

特殊軽量コンクリートの施工実績

黒澤正臣¹・後閑淳司¹・早崎 勉²

¹鹿島建設㈱ 関東支店 (〒330-6030 埼玉県さいたま市中央区新都心 11-2 L.A.タワー30F)

²フェロー会員 鹿島建設㈱ 土木管理本部土木工務部(〒107-8388 東京都港区元赤坂 1-2-7)

当プロジェクトは、茨城県が循環型社会の推進拠点として整備を進めている、公共関与による廃棄物処理施設「エコフロンティアかさま」の建設工事である。この処分場内には地山欠損部があり、その範囲を単位容積質量が 1.8t/m^3 以下の材料で置換える必要があった。法面勾配が 1:1.0 と急峻で、通常の盛土工事で施工できない状況にあったことや厳しい工程のなかでの施工であったことから、新しく開発した特殊軽量コンクリートによる軽量盛土を施工したので、その施工実績をとりまとめて紹介する。

キーワード：管理型最終処分場，特殊軽量コンクリート，軽量盛土，工期短縮

1. はじめに

茨城県内の処分場の不足が、県民生活や県内の産業活動などに支障をきたすとともに、不法投棄や不適正処理を増加させかねない状況をまねいている。このため、(財)茨城県環境保全事業団では、県及び笠間市とともに、循環型社会の推進拠点として、公共関与による廃棄物処理施設「エコフロンティアかさま」(公共処分場)の整備を進めている。

当プロジェクトは、この事業のうち最終処分場部分の主に造成工事、遮水工工事などを担当するものである。特に造成工事については、建設予定位置が砕石場跡地であるため、露天掘り部分を約 30m 埋戻し、採掘時に掘削及び崩落した法面を掘削整形して造成する設計であった。しかし、当初設計以上に崩落が大きく(オーバーハング状態)地山欠損箇所を切土勾配(1:1.0)と同じ勾配で盛土造成する必要が生じたため、軽量で比較的施工が容易な盛土代替材料を使用することとなった。そこで、新しく開発した「特殊軽量コンクリート(ソフトクリート)」による軽量盛土を提案し、実工事に適用したものである(軽量盛土部の全景を写真-1 に示す)。

2. 周辺環境と設計概要

当プロジェクトの概要として、周辺環境と当初の設計概要について述べると、次のとおりである。

(1) 周辺環境

当プロジェクトの着工前の状況を写真-2 に示したが、建設予定位置付近は、約 80 万 t の清水が湛水する美しい景観(人工池)のもとに、希少生物であるハッチョウトンボやシランが生息する自然豊かなところである。しかし、この場所は採掘場跡地で、比較的採石になり易い岩種を選んで無作為に掘削していたことから、周囲の地山は崩落箇所や残土捨場が点在している状態である。



写真-1 軽量盛土の全景

(2) 設計概要

当初の設計では、図-1 に示すように処分場の底盤部は、ほぼ水の溜まっていた高さまで場内の掘削土により埋め戻し、上流側は切土、下流側は貯留堰堤盛土で造成して、その上に遮水工を設置する構造となっている。しかし、設計上切土部分と考えていた上流側の斜面は、その一部が大きく崩落しており、



写真-2 着工前の全景

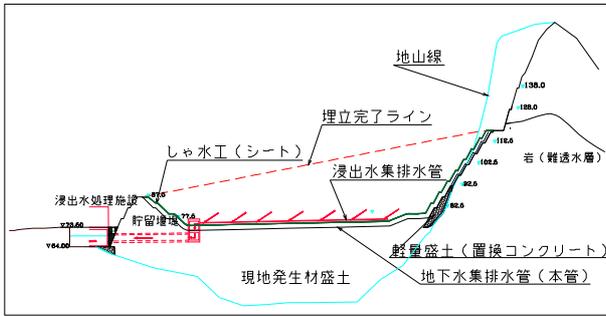


図-1 設計概要図（縦断図）

その大半が堆積土砂であった（写真-3）. 当初の設計では切土で計画しているため、法面勾配が 1:1.0 と急峻であり、その下地が埋戻し土あることから、崩壊部分の腹付け盛土に際しては、斜面安定性のある軽量盛土をすることが余儀なくされた。

3. 要求性能と工法の選定

軽量盛土を施工する箇所（欠損部分）を写真-4 に示したが、法面勾配が 1:1.0 と急峻であることと、直高が 40m 以上と高く、材料の運搬が容易でないことから、軽量で所要の力学特性が得られ、かつ材料のポンプ圧送が可能な工法を選定する必要があった。また、全体容積が約 3 万 m^3 にも及ぶことから、工程を確保するには、気象や養生期間などの制約条件が少なく、比較的取扱いが容易な材料であることも工法の選定に際しての重要なポイントとなった。

(1) 軽量盛土への要求性能

軽量盛土に要求される性能については、図-2 に示すようなモデルをもとに検討を行った。検討では、構造物の安定を確保する範囲内で最適な構造諸元を決定するために、a) 盛土構造の安定、b) 主働土圧による滑動、c) 転倒に対しケーストリアルを実施して、最適値を求めた。その結果、軽量盛土に要求される性能（物理・力学特性及び施工性）として、次の条件がピックアップされた。

- 単位容積質量：1.8 t/m^3
- ポンプ圧送が可能（水平換算距離：100m 以上）
- 簡易な締固めで充填可能
- 耐凍結融解抵抗性を有する
- 将来載荷される廃棄物の重量に耐え得る（圧縮強度：1.7 N/mm^2 以上）



写真-3 堆積土の全景



写真-4 打設前の状況

(2) 工法の選定

軽量盛土に要求されるこれらの条件をもとに、次の工法をとりあげて、それぞれの特長を比較検討した。

a) 発泡ウレタン

EPS 工法（発泡スチロール）を改良したもので、硬質ポリウレタンフォームを現地に於て発泡させたものを吹付けし、盛土体を構築するものである。

b) 発泡モルタル

モルタル（砂、水、セメント）と気泡から構成される超軽量モルタルである。

c) 特殊軽量コンクリート

気乾状態の人工軽量骨材を用いたコンクリートに、新たに開発した界面活性剤を主成分とする特殊増粘剤を添加したもので、特長として、材料分離抵抗性が大きく、特にポンプ圧送性と凍結融解性の両立を可能とした軽量コンクリートである。

今回、施工方法の選定に際しては、工期、工費、施工性の立場から、特に発泡モルタルと特殊軽量コンクリートを取りあげて、比較検討を行った。その結果、企業者より工期短縮を強く要請されていたため、工費は前者が若干優位（後者は前者の 1.2 倍）にあるものの、工期がほぼ半分と短縮できる特殊軽量コンクリートを選定した。

4. 配合設計と施工方法の検討

従来の軽量コンクリートでは、ポンプ圧送性を確保するため、軽量骨材をプレウェッティングして使用している。この場合、骨材の品質管理が煩雑になるとともに、硬化後の耐久性（特に凍結融解抵抗性

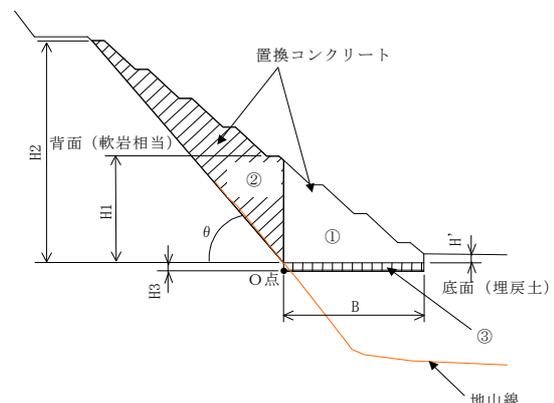


図-2 検討モデル

表-1 使用材料

使用材料	記号	種類	銘柄	摘要
セメント	C	普通ポルトランドセメント	住友大阪セメント	密度 3.15g/cm ³
細骨材	S	陸砂	利根川水系陸砂	表乾密度 2.58g/cm ³
粗骨材	G	人工軽量骨材	SH ライト (中国産)	表乾密度 1.05g/cm ³ 純乾密度 0.968g/cm ³
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤	マイティ-3000H (花王社製造)	ポリカルボン酸系
	IR	特殊増粘剤	KK-A, KK-B (花王社製造)	

）が低下することが知られている。したがって、新しく開発する特殊軽量コンクリートでは、乾燥状態の軽量骨材を用いたポンプ圧送可能な軽量コンクリートを目指し配合設計を行った。

(1) 配合設計

特殊軽量コンクリートの使用材料を表-1 に示すとともに、要求性能を表-2 にとりまとめた（室内試験及びフィールドテストの実施手順を図-3 に示す）。

a) 室内試験

室内試験では、水セメント比、単位水量、特殊増粘剤の添加率（今回新たに開発した増粘剤）、AE 減水剤の添加率をパラメーターとして、スランプフロー、空気量、単位容積質量、鉛直方向の分離抵抗性を指標とした各種試験を行った。その結果、特殊増粘剤と高性能 AE 減水剤を併用することで、優れた流動性と分離抵抗性を同時に満足する軽量コンクリートの配合を選定した。また、室内ポンプ圧送試験結果で選定した配合において、水平換算距離で 70m 程度のポンプ圧送が可能であることも確認した。

b) フィールドテスト

実機ミキサーを用いて室内試験で選定した配合で練り混ぜたところ、材料分離を呈するとともに、流動性、粘性の不足がみられた。原因としては、1 回の練混ぜ量や使用ミキサーの相違による影響や増粘剤の温度依存性の影響などが考えられる。そのため、フィールドテストでは、増粘剤の添加率を上げて室内試験で得られた性状を確保し、実規模レベルでのポンプ圧送試験を行った（状況を写真-5 に示す）。テスト結果として、水平換算距離 285m のケースの圧力測定位置と管内圧力の関係を図-4 に示す。水平換算距離を 285m とした圧送試験では、時間の経過



写真-5 フィールドテストの状況

表-2 要求性能

	要求性能	目標性能	備考
単位容積質量	1.8 t/m ³ 以下	1.7 t/m ³ 以下	生コンでの単位体積重量
ポンプ圧送性	水平換算距離 100m以上	水平換算距離 150m以上	
圧縮強度	簡易な締め固めで 充填できること	圧送後のスランプフロー が 400mm 以上	
圧縮強度	1.7 N/mm ² 以上	2.1 N/mm ² 以上	最終強度 (割増係数 1.2)
	早期材齢にて 脱型できること	1.0 N/mm ² 以上 (材齢 1 日)	脱型時強度
耐久性	凍結融解抵抗性を 有すること	凍結融解試験における 相対動弾性係数 (300 時間後) 60%以上	

とともにポンプの圧力が徐々に増加し、圧送中にジョイントが破損するトラブルが生じた。次に、水平換算距離を 167m のケースの圧送時間とピストン前面圧の関係を図-5 に示したが、このケースではピストン前面圧は 2N/mm²以下で安定しており、円滑な打設が可能であった。また、試験的に配管を使用せずブームによる打設を試みたが、閉塞などを生じることなく、円滑に圧送することができた。なお、水平換算距離 167m 及びブームによる条件で圧送されたコンクリートの筒先でのフレッシュ性状は、流動性に富み、簡易な締め固めで施工ができる良好な状態であった。さらに、材令 28 日の強度、単位容積質量とも要求性能を満足していることを確認した。

c) 特殊増粘剤の添加率

室内試験とフィールドテストの結果を比較すると、フィールドテストでのコンクリートの粘性が、室内試験での粘性に比して低下する傾向が認められた。このため、室内試験と同じ粘性を確保するには、実工事においては特殊増粘剤の添加率を上げる必要が

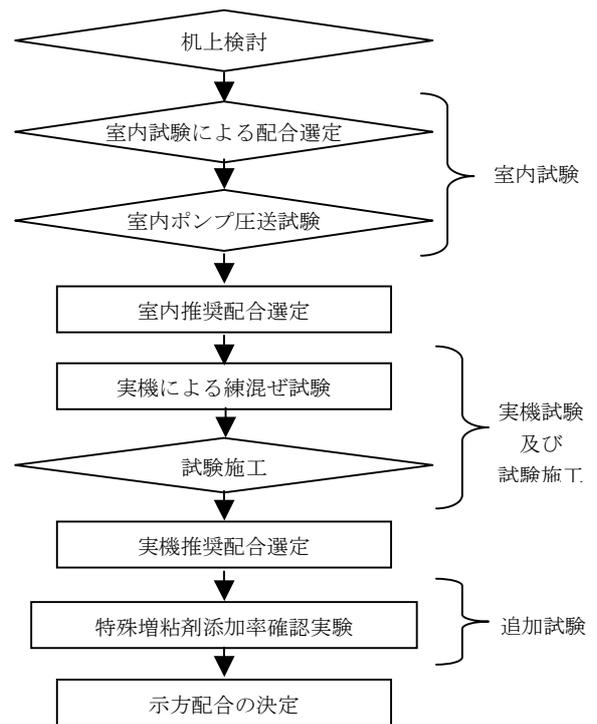


図-3 配合設計検討フローシート

表-3 標準示方配合

W/C	単位重量 (kg/m ³)	単位量(kg/m ³)				SP剤 P×%	AE剤 20A	特殊増粘剤	
		W	C	S	G			KK-A	KK-B
%	(kg/m ³)							W×%	W×%
50	1663	189	379	838	257	2.0	20A	図-6より	図-6より

法については原則として、ダムコンクリート工法の柱状ブロック工法を採用するものとした。ブロック割については、1ブロック当り15mの6ブロックとし、リフト割は5mごとに1.5mの小段があることから、5mを3回に分けて最大1.9mリフトとした。型枠は大型パネル(ダムフォーム)を使用して、作業足場の省力化と型枠の転用によるコストの低減を図った。荷役設備としては、100tのクローラクレーンを使用し、型枠のスライドも吊具を工夫してこのクレーンを利用した。また、コンクリートポンプ車及びクローラクレーンの作業足場として、**図-7**及び**写真-6**に示すように4段階に分けて、盛土足場による作業帯を確保する方法とした。

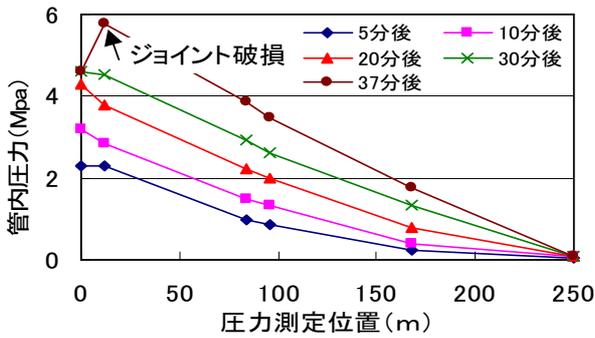


図-4 285m 圧送時の管内圧力

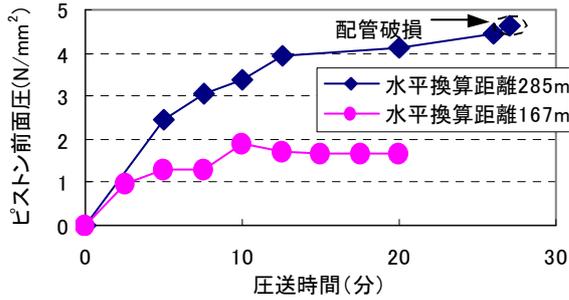


図-5 285m 圧送時のピストン前面圧

あった。この原因のひとつとして、特殊増粘剤の効果がコンクリートの温度に異存することが確認されていた。また、フィールドテストの結果から、水平換算距離にして200m程度を安定して圧送するためには、圧送開始前のスランプフローを500mm程度とする必要があることを確認していた。そこで、圧送開始前のスランプフローの目標値を500mmとして、特殊増粘剤の添加量について、練上り温度をパラメーターとした検討を行った。検討の結果、コンクリート温度と特殊増粘剤の添加率の間に**図-6**に示すような関係が得られたことから、実工事での特殊増粘剤の添加率については、コンクリートの練上り温度に応じ、適宜調整することとした。

一連の試験を経て選定した特殊軽量コンクリートの示方配合を**表-3**に示す。

(2) 施工方法の検討

前述したように、当地で打設予定の軽量盛土は約3万m²のマスコンクリートであることから、施工方

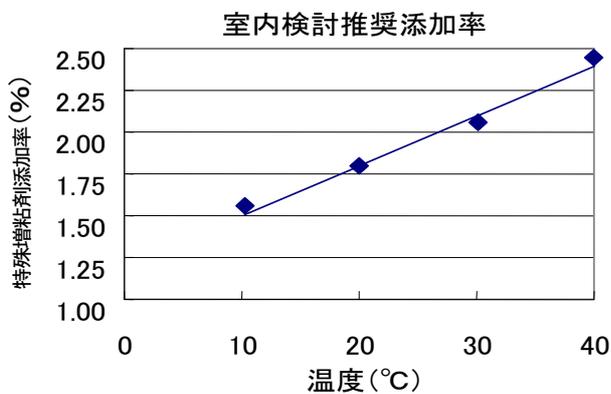


図-6 特殊増粘剤の添加率

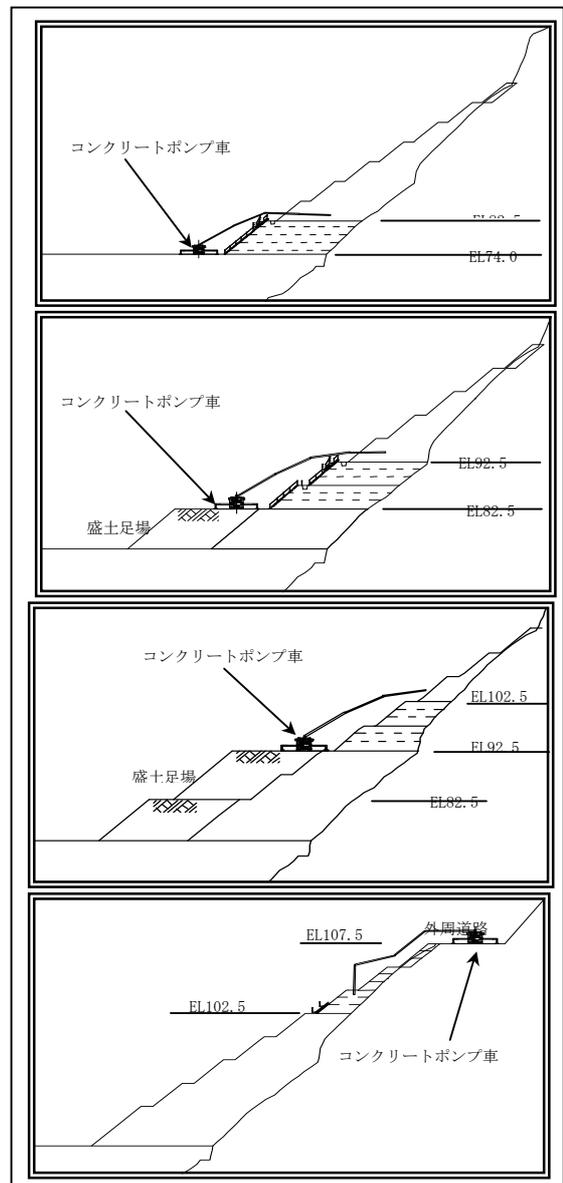


図-7 施工手順フローシート

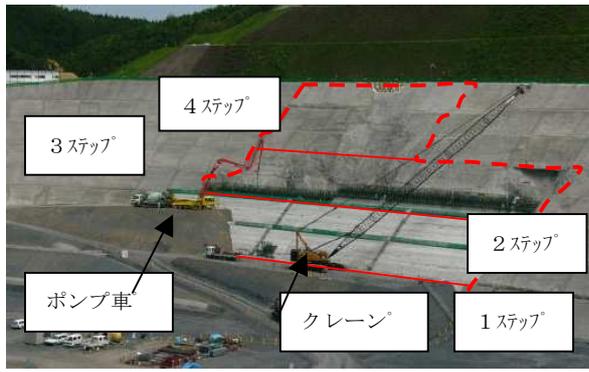


写真-6 施工手順の状況

5. 施工実績

実工事におけるポンプ打設状況を写真-8、写真-9に示す。室内で検討した配合設計、フィールドテストでの施工性の確認及び事前の施工方法の提案をもとに、約3万m³の特殊軽量コンクリートを打設したが、施工実績として実際工事での工程管理と特殊軽量コンクリートの品質管理は次のとおりである。

(1) 工程管理について

事前に立案した工程計画によれば、6.5ヶ月を要する予定であったが、実際の施工では5ヶ月程度で打設を完了し、1.5ヶ月程度の工期の短縮を達成した（打設実績を図-7に示す）。この主な要因としては、当初コンクリートポンプ車の打設能力を60m³/hとし、型枠の脱型を中1日で計画していたが、実績をみると平均打設速度が71.7m³/hであった。これは工事期間が夏場であったことから、打設翌日には脱型の目安となる基準強度（1.0N/mm²以上）を発現したことにより、当初計画よりも1回当りの養生日数の短縮が図れた。その結果、型枠～打設～脱型の1サイクルの工程短縮が可能となったことによる。

(2) 品質管理について

特殊軽量コンクリートの施工時における品質管理として、特殊増粘剤の添加率、ポンプ圧送性、材料分離抵抗性、凍結融解抵抗性について記述する。

a) 特殊増粘剤の添加率について

先に述べたように、ポンプ打設能力と骨材の分離抵抗性を両立するためには、特殊増粘剤の添加率が重要

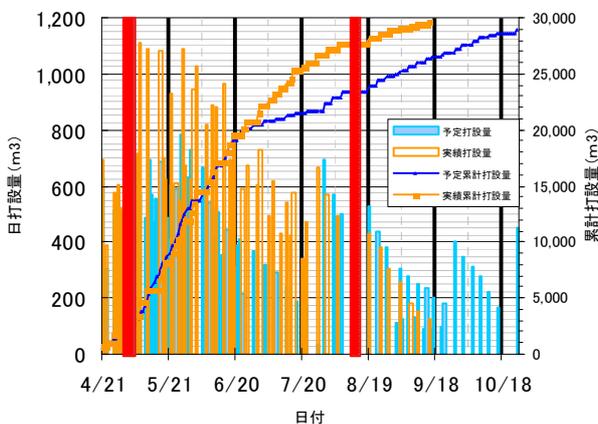


図-7 特殊軽量コンクリート打設実績

なポイントであり、その添加率はコンクリートの温度に依存することを確認していた。したがって、実際工事においては事前の試験で明らかとなった、コンクリート温度と特殊増粘剤の添加率の関係（図-6）をもとに、コンクリートの打設前のスランブフローが目標値（500mm）を満足するように、特殊増粘剤の添加率を調整した。

コンクリート温度の変化によって特殊増粘剤の添加率を調整した実績を図-8に示す。特に、夏～秋にかけては、朝と昼の寒暖の差が大きく、コンクリート温度の変化も大きいので、管理指標値を維持するには添加率の微調整が必要であった。また、実際工事での実績から、コンクリート温度と特殊増粘剤の添加率の関係を図-9に示すが、事前の室内試験での同様の関係（図-6）と比較すると、前者の相関（ $y=0.03x+1.3$ ）と後者の相関（ $y=0.025x+1.27$ ）とが良く近似していることが伺える。

b) ポンプ圧送性について

配合設計の検討に際して行った室内試験結果から、ポンプ圧送性（打設速度60m³/h以上）を維持するには、ポンプ前面圧を2.0N/mm²程度に保持する必要があることが判明していた。実工事では、打設能力の大きなポンプ車を使用したことや、特殊増粘剤を若干改良したことから、ポンプ前面圧がほぼ2.5～3.5N/mm²と、フィールドテストでの実績よりも大きな値ではあったが、吐出能力として平均71.7m³/hで打設することができた。打設実績より求めたフロー値とポンプ前面圧の関係を図-10に示す。

c) 材料分離抵抗性について

特殊軽量コンクリートの材料分離抵抗性をみるために、硬化後のコンクリートを対象に、縦方向にコ

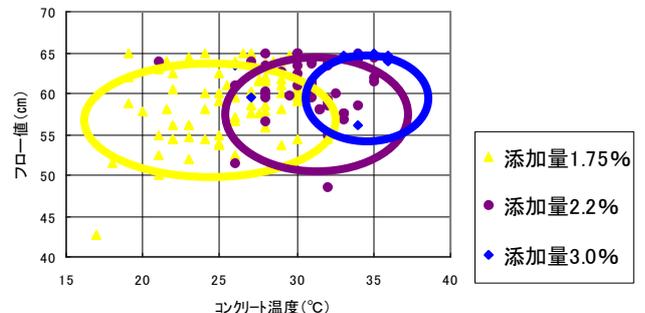


図-8 特殊増粘剤の添加率の推移

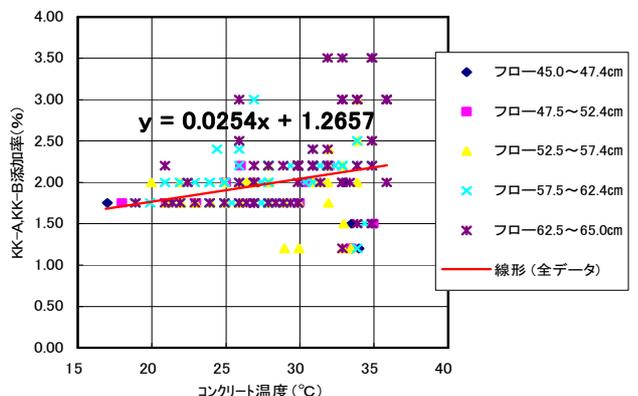


図-9 温度～特殊増粘剤の添加率の関係

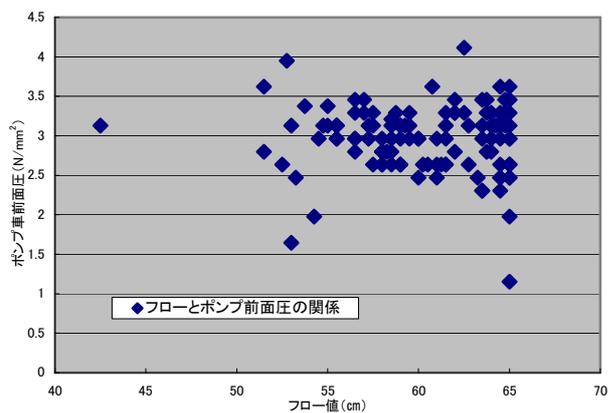


図-10 ポンプ前面圧の測定実績



写真-7 コアの状態

コア採取を行った。採取したコアの一例を写真-7に示す。目視観察の結果、上下方向に軽量骨材が均一に分散しており、優れた分離抵抗性を有することが確認された。

また、採取した3本のコア試料について、上部、中間部、下部に分けて、圧縮強度と単位体積質量の測定を実施した結果を図-11に示す。その結果、圧縮強度は23~25 N/mm²、単位体積質量は1.70~1.75t/m³であり、上部に比べて下部の方が若干ではあるが大きくなる傾向が認められた。ただし、上下部での差をみると、圧縮強度で2 N/mm²程度、単位体積質量で0.05t/m³程度と僅かであり、全ての試験結果で要求性能を満足していることが確認された。

d) 凍結融解抵抗性について

特殊軽量コンクリートの凍結融解抵抗性をみるために、ポンプ圧送後の試料についてJSCE G 501に準じて凍結融解抵抗性試験を行った。試験結果を図-12に示すが、ポンプ圧送により施工した特殊軽量コンクリートは、圧送後も300サイクル経過時点での相対動弾性係数が80%程度であり、優れた凍結融解抵抗性を有していることが確認された。

6. あとがき

本報文では、特殊軽量コンクリートとの比較として、近年軽量盛土工法としての普及が著しい、発泡モル



写真-8 ポンプ打設状況(1)

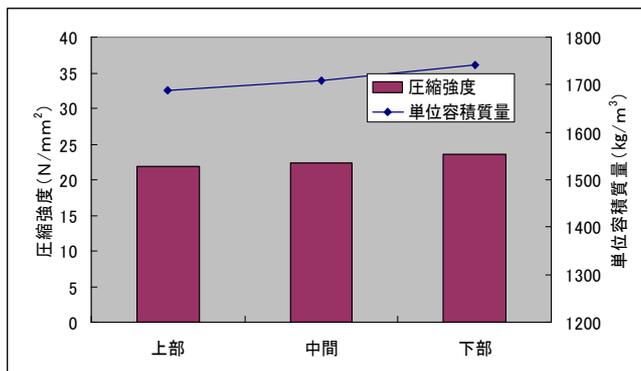


図-11 圧縮強度と単位容積質量

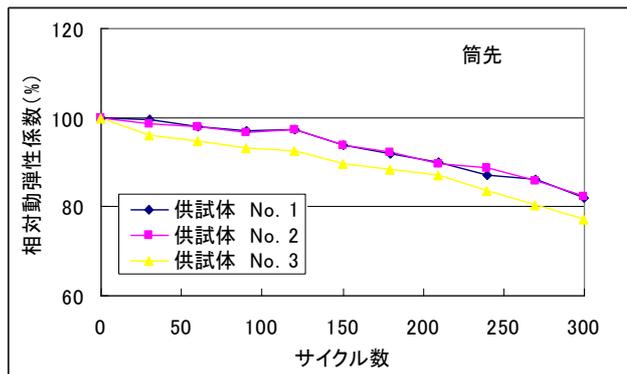


図-12 凍結融解抵抗試験結果性

タル工法をとりあげたが、工程や工費の面から前者の工法を選定した。当工事の軽量盛土工法を選定条件として、工程や工費の他に、要求性能である圧縮強度(目標圧縮強度2.1 N/mm²以上)及びポンプ圧送性(目標性能150m以上)がある。発泡モルタル工法を消去した一因としては、圧縮強度が0.05~1.0N/mm²であること、また長距離圧送のケースでは消泡率が高くなることが懸念されることなどもある。

軽量盛土工法には他にも、EPSブロック、発泡ビーズなど数多くの工法があり、それぞれ優れた特長を有していることが報告されている。したがって、特殊軽量コンクリートについては、今後とも新しい付加価値の付与を目的とした技術開発を進めるとともに、今後の同種軽量盛土のケースについては、盛土に求められる要求性能をもとに、常に他の軽量盛土工法との比較検討を行って、適切な工法を選定する方針である。



写真-9 ポンプ打設状況(2)