

樹皮舗装の品質改善と施工性の向上について —共同研究にて建設工事現場を経験して—

機械・環境建設系技術班 川口 隆

1. はじめに

教育・研究支援業務において、主に建設材料系の実験を担当して約20年が経とうとしている。採用時は業務に対応するための技術力や知識・経験が乏しいため、不安感を抱いた。未だ浅学非才であるが、様々な実験業務を悪戦苦闘しながら培ってきたことで教員・学生からの実験依頼に対し私なりの技術を提供できるようになってきた。

今回は共同研究によって実際の施工現場を体験し、民間企業技術者と交流することで、日常の学内業務だけでは得られることができなかつた経験を報告させて頂く。

2. 共同研究の背景

愛媛県東予地方に拠点を置く建設会社より、愛媛大学社会連携機構とおして担当講座の教員へ相談が持ちかけられた。その内容は樹皮舗装の改善に関するものであった。林業・製材工程で排出される杉、桧の樹皮(写真-1)は腐敗しないため肥料化できないことから、産業廃棄物として捨てられている。近年、再資源化のながれから樹皮を舗装材として用いた製品が開発された。この建設会社では樹皮の販売元からの提案を受け、マンション等の建設工事で駐車場等の舗装工事で樹皮舗装をおこなった。しかし、販売元の施工手順に基づいて舗装工事をおこなったが、実際の配合や施工方法は施工管理者に委ねることが多かった。よって、要求される性能を安定的に満たした施工方法の確立が急務であった。以下、建設会社からの具体的な改善要望を表-1にまとめる。



写真-1 樹皮

表-1 改善要望について

構造性能	施工性	機能性
耐摩耗性の向上	色むら防止	透水性向上
被着材飛散防止	路盤端部の剥離防止	温度上昇抑制
クラック防止	既設舗装面のオーバーレイ	

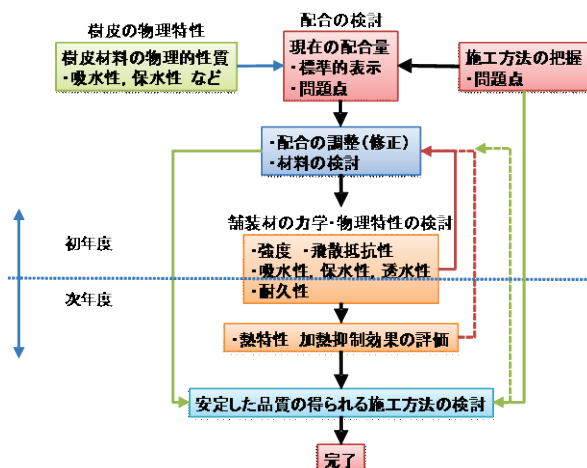


図-1 提案した改善方法のながれ

これらの要望に対して、担当教員と打合せた結果、図-1のながれに沿って改善を検討した。

実施手順は、樹皮の物理特性を把握したのち、室内試験(強度・耐摩耗性)を繰り返して、配合について検討した。次にその結果を踏まえ試験施工をおこなった。実際の工事現場では施工管理者および作業主任者と各作業工程について議論し、クローズアップされた課題を共通認識することに努めた。

この室内試験と試験施工のルーティンを数回繰り返すことで品質の安定化を図った。共同研究の最終目標は、この成果をまとめ、樹皮舗装の施工指針を共同で作成することとした。

3. 樹皮舗装施工指針作成の課題

3.1 配合設計方法の確立

本計画を進めるにあたって大きな課題が配合設計の確立であった。販売元の配合表(表-2)は容積配合で示されていた。この方法は、計量時に空隙を含むなど誤差が多いことから、各材料を質量で表すのが一般的である。今後の樹皮舗装の普及を考え、質量表示に変換することとした。ここで、使用材料の計量で問題となるのが樹皮の計量方法である。樹皮は含水状態のまま、50Lのビニール袋に密封されて出荷されている。実際に1袋ずつ計量すると最大で約4kg程度のばらつきがあった。単純に表-2の配合を用いた場合、水量が5±4Lの範囲で影響される。樹皮舗装はセメントを使用した硬化体である。後述するがセメント硬化体の強度は被着材破壊を起こさない限り、バインダーである水とセメントの割合で支配している。さらに、水量はフレッシュ性状にも大きな影響を与え、練り混ぜ不足、流動性過多や施工時の打設、締め固め不良等を引き起こす要因となる。よって、現場配合を定める際に樹皮の含水状態を把握し、水量の調整をすることは極めて重要である。樹皮の含水量・含水率を明確にするために以下を定義する。

表-2 販売元の配合表

材 料	容積配合(L)
水	5
セメント	9
樹 皮	25
細骨材	14
顔 料	*400

※(g)

【樹皮の含水量および含水率の推定】

販売元の品質証明書に記載されている樹皮1袋(50L)の含水率48.6%時の比重は0.22g/mlの報告より、以下の計算式が成立する。

$$\text{樹皮(50L)1袋の含水率48.6\%時の質量} = 50 \times 0.22 = 11 \text{ kg}$$

$$\text{樹皮絶乾質量} = 11 - (11 \times 0.486) = 5.654 \text{ kg}$$

$$\text{樹皮絶乾比重} = 5.654 / 50 = 0.11 \text{ g/ml}$$

$$\text{樹皮飽和質量} = 5.654 + 5.346 + 5.654 = 16.654 \text{ kg}$$

$$\text{樹皮飽和比重} = 16.654 / 50 = 0.33 \text{ g/ml}$$

以上の算出結果から、現場配合における含水量および含水率の算出方法は

$$\text{樹皮含水量 (kg)} = \text{樹皮袋重量の総和} - (5.654 \times \text{樹皮袋数}) \tag{1}$$

$$\text{樹皮含水率 (\%)} = \frac{\text{樹皮袋重量の総和} - (5.654 \times \text{樹皮袋数})}{\text{樹皮袋重量の総和}} \times 100 \tag{2}$$

試験施工は図-2の施工手順に従っておこなった。写真-2はミキサーによる攪拌後に触手確認している様子である。写真-3は敷均し後の転圧状況、写真-4は転圧後の表層・下層路盤の状況である。

樹皮舗装の施工手順

1. 使用材料の計量
2. 攪拌, 練り混ぜ (100Lパン強練りミキサー使用, 約5分)
投入順
樹皮, 細骨材, セメント, 顔料, 水, 接着剤
3. 運搬, 荷下ろし
4. 敷ならし, 転圧による締め固めおよび仕上げ
敷ならし厚さ4cm 転圧厚さ2cm (0.6t転圧ローラー使用)

図-2 樹皮舗装の施工手順



写真-2 攪拌時の触手確認



写真-3 敷均し後の転圧



写真-4 路盤状況

各工程の写真により、混合物を下層路盤に敷均しローラーによって転圧成形していることがわかる。樹皮舗装のコンシステンシーは主に単位水量の影響を受け、舗設機械の性能に比べて硬すぎると締め固めが不十分となる。また、軟らかすぎると、ローラー転圧時に不陸が生じやすくなり平坦性を阻害する。そのため、所要のコンシステンシーが得られるように単位水量を選定することが重要である。選定にあたって、数カ所の試験施工を実施し比較することで、ワーカビリティや転圧成形後の状態が良好であった現場配合を得られた。現場配合から示方配合を算出した結果を表-3および図-3に示す。また、室内試験に用いた各材料計量後の様子を写真-5に示す。

表-3 樹皮舗装の示方配合

水セメント比 W/C	水 W	セメント C	細骨材 S	樹皮 [※] B	顔料	接着剤
0.40	140	342	246	75	3.42	7.00

※但し、樹皮Bは絶対質量として示す。また、空気量を0%と仮定する。

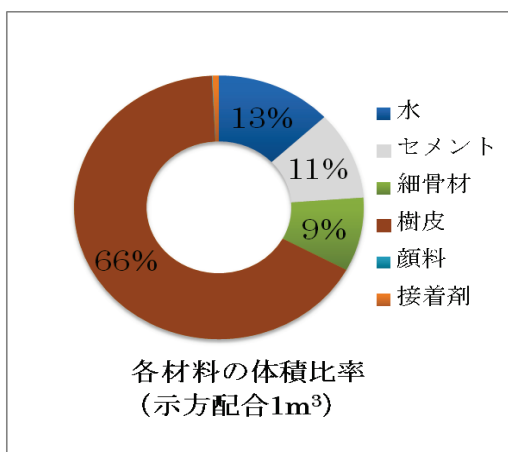


図-3 示方配合の各材料比率



写真-5 室内試験時の各材料

構造物を施工する際は要求される性能を安定的に満足することが重要である。室内試験において各材料の割合を変化させ、強度特性、透水性、保水性、耐摩耗性について検討した。ここでは最も品質管理で重要な強度特性について述べる。強度管理は、定説である水セメント比を変化させることで可能であった。図-4の圧縮強さは、セメント水比に対して正の相関があり強度線によって管理できることがわかった。一方、曲げ強さは水セメント比を低く設定しても強度の上限があることがわかった。この要因は、曲げ破壊後の供試体を観察した結果、被着材である樹皮が供試体底面からリンク破壊していたからと考えられる。

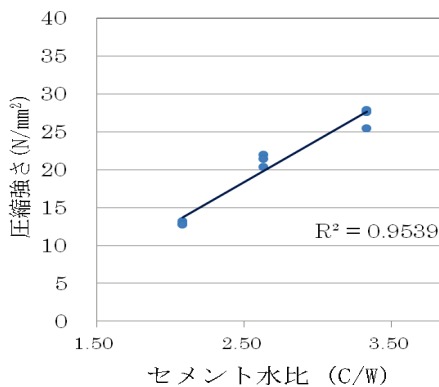


図-4 C/Wの違いによる圧縮強さ

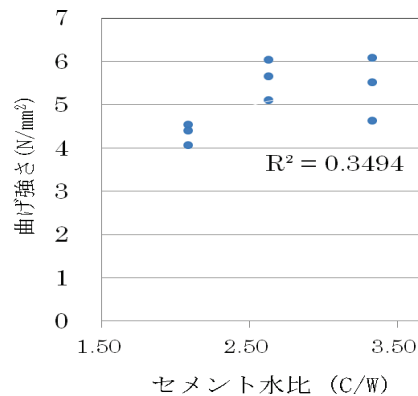


図-5 C/Wの違いによる曲げ強さ

これらの試験結果をもとに樹皮舗装の力学的見地からみた基準を以下のとおり提案する。施工現場における必要な強度を担保するには、実際の圧縮強度および曲げ強度はかなり変動すること予測される。よって、転圧コンクリートの設計基準強度曲げ強度 4.5N/mm^2 を参考値とし¹⁾、変動係数を考慮した結果、W/C40%を標準配合とした。

3.2 施工作業の確立

写真-6は施工現場で転圧後の路面を観察した状況である。施工時期が夏季で、高温、直射日光および風などの影響により、表面が急激に乾燥し、白化していた。このような舗装面の急激な温度変化や水分の蒸発は、セメントの凝結に必要な水分が逸散し、硬化不良を引き起こす。また、表面強度（耐摩耗性）に与える影響も大きく、収縮ひび割れの原因ともなる。よって、施工管理者に以下の内容を注意点として提案した。

【施工における注意点】

練り混ぜ後、すみやかに運搬し荷下ろしまでの時間、外気温が 25°C を超えるときで 1.0 時間以内、 25°C 以下のときで 1.5 時間以内を標準とする。運搬時には日光、風雨から保護しなければならない。特に夏季における施工時で運搬経路および時間が長い場合は乾燥防止のため、トラック荷台をシートで覆うなどの処置をとらなければならない。荷下ろしおよびフィニッシャー等による敷均し前の工程として、碎石を転圧した下層路盤の表面に散水することを推奨する。これにより下層路盤と樹皮の表層路盤の付着性を高めることで打ち継ぎ目の弱点を軽減できる。

表層路盤として用いられている樹皮舗装の路盤が、その水和反応により十分に強度を発現し、所要の耐久性(耐摩耗性)等の品質を確保するため、適当な温度のもとで湿潤状態を保ち、かつ有害な作用の影響を受けないように養生しなければならない。樹皮舗装の施工事例から大きな課題として路面の摩耗が著しいことが報告されている。この要因に、表層路盤の締め固めと路面の仕上げのため転圧ローラーを使用しているが、転圧時に練り混ぜで使用した水分および樹皮に含まれる水分が下層路盤に吸収され、とくに路面部では水和反応に必要な水分が不足していることが考えられる。

この解決策として初期養生と湿潤養生の項目に分けて以下を提案する。

【初期養生】

転圧ローラーによる仕上げ後、ごく早い時期に路面が乾燥して水分が失われると、セメントの水和反応が十分に行われない。特に直射日光や風などによって表面の水分が逸散し急激に乾燥することで路面の耐摩耗性が大きく損なわれる。このために、仕上げ後の舗装表面にはシートなどで日除けや風よけを設ける必要がある。



写真-6 転圧締め固め後の路面状態

【湿潤養生】

表面を荒らさないで作業できる程度に硬化したら、樹皮舗装路面を養生用マット、布等をぬらしたもので、これを覆うかまたは散水、湛水を行い湿潤状態に保たなければならない。ここで、湿潤養生による硬化の大部分は初期の養生期間に限られているが、長期間湿潤養生することは供用まで期間を考えれば困難であり、不経済でもある。よって、建築構造物の外構工事など施工期間に余裕が無い場合は初期養生期間短縮のため、早強ポルトランドセメントの使用を推奨する。

4. おわりに

提案させて頂いた施工要領に基づき設計・施工された樹皮舗装の外観を写真－7に示す。共同研究先の発案で芝生と組み合わせることで景観にも優れた仕上がりとなった。現在、路面の摩耗状況について追跡調査をおこなっているが、供用後1年が経過したが、改善以前より飛躍的に摩耗が低減されていると報告があった。

今回の成果として、樹皮舗装に要求される構造性能に関して力学的性能を照査することで、実状に適応するような設計作業と施工作業についての指針を示せた。今後の課題として、使用性、安全性、環境との適合性を考慮した上で要求される供用期間と舗装材としての耐久性能を考慮した、維持管理手法を確立する必要がある。

報告内容では触れなかったが、共同研究を通じて、実際の建設現場で施工管理者がどのようにふるまい、工事を進めていくのかを肌で感じる事ができた。これから実習等の教育現場において、やがて施工管理者として巣立つ学生に対して工程・安全管理について盛り込める貴重な経験であった。大学の技術職員としての社会経験しかない私にとって実際の現場を知ることの大切さを学ぶことができた機会に感謝する。



写真－7 樹皮舗装の本施工現場

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会:舗装施工便覧(平成18年版), p.143, 2006.