

作業道の路面補強に関する一考察
—頻発する局地的豪雨に備えて—

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林整備センター
近畿北陸整備局 和歌山水源林整備事務所 造林係 長柄 豊
所 長 久保田 拓也

1. はじめに

森林整備センターでは、昭和36年から水源かん養機能上重要な民有林保安林のうち、無立木地や散生地など水源かん養の機能が低下している箇所を分収造林方式で整備する水源林造成事業を実施しており、現在までに民有林保安林の約1割に相当する49万haの森林を造成しています。

特に、低コスト化を図るための作業道については、従前より整備を行ってきましたが、近年は、森林が育成段階から利用可能な段階を迎え、荷を積んだトラックが安全に走行できる強度を確保する必要があり、「簡易で丈夫な作業道づくり」に取り組んできました。

簡易で丈夫な作業道づくりに重要な要素は、以下の3つになります。

- (1) 丈夫な路体※1・のり面を確保すること
- (2) 適切な排水処理を行うこと
- (3) 丈夫な路面※2を確保すること

※1 路体：作業道の構造体を指す

※2 路面：車両系のタイヤ接地面付近を指す

近年は特に、局地的豪雨により修理費用が増大していることから、その対策の1つとして、今回は3つめの「丈夫な路面を確保すること」について検討しました。写真1は実際に豪雨により被害を受けたものあり、このような被害に対する取組みとして、「路面補強工法」を行ってきました。



写真1 豪雨による被害の一例

今回の考察は、取り組んできた「路面補強工法」について、以下の3つの事項を確認することを目的とします。

- (1) 森林整備センターが取り組んできた「路面補強工法」を数値化し確認すること
- (2) 過去に発生した豪雨後の「路面補強工法実施箇所」の状況を確認すること
- (3) より簡易な調査手法を確認すること

2. 調査対象の整理

調査対象は、近畿北陸整備局管内で実施したもののうち、降雨による状況確認のため3年以上経過した路面補強工法を調査対象箇所としました。路面補強工は、以下のとおり「従前から取り組んできた工法」と「近年取り組み始めた工法」に分類します。

(1) 従前から取り組んできた工法

- ・丸太組工
- ・敷砂利工
- ・丸太組工と敷砂利工の併用
- ・コンクリート工
- ・土構造（参考）

(2) 近年取り組みはじめた工法

- ・山ズリ工
- ・鉄鋼スラグ工

丸太組工は、路肩と路面に丸太組を設置します。路面の丸太は、全幅員に敷設し、輪荷重の路体への均等伝達、不等沈下抑制の役割があります。また、路肩部の丸太は、路肩部を補強する役割があります（写真2）。



写真2 丸太組工（従前から取り組んできた工法1）

敷砂利工は、路面強度を確保するために用います（写真3）。



写真3 敷砂利工（従前から取り組んできた工法2）

コンクリート工は、縦断勾配が急な箇所などに用いています（写真4）。



写真4 コンクリート工（従前から取り組んできた工法3）

山ズリ工は、ふるいをかけていない粒径 30 cm程度の岩を含むものを敷均し、路面と路体を補強します。もともとは、黒ボク土や粘性土等の軟弱地帯の対策として開発された工法ですが、施工後の豪雨にも対応できたことを確認したため、近畿北陸整備局管内の全土質を対象に導入しました（写真5）。



写真5 山ズリエ（近年取り組みはじめた工法1）

鉄鋼スラグは、金属の精錬の際、融解によって分離した副産物です。水と反応して固化する性質があり、これを利用し路面を補強します。鉄鋼スラグ工は、路面に敷均し、散水、転圧を行い、硬化のため1週間養生し完成します（写真6）。



写真6 鉄鋼スラグ工（近年取り組みはじめた工法2）

3. 調査機器の選定

路面強度の調査には、様々な原位置試験が存在しますが、簡易に調査が可能なものを採用しました。

(1) キャスポル

キャスポルは、直径 50 mmのランマーを落下させ、その衝撃加速度から強度を算出します。

今回は、CBR 値により評価を行います（図1）。なお CBR 値の評価目安は、過去の研究結果から、2 t積トラックの繰り返しの使用に耐えることができる値として 10%以上（注1）とします。

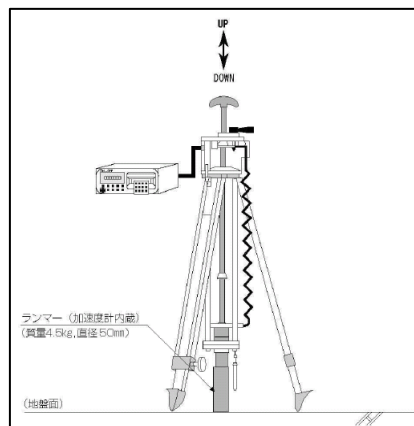


図1 キャスポル

(2) 土壌硬度計

土壌硬度計は、垂直にコーンを圧入させ、コーンの圧入深を測定します。土壌硬度計は、キャスポルに比べさらに調査が簡易で安価であることがメリットとなります（図2）。

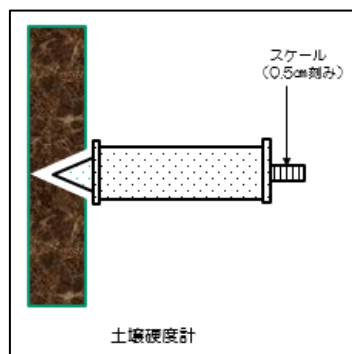


図2 土壌硬度計

また土壌硬度の圧入深の値を、感覚的に理解するための目安として表1を引用しました（注2）。

表1 土壌硬度計の示す値の目安

●土壌硬度計の示す値の目安	
1 圧入深10mm以下	指が抵抗なく入る
2 圧入深11～15mm	やや抵抗があるが入る
3 圧入深15～20mm	かなり抵抗があるが第一関節ぐらいまで入る
4 圧入深20～24mm	入らないがへこむ
5 圧入深25～28mm	指跡がつく程度
6 圧入深29mm以上	指跡もつかない

4. 書類調査及び現地調査について

書類調査は、アメダスデータ及び過去書類から整理します。現地調査は、1箇所につき5回調査を実施し、その平均値を値としました（写真7～9）。



写真7 キャスポールによる現地調査

写真8 土壌硬度計による現地調査



写真9 その他の現地調査

5・調査結果とりまとめ

延べ150回の調査を行い、その調査結果を表のとおり、とりまとめました(表2)。

表2 調査結果一覧

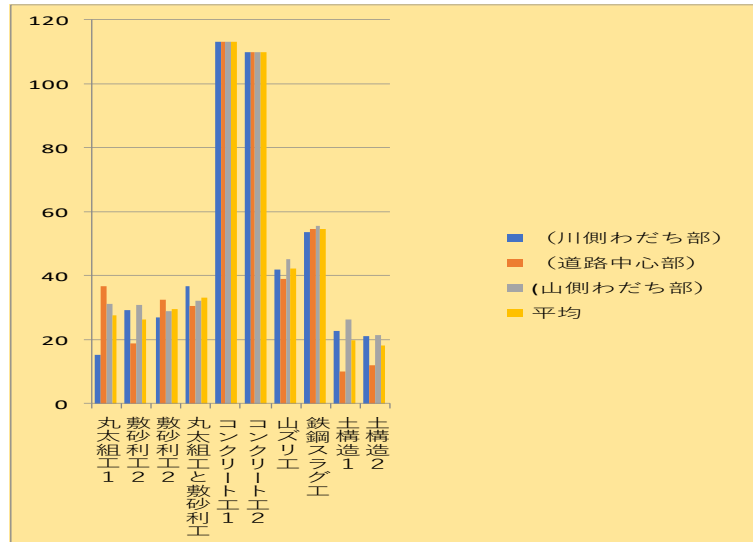
●調査結果一覧

調査対象工事	書類調査										現地調査										
	利用状況		施工時の要項		経路履歴		外観			(川側わだち部)		(道路中心部)		山側わだち部		平均		(山側寄部)			
	掘削実施	掘削年度	掘削層厚 20cm の土留層 50cm の深さ	掘削最大 径	2,4時間 量	青地	内容及び 費用	種類	地質	地山傾斜	掘削勾配	キャスポール (CEP値)	土壌硬度計 測定値 (mm)	キャスポール (CEP値)	土壌硬度計 測定値 (mm)	キャスポール (CEP値)	土壌硬度計 測定値 (mm)	キャスポール (CEP値)	土壌硬度計 測定値 (mm)		
丸太組工1 (H25)	品質検査済	開削	R2	45	37	197	無	-	30	マサ土・粘性土	20	6	15	18	37	24	31	24	28	22	21
敷砂利工1 (H28)	品質検査済	開削	R3	91	70	296	有	粘着 緑泥	40	しん泥り 粘性土	35	6	29	21	19	17	31	19	26	19	13
敷砂利工2 (H25)	品質検査済	開削	H26	45	37	197	無	-	30	マサ土・ 粘性土	25	7	27	21	33	24	29	25	30	23	15
丸太組工と敷砂利工の併用 (H23)	品質検査済	開削		52	85	310	無	-	30	粘性土	35	5	37	29	30	29	32	22	33	27	13
コンクリートE1 (H29)	品質検査済	開削		52	85	310	無	-	30	粘性土	30	15	113	36	113	36	113	36	113	36	12
コンクリートE2 (H29)	品質検査済	開削		52	85	310	無	-	30	粘性土	26	16	110	36	110	36	110	36	110	36	4
山スリエ (H29)	品質検査済	開削	R2	27	36	163	無	-	30	マサ土・ 粘性土	30	15	42	28	39	27	45	26	42	27	16
鉄鋼スラグ工 (H28)	品質検査済	開削		62	85	310	無	-	30	粘性土	25	9	54	33	55	32	56	34	55	33	20
土構造1 (R2)	品質検査済	開削		15	44	165	無	-	30	しん泥り 粘性土	25	4	23	21	10	18	26	21	20	20	8
土構造2 (H28)	品質検査済	開削		62	85	310	無	-	30	しん泥り 粘性土	20	3	21	21	12	12	21	23	18	19	16

(1) キャスポルの調査結果

調査結果のうち、キャスポルの CBR 値を工法毎に整理しグラフにしました (表 3)。

表 3 キャスポルの調査結果

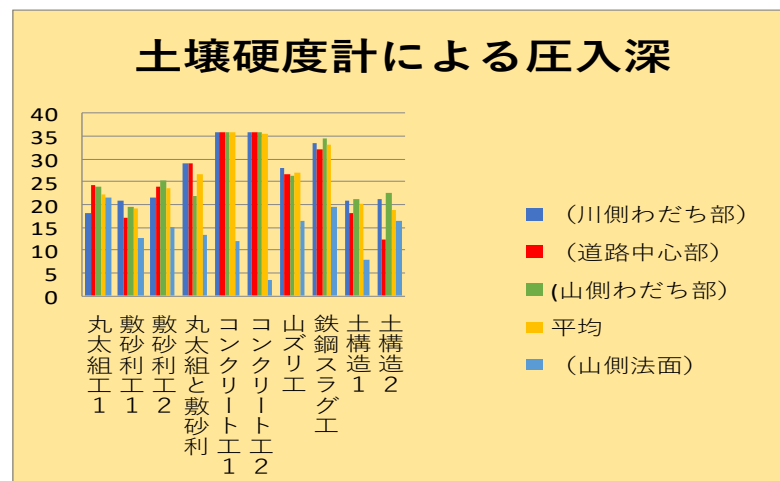


調査結果から、山ズリ工と鉄鋼スラグ工は、いずれも高強度の路面であることを確認しました。また丸太組工と敷砂利工は CBR26%以上を確保していることを確認しました。

(2) 土壌硬度計の調査結果

土壌硬度計の圧入深の結果を工法毎にグラフで整理しました (表 4)。

表 4 土壌硬度計の調査結果



土壌硬度計の調査結果は、鉄鋼スラグと同様の傾向を示しました。

また、土壌硬度計の調査結果が示す値を表 1 の「土壌硬度計の示す値の目安」に置き換えると、コンクリート工と鉄鋼スラグは「指跡もつかない硬さ」、山ズリと丸太組工と敷砂利工の併用は「指跡がつく程度」、丸太組工と敷砂利が「入らないがへこむ」もしくは「かなり抵抗はあるが第一関節まで入る硬さ」になります。

(3) 書類調査と現地調査

調査結果のうち、降雨状況と修理状況及び現場状況に着目し整理しました(表5)。

表5 施工後の降雨と修理状況

調査対象工事	調査項目					現地調査			
	施工後の降雨			修理状況		外観			
	時間雨量 20mm 以上雨量 80mm の発生	時間最大 雨量	24時間 雨量	劣化	内凹及び 亀裂	陥凹	地割	地山崩落	瀝青剥離
丸太組工 (H25)	45	37	197	無	-	3.0	マサ土・ 粘性土	20	6
敷砂利工1 (H28)	91	70	296	有	陥凹 陥凹	4.0	シキ・粘 性土層	35	6
敷砂利工2 (H25)	45	37	197	無	-	3.0	マサ土・ 粘性土	25	7
丸太組工と敷砂利工の併用 (H29)	52	85	310	無	-	3.0	粘性土	35	5
コンクリート工1 (H29)	52	85	310	無	-	3.0	粘性土	30	15
コンクリート工2 (H29)	52	85	310	無	-	3.0	粘性土	25	16
山ズリ工 (H29)	27	36	163	無	-	3.0	マサ土・ 粘性土	30	15
鉄鋼スラグ工 (H28)	62	85	310	無	-	3.0	粘性土	25	9
土構造1 (R2)	15	44	165	無	-	3.0	シキ層じり 粘性土	25	4
土構造2 (H28)	62	85	310	無	-	3.0	シキ層じり 粘性土	20	3

この結果、鉄鋼スラグ、山ズリ及びコンクリート工は、表5の条件下で施工し、3年以上経過する中で、災害査定要件となる異状な天然現象の基準の時間雨量20mm、日降雨量80mm以上の降雨(以下、基準に該当する降雨という)に相当回見舞われましたがいずれも路面の洗掘等はありませんでした。

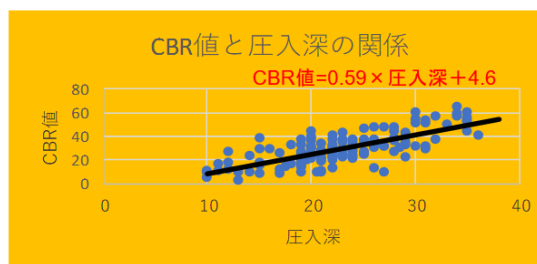
敷砂利工1は、表の条件下で施工し、5年が経過する中で、基準に該当する降雨に91回見舞われました。そのうち、時間70mm、日296mmの降雨によって、路面が洗掘される被害を受け修理を行いました。

丸太組工、敷砂利工2、丸太組工と敷砂利の併用、参考として実施した土構造2は、5年以上経過する中で、基準に該当する降雨に50回近く見舞われましたがいずれも路面の洗掘等はありませんでした。

(4) キャスポルと土壌硬度計

キャスポルと土壌硬度計の全調査箇所を散布図で整理しました。この結果、 $CBR値 = 0.59 \times 圧入深 + 4.6$ の式を得ました(表6)。

表6 キャスポルと土壌硬度計の値について



この式から圧入深10mm以上はCBR10%以上であり、繰り返しの使用に耐える路面を確保していることとなります。

6. 考察（まとめ）

今回の調査により、路面補強工を実施してきた箇所は、現状のまま、2t積トラックの走行が可能な範囲であることを確認しました。

また、路面補強工のうち、豪雨対策として検討してきた「近年取り組みはじめた工法」は施工後の豪雨でもいずれも路面の洗掘等はありませんでした。

従前から取り組んでいる工法も一部を除き、路面の洗掘等はありませんでした。

今後、路面補強工の実績を重ね、路面強度調査を継続実施し、現場条件を整理することで路面強度が必要な箇所が判明すると推測されます。

さらに、キャスボルと土壌硬度計の結果では、相関関係があることが判明しました。今回提案した土壌硬度計による簡易な強度調査手法は、精度を向上させたうえで採用を検討していきます。

簡易で丈夫な道づくりには、丈夫な路面を確保するだけでなく丈夫な路体やのり面を確保すること、適切な排水処理を行うことが重要です。

今後も路面だけでなく路体やのり面を含め、他工法の開発、他工法との併用等の研究を行い、現地の特性に適応した作業道作設技術を向上させるよう努力していきます（写真11は森林整備センターののり面、排水等の対策事例）。

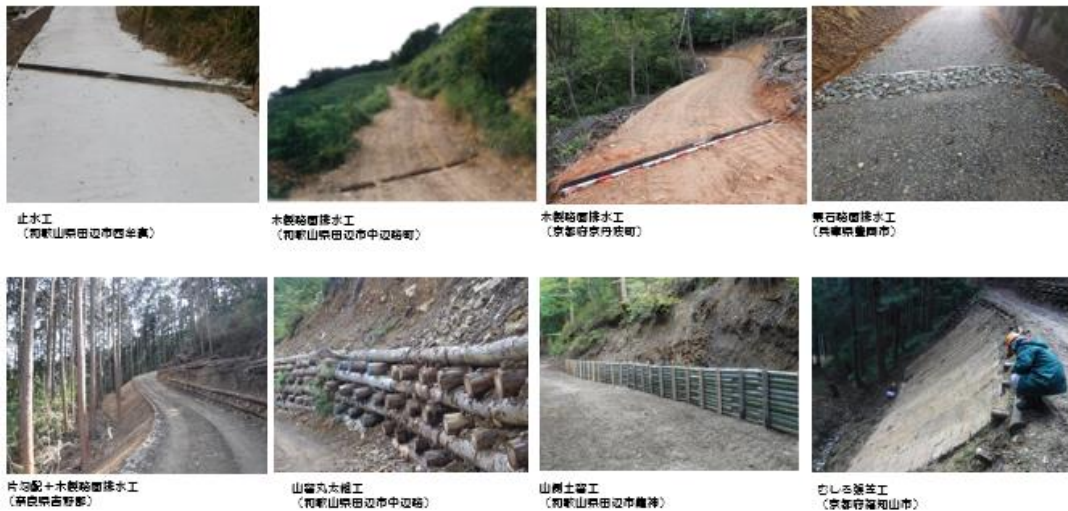


写真11 森林整備センターの取り組み事例

また、今回の考察にあたり、データ及び情報収集、現地調査、資料提供等によりご協力をしていただいた以下の組織の方々にこの場をかりて感謝申し上げます。

- ・西牟婁森林組合
- ・紀中森林組合
- ・日本林業土木（株）大阪出張所
- ・日鉄スラグ製品（株）和歌山事業所
- ・中辺路森林組合
- ・住友林業（株）大阪事務所
- ・日本製鉄（株）関西製鉄所
- ・（株）マルイ

注1 「井上弘一・有村佳将 作業道開設に伴う軟弱土壌における丸太組（のり留工）と路体の研究：平成24年度森林・林業交流研究発表会、2012」

注2 「倉持正実・小早川修一 畑に穴を掘ろう 土を見よう：現代農業、14ページ、農山漁村文化協会、2006」