

供用後50年経過した舗装の切取供試体の性状について ～ 一般国道36号 弾丸道路 削孔調査報告 ～

Characteristics of asphalt pavements aged 50 years after the construction
～ A report on the excavation survey of national route #36, "the Bullet Road" ～

(独)北海道開発土木研究所 ○正員 渡辺 真善 (Masayoshi Watanabe)
 (独)北海道開発土木研究所 正員 岳本 秀人 (Hideto Takemoto)
 (独)北海道開発土木研究所 正員 吉井 昭博 (Akihiro Yoshii)
 (社)北海道舗装事業協会舗装研究所 滝澤 勇一 (Yuichi Takizawa)
 (社)北海道舗装事業協会舗装研究所 佐々木 博志 (Hiroshi Sasaki)

1. まえがき

平成15年11月2日をもって国道36号札幌・千歳間一通称弾丸道路が開通して50周年を迎えた。この道路について特筆すべき点に延長34.5kmの改良・舗装工事をわずか一年で完成させたことや、当時最新技術であったアスファルト舗装を採用し、また、寒冷地特有の問題に対して様々な技術やアイデアが試されその後の道路舗装技術の発展に大きく寄与した点などが上げられる。今回、この50年を経過した舗装体からコア供試体を採取し、観察や室内試験を行いその性状を評価して行くこととした。

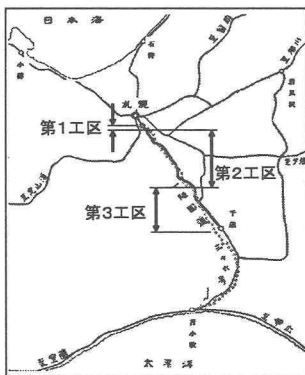


図-1 位置図
(破線は現路線)

2. 弾丸道路の概要

弾丸道路の舗装工法は地域的条件等により3工区に分けられている。(図-1)第1工区、豊平-月寒間2km440mは札幌市市街区間でここは前後の既設舗装と統一を計ることからコンクリート舗装が採用された。(図-2)第2工区、月寒-島松間18km500mは主として山間丘陵地である。ここは切盛土が著しい工区で路床の不等沈下が続くことが予想されていたこと、山間部で曲線、勾配が多いことなどから維持修繕が全線を通じて最も多くなることが見込まれたため、アスファルト舗装が採用された。(図-3)第3工区、島松-千歳間13km600mの台地部は、一般車両交通の他に多数の演習車のような重車両が加わり、全線で最大の交通量と交通加重を持っていた。既設のコンクリート舗装の摩耗も激しい状況であったため、アスファルト舗装の修繕の容易さとコンクリート舗装の高耐久性を組み合わせたコンポジット構造の断面が採用された。(図-4)また、現道交通確保や資材輸送のための仮道も併走して施工され、当時としては珍しい画期的な設計がなされていた区間でもある。

第1工区、豊平-月寒間2km440mは札幌市市街区間でここは前後の既設舗装と統一を計ることからコンクリート舗装が採用された。(図-2)第2工区、月寒-島松間18km500mは主として山間丘陵地である。ここは切盛土が著しい工区で路床の不等沈下が続くことが予想されていたこと、山間部で曲線、勾配が多いことなどから維持修繕が全線を通じて最も多くなることが見込まれたため、アスファルト舗装が採用された。(図-3)第3工区、島松-千歳間13km600mの台地部は、一般車両交通の他に多数の演習車のような重車両が加わり、全線で最大の交通量と交通加重を持っていた。既設のコンクリート舗装の摩耗も激しい状況であったため、アスファルト舗装の修繕の容易さとコンクリート舗装の高耐久性を組み合わせたコンポジット構造の断面が採用された。(図-4)また、現道交通確保や資材輸送のための仮道も併走して施工され、当時としては珍しい画期的な設計がなされていた区間でもある。

3. 切取供試体の性状

今回、各試験に使用したコアは、以下の箇所より採取した。コアの採取箇所および本数について表-1に示す。

表-1 コア供試体採取状況

工区	採取位置	舗装構成	採取本数
1工区	豊平3条9丁目付近	表層:手打ちコンクリート	8
	月寒3条8丁目付近	表層:手打ちコンクリート	4
2工区	島松工区 北広島市島松112付近	表層:中粒式アスコン	12
		基礎:7スファルマダム	
3工区	千歳工区 千歳市錦町1~4丁目	表層:細粒式アスコン	13
		基礎:転圧式コンクリート	

1工区は、表層がコンクリート20cm、基層が切り込み砂利40cm、路盤は既設の路盤で設計されている。採取したコアより(写真-1)コンクリート舗装上に13cm以上のオーバーレイが見受けられる。コンクリート層では、設計厚の20cmよりも供試体厚が小さい部分もあった。不健全なコアは2本だけであったが、そのうち1本には横断クラックが入っていた。供試体の長さが設計厚を満たしていない部分もあった。

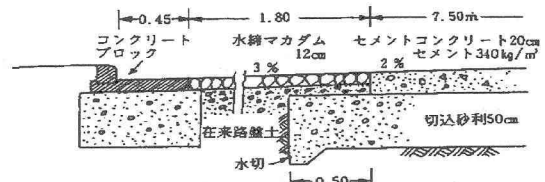


図-2 1工区 定規図

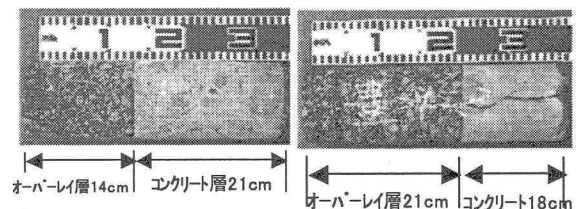


写真-1 1工区の切取りコア 左:健全部
右:不健全部
クラックが認められる

2工区は、表層が中粒式アスコン5cm、基層がアスファルトマカダム4cmと碎石基礎6cm、路盤が切込砂利20~30cmで設計されている。この工区は、凍上抑制層として火山灰を使用している。採取したコアより、(写真-2)オーバーレイは14cm以上見受けられる。層間はく離を起こしているコアが多数存在し、アスファルトマカダム部分の一部が欠損しているコアもあった。

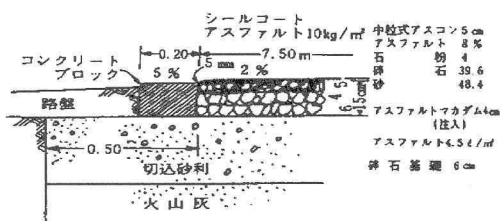


図-3 2工区 定規図

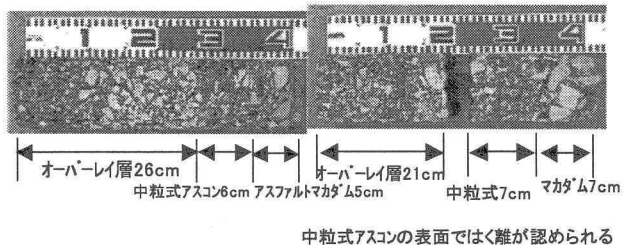


写真-2 2工区の切り取りコア 左：健全部 右：不健全部

3工区は、表層が細粒式アスコン5cm、基層が転圧コンクリート18cm、路盤が切込砂利15～30cmで設計されている。この工区も凍上抑制層として、火山灰が50cm以上適用されている。採取したコアより、(写真-3)オーバーレイが19cm以上見受けられる。層間はく離を起こしているコアが多数存在し、コンクリート部が割れている供試体もあった。

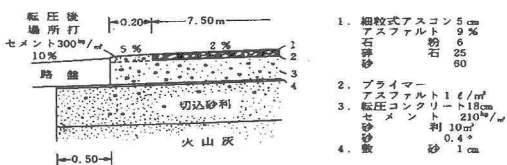


図-4 3工区 定規図

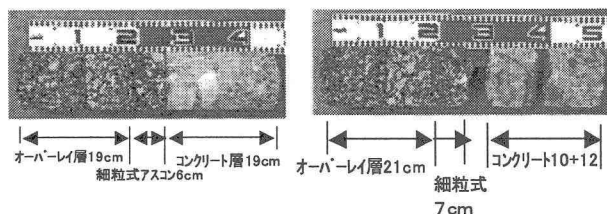


写真-3 3工区の切り取りコア 左：健全部 右：不健全部

4. 試験手法

切り取りコアの中には、アスファルトの部分とコンクリートの部分が混在しているものがあるため、今回は1層毎に評価を行う事とした。また、今回の試験趣旨よりオーバーレイ部を除き試験した。試験供試体の種類および種別について、表-2に示す。

表-2 調査試験方法種別

	表層	試験種別	基礎	試験種別
1(豊平)工区	手打ちコンクリート	コンクリート	(切り込み砂利)	(無し)
2(島松)工区	中粒式アスコン	アスファルト	アスファルトマカダム	アスファルト
3(千歳)工区	細粒式アスコン	アスファルト	転圧コンクリート	コンクリート

アスファルト混合物の試験については、「マーシャル安定度試験」と「水浸マーシャル安定度試験」を行う。アスファルトバインダーの性状試験については、コア供試体よりバインダーを回収し、「針入度試験」、「軟化点試験」、「伸度試験」、「密度試験」、SHRP試験のうち「DSR試験」を行った。コンクリートの試験では、「圧縮試験」を行い、当時の規格及び現在の規格と比較した。

5. アスファルト混合物の試験

1) マーシャル安定度試験

切り取り供試体の厚さを一定にすることが困難であったため、今回は「アスファルト舗装要項(昭和36年度版)P158」を使用し、安定度を補正した。アスファルトマカダムについては十分な厚さを有していたが、中粒式アスコン、細粒式アスコンは、規定の厚さを有していなかった。試験結果を表-3に示す。

表-3 マーシャル安定度試験 (※は参考値)

	補正前安定度 (KN)	補正後安定度 (KN)	フロー値 (cm)	混合物密度 (g/cm³)
中粒式アスコン	2.91	5.64	19	2.359
アスファルトマカダム	8.52	7.46	47	2.358
細粒式アスコン	2.83	3.47	31	2.335
密粒度アスコン13F(新材)※	-	11.06	28	2.415
密粒度アスコン13F(再生30)※	-	10.05	31	2.401
現在の規格値	-	4.9以上	20~40	2.256以上

中粒式アスコン及びアスファルトマカダムについては、現在のアスファルト混合物の規格である4.9KN以上の規格を満たしていた。当時の札幌=千歳間第二工区舗装工事仕様書によると、「舗装体は重量2200kg/m³(2.2g/cm³)以上、空隙率3～4%、ハバートフィールド安定試験値40℃にて3500以下で無ければならない」と記されている。切り取り供試体は密度と安定度において当時の規格を満足出来ていたことが分かる。(ハバートフィールド試験安定度試験については、現在の試験に相当するものがないので割愛した。)

2) 水浸マーシャル安定度試験

マーシャル試験と同様の供試体を用いて、試験を行い測定値を補正した。試験結果を表-4に示す。

表-4 水浸マーシャル安定度試験 (※は参考値)

	補正前安定度 (KN)	補正後安定度 (KN)	フロー値 (cm)	混合物密度 (g/cm³)	残留安定度 (%)
中粒式アスコン	2.77	5.5	23	2.365	97.5
アスファルトマカダム	3.78	3.09	68	2.352	41.4
細粒式アスコン	2.59	3.25	31	2.331	93.7
密粒度アスコン13F(新材)※	-	8	31	2.398	79.6
現在の規格値	-	4.9以上	20~40	2.256以上	75%以上

中粒式アスコン及び細粒式アスコンについては、現在の規格である、残留安定度75%以上を満たしている。アスファルトマカダムについては、基礎工であるためフロー値が大きくなり、残留安定度が小さい。

5. アスファルトバインダーの性状試験

1) 基礎性状試験(針入度、軟化点、伸度、アスファルト密度)

今回の調査工区で使用されたアスファルトバインダーの規格はそれぞれ違うものであるため、基本的な性状および特徴を調査した。試験調査結果を表-5に示す。

表-5 回収アスファルトバインダーの室内試験
(下段は参考値)

	単位	中粒式アスコン	Asマカダム	細粒式アスコン	現在の規格値
当時の針入度規格		60-100	120-150	60-100	—
当時のアスファルト混入量	(%)	8.0	4.9	9.0	—
現在のアスファルト含有率	(%)	7.8	4.2	8.7	3.8以上
針入度	1/10mm	37	33	31	20以上
軟化点	(°C)	54.5	55.0	56.0	—
針入度指数	(PI)	-0.77	-0.91	-0.91	—
伸度	(cm)	11.4	7.9	6.1	100+
アスファルト密度(15°C)	(g/cm ³)	1.027	1.025	1.026	—

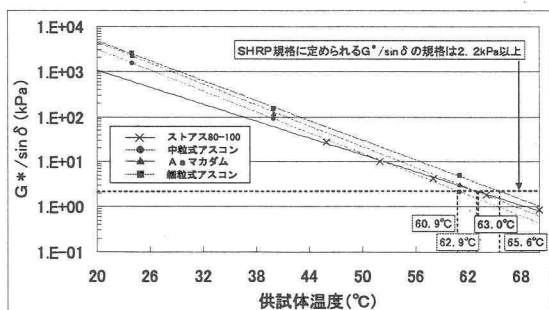
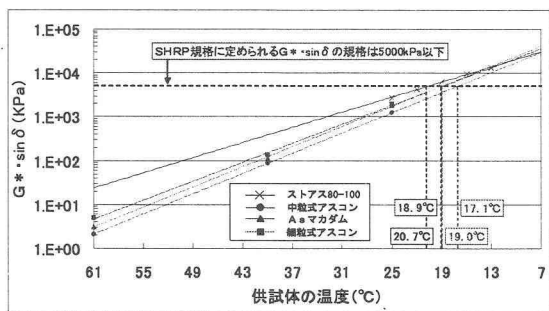
	単位	密粒度アスコン(新材)	密粒度アスコン(再生30)
針入度規格		80-100	80-100
アスファルト量	(%)	5.30	5.40
現在のアスファルト含有率	(%)	—	5.22
添加剤		—	有
針入度	1/10mm	97	86
軟化点	(°C)	45.1	47.8
針入度指数	(PI)	—	—
伸度	(cm)	100+	100+
アスファルト密度(15°C)	(g/cm ³)	1.033	1.034

針入度試験は、アスファルトの硬さを表す指標として行った。試験を行った、3種類とも針入度が30程度であり設計針入度に比べ、かなり小さい値となっていることから、大幅に劣化していると考えられる。

軟化点試験は、アスファルトのコンシステンシー（流動）を表す指標として行った。試験の結果、いずれの供試体も軟化点は55°C程度であり、比較のため参考値として示した密粒度アスコンの新材よりも多少高い傾向にあった。この試験については、劣化の影響が少ないと考えられる。

伸度試験は、アスファルトの延性を求めるために試験を行った。伸度試験の結果、いずれの供試体も6~10程度となった。施工時は現在の基準と同じく100以上の値であったとすると、大幅に劣化していると考えられる。

アスファルト密度試験については、劣化によるアスファルトの比重への影響を検討するため試験を行った。試験の結果いずれの供試体も新材の規格を満足していた。この試験からは、劣化による影響を読みとることができなかった。



※ストアス80-100はRTFOT及びPAVで劣化した後のものを用いている。

図-5 DSR試験 上:低温域
下:高温域

総じて切り取りコアから回収されたアスファルトバインダーは、新材と比べると劣化しているが、参考値に示される現在使用されている再生密粒度アスコンと比較すると劣化の程度ほとんど変わらない性状を持っている。

2) DSR試験(動的ねじりせん断試験)

DSR試験はアスファルトの高温時のコンシステンシーを求めるものである。弾丸道路のアスファルトバインダーは、供用時間が非常に長いため、現在のアスファルトと比較すると劣化していると考えられ、アスファルトが硬化していると思われたが、図-5より、ストアス80-100のPG(パフォーマンスグレード)が20,7-63,0なのに対して、中粒式アスコンは17,1-60,9、Asマカダムは19,0-62,9、細粒式アスコンは18,9-65,6ということが分かる。全体的にコアから採取したアスファルトバインダーは、RTFOTとPAVにより劣化させたストアスがとほぼ同じ性状にあると考えられる。

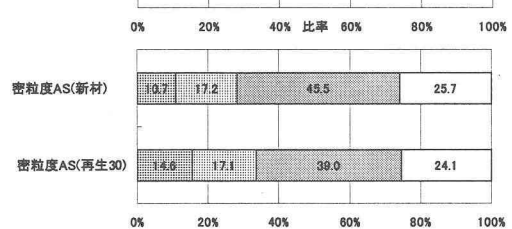
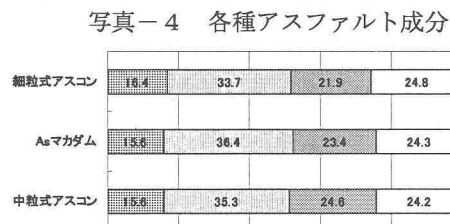
3) 組成分析試験

一般的にアスファルトは組成分析すると4つの成分に分解される。(写真-4)飽和分(無色/淡黄色の澄んだ液状物質:分子量300~2000)、芳香族分(赤褐色で粘りのある液体:分子量:300~2000)、レジン分(暗褐色で粘りのある固体または半固体:分子量500~50000)、アスファルテン(暗褐色、黒褐色の粉末固体:分子量1000~100000)。

供用されているアスファルトは、空気、水、日光、熱などの影響を受けることによって、成分が変化し劣化していく。アスファルトは劣化すると相対的に飽和分、芳香族分、が少なくなり、レジン分、アスファルテンが増加する傾向にあると言われている⁹⁾。図-6に試験結果を示す。



写真-4 各種アスファルト成分



■ アスファルテン
□ レジン分
□ 芳香族分
□ 飽和分

図-6 組成分析試験(下段は参考値)

試験の結果、採取したコアより回収したアスファルトバインダーは参考値の密粒度アスコンなどと比較して、

芳香族分が少なくなり、レジジン分が多くなる傾向にあったが、アスファルテン、芳香族分についてはほぼ同じ値になっていた。

7. コンクリートの性状試験

第1工区と第3工区に採用されたコンクリート舗装および転圧コンクリート舗装の特徴は、それぞれAEコンクリートを採用し、耐凍害性を高めた点と、高い曲げ強度を採用した点である。

1) 圧縮強度試験

試験は、「2002年度制定 コンクリート標準示方書 規準編 P295 コンクリートからのコア及びはりの切り取り方法並びに強度試験方法」に従って行った。切り取り供試体は、研磨による成型を行い、供試体高さとの比により試験値を補正した（補正はP296を準用した）。測定結果を表-6表に示す。

表-6 コンクリートの圧縮試験

	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	見掛け密度 (kg/m ³)
1工区 人力施工コンクリート	32.0	4.92 [※]	2,278
3工区 転圧コンクリート	38.1	5.86 [※]	2,437
開発局コンクリート 舗装基準(案) ¹⁾	24.5	3.64	-
現在の各種基準 ²⁾	-	4.41~4.90	2,344

1) 規格値は、昭和28年度 北海道開発局コンクリート舗装示方書(案)より抜粋し、S1単位に変更している。
2) 曲げ強度はわが国コンクリート舗装要項(s59)および転圧コンクリート舗装技術指針(案)(H2)より抜粋。
見掛け密度は道路構示方書・同解説、Ⅲコンクリート規準より抜粋
※曲げ強度は「森北出版 コンクリート工学P73」の規準より圧縮強度の0.5分の1として推定している。

コア別の圧縮強度の試験結果を図-6に示す。圧縮強度のばらつきは、1工区より3工区の方が大きい。1工区および3工区のすべての切り取りコアにおいて、昭和28年度の設計基準強度 $f_c = 24.5 \text{ N/mm}^2$ 満足していた。特に3工区は重交通であったため、高い曲げ強度を必要として転圧コンクリートを採用していたが、当時の曲げ強度の基準値である $f_b = 3.64 \text{ N/mm}^2$ を満足するとともに、現在の「セメントコンクリート舗装要領」や、「転圧コンクリート舗装技術基準(案)」の基準値をも満足する結果となっている。

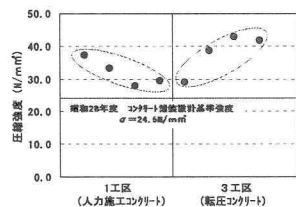


図-7

コア供試体の圧縮強度

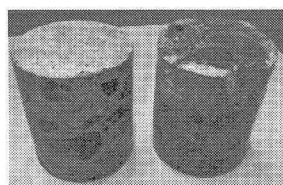


写真-5 コア供試体
(左:1工区 右:3工区)

1工区および3工区における、切り取りコアの状況を写真-5に示す。写真中右側のコア上面にはひび割れ防止のために入れた鉄網と、付近に発生したあばた(締め固め不足による空隙)が見られる。

8. まとめ

室内試験によって得られた結果を以下に述べる。

1) 供試体の観察

○1工区は、破損したコアが少なく良好であった。

○2工区は、アスファルトマカダム部分が破損したコアが多く、さらには、中粒式アスコン表面ではく離しているコアもあった。

○3工区は、基礎の転圧コンクリートが割れている供試体が多く、コンクリートと表層の細粒式アスコンとが層間はく離していた。

2) アスファルト混合物の試験

○基礎として施工されたアスファルトマカダムは、浸透水に弱い傾向にある。

○細粒式アスコンは、マーシャル安定度が低い傾向にある。

3) アスファルトバインダーの試験

○採取コアより回収したアスファルトバインダーの性状は、針入度、軟化点、伸度において参考値である再生As骨材付着バインダーより劣化している状態にあるが、DSR試験では、ストレートアスファルトを劣化させたものと同等程度の値を示していた。

○組成分析試験では、参考値の密粒度アスコンと比較してみると、芳香族分が少なく、レジジン分が多い傾向となり、飽和分やアスファルテンの割合はほとんど変わらなかった。

4) コンクリートの試験

○どちらの工区も現在の規格を満足していた。転圧コンクリートの方が強度が高い状態にあった。

9. あとがき

半世紀を経過した構造物が現存し、これを評価するという機会に恵まれたことは、技術者として大変光栄である。結果としては、構造的に小規模な破壊を呈している箇所が見受けられたが、アスファルトやコンクリートの材質自体にはなんら申し分なく今でも使用に耐えられていることが確認でき、当時の見識の高さが再確認されたとと言える。今回は基層部までの基本的、断片的な評価となったが、10月27日に2工区の開削調査をしており、これらから路盤や凍上対策された路床部などの評価を加え今後の資料としていきたい。

最後に、本調査は北海道土木技術会舗装研究所と共同で実施したものであり、笠原篤委員長をはじめ御助言、御指導いただいた委員のみなさまに謝辞を表する次第である。

参考文献

- 1) 北海道開発局:「道路河川仕様書」
- 2) アスファルト舗装要項(昭和36年度版):(社)日本道路協会
- 3) 谷口、伊藤;アスファルトの劣化、アスファルトVOL33、平成2年5月
- 4) コンクリート標準示方書 規準編(2002年度版)、(社)土木学会
- 5) コンクリート工学(1985年版)、森北出版
- 6) 1級国道36号線 札幌一千歳道路 工事報告(昭和57年8月 北海道開発局札幌開発建設部)