

石炭灰および石灰系骨材の吹付けコンクリートへの適用検討

山本 康博* 田浦 一英*
Yasuhiro Yamamoto Kazuhide Taura

§ 1. はじめに

吹付けコンクリートの課題としては、①はね返りなど材料損失が多いこと、②吹付け作業時に粉塵が発生すること、③水密性にやや欠けることなどが挙げられる。

はね返りを抑制するために急結剤を多く使用すると、長期強度が落ち、粉塵も増える。粉塵は人間と施工機械に悪影響を与え、結果として大型の換気設備が必要となる。流動性が悪い場合には、均一な施工が難しくなる。これらを改善するために既存の混和剤（減水剤や粉塵低減剤など）を用いても配合設計が難しかったり、配合が決まっても大幅なコスト増となる。

そこで、はね返りと粉塵の低減を図る方策として、吹付けコンクリートの粘性を高くして水密性を確保することとし、主として材料である粉体や骨材面から吹付けコンクリートの配合を検討することとした。

近年、川砂、川砂利など良質な天然の骨材資源の枯渇から、コンクリートに用いる良質の骨材を確保することが困難になりつつある。良質なフライアッシュは、骨材が滑らかな球形であることからボールベアリング作用を持つため、コンクリートのワーカビリティ（流動性など）の改善や減水作用を有する。なお、石炭火力発電所から産出される石炭灰（粒度の分級度合いによる粒度や比表面積から等級区分が有るフライアッシュの総称）は、今後その生産の増加が見込まれ、これを活用することは産業廃棄物の有効利用にもなる。

また、石灰系骨材を使用した場合には、通常の細骨材よりも粘性を高くできるといわれている。

そこで、粉体材料に着目し、細骨材として砕砂を用いる条件下で、高分級した良質のフライアッシュⅠ種（以降FNと呼ぶ）を添加したコンクリート（本来はセメントと置換えが理想であるが、セメント量の指定があるために細骨材と置き換えた）と、骨材に石灰砕砂・砕石を用いたコンクリートについて、吹付けコンクリートとしての適用を検討するため、吹付け実験を行った。

本文では、この実験結果について報告する。

§ 2. 実験概要

吹付けコンクリートの性状は、それを構成する骨材の産地・種類により大きく異なったりする。そこで、骨材に吹付けコンクリートの性状を依存しないため、また品質を安定的に確保するため、吹付けコンクリートの粘性や水密性の改善が見込めるFNおよび石灰系骨材に着目した。これらの材料を使用し、その重量混合比率を変えた各種の配合による吹付け実験を行い、リバウンドや粉塵量を測定して、その性状を比較することとした。

(1) 配合と使用材料

特記仕様書にある吹付けコンクリートの配合条件を表一1に示す。

表一1 配合条件

項目	基準値	備考
設計基準強度	$\sigma_{28} = 180\text{kgf/cm}^2$	
スランプ	10 ± 2 cm	
水セメント比 (W/C)	65%以下	
最大粗骨材寸法	15mm	
単位セメント量	360kg/m ³	
砂	0.8m ³ (1086kg)	参考
砕石	0.47m ³ (3675kg)	参考
急結剤	セメント量の5.5%	
適用		湿式

以上の条件を勘案し、試験練りにより配合を決定した。次に、使用材料を表二に示す。

表二 使用材料

品名	種別	メーカーまたは産地
セメント	普通ポルトランドセメント	太平洋セメント製
細骨材	海砂（細目）FM2.10	長浜沖産
	砕砂 FM3.21	中予砕石製
	石灰砕砂 FM2.85	新津商店
粗骨材	砕石（15mm）	中予砕石製
	石灰砕石（15mm）	新津商店
混和材	フライアッシュ (FN) FA20	テクノ・リソース製
急結剤	N	急結性セメント鉱物
	T	急結性鉱物

(2) 使用機械

吹付け機にGSK RTM2025GV（コンプレッサー別体型、エアライン接続はSLP100mm²×50m、エアホース100mm²×40m）、コンクリートポンプにシンテック製MKW-25SMT、コンプレッサーにSMS95S（突出空気量14m³/min、圧力スイッチ7.0kg/cm²、安全弁8.0kg/cm²）を使用した。

*四国（支）新柳谷（出）

(3)試験方法

①リバウンド重量測定：吹付量3.0m³を下記の図-1のように行い、はね返った吹付コンクリート重量を計量し、リバウンド率を計る。急結剤添加量はセメントに対し約7.5%であった。

$$A = B/C$$

ここに、A：作業効率（リバウンド率）

B：はね返った吹付コンクリート重量

C：吹付けたコンクリート重量

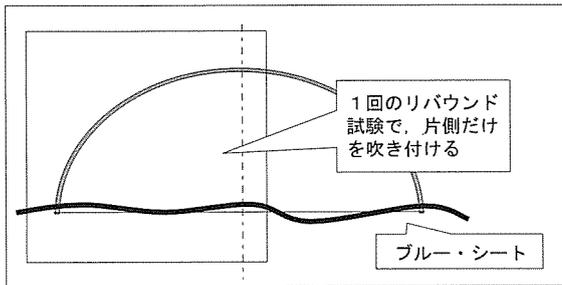


図-1 リバウンド重量測定概要図

②粉塵濃度測定：デジタル粉塵測定機（Kanomax3411）を用いて、吹付け中の粉塵濃度を測定する。換気設備は送、排気ファン1000, 2000m³/hとも全開とする。

③スランプ試験：吹付け前に、JIS-A-1101に基づいて行う。

④吹付時間測定：ストップウォッチにて吹き始めから吹き終わりまでを計測する。トラブルによりコンクリートの圧送を止めた時間を含まない。

§ 3. 実験結果と考察

実験結果を以下に報告するとともに、吹付けコンクリートの合理的施工を行う条件についての考察も加えた。

試験結果を表-3に示す。

①FAを添加した場合

FAを混入した場合のリバウンド率は10~14%となり、他現場（一般的に20~30%）に較べると、かなり良好であった。ただしFNによる効果はリバウンド率で2%程度の向上で、想定した大きな効果は得られなかった。

しかし、FA0でのリバウンドは骨材が雨の様に降り注ぐ傾向にあったのに対し、FNを添加した配合では塊として落ちる傾向にあった。これは吹付けコンクリートの粘性が高くなったことにより、吹付け時に材料分離を起こしにくくなったためであり、塊で落ちたことについては急結剤を内部に十分混合できなかったためと推測される。

今回はスランプを11~12cmに固定して検討を行なったが、コンクリート1m³当りにFAを100kg以上混入した配合3,7の場合は、コンクリートが見た目にはバサバサの状態であったものの、所要のスランプを得ることができた。このようにFNのボールベアリング効果は絶大であり、通常のスランプの概念を改める必要があった。

次に、粉塵低減効果については、2種類の急結剤を使用した。試験中の条件の違いによるものと見られる程度の差しか、確認できなかった。

②石灰系骨材を使用した場合

石灰系骨材を用いた場合は、FA0以外では粘りが大きすぎて吹付けが行えず、考察できるほどの結果が得られなかった。したがって、石灰系骨材を使用する場合には粘性が高くなることを考慮して配合設計するなど、今後再検討する必要がある。

③設備、機械等

使用する材料(主にコンクリートの粘性に依存する)によっては設備についての検討も必要である。具体的には、コンクリートポンプ・タイプとアリのバー・タイプどちらのコンクリート圧送機を使用するか、コンプレッサーの容量や圧力圧をどの程度にするか、などが挙げられる。ただし、リバウンド成果はノズル・マンによる所も多く、吹付け時の正しい判断が明暗を分けることも付記する。

§ 4. おわりに

実験結果はあくまでも結果であり、コンクリートの性状を考えると、即座に新たな指針を示すものではなかったが、吹付けのメカニズムを理解する上で有用なデータとなり、応用を利かせるための礎になるものであった。

なお、施工設備は汎用設備を使用し、吹付けプラントに、フライアッシュ用のサイロ、計量器を増設するだけでよいことも、この手法の魅力である。

表-3 吹付けリバウンド試験結果 (FA:フライアッシュ※比重2.30以上,比表面積5000cm²/g以上,LS:石灰系骨材,N:急結性セメント鉱物,T:急結性鉱物)

No.	配合種類	細骨材率 (%)	水セメント比 W/C (%)	FN	急結剤	スランプ (cm)	(3.0m ³) A	(m ³) B	リバウンド率 B/A	粉塵測定 (mg/m ³)		吹付時間 (分)
										切羽から 50m	切羽から 100m	
1	FA0-N	61.7	58.1	0	N	12.0	6957	882.6	12.7	2.55	2.08	14
2	FA50-N	61.7	51.4	50	N	12.0	7059	806.0	11.4	2.19	-	12
3	FA75-N	61.7	50.0	75	N	11.5	7077	745.8	10.5	2.79	2.47	13
4	FA0-T	61.7	58.1	0	T	12.0	6957	875.9	12.6	3.59	3.21	13.5
5	FA50-T	61.7	51.4	50	T	12.0	7059	675.4	9.6	2.44	1.16	14
6	FA75-T	61.7	50.0	75	T	11.0	7077	971.0	13.7	2.73	1.35	12
7	FA0LS-T	60.0	55.5	0	T	11.5	7242	781.8	10.8	2.35	2.16	13
8	FA50LS-T	60.0	56.4	50	中止：閉塞して吹付け不可			FA75はFN添加量の置換え量を示す。 海砂：砕砂の混合比は6:4である。				
9	FA100LS-T	60.0	52.2	100								