

コンクリート副産物の高度処理・利用技術の開発に関する

共 同 研 究 報 告 書

「コンクリート副産物の土木事業における 利用ガイドブック」

平成9年3月

建 設 省 土 木 研 究 所
材料施工部コンクリート研究室
財団法人先端建設技術センター

鹿島建設株式会社
鉄建建設株式会社
日本舗道株式会社
前田道路株式会社
株式会社新潟鐵工所
大有建設株式会社

五洋建設株式会社
日本道路株式会社
株式会社フジタ
株式会社小松製作所
株式会社新井組
日本セメント株式会社

Copyright©(1997) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

コンクリート副産物の高度処理・利用技術の開発に関する

共同研究報告書

「コンクリート副産物の土木事業における 利用ガイドブック」

建設省土木研究所 材料施工部コンクリート研究室 室長
研究員

〃

財団法人 先端建設技術センター 研究第一部 部長
主任研究員
環境技術部 次長

鹿島建設株式会社	エンジニアリング本部	環境技術部	次長
五洋建設株式会社	安全環境部	部長代理	
鉄建建設株式会社	技術研究所	副所長	
日本道路株式会社	技術本部	技術研究所	所長
日本舗道株式会社	技術開発部長		
株式会社フジタ	土木本部	生産技術部	部長
前田道路株式会社	本店	技術部	副部長
株式会社小松製作所	建設ロボット事業部	リサイクルG	担当部長
株式会社新潟鐵工所	構機システム事業部	管理部	部長
株式会社新井組	技術本部	技術研究部	部長
大有建設株式会社	常務取締役	技術本部	部長
日本セメント株式会社	開発第二部	部長	

河野 広隆
加藤 俊二
菊森 佳幹
戸谷 有一
杉山 雅彦
鈴木 繁樹
松本 聡
芝 司朗
坂田 耕一
石倉 大幹
吉富 英太郎
熊坂 光史
田口 明人
岩崎 一彦
中澤 明夫
古瀬 紀之
三村 武教

要 旨

建設省総合技術開発プロジェクト「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発」では、「コンクリート副産物の高度処理・利用技術の開発に関する研究」に関して、平成4年度より建設省土木研究所、財団法人先端建設技術センター、民間企業12社で共同研究を実施した。

本研究は、コンクリート副産物を土木事業に利用していくための、品質、利用用途、処理技術等の総合的な検討を行ったものである。

本報告書は、これまでの検討してきた成果を基に、コンクリート副産物を土木事業で有効利用していくための参考資料となるようとりまとめたものである。

キーワード：コンクリート副産物、リサイクル、土木事業への利用用途、再生処理技術・
体制品質管理

共同研究者

機関・企業名	氏 名	役 職 名	担当年度
建設省土木研究所	小林 茂敏	地質化学部 部長	92年度
	池村 雅司	材料施工部 部長	92～93年度
	岡崎 治義	"	94～96年度
	河野 広隆	材料施工部 コンクリート研究室 室長	92～96年度
	高橋 弘人	地質化学部 " 研究員	92年度
	加藤 俊二	材料施工部 " "	92～96年度
	菊森 佳幹	" " "	93～96年度
(財)先端建設技術 センター	藤井 崇弘	専務理事	92年度
	酒井 孝	"	93～96年度
	小宮山 克治	常務理事	92年度
	佐々木 康	"	93～94年度
	奥田 朗	常任参与	95～96年度
	横山 功一	研究第一部 部長	92年度
	桐越 信	" "	93～95年度
	戸谷 有一	" "	96年度
	水谷 英之	" 主任研究員	92～95年度
	杉山 雅彦	" "	95～96年度
鹿島建設(株)	鈴木 繁樹	エンジニアリング本部 環境技術部 次長	92～96年度
	若林 秀樹	" "	92～96年度
	菊池 隆	東京支店 廃棄物処理計画室 主査	92年度
	須藤 康市	" 安全環境部 建設公害対策課 課長	93～96年度
	米谷 秀子	" 廃棄物処理計画室	92年度
五洋建設(株)	松本 聡	安全環境部 部長代理	92～96年度
	樋口 洋平	技術研究所 第一研究開発室 室長	92～94年度
	徳永 豊	" 課長	95～96年度
	岩井 隆彰	" " 研究員	92～96年度
	栗田 洋介	土木部 部長	92～94年度
	花園 博	" "	95～96年度
鉄建建設(株)	丸尾 茂樹	エンジニアリング本部 材料研究開発部 部長	92年度
	小笠原 正一	技術研究所 研究第4部 部長	93～95年度
	芝 司朗	" 副所長	96年度
	前川 昭礼	" 研究第4部 主席研究員	92～96年度
	岩崎 次夫	" 研究第2部 研究員	92～96年度

	花田 稔夫	"	研究第1部	主任研究員		92～96年度
	桑田 充	"	"	研究員		92～94年度
	西脇 敬一	"	"	"		95～96年度
日本道路(株)	坂田 耕一	技術本部	技術研究所	所長		92～96年度
	橋本 修司	"	"	第二研究室	室長	92～96年度
	永瀬 一考	"	"	"	研究員	92年度
	笠原 好則	"	"	"	"	93～96年度
日本舗道(株)	岡崎 勝義	総合技術部長				92年度
	後町 知宏	総合技術部	部長			92～95年度
	石倉 大幹	技術開発部長				96年度
	山辺 生雅	総合技術部	生産技術第三課長			92～94年度
	根本 信行	"	技術研究所	研究第一課長		95～96年度
	加藤 義輝	"	"	研究第二グループ	課長	92～94年度
	泉 方俊	"	"	技術開発グループ	課長	96年度
	稲葉 七生	"	"	"	係長	95～96年度
	新井 薫	"	"	研究第三グループ	研究員	93～96年度
(株)フジタ	中山 清	土木本部	技術部	部長		92～94年度
	吉富 英太郎	"	生産技術部	部長		95～96年度
	茶山 和博	"	技術部	リーダー		92～96年度
	渡辺 直樹	"	"	チーフエンジニア		92～94年度
	坂元 健一郎	"	"	"		95～96年度
	伊藤 祐二	技術本部	技術研究所	主任研究員		92～96年度
	西村 孝之	"	"	主任		94～96年度
前田道路(株)	熊坂 光史	本店	技術部	副部長		92～96年度
	岡野 勝治	技術研究所	副所長			92～96年度
	小林 良太	"	第二研究室	室長		92～96年度
	中村 悟志	"	"			92年度
	大須賀 信行	"	"			93～96年度
(株)小松製作所	尾上 建治	ロボット事業部	建設ロボット部	部長		92年度
	木村 安男	建設ロボット事業部	建設ロボット部	副部長		93～95年度
	根本 健二	"	"	"		95年度
	田口 明人	"	リサイクルG	担当部長		92～96年度
	田村 幸夫	"	建設ロボット部	主任技師		92～96年度
	藤川 茂	建設事業本部	商品企画室	商品企画第1部	主査	92年度
	前尾 英実	"	"	商品企画グループ	主査	94～96年度

(株)新潟鐵工所	岩崎 一彦	機械システム事業部	管理部	部長	92～96年度
	平野 治行	"	技術部	部長	92～96年度
	吉野 健治	高崎工場 設計室	課長		92～96年度
	設楽 洋一	機械システム事業部	技術部	主査	92～94年度
	亀井 高志	"	"	係長	95～96年度
(株)新井組	浜田 健太郎	技術本部	技術研究部	部長	92～93年度
	中澤 明夫	"	"	"	94～96年度
	永野 重行	土木工事部	工務課	課長	92年度
	野網 早男	技術本部	技術研究部	主任研究員	92～96年度
	吉田 眞二	"	"	研究員	92～96年度
	坂本 宏	"	"	"	93～96年度
大有建設(株)	吉兼 亨	常務取締役	技術本部長		92～94年度
	古瀬 紀之	"	"		95～96年度
	鯉江 利夫	中央研究所	所長		92～96年度
	中島 佳郎	"	副参事		92～96年度
	松下 正美	"	係長		92～94年度
	石原 康英	"	主任		92年度
	木村 隆之	"	係長心得		93～94年度
	浅野 耕司	"	"		95～96年度
	服部 秀雄	"	主任		95～96年度
日本セメント(株)	三村 武教	開発第二部	部長		92～96年度
	岡本 享久	中央研究所	セメントコンクリート研究部	主席研究員	92～96年度
	田中 敏嗣	"	コンクリート・建材研究部	研究員	92年度
	柴田 辰正	"	セメントコンクリート研究部	研究員	93～96年度
	斉藤 武士	エンジニアリング事業部	技術第一課	係長	92～96年度
	竹内 憲正	開発第二部	総括チームリーダー		92～96年度
	寺光 泰文	"	リーダー		96年度
	吉岡 勇治	"	サブリーダー		96年度

目 次

まえがき

1. コンクリート副産物のリサイクル	1
1.1 リサイクル法とコンクリート副産物	1
1.2 コンクリート副産物の再生利用形態	2
1.3 「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）」	3
1.4 副産物総プロで新たに検討した用途	5
1.4.1 小割材・粗骨材の利用	6
(1) プレパックドコンクリートへの利用	6
(2) コンクリート二次製品への利用	10
(3) ポーラスコンクリートへの適用	11
(4) アスファルト安定処理混合物への利用	14
(5) 基層および表層用加熱アスファルト混合物への利用	17
1.4.2 細骨材・微粉等の利用	21
(1) 再生処理方式と微粉の性状	21
(2) 再生細骨材および微粉の利用用途	24
(a) インターロッキングブロックへの利用	24
(b) コンクリート用ワーカビリティ改良材としての利用	26
(c) 固化化による利用	29
(d) 流動化処理用固化材としての利用	30
(e) 路床・路盤の安定処理材としての利用	32
(f) アスファルト混合物用フィラーとしての利用	34
(g) セメント原料への利用	36
(h) 裏込め注入材への利用	38
(i) 土壌改良材としての利用	39
1.5 その他の利用方法	41
2. 再生処理方法と品質・コスト	42
2.1 定置式再生資源化施設	43
2.1.1 定置式再生資源化施設の現状と将来	43
2.1.2 定置式における高度処理機械の一例	47
2.2 自走式再生処理機	49
2.2.1 従来の解体材の処理方法と比較した自走式再生処理機による処理方法のメリット	49
2.2.2 自走式再生処理機の経済性の検討	49
2.3 定置式再生資源化施設における混入物の選別技術	53
2.3.1 選別方法と精度	53
2.3.2 インクライン選別機、精選別機の経済性	54

3. 再生材の品質管理について	56
3.1 再生資源化施設における品質管理試験	57
3.1.1 再生路盤材の即時C B R試験	57
3.1.2 再生骨材の100kN破砕試験	59
3.2 混入物の取扱いについて	61
3.2.1 再生路盤材における混入物の影響	61
3.2.2 再生路盤材中の許容混入量	63
3.2.3 コンクリート用再生骨材における混入物の影響	64
3.2.4 コンクリート強度からみた再生骨材中の許容混入量	65
あとかき	69

<資料>

1. 「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）」	73
2. 「再生路盤材の即時C B R試験方法」	83
3. 「コンクリート用再生骨材の100kN破砕試験方法」	85
4. コンクリート副産物中の各種混入物の混入状況見本	87

リサイクルの施行に伴い、各産業においてこれまで廃棄されていた資材や資源の再利用・リサイクルに関する検討が行われるようになった。建設産業においても同様であり、最終処分場の逼迫等から土木・建築構造物の施工・改修・解体工事等から発生する各種建設副産物のリサイクルに関する検討が行われるようになった。特にコンクリートのリサイクルは、骨材事情や環境問題等から重要な課題となっている。現在我が国では、年間約8億トンもの骨材が生産され、そのうちの約3億トンが道路用に、残りの約5億トンがコンクリート用骨材として使用していると推計されている。これらの骨材は、以前は河川等から玉砂利や砂を採取していたが、河川環境の破壊や高度成長期以降の使用量の急増等の理由から、現在では人工的に岩石を破碎した碎石や砕砂が主に用いられるようになってきている。しかし、この碎石や砕砂も地方によっては風化や変成により低品質化し、良質な骨材の採取が困難となっているところもある。また、河川と同様に山間部でも生態系破壊等の環境問題が取り上げられ、新たな採石場の確保も困難になってきており、これらの理由から骨材資源の枯渇化が叫ばれている。このため、コンクリート等に使用された骨材資源を、積極的かつ有効に再利用していかなければならない

一方、コンクリートのリサイクルに関する検討はリサイクル法施行以前から行われており、昭和40年代に建築分野を中心に再生コンクリートの検討が始まり、昭和50年代には建設省でも建設技術総合開発プロジェクト「建設事業への廃棄物利用技術の開発」において再生骨材の利用に関する検討を行っている。この他にも民間企業や地方公共団体でも多数の検討が行われてきた。

建設省で実施した平成2年度の建設副産物の実態調査結果を見ると、コンクリート副産物の発生量は残土を除く建設副産物全体の1/3を占める約2,600万トンで、この内の半分は再生クラッシュラン等にリサイクルされていた。しかしながら、残りは全て最終処分となっており、従来の技術開発・研究の結果はあまり生かされている状況ではなかった。また、平成3年に実施された(社)日本土木工業協会等によるアンケート調査では、コンクリート副産物のリサイクルが進まない主な要因に「品質基準の未整備」、「新材と比して低品質」、「再生材の供給体制の未整備」、「新材と比してコスト高」等が挙げられた。

これらの状況を受けて、建設省では新たに総合技術開発プロジェクト「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発」(通称：副産物総プロ〈平成4～8年度〉)を実施し、この中でコンクリート副産物の再利用・リサイクルを促進するために必要である、「品質基準の確立」、「利用用途の拡大」、「処理技術・利用技術の基準化・高度化」をテーマとし、(財)先端建設技術センター及び民間12社とともに共同研究を行ってきた。この成果として、平成6年4月に建設省大臣官房技術調査室長より「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案)」が通達され、検討すべき課題は多く残っているもののとりあえず品質基準の一部が整備された。さらに同年には、建設副産物リサイクル広報推進会議において「建設副産物対策行動計画(通称：リサイクルプラン21)」が策定され、この中で西暦2000年までにコンクリート副産物のリサイクル率を発生量の90%とするといった具体的な数値目標も示され、一層の努力が必要となってきている。

本ガイドブックはコンクリート副産物の再利用率の向上を目的として、建設事業から発生するコンクリート副産物を土木工事で利用する際の参考資料となるよう、共同研究等で得られた成果を基に具体的な利用用途や処理・利用技術、各種混入物の取り扱い等を取りまとめたものである。将来はコンクリート副産物の再々利用も必要となるが、ここでは再々利用しても特段の問題のないものを用途として選んでいる。

1. コンクリート副産物のリサイクル

1.1 リサイクル法とコンクリート副産物

コンクリート塊の再利用用途が法規上に明示されたのは「再生資源の利用の促進に関する法律」（以下、リサイクル法）の施行後からであり、それ以前は利用技術の検討は行っていたものの、利用用途及び方法に関しては法規には明示されていなかった。リサイクル法は、平成3年10月25日に建設省、通産省等7省庁により施行され、「物の生産」、「流通」、「消費」の各段階で発生する副産物の再資源化を促し、資源の有効利用と環境の保全を目的に作られたものである。この中で、建設業という「特定業種（政令で定める再生資源を利用することが技術的及び経済的に可能であり、これを利用することが必要なものとして再生資源の種類ごとに政令で定める業種）」は、建設工事に伴い発生するコンクリート塊、建設発生土、アスファルト・コンクリート塊（以下、アスファルト塊）及び建設発生木材という「指定副産物（副産物であって、その全部又は一部を再生資源としての利用を促進することが必要な物として、政令で定める業種ごとに政令で定めるもの）」のリサイクルに努めるよう定められている。

これに基づき、建設省では同年に、建設省令「建設業に属する事業を行うものの再生資源の利用に関する判断となるべき事項を定める省令」を定めている。この中で、コンクリート塊については表-1.1に示す区分に応じて表-1.2に示す用途に利用するものとし、建設工事の施工又は完成後の工作物に支障が生じない場合は、それ以外の用途の建設資材として利用できることが明示された。

表-1.1 再生資材の区分と構成材料

再生資材の区分	構成材料			
	コンクリート塊	セメント	石 灰	補足材料
再生クラッシャーラン	○			●
再生コンクリート砂	○			
再生粒度調整碎石	○			●
再生セメント安定処理路盤材料	○	○		●
再生石灰安定処理路盤材料	○		○	●

○：主要な構成材料 ●：必要に応じて添加

表-1.2 コンクリート副産物の利用用途

再生資材の区分	主な利用用途
再生クラッシャーラン	道路舗装及びその他舗装の下層路盤材料 土木構造物の裏込材及び基礎材 建築物の基礎材
再生コンクリート砂	工作物の埋め戻し材及び基礎材
再生粒度調整碎石	その他舗装の上層路盤材料
再生セメント安定処理路盤材料	道路舗装及びその他舗装の路盤材料
再生石灰安定処理路盤材料	道路舗装及びその他舗装の路盤材料

1.2 コンクリート副産物の再生利用形態

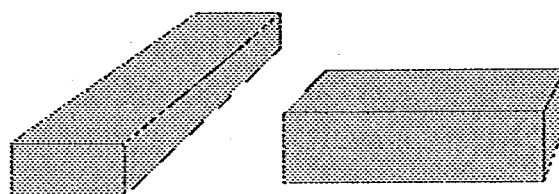
コンクリート副産物を再生利用する場合、その利用用途に応じて様々な形状に加工されて用いられる。この際のコンクリート副産物の利用形態は表-1.3に示すように大きさや形状から、①部材、②粗割材、③破碎骨材の大きく3種類に分類される。前述の建設省令に示された利用区分及び用途は、一般的に使用しやすい破碎材が対象となっている。

表-1.3 コンクリート副産物の利用形態

利用形態	部 材	粗割材	破碎材			
形 状	塊 状	ブロック状	小割材	粗骨材	細骨材	微粉末

(1) 部材

この利用形態は、原コンクリート構造物を部材ごとに切断し、なるべく部材の形状を生かすように再利用するもので、最も経済的な利用形態である。工夫次第で様々な形で利用することが可能であるが、需要及び供給、輸送、ストックヤード等の問題を考慮すると、需要先の施工現場あるいは供給元の解体現場を予め確保して利用計画も準備しておくことが必要である。

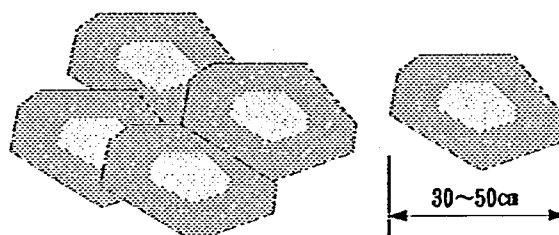


形、大きさは原コンクリート構造物で異なる

図-1.1 利用形態Ⅰ（部材）

(2) 粗割材

この利用形態は、原コンクリートを30～50cm程度に粗割りにして再利用するものである。これも、需要及び供給、経済性を考慮すると、需要先の施工現場あるいは供給元の解体現場を予め確保して利用計画も準備しておくことが望ましいが、大きさや場所等の条件が揃えば再生資源化施設の破碎処理前のストックヤードからの供給も可能である。



取り壊し材を現場で粗割

図-1.2 利用形態Ⅱ（粗割材）

(3) 破碎材

この利用形態は、粗割りにした原コンクリートを破碎機械で破碎処理し、骨材として再利用するもので、大きさ（粒径）によって小割材、粗骨材、細骨材、微粉の4種類に分類される。これらは、破碎処理後一旦再生資源化施設にストックされ、施工現場等の需要先に必要量だけ供給される。現在のコンクリート副産物の再利用用途の大半がこの形態である。利用しやすい反面、先述の2形態に比べて現場からの輸送費及び破碎処理費用が余分にかかることになる。

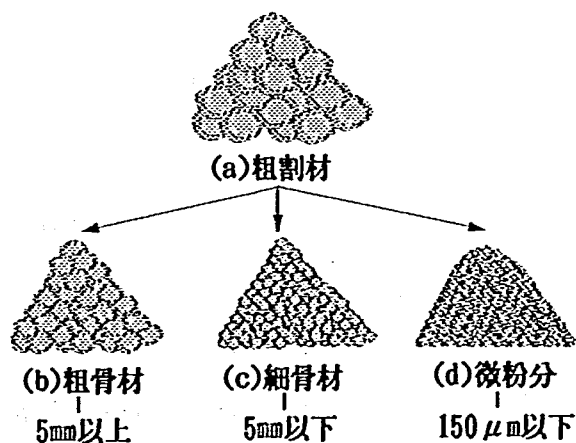


図-1.3 利用形態Ⅲ（破碎材）

1.3 「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）」

前述のように、建設省令の中でコンクリート塊を利用する場合の区分と利用用途について明示されたが、実際にはなかなかサイクルが進まなかった。この中では使用する際の目安となる品質等が示されておらず、(社)日本土木工業協会等によるアンケート調査でも、コンクリート副産物のリサイクルが進まない主な要因に「品質基準の未整備」が挙げられた。そこで建設省では、建設総合技術開発プロジェクト「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発」（以下、副産物総プロ）において品質基準の検討を行い、平成6年4月11日に「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）」（以下、暫定品質基準案）が通達された。用途としては、現在の利用状況や技術水準、現場での対応の可能性、将来の有望性、コスト等を勘案し、①コンクリート用再生骨材、②路盤材、③埋め戻し・裏込め材の3つを取り上げている。以下に、暫定品質基準案の概要を示す。

(1) コンクリート用再生骨材

今後、環境保全等の理由から骨材資源の確保が次第に困難になってくると考えられる。また、リサイクルの原則から考えると、本来コンクリートは再びコンクリートにリサイクルするべきであり、コンクリート用骨材としての利用が最も自然なリサイクル方法である。コンクリート用再生骨材は、コンクリート副産物を再生資源化施設で破砕分級処理することにより、再生粗骨材及び再生細骨材として製造される。

しかし、全ての再生骨材が全ての用途のコンクリートに利用できるものではない。コンクリートの破砕骨材は、原コンクリートに使用した骨材（原骨材）の周りに原コンクリートのモルタルが付着しており（付着モルタル）、この付着モルタルの状態によってその物性も変化する。モルタル中の空隙が多い場合やモルタルの付着量が多い場合には再生骨材の吸水率や安定性損失質量が多くなり、このような再生骨材を用いた場合には、再生骨材コンクリートの強度や耐久性が低下することになる。

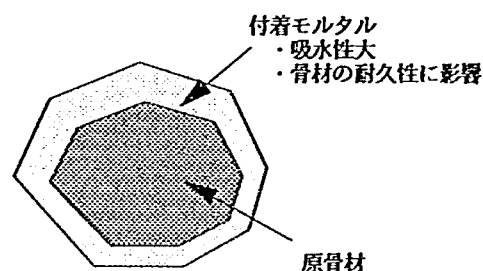


図-1.4 再生骨材

そこで、これまでの検討結果を基に、再生骨材を表-1.4に示すように吸水率及び安定性損失質量により、粗骨材で3区分、細骨材で2区分に分類し、再生骨材及び再生骨材コンクリートの品質、経済性を考慮して、表-1.5に示すようにコンクリートの利用用途に応じた使用骨材を定めた。なお、その他の粒度等細かい規定は巻末に本基準案を添付したので、参照していただきたい。

(2) 路盤材

コンクリート副産物の路盤材料としての利用に関しては、前述のように建設省令の中で示されたが、利用

表-1.4 コンクリート用再生骨材の品質区分

	再生粗骨材			再生細骨材	
	1種	2種	3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
安定性損失 質量(%)	12以下	40以下 12以下 40以下 ^注	—	10以下	—

注) 凍結融解耐久性を考慮しない場合。

表-1.5 再生骨材コンクリートの種類

再生骨材 コンクリート の種類	再生骨材 コンクリート の用途	使用粗骨材	使用細骨材
I	鉄筋コンクリート、 無筋コンクリート等	再生粗骨材1種	普通骨材
II	無筋コンクリート等	再生粗骨材2種	普通あるいは 再生細骨材1種
III	捨てコンクリート等	再生粗骨材3種	再生細骨材2種

する際の品質は示されていなかった。一方、舗装関係のリサイクルの基準として昭和59年に「舗装は偉材再生利用技術指針（案）」（日本道路協会）が作成され、平成4年にこれを全面的に改訂した「プラント再生

舗装技術指針」(日本道路協会)が取りまとめられている。この指針は、舗装からの発生材を対象としており、主にアスファルト塊のリサイクルに関する規定が中心となっている。この中で、コンクリート塊のリサイクルに関しては舗装以外の構造物から発生したコンクリート塊の破砕物も含めて、再生クラッシャーランや再生粒度調整碎石として下層あるいは上層路盤に使用できるようになっている。副産物総プロでは、上記指針の下層及び上層路盤の基準について検討を行い、暫定品質基準案として準用した。

(3) 埋め戻し材・裏込め材

埋め戻し・裏込め材に関しては再生材に限らず、特に基準は設けられていない。そこで副産物総プロでは、コンクリート塊の再生クラッシャーラン及び再生砂をこれらの用途に利用する際の品質基準の検討を行った。

再生クラッシャーランに関しては、この用途で使用する際には品質としては特に問題はないので、利用箇所によって使用が制限されないよう、以下に示すようにした。また、再生砂に関しては、75 μ m以下の細粒分があまり多くなることは、使用した箇所の構造物の長期の安定性を考慮してさけるべきものと判断し、土の工学的分類における粗粒土に基づき、以下のように砂としての細粒分の含有率による規定を行った。

a)再生クラッシャーラン：最大粒径は目的に応じて適宜選択する。

b)再生砂：細粒分(75 μ m以下)の含有率(重量百分率)の上限を50%未満とする。

1.4 副産物総プロで新たに検討した用途

まえがきでも述べたように、コンクリート副産物の再利用が進まない主な要因として「品質基準の未整備」という意見多く見られた。これを受けて、副産物総プロにおいてコンクリート副産物を再利用する際の品質基準に関する検討を行った結果、平成6年4月には前述の暫定品質基準案が通達された。一方、同年4月には、建設副産物対策連絡協議会において建設副産物対策行動計画（リサイクルプラン21）が策定され、西暦2000年までにコンクリート副産物の再利用率を90%にするといった具体的な努力目標も提示された。しかし、実際に再利用をしていく上で、暫定品質基準案に示された3つの用途のみでは需要と供給のバランスを考えると限界がある。コンクリート副産物の再利用を促進していくためには、さらに利用用途を拡大して再利用する際の選択肢を増やすことにより、利用しやすい環境を整えることが必要である。そこで、副産物総プロでは、コンクリート副産物を再生（破碎）処理する際に二次的に副産する微粉も含め、具体的な利用用途の拡大に関する検討を行ってきた。以下に、副産物総プロで検討した利用用途と使用する際の留意点等を、「小割材」、「粗骨材」、「細骨材」といった各利用形態ごとに紹介する。

なお、ここで示す用途が利用可能なものの全てではなく、可能性がある用途に関しては積極的に利用検討を行い、用途拡大に努めることが望ましい。

1.4.1 小割材・粗骨材の利用

(1) プレパックドコンクリートへの利用

(a) 用途の概要

小割材をコンクリートに利用する場合、その寸法が大きいために、練混ぜて造るコンクリートへの使用は困難である。また、粗骨材に比べて付着モルタル量が多いために吸水率が大きく、コンクリートの強度や耐凍害性が劣る可能性がある。これらのことは、プレパックドコンクリートであれば、レディーミクストコンクリートで用いる骨材より大きな寸法の、小割材を多量に使用することが可能¹⁾であり、また用途を限定して強度や耐久性に関する要求が厳しくない構造物に使用するのであれば問題はない。そこでここでは、小割材をプレパックドコンクリートの骨材として利用する方法について述べる。プレパックドコンクリートは、あらかじめ大きな骨材を型枠に詰め、その間隙にモルタルを注入して造るコンクリートである²⁾が、ここではモルタル注入を、一般的な注入管を使用する方法ではなく、モルタルを骨材の上部から投入し、大掛かりな設備が不要となるような方法を採用した。この際のモルタルの投入は、高さ2.5mの供試体を作製して注入実験を行ったが問題なかった。その施工状況の概要を図-1.5に示す。得られるコンクリートの品質は、これまで行ってきた実験^{3)~5)}より、普通コンクリートと比較して同じレベルの耐久性を得ることは難しいことが明らかになった。このため、小割材を使用したプレパックドコンクリートを適用する構造物は、その種類、重要度および要求性能等を考慮して適切に選定される必要がある。図-1.6に、小割材を使用したプレパックドコンクリートの適用が可能と思われる構造物の例を示す。

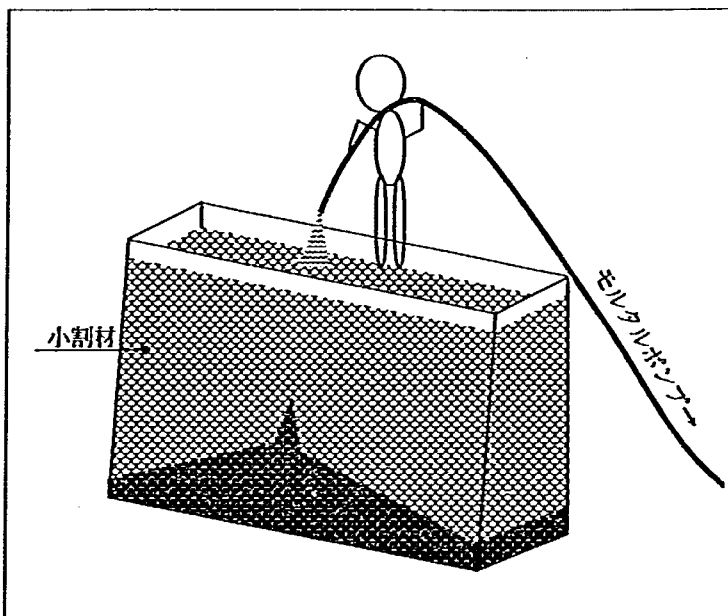


図-1.5 施工状況

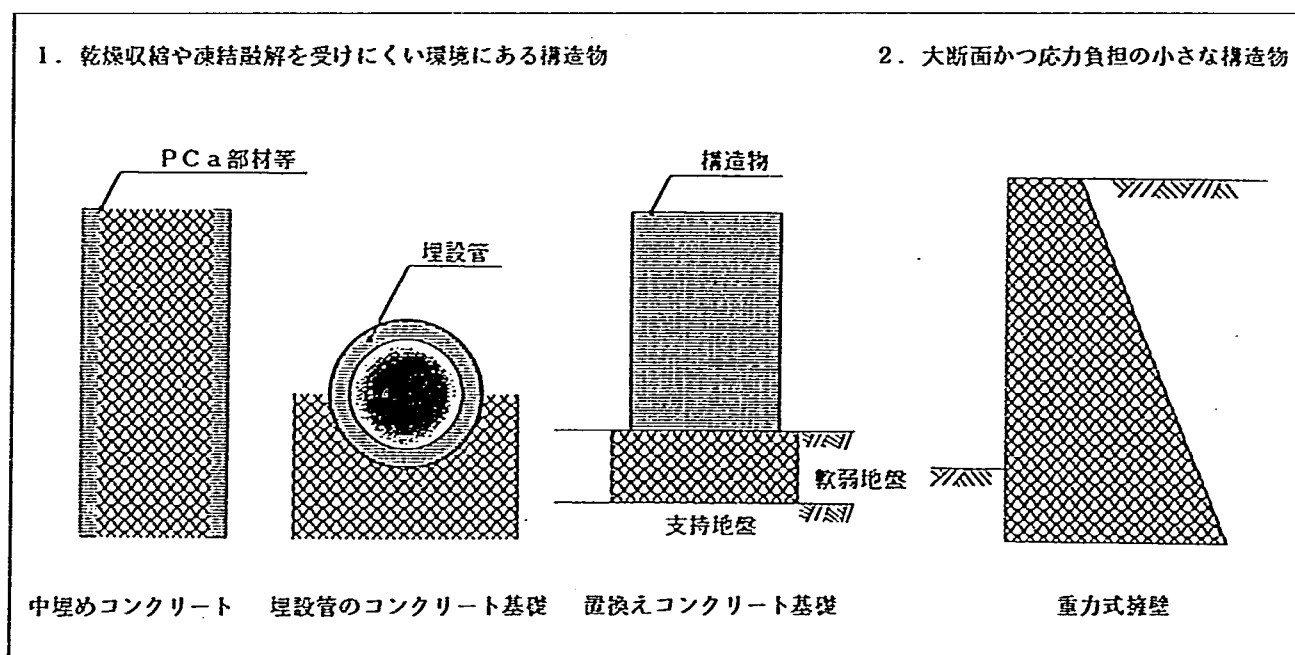


図-1.6 小割材を使用したプレパックドコンクリートの適用が可能と思われる構造物の例

(b) 小割材を使用したプレパックドコンクリートの施工手順および留意点

小割材を使用し、モルタルを骨材上部から投入するプレパックドコンクリートの施工手順および留意点を、重力式擁壁の試験施工⁴⁾時のものを例として図-1.7に示す。

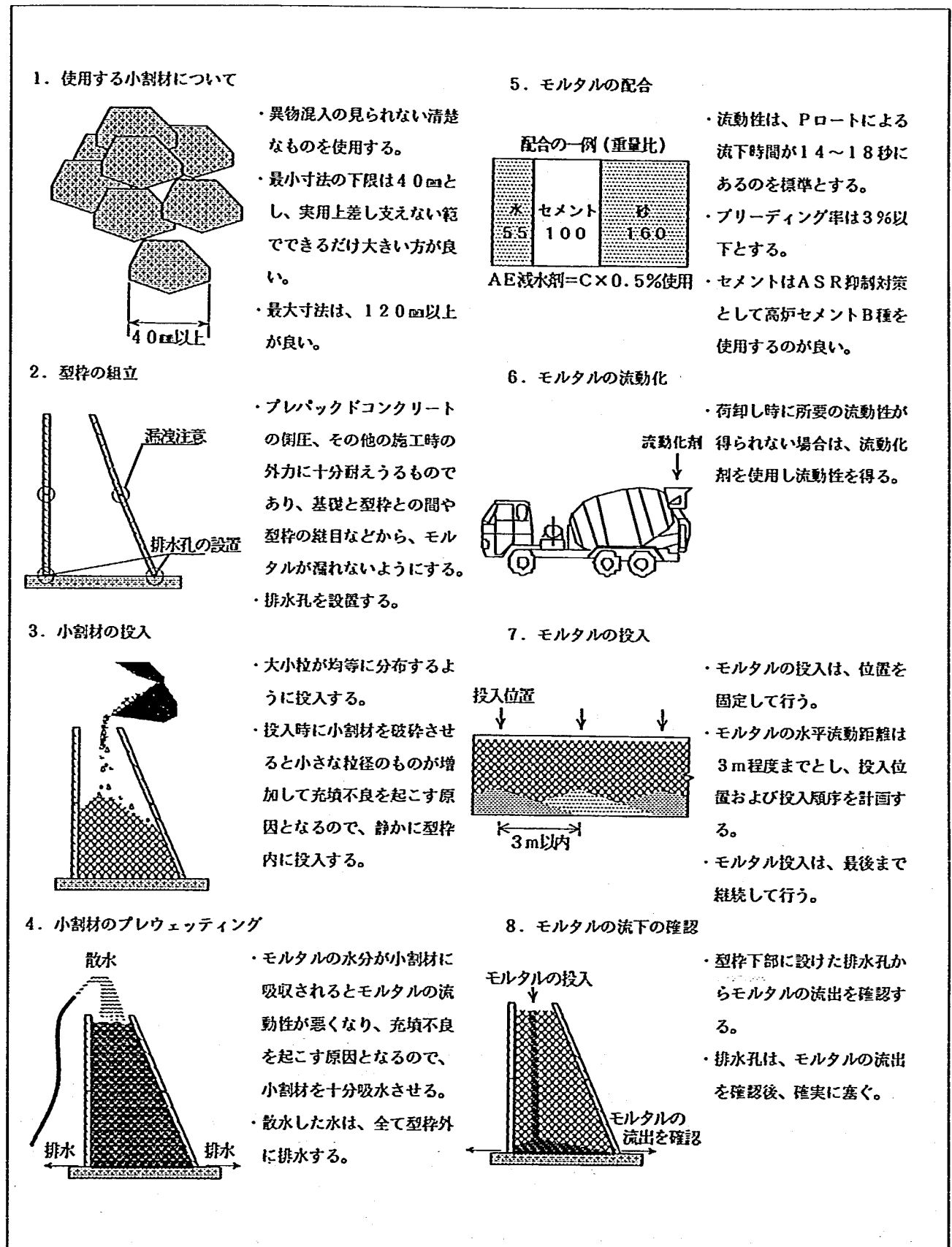


図-1.7 施工手順および留意点

(c) 小割材を使用したプレパックドコンクリートの品質の特徴と対策

小割材を使用したプレパックドコンクリートの品質の特徴を以下に示す。

①圧縮強度

実大実験における圧縮強度試験の結果を表-1.6に示す。小型重力式用壁などに用いるのに十分な圧縮強度が得られている。しかし、コンクリートの圧縮強度は、使用する小割材の状態や品質によって変動するので、モルタルの配合や強度からコンクリートの強度を正確に予想することは困難である。

したがって、あらかじめ同一の小割材を用いてコンクリートの圧縮強度を確認することが必要である。

②乾燥収縮

乾燥収縮試験結果を図-1.8に示す。小割材を使用したプレパックドコンクリートの長さ変化率は、碎石を使用したプレパックドコンクリートと比較して大きい。また、普通コンクリートの長さ変化率は $5 \sim 6 \times 10^{-4}$ 程度といわれている⁶⁾が、それと比較しても大きい。

このため、小割材を使用するプレパックドコンクリートは、乾燥収縮を受けにくい環境にある構造物に適用するのが良い。通常環境にある構造物に適用する場合は、ひび割れ幅を抑制するには収縮目地を通常よりも狭い間隔とする必要がある。

③凍結融解抵抗性

気中凍結水中融解試験結果を図-1.9に示す。プレパックドコンクリートの凍結融解抵抗性は、碎石を使用したプレパックドコンクリートでも低い。この原因は、モルタルの空気量が不足していること、小割材下面に空隙が生じることなどである。このため、小割材を使用するプレパックドコンクリートは、凍害を受ける恐れのない環境にある構造物に適用するのが良い。また、通常環境にある構造物に用いる場合は、表層スケールなどで劣化した時に補修可能な構造物に適用するのが良い。

④コンクリート表面の仕上がり

試験施工におけるコンクリート表面の仕上がり状況を写真-1.1に示す。コンクリート表面に見られる欠陥は、モルタルの充填不良ではなく、ブリーディング水の溜まり跡である。仕上げ作業にバイブレータを過度に使用すると、かえってモルタルの材料分離を引き起こし、欠陥が増える原因となる。

したがって、投入するモルタルは、所要の流動性が得られる範囲で、できるだけ単位水量を小さくしてブリーディングの少ないものが良い。

表-1.6 実大実験結果

現場水中養生28日モルタル強度	355 kgf/cm ²
28日コア供試体強度	232 kgf/cm ²

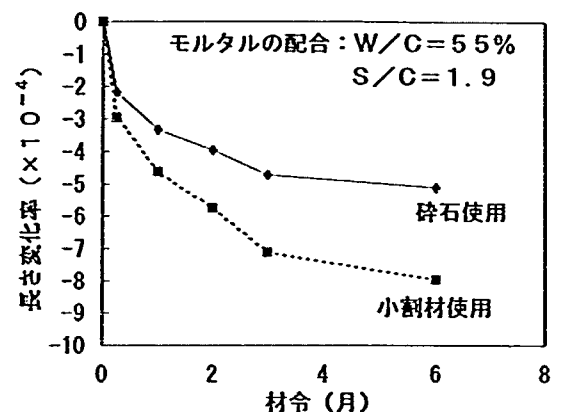


図-1.8 乾燥収縮試験結果

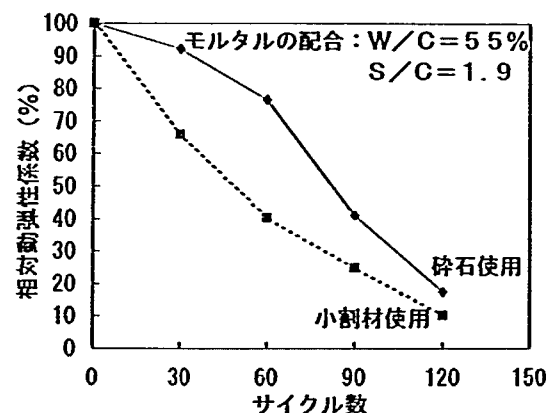


図-1.9 気中凍結水中融解試験結果



写真-1.1 コンクリートの仕上がり

(d) 適用構造物の選定にあたって

小割材を使用し、モルタルを骨材上部から投入するプレパックドコンクリートの圧縮強度は比較的高い強度を得ることができるが、普通コンクリートと同レベルの耐久性を得るのは難しい。このため、凍結融解等の気象作用の厳しくない環境にある構造物または部位を選定してプレパックドコンクリートを適用すればよいと考える。図-1.6に示した「小割材を使用したプレパックドコンクリートの適用が可能と思われる構造物の例」に挙げたものは、以下の理由から選定した。

①中埋めコンクリート

中埋めコンクリートは、プレキャストコンクリートにより表面が保護されており、プレパックドコンクリートが乾燥湿潤の繰り返しを受けにくい。降雨時においてもプレパックドコンクリートに直接水分が接しないので、プレパックドコンクリートの含水状態が凍害を受けるほど高くないと考えられる。また、直接外気に接しないので凍害も受けにくいと考えられる。

②埋設管のコンクリート基礎、置換えコンクリート基礎

これらの基礎は、地中にあるため乾燥湿潤の繰り返しを受けにくい。地中の温度は外気温より変動が少ないため、気中にある構造物と比較して、冬季に受ける凍結融解の繰り返し回数が極めて少ないと考えられる。また、コンクリートに要求する強度は比較的低強度である場合が多い。

③重力式擁壁

一般の構造物と同じ環境に施工されるので凍害などにより劣化することが予測されるが、重力式擁壁は自重によって土圧に抵抗する擁壁⁷⁾であるので、表層部が劣化しても構造物の機能には特に影響しないものと考えられる。また、劣化した表層部はモルタルなどで補修することも可能である。



写真-1.2 試験施工⁷⁾した重力式擁壁

以上より、構造物ごとにコンクリートに対する要求品質を明確にして、小割材を使用したプレパックドコンクリートを適用する必要がある。構造物の種類、重要度およびコンクリートの要求性能などを考慮しても、小割材を使用したプレパックドコンクリートの適用が可能な構造物および部位は他にも多数あると考えられる。

参考文献

- 1) 岩崎訓明, 中原 康: 最新コンクリート技術選書7, 山海堂, p. 1, 1981. 6
- 2) 土木学会: 平成8年制定コンクリート示方書〔施工編〕, p. 252, 1996. 3
- 3) 建設副産物の高度処理・利用技術の開発, 平成6年度共同研究報告書, pp. 53~59, 1995. 3
- 4) 建設副産物の高度処理・利用技術の開発, 平成7年度共同研究報告書, pp. 33~43, 1996. 3
- 5) 建設副産物の高度処理・利用技術の開発, 平成8年度共同研究報告書
- 6) 村田二郎: コンクリート技術100講, 山海堂, p. 190, 1990. 2
- 7) 土木学会: 土木工学ハンドブック, 技報堂出版, pp. 1181~1183, 1990. 4

(2) コンクリート二次製品への利用

(a) 用途の概要

コンクリート二次製品には、ブロックからヒューム管やマンホールの蓋など様々なものがあり、それぞれに規格がある。ここでは、すべての製品に再生骨材を用いることを目的としているのではなく、例えば、コンクリートブロックのように規格値が単純で製品強度を満足すればよいもので、比較的低強度のものを対象とするものである。しかしながら、再生骨材をコンクリートに使用する際に問題となるのが、コンクリートの乾燥収縮である。ここでは、再生骨材が利用可能と考えられる二次製品と再生骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮対策について紹介する。

(b) 使用可能と考えられるコンクリート二次製品

JISに規定されている主なコンクリート製品23品目について、A：製品強度は規定されているが、コンクリート強度の規定はなく、再生骨材が使用できる可能性の高いもの、B：コンクリート強度が規定されているが、再生骨材が使用できる可能性の高いもの、C：高品質のコンクリートが要求され、再生骨材の使用が難しいもの、に分類した結果、Aは13品目、Bは1品目、Cは9品目であった。以下に、使用できる可能性のあるA、Bを示す。

①区分A：13品目

- ・ JIS A 5302 無筋コンクリート管及び鉄筋コンクリート管
- ・ JIS A 5303 遠心力鉄筋コンクリート管
- ・ JIS A 5304 舗装用コンクリート平板
- ・ JIS A 5305 鉄筋コンクリートU形
- ・ JIS A 5306 コンクリートL形及び鉄筋コンクリートL形
- ・ JIS A 5307 コンクリート境界ブロック
- ・ JIS A 5312 鉄筋コンクリート組立土止め
- ・ JIS A 5318 鉄筋コンクリートフリューム及び鉄筋コンクリートベンチフリューム
- ・ JIS A 5321 鉄筋コンクリートケーブルトラフ
- ・ JIS A 5322 ソケット付きスパンパイプ
- ・ JIS A 5328 組合せ暗きょブロック
- ・ JIS A 5338 鉄筋コンクリートL形擁壁
- ・ JIS A 5315 道路用鉄筋コンクリート側溝

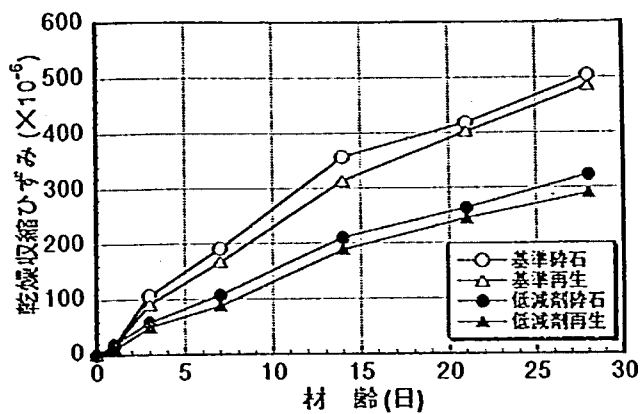
②区分B：1品目

- ・ JIS A 5323 コンクリート積みブロック

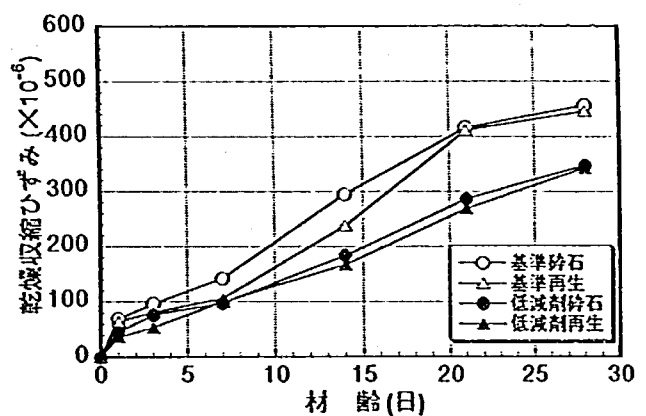
(出荷時のコンクリート圧縮強度が $18\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であること)

(c) コンクリートの乾燥収縮対策

再生骨材をコンクリートに使用する場合、普通骨材と比べて製品の乾燥収縮が大きくなることからその対策が必要となる。これについては、乾燥収縮低減剤を用いることである程度解決できる。図-1.10に、碎石および再生粗骨材2種相当(吸水率3.72%)の骨材を用いて、コンクリートの乾燥収縮試験を行った結果を示す。今回行った試験では、碎石と再生骨材での乾燥収縮の差は認められなかったが、再生骨材を使用した場合でも収縮低減剤の添加により、乾燥収縮は添加しない場合に比べても約60%まで低減されている。また、副次的効果として図-1.11に示すように再生2種相当の再生細骨材および粗骨材を使用したコンクリートでは強度改善も見られる。しかしながら、暫定品質基準案の規格外にあるような品質不良のものをを用いた場合は収縮低減剤の効果ほとんどなく、骨材としては再生2種程度まで処理したものを使用することが望ましい。



(a) 蒸気養生



(b) 水中養生

図-1.10 コンクリートの乾燥収縮

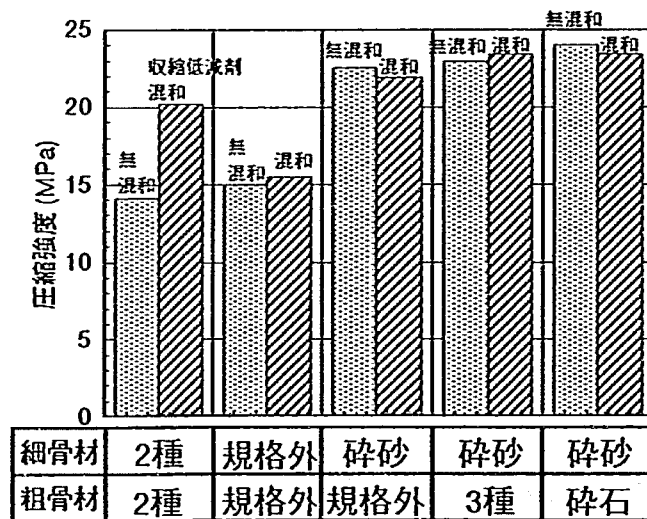


図-1.11 蒸気養生した再生骨材コンクリートの圧縮強度

(3) ポーラスコンクリートへの適用

(a) 用途の概要

コンクリート構造物を自然環境と調和をさせる一手法として緑化が注目されて、各方面で研究開発が盛んに行われている。その一例として、連続空隙を有し、透水性・透気性に優れていることを特徴とするポーラスコンクリートがある。再生骨材は、通常の骨材と比して吸水性（透水性）が高いため、植物の育成に必要な水を保水しやすいといったメリットがある。また、通常のコンクリートと比べると要求される強度も低く、再生骨材を使用することは適当であると考えられる。そこで、ここでは再生骨材のポーラスコンクリートへの適用について紹介する。

(b) 再生骨材を使用したポーラスコンクリートの性状

ポーラスコンクリートの配合の多くは、従来のコンクリートの配合から細骨材を除いたもの、すなわち水、セメント、混和剤、粗骨材からなる。場合によって、シリカフューム、高炉スラグなどの混和材も同時に用いられる。ポーラスコンクリートの要求強度が 10N/mm^2 程度であれば、非常に高い透水係数を付与でき、また透水係数が 2cm/s 程度であれば、 20N/mm^2 程度の圧縮強度を容易に得ることができる。このため、要求強度が比較的低いポーラスコンクリートへの再生骨材の適用は理にかなったものといえる。

暫定品質基準案の再生粗骨材3種に相当する再生骨材を用いたポーラスコンクリートの物理的性状を見ると、圧縮強度は通常の粗骨材を使用したものとほぼ同等であるが、連続空隙率および透水係数は通常に比べて低下している（表-1.7）。これは、再生骨材の粒度範囲が $20\sim 5\text{mm}$ と広いので、実積率が高くなり骨材間の空隙が狭くなるためであり、同一の粒度分布であればこの差はほとんどなくなると思われる。また、細骨材を用いるか否かが圧縮強度に大きな影響を与える。

再生骨材を用いたポーラスコンクリートの性状は、通常のコンクリートとほぼ同等の性能を有しており、緑化コンクリートや浄化コンクリート（写真-1.3～写真-1.5）などの比較的低強度を要求しない用途に適用するには問題はない。また、既往の研究により、透水係数および圧縮強度の設定は、粗骨材寸法や配合条件によりコントロールでき、利用者のニーズに合わせたポーラスコンクリートを製造することも可能となっている。

表-1.7 ポーラスコンクリートの配合と物理的性状

配 合 条 件			単位量(kg/m^3)					試 験 結 果		
M/P (%)	M/G (%)	使用粗骨材 (C)	C	PM	W	S	G	連続空隙率 (%)	透水係数 (cm/sec)	圧縮強度 (N/mm^2)
30	30	5号碎石 ($20\sim 13\text{mm}$)	144	36	54	180	1636	28.0	4.0	10.5
			232	58	70	—	1369	30.3	4.3	7.7
30	30	再生骨材 ($20\sim 5\text{mm}$)	144	36	54	180	1636	21.0	2.0	9.9
			232	58	70	—	1369	25.2	2.7	1.5

C : セメント、PM : 特殊混和材、W : 水、S : 珪砂、G : 粗骨材

(注) 5号碎石 : 比重2.65、再生骨材 : 比重2.47、吸水率5.30

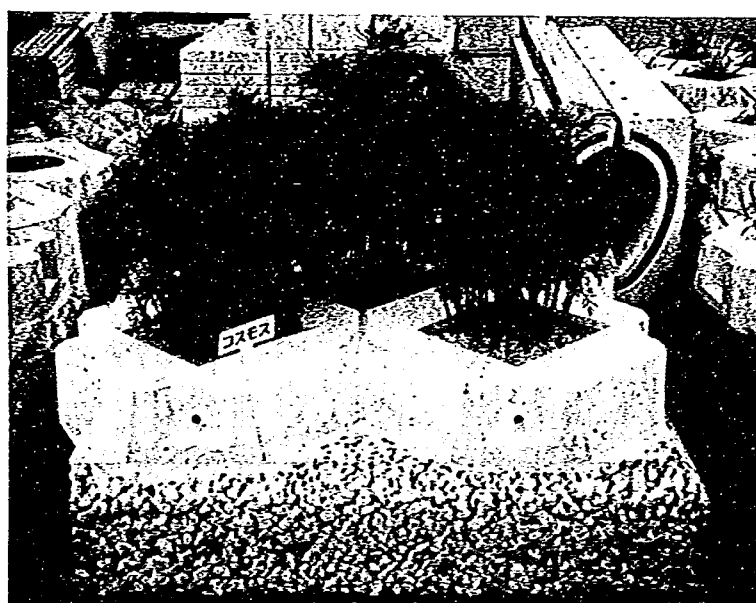


写真-1.3 土壌充填材が入ったポーラスコンクリートと鉄筋コンクリートとの組み合わせにより開発された護岸用の植栽コンクリート

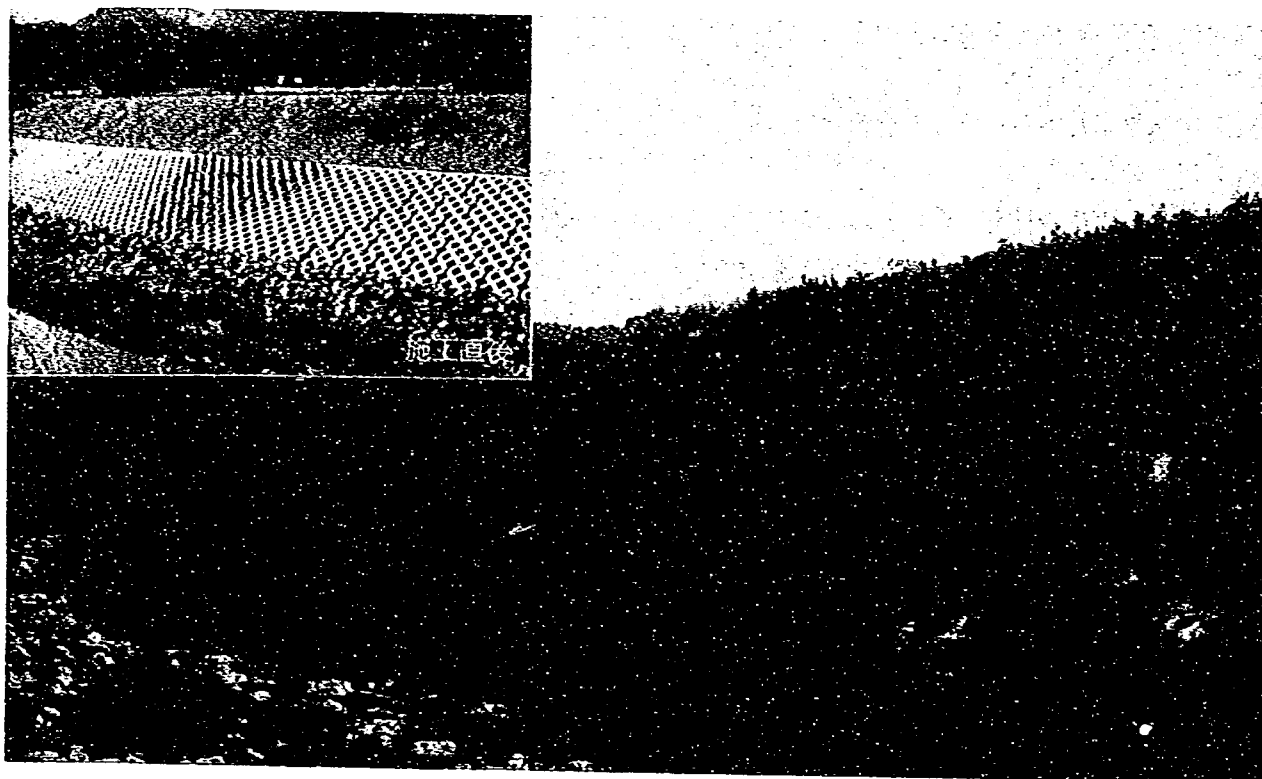


写真-1.4 施工後6ヶ月の状態

■ポーラスコンクリートと吸リン剤による富栄養化池水の浄化メカニズム

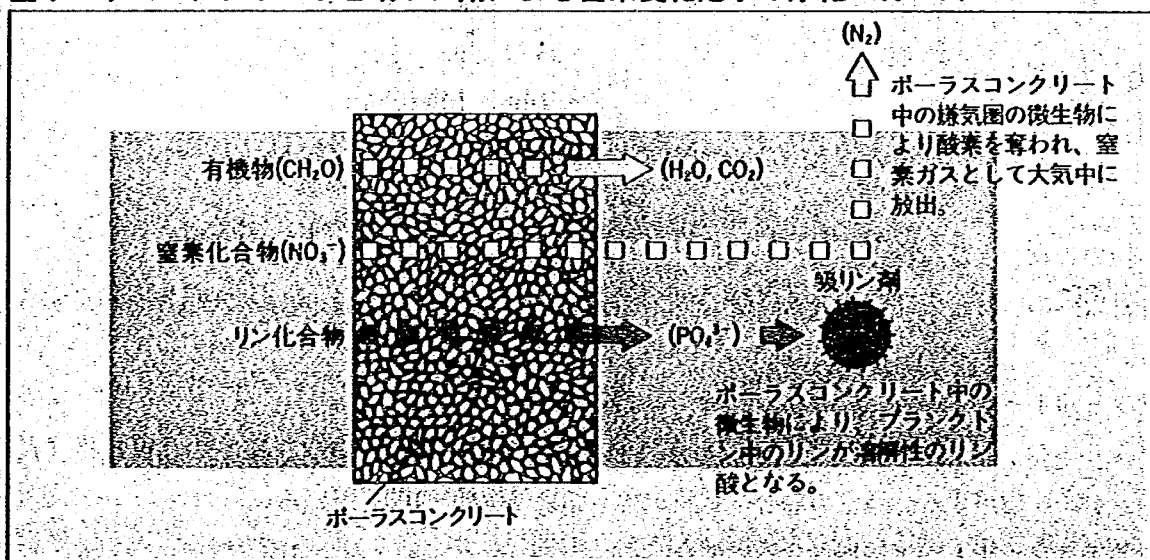


写真-1.5 ポーラスコンクリートと吸リン剤の組み合わせによって開発された浄化システム

これまで紹介した利用方法は、コンクリートの骨材として適用するものであったが、次の2用途はアスファルト混合物に適用するものである。

(4) アスファルト安定処理混合物への利用

(a) 用途の概要

ここでは、再生骨材を主骨材とし、必要に応じて通常のクラッシャラン、単粒度碎石、砂、石粉等の補足材を加えた材料に所要量のアスファルトを添加し、プラントで混合した加熱アスファルト安定処理混合物を道路舗装の上層路盤へ適用する方法について紹介する。

(b) 使用材料

①再生骨材の品質

再生骨材は、コンクリート発生材を再生資源化施設で破碎して製造した再生クラッシャランや各粒度群に分級した再生単粒度碎石とし、その品質は表-1.8に満足するものが望ましい。また、それらの粒度は必要に応じて補足材を加えた後の骨材の合成粒度が、表-1.9に示す粒度範囲を満足するものが望ましい。

表-1.8 コンクリート再生骨材の品質目標値の目安

項 目	目 標 値
すりへり減量 (%)	50% 以下
吸 水 率 (%)	7 % 以下

(注) 1)再生骨材の最大粒径は40mm以下が望ましい。

2)ロサンゼルスすりへり減量試験に用いる試料の粒度区分は13～5mmを標準とする。

3)吸水率は、使用する再生骨材の合成吸水率とする。例えば、再生クラッシュランであれば、各粒度群ごとに行った吸水率を、その粒度に応じて合成した値とする。

4)再生骨材中には、木片、金属片、内装片等の混入物が極力含まれないように除去する。

表-1.9 安定処理に用いる骨材の望ましい粒度範囲

項目 \ ふるい目 (mm)	53	37.5	19	2.36	75μm
粒度範囲		95～	50～	20～	0～
(通過質量百分率 %)	100	100	100	60	10

(注) 骨材の最大粒径は40mm以下で、一層仕上がり厚さ1/2以下が望ましい。

②その他の骨材および石粉

再生骨材以外の骨材および石粉の品質は、アスファルト舗装要綱に示されている規格等を満足するものを使用する。

③アスファルト

アスファルトは、アスファルト舗装要綱に示されている舗装用石油アスファルトの品質規格(表-1.10)に適合するものを使用する。通常の場合、種類が60～80または80～100を用いる。

(C) 加熱アスファルト安定処理混合物の配合

①骨材の配合

コンクリート再生骨材あるいは必要に応じて補足材を加えた骨材の合成粒度は、表-1.9に示す粒度範囲内にあることが望ましい。

表-1.10 舗装用石油アスファルトの品質規格

項 目 \ 種 類	40～60	60～80	80～100	100～120
針 入 度 (25℃) (1/10mm)	40を超え 60以下	60を超え 80以下	80を超え 100以下	100を超え 120以下
軟 化 点 (℃)	47.0～55.0	44.0～52.0	42.0～50.0	40.0～50.0
伸 度 (15℃) (cm)	10以上	100以上	100以上	100以上
三塩化エタン可容分 (%)	99.0以上	99.0以上	99.0以上	99.0以上
引 火 点 (℃)	260以下	260以下	260以下	260以下
薄膜加熱質量変化率 (%)	0.6以下	0.6以下	0.6以下	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率 (%)	58以上	55以上	50以上	50以上
蒸 発 後 の 針 入 度 比 (%)	110以下	110以下	110以下	110以下
密 度 (15℃) (g/cm ³)	1.000以上	1.000以上	1.000以上	1.000以上

②配合設計

加熱アスファルト安定処理混合物の配合設計は、アスファルト舗装要綱に示されている手順に準拠し、マーシャル安定度試験で行う。

設計アスファルト量は、マーシャル安定度の試験結果が、表-1.11の基準値を満足する範囲で設定するとよい。

表-1.11 マーシャル安定度試験における基準値

項目	基準値
安定度 (kgf)	350以上
フロー値 (1/100mm)	10～40
空隙率 (%)	3～12

(注) 1) 供試体作製の突固め回数は、両面各50回とする。

2) 25mmを超える骨材は、同質量だけ13～25mmの骨材に置き換えて試験を行う。

3) 水の影響を受けやすいと思われる箇所に舗設される混合物は、次式で求めた残留安定度が75%以上であることが望ましい。

$$\text{残留安定度 (\%)} = (60^\circ\text{C, 48時間水浸後の安定度} / \text{安定度}) \times 100$$

4) 理論最大密度の計算に用いる再生骨材の比重は、アスファルト浸漬比重を原則とする。

③混合物の性状

再生骨材を使用した混合物の最適アスファルト量は、通常のクラッシュランのみを用いた混合物より多くなる傾向がある (表-1.12)。また、残留安定度は75%以上の値を示し、混合物の耐水性にも問題はない (図-1.12)。一方、安定性損失量が多い骨材を使用した場合には凍結融解抵抗性への懸念があるため、再生骨材を用いた混合物の凍結融解抵抗性試験を行い (温度範囲5℃～-18℃で最高300サイクルまで実施)、凍結融解作用による残留安定度の変化を次式(1)で求めたところ (表-1.12の①～⑦の最適アスファルト量および②配合②と③の最適アスファルト量+0.5%のアスファルト量)、凍結融解残留安定度の低下および供試体の空隙の増加はあるものの、300サイクルにおける安定度が最も低いもので600kgf程度であることを考えれば、再生骨材を用いた混合物の凍結融解抵抗性は特に問題はない (図-1.13)。

$$\text{凍結融解残留安定度 (\%)} = \text{各サイクルの安定度} / \text{初期安定度} \times 100 \quad \cdots \cdots (1)$$

表-1.12 骨材の配合割合および最適アスファルト量

項 目 \ 種 類		配合 ①	配合 ②	配合 ③	配合 ④	配合 ⑤	配合 ⑥	配合 ⑦
配 合 割 合 %	クラッシャラン ¹⁾	78.5	—	—	41.0	60.0	39.0	59.0
	再生骨材A ²⁾	—	85.0	—	41.0	20.0	—	—
	再生骨材B ³⁾	—	—	78.0	—	—	39.0	20.0
	粗 砂	20.0	12.5	20.0	16.0	18.5	20.0	19.0
	石 粉	1.5	2.5	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0
最適アスファルト量 ⁴⁾ (%)		4.1	4.5	5.2	5.2	5.0	5.4	5.0

- (注) 1) 通常のクラッシャラン。合成吸水率1.52%、安定性損失量9.9%。
 2) 通常の破砕分級による再生クラッシャラン。合成吸水率7.49%、安定性損失量36.5%。
 3) 再生骨材Aを高度処理し、モルタル分をある程度除去したもの。合成吸水率5.71%、安定性損失量24.6%
 4) 最適アスファルト量は、マーシャル空隙率基準値 (3~12%) の中央値7.5%で設定した。

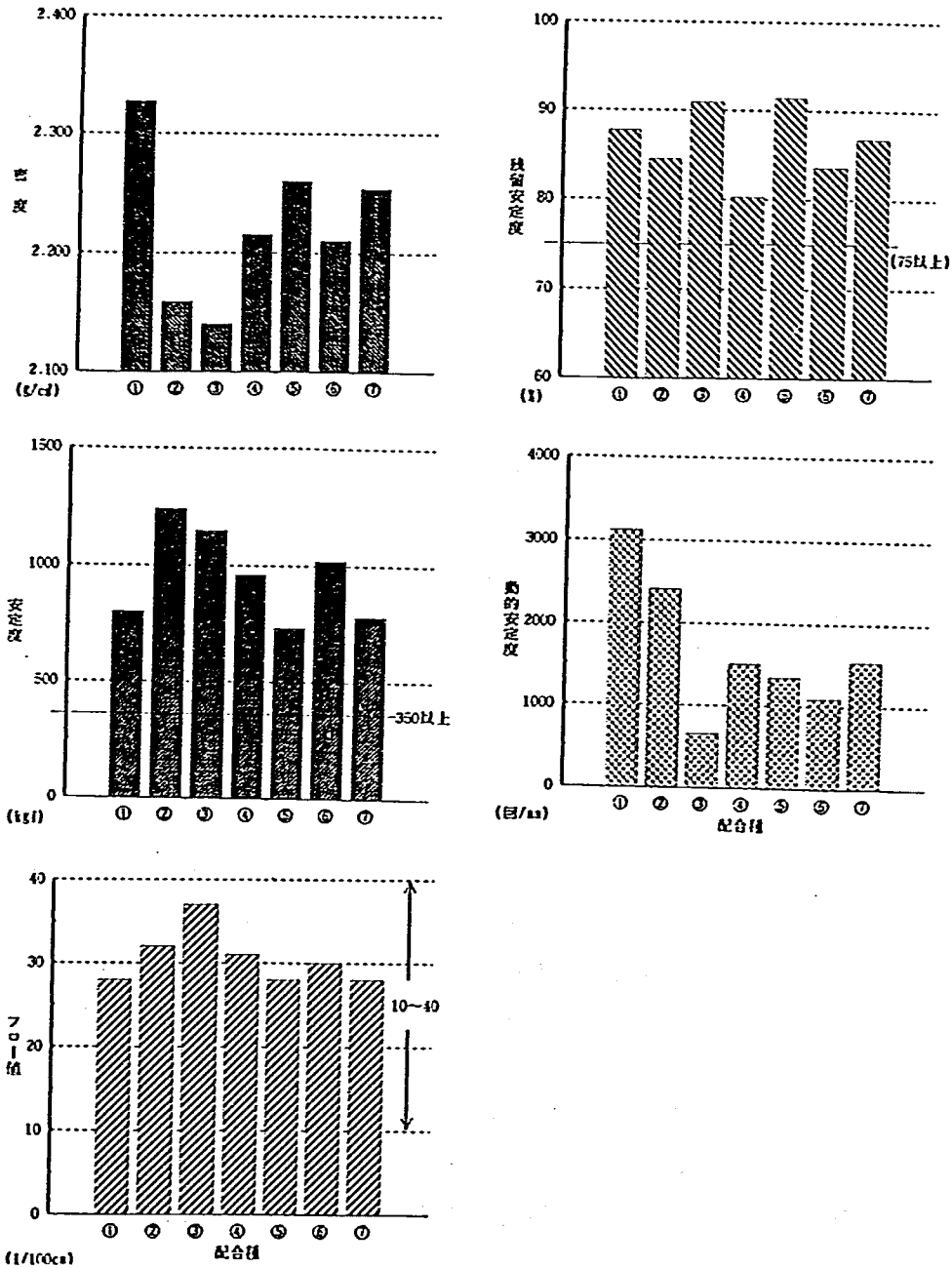
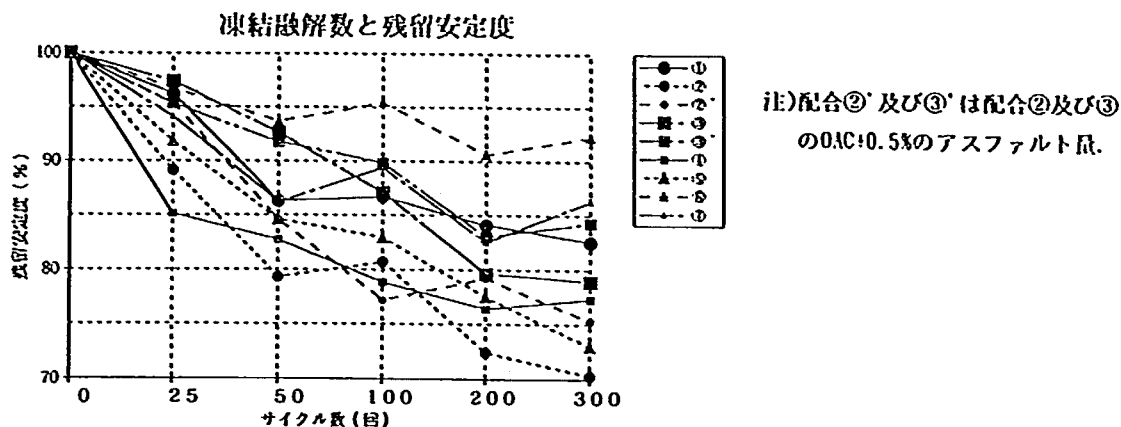


図-1.12 最適アスファルト量におけるマーシャル特性値、残留安定度、動的安定度の比較



(d) 加熱アスファルト安定処理混合物の製造および施工

再生骨材を用いた加熱アスファルト安定処理混合物のプラントにおける製造および現場における施工では以下の点に留意する。

- 1) 再生骨材の吸水率は通常の骨材に比べて一般に大きいので、プラントでは再生骨材が雨水等で濡れないように十分配慮する。
- 2) 過去に経験のないプラントから出荷する場合には、試験練りおよび試験舗装を行って、混合物と施工の状況を事前に確認する。
- 3) 製造した混合物に残留水分がある場合（混合物の表面に小さな泡が確認されるような場合）には、加熱骨材をホットビン中にできるだけ長く滞留させたり、計量した骨材をミキサに投入した後の空練り時間（Dry Mixing Time）を通常よりも長くする等の対策を行う。
- 4) 施工において、ローラ転圧時に再生骨材のモルタル分のつぶれが見られた場合には、鉄輪ローラでの転圧回数を必要最小限とし、タイヤローラでの転圧を主体にした締固めを行うなどの検討を行う。
- 5) 施工終了後の路盤面へのタックコートは確実にを行う。

(e) まとめ

再生骨材を用いた加熱アスファルト安定処理混合物の施工実績は、現在のところまだ少ないので、今後の適用検討によって確認すべき事項は多い。再生骨材の品質面から見れば、付着しているモルタル分をできるだけ除去することが望ましいわけであるが、その際には処理費用と二次副産物の微粉が生ずる問題がある。また、モルタル分が付着していることによる問題としては、製造した混合物中に残留する水分や、施工時のローラ転圧によるつぶれが主なものと思われる。

再生骨材の加熱アスファルト安定処理混合物への再利用を図っていく場合には、路盤への適応という観点からの評価を行い、再生骨材の品質の目標値等は適切に判断していくことが必要である。

(5) 基層および表層用加熱アスファルト混合物への利用

(a) 用途の概要

アスファルト混合物を対象としたもう一つの用途として、基層および表層用加熱アスファルト混合物（以後混合物という）の骨材として再生骨材を使用する際の留意点を述べる。ただし、再生骨材はモルタル分が付着していることから通常の碎石と比べると脆いため、使用箇所は簡易舗装やA～L交通といった比較的軽交通に限定し、重交通は対象外とする。

になっている地域などにおいては、再生骨材をアスファルト混合物に使用することの価値は高い。

(b) 再生骨材の品質

使用する再生骨材は、暫定品質基準案のコンクリート用再生粗骨材 1, 2 種相当のものが望ましく、それ以外のものは脆い付着モルタル量が増えて磨耗性が大きくなることから混合物による試験を実施した上で判断する。再生骨材の品質は、付着モルタルが少なくなるとともに改善されるが、過度に付着モルタルの除去処理を行うと骨材同士のかみ合わせ効果が低減し、混合物の安定度に影響をおよぼすことが懸念されるので粒形に配慮する必要がある。

また、再生骨材が雨水等で濡れると吸水性が高いために、混合物中に残留水分が残り、はく離等の種々の弊害を生じることが懸念されるので、水の出入りのない場所で管理する必要がある。

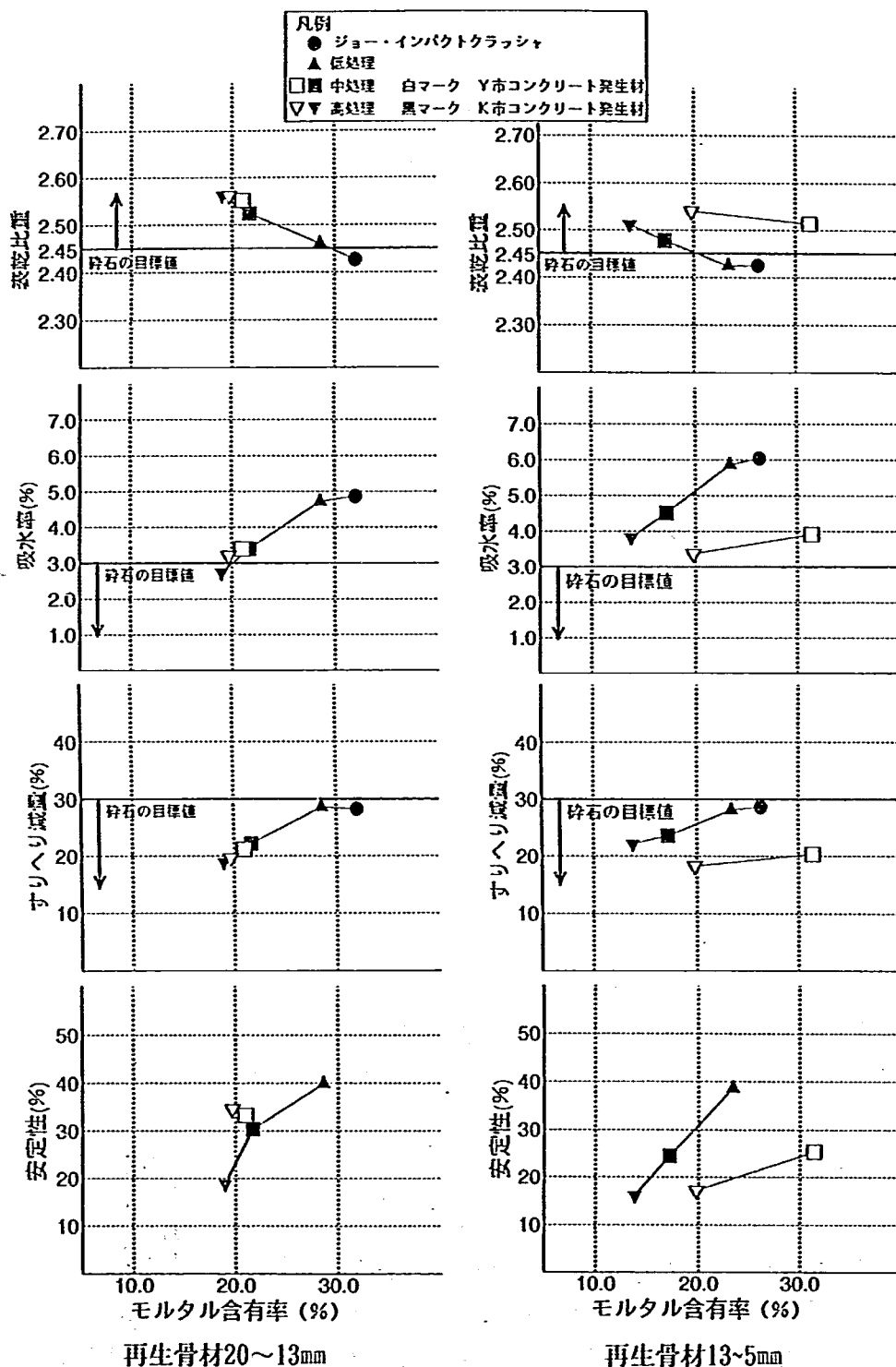


図-1.14 実験に使用した再生骨材の物理性状

(c) アスファルト混合物の品質性状

再生骨材を使用した混合物の最適アスファルト量（以下、OAC）は、通常の混合物のOACに対して±0.2%の範囲にあり、また、OACにおける混合物の空隙率、安定度、フロー値および残留安定度は、アスファルト舗装要綱のマーシャル基準値を満足し、通常の混合物とほぼ同程度の品質性状を示す。しかし、混合物の密度については再生骨材の置換率が増加するとともに、また再生骨材の付着モルタルの除去処理が低い程、通常の混合物の密度より低くなる（図-1.15）。これは再生骨材の比重が小さいためであり、再生骨材を用いた混合物を使用するときには密度が通常の混合物よりも低くなることを考慮する必要がある。

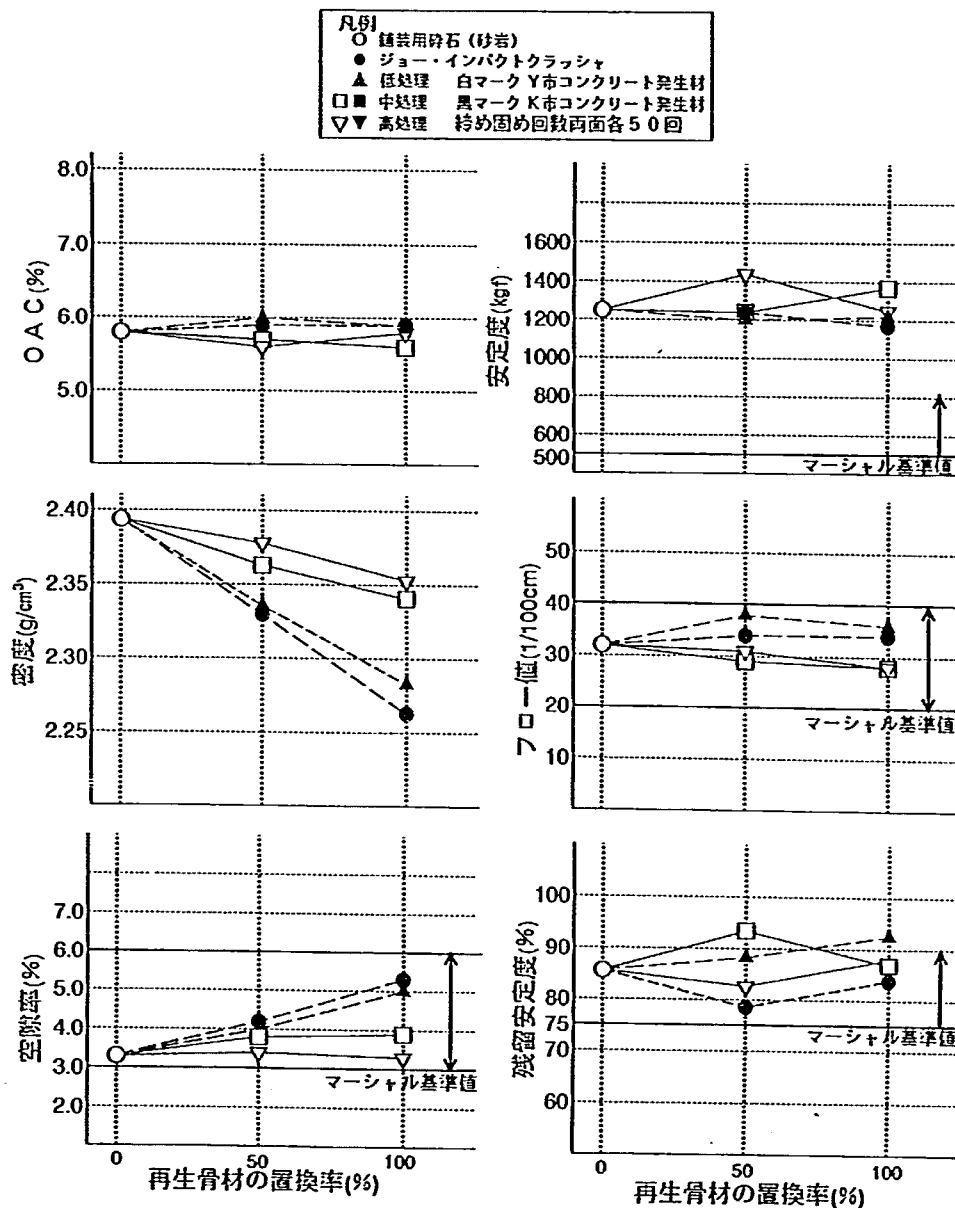


図-1.15 密粒度アスファルト混合物（20）のOACおよびOACにおける品質性状²⁾

注) 混合物の空隙率の算出に使用した再生骨材の比重は再生骨材の吸水率が高いことを考慮してアスファルト浸漬比重を使用し、OACはアスファルト舗装要綱のマーシャル基準値に加えて有効空隙率（2.0%）を考慮して決定した。

再生骨材を使用した混合物の動的安定度は、通常の混合物とほぼ同程度の品質性状を示す（図-1.16）。また、10～20℃におけるひずみが低くなるが、曲げ強度や脆化点についてはほぼ同程度の品質性状を示す（図-1.17）。摩耗量は、再生骨材の置換率が増えるにしたがって増加するが（図-1.18）、今回行った試験では再生骨材がチェーンによって破碎されるという現象はない。したがって、再生骨材を混合物に使用しても耐流動抵抗性やひびわれ抵抗性には問題はなく、また再生骨材がつぶれるなどの弊害も生じなく、通常の混合物と同様に考えてよい。

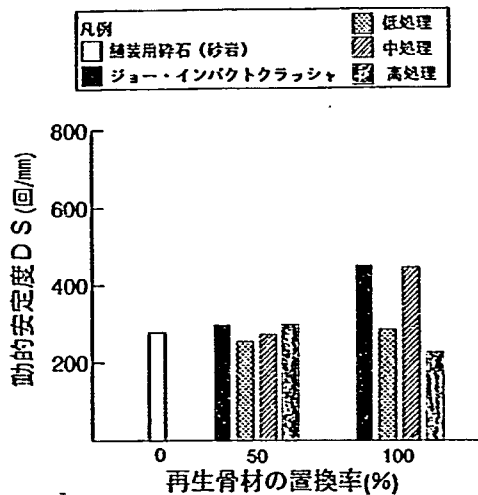


図-1.16 ホイールトラッキング試験結果

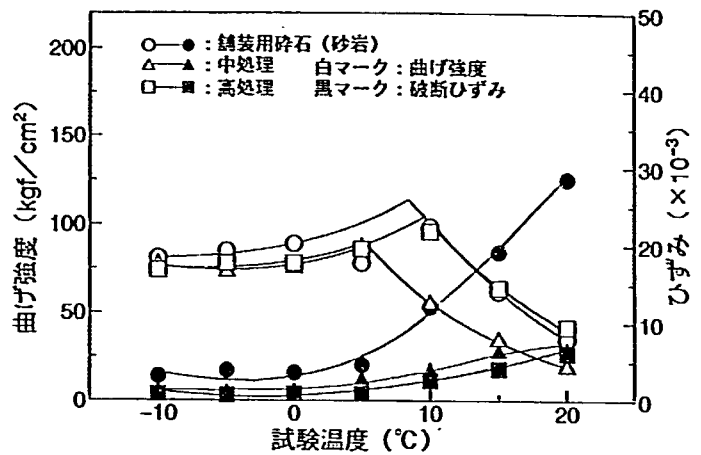


図-1.17 曲げ試験結果

(d) プラントでの練混ぜ

再生骨材を用いた場合でも、通常と同様に行ってよい。ただし、再生骨材は通常の骨材と比べて吸水性が高いので、再生骨材が雨水等により濡れていないものを使用し、混合物中に残留水分が残らないように注意する必要がある。

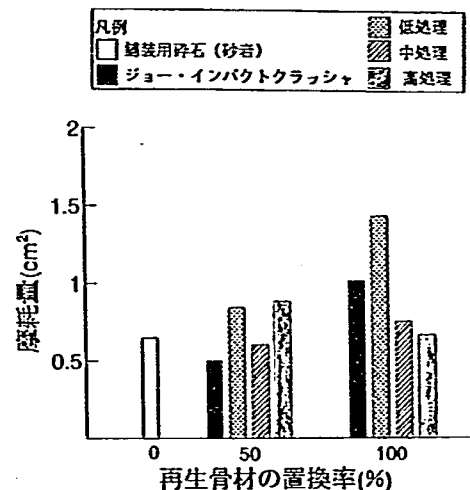


図-1.18 チェーン式によるラベリング試験結果

[参考文献]

- 1) 小林他：コンクリート再生骨材のアスファルト混合物への有効利用，道路建設，No545, 1993, 6
- 2) 小林他：コンクリート再生骨材の処理方法の検討，第21回日本道路会議論文集，1995

1.4.2 細骨材・微粉等の利用

微粉（ $150\mu\text{m}$ 未満の細粒分）は、コンクリート副産物を破砕処理して再生粗骨材および再生細骨材を製造する際に、二次的に副産されるものである。その発生量はコンクリート用再生骨材としての使用が増加すると、それに伴い増加する。再生粗骨材の使用が本格化すると、年間数百万 t 規模での微粉の発生が予想され、その有効利用が必要となるであろう。一方、再生細骨材についても、暫定品質基準案でコンクリートに使用する際の品質基準が示されているが、大量に使用されるにはほど遠い状況である。また、再生細骨材や微粉の性状は、処理方式や処理機械の違いや、原コンクリート塊の性状の違いにより異なってくる。ここでは、再生細骨材や微粉の利用方法や有効利用していく上での留意点を述べる。

(1) 再生処理方式と微粉の性状

コンクリート塊の再生処理（破砕・分級）は、乾式あるいは湿式のどちらかで行われる。一般に再生処理機械や微粉回収方式の違いから発生微粉性状が異なってくるが、特に湿式処理で発生する微粉（スラッジ化している）では利用する際の効果が異なる場合もあり、各処理方式から発生する微粉の違いとこれらを用いる際の物性等に留意する必要がある。

(a) 再生処理方式の違い

①乾式再生資源化施設

乾式処理での微粉の回収は、多くの場合セパレータ等を用いた風力分級方式によって行われている。そのため分級機の種類、風速、混入物、微粉の湿分等の変動により $150\mu\text{m}$ 未満のみで回収されることはなく、場合によっては $600\mu\text{m}$ 程度までが含まれることがある。このため微粉の粒度分布は図-1.19に示すように再生資源化施設の違いで変動が大きく、比表面積も同様に変動が大きい。また微粉は貯蔵および屋外放置の状況により湿分が増大し、成分組成が変化してくる場合もある。このため利用予定のある微粉は品質維持、安定化のためにはなるべく長期間の屋外放置を避けることが望ましい。

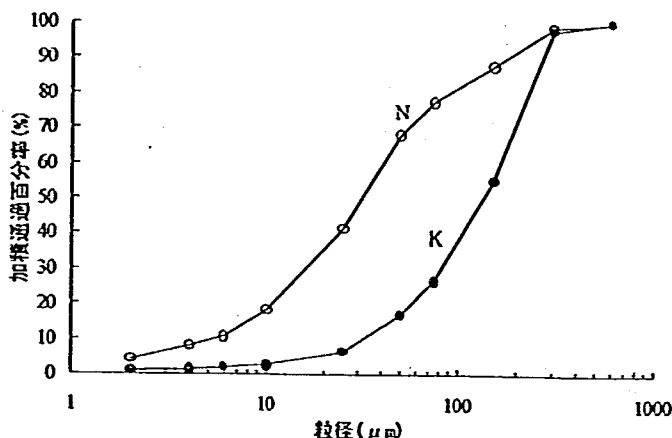


図-1.19 乾式製造工程で回収された微粉の粒度分布の例

②湿式再生資源化施設

湿式処理で発生する微粉は、フィルタープレス等により脱水ケーキとして回収される場合が多く、混入物の混入状況によっては廃棄処分しなくてはならないことから、なるべく混入物の混入を避けることが望ましい。また温風乾燥して微粉と砂分とを分級する方式の場合は、乾式製造工程での微粉と同様に有効利用できるが、炭酸化、再水和等が著しいと予測されることから、必要な場合は微粉の組成等を化学分析、機器分析等により品質の確認を行うことが望ましい。

(b) 微粉の物性

微粉の有効利用の促進を図るには利用目的に応じた微粉の物性を把握しておく必要がある。

①微粉の有効成分

微粉の主要成分のなかで水和反応等に有効成分とはならない不溶残分（Insol）は平均50.9%と一番多く、主に骨材からの微砂に由来していると推測される。また強熱減量（Igloss）も平均14.6%程度となり、合計すると約65%程度は硬化に対する有効成分とはならないと推測される。水和反応等に有効成分となる石灰分（ CaO ）は平均19.7%となっているが微粉発生個所や微砂の混入割合の変動により変動係数で約16.4%のバ

ラツキが見られる。また酸化アルミニウム(Al_2O_3)、酸化第二鉄(Fe_2O_3)は1~3%で鉄分がやや多い。不純物となる酸化ナトリウム(Na_2O)、酸化カリウム(K_2O)は0.3~0.1%程度となっている(図-1.20)。微粉の成分は原コンクリートや処理機械によって変動するので、特にセメント原料の一部として微粉を使用する場合には化学分析、機器分析等による有効成分の把握が望ましい。

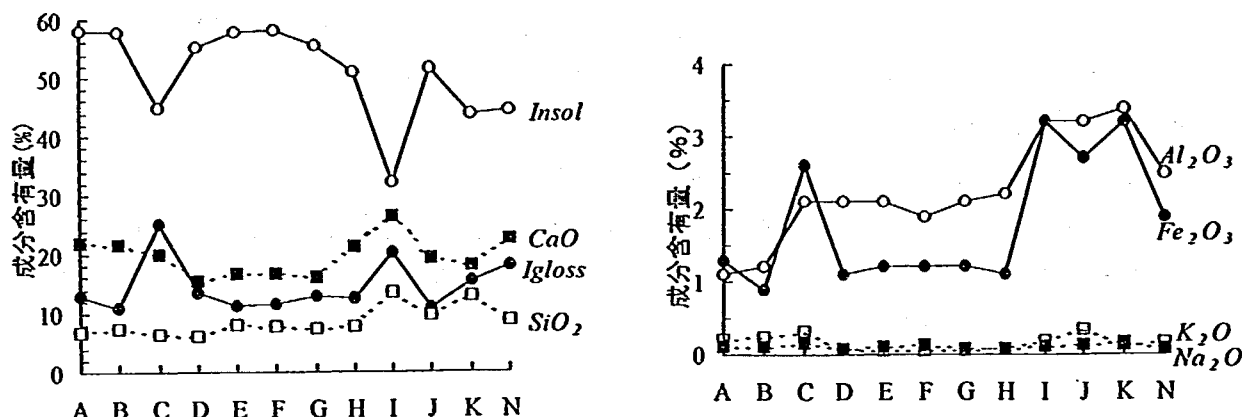


図-1.20 微粉の含有成分の例

②微粉の比重

図-1.21のA~HはJIS A 1202「土粒子の密度試験方法」により求めた比重、I~NはJIS R 5201「セメントの物理試験方法」により求めた比重である。HとN、D~GとKはそれぞれ原コンクリートおよび処理機械が同じものであるが、測定溶媒により微粉の比重に差を生じていることが分かる。このため、利用目的に応じた比重測定方法で、適切に試験を行う必要がある。

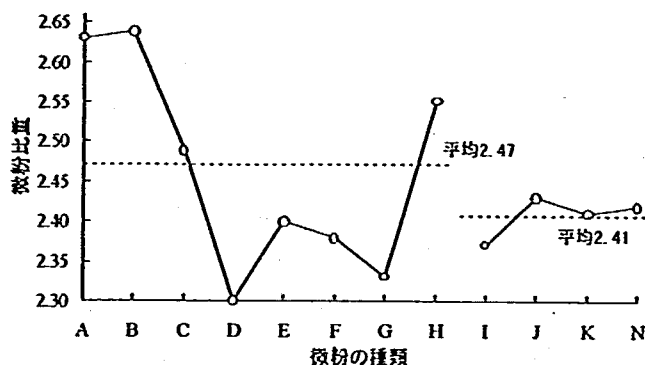


図-1.21 微粉の比重の例

③微粉の混入物

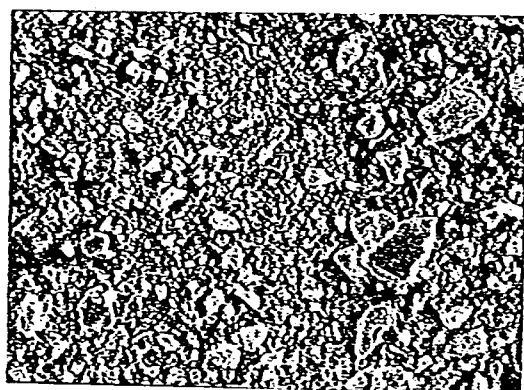
コンクリート塊には、木片、アスファルト、鉄筋、土砂、プラスチック片、タイル等が混入しているが、二次副産物の微粉の場合には、ほとんどがアスファルトである。アスファルト、木片等を含む微粉は水に浮くので簡易に目視で判別できる。表-1.13のD~Gはコンクリート道路版からのもので特にD、G微粉にアスファルトがかなり付着しているため水に浮くものの量も多くなっている。

表-1.13 微粉に含まれる混入物の量(質量百分率)

微粉の種類	A	B	C	D	E	F	G	H
水に浮くものの量(%)	0.3	0.5	2.0	7.3	1.4	1.1	8.5	0.1

④電子顕微鏡(SEM)写真

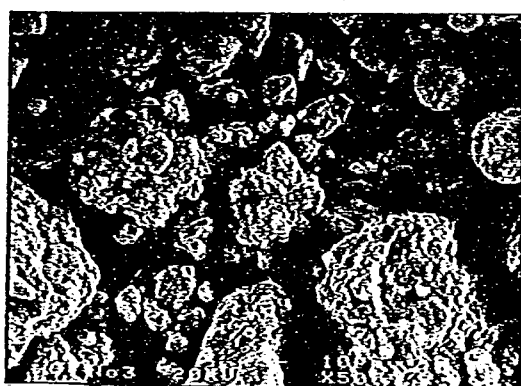
写真-1.6に微粉の電子顕微鏡(SEM)写真を示す。微粉のI、Jは数 μm 以下の粒子が含まれており比表面積が大きく、Kはアスファルト分を含んでおり大きく団塊粒子となり凝集しており比表面積は小さい。また微粉の一部にはエトリンガイト等の水和物も見られる。



微粉 I (×300)



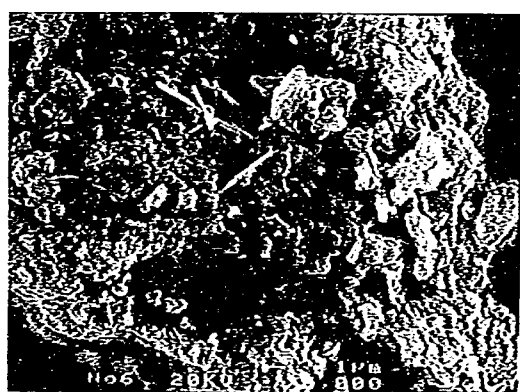
微粉 J (×300)



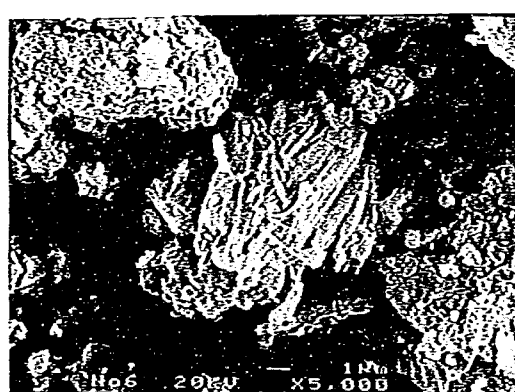
微粉 K (×300)



微粉 N (×300)



微粉 N 中のエトリンガイト (×2000)



微粉 N 中の水和物 (×3000)

写真-1.6 微粉の電子顕微鏡 (SEM) 写真

(2) 再生細骨材および微粉の利用用途

以下の(a)～(i)に再生細骨材および微粉の利用方法と利用する際の留意点を紹介する。

(a) インターロッキングブロックへの利用

①用途の概要

現在、インターロッキングブロックは「インターロッキングブロック舗装設計施工要領」(インターロッキング協会昭和62年)および同車道編(インターロッキング協会平成2年10月、平成6年5月改訂版)があり、製造および施工方法について基準化されており、表-1.14に示したインターロッキングブロックの種類と強度等が基準に示されている。

表-1.14 インターロッキングブロックの種類

種類	記号	曲げ強度 ⁽³⁾	透水係数
普通インターロッキングブロック	N-1 ⁽¹⁾	4.9N/mm ²	—
	N-2 ⁽²⁾	(50kgf/cm ²)	
透水性インターロッキングブロック	P-1 ⁽¹⁾	2.9N/mm ²	1×10 ⁻² cm/sec
	P-2 ⁽²⁾	(30kgf/cm ²)	
植生用インターロッキングブロック	G-1 ⁽¹⁾	3.9N/mm ²	—
	G-2 ⁽²⁾	(40kgf/cm ²)	

注) (1)全層をコンクリートとした一層型インターロッキングブロック。

(2)表面を着色したり、平滑に仕上げるために表層部分をモルタル層とし、残りをコンクリート層とした二層型インターロッキングブロック。

(3)インターロッキングブロックの形状その他により曲げ強度試験ができない場合はコアによる圧縮強度試験を行い、圧縮強度が普通インターロッキングブロックにおいては330kgf/cm² {32N/mm²}以上、透水性インターロッキングブロックにおいては170kgf/cm² {17N/mm²}以上でなければならない。

一般にインターロッキングブロックの構成は一層型と二層型とがあり、二層型では表層と基層とからなる。表層には緻密な化粧用モルタル等が使用されているが、基層には比較的ポーラスなモルタルまたはコンクリートが用いられることが多く、この部分に再生細骨材等の再生骨材を使用するものである。

②再生細骨材の品質

再生資源化施設で生産された再生細骨材2種以上に相当する再生細骨材をインターロッキングブロックに使用することができるが、再生細骨材に含まれる混入物は少ないものを使用するか、できるだけ除去することが望ましい。

再生細骨材の粒度は、一般的に2.5mm以上の粒形が悪く、F.M.値も大きいことが多い(図-1.22)。このため、再生細骨材の粒度範囲から外れるF.M.値3.5以上のものは、普通粗骨材の一部に再生細骨材を置換して使用するのが望ましい。

粒度分布の粗い再生細骨材は骨材の噛み合わせが良く、強度が普通品より少し高くなる傾向がある。また、5～2.5mmを調整しF.M.値2.1～3.4程度とすれば基層コンクリートへの使用量をさらに多くすることが可能と

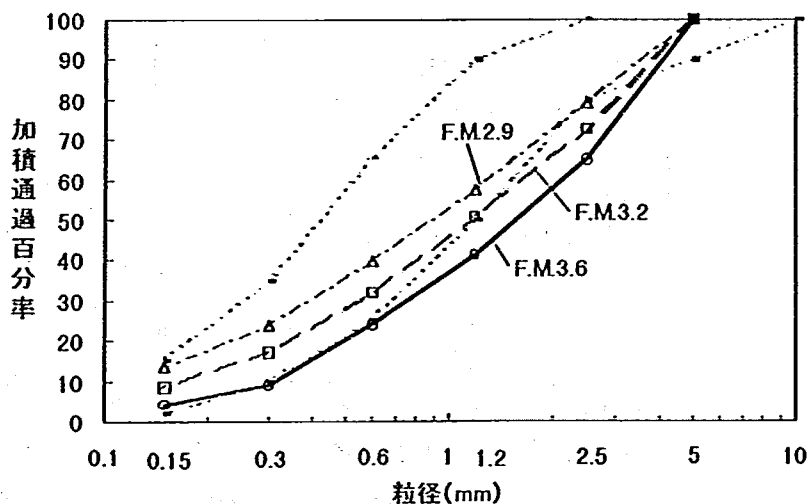


図-1.22 再生細骨材の粒度の例

思われる。粒度範囲以内のF.M. 値2.1～3.4程度のものは、普通細骨材の一部に再生細骨材を置換して使用するのが望ましい。

③ブロックの製造

成形可能に再生細骨材を配合し、養生後の強度が規格値以内にはいる配合を選択することが望ましい。ブロックの成型性は普通品と同じ程度であるが、製品形状の複雑な場合には成型性から2.5mm以下の再生細骨材を普通細骨材と置換して使用するほうが良い。養生方法は品質規格欄にある「品質に満足な結果が得られる方法」として気中養生方法、蒸気養生方法が望ましい。

表-1.15 基層コンクリートの配合例

種 類	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				
			セメント	水	細骨材	粗骨材	再生細骨材
普通品	33.1	53.4	450	149	826	999	—
試作品	33.1	53.4	450	149	826	600(60%)	360(40%)

注)普通粗骨材は10mm以下の豆砂利を使用し、再生細骨材はF.M. 値3.6と粗いことからここでは普通粗骨材の40%を置換する配合を選択した。

表-1.16 試作に使用した骨材の物性

	表乾比重	吸水率(%)	F.M.
再生細骨材	2.35	5.5～7.4	3.6
普通粗骨材	2.61	1.14	5.3
普通細骨材	2.56	1.52	2.9

表-1.17 試作品の強度(N/mm²)

	1	2	3	平均
普通品	5.80	6.24	5.91	5.91
試作品	6.22	6.02	6.11	6.11

④施工後の製品に対するメンテナンス

施工後のインターロッキングブロックは普通品と全く同等の性能を有しており、通常のメンテナンスでよい。インターロッキングブロック舗装設計施工要領(車道編)によれば「インターロッキングブロック舗装では、できるだけ早期に損傷などを発見し、傷みが大きく広がらないうちに補修を行う。」としており、交通荷重、気象変化(凍結融解、湿乾くり返し、温度膨張・収縮など)の作用により破損、摩耗、路面隆起、陥没、わだち掘れなどの損傷を招く危険があるところから点検、補修、清掃などの維持作業を行う必要がある。

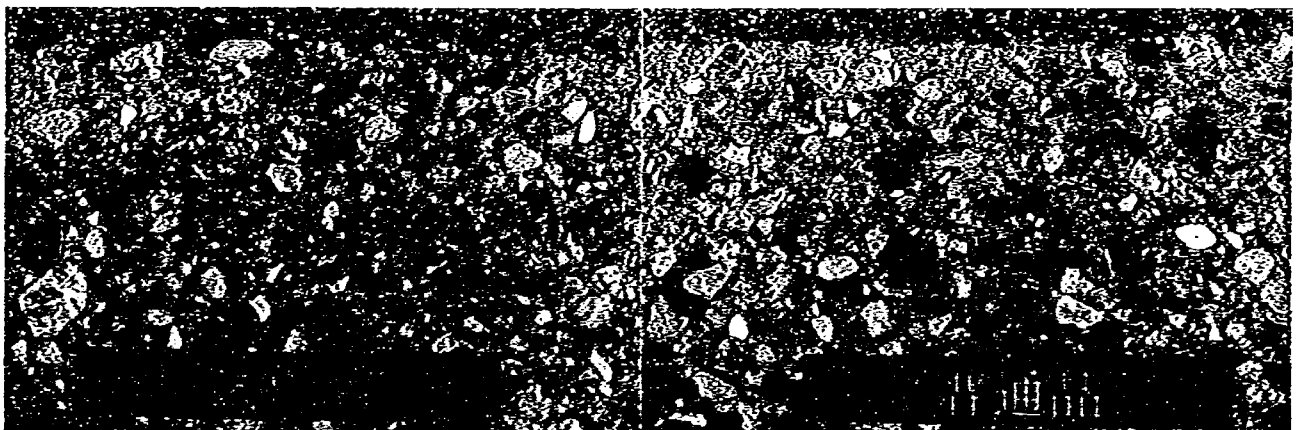


写真-1.7 試作品および普通品の断面

(b) コンクリート用ワーカビリティ改良材としての利用

①用途の概要

表-1.18に示すように、比表面積（ブレン値）を一定にした微粉、再生細骨材やスラグ粉を加えて再粉碎処理した微粉混和材をグラウトモルタル、コンクリート等へ使用するものである。微粉単味ではモルタルの流動性の向上が図れ、さらに粉碎処理したものは細骨材と置換することにより簡易コンクリートの強度や流動性の向上が図れる。若干の再生細骨材、スラグ粉を添加して粉碎処理した場合には微粉単味より置換量を増やすことが可能となり更に流動性の向上が図れる。再生細骨材も同様に粉碎処理を行えば、細骨材との置換により強度や流動性の向上が図れる（表-1.19）。

表-1.18 微粉を混和材とする場合の使用方法

混和材の種類	混合物の量	処理方法	利用方法
微粉	—	—	モルタル、グラウト等に細骨材と10%まで置換可能
微粉	—	粉碎機により粉碎	簡易コンクリートの細骨材と40%まで置換可能
微粉+再生細骨材	再生細骨材20~50%	処理	コンクリートの細骨材と40%まで置換可能
微粉+スラグ粉	スラグ粉20~50%	処理	コンクリートの細骨材と40%まで置換可能

表-1.19 再生細骨材を混和材とする場合の使用方法

混和材の種類	混合物の量	処理方法	利用方法
再生細骨材	—	粉碎機により粉碎	コンクリートの細骨材と40%まで置換可能
再生細骨材+微粉	微粉20~50%	処理	
再生細骨材+スラグ粉	スラグ粉20~50%	処理	

②微粉の品質等の留意点

微粉の粒度分布は、原コンクリート塊の品質や再生処理方法により異なる（図-1.23）。このため、特に微粉単味での使用の場合には、粒度分布の違いによりモルタルの流動性が異なる（図-1.24）。粗いものあるいは細かいものはモルタルフローへの影響は少ないが、中間粒度のものは影響が大きいので、置換量はモルタルフローへの影響があまり大きくならない10%程度の置換量が望ましい。

圧縮強さへの影響を避けるため微粉はセメント

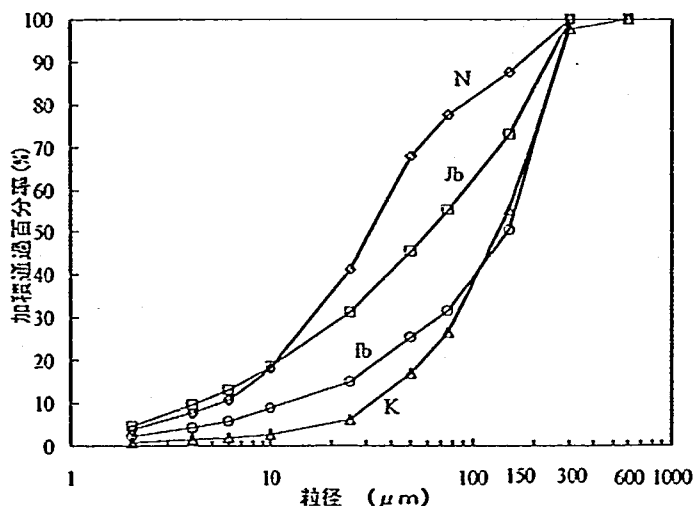


図-1.23 微粉の粒度分布の例

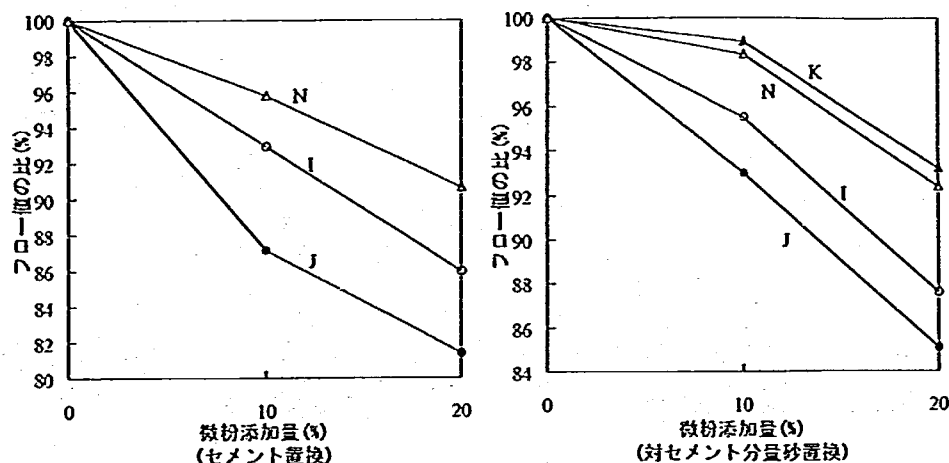


図-1.24 モルタルフロー値の変化の例

と置換する場合には、置換量は10%以下が望ましい(図-1.25)。一方、セメント分量を砂置換したものは、材齢が進むにつれて強度が若干上昇するので、微粒分の少ない砂や細砂などと置換することでワーカビリティや水密性の改善が期待される。

微粉混和材の品質の安定化を図るため再生細骨材と微粉とを用いる場合には粉砕処理することが必要となるが、その効果として置換量を増加することが可能となる。特に、微粉をより細かく粉砕処理し、ブレン値 $8,000\text{cm}^2/\text{g}$ 以上としたものを砂置換すれば高流動コンクリートのような高い流動性と分離抵抗性を得ることが期待される。

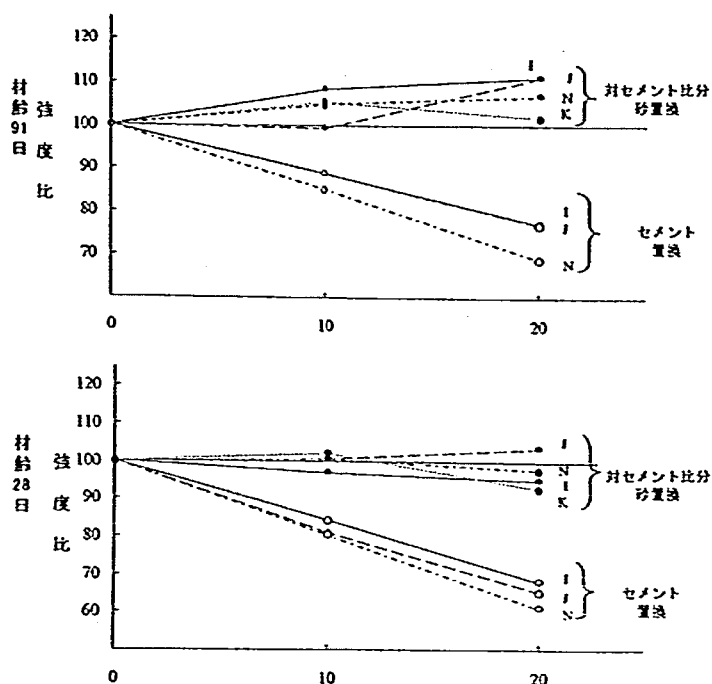


図-1.25 モルタル圧縮強さ試験結果の例(材齢28日、91日)

③再生細骨材を粉砕処理した混和材の品質

再生細骨材を粉砕処理する場合、再生細骨材

中の混入物(アスファルト、プラスチック等)の少ないものを使うことが望ましい。再生細骨材を粉砕処理した微粉は、比表面積(ブレン値)が $5,000\sim 8,000\text{cm}^2/\text{g}$ 程度まで増大するが、比表面積 $5,000\text{cm}^2/\text{g}$ 程度のものが使用しやすいので、物性値として比重および比表面積の確認を行うことが望ましい。

また、再生細骨材に微粉やスラグ粉を若干添加して粉砕することで混和材の品質の安定化を図れるが、スランプの低下を防止するため、スラグ粉を添加した混合物ではスラグ粉を50%程度まで添加し、粉砕処理するのが望ましい。

④コンクリートへの添加

コンクリートへの添加は砂置換ではスランプ低下が少なく、その置換量はセメント量の40%以下とするのが望ましい。特にスランプの確保が必要な場合には、セメント量の20%以下を砂置換するのが望ましく、水セメント比は50~70%程度の範囲とする。また、強度の影響を考慮するとセメント置換を行う場合には置換率は10%以下とし、できるだけ砂置換を行うことが望ましい(図-1.26)。なお、微粉の添加による乾燥収縮への影響は見られない(図-1.27、図-1.28)。

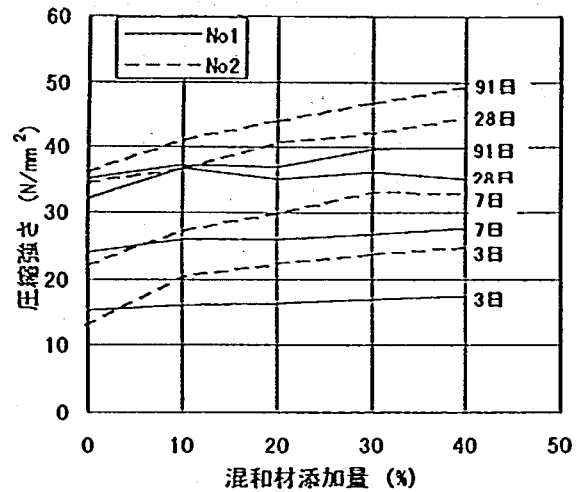
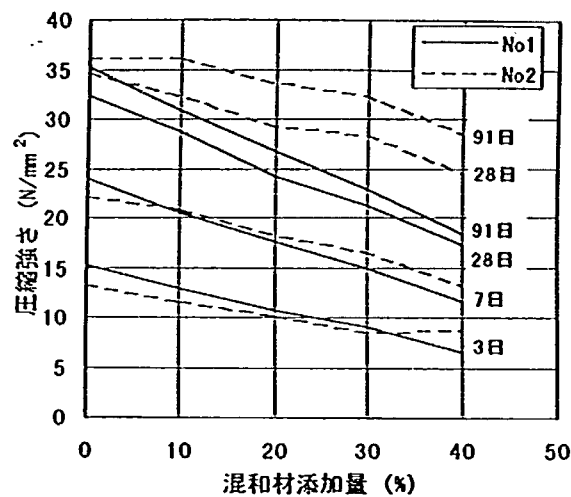
表-1.20 微粉混和材を使用したコンクリートの配合

種 類	種 類		比重	ブレン値	セメント量に対する置換率(%) <セメント置換および砂置換>					水セメント比 (%)
	微 粉	スラグ粉			0	10	20	30	40	
NO.1	100%	—	2.52	4,700						60
NO.2※	50%	50%	2.71	5,370						

※ 特許公報「セメントコンクリート用混和材」平成2-40005の技術内容

⑤施工後の構造物に対するメンテナンス

微粉単味を混和材として添加したモルタル等は、耐久性が普通セメントモルタルより若干劣ることが予想されるため定期的な点検と必要に応じた補修を行うことが望ましい。



セメント置換

砂置換

図-1.26 微粉混和材を添加したコンクリートの圧縮強度の例

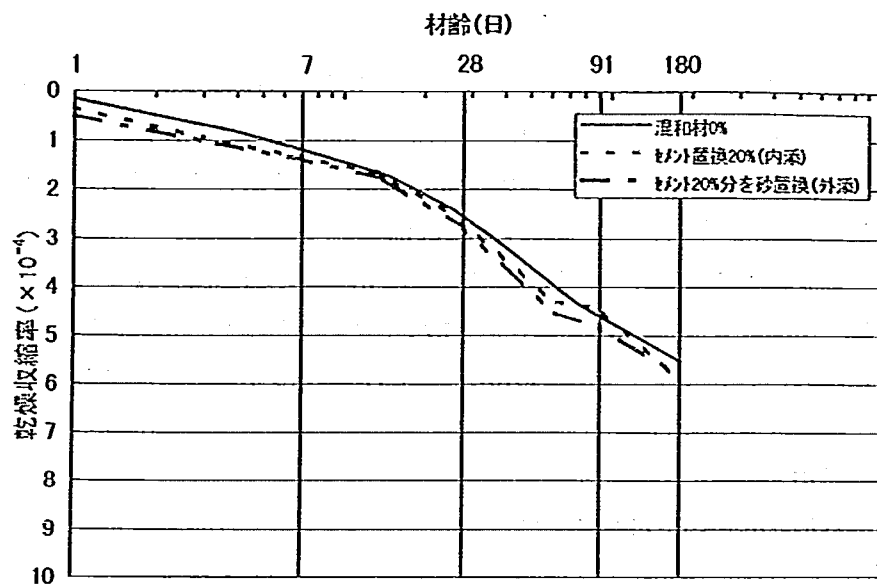


図-1.27 NO1 混和材を添加したコンクリートの硬化乾燥収縮結果の例

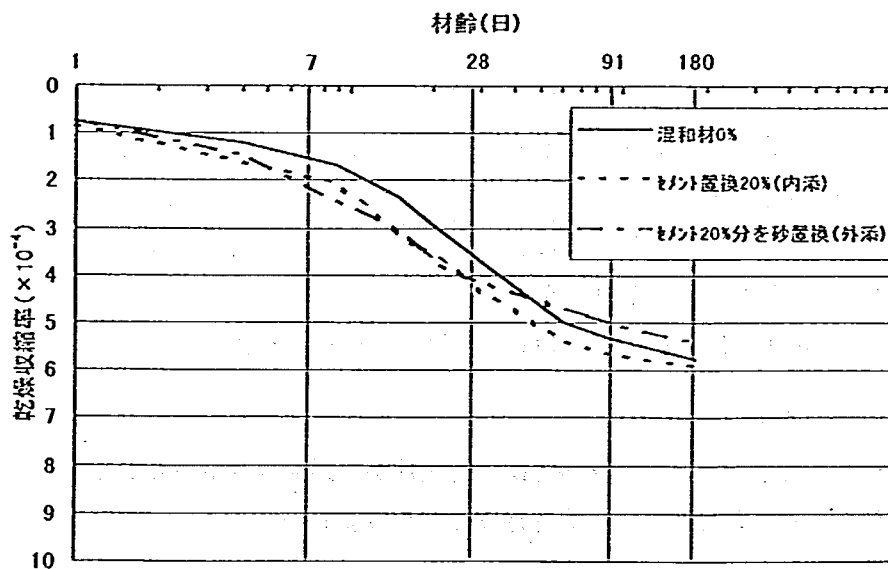


図-1.28 NO2 混和材を添加したコンクリートの硬化乾燥収縮結果の例

(c) 固化化による利用

①用途の概要

微粉はセメント分の若干の水和反応性が残存していることから、水および添加材を加えることで長期的に硬化する性質がある。この性質を利用して、微粉に若干のセメント、石炭灰等を添加し、水・粉体比を極力少ない状態で混合攪拌することにより固化化物を製造して破砕し、下層路盤材、裏込め材、埋戻し材等へ利用するものである。

②再生材の製造

微粉固化化物の製造方法は以下に示すような工程（図-1.29）で行うのが望ましい。

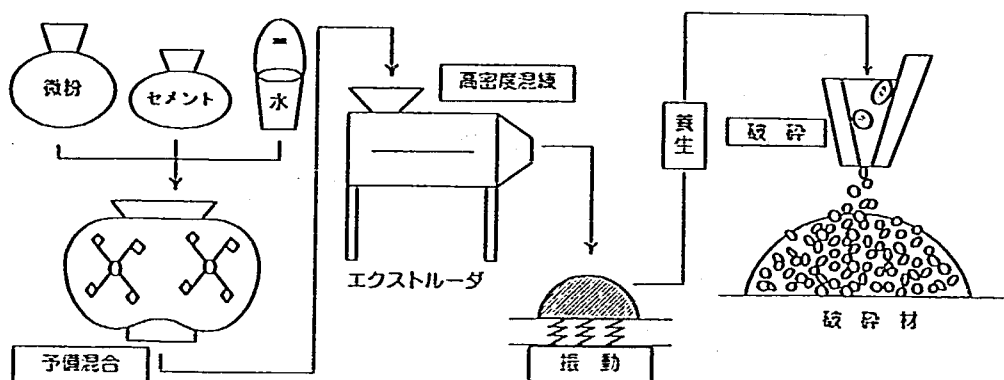


図-1.29 微粉固化化物の製造工程例

固化化物を製造する際のセメント等の添加材は、所定の材齢で 3N/mm^2 程度の圧縮強さとなる配合が望ましい。ただし強度の発現性には粒度の影響が大きく、粒度が粗いものや微細なものはセメントを添加しても硬化性状が劣る。このようなものは平均的な粒度（図-1.23のJb程度の粒度分布）に調整して用いるのが望ましい（図-1.30）。

また、混入物（アスファルト、木片、プラスチック類等）の多い微粉は、十分な強度が得られない場合が多く、できるだけ混入物を除去し、特に混入量が多いものは固化化物には不向きであるので使用を避けるか、あるいは水・粉体比の調整やフライアッシュの添加等により強度改善を行う必要がある（図-1.31）。

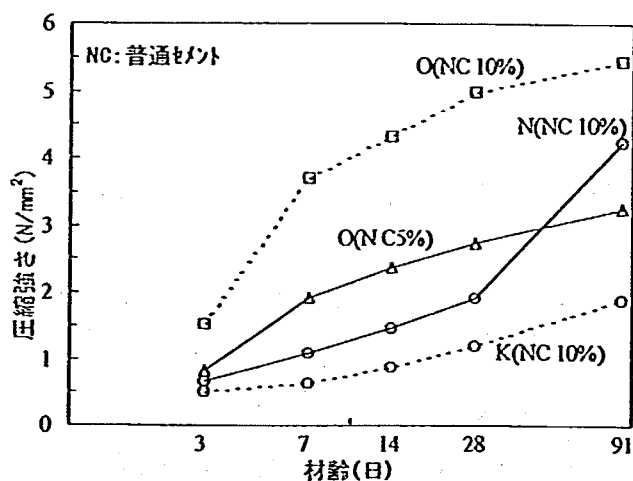


図-1.30 粒度改良による強度改善効果の例

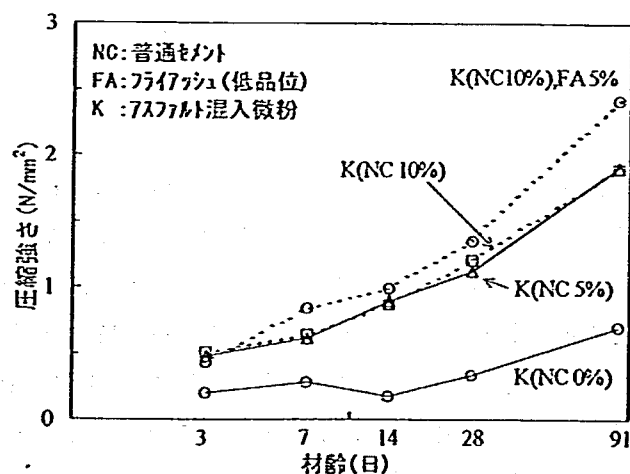


図-1.31 混入物微粉の強度改良の例

固化化物の成形は、微粉とセメント、石炭灰等を添加後、水・粉体比を30～35%程度で混合攪拌し成形装置（真空土練機、加圧成形機等）を用いて成形する。成形後の混合物は初期硬化後、強度を十分発生させるため、養生中は乾燥しないように適宜散水等を行って硬化物とし、養生後は破砕機やふるい機などによって

クラシャランの粒度に調整する。また、貯蔵はストックヤード等に置き、含水率が変化しないようにする。

③舗装材料に利用する際の留意点

破砕物を粒状材料（クラシャラン）として下層路盤材に利用する際は、アスファルト舗装要綱（（社）日本道路協会）に従って行う。通常の粒状材料よりは強度が低く施工時に破砕されることがあるため、敷き均しは材料分離に注意しながら均一に行わなければならない。仮転圧した後、所定の形状に整形するため舗装用ローラー（マカダムローラー、タイヤローラー等）で所定の締固め度が得られるまで転圧する。一層の仕上がり厚は20cm以下を標準とする。また、乾燥しすぎている場合の散水は、ローラーへの付着防止のため路面状態を確認して行う。なお転圧減は10～20%程度となる。

破砕物にセメントおよび石灰を添加し安定処理材として道路の路盤材に利用する場合は、通常はアスファルト舗装要綱に従って行い、破砕物と安定材を均一に混合後締固め仕上げる。

破砕物を裏込め材、埋戻し材として利用する場合は、埋戻し材では管の埋設では管側部が締固め不足となり易いので十分に転圧する。締固めは一層仕上がり厚さ20～30cm以下になるようにまき出し、十分に締固める。裏込め材では湧水の多いところでは含水比上昇により沈下しないよう、必要に応じて排水管を設ける。

④施工後の構造物に対するメンテナンス

裏込め材では施工部での排水が滞留水とならないよう注意する。埋戻し材では施工部での長期的な沈下に注意する。供用後には掘削し安定処理等でリサイクルが可能である。

(d) 流動化処理用固化材としての利用

①用途の概要

都市等の埋設管工事で発生する掘削残土を、掘削現場において再利用する際に流動化処理を行うための固化材として微粉を利用するものである。埋設管工事では0.5～1時間程度で掘削現場を復旧させるため、通常は流動化処理用固化材は特殊セメントを使用するが、特殊セメントではコスト高となるので、微粉の利用によりコスト低減を図れる。通常の微粉は10%程度特殊セメントと置換使用できるが、さらに高粉末微粉とすることで20%程度まで置換使用できる。

②微粉の品質

微粉をそのまま使用する場合、粒度分布の粗いもの、細かいものは混合して平均的な粒度とするのが望ましい。（図-1.23参照）また、混入物の多い微粉は硬化不良となる可能性があるため、なるべく除去することが望ましく、特にアスファルト等の混入物が多いものは硬化物には不向きであるので使用を避けるのが望ましい。ただし、少量の混入物では、強度発現性は特殊セメントとほとんど変わらず流動化処理では問題とならない（図-1.32）。微粉にはセメント水和物が凝集しているが（写真-1.6参照）、粉碎等により高粉末化することでセメント水和物が破砕されて比表面積が大

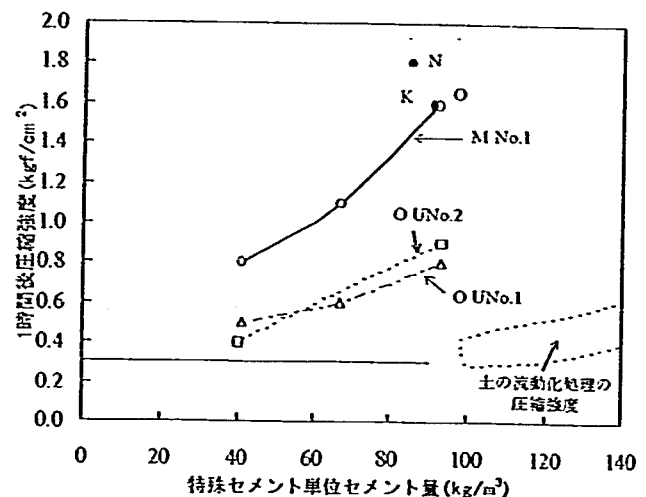


図-1.32 各種微粉と特殊セメントの硬化性の例

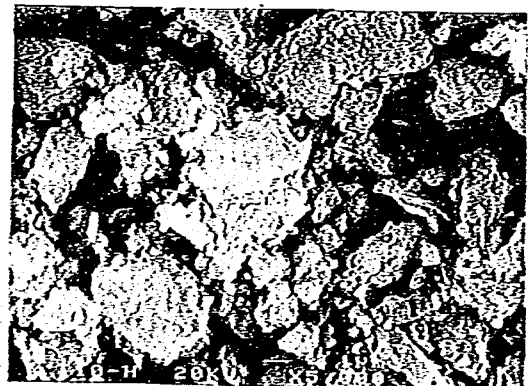


写真-1.8 高粉末化した微粉（倍率3,000）

きくなり（写真-1.8）、強度等の改善効果が高く使用

量の増加が期待できる。このため、ボールミル等の粉砕機で比表面積 $8,000\text{cm}^2/\text{g}$ 程度まで粉砕処理して特殊セメントと置換することが望ましい。

③流動化処理

掘削残土には最大粒径 10mm 程度の砂利が若干含まれる場合があり（表-1.21：砂質土）、流動化処理では管側の充填性等を考慮すると 5mm 以下とした掘削土を使用するのが望ましい。流動化処理土の流動性は、シリンダーフロー値 $180\sim 220\text{mm}$ の範囲で分離性、流動性が良好となり、管側等への充填性を考慮した流動性を十分に確保するためフローコーン法（KODAN A 313）等により流動性を測定し分離性、流動性を確めた配合とすることが望ましい。

表-1.21 掘削残土の性状

土の種類	砂質土 (SM)	粘性土 (CL)
土粒子の比重	2.624	2.610
含水比 (%)	14.7	47.0
液性限界 (%)	26.5	49.6
塑性限界 (%)	17.2	25.5
塑性指数	9.3	24.1
最大粒径 (mm)	9.5	4.8
礫分 (%)	6.2	1.5
砂分 (%)	63.8	27.9
シルト・粘土分 (%)	30.0	70.6
CBR (%)	1.9	1.7

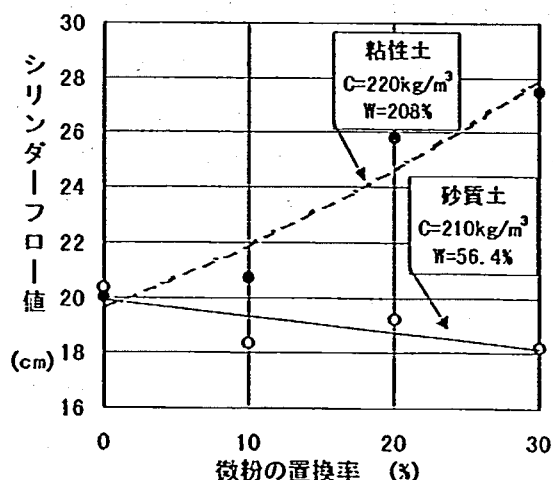


図-1.33 掘削残土へ微粉添加した場合の流動性の例

また、微粉の置換量は、流動性（図-1.33）および $0.5\sim 1$ 時間後の一軸圧縮強さ $0.3\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上、材齢28日で掘削可能な強度 $7\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以下を考慮して、通常の微粉では 10% 以下とする。ただし、高粉末微粉（比表面積 $8,000\text{cm}^2/\text{g}$ 程度）とすることで 20% 程度までは特殊セメントと置換使用できる（図-1.34）

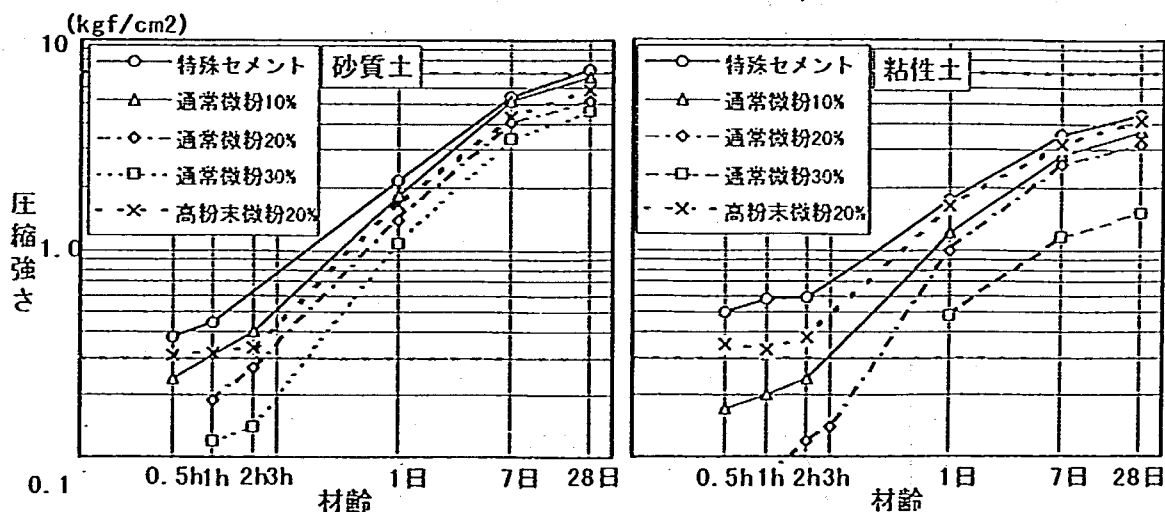


図-1.34 掘削土に微粉を添加した流動化処理の材齢と一軸圧縮強さの例

④施工後のメンテナンス

流動化処理土の施工後、およそ1時間程度で交通開放されることが望ましい。施工箇所を舗装等のため再掘削する場合、通常の方法で行ってよい。

(e) 路床・路盤の安定処理材としての利用

①用途の概要

微粉の土粒子などとのポゾラン反応性を利用して、路床土や路盤材を安定処理を施すための固化材として石灰等の代替材として用いるものである。

②微粉の品質

混入物（アスファルト、木片、プラスチック類等）の多い微粉は十分な強度が得られない可能性があり、なるべくこれらを除去する工夫をすることが望ましい。また、微粉は水に接触しないようにし、十分乾燥した状態で消石灰等の安定処理材との混合を行った後に保管することが望ましい。

ボールミル等の粉碎処理で得られた高粉末微粉は、比表面積 $8,000\text{cm}^2/\text{g}$ 程度まで粉碎したものでは硬化反応が向上することから微粉混合割合を減少させることができる。

③安定処理材として使用の際の留意点

微粉は遅硬化性材料であること、また骨材として用いる材料によってその硬化性状が異なることがあるため、十分な性状試験や配合設計を行って使用する。処理対象土によっては硬化反応が十分に得られない場合があるため、その際は石灰やセメント系固化材との併用によって硬化性状を向上させ、経済的な配合になるような検討を行う。

路床・路盤材としての性状は表-1.22に示す品質を目安として行うとよい。

表-1.22 路床・路盤材の品質の目安

工 種	規 格
路 床	C B R 20% (10日)
下層路盤	一軸圧縮強さ $7\text{kgf}/\text{cm}^2$ (10日、石灰安定処理)
上層路盤	一軸圧縮強さ $7\text{kgf}/\text{cm}^2$ (10日、石灰安定処理)

④路床安定処理における留意点

路床土の安定処理は現地発生土を対象とするため、処理対象土で室内試験を実施して十分に性状を把握する必要がある。消石灰を微粉の1～2割添加すると、効果がより高くなる（図-1.35）。施工は通常の路床安定処理と同一の方法で、均一に固化材を散布しよく混合して行う。施工時には粉塵が発生し易いので作業の際は風速や風向きに注意して粉塵の発生を極力抑さえ、また作業者は安全のためマスクや粉塵眼鏡を着用する。

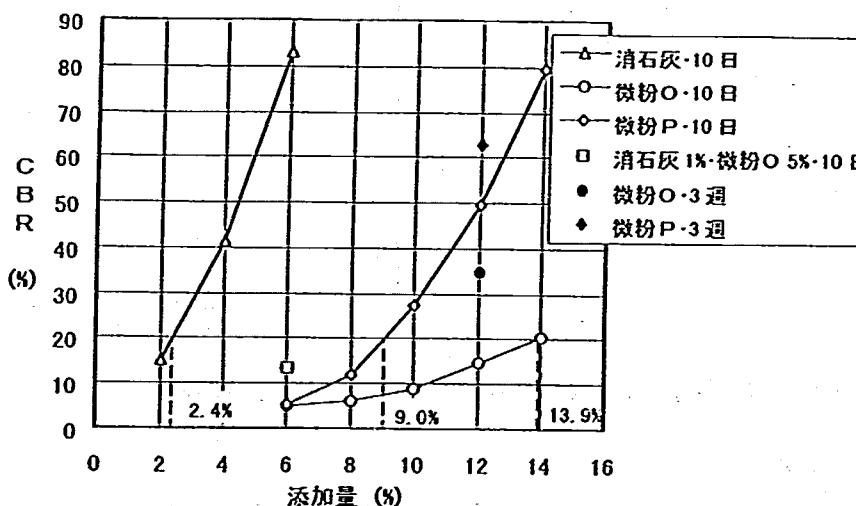


図-1.35 路床安定処理の固化材の添加量とCBRの関係の例

⑤安定処理路盤における留意点

路盤材の安定処理には、コンクリート再生路盤材等の水硬性を有する骨材に添加すると効果的である。

通常の安定処理路盤よりも固化材添加量が多くなることが予想され、安定処理路盤に用いる材料の粒度分布が細かい場合には注意を要する。

コンクリート再生路盤材に高粉末化した微粉を用いた安定処理は、今回検討したものでは添加量4%程度で一軸圧縮強さが 7kgf/cm^2 以上となり下層路盤の石灰安定処理の基準を満足している。ただし、初期強度が発現しにくいいため、上層路盤として使用する場合には長期的強度性状を確認したうえで使用する必要がある(図-1.36)。

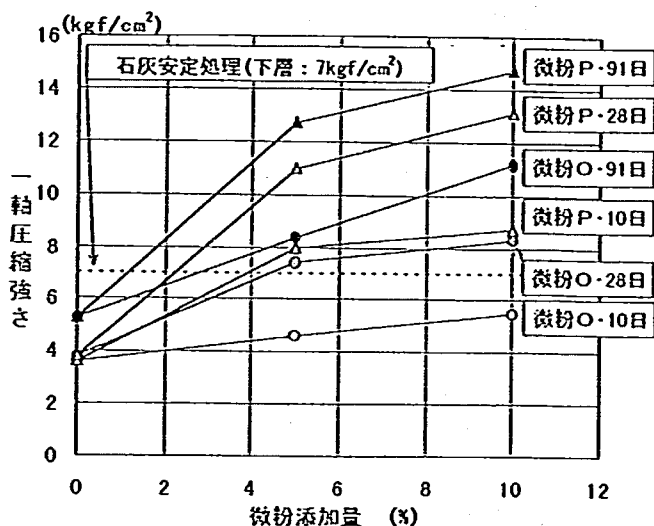


図-1.36 微粉の添加量と一軸圧縮強さの関係の例

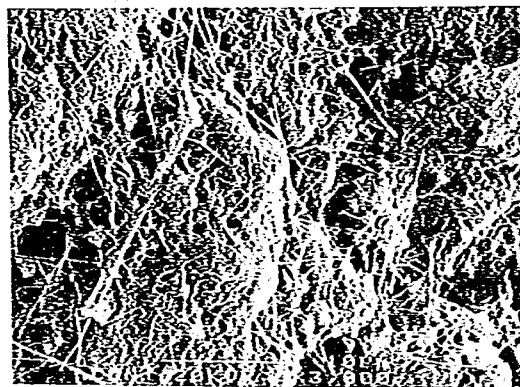


写真-1.9 コンクリート再生路盤材
+高粉末化微粉10%添加(倍率2,000)

安定処理路盤の施工現場での仮置きは最小限にとどめ、貯蔵は原則的には行わないのがよい。

施工は図-1.37に示すような一般の施工体制で行えば良く、1層の仕上がり厚さは10~20cmを標準とする。また、安定処理路盤の打ち継ぎは、日数をおくと施工継目にひび割れが生ずることがあるので、できるだけ早い時期に打ち継ぐことが望ましい。施工後直ちに交通開放する場合には、乳剤と砂でシールコートをし、タイヤへの付着を防ぐ。ただし剥がれが起し易いので長期間の供用は避けた方がよい。

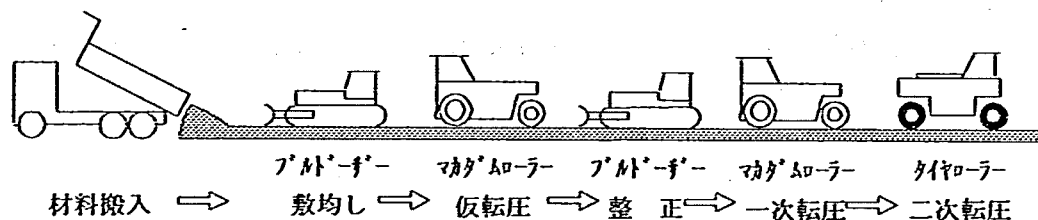


図-1.37 施工体制の一例

⑥利用後の注意点

一般の舗装と同様に供用性が低下し交通に支障をきたす状態では、破損状態を調査し、適切な維持・修繕を行うようにする。微粉を用いた路床土や路盤の再掘削は再生路盤材プラント等に持ち込み再利用することが可能と思われるが、その際は十分な室内試験を行い、適切な再生方法を検討して利用する。

(f) アスファルト混合物用フィラーとしての利用

①用途の概要

アスファルト混合物に使用する石灰岩石粉の代わりに微粉を利用するものである。微粉は、処理機械によって粒度分布が異なり、75 μm 通過質量が粒度規格の70%以上となるものが少ない(図-1.38) こと等から微粉100%をフィラーに利用するには多くの検討が必要である。

なお、アスファルト混合物に副産物を利用する方法は、(社)日本道路協会のアスファルト舗装要綱(平成4年版)では「副産物等採用の考え方」における採用までのフロー図が示され、フィラーへの適用はフィラーの項でのアスファルト合材プラントの回収ダスト、フライアッシュ等を用いる方法に基づくことが示されている。

②フィラー混合割合

粒度分布は、微粉と石灰石フィラーをそれぞれ50%混合の割合となる75 μm 通過分を用い、標準値に適合する混合割合を求める(表-1.23)。なお、アスファルト舗装要綱では、フィラーへの使用量を50%以下で各種フィラー試験を行い試験の目標値に適合している場合に利用可能であることが示されている。

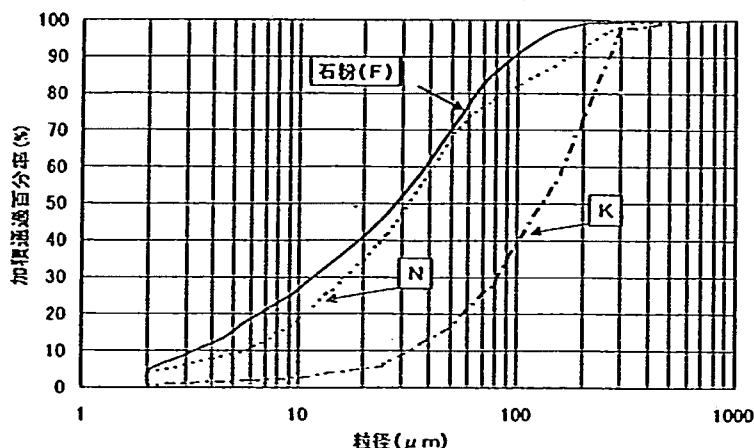


図-1.38 微粉の粒度分布(全粒度)の例

表-1.23 微粉のフィラー試験結果の例

試験	フロー試験※	吸水膨張試験	PI試験	剥離試験
石粉	29.0%	0.32%	2.3	合格
微粉 100%	Jb 59.0%	0.29%	8.3	合格
	K 57.0%	0.51%	3.2	合格
	N 61.3%	0.88%	6.6	合格
微粉+石粉 50%+50%	Jb 42.7%	0.34%	5.1	合格
	K 36.3%	0.46%	2.6	合格
	N 45.8%	0.62%	3.7	合格
目標値※※	50%以下	3%以下	4以下	合格

※75 μm 通過分にて試験を行った。

※※アスファルト舗装要綱(平成4年版)フィラー材の回収ダストの項参照
は目標値を外れるもの

③アスファルト混合物試験

最適微粉混合割合でのアスファルト混合物試験を表-1.24に示す方法で行い設計アスファルト量を求め、アスファルト混合物での試験項目を表-1.25に示す方法で行い、重交通でのホイールトラッキング試験も行うことが望ましい(図-1.39、表-1.26)。

表-1.24 設計アスファルト量の設定例

試験項目	密粒度アスファルト混合物の場合 (最大粒径 20, 13mm)
突き固め回数	50 (B交通以下)
空隙率(%)	3~5
飽和度(%)	75~85
安定度 (kgf (kN))	500 以上 (4.90)
フロー値 (1/100cm)	20~40

表-1.25 試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法	備 考
標準マーシャル安定度試験	鹺試験法便覧	配合試験 50回/両面
水浸マーシャル安定度試験	〃	水浸48h
ホイールトラッキング試験	〃	0ACのみ

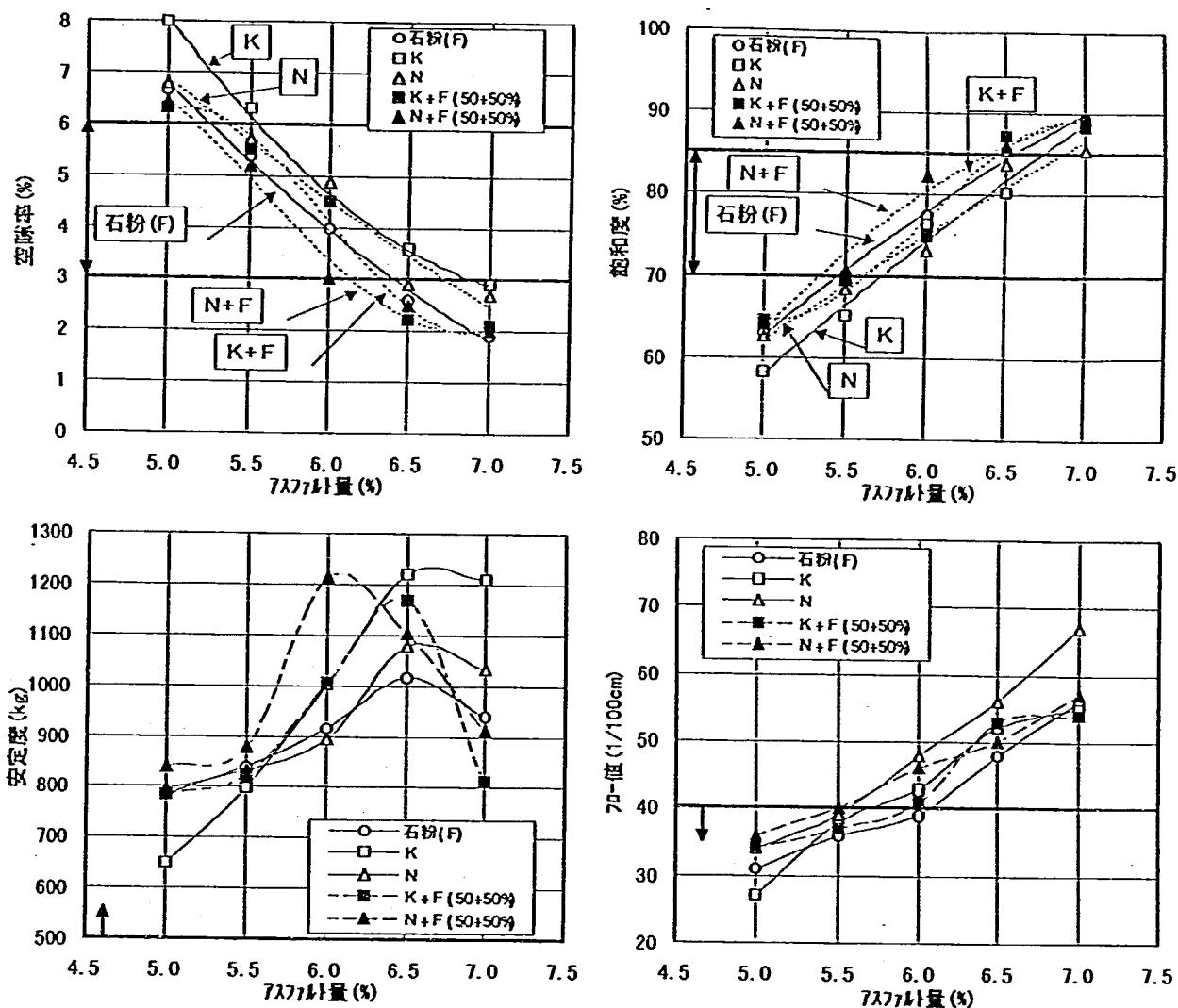


図-1.39 微粉微粉を用いたアスファルト混合物配合試験結果

表-1.26 OACにおけるアスファルト混合物の特性

ﾌﾗｰの 種 類	OAC(%)		密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	安定度 (kg)	70-値 (1/100cm)	残留安 定度(%)	ﾎｲｰﾙﾗｯﾁﾝｸﾞ DS値(回/mm)
	共通範囲	中央値						
石 粉(F)	5.5~6.3	5.9	2.351	4.2	948	38	98.9	808
K (100%)	5.8~6.8	6.3	2.319	3.9	1191	51※	85.4	321
N (100%)	5.9~6.7	6.3	2.339	3.8	1013	46※	86.6	266
K+石粉(50+50)	5.6~5.8	5.7	2.375	3.3	968	40	92.1	525
N+石粉(50+50)	5.3~5.4	5.4	2.362	4.4	1059	37	87.9	619

※ OACでの共通範囲から除外

④微粉を用いたアスファルト混合物の適用

前項で求めた設計アスファルト量範囲の最小値を、標準とすることが望ましい。また、OACを求める際に共通範囲が広い場合は、最小値に近い値を採用した方が流動等に対して安全側になると考えられる。

重交通を対象としたホイールトラッキング試験のDS値は、石粉単味より低く、その80～65%程度である。これは微粉フィラーの粒度分布や表面性状（写真-1.6参照）が石粉（写真-1.10参照）とは異なることが影響していると思われ、微粉の混入は重交通を対象としたアスファルト混合物に使用することは十分に検討する必要がある。このため、微粉を用いたアスファルト混合物の適用はB交通以下が望ましく、C交通以上への適用はホイールトラッキング試験等を行い、施工性確認の必要性、試験舗装の必要性を判断して実施することが望ましい。

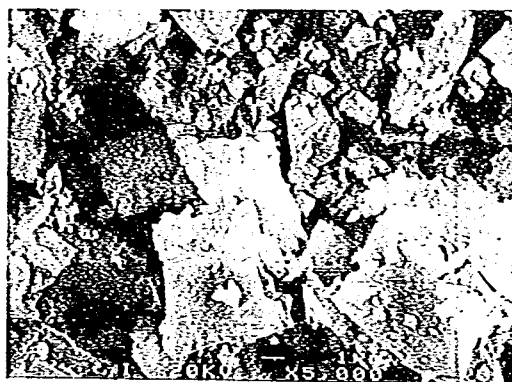


写真-1.10 石粉のSEM写真の例（倍率3,000）

⑤施工後の舗装構造物に対するメンテナンス

微粉をフィラーに添加したアスファルト混合物による舗装は基本的にA、B交通対象であるから通常でのメンテナンスと考えてよい。C交通以上の舗装に使用した場合は通常のメンテナンスより早期のメンテナンスが必要となる場合があるので、当面は継続的に調査を行うことが必要である。

（g）セメント原料への利用

①用途の概要

コンクリート副産物を破碎して得られた細・粗骨材は再生コンクリートの骨材として利用し、残りの微粉をセメント原料として利用出来れば、完全リサイクル材として環境、資源の点からも合理的である。一般にセメントの利用分野は広く、必ずしも高品質のセメントに限ることなく、多少の品質低下があってもその性能に対応できる利用分野も多く考えられる。ここでは多方面への利用性を考慮して、高品質・工場生産のクリンカー原料へ、あるいは多少の品質低下を認めた混合セメントへ利用するものである。特に、セメントに負荷要因となる有機質可燃成分等の含有量多い場合は、クリンカー焼成原料に利用して無害化、または有用化を図れる。ただし、PVC等の塩素を含むものや有害物を含むものは除外するのが願いである。

②クリンカー原料への利用

クリンカー生産への利用では図-1.40に示すように製造工程の初めにコンクリート微粉を投入する。原料の仕調様式には乾式、湿式、半乾式等の処理方式があるが、いずれにしてもこの段階で所定の成分調整をした上で（微粉の割合は原材料の1～2%程度）各種原料と同時に投入する。その後ローラーミル等で原料を粉碎することを考慮すると微粉は粉碎処理の点から好都合と言える。粉碎機により粉碎された原料を化学成分分析して、所定の値になるように原料の仕調へフィードバックする。特に、塩化物イオンを多量に含む微粉の場合は添加割合を0.6%以下にする必要がある。

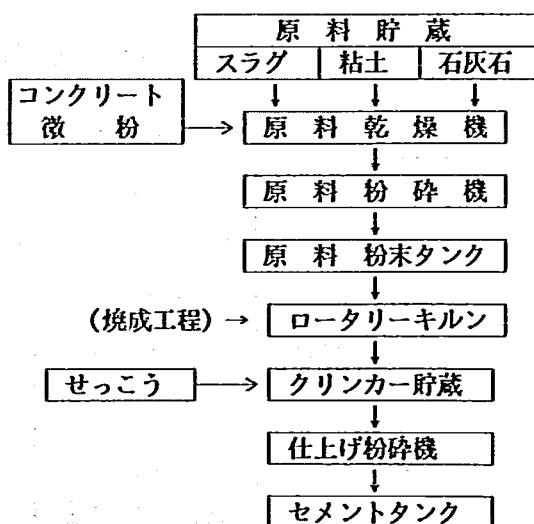


図-1.40 微粉を用いたセメントの製造工程

この様に原料の仕調段階から調節して焼成することで、

従来の高品質セメントと全く同じ質の製品が可能となる。有効成分のみの微粉では原材料の7～15%の添加が可能となる場合もある。また、微粉の粉末度がクリンカーの易焼性に影響するため、構成化学成分が満たされているならば、ブレン値 $4,000\text{cm}^2/\text{g}$ では7%、 $6,000\text{cm}^2/\text{g}$ では15%程度まで添加可能である。ただし、一般的な微粉は原コンクリートの骨材粉末が概略50%程度含まれており、 CaO/SiO_2 モル比はポルトランドセメントの2.3～3.0に比べて小さく、石灰石粉末を大量に入れて調整する必要がある。このため、一般工場の生産ラインで利用する場合には、他の原料との成分調整を一層正確に行うことが必要である。

ポルトランドセメントの化学組成の概略範囲は表-1.27に示す程度であり、ポルトランドセメントの製造原料として微粉を利用する場合には、このような割合で化学成分が構成されていることが最も好ましい。しかし、一般には原コンクリートの骨材成分やその他不要混入物の存在する場合が多いため、これらが製造段階や出来上がり製品に与える影響を見極める必要がある。

表-1.27 ポルトランドセメントの組成範囲

酸化物	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃
含有量(%)	63~67	20~25	4~7	2.5~5.5	0.7~2.0	1~3

セメント成分割合のほかに、一般に良く用いられている成分間特性比率（または係数）として水硬率（HW）、ケイ酸率（SW）、鉄率（IW）等がある。これらの比率はセメント構成鉱物の配合割合を示す指標で、原料調査上きわめて重要な値である。このためこれらの特性比率にも留意する必要がある。

また、石灰石成分（ CaCO_3 ）は焼成原料では必要成分であるが、セメント混合材等には負荷要因になることもあるので、留意する必要がある。

③混合セメントへの利用

高炉スラグを利用して高炉セメントに類似したセメントを造る方法や、普通ポルトランドセメントとの混合セメントとして利用することを目的に、比較的少ない割合で微粉を普通セメントに混合し、元のセメントの性状と類似したものとして利用を図る方法がある。

これらの場合では高温焼成の必要はなく、乾燥、粉碎混合の工程だけで良く、簡単な設備と操作で可能となる。「微粉+高炉スラグ+石膏」の混合物に反応を促進させる目的で無機化学刺激材を数%添加したもので、高炉セメントB種に近い性状を得ることも可能となる（図-1.41）。一般に混合量が多くなるほど品質は低下する場合が多い。しかし、微粉の粉末度が大きい（粒径が小さい）程、強度発現に効果があることから、原セメントの空隙を埋める程度の粒径および量を添加することが最も効果的である。ただし、低発熱性や収縮低減が期待できるものの強度発現については初期強度の発現性が低いものが多い。また、焼成原料では大きな問題にならないような木くず、アスファルト微粉や有機質混入物も、混合セメントへ利用する場合には負荷要因となるので、これらの成分にも留意する必要がある。

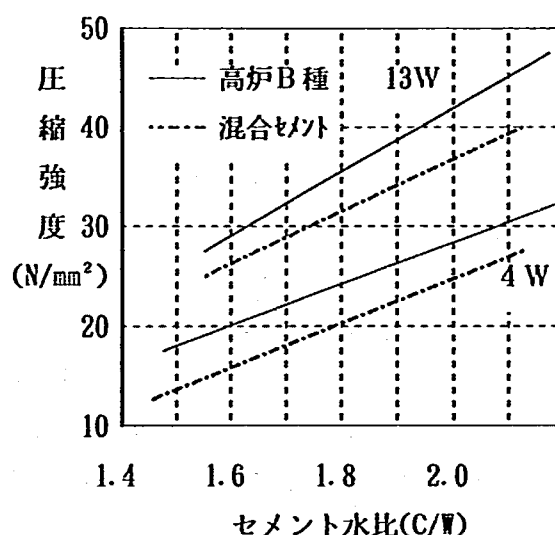


図-1.41 圧縮強度の比較

(h) 裏込め注入材への利用

①用途の概要

裏込め注入材にはその使用目的・施工方法等により性状・種類に多様なものが利用されているが、ここでの利用はコンクリート微粉末をシールド・トンネルの施工に伴うテールボイドへの裏込め注入材に利用するものである。シールド・トンネルの裏込め注入材は、覆工背面と地山との空隙を充填することによりセグメントの安定と漏水の防止、および周辺地山の緩みと沈下を防ぐ目的等に使われている。

現在までに使用されてきた注入材は一液型と二液型に大別できる。地山が安定した土質の場合は、注入材の早期強度発現による地山保持の必要性は小さいとされ、一液型の注入材で施工されてる場合が多かった。一方、地山の不安定な粘性土層や崩壊性の砂層等では、シールド機の推進と同時にテールボイドに裏込め注入材を充填する必要があるため、同時注入も可能な二液型の注入材で施工されている。

二液型の注入材は注入時まで流動性を有した材料を、注入時あるいは注入後すみやかに可塑状凝結ないしは固結させることを可能とする特徴があり、最近の傾向は、二液性の注入工法で施工している場合が多く（表-1.28）、ここでは二液型のセメント・粘土系注入材を対象としている。

代表的なセメント粘土系注入材の一部分をコンクリートの微粉と代替することで、もとの性状を損なわずに従来の材料を節約できる（表-1.29）。代替使用する微粉によって多少の量的な変化はあるものの、ベントナイトを三分の一低減した上にクレイサンド全量と置換可能となる。さらに単位水量も低減できるので、A液の性状（粘性、ブリージング等の材料分離抵抗性）や2液（A、B）混合後の凝結・硬化収縮等の改善が図れる。

表-1.28 注入形態の分類

	1993年調査(n=386)	件数	比率(%)
一液性	懸濁液型	5	1.3
二液性	水ガラス系	緩結固結型	20
		瞬結固結型	159
		可塑状型	194
	アルミニウム系	可塑状型	3

表-1.29 二液型セメント・粘土系注入材配合例

A 液				B 液
水	ベントナイト	セメント	クレイサンド	急結材
750	35	230	150	100
コンクリート微粉末に代替配合				↓
水	ベントナイト	セメント	コ・微粉末	急結材
720	22	230	230	100

(1 m³ 当たり；単位kg)

②施工上に関する留意点

ベントナイトを使用した水溶液は、ベントナイト自体の性状によって吸水膨潤性が異なり十分に目的性状を発揮するまでに時間を要する場合が多い。その為ベントナイト水溶液を製造して10分間以上の混合攪拌状態を維持した後に微粉等を混合する必要がある。セメントは水と接触した時点から水和反応が始まるので施工する直前が望ましい。微粉はセメントと同時でも良い。

施工の点からは材料の粘性が小さい程注入作業が容易となるが、材料の品質管理の点から混合材料の均一性を保持する目的で多少の粘性が必要となる。そこで施工性と品質の両方に適する材料配合を決定する必要がある。しかしこの性状は、材料の温度によって変化する。特にセメントを混合した後の性状は、材料温度が高くなる程、経過時間と共に変化が大きくなることに留意が必要である。

③充填性について

微粉の粉末度が小さい（粒径が大きい）と流動性は良くなるが、大き過ぎる粒子が混在していると充填性が悪くなる。事前の配合試験と充填場所の空隙等に留意し、流動性を確保する必要がある。

しかし、注入施工において空隙を十分に充填しても、その後の硬化・強度発現までにブリージング等の材料分離が発生することは結果として空隙を作ることになる。このため、ブリージング等の材料分離が少なく、注入後の体積収縮の少ないことも必要である。A、B液の反応等による凝結・硬化に伴う体積収縮も同様である。

④強度特性

強度は注入箇所の地山と同等以上を確保することが必要である。セメント系注入材の強度は一般にセメント・水比によって大きく左右される。また同時に混合するベントナイトの量、急結材や養生条件等にも影響される。特に初期強度の発現性については急結材の影響が大きくなるので、目的の強度性状に合わせて種類や量を選定する。

⑤その他の性質

湧水のある場合には、比重が大きく水中で分離せず、急結性や早期の強度発現性があり、水密性に富んでいることが必要である。

(i) 土壤改良材としての利用

①用途の概要

我が国には酸性土壌のために、植物が生育できない場所や生育不良地域等があり、こうした場所で土壌改良を目的として微粉を利用するものである。特に温泉の湧出地域や火山灰の堆積地ではしばしば見られている。このような地域に微粉を利用して土壌改良すれば、中和作用として効果的であることは容易に推察できる。しかし酸性土壌を好む植物や中性土壌に生育している植物に対しては、悪い影響を及ぼすことも懸念される。

しかし、比較的酸性土壌を好む芝草を用いて(図-1.42)、微粉を混入した土壌(表-1.30)で育成試験を行い(図-1.42☆印を対象)、一年間の生育量を測定した結果、酸性土壌を好む芝草に対しても良好な結果が得られ、微粉を40%混入しても、無混入より良好な生育状況を示している。(図-1.43)。当初の条件が酸性土壌であるならば、より一層改善効果が明確となることが考えられる。また、さらに多くの微粉の混入により一層の好影響につながる可能性もある。いずれにしても特定の条件における利用効果ではあるが、微粉の土壌改良材としての利用は、植物の種類等によって適切量に違いはあるものの、有効性は大きいと言える。

②利用上の留意点

酸性土壌の中和材として微粉を利用するならば、土壌の酸性度に応じて中性になるまで微粉末を投入して混合攪拌すれば良い。さらに中性土壌の酸性化防止、または予防目的等に利用するためには中性土壌に対して10~20%程度の混合利用が好ましい。この程度であれば過度なアルカリ土壌になる可能性も少なく、各種の生物に対する弊害も少ないと考える。むしろ植物へのカルシウム成分や遊離シリカ成分等の供与効果による良好な結果が得られると考える。

図-1.43 各種芝草の良好土壌酸度

土壌酸度	極強酸	強酸	弱酸	中性	7A	カ
pH	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	
ハミズグ		←	-----	-----	→	
コウライ芝	←	-----	-----	-----	→	
ティンパレ	←	-----	-----	-----	→	
フイツェス		←	-----	-----	→	
パレニフ		←	-----	-----	→	→
ベントグ		←	-----	-----	→	
トカフス		←	-----	-----	→	

表-1.30 試験土壌の酸度(pH)測定結果

土壌種別	0%	20%	40%
測定経過			
開始直後	7.1	9.4	10.1
半年後	6.8	8.9	9.5
一年后	6.7	8.7	9.2

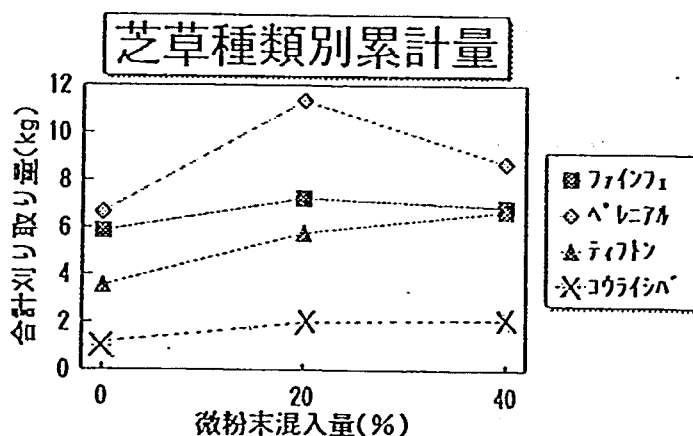


図-1.43 試験した土壌別芝草の生育量比較

しかし、植物の種類によってその効果は異なるので、他の無限に存在する生物種を考えれば10～20%程度が適量と思われる。また、確実に対応するためには、個々の適応性を調査して利用することが望ましい。

微粉の品質は、原コンクリートの品質（良質・富配合、貧配合、劣化等）や破砕処理等の方法によって相違があり、保管・貯蔵状況によってセメント成分の水和や炭酸化等の変化もあることから、その効果も異なるので留意が必要である。

微粉を粘性土壌へ利用すると、粘性土を凝結・固化させる場合がある。特に微粉がセメントの成分を多く含有している場合にはこの傾向がある。このため混合使用後の時間変化（0～24時間の凝結等）や長期変化（1～13週の固結化等）に注意する必要がある。砂質シルトにおいても固結の傾向が見られるが、大量に使用しない限りその程度は小さい。

土壌改良材としての利用は、大量に屋外で使用することから、風による飛散・粉塵防止対策（散水またはスラリー使用等を考慮）や雨水等による流出防止（周辺水域への溶存汚染→排水処理または適度の使用による土壌吸着）等、周辺の環境条件に配慮する必要がある。

③まとめ

土壌改良材に利用することは、特に酸性土壌を好む芝草に対して効果的であったことから、今後の需要分野として大きな期待ができる。日本には全国いたる所にゴルフ場や公園等の芝地が多く存在しており、これらへ利用する場合には二次的な処理コストも必要なく、経済的に且つ効果的に利用できる上に、多少の品質変動等にも柔軟に対処できると考える。

【参考文献】

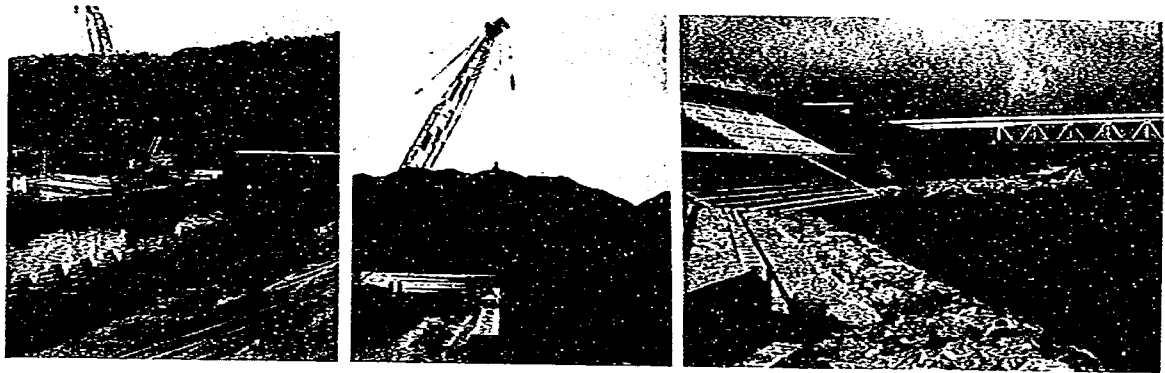
- 1)小嶋芳行・安江任・荒井康夫：“コンクリート廃材から再生セメントの試製”，Gypsum & Lime, No. 244 (1993)
- 2)(社)セメント協会コンクリート専門委員会：“石灰石骨材を用いたコンクリートの諸性質”，セメント・コンクリート No. 557 July 1993
- 3)吉兼亨：“セメントコンクリート廃材の再資源化”，骨材資源 No. 72 1987
- 4)田中久順・井上敏克・立屋敷久志・岸本幸尚：“コンクリート廃材のリサイクルに関する研究”，セメント研究所 研究報告 No. 7 (1996)
- 5)友澤史紀：“完全リサイクル化に向けて”，セメント・コンクリート No. 578 Apr. 1995
- 6)芝草管理技術研修テキスト：日本芝草研究開発機構
- 7)本村悟他：“ゴルフ場グリーン床土の土壌環境”，芝草研究 第19巻 第2号
- 8)江原薫：“芝草と芝地”，（株）養賢堂
- 9)松原従彦：“酸性雨が植物に及ぼす影響とその対策”，環境管理 Vol. 32, No. 4(1996)
- 10)(社)セメント協会 建設副産物利用促進専門委員会報告：“コンクリート塊から発生する微粉末の有効利用”，1996年10月

1.5 その他の利用方法

暫定品質基準案に示されている、コンクリート用骨材、路盤材料、裏込め・埋め戻し材の3用途や1.4で紹介した各用途は、一般的に利用しやすい破碎骨材を使用するものである。一方、1.2で述べたように「部材」や「小割材」といった形態での利用もある。「部材」や「小割材」と言った抽象的な表現だけでは分かりづらいので、これらについて用途の紹介として建設省のモデル工事で実施した具体的な工事例を示すこととする。ここで示す事例はあくまで一例である。これらの利用形態は制約は多いものの経済的であり、利用者の工夫次第で破碎骨材と同様に様々な利用方法が考えられるものである。

(1) 部材としての利用事例

ここで紹介するのは、古くなったプレストレストコンクリート橋梁の桁を切り出して再利用を行ったものである。これは、写真-1.11に示すようにコンクリート桁を適当な大きさに切り出して、付近の河川堤防の淵を補強する工事を行ったものである。

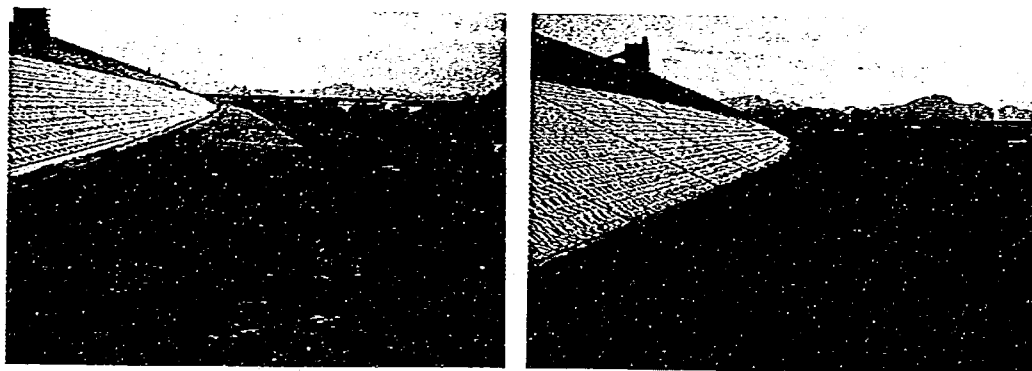


左：解体中の橋梁。
中：河川堤防の淵を補強するために据え付け中の桁。
右：完成後の状況。コンクリートの切断面が見える。

写真-1.11 コンクリート塊を切り出して部材のまま再利用した事例

(2) 粗割材としての利用事例

ここで紹介するのは、20~30cm程度に粗割りしたコンクリート塊を、玉石の代替材として河川堤防の床固めに用いたものである。これは、写真-1.12に示すように敷き均したコンクリート塊の上に鉄網をかぶせて安定させ、上に土をかぶせて緑化したものである。



左：敷均した解体材の上に鉄網をかぶせた状況。
右：完成後、緑化も問題なし。

写真-1.12 粗割材として再利用した事例

2. 再生処理方法と品質・コスト

コンクリート副産物の大部分は、再生資源化施設で破碎処理され、再生材として路盤材料やコンクリート用骨材等に用いられることになる。しかしながら、再生材の品質は原コンクリートの品質とともに再生資源化施設の設備・破碎方法にも左右され、このため、再生処理された施設によっても利用できる用途は異なる。すなわち、高度な用途への利用を目的とすれば、高度（高次）処理機械や技術が必要となる。また、コンクリート副産物中には種々の混入物が含まれることもあり、再利用を推進していく上でこれらの除去も重要な課題である。ここでは、高度処理や混入物の除去技術等の再生資源化施設における処理技術やコスト等について述べる。

2.1 定置式再生資源化施設

2.1.1 定置式再生資源化施設の現状と将来

ここでは、平成5年に全国170カ所の施設で行ったアンケート調査結果を基に、再生資源化施設における処理方法及び設備機械について述べる。

(1) 現状の施設と処理方法及び設備機械

①敷地面積

コンクリート塊とアスファルト塊を同じ敷地内で再生処理している施設は全体の80%以上で、その敷地面積は全体の40%が3,000~10,000m²である。30,000m²以上も全体の20%あるが、関東など土地取得、確保が難しいところでは1,500m²クラスの狭い施設も多い(図-2.1)。

既設のどの施設もより広い敷地を希望しているが、受入、処理、販売のサイクルと機械設備能力(稼働率UPを含めた)の面からも、狭い敷地での年間処理量を増やす工夫も必要である。

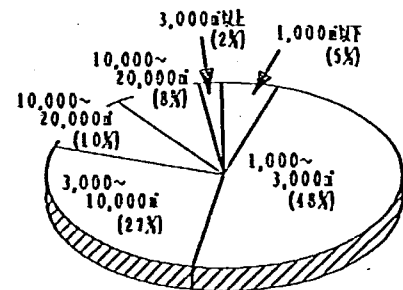


図-2.1 プラント敷地面積の状況

②受入れストックヤード

受入れストックヤードの容量が15,000t以下の小規模の施設は全体の80%を占め、50,000t以上の大規模なところはごく少数で、狭い施設では500t以下のところもある(図-2.2)。敷地の狭い施設では、従来のダンプロックで搬入された受入材をショベルローダ等で野積みする方法では限界があり、受入および処理をいかに効率良く回転させるかが重要な課題である。このため、大容量スキップバケットで投入することにより大量のストックが可能となるサイロ方式(図-2.3)のような施設を導入する等の改善が必要がある。

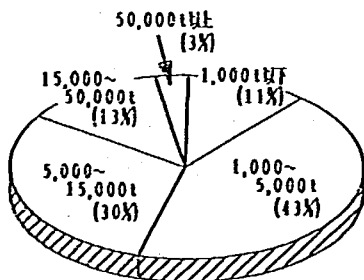


図-2.2 受入材ストックヤードの状況

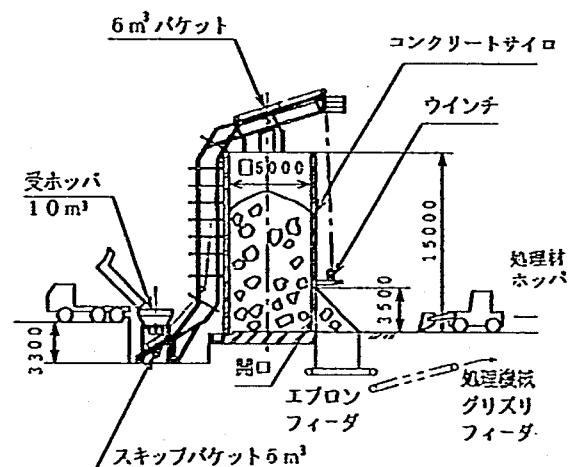


図-2.3 受入材のサイロの例

③製品ストックヤード

製品ストックヤードの容量が5,000t以下の小規模なところが全体の60%を占めている(図-2.4)。製品のほとんどは路盤材に使用する再生クラッシャーランで、再生粒度調整碎石、再生骨材(粗、細)を製品としているところは稀で、製品ヤードを区分けしているところも少ない。販売出荷と処理能力(稼働率)が上手く噛み合えばヤードは小さくて済むが、製品ヤードについても、受入ヤードと同様にサイロ方式(図-2.5)のような施設を導入する等の改善も必要である。

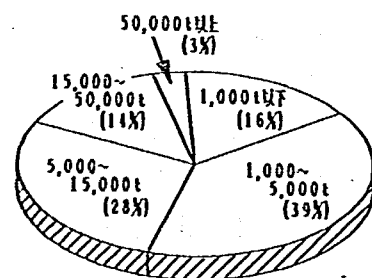


図-2.4 製品ストックヤードの状況

④年間受入量と処理能力

年間の受入処理量は全体の70%強の施設で6,000t以下で、20万t以上のところも5%前後ある(図-2.6)。一方、処理能力は50t/h以下と50~100t/hがそれぞれ30%、200t/h以上は5%前後である(図-2.7)。つまり稼働時間を年間1,000時間程度と見なすと稼働率は50%前後となる。稼働率をアップすることにより、年間処理量を増やすことがコスト面からも望まれる。採算ベースは現状では100t/hの処理能力設備で10万t程度であるが、入出荷を改善することにより20万t規模の年間処理量とすることが課題である。

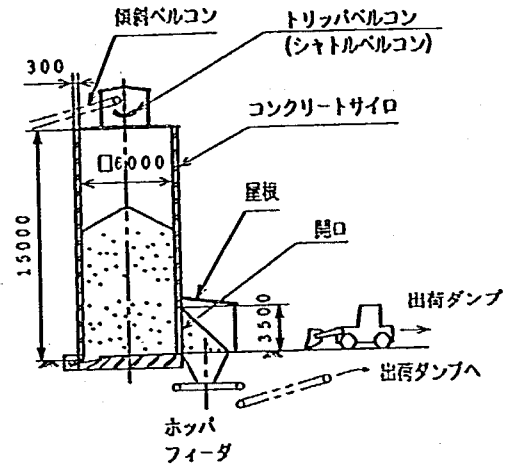


図-2.5 製品サイロ例

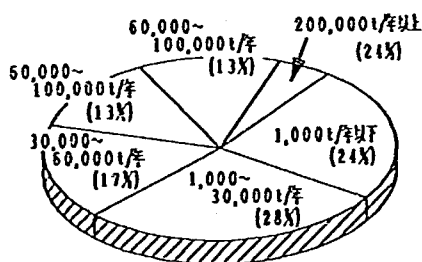


図-2.6 年間受入実績

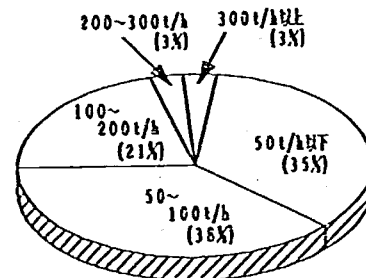


図-2.7 再生処理能力

⑤処理方法と処理機械

ほとんどの施設で行われている再生クラッシャーランの生産では、エプロンフィーダ又はグリズリフィーダにホッパを設け、ショベルローダで原料を投入している。フィーダにより定量供給された原料は直接あるいはベルトコンベアで運搬され、砕石プラントと同様にジョークラッシャ(1次破碎機)による粗砕、インパクトクラッシャ(2次破碎機)による細砕、1次、2次スクリーンとベルトコンベアとの組合せで処理されている。一般的に原料に土砂が混入していることからグリズリフィーダで40~100mm以下の物を分け、オーバーサイズをジョークラッシャで処理しているところが多い。ジョークラッシャの代わりに歯のついたダブルロールで粗砕する方法も採用されているが、これはアスファルト塊も処理できる利点がある。

新材ヤード、ホッパフィーダを設けて再生粒度調整砕石を生産している施設や、石磨機等の付着モルタル除去機(3次破碎機)、3次スクリーン、風選(乾式)あるいは水洗(湿式)による微粉分の処理を行い、再生粗・細骨材を生産している施設は極めて少ない。これは処理費用と新骨材の価格(需要関係、地域格差)との関係によるもので、「受入価格+再生処理費用<新骨材」となった場合には高度処理方式の導入が可能となり、このような施設も増加すると思われる。

1次、2次破碎機に関しては、鉄筋コンクリート副産物でも対応できる特殊なクラッシャ(リバース機構付ロールサイザや油圧ブレーカ等)や従来形のジョークラッシャに回転センサを設け過負荷による損傷が発生しない様にモータを止めたり、ワンタッチメンテできる様な機構を設けるなどの工夫をしているところもある。

異物除去は、ベルト式クロスタイプ、マグネットプリー等の鉄類除去のための磁選機は一般化しているが、その他のものは人力による場合が多い。ただし、木片やプラスチック等を振動フィーダにより浮かせてバキ

ューム吸引して回収、または風力分級等を行ったり、比重差を利用したスクリーン除去や水洗除去を行っている施設もある。

コンクリート副産物中に土砂、木屑、プラスチック等の異物がある程度混入することは現状では避けられず、この傾向は今後とも継続するか解体される構造物（特に建築物）によってはむしろ強まることも予想される。このため将来的には、コンクリート副産物の受入基準を緩和ししても、高度処理が可能なシステムを導入することも必要と考える。また、施設からは製品以外のものは一切出さない完全クローズシステムを採用して公害規制値等をクリアするだけではなく、環境に配慮し緑地とデザインを重視した施設の実現も望まれる。こうした処理システムの一例として図-2.8のフローが考えられる。このシステムは受入れた残土、堀削土は石灰処理して改良土とし異物中の可燃物は焼却炉で場内処理し、その焼却灰と高度処理の汚水処理脱水ケーキは改良土に混入しようというものである。この方式は既に一部は実現しているが、今後は低振動、低騒音化した処理機械（衝撃破砕から油圧やローラ式等による解砕等）と水洗設備（高度処理）を組合せた「コンクリート副産物総合処理施設」へ進むと考えられる。

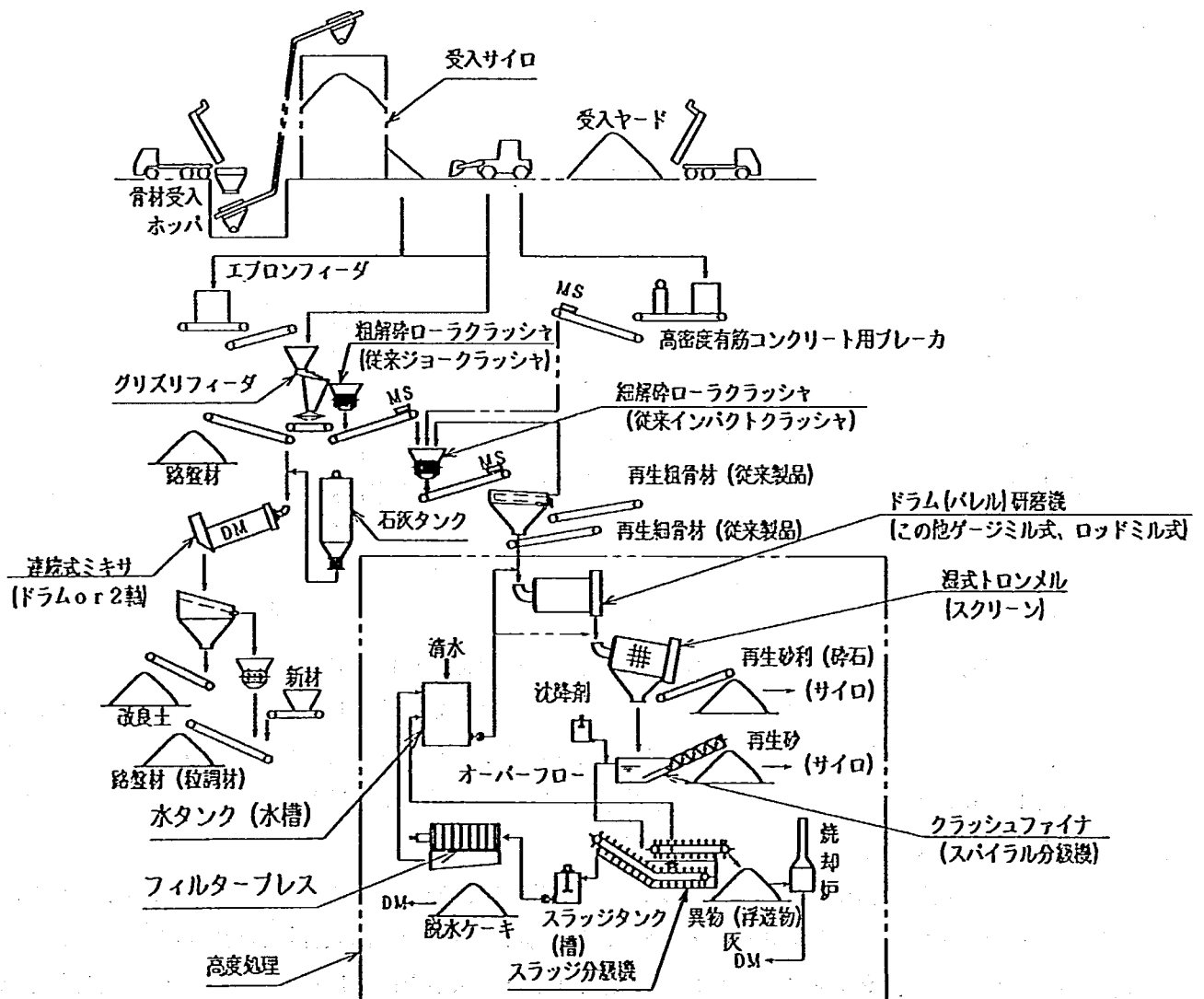


図-2.8 コンクリート副産物総合処理工場フロー例

(2) 品質とコスト

①受入基準とコスト

ほとんどの施設では、原則として「無筋コンクリート」「最大50cm」「土砂、ゴミ等異物混入無し」を受入基準としている。しかし実際には鉄筋を含むコンクリート（以下、「有筋」）も受入れており（受入量の20%前後）、土砂（付着物）やゴミ等の混入も避けられないのが実態である。このため、このような基準外のものは受入価格に差をつけて受入れている。受入価格は基準内のもので平均¥1,500/t前後であるが、地域、需要関係から¥650~¥2,500/tの幅がある。基準外のものは「50cm以上」のものは¥3,000/t以上とし、ヒューム管、電柱、ボックスカルバート等の長尺、高密度、高強度鉄筋コンクリート副産物は、油圧ブレーカ、クリップで小割りしないと処理できないことから¥6,000/t以上としているところもある。また、有筋は無筋より¥500~¥1,000/t高く設定したり、土砂等の混入が多いものも基準受入価格より¥500~¥1,000/t高くしているところもある。

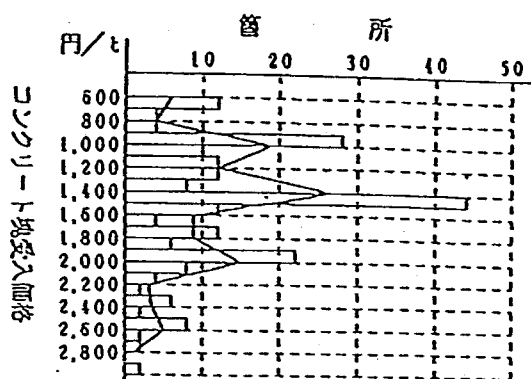


図-2.9 コンクリート塊受入価格の分布

今後の見通しとして基準は現状のままとし、基準外のものは価格差をつけて受入れることが一般化されると思われる。また、コンクリートならどんなものでも受入れるという施設も増え、処理施設・機械のインシヤル、ランニング、メンテナンスコスト等と稼働率から基準外毎の価格も定まって来ると考える。

②再生製品の基準とコスト

受入価格と同様に地域、需要関係から施設渡し価格は高値と安値の比は約3倍（需要先持込価格比では約2倍）となっている。販売価格は一般に¥/m³としているが比較上¥/tに換算（ $\gamma=1.6$ ）する。再生クラッシャーラン（再生C-40）の価格は¥1,300/t前後に分布し、再生C-30は再生C-40より¥100/m³高くしている。再生粒度調整砕石は再生M-40で¥1,500/t前後に分布し、再生M-30は再生M-40より¥100/m³高く設定している。再生粒度調整砕石については、新材を混入しているところが多く、混入率が高い程価格は高くなっている。再生

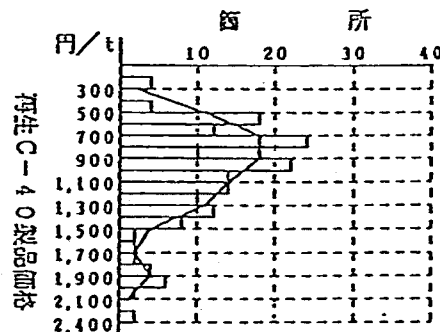


図-2.10 再生クラッシャーランの価格分布（再生C-40）

製品の価格は、いずれも同種の新材価格より¥300/t前後安く販売していることが多い。水洗処理して付着モルタルを除去した再生粗・細骨材については実例が少ないが、同種の新骨材より¥100/t（粗）~¥200/t（細）安く取引

きされているようである。コンクリート副産物の骨材とモルタル分を分離して、砂、砂利（砕石）をほぼ新材と同程度に高度処理した例もあるが、処理費用の試算では主として摩（消）耗メンテナンス費と電力のランニングコストがかかりすぎ、市販新骨材の約2倍の価格（但し受入価格はゼロとして）でないと採算がとれないという結果がでている。

今後については、現状の再生クラッシャーランと再生粒度調整砕石に加え、水洗により付着水和物を除去（高度処理）した再生粗・細骨材も市販され、将来は国内新骨材需給に輸入骨材需給事情もからみ、再生骨材の需要が増加することは必至とみられている。受入基準とコストと同様に地域の需給関係、新骨材価格との比較と再生骨材品質等によって価格は定まって来ると考える。

(3) その他

処理機械は従来のジョークラッシャ、インパクトクラッシャによる破砕機から低速ダブルロール（鬼歯付）や油圧による解砕機に変わるものと見られており、これはアスファルト塊の再生も同様である。破砕から解砕に移行することにより低振動、低騒音も実現でき、近い将来低コスト（イニシアル、ランニング、メンテナンス）のコンクリート副産物専用の解砕機も開発されるであろう。この解砕機に加え、付着水和物を有効に除去する低コスト処理機械の実現も望まれる。

2.1.2 定置式における高度処理機械の一例

（1）高度処理機械概要

ここでは、暫定品質基準案の再生粗骨材1種に適合する再生粗骨材を生産するためのプラントの一例を示す。プラントフローは路盤材生産設備に高度処理機械を付設する場合を想定した。

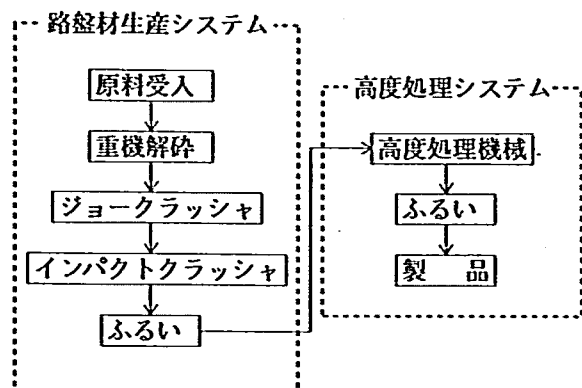


図-2.11 高度処理フロー

表-2.1 高度処理機械概要仕様の一例

方式	一軸スクリュウ方式
本体寸法	450mm径×2,200mm長さ
動力	75kW×4P×220V×50Hz（軸） 15kW×4P×220V×50Hz（排出コン）
回転数	120rpm
処理能力	30t/h（コンクリート副産物2005投入量ベース）

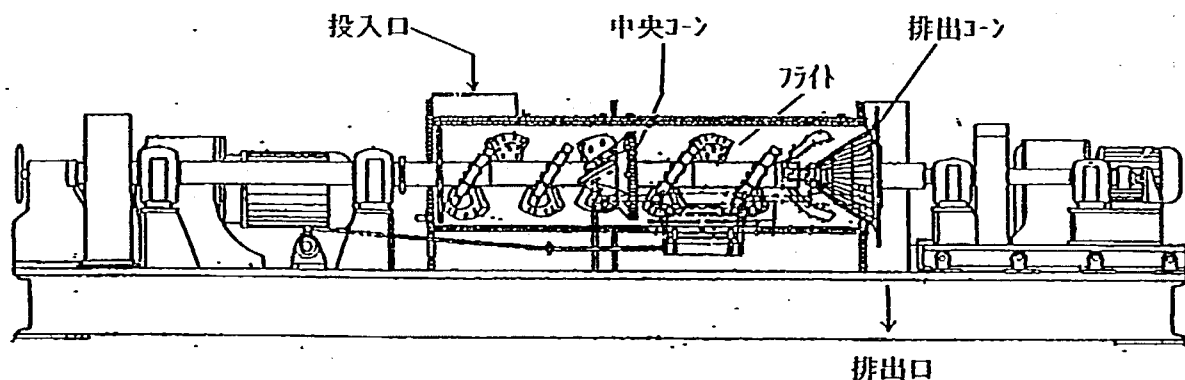


図-2.12 一軸高度処理機械概略図

この機械は、表-2.1、図-2.12に示すような一軸の破砕機で、軸受部が投入口側のみであり、排出側には軸受部がない。そのため、原料の過度の噛み込みによる骨材の破壊を抑制し、負荷動力の低減を図っている。軸に付設しているフリット部は原料の搬送・攪拌の働きをしている。中央部に設けられたコン部までは充填率は50%程度で原料が移動し、フリット部とケーシングとのクリアランスを通過する際、および原料同士の接触により、骨材周囲のモルタル分が除去される。中央コンから排出部コン間には充填率は100%となり、主に原料同士の頻繁な接触により、モルタル分の摩擦粉砕が進行する。排出コン部ではクリアランスが更に小さくなり、モルタル分の除去及び骨材の角取りが行われ製品として排出される。角取り効果により、実積率の改善が図られる。

(2) 高度処理前後での吸水率の比較

前節の高度処理機械での処理前後での吸水率と絶乾比重との関係を図-2.13に示す。高度処理前の平均吸水率8.1%の原料が2.3%に低減している。絶乾比重は2.31が2.55に向上している。高度処理された製品は再生粗骨材第1種の吸水率、JIS粗骨材の絶乾比重の値をクリアしている。

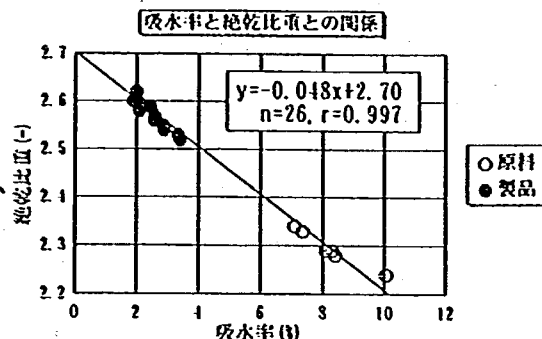


図-2.13 吸水率と絶乾比重との比較

(3) コスト

路盤材処理費に1248円/t程度で高度処理が可能であり、試算条件および結果の内訳の内訳を以下に示す。

①処理量

年間稼働日数	250日/年
稼働時間	8h/日
×)処理能力	30t/h
年間処理量	60,000t/年

②生産量

(路盤材の製品収率)=80%。

(高度処理の製品収率)=(路盤材収率)×70%。

③電力費(変動費)

設備定格電力

路盤材 178.5kW

(ジョークラッシャー90kW・インパクトクラッシャー37kW・篩い7.5kW・輸送機44kW)

高度処理 417.5kW

(路盤材システム+高度処理機械・輸送機・篩い)

電力単価 12.0円/kWh

④重機リース及び燃料費

重機リース3台×2,000千円/台

燃料使用量 240千円/台・年

⑤固定費の電力費は事務所電力等。

⑥労務費

5人×5,000千円/人・年

⑦投資金額・償却年数

路盤材 40,300千円

高度処理 79,300千円(高度処理システムは39,000千円)

償却8年(砕石プラントと同じ)

⑧金利・修繕費・投資金

金利4%・修繕費は投資金額の5%・一般管理費は投資金額の3%。

表-2.2 路盤材生産の場合と高度処理の場合のコスト比較の例

		高度処理	路盤材
処理量		60,000t/年	60,000t/年
生産量	2005	33,600t/年	48,000t/年
	5mm75% -	26,400t/年	12,000t/年

			千円／年	円/t-処理量	千円／年	円/t-処理量
変動費	工事料-費	電力費	10,020	167	4,284	71
		重機燃料費	720	12	720	12
	材料費		1,800	30	1,800	30
	小計		12,540	209	6,804	113
固定費	電力費		3,600	60	3,600	60
	労務費		25,000	417	25,000	417
	重機リース費		6,000	100	6,000	100
	減価償却費		9,913	165	5,038	84
	固定資産税		444	7	226	4
	金利		1,864	31	947	16
	修繕費		3,965	66	2,015	34
	一般管理費		2,379	40	1,209	20
	小計		53,164	886	44,034	734
合計			65,704	1,095	50,838	847

2.2 自走式再生処理機

2.2.1 従来の解体材の処理方法と比較した自走式再生処理機による処理方法のメリット

作業例として、コンクリート建物の解体工事の場合を取り上げて、従来の解体材の処理と自走式再生処理機による処理を比較してみる。図-2.14に示すように、従来は解体工事現場で発生したコンクリート解体材は、中間処理場である定置式プラントへ搬出されて、破碎処理後リサイクルされるか、最終処分場にて埋め立て処理されていた。そのため、廃棄物として多額の処分費を要し、さらに現場に必要な路盤材、埋め戻し材は新たに砕石などの購入費も必要である。一方、図-2.15に示すような自走式破碎処理機による処理方法では、解体材を現場で破碎し、即再利用可能となるため、処分費だけでなく現場に必要な砕石等の購入費も不要となる。たとえ同一現場で再利用の必要がない場合でも他の現場へ搬出すれば活用でき、その場合でも処分費、運送費等の経費の大幅節減が可能となる（ただし、現状では廃棄物処理法のシバリがある）。

これを整理し、自走式再生処理機を用いて解体材を処理する場合のメリットは、ユーザ側と社会的な見地から見てみると次のようになる。

①ユーザメリット

- ・建設廃材の処分費及び運搬費の節減
- ・砕石など埋め戻し材、路盤材の購入費及び運搬費の節減

②社会的メリット

- ・建設廃材のリサイクルによる廃棄物処分場の延命
- ・運搬用ダンプトラックの減少による交通渋滞、大気汚染の低減、石油資源の節約
- ・砕石などの資源の節約

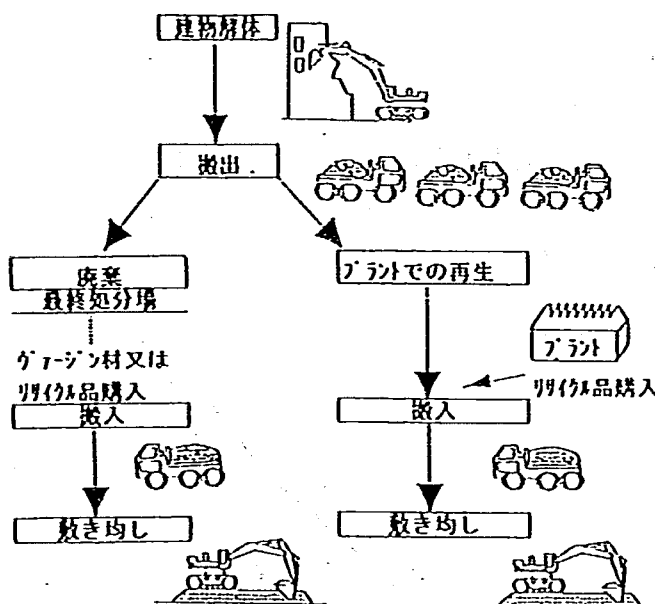


図-2.14 従来の処理方法

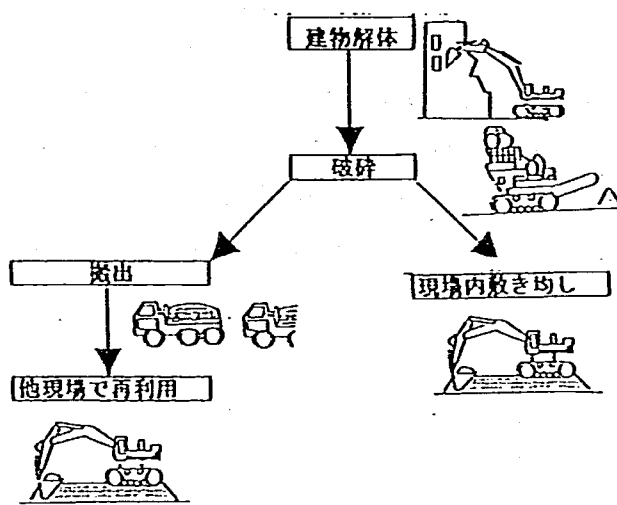


図-2.15 自走式再生処理機による処理方法

2.2.2 自走式再生処理機の経済性の検討

ディーゼルエンジンを搭載し、全装置を油圧にて駆動させる、一般的な自走式再生処理機（自重30トンクラス：36" x 18" ジョークラッシャー搭載）を例に、その構成と経済性について紹介する。

(1) 自走式再生処理機の概要

(a) 構造

自走式再生処理機は、図-2.16に示すような①～⑪の基本ユニットで構成される。

- | | | |
|--------------|--------------|----------|
| ①：投入用ホッパー | ⑤：排出用1次ベルコン | ⑨：振動ふるい |
| ②：振動グリズリフィーダ | ⑥：自走用履帯装置 | ⑩：2次ベルコン |
| ③：横だしベルコン | ⑦：エンジン及び油圧装置 | ⑪：3次ベルコン |
| ④：ジョークラッシャー | ⑧：磁選機 | |

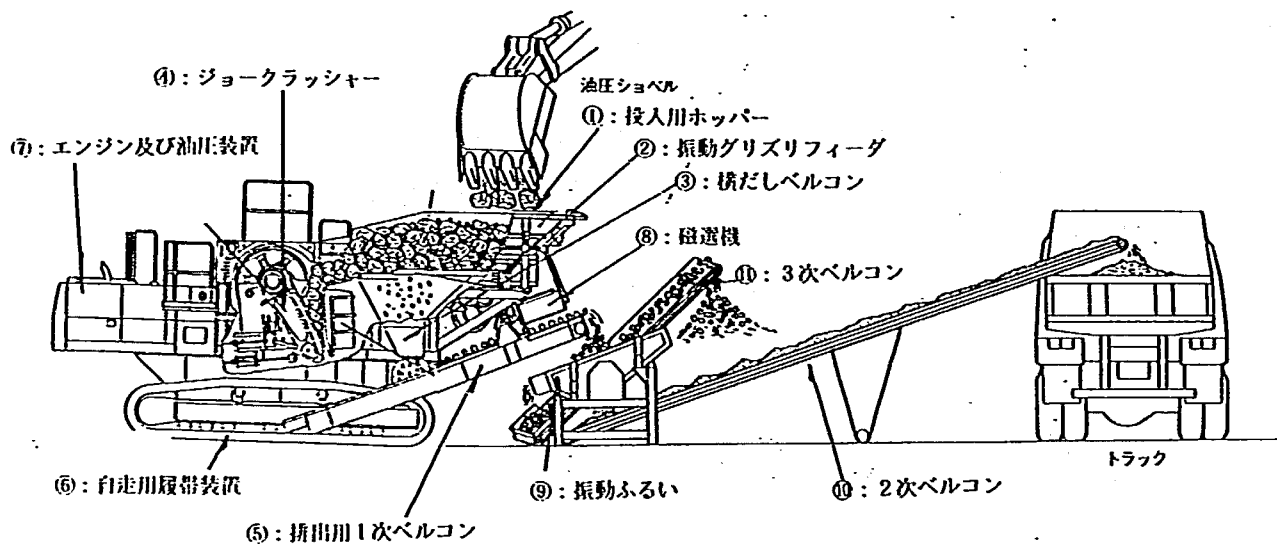


図-2.16 自走式再生処理機 (30トンクラス) の例

(b) 機能

ホッパー①投入されたコンクリート副産物（破碎原料）は、振動グリズリフィーダ②を通過する段階で土砂等のズリ分がふるい分けられ、横だしベルコン③より排出される。残りのコンクリート塊はジョークラッシャー④にて設定粒度に破碎されベルコン⑤にて排出される。その途上で本体にとりつけられている磁選機⑧により分離された鉄筋は除去される。

次に別置きされた油圧振動ふるい⑨（本体油圧により駆動）により設定粒度に調整され、オーバー分は3次油圧ベルコン⑪、アンダー分は2次油圧ベルコン⑩（いずれも本体油圧にて駆動）にて排出される。

なおジョークラッシャーの出口隙間を50mm（O S S）にセットした場合の粒径分布を図-2.17に示す。また、ふるいを使用しないでそのままRC-40として下層路盤材に使用も可能である。

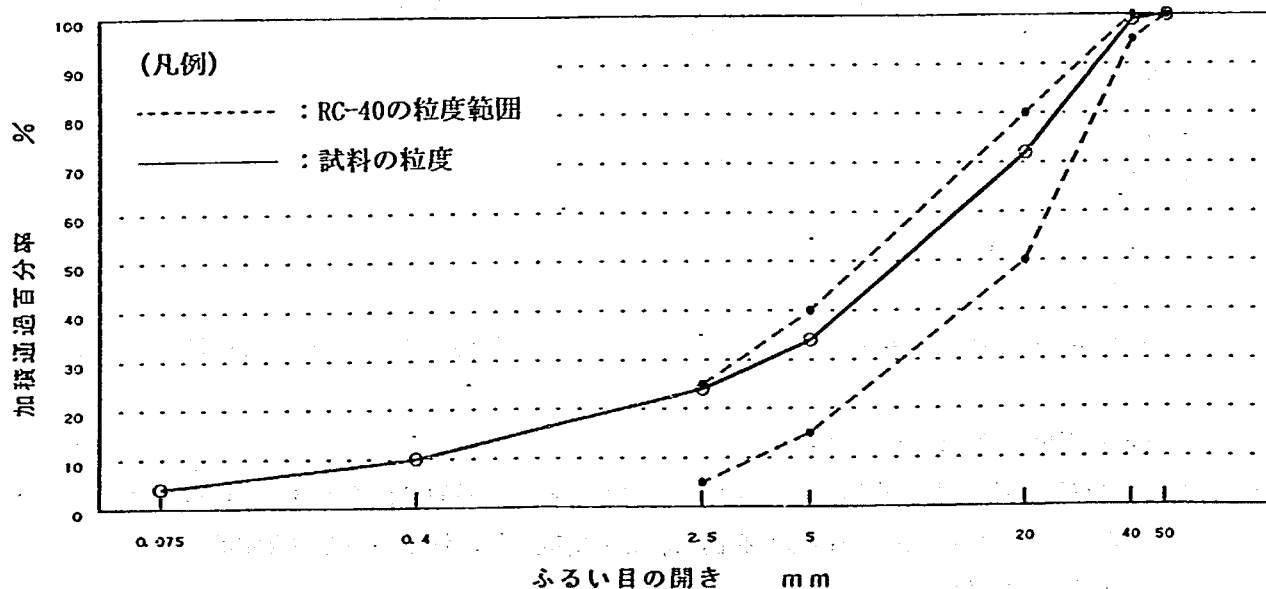


図-2.17 出口隙間50mmにて破碎したときの粒度試験結果

(2) 従来処理方法と自走式再生処理機による処理方法との経済性比較

写真-2.1のような一般的なマンション解体工事を例に取り、従来処理方法と自走式再生処理機（30トンクラス）を用いた場合の発生コストを次の2通りについて比較検討した。

- ①自走式再生処理機により破砕処理された破砕物を全量現場で路盤材等としてリサイクルする場合
- ②自走式再生処理機により破砕処理された破砕物を全量現場から搬出し、後に別の現場で路盤材等にリサイクルする場合

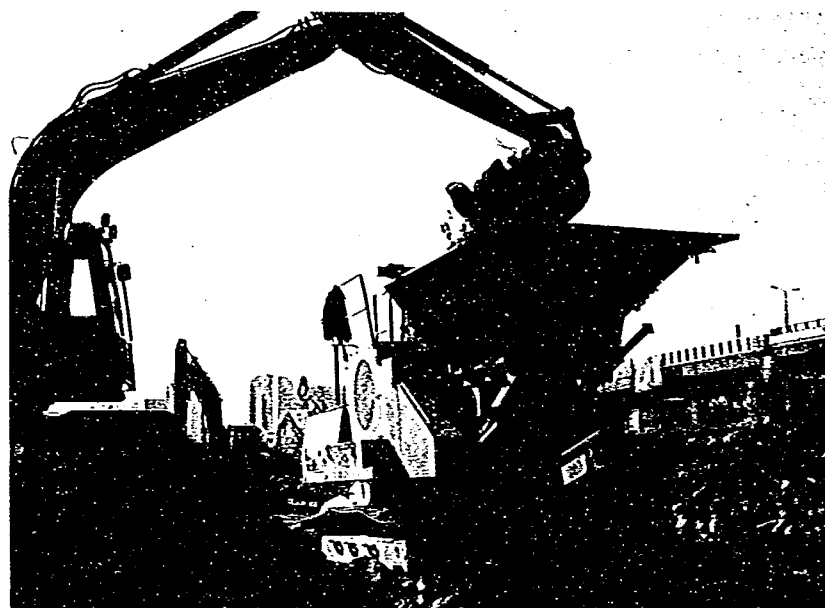


写真-2.1 自走式再生処理機稼働現場

(算定条件)

- a. コンクリートガラ発生量=4,500t
- b. 自走式再生処理機作業能力=48t/時間
- c. 破砕後の粒度=0~40mm
- d. 自走式再生処理機作業効率=0.75
- e. 作業時間=8時間/日
- f. 作業日数=4500トン/(48トン×8時間×0.75)=16日(カレンダー日数=20日間)
- g. 自走式再生処理機リース経費(含む燃料、油脂費)=25万円/日
- h. 積み込み用油圧ショベル(0.7m³クラス)(含む燃料、油脂費)=2万円/日

(a) 従来の処理方法(定置処理)による発生費用；(作業はカレンダー日数で9日間)

- a. ガラ処理費；定置式再生資源化施設渡し(1.5万円/10tダンプ1台、無筋、Max50cm)
 $1.5\text{万円} \times 4,500\text{t} / 10\text{t} = 675\text{万円}$ ①
 - b. ガラ搬送費(3万円/ダンプ1台1日、3往復/1日)
 $3\text{万円} \times 4,500\text{t} (3\text{回} \times 10\text{t}) = 450\text{万円}$ ②
 - c. 油圧ショベルによるダンプへの積込費用(0.7m³クラス：2万円/1日、カレンダー日数9日間)
 $2\text{万円} \times 9\text{日} = 18\text{万円}$ ③
 - d. オペレータ人件費(1名)
 $2,000\text{円} \times 8\text{時間} \times 9\text{日間} = 14\text{万円}$ ④
- 合計 ①+②+③+④=1,157万円

(b) 自走式再生処理機により破碎処理された破碎物を全量現場で路盤材等としてリサイクルする場合の発生費用；

a. 自走式再生処理機リース費用（25万円／日、カレンダー日数20日間）

$$25\text{万円} \times 20\text{日} = 500\text{万円} \quad \text{.....①}$$

b. 油圧ショベルリース費用（0.7m³クラス：2万円／1日、カレンダー日数20日間）

$$2\text{万円} \times 20\text{日} = 40\text{万円} \quad \text{.....②}$$

c. 自走式再生処理機運搬費（トラレーラ回送費）

$$20\text{万円} \times 2\text{回} = 40\text{万円} \quad \text{.....③}$$

d. 人件費（3名）

$$2,000\text{円} \times 8\text{時間} \times 20\text{日間} \times 3\text{名} = 96\text{万円} \quad \text{.....④}$$

e. 再生路盤材としての利用価値（有価物として）

・再生路盤材価格（現場渡し、1,300円／t）

$$1,300\text{円} \times 4,500\text{t} = \triangle 585\text{万円} \quad \text{.....⑤}$$

$$\text{合計 } \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} - \textcircled{5} = 91\text{万円}$$

(c) 自走式再生処理機により破碎処理された破碎物を全量現場より搬出し他現場でリサイクルする場合の発生費用；

a. 機械経費については、前項 a～d に同じ。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} = 676\text{万円}$$

b. 破碎済コンクリートガラの搬出費（従来の処理方法と同じ支出）

$$3\text{万円} \times 4,500 / \text{t} \text{（3回} \times 10\text{t）} = 450\text{万円} \quad \text{.....⑤}$$

c. 再生路盤材価値（有価物として）

$$800\text{円} / \text{t} \times 4,500\text{t} = \triangle 360\text{万円} \quad \text{.....⑥}$$

$$\text{合計 } \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} + \textcircled{5} - \textcircled{6} = 766\text{万円}$$

(d) まとめ

コンクリート副産物処理コストに関し、自走式再生処理機による現場処理工法は、従来の定置式再生資源化施設による委託処理方法に比べ、概算ではあるが下記のような費用節減効果がある。

①破碎物を全量現場でリサイクルする場合

従来の処理方法1,157万円（トン当たり単価2,570円）に比べ本方法では91万円（8%）と92%の費用節減となる。

②破碎物を全量現場より搬出する場合

従来の処理方法1,157万円に比べ本方法では、766万円（66%）と34%の費用節減となる。

実際には、①と②との中間の組合せのケースが多いが、いずれにせよ従来の処理方法に比べて34%～92%の費用節減が可能である。

2.3 定置式再生資源化施設における混入物の選別技術

2.3.1 選別方法と精度

建設混合副産物として発生したコンクリート解体材中には木片や紙くず等が大量に混入しており、殆どが分別されずに埋立処分されている。しかし、これらの殆どは分別すれば有用な再生資源となるので、最終処分場の逼迫等からも可能な限り分別して再利用していかねばならない。現状ではこれらの完全な分別は困難であるので、機械によりできるだけ高い精度で分別することで必要である。

その一例として、図-2.18にインクライン選別機と精選別機を用いた建設混合副産物分別システムを示す。このシステムは、水平スクリーンで選別された40～10mmのものをインクライン選別機で、10mm以下のものを精選別機で分別するもので、インクライン選別機は比重および形状により、精選別機は比重および風力により選別する機械である。これらの選別精度は、図-2.19に示すように投入時の混入物（可燃物）の比率が大きいにも関わらず、コンクリート塊（重量物）高い精度で分別される。しかしながら、時間当たりの投入量を多くした場合の選別精度が低下していることから、予め試験を行い適切な投入量を定めておく必要がある。

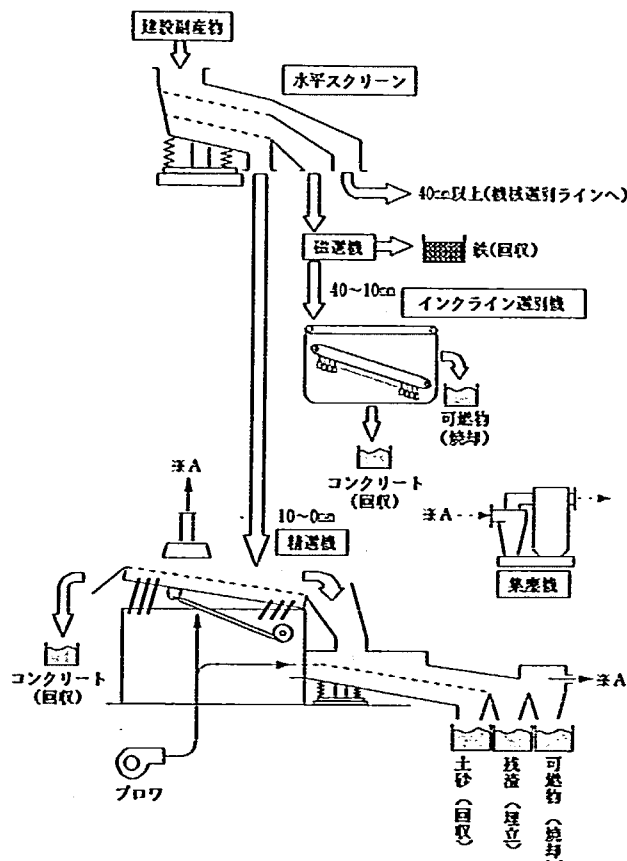


図-2.18 建設混合副産物分別システム

	収量 (m^3/h)	比率 (%)
可燃物	27.9	95
不燃物	1.5	5
計	29.4	100

35 m^3/h インクライン選別機

(混合物)	収量 (m^3/h)	比率 (%)
可燃物	0.3	40
不燃物	0.4	60
計	0.7	100

(重量物)	収量 (m^3/h)	比率 (%)
可燃物	0.1	2
不燃物	4.8	98
計	4.9	100

(a) インクライン選別機（処理速度35 m^3/h ）

	収量 (m^3/h)	比率 (%)
可燃物	37.8	93
不燃物	2.9	7
計	40.7	100

50 m^3/h インクライン選別機

(混合物)	収量 (m^3/h)	比率 (%)
可燃物	0.9	47
不燃物	1.0	53
計	1.9	100

(重量物)	収量 (m^3/h)	比率 (%)
可燃物	0.7	9
不燃物	6.7	91
計	7.4	100

(b) インクライン選別機（処理速度50 m^3/h ）

7.2 m^3/h 精選別機

(可燃物)	収量 (m^3/h)	比率 (%)
可燃物	1.6	76
不燃物	0.5	24
計	2.1	100

(砂 分)	収量 (m^3/h)	比率 (%)
土 砂	2.2	100
計	2.2	100

(重量物)	収量 (m^3/h)	比率 (%)
可燃物	0.0	0
不燃物	2.9	100
計	2.9	100

(c) 精選別機（処理速度7.2 m^3/h ）

図-2.19 選別機の選別精度

2.3.2 インクライン選別機、精選別機の経済性

前述のように建設混合副産物として発生したコンクリート塊の殆どは、大量の混入物を含んだまま埋立処分されている。しかし、インクライン選別機や精選別機等の分別機を導入することで再利用が可能な程度まで混入物を除去すれば、分別した混入物も含めてリサイクルされて埋立処分費の削減につながる。そこで、以下に処分費を含めてこれらの選別機を導入する際のコストを試算した結果を示す。

(1) インクライン選別機のコスト

1. 使用機器 インクライン選別機 (2,000/3,000mm 傾斜コンベア)
2. 処理能力 10 m^3 /Hr
3. 設備費 60,000千円
 - ・ 償却 (7年) 8,600千円/年
 - ・ 金利 (4%) 2,400千円/年
 - ・ 固定資産 (1.4%) 900千円/年
 - 小 計 約12,000千円/年 ①

4. ランニングコスト

- ・ 電力 (定格電力45Kw→使用電力60%)
 $45\text{Kw} \times 0.6 \times 15\text{円/Kw} \times 8\text{Hr/日} \times 300\text{日/年} = \text{約}1,000\text{千円/年}$
- ・ 人件費
 $0.5\text{人} \times 6,000\text{千円/年} \cdot \text{人} = \text{約}3,000\text{千円/年}$
- ・ メンテ等
 - 定期点検 1,000千円/年
 - 消耗品等 1,500千円/年
 - 小 計 約6,500千円/年 ②
- 合 計 18,500千円/年 ①+②

5. 処分費等との比較

混入物を除去することで再利用が可能となり、処分費用が3千円/ m^3 程度削減できるとする。

$$50\text{m}^3/\text{日} \times 3\text{千円}/\text{m}^3 \times 300\text{日} = 45,000\text{千円/年} \quad \text{.....③} > (\text{①} + \text{②})$$

(2) 精選別機の経済性

1. 使用機器 精選別機 (2,000×1,000mm整流格子)
2. 処理能力 5 m^3 /Hr (振動篩処理能力7.2 m^3 /Hr)
3. 設備費 60,000千円 (振動篩を含む)
 - ・ 償却 (7年) 8,600千円/年
 - ・ 金利 (4%) 2,400千円/年
 - ・ 固定資産 (1.4%) 900千円/年
 - 小 計 約12,000千円/年 ④

4. ランニングコスト

- ・ 電力 (定格電力60kw・使用電力60%)
 $60\text{Kw} \times 0.6 \times 15\text{円/Kw} \times 8\text{Hr/日} \times 300\text{日/年} = \text{約}1,300\text{千円/年}$
- ・ 人件費 (既存のプラント要員が運転を兼務)
 $1\text{人} \times 6,000\text{千円/年} = \text{約}6,000\text{千円/年}$
- ・ メンテ等

定期点検	2,000千円／年	
消耗品等	1,500千円／年	
小 計	約10,800千円／年	⑤
合 計	22,800千円／年	④+⑤

5. 処分費等との比較

混入物を除去することで再利用が可能となり、処分費用が3千円／ m^3 程度削減できるとする。

$$50\text{m}^3/\text{日} \times 3\text{千円}/\text{m}^3 \times 300\text{日} = 45,000\text{千円}/\text{年} \quad \text{.....⑧} > (\text{④} + \text{⑤})$$

(3) まとめ

- ①ここで紹介したような、インクライン選別機や精選別機等の混入物の選別機械を導入することで、コンクリート塊はリサイクル可能となるが、混入物の混入量や処理速度によりその品質は変化するので注意が必要である。
- ②選別機械の設備コスト、ランニングコストについても事業採算ベースにのるもので、これらの導入により埋立処分費が削減される。
- ③建設混合副産物から選別されたコンクリート塊は、道路下部路盤材または埋め戻し材として利用可能となる。

3. 再生材の品質管理について

再生資源化施設で作られる再生材は、施設の処理機械（方法）及び原コンクリート塊の違いにより品質が異なる。このため、利用者側は用途に応じた品質の再生材を得るために、所定の品質の再生処理材を製造している再生資源化施設を探さなければならない。この作業が円滑に進むためには、製造者側すなわち再生資源化施設において製造している再生処理材の品質を明示することが必要である。このため、製品のバラツキを考慮すると品質試験を頻繁に行う必要があるが、日常の工程管理試験として暫定品質基準案に示されている試験を行うことは時間的・経済的に実用的ではない。このため、それらに代わる簡易な品質管理試験が必要である。また、コンクリート副産物中には種々の混入物が含まれており、これらの取り扱いも重要な課題である。そこでここでは、再生路盤材及びコンクリート用再生骨材を製造する再生資源化施設における再生材の品質管理について述べる。

3.1 再生資源化施設における品質管理試験

コンクリート副産物の主な利用方法として、路盤材料とコンクリート用骨材の2種類が挙げられる。これらに利用することを目的として再生材を製造する場合には、製品の品質はばらつくため頻繁に品質管理試験を行う必要がある。裏込め材や埋め戻し材については、原料の検査と混入物の除去が行われていればほとんど問題なく、75 μ m以下の細粒分が50%以下という基準は容易に判定あるいは試験できると考える。そこで、ここでは再生路盤材および再生骨材を製造する際の、簡易かつ実用的と考える品質管理試験方法を紹介する。

3.1.1 再生路盤材の即時CBR試験

再生路盤材の品質は、暫定品質基準案においては修正CBRで規定されている。修正CBR試験は1回の試験に6日間を要するため、これを再生資源化施設の日常の品質管理試験として用いることはコストと時間を要し、実用的ではない。これに代わる試験方法として、名古屋市で実施されている路盤用骨材の修正CBR試験の簡便法（以下、「即時CBR試験方法」）が有効である。この試験方法は、土と比して骨材の含水率の変化が、支持力に与える影響が少ないことから水浸のプロセスを短縮できること、定期試験の結果を蓄積することで最適含水比を求めるプロセスを省略できると考えられること、の2つの根拠に基づいたものである。これは再生路盤材にも言えることで、日常の品質管理試験を即時CBR試験で行うことにより、試験時間が2時間程度と大幅に短縮される。定期的な試験として通常の修正CBR試験を行う必要があるが、日常の管理試験としては定期試験のデータを基にした図-3.2、図-3.3のような関係を用いて、即時CBRの試験値から修正CBR値を推定することで簡易に管理することが实际的である。具体的な試験方法については巻末に添付してあるので参考にいただきたい。

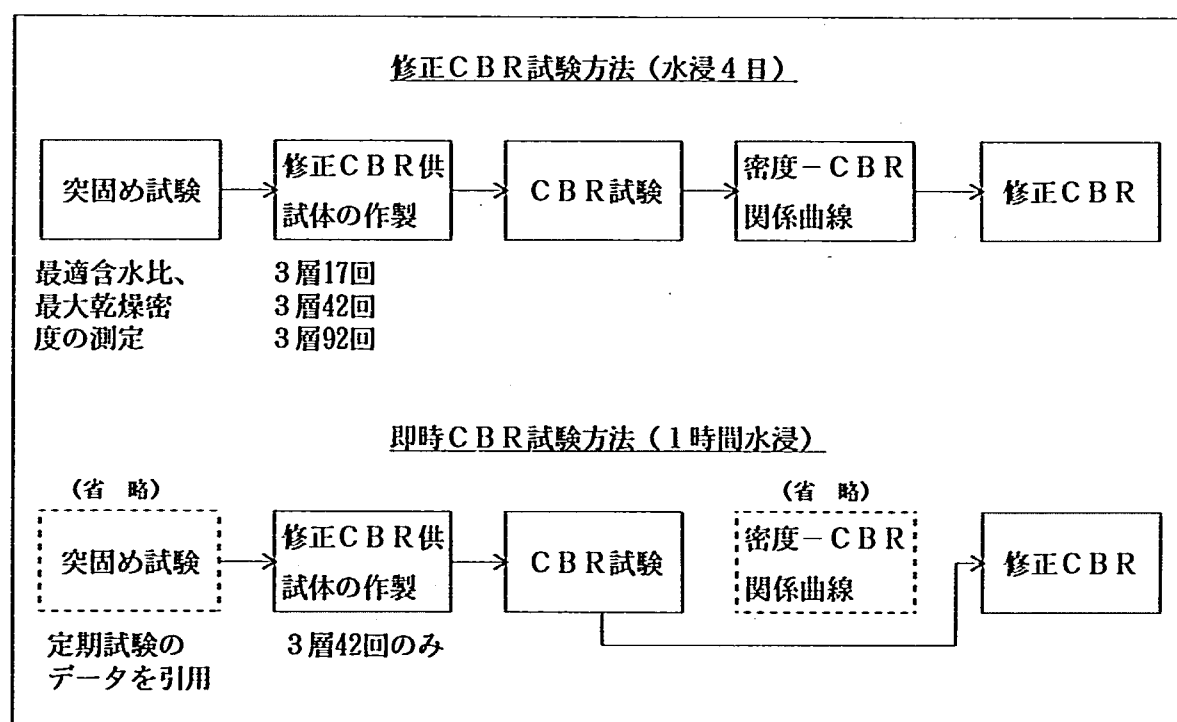


図-3.1 修正CBR試験および即時CBR試験のフロー

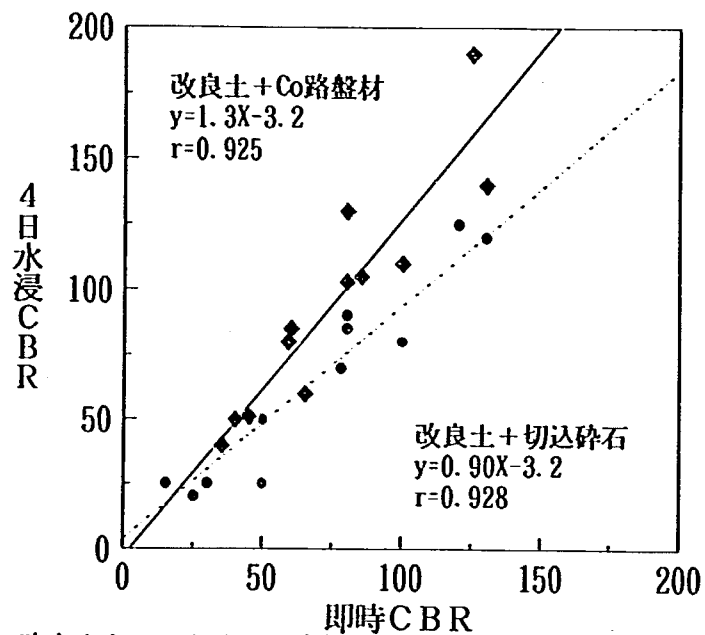


図-3.2 改良土とコンクリート路盤材の混合物における即時CBRと4日水浸CBRの関係の測定例

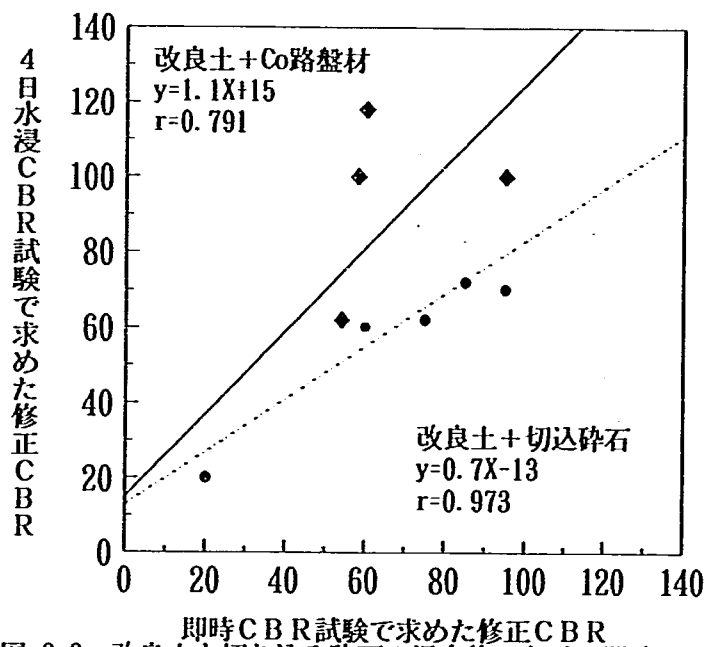


図-3.3 改良土と切り込み碎石の混合物における即時CBRと4日水浸CBRから求めた関係の測定例

3.1.2 再生骨材の100kN破砕試験

コンクリート用再生骨材の品質基準は、暫定品質基準案の中で吸水率及び安定性損失量で規定している。しかしながら、これらの試験を実施するには、吸水率に関しては3日間、安定性に関しては最低1週間の期間を必要とし、路盤材における修正CBR試験と同様に实际的ではない。これらに代わる試験としては、「再生粗骨材の100kN破砕試験」を提案する。この試験方法はBS 812の骨材の破砕試験に準ずるものである。再生骨材の吸水率や安定性損失量は、付着モルタル量に影響されるので、破砕値によって付着モルタルの状態を把握して吸水率や安定性損失量を推定する方法である。乾式の再生資源化施設で、骨材中の水分の出入りがないようなところは気乾状態で試験を実施してもよく、破砕とふるい分けで40分程度で試験が可能である。湿式のプラントでは試験前に骨材を4時間乾燥させる必要があるが、それでも試験時間は5時間程度と大幅に短縮される。再生粗骨材の日常の品質管理は100kN破砕値と図-3.5、図-3.6の関係を用いて吸水率や安定性損失量を推定することで、簡易に管理するとが实际的である。なお骨材の破砕値は、湿っていると破砕値が大きくなるため安全側に評価されることになる。

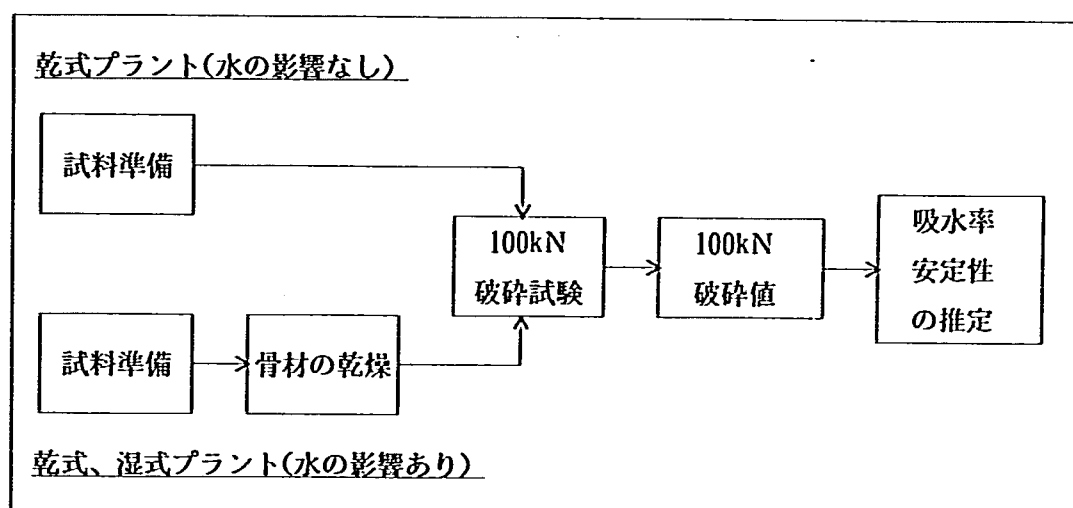


図-3.4 再生粗骨材の100kN破砕試験のフロー

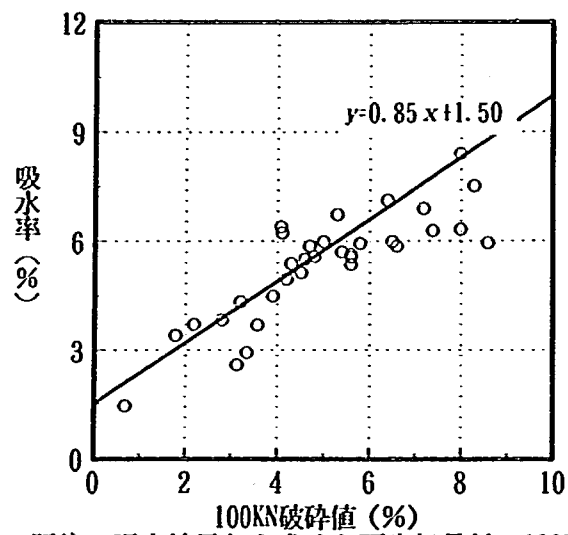


図-3.5 既往の調査結果から求めた再生粗骨材の100kN破砕値と吸水率の関係

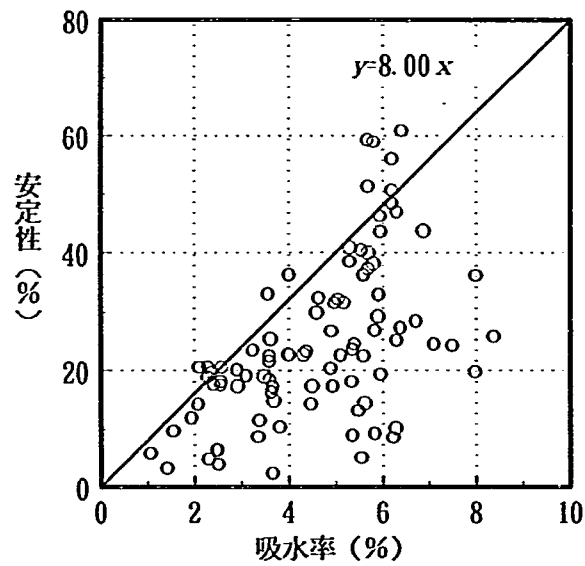


図-3.6 既往の調査結果から求めた再生粗骨材の吸水率と安定性損失量の関係

3.2 混入物の取扱いについて

コンクリート副産物中には、様々な混入物が含まれている。これら混入物は、コンクリート再生材を各種用途に利用する際に、何らかの影響を及ぼす。このため、混入物が含まれないように解体や回収を行うか、混入したものを完全に除去して使用することが望ましい。しかし、現状ではこれを100%実施することは困難であり、将来的にも難しい課題と考える。このため、コンクリート副産物を利用していく上ではこれら混入物は可能な限り除去し、最低限の影響にとどめるよう混入状況に配慮して使用していく必要がある。このためには、混入物が各種用途に対してどの程度の影響を及ぼすかを把握しておく必要がある。

ここでは、コンクリート再生材の代表的な利用用途である再生路盤および再生骨材コンクリートへの混入物の影響と取扱いについて述べることとする。

3.2.1 再生路盤材における混入物の影響

コンクリート再生路盤材は、建設現場等から発生する建設副産物から製造されるが、建設副産物には煉瓦、布、木片、鉄筋、トタン、塩化ビニル、プラスチックなどが混入している場合があり、処理段階でこれらの混入物を全て取り除くことは困難である。このため再生路盤材にこれら混入物が混入したときにどのような影響があるかということ把握し、使用する際にはその混入状況に注意しなければならない。

(a) 乾燥密度

図-3.7は路盤材料に混入物を混入したときの乾燥密度に与える影響について示している。通常の粒度調整碎石(M30)に各種混入物が混入した場合についてみると、煉瓦については混入率10%程度まではあまり変化はないが、それ以上では混入率の増加に伴って低下する。廃プラスチック、ウッドチップでは、煉瓦に比べてその低下の度合いが大きいことがわかる。再生クラッシュラン(RC40)に混入した場合も同様に乾燥密度の低下が認められる。5%混入した時の低下の度合いは、M30の場合よりも大きくなっている。

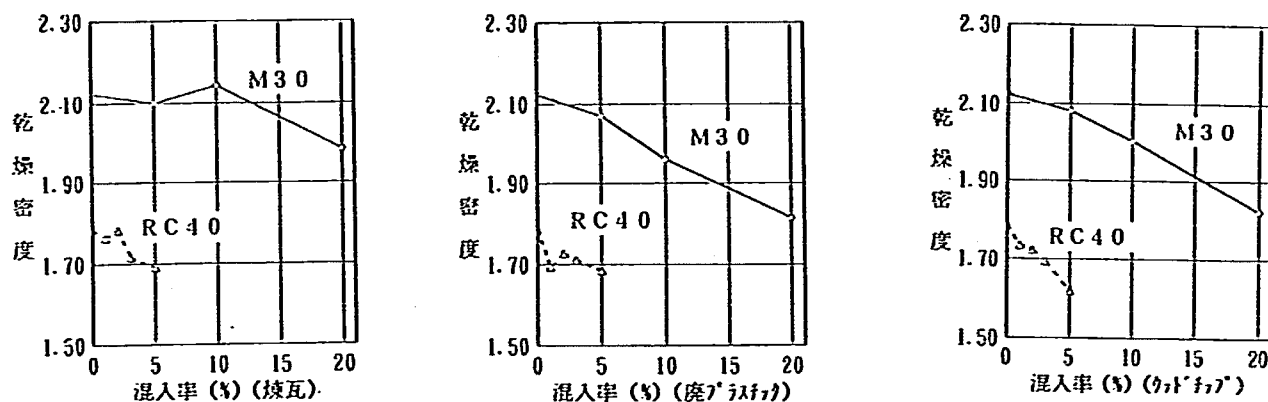


図-3.7 混入率と乾燥密度の例

(b) 修正CBR

図-3.8は修正CBRに与える影響について示している。M30に混入物を混入した場合、煉瓦については10%程度までは修正CBRはあまり変化しない。RC40に煉瓦を混入した場合、1%をピークとして減少している。これは、密度の減少が大きい反面、突き固めによる破碎によって、粒度が改善されていることが考えられる。全体的な傾向は乾燥密度の場合と同様で、混入率の増加に伴って修正CBRは低下し、M30とRC40で5%混入した時の修正CBRの低下の度合いを比較すると、RC40の方がM30の場合よりも大きくなっている。また、RC40では、モルタルの付着状態が試験ロットごとに異なるために、傾向のバラツキも大きい。

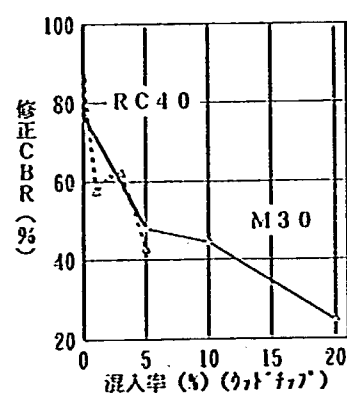
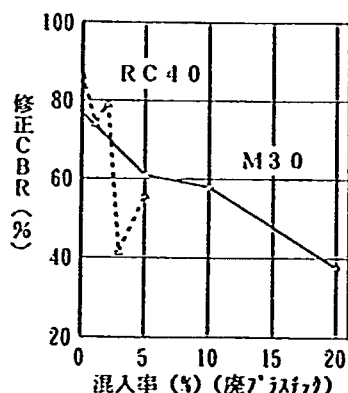
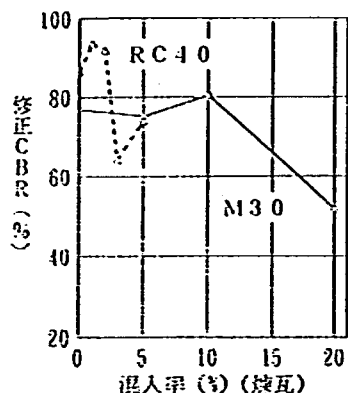


図-3.8 混入率と修正CBR

(c) 一軸圧縮強度

図-3.9は混入率と面と安定処理したもの（セメント添加量3%）の一軸圧縮強度の関係を示している。乾燥密度、修正CBRの場合と同様に、混入率の増加に伴って強度は低下する傾向がある。煉瓦では2、3%混入時に1%時の値よりも大きくなり、廃プラスチックでは2%混入時、ウッドチップでは5%混入時に1%混入時の値を上回っているが、この原因については不明である。しかし混入物が1%でも混入すると、一軸圧縮強度は低下し、混入による影響が認められる。影響の度合いについては、煉瓦<廃プラスチック<ウッドチップの順に大きくなっている。

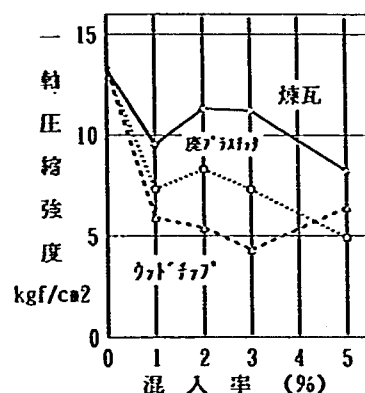


図-3.9 混入率とセメント安定処理路盤材の一軸圧縮強度

(d) レジリエント係数

主応力和とレジリエント係数の回帰式の一般形は $M_r = K_1 \theta^{K_2}$ と表される。 K_1 と K_2 は試験材料の変形特性を表す材料係数と呼ばれるもので、 K_1 は主応力和 $\theta = 1$ におけるレジリエント係数の値を示し、 K_2 は回帰式の傾きを示す。 K_1 と K_2 の間には K_2 が大きくなると K_1 が小さくなるという傾向がある。

再生材に混入物が含まれると、煉瓦では混入率が増加しても主応力和とレジリエント係数の関係に変化は無いが、ウッドチップでは混入率の増加につれて主応力和とレジリエント係数の関係は変化する。廃プラスチックでは1%の混入率では変化が無いが、3、5%の混入率では変化が見られる。

(表-3.1、図-3.10)

表-3.1 RC 40の M_r と θ の回帰式の例

異物の種類	添加量 (%)	回 帰 式	相関係数
なし	0	$M_r = 633.8 \theta^{0.6729}$	$R = 0.894$
廃プラスチック	1	$M_r = 654.3 \theta^{0.6511}$	$R = 0.902$
	3	$M_r = 453.3 \theta^{0.7953}$	$R = 0.925$
	5	$M_r = 416.5 \theta^{0.7862}$	$R = 0.919$
ウッドチップ	1	$M_r = 526.4 \theta^{0.7402}$	$R = 0.903$
	3	$M_r = 358.5 \theta^{0.9365}$	$R = 0.940$
	5	$M_r = 330.9 \theta^{0.9730}$	$R = 0.938$
煉 瓦	1	$M_r = 575.0 \theta^{0.6851}$	$R = 0.894$
	3	$M_r = 563.4 \theta^{0.6741}$	$R = 0.881$
	5	$M_r = 515.4 \theta^{0.7197}$	$R = 0.887$

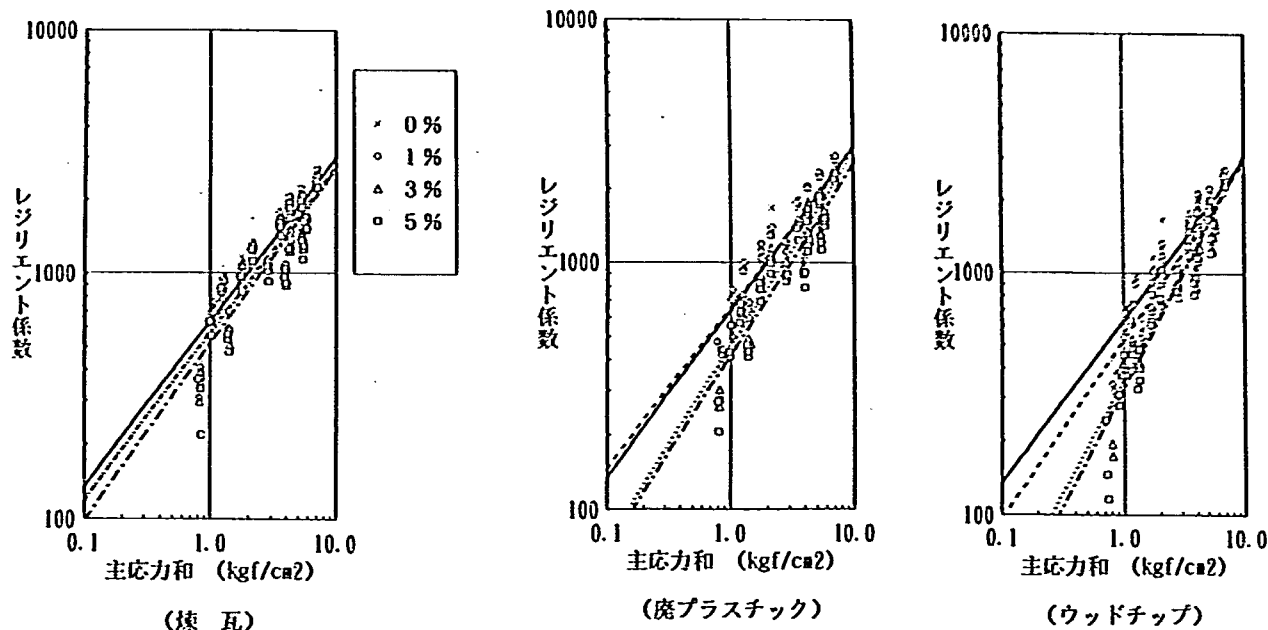


図-3.10 混入物による主応力和とレジリエント係数の関係の変化の例

図-3.11に、 K_1 と K_2 の関係を示すが、混入する混入物の種類によって分布する領域が異なっている。再生路盤材の分布領域は狭いが、煉瓦<廃プラスチック<ウッドチップの順番に分布領域が広がっている。混入物の混入が K_1 と K_2 の変化に与える影響の程度が煉瓦<廃プラスチック<ウッドチップの順に大きい。供用性を考えた場合、この分布領域が広い混入物が含まれれば再生路盤は不安定となり、分布領域が小さいものはある程度含まれても安定状態にあるといえる。

3.2.2 再生路盤材中の許容混入量

表-3.2はベルギーにおける再生骨材の規格例である。盛り土、下層路盤、碎石基礎、リーコンクリートなどで再生コンクリート骨材を使用する場合、この規格を満足するようになっている。その他の材料においては20%未満の混入であれば規格を満足しているが、特に非石材の混入物に関しては、再生コンクリート骨材中に含まれる混入物の割合が1%未満、有機物の場合は0.5%未満でなければならないということが示されている。

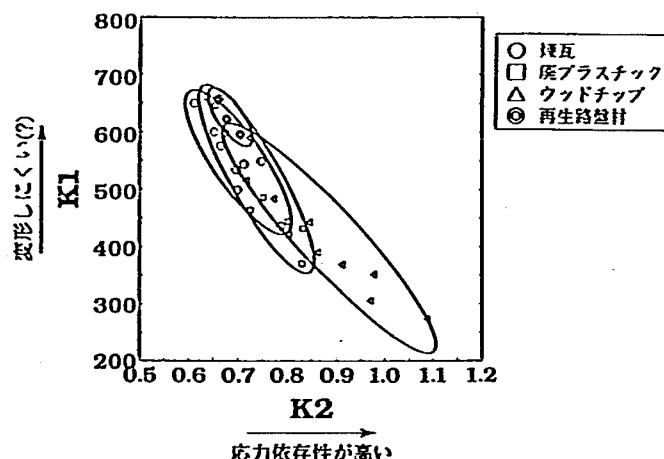


図-3.11 K_1 と K_2 の関係

表-3.2 ベルギーのコンクリート再生材の規格例

(質量百分率)	
再生コンクリートで $\rho=2,100\text{kg/m}^3$ 以上のもの	>80%
その他の材料で $\rho=2,100\text{kg/m}^3$ 以上のもの	<20%
石で $1,600 < \rho < 2,100\text{kg/m}^3$ のもの	
その他の材料で $1,600 < \rho < 2,100\text{kg/m}^3$ のもの	<10%
再生アスファルトを含む材料で $\rho > 1,600\text{kg/m}^3$ のもの	
砕いたアスファルト	< 5%
非石材 (石膏、ゴム、プラスチック、絶縁体)	< 1%
有機物 (木、植物残骸)	< 0.5%
片岩や凍結しやすい石 (粘度、雲母)	none

暫定品質基準案では、下層路盤に使用する再生骨材の品質については修正CBR値が20%以上、上層路盤においては、修正CBR値が80%以上を満足するものとなっている。再生路盤材に混入物が混入した場合、その混入物が無機物系のものである場合には、混入率によっては上層路盤材としても使用は可能と思われる。一方、非石材、有機物系の混入物が混入した場合には、混入による影響が大きいため上層路盤材としての使用は不可能である。

再生路盤材中に混入物が混入することは望ましくないが、これまでの結果の範囲内で混入率と K_1 、 K_2 の変化の関係をみると、 K_1 、 K_2 が極端に変化する混入率は混入物によってそれぞれ異なるが、概ね1%未満以内なら混入率0%時の K_1 、 K_2 の値とあまり変わらない。

これらの結果と海外の事例とを総合的に判断して、上層路盤材として再生路盤材を使用する場合、有機物系の混入物については1%程度の混入物の再生路盤材への混入は、強度的にはほぼ許容できる範囲であり、無機物系の混入物については、1%よりも多少大きい程度の混入率の場合でも混入物の再生路盤材への混入は、強度的にはほぼ許容できる範囲であると推察される。ただし、再生材は製品ごとにそれぞれ混入物の混入状況は異なるので、使用する場合には事前に検討することが必要である。

3.2.3 コンクリート用再生骨材における混入物の影響

アスファルト塊が混入しているものを路盤材料として利用する場合、再生路盤材はアスファルト塊を中心としてリサイクルが進められていることから問題はない。しかし、これをコンクリート用骨材として利用する場合には、アスファルト塊の付着アスファルト分が脆弱であることから強度等に影響が生じるため、アスファルト塊も含めた混入物へ配慮が必要である。

(a) アスファルト塊

アスファルト塊以外の混入物の構成は、ほぼ均質のものでできているため、コンクリート塊に混入した状態で再生処理されても、その性状が変化することはない。しかし、アスファルト塊に関しては図-3.12に示すように、付着アスファルトと原骨材といったコンクリート塊とよく似た2重構造である。前述のように、アスファルト塊で影響があるのは付着アスファルトで、これは発生源や処理程度により変動する。このため、アスファルト塊に関しては、アスファルト塊の混入率ではなく、アスファルト分の混入率が重要となる。アスファルト分の影響は再生骨材の処理程度によって異なる。通常の碎石にアスファルト塊を混入した場合、アスファルト分の混入が1%程度で強度が約10%程度低下する。一方、再生骨材の場合には、低処理のものはアスファルト分の影響をほとんどを受けておらず、高処理のものほど影響を大きく受ける。(図-3.13)。

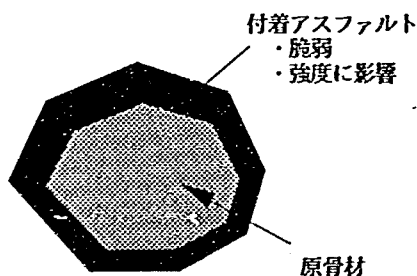


図-3.12 アスファルト塊

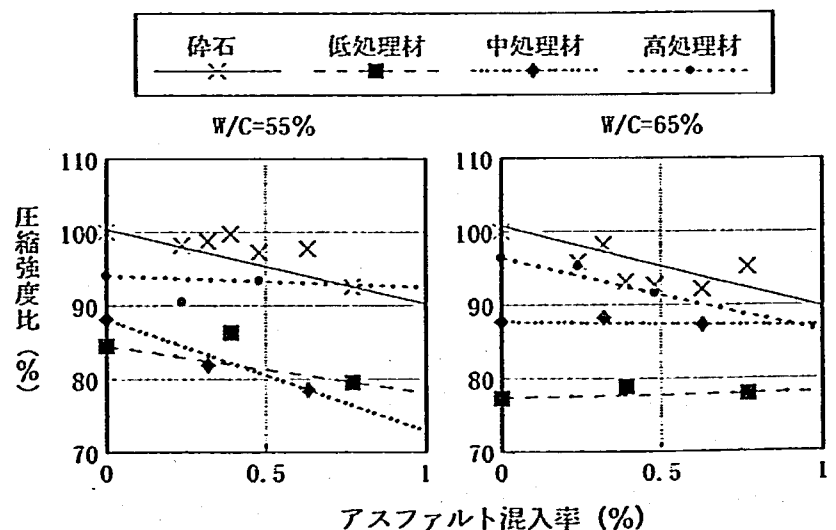


図-3.13 再生骨材中のアスファルト分の混入率の強度への影響

すなわち、アスファルト分の影響は、高度処理を行ったからといって影響が小さくなるわけではなく、高いレベルで使用するほど注意が必要となる。このため、アスファルト分の付着率を推定する必要がある。図-3.14に示すようにアスファルト塊の比重は、コンクリート塊の付着モルタルと同様に、アスファルト分の付着率と連動している。また、アスファルト塊の比重は同時に処理を行ったコンクリート用再生骨材の比重とほぼ等しいこともわかっている。これらの関係とアスファルト塊の混入状況を調べることで、アスファルト分の付着率の推定が可能であり、利用用途に応じてこれに配慮しておく必要がある。つまり、高度処理をしたものにアスファルト分が多く混入していたため、未混入の場合と同等の使用はできないが使用レベルを落として使うことは可能であるということである。

また、図-3.15に示すようにアスファルト塊が混入しても、再生骨材コンクリートの凍結融解抵抗性には問題ない結果も得られている。

(b) その他の混入物

コンクリート用再生骨材として使用する場合には、再生資源化施設で風力やプールを利用した比重選別シ

テム等を通し、木片や紙屑などの軽いものを除去したものを使用することが望ましい。しかし、レンガやタイル、塩ビ片等の比重選別が困難なものについては混入状況に配慮する必要がある。

図-3.16に、これら混入物を混入した場合の、コンクリートの圧縮強度試験結果を示す。塩ビ片に関しては、アスファルト塊と同様に、高処理のものほど強度低下の傾向が大きく、低処理のものではほとんど影響がないようである。また、レンガやタイルに関しては、処理程度に関わらず多少の低下はあるもののほとんど影響は見られない。これは、レンガやタイルが元々ある程度の強度を有しているためと考える。また、図-3.17に示すように、これらが混入した再生骨材コンクリートの凍結融解抵抗性は問題ない結果が得られている。

3.2.4 コンクリート強度からみた再生骨材中の許容混入量

コンクリート用骨材を暫定品質基準案に示すように使用する場合は、それぞれの混入率の上限の目安を表-3.3に示す。

表-3.3 各種混入物の混入率の上限の目安

	粗骨材 1 種	2 種	3 種
アスファルト分	0.5%以下 (塊で5%程度)		2%以下 (塊で10%程度)
塩ビ片・ガラス屑	1%以下		3%以下
レンガ・タイル	5%以下		10%以下
木片等有機物、紙	未混入		

比重選別等の分別システムが整っている再生資源化施設の、実際の製品におけるアスファルト以外の混入物の混入状況を調べた結果、ほとんどのもので1%未満であり、まず問題はないようである。アスファルトに関しても再生資源化施設の受け入れ態勢によって大きく異なるが、コンクリート塊のみを受け入れて処理

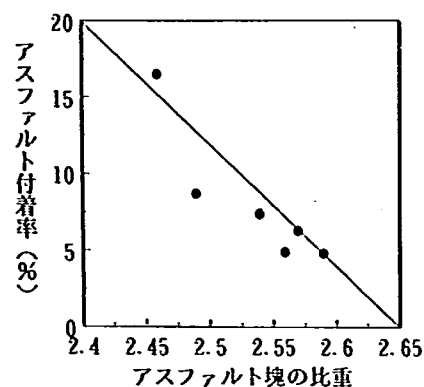


図-3.14 アスファルト塊の比重とアスファルト付着率の関係

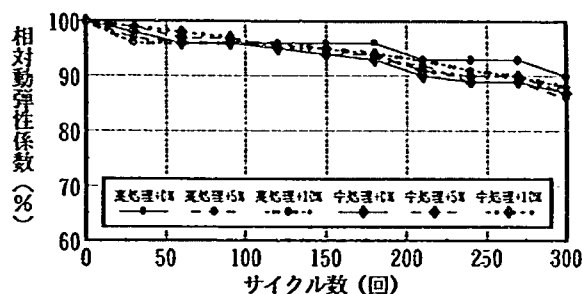


図-3.15 アスファルト塊を混入した再生骨材コンクリートの凍結融解試験の例

することを前提にしているところは問題はないようである。また、アスファルト塊とコンクリート塊の両方を受け入れている場合でも厳密に区別して処理している施設では問題はなく、ほとんどがアスファルト塊で5%未満である。このため、分別が徹底されているプラントの製品であれば通常の使用で問題ないといえる。しかし、これはあくまで目安であり、原コンクリート塊の品質によっては混入物の影響も異なる可能性がある。このため、あらかじめ検討を行った上で使用することが望ましい。

なお、混入物の混入状況はロットによって頻繁に変化するので、再生資源化施設における日常の検査は写真-3.1のような見本による検査で簡易に行うことが実用的であろう。なお、代表的な混入物の混入状況の見本を資料として添付してあるので参考にいただきたい。

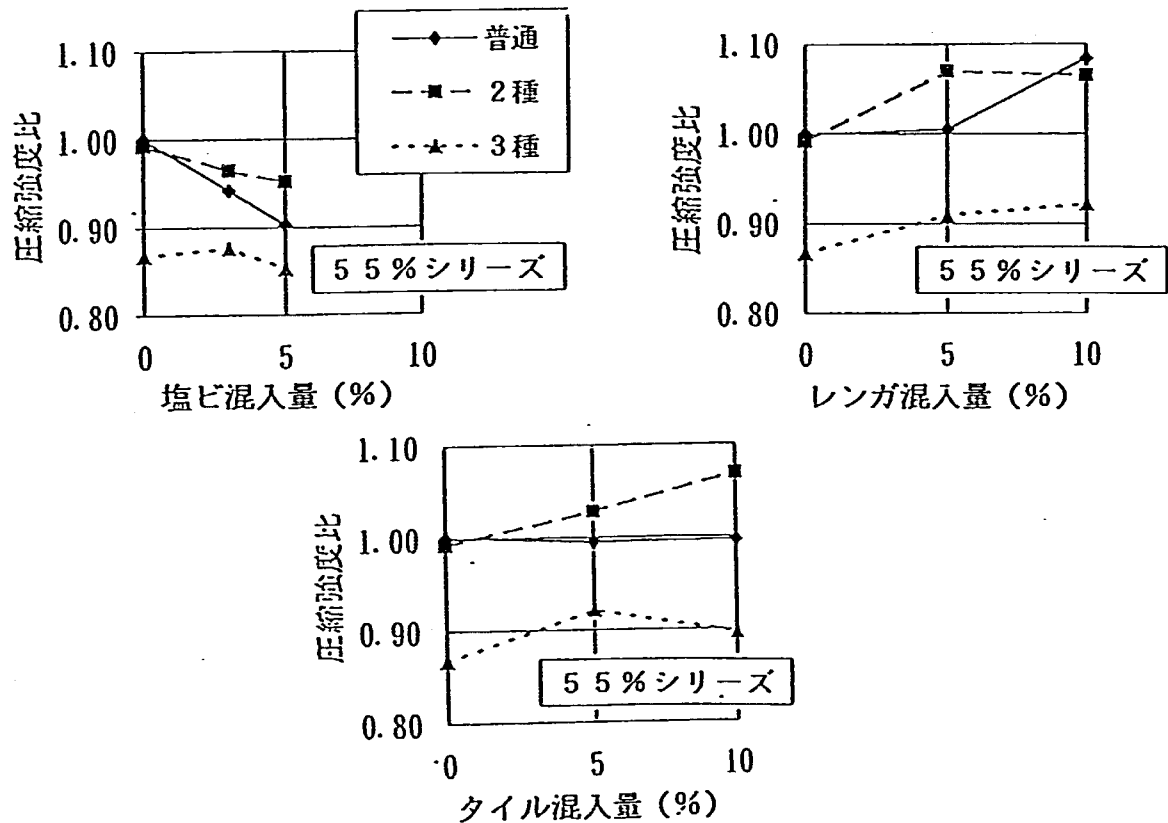


図-3.16 各種混入物の強度への影響

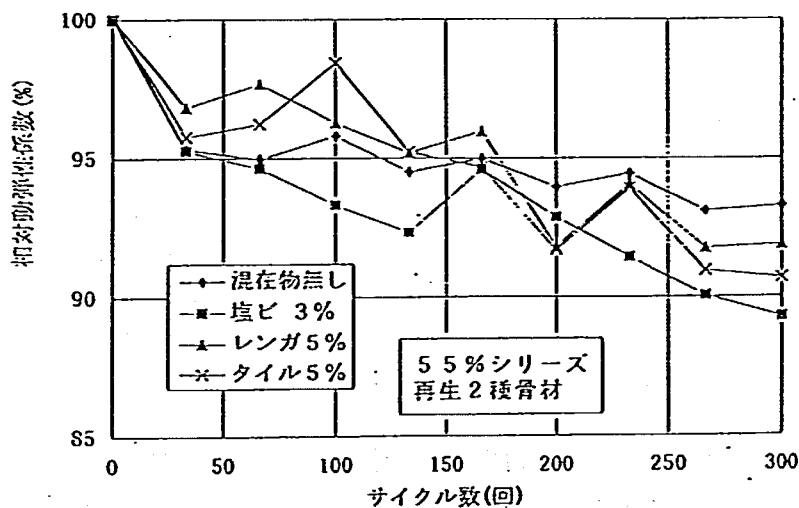


図-3.17 各種混入物が混入した再生骨材コンクリートの凍結融解試験結果の例

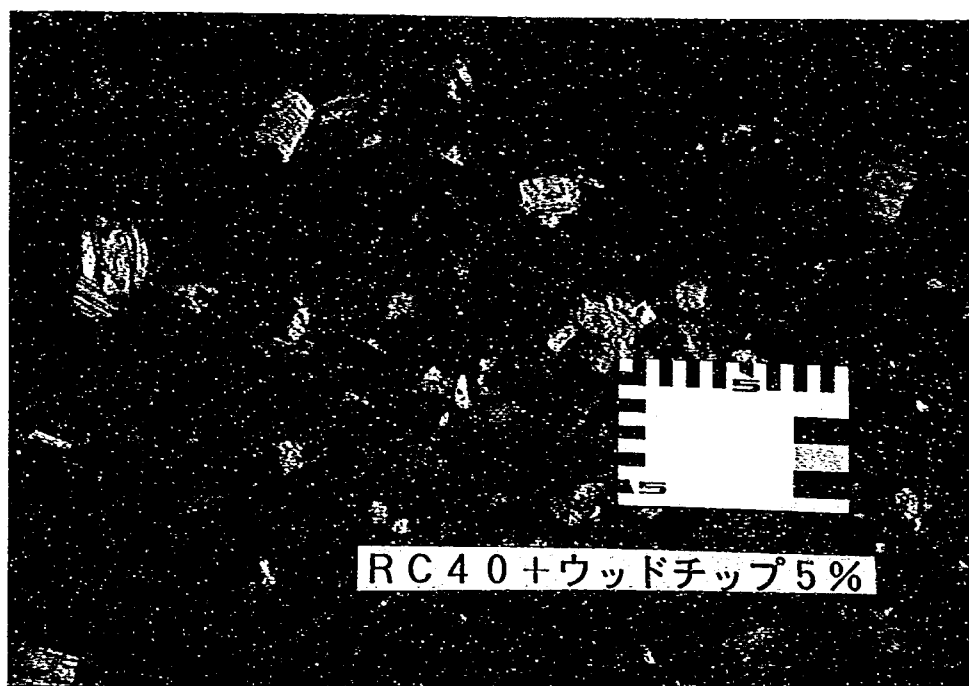


写真-3.1 混入物の混入見本の例

本ガイドブックで示した利用方法は、使いやすさ、品質、コスト等から比較的有望と考えられるものである。これらの用途はごく一部で、この他にも利用可能性の高い用途はたくさんあり、今後もさらに利用技術・用途の検討・開発を進めていく必要がある。またコンクリート副産物を有効利用していくためには、一般の方々にもコンクリート副産物は安全で有効な資源であることを認知していただき、利用していくための合意も得なければならない。このためには、用途・技術開発といったハード面の検討だけではなく、流通網や経済性、地域環境等を考慮した循環型の社会システムの構築といったソフト面の検討も必要であり、まだまだ多くの課題が残されている。これらは建設業界全体の課題であり、業界全体で解決していかなければならないものである。

しかし、コンクリート副産物の再利用・リサイクルを行っていく上で最も重要なことは、建設（解体）事業に携わる者一人一人が「再利用・リサイクルを行う」という意識を持つことであり、「積極的に利用していく」といった技術者の姿勢である。このような意識が幅広く浸透しない限りは、コンクリート副産物の再利用・リサイクルは非常に困難なものとなる。本ガイドブックを御覧になった方は、多くの問題はありますがコンクリート副産物が少しでも利用できる可能性があるならば積極的に検討・利用して、コンクリート副産物を有効利用していくための先導者となっていただきたい。

コンクリート副産物を有効利用していくことは非常に重要な課題であり、本ガイドブックがリサイクル促進・資源の有効利用のための技術的側面からの補助となれば幸いである。本ガイドブックについてご意見やご指摘もいただければ幸いである。

＜資 料＞

1. 「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）」 73
2. 「再生路盤材の即時C B R試験方法」 83
3. 「コンクリート用再生骨材の100kN破砕試験方法」 85
4. コンクリート副産物中の各種混入物の混入状況見本 87

1. 「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）」

建設副産物の再生利用は、環境保全、資源の有効利用、処分場の不足などの事情から緊急に取り組むべき課題となっている。ここに定める「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）」は、当面のコンクリート副産物の再生利用の促進策として、コンクリート用再生骨材、路盤材および埋め戻し材・裏込め材として再生利用する際の品質基準（案）をとりまとめたものである。

1. コンクリート用骨材

（1）再生骨材の品質

（1）再生骨材の品質

a) 再生骨材は、表1の品質を満足するものでなければならない。

b) 表1の品質を満足しないものあるいは化学的、物理的に不安定な再生骨材はこれを用いてはならない。ただし、試験結果等から有害な影響をもたらさないものであると認められた場合には、これを用いてもよい。

表1 再生骨材の品質

項目 種別	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 (40以下) 注)	—	10以下 —

注) 凍結融解耐久性を考慮しない場合。

（解説）

a) 再生骨材とは解体したコンクリート塊を破砕、粒度調整をして得られる骨材で、原骨材とそれに付着したセメントペースト・モルタル分（以下付着モルタルと呼ぶ）からなる。再生骨材の品質は再生骨材に付着しているモルタルの品質や量の影響を著しく受ける。このため、この暫定品質基準（案）では、モルタルの付着量と付着モルタルの品質に関連の深い吸水率および安定性を再生骨材の品質の指標とし、この2項目により、再生細骨材を2種類、再生粗骨材を3種類に分類した。表1の吸水率及び安定性の値の上限値は、主としてコンクリートの強度・耐久性に及ぼす影響を考慮して定めたものである。

再生粗骨材2種については、凍結融解に対する耐久性に関する既往の研究より図1のように2つに分けた方が合理的であると考えられるため表1のように2組とした。

細骨材の吸水率を求めるのに必要な骨材の表面乾燥飽水状態の判定はJIS A 1109「細骨材の比重及び吸水率試験」によるものとする。この場合、微粒分が多いとき

にはJIS A 1103「骨材の洗い試験」に準じて微粒分を除去したものを試料としてもよい。

再生骨材と普通骨材を混合して用いる場合には、その混合物（以下、混合骨材と呼ぶ）の品質は向上することが考えられるが、ここでは、耐久性等の安全を確保するため、混合骨材中の再生骨材のみの品質を混合骨材の品質として取り扱うこととした。

なお、再生骨材のうち普通骨材に比べて吸水率の大きいものでは、含水量の管理が難しく、再生骨材コンクリートの品質を一定に保つためにプレウェッチング等の考慮が必要となる場合がある。再生骨材においても24時間のプレウェッチングを行えば、それ以降の吸水はほとんどないと考えてよい。

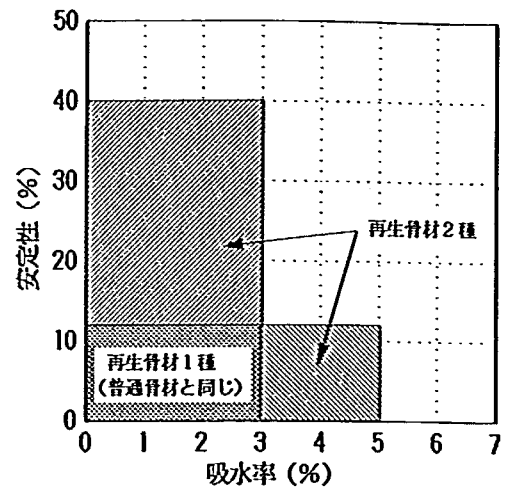


図1 吸水率と安定性の関係

b) 骨材の化学的安定性に関する事項として、アルカリ骨材反応がある。再生骨材は原コンクリートが健全であれば、骨材そのものも化学的あるいは物理的に安定である可能性が高いが、アルカリ骨材反応は配合等の条件によっては再生骨材コンクリートでも生じる可能性もあり、耐久性が要求される構造物に再生骨材を用いる場合には、アルカリ骨材反応対策を講じる必要がある。対策としては、次のようなものがある。

- ①骨材のアルカリシリカ反応性試験化学法あるいはモルタルバー法で無害と認められる骨材のみを用いる。
- ②セメントはJIS R 6501ポルトランドセメントに示される低アルカリ型セメントを使用する。
- ③セメントはJIS R 5211高炉セメントに適合する高炉セメント（B種またはC種）、もしくは混合材を混合したセメントでアルカリ骨材反応抑制効果の確かめられたものを用いる。
- ④コンクリート中の 1 m^3 に含まれる総アルカリ量を Na_2O 換算で 3.0 kg 以下にする。

しかしながら、再生骨材では骨材の変動が大きいことが予想され、①の方法では正確には骨材そのものの反応性を把握できない可能性も高い。このため、②～④の対策をとることが望ましい。なお、現在流通している普通ポルトランドセメントはほとんどが平成2年2月20日付け建設省技調発第45号「コンクリート構造物に使用する普通ポルトランドセメントについて」の全アルカリ量の規定を満足しており、よほど単位セメント量が多くない限りはほとんどの配合で④の対策が自動的にとれる状況にある。また、現在早強ポルトランドセメントは、普通ポルトランドセメントより全アルカリ量が若干低い状況にある。

(2) 粒度

- a) 再生骨材の粒度は表2の範囲を標準とする。ふるい分け試験は、JIS A 1102によるものとする。
- b) 粗粒率の変動は、コンクリートの配合を定めるときに用いた粗粒率に比べて、再生細骨材で0.2以上変動してはならない。

表2 再生骨材の粒度範囲

ふるいの呼び 寸法 (mm)			ふるいを通るものの重量百分率 (%)								
			50	40	30	25	20	15	10	5	2.5
再生粗骨材	最大 寸法 (mm)	40	100	95- 100			35- 70		10- 30	0- 5	
		25			100	95- 100		30- 70		0- 10	0- 5
		20				100	90- 100		20- 55	0- 10	0- 5

ふるいの呼び 寸法 (mm)		ふるいを通るものの重量百分率 (%)						
		10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
再生細骨材		100	90- 100	80- 100	50- 90	25- 65	10- 35	2- 15

(解説)

- a) 再生骨材の粒度については普通骨材と基本的には同様と考えてよい。普通骨材と再生骨材を混合使用する場合にも粒度の範囲は表2に示すものとしてよい。
- b) 再生骨材の場合も粒度の変動は小さくなるようにしなければならない。しかし、変動が大きく、コンクリートの配合を定めるときに用いた骨材に比べて、粗粒率が細骨材で0.2以上変動した場合にはコンクリートのワーカビリティが変動するので配合を改めなければならない。

なお、再生骨材の粒度分布は碎石・砕砂のそれと同様の考え方ができるものとし、JIS A 5005「コンクリート用碎石及び砕砂」の粒度分布を用いることとした。

(3) コンクリートに対する有害物含有量の限度

コンクリートに対する有害物の含有量は、表3の値とする。

表3 有害物の含有量（重量百分率）

（単位：％）

		再生粗骨材 1, 2, 3 種	再生細骨材 1, 2 種
洗い試験 で失われ るもの	コンクリートの表面がす りへり作用を受ける場合	1.5 以下	5 以下
	その他の場合	1.5 以下	7 以下

（解説）

ここでは、コンクリートの物性あるいはセメントの硬化に影響を及ぼす有害物の、再生骨材中含有量の限度について規定している。再生骨材に含まれる有害物は、原コンクリートに付着してきて十分に除去されなかった土と破砕によって生じた微粒分が主なものである。この他、海岸地域等に建設されたコンクリート構造物では海からの飛来塩分によってコンクリート表面部に比較的高い濃度の塩分を含むことがある。本暫定品質基準（案）では、この塩分を含有するモルタル分は再生細骨材に多く含まれることから、鉄筋コンクリートには用いないこととした。また、粗骨材に関しては、影響を及ぼす付着モルタル分が処理段階で十分除去された再生粗骨材1種のみ使用可能とした。このため塩分によって鉄筋に障害を生ずる恐れはほとんどないと考えられる。この他の有害物は正規に造られた原コンクリートでは問題になることは少ないと考えられるため、本暫定品質基準（案）では有害物含有量の限度を洗い試験で失われるものについてのみ規定した。

洗い試験で失われる物のうち、破砕粉は破砕の際に比較的多量に生じ、かなりの部分は除去されるが、残留したものも配合には若干の影響を与えるものの、コンクリートの強度・耐久性に与える影響は少なく、このため、碎石および砕砂における有害物含有量の最大値を適用した。

また、再生骨材の原料となる原コンクリートにアスファルトやレンガが混入して、これらが事前に除去されなかった場合、再生骨材コンクリートの品質に悪影響を与える。このため、こうした混在物は事前にできる限り除去しなければならない。

(2) 再生骨材コンクリート

(4) 再生骨材コンクリートの品質

- a) 再生骨材コンクリートの種類は表4によることを原則とする。ただし、別途検討を行いその構造物の使用条件下で何ら問題なく使用できると認められた場合には、表4に示す種類あるいは骨材の組合せに限定されなくともよい。

表4 再生骨材コンクリートの種類

再生骨材 コンクリート の 種 類	再生骨材コンクリート の用途	使用粗骨材	使用細骨材
I	鉄筋コンクリート、 無筋コンクリート等	再生粗骨材 1 種	普通骨材
II	無筋コンクリート等	再生粗骨材 2 種	普通あるいは 再生細骨材 1 種
III	捨てコンクリート等	再生粗骨材 3 種	再生細骨材 2 種

- b) 重要構造物に使用する再生骨材コンクリートはAEコンクリートを原則とし、かつ耐久性を考慮した水セメント比としなければならない。

(解説)

再生骨材コンクリートでは、強度は再生骨材の付着モルタル部分に支配されるため、セメント水比を大きくしても普通コンクリートほど強度は大きくならない。この基準ではこれまでに得られた知見やデータをもとに、大幅に単位水量を増やさずに再生骨材を使用できる範囲を考慮し、かつ構造物の強度や耐久性に問題を生じないよう、また経済性等を考慮して、表4のような骨材の組合せと用途を示した。

再生骨材コンクリートでは、高強度化を期すのは品質的にも経済的にも不利で、従って合理的に使用される範囲も限定される。合理的に使用できる設計基準強度の目安を参考までに示すと以下の通りである。

再生骨材コンクリート I : $18.4 \sim 21.4 \text{ N/mm}^2$ (180~210kgf/cm²)

II : $16.3 \sim 18.4 \text{ N/mm}^2$ (160~180kgf/cm²)

III : 16.3 N/mm^2 未満 (160kgf/cm²未満)

それぞれの用途に対応する構造物の種類の例としては解説表1に示すものがある。

コンクリートの耐久性を確保するためには、骨材の耐久性とともにコンクリート自体の空気量および水セメント比にも配慮しなければならない。このため重要構造物に使用する再生骨材コンクリートはAEコンクリートとし、水セメント比は関連する規準に示された最大値以下とする。

普通骨材を再生骨材と混合して用いる場合には再生骨材のみを用いる場合より強度発現が大きくなる傾向にあるが、コンクリートの品質としては強度のみならず耐

久性等を考慮しなければならない。再生骨材の品質はコンクリートの耐久性に大きく影響するため、再生骨材と普通骨材を混合使用した場合でも混合比に関係なく、混合骨材中の再生骨材の種類のみで再生骨材コンクリートの種類を決定することとした。

また、原コンクリート中に大量の塩分がしみこんでいることも予想して、鉄筋コンクリートに再生骨材を使用する場合にはモルタル分を十分に落とした再生粗骨材1種は使用できるものとし、再生細骨材は用いないこととした。

解表1 再生骨材コンクリートの適用構造物の例

再生骨材コンクリートの種類	構 造 物
I	橋梁下部工、擁壁、トンネルライニング等
II	コンクリートブロック、道路附属物基礎、側溝、集水溝基礎、重力式擁壁、重力式橋台、法枠、中埋めコンクリート、消波根固めブロック、砂防ダムおよびその付帯工
III	捨てコンクリート、均しコンクリート、強度の必要ない裏込めコンクリート、土間コンクリート、その他建築物の非構造物

II. 路盤材

コンクリート副産物の路盤材料への利用に関しては、「プラント再生舗装技術指針」（日本道路協会、1992.12）があり、コンクリート副産物の破砕物も舗装要綱のクラッシャランまたは粒度調整碎石の規格を満たせば使用できるようになっている。

以下に「プラント再生舗装技術指針」に規定されている品質基準を示し、コンクリート副産物の路盤材への使用にあたっての暫定品質基準（案）とする。

（1）下層路盤材

下層路盤に使用する再生材の品質は、表5の規格を満足するものとする。

表5 下層路盤に用いる再生材の品質

項目 適用	工法・材料	修正CBR (%)	PI (塑性指数)	一軸圧縮強さ 材齢MPa(kgf/cm ²)
簡易舗装	再生クラッシャラン	10以上〔20以上〕	9以下	—
アスファルト舗装	再生クラッシャラン	20以上〔30以上〕	6以下	—
	再生セメント安定処理	—	—	7日 1.0(10)
	再生石灰安定処理	—	—	10日 0.7(7)
セメントコンクリート舗装	再生クラッシャラン	20以上〔30以上〕	6以下	—
	再生セメント安定処理	—	—	7日 1.0(10)
	再生石灰安定処理	—	—	10日 0.5(5)

注)

(1) アスファルトコンクリート再生骨材を含む再生クラッシャランを用いる場合で、上層路盤・基層・表層の合計厚が次に示す数値よりも小さい場合には修正CBRの基準値に〔 〕内の数値を適用する。

北海道地方……20cm

東北地方………30cm

その他の地域…40cm

なお、40℃でCBR試験を行う場合は通常値を満足すればよい。

(2) 再生クラッシャランに用いるセメントコンクリート再生骨材は、すりへり減量が50%以下でなければならない。試験方法はロサンゼルスすりへり減量試験〔粒度は道路用碎石S-13(13-5mm)のもの〕とする。

(3) 再生クラッシャランの材料として路盤再生骨材もしくは路盤発生材を用いる場合のみPIの規定を適用する。

(4) セメントコンクリート舗装に再生クラッシャランを用いる場合、試験路盤より支持力が確認できるときや過去の例で経験的に耐久性が確認されているときは、425μmふるい通過分のPIを10以下としてもよい。またこの場合で425μmふるい通過量が10%以下の材料ではPIが15のものまで用いることができる。

(2) 上層路盤材

上層路盤に使用する再生材の品質は、表6の規格を満足するものとする。

表6 上層路盤に用いる再生材の品質

項目 適用	工法・材料	修正CBR (%)	一軸圧縮強さ MPa(kgf/cm ²)	マッシュ安定度 kN(kgf)	その他の品質
簡易舗装	再生粒度調整 碎石	60以上 [70以上]	—	—	P I 4 以下
	再生加熱アスファルト 安定処理混合物	—	—	3.43以上 (350以上)	70-値10~40 (1/100cm) 空隙率3~12%
	再生セメント安定 処理混合物	—	材齢 7 日 2.5 (25)	—	—
	再生石灰安定 処理混合物	—	材齢 10日 0.7 (7)	—	—
アスファルト舗装	再生粒度 調整碎石	80以上 [90以上]	—	—	P I 4 以下
	再生加熱アスファルト 安定処理混合物	—	—	3.43以上 (350以上)	70-値10~40 (1/100cm) 空隙率3~12%
	再生セメント安定処 理混合物	—	材齢 7 日 2.9 (30)	—	—
	再生石灰安定 処理混合物	—	材齢 10日 1.0 (10)	—	—
セメント コンクリ ート舗装	再生粒度 調整碎石	80以上 [90以上]	—	—	P I 4 以下
	再生加熱アスファルト 安定処理混合物	—	—	3.43以上 (350以上)	70-値10~40 (1/100cm) 空隙率3~12%
	再生セメント安定 処理混合物	—	材齢 7 日 2.0 (20)	—	—
	再生石灰安定 処理混合物	—	材齢 10日 1.0 (10)	—	—

注)

- (1) アスファルトコンクリート再生骨材を含む再生粒度調整碎石は、修正CBRの基準値に〔 〕内の数値を適用する。ただし、40℃でCBR試験を行う場合は、通常値を満足すればよい。
- (2) 上層路盤に用いるセメントコンクリート再生骨材は、すりへり減量が50%以下でなければならない。試験方法はロサンゼルスすりへり減量試験〔粒度区分は道路用碎石S-13(13~5mm)のもの〕とする。
- (3) 再生粒度調整碎石の材料として路盤再生骨材もしくは再生路盤材を用いる場合のみP Iの規定を適用する。
- (4) セメントコンクリート舗装に再生粒度調整碎石を用いた場合は、表6の規格を満足するものを用いることが望ましいが、それ以外の材料であっても試験路盤により支持力が確認されている場合は、425 μ mふるい通過分のP Iを6以下としてもよい。また、この場合で425 μ mふるい通過量が10%以下の材料ではP Iが10のものまで用いることができる。

参考表 1 再生クラッシュランの望ましい粒度範囲

粒度範囲 (呼び名)		40～0 (RC-40)	30～0 (RC-30)	20～0 (RC-20)
ふるい目の開き				
通過 質量 百分率 (%)	53 mm	100		
	37.5 mm	95～100	100	
	31.5 mm	—	95～100	
	26.5 mm	—	—	100
	19 mm	50～80	55～85	95～100
	13.2 mm	—	—	60～90
	4.75 mm	15～40	15～45	20～50
	2.36 mm	5～25	5～30	10～35

〔注〕再生骨材の粒度は、モルタル粒などを含んだ解砕されたままの見かけの骨材粒度を使用する。

参考表 2 再生粒度調整碎石の望ましい粒度範囲

粒度範囲 (呼び名)		40～0 (RM-40)	30～0 (RM-30)	25～0 (RM-25)
ふるい目の開き				
通過 質量 百分率 (%)	53 mm	100		
	37.5 mm	95～100	100	
	31.5 mm	—	95～100	100
	26.5 mm	—	—	95～100
	19 mm	60～90	60～90	—
	13.2 mm	—	—	55～85
	4.75 mm	30～65	30～65	30～65
	2.36 mm	20～50	20～50	20～50
	425 μm	10～30	10～30	10～30
	75 μm	2～10	2～10	2～10

〔注〕アスファルトコンクリート再生骨材の粒度は、モルタル粒などを含んだ解砕されたままの見かけの骨材粒度を使用する。

Ⅲ. 埋め戻し材・裏込め材

コンクリート副産物の再生クラッシャーランおよび再生砂を埋め戻し材・裏込め材として利用するにあたっての品質基準を以下のように規定する。

(a) 再生クラッシャーラン：最大粒径は目的に応じて適宜選択する。

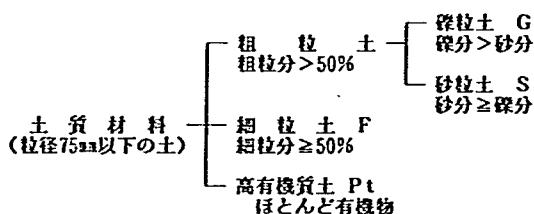
(b) 再生砂：細粒分（75 μm 以下）の含有率（重量百分率）の上限を50%未満とする。

(解説)

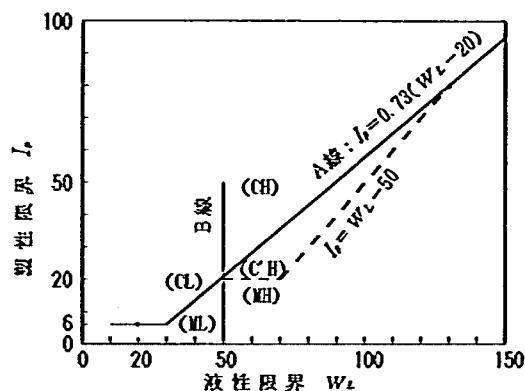
再生砂については、再生処理方法等を考えると埋め戻し材・裏込め材として問題を生ずることは少ないと考えられる。ここでは75 μm 以下の細粒分があまりにも多くなることは、埋め戻しや裏込めを行った構造物の長期の安定性等を考慮して避けるべきものと判断し、参考図1に示した土の工学的分類における粗粒土に基づき、上述のような品質基準を定めた。

5 μm	75 μm	425 μm	2 mm	4.75 mm	19 mm	75 mm
粘土	シルト	細砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫
		砂		礫		

(a) 土質材料の粒径区分とその呼び名



(b) 土の工学的分類体系 (大分類)



(c) 塑性図

大分類	中分類	小分類	細分類
粗粒土 粗粒分 > 50%	礫粒土 G 礫分 > 砂分	きれいな礫 (G)	$U_c \leq 10, 1 < U_c' \leq \sqrt{U_c}$ 粒度のよい礫 (GW) 上記以外 粒度のわるい礫 (GP)
		細粒分 < 5%	細粒分が主に (M) シルトまじり礫 (G-M)
	砂粒土 S 砂分 $\geq$ 礫分	きれいな砂 (S)	$U_c \leq 10, 1 < U_c' \leq \sqrt{U_c}$ 粒度のよい砂 (SW) 上記以外 粒度のわるい砂 (SP)
		細粒分 < 5%	細粒分が主に (M) シルトまじり砂 (S-M)
細粒土 F 細粒分 $\geq$ 50%	礫質土 (GF)	細粒分まじり礫 (G-F)	$5\% \leq$ 細粒分 < 15% (C) 粘土まじり礫 (G-C) $5\% \leq$ 細粒分 < 15% (O) 有機質土まじり礫 (G-O) $5\% \leq$ 細粒分 < 15% (V) 火山灰質土まじり礫 (G-V)
		砂質土 (SF)	$15\% \leq$ 細粒分 < 50% (M) シルト質礫 (GM) $15\% \leq$ 細粒分 < 50% (C) 粘土質礫 (GC) $15\% \leq$ 細粒分 < 50% (O) 有機質礫 (GO) $15\% \leq$ 細粒分 < 50% (V) 火山灰質礫 (GV)
	シルト (M)	シルト (M)	$w_c < 50\%$ シルト (低液性限界) (ML) $w_c \geq 50\%$ シルト (高液性限界) (MH)
		粘土 (C)	$w_c < 50\%$ 粘質土 (CL) $w_c \geq 50\%$ 粘土 (CH)
高有機質土 Pt ほとんど有機質	有機質土 (O)	有機質土 (O)	$w_c < 50\%$ 有機質粘質土 (OL) $w_c \geq 50\%$ 有機質粘土 (OH)
		火山灰質粘質土 (V)	$w_c < 50\%$ 有機質火山灰土 (OV) $w_c \geq 50\%$ 火山灰質粘質土 (I型) (VH-I) $w_c \geq 50\%$ 火山灰質粘質土 (II型) (VH-II)
	高有機質土 (Pt)	高有機質土 (Pt)	未分群で黒褐色 泥炭 (Pt) 分群が進み黒色 腐泥 (Mk)

(d) 土の工学的分類体系

参考図1 土の工学的分類方法 (案)

2. 「再生路盤材の即時CBR試験方法」

1. 試験の目的

(1) コンクリート再生路盤材は、再生資源化施設でコンクリート解体材を破砕することで製造される。コンクリート解体材の品質はその発生源により異なり、それらから製造された再生骨材の品質も随時変動することから、日常の品質管理を頻繁に行う必要がある。

(2) 再生路盤材の品質は、「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案)」において、修正CBRで規定されている。これを日常の品質管理試験に用いた場合には試験期間は1週間はかかり、この間ストックヤードの確保が必要となるが現実的には困難である。このため、これらに代わる簡便な試験を行う必要がある。

2. 試験の概要

コンクリート再生路盤材の含水率は土に比べて変化が少ないことから、CBR試験における水浸のプロセスを短縮できること、定期試験の結果を蓄積することで最適含水比を求めるプロセスを省略できると考えられること、の2つの根拠に基づき、修正CBR試験における水浸および最適含水比の測定が省略可能と考えられる。また即時CBRによる試験値は修正CBR値と高い相関性があり、同等かやや小さい値となる。

本試験は、これらの性質を利用したもので、再生路盤材の製造プラントにおける日常の工程管理用試験として即時CBR試験により迅速にCBR値を測定し、修正CBRを簡易に推定するものである。

3. 使用機器

JIS A 1211「CBR試験方法」に準拠する。

4. 試験方法

(1) 定期試験(年1～2回)により求められた突固め試験^{注1)}結果に基づき、試料の最適含水比を求める。

(2) 試料の約20kgを、最適含水比との差が±1%以内になるように水を加えよく混ぜ、試験に供す。

(3) 試料をモールドにいれ、4.5kgランマを用い3層42回/層の突固めによる供試体を3個作る。

(2) 各供試体は、JIS A 1211「CBR試験方法」に従って、水浸1時間後のCBRを測定する。

(5) 試験にあたっては、骨材の最大寸法を37.5mmとし、それ以上の骨材は取り除いて行う。

注1) 突固め試験は、JIS A 1210「突固めによる土の締固め試験方法」に従い、突固め回数3層92回/層により行う。

5. 結果の整理

(1) 即時CBR試験による修正CBRの推定

3個のCBRの平均値(X)を用い、再生路盤材の推定修正CBR(Y)を式(1)から求める。

$$Y = aX \quad \dots\dots\dots(1)$$

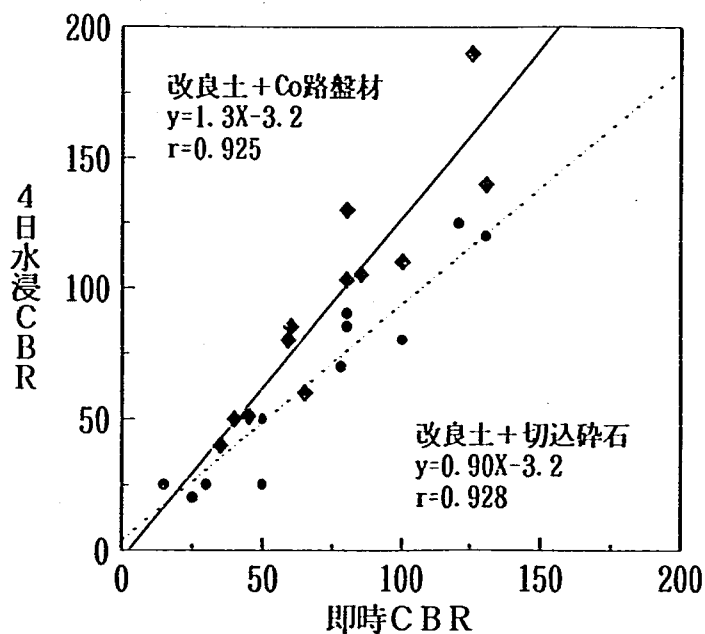
ここに、aは実績によって求められる係数。ただし、実績がない場合には、一般にa=0.8を用いるとよい。

(2) 報告事項

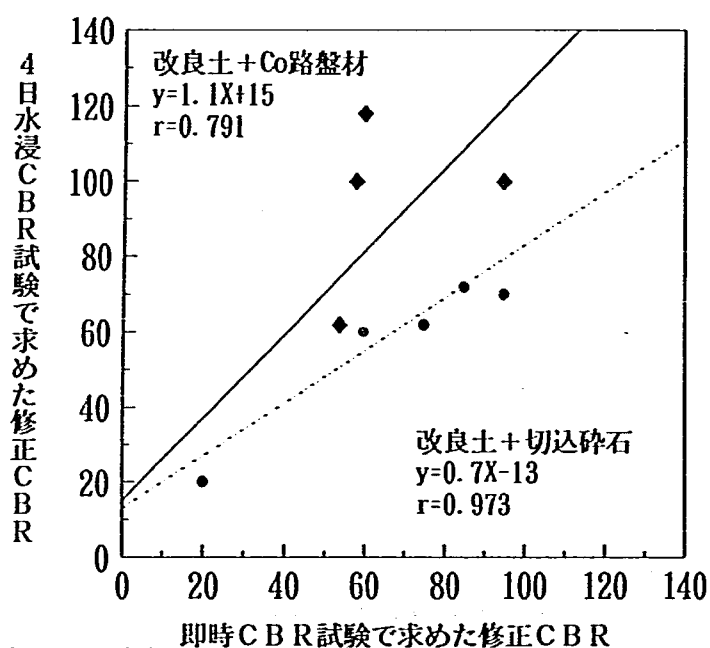
1) 含水比

2) CBR 値

3) 修正 CBR の推定値



参考図1 改良土とコンクリート路盤材の混合物における即時CBRと4日水浸CBRの関係の測定例



参考図2 改良土と切り込み碎石の混合物における即時CBRと4日水浸CBRから求めたの関係の測定例

3. 「コンクリート用再生骨材の100kN破砕試験方法」

1. 試験の目的

(1) 再生骨材は、再生資源化施設でコンクリート解体材を破砕することで製造される。コンクリート解体材の品質はその発生源により異なり、それらから製造された再生骨材の品質も随時変動することから、日常の品質管理を頻繁に行う必要がある。

(2) 再生骨材の品質は、「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案)」において、吸水率及び安定性損失量で規定されている。これらを品質管理試験に用いた場合、吸水率試験では3日間、安定性試験では最低1週間はかかり、この間ストックヤードの確保が必要となるが現実的には困難である。このため、これらに代わる簡便な試験を行う必要がある。

2. 試験の概要

再生骨材の吸水率及び安定性損失量は、再生骨材の原骨材に付着しているモルタル分(付着モルタル)の量に影響される。一方、原骨材と付着モルタル分では強度さが大きいため、低荷重による破砕では原骨材の表面に付着しているモルタル分のみが破砕することになる。さらに、低荷重では空隙の多いものは砕けやすく、密実なものは砕けにくい。また、破砕値と吸水率、吸水率と安定性損失量の間には相関性がある。

本試験は、これらの性質を利用したもので、再生骨材の製造プラントにおける日常の工程管理用試験として100kN破砕試験により破砕値を測定することで間接的に付着モルタルの状態を調べ、この結果に基づき吸水率及び安定性損失量を推定するものである。

3. 使用機器

(1) 鋼製計量容器(内径115mm, 内高178mmの強固な円筒形容器)

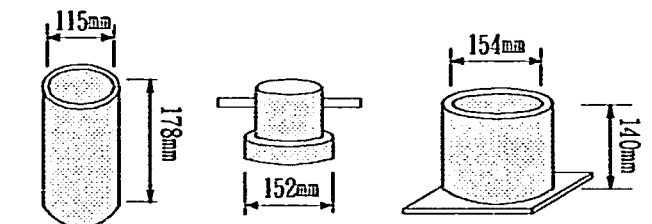
(2) 試験容器(内径154mm, 内高140mmの強固な円筒形容器, 底板は厚さ6mm以上の平らな平板とし, 側板の厚さは16mm以上とする)

(3) 鋼製プランジャー(直径152mm, 表面焼入れ, 取り外しのできる把手つき)

(4) 突き棒(直径16mm, 長さ60mmの丸鋼で, その先端を鋭くとがらせたもの)

(5) 網ふるい(20mmふるい, 5mmふるい, 2.5mmふるい)

(6) 載荷装置(容量100kN以上のもの)



(a)鋼製計量容器 (b)鋼製プランジャー (c)鋼製試験容器
図-1 破砕試験器具

4. 試験方法

(1) 試料

20~5mmの再生骨材を5回の試験に用いる分として18~20kg用意する。

(2) 試験の手順

①試料を計量容器に3層に分けて詰め、各層を突き棒で25回ずつ突く。

②容器の上面からの骨材の凹凸を同程度に均す。

③容器の試料を浅い容器に移し、100~140℃で4時間乾燥する。

④試料を室温まで冷やし、その質量を1gまで正確に計量する。(試料の質量は2,600g程度になる。)

- ⑤試料を試験容器に3層に分けて詰め、各層を突き棒で25回ずつ突く。骨材の凹凸を同程度に均す。このときの試料層の厚さは約10cmである。
- ⑥プランジャーを試験容器の中に、平らに入れた後、その把手を取り外す。
- ⑦プランジャーを入れたまま、試験容器を載荷装置に据え、毎分40kNの割合で一様に載荷する。
- ⑧100kNに達した後、荷重を0に戻す。
- ⑨試験容器内の試料を2.5mmふるいでふるい、ふるいを通過するものの質量を1gまで正確に計量する。
- ⑩試験を5回行う。

5. 結果の整理

(1) 100kN破砕試験による吸水率および安定性損失量の推定

5回の試験ごとに、次の式で100kN破砕値を0.1%まで正確に計算する。

$$100\text{ kN破砕値}(\%) = \frac{2.5\text{ mmふるいを通過した試料の質量}(g)}{\text{全試料の質量}(g)} \times 100$$

試験の結果は、5回の試験の平均値とする。求めた100kN破砕値から、次式で推定吸水率を0.01%まで計算する。

$$\text{推定吸水率}(\%) = 0.85 \times (100\text{ kN破砕値}) + 1.50$$

この推定吸水率から、次式で推定安定性損失質量(%)を0.1%まで計算する。

$$\text{推定安定性損失質量}(\%) = 8.0 \times (\text{推定吸水率})$$

(2) 報告事項

- 1)破砕方式(乾式、湿式)
- 2)100kN破砕値
- 3)推定吸水率
- 4)推定安定性損失量

4. コンクリート副産物中の各種混入物の混入状況見本

