

VI-1 フライアッシュを用いた転圧コンクリートによる路盤の施工例

北海道電力㈱ 正員 松下 啓郎
 桃井 哲次
 正員 横山 正浩

1. まえがき

転圧コンクリート（以下RCCと呼ぶ）は、単位水量の少ないコンクリートを、ブルドーザ、アスファルトフィニッシャー等で敷均し、ローラーで転圧し仕上げる工法であるが、近來RCCPとして道路分野での利用研究が進められており、アスファルト舗装、コンクリート舗装に次ぐ第3の舗装として注目を集めている。

北海道電力総合研究所ではフライアッシュの高度利用を図る目的で、昭和60年よりフライアッシュを用いたRCC路盤工（以下RCCBと呼ぶ）の開発研究を行って来た。RCC工法は既にRCDとしてダムコンクリートに多くの実績があるが、この開発研究ではRCDで用いられている手法を準用し、アスファルト舗装要綱に定められている上層路盤に適用できる工法を目指している。現在のところまだ研究途上にあり、構造設計、材料設計等に規準となるような手法を提示するには至っていないが、今回苫東厚真発電所構内道路で、このフライアッシュを用いた転圧コンクリート路盤の施工を行い、合わせて各種調査を実施した。

本文は施工の概要および調査結果の一部を報告するものである。

2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

- (1) 工事名称 苫東厚真発電所構内道路改良工事
- (2) 工 期 昭和63年5月25日～6月30日
- (3) 発注者 北海道電力株式会社
- (4) 施工会社 大成道路株式会社
- (5) 調査会社 北電興業株式会社
- (6) 施工位置 苫東厚真発電所構内（図-1参照）

今回施工対象となった道路は、発電所で発生した石炭灰の灰捨運搬車の経路であり、50台/日程度（L交通相当）の大型車交通量がある。今回の工事は損傷の著しい砂利道の機能回復を目的として、フライアッシュを用いたRCCBで置換改良したものである。RCCBは、まだ施工実績が少なく、施工法、管理手法等で確立していない部分があり、今回の工事では主として施工標準を検討する目的で、RCC厚さ、転圧機種、回数を変え、8種類の施工条件を設定して実施した。舗装構造、転圧条件、およびその割つけを表-1、図-2、3に示す。

また、交通荷重の有無によるRCCの強度発現特性のデータを得るため、舗装完了後当面の間、片側一方通行の交通規制を行い、片側は交通荷重を一切通行させないで供用することとした。

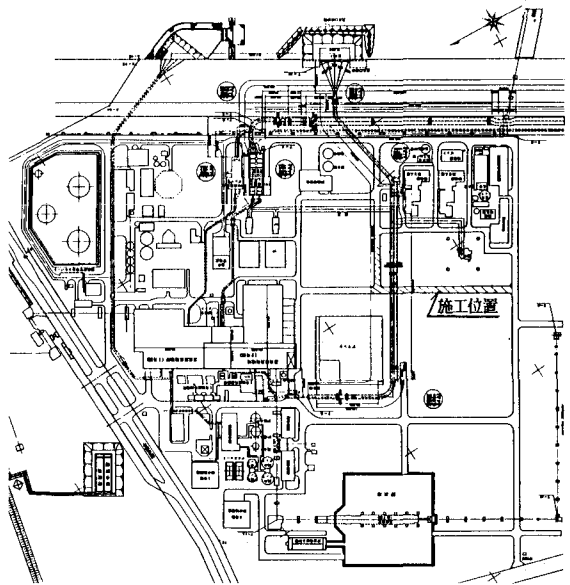


図-1 施工位置図

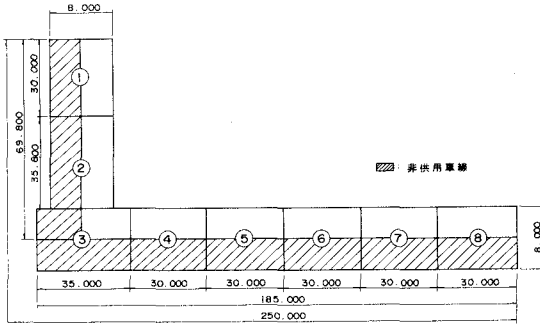


図-2 ブロック区割り

3. 使用材料

使用した主材料を表-2に示す。また材料試験結果を表-3、4および図-4に示す。粗骨材は土木学会コンクリート標準示方書に示されている骨材の標準粒度範囲の中間値付近になるように、40~20mm、20~13mm、13~5mmを25:54:21の割合で合成した。

表-2 主 要 材 料

材 料	産地、商品名	生 産 者 等
セメント	普通 希トシセメント	日本セメント㈱
フライアッシュ	苫東厚真発電所2号機 ワンボ炭灰	北海道電力㈱
粗骨材	額 平 川	アイザワ生コン㈱
細骨材	"	"
混和剤	ホゾリス NO8 (AE減水剤)	日曹マスター ビルダーズ㈱

表-4 材料試験結果

材 料	比重	吸水 量 %	単位容 積質量 kg/m³	実積 率 %	洗い 試験 %	水洗 減量 %	安定 性 %	有機 不純 物 %	PM
規 格	—	—	—	—	1.0 以下	35 以下	12 以下	—	—
粗 骨 材	—	—	—	—	—	—	—	—	—
砕石 40~20mm	2.87	0.59	1692	59.3	0.4	18.2	—	—	7.91
砕石 20~13mm	2.83	0.82	1672	59.6	0.4	13.9	9.3	—	7.34
砕石 13~5mm	2.77	0.96	1592	58.0	0.3	14.9	—	—	5.96
合 成	—	—	1713 (1853)	—	—	—	—	—	7.21
細 骨 材	—	—	—	—	—	—	—	—	—
規 格	—	—	—	—	3.0 以下	—	10 以下	合格	—
試 験 値	2.67	2.82	1766 (1908)	73.5	1.5	—	7.9	合格	2.64

*1 単位容積質量 () 内は振動台で、締めめた値である。

表 層 (細粒度キャップレス)	type I	type II	type III
上層路盤	3.0 cm	3.0 cm	3.0 cm
(RCC)	15 cm	2.0 cm	25 cm
(クランカーフラッシュ)	62 cm	57 cm	52 cm

図-3 舗装構造

表-1 各ラックの舗装構造および転圧条件

ラック NO	舗装構造	転 圧 条 件
1	type I	振動ローラー 無振1回+有振8回+無振1回
2	type II	同 上
3	type III	同 上
4	type II	タイローラー 5往復
5	"	タイローラー 10往復
6	"	タイローラー 15往復
7	"	振動ローラー 無振1回+有振2回+無振1回
8	"	振動ローラー 無振1回+有振5回+無振1回

表-3 セメントフライアッシュの材料試験結果

材 料	湿 分 (%)	強熱減量 (%)	比 重	ブレン 比表面積 (cm²/g)	メチレンブルー 吸着量 (mg/g)	安定性	圧縮強度 σ ₂₈ (kgf/cm²)
セメント 規格 試験値	—	3以下 0.6	— 3.16	2,500以上 3,320	— —	良 —	300以上 427
フライ アッシュ 規格 試験値	1以下 0.15	5以下 1.97	1.95以上 2.07	2,400以上 3,260	— 0.61	— —	— —

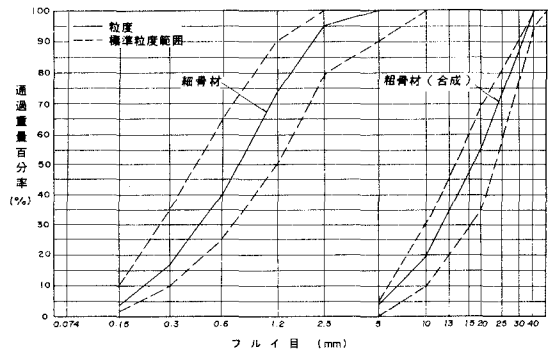


図-4 粒度曲線図

4. 予備試験

(1) 配合設計

RCDではコンクリートのコンシステンシーを表わす指標として、VC試験と呼ばれる振動台式コンシステンシー試験を行っている。これは容器に詰められたコンクリートに振動を加え、モルタルが表面に浮かび上がってくる速さでコンシステンシーを評価しようとするもので、コンクリートの表面に置いた円板全体にモルタルが接するまでの時間を測定し、その秒数をVC値と呼んでいる。RCDでは配合の決定にこのVC値を利用しているが、その手順は次のとおりである。

- ①細骨材率の決定は、単位水量を予想水量で固定し、細骨材率を変化させたVC試験を実施し、VC値が最低値を示すときの値を選定すれば、最も締固めやすいRCCが得られるという考え方をとっている。今回の試験結果を図-5に示す。
- ②単位水量の決定は、選定した細骨材率によって単位水量を変化させたVC試験を実施し、目標VC値20秒の点で単位水量を選定する。目標VC値20秒はRCDの施工実績からの値であるが、以前に実施した試験施工でも満足できる結果が得られているので、今回もこの値を採用した。試験結果は図-6のとおりである。

セメント量、フライアッシュ量は従来の試験結果から、それぞれ $C=80\text{kg/m}^3$ 、 $F=160\text{kg/m}^3$ としている。最大骨材寸法はRCCPより表面の平坦性が問題とならないこと、また経済的に有利であることから40mmを採用している。

決定配合を表-5に示す。

(2) 試験練り

実際に使用するプラントにおいて、決定配合のRCCの試験練りを実施した。ミキサーは3m練りのパン型ミキサーであるが、RCCは超固練りのため1.5m³/バッチで練った。

a. 混合時間とVC値の関係

最適混合時間を決定するため、混合時間を変化させてRCCを練り、各バッチより3点サンプリングしてVC試験を実施しそのばらつきの程度からバッチ毎の均一性を把握した。試験結果では、プラントでの室内試験の再現性は良く、最もばらつきの小さい混合時間90秒で21~22秒のVC値であった。バッチ毎のばらつきは75秒の場合でも3秒程度であり、十分であったと考えられるが、安全側の値として混合時間は90秒に決定した。

b. 混合後の経過時間とVC値の関係

現場施工時のRCCの可使時間を把握するため、プラントで製造したRCCをダンプトラックにビニールシートで養生して積み置きし、経過時間とVC値の関係を調査した結果を図-7に示す。RCCの施工限界をRCDの知見によりVC値で60秒とすると混合後3時間が可使時間となった。しかし養生条件が施工現場とかなり異なると考えられるため、施工は2.5時間以内に転圧を終了させることとした。

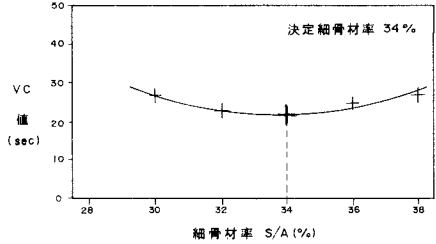


図-5 最適細骨材率の決定

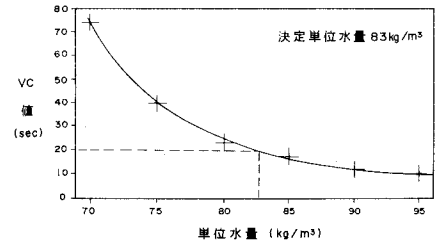


図-6 最適単位水量の決定

表-5 決定配合

W/(C+F) (%)	s/a (%)	F/(C+F) (%)	単位量 (kg/m³)				
			W	C	F	S	G
34.6	34	66.7	83	80	160	721	1479

* 混和時混入量 = $(C+F) \times 0.25\%$

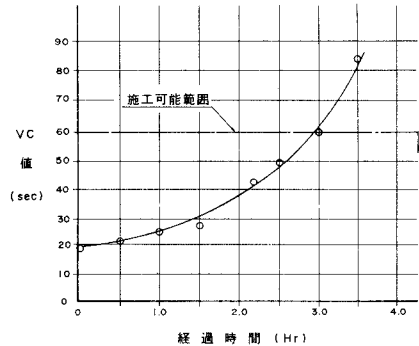


図-7 経過時間とVC値

5. 施 工

(1) 主要機械

施工に使用した主な機械を表-6に示す。

(2) 施工概要

a. 凍上抑制層

凍上抑制層にはクリンカーアッシュを用いた。敷均し厚は20cm以下とし、タイヤローラーで転圧を行った。管理は球体落下試験でのD値6.3cm以下として行ったが、施工後の現場CBRは平均で15.5%であった。

施工後PPシート（軟弱地盤安定シート）を布設した。これはRCC転圧時にベースト分が下層にしみ出しRCCの下面付近が豆板状になることを防止し、RCCの厚さを確保するために行ったが、施工中の凍上抑制層の乱れを防止するためにも効果があった。

b. RCC路盤

施工は2～3ブロック/日で3日間で施工を行った。幅員は8mあり、フィニッシャー施工で4m毎の施工となる。このためセンターラインでの高さの精度を得るためフレッシュジョイントとなるように1ブロックづつ完了させるものとした。フレッシュジョイントの施工は先行レーンのセンター側を約50cm踏み残し、後行レーンを敷均した後に、同時に転圧した。

敷均しは、アスファルト舗装に通常用いられているフィニッシャーを用いて行った。ただし、今回の施工ではブロック毎の仕上り密度の差を明確にするため、スクリード転圧は行わなかった。敷均し速度は1m/分とし、すべてのブロックを一層施工で行った。

転圧は振動ローラーとタイヤローラーを用い、所定の転圧条件で行った。転圧後養生マットにより湿潤養生を24時間行った。

施工日毎のコールドジョイントは、2、3ブロック間は突合せ目地とし、5、6ブロック間は先行ブロックを余分に施工し、翌日ピックで斜めにはつって後続ブロックを施工し、一体化を図った。

c. 表層工

表層の細粒度ギャップアスコンは通常と同じ舗設を行った。

表層施工後、コンクリートカッターを用いてセンターラインで表層とRCCを切断し、伸縮材を注入した。これは、左右レーンの縁を切り、供用開始後の交通荷重の有無による差を明確にするためである。

表-6 主 要 機 械

種 類	機 種 名	施工時諸元	用 途
コンクリートプラント	タイバサ TM 3000	1.5m ³ /分	RCC製造
ダンプトラック	—	10t級	RCC運搬
アスファルト フィニッシャー	フェア スーパー 1502	1 m/分	RCC敷均し
振 動 ロ ー ラ ー	サハ SH-70	総重量8.1t	RCC転圧
タイヤローラー	ワタベ KR-20C	" 15t	"

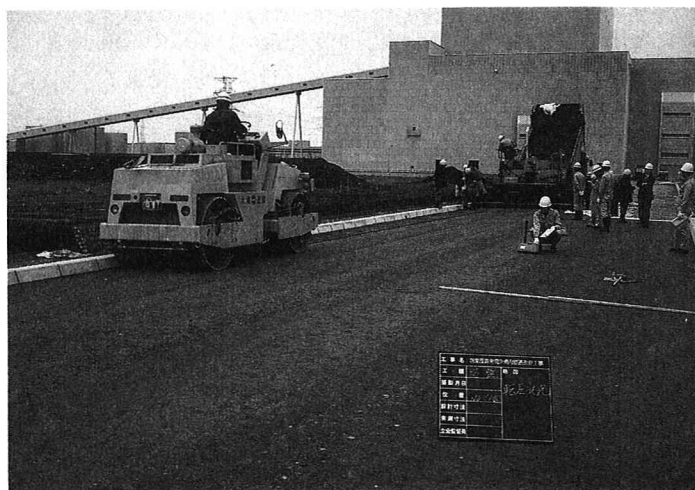


写真-1 施 工 状 況

6. 施工管理

施工管理項目、方法、頻度を表-7に、また各ブロック毎の測定位置を図-8に示す。

(1) 出荷時コンシステンシー、エア量

プラント出荷時のコンシステンシーの管理はVC試験によって行うこととし、室内配合基準である20秒の±10秒を管理限界とした。3日間で25回実施した測定結果は15～23秒の範囲にあり、平均で19.4秒の値であった。また、その標準偏差も2.4秒程度であり、プラントでの管理は十分満足できる結果となった。

出荷時エア量は1.3～2.0%の範囲で、平均値は1.8%であった。

(2) 現場密度、含水比

RCCの場合、特にその締固度が強度に与える影響が大きく、十分な密度を得ることが重要である。今回の施工では、リアルタイムでの密度管理の手法として提案されているRI水分密度計による密度測定を実施した。今回の測定は線源の深さを10cmに固定して行っている。

今回の施工では敷均し後の測定も行ったため、ローラー転圧作業が部分的に遅れ、含水比測定結果から

推定したVC値が、施工限界とした60秒近くで転圧が終了したブロックもあった。このため転圧回数、RCC厚さと締固度の関係の定量化は困難となったが、結果を要約すると以下のとおりである。

①振動ローラーによる転圧の場合、20cmの施工厚では5回程度の転圧で、理論密度の98%程度の値となった。

また、25cmの施工厚の8回転圧も同程度の値となった。

②タイヤローラーの場合、20cmの施工厚で90～93%程度の密度値となり、振動ローラーと比較して低い値となった。

③フィニッシャー敷均し後の密度は総じて80%前後の値であった。

(3) 転圧減測定

各ブロック毎に、フィニッシャー敷均し後と転圧完了後の高さを測定し、転圧減を求めた。転圧減と厚さから計算した余盛率は、締固度の影響を受けているが、13～19%の値となった。今回は敷均し後の密度が80%前後と低かったため、かなり大き目の値であった。

7. 追跡調査

追跡調査項目を表-8、コアの採取位置を図-8に示す。このうち主な調査結果を以下に述べる。

(1) 室内試験と標準供試体の力学特性の比較

出荷中のプラントよりサンプリングして作成した標準供試体と配合設計時に室内試験として作成した供試体の力学特性を比較し、プラントでの再現性を確認した。

図-9に圧縮強度の試験結果を示す。プラントで作成した標準供試体が若干小さめの値ではあるが、ほぼ同程度であった。このほか静弾性、動弾性係数についても比較を行ったが、同じ傾向であり、室内試験の結果はプラントで十分再現できると思われる。

表-7 測定項目、方法

項 目	方 法	頻 度
出荷時コンシステンシー	VC法	適宜
出荷時エア量	VC法	適宜
現場密度、含水比測定	水分密度計 による	転圧前96点 (12点/ブロック) 転圧後96点 (12点/ブロック)
転圧減測定	レベル法	24測線 (3測線/ブロック)

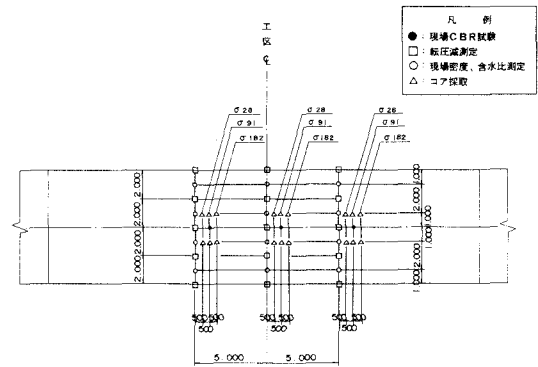


図-8 測定位置

表 - 8 調査項目、方法

項 目	方 法	頻 度
標準供試体	圧縮強度試験	JIS A 1108準拠 3個/材令 材令 7,14,28,91,182日
	引張強度試験	JIS A 1113準拠 3個/材令 材令 7,14,28,91,182日
	静弾性係数測定	ASTM C 469準拠 3個/材令 材令 7,14,28,91,182日
	動弾性係数測定	ASTM C 597準拠 3個/材令 材令 1,3,5,7,14,28,91,182日
	線膨張係数測定	JIS A 1129準拠 3個/材令 材令 7,14,28,91日
	乾燥収縮試験	" 3個/材令 材令 7,14,21,35,63,98,189日
コア	引張強度試験	JIS A 1113準拠 3個/材令/レーン 材令 28,91,182日
	動弾性係数測定	ASTM C 597準拠 3個/材令/レーン 材令 28,91,182日

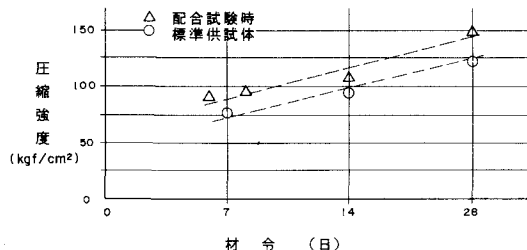


図 - 9 材令と圧縮強度

(2) 標準供試体と採取コアの引張強度

最大骨材寸法が40mmのため、採取コア厚15～25cmでは正規の圧縮強度で比較することができないため、割裂法による引張強度で比較した。なお標準供試体で圧縮強度と引張強度の関係を試験しておくこととした。

各材令毎の試験結果では、採取コアの引張強度は標準供試体に比べ小さい値となった。また材令を経にしたがいその差は大きくなる傾向にある。今回の施工では、養生を24時間行なったが、施工後の現場観察では乾燥収縮が原因と考えられるクラックが発生しており、施工後の表面乾燥が強度発現に大きな影響を与えたものと思われる。

供用車線と非供用車線では、引張強度に有意差はなく、初期の強度発現への交通荷重の影響は見られない。また材令 182日で灰炭運搬車の通過台数は約 7,400台であるが、まだ交通荷重によるマイクロクラック等の疲労現象は現われていない。

8. まとめ

今回の施工結果は、まだ検討すべきことが多く残されているが、現時点で明らかとなったことは次のとおりである。

- (1) RCDで用いられているVC試験による配合手法は、適切な施工を行えば、十分な締固度のRCCが得られることがわかり、道路分野への適用が可能であると考えられる。現在RCCPでは突き固め法による配合設計手法などが用いられており、今後両者の関係についても検討する予定である。
- (2) アスファルト舗装で通常用いられているフィニッシャーによる敷均しは、最大骨材寸法40mmでも可能であったが、一部に材料分離が見られ、施工性の面からさらに検討が必要である。
- (3) 厚さ15cmのブロックの表面性状は、他ブロックと比べても遜色はなく、最大骨材寸法40mmでも施工可能と考えられる。
- (4) タイヤローラーによる転圧は振動ローラーと比べて、低い締固度の結果となった。
- (5) 採取コアの強度は、標準供試体に比べ低い値となった。これは初期の乾燥が大きな影響を与えたものと考えられ、養生方法、日数の検討が必要である。
- (6) 現時点の追跡調査結果では、交通荷重が強度に与える影響は見られなかった。今後さらに交通荷重によるRCC内部の応力レベル等の検討を加える予定である。

フライアッシュを用いた転圧コンクリート路盤の研究に当っては、石炭灰土木材料高度化利用研究委員会（委員長 北海道大学 菅原教授）に御指導いただきながら進めている。また今回の施工に当っては、北海道工業大学 笠原教授、大成道路㈱北海道技術試験所 石谷所長から多くの助言をいただいた。ここに合せて厚く感謝の意を表します。