
巻頭言	建設廃棄物のリサイクル	京都大学 防災研究所教授	嘉門雅史	1
小特集	建設廃棄物の資源としての有効利用			
	建設発生土の有効利用の現状と課題		三木博史	2
	関西電力西大阪変電所造成工事の発生土再利用化		近藤 安 谷場照志	6
	第二名神川越インターチェンジ工事の 建設廃棄物再利用		小松秀樹	13
	泥水シールド発生土の有効利用システム —埼玉高速鉄道線—		石徳博行 岩崎光美 竹内雄三	20
	東京国際空港新 B 滑走路リサイクル事業		山口清一 松下信夫	26

建設廃棄物のリサイクル

京都大学 防災研究所教授 嘉門 雅史

建設工事によって排出される発生土や廃棄物は、近年の景気後退状況にもかかわらず、増大の方向をたどっており、その処理・処分問題の解決はきわめて重要な課題となっている。最終的にはこれらの発生土や建設廃棄物を地盤内あるいは地盤中に受け入れざるを得ないが、処分のための適地を確保することが困難になりつつあることから、これらは避けて通ることができない地盤工学上の問題でもあり、21世紀の循環型社会構築のためのキーポイントとあって過言ではないだろう。元来、地盤工学の分野における固体系の廃棄物や建設工事に伴う発生土の処理と有効利用は、地盤材料物性と密接に絡むために多くの成果がみられており、この分野への一層の貢献が求められている。

したがって、発生土と廃棄物とに係わる問題の現状を詳細に取りまとめ、これら材料の有効利用に関する地盤工学的諸特性の最新の情報を、先進的な高度利用事例を含めて総括しておくことは、実学としてきわめて重要である。

さらに、廃棄物の処理と有効利用に当たっては、周辺環境への二次的汚染の発生を厳しく監視されねばならないから、多岐・多様な地盤汚染を未然に防ぐことの重要性和評価手法に関する考え方を明らかにしておくねばならない。

建設発生土や廃棄物の地盤工学的処理と有効利用に当たって、環境へ悪影響を及ぼさないことが前提であるから、特に固化処理に伴う高pHの影響や含有される有害物質の溶出等について議論しておく必要がある。近年、環境影響評価に関する動向は年々厳しくなっており、平成6年に従来の土壤環境基準が見直され、鉛(Pb)の基準値が1/10に、砒素(As)の基準値が1/5に、さらに有機塩素系化合物や農薬等が監視項目に加えられた。また、平成11年にはフッ素やホウ素、硝酸系窒素も環境基準に導入され、平成12年にはダイオキシン類が環境基準に加えられた。このように基準の見直しによって、これまでは認められていた処理方法が今後は容認され得なくなることが考えられる。

建設発生土や廃棄物の処理と有効利用に際しては、対象となる材料中から有害成分の溶出があってはならないが、有効利用のための中間処理によっても有害性が付与されるようなことがあってはならない。固化処理として多用され

るポルトランドセメント中には6価クロムが焼成過程で含有されることになり、これによって有効利用として固化処理を用いた際に、場合によっては6価クロムが土壤環境基準値(0.05 mg/L)を上回る溶出試験結果を示す例が生じている。平成12年3月に建設省ならびに運輸省からセメント処理土からの6価クロムの溶出に関する通達が出されたが、工事によって環境への負の影響を極小にしなければならない。

以上のように、建設発生土中に万が一にも有害物質を含む場合や、有害物質を多少とも含有することのある建設廃棄物等は、有効利用によって周辺環境に悪影響を及ぼすことがないように十二分に配慮しなければならないことは当然のこととなっている。したがって、これらの基準に対応する溶出試験を環境庁告示46号に従って実施し、対象材料からの溶出物の量と種別に応じて取られるべき処理レベルが定められている。試験方法としては試料を破碎して粒度調整し、初期pHを中性に調節したうえで、常温・常圧で6時間振とうした後、遠心分離した上澄み液を検液としている。しかしながら、この試験方法が万能でないことが多くの研究者から指摘されており、検液の作成方法によっては、著しく大きな溶出値を得ることもあり、基準試験方法そのものに問題点を有している。そのために、今後は建設発生土や廃棄物の有効利用に際して、地盤工学のサイドから適正な基準を提案し、これを環境基準に反映していく努力が必要である。現実的な適用条件・使用条件に従って、有効な基準値と溶出試験方法を決めて、できるだけ建設発生土や廃棄物の有効利用の促進に努めることが重要である。

地球環境問題のキーワードとしての「持続可能な開発：「Sustainable Development」」は、地盤工学の分野でも今日広く人口に膾炙されている。これを実践するためには、よりよい環境づくりへの地盤工学の広範な貢献を明確にし、次世代へ良好な環境を残すという強い意志と決意が必要である。各種の建設工事の結果として生じる発生土や廃棄物が環境地盤工学的的手法によって適正に処理され、周辺環境へ悪影響を及ぼさないような形で永続的な有効利用がなされるよう期待するものである。

建設発生土の有効利用の現状と課題

みきひろし*
三木博史*

1. 最近の建設発生土の再利用率の向上とその背景

1.1 平成7年度センサス結果

平成7年度センサスの結果によると、建設発生土の発生量は全国で約4億5000万m³にのぼり、そのうち工事間で流用されているものは15%、海面埋立に使われているものが6%にとどまっていた。「建設発生土の再利用率」は、土砂利用量に対する工事間での建設発生土の流用と土質改良土や再生コンクリート砂の利用をあわせた利用率で定義しているが、平成7年度の時点では、約2億m³の土砂利用量に対する再利用率は32%にすぎなかった。

1.2 最近の施策の動向

「土あまり状態」と「時期と品質のミスマッチ」が、建設発生土の利用促進をはばむ大きな要因であり、これらへ対

応策が重要である。

最近の動向としては、全国的にリサイクルの気運が盛り上がり、次のような社会的なシステムが整備・拡充されたことが効果的に作用して、建設発生土の有効利用の進展には目を見張るものがある。

- ① 建設リサイクル推進に向けた基本的考え方、リサイクル率の数値目標、行動計画を定めた「建設リサイクル推進計画'97」の策定(この計画では、平成12年度における建設発生土の再利用率の目標を80%としている) —平成9年10月—
- ② 建設副産物総プロ(平成4~8年度)の成果としての各種技術基準類^{1),4)}や工法マニュアル²⁾の発刊 —平成9年度—
- ③ 利用調整のための体制の強化と情報交換システムの整備
- ④ スtockヤードや土質改良プラントの拡充

表1 発注区分別 土砂利用量, 再利用率(単純集計値)

(上段:現場内利用を含む。下段:現場内利用を除く)

	土木工事						民間土木	計	建築 (新築 非木造)
	公共土木								
	国	公団・ 事業団	都道府県	政令 指定市	その他 市町村	計			
土砂利用量(千m ³)	33,674	14,127	34,589	2,009	12,457	96,856	7,744	104,600	1,120
	16,490	5,047	19,041	1,535	8,117	50,230	739	50,969	439
建設発生土	25,458	11,841	28,592	964	7,429	72,285	7,275	79,561	863
	8,709	2,793	11,153	492	3,122	26,269	271	26,540	188
土質改良土	621	40	517	107	325	1,610	20	1,630	7
	188	9	412	104	297	1,010	19	1,029	3
再生コンクリート砂	17	8	35	6	220	286	17	304	4
	16	8	31	6	215	278	17	295	2
購入土	7,577	2,237	7,444	932	4,483	22,673	431	23,105	245
	7,577	2,237	7,444	932	4,483	22,673	431	23,105	245
再利用率(%)	77.5	84.2	78.5	53.6	64.0	76.6	94.4	77.9	78.1
	54.0	55.7	60.9	39.3	44.8	54.9	41.6	54.7	44.1

(注) 再利用率は、土砂利用量に対する建設発生土+土質改良土+再生コンクリート砂の利用率

* 建設省土木研究所 材料施工部 新材料開発研究官

表2 発注区分別 建設発生土の搬出先種類(単純集計値)

(単位:千m³)

	土木工事							民間土木	計	建築 (新築 非木造)
	公共土木						計			
	国	公団・ 事業団	都道府県	政令 指定市	その他 市町村	計				
発生量	38,485	18,132	57,713	3,445	22,416	140,191	13,931	154,122	4,331	
現場内利用	19,391	11,632	20,077	675	6,084	57,859	11,504	69,363	1,414	
現場外搬出量	19,093	6,500	37,636	2,771	16,332	82,331	2,428	84,759	2,917	
内陸部工事等(公共以外含む)	14,517	5,589	20,960	1,146	7,759	49,971	982	50,953	1,128	
プラント	147	8	770	242	566	1,733	163	1,896	98	
海面埋立事業	442	396	1,058	450	578	2,925	146	3,071	338	
海面処分場	34	42	300	25	153	554	6	559	115	
内陸受入地等	3,953	466	14,547	907	7,276	27,149	1,130	28,280	1,238	

- ⑤ 民間需要を開拓するための第三セクター等の活用促進
- ⑥ 平成10年8月に通知された「建設リサイクルガイドライン」に基づく発注者・設計者への「リサイクル計画書」作成の義務付け—平成10年10月から施行—

1.3 平成10年度簡易センサス結果

これらの施策の効果は、統計の上でも顕著に認められる。建設省が平成10年度下半期(平成10年10月から平成11年3月)の工事を対象として実施した「平成10年度簡易センサス」の結果をみると、現場内利用を含む約1億m³の土木工事における土砂利用量のうち、建設発生土の再利用率は全国平均で78%に達している(表1)。

発生量でみると、土木工事から発生する約1億5千万m³の建設発生土のうち約45%は現場内で利用され、残りの約8千5百万m³が現場外に搬出されている(表2)。そして、その約65%にあたる約5千6百万m³の土が内陸部工事、プラント、海面埋立事業等に有効利用されており、従来に大きな比率を占めていた内陸受入地等への搬出が大幅に減ってきているのが大きな傾向である。

2. 今後の技術的課題

2.1 低品質の建設発生土の利用促進工法の普及

今後も「土あまり状態」の傾向が続くなかで、建設発生

土の再利用率のさらなる向上を図っていくためには、第4種建設発生土、泥土といった低品質土の利用促進が不可欠である。

低品質土の利用促進を図るためには、大別して二つの方策がある。一つは、プラントもしくは現場で土質改良を行う従来からの方法であり、この普及促進のため、ストックヤードや定置式あるいは移動式の土質改良プラントの設備・拡充が望まれる。

その一方で、現実に土質改良プラントや移動式の土質改良システムが活用できる条件に恵まれた現場には限りがある。このため、第2の方策として、低品質の建設発生土をそのまま利用現場に運び、盛り立てながら土性の改善を図る工法が、多くの現場できわめて有効になってくる。

こうした工法の代表的なものが、ジオテキスタルの排水補強効果を利用したサンドイッチ工法(図1、図2)や袋詰脱水処理工法(図3)などである。これらについては、工法

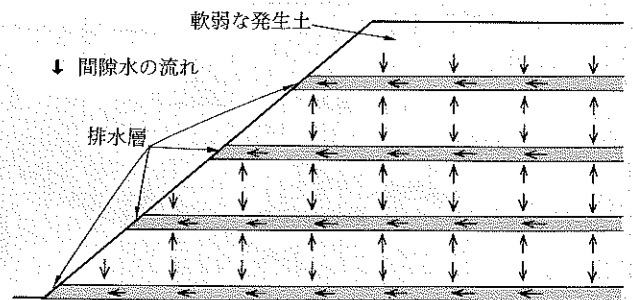


図1 サンドイッチ工法のイメージ図

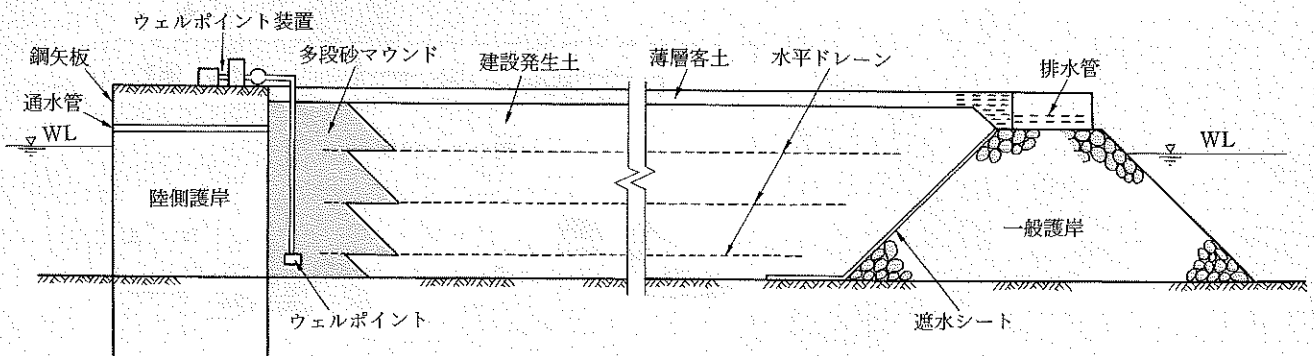


図2 サンドイッチ工法(水平埋立法)のイメージ図²⁾

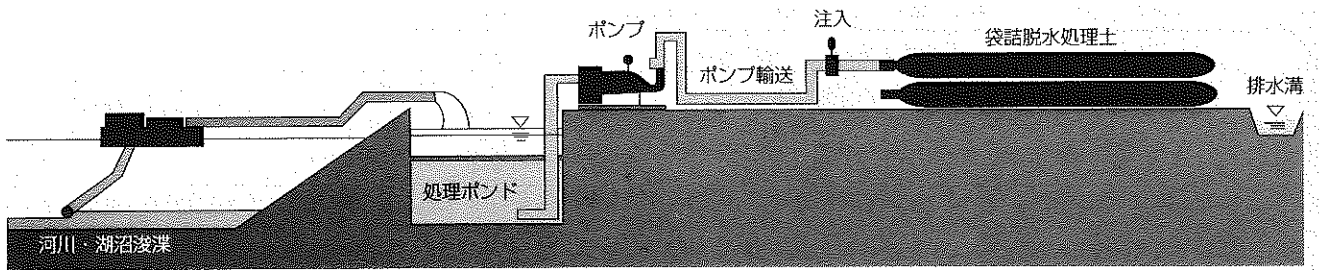


図3 袋詰脱水処理工法の施工概要図²⁾

マニュアル^{2),3)}も整えられているので、今後の一層の普及を期待したい。

2.2 スラリー化安定処理工法の「低コスト化」

流動化処理工法や気泡混合土工法のように、土砂をスラリー化させたものに固化材を加え、運搬車から直投したり、プラントからポンプ圧送し、締固めを行うことなく所定の品質の安定処理土を現地で施工する工法が開発され、共同溝などの埋戻し、建築物の基礎、軽量盛土などへの使用実績を伸ばしつつある。

これらの工法は、現地で掘削した発生土が土質によらず有効利用できる点に大きなメリットがある。

(1) 建設汚泥のスラリー化材への利用

建設汚泥リサイクル指針では、これらをスラリー化安定処理工法と総称し、建設汚泥の活用方策の一つとして推奨している。

すなわち、建設汚泥が土砂をスラリー化させるときのスラリー化材として有効であり、処分に高い費用をかけている建設汚泥が有効物として活用できれば、廃棄物処理費の縮減とスラリー化安定処理土の低コスト化を実現する一石二鳥の策となる。

今後、この方策が社会的なシステムのなかで一般化し、従来の社会的費用の大幅な削減に寄与することを期待したい。

(2) 小規模工事対応型スラリー化安定処理工法の開発
比較的規模の大きな工事では、スラリー化安定処理工法は経済的にも十分な競争力をもつが、下水道管やガス管などの埋戻し工事のような小規模工事では、従来工法に比べてかなり割高で、特別な場合を除いてまだほとんど普及していない。

そこで、土木研究所では民間3社との共同研究で、簡易で汎用的な機械やシステムを用いた低コストの小規模工事対応型スラリー化安定処理工法の開発を進めている。すでに、① 石灰改良土を用いた流動化処理工法(図4)、② 原位置流動化処理による建築基礎工法(図5)、③ 空気混合方式による土塊を残した簡易流動化処理工法の実用化の目途が立っている。

2.3 環境安全性

(1) 汚染土の取り扱い

汚染土の取り扱いについては、参考文献1)において示した基本的な考え方に従う。すなわち、汚染土であるかどうか

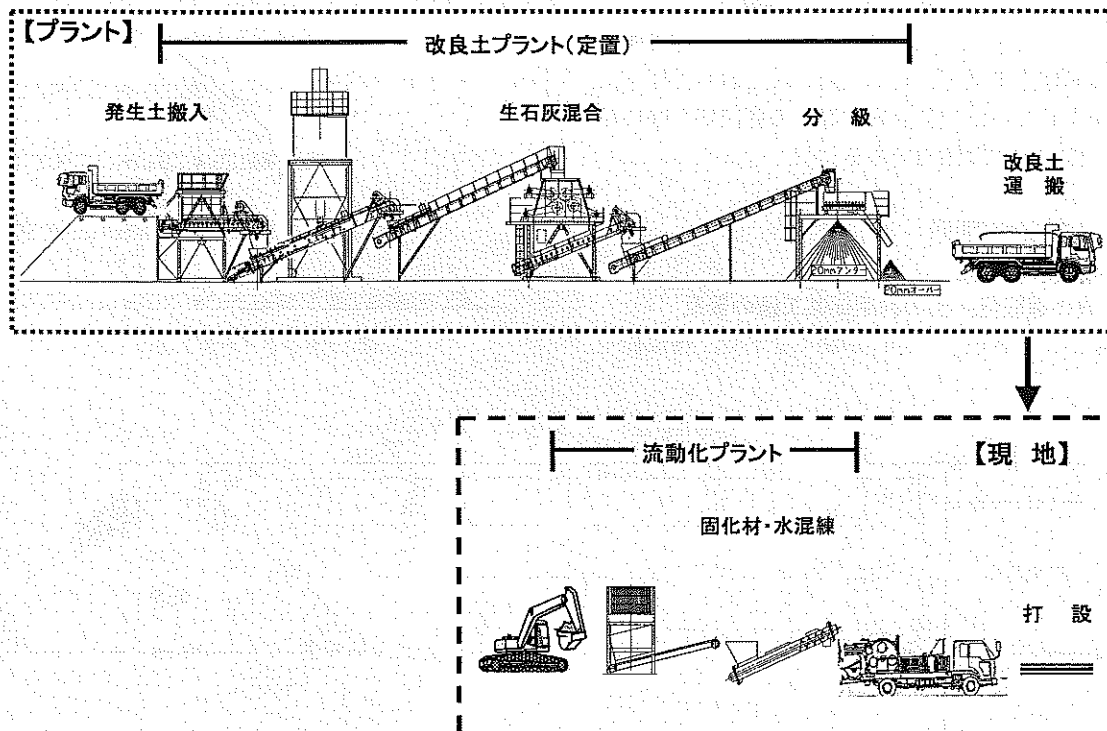


図4 石灰改良土を用いた流動化処理工法のシステム例

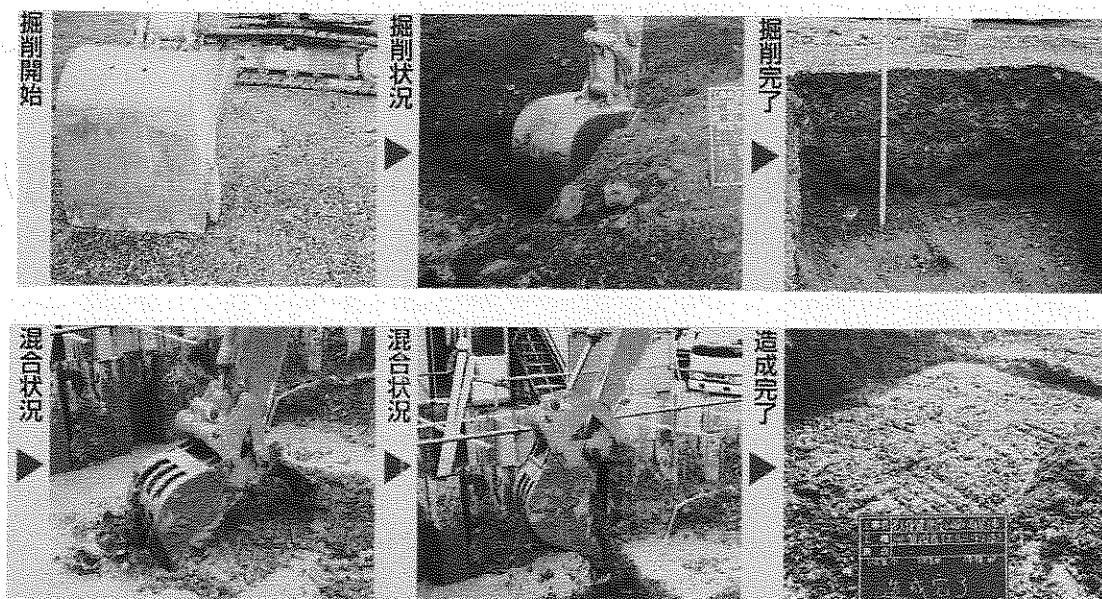


図5 原位置流動化処理による建築基礎工法

かの判断は、環境庁告示第26号別表(平成7年に改正されたもの)の「土壌の汚染に係わる環境基準」に拠る。これに適合する発生土は、特段の配慮をせずに利用可能であるが、適合しない土については、「重金属に係る土壌汚染調査・対策指針」および「有機塩素系化合物等に係る土壌・地下水汚染調査・対策暫定指針」(平成6年11月環境庁)に基づき適切に処理する必要がある。

さらに、平成12年1月15日から施行された「ダイオキシン類対策特別措置法」により、「ダイオキシン類による大気汚染、水質の汚濁及び土壌の汚染に係る環境基準」(平成11年環境庁告示第68号)に適合しない土についても、適切な処置が求められるようになったので、汚染の可能性のある土について特別の配慮が必要である。

(2) セメント系固化処理土の六価クロム対応

建設省は、平成12年3月24日付けの「セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について」(建設省技調発第48号)において、平成12年4月1日以降に施工する地盤改良及び改良土の再利用における事前の六価クロム溶出試験の義務付けと、その結果が土壌環境基準を超える場合の固化材の変更もしくは工法の変更を行うことを通達した。運輸省からも、同時期に同じ内容の通達が出されている。

とくに、セメントの水和反応の進みにくいローム系の土や路床・路盤改良等において、土質やセメントの種類等の条件によっては土壌環境基準を超える六価クロムの溶出のおそれがあるとの報告が出てきているので、しばらくは上記通達に従った適切な対応が不可欠である。

(3) 廃棄物の混入の防止

建設発生土に他の廃棄物が混入すると、廃棄物処理法上は、有用物と廃棄物が分離されない状態で存在し、全体が有用物と考えられない場合には、その全体が廃棄物と判断

されることがある。したがって、極力他の廃棄物の混入の防止に努めるとともに、他の廃棄物が混入し、全体が有用物と考えられない発生土は、廃棄物処理法等の定めに従い適正に処理することが必要である。

ただし、建設汚泥については、平成11年10月に発刊された「建設汚泥リサイクル指針」⁴⁾に明記されているように、一定の品質となるよう改良されたものについては、廃棄物ではなく有用物として取り扱える道が開けたので、極力リサイクルに努めることが望まれる。

3. おわりに

平成10年度から「リサイクル計画書」の作成が義務づけられたことで、今後ますます建設発生土の行き先に関する発注者、施行者の責任が強く問われるようになる。リサイクル社会の実現にむけて、新しい建設発生土の利用技術の開発動向について常に関心を払っていただければ幸いである。

参考文献

- 1) 建設発生土利用技術マニュアル検討委員会：建設発生土利用技術マニュアル(第2版)、(財)土木研究センター、1997年10月。
- 2) 建設発生土利用促進検討委員会：発生土利用促進のための改良工法マニュアル、(財)土木研究センター、1997年12月。
- 3) ジオテキスタイル補強土工法普及委員会：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル(改訂版)、(財)土木研究センター、2000年2月。
- 4) (財)先端建設技術センター：建設汚泥リサイクル指針、(株)大成出版社、1999年11月。
- 5) 小橋秀俊・三木博史・山田哲也・藤井厚企・小畑敏子：建設発生土のリサイクル技術とコスト縮減、土木技術資料、Vol. 42, No. 5, pp. 40-45, 2000年5月。
- 6) 三木博史・古本一司：流動化処理土による地中埋設管の施工コスト縮減効果、土木技術資料、Vol. 42, No. 5, pp. 46-51, 2000年5月。

関西電力西大阪変電所造成工事の発生土再利用化

近藤やすし
谷場照志*

1. はじめに

関西電力(株)では、大阪府北部地域における電力の供給力を確保し、長期的な電力の安定供給を図るとともに、将来的には地中送電線による500kV系統の大阪市内導入の拠点(架空地中接続点)として、大阪府箕面市に西大阪変電所を建設中である。

変電所新設工事に伴う土木工事としては、工事前仮設道路、取付道路、敷地造成および変電所電気設備の基礎を構築するものである。

当変電所は、景勝「箕面の大滝」の北東に位置し、箕面市の「国際交流の森(構想)」区域内に立地するとともに、隣接する周辺の山間地は「明治の森箕面国定公園」に指定されており、都市近郊部にかかわらず、豊かな自然に恵ま

れた地域であり、工事の実施にあたっては、自然環境の保全と地域との共生を念頭においた工事が必要となる。

2. 工事の概要

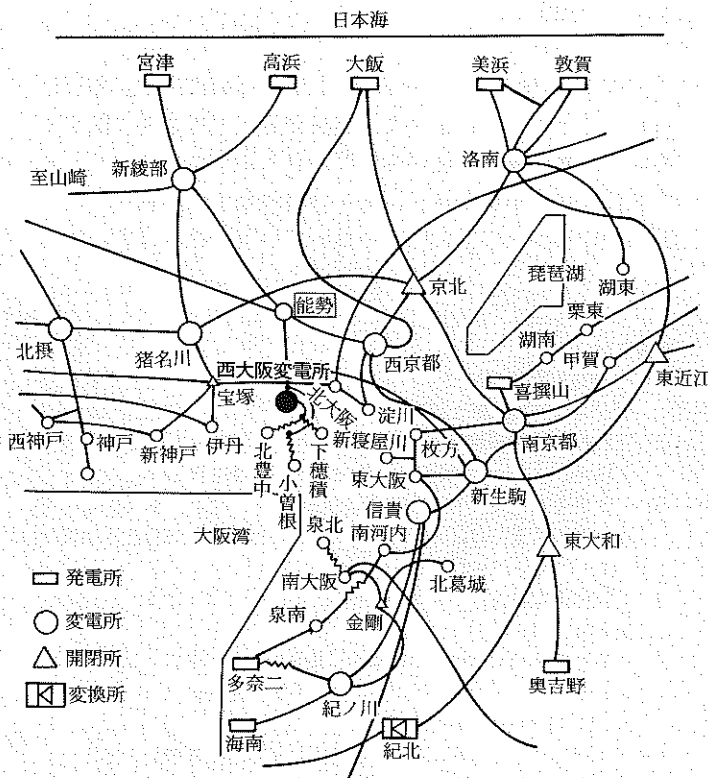
当工事の概要を表1および図2に示す。

工事区域周辺は、ほぼ全域が「砂防指定区域」、「宅地造成等規制区域」に指定されているとともに、「近郊緑地保全区域」内に位置する。

造成工事の特徴としては、最大切土高および盛土高がそ

表1 土木工事概要

項目	概要	
面積関係(敷地)	開発面積	約4.7ha
	敷地有効面積	約2.5ha
敷地造成工事	整地	緩傾斜段整地方式:0.5% (EL.333.6~329.6m) 土工量 約38万m ³
	法面保護工	高次団粒基材吹付工 (一部簡易吹付法砕工および 法枠ブロック工) 約16,500m ²
	擁壁工	延長約450m H=2.5~10m 重力式、もたれ式、L型
	地下排水溝	高密度ポリエチレン管 延長1,850m (φ150~1,000)
取付道路工事	道路	延長1,025m 車道幅員4.5m 植栽帯1.5m
	法面保護工	高次団粒基材吹付工 (切土:簡易吹付法砕工併用) 約7,550m ²
工事前仮設道路	道路	延長 約580m 車道幅員3.0m
	法面保護工	高次団粒基材吹付工 (一部簡易吹付法砕工)
機器基礎工事	暗渠	ケーブル暗渠 延長340m
	機器基礎	GIS基礎 2基(275kV, 77kV) 鉄構基礎 5基 その他基礎一式



* 東海電業(株)技術部 部長代理 (前関西電力(株)西大阪変電所工事所所長代理)

** 関西電力(株)西大阪変電所工事所 主任

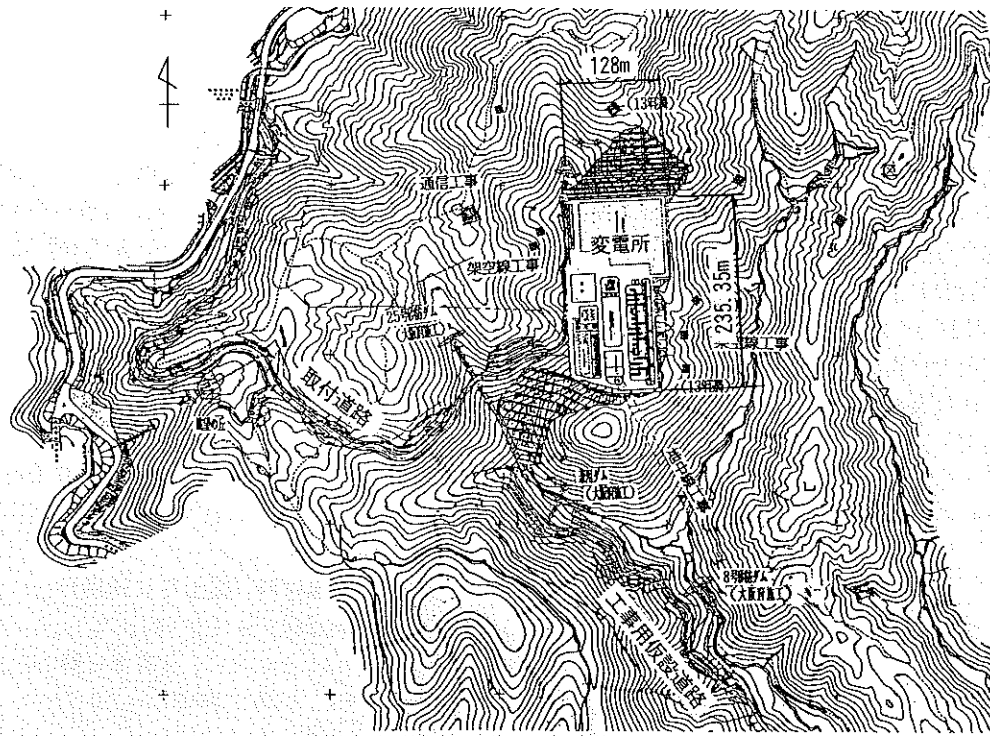




図2 敷地平面図

表2 調査地周辺の地質

地質時代			調査時		施工時		各岩相の特徴	
			地質名	岩相	地質名	岩相		
新生代	第四紀	完新世	崖錐堆積物	砂礫	崖錐堆積物	砂礫	崖錐堆積物は未固結でルーズな砂礫状の堆積物である。	
		更新世	段丘堆積物	出現せず	段丘堆積物	出現せず		
中生代	白亜紀後期	大阪層群	砂礫層	大阪層群	出現せず		岩脈は一般にひん岩と考えられるが、劣化している場合が多く、原組織が判別出来ないものもある。岩脈はF-1破砕帯や北側法面のF-7破砕帯の隣接区域に貫入していることが多い。	
			岩脈類	花崗斑岩	岩脈類	ひん岩		
				閃緑斑岩		流紋岩		
		文象斑岩流紋岩						
		茨木複合岩体	花崗岩類	茨木複合岩体	出現せず	—		
ジュラ紀 ～ 三疊紀	丹羽帯	II型地層群 箕面コンプレックス	粘板岩	丹羽帯	II型地層群 箕面コンプレックス	粘板岩	粘板岩は、新鮮な場合は堅硬で剝離性は乏しいが、風化を受けて劣化しやすい。風化した粘板岩は全体に軟質化し細かく割れやすい場合と、岩自体は硬質なもの割れ目が開口したり粘土化する場合がある。一部の粘板岩では、緑色を呈したり、砂岩をレンズ状ブロック状に挟むことがある。	
			シルト岩					
			含礫粘板岩					
			珪質粘板岩					
	超丹羽層	長尾山層		珪質砂岩	超丹羽層	長尾山層	チャート	チャートは事前調査で珪質砂岩、珪質粘板岩とされたもので、堅硬緻密で塊状な地層である。風化を受けた場合も岩自体は硬質であるが、割れ目が発達し、割れ目に沿って鉄質物に汚染される。
				砂岩粘板岩互層			砂岩粘板岩互層	幅3~10cmの砂岩層、粘板岩層とが交互に出現する。砂岩は硬質であるが、粘板岩はやや軟質である。
				細粒砂岩			砂岩	砂岩は塊状堅硬な岩質で、風化すると開口割れ目が発達し、割れ目沿いに軟質化したり流入粘土を介在するようになる。一部の砂岩では緑色を呈するものがある。
				中粒砂岩				
				粗粒砂岩				
				緑色砂岩			緑色岩	緑色岩は凝灰質で新鮮なものは堅硬であるが、風化を被ると粘板岩と同様に細かく割れやすくなる。緑色岩は主に北側法面の粘板岩中に介在して産する。

凡例
 : 計画地に分布すると推定された地質
 : 計画地に出現を確認された地質

それぞれ約 60 m (盛土厚約 35 m) の高盛土造成工事である。

工事場所は、急峻な地形ならびに法規制から土捨て場が確保できないこと、地元等の環境への配慮から土砂の搬入を行わないことがあり、発生材の良否に関係なく盛土材として使用せざるを得なかった。整地土量は約 38 万 m³ で、変電設備機器の基礎およびその他構造物の掘削残土も併せて造成区域内でバランスする計画であり、切取り・掘削に伴い発生する岩塊および高含水比土砂等盛土材に適さない発生土の再利用をいかに図るかが重要な課題となった。そこで、当現場で再利用する方策として高含水比土砂は、セメント改良後良質な盛土材との互層盛土として施工するとともに、岩塊についても破碎して粒度を調整し碎石や栗石類の代替品として使用するなど全発生土の再利用化を達成した。以下にその具体的内容を記す。

3. 建設地点の地質

変電所敷地の地質については、事前調査段階で、地質踏査、ボーリング調査、弾性波探査、トレンチ調査を実施し、表 2 の中央に示す地質層序が明らかにされた。その後掘削施工にあたって、現場施工の効率化を図る目的から、類似する物性の岩相を一括して、表 2 の右列のように再区分し、以後この分類を採用して施工が進められた。

この表に示すように、当地域では基盤岩類として丹波帯、超丹波帯の堆積岩とこれを貫く岩脈が分布し、山腹の緩傾斜地や谷部を未固結の崖錘堆積物が覆っている。

4. 造成工事発生土の特性とその利用方法

当地点の主要な盛土材料は砂岩の CL 級以上の材料および粘板岩・砂岩の D 級材料である。このような土砂を用いて狭隘な急傾斜地沢部での高盛土の安定性を確保するため図 3 に示す盛土 A・盛土 B の 2 層構造に決定した。盛土 B には、現地発生材料のうち強度・排水性に優れている CL 級と D 級のブレンド材を配置し、盛土 A には D 級材を配置した。

なお、粘板岩分布域の表層部では貫入岩による変成作用の影響等により、風化の進行が著しく、シルト分が多いことや、自然含水比が 25~35% と高含水比状態にあることから盛土材として直接利用できない材料も存在する。

また、敷地内の沢部および地表面には、転石が広く分布しているとともに、切土ならびに道路工事等において、大径の岩塊も多く発生したため、これらについては盛土材以外に利用する必要性があった。

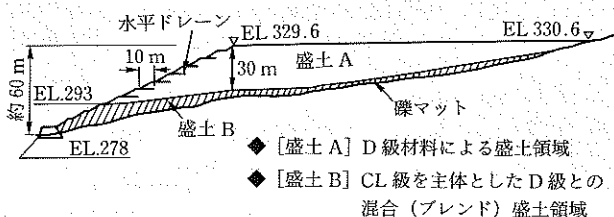


図 3 盛土構造

4.1 主要盛土材の特性

試験結果より得られた主要盛土材料の静的な特性を以下に示す。

(1) DL 級材料 (盛土 A に適用)

DL 級材料は、礫分を約 50%、シルト分以下を約 15% 含み、粗粒土～細粒土を含有する粒度分布で良く締め固まる材料である。強度定数は $c=1.5 \text{ tf/m}^2$ 、 $\phi=33^\circ$ と一般的な盛土材料としての強度は十分有している。透水係数は 10^{-5} cm/s オーダーと半透水性材料である。

(2) DH 級材料 (盛土 A に適用)

DH 級材料は DL 級材料に比べて粗粒分が多くなり、礫分約 60%、シルト分以下約 5% を含有する粒度分布の良い材料である。また、強度、透水性共に良好な試験結果が得られており、ほぼ CL 級材料と同様の工学的特性を有する材料である。

(3) CL 級材料 (盛土 B に適用)

CL 級材料は礫分を主体 (約 95%) とし、シルト分以下の含有率が約 3% と少なく、良質な材料ある。また、最大乾燥密度が大きく、強度定数は $c=3.0 \text{ tf/m}^2$ 、 $\phi=33^\circ$ と十分に大きな強度を有している。

透水係数は 10^{-3} cm/s オーダーと透水性材料で、排水性に対して良好な材料である。また、水浸沈下に対しても問題とならない材料である。

(4) ブレンド材料 (盛土 B に適用)

発生土量分布より盛土材料が混合されるためブレンド材 (DL:CL=1:2) についても各種試験を行った。

本材料の強度定数は $c=3.0 \text{ tf/m}^2$ 、 $\phi=33^\circ$ 、透水係数は 10^{-4} cm/s と、D 級材料に比べると強度、透水性ともに良好な試験結果が得られた。

以上の試験結果から、いずれの材料とも盛土材として特に大きな問題はないと評価されるが、強度・排水性に対して重要となる領域 (盛土 B) においてはブレンド材料を用いることが有効と評価された。

4.2 高含水比材料の特性とその処理方法

造成工事の進捗に伴い、切土表層部、崖錘堆積物および構造物掘削土等より施工性が不良かつ、一般盛土の管理基準値を満足しない高含水比材料が、約 54,400 m³ も発生することが予想された。

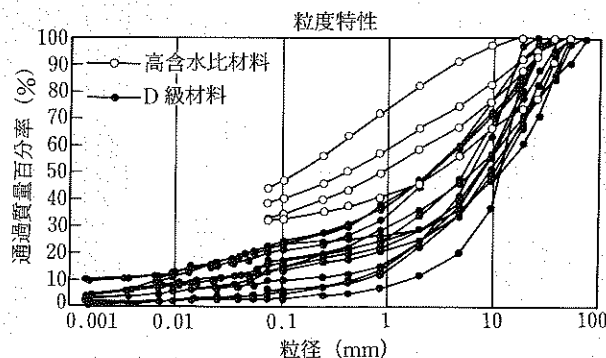


図 4 高含水比材料の粒度分布

(1) 高含水比材料の特性

高含水比材料の粒度分布を図4、締固め特性を図5に、また、本材料の諸特性を表3に示す。なお、同図表には当地点における一般的なD級盛土材の粒度分布、諸特性も併記した。高含水比材料は、シルト分以下を30~45%程度含有し、自然含水比も25~35%と高い状態となっている。ちなみにD級材料の自然含水比は23%以下となっている。

(2) 高含水比材料の施工方法の検討

高含水比材料の盛土施工方法の検討に際して、できるだけ高含水比材料をそのまま使用する、あるいは若干の改良で対応することを基本として、対策工について種々の条件により試験盛土を実施した。

図6に対策工の概要を、表4にその対策工試験盛

土概要を、また、表5に盛土品質管理基準を示す。

表3 高含水比材料の諸特性

	高含水比材料				一般材料 (D級材料)	
	材料I	材料II	材料III	材料IV		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.685	2.693	2.681	2.707	2.623~2.785	
含水比 w (%)	28.3	31.1	35.3	25.1	8.0~24.8	
粒度	礫分 2mm以上 (%)	17.8	33.5	41.2	54.4	27.7~90.1
	砂分 0.075~2mm (%)	37.9	28.1	25.9	13.2	4.7~40.3
	細粒分 0.075mm以下 (%)	44.3	38.4	32.9	32.4	3.1~22.6
	最大粒径 D_{max} (mm)	19.0	37.5	37.5	53.0	19.0~100.0
締固め	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.489	1.515	1.555	1.702	1.773~1.901
	最適含水比 w_{opt} (%)	27.0	26.0	25.5	19.9	9.4~16.1

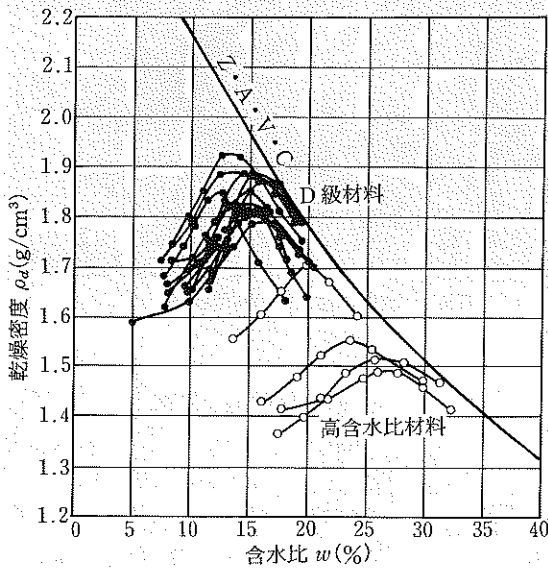


図5 高含水比材料の締固め特性

表4 試験盛土実施概要

	使用材料	転圧方法※	検討ケース
無処理	①高含水比材料	①タイヤローラ 2t	1 ケース
①対策工 I (ブレンド処理)	①高含水比材料+D級材	①振動ローラ 10t 有振動, 無振動	10 ケース
	② " +ブレンド材		
②対策工 II (曝気乾燥処理)	①高含水比材料	①タイヤローラ 20t ②振動ローラ 10t 有, 無振動	3 ケース
	(乾燥処理土)		
③対策工 III (セメント改良)	①高含水比材料 セメント (セメント改良土) 100 kg/m ³	①振動ローラ 10t 有振動, 無振動	2 ケース
④対策工 IV (ブレンド+セメント改良)	①高含水比材料+ブレンド材 (セメント改良土) セメント 30 kg/m ³	①振動ローラ 10t 有振動, 無振動	2 ケース

※1 ブレンド材: CL級を主体としたD級材料との混合(ブレンド)材
 ※2 転圧回数: 6回で統一して実施

表5 盛土品質管理基準

品質管理項目	品質管理基準
①締固め度 (D)	$D \geq 95\%$
②平板載荷試験 (K_{30})	$K_{30} \geq 5.0 \text{ kg/cm}^2$
③衝撃加速度試験 (K_{30})	$K_{30} \geq 5.6 \text{ kg/cm}^2$ ※
④透水係数 (k)	$k \geq 10^{-4} \text{ cm/sec}$

※衝撃加速度試験による K_{30} 値は、換算 K_{30} 値を示す。

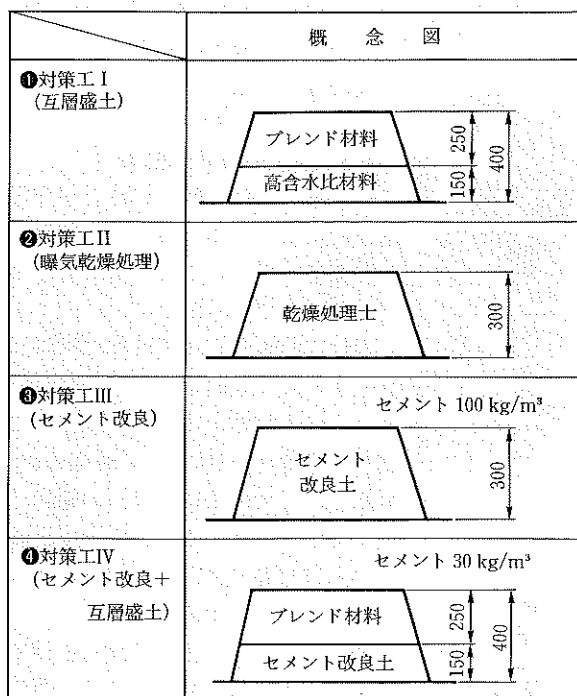


図6 対策工の概要

表6 試験盛土結果および対策工の評価・選定

	Q (試験盛土結果)			C	D	総合評価
	D (%)	K_{30} (kg/cm ²)	換算 K_{30} (kg/cm ²)			
①対策工 I (互層盛土)	92~100	4.6	3.5~4.7	△	○	○
②対策工 II (曝気乾燥処理)	96~104	—	1.4	×	△	△
③対策工 III (セメント改良)	107~108	22~39	20~23	○	△	△
④対策工 IV (互層盛土+セメント改良)	98~101	7.4	8.3~9.3	○	○	◎

◆実施工における対策工適用の考え方

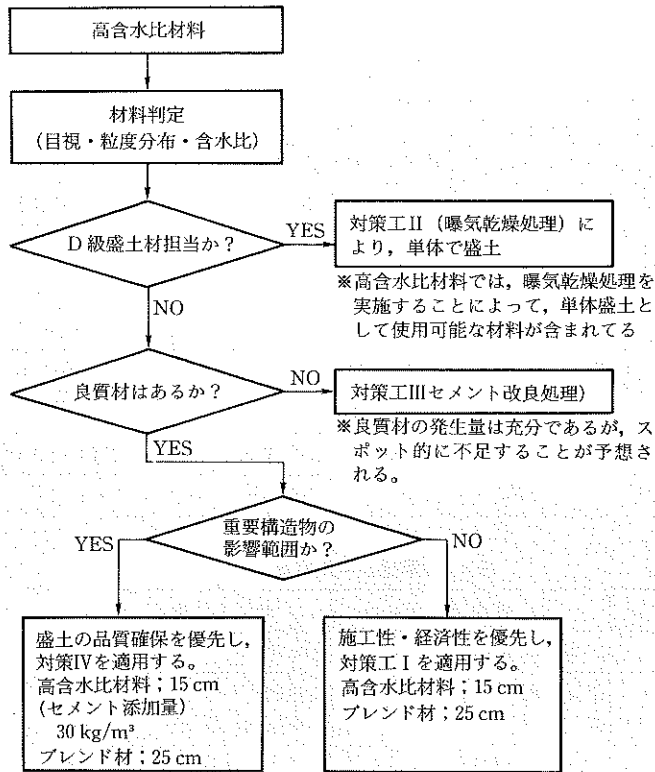


図7 高含水比材料の対策工適用フロー

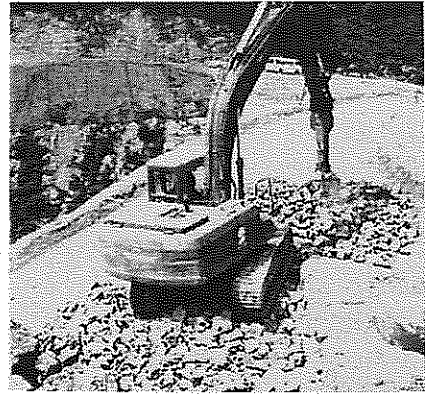


写真1 アイオンによる破碎状況

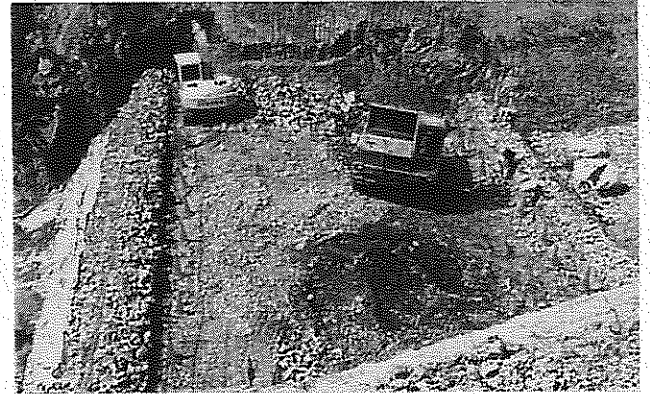


写真2 大型埋設工への利用状況

表7 品質管理結果一覧

項目	日常品質管理試験						
	締固め度 D (%)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	透水系数 k (cm/s)	地盤反力係数 (K_{30})			
				平板荷試験 K_{30} (kgf/cm ²)	横方向ロード荷試験 K_{30} (kgf/cm ²)	衝撃加速度試験 K_{30} (kgf/cm ²)	
全体	管理基準値 (目標値)	95.0	—	盛土A 1.6×10^{-5} 盛土B 5.0×10^{-4}	5.0	8.0	5.6, 8.0
	データ数	844	844	152	248	248	695
	平均	99.0	2.115	1.1×10^{-2}	10.4	10.7	11.1
	標準偏差	2.768	0.062	0.020	2.666	1.831	1.915
盛土(A)	管理基準値 (目標値)	95.0	—	(1.6×10^{-5})	5.0	8.0	8.0
	データ数	538	538	75	156	156	389
	平均	99.0	2.112	6.4×10^{-2}	10.0	10.6	10.6
	標準偏差	2.714	0.065	0.015	2.681	1.919	1.703
盛土(B)	管理基準値 (目標値)	95.0	—	(5.0×10^{-4})	5.0	8.0	8.0
	データ数	162	162	44	53	53	162
	平均	99.2	2.102	2.6×10^{-2}	11.1	11.3	12.3
	標準偏差	3.688	0.064	0.026	2.673	1.810	2.199
高含水比材料	管理基準値 (目標値)	95.0	—	(1.6×10^{-5})	5.0	8.0	5.6
	データ数	144	144	33	39	39	144
	平均	98.7	2.139	3.4×10^{-3}	10.9	10.5	11.1
	標準偏差	1.446	0.039	0.003	2.371	1.308	1.477

※高含水比材料管理基準値 (5.6 kgf/cm²)

(3) 試験盛土結果

試験施工の結果および各対策工の適用性の評価・選定を表6に示す。

本試験結果より、高含水比材料の対策工としては、対策IV(互層盛土+セメント改良処理)、対策I(互層盛土)を主体として実施するものとした。(実施工では対策Iを主とした)

これらの対策工の適用条件をフローしたものを図7に示す。

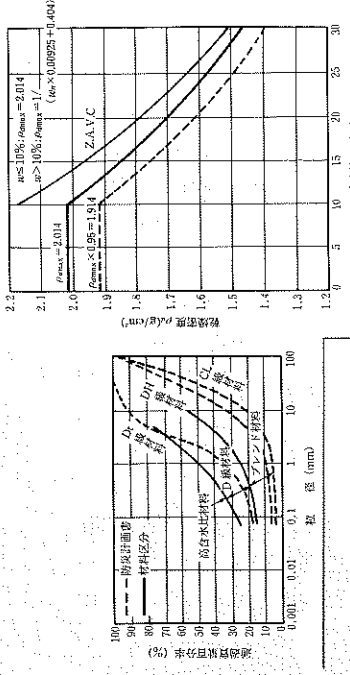
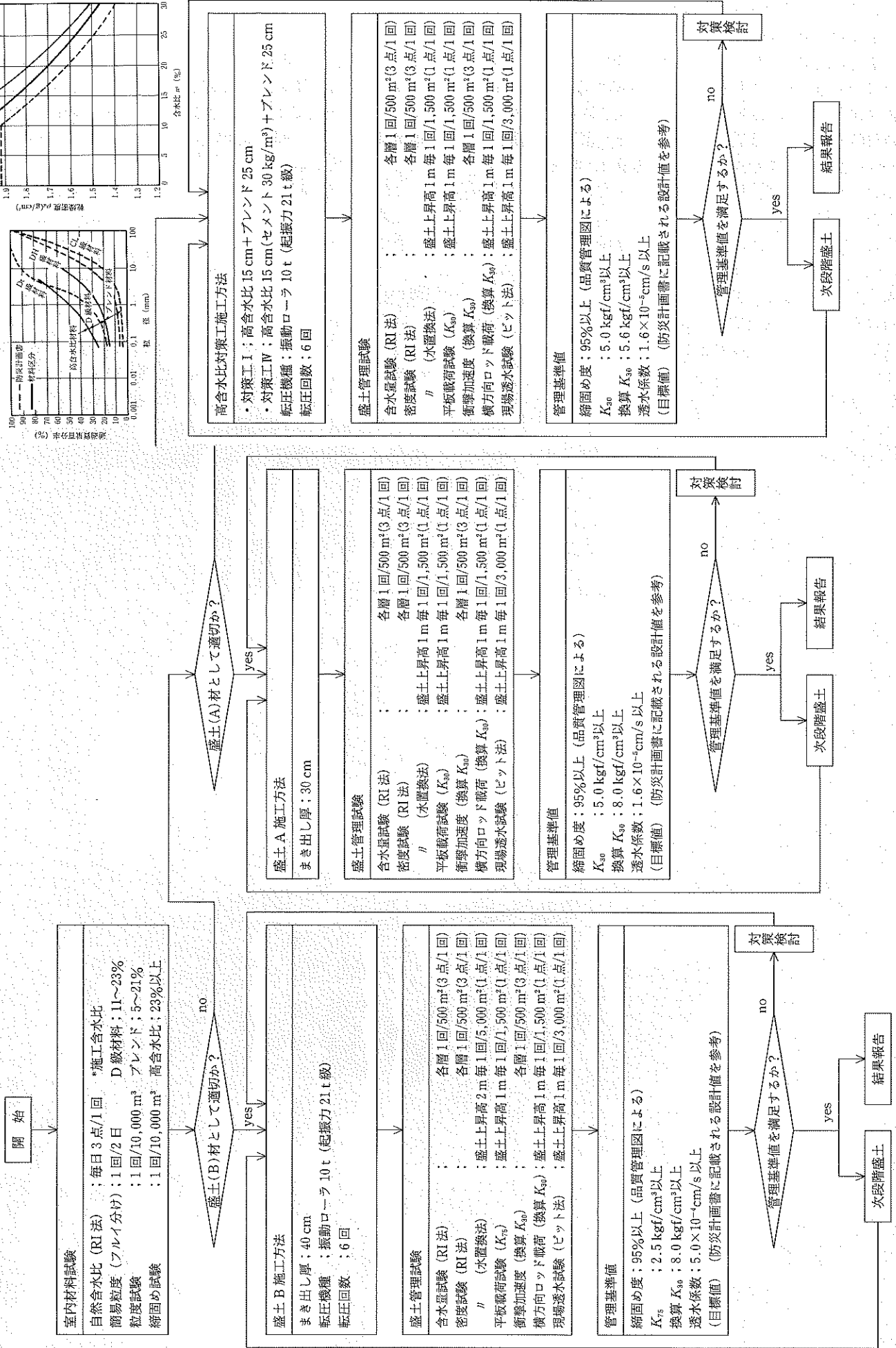
4.3 盛土品質管理結果

一般盛土(盛土A, B)および高含水比材料による盛土において、日常の品質管理結果は全て管理基準値を満足する結果であった。

本地点のように多種多様な材料が発生する風化軟岩地帯の造成においても、盛土材料の物性を施工初期に調べ、各特性値(例えば、粒度分布、含水比、最大乾燥密度等)の範囲、変化傾向を捉えることによって、盛土の品質を簡易に、かつ確実に管理することが可能である。

表7に、全体の盛土品質管理結果を示す。表8は参考として、当造成工事の盛土品質管理フローを示す。

表 8 盛土品質管理フロー



4.4 現地発生岩塊の有効利用

工事に伴い発生する転石および岩塊については、購入碎石、栗石の代替品として小割を行い、礫マット、地下排水溝のフィルター材、ふとん籠材、大型埋設工の中詰め材等へ有効利用を図った。敷地ヤードが非常に狭いことから大型の破碎設備の投入は避け、アイヨンと一部小型の移動式破碎機を用いて必要量を確保した(写真1, 写真2)。

なお、所要の粒径、粒度分布等については品質管理試験を実施して要求品質を満足している。

碎石、栗石類としての利用実績は、敷地造成、道路工事等併せて11,000 m³となり、購入予定の70%を現地発生材で賄ったことになる。また、これはコスト低減と共に大型車両の通行台数を削減でき(4,400台、往復)、地元の交通安全対策にも大きく寄与できた。

5. あとがき

西大阪変電所における造成工事は、平成9年10月に開始

され、平成11年3月に竣工した。

造成工事期間中における安定性を確保し、設計段階で予測できなかった不測の事態に速やかに対応するために、各種観測計器を設置して逐次安定性を評価する観測施工を実施した。盛土施工完了後、平成10年10月より変電機器基礎が着工し、この間も観測施工を継続し、造成地盤の長期的な安定性を評価した。

これらの動態観測結果において、異常値は観測されず、盛土の沈下も平成12年7月時点においては、ほぼ収束した状態にあると評価できる。

変電所の工事は、現在、電気工事、機器据付工事の最盛期をむかえており、平成13年3月の竣工に向けて、最後の追い込みをかけているところである。

最後に、土木工事の実施にあたって、砂防指定地内における高盛土造成工事の防災対策等各種の技術的課題について多大なるご指導・ご教授を頂いた地盤地質研究室の中世古幸次郎博士および関係各位の方々に深く感謝の意を表します。

第二名神川越インターチェンジ工事の 建設廃棄物再利用

こまつ ひでき
小松 秀樹*

1. 第二名神高速道路の概要

現東名・名神高速道路は昭和44年に全通し、我が国の基幹交通を担う大動脈として産業、文化、経済に非常に大きな貢献を果たしてきました。しかし、自動車交通の増大によりほぼ全線にわたり混雑が著しく、本来の高速性、定時制が低下してきており、このままでは、将来の交通需要に対応することが困難であると予想されます。

第二東名・名神高速道路はこれらの問題点に対応し、現東名・名神高速道路と一体となって、交通機能の分担と高

い信頼性を確保し、我が国の産業、文化、社会経済活動の振興に寄与しようとするものです。

東京都から名古屋間が第二東名、名古屋から神戸市間が第二名神で延長約500km、全線6車線の高速道路であり1993年から事業に着手し21世紀初頭の開通を目的に事業を進めております。

2. 川越インターチェンジの工事概要

川越インターチェンジは第二名神の起点部に位置し(図1)、愛知県と三重県を結ぶ大動脈である国道23号に接続する三重県三重郡川越町に設置される、面積約11万m²のインターチェンジである(図2)。

工事概要

- (1) 工事箇所 三重県三重郡川越町亀崎新田
- (2) 工期 平成10年8月28日から平成13年5月13日まで
- (3) 主要工種
土工事(建設廃棄物処理含む)

	300,000 m ³
サンドドレーン	49,190 m
基礎杭	27,150 m
構造物	橋脚 41基 橋台 4基

川越インターチェンジは管理施設ヤードおよび料金所前後は土工区間であり、それ以外のランプ・本線はすべて橋梁区間となっている。

当地区は軟弱地盤の地層構造を呈しており、TP-10~30に20m程度の粘土層があり、この上に10m程度の盛土をすることで圧密沈下量が約110cmとなる。このため、土工区間の工事は沈下対策としてサンド

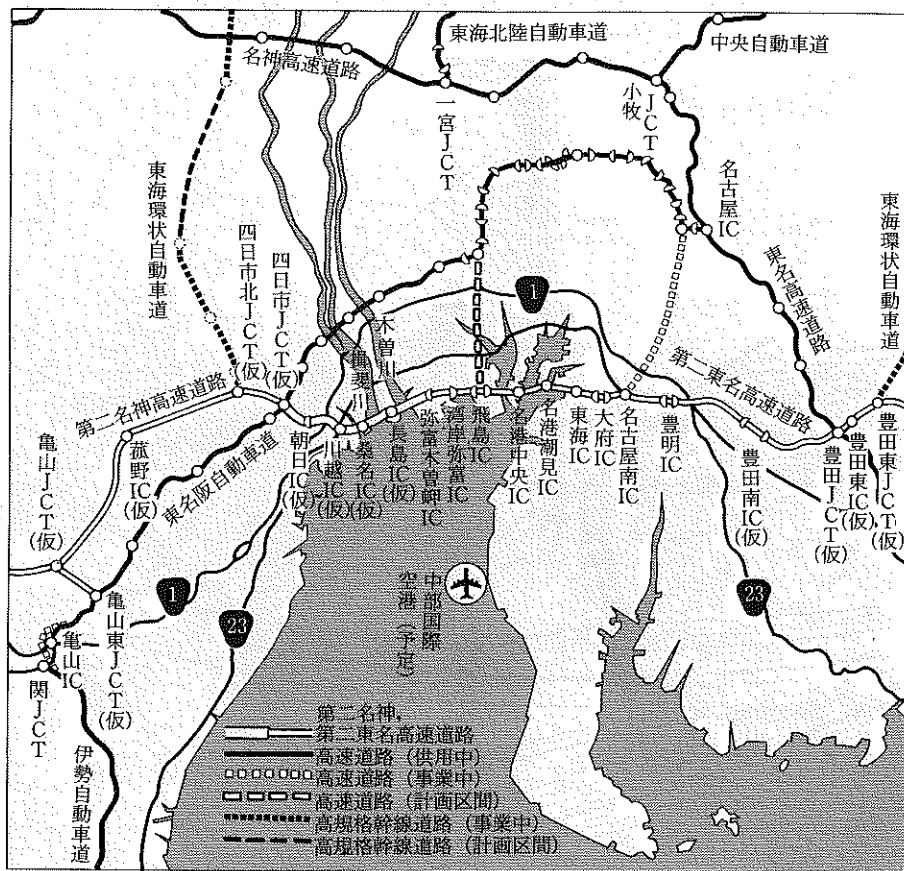


図1 路線図

* 日本道路公団 名古屋建設局 四日市工事事務所 所長

第二名神高速道路 川越インターチェンジ工事

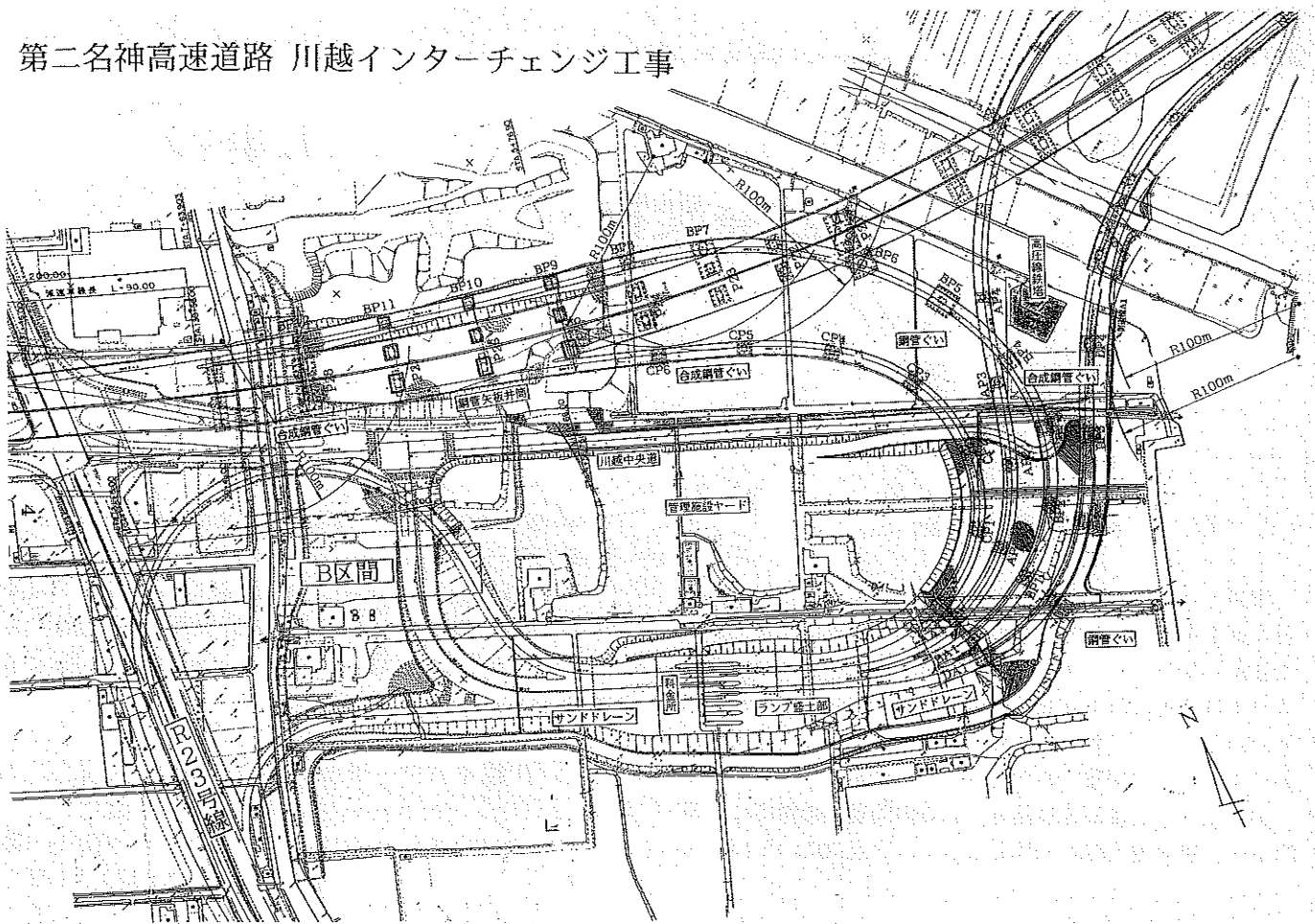


図2 計画平面図

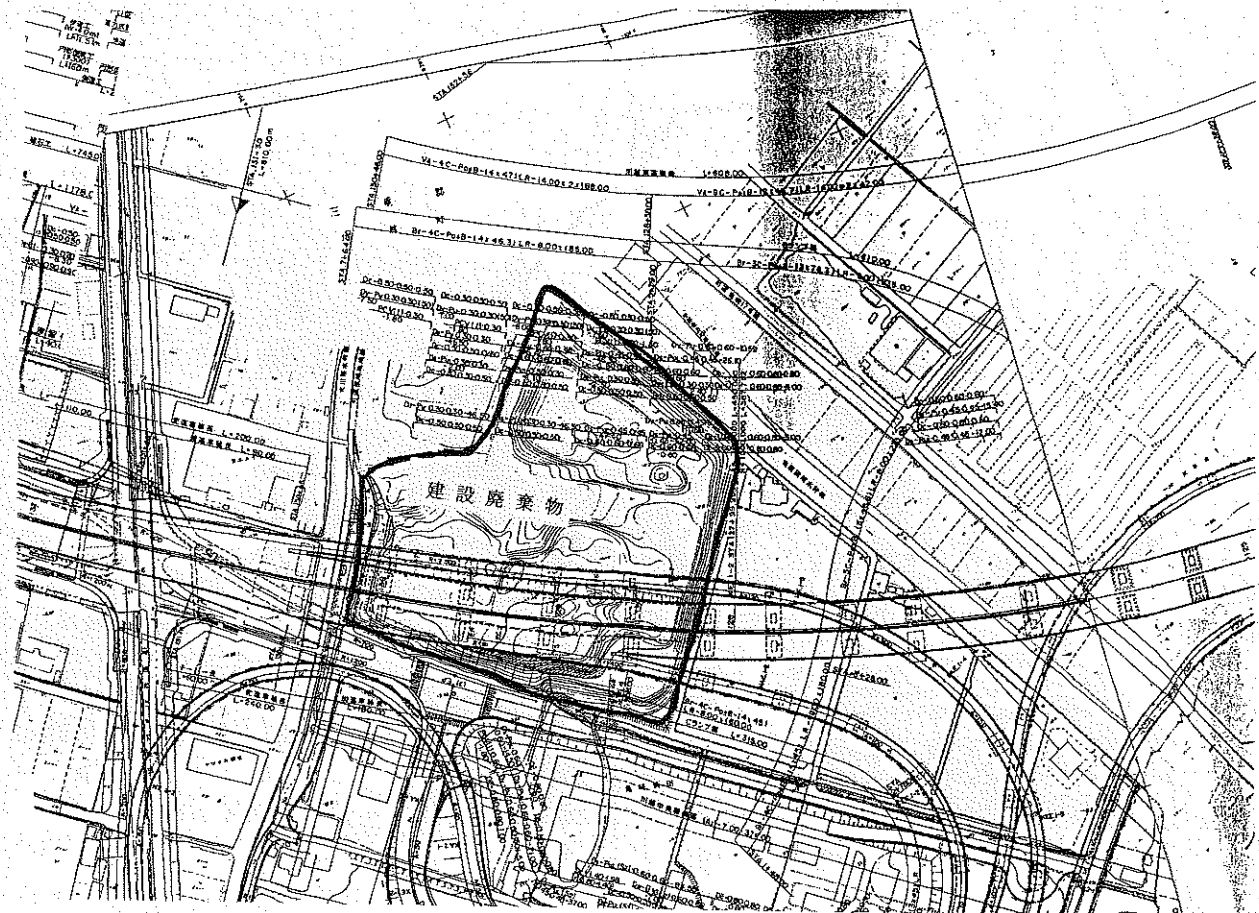


図3 建設廃棄物位置図

ドレーンと载荷盛土を実施することで将来の残留沈下を低く押さえるよう設計している。

また、構造物の基礎杭の支持層は、30数メートルの深さとなっている。このため鋼管杭または、合成鋼管杭基礎を採用している。

3. 建設廃棄物の状況

第二名神の建設予定地付近に(図3)、平成元年9月頃から3年間にわたり不法に投棄された産業廃棄物がある。産業廃棄物は、建設廃材や建設汚泥等が大部分をしめている。

(1) 事前調査

不法に投棄されたものであるため何が棄てられているのか全く予想がつかず、地元ヒヤリングをしてもわからない状況であったためテストピットを掘り、内容を調査することにした。1.5m×1.5m×1.5mの大きさに3箇所調査した結果、次のような割合であった。

(%)					
区分	廃プラスチック	木くず	金属	コンクリートガラ等	土砂
割合	1	2	1	15	81

(2) 詳細調査

工事発注後に12カ所でボーリング調査を行った。この結果は事前調査と同程度の内容となっている。また、有害物質の調査も行ったが認められなかった。

(3) 建設廃棄物の数量

建設廃棄物が不法投棄されたところは以前養鰻池であり、軟弱地盤地区であるため、下部は池の底からさらに2mほど建設廃棄物が地下に沈下している位置にあり、また、上部は、地上最高17mの高さとなっている。建設廃棄物の工事着手前の状況は、図4、写真1のとおりである。

全体の数量は現地盤から下部を含めて約40万m³と推測されるが、高速道路で利用可能数量は、約20万m³の予定である。利用後の仕上がり高さは現地盤から1~2m程度高くなり土地の有効利用が期待される。

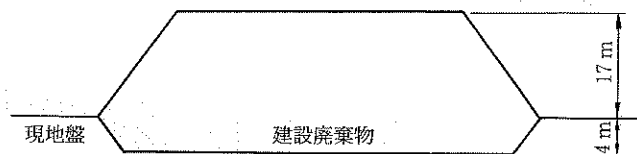


図4 横断面



写真1 建設廃棄物の山(後方)

4. 建設廃棄物と道路計画

建設廃棄物があるところに第二名神の高架(本線上り線、下り線、Bランプ、Cランプ)が通過する状況は図5のとおりである。この区間での橋脚は、全部で12基施工する計画である。

(1) 橋脚および基礎杭施工のための掘削

橋脚本体の施工のため建設廃棄物を掘削する必要がある。また、基礎杭の型式が合成鋼管杭でありオーガー等で掘削するため異物があると施工不能となる。建設廃棄物の中には、コンクリートガラや鉄屑等がありこれらを除去する必要がある。その深さは地表面から4m程度となっている。

(2) ランプおよび管理ヤードの盛土材

ランプおよび管理ヤードは盛土構造であるが、本工事および周辺工事で土砂が発生しないため購入材の検討を行っていた。建設廃棄物が上記(1)の理由で発生し、また、用地外においても同様な状態であるため、購入材より経済的である建設廃棄物をリサイクル材として以下に述べる理由で盛土の下部路体材、管理施設ヤードの盛土材、载荷盛土

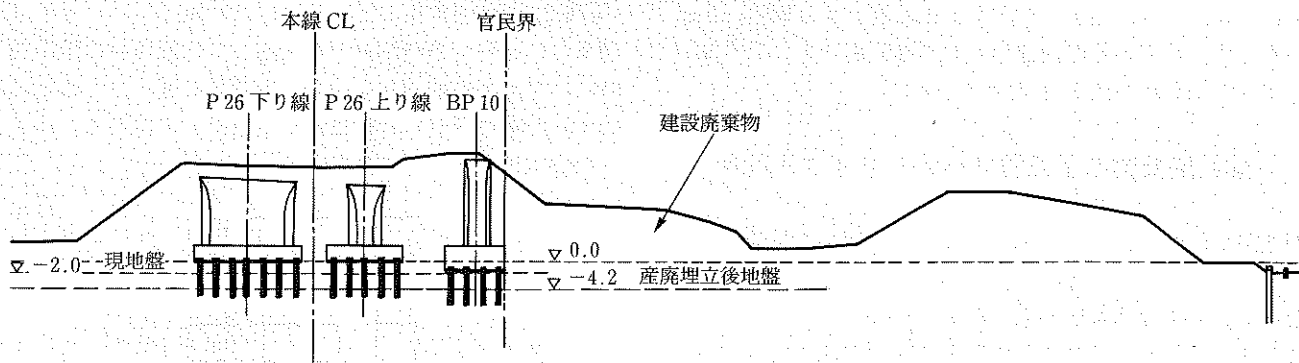


図5 建設廃棄物と橋脚の計画位置

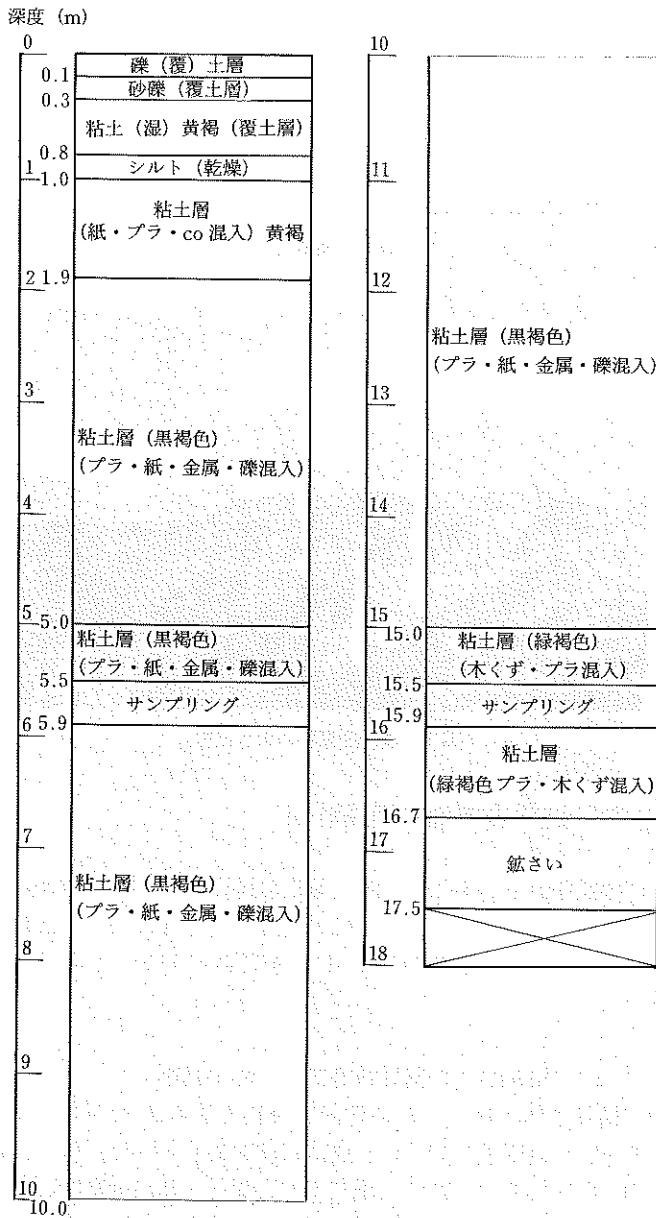


図6 ボーリング調査による柱状図

材に使用することとした。

5. 建設廃棄物の特性

ボーリング12カ所の調査内容を見ると、各箇所ですべて内容物が異なり、自然界での地山のように一定の地層を当然のことながら呈していない。No.6のボーリング調査の性状は図6、コア写真を写真2に示す。建設廃棄物の詳細の内容は、礫、砂礫、粘土、シルト、紙、廃プラ、繊維、金属、木くず、等であるが前述のとおり建設廃材のコンクリートガラと土砂が90%以上占めている。

6. 建設廃棄物の下部路体へのリサイクル利用

高速道路の横断構成は、図7のように路面から舗装、上部路床、下部路床、上部路体、下部路体に分類され、路面に近いほど大きな強度が要求される。

これらは、材料の品質として最大寸法、CBR、スレーキング率等の基準があり、盛土側の施工管理として施工層厚、

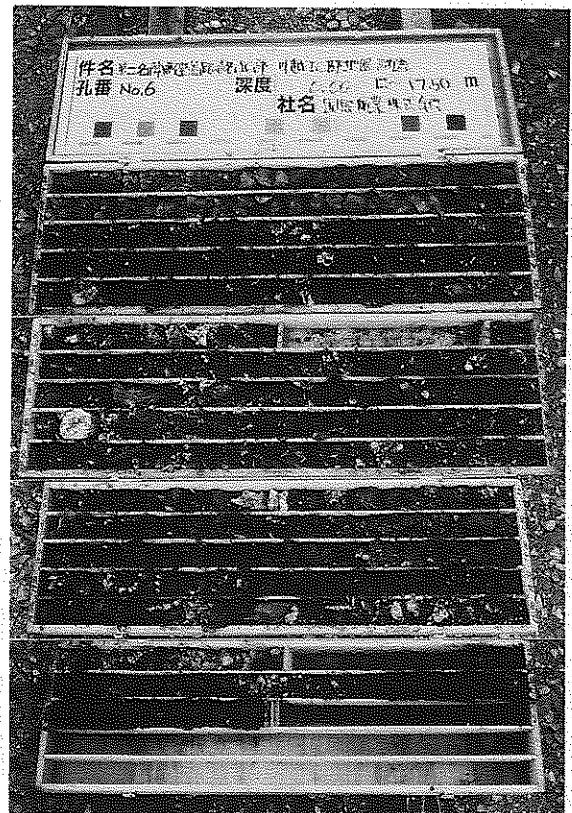


写真2 コア写真

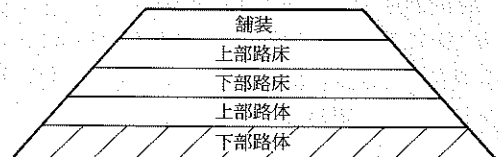


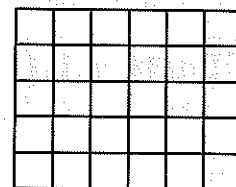
図7 土工部の横断構成

締固め度、含水比等の基準がある。下部路体と管理施設ヤードの盛土については材料の基準はなく盛土側施工管理の基準も比較的に低いいため、建設廃棄物の下部路体への利用を検討した。購入材より安価に施工できれば高速道路建設にリサイクル材として使用可能となる。

建設廃棄物を下部路体材として使用可能な状態にすること、上部路体の施工に支障をきたさないこと等を考慮し、施工計画をたてて工事を行うこととした。

(1) スケルトンバケットによる掘削・分別

建設廃棄物の地山を分類するためスケルトンバケット(写真3)を使用することにした。スケルトンバケットは、通常のショベルのバケットを改造して建設廃材の地山掘削時にバケットに残ったものと、ふるいを通ったものとに分類するためにメッシュ状に穴を空けたものである。バケットの形状は、次のとおりである。



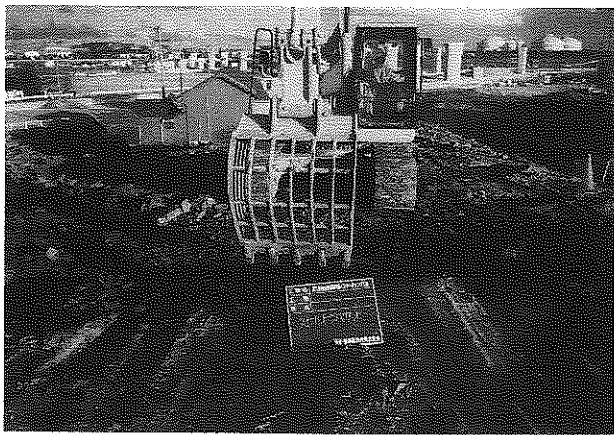


写真3 スケルトンバケット



写真4 スケルトンバケットによる施工状況

たて 25 cm, よこ 15 cm のメッシュ状である。

施工状況は写真4のようにバケットを振動させ通過した土砂等はインターチェンジの下部路体や管理施設ヤードにリサイクル材として再利用を図り、バケットに残った建設廃材は、産業廃棄物として処分する。

産業廃棄物は、廃プラ、燃えながら混じり土砂、タイヤ、金属類、木くず等に区別して専用処理場へ運搬し処分する。また、コンクリートガラは 30 cm 以下に破碎しリサイクル材として利用を図ることとした。

(2) 盛土側での管理

建設廃棄物は、土砂をはじめ混入物等同質の物は全くない状況（均一な材料でない）で盛られているため、盛土側での管理手法が基準試験によって行うことが困難である。したがってモデル施工を実施することにより施工方法を検討をすることにした。

① モデル施工の概要

使用機種

積込	0.7 m ³ バックホウ	
運搬	10 t ダンプトラック	
敷均し	32 t ブルドーザー	
転圧	10 振動ローラー	0, 2, 4, 8, 16 回

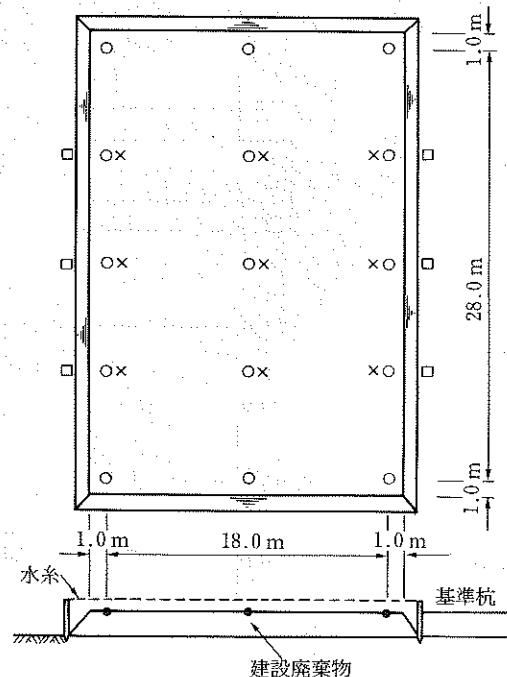
測定項目

表面沈下量		
締固度	参考値	RI による
空気間隙率	参考値	RI による

施工図

凡例

- 締固度測定点
- × 表面沈下量測定点
- 基準杭



② モデル施工の結果

表面沈下量 (図8)

締固め回数が多いほど沈下量が多くなるが、8回からはその割合が少なくなる。

締固め度 (図9)

地山でモデルで施工に使用したと同程度の材料で、基準試験を行い、それを基に密度を測定した（実施工では採用できない）。参考値として4回までは、密度が上昇するが8回から下降する。

空気間隙率 (図10)

地山でモデル施工に使用したと同程度の材料で、基準試験を行い、それを基に空気間隙率を測定した（実施工では採用できない）。参考値として4回までは、空気間隙が減少するが8回から多くなる。

施工状況

現場でのモデル施工を観察していると4回を過ぎるあたりからオーバーコンパクション気味となった。

③ 管理の方法

表面沈下量は4回で収束傾向であり、参考値として密度と空気間隙率を見ると8回以上になると低下し、しかも過転圧の状況である。なお、基準試験は前述のとおり現場施工には適用できない。この結果、一層当たり32 cmで敷均し、4回転圧で行うこととした。また上部路体の施工に支障をきたす状態でないことも確認した。

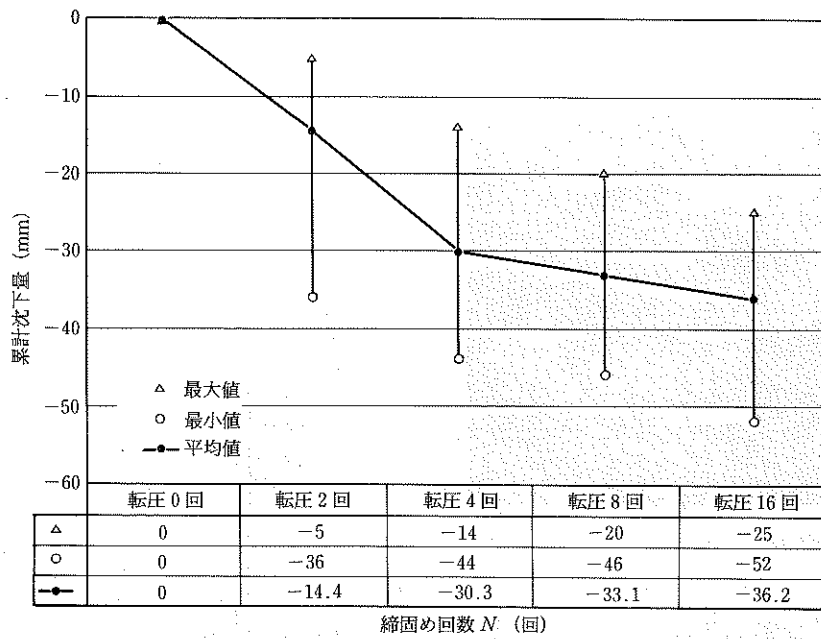


図 8 締固め回数と沈下量

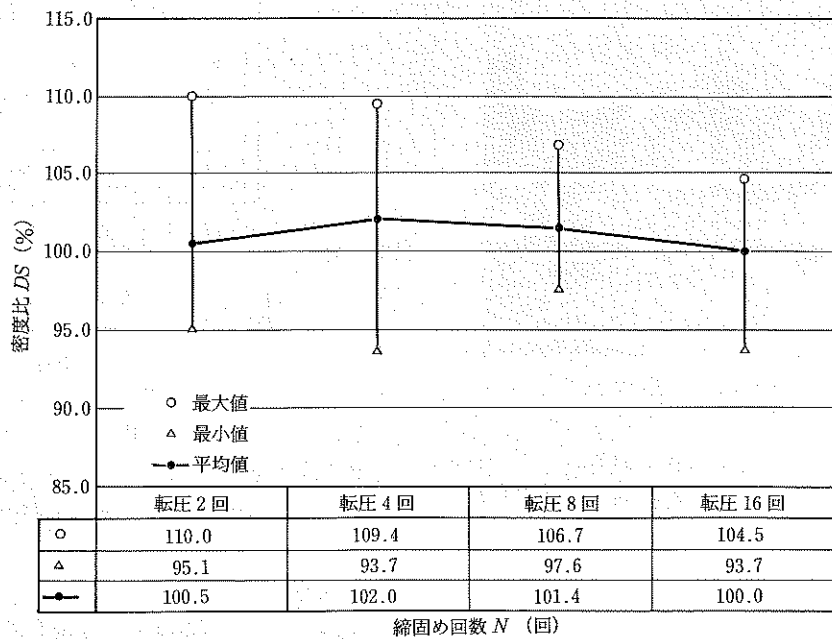


図 9 締固め回数と密度

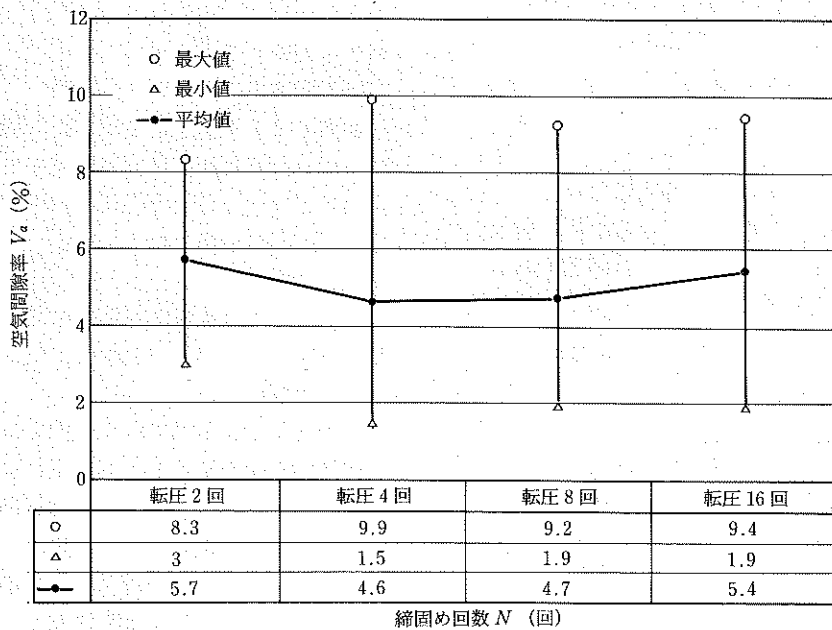


図 10 締固め回数と空気間隙率

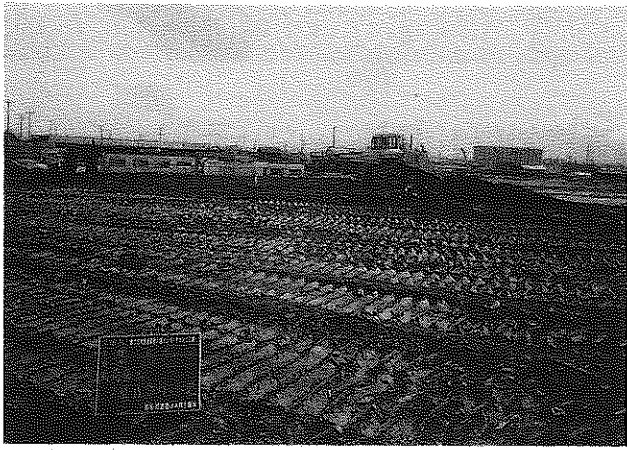


写真5 敷均し状況

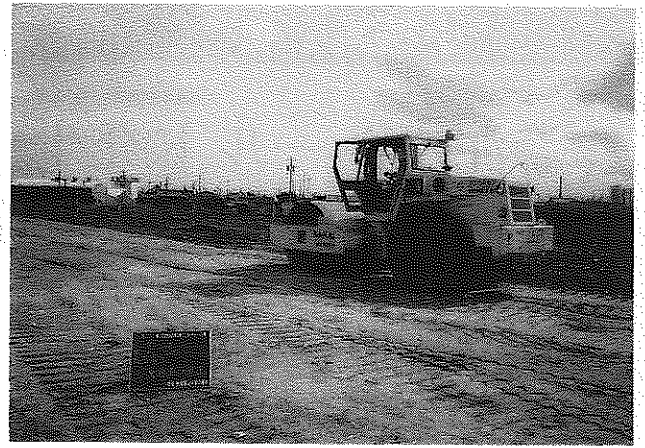


写真6 締固め状況

このように掘削箇所ではスケルトンバケットにより掘削・分別、インターチェンジ内でのダンプトラックによる運搬、盛土箇所での管理を以上のような方法で施工することにより経済性が確認できた。なお写真5、写真6は敷均し、締固めを行っている状況である。

7. 現在の工事進捗状況

20万 m^3 のうち18万 m^3 が施工完了しており90%の進捗率である。現場の施工条件により平成12年8月頃には建設廃物に関する工事を終える予定である。

8. 建設廃棄物再利用の条件

川越インターチェンジで建設廃棄物を有効に再利用できたのにはいくつかの条件があった。建設廃棄物の大部分が土砂とコンクリートガラであったこと、産業廃棄物の処分量が少なかったこと、高速道路建設にあまり強度が高くない下部路体があったこと、その数量が確保できたこと、運搬が川越インターチェンジ内で場内運搬できたこと、有害物質が検出されなかったこと、経済的に見込みがたったこと等再利用にあたって諸条件が満足したためである。今後の高速道路建設に建設廃棄物や産業廃棄物と関連することがあると思われるが、十分な調査および条件整理を行えば安全かつ経済的に施工を行える工事が多々あると思われる。

泥水シールド発生土の有効利用システム —埼玉高速鉄道線—

いしとくひろゆき
いわさきさきみつよし
いわむらたけうちゆうぞう
竹内雄三

1. 開発の経緯

泥水シールド工事に伴って大量に発生する掘削残土は、含水比が大きいことから「廃棄物の処理および清掃に関する法律」（以下「廃掃法」）において、産業廃棄物の無機性汚泥（建設汚泥）として取り扱われているが、含水比を低下させるなどの改良を行うことにより、盛土材料として再利用できる性質のものである。しかし、従来の脱水技術では含水比の低下に限度があることや、有償売却ができないことなどの理由によりリサイクルが困難な状況になっている。

埼玉高速鉄道プロジェクトでは、「廃掃法」に基づいて泥水シールド発生土を「再生利用の目的となる産業廃棄物」として埼玉県知事の個別指定を受け、発生土を減量化するとともに、再生して盛土材料として利用することにより建設コストの縮減を図り、かつ環境保全に寄与することを目標に掲げ、平成9年初めから具体的に取り組んできた。

一方、高含水比の汚泥の脱水技術については、平成4年度から建設省の総合開発プロジェクトの「建設汚泥の高度処理・再生利用技術の開発」に関する研究が、土木研究所、先端建設技術センターおよび民間企業22社により進められており、平成9年3月に建設省霞ヶ浦工事事務所、土木研究所、先端建設技術センターにより浚渫汚泥を対象として実施された高圧薄層型フィルタープレス試験機の公開試験を見学し、高圧薄層型フィルタープレスの泥水シールド発生土への利用が可能である感触を得た。

この建設省プロジェクトで開発された高圧薄層型フィルタープレスの泥水シールド発生土への適用の可能性を把握するために、開発主体の了承を得てこの試験機を借用し、平成9年5月に埼玉高速鉄道線赤山工区において脱水試験を実施し、従来型フィルタープレスと比較して低含水比で高強度の脱水ケーキが生成されることを確認した。

また、この脱水ケーキは鋭敏な性質を持っており、同時に実施した盛土試験において転圧回数増加とともに強度

が低下する傾向が見られ、大きな支持力を必要とする盛土に利用する場合には、強度を保持するため何らかの方法で改良することが必要であることを確認した。

このため、高圧薄層型フィルタープレスの実用化と、環境に影響を及ぼすおそれのない改良材の開発をテーマとして、発生土改良システムを開発していくこととした。

2. 埼玉高速鉄道線の概要

埼玉高速鉄道は、平成4年3月に設立された第三セクター「埼玉高速鉄道株式会社」を事業主体として、営団赤羽岩淵を起点として荒川河底下を横断して埼玉県に入り、川口市、鳩ヶ谷市を經由して川口市北部のJR武蔵野線東川口駅に接続し、浦和市東部の大門に至る延長14.6kmの地下鉄道であり、完成後は営団南北線と相互乗り入れし、都心部を經由して東急目蒲線に接続する計画で、平成13年3月開業の予定である。

この路線には、川口元郷、南鳩ヶ谷、鳩ヶ谷、新井宿、戸塚安行、東川口、浦和美園の7つの駅が建設されており、車両基地を併設する浦和美園を除く6駅が地下駅となっている。

この路線の建設は、起点側の赤羽岩淵・鳩ヶ谷中央駅間の6.2kmが埼玉高速鉄道(株)から委託を受けた帝都高速度交通営団が、鳩ヶ谷中央駅終端部から浦和美園駅までの8.4kmを民鉄線方式により日本鉄道建設公団が施工するとともに、浦和美園駅および併設する車両基地部分については、鉄道公団の委託を受けて埼玉高速鉄道(株)が施工している(図1)。

平成11年9月にシールドトンネルの全線が貫通するとともに駅構造物の構築が完了し、現在は軌道、電車線、信号、旅客施設などの設備工事を進めているところである。

鉄道公団施工区間の構造物は、3箇所地下駅、4箇所シールドトンネル、さらに地上部とのアプローチ構造物である箱型トンネル、U型擁壁があり、シールドトンネル工区の延長は1.0~2.3kmで、最長工区はこれまでの地下鉄複線シールドトンネルにおいて最も長いものになっている。

シールドトンネルの直径は、セグメント外径で9.5m、土

* 日本鉄道建設公団 関東支社 川口鉄道建設所 副所長

** 日本鉄道建設公団 関東支社 設備部機械課 補佐

*** 小野田ケミコ(株) 基礎工部 部長

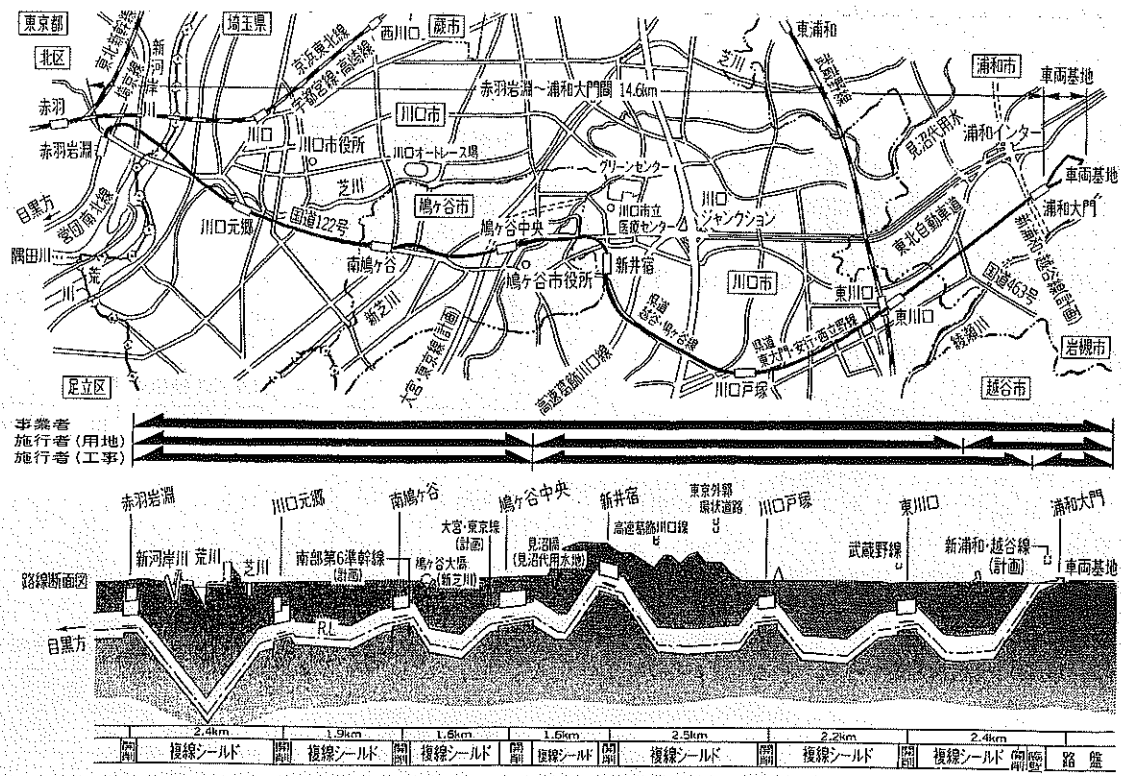


図1 埼玉高速鉄道線概要図

表1 シールド区間延長と発生土量

工区	延長	掘削土量
桜町T	$L=1,026\text{ m}$	$V \approx 76,000\text{ m}^3$
赤山T	$L=2,252\text{ m}$	$V \approx 166,000\text{ m}^3$
戸塚T	$L=1,948\text{ m}$	$V \approx 144,000\text{ m}^3$
大門T	$L=1,653\text{ m}$	$V \approx 120,000\text{ m}^3$
計	$\Sigma L=6,879\text{ m}$	$\Sigma V \approx 506,000\text{ m}^3$

表2 フィルタープレス比較試験結果概要

項目	従来型	高圧薄層型
脱水圧力	$0.5 \sim 0.7\text{ N/mm}^2$	1.5 N/mm^2
ケーキ厚	$30 \sim 35\text{ mm}$	20 mm
脱水時間	65 min	40 min
ケーキ含水比	57%	48%
コーン指数	0.4 N/mm^2	1.5 N/mm^2
泥水処理量	3.66 m^3	4.22 m^3
ケーキ発生量	$0.36\text{ m}^3/\text{m}^3$	$0.31\text{ m}^3/\text{m}^3$

被りは5~34 m, 地質は一部が沖積粘性土および砂質土層と大宮砂層で, 大部分が東京層の砂層(一部礫層)および粘性土層であり, 発生土量は約500,000 m³である。

各シールド工区の延長と発生土量を表1に示す。

3. 高圧薄層型フィルタープレスの実用化

建設省総合開発プロジェクトにおいて開発してきた高圧薄層型フィルタープレスと従来型フィルタープレスとの比較試験を実施した結果の概要は, 表2に示すとおりである。

上記の試験結果は, 泥水シールド排泥水(含水比230%)を凝集剤無添加で脱水したものであり, 高圧薄層型は従来型に比べ, 脱水時間が60%に短縮されるとともに脱水ケーキの含水比が約10%低減され, コーン指数は約4倍のものが得られている。さらに, 泥水処理量1 m³当たりの脱水ケーキ発生量が約15%削減されている。

高圧薄層型は, 従来型に比べて2~3倍の高圧力で2/3の厚さの脱水ケーキを生成するものであり, 従来型の脱水ケーキが内部まで脱水されず中央部に含水比の高い部分が残る欠点を解消することを可能にしたものである。

また, 従来型では脱水時間を短縮するために, 凝集剤

(PAC)を泥水に含まれる物質量の2~3%程度を添加してきたが, 高圧薄層型では凝集剤を添加しなくても必要な脱水サイクルが確保できる見とおしを得た。

この結果をもとにして, 高圧薄層型フィルタープレスの実用機の標準設計仕様を決定した。

4. 中性無機系改良材の開発

フィルタープレスの脱水ケーキは繰り返すと強度が低下する鋭敏な性質をもっており, 高圧薄層型の脱水ケーキでは, ケーキ生成後のモールドとケーキを解砕した盛土状態とでは, コーン指数: q_c が1/3 ($1.5 \Rightarrow 0.5\text{ N/mm}^2$)に減少する結果が得られている。

高圧薄層型フィルタープレスによって生成された脱水ケーキを汎用性のある盛土材料として有効利用するためには, 撒き出した上を人が歩ける程度の強度($q_c \geq 0.4\text{ N/mm}^2$)を確保する必要があるが, ダンプトラックが走行できる程度の強度($q_c \geq 0.7\text{ N/mm}^2$)が確保できればさらに望ましい。

含水比の大きい発生土の強度を増加させるための改良材

は、これまで主としてコスト対効果の面からセメント・石灰系改良材が多く用いられてきたが、改良土がアルカリ性となるため、盛土利用場所の環境によっては水質を汚染する可能性がある。

また、中性の改良材として有機系高分子材料があるが、腐食や有機汚染 (BOD, COD) が発生する可能性が否定できない。

このため、環境に影響を及ぼすおそれのない改良材が要求されることになり、従来多く用いられてきたセメント・石灰系改良材に代わる中性無機系改良材の開発を進めることが必要となった。

泥水シールド発生土は、排泥水を振動篩により砂分の多い一次処理土を分離したのち、高圧薄層型フィルタープレスにより 0.075 mm 以下の細粒分を二次処理土 (脱水ケーキ) として排出する。この一次処理土と二次処理土の混合土が改良の対象となり、掘削断面内の土層の種類およびその構成比率の変動などにより改良対象土の性格が変化することになる。

開発する中性無機系改良材の具備すべき条件を次のように設定した。

- ① 改良土の pH が、水質汚濁防止法に定める水質基準の 5.8~8.6 の範囲内にあること。
- ② 土壤汚染に係わる環境基準に定める有害物質を含まないこと。
- ③ 改良土の強度が、搬出時に建設省令に定める第三種建設発生土の条件 (コーン指数 0.4 N/mm² 以上) を満足するとともに、造成時に受入先の条件 (コーン指数 0.7 N/mm² 以上) を満足すること。
- ④ 改良土が農業に係わる耕作土としての適正があること。
- ⑤ 改良材の添加量が、発生土量を極力抑制するためにできる限り少量であること。
- ⑥ 改良材のコストが、セメント・石灰系改良材に匹敵するものであること。

これらの条件を満足するものとして、鉄道公団とメーカーとが共同で、すでにシールドトンネルの裏込注入材として開発していた 2 液改良材に強度増加のための粉体を加えた中性無機系改良材のプロトタイプ (ST-エコロー-T) を開発した。これをもとに実施段階で改良対象土の性格にあわせて段階的に改良を加えて液体と粉体で構成する 2 種類の改良材 (ST-エコロー-Y, ST-エコロー-K) を開発するとともに、砂質土が卓越した地盤に対応する粉体単体の改良材を含め計 4 種類の改良材を使用してきた。

4 種類の改良材の構成要素は表 3 に示すとおりであり、これらの組み合わせは表 4 に示すとおりである。

改良材 A (ST-エコロー-T) は、液体 A、B と粉体 T (焼結石膏 3 : 炭酸カルシウム 7) との 2 液 1 粉体で構成するプロトタイプの改良材である。

改良材 B (ST-エコロー-Y) は、粉体を T から Y (焼結石膏 7 : 炭酸カルシウム 3) に変更した 2 液 1 粉体の改良材であり改良材 A に比べて高い強度の改良土が得られる。

改良材 C (ST-エコロー-K) は、改良システムの省力化を

表 3 改良材の構成要素

名称	主成分	pH	記 事
液体 A	珪酸カリウム・ナトリウム	≒ 12	A : B = 3 : 1 で
液体 B	磷酸・硫酸アルミニウム	≒ 2	pH ≒ 7.5 となる
粉体 T	焼結石膏・炭酸カルシウム	≒ 7	石膏 3 : 炭カル 7
粉体 Y	焼結石膏・炭酸カルシウム	≒ 7	石膏 7 : 炭カル 3
粉体 K	過磷酸石灰	≒ 3	
粉体 S	微粉末石膏	≒ 7	比表面積 8000 以上

表 4 改良材の種類と構成

種別	A 液	B 液	T 粉	Y 粉	K 粉	S 粉
改良材 A	○	○	○	—	—	—
改良材 B	○	○	—	○	—	—
改良材 C	○	—	—	—	○	—
改良材 D	—	—	—	—	—	○

表 5 標準的な配合による改良土の性状例

改良材種別	1 m ³ あたりの添加量			改良土の性状	
	A 液	B 液	粉体	pH	コーン指数
改良材 A	7.5 l	2.5 l	20 kg	8.0	0.85 N/mm ²
改良材 B	7.5 l	2.5 l	10 kg	7.6	1.05 N/mm ²
改良材 C	10.0 l	—	8.5 kg	7.6	1.25 N/mm ²
改良材 D	—	—	100 kg	7.4	0.79 N/mm ²

- 1) 改良材 A, B, C の発生土の含水比は 55~58%, 一次処理土と二次処理土の比率は 3 : 7 である。
- 2) 改良材 D の発生土は含水比 36% の一次処理土である。
- 3) 改良土のコーン指数は、3 時間経過後の値である。

図る目的で、2 液のうち B 液の機能を粉体に持たせるために粉体 K (過磷酸石灰) と A 液とで構成する 1 液 1 粉体の改良材であり、改良材 B に比べて高い強度の改良土が得られる。

改良材 D は、砂質土が卓越した地盤で砂分の多い一次処理土が多い発生土に対応するものであり、比表面積が 8000 cm²/g 以上の微粉末石膏である。

改良材の標準的な配合による改良土の性状の例を表 5 に示す。

改良の対象となる発生土は、シールド掘削断面内の土層の構成により、振動篩により分級される砂分の多い一次処理土と高圧薄層型フィルタープレスで処理する二次処理土の比率が変化する。

一次処理土に含まれる水分のほとんどが表面水であり、これと反応するために改良材が多く消費されることになるが、二次処理土は土粒子中に貯存する水分が多く反応の対象となる遊離水が少ないため、少量の改良材で効果的な改良が可能である。

改良材 A を用いて、一次処理土と二次処理土の比率による改良材添加量と改良土コーン指数の例を表 6 に示す。

一次処理土と二次処理土の比が 5 : 5 を超えて一時処理土が増加すると、改良材添加量がある程度増加しても改良土強度が増加していかない傾向があり、必要な強度を有する改良土を経済的に得るためには、泥水処理ラインの中で

表6 発生土比率による改良材A量と改良土コーン指数

発生土の比率	一次土含水比	改良材添加量 改良土1m ³ あたり			コーン指数 (N/mm ²)	
		A液	B液	粉体	3H	24H
一次:二次	(%)					
3:7	30.2	7.5 l	2.5 l	10 kg	1.32	1.66
5:5	30.2	7.5 l	2.5 l	10 kg	0.92	1.35
6:4	30.2	12.0 l	4.0 l	15 kg	0.73	1.66
7:3	30.2	15.0 l	5.0 l	20 kg	0.56	1.46
8:2	30.2	18.0 l	6.0 l	25 kg	0.39	1.10

一次処理土量を少なくし、高圧薄層型フィルタープレスで処理する二次処理土をできるだけ多くするシステムの構築が必要になってくる。

改良材の安全性については、改良材を構成する成分が一般家庭で使用するものや食品添加物、畜産飼料および農産肥料に用いられているものであり、「金属などを含む産業廃棄物に係わる判定基準を定める総理府令」により改良材単体および改良土について分析計量を実施した結果、計量項目にある重金属などを含有しないことを確認している。また、改良土を用いた植物育成試験および魚類の毒性試験を実施し、その安全性を確認している。

5. 発生土改良システムの開発

高圧薄層型フィルタープレスによって生成された二次処理土（脱水ケーキ）と一次処理土を混合し、新たに開発した中性無機系改良材を添加・混練して盛土材料となる改良土を製造する発生土改良システムの検討を進めてきた。

発生土改良システムを構成するために、従来の泥水処理

設備ラインを追加・変更することが必要であり、この変更部分の設備について鉄道公団が標準仕様を定めて各シールドトンネル請負者に提示し、請負者はこの標準仕様をもとに各工区の施工条件に合わせて具体化し、設備を構成した。

発生土改良設備の標準仕様は表7に示すとおりである。

従来の泥水処理設備からの主な追加・変更点は、次のとおりである。

- ① 従来型フィルタープレスを高圧薄層型に変更した。
- ② 2液1粉体の改良材を順次添加するための改良材供給設備を追加した。
- ③ 二次処理土をこぶし大以下にするための解砕機を追加した。
- ④ 一次処理土と二次処理土を混練するための混練機を追加した。

発生土改良システムを付加した泥水処理設備フロー図を図2に示す。

表7 発生土改良設備の標準仕様

名称	標準仕様
フィルタープレス	高圧薄層型、濾過圧力1.5 N/mm ² 以上、ケーキ厚20 mm程度、容積11 m ³ 程度、自動洗浄・自動解砕装置付き
打ち込みポンプ改良材設備	スクイズポンプ圧力1.5 N/mm ² 以上 液体タンク：10 m ³ ×2基 粉体タンク：30 t×1基 供給装置：可変容量ポンプまたは可変容量スクリーコンベヤ
解 砕 機	処理能力：80 m ³ /H程度（二次処理土をこぶし大以下に解砕すること）
混 練 機	パドルミキサ：120 m ³ /H程度

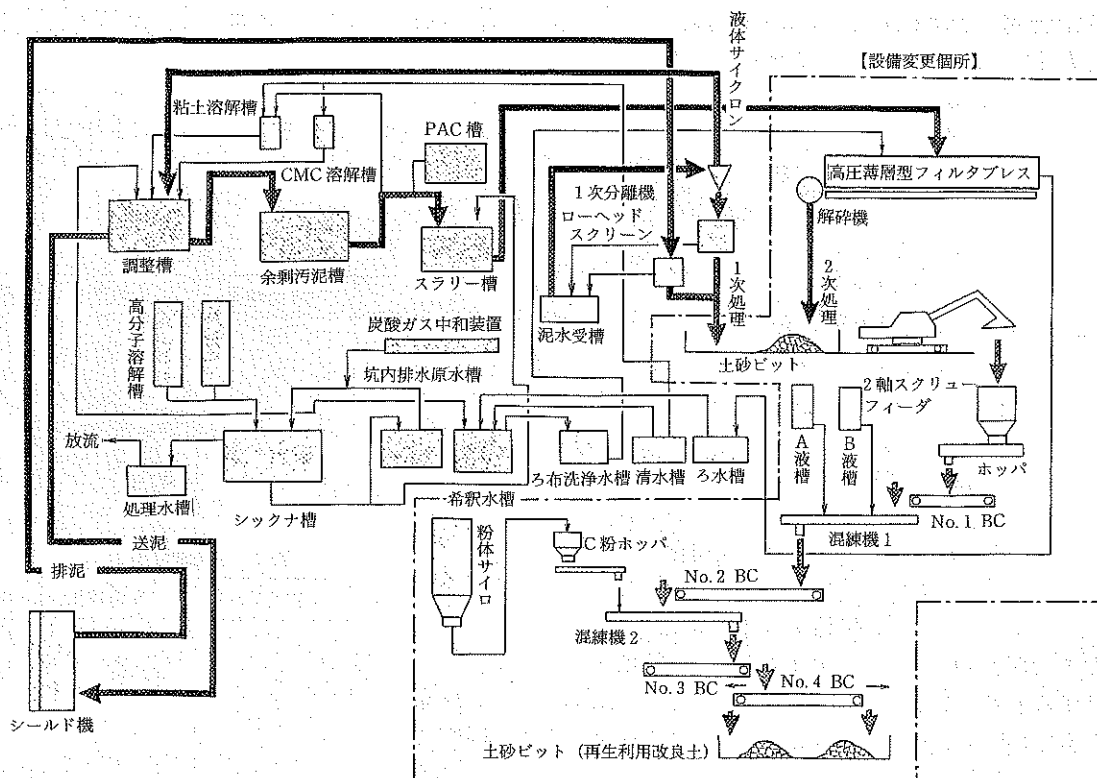


図2 泥水処理設備フロー図

発生土改良システムを運用する中でさまざまな問題点が生じてきたが、そのつどそれらを解決するための対応策を講じてきた。それらの主なものは次のとおりである。

5.1 砂質土が卓越した土層対策

砂質土が卓越した土層では、一次処理土が増加し、二次処理土が減少する。一次処理土に含まれる水のほとんどが表面水であるため、これと反応するために改良材が多く消費される。とくに一次処理土の含水比が35%を超えると発生土の強度を確保するために改良材消費量が急激に増加する傾向がある。

このような土層では、二次処理土をできるだけ増加させるために液体サイクロンポンプの流速を低下させて分級点を上げ余剰泥水を増加させる措置を実施しても改良材の大量添加が避けられないため、液体改良材を用いず粉体のみの改良材Dで対応するとともに、低廉な1液1粉体の改良材Cの量産化を進め対応することとした。

5.2 硬質粘性土層対策

硬質粘性土が挟在する土層では、掘削された粘土塊が排泥水中に溶けずに、含水比の高い粘土塊が一次処理土として排出されるため、一次処理土の含水比の増加と二次処理土の減少をもたらすことになる。

このため、排泥水ラインにスライサーポンプを挿入して硬質粘性土塊を解砕し、排泥水への溶解を促進させる措置をとり二次処理土の増加に効果をあげることができた。

同一土層でスライサーポンプ稼動前と稼動後を比較した例では、一次処理土と二次処理土の比率が8:2から6:4程度に改善されている。

5.3 硬質粘性土層と砂礫層が混在する土層対策

硬質粘性土塊対策として前述のスライサーポンプが効果をあげてきたが、砂礫層が混在する場合にはスライサーポンプの羽根が損傷するため使用できない。

このため、新たに鋼棒回転体の中に排泥水を通過させる形の砂礫にも耐えられるクラッシュポンプを開発し、スライサーポンプを超える良好な成果をあげることができた。

5.4 自然含水比の大きい粘性土層対策

当該区間の粘性土の自然含水比は通常50%以下であるが、一部に真比重が小さく自然含水比が80%を超える粘性土が存在する。

これは腐食土系の粘性土でありフィルタープレスによる脱水効果が出にくい性質をもっており、この土層が卓越すると二次処理土の含水比が高くなり、改良材使用量が増加することになる。

このため、フィルタープレスに供給する排泥水に凝集剤(PAC)を添加して脱水効果を向上させるとともに、施工サイクルを維持する中で、できるだけ脱水時間を確保して二次処理土の含水比を低下させる措置をとり、改良材の使用量を抑制することとした。

6. 発生土改良システムの管理

シールド掘進に伴い変化する土層に対応して、良質な改良土を経済的に得ることとシステムの改良点を把握することを目的として発生元において「日常管理」と「定期管理」を実施することとした。

また、発生元における管理のほか改良土の受入先における盛土の品質管理として受入条件に応じた管理を行う必要があるとともに、改良土が目的地に確実に搬入されていることを確認するための運搬車両の運行管理を確実に実施することとした。

日常管理は改良土のpHおよび強度が管理基準値を満足していることを確認するために毎日実施するものであり、定期管理は主に環境に対する安全性に係る要素の計量を主目的として3カ月ごともしくは土質の大幅な変化のつど実施するものである。

このほかに、通常のシールド掘進におけるシールド機の運転管理、泥水管理および泥水処理設備の運転管理を行っており、とくに下記に示す高圧薄層型フィルタープレスの運転管理データを、システムを効率的に稼働させるために活用してきた。

- ① フィルタープレスの脱水サイクルタイム
- ② フィルタープレスに送られる原泥水の比重
- ③ 脱水ケーキの含水比
- ④ 凝集剤(PAC)の添加量

目的とする改良土を安定的に製造していくために、日常管理データを監視・評価して速やかに対応することが必要である。このため評価すべきデータとして主として下記の項目を重点的に管理してきた。

- ① 一次処理土量と二次処理土量の比率
- ② 改良土のコーン指数
- ③ 改良土のpH
- ④ 二次処理土のコーン指数

重点管理項目の管理手法の概要は次のとおりである。

表8 日常管理項目

項目	一次処理土	二次処理土	改良土
土量の比率	○	○	—
pH	○	○	○
コーン指数	○	○	○
一軸圧縮強度	—	—	○
改良材添加量	—	—	○

表9 定期管理項目

項目	一次処理土	二次処理土	改良土
単位体積重量	○	○	○
含水比	○	○	○
粒度組成	○	○	○
金属等含有量	—	—	○
BOD, COD	—	—	○

6.1 一次処理土量と二次処理土量の比率

一次処理土量と二次処理土量の比率に変化が見られた場合には、データの蓄積によりあらかじめ設定しておいた改良材の種別や配合モードの中で、対応するモードに変更することを判断することになり、改良土のコーン指数や pH などの要素を勘案して決定する。

6.2 改良土のコーン指数

改良土のコーン指数が過大もしくは過小になる傾向が見られた場合には、改良材添加量を変更することを判断することになる。

コーン指数の変化は、土層の変化やシステムの不具合により発生土の比率や性状が変化することが原因であり、改良材の種別や配合モードを選択する。また、システムの不具合に起因する場合には原因を明らかにしてシステムを正常に戻す措置をとる。

6.3 改良土の pH

掘削する土層の性状、裏込め注入材料の泥水への混入あるいは凝集剤の添加などの原因によって、発生土の pH が変化して改良土の pH に影響を及ぼすことがある。

改良土の pH が変化する傾向が見られた場合には、基準値の範囲を超えることのないように調整していく必要がある。

改良土の pH 調整方法として、改良材 A および B では液体改良材 (A 液, B 液) の添加量を変化させる方法がある。通常はアルカリ性の A 液と酸性の B 液を 3:1 の比率で中性としているが、発生土の pH が小さくなれば A 液, 大きくなれば B 液の添加量を多くすることで pH を調整する。

改良材 C ではアルカリ性の液体改良材 (A 液) と酸性の粉体改良材の添加量を変化させることで対応する。

6.4 二次処理土のコーン指数

シールド施工サイクルの中でフィルタープレスの稼働状況によっては二次処理土の含水比が増加してコーン指数が低下し、改良土の強度に影響を及ぼす場合がある。これは、余剰泥水量に対してフィルタープレスの処理能力が不足していることであり、腐食土系の高含水比の土層が混在していることや掘進速度と処理サイクルのアンバランスおよび濾布の目詰まりなどによるフィルタープレスの能力低下などが原因として考えられる。

フィルタープレスが通常の稼働状態で処理能力を超える場合は、処理サイクルを向上させるために凝集剤 (PAC) を添加することや、施工サイクルを維持する中でできるだけ脱水時間を確保して二次処理土の含水比を低下させる措置をとる。

目的とする改良土を製造するために、これらの重点管理項目のほか、他の要素も勘案して総合的に管理してきた。

7. 発生土改良の実績

4 工区の発生土改良実績を表 10～表 14 に示す。

表 10 改良材種別改良対象土量 (m³)

種別	桜町 T	赤山 T	戸塚 T	大門 T	計
改良材 A	—	12300	—	300	16600
改良材 B	62200	152700	—	71300	286200
改良材 C	—	—	—	42700	42700
改良材 D	13000	—	143700	—	156700
計	75200	165000	143700	118300	502200

表 11 改良材 A 平均添加量 (対象土量 1 m³ あたり)

改良材 A	対象土量 (m ³)	液体 A (m ³)	液体 B (m ³)	粉体 T (t)
赤山 T	12,300	121	48	390
大門 T	4,300	60	21	186
計	16,600	181	69	576
改良材平均添加量		10.9 l	4.2 l	34.7 kg

表 12 改良材 B 平均添加量 (対象土量 1 m³ あたり)

改良材 B	対象土量 (m ³)	液体 A (m ³)	液体 B (m ³)	粉体 Y (t)
桜町 T	62,200	308	56	2,090
赤山 T	152,700	2,220	764	5,450
大門 T	71,300	1,489	439	2,305
計	286,200	4,017	1,259	9,845
改良材平均添加量		14.0 l	4.4 l	34.4 kg

表 13 改良材 C 平均添加量 (対象土量 1 m³ あたり)

改良材 C	対象土量 (m ³)	液体 A (m ³)	液体 B (m ³)	粉体 K (t)
大門 T	42,700	667	—	696
改良材平均添加量		15.6 l	—	16.3 kg

表 14 改良材 D 平均添加量 (対象土量 1 m³ あたり)

改良材 D	対象土量 (m ³)	液体 A (m ³)	液体 B (m ³)	粉体 S (t)
桜町 T	13,000	—	—	929
戸塚 T	143,700	—	—	12,311
計	156,700	—	—	13,240
改良材平均添加量		—	—	84.5 kg

8. おわりに

埼玉高速鉄道線のシールド発生土改良システムは、実稼働の中で改良を進めながら順調に進捗し、鉄道公団施工区間において約 500,000 m³ の発生土を改良し、改良土を土地区画整理事業を中心とした 13 カ所の受入先で再利用することによって、工事行程の確保と建設費の縮減に大幅に寄与することができた。

東京国際空港新 B 滑走路リサイクル事業

やまぐち せい いち
山 口 清 一*
まつ した のぶ お 夫**
松 下 信 夫**

1. はじめに

東京国際空港（羽田空港）は、国内航空の最大拠点空港として全国 45 空港の間にネットワークを結び、国内航空旅客数の約 60% の年間 5,400 万人（平成 11 年度実績）の人々が利用し、我が国の経済・社会活動に重要な役割を果たしているところである。

現在、東京国際空港で整備を進めている沖合展開事業は、羽田沖合で東京都が整備していた廃棄物処理埋立地を空港用地として有効活用することにより、廃棄物処理事業と空港整備事業を両立させ、大首都圏の貴重なウォータフロントの高度利用を図り、全体計画を第 I 期～第 III 期事業に分けて段階整備を行い、順次完成した施設から供用を開始し、既存空港施設と併せて利用することで航空需要の増大に効率的に対応することとし、さらに規模の拡大により航空輸送力の向上を図り、3 本の滑走路を沖合に展開することで騒音問題の解消を図ることを目的としている。第 I 期事業では新 A 滑走路を昭和 63 年 7 月に供用し、第 II 期事業では西側旅客ターミナルを中心に空港利便施設やアクセス交通施設を整備し、平成 5 年 9 月に供用開始し空港機能を一新している。

第 III 期工事はさらに 3 ステージに分け、第 1 ステージでは新 C 滑走路を平成 9 年 3 月に供用し、滑走路処理能力を大幅に高めるとともに 24 時運用空港を可能としている。

第 2 ステージでは新 B 滑走路を平成 12 年 3 月に供用開始し、現在は最終仕上げである第 3 ステージで東旅客ターミナル地区の整備が最盛期を迎えている。

本編は 3 月に供用開始した新 B 滑走路舗装に使用した旧空港地区で発生したアスファルト塊のリサイクル事業について報告する。

2. 設計条件等

(1) 新 B 滑走路の役割

- ① 南風時（横風）の着陸用滑走路として計画する。
- ② 東京国際空港の滑走路処理能力を 23 万回/年から 25.5 万回/年に向上させる。
- ③ 旧 B 滑走路から沖側に 380 m 移転することによって、市街地における騒音問題の解消を図る。

(2) 地盤条件

新 B 滑走路建設予定地の地盤条件の特徴として以下の点があげられる。

- ① 埋立履歴および地盤改良仕様の異なる地盤にまたがり、また、地下埋設構造物などが存在している。
- ② 多摩川河口三角洲であることから成層状態が不均一である。
- ③ Bs 層（建設残土層）は N 値が低く（ N 値=10 前後）、透水性が小さい（ 10^{-4} cm/sec オーダー）、さらに細粒分含有率が 10~40% とばらついている。



写真 1 東京国際空港全景

* 運輸省第二港湾建設局 東京空港工事事務所 所長
** 同 次長

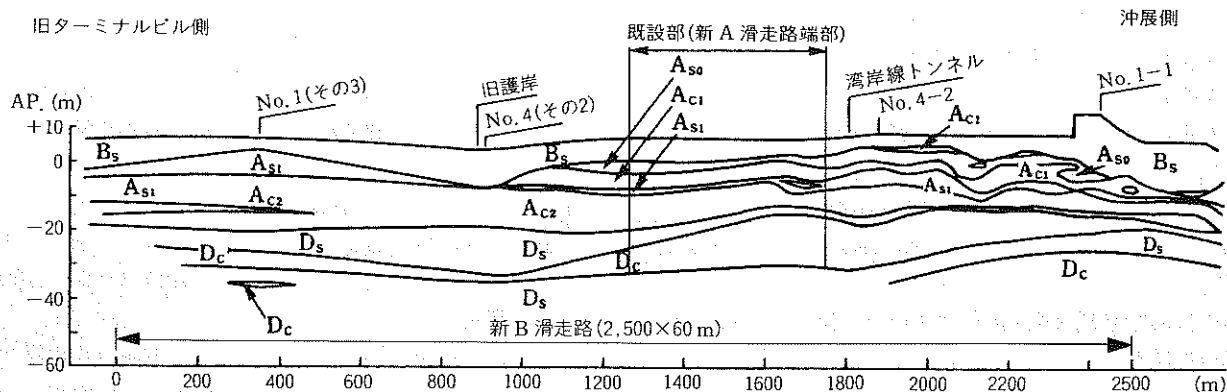


図1 地層断面図

- ④ As_1 層 (沖積砂層) も透水性が小さく (10^{-4} cm/sec オーダー), 細粒分含有率が 30~40% で高いが粒度のばらつきは比較的少ない。
- ⑤ 現状においても地下水位が高い (GL=1.0~-2.0 m 程度)。

図1は新B滑走路中心線における地層断面を示す。

(3) 盛土材料

空港内の建設残土を流用するため性状はBs層と同じである。

(4) 路床の支持力

新C滑走路に用いたものと同じ山砂で置換するため、路床の設計CBRを9%とした(一部流用山砂である)。

(5) 設計荷重および設計反復作用回数

- ① 設計荷重の区分はLA-1 (B-747-400) とする。
- ② 設計反復作用回数は10,000回とする。
- ③ 基準舗装厚は110cmとし、舗装区分は「空港アスファルト舗装構造設計要領」の定めるところによる。
- ④ 交通量配分に従えば減厚可能なエリアでも、耐震上必要となる部分については減厚しない。

(6) 整備の基本方針

新B滑走路 (2,500×60m) 整備の基本方針として、「耐震強化」と「建設発生材の有効活用」を挙げている。

3. 耐震強化について

平成7年1月の阪神・淡路大震災の教訓を踏まえ運輸省航空局において、有識者からなる「空港・航空保安施設耐震性検討委員会」を設置し検討が行われ、平成8年4月「空港・航空保安施設の耐震性について(最終取りまとめ)」により基本方針が示され、空港機能上重要な施設の地盤が液状化する場合においては液状化対策を実施することが述べられ、さらに震災時における空港輸送の役割を果たす観点から、重要度の高い空港では舗装構造も耐震性をもたせることが提言されている。

これを受けて新B滑走路では空港の位置等からプレート型地震を対象として入力地震動の最大加速度を383GAL(八戸・大船渡波形)で耐震設計を実施した。検討の結果、建設予定地の砂層(As_0 , As_1)や建設残土層(Bs)で液状化することが判明したことにより地盤改良を施し、国内初の耐震強化滑走路として整備することとした。同様

に西側ターミナル地区へ連絡する新A滑走路西側誘導路も緊急時に臨時滑走路としての機能可能な構造として液状化対策の地盤改良を行った。

地盤改良の範囲は、新B滑走路では延長2,500mのうち、ジャンボ機の離着陸に必要な延長2,275m、幅60mとし、液状化対策対象層は前述の検討結果のとおり建設残土層(Bs)、浚渫砂層(As_0)、沖積砂層(As_1)までとした。

地盤改良工法は、施工性、経済性、施工実績および大量施工に必要な施工機械確保の容易性等から、サンドコンパクション工法(SCP工法)を主流として実施した。湾岸道路トンネル、共同溝、幹線排水路等の既存地中構造物近傍施工には、セメント系固結工法の深層混合処理工法(CDM工法)、高圧噴射混合処理工法(JMM工法)、交差噴流式複合攪拌工法(JACSMAN工法)および軽量土混合処理工法(SGM工法)等を併用して実施した。

既設の新A滑走路と一部交差している区域の液状化対策は、新A滑走路の供用を停止することなく地盤改良が可能と考えられる工法を数種類選出し、旧空港地区アスファルト舗装区域において試験施工を実施し、液状化防止効果、既存アスファルト舗装への影響、施工規模、施工の確実性等の比較検討を行い、適用可能と判断された静的圧入締固杭工法(コンパクショングラウチング工法(「CPG工法」)および埋設管路周辺に浸透固化処理工法(恒久型薬液注入工法)を採用し夜間施工で実施している。

4. 建設発生材の有効利用

東京国際空港では、新C滑走路の供用開始に伴い旧空港地区の旧C滑走路や開連誘導路、エプロンが機能不用品となり、大量の空港舗装発生材が発生する。これらを再生処理し新設の新B滑走路および新A平行誘導路(西側)舗装に再利用することとし、その適用性について検討するため事前に室内試験および試験舗装走行試験を実施している。

4.1 旧空港地区舗装発生材の性状

旧空港舗装発生材の性状を確認するため、施工年代および舗装構造を「東京国際空港土木施設台帳」から調査、区分を行い、現地で実際に舗装片を採取して材料試験を実施した。

試験のねらいとしては、

- ① 現行の空港舗装品質基準を満たしているかどうか
- ② 施工年代による性状差の把握

の2点を挙げている。

品質基準については「空港土木工事共通仕様書」により、粗骨材は表乾比重、吸水率、すりへり減量、アスファルトは針入度、軟化点および伸度が規定されている。

施工年代による性状差については、舗装の施工年代を昭和30年代、40年代および50年代の3区分に分類し、それぞれの年代の空港舗装発生材について材料試験を実施し性状の違いを確かめた。

(1) アスファルトコンクリート再生骨材の性状

アスファルトコンクリート発生材から旧アスファルトを回収し、残った骨材のうち粗骨材に対して比重および吸水率試験、ロサンゼルスすりへり減量試験を実施した。

試験結果を表1に示す。

表1 アスファルトコンクリート再生骨材の性状試験

試験項目 施工年代	表乾比重	吸水率 (%)	すりへり 減量 (%)
30年代	2.669	1.03	14.4
40年代	2.694	0.92	17.4
50年代①	2.666	1.17	16.3
50年代②	2.634	1.13	13.5
品質規定*	2.45以上	3.0以下	35以下

*「空港土木工事共通仕様書」による品質規定

いずれの年代の再生粗骨材とも性状が良く、すべて新しい粗骨材の品質規定を満足していた。

(2) 旧アスファルトの性状

旧アスファルトの性状と再生用添加剤の添加による性状回復の程度を調べるため、針入度試験、軟化点試験および伸度試験を実施した。旧アスファルトは30年代、40年代、50年代の3種類を用いた。

試験の結果は旧アスファルトの針入度が21~41の範囲にあり、施工年代の古いほど性状が劣ることも判明した。次に再生用添加剤による性状回復を試みた。設計針入度は「プラント再生舗装技術指針」において目標とされている針入度50を設定した。

いずれの年代の旧アスファルトも再生用添加剤の添加による針入度50まで性状回復が可能であることが確認され、特に40年代、50年代の再生添加率は4~6%であった。また、針入度50に回復した再生アスファルトは軟化点および伸度についてもアスファルトの品質基準を満足していた。

以上の検討から旧空港地区舗装発生材は、骨材およびアスファルトとも良好な性状を有しており、再生加熱アスファルト混合物として適用する場合には新材と同等に扱えることが確認された。

(3) 再生材の適用範囲と再生骨材配合率の設定

既往の研究⁹⁾によると、赤外線吸収スペクトル分析では、再生材は供用後の老化の進行に伴う脆化傾向が著しくなるため問題があるとされている。このため、滑走路舗装の表層には使用せず、適用範囲を基層と路盤のアスファルト混

合物までとした。

再生骨材配合率は、旧空港地区から採取したアスファルト舗装の粒度試験結果、「空港土木工事共通仕様書」に示されるアスファルト舗装用粗骨材の粒度範囲を満たすためには、新しい骨材を30%補足する必要がある。一方、旧空港地区からの発生する舗装発生材量と今後の新B滑走路等の舗装工程から見込まれる使用量を検討した結果、再生骨材配合率を最大70%とした時に、両者のバランスが取れることが判明した。

以上の理由から再生加熱アスファルト混合物の再生骨材配合率については最大70%を目標値として設定した。なお、試験にあたっては再生骨材配合率による性状差を確認するため、70%、40%、0%（新材）の3種類を用いた。

4.2 再生加熱アスファルト混合物に関する室内試験

再生加熱アスファルト混合物を空港アスファルト舗装の基層および路盤に適用可能かどうかを検討するため、

- ① 再生材を用いた舗装の供用性（荷重分散効果）
- ② クラック、わだち掘れに対する破壊抵抗性
- ③ 長期耐久性

の3点を評価項目として、室内試験を実施した。室内試験内容を表2に示す。

表2 再生加熱アスファルト混合物に関する室内試験

目的	試験内容
供用性 (荷重分散効果)	マーシャル安定度試験 SHRPによるアスファルト評価試験
破壊抵抗性	曲げ試験 ホイールトラッキング試験
長期耐久性	水浸ホイールトラッキング試験 凍結融解試験 SHRPによるアスファルト評価試験

(1) 再生材を用いた舗装の供用性（荷重分散効果）

アスファルト混合物の配合設計については、我が国ではマーシャル安定試験が広く用いられて、空港アスファルト舗装構造設計要領においても、アスファルト混合物の品質がマーシャル安定度によって規定されている。

一方、アメリカの新道路研究計画SHRP (Strategic Highway Research Program) では、供用性との関連からの配合設計の研究が進められている。

これら2種類の配合設計における舗装の供用性を評価する試験から再生材の性状を確認した。

(a) マーシャル安定度試験

試験は、基層の再生粗粒度アスコン、路盤の再生加熱アスファルト安定処理路盤材の2種類についての全ケースを行った。

「空港アスファルト舗装構造設計要領」においてマーシャル安定度は、基層が900 kgf(8.8 kN)以上、路盤が500 kgf(4.9 kN)以上と規定されているが、すべてのケースにおいてこの規定を満足した。また、最適アスファルト量についても新材とあまり変わらない結果であった。

(b) SHRPによるアスファルト評価試験

SHRPによる加熱混合時の熱劣化を再現する試験およびアスファルトの評価試験を行った。

熱劣化前のアスファルト評価試験では、再生用添加剤を添加した再生アスファルトの性状回復の程度を確認し、熱劣化後のアスファルト評価試験では、再生アスファルトが加熱混合後に再生用添加剤の揮発等によって元の旧アスファルトの性状に戻らないかどうかの確認を行った。

供試体は、旧アスファルト(30年代, 40年代), 再生アスファルト(30年代, 40年代)および新アスファルト(ストレートアスファルト40~60)の5種類を作成した。試験方法は、回転式薄膜加熱試験(RTFOT)による熱劣化を供試体に与え、熱劣化前後の各供試体に動的せん断試験(DSR)を行った。そして、アスファルトのわだち掘れに対する抵抗性を表す指数である $G^*/\sin \delta$ と試験温度の関係求めた。

熱劣化前の試験結果より、各年代における旧アスファルトはSHRPによって提案されている供用性グレードが再生用添加剤を加えることによって新アスファルトの方向にシフトした。これは旧アスファルトが再生用添加剤によって性状が回復し、新アスファルトの性状に近づくことが確認された。

一方、熱劣化後の試験結果はいずれの供試体も劣化前の供用性グレードと変わっておらず再生アスファルトは熱劣化を受けても元の旧アスファルトの性状には戻らないことが確認される。

(2) 再生加熱アスファルト混合物の破壊抵抗性

空港舗装の破損の種類はクラックと変形が主なものであり、これらの発生状況を室内で再現し、再生材の破壊抵抗性を検討するため、曲げ試験およびホイールトラッキング試験を実施した。

(a) 曲げ試験

曲げ試験の供試体は、基層の粗粒度再生アスファルト混合物および上層路盤の再生加熱アスファルト安定処理混合物で作成した。

標準的なアスファルト混合物の曲げ強度は 100 kgf/cm^2 (9.8 N/mm^2)程度であり、曲げ強度が最大となる試験温度(脆化点)は $5\sim 10^\circ\text{C}$ である。

基層における試験結果を図2に示す。

いずれも曲げ強度は $90\sim 100 \text{ kgf/cm}^2$ ($8.8\sim 9.8 \text{ N/mm}^2$)であり、脆化点は 10°C 付近であった。

破断時ひずみについても、新材と再生材の差はほとんど見られなかった。

なお、上層路盤の曲げ強度、破断時ひずみについても基層とほぼ同様の結果であった。

(b) ホイールトラッキング試験

高温時のわだち掘れに対する基層の粗粒度再生アスファルト混合物の破壊抵抗性を評価するため、ホイールトラッキング試験を実施した。

「空港土木工事共通仕様書」では動的安定度DSに関する規定は設けられていないが、新東京国際空港公団の「土木工事共通仕様書」によると、空港舗装に対しては表3に示

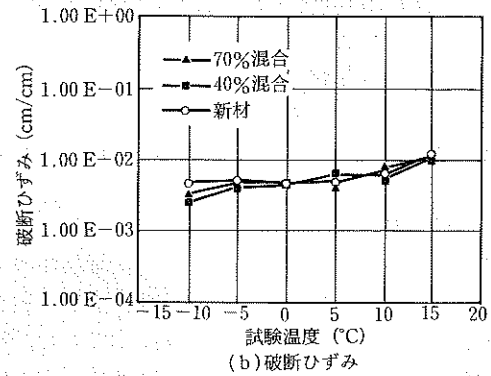
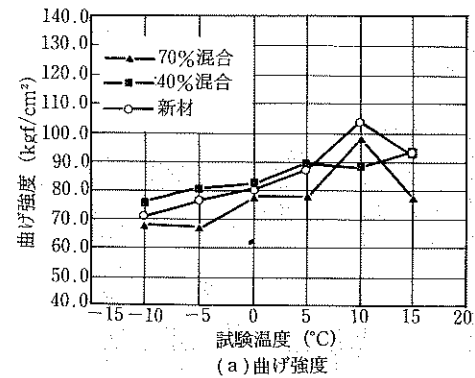


図2 曲げ試験

表3 ホイールトラッキング試験基準値

	表層混合物		基層混合物
	滑走路	誘導路	
動的安定度 回/mm	300以上	500以上	700以上

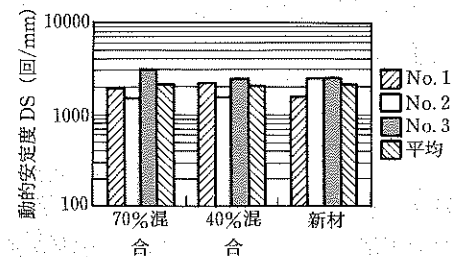


図3 ホイールトラッキング試験

す基準値が設けられている。

図3は試験結果を示す。

動的安定度DSはいずれの供試体とも1,000回/mmを超えており、空港舗装の基層として十分な破壊抵抗性をもつことが確認された。

(3) 再生加熱アスファルト混合物の長期耐久性

アスファルト混合物の劣化は、水、温度変化、酸素および紫外線によってもたらされる。このうち基層まで影響が考えられる水、温度変化、酸素による長期劣化を検討するため、水浸ホイールトラッキング試験、凍結融解試験、SHRPによるアスファルト評価試験の各試験を実施した。

(a) 水浸ホイールトラッキング試験

水分の浸入に起因する骨材とアスファルトの剝離に対す

る基層の再生粗粒度アスファルト混合物の抵抗性を評価するため、水浸ホイールトラッキング試験を実施した。

試験結果を図4に示す。

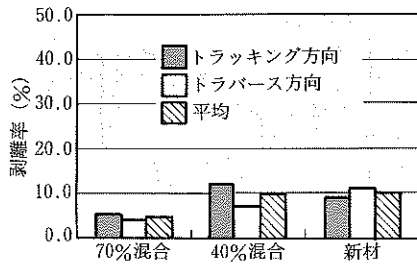


図4 水浸ホイールトラッキング試験

剥離率を見ると再生材の方が新材よりも低く、長期耐久性に優れているという結果になった。これは骨材とアスファルトは長期にわたって接着しており、新材よりもよくなじんでいるためと考察される。

(b) 凍結融解試験

温度変化の繰り返し作用によって生じる舗装体のゆるみに対する長期耐久性を把握するため、凍結融解試験を実施した。凍結融解サイクルは300サイクルまでとし、実際の東京国際空港の気候よりかなり厳しい悪条件下での再生材の性状を確認した。その試験結果を図5に示す。

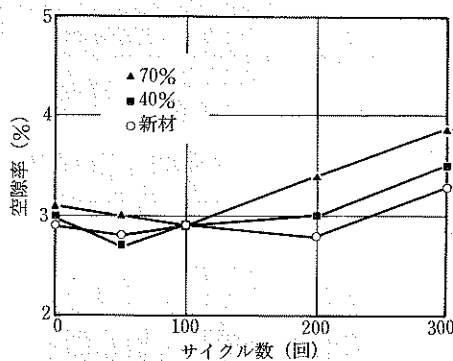


図5 凍結融解試験

凍結融解後の供試体の空隙率はすべて4%以下であった。空港での加熱アスファルト混合物の空隙率が3~6%であることを考えると、再生加熱アスファルト混合物は凍結融解作用に対する長期耐久性を十分有していると言える。

(c) SHRPによるアスファルト評価試験

SHRPによる長期の供用時のアスファルトの劣化現象を再現する試験およびアスファルトの評価試験を行い、再生アスファルトの長期劣化前後の性状を検討した。

試験方法は、促進加圧劣化試験 (PAV) の代替として薄膜加熱試験 (TFOT) を40時間実施し、長期劣化前後の供試体の動的せん断試験 (DSR) 結果から、アスファルトの疲労ひび割れのしやすさを表わす指標である $G^* \sin \delta$ と試験温度との関係を求めた。

供試体は、旧アスファルト (30年代, 40年代), 再生アスファルト (30年代, 40年代) および新

アスファルト (ストレートアスファルト 40~60) の合計5種類を用いた。試験の結果を図6に示す。

これらからアスファルトの供用性を比較すると、長期劣化前では新アスファルト, 再生アスファルト, 旧アスファルトの順に高かったが、長期劣化後には新アスファルトおよび再生アスファルトがともに低下し、旧アスファルトの供用性と重なる結果となった。

このことは、再生アスファルトは長期供用後には旧アスファルトの性状に近づくが、新アスファルトについても同様であることが確認できる。

4.3 試験舗装走行試験

室内試験から適用可能であると判断された再生材について、滑走路舗装に適用した場合の構造安定性を新材断面と比較するため試験舗装を実施した。

試験舗装断面は、新B滑走路への適用を考慮して、路床の設計CBR9%, 設計荷重LA-1, 設計反復作用回数は10,000回として設計し、7断面を施工したがここでは本論文の趣旨に合致する3断面について報告するもので、表4に示す。

試験の主なねらいとしては、以下の2点をあげている。

① 舗装材料が異なることによる比較

新材断面 (A断面) と再生材断面 (B-2断面)

② 舗装構造が異なることによる比較

新材断面 (A断面) と再生フルデプス断面 (C-1断面)

試験ヤードは、東京国際空港沖合展開地区内に延長227m, 幅10mの舗装面積で設置し、走行試験を実施した。

走行試験は、設計荷重LA-1に相当する脚荷重92.8tf (909kN), タイヤ接地圧14.1kgf/cm² (1.38N/mm²)の原型走行荷重車を往復走行させ、0回, 1,000回, 2,000回, 5,000回, 7,000回, 10,000回の各走行回数ごとに、土圧, 変位, たわみ量, 路面形状および解体での塑性変形量等の測定を行った。

これらの測定結果を図7~14に示す。

a) 新材断面と再生材断面の比較 (A断面とB-2断面)

b) 構造が異なることによる比較 (A断面とC-1断面)

図7~図14の結果を基に考察されることは以下のとおりである。

① 新材断面と再生材断面の比較

(応力分散効果)

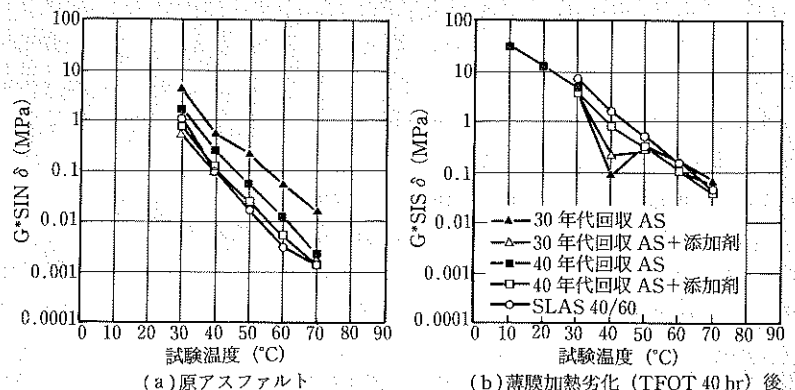


図6 SHRPによるアスファルト評価試験 (TFOT 40hr)

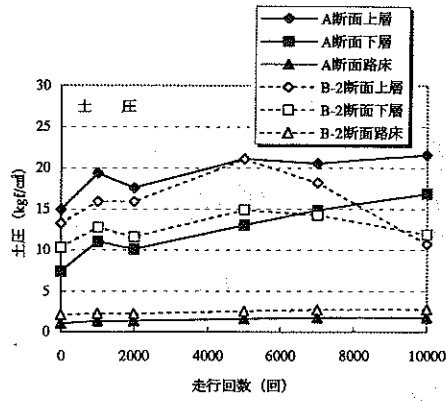


図7 静的載荷試験結果

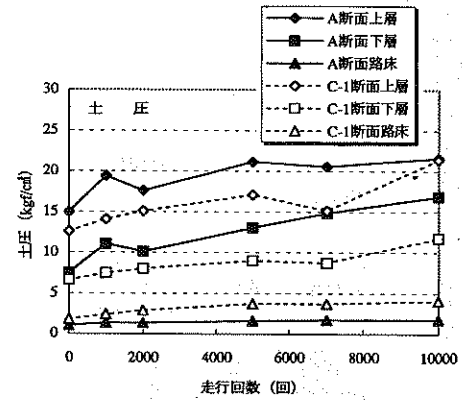
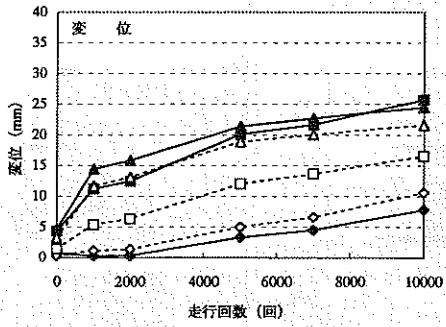


図11 静的載荷試験結果

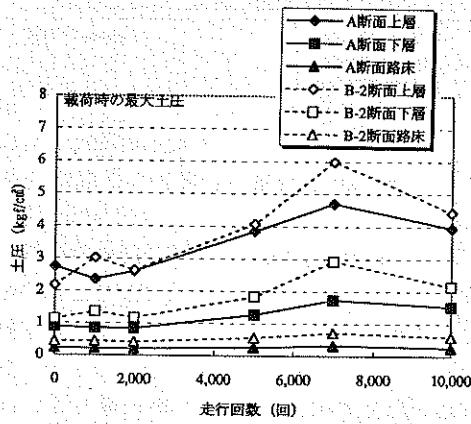
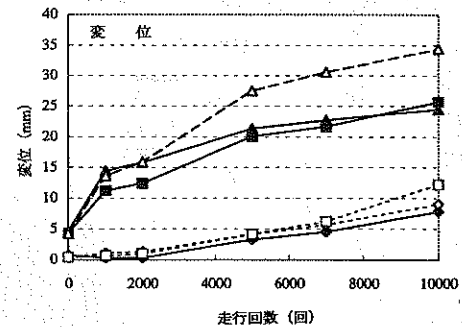


図8 FWD試験による土圧計測定結果

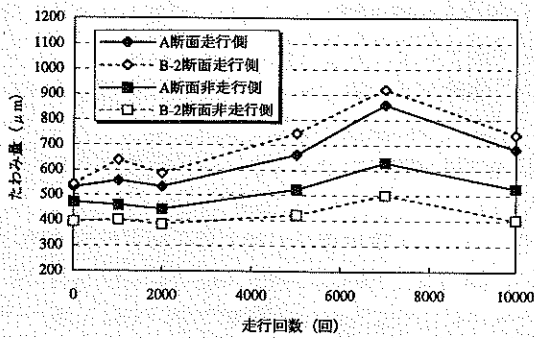


図9 FWD試験によるたわみ量測定結果

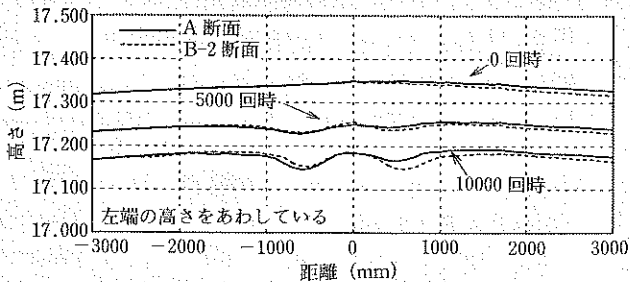


図10 路面形状測定試験によるわだち掘れ量測定結果

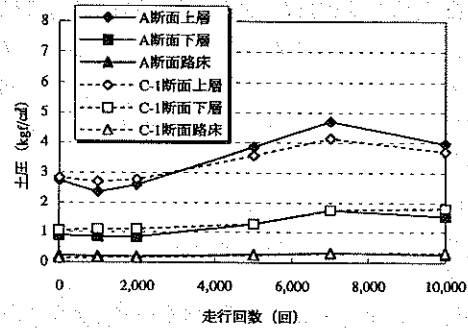


図12 FWD試験による土圧計測定結果

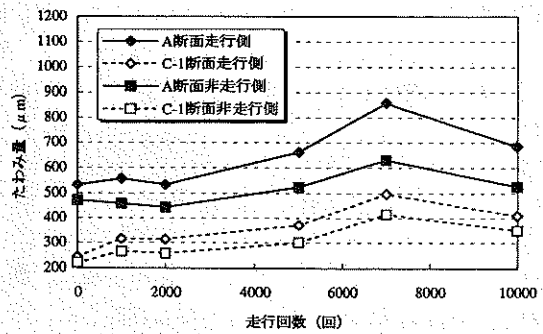


図13 FWDによるたわみ量測定結果

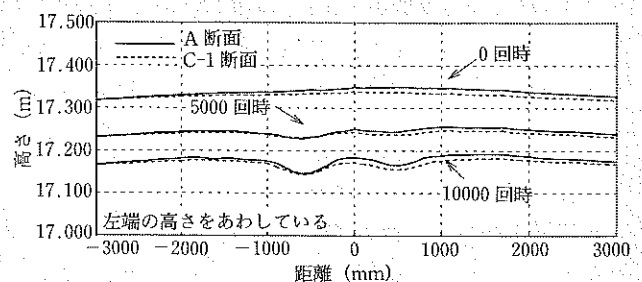


図14 路面形状測定試験によるわだち掘れ量測定結果

表4 試験舗装断面

区分	新材断面 (比較断面)	リサイクル材活用断面	
断面概要	<p>全て新材で標準断面 表層：密粒アスコン，基層：粗粒アスコン 上層路盤：アスファルト安定処理 下層路盤：クラッシャーラン</p> <p>各断面の比較断面として，通常の新材を用いて標準断面を設定</p>	<p>再生標準断面 表層：再生密粒アスコン (40%) 基層：再生粗粒アスコン (70%) 上層路盤：再生 AS 安定処理 (70%) 下層路盤：アス：コンの混合路盤 (アス：コン=2：8)</p>	<p>再生フルデプス断面 表層：再生密粒アスコン (40%) 基層：再生粗粒アスコン (70%) 上層路盤：再生 AS 安定処理 (70%) 下層路盤：再生 AS 安定処理 (70%) (上層はマーシャル安定度 500 kgf，下層はマーシャル安定度 350 kgf として設計)</p>
断面 NO.	A	B-2	C-1
舗装構成	<p>厚さ (cm)</p> <p>4 表層 新 11 基層 新 15 上層路盤 アスファルト安定処理 新 65 下層路盤 クラッシャーラン 新 200 路床 山砂 新</p>	<p>4 表層 再 11 基層 再 15 上層路盤 アスファルト安定処理 再 33 下層路盤 セメントコンクリート破砕材 アスファルトコンクリート破砕材 再 200 路床 山砂 新</p>	<p>4 表層 再 11 基層 再 15 上層路盤 アスファルト安定処理 再 33 下層路盤 アスファルト安定処理 再 200 路床 山砂 新</p>

■ 土圧計，変位計

静的載荷試験と FWD 試験での土圧計の測定値は定量的にみると，舗装表面上の載荷応力の違い，もしくは計測上の問題で異なっているが，A, B-2 断面での材料が異なることでの違いは大差ない。特に路床上面での測定土圧は変わらない結果が得られている。

(舗装表面における違い)

たわみ量，わだち掘れ量とも大差ないが，傾向的には再生材断面の方が少なく測定されている。

② 構造が異なることによる比較

(応力分散効果)

舗装構造が違うために一概に比較にはならないが，路床上面の測定土圧は大差ない結果が得られている。特に FWD 試験での測定土圧は路床上面においてはほぼ同じ結果となっている。

(舗装表面における違い)

たわみ量，わだち掘れ量ともに若干であるが，フルデプス構造の方が少なく測定されている。

したがって，新材の基準まで再生した再生材は，新材と同様の応力分散効果，耐久性を有すると判断され，滑走路舗装材として適用は十分可能である。また，現行の設計要領で示されている等価値を用いて設計したフルデプス構造 (C-1 断面) は，今回標準断面として設定した A 断面と同様な効果を持つものと判断された。

4.4 新 B 滑走路舗装断面および流用材

新 B 滑走路標準断面を図 15 に示す。

新 B 滑走路および新 A 平行誘導路の舗装断面は，旧空港地区内で発生する舗装廃材を可能な限り空港内で再利用するという基本スタンスから，舗装体をアスファルト混合

物で構成する「フルデプス舗装構造」を採用し，基層粗粒度アスコン，路盤のアスファルト安定処理混合物に再生骨材配合率を 70% の再生加熱アスファルト混合物を使用することとなった。

「フルデプス舗装構造」は，基準舗装厚に対し舗装厚を薄くすることが可能で，土工量の低減および工種の単一化による工程短縮も図れる。今回はアスファルト安定処理路盤厚が 48 cm であることから，通常舗装での 1 層の舗装厚さが 10 cm 以下と定められているため 5 層あるいは 6 層の舗設作業が必要となるところを，「シックリフト工法」を導入し 1 層 16 cm 厚さで 3 層の舗設が可能となり，大量急速施工を可能として工程を大幅に短縮することができた。

一方，高地下水対策で導入した路床排水層のフィルタ層には，旧エプロン舗装で不用となったセメントコンクリート舗装発生材を空港内でコンクリート再生クラッシャーラン (RC 40~0) に加工し 100% 使用した。

空港外からの工事用資材の搬入量を極力低減を図ることから，旧舗装撤去と同時に撤去可能な碎石路盤材を新設舗装の遮断層に 100% 流用し，残量については工事用仮設道路および作業ヤード基盤に有効活用した。同様に発生路床材の良質な砂は約 60% の新設路床砂として流用し，修正 CBR 値 9% 以下の砂については埋設管路のクッション材や一部植生土へも流用している。

表 5 は新 B 滑走路で使用したリサイクル材を示す。

4.5 再生アスファルトプラントの設置

再生加熱アスファルト混合物の製造および供給方法について，調査，検討を行った結果，以下の事由により再生アスファルトプラントを空港内に設置することとした。

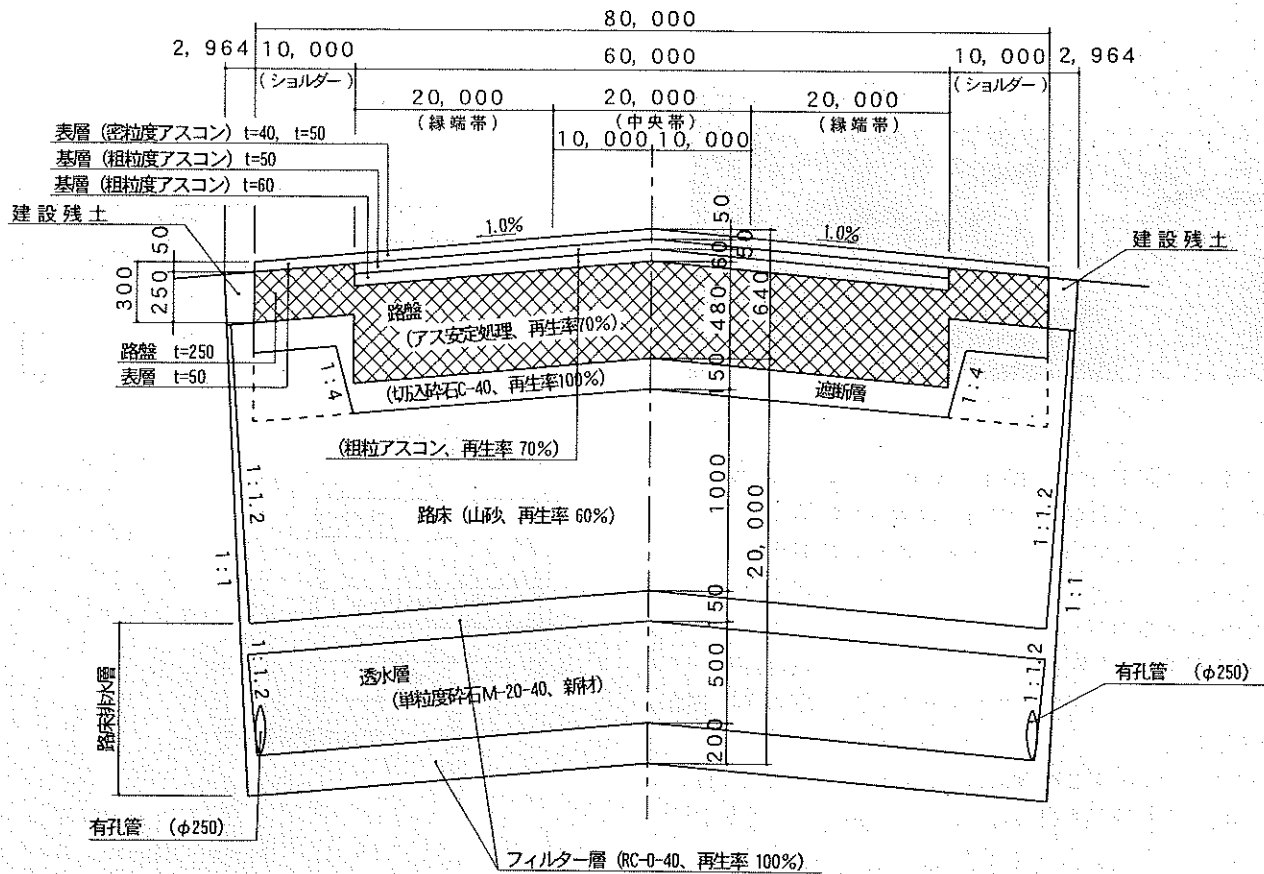


図 15 新 B 滑走路標準断面図



写真 2 シックリフト工法舗設状況

- ① 東京国際空港周辺 20 km, 1.5 hr 圏内に位置する再生アスファルトプラントは 7 か所存在するが、処理能力（破碎能力）が限界に近い稼働状況であった。
- ② 新 B 滑走路等舗装工事における 1 日当たり再生アスファルト使用量は、昼間約 2,500 t/日以上が見込まれ、周辺の再生プラントからの安定供給は困難と予想される。
- ③ 空港内からの大量の発生材を用いて、周辺プラントで再生材を生産する場合には、特定プラントに施設の改造および増設が必要となる（再生率 70% 改造、リサイクルユニット、アスファルト分級材用ストックヤード等の増設）。
- ④ 22 カ月の短期間に、約 50 万 t 以上の再生アスファ

表 5 新 B 滑走路使用のリサイクル材

リサイクル材	用途	単位	使用数量
再生アスファルト混合物 * (分級材)	基層 路盤	t	445,000 (311,000)
RC-40~0	フィルタ層	m ³	138,000
発生路盤材 (碎石)	遮断層	m ³	82,000
発生路床砂	路床上	m ³	239,000

* (分級材) : 再生アスファルト混合物 × 0.7

ルト混合物を昼夜にわたり安定供給する必要がある。

- ⑤ 発生材・再生アスファルト混合物の運搬に伴い、周辺道路の交通混雑・騒音・振動等の問題が発生する。

よって、空港場内に発生材ヤードと隣接して、140 t/hr 能力をもつバッチ式の再生アスファルトプラント（併設加熱混合式）3 基、アスファルト分級骨材および RC-40~0 を製造する 100 t/hr 能力の破碎プラント 3 基をそれぞれセットで設置した。

プラントの規模の設定は、シックリフト工法での 2 組の舗設作業のアスファルトフィニッシャーに同時に供給可能な製造能力を確保した。また表層舗設でのホットジョイントの施工にも供給可能な能力である。写真 3 は再生プラント全景を示す。

4.6 再生加熱アスファルト混合物の製造

(1) 配合設計

再生加熱アスファルト混合物（基層）、安定処理（路盤）

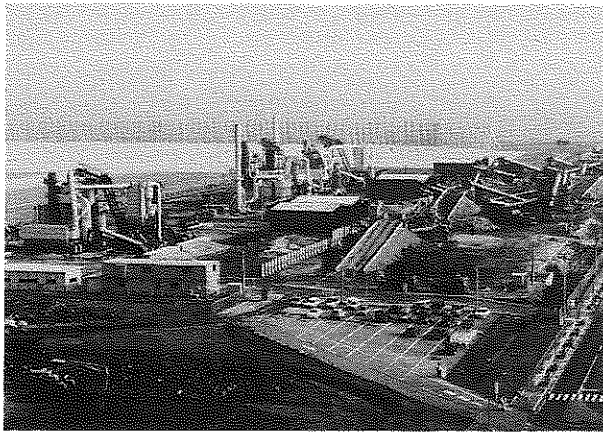


写真3 再生アスファルトプラント全景

の配合設計は図16に示す順序で実施し、再生アスファルト量を決定した。事前調査で供用性は新材と同等に評価できることが確認されていることから、新材の基準値まで回復させている。

設計針入度 50 (1/10 mm) への調整は、再生アスファルト安定処理用と再生粗粒度アスコン用の2種類の旧アスファルトで実施し、目標針入度における再生用添加剤の添加量を設定した。

旧アスファルトを2種類に分けた理由は、舗装発生材が施工年代により使用骨材の違い、劣化程度の違い等が挙げ

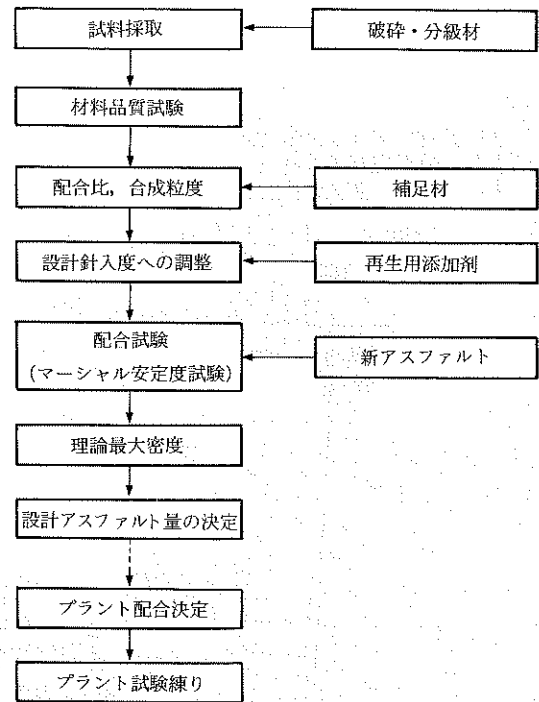


図16 配合設計フロー

表6 配合試験結果総括表

項 目		再生アスファルト安定処理タイプ A		項 目		再生粗粒度アスコン			
配 合 比 率	4号碎石	19.0		配 合 比 率	5号碎石	13.0			
		11.0				6号碎石	8.0		
	再生 骨材	R 20~13 mm	12.0				再生 骨材	7号碎石	9.0
		R 13~ 5 mm	23.0		R 20~13 mm	20.0			
		R 5~ 0 mm	35.0		R 13~ 5 mm	25.0			
				R 5~ 0 mm	25.0				
ふ る い 目	合成粒度	粒度範囲		ふ る い 目	合成粒度	粒度範囲			
通 過 重 量 百 分 率 (%)	53.0 mm	100	100		通 過 重 量 百 分 率 (%)	53.0 mm			
	37.5	100	95~100			37.5			
	31.5	99.5	—			31.5			
	26.5	94.7	—			26.5	100.0	100	
	19.0	81.5	50~100			19.0	97.4	95~100	
	13.2	66.0	—			13.2	79.0	70~ 90	
	4.75	47.6	—			4.75	49.2	35~ 55	
	2.36	35.6	20~ 60			2.36	30.3	20~ 35	
	0.6	23.2	—			0.6	19.3	11~ 23	
	0.3	15.4	—			0.3	14.3	5~ 16	
0.15	7.5	—		0.15	7.0	4~ 12			
0.075	5.4	0~ 10		0.075	4.5	2~ 7			
使用アスファルト	再生アスファルト 40/60			使用アスファルト	再生アスファルト 40/60				
突固め回数 (回)	75			突固め回数 (回)	75				
最適アスファルト量 (%)	旧アス	3.57	4.0	最適アスファルト量 (%)	旧アス	3.33	5.0		
	添加剤	0.22			添加剤	0.15			
	新アス	0.21			新アス	1.52			
密度 (g/cm³)	2.388		—		密度 (g/cm³)	2.398		—	
理論密度 (g/cm³)	2.519		—		理論密度 (g/cm³)	2.509		—	
空隙率 (%)	5.2		3~8		空隙率 (%)	4.4		3~6	
飽和度 (%)	63.9		—		飽和度 (%)	72.5		65~80	
安定度 (kN)	11.0		4.9以上		安定度 (kN)	13.2		8.8以上	
フロー値 (1/10 mm)	30		20~40		フロー値 (1/10 mm)	32		15~40	

られ、アスファルトの針入度も差があることから、撤去時に、施工年代区域をブロック分けし、および撤去片の色相等も目視観察により、良悪を判断し、良質な舗装発生材は基層に使用する再生粗粒度アスコン用に、通常の舗装発生材は路盤用の再生アスファルト安定処理用に区別した。同様に発生材ストックヤードでも各々区別した仮置きをした。後述する再生合材の日常管理試験においても各々区別して品質管理を実施し、再生用添加剤量を決定している。

図 17, 18 は目標針入度における再生用添加剤の添加量を示し、表 7 は再生アスファルト 40/60 の試験結果と規格値を示す。

表 7 再生アスファルト 40/60 試験成績表

試験項目	試験結果	規格値
針入度 (25°C) 1/10 mm	52	40 を超え 60 以下
軟化点 °C	49.5	47.0~55.0
伸度 (15°C) cm	25	10 以上
三塩化エタン可溶分 %	99.6	99.0 以上
引火点 °C	285	260 以上
薄膜加熱質量変化率 %	+0.06	0.6 以下
薄膜加熱針入度残留率 %	74.5	58 以上
蒸発後の針入度比 %	92	110 以下
密度 (15°C) g/cm ³	1.037	1.000 以上
動粘度 (cSt)	120°C	1000
	140°C	370
	160°C	165

(2) 破碎・分級

アスファルト舗装発生材は、30~50 cm 角に小割し破碎

目標針入度における添加量は、下図に示す再生添加量と針入度の関係により求めた。

添加量 (%)	0	4.2	7.9
針入度 (1/10 mm)	33	44	56



目標針入度に対する添加量 (%)
50 = 6.2

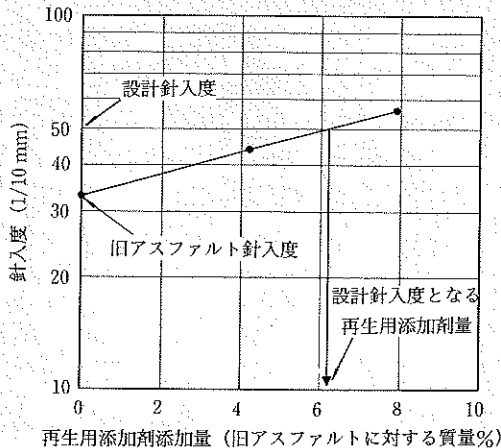


図 17 再生用添加剤の添加量の設定 (再生アスファルト安定処理)

機に投入し、20~13 mm, 13~5 mm, 5~0 mm の 3 分級とした。これら破碎プラントで生産された再生骨材は、雨水による含水比の増大や日照および自重による再固結の防止を考慮して、日最大使用量の 2~3 日分をストックする 3 棟の上屋内に各々貯蔵した。

また、分級工程においてロス分として発生するグリズリーアンダーは約 23~25% 程度であった。

このグリズリーアンダーは、アスファルト分と土砂が入り混じったもので、多少の粘性と重量とがあることから、工事用仮道路や作業ヤード等の表層材として利用し、また、仮置の発生路床砂の表面にも強風時の防塵対策として覆い有効に活用している。

(3) 日常管理試験

再生骨材の日常管理試験は、再生加熱アスファルト混合物を製造する前日に、分級材の 2~2.5 kg を使用して、① アスファルト回収試験、② 骨材含水量測定、③ 骨材洗い試験、④ 骨材粒度試験、⑤ アスファルト針入度試験を行った。写真 4 はアスファルト回収装置全景を示す。

針入度試験において「空港土木工事共通仕様書」では旧アスファルトの針入度 (25°C, 1/10 mm) は 20 以上と規定されており、当初懸念していた昭和 30 年代施工の舗装発生材は再生アスファルト安定処理用としたが、単独区域から発生したものはほんの一部であり、40 年代または 50 年代にオーバーレイにより嵩上工事が行われた区域のものが大半であり、分級工程において破碎機によりバランス良くブレンドされたのか、針入度試験数 444 個の内、29 未満が 28 個出現し数全体の 6.3% 程度であり最小針入度は 24 が 1 個であった。基層用としての再生粗粒度アスファルト混合物用では最小値が 27 が 1 個出現したが、他は全て 30 以上であり、両者とも問題なく新材のアスファルト品質規格で

目標針入度における添加量は、下図に示す再生添加量と針入度の関係により求めた。

添加量 (%)	0	3.9	8.3
針入度 (1/10 mm)	39	48	62



目標針入度に対する添加量 (%)
50 = 4.5

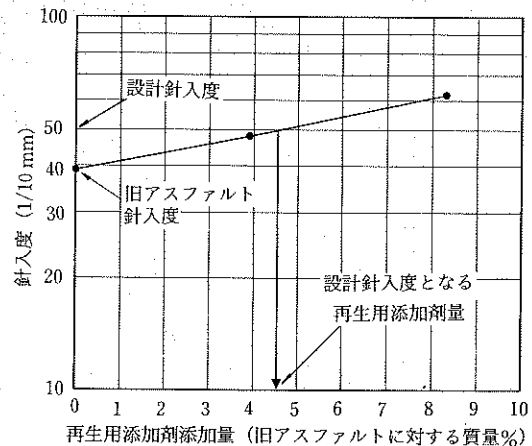


図 18 再生用添加剤の添加量の設定 (再生粗粒度アスファルト混合物)

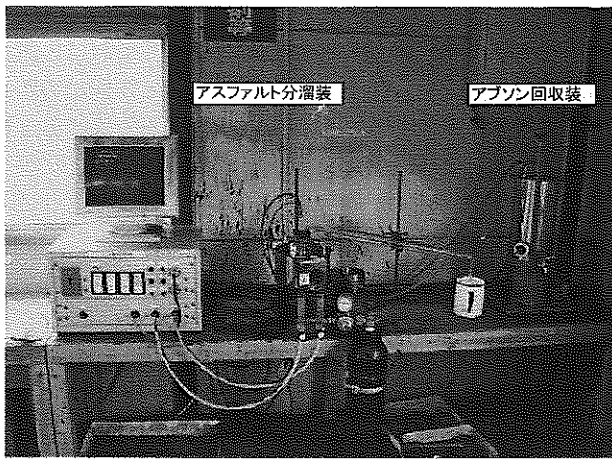


写真4 アスファルト回収装置全景

表8 再生プラント別 旧アスファルト針入度試験集計表

プラント	期 間	データ数	平均値	最大値	最小値	標準偏差
(再生アスファルト安定処理用)						
1号機	H.10.9~12.6	164	33	38	24	2.56
2号機	H.10.9~12.6	152	34	39	27	2.37
3号機	H.10.9~11.6	128	33	39	26	2.33
(再生粗粒度アスファルト混合物用)						
1号機	H.10.9~12.6	64	34	40	27	2.48
2号機	H.10.9~12.5	66	36	45	31	3.13
3号機	H.10.9~11.6	51	36	42	31	2.69
計		625				

管理を行うことができた。表8は、各プラントでの針入度の集計表である。

再生加熱アスファルト混合物は、① ホットビン温度測定、② ホットビン粒度ふるい分け試験、③ 混合物抽出試験、④ 混合物マーシャル安定度試験、⑤ 混合物基準密度試験、⑥ 混合温度測定等日々の日常管理として実施し、定品質の管理を行った。

5. おわりに

東京国際空港新B滑走路は平成9年4月に地盤改良工事から現地着工し、追って平成10年度から滑走路舗装工事に着手し平成11年12月に総ての土木工事を概成した。本滑走路は我が国初の耐震強化滑走路として、また、本格的

にリサイクル材を活用した舗装工事として、種々の品質試験および試験工事等を実施しながら、非常に短期間の工期のなかで完成させたものである。空港舗装において再生材の適用実績はまだ少なく、特に再生骨材配合率はこれまで旭川空港の50%(上層路盤)が最大である。本滑走路で70%という高い配合率で新材と同様の規格で施工が可能であった要因としては舗装発生材に不純物が混入していなかったこと、施工年代別による品質のバラツキ等が少なかった等も挙げられる。本工事に関して、ご指導、ご助言を賜った関係者、実際に試験や工事に携わった関係者各位に深く敬意を表するとともに感謝する次第である。本稿では、アスファルト合材のリサイクルに関する試験工事を中心に紹介させていただいたが、今後の滑走路建設をはじめとする同種工事の参考になれば幸いである。