

1. はじめに

循環型社会の実現に向けて、いわゆるリサイクル法、建設リサイクル法といったリサイクルに関する法体系の整備が進められている。これに伴い、建設副産物対策も順調に進んでおり、平成12年度では、平成7年度と比較すると、建設廃棄物全体でみて排出量は、9,900万トンから8,500万トンと約15%減少したにもかかわらず、再資源化等の量は5,800万トンから7,200万トンへと上昇している（排出量に対する再資源化等量の比率は58%から85%へ上昇）。建設廃棄物のうち、舗装工事の対象となるアスファルトコンクリート塊ならびにコンクリート塊の再資源化等の率はそれぞれ98%、96%となっている。

空港舗装の建設ならびに補修工事における再生材料の利用方策についても積極的に取組みが行われてきている。その基本的な考え方は道路舗装の場合と大きく変わるものではない。すなわち、現時点では、主としてアスファルトコンクリート塊は再生加熱アスファルトコンクリートとして、コンクリート塊は路盤用砕石として利用されている。ただし、高速で走行する航空機の安全性を確保するとの観点から空港独自の規準も採用されている¹⁾。具体的には、再生加熱アスファルトコンクリートは再生率（全骨材中に占める再生骨材の割合）40%を上限として、表層以外の箇所に限って使用するというものである。

社会基盤施設の整備事業が新設から維持・補修へ移っているが、空港も例外ではない。この場合、空港舗装の補修工事等により不要となった既存部分の材料は、他所からのものに比べて品質が優れていると考えられることから、現場内で再利用することが望まれる。しかし、現時点で可能とされている上記の使用方法では、発生量全てに対処できない恐れが強いことから、新たな利用方法について検討することが必要となった。

一方、既存施設の解体等に伴う廃棄物がないときには、他所からの材料の受け入れを考慮しなければならない。しかし、この場合には材料の品質が十分ではない恐れがあるという問題が生ずる。そのため、これら材料の空港舗装への適用性について検討しなければならない。

以上の点に対応するために、アスファルトコンクリート塊、コンクリート塊を空港舗装の表・基層またはコンクリート版ならびに路盤として再利用する方策について検討を行っている。本資料は、このうちアスファルトコンクリート塊の安定処理路盤材への適用性とコンクリート塊のコンクリート版への適用性を中心にまとめたものである。なお、後者においては、市中プラントから

入手可能な材料についても検討の対象としている。

2. アスファルトコンクリート塊の再生利用

既設アスファルト舗装の解体に伴って発生するアスファルトコンクリート塊（以降アスファルト破砕材と称す）の再生利用方法としては、路盤材料と表・基層を対象とした加熱アスファルトコンクリートの二つに分けて検討した。

2.1 路盤材料としての再生利用

アスファルト破砕材を路盤に用いる場合には、粒状材料として使用する方法が一般的であり、その感温性に富む性質や保存中の性状変化等の問題から、安定処理して用いる事例は少ないものと思われる。しかし、安定処理路盤とすればより有効利用を図ることが可能となることから、ここではアスファルト破砕材を再生路盤材として再利用することを目的として試験を行った。具体的には、アスファルト破砕材を、再生セメント安定処理材、再生乳剤安定処理材、再生セメント乳剤安定処理材に加えて、再生加熱アスファルト安定処理材ならびに再生粒状材の5種類の再生路盤材として利用することを考えて、これらを対象として室内試験を行った。

(1) 使用材料

本試験で使用した材料について、アスファルト破砕材、補足材、添加材（アスファルトならびにアスファルト再生用添加剤）に分けて示す。

a) アスファルト破砕材

使用したアスファルト破砕材は、東京国際空港の既設アスファルト舗装の解体により発生したものである。これを骨材再生プラント施設で破砕して、20～13mm、13～5mm、5～0mmの3種類の粒度に分級し、所定の割合で再配合した。

アスファルトが付着したままのアスファルト破砕材を3種類の粒度範囲に分級した場合の通過質量百分率を表-1に、また、比重ならびに吸水率を表-2に示す（この場合、5～0mmのものについては5～2.36mm、2.36～0mmに分けている）。これらの破砕材からソックスレー抽出法によりアスファルトを抽出して、アスファルト含有量を測定するとともに、骨材の粒度分布を調べた。その結果を表-3に示す。

表-1 アスファルト破砕材の粒度分布

ふるい目の呼び寸法 (mm)	粒度範囲 (mm)		
	20~13	13~5	5~0
37.5	100.0		
26.5	100.0		
19.0	94.4	100.0	
13.2	10.0	93.2	100.0
4.75	0.8	8.6	95.2
2.36		1.2	51.4
0.60		0.6	10.4
0.30		0.4	3.9
0.15		0.3	1.1
0.075		0.1	0.4

(単位：%)

表-2 アスファルト破砕材の比重ならびに吸水率

項目	粒度範囲 (mm)			
	20~13	13~5	5~2.36	2.36~0
表乾比重	2.553	2.531	2.407	2.300
かさ比重	2.533	2.507	2.358	2.261
見掛比重	2.583	2.567	2.479	2.352
吸水率 (%)	0.75	0.94	2.06	1.71

表-3 アスファルト含有量と抽出骨材粒度分布

項目	(mm)	粒度範囲 (mm)		
		20~13	13~5	5~0
通過質量百分率 (%)	37.5	100.0		
	26.5	100.0		
	19.0	98.9	100.0	
	13.2	55.4	97.0	100.0
	4.75	27.1	31.4	98.1
	2.36	20.7	18.8	65.0
	0.60	13.5	13.0	35.4
	0.30	10.3	9.9	26.1
	0.15	8.3	7.4	18.0
0.075	4.9	4.6	11.9	
アスファルト含有量		2.3	3.0	6.2

(単位：%)

これらの3種類の粒度範囲に分級したものを表-4に示す配合率で再配合することにより、アスファルト破砕材として試験に使用した。この粒経加積曲線は図-1に示すとおりであり、RC-20として望ましい粒度範囲に入っている。

配合したアスファルト破砕材の 13~0mm のものに対する洗い試験で失われる量は 0.4%であり、また、回収したアスファルトの針入度は 23 (1/100cm) である。これと表-3 に示したアスファルトの含有量から、ここで使用したアスファルト破砕材は、プラント再生指針⁴⁾に規定されているアスファルトコンクリート再生骨材としての規定を満たすものであることが認められた。

表-4 アスファルト破砕材の配合率

粒度範囲 (mm)	20~13	13~5	5~0
質量配合率 (%)	21.8	39.5	38.7

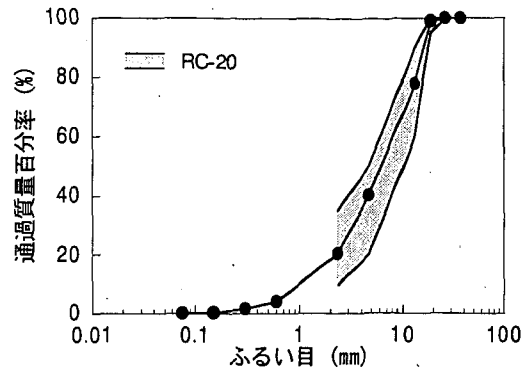


図-1 アスファルト破砕材の合成粒度

b) 補足材

補足材としてはクラッシュラン (C-40) を用いた。その粒度試験結果は表-5に示すとおりである。また、修正 CBRは89% (ただし試験温度は40℃)、塑性指数は3.1 (粒径0.425~0mmのもの) となっており、空港土木工事共通仕様書 (以下では共通仕様書と称す) に記載されている規定を満足している。表-6には、40~2.36mm、2.36~0mmに分級した場合の比重ならびに吸水率を示してある。

表-5 クラッシュランの粒度分布

ふるい目の呼び寸法 (mm)	通過質量百分率 (%)
37.5	100.0
26.5	90.8
19.0	75.8
13.2	60.1
4.75	19.9
2.36	15.8
0.60	9.4
0.30	7.6
0.15	6.1
0.075	5.0

(単位：%)

表-6 クラッシュランの比重ならびに吸水率

項目	粒度範囲 (mm)	
	40~2.36	2.36~0
表乾比重	2.665	2.472
かさ比重	2.644	2.370
見掛比重	2.701	2.637
吸水率 (%)	0.79	4.27

c) 添加材

安定処理に使う添加材として、セメントは普通ポルトランドセメント、アスファルトはストレートアスファルト60/80、アスファルト乳剤はMN-1（ノニオン系）を用いた。また、再生加熱アスファルト安定処理材ではアスファルト再生用添加剤を用いた。その品質は表-7に示すとおりである。

表-7 アスファルト再生用添加剤の品質

項目	測定値	規格値	
動粘度60℃ (mm ² /s)	244.9	80~1000	
引火点 (℃)	224	230以上	
粘度比	1.33	2以下	
質量変化率 (%)	-1.84	±3以内	
比重	1.0329	-	
成分 (%)	アスファルテン	0.0	-
	飽和分	41.3	-
	芳香族分	47.5	-
	樹脂分	6.6	-
	回収率	95.4	-

(2) 再生セメント安定処理材としての利用

再生セメント安定処理材は、アスファルト破砕材に補足材を混入し、セメントで安定処理したものである。ここでは、まずアスファルト破砕材混入率を数種類に変えた場合について検討してから（一次試験）、アスファルト破砕材混入率を100%とした場合について詳細に検討している（詳細試験）。

a) 種々のアスファルト破砕材混入率の場合

まず、アスファルト破砕材と補足材の配合比率を種々に変えた場合の再生セメント安定処理材の配合試験を行い、その配合に基づいて作成した試料を用いて一軸圧縮試験を実施することにより、路盤材としての適用性について検討を行った。材料の配合比率として、全骨材に占めるアスファルト破砕材の割合、すなわちアスファルト破砕材混入率は100%、75%、50%、25%の4種類とした。

この試験では、突固め試験により最適含水比等を決定してから、一軸圧縮試験により配合を定めた。この配合試験においては、材齢7日の一軸圧縮強度が上層路盤材で3N/mm²以上、下層路盤材で2N/mm²以上とするセメント安定処理材に関する材質規定を適用したⁱⁱⁱ⁾。突固め試験では2.5kgランマーを用いて3層25回ずつ突固めた。このときの材料温度は20℃である。

突固め試験は、セメント添加量を4%、8%とした場合

について実行し、アスファルト破砕材混入率の異なるものにおける、それぞれのセメント添加量に対する最適含水比を検討した。なお、試験はJIS A 1210に示されたA法、すなわち、2.5kgランマー使用、3層25回突きで行った（材料温度は20℃）。試験結果を表-8に示す。これより、セメント添加量によらず、アスファルト破砕材混入率が増加するにつれて最大乾燥密度が低下することがわかる。また、最適含水比も低下するような傾向がうかがえる。セメント添加量の影響についても、アスファルト破砕材混入率が同一の場合で検討すると、セメント添加量の多いほうが最大乾燥密度、最適含水比も高いことがわかる。

表-8 突固め試験の結果

a) セメント添加量4%

項目	アスファルト破砕材混入率 (%)			
	25	50	75	100
最大乾燥密度 (g/cm ³)	2.055	1.966	1.872	1.772
最適含水比 (%)	5.9	6.0	6.7	5.5

b) セメント添加量8%

項目	アスファルト破砕材混入率 (%)			
	25	50	75	100
最大乾燥密度 (g/cm ³)	2.135	2.072	1.968	1.871
最適含水比 (%)	7.9	7.7	7.7	6.1

この突固め試験の結果をもとに、一軸圧縮試験を行い、それぞれのアスファルト破砕材混入率の場合の所要一軸圧縮強度に対するセメント添加量を検討した（試験時の温度は20℃）。このときのセメント添加量は突固め試験時の±2%、すなわち、2%、4%、6%、8%、10%の5種類とした。そのときの含水比としては突固め試験結果の最適含水比、すなわち、セメント添加量2~6%のときは突固め試験時の4%のものを、8%、10%のものは突固め試験時の8%のものをを用いた。

その結果得られた、セメント添加量と一軸圧縮強度の関係を図-2に示す。これにより、アスファルト破砕材混入率によらず、セメント添加量が増加するにつれて一軸圧縮強度が増加することがわかる。したがって、いずれのアスファルト破砕材混入率においても、セメントを添加することにより所要強度は容易に確保できることになる。表-9には、アスファルト破砕材混入率の配合を4種類とした場合の所要一軸圧縮強度に対するセメント添加量をまとめた。なお、最適含水比は、突固め試験の結果から推定したものである。

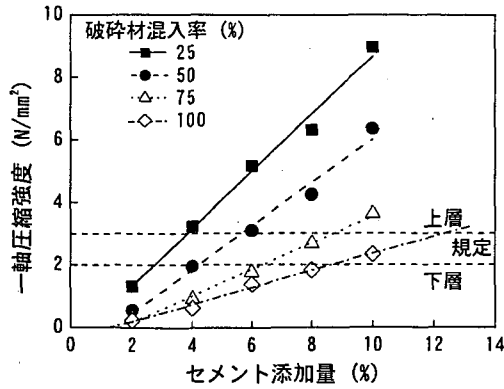


図-2 セメント添加量と一軸圧縮強度の関係

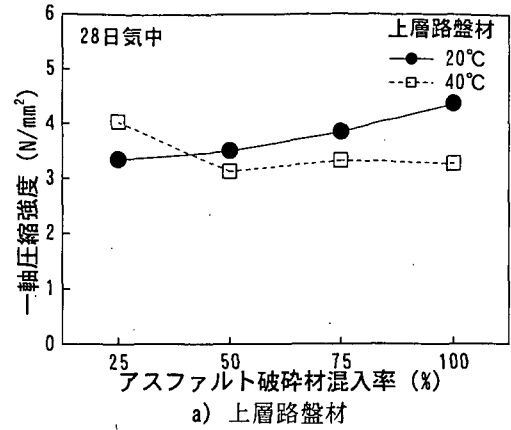
表-9 再生セメント安定処理材の配合

a) 上層路盤

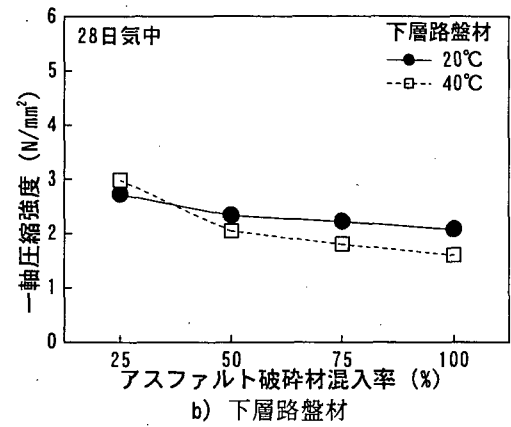
項目	アスファルト破砕材混入率 (%)			
	25	50	75	100
セメント添加量 (%)	3.9	5.7	8.8	12.4
最適含水比 (%)	5.8	6.7	7.7	6.7

b) 下層路盤

項目	アスファルト破砕材混入率 (%)			
	25	50	75	100
セメント添加量 (%)	2.8	4.2	6.4	8.7
最適含水比 (%)	5.3	6.1	7.2	6.2



a) 上層路盤材



b) 下層路盤材

図-3 温度条件の違いによる一軸圧縮強度の変化

以上の配合試験により決定した配合に基づいて供試体を作成し、温度、材齢ならびに水浸状態が一軸圧縮強度に及ぼす影響を検討した。

まず、供試体の養生ならびに試験時の温度を20℃と40℃の2種類として一軸圧縮試験を行い、温度の影響を調べた。試験結果を図-3に示す(材齢28日)。これにより、上・下層路盤材ともにアスファルト破砕材混入率によらず、40℃のほうが20℃より一軸圧縮強度は小さくなる傾向にあることがわかる。また、アスファルト破砕材混入率が高くなるほど、40℃での一軸圧縮強度が低下し、温度の違いによる強度の差が大きくなる傾向もみられる。これは、セメント安定処理を施しても、アスファルト破砕材が温度による影響を受けやすいという特性が残るためと考えられる。

材齢、水浸状態の異なるものをまとめて、温度が20℃から40℃に増加した場合の一軸圧縮強度の減少率(減少分の20℃強度に対する比)を計算した結果を図-4に示す。アスファルト破砕材混入率の増加に伴って強度減少率は増加すること、強度減少率は上・下層路盤用によらず同程度の値となることがわかる。

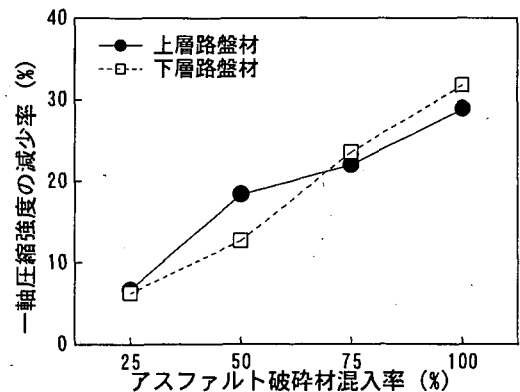


図-4 骨材による一軸圧縮強度減少率の違い

次に、材齢7日、28日、91日の一軸圧縮強度を比較することにより、材齢の影響について検討を行った。試験結果を図-5にまとめた。このときの養生および試験温度は20℃であり、養生条件は気中養生である。これから、上・下層路盤材ともに、材齢が増加するにつれて、一軸圧縮強度が増加する傾向にあることがわかる。今回の試験では、材齢経過に伴う強度の増加程度は混入率75%のものが最も大きい結果となっている。

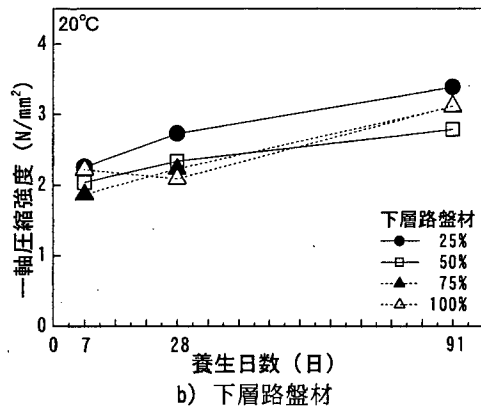
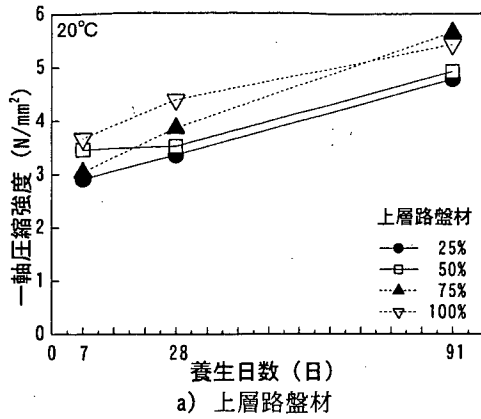


図-5 養生期間による一軸圧縮強度の変化 (20°C)

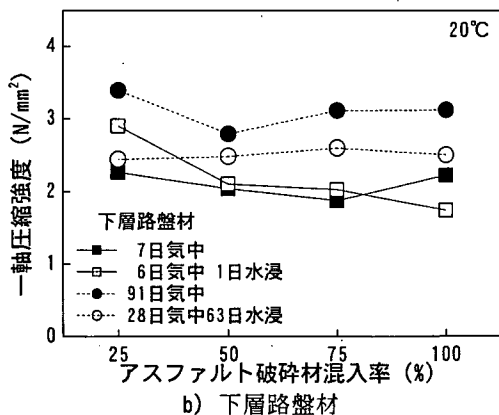
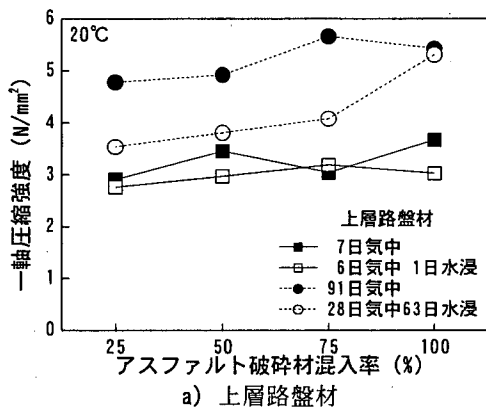


図-6 養生方法による一軸圧縮強度の違い (20°C)

次に、材齢7日と材齢91日の供試体を用いて養生方法の違いが強度に及ぼす影響について検討した。材齢7日のものでは7日気中と6日気中1日水浸の2種類、材齢91日のものでは91日気中と28日気中63日水浸の2種類として、一軸圧縮試験を行った。その試験結果を図-6に示す(養生および試験温度は20°C)。材齢91日の場合では水浸による強度低下がみられたものの、材齢7日の場合には強度の差はあまり見られなかった。このことから、水浸が長期間に及ぶと強度低下が起こるものと推定される。上・下層路盤材の違いでみると、上層路盤材で水浸による強度低下が大きいこともわかる。また、アスファルト破砕材混入率の低いもののほうが、水浸による影響は大きい。

養生ならびに試験時の温度を40°Cとした場合の、養生期間、養生方法(水浸状態)による一軸圧縮強度の違いについて、20°Cの場合と同様の整理を行った。その結果を図-7(養生期間の影響)、図-8(養生方法の影響)にまとめた。養生期間の増加による強度増加は認められるが、その程度は20°Cの場合に比較すると小さいものとなっている。水浸の影響に関しては、20°Cの場合と大きく異なるものではない。

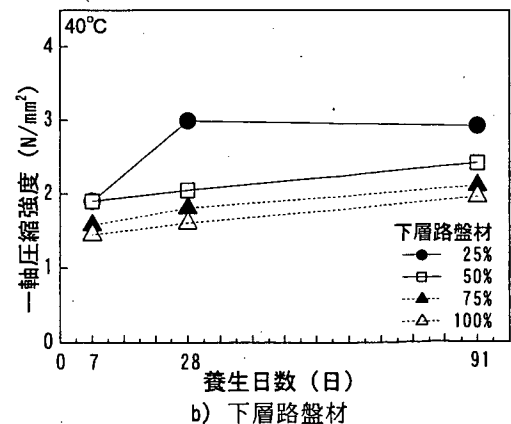
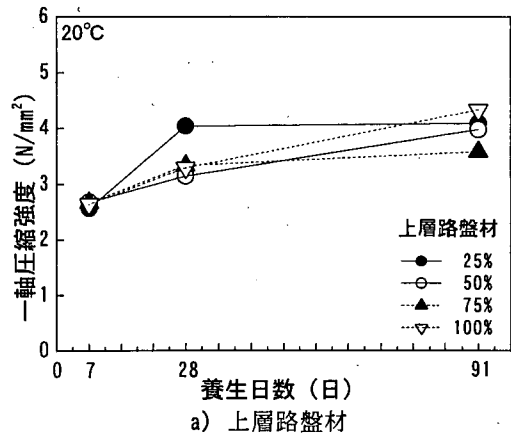


図-7 養生期間による一軸圧縮強度の変化 (40°C)

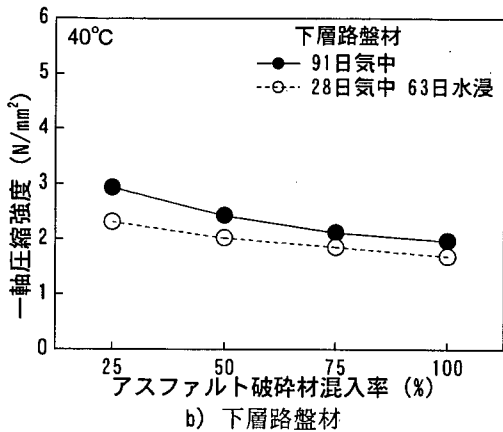
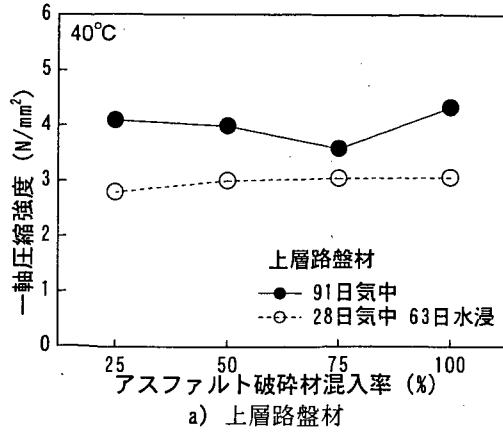


図-8 養生方法による一軸圧縮強度の違い (40°C)

セメント安定処理材の気象作用に対する耐久性を把握するために凍結融解試験と乾湿繰返し試験を行った^{iv)}。まず、凍結融解試験結果を表-10に示す。これから、材料損失分、最大体積変化とも規準値を十分に下回っていることがわかる。次に、乾湿繰返し試験結果を示した表-11からも、同様のことが認められる。したがって、アスファルト破砕材を用いたセメント安定処理材は、その混入率によらず、気象作用に対する耐久性は十分なものであることが確認された。

b) 破砕材混入率100%の場合

一次試験において、アスファルト破砕材混入率を100%とした場合であってもセメント安定処理路盤として利用可能であるとの見通しが得られた。いうまでもなく、資源の有効利用という点ではこの方法が有利なので、ここでは、混入率100%の場合に限定して、材料の製造、施工方法といった観点から詳しく検討をする。

試験に使用した材料は、一次試験と同一のものであるが、入手時期等が異なるため、特にアスファルト破砕材の品質が異なったものとなっている。以下では、アスファルト破砕材に限定して品質の概要を示す。

表-10 凍結融解試験の結果

a) 上層路盤

項目	アスファルト破砕材混入率 (%)				規準値
	25	50	75	100	
セメント添加量 (%)	3.9	5.7	8.8	12.4	14以下 2以下
損失質量 (g)	44.0	16.8	13.2	11.5	
材料損失分 (%)	1.21	-0.15	0.80	-0.11	
最大体積変化 (%)	0.40	0.35	0.35	0.28	

b) 下層路盤

項目	アスファルト破砕材混入率 (%)				規準値
	25	50	75	100	
セメント添加量 (%)	2.8	4.2	6.4	8.7	14以下 2以下
損失質量 (g)	54.0	21.6	16.8	16.9	
材料損失分 (%)	0.84	0.63	1.22	0.37	
最大体積変化 (%)	0.36	0.48	0.28	0.59	

表-11 乾湿繰返し試験の結果

a) 上層路盤

項目	アスファルト破砕材混入率 (%)				規準値
	25	50	75	100	
セメント添加量 (%)	3.9	5.7	8.8	12.4	14以下 2以下
損失質量 (g)	28.7	9.4	6.0	7.1	
材料損失分 (%)	1.19	0.50	1.47	0.24	
最大体積変化 (%)	0.60	0.28	0.48	0.31	

b) 下層路盤

項目	アスファルト破砕材混入率 (%)				規準値
	25	50	75	100	
セメント添加量 (%)	2.8	4.2	6.4	8.7	14以下 2以下
損失質量 (g)	49.7	19.1	8.7	8.7	
材料損失分 (%)	1.80	0.59	0.28	0.36	
最大体積変化 (%)	0.56	0.48	0.40	0.35	

アスファルト破砕材は、前項と同様に、20~13mm, 13~5mm, 5~0mmに分級したものを表-12に示す配合率で配合することにより調整した。その粒径加積曲線は、図-9に示すとおり、前項のものに比較すると2.36mmふるい通過分が若干少ないものとなった。このように調整したアスファルト破砕材にセメントを添加することによりセメント安定処理材とした。具体的には、一次試験と同様に、突固め試験を行って最適含水比と定めてから、上・下層路盤材としての規定を満足するために必要となるセメント添加量を決定した。その結果を表-13に示す。

表-12 アスファルト破碎材の配合率

粒度範囲 (mm)	20~13	13~5	5~0
質量配合率 (%)	14.7	33.0	52.3

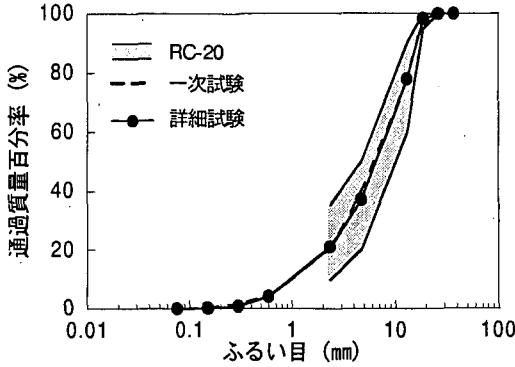


図-9 アスファルト破碎材の合成粒度

表-13 セメント添加量と最適含水率

	上層路盤	下層路盤
セメント添加量 (%)	10.1	8.1
最適含水比 (%)	6.3	6.2

材料の製造ならびに施工の観点から、試験条件として、混合方法、混合時間、締固め方法、締固め度、養生温度、養生時間の6種類を考えた。これらを適当に組み合わせて表-14に示す条件を定め、それぞれに従って供試体を作成して、一軸圧縮試験を行った。

これらの試験条件のうち標準的なものは、一般的に行われていると考えられるNo.1である。すなわち、材料の

混合方法としてはミキサーを使用して1分間混合し、供試体の作成方法としては2.5kgランマーを使用した3層25回突きにより締固め度100%とし、養生方法としては温度20℃で28日間気中養生するものである。標準以外のものについては、現実的と考えられるものの中から適宜選定した。

一軸圧縮試験結果について表-15にまとめた。また、一軸圧縮強度について図-10に示した。

混合方法の違いをみると、上層路盤、下層路盤ともにミキサー混合のほうが手配合よりも一軸圧縮強度は大きくなっていることから、均一な混合を確保するためにはミキサーの使用が不可欠であるとわかる。また、混合時間についてみると、上層路盤、下層路盤とも混合時間を1分間としたものが一軸圧縮強度は大きい値となっている。このことは30秒間以下では骨材とセメントの混合が十分行われないこと、混合時間を1分間以上としても強度はあまり変わらないことを意味しているものと考えられる。

締固め方法について比較すると、上層路盤、下層路盤ともジャイレートリにより締固めたほうがランマー締固めに比べて、一軸圧縮強度は小さい結果となった。これは、ランマー突固めが供試体を3層に分けてそれぞれで突固めるのに対し、ジャイレートリでは、全体を一層で締固めることから、締固めの効果が供試体下部まで伝わらなかったためであると推定される。また、締固め度が小さければ一軸圧縮強度は小さくなることも明らかである。上・下層路盤材としての所要強度を確保するためには、締固め度としては、それぞれ、約94%、約93%以上を確保する必要のあることがわかった。

表-14 試験条件

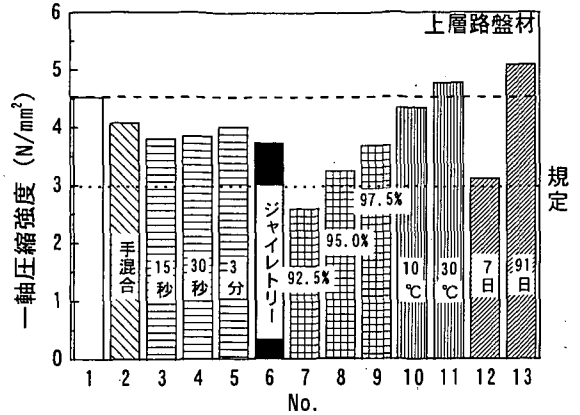
No.	混合方法	混合時間	締固め方法	締固め度	養生温度	材齢	
1	ミキサー混合	1分	ランマー締固め	100%	20℃	28日	
2	手混合						
3	ミキサー混合	15秒					
4		30秒					
5		3分					
6	ミキサー混合	1分	ジャイレートリ	92.5%	100%	20℃	
7			ランマー締固め	95.0%			
8				97.5%			
9				ランマー締固め			100%
10			30℃				
11							
12			20℃				
13							

表-15 一軸圧縮試験の結果
a) 上層路盤材

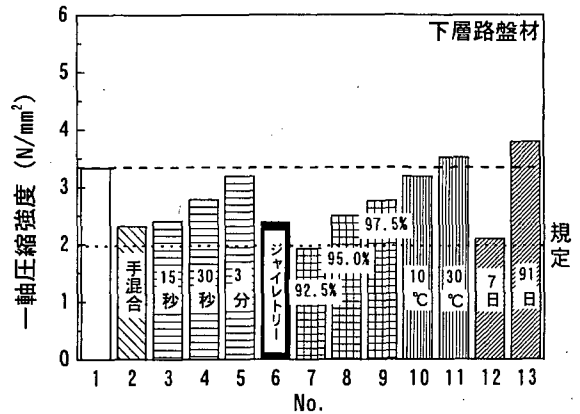
No.	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	破壊ひずみ (%)	弾性係数E ₅₀ (N/mm ²)
1	4.52	0.57	1115
2	4.08	0.65	915
3	3.81	0.78	941
4	3.85	0.88	760
5	4.01	0.65	990
6	3.74	0.96	737
7	2.59	0.85	510
8	3.25	0.75	804
9	3.68	0.69	727
10	4.34	0.77	857
11	4.78	0.65	1181
12	3.12	0.65	769
13	5.09	0.59	1682

b) 下層路盤材

No.	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	破壊ひずみ (%)	弾性係数E ₅₀ (N/mm ²)
1	3.33	0.72	821
2	2.32	1.06	285
3	2.40	0.75	472
4	2.78	0.91	456
5	3.19	0.70	629
6	2.39	0.98	470
7	1.93	1.04	315
8	2.50	0.96	492
9	2.76	0.81	529
10	3.19	0.8	631
11	3.52	0.79	913
12	2.10	0.75	513
13	3.79	0.75	933



a) 上層路盤材



b) 下層路盤材

図-10 条件別一軸圧縮強度

養生方法の違いとしては、養生温度による影響がいく分みられた。具体的には、養生温度の高いほうが一軸圧縮強度は大きくなっている。これは試験温度が20℃と同一の条件であるので、一次試験とは違い、養生時の温度のみによる影響である。このほか、養生時間による影響の大きいことも明らかである。

(3) 再生アスファルト乳剤安定処理材としての利用

再生アスファルト乳剤安定処理材は、アスファルト破砕材に補足材を混入し、アスファルト乳剤を用いて安定処理したものである。

検討の手順は、再生セメント安定材の場合と同様に、まず、配合試験を行って材質規定を満足する配合を決定し、その配合に基づいて試料を作成して試験を行うというものである。この場合の材質規定としては粒状路盤材のものを採用した³⁾。すなわち、修正CBRでみて、上層路盤材として80%、45%（それぞれ、アスファルト、コンクリート舗装）、下層路盤としてそれぞれ30%、20%というものである。

配合試験では、アスファルト破砕材混入率を100%、75%、50%、25%の4種類とした骨材を用いた。ここでは、当初、アスファルト破砕材混入率を100%と75%の2種類のみとしていたが、上記の規定値を満足しなかったことから、50%ならびに25%を追加した。それらの粒度分布については後述する再生粒状材の箇所に示してある。

この配合試験においては、JIS A 1210に規定されたE法（4.5kgランマー使用、3層92回突き）により突固め試験を行った。ここでは、アスファルト乳剤を2、4、8%とし、また試験時の材料温度を40℃とした。その結果として、表-16に示すような最大乾燥密度と最適含水比が得られた。アスファルト破砕材混入率の増加に伴って最大乾燥密度が低下する傾向がみられる。

次に、突固め試験の結果に基づいて試料を準備して修正CBR試験を行い、それぞれのアスファルト破砕材混入率において所定の修正CBRが得られるアスファルト乳剤の添加量を決定した。このときの試料温度ならびに試験温度は40℃とし、供試体作成直後に水浸を行うとアスファルト乳剤が水中に流れ出すことから、供試体を作成し

てから40℃に保持した乾燥炉中に21日間養生して乳剤を乾燥分解させた後、20℃の水中に4日間水浸してから試験を行った。

表-16 突固め試験の結果
a) アスファルト乳剤添加量2%

項目	アスファルト破砕材混入率 (%)			
	25	50	75	100
最大乾燥密度 (g/cm ³)	2.178	2.057	1.972	—
最適含水比 (%)	5.1	4.6	5.0	—

b) アスファルト乳剤添加量4%

項目	アスファルト破砕材混入率 (%)			
	25	50	75	100
最大乾燥密度 (g/cm ³)	2.153	2.051	1.997	1.930
最適含水比 (%)	4.5	3.6	3.6	3.1

c) アスファルト乳剤添加量8%

項目	アスファルト破砕材混入率 (%)			
	25	50	75	100
最大乾燥密度 (g/cm ³)	2.185	2.120	2.040	1.998
最適含水比 (%)	4.6	4.1	3.7	3.6

試験結果を図-11に示す。これから、アスファルト破砕材混入率によらず、アスファルト乳剤添加量が増加すると、修正CBRが小さくなるのがわかる。アスファルト乳剤と骨材が均一に混合できるようなアスファルト乳剤の添加量の範囲内で、規定の修正CBRが得られるアスファルト乳剤の添加量を求めると表-17のようになる。これは、アスファルト破砕材混入率を可能な限り多くするようにして決定したものである。なお、最適含水比は突固め試験結果から推定した。

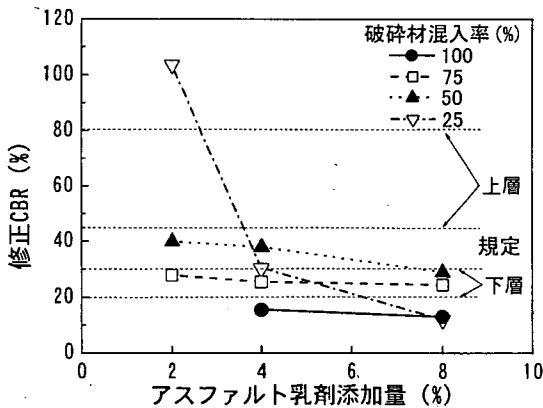
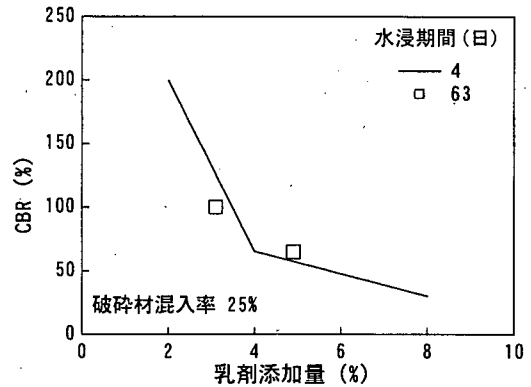


図-11 修正CBR試験の結果

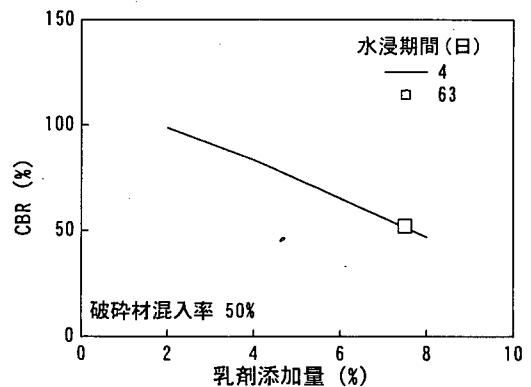
表-17 再生アスファルト乳剤安定処理材の配合

項目	所要修正CBR (%)			
	上層路盤		下層路盤	
	80	45	30	20
アスファルト破砕材混入率 (%)	25	25	50	—
乳剤添加量 (%)	3.1	4.9	7.5	—
最適含水比 (%)	4.8	4.5	4.0	—

次に、長期水浸がCBRに及ぼす影響について検討した。具体的には、水浸期間を63日間として、4日間のものと比較した。これ以外の試験条件は配合試験のものと同じである。試験結果を示した図-12から、両者の値にほとんど差のないことがわかり、長期間水浸による影響はほとんどないものと結論づけられる。



a) アスファルト破砕材混入率25%



b) アスファルト破砕材混入率50%

図-12 水浸期間によるCBRの変化

(4) 再生セメント乳剤安定処理材としての利用

再生セメント乳剤安定処理材は、アスファルト破砕材に補足材を混入し、セメントとアスファルト乳剤により安定処理したものである。検討方法は、再生セメント安定処理材と同様に、配合試験を行い、その結果に基づい

て作成した供試体に対して一軸圧縮試験を行うというものである。ここでは、可能な限りアスファルト破砕材を多く使用すると観点から、アスファルト破砕材混入率を100%と75%の2種類としている。また、アスファルト乳剤の添加量は、路上再生路盤工法技術指針（案）⁹に示された方法により、アスファルト破砕材混入率100%、75%のそれぞれで、3.3%、3.7%と決定した。なお、材質規定ならびに試験方法は再生セメント安定処理材の場合と同一である。

配合試験では、まず、アスファルト破砕材混入率100%、75%の2種類の骨材に対し、セメント添加量を4%、8%の2種類として突固め試験を行い、それぞれの混入率における最適含水比を求めた。その結果として表-18が得られた。

次に、セメント添加量を2～10%として供試体を作成して一軸圧縮試験を行い、所定の一軸圧縮強度となるセメント添加量を決定した（含水比は再生セメント安定処理材と同様の方法で決定した）。その結果を示した図-13から、アスファルト破砕材混入率によらず、セメント添加量の増加に伴い、一軸圧縮強度は増加することがわかる。これから、所要一軸圧縮強度に対するセメント添加量を求めると表-19のようになる。なお、最適含水比は突固め試験結果から推定した。

以上の試験により決定した配合に基づいて供試体を作成し、温度と水浸状態が一軸圧縮強度に及ぼす影響を検討した。ここで、温度条件としては養生、試験時ともに20℃と40℃とした。また、水浸・非水浸によらず材齢91日で試験を行ったが、水浸の場合は28日間の気中養生後に63日間の水浸を実施した。図-14に試験結果を示す。再生セメント安定処理材と同様に、上・下層路盤材ともアスファルト破砕材混入率によらず、40℃のほうが20℃より一軸圧縮強度は小さくなる傾向にあることがわかる。また、アスファルト破砕材混入率が高いほど温度の違いによる強度の差も大きい。さらに、水浸による強度低下も明らかであるが、再生セメント安定処理材と異なり、アスファルト破砕材混入率の高いほうが水浸による影響が大きいようだ。

表-18 突固め試験の結果

項目	アスファルト破砕材混入率 (%)			
	75		100	
セメント添加量 (%)	4	8	4	8
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.910	2.000	1.835	1.892
最適含水比 (%)	3.8	5.3	3.5	4.3

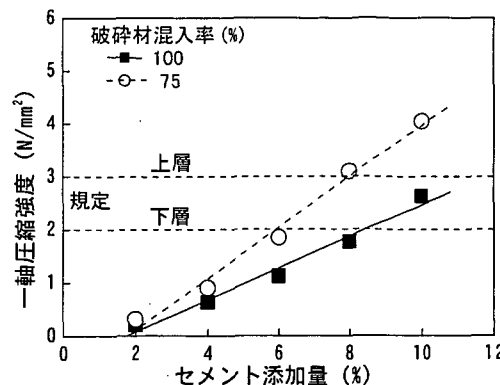
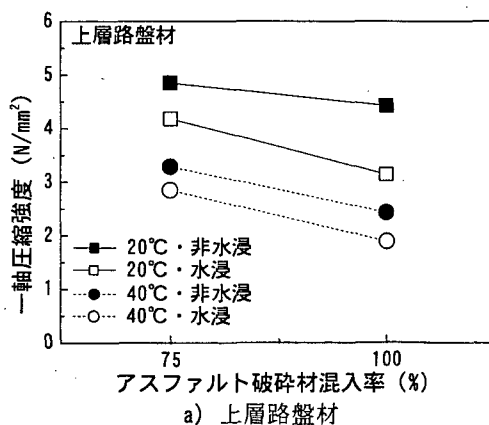


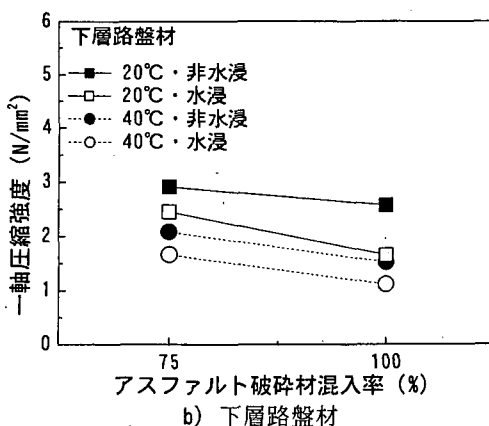
図-13 セメント添加量と一軸圧縮強度の関係

表-19 再生セメント乳剤安定処理材の配合試験結果

項目	アスファルト破砕材混入率 (%)			
	上層路盤		下層路盤	
	75	100	75	100
セメント添加量 (%)	8.1	11.1	6.4	8.6
最適含水比 (%)	5.3	4.9	4.7	4.4



a) 上層路盤材



b) 下層路盤材

図-14 温度・水浸条件による一軸圧縮強度の変化

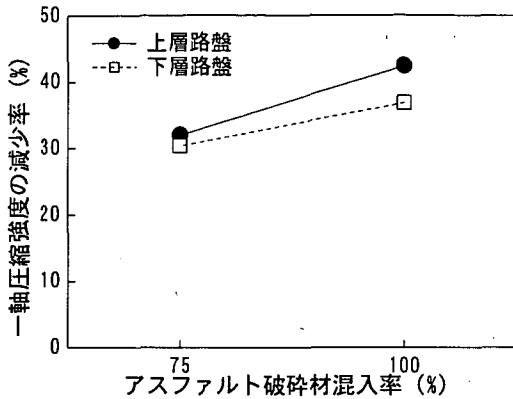


図-15 温度による一軸圧縮強度減少率の違い

温度20℃から40℃に増加した場合の一軸圧縮強度の減少率（減少分の20℃強度に対する比）を図-15に示す。再生セメント安定処理材同様、アスファルト破砕材混入率の増加に伴って強度減少率は増加することがわかる。

次に、再生セメント乳剤安定処理材と再生セメント安定処理材との比較を行った。養生日数が91日気中と28日気中63日水浸のもの、ならびに養生および試験温度が20℃と40℃の両方の養生条件における一軸圧縮強度に注目した。その結果を表-20にまとめた。全体的にみて、再生セメント乳剤安定処理材は、再生セメント安定処理材に比較すると、一軸圧縮強度は小さいものの、破壊時変位は大きくなっていることがわかる。後者はアスファルト乳剤を混合したことの効果が現れたものであろう。

アスファルト破砕材100%の場合の一軸圧縮強度について、温度20℃・非水浸状態のものからの減少率を示し

た(図-16)。一軸圧縮強度の点からみると、高温時ならびに水浸時の性能については、再生セメント安定処理材のほうが高いことが明らかである。

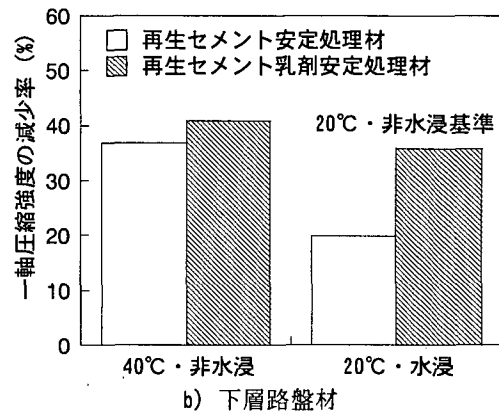
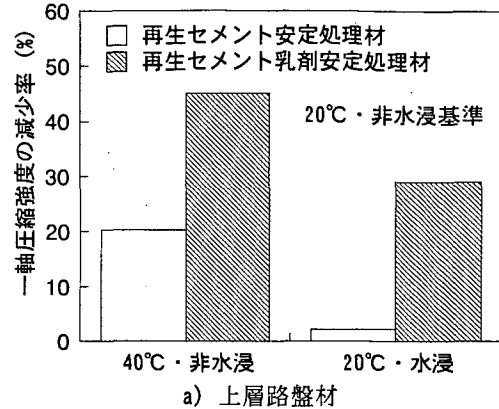


図-16 高温・水浸による一軸圧縮強度の減少

表-20 一軸圧縮試験の結果
a) 上層路盤材

項目		アスファルト破砕材混入率 (%)							
		75				100			
		20		40		20		40	
温度 (℃)		20		40		20		40	
水浸条件		非水浸	水浸	非水浸	水浸	非水浸	水浸	非水浸	水浸
一軸圧縮強度 (N/mm ²)	再生セメント安定処理	5.66	4.08	3.58	3.04	5.43	5.31	4.33	3.06
	再生セメント乳剤安定処理	4.85	4.18	3.29	2.85	4.42	3.14	2.43	1.89
破壊時変位 (%)	再生セメント安定処理	0.6	0.7	0.6	0.9	0.5	0.5	0.5	0.6
	再生セメント乳剤安定処理	0.7	1.1	0.9	1.1	0.5	0.6	0.8	0.8

b) 下層路盤材

項目		アスファルト破砕材混入率 (%)							
		75				100			
		20		40		20		40	
温度 (℃)		20		40		20		40	
水浸条件		非水浸	水浸	非水浸	水浸	非水浸	水浸	非水浸	水浸
一軸圧縮強度 (N/mm ²)	再生セメント安定処理	3.11	2.59	2.12	1.86	3.12	2.50	1.97	1.69
	再生セメント乳剤安定処理	2.91	2.45	2.08	1.66	2.57	1.65	1.52	1.11
破壊時変位 (%)	再生セメント安定処理	1.1	1.3	1.0	1.3	0.7	0.8	0.8	0.8
	再生セメント乳剤安定処理	0.9	1.5	1.1	1.3	0.9	1.2	1.0	1.1

(5) 再生加熱アスファルト安定処理材としての利用

再生加熱アスファルト安定処理材は、アスファルト破砕材混入率を100%として、再生用添加材を用いてアスファルトを調整し、材料規定を満足するように配合設計を行った。この場合、空港舗装では、突固め回数50回でマーシャル安定度が3.5kN以上、設計荷重が大きい場合は突固め回数75回でマーシャル安定度が5kN以上が規定されているので、ここでもそれを採用した。

表-21 アスファルト含有率と抽出骨材粒度分布

項目	粒径 (mm)	20~0mm
通過 質量 百分 率 (%)	37.5	100
	26.5	100
	19.0	99.8
	13.2	89.1
	4.75	56.3
	2.36	37.1
	0.60	21.7
	0.30	16.2
	0.15	11.7
	0.075	7.5
アスファルト含有量 (%)		4.29

まず、アスファルト破砕材のアスファルトをソックスレー法により抽出することによって、合成粒度として表-21に示すものが得られた。アスファルト再生用添加剤の添加量は、設計針入度を70として、11.7%となった。

次に、アスファルト破砕材にアスファルト再生用添加剤を加え、新アスファルト量を変化させて突固め回数50回と75回の供試体を作成し、マーシャル安定度試験を行った。その結果を示した表-22から、アスファルト破砕材混入率を100%としても、突固め回数50回で3.5kN以上、75回で5kN以上のマーシャル安定度が十分に確保できること、フロー値、空隙率、飽和度の規格も満足する配合が可能であることが確認できた。

(6) 再生粒状材としての利用

再生粒状材はアスファルト破砕材に補足材のみを混

合したものである。ここでは、まず、配合試験を行って材質規定を満足する配合を決定し、その配合に基づいて試料を作成し各種試験を行った。この場合の材質規定は修正CBRであり、上層路盤材として80%、45%（それぞれ、アスファルト、コンクリート舗装）、下層路盤として、それぞれ30%、20%である。

配合試験は、アスファルト破砕材混入率を100%、75%、50%、25%、0%の5種類として行った。それぞれの合成粒度を表-23に示す。また、図-17には、粒径加積曲線を示す。アスファルト破砕材の多いものほどRC-40の望ましい粒度範囲には入らないことがわかる。

配合試験においては、JIS A 1210に規定されたE法（4.5kgランマー使用、3層92回突き）により突固め試験を行った。そのときの材料温度は40℃とした。その結果として、表-24に示すような、最大乾燥密度と最適含水比が得られた。アスファルト破砕材混入率の増加に伴って最大乾燥密度が低下する傾向がみられる。

次に、その結果に基づいて試料を準備して修正CBR試験を行った。ここでは、試料作成ならびに試験時の温度を40℃としている。その結果をまとめた図-18から、アスファルト破砕材混入率が増加するに従って、修正CBRが小さくなる傾向にあることがわかる。この図から上記の修正CBRに関する規定を満足するアスファルト破砕材混入率を決定した。その値、すなわち、最小アスファルト破砕材混入率を表-25に示す。

以上の配合試験は、アスファルト破砕材が温度の影響を受ける（高温時に性能が低下する）ことから、40℃にて実施したものである。温度として標準のものと考えられる20℃で試料作製・CBR試験を実施して、その結果を40℃のものと比較した。それを図-19に示す。これから、20℃の場合が修正CBRは大きい値となることがわかる。これは、アスファルト破砕材に付着しているアスファルトが、温度の影響を受けるためと考えられる。

表-22 マーシャル試験の結果

項目	突固め回数									
	50回					75回				
	4.57	5.0	5.5	6.0	6.5	4.57	5.0	5.5	6.0	6.5
アスファルト量 (%)	4.57	5.0	5.5	6.0	6.5	4.57	5.0	5.5	6.0	6.5
見かけ密度 (g/cm ³)	2.410	2.427	2.438	2.428	2.416	2.425	2.433	2.439	2.432	2.423
安定度 (kN)	11.4	11.9	11.3	11.0	9.6	14.6	13.6	14.2	11.8	11.6
フロー値 (1/100cm)	31	35	39	38	42	30	30	33	38	44
空隙率 (%)	4.5	3.2	2.0	1.7	1.5	3.9	3.0	2.0	1.5	1.2
飽和度 (%)	70.2	78.5	86.6	89.2	91.0	73.3	79.6	86.6	90.3	92.6

表-23 再生粒状材の通過質量百分率

粒径 (mm)	アスファルト破砕材混入率 (%)				
	0	25	50	75	100
37.5	100	100	100	100	100
26.5	90.8	93.1	95.4	97.7	100
19.0	75.8	81.6	87.3	93.1	98.8
13.2	60.1	64.5	69.0	73.3	77.7
4.75	19.9	25.0	30.1	35.2	40.2
2.36	15.8	17.0	18.1	19.3	20.4
0.60	9.4	8.2	6.8	5.6	4.2
0.30	7.6	6.1	4.7	3.2	1.7
0.15	6.1	4.7	3.4	1.9	0.5
0.075	5.0	3.9	2.6	1.5	0.2

表-24 突固め試験の結果

項目	アスファルト破砕材混入率 (%)				
	0	25	50	75	100
最大乾燥密度 (g/cm ³)	2.188	2.121	2.090	2.010	1.943
最適含水比 (%)	5.7	5.7	6.2	7.0	5.2

表-25 最小アスファルト破砕材混入率

項目	所要修正CBR (%)			
	上層路盤		下層路盤	
	80	45	30	20
アスファルト破砕材混入率 (%)	3	18	28	37

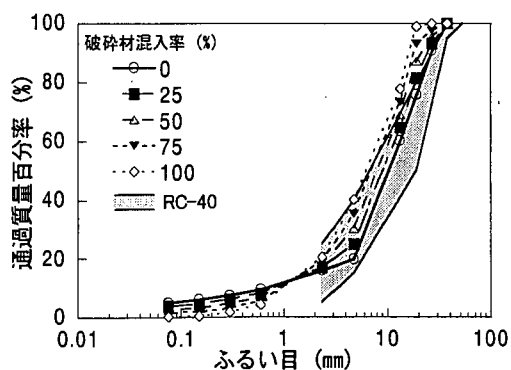


図-17 再生粒状材の粒度

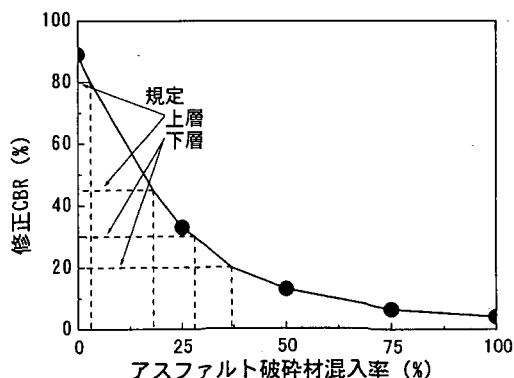


図-18 アスファルト破砕材混入率と修正CBR

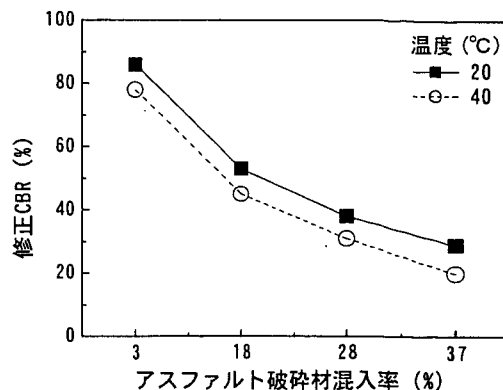


図-19 温度条件の違いによる修正CBRの変化

現場においては、温度変化に加えて、雨水の浸透や地下水水位の上昇により路盤が水浸状態となることも想定されることから、温度と水浸状態を変えてCBR試験を行って、それらの影響を調べた。試験条件は、表-26に示すとおり、試料作成時の温度は40℃と共通であるが、養生ならびに試験時の温度2条件（20℃と40℃）、水浸状態2条件（非水浸と水浸）の4種類である。試験結果を図-20にまとめた。まず、水浸の影響について比較すると、アスファルト破砕材混入率18%の場合を除けば、水浸することによりCBRが低下する傾向にあることがわかる。また、これは温度によらないこともわかる。

表-26 試験条件

養生方法	非水浸		水浸	
	20	40	20	40
養生および試験温度 (°C)	20	40	20	40
養生日数 (日)	63			
試料作成時温度 (°C)	40			

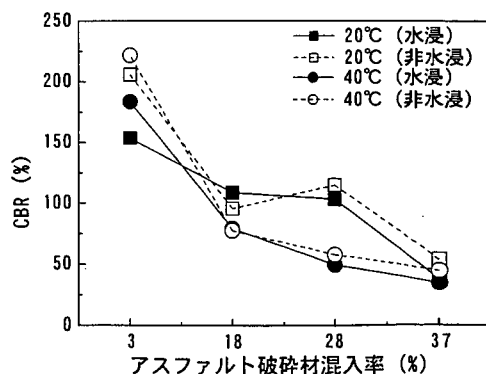


図-20 水浸および温度条件の違いによるCBRの変化

次に、温度の影響をみれば、アスファルト破砕材混入率が3%のもの以外は、40℃のほうが20℃より小さい

CBRとなるという結果が得られた。これは、温度を変えて実施した修正CBRと同様の結果であり、アスファルト破砕材混入率3%の場合はアスファルト破砕材の混入が少量であることから、温度による影響がほとんど出なかったためと考えられる。

(7) まとめ

アスファルトコンクリート塊の路盤材料としての再利用方策については次のようにまとめられる。

i) 再生セメント安定処理材

アスファルト破砕材混入率によらず、セメントを添加することにより上・下層路盤の所要強度を確保できる。また、アスファルト破砕材混入率が大きいと所定の強度を確保するのにより多くのセメント添加量が必要となる。温度の違いをみれば、再生セメント安定処理材はセメントが硬化後もアスファルト破砕材の感温性の影響を受け、養生および試験温度40℃のほうが20℃より一軸圧縮強度は小さくなる。水浸が短期間（1日）では強度低下は見られないが、長期間（63日）では明らかな強度低下が起こる。

アスファルト破砕材混入率を100%としても路盤材料として再利用できる。この場合、一軸圧縮強度は混合方法、時間の影響を受け、前者では手混合よりミキサー混合のほうが、後者では時間を1分間とした場合が大きい値を示した。また、締固め方法も一軸圧縮強度に影響を及ぼし、ジャイレートリよりもランマー突固めのほうが強度は大きい。

ii) 再生アスファルト乳剤安定処理材

上・下層路盤の所要強度を確保するためには、アスファルト破砕材量を少なく、またアスファルト乳剤の添加量も少なくする必要がある。なお、アスファルト乳剤が完全に分解すれば水浸による強度低下は発生しない。

iii) 再生セメント乳剤安定処理材

再生セメント安定処理材と同様に、アスファルト破砕材混入率にかかわらず、セメント添加により上・下層路盤としての所要強度を確保でき、アスファルト破砕材混入率が大きいと所定の強度を確保するのにより多くのセメント添加が必要となる。また、温度ならびに水浸の影響を受ける。

再生セメント安定処理材と比較すれば、一軸圧縮強度はセメント添加量がほぼ同じであれば、アスファルト乳剤添加により強度が低下し、温度上昇による強度低下率が大きくなる。

iv) 再生加熱アスファルト安定処理材

アスファルト破砕材混入率100%でも、アスファルト

再生用添加剤で針入度の調整を行うことで、再生加熱アスファルト安定処理路盤材としての規準値を確保できる。

v) 再生粒状材

材料温度が40℃の条件にあっても、アスファルト破砕材にクラッシュランを補足することで、上・下層路盤の目標強度を確保できる。温度の違いでは、再生粒状材中のアスファルト破砕材が感温性に富むため、修正CBR、CBR、水浸CBRの全てにおいて、20℃より40℃のほうが強度は小さい。また、水浸日数が増加するとCBRの低下が大きくなる。

2.2 表・基層材料としての再生利用

既設舗装の解体等に伴って発生する不要なアスファルトコンクリート塊の表・基層用アスファルトコンクリートとしての再利用化方策を検討するため、アスファルト破砕材混入率を100%まで高めた再生アスファルトコンクリートについて室内試験を実施した⁴⁾。ここでは、比較のため、空港舗装の路盤として実績のあるアスファルト破砕材混入率70%のものについても試験を実施した。アスファルトコンクリートは、特に表層に用いられると、自然環境下において老化することから、それに伴う性状変化にも注目した。老化作用を与える方法としては、高温下で直接酸素を接触させる室内老化促進方法を用い、老化促進期間を変えて曲げ試験を実施するとともに、アスファルトを回収してその性状変化を調べた。なお、ここでは骨材最大粒径を13mmとしている。

(1) 使用材料ならびに試験方法

a) 使用材料

使用したアスファルト破砕材は、再生路盤材料の検討と同様に、東京国際空港の旧ターミナル地区における舗装の撤去に伴って発生したものである。これを、13～5mm、5～0mmに分級して用い、表-27に示す配合比により骨材を調整した。この場合の骨材粒度は、いずれも共通仕様書に規定されている基本施設の表層タイプI、骨材の最大粒径13mmの粒度範囲に基づき、その中央値を目標粒度として決定した。再生骨材から回収した旧アスファルトの品質は、プラント再生舗装技術指針にある針入度の規定を満足している。

アスファルト再生用添加剤としては比較的使用実績の多い、表-28に示す品質のものを使用した。

旧アスファルトの針入度をこのアスファルト再生用添加剤を用いて調整し、アスファルト破砕材混入率100%、70%それぞれの最適アスファルト量をマーシャル安定度試験の結果に基づいて決定した。このときの規準値は、

共通仕様書に示された基本施設の①表層のものである。得られた最適アスファルト量を用いて作成した、再生アスファルトコンクリートに対するマーシャル安定度試験の結果を表-29に示す。

表-27 骨材の配合比

材料	再生率 (%)	
	70	100
6号砕石	20.0	—
7号砕石	3.0	—
粗砂	5.5	—
石粉	1.5	—
再生骨材 (13~5mm)	24.5	49.0
再生骨材 (5~0mm)	45.5	51.0

(単位：%)

表-28 アスファルト再生用添加剤の品質

項目	測定値	標準値	
動粘度 (mm ² /s)	202	80~1000	
引火点 (°C)	232	230以上	
粘度比	1.37	2以下	
質量変化率 (%)	-1.78	±3以下	
密度 (g/cm ³)	1.011	—	
成分 (%)	アスファルテン	2.0	—
	飽和分	51.9	—
	芳香族分	33.2	—
	レジン分	12.7	—

表-29 マーシャル安定度試験の結果

項目	再生率 (%)	
	70	100
最適アスファルト量 (%)	5.7	6.0
密度 (g/cm ³)	2.412	2.420
空隙率 (%)	3.0	3.3
飽和度 (%)	81.6	80.9
安定度 (kN)	13.9	14.2
フロー値 (1/100cm)	37	38
残留安定度 (%)	95.9	96.0

b) 試験方法

再生アスファルトコンクリートの力学的性状について、曲げ試験により検討した。曲げ試験用供試体は、ローラコンパクタで締固めて作成した、幅・長さ300mm、厚さ50mmの試料から幅50mm、長さ300mm、厚さ50mmのものを5本切り出した。曲げ試験は、支間を200mmとした2点支持・1点中央載荷方式で、載荷速度を10mm/min、試験温度を-10~20℃として実施した。なお、アスファ

ルトコンクリートに老化作用を与える場合は、供試体を切り出す前の試料に対して実施した。

再生アスファルトコンクリートから、アスファルトを回収してその性状を調べた。その試験としては、JIS K 2207に規定された針入度試験、軟化点試験ならびに伸度試験を行った。

(2) 試験結果

a) アスファルトコンクリートの性状

アスファルトコンクリートについては、最大20サイクルまで促進老化作用を与え、曲げ試験により力学的性状を調べた。

促進老化作用を与えない場合と20サイクル与えた場合の再生アスファルトコンクリートの曲げ強度、破断ひずみ、スティフネスを、それぞれ図-21、図-22、図-23に示す。老化の有無によらず、アスファルト破碎率を100%にまで高めると、70%のものと比較して、破断ひずみが幾分小さく、またスティフネスも大きなものとなるが、その差は大きいとはいえないことがわかる。なお、20サイクルの促進老化の影響はいずれの特性においても現れており、高温域で曲げ強度が大きく、破断ひずみが小さくなって、その結果としてスティフネスが大きくなっていることもわかる。

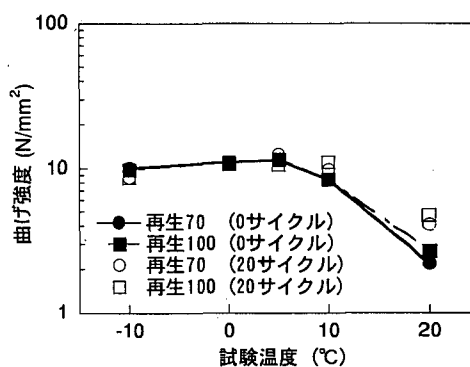


図-21 試験温度と曲げ強度

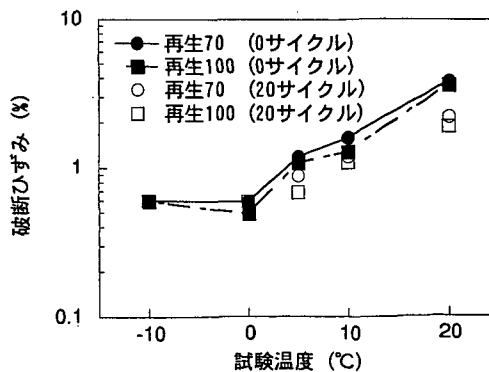


図-22 試験温度と破断ひずみ

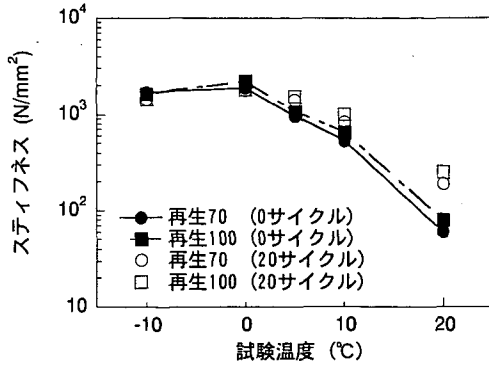


図-23 試験温度とスティフネス

b) 回収アスファルトの性状

アスファルト破碎材混入率を70%ならびに100%とした再生アスファルトコンクリートから回収したアスファルトの物理特性を調べた。表-30に針入度、軟化点と伸度をまとめた。いずれの特性をみても、アスファルト破碎材混入率を100%としたもののほうが老化の進行していることが明らかである。ただし、促進老化により値が変化するような状況はほとんどみられず、材料製造時の特性はこの程度の老化作用が与えられても保持されることも明らかである。

表-30 回収したアスファルトの性状

項目	材料	促進老化サイクル		
		0	5	20
針入度 (1/10mm)	再生70	44	40	42
	再生100	35	36	39
軟化点 (°C)	再生70	54.5	55.5	54.5
	再生100	56.5	56.5	55.5
伸度 (cm)	再生70	17	12	12
	再生100	8	8	9

(3) まとめ

アスファルト破碎材混入率を100%まで高めたものと70%のものを比較すると、曲げ特性の違いはほとんどみられないが、回収したアスファルトには老化の回復が不十分である傾向もみられる。このことから、アスファルト破碎材混入率を100%までとした場合は、表層へ適用は難しいと考えられる。

3. コンクリート塊の再生利用

コンクリート塊の再生利用方法を検討するために、コンクリート版、粒状路盤材の二つに分けて、その基本的特性について調べた。

3.1 コンクリート版としての再利用

空港舗装の解体に伴って発生するコンクリート塊を、コンクリート版（貧配合のものを含む）として再利用する方策について検討するために室内試験を実施した。このほか、一般構造物の解体に伴って発生するコンクリート塊も検討の対象とした。ここでは、骨材を種々に組み合わせ、設計基準曲げ強度を3, 4, 5N/mm²の3種類とした。

(1) 使用材料と試験方法

a) 使用材料

コンクリート塊を再生利用した再生骨材としては、空港舗装（粗骨材最大寸法40mm）および一般構造物（粗骨材最大寸法25mm）から入手した2種類を用いた。いずれも、スクリュース摩砕法*により、旧建設省暫定品質基準案1種として規定された品質（表-31参照）を目標に調整した。

表-31 再生骨材の暫定品質基準案

項目	再生粗骨材			再生細骨材		
	1種	2種		1種	2種	
吸水率 (%)	3以下	3以下	5以下	7以下	5以下	10以下
安定性 (%)	12以下	40以下	12以下	—	10以下	—
		40以下**				

なお、再生粗骨材としては十分な品質のものが得られたが、再生細骨材はその吸水率については、空港舗装からのものが8.2%、一般構造物からのものが10.5%と、基準を満足できなかった。しかし、後述するように普通骨材を混合して粒度調整した結果、空港舗装、一般構造物のそれぞれで、5.7%、7.9%と基準値にかなり近くはなっている。

再生骨材は、土木学会コンクリート標準示方書（舗装編）¹⁰⁾に示された標準粒度範囲内に入るよう調整したが、このうち再生細骨材については、再生骨材のみでは調整できなかったため、普通骨材を最小限使用した（空港舗装では再生:普通=6:4、一般構造物では再生:普通=7:3）。普通骨材は、粗骨材として山梨県富士川産の川砂利を使用し、細骨材として千葉県産山砂と石灰石砕砂を6:4の質量比で混合したものを使用した。また、セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、混和剤としてAE減

* Head, ケーシング内に設置した位置軸スクリュの回転によって、コンクリート塊がケーシング内部を通過するとき、骨材同士の接触により周囲に付着しているモルタル部分を剥離、破碎し、除去する方法。今回は同一材料を2回処理している。

**凍結融解耐久性を考慮しない場合

水剤とAE助剤を使用した。再生ならびに普通骨材の品質と粒度は表-32に示すとおりである。

再生骨材と普通骨材を組み合わせたものについて、設計基準曲げ強度を3, 4, 5N/mm²とした11ケースを試験の対象とした(表-33)。それぞれに対して、粗骨材最大寸法25mm, スランプ2.5cm, 空気量4.5%の条件のもとで、設計基準曲げ強度3, 4および5N/mm²を満足する最適配合を求めた。

表-33に示した11種類のコンクリートの配合設計を実施した。配合試験は、公称容量100λの二軸強制練りミキサーを用い、1バッチの練混ぜ量を60λとして実施した。なお、練上り温度が20℃となるように材料ならびに試験室の温度を管理した。その結果、コンクリートの配合は表-34のように決定された。これから、目標設計基準曲げ強度が同一の場合、再生骨材を用いたコンクリートは、普通骨材を用いたものに比べると水セメント比は小さくなる傾向にあることがわかる。なお、決定された配合を用いて後述する試験用に供試体を作成したとき

の、コンクリートのフレッシュ性状は表-35に示すとおりである。

b) 試験方法

再生骨材の再生コンクリート版への適用性について検討するために、二つの試験を行った。一つは再生コンクリートが目標強度を達成できていることを確認するための曲げ強度試験であり、もう一つは収縮特性を検討するための乾燥収縮試験である。

i) 曲げ強度試験

曲げ強度試験は、JIS A 1132に準拠して行った。

供試体の作製手順は次のとおりである。まず、練り落としたコンクリートを二層に分けて150×150×530mmの鋼製型枠内へ流し込み、パイププレートによる振動締固めを行った後に、打設後3, 4時間経過した時点で打設面の整形を行った。そして、打設後24時間が経過してから鋼製型枠を脱型して、20℃に保持した養生水槽内に静置して養生した。

表-32 骨材の品質と粒度

項目		粗骨材			細骨材		
		再生(空港)	再生(一般)	普通	再生(空港)	再生(一般)	普通
密度 (g/cm ³)	表乾	2.59	2.55	2.66	2.49	2.34	2.62
	絶乾	2.51	2.48	2.62	2.36	2.18	2.57
吸水率(%)		2.84	2.86	1.34	5.69	7.93	1.94
通過 質量 百分 率 (%)	(mm)						
	25	100	100	100			
	20	77	78	82			
	15	60	66	65			
	10	22	22	37	100	100	100
	5	0	1	6	93	96	96
	2.5	0	1	1	80	80	84
	1.2				58	65	65
0.6				45	50	52	
0.3				32	28	35	
0.15				13	8	6	

表-33 骨材と設計基準曲げ強度による試験ケース

種類	粗骨材	細骨材	設計基準曲げ強度(N/mm ²)
A-RA-3	再生(空港)	再生(空港)	3
RA-RA-4	再生(空港)	再生(空港)	4
RA-RA-5	再生(空港)	再生(空港)	5
RR-RR-3	再生(一般)	再生(一般)	3
RR-RR-4	再生(一般)	再生(一般)	4
RR-RR-5	再生(一般)	再生(一般)	5
RA-NO-5	再生(空港)	普通	5
NO-RA-5	普通	再生(空港)	5
NO-NO-3	普通	普通	3
NO-NO-4	普通	普通	4
NO-NO-5	普通	普通	5

注) RA:再生(空港舗装), RR:再生(一般構造物), NO:普通骨材

表-34 決定されたコンクリートの配合

種類	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単用量 (kg/m ³)							AE減水剤	AE助剤
			水	セメント	細骨材		粗骨材				
					再生	普通	再生	普通			
RA-RA-3	64	37	130	203	406	296	1241	—	0.508	0.0142	
RR-RR-3	60	34	126	210	402	204	1285	—	0.525	0.0231	
NO-NO-3	69	39	125	181	—	789	—	1256	0.456	0.0145	
RA-RA-4	47	33	133	283	348	254	1269	—	0.708	0.0226	
RR-RR-4	45	31	131	291	353	178	1288	—	0.728	0.0320	
NO-NO-4	52	35	120	231	—	700	—	1317	0.578	0.0162	
RA-RA-5	38	31	140	368	324	216	1248	—	0.920	0.0405	
RR-RR-5	36	29	138	383	331	142	1260	—	0.958	0.0766	
NO-NO-5	41	33	125	305	—	634	—	1306	0.763	0.0305	
RA-NO-5	39	30	125	321	—	571	1321	—	0.803	0.0353	
NO-RA-5	41	33	135	329	354	234	—	1278	0.823	0.0362	

表-35 コンクリートのフレッシュ性状

種類	収縮試験用		曲げ強度試験用	
	スランブ (cm)	空気量 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)
RA-RA-3	2.0	3.5	2.3	4.0
RR-RR-3	2.5	3.5	3.2	3.9
NO-NO-3	2.3	4.6	2.5	4.6
RA-RA-4	2.0	3.7	2.3	4.1
RR-RR-4	2.4	3.5	2.2	3.7
NO-NO-4	2.1	4.4	2.0	4.5
RA-RA-5	2.8	3.8	2.8	3.7
RR-RR-5	2.3	3.5	2.6	3.5
NO-NO-5	2.2	4.5	2.3	4.5
RA-NO-5	2.0	3.9	2.2	3.8
NO-RA-5	2.1	3.5	2.0	3.9

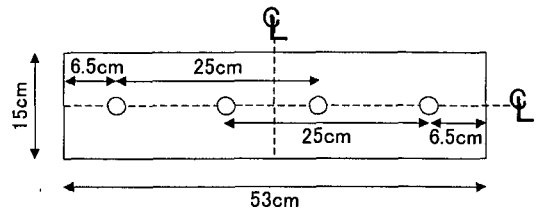


図-24 収縮量測定用チップ貼付位置

材齢が28日となった時点で曲げ強度試験を行い、同一条件の供試体3本の平均値をその代表値とした。また、設計基準曲げ強度が5N/mm²の場合については、材齢91日でも試験を実施した。

ii) 乾燥収縮試験

乾燥収縮試験では、作製した供試体を自由変形可能な方法で静置し、長期間にわたる収縮状況を計測した^{viii)}。

供試体の作成方法は、鋼製型枠脱型までは上記の曲げ強度試験の場合と同様である。型枠脱型後、打設面以外からの水分蒸発を防ぐために、供試体底面ならびに側面に水分蒸発防止用テープを貼り、図-24に示すように供試体上面に収縮ひずみ計測用チップを2区間4個貼り付けた。そして、供試体底面の変形が拘束されることを避けるために、直径2mmのガラスビーズを底に敷き詰めたプラスチック製コンテナ内に供試体を静置した。それから、供試体上面に養生マットをかけて、材齢14日に到達するまで散水を毎日行った。なお、表-33に示す11種類の配合につき供試体はそれぞれ3体用いた。

供試体の長さ変化量は、ガラスビーズを敷き詰めたプラスチック製コンテナに供試体を静置した状態のまま、約25cm離れたチップ間の距離を1供試体につき2径間ずつホイットモアひずみ計で測定した。接着剤硬化直後の計測値（初期値）を基準長として採用し、打設後1週間は材齢3, 5, 7日において、7日から91日までは1週間ごとに長さ変化量の計測を行った。さらに、91日からは4週間ごとに計測を行い、約1年間が経過するまで計測を行った。同一条件の供試体3本で得られた6径間の収縮ひずみの平均値を、その条件での代表値とした。

試験室の温度は20℃で一定になるように保持したが、湿度については特に調整しなかった。試験期間中の温度の変化を図-25、湿度の変化を図-26に示す。

(2) 試験結果

a) 曲げ強度試験

材齢28日における曲げ強度試験の結果を図-27に示す。これから、目標設計基準曲げ強度が3, 4, 5N/mm²のいずれに対しても、設計基準曲げ強度を満足できる再生コンクリートが得られることがわかる。同様に、粗骨材にのみ再生骨材を使った場合、細骨材にのみ再生骨材を使った場合であっても、設計基準曲げ強度を満足するものが得られる。

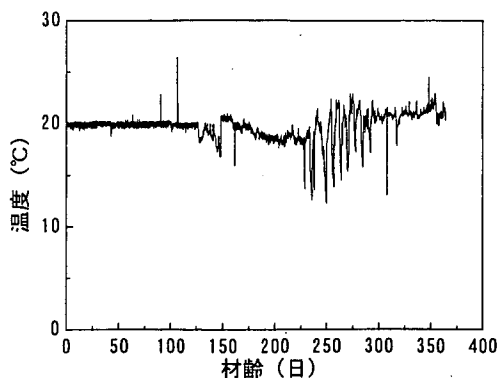


図-25 養生室の温度

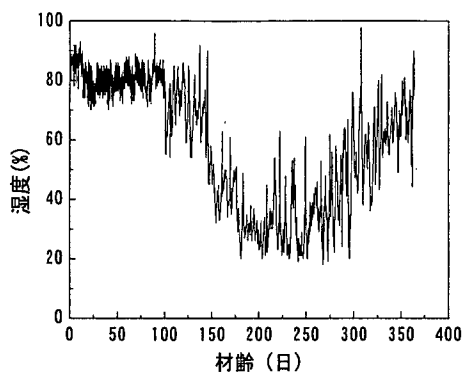


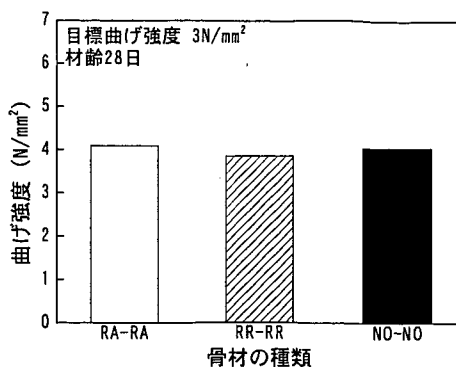
図-26 養生室の湿度

次に、目標設計基準曲げ強度 $5N/mm^2$ の場合の、材齢28日と91日の曲げ強度の関係を図-28に示す。材齢による強度増加度合いをみると、空港舗装の再生骨材を用いたもの(RA-RA-5)は普通骨材を用いたものより大きいですが、その他のものについては普通骨材を用いたものと同程度となっていることがわかる。

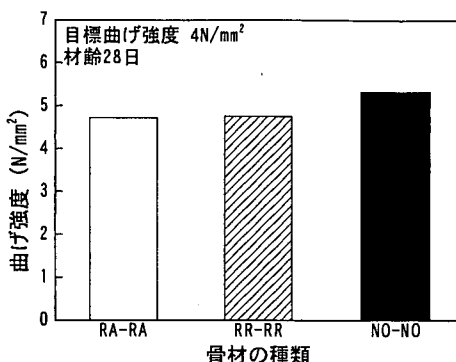
b) 乾燥収縮試験

乾燥収縮ひずみが材齢によって変化する状況を図-29に示す。全体的にみると、再生骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみは、普通骨材を用いた場合より大きい値を示す傾向にあることがわかる。これは、目標設計基準曲げ強度が変わっても、同一の傾向を示している。なお、目標設計基準曲げ強度の大きいものは他に比べて水セメント比が小さいことから、乾燥収縮ひずみ自体は小さくなっている。

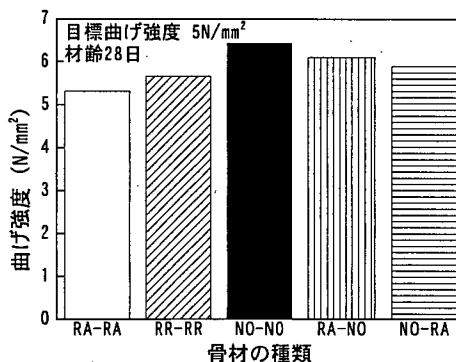
以上のように、約1年間計測したなかで、再生骨材を用いたコンクリートの収縮ひずみは普通骨材を用いたものよりも大きな値を示す傾向にあるが、最大でも1.2倍程度であることから、両者の乾燥収縮特性には大きな差はないと考えられる。



a) 目標設計基準曲げ強度 $3N/mm^2$



b) 目標設計基準曲げ強度 $4N/mm^2$



c) 目標設計基準曲げ強度 $5N/mm^2$

図-27 骨材の種類と曲げ強度の関係

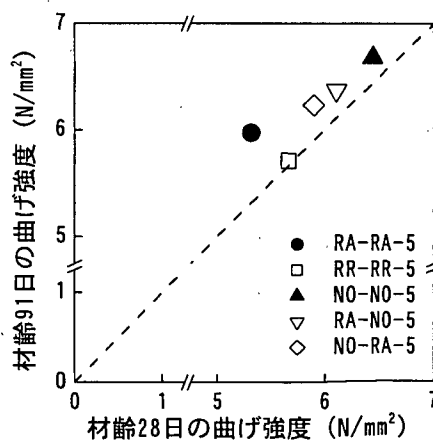


図-28 材齢28日と91日の曲げ強度

(3) まとめ

コンクリート塊のコンクリート版としての再利用に関して実施した室内試験の結果は、以下のようにまとめられる。

- ① 再生骨材を使用しても、3~5N/mm²の設計基準曲げ強度を有するコンクリートを得ることが可能であり、材齢経過に伴う強度増加も普通骨材を用いた場合と同様である。
- ② 再生骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮は、普通骨材の場合よりも1.2倍程度大きい。

3.2 路盤材料としての再利用

コンクリート塊を路盤材料として使用する場合には、アスファルトコンクリート塊と同様に、再生安定処理材、再生粒状材としてのものがあるが、ここでは使用されることの多い後者に限定して検討を行った¹⁰⁾。

(1) 使用材料と試験方法

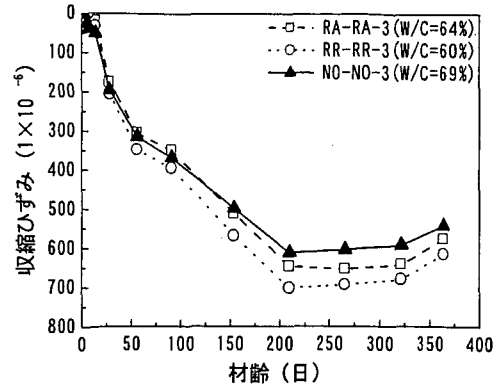
a) 使用材料

検討の対象とした路盤材料は2種類で、一般的な砕石（通常砕石、C-40）ならびにコンクリート舗装の解体に伴って生ずる砕石（再生砕石、RC-40）である。路盤材として使用した通常砕石は関東地方で一般的に入手可能と考えられる材料であり、最適含水比は12.8%，最大乾燥密度は1.57g/cm³である。再生砕石は、コンクリート塊主体のクラッシュランで、関東地方の一般的な骨材再生プラントから2種類を入手した。RC-40(1)の最適含水比は10.8%，最大乾燥密度は1.81g/cm³であり、RC-40(2)は、それぞれ、12.0%，1.88g/cm³である。

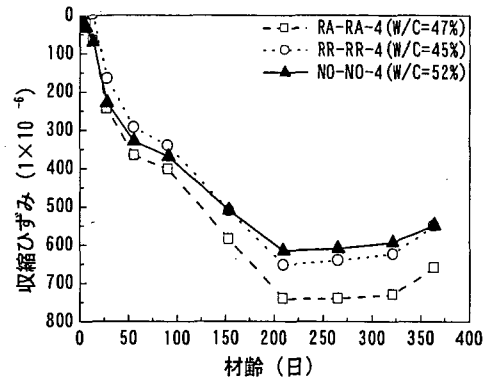
後述する試験に使用する供試体はJIS A 1210で規定された突固め方法のE法（ランマー質量4.5kg，落下高さ45cm，モールド内径15cm，3層突き固めて1層あたりの突固め回数92回）に準じて作製した。表-36には、供試体の乾燥密度と含水比をまとめた。

b) 試験方法

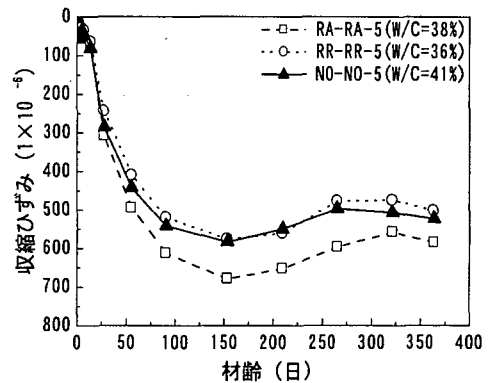
再生粒状材料としての性能を検討するために、2種類の試験を実施した。一つはCBR試験，もう一つは繰返し載荷試験である。いずれも、水浸状態での性能低下が懸念されることから、上記の方法により作成した供試体を所定の水浸状態において実施した。水浸状態とする場合には、供試体の上に質量5kgの載荷板を載せ、室温20±3℃の恒温恒湿室で、所定の水深となるように調整して4日間水浸した。



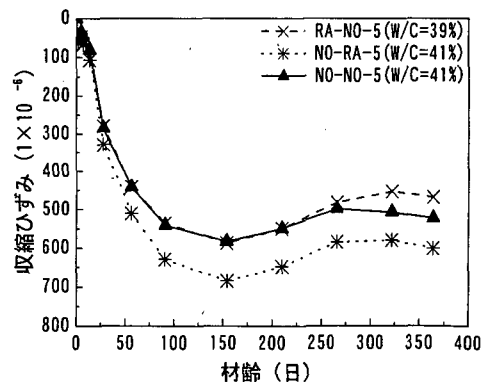
a) 目標設計基準曲げ強度 3N/mm²



b) 目標設計基準曲げ強度 4N/mm²



c) 目標設計基準曲げ強度 5N/mm² (再生のみ)



d) 目標設計基準曲げ強度 5N/mm² (普通と再生)

図-29 材料による収縮ひずみの違い

表-36 供試体の乾燥密度と含水比

材料	乾燥密度 (g/cm ³)			含水比 (%)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均
C-40	-	-	-	14.0	11.0	12.5
RC-40(1)	1.88	1.80	1.83	13.1	10.9	12.1
RC-40(2)	1.92	1.78	1.86	13.8	10.9	12.0

CBR試験はJIS A 1211に準拠して実施した。すなわち、直径50mmの貫入棒を1mm/minの速度で供試体に貫入させて貫入量が2.5mmあるいは5mmに達したときの荷重を求め、標準荷重（貫入量2.5mm, 5.0mmのそれぞれに対して、13.4kN, 19.9kN）に対する百分率としてCBRが得られる。

繰返し載荷試験は、CBR試験と同様に直径50mmの貫入棒を供試体に繰返し貫入させることによる。その場合の荷重は貫入量2.5mmのときの荷重の80%とし、周期1秒で10,000回繰返して載荷した。この試験では載荷にともなう貫入量の変化に着目した。

(2) 試験結果

a) CBR試験

通常碎石の場合は、図-30に示すように、CBRは水位の増加につれて低下し、非水浸状態で140%程度あったCBRが、冠水状態になると1~2割低下してしまうことがわかる。これに対して、再生碎石の場合、CBRは水浸深さの増加により徐々に減少するが、供試体が完全に水浸した状態（冠水状態）でも、非水浸の場合に比べて数パーセント低下するにすぎない。

b) 繰返し載荷試験

繰返し載荷試験の結果として、図-31に繰返し載荷に伴う弾性変形量の変化状況を示した。繰返し載荷が進行するにつれて弾性変形量が低下する状況は、RC-40とC-40とであまり変わらない。

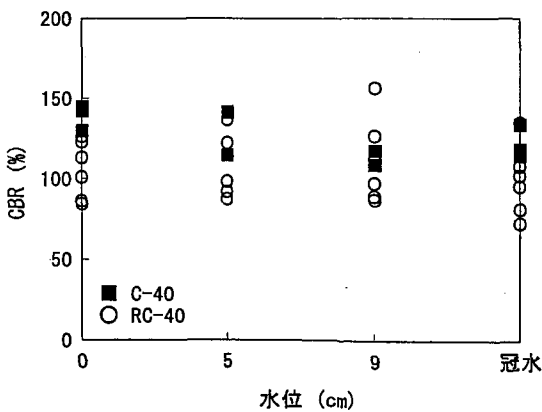
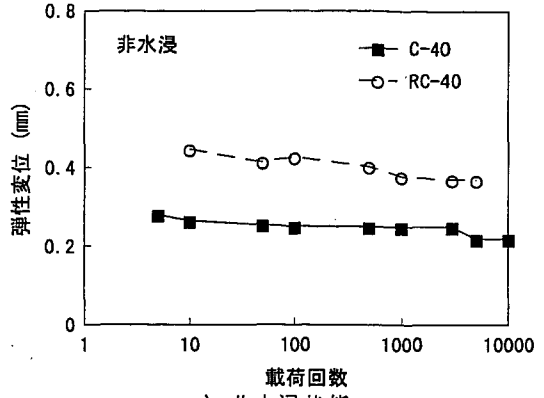
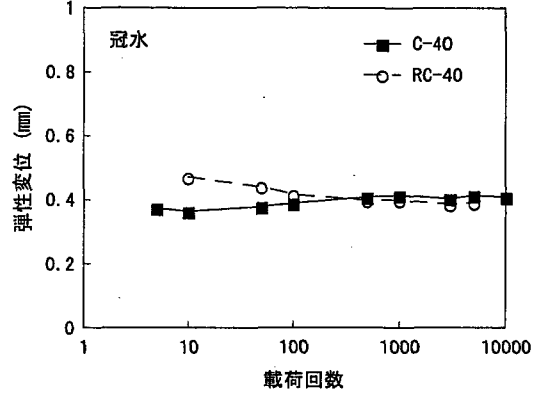


図-30 水位によるCBRの違い

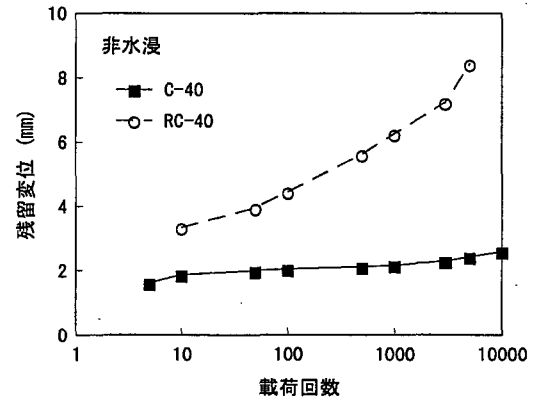


a) 非水浸状態

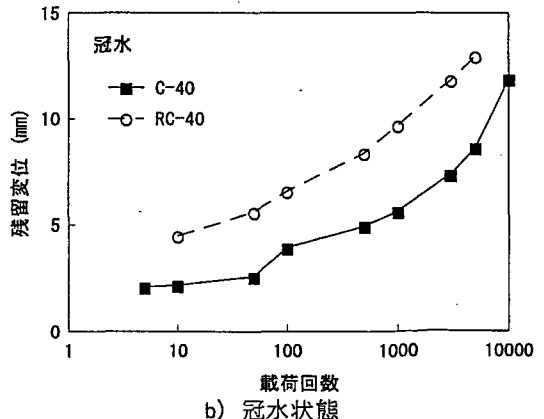


b) 冠水状態

図-31 繰返し載荷に伴う弾性変位の変化



a) 非水浸状態



b) 冠水状態

図-32 繰返し載荷に伴う残留変位の変化

残留変形量については図-32にまとめた。RC-40、C-40は、いずれも繰返し載荷につれて残留変形量が大きくなり、また、RC-40のほうがC-40よりも残留変形量は著しく大きくなっている。水浸前後における残留変形量の違いをみれば、いずれの材料も水浸することにより残留変形量は増加することが明らかである。

(3) まとめ

コンクリート塊を再生粒状材として使用する場合について検討した結果は、次のようにまとめられる。

- ① 再生骨材のCBRは、水浸状態が進行するにつれて若干低下する傾向がみられるが、その程度は通常骨材よりも小さい。
- ② 繰返し載荷試験における残留変形の増加状況は、再生骨材で著しく、水浸状態となることによって残留変形量自体も大きくなる。

4. まとめ

アスファルトコンクリート塊、コンクリート塊の空港舗装への有効利用の促進を図るための方策について、室内試験により検討した。その結果は、以下のようにまとめられる。

- (1) アスファルトコンクリート塊は、まず表層・基層アスファルトコンクリートとして適用し、次に安定処理路盤として再利用を考えるべきである。前者の場合、空港舗装に使用されていたアスファルトコンクリートを原材料とし、再生率を70%までとした場合には、基層にはもちろんのこと、表層であっても誘導路の場合には適用可能である。後者の場合、セメント安定処理材もしくはアスファルト安定処理材とするのが有効である。
- (2) コンクリート塊については、まず粒状路盤材として、次にそれ以外の再利用方法を考えるべきである。前者の場合、水浸による性能低下に注意する必要がある。また、後者の場合は、今回の基本的検討結果からではあるが、コンクリート版としても適用性が

あると考えられる。

5. おわりに

以上示したように、アスファルトコンクリート塊ならびにコンクリート塊の空港舗装への再利用方策について明らかにした。これらは室内試験のみによる検討であることから、特に、その有用性が認められたアスファルトコンクリート塊の再生安定処理路盤材料としての適用性については現地試験による実証が今後必要となる。なお、市中プラントにより入手できるアスファルトコンクリート塊の再生加熱アスファルトコンクリートとしての再生利用方策等、本資料で示していないものについては、取りまとめ次第順次発表していく所存である。

(2004年 2月16日 受付)

参考文献

- 1) 国土交通省航空局（監）：空港土木工事共通仕様書，（財）港湾空港建設技術サービスセンター，2001。
- 2) (社) 日本道路協会：プラント再生舗装技術指針，84p., 1992。
- 3) 国土交通省航空局（監）：空港舗装構造設計要領，（財）港湾空港建設技術サービスセンター，pp.30, 1999。
- 4) (社) 日本道路協会：舗装試験法便覧，1069p., 1979。
- 5) (社) 日本道路協会：路上再生路盤工法技術指針（案），68p., 1998。
- 6) 八谷好高，坪川将丈，松崎和博，高橋 修：再生アスファルトコンクリートの空港舗装表層への適用性—室内試験による検討—，国土技術政策総合研究所研究報告，第7号，26p., 2003。
- 7) (社) 土木学会コンクリート委員会（編）：コンクリート標準示方書【舗装編】，（社）土木学会，212p., 2002。
- 8) 坪川将丈，八谷好高，松崎和博：空港コンクリート舗装における被膜養生剤の適用性，国土技術政策総合研究所資料，No.102，36p., 2003。
- 9) 八谷好高，中村 健，梅野修一，野田 工，工藤隆志：高地下水位下における空港アスファルト舗装の構造設計，港湾技研資料，No. 875，28p., 1997。

-
- ⁱ 国土交通省航空局（監）：空港土木工事共通仕様書，（財）港湾空港建設技術サービスセンター，2001.
- ⁱⁱ （社）日本道路協会：プラント再生舗装技術指針，84p., 1992.
- ⁱⁱⁱ 国土交通省航空局（監）：空港舗装構造設計要領，（財）港湾空港建設技術サービスセンター，pp.30,1999.
- ^{iv} （社）日本道路協会：舗装試験法便覧，1069p., 1979.
- ^v （社）日本道路協会：路上再生路盤工法技術指針（？）, 68p.,1998.
- ^{vi} 八谷好高, 坪川将丈, 松崎和博, 高橋 修：再生アスファルトコンクリートの空港舗装表層への適用性－室内試験による検討－, 国土技術政策総合研究所研究報告, 第7号, 26p., 2003.
- ^{vii} （社）土木学会コンクリート委員会（編）：コンクリート標準示方書 [舗装編], （社）土木学会, 212p., 2002.
- ^{viii} 坪川将丈, 八谷好高, 松崎和博：空港コンクリート舗装における被膜養生剤の適用性, 国土技術政策総合研究所資料, No.102, 36p., 2003.
- ^{ix} 八谷好高, 中村 健, 梅野修一, 野田 工, 工藤隆志, 高地下水位下における空港アスファルト舗装の構造設計, 港湾技研資料, No. 875, 28p., 1997.