

報告 解体コンクリート塊を用いた極低品位コンクリートの実施工への適用事例

木村 博^{*1}・櫻井 隆喜^{*2}・石川 嘉崇^{*3}・井ノ上 弘行^{*4}

要旨：40mm 以下に解体しただけで手を加えていないコンクリート塊と規格を満足しない石炭灰などをトラックアジテータ車で練り混ぜて圧縮強度が数 N/mm^2 のコンクリートを製造し、ラップルコンクリート（人工地盤）として約 $7,000\text{m}^3$ 打設した。この結果、解体コンクリート塊の 20%以上をラップルコンクリートに再利用できた。また、解体コンクリート塊の含水率を管理し、ラップルコンクリートの単位水量を一定に保つことで、要求品質を満足するだけでなく、ラップルコンクリートの圧縮強度の変動係数を 13.3%に抑えることができた。

キーワード：解体コンクリート塊、石炭灰、ラップルコンクリート、再利用、製造、施工

1. はじめに

火力発電所等の大規模構造物を解体すると大量のコンクリート塊が発生する。これらの再資源化率は 95%を超えているが、その用途はほとんどが路盤材であり、今後の公共投資を考慮すると、リサイクルの永続性に一抹の不安を残す。元来、古い構造物には良質な骨材が使用されていることが多く、天然骨材資源の枯渇という問題と考え合わせた場合、付着したセメントペーストを骨材から除去し、コンクリート用骨材として再利用することが理想である。しかし、ペースト除去に要するエネルギーは膨大であり、環境負荷やコスト面から、一般への普及にはまだ時間がかかる。

一方、石炭火力発電所から排出される石炭灰についても有効利用の方法はセメント原料化に大きく依存しており、コンクリート塊と同様、新たな有効利用先の開拓が急務である。

本報告では、性能上のばらつきは大きい、要求性能の低いコンクリートを「極低品位コンクリート」と称し、解体コンクリート塊及び石炭灰をその材料として適用した事例を紹介する。

2. 電源開発(株)磯子火力発電所の概要

横浜市に立地する電源開発(株)磯子火力発電所は、老朽化が進んだ既設の旧 1・2 号機(合計出力 53 万 kW)を運転しながら新 1 号機(出力 60 万 kW)を建設し、新 1 号機の運転開始後、旧 1・2 号機を撤去し、その跡地に新 2 号機(出力 60 万 kW)を建設するという「ビルド-スクラップ-ビルド」の手順でリプレース工事を進めている。

旧 1・2 号機の撤去時には大量の解体コンクリート塊が発生するが、有効利用策として新 2 号機発電所建物のラップルコンクリート用骨材に再利用する検討を行ってきた。図-1 に、リプレース完了後の磯子火力発電所を示す。



図-1 リプレース完了後の磯子火力発電所

*1 清水建設(株)エンジニアリング事業本部原子力本部 工修 (正会員)

*2 電源開発(株) 磯子火力新 2 号機建設所建築グループ 工修

*3 電源開発(株) 茅ヶ崎研究所 上席研究員 工博 (正会員)

*4 清水建設(株) 建築事業本部東京建築第三事業部 工修

3. 解体コンクリート塊の物性

3.1 解体コンクリート塊の製造方法

解体コンクリート塊は、自走式破砕機（最大処理能力：460t/h）を用いて最大粒径 40 mm以下に粒度調整して、敷地内に保管したものである。写真－1 に解体コンクリート塊の外観、図－2 に解体コンクリート塊の粒度分布を示す。これは2 か月にわたるラップルコンクリート打設時の品質管理の一環として、解体コンクリート塊の粒度分布を調べたものである。解体コンクリート塊は、自走式破砕機から排出されたままのものであるため、5 mm以下の細かな粒子も多く含んでいるのが特徴である。

3.2 解体コンクリート塊の物性

解体コンクリート塊は、40 mm以下の粒子の連続粒度になっているが、その構成は質量比で、5 mm以上の粒子が約64%、5mm未満の粒子が約36%であった。解体コンクリート塊の密度および吸水率の測定は粒径が5mm以上の粒子について行った。解体コンクリート塊の表乾密度は 2.33 g/cm³、吸水率は8.9%であった。

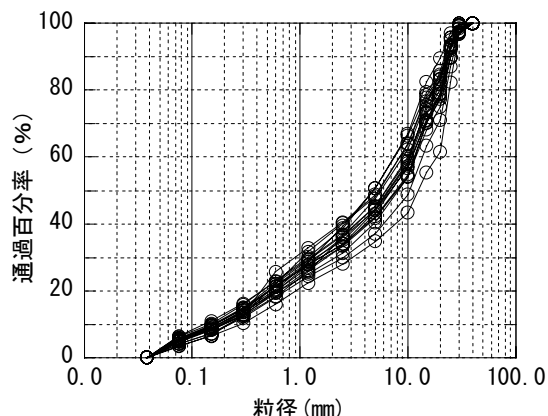
図－2 に示すとおり、解体コンクリート塊の粒度分布はばらつきが大きく、各粒径における通過百分率の変動係数は 10%程度になった。実積率は大きく、74%程度となった。粒径 5mm 以下を含む解体コンクリート塊の含水率は、降雨後間もない時や晴天が長く続いた時を除けば、ストックの表面から深さ 50cm の位置でおおむね 14～20%程度であった。

4. 極低品位コンクリートの目標

本報告で対象とする「極低品位コンクリート」はラップルコンクリート（人工地盤）に適用することとし、「できるだけ手を加えない解体コンクリート塊に、できるだけ多く石炭灰を置換したセメントペースト（以下、FA ペースト）を加え、要求性能を満足するコンクリートを打設すること」を目標とした。今回の検討では、種々の製造・施工方法から、品質、コスト、工期、及び環境特性等を考慮して、現場でトラックア



写真－1 解体コンクリート塊の外観



図－2 解体コンクリート塊の粒度分布

表－1 FA ペーストとラップルコンクリートの目標品質

製 品	項 目	目 標 値	備 考
FA ペースト	シリンダ・フロー	500-50mm 500+100mm	材料分離しない W/(C+F)を設定
	スランブ	15±2.5cm	ポンプ圧送
ラップル コンクリート	圧縮強度	2N/mm ² (材齢 28 日)	設計要求
	六価クロム 溶出量	0.05mg/L 以下	環境省告示 第 46 号

ジテータ車を用いて FA ペーストと解体コンクリート塊を練り混ぜてレディーミクストコンクリート状にし、ポンプ圧送する工法を採択した。そこで、FA ペースト及びラップルコンクリートに要求される品質として、①ポンプ圧送に適したフレッシュ性状、②設計上・施工上必要な圧縮強度の確保、及び③環境基準を満足する六価クロムの溶出量を挙げ、目標値を表－1 に示すとおりとした。

5. 使用材料

表－2 に使用材料の一覧を示す。

セメントは、普通ポルトランドセメントと高炉セメント B 種の 2 種類とし、FA ペースト試験

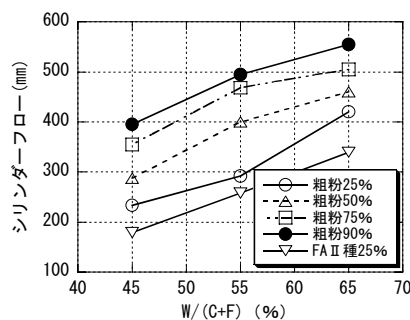


図-3 W/(C+F)とフロー

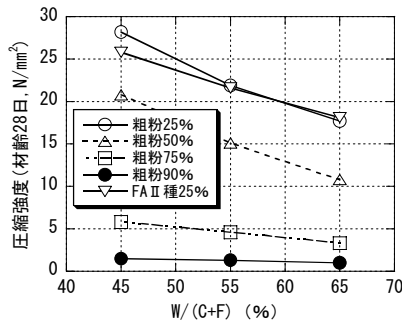


図-4 W/(C+F)と圧縮強度

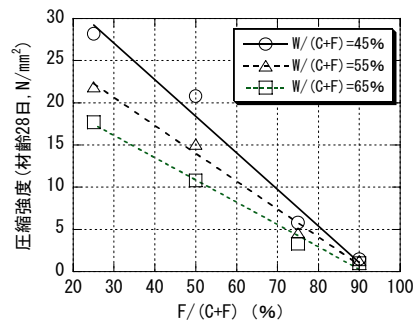


図-5 F/(C+F)と圧縮強度

及びラップルコンクリート試験で、目標品質を満足する方を選定した。石炭灰は、礫子火力新1号機産の粗粉(原粉からJIS灰を回収した残りの灰)とし、セメントの一部に使用した。

6. FA ペースト試験

6.1 試験の概要

ラップルコンクリートは、セメント、石炭灰、及び水を練り混ぜて製造したFAペーストに解体コンクリート塊を加えて、さらに練り混ぜて製造する。したがって、FAペーストの品質はラップルコンクリートの品質に大きく影響する。そこで、ラップルコンクリートの試験に先立ち、水粉体比(W/(C+F))の影響、及び石炭灰置換率(F/(C+F))の影響を把握した。試験は、セメントに普通ポルトランドセメント、石炭灰に粗粉を使用し、比較にフライアッシュⅡ種灰を使用した。W/(C+F)は45, 55, 及び65%の3水準、F/(C+F)は25, 50, 75, 及び90%の4水準とした。

6.2 シリンダーフロー

図-3にW/(C+F)とシリンダーフローの関係を示す。W/(C+F)の増加とともにフローは大きくなった。また、粗粉置換率が大きいものほどフローが大きくなった。JIS灰と比較すると、粗粉の方が流動性を増加させる効果があった。

6.3 圧縮強度

図-4にW/(C+F)と圧縮強度の関係、図-5にF/(C+F)と圧縮強度の関係を示す。W/(C+F)の増加にともない圧縮強度は低下した。また、F/(C+F)と圧縮強度の関係は一次式で表現できた。

表-2 使用材料の一覧

使用材料	品質など
セメントC	高炉セメントB種、密度3.04g/cm ³ 、比表面積3920cm ² /g、T社製
	普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm ³ 、比表面積3300cm ² /g、T社製
石炭灰F	密度2.12g/cm ³ 、比表面積2390cm ² /g、礫子火力1号産粗粉
解体コンクリート塊Ag	標準湿潤状態の密度2.21g/cm ³ 、絶乾密度1.87g/cm ³ 、含水率18.04%
練混ぜ水W	上水道水

7. ラップルコンクリート試験

7.1 室内試験

(1)試験の概要

ラップルコンクリートは、トラックアジテータ車にFAペーストと解体コンクリート塊を入れて、練り混ぜる。ここでは、実施工を想定し、FAペーストを入れた傾胴式ミキサ内に解体コンクリート塊を投入して練り混ぜ、諸性能を確認した。なお、FAペースト(P)と解体コンクリート塊(Ag)の容積比は、解体コンクリート塊の実積率から、2:8とした。

(2)フレッシュ性状

表-3に試験結果を示す。すべての調合においてFAペーストのフローは475~588mm、ラップルコンクリートのスランプは13.0~17.0cmと、目標品質を満足した。

(3)力学性状

表-3に試験結果を示す。

F/(C+F)が60%を超えた調合では、セメントの種類に関らず圧縮強度は小さかった。これに対して、F/(C+F)が31.3%以下では、十分な圧縮強度が発現した。このことから、F/(C+F)を31.3%以下に設定することとした。

図-6に(C+F)/Wと圧縮強度(材齢28日)の関係を示す。高炉セメントB種を使用したF/(C+F)=31.1%の調査について、(C+F)/Wと圧縮強度の関係を直線回帰したところ、高い相関性を示した。このことから、極低品位コンクリートも、一般のコンクリートと同様、(C+F)/Wと圧縮強度の関係で調合設計できると推察された。

図-7にF/(C+F)と圧縮強度(材齢28日)の関係を示す。W/(C+F)=60%の調査は、F/(C+F)が増加するにしたがい、線形に圧縮強度は低下した。この傾向はFAペーストの場合と同様であった。

(4)六価クロムの溶出

極低品位コンクリートは単位セメント量が少なく水和が十分に進まないことから六価クロムの溶出が懸念されたが、高炉セメントB種を使用した調査は土壌環境基準を満足した。

7.2 実機試験（試験製造）

(1)試験の概要

川崎のFAペースト工場から約1時間かけて発電所までFAペーストを輸送し、そこで解体コンクリート塊を投入して、実際にラップルコンクリートを試験製造した。試験製造では、W/(C+F)=60%、F/(C+F)=65%とし、FAペースト(P)と解体コンクリート塊(Ag)の容積比を、P:Ag=3:7、2.5:7.5、及び2:8の3水準とし、各容積比で、1、2、3、及び4分間練り混ぜ、フレッシュ性状を確認した。

(2)解体コンクリート塊の使用量と練混ぜ時間

図-8に、各容積比での練混ぜ時間とスランプの関係を示す。スランプは、解体コンクリート

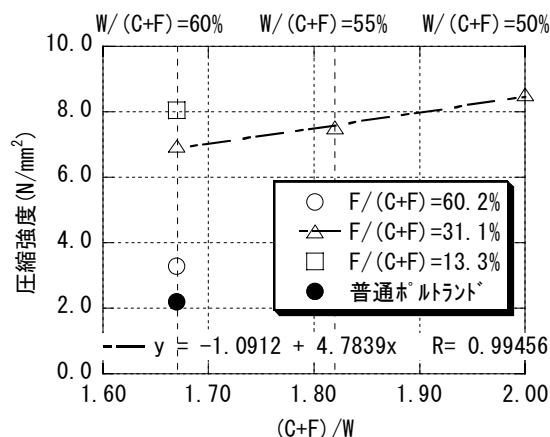


図-6 (C+F)/Wと圧縮強度の関係

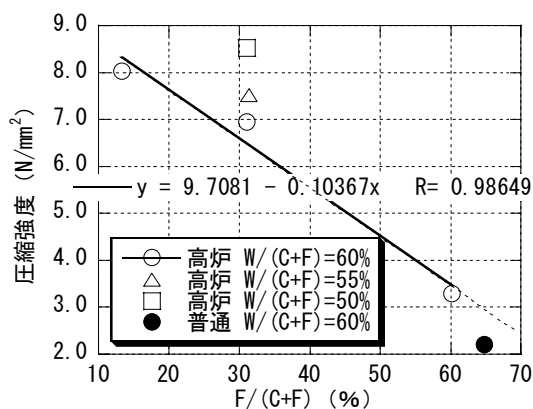


図-7 F/(C+F)と圧縮強度の関係

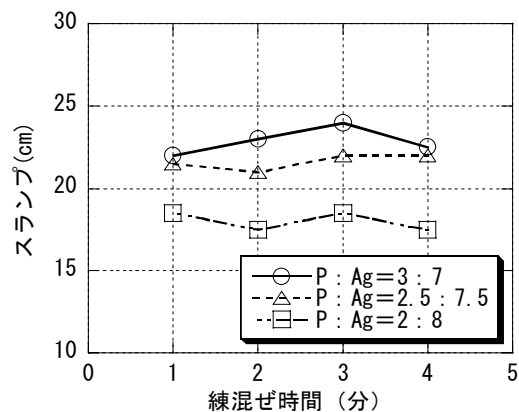


図-8 練混ぜ時間とスランプの関係

表-3 計画調合と各種試験結果

No	セメント	W/(C+F) (%)	F/(C+F) (%)	単位量 (kg/m³)				フレッシュ性状		圧縮強度 (N/mm²)	
				W	C	F	Ag	ペーストフロー (mm)	ラップルコン スランプ (cm)	ペースト	ラップルコン
1	高炉B種	60	60.2	118	78	118	1503	535	15.0	6.66	3.29
2	高炉B種	60	31.1	118	135	61	1503	588	15.5	11.79	6.95
3	高炉B種	60	13.3	118	170	26	1503	530	17.0	15.89	8.04
4	普通	60	64.8	118	69	127	1640	533	16.0	4.33	2.20
5	高炉B種	55	31.3	119	149	68	1503	527	15.5	13.76	7.52
6	高炉B種	50	31.1	115	157	71	1503	475	13.0	16.05	8.52

※P:Ag=2:8とした。

塊の比率が多くなるにしたがい小さくなった。解体コンクリート塊の実積率から決まる理論上の最大使用量である $P:Ag=2:8$ の時、スランプは 18cm 程度と所期の品質に近いコンクリートとなった。したがって、FA ペーストと解体コンクリート塊の容積比 $P:Ag$ は $2:8$ とした。また、練混ぜ時間は、 $P:Ag=2:8$ の場合、練混ぜ時間 1 分以降、スランプがほとんど変わらなかった。また、計画調合における 5 mm 以上の粒子の単位量は 732kg/m^3 、ドラムの中から採取したコンクリートをウェットスクリーニングして回収した 5mm 以上の粒子の単位量が 738kg/m^3 であったことから、1 分間で練混ぜが完了したと推定された。そこで、実機では、確実な練混ぜとするため、練混ぜ時間を 2 分間とした。

8. 実施工の様子

写真—2～5 に、現場でのラップルコンクリートの製造及び打設状況を示す。ラップルコンクリートの製造・打設は、2006(平成 18)年 3 月 31 日～2006(平成 18)年 5 月 26 日までの約 2 か月間、ほぼ毎日行った。ラップルコンクリートの打設数量は延べ $7,000\text{m}^3$ となった。

9. 品質管理

9.1 品質管理の方針

ラップルコンクリートは極低品位コンクリートであるため、通常のコンクリート並みの高級な品質管理ではなく、簡略できる部分は大きく簡略するという方針で管理方法を設定した。ただし、ラップルコンクリートには重要構造物を支持する役目があるため、緩やかな管理であっても間違いなく要求性能を確保できるよう、安全率を高く設定した。

とくに解体コンクリート塊はラップルコンクリートの体積の 8 割を占め、含水率が変動することによってコンクリートの品質に大きく影響するため、解体コンクリート塊の水分管理を最も重要な品質管理項目に設定した。

9.2 解体コンクリート塊の水分管理

解体コンクリート塊は現場に野積みされており、降雨や長期間の日射によって含水率は数%



写真—2 解体コンクリート塊の保管状況



写真—3 解体コンクリート塊の計量



写真—4 ラップルコンクリートの練混ぜ



写真—5 ラップルコンクリートの打込み

変動した。そこで、ラップルコンクリートの製造時に、解体コンクリート塊の含水量を確認し、FA ペーストの単位水量を加減することで、ラップルコンクリートの単位水量を一定に保持する方策をとった。

すなわち、今回の施工では、あらかじめ、含水率を変えた解体コンクリート塊の外観状況写真を作成し、計量場所に掲示した。解体コンクリート塊の計量者は、打設日ごとに外観状況写真で含水状態を確認した。また、外観状況写真には単位水量の過不足量が併記しており、計量者は、FA ペースト製造者に単位水量の過不足量を報告し、FA ペーストの製造工程で、ラップルコンクリートの単位水量を調整した。

図-9に打設期間中におけるFA ペーストのシリンダーフローとラップルコンクリートのスランプの関係を示す。解体コンクリート塊の外観状況は各打設日ともほぼ同様であったため、FA ペーストは同一調合で供給したが、石炭灰のブレン値がばらつき、ペーストのシリンダーフローは 490～575 mmと大きく変化した。しかし、ラップルコンクリートのスランプはペーストのシリンダーフローの変動に敏感でなく、すべて目標スランプの範囲に収めることができた。

図-10にラップルコンクリートの材齢28日における圧縮強度の履歴を示す。打設期間中の圧縮強度は平均で 5.4N/mm^2 となり、目標品質である 2N/mm^2 を満足した。また、解体しただけで手を加えていない解体コンクリート塊と石炭灰（粗粉）を用いたラップルコンクリートの圧縮強度の変動係数を 13.3%に抑えることができた。

10. おわりに

解体・粒度調整しただけの解体コンクリート塊と石炭灰(粗粉)という低品質な材料を用いて、ラップルコンクリートといった極低品位なコンクリートを製造し、実際に打設を行った。この結果、解体コンクリート塊については、総発生量の 20%以上をラップルコンクリート用骨材に使用することができた。

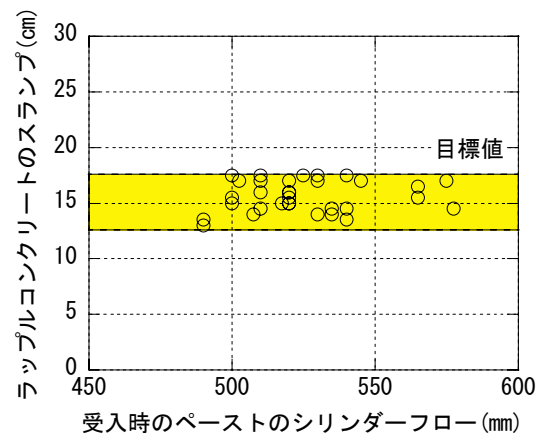


図-9 FA ペーストのフローとラップルコンクリートのスランプ

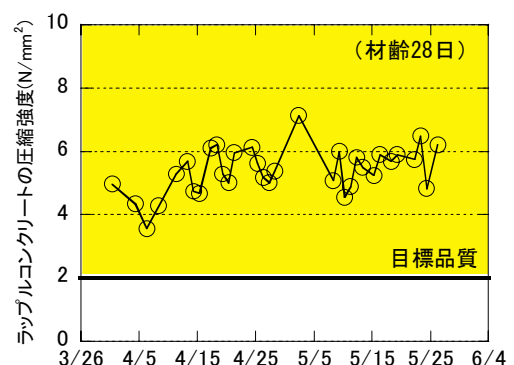


図-10 ラップルコンクリートの圧縮強度の履歴

解体コンクリート塊のように品質変動が大きい材料を使う場合、適用する製品の仕様、調合、製造、及び品質管理方法を整備して、低品質な材料を使用する「環境作り」を構築することが重要となる。そういった観点で、本方式が今後のリサイクル方法の一助となることを期待するものである。

謝辞：ラップルコンクリートの製造・打設にかかわる種々の検討に際し、太平洋セメント(株)には多大なるご尽力を賜りました。記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 櫻井, 石川ほか: 再生砕石を用いた極低品位コンクリートの施工に関する研究(その 1～その 9), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2005～2006