

フライ アッシュをペーストとして 使用する方法について

三 村 通 精
上 野 勇
細 谷 浩 正

1. 緒 言

フライ アッシュ は優秀なポゾランであって、水理構造物のコンクリートに適当に使用すれば、ウォーカビリティ・強度・水密性・耐久性などを改善するばかりでなく経済的になる。とくにダムのようなマッシブなコンクリートに用いれば硬化熱も緩和されていっそう有利となる場合が多い。

しかしフライ アッシュ は火力発電所の二次製品であるから粉末度・含有炭素量などの幾分の変動はさげられ

ないのであって、このためとくに AE コンクリートの管理が困難になる欠点がある。また一部のフライ アッシュは空気中の湿気にされると固まる傾向があるため空気式の輸送が困難となったりサイロの引き出しや計量が困難となる場合もあって実用上の難問題となっている。

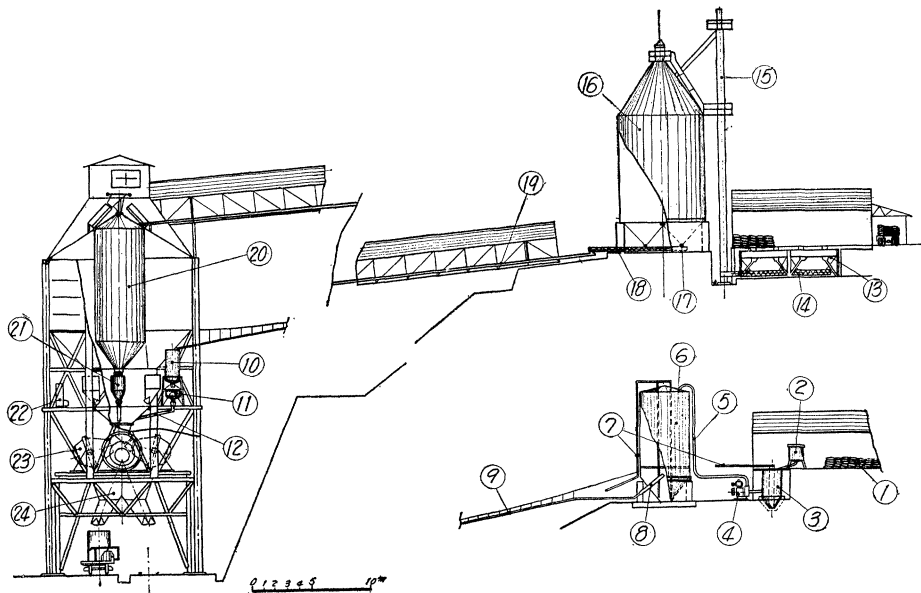
この問題の解決方法として、国分正胤博士は数年前より、フライ アッシュ を乾いた粉末のまま使用するかわりにあらかじめ水と練り混ぜフライ アッシュ ペーストとして大量に貯蔵して使用することを提案されて来た。

筆者らは奥只見ダム（コンクリート重力式、高さ 167 m、容積 160 万 m^3 ）の建設にあたって経済上の理由ばかりでなくコンクリートのきれつ防止の意味からもフライ アッシュ をできるだけセメントとおきかえることをもくろみ、最初従来どおりの粉末フライ アッシュを用いる方式で出発したのであるが、上記のようなフライ アッシュの持つ欠点のため工事開始後まもなくこの方法ではフライ アッシュ を使用することが事実上不可能であることがわかった。そこでその対策をもとに検討した結果 国分博士が提案されたようにフライ アッシュをペーストとして使用することに踏み切ったのである。

2. フライ アッシュ ペースト取り扱い装置

フライ アッシュ ペーストの取り扱い装置は、フライ

図一 奥只見ダム工事現場に設置したフライ アッシュ ペースト プラント（縦断面図）



注：ペーストプラント：① 袋詰めフライ アッシュ（1袋 40 kg）、② 水の計量槽、③ ペースト溶解槽、④ ポンプ（10 IP ϕ 7.5 cm）、⑤ ペースト輸送管（ ϕ 7.5 cm）、⑥ ペースト貯蔵タンク（容量 120 m^3 ）、⑦ エヤーパイプ（溶解槽や貯蔵タンクのかんはん用である）、⑧ 引出しバルブ（パッチャー内ヘッドタンクの水位と連動させた）、⑨ ペースト輸送管（ ϕ 10 cm）、⑩ ヘッドタンク（オーバフロー付）、⑪ 計量槽（自動遠隔操作方式）、⑫ ペースト放出管（ ϕ 20 cm コクターホッパに開口）

粉末プラント：⑬ 解袋ホッパ、⑭ スクリューコンベヤ（7.5 HP）、⑮ バケットエレベータ（7.5 HP）、⑯ フライアッシュサイロ（容量 400 t）、⑰ ロータリーバルブ、⑱ スクリューコンベヤ、⑲ エヤーサイリダー、⑳ フライアッシュ貯蔵ビン（容量 40 t）、㉑ 計量槽（自動遠隔操作方式）

パッチャープラント：㉒ 計量操作盤、㉓ ミキサ 3 m^3 （112 切）、㉔ ウェットホッパ

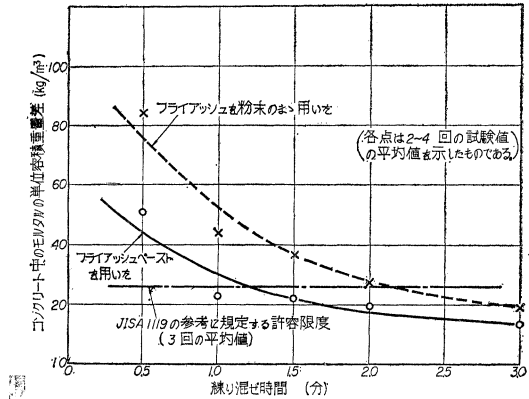
アッシュと水とを短時間に十分練り混ぜることができる
とともにペーストをミキサへ投入するまでの間、すなわちペーストタンク・輸送パイプ・計量槽などの中でペーストが分離を起こさないようなものでなければならない。またペーストをつくるために用いる水量を所望のコンシステンシーが得られる範囲で、なるべく少なくできるようにするものでなければならない。この水量は示方配合における単位水量から骨材の表面水量を減じた水量よりある程度少ないものであることが望ましい。なお装置全体は構造が簡単で運転が容易であり、建設費も運転費も経済的な限界になければならないことも当然である。これらの点を考慮して 図-1 に示すようなフライアッシュ取り扱い装置を考案して奥只見ダム現場に設備した。

この装置は1時間に約12tのフライアッシュを処理する能力のあるもので、フライアッシュの溶解、ペーストの貯蔵・運搬中の分離・沈殿防止のためのかくはんにはすべて圧縮空気を使用している。またフライアッシュの濃度(水・フライアッシュ比)は60%を基準としている。すなわちフライアッシュの重量100に対して水の重量50の割合であるが、この程度の濃度であれば一般のダムコンクリートの場合、練り混ぜに当って、さらに水を計量して加えることになるから骨材の表面水量の変動に対して使用水量を調節するのが可能である。プラントの操作は粉末のフライアッシュを取り扱う場合よりは簡単であり、フライアッシュをペーストとして使用することによりプラントの建設費および運転経費が少なくなることが実証できた。

3. コンクリートの品質におよぼす影響

奥只見ダムのコンクリートについていろいろ調べた結果、フライアッシュをペーストとして使用すればコンクリートの品質が改善され、またその管理が容易となることが確かめられた。すなわちフライアッシュの粉末度・含有炭素量が幾分変動してもまたは品質の異なる2種類のフライアッシュを混用する場合でも均等な品質のフライアッシュが得られる。またフライアッシュをペーストとして用いれば粉末のまま用いる場合よりもコンクリートのウォーカーピッチが改善され、均等なコンクリートをうるのに必要な練り混ぜ時間を短縮することができる。たとえば奥只見ダムコンクリートを3m³のミキサで練り混ぜる場合のミキサ性能試験結果は 図-2 に示すようなものであって、必要な練り混ぜ時間はフラ

図-2 練り混ぜ時間とモルタルの単位容積重量差との関係



イアッシュを粉末のまま用いる場合には2分10秒要するものが、フライアッシュペーストを用いることにより1分10秒になった。

奥只見ダムのコンクリートは付近に適当な堆積砂礫がないため骨材はすべて碎石砕砂を用い、また単位セメントフライアッシュ量を140kgとしてかなり悪い条件といえる。しかし全工事期間にわたってコンクリートのウォーカーピッチは適当であり、品質および品質の変動も所期の程度に管理された。このような成果が得られたのはセメント、骨材などの管理が良好であり、計量および練り混ぜの作業が順調に行なわれたことによるが、フライアッシュをペーストとして使用したことも大いに寄与しているのは疑う余地がない。また固まりやすく粉末のままでは使用困難であったフライアッシュも使用することができて、供給量の不足によってフライアッシュの使用を中止するような事態を招かず済み、おおいに工事費の節減となった。

4. 結 語

奥只見ダム工事の実績から、フライアッシュを用いる場合にはこれをペーストとして用いるのが一般に技術的、経済的に有利であるといえる。とくに硬練りのコンクリートの場合にはコンクリートのウォーカーピッチその他の性質も改善され練り混ぜ時間も短縮できて、すこぶる有利となると考えられる。

筆者：三村・正員 電源開発KK 奥只見建設所長
上野・正員 電源開発KK 奥只見建設所ダム工区長
細谷・正員 電源開発KK 奥只見建設所ダム工区

小丸川 P C 鉄道橋の架け替え工事ならび に関連して行なった実験的研究報告

和 仁 達 美
川 口 輝 夫
菅 原 操
野 口 功
羽 田 野 義 直

小丸川橋梁は日豊本線にあり、全長 805 m、九州第一の鉄道橋である。従来、支間 22.3 m の上路鋼桁 35 連よりなっていたが、戦争中に米軍の機銃掃射をうけ、戦後、4 連は新しい桁と交換し、他の 4 連は一部修理を行なって使用していた。しかし、橋梁位置が海岸線から非常に近いため、潮風による腐食がはなはだしく進行した。戦後架け替え、10 年あまりしか経過していない桁が、在来の約 40 年を経過した桁と同様、あるいはそれ以上にひどく腐食するという現象を生じた。これについては、鋼材の材質試験などを行なった結果、戦後架け替えた桁に使用した鋼材の含銅量が在来の桁のそれとくらべて非常に少なく、このため、短い年月の間にひどい腐食をうけたものと推定された。

腐食の進行がはげしいために、1958 年に本橋における桁を全面的に取り替える計画に着手した。このように潮風の影響が強いところなので、鋼橋を P C 桁で取り替えることが検討された結果、工費的には P C 桁で十分経済的に行けることが明らかになり、耐久性を重視して P C 桁を架けることになったのである。

本橋は現在年間 600 万 t の通過量があり、これだけの列車を通しながら、列車の間合を見て、鋼桁を P C 桁に取り替える方法について検討した。従来、営業線において列車間合に鋼桁を鋼桁に取り替える作業は一般に行なわれて来たが、鋼桁の重量の 4~5 倍の重量の P C 桁をわずかの列車の間合を見て架け替える工事は国鉄としてはじめてのことであるので、次の 3 つの架設方法について入念に比較検討が行なわれた。すなわち、

(1) 橋に沿って支保工を架設し、この上を P C 桁を縦方向に架け替えスパンの位置まで運搬し、列車の間合をみて、横取りによって架け替える方法

(2) 列車間合を見て、まず架け替えるべきスパンにおいて、建築限界の外側にエレクション ガーダーを架設し、列車間合に P C 桁を本線上をトロで運搬し、エレクション ガーダー によって架け替える方法

(3) 70 t の架設車 2 台を製作し、トロの上のせた

P C 桁をはきんで、架設車を連結し、列車間合に機関車で、工事中臨時列車として架け替えスパンまで推進し、この架設車によって架け替える方法

以上の 3 案のうち、(1) は工事として安全度は高いが、工費の点で非常に不利になること、また (2) は 1 スパンの架け替えに 2 度の列車間合を利用する必要があり、作業上、列車運転上の危険度が高くなるという不利な点をさけることができない。(3) については、新たに架設車を製作しなければならないのであるが、国鉄において、今後 5 年間に架け替えを予定されている桁は 700 連に達しており、これらの中の一部は P C 桁で架け替えられることが予想されるので、P C 桁のスパン 22.3 m まで、および上路鋼桁の架け替えに使用できる大型架設車の製作を行なうことにした。この方法によれば、工事の安全度は高く、また工費の点についても架設車の償却を本橋において一部だけ行なうという考え方によって十分経済的になることが明らかとなるので、(3) による実施にふみ切ったのである。

P C 桁の設計にあたっては、上記の架設条件をできるだけ楽に満たすことができるという意味から、また、橋脚橋台は在来のものをそのまま、あるいは一部補強して使用する関係上、橋脚および橋台の安定性の面から、できるだけ軽量に設計することが要求された。このため、肉厚をできるだけ薄くした箱型断面となった。このほか、強度計算上荷重を分担しない死荷重をできるだけ少なくするため、防水工なども排除することになった。

鉄道橋の死荷重として重要な部分を占めるものに、道床があり、この道床を排して直接構造とする案も提出されたが、コンクリート桁に軌道を直結する方法は、構造上また施工上に多くの困難が残されているので、直結方式による案は捨てられたのである。

軽量に設計された P C 桁を架設し、設計上において考慮しなかった原因において P C 桁にひびわれが生じたときに容易に補強ができるかどうかは、このような長大橋にはじめて P C 桁を採用することにおける心配の種の一つとなるものである。このため、1/2 の模型桁において補強の可能性をおもに検討するための試験が行なわれた。この試験によると、万一 P C 桁にひびわれが発生しても、箱型断面の中空内に付着のない P C ケーブルを配置し、追加のプレストレスを与えることによって、ひびわれを閉じ在来ケーブルと補強用のケーブルの活荷重による応力変動を十分に小さくし、おさえることができる点を確認した。

P C 桁の製作は小丸川右岸の高鍋駅構内に隣接した土地において行なわれた。P C 桁製作のためのベンチは 2 基用意し、P C 桁の製作はに 6 日に 1 本の割合で行なわれた。

コンクリートは圧縮試験による管理と平行して、4×4×16 cm 供試体による簡易曲げ試験による管理が行なわれた。この結果、曲げ試験によるコンクリートの管理図が、圧縮試験によるそれと類似の傾向を示し、曲げ試験によるコンクリートの管理の可能性を示す一つの資料が得られた。

コンクリート打ちにあたって、すでに打ち込まれたコンクリートが、長時間型わくからの振動を受ける。セメントが凝結中に継続した振動を受けた場合、硬化した後のコンクリートの性質に悪影響を与えることが心配されたので、実際の桁のコンクリートが受けると同程度の振動を継続して与えた供試体について強度試験を行なった結果、悪影響のないことを確認した。

型わく側面の外部振動機によって、P C 桁の底版コンクリートが十分締固めうるかどうかについて、コンクリートの打ち込み試験を行なった結果、鋼製型わくを使用し、スランプ 3~5 cm のコンクリートの場合、型わく側面の外部振動機によって底版コンクリートを十分締固めることが明らかとなり、箱型断面のコンクリート打ち作業を全断面一度に行ない、桁製作の能率をあげることができた。

小丸川橋に使用された P C ケーブルは全部で 840 本に達しており、緊張結果をもとにして、プレストレスのばらつきについての検討が加えられた。この結果によると、プレストレッシングの際に設計断面における P C 鋼線の引張応力を、ケーブル端部における伸びと荷重計の読みによって推定した場合、実測にあたっては、荷重計のキャリブレーションが行なわれ、摩擦損失の見積りが正しく、計算上の仮定に誤りがない場合でも、種々な誤差の原因の集積によって、この両者の測定値の間に標準偏差にして 5% 程度のばらつきを生ずること、しかし、これらのばらつきは数本あるいは 10 数本のケーブルについて平均すると非常に小さくなる偶然誤差であること。

しかし、もし荷重計に狂いがあったり、摩擦損失の見積りに大きな誤差があり、あるいは計算の仮定に誤りがあるような場合には、数本あるいは 10 数本のケーブルについて平均にしても、0 に近づかないものであることが明らかとなった。この結果、プレストレッシングの管理においては、介入してくる誤差を偶然誤差だけにするのが大切であり、このため、プレストレッシングにおいては個々のケーブルにおける、伸びと荷重計の読みの差に注目するばかりでなく、数本あるいは数 10 本のケーブルについての伸びと荷重計の読みの差の平均値が重要な要素となり、管理図によって管理することが必要で

あるという結論に導いたのである。

P C 桁の架け替えは、夜間、23 時半から 5 時半までの 6 時間の列車の間合を利用して行なわれた。P C 桁は桁置場から横取りによって橋梁トロ上にとらえ、高鍋駅構内の側線において、架設車との間であらかじめ工事用臨時列車を編成し、小丸川の右岸側から 1 連ごとに架け替えられて行った。架設工事は 5 日に 1 連の割で、ほぼ正確な周期を保ちながら、ほぼ 6 カ月で完了することができた。

架設工事における問題点は、在来橋梁における軌道レベルを動かすことなく、P C 桁を架け替えるため、在来橋脚頂面を約 10 cm こう上する必要があることと、箱型断面の桁をねじれが生じない状態で橋脚上に設置することであった。このため、列車間合の工事中にコンクリートを打ち込み、また固まらないコンクリートに P C 桁をすえつけ、初列車が通過する時刻には少なくとも 100 kg/cm² のコンクリートの強度をうるが必要であった。このためアルミナセメントの使用にふみ切ったのである。作業は正確な時間表に従って行なわれるものであるから、アルミナセメントの強度の増進も正確に管理する必要があった。このため使用に先立って、実験室においてあらかじめ、各温度におけるアルミナセメントを使用したコンクリートの凝結時間および強度増進の曲線を求めておき、施工にあたってはその時の温度を測定し、初列車通過時刻から逆にコンクリートの練り混ぜ時刻を逆算して、その時刻にコンクリートを練り混ぜるといった方法をとった。このほか、入荷するセメントの品質のばらつきをしらべるため、随時セメントの凝結試験を行なって、この結果をも合わせて参考としたのである。

かくして初列車通過時におけるコンクリートの強度は 100~200 kg/m² の範囲で得ることができた。

本工事は営業線において、鋼桁を P C 桁に交換するためにはじめて計画されたものであるが、工事にあたっては細心の注意と入念な検討を行なったため、小さな事故もなく、全 35 連を架け替えることができ、鉄道における P C 桁の使用の領域の拡張に役立ったものであり、今後この種の工事に対する参考資料を提供することができたものとする。しかし、この種の工事においては慣れによって安易な施工が行なわれることは厳につつまねばならない。

筆者：和仁・正員 国鉄施局土木課長
川口・正員 国鉄構造物設計事務所
菅原・正員 国鉄東京工事局土木課長
野口・正員 国鉄構造物設計事務所
羽田野・国鉄大分鉄道管理局