

V-1

透水性高分子混合物舗装 のひびわれについて

— しんえい四季のまち— 施工報告から

戸田建設(株) 長谷部 敏
戸田建設(株) 正員 土井 敏
戸田建設(株) 南 場 征 哉

1. はじめに

近年、人間性豊かで魅力ある街づくりが推進され、居住地域空間を構成する建築物・道路・公園など主な基盤形成において、個性溢れ豊かで感性のある演出効果が期待されている。したがって歩道、園路、遊歩道などの構造にタクティル・ビジュアル両テクスチャーを配慮した計画が、多くなっている。

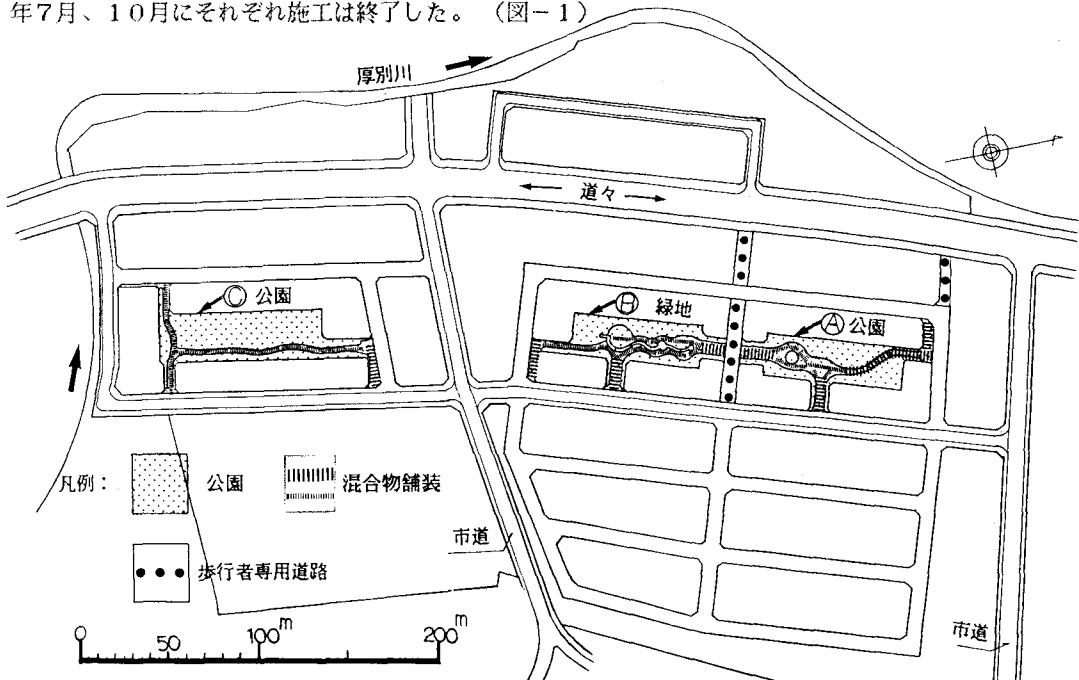
本報告は、以上を踏まえ計画施工された札幌市における「しんえい四季のまち」宅地造成工事のうち、公園園路舗装に採用した透水性高分子混合物舗装の施工および、ひびわれについて述べる。

尚、本施工法は最近道内においても漸増している反面、選定に当たって舗装体の構造的なよりも主に景観性、感触性などメンタル的要素で採用されている為、一部耐久性、耐候性、樹脂の変退色等性質を除けば、材料・施工の管理基準および仕様が検討定められないままメーカー各社のノウハウで施工されているのが実情である。

2. 施工の概要

2-1 全体計画

施工箇所は、街区内にある3箇所の公園・緑地内をモールとして結ぶ園路であり主に人道および広場として用に供してゐる。(総延長約500m、総面積2300㎡) ①公園は、昨年7月、②公園、③公園は、本年7月、10月にそれぞれ施工は終了した。(図-1)



全体計画平面図 (図-1)

Cracks of Porous Pavement Mixed with Epoxy Resin
by Satoshi HASEBE, Takashi DOI and Seiya NANNBA

2-2、園路構造体および施工

通常の歩道用アスファルトコンクリート施工後、セメントラバー複合材を下地処理材（接着効果含む）として塗布し、その上に透明エポキシ樹脂と天然小砂利を攪拌混合したものを厚さ10mmに金で仕上げするものである。

したがって排水は、表面排水であり、本施工においては、主に美観性・感性など環境演出効果を期待したものであるが、アスコン施工時誤差の不陸による水溜まり防止効果は、期待できる。（図-2）

2-3、材料（樹脂混合物について）

天然小砂利は乾燥状態でサイズがSタイプ（ $\phi = 2.0 \sim 3.0 \text{ mm}$ ）、Lタイプ（ $\phi = 4.0 \sim 6.0 \text{ mm}$ ）と比較的均等な径のものを使用し、合わせて約20数種類の色彩、肌合いのものがあり、本施工では試験施工により色彩、供給性等を考慮しS・L4種類を選択した。砂利の見掛け比重および空隙率は、それぞれ概ね2.3～2.2、22～31%（メーカー資料）である。

バインダーは透明の常温硬化型エポキシ樹脂（主剤・硬化剤）で混入量は、6%重量比である。これら混合物の物性は下表の通りとされている。（表-1 メーカー資料）

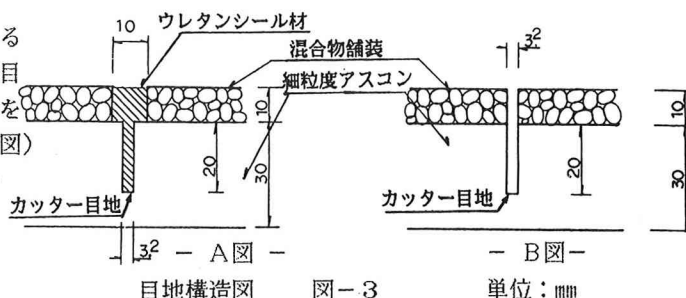
混合物の強度物性
成型配合比 樹脂/天然石（L）=1/20

タイプ 試験項目	夏 用	冬 用	試験方法
可使用時間	40 min	30 min	500 gスケール
曲げ強度(kg/cm ²)	64.5	57.3	R-5201
圧縮強度(kg/cm ²)	108.5	99.4	A-1108

透水係数 $1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$

2-4、目 地

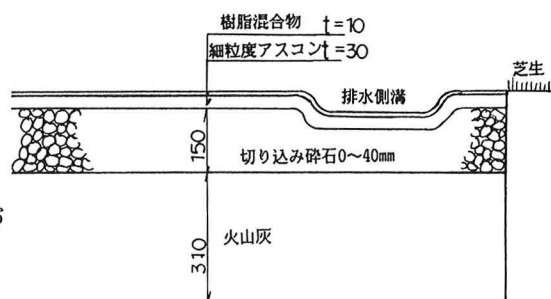
目地構造は、異なる小砂利の接する部分を図-3のA図とし、その他縦目地最大間隔を4.5m、横目地間隔を6～10m程度のカッター目地（B図）とした。（公園（A）の場合）



目地構造図

図-3

単位：mm



園路構造断面図（図-2）



混合物 施工状況写真

バインダーの物性

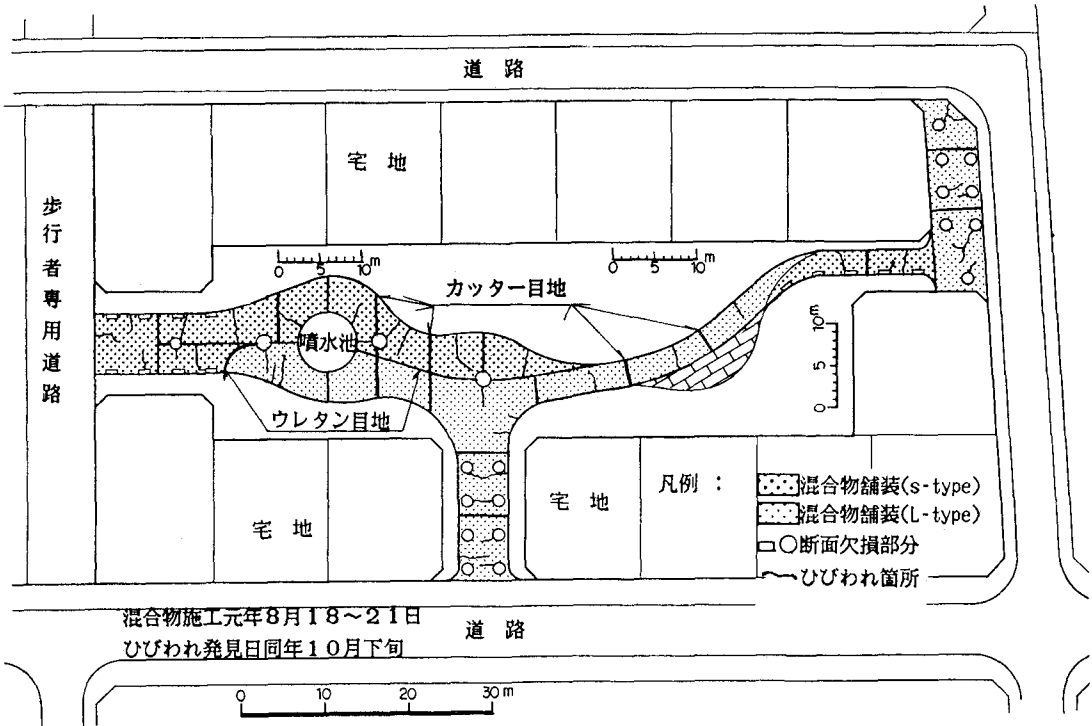
試 験	強 度	試験方法
圧縮強度(kgf/cm ²)	391.8	JIS K-6911
曲げ強度(kgf/cm ²)	139.5	JIS K-6911
引張強度(kgf/cm ²)	250	JIS K-6301 2号ダンベル

表-1

3. ひびわれの発生と原因について

3-1、ひびわれの発生状況

本施工法によるひびわれ原因の多くは、樹脂混合物舗装の施工や目地間隔を適切に施していれば、下部構造体の欠陥に起因するものがほとんどであると言われているが、昨年施工した ④公園のクラック発生状況は、下図の通りである。



ひびわれ発生状況図 図-4

状況図より次の事が言える

- ① Sタイプ舗装がLタイプよりひびわれ箇所が多い。(面積比)
- ② 発生形状は、延長方向にほぼ直角をなしているものが多い。
- ③ 発生箇所は、目地間の中央付近および植樹樹などの平面的断面欠損部からの発生が多い。
- ④ 施工日とひびわれ発見時の外気温度の差は、概ね最高最低で22℃である。(札幌気象台資料からであるが実際は、直射・輻射熱によりさらに高い気温下で施工したものと考えられる)
- ⑤ ひび割れ幅は0.5~2.5mmで1mm以上(クラックスケール測定)のものが多く、間隔は約3.5~5.0mが多い。(間隔は、版端からの距離も含む)
- ⑥ 目地幅は、3.2mmカッター目地が4.0~7.0mmに広がっている。(11月測定)

3-2 ひびわれの原因と考察

ひびわれ原因は、状況から推察すると樹脂混合物舗装の温度収縮に関連しているものと思われるが、これらを明確にするため次の試験をおこなった。

- イ) ひびわれ箇所の切り取り観察。
- ロ) エポキシ樹脂混合物の熱膨張係数の測定。

ハ) エポキシ樹脂混合物の応力-ひずみ試験。

ニ) 樹脂混合物の引張り強度試験。

試験ならびに結果は、以下の通りである。

イ. 切り取り観察： ひびわれ断面は、写真-1に示す通り表面部からアスファルト中間層に至りV字形状になっているが、同様な形状で下端迄達しているものもある。又、破断面は骨材に見られず樹脂との付着部分である。樹脂混合物とアスファルト付着面の剝離は認められない。

ロ. 熱膨張係数試験： S・Lタイプ共-5.0～20.0℃の領域で測定したが、平均Sが $1.299 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ Lが $1.479 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ である。

ハ. 応力とひずみ試験： S・L共-6.0℃と常温状態で試験したが結果は、表-2の通りである。

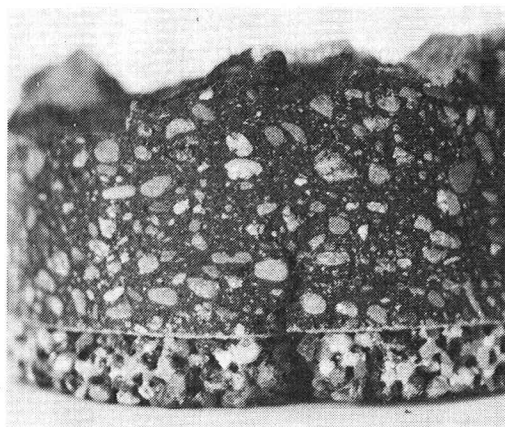


写真-1

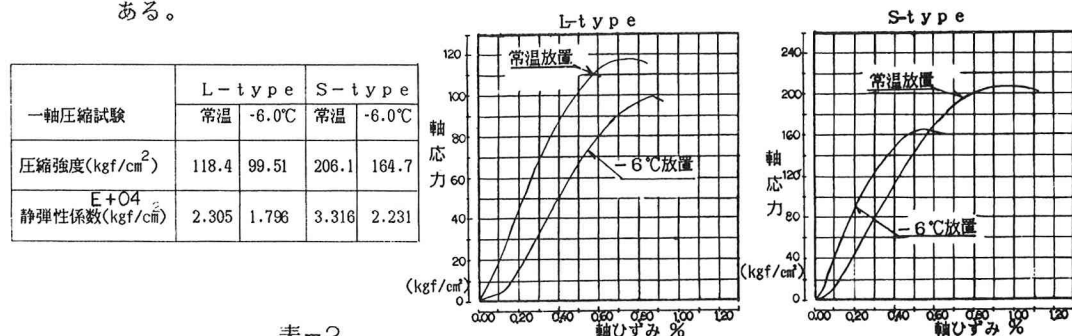


表-2

ニ. 引張り試験： S・L共常温で曲げ引張り試験を行い次の値を得た。(4.0×4.0×16.0cm 供試体) s-type=82.9kgf/cm² L-type=47.0kgf/cm²

<考 察>： コア採取による切り取り試験観察では、上層樹脂混合物の温度収縮応力により下層アスファルト合材が、追従したものと推察されるが、これらは通常歩道アスファルト面には目地が無い状態で施工されても直ちに顕著で規則的なひびわれが発生しない事からも言える。又、熱膨張の面から考えても、間山氏らのHooksとGoetz研究紹介や、小栗氏ならびに上島氏らの報告によりアスファルト合材の線膨張係数は、 $2 \sim 3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ と言われる値に対しエポキシ樹脂混合物の試験値は、 $1.3 \sim 1.5 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ で樹脂混合物がアスファルト合材より大きい値である。(樹脂混合物の膨張係数は、月成氏らのエポキシ樹脂モルタル性状の報告とやや類似している。)

圧縮試験による応力-ひずみ曲線からは、温度領域差による差異があり-6℃の低温域で強度低下がみられるものの静弾性係数は、概ね $1.80 \sim 3.32 \times 10^4$ (kgf/cm²)であり月成氏らのたわみ量から求めた樹脂モルタル弾性係数38,000～96,000kg/cmよりやや小さな値が求められた。

引張り試験においては、エポキシ樹脂単体での試験報告例はみられるが、樹脂混合物の試験報告例はあまり例がなく、本試験値の曲げ引張強度試験の結果82.9～47.0kgf/cm²で、使用樹脂単体の試験値250kg/cm²(メカ資料より)の約19～33%である。

以上の試験・観察より、ひびわれの主な原因は上層版熱収縮からの引張り応力によるものと考えられる所であるが、上層と下層の剝離が無い事から下層アスファルトをも考慮した2層複合版として、上下

層の収縮ひずみ差による応力解析式を使用して引張り応力を算出してみる。

3-3 複合2層版の収縮ひずみ差による応力解析

社団法人セメント協会の「複合コンクリート舗装の設計方法に関する文献調査」により紹介された Ghoshらの解析結果は、上層と下層コンクリート版の乾燥収縮ひずみ差によって生じる応力を解析している。ここで乾燥収縮ひずみ差を温度収縮ひずみ差に置き換えて考える。以下、文献からの解析式を引用して紹介すると

複合版に生ずる曲げ応力は、上層は一般に上下面ともに引張りで下層は、上面が圧縮、下面には引張りが作用する。これら上層の曲げ応力を f_1 、 f_2 とすると (図-5)

$$f_1 = n \cdot E_o \cdot \varepsilon \cdot h_o \left(\frac{1}{n \cdot h_o} - \frac{1}{n \cdot h_o + h_u} - \frac{C \cdot Y_1}{I} \right)$$

$$f_2 = n \cdot E_o \cdot \varepsilon \cdot h_o \left(\frac{1}{n \cdot h_o} - \frac{1}{n \cdot h_o + h_u} - \frac{C \cdot Y_2}{I} \right)$$

h_o, h_u : 上層, 下層の厚さ

ε : 相対的なひずみの差

$n = E_o / E_u$: 上層と下層のヤング係数比

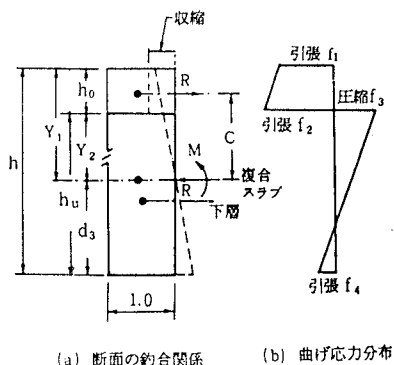


図-5

$$Y_1 = (n \cdot h_o + 2 \cdot h_o \cdot h_u + h_u) / 2 (n \cdot h_o + h_u)$$

$$Y_2 = (-n \cdot h_o + h_u) / 2 (n \cdot h_o + h_u)$$

$$I = (n \cdot h_o + 5 \cdot n \cdot h_o \cdot h_u + 6 \cdot n \cdot h_o \cdot h_u + 4 \cdot n \cdot h_o \cdot h_u + 4 \cdot n \cdot h_o \cdot h_u + 6 \cdot n \cdot h_o \cdot h_u + 5 \cdot n \cdot h_o \cdot h_u + h_u) / 12 (n \cdot h_o + h_u)$$

$C = (h_o \cdot h_u + h_u) / 2 (n \cdot h_o + h_u)$: 上層, 複合版の中立軸間の距離

これら上式に、試験値ならびに文献による値を次の様に代入した

$h_o = 1 \text{ cm}$, $h_u = 3 \text{ cm}$, $\alpha_o = 1.3 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$, $\alpha_u = 3 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, 温度変化 22°C として $\varepsilon = 2.2 \times 10$

$E_o = 3.3 \times 10 \text{ kgf/cm}^2$, $E_u = 5 \times 10 \text{ kgf/cm}^2$ (脆性領域の傾き), $n = E_o / E_u = 0.66$

結果、引張り応力 $f_1 = 23.1 \text{ kgf/cm}^2$, $f_2 = 40.1 \text{ kgf/cm}^2$ となった。

4. まとめ

2層版解析式の結果から理論値引張り応力が試験値より小さく、ひびわれが発生しない事になり線膨張係数の相違による上・下層の収縮差応力だけでは、ひびわれ発生の原因を説明できない。

これらは、下層アスファルト合材の物性が初期温度や温度勾配により熱応力の大きさが異なること、路盤との摩擦、深度による温度分布の違いなどが深く関連しているものと思われる。又、曲げ引張り試験値は、引張り試験値より大な値がでてくる事が知られている。

一方、現状から同時期に同様な仕様に施工された歩道部アスコンが、顕著なひびわれをしていない事に注目すると、アスコン自体のバインダー力により熱応力に耐えているものの、上層樹脂混合物の線膨張係数が下層より大な為ひびわれを助長した事も考えられる。したがって上層樹脂混合物の温度応力のうち軸変形に対する外部拘束作用から生じる応力のみを考えると、 $\sigma_{ot} = R_o \cdot E_o (\alpha_o \cdot \theta)$ となる。ここで、 σ_{ot} : 軸方向温度応力 kgf/cm^2 , R_o : 軸拘束係数, θ : 温度差, 今、樹脂混合物の厚さに対し版長が著しく長い事や $E_o / E_u = 0.66$ を考慮し $R_o \approx 1.0$ とすると、 $\sigma_{ot} = 94.4 \text{ kgf/cm}^2$ となり拘束軸力のみでひびわれが発生する事になる。しかし、ひびわれが版端から 3.5~5.0m の箇所に多く発

生する理由は、明かでない。以上、試験の結果などから要約すると、

- ①、本施工で採用したエポキシ樹脂混合物の物性は、線膨張係数が $1.299 \sim 1.479 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ (s-type < L-type)、静弾性係数は $1.8 \sim 3.3 \times 10 \text{ kgf} / \text{cm}^2$ で低温放置状態 (-6°C) のものが常温状態より値が小さい。曲げ引張り強度試験による引張り強度 (参考値) は、 $47.0 \sim 82.9 \text{ kgf} / \text{cm}^2$ で $L < S$ である。
- ②、ひびわれ発生の原因は、上層エポキシ樹脂混合物と下層アスファルトコンクリートの収縮ひずみ差による応力のみが原因ではなく、その他の原因も深く関連している。
- ③、ひびわれを防止する手段としては、熱による体積変化が少なく、アスコンと同程度の性状 (特に熱応力に対する性状) となるべく樹脂混合物バインダーの開発が望まれる。
- ④、ひびわれ発生状況図および本年施工実績から、応力を集中解放させる為の横収縮目地間隔 (誘発効果含む) は、Sタイプ-3.5m、Lタイプ-5.0m 程度を最大として施工時期も考慮設置し、断面欠損部には目地を設ける。

5. おわりに

舗装面の美観性と感触性による環境演出効果を目的として採用された本工法が、ひびわれの発生あるいは目地線の多用により本来の目的から疎遠となる事は好ましいとはいえない。

本稿ではエポキシ樹脂混合物のひびわれの原因を明確にするに至らなかったが、これら研究の先駆者ならびに諸先生らの御批判およびサジェッションが頂ければ幸いと存じます。

今後、豊かさと魅力ある住環境づくりのニーズは多様化され、本工法はさらに漸増してゆくものと思われるが、設計・施工時の一助として本稿が役立つ事を期待しているものです。

執筆にあたり御指導、御協力頂いた秋田高専土木工学科、小梁川、堀江、米谷氏、ヤブ原産業、高橋氏、(株)コスミック、中村氏には、本頁を借りて深く謝辞を述べます。

<参考文献>

- 1) 金井 格 他： 人のための道と広場の舗装 技報堂出版 (株)
- 2) 間山 正一： アスファルト舗装の温度応力 ”アスファルト” Vol.14、N077、P-11～18
- 3) 森吉 昭博、菅原 照雄： アスファルト混合物の熱応力に関する研究 (第2報)、第14回日本道路会議論文集、P-247～248
- 4) 月成 稔、小島 逸平： 薄層舗装用エポキシ樹脂モルタルの性状、第10回日本道路会議論文集、P-235～236
- 5) 小栗 学、久保 宏、熊谷 茂樹、猪口 弘勝： アスファルト混合物の温度伸縮、北海道開発局技術研究発表会論文集、Vol.24 th (1980) P-260～267
- 6) 社団法人セメント協会道路対策専門委員： 複合コンクリート舗装の設計方法に関する文献調査 昭和58年5月、p-11～14
- 7) コンクリート標準示方書： 昭和61年制定