

弾丸道路 舗装開削調査 舗装採取コアの室内試験

調査目的

供用されてから50年経過した弾丸道路の舗装について切取り供試体を採取し、舗装材料の長期的な劣化や耐久性について評価を行う。

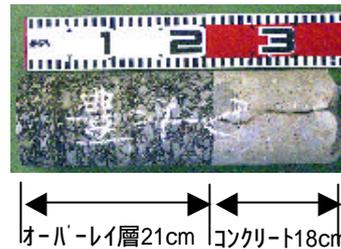
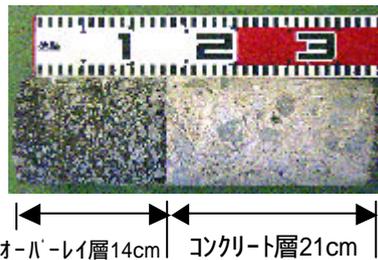
1. 調査箇所の舗装構成と切取りコアについて

弾丸道路には、3つの工区（1工区：豊平＝月寒工区；2工区：月寒＝島松工区；3工区：島松＝千歳工区）があり、それぞれ異なる舗装断面をしている。幅員はどの工区も7.7mであり、端部の0.2mが路肩となっている。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は以下に示す。

コアの採取箇所、本数、コアの状況

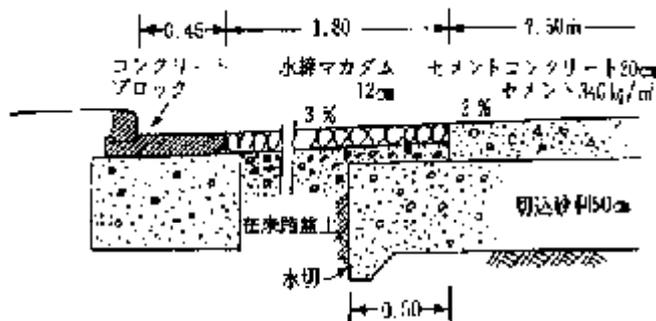
	工区	採取位置	舗装構成	採取本数	内部の破壊	層のはく離	上部工はく離
1工区	豊平工区	豊平3条9丁目付近	表層 手打ちコンクリート	8	1	0	0
	美園工区	美園3条8丁目付近	表層 手打ちコンクリート	4	0	1	0
2工区	島松工区	北広島市島松112付近	表層 中粒式アスコン	12	0	2	2
			基礎 アスファルトマダム		4	0	
3工区	千歳工区	千歳市錦町1～4丁目	表層 細粒式アスコン	13	0	7	0
			基礎 転圧式コンクリート		5	7	

いずれの工区のコアも7月28日に採取している。



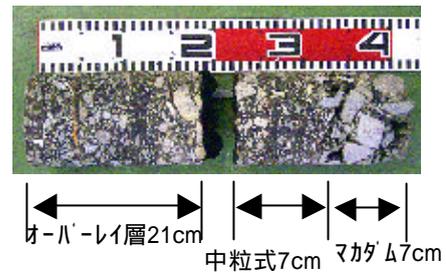
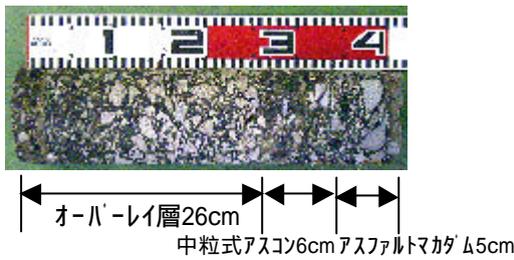
クラックが認められる

1工区の切取りコア健全部（豊平 - 7） 1工区の切取りコア不健全部（豊平 - 2）



1工区 定規図

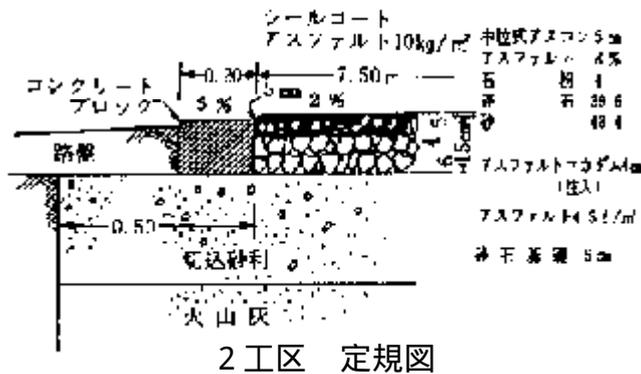
1工区は、表層がコンクリート20cm、基層が切り込み砂利40cm、路盤は既設の路盤で設計されている。採取したコアよりコンクリート舗装上に13～15cmのオーバーレイが見受けられる。コンクリート層では、設計厚の20cmよりも供試体厚が小さい部分もあった。不健全なコアは2本だけであったが、そのうち1本には横断クラックが入っていた。



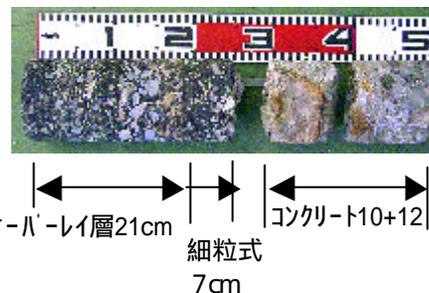
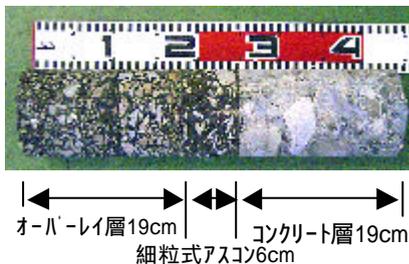
2工区の切取りコア健全部 (島松 - 17)

中粒式アスコンの表面では離れが認められる

2工区の切取りコア不健全部 (島松 - 13)



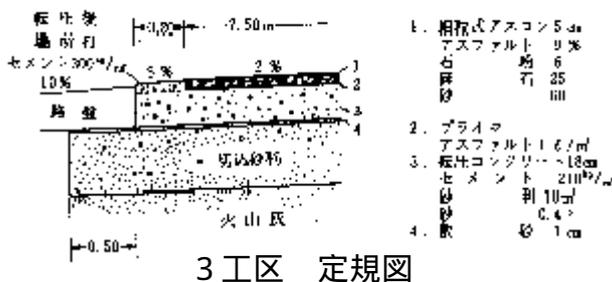
2工区は、表層が中粒式アスコン5cm、基層がアスファルトマカダム4cmと碎石基礎6cm、路盤が切込砂利20～30cmで設計されている。この工区は、凍上抑制層として火山灰を使用している。採取したコアより、オーバーレイは26cm見受けられる。層間にはく離を起こしているコアが多数存在し、アスファルトマカダム部分の一部が欠損しているコアもあった。



3工区の切取りコア健全部 (千歳 - 9)

転圧コンクリート中程でクラックが入っている。
コンクリート表面では離れが認められる。

3工区の切取りコア不健全部 (千歳 - 5)



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。切取りコアより、オーバーレイが19cm程度見受けられる。層間に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。

2. 試験手法

切取りコアの中には、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は以下の表に示す。

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

コンクリートの試験については、「圧縮試験」を行い、当時の規格及び現在の規格と比較した。アスファルト混合物の試験では、「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」を行った。

路盤・路床の試験については、開削調査を行う2（島松）工区のみでおこなわれ、切込砂利、火山灰、路床土の3つの供試体について行う。

3. アスファルト混合物の試験

1) マーシャル安定度試験結果

切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。試験結果を以下に示す。

マーシャル安定度試験結果

	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/cm ³)
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(参考)	-	10.05	32	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。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」とかかかれている。切取り供試体は密度と空隙率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)。

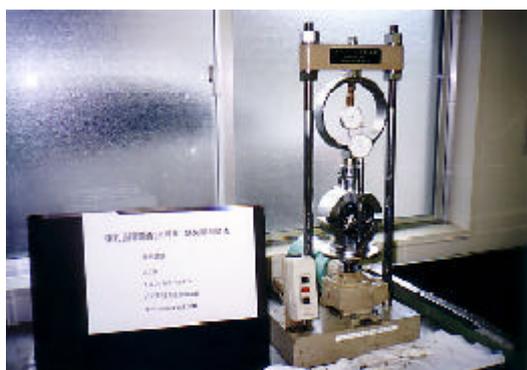
2) 水浸マーシャル安定度試験結果

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。試験結果を以下に示す。

水浸マーシャル安定度試験結果

	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/cm ³)	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(参考)	-	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。



マーシャル安定度試験状況

4. 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。試験調査結果を以下の表に示す。

回収アスファルトバインダーの室内試験結果

	単位	中粒式アスコン	Asマカダム	細粒式アスコン	規格値
当時の針入度規格		60-100	120-150	60-100	-
当時の混入量	(%)	8.0	4.9	9.0	-
現在の含有率	(%)	7.8	4.2	8.7	3.8%以上
針入度	1/10mm	37	33	31	20以上
軟化点	()	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	-
アスファルト密度(1.5)	(g/cm ³)	1.027	1.025	1.028	-

Asマカダムとは、アスファルトマカダムの略である。

中粒式アスコンについては、舗装上にシールコートを施工しており針入度100-150が100m²に0.12%散布されている。

アスファルトマカダムについては、プラントでの練りませではなく、碎石の敷均し後散布している。

(参考値)

	単位	再生As骨材(参考)	再生50%密粒度(参考)
当時の針入度規格		80-100	80-100
当時の混入量	(%)	-	-
現在の含有率	(%)	5.9	5.9
針入度	1/10mm	31	86
軟化点	()	49.1	47.8
針入度指数	(PI)	-	-
伸 度	(cm)	10.2	100+
アスファルト密度(1.5)	(g/cm ³)	1.028	1.034

ここで示されている再生As骨材とは、平成14年9月にAプラントより採取した再生As骨材よりアスファルトを回収して試験を行った値を示している。

ここで示されている再生50%密粒度とは、前項の再生As骨材を50%混合して作製した密粒度アスコンよりアスファルトを回収して試験を行った値を示している。

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程度であり、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(伸びる割合)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。劣化する前は100以上の値であったため、大幅に劣化していることが分かる。

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製品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。

総じて切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、参考値に示される再生骨材と比較するとほとんど変わらない性状を持っている。

コンシステンシー：物質の変形に対する抵抗性(力、流動性)を指す。



針入度試験状況



軟化点試験状況



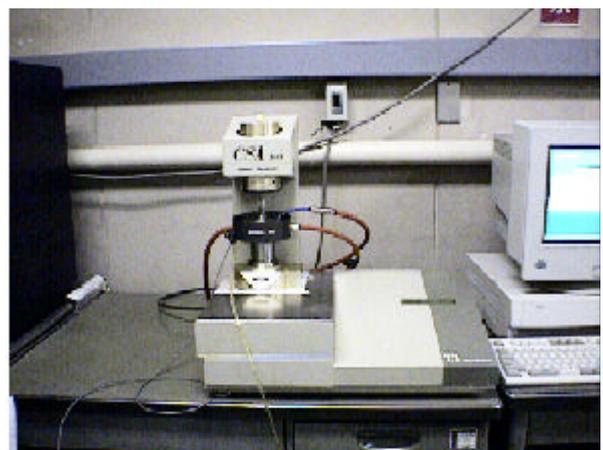
伸度試験状況



アスファルトの密度試験状況



B B R 試験装置

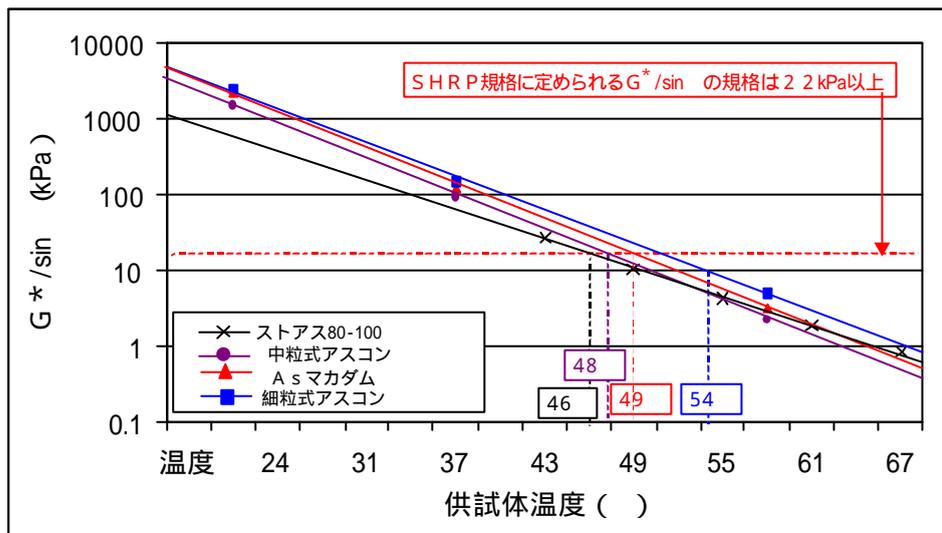
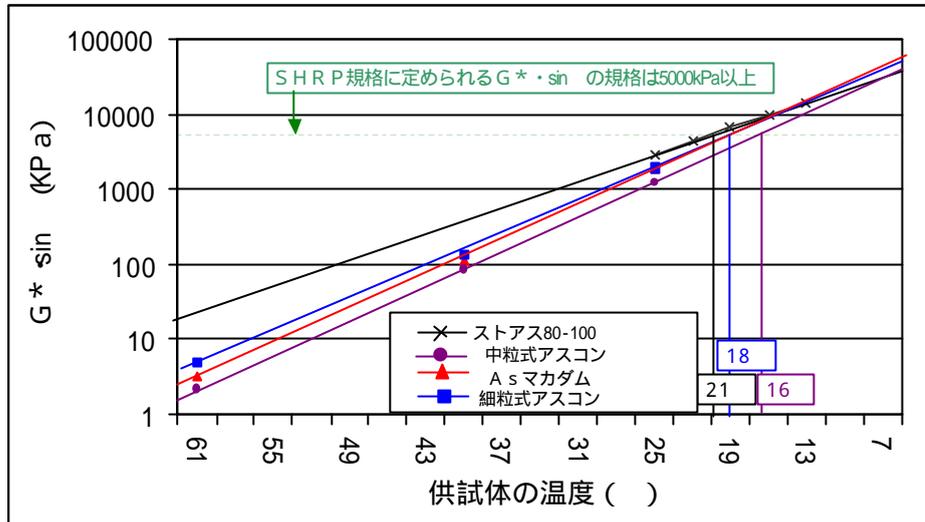


D S R 試験装置

2) シャープ試験結果 (DSR試験、BBR試験)

DSR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る。以下に試験結果を示す。



以上の図より、ストアス80-100のPG (パフォーマンスグレード) は21-46、中粒式アスコンは16-48、Asマカダムは18-49、細粒式アスコンは18-54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とほぼ同じ性状にあるといえる。ただし高温領域における変形状は、採取アスファルトが若干上となる。

BBR試験結果

BBR試験はアスファルトの低温時におけるひびわれ易さを調査するものである。データは解析途中のため、-6における性状値を示す。

	時間 (S)	載荷重 (N)	たわみ (mm)	スティフネス(Mpa)		差 (%)	m値
				実測	計算		
ストアス80-100	60	0.9989	1.961	41.09	41.03	-0.1509	0.484
Asマカダム	60	0.987	1.036	76.8	76.9	0.13	0.419
細粒式アスコン	60	0.983	1.196	66.3	66.2	-0.151	0.417
中粒式アスコン	60	0.986	1.517	52.4	52.3	-0.191	0.457

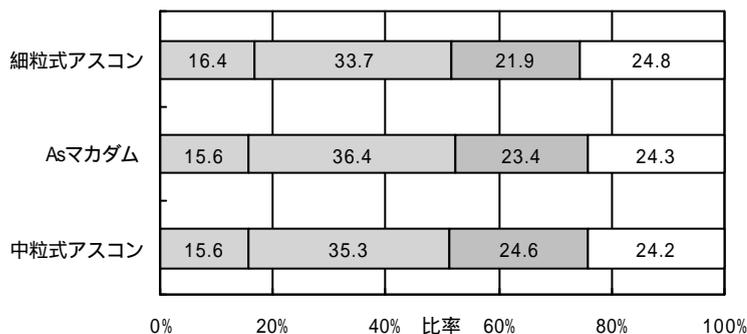
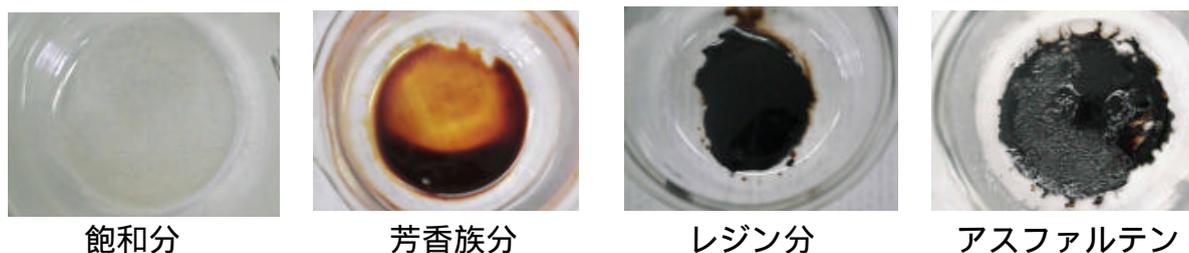
試験値はすべて-6の時のデータである。

3) 組成分析試験結果

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。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³⁾。以下に試験結果を示す。



組成分析試験結果



(参考値)

ここで示されている再生30%密粒度とは、平成11年8月にBプラントより採取した再生As骨材を30%混合して作製した密粒度アスコンよりアスファルトを回収して試験を行った値を示している。

ここで示されている密粒度アスコンとは、平成11年11月に作製した新材の密粒度アスコンよりアスファルトを回収して試験を行った値を示している。

ここで示されている線上クラック箇所とは、平成9年に新千歳空港の滑走路より採取されたコア(平成元年施工)より回収されたアスファルトを使用して試験を行った値を示している。

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。

5. 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。

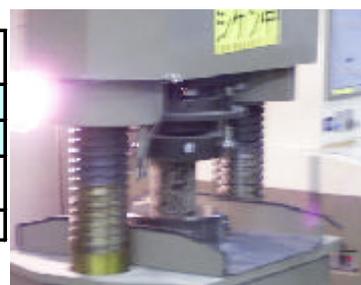
1) 圧縮強度試験結果

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取り方法並びに強度試験方法」に従い行った。切取り供試体は、研磨による成型を行い、供試体高さと直径の比により試験値を補正した(補正はP296を準用した)。測定結果を表に示す。

コンクリートの圧縮試験結果

	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、SI単位に変更している。
2) 曲げ強度はセメントコンクリート舗装要領(s59)および転圧コンクリート舗装技術指針(案)(H2)より抜粋。
見掛け密度は道路橋示方書・同解説、コンクリート橋編より抜粋
曲げ強度は「森北出版『コンクリート工学P73』の根拠より圧縮強度の6.5分の1として推定している。



試験の様子

コア別の圧縮強度の試験結果を下図に示す。圧縮強度のばらつきは、1工区より3工区の方が大きいですが、1工区および3工区のすべての切取りコアにおいて、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。

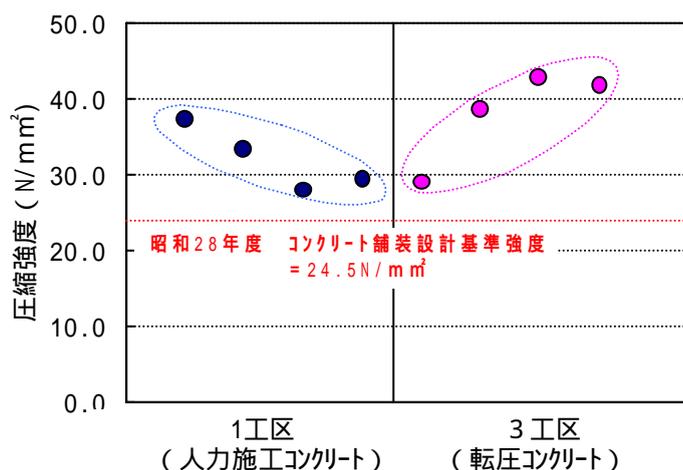


図 切り取りコアの圧縮強度



写真 切り取りコア
(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右上の写真に示す。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。

中性化試験については現在試験中である。

6 . 切取り供試体における室内試験のまとめ

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が、供試体の長さが設計厚を満たしていない部分もあった。

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

基礎として作製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、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、D S R 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。

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