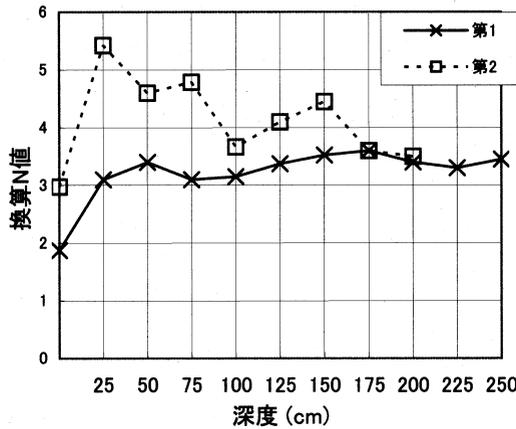


図-16 スエーデン式サウンディング試験器による路線別の測定結果
 Fig. 16. The values of "N" of each route by Sweden typed sounding test

体 (0.741) といずれも 1% の危険率で有意といえ、両者の関係は相関関係があると言える。以上より CASPOL と山中式土壌硬度計の結果には、測点が左下に集中しているものの、相関を読み取ることができる。しかしながら測定方法から CASPOL による測定は、支持力の低い値から高い値まで測定可能であるが、山中式の場合は支持力の低い値に向いており、高い値にはその機能から不向きであると言える。両者の結果を合わせ、路体支持力として評価できるものと考えられる。

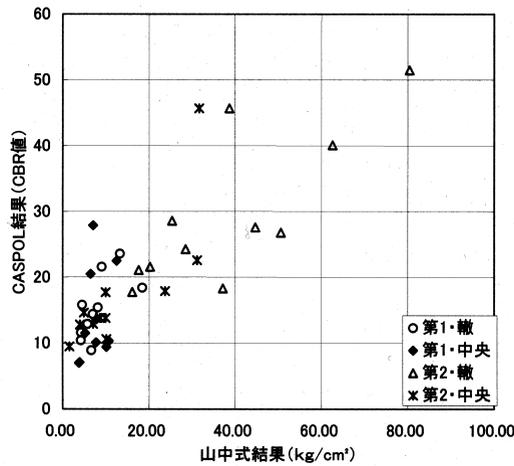


図-17 測定器間関係

Fig. 17. Relationship between CASPOL and Yamanaka typed soil penetrometer

支持力試験とサウンディング試験を比較する。CASPOL, 山中式土壌硬度計の支持力試験は、どちらも実験器具の規模が小さいため、路面の支持力測定には有効だが、路体内部の構造試験には不向きである。それに対しサウンディング試験は、路体内部の土質強度を判断することができる。今回サウンディング試験によって従来型の作設法による第1作業道と大橋式路網作設法による第2作業道の路体内の強度の違いを測定することが出来た。

V. おわりに

大橋式路体構造は、従来の作設法による作業道より高い支持力を持つことが分かった。また作設に間伐材を用いることにより盛土内部の強度を高め、このことにより急傾斜地にも作設を可能にしている。小規模林地での効率的な林業のため、高密度路網作設に有効な方法であると言える。路網密度を高めることによって集材距離を縮小し、急傾斜林地でも、小規模な車両系機械を積極的に導入することを可能にし、林業の効率化に貢献できよう。

特に盛土部分の支持力が増加し、路体そのものの崩壊を防ぐことができると考えられる。第1作業道の作設費が1mあたり約1100円、第2作業道では1mあたり約3000円と、作設コストだけを比較すれば、3倍近く高価である。しかし一般の林道と比較すれば低コストであり、強固な林内路網を整備でき、開設によって作業の負担や費用が軽減することに、有効な工法であると言える。

要 旨

大橋式路網作設法による作業道の路体構造について、支持力を中心に評価検討を実証的に行った。実験は大滝村民有林において2001年より行っている。先に従来型の作設法によって第1作業道を作設した。次に大橋式路網作設法によって第2作業道を作設し、この両者について比較検討したものである。支持力測定器として簡易支持力測定器(CASPOL)、山中式土壌硬度計を用い、サウンディング試験としてスウェーデン式サウンディング試験器を用いた。結果、路面支持力につ

いては、簡易支持力測定器、山中式測定器いずれも大橋式路網作設法による作業道が従来型の作設法による作業道より高い値を示し、平均値の差の検定も有意差を示した。またこの値は過去における従来型の作業道の測定例よりも高い値であった。路体内構造もサウンディング試験結果から従来型より強度があることが分かった。以上の結果から大橋式路網作設法は、今後の作業道による路網作設法として作設単価は幾分高いが有効であることが分かった。

キーワード： 作業道・大橋式路網作設法・簡易支持力測定器・土壌硬度計・スエーデン式サウンディング

引用文献

- (1) 上飯坂 實・小林 洋司・中尾博美・山本誠・岩川治・南方康・村山茂明・堀高夫 (1988) 新林業土木学. 196pp, 朝倉書店, 東京.
- (2) 近畿地方建設局近畿技術事務所 (1996) 測定器使用マニュアル作成委員会基準「簡易支持力測定器による試験方法」(第1版).
- (3) 近畿地方建設局近畿技術事務所 (1997) 簡易支持力測定器利用の手引.
- (4) 小林洋司 (1972) 二, 三の簡易土質試験機による既設林道路面の支持力測定について. 第83回日林論: 418-420.
- (5) 小林洋司・福田光正 (1972) 林道及び林道路面の支持力に影響を及ぼす因子について. 日林誌 57 (5): 135-143.
- (6) 小林洋司・福田光正 (1972) 軟弱地盤における2, 3の林道(作業道)路盤作設工法について. 60 (5): 173-178.
- (7) 小林洋司 (1997) 森林基盤整備計画論—林道網計画の実際—. 160pp, 日本林道協会, 東京.
- (8) 小林 洋司・小野耕平・山崎忠久・峰松浩彦・山本仁志・鈴木保志・酒井秀夫・田坂聡明 (2002) 森林土木学. 160pp, 朝倉書店, 東京.
- (9) マルイ (株) MIS-244-0-61 衝撃加速度法による簡易測定器 (キャスポル) 取り扱い説明書.
- (10) 最上武雄・福田秀雄 (1967) 現場技術者のための土質工学. 406pp, 鹿島出版会, 東京.
- (11) 大橋慶三郎・神崎康一 (1989) 急傾斜地の路網マニュアル. 174pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- (12) 大橋慶三郎 (2001) 道づくりのすべて. 160pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- (13) 林道研究会 (1995) 明日の林道を考える. 166pp, 日本林道協会, 東京.
- (14) 山崎一・林英夫 (2003) 木製構造物による法面補強とそのメカニズムに関する模型実験. 森林利用学会誌 18: 85-94.

(2004年8月24日受付)

(2005年3月16日受理)

Summary

We tried to investigate “Ohasi-typed forest road” that is a spur road, about bearing capacity and road structure. We constructed “No.1 route” of traditional typed spur road in advance and “No.2 route” of Ohasi-typed forest road then. We compared the quality of them. We used two methods for measuring bearing capacity: handy typed bearing capacity apparatus (CASPOL) and Yamanaka typed soil penetrometer and Sweden typed sounding tester as a sounding test.

It results that “Ohasi-typed forest road” was higher bearing capacity of road surface than “No.1 route” of traditional typed spur road. A significant difference of average bearing capacity on the surfaces of them was found. The bearing capacity of the former was higher than the data of measuring before. Both CASPOL and Yamanaka typed soil penetrometer indicated same trends.

By sounding test “Ohasi-typed forest road” has stronger road structure than that of normal typed spur road. “Ohasi-typed forest road” is effective in constructing the low cost forest road network system in spite of its high cost.

Key words: spur road, Ohasi-typed forest road, handy typed bearing capacity apparatus, Yamanaka typed soil penetrometer, Sweden typed sounding tester