# 環境に配慮した歩道舗装に関する研究プロジェクト（H25-27年度）

共同代表　山田　優（大阪市立大学名誉教授）
佐野正典（近畿大学）

## 本プロジェクトの目的

　歩道等の舗装に適用可能な種々の工法・材料について、環境に係る性能および強度・耐久性の評価方法を検討し、適用場所の条件に応じた必要性能案を作成する。

## 参加メンバー

学　山田優（大阪市大名誉教授）、佐野正典、東山浩士（近畿大学）

産　大林道路㈱、奥村組土木興業㈱、鹿島道路㈱、大成ロテック㈱、
　　東亜道路工業㈱、㈱NIPPO、住友大阪セメント㈱
　　鉄鋼スラグ協会、㈱地球環境技術研究所、

官　近畿地方整備局道路部、近畿技術事務所、滋賀国道事務所

オブザーバ　大阪府、兵庫県、大阪市

これらの機能をもたらす工法・材料の性能を評価する方法・基準の検討が本研究プロジェクトの主な目的

１．施工箇所の内定

⇩

| | | |
|---|---|---|
| ２．条件設定 | 施工箇所の条件<br>予想される<br>・交通条件<br>・通行形態<br>・気象条件など | 求める機能<br>・歩道としての標準機能のみ(一般歩道)<br>・歩行困難者に特に配慮<br>・地球環境対策<br>・沿道環境対策<br>・狭隘部の歩道<br>・ＬＣＣ重視、など |

⇩

３．採用可能な工法・材料の選び出し

⇩

４．仮設計によるコスト等の比較

⇩

５．採用工法・材料の決定

⇩

６．実施設計

想定される
工法・材料の
選択フロー

1.現状把握
・文献調査
・施工事例調査

利用可能な工法・材料、評価方法の現状把握

2.各種工法・材料の試験施工と室内試験
・近畿技術事務所内
・道の駅(妹子の郷)

施工性、コスト等の検討、フィールド試験データの収集

3.利用者(歩行者)へのアンケート調査

利用者の好み・要求の把握

4.道路管理者へのアンケート調査

道路管理者として必要な機能の把握

5.対象とする工法・材料とその分類・整理 ⇨ 6.環境歩道舗装に要求される機能の検討 ⇨ 7.要求機能をもたらす工法・材料性能の指標と試験方法の検討 ⇨ 8.各性能指標の基準値の検討

9.環境歩道舗装の機能・性能とその評価方法の提案

# 本研究プロジェクトの実施内容と流れの概要

# 検討対象とした環境歩道舗装用 工法･材料の分類・整理

・すでに多くの工法･材料が開発され、施工事例がある。
・開発中のものも含め、それらを分類・整理すると、以下のとおり：

## 環境歩道舗装用工法・材料の分類・整理結果

| バインダーの種類と使用法 ＼ 主骨材 | | | 砕石・砂利 | 土(まさ土等) | 木質(チップ等) |
|---|---|---|---|---|---|
| アスファルト系 | 加熱混合 | | ○ | | ○ |
| | 常温混合 | | ○ | | |
| 樹脂系 | 現場締固め | | ○ | ○ | |
| | 既製ブロック | | | | ○ |
| セメント系 | コンクリート | 版 | ○ | | |
| | | ブロック | ○ | | |
| | 安定処理 | 現場締固め | | ○ | |
| | | 既製ブロック | | ○ | |
| 石灰・石膏系（現場締固め） | | | | ○ | |

# 近畿技術事務所構内での小規模試験施工

H25年11月施工分：17種類（写真の左側）、H26年11月施工分：5種類（右側）
下の写真は、H28年3月現在の様子

# 道の駅「妹子の郷」での試験施工

# 環境歩道舗装の機能とそれをもたらすに必要な性能・特徴

| 歩道の機能 | | 舗装の性能・特徴（評価指標例） |
|---|---|---|
| 歩道として必要な機能 | 歩行の安全性<br>(歩道として必須) | つまずかない(段差量)、<br>湿潤時もすべらない(湿潤時BPN)、<br>降雨後に水たまり無し(浸透水量、路面排水性) |
| | 強度･耐久性 (必須となる安全性の持続) | すり減り抵抗(すり減り量)、泥濘化抵抗(水中強度)、<br>ひび割れ抵抗(許容輪荷重)、<br>凍結融解抵抗(凍結融解繰返し後の変化)＊ |
| 環境の保全･改善に有効な機能 | 歩行のしやすさ、快適性 | 平坦性(標準偏差)、貫入しない(貫入抵抗)、衝撃吸収･弾力性(反発係数)、凍結時も滑らない(凍結時BPN)、温度上昇緩和(路面温度)、防塵(遊離微粉量)、美観・景観調和(色彩など)、耐候性(変色､色むら速さ) |
| | その他、沿道･地域環境への影響･効果 | 地下水涵養･雨水流出抑制(浸透水量)、車両騒音･排気(吸収量)、緑化(緑化率)、解体時廃材(ﾘｻｲｸﾙ容易性) |
| その他、管理者が必要とする機能 | 日常管理のしやすさ | 清掃(ごみ､土砂の蓄積量)、雑草対策(雑草生育量)、部分補修(補修材料の調達可能性)、埋設物工事(部分掘削の容易性) |
| | 施工性 | 材料調達､地産･ﾘｻｲｸﾙ材活用(市場性､品質安定､価格)、品質管理(基準の存在)、通行規制(規制時間)、使用機械(規模､人力可否)、施工時環境(騒音･振動､臭い) |

＊寒冷地でのみ、適用

# 歩道舗装の性能と求められる機能例ごとの必要性能選択例

| 歩道の機能 | | 歩道として必要 | | | | | | | 環境保全改善に有効 | | | | | | | | | | | 管理者として必要 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 安全性 | | | 強度 | | | | 歩行性・快適性 | | | | | | | 沿道環境 | | | | 日常管理 | | | | 施工性 | | | | |
| 舗装の性能・特徴 | | つまずかない | 湿潤時もすべらない | 降雨後も水たまり無し | すり減り抵抗性 | 泥濘化抵抗性 | ひび割れ抵抗性 | 凍結融解抵抗性 | 平坦性(凹凸が少ない) | 貫入しない(硬さ) | 衝撃吸収・弾力性 | 温度上昇緩和 | 防塵 | 美観・景観との調和 | 耐候性 | 地下水涵養・流出抑制 | 車の騒音・排気の吸収 | 緑化 | 解体時の廃材処理 | 清掃がしやすい | 雑草対策がしやすい | 部分補修がしやすい | 埋設物工事がしやすい | 材料調達が容易 | 品質管理が容易 | 通行規制(規制時間等) | 使用機械(調達容易) | 施工時環境(臭い等) |
| 求められる機能例 | 一般歩道 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | | | |
| | 歩行困難者 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | | | | | | | | | | | |
| | 地球環境対策 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | ○ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | ○ | | | | |
| | 沿道環境対策 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | | ○ |
| | 狭隘部歩道 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | ○ | ○ | | | | | ○ | ○ | ○ |
| | LCC重視 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | ○ | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |

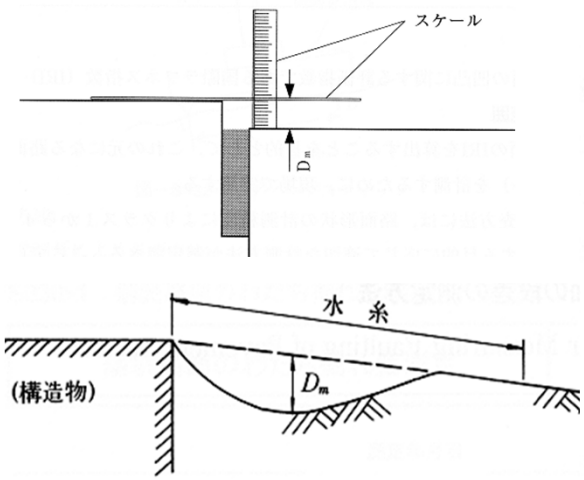
すべての歩道に適用

基準値を発注者が指定、または総合評価
（基準値は歩道に求める機能で異なる）

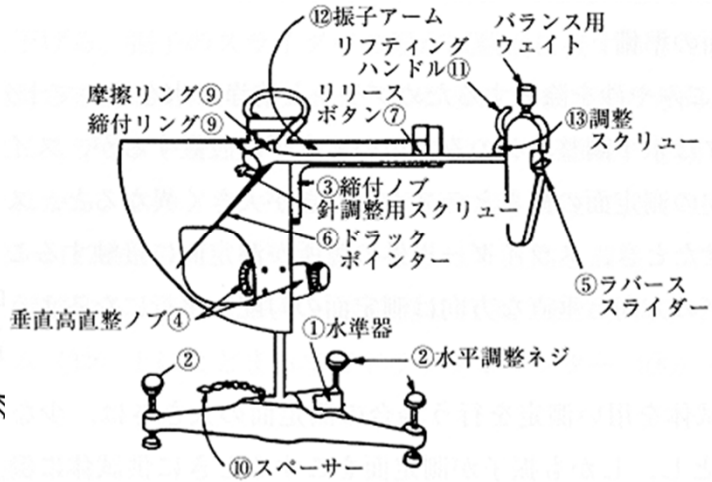
# 各機能・性能の評価方法の検討(1)

| 歩道の機能 | | 舗装の性能、特徴 | 評価方法案 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 評価指標 | 評価・試験値/試験方法 | 基準値（案または事例） |
| 歩道として必要な機能 | 歩行の安全性（歩道として必須） | つまづかない | 段差量 | 定規などによる測定値 | 3mm以下、視覚障害者用20mm目標 |
| | | 湿潤時もすべらない | 湿潤時すべり抵抗値 | 湿潤時BPN | 40以上（50以上が望ましい） |
| | | 降雨後に水たまり無し | 浸透水量 or 路面排水性 | 現場透水量試験 | 300ml/15s以上 or 路面勾配 |

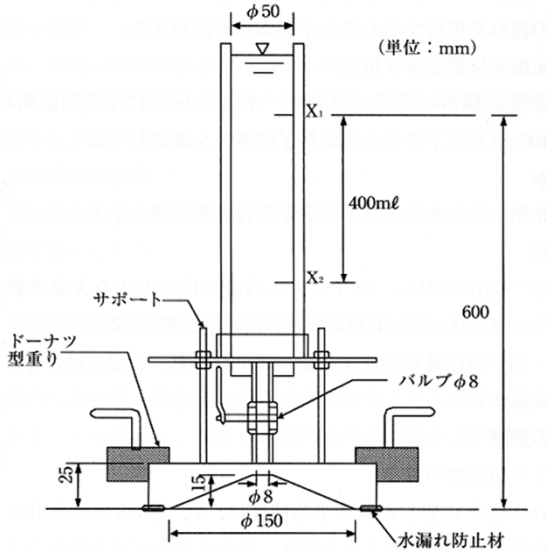
試験方法は、いずれも「日本道路協会：舗装調査・試験法便覧」に記載がある。




段差量




すべり抵抗値




現場透水量

# 各機能・性能の評価方法の検討(2)

| 歩道の機能 | | 舗装の性能、特徴 | 評価方法案 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 評価指標 | 評価・試験値/試験方法 | 基準値(案または事例) |
| 歩道として必要な機能 | 強度・耐久性(必須となる安全性の持続) | すり減り抵抗 | ねじり試験によるすり減り飛散率 | 試験方法を新たに提案 | 1.0%以下 |
| | | 泥濘化抵抗 | 1日水浸後の貫入抵抗値 | プロクターニードル貫入試験 | 30ポンド以上(50ﾎﾟﾝﾄﾞ以上が望ましい) |
| | | ひび割れ進行抑制 | 乗入れ車両の許容輪荷重 | 経験または解析から推定 | 設計輪荷重×安全率以上 |
| | | 凍害抵抗性(寒冷地のみ) | 凍結融解繰返し後の変化 | 試験方法を新たに検討 | 試験後に顕著な変化が見られないこと(要継続検討) |

これら強度・耐久性に係る性能については、これまで仕様に示すに十分な基準等がなかった。

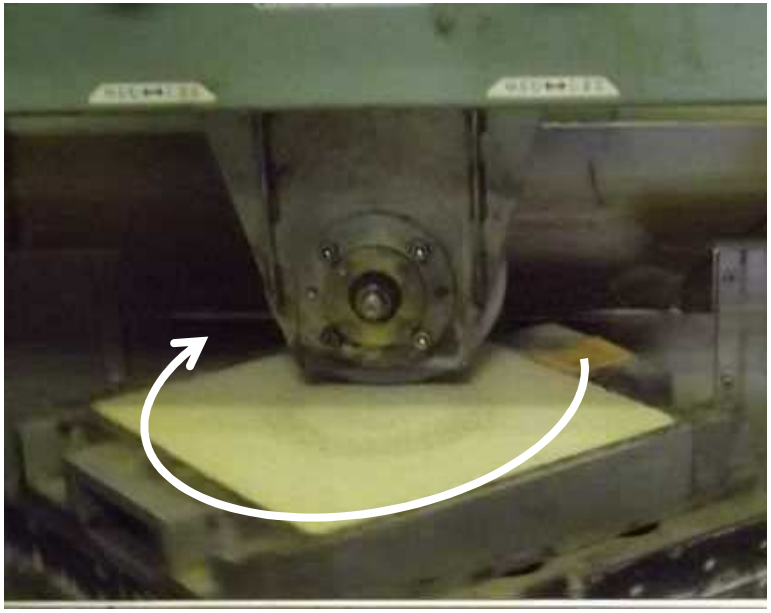
# 「すり減り抵抗」評価方法の検討

日本道路協会：舗装性能評価法別冊に記載の交差点のポーラスアスファルト混合物舗装のための評価方法を参考にして検討

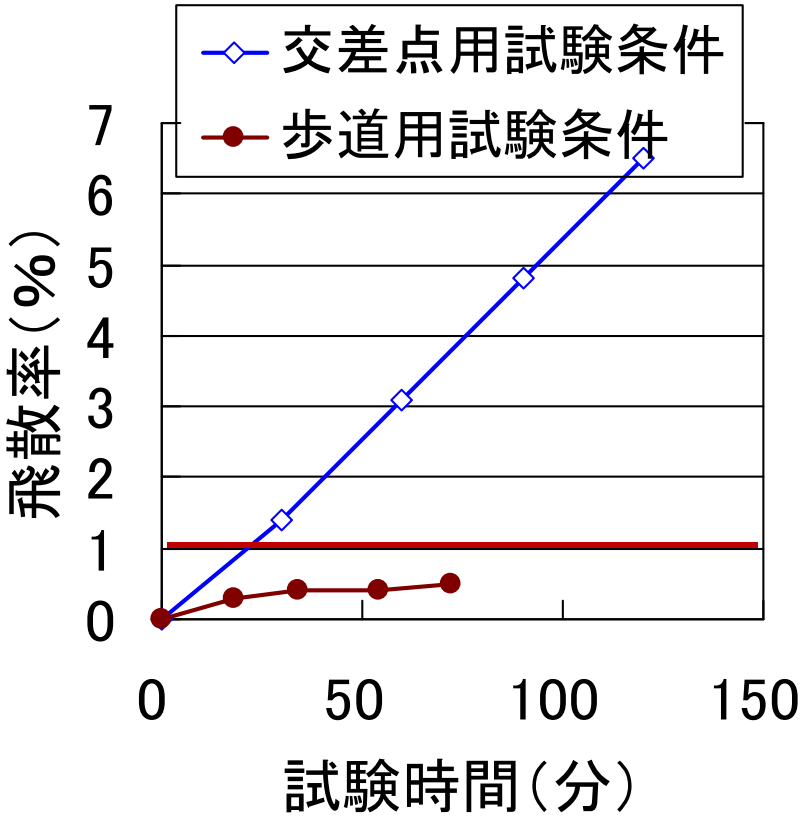
試験後の供試体

$$飛散率(\%) = \frac{すり減り飛散質量}{試験前の供試体質量} \times 100$$

ねじり骨材飛散試験機



歩道に施工実績が多い
「樹脂で固めた土舗装
(デュソル)」の試験結果




この結果等から、
歩道用舗装の基準として、
飛散率1.0%以下を提案

| 項　目 | | 試験条件 | |
|---|---|---|---|
| | | 参考とした交差点舗装(ポーラスアスファルト混合物)用 | 本プロジェクトで歩道用に採用した設定 |
| 試験輪 | 型式 | ハンドカートタイヤ | 産業車両用タイヤ |
| | 寸法 | 直径200<br>幅65mm | 直径175<br>幅40mm |
| | トレッドパターン | リブラグパターン | リブパターン |
| | 空気圧 | 200±10kPa | 245±10kPa |
| 供試体寸法 | | 300×300×50mm | |
| 載荷荷重<br>(接地圧) | | 490N<br>(0.43MPa) | 343N<br>(0.51MPa) |
| テーブル回転数 | | 10.5回/分 | |
| 走行半径 | | 7.5cm | |
| 試験温度 | | 50℃±2℃ | |
| 試験時間 | | 120分 | 18～72分 |

# 「泥濘化抵抗」評価方法の検討

土木研究所編：土系舗装ハンドブック（2009）の参考資料に、プロクターニードル貫入試験を用いた評価方法の記述がある。それを参考に、24時間水浸後のプロクターニードル貫入抵抗値で評価することとし、基準値を検討した。

その結果、30ポンド以上（50ポンド以上が望ましい）を提案、なお試験施工で使用した工法・材料は、すべてこの基準を満足した。

プロクターニードル貫入試験機

プロクターニードル貫入試験状況

# 「ひび割れ進行抑制を考えた許容輪荷重」の検討

・車両の乗入れがある歩道舗装の場合に許容できる輪荷重を経験または力学解析から推定する。

・力学解析による推定許容輪荷重＝限界輪荷重／安全率
　＝輪荷重$P$×（引張強度／輪荷重$P$による最大引張応力）／安全率

輪荷重$P$＝4.9kN（軽トラック相当）による
最大引張応力の計算値と引張強度から許容輪荷重の推定例

| 舗装の種類 | 土系舗装 | 透水性ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装 | 路面温度低減舗装 |
|---|---|---|---|
| 表層厚と路盤厚（cm） | 5、10～15 | 4、10～15 | 4、10～15 |
| 表層の弾性係数（MPa） | 6,000～12,000 | 5,000 | 11,400 |
| 路盤、路床の弾性係数（MPa） | 100、30 | | |
| 最大引張応力（MPa）注1） | 0.6～0.9 | 0.7～0.8 | 1.2～1.3 |
| 引張強度（MPa） | 0.72 | 0.83 | 1.60 |
| 推定許容輪荷重（kN）注2） | 2.0 | 2.5 | 3.0 |

注1）最大引張応力の計算に乾燥収縮、温度変化による応力を考慮していない。
注2）安全率＝2としての推定結果

# 「凍害抵抗性」評価方法の検討

試験方法としては、主にコンクリートを対象としたJIS A 1148、建築用外壁材料のJIS A 1435、インターロッキングブロックを評価する際のASTM C1465-06 や簡易凍結融解方法がある。

それらを参考に下表に示す簡易凍結融解方法を設定し、土系舗装供試体について試験した。

しかし、供試体に顕著な変化が見られなかった。

検討に使用した凍結融解試験条件

| 項　目 | 設定内容 |
|---|---|
| 供試体の形状、寸法 | 円板、直径10cm×各施工厚さ(2.5～5cm) |
| 凍結融解方法 | 表面乾燥飽水状態→気中凍結→気中融解の繰返し |
| 1サイクルの温度と時間の設定条件 | 凍結：-5℃,16時間、融解：7℃,8時間<br>計1サイクル,24時間 |
| 最大サイクル数 | 55サイクル |
| 供試体測定項目 | 質量、表面性状(観察) |

# 各機能・性能の評価方法の検討(3)

| 歩道の機能 | | 舗装の性能、特徴 | 評価方法案 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 評価指標 | 評価・試験値/試験方法 | 基準値(案または事例) |
| 環境の保全・改善に有効な機能 | 歩行のしやすさ、快適性 | 平坦性(凹凸が少ない) | 標準偏差σ | 舗装路面の平坦性測定方法 | 3mm(or 3.5mm)以下 |
| | | 貫入しない(硬さ) | 貫入抵抗値 | プロクターニードル貫入試験 | 60ポンド以上 |
| | | 衝撃吸収、弾力性 | 反発係数(衝撃加速度) | GB(G) | GB:70以下(望ましいG:69～91) |
| | | 凍結時もすべらない | 凍結時すべり抵抗値 | 凍結時BPN | 未設定 |
| | | 温度上昇緩和 | 路面温度の低減度 | 現地の路面温度 | 通常舗装より低い |
| | | 防塵 | 遊離微粉量 | 現地、乾燥時路面微粉量 | 発注者が指定 |
| | | 保水性 | 保水量 | 保水性舗装の保水量試験 | 発注者が指定 |
| | | 美観、景観との調和 | 色彩、テクスチャ、模様 | 利用者の要求への対応性 | 発注者が指定 |
| | | 耐候性 | 所定期間後の色合い | 紫外線照射試験 | 発注者が指定 |

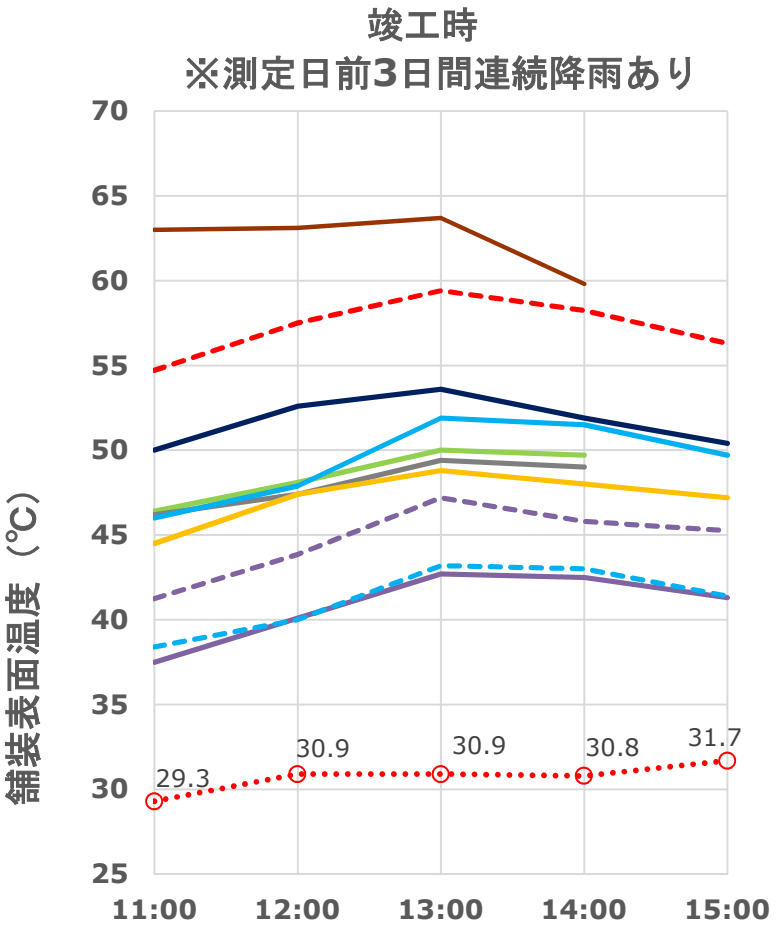
# 各機能・性能の評価方法の検討(4)

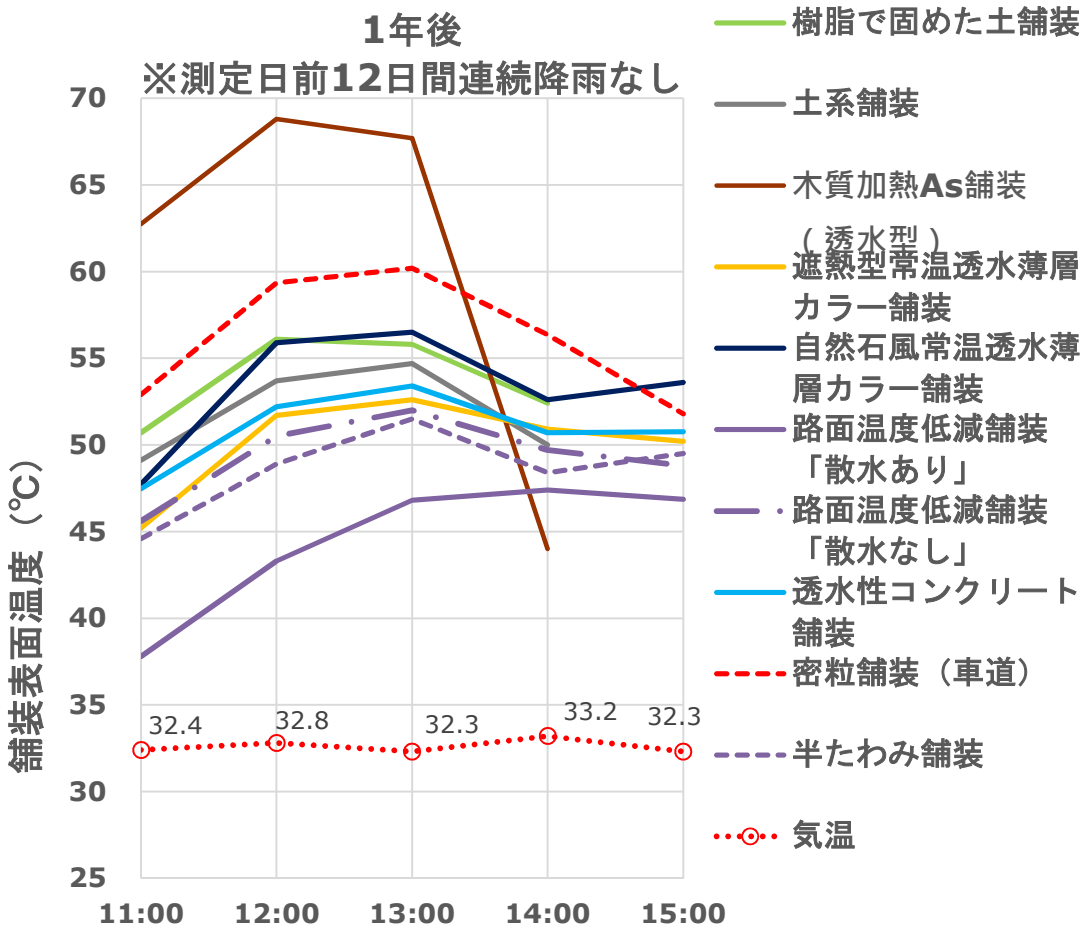
| 歩道の機能 | | 舗装の性能、特徴 | 評価方法案 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 評価指標 | 評価・試験値/試験方法 | 基準値（案または事例） |
| 環境の保全・改善に有効な機能 | その他、沿道・地域環境への影響・効果 | 地下水涵養、雨水流出抑制 | 浸透水量 | 現場透水量試験 | 300mL/15秒以上 |
| | | 車両の騒音・排気の吸収 | 吸収量 | 吸音率等 | 発注者が指定 |
| | | 緑化 | 緑化率 | 緑化面積率 | 発注者が指定 |
| | | 解体時の廃材処理 | 使用材料のリサイクルの容易性 | リサイクル技術・施設の整備状況 | 技術・施設が整備されている |

# 各機能・性能の評価方法の検討(5)

| 歩道の機能 | | 舗装の性能、特徴 | 評価方法案 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 評価指標 | 評価・試験値/試験方法 | 基準値（案または事例） |
| その他管理者が必要とする機能 | 日常管理のしやすさ | 清掃 | ごみ、土砂の蓄積量 | 路面の粗さ（きめ深さ） | 清掃が特に困難でない |
| | | 雑草対策 | 雑草生育量 | 現地等野外観測 | 3年間程度、雑草処理不要 |
| | | 部分補修 | 補修材料の調達可能性 | 部分補修の可能性 | 同質の材料で部分補修可能 |
| | | 埋設物工事 | 部分掘削の容易性 | 掘削、復旧工事価格 | 通常工事と大差がない |
| | 施工性 | 材料調達 | 市場性、品質安定、価格 | 普及度、規格の有無、単価 | 通常舗装と大差ない |
| | | 地産･リサイクル材活用 | 市場性、品質安定、価格 | 地産･リサイクル材の調査 | 地産･リサイクル材活用可能 |
| | | 品質管理 | 品質基準の存在 | 設計基準、施工管理基準等 | 基準類整備済み |
| | | 通行規制 | 規制時間 | 工事及び養生期間 | 発注者許容範囲内 |
| | | 使用機械 | 機械の規模、人力施工可否 | 現場条件等に応じて計画 | 通常工事と大差がない |
| | | 施工時環境 | 騒音・振動、臭い | 現場で測定 | 通常工事と大差がない |

# 道の駅「妹子の郷」での舗装表面温度測定結果



# まとめ

１．以上の各機能･性能評価方法等の検討結果に基づき、本プロジェクトで検討対象とした17種類の各工法･材料について調査･試験結果を性能表として示した。

２．ただし、それら各機能･性能の評価方法および各工法･材料の性能表は現時点のものであり、さらに検討、修正を加える必要がある。

３．特に、凍害抵抗性と凍結時すべり抵抗については、基準値を示すに至っていない。

４．それを検討するため、本プロジェクトで実施した試験舗装の今後の追跡調査に期待したい。

５．本プロジェクトの成果が今後の環境歩道舗装の設計に役立てば幸いである。