

石炭灰を多量に混入したコンクリートの人工岩盤への適用

石炭灰の置換率を50%としたコンクリートの特性

Application of high volume Coal Ash concrete to Construction of Artificial Bedrock

Characteristics of Concrete with Coal Ash Replacement Rate of 50%

(中央送変電建設所 清水送変電工事務所)

石炭火力発電所から発生するフライアッシュをコンクリートの混和材として用いた場合の効用として、ワーカビリティの改善、長期材齢における強度の増進、水和熱の抑制等があげられ、ダムコンクリート等に用いられてきた。しかし、フライアッシュを多量に混入すると強度発現の遅延等の問題があり、一般には置換率30%以下で用いられている。今回、東清水変電所においてマスコンクリートである人工岩盤を打設するにあたり、強度および発熱特性について、室内試験および施工時の基本的なデータが得られたので紹介する。

(Transmission & Substation Construction Office, Shimizu Power Transmission & Substation Construction Office)

The use of fly ash generated in thermal power plants as an admixture for concrete is effective for the improvement of workability, enhancement of strength with a long material age, the restriction of heat of hydration and so on, therefore, it has so far been used in dam concrete and the like. However, the use of a large amount of fly ash also has problems such as the reduction in strength, so it is generally used with a replacement rate below 30%. This time, in the installation of an artificial bedrock of mass concrete in the Higashi-shimizu Substation, we have obtained fundamental data on its strength and heat generation characteristics in a room test and installation, which are introduced in this paper.

1 研究の背景

東清水変電所は急峻な山間部に建設され、電気機器を収納する建屋（地下2階・地上1階延8,100㎡）の構築にあたっては基礎部分が谷地形で、支持地盤に高低差があるため大規模な人工岩盤が必要となった。（第1図）この人工岩盤は最大厚さが約10mのマスコンクリートで、しかも短期間で施工するため、温度応力低減を主目的としフライアッシュを多量に混入したコンクリートを適用することとした。

2 人工岩盤の設計条件

人工岩盤の設計・施工条件は次のとおりである。

- ・設計基準強度…5.00N/mm²

- ・コンクリートポンプによる打ち込みが可能なこと

以上2点を満足するために、フライアッシュの置換率および単位結合材量（フライアッシュ+セメント）の検討を行った。試験に用いた石炭灰は碧南火力発電所産の分級前の原粉を用い、セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。第1表に石炭灰の品質を示す。

第1表 石炭灰の品質

二酸化ケイ素 (%)	湿分 (%)	強熱減量 (%)	比重	粉末度 (cm ² /g)	単位水量比 (%)	圧縮強度比 (%)	
						28日	91日
45以上	1以下	5以下	1.95以上	2400以上	102以下	60以上	70以上
54.7	0.5未満	2.1	2.23	2970	96	67.7	80.6

注：上段の値はJIS A 6201-0977による規格値

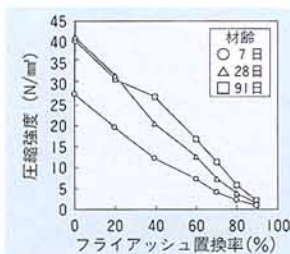
3 フライアッシュ置換率の検討

(1) モルタル試験

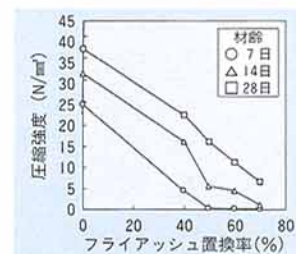
フライアッシュを混入したコンクリートの強度特性を把握するために水結合材比65%と一定にして、セメントに対する重量比20~90%の割合でフライアッシュと置換した配合のモルタルを作製し圧縮強度試験を行った。フライアッシュ置換率と圧縮強度の関係を第2図に示す。材齢28日までは両者の関係はほぼ直線関係にあるが、材齢91日では強度増進が見られフライアッシュのポゾラン反応が強度発現に寄与しているものと考えられる。

(2) コンクリート試験

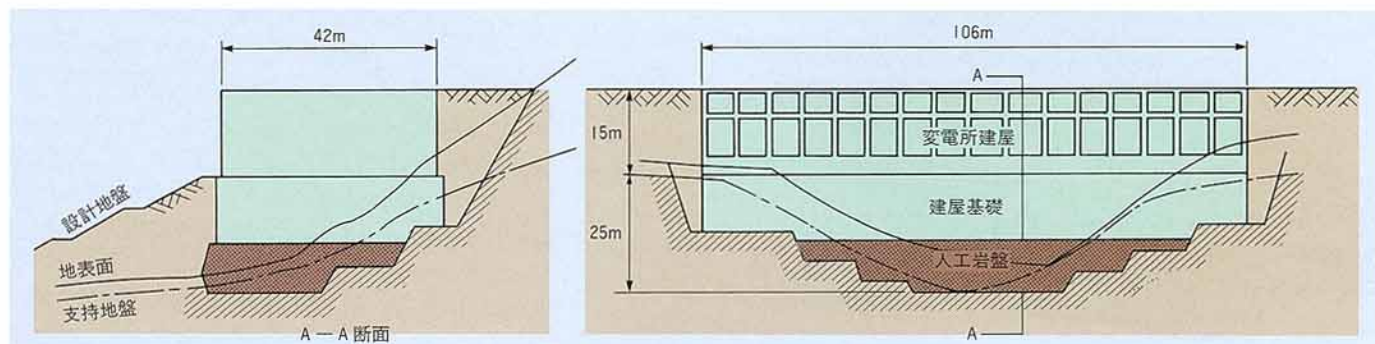
人工岩盤の設計条件からコンクリートの要求品質としてスランプ15±2.5cm・空気量2±1%・圧縮強度 σ_{28} =5N/mm²以上の条件を設定し、フライアッシュの置換率を決定するために、単位結合材量を280kg/m³と一定にして置換率を40~70%とした配合について圧縮強度試験を行った。置換率と圧縮強度の関係を第3図に示す。圧縮強度の結果から、置換率が40%の場合には材



第2図 置換率と圧縮強度



第3図 置換率と圧縮強度



第1図 人工岩盤概要図

齢7日以降で強度が発現しているのに対し、置換率が50%以上の場合には材齢7日では強度が発現しておらず材齢14日以降に強度が増進しているのが分かる。しかし材齢28日では置換率と圧縮強度の関係はほぼ直線関係であり、すべての場合で5N/mm以上の結果が得られており、単位結合材量を少なくできると考えられる。そこで初期強度の発現を考慮して置換率を50%として単位結合材量について検討を加えることにした。

4 単位結合材量の検討および配合の決定

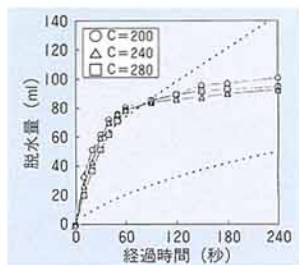
単位結合材量を280、240、200kg/m³と変化した配合について圧縮強度試験およびポンプ圧送性の比較のため加圧ブリーディング試験（コンクリートのポンプ施工指針（案））を行った。また、単位水量を減少させることを目的としてスランブの設定を12±2.5cmに変更して試験を行った。加圧ブリーディング試験の結果を第4図に、材令と圧縮強度の関係を第5図に示す。

加圧ブリーディング試験の結果では、初期脱水量が標準曲線の範囲よりも外れているものの、どの結合材量の場合でも圧送性には問題ないと考えられた。また、圧縮強度の結果は単位結合材量の少ない方から順に28日強度で6.16・10.6・14.7N/mm²となった。変動係数を15%と設定した割増係数から算出した配合強度が9.1N/mm²であるため、これを上回る強度が得られた単位セメント量240kg/m³の配合とすることとした。第2表に決定配合を示す。

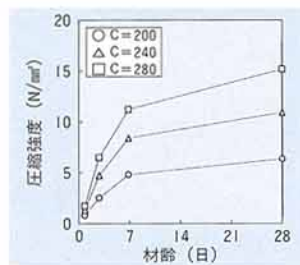
5 断熱温度上昇試験

フライアッシュコンクリートの温度特性を把握するため、現場施工に先立ち断熱温度上昇試験を行った。

比較のために、単位結合材量240kg/m³のすべてを普通ポルトランドセメントとしたコンクリートの試験も併せて実施した。試験結果として断熱温度上昇式： $Q(t) = Q_{\infty} (1 - e^{-rt})$ における、 Q_{∞} 、 r の値を第3表に示す。フライアッシュ混入による温度上昇低減は、9.4℃、約25%でありフライアッシュ混入の効果を確認できた。



第4図 加圧ブリーディング試験結果



第5図 材令と圧縮強度

第2表 決定配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C+F (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
					水 W	セメント C	フライアッシュ F	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
25	12	2	65.8	46.0	158	120	120	876	1043	0.60

第3表 断熱温度上昇試験結果

	終局断熱温度上昇量 Q_{∞}	温度上昇速度に関する係数 r
普通ポルトランドセメント	40.47	-0.779
50%フライアッシュ	31.08	-0.723

6 現場施工および温度計測

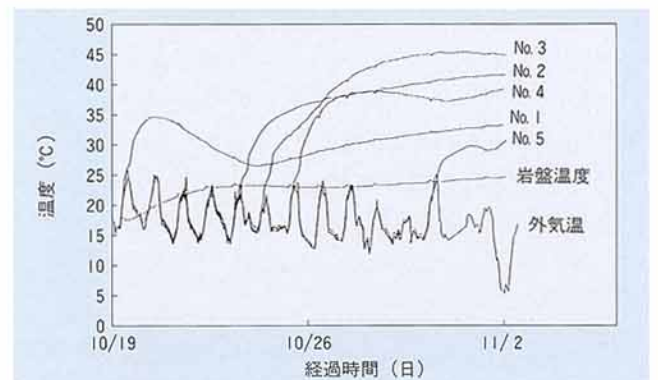
平成7年7月～10月にかけて約12,000m³のフライアッシュコンクリートを人工岩盤として打設した。コンクリートの供給については、碧南火力発電所で発生した石炭灰をセメント工場に混合し、現場付近の既設生コン工場に搬入、コンクリートを製造しミキサー車で現場に運搬、ポンプ打設するという方法で行った。

打設されたコンクリートの圧縮強度(113回)の平均値は10.2N/mm²、変動係数は14.8% (材齢28日)であった。なお、使用した石炭灰の品質は炭種により変動するものの、いずれもJIS規格を満足していた。

またコンクリート内の温度計測を各リフトごとに行った。No.5リフトまでの温度計測結果を第6図に示す。No.1リフトは打設後約28時間でピーク温度に達し、その上昇温度は約10℃であった。一方、打設間隔の短い他のリフトの温度履歴は、打設後約10日で25℃程度温度上昇した。これは、岩盤に近いコンクリートが熱拡散しにくいことと、次打設コンクリートからの熱供給により熱が蓄積されたためと考えられる。この様な状況において25℃程度しか温度上昇しなかったことはフライアッシュ混入による水和熱抑制効果として評価できると考えられる。

7 まとめ

フライアッシュ置換率が50%のコンクリートの強度および発熱特性を把握した。また既設生コン工場により製造し、人工岩盤に適用することができた。今後、フライアッシュコンクリートの欠点である強度発現の遅延については、早強ポルトランドセメントの使用や混和剤の使用による単位水量の減少など、さらに研究を続け、構造用コンクリート等へ適用範囲を拡大し、石炭灰の有効利用に寄与したい。



第6図 温度履歴図

