

報告 高流動コンクリートを用いた吹上げ打設による防火壁の築造

宇野 洋志城*¹・弘中 義昭*²・細木 優*³・井村 昇*³

要旨：防火壁の築造にあたり、締固めを行わなくても自己充填する高流動コンクリートを用いた施工実験を行った結果、ブリーディングによる水みちの形成や巻き込み空気の増加あるいは表面気泡の発生等の問題点が明らかになった。そのため、実施工における対策として、細骨材の5%を石灰石粉で置換した配合を用いて吹上げ打設を行い、透水性シートを貼り付けた透水性型枠を採用することによって、所定の品質を満足する美観のよい防火壁を築造することができた。

キーワード：高流動コンクリート、ブリーディング、石灰石粉、気泡、透水性型枠

1. まえがき

変電所の防災設備の一部として図-1に示すような高さ9m、長さ17m、壁厚0.35~1.20mの壁状構造物である防火壁を施工するにあたり、留意点として以下の項目が挙げられた。

- ① 気象変動の影響を長期間に渡って受ける構造物であるため、耐久性能が特に重要である。
- ② 人目に付きやすい構造物であり美観が重要となるが、安易な化粧仕上げは避けたい。

また、防火壁直壁部分は図-2左側に示すように0.35mの壁厚に対してD25の主筋2本とD16の配力筋2本が配筋されており、通常のコンクリートを用いて打込む場合には十分な締固めを行うには困難であったという過去の経験から、高耐久的で美観もよく、かつ施工時には締固め不要で自己充填するコンクリートとして近年盛んに実施工が行われている高流動コンクリートの適用が考えられた。

本報告は、関西電力(株)小曾根変電所における防火壁の構築に高流動コンクリートを適用するために行った予備実験（配合選定実験、施工実験）、およびその際に生じた問題点に対する対策を講じて行った実施工の結果をまとめたものである。

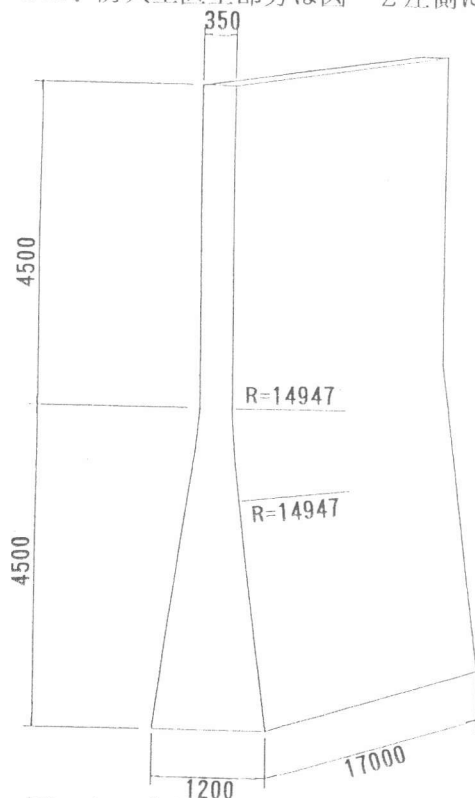


図-1 防火壁の寸法 (単位: mm)

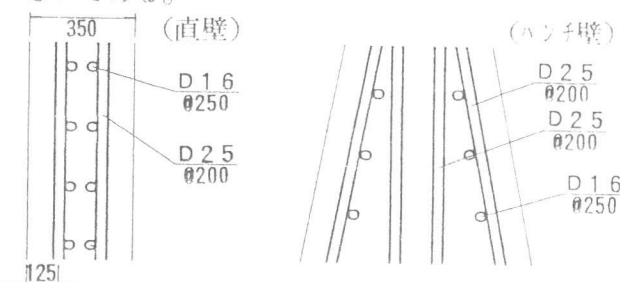


図-2 防火壁の配筋状況 (単位: mm)

*1 佐藤工業(株)中央技術研究所土木研究部 (正会員)

*2 佐藤工業(株)中央技術研究所土木研究部主任研究員 (正会員)

*3 佐藤工業(株)大阪支店

2. 配合選定実験

一般に、高流動コンクリートとしては三成分系あるいは二成分系の低熱形混合セメントや高ピーク系セメントが用いられており、既往の研究報告[1]でも筆者らは配合選定に関する検討を行ってきた。今回の配合では生コンプラントのサイロ設備等の関係から高炉B種セメントにフライアッシュを混合させたものを結合材とし、細骨材は海砂、粗骨材は碎石とした。基本配合として決定したのが配合No. 1、その細骨材の5%を石灰石粉で置換したのを配合No. 2とした。表-1には比較検討用に用いた普通配合No. 3(スランプ12cm)も併せて示方配合を示す。なお、プランツ検証したのは配合No. 1と配合No. 2のスランプフロー、Vロート流下時間(Vロート出口径法は65mm×75mm)、ブリーディング率、凝結時間、圧縮強度(標準養生)であり、表-2にそれぞれの試験結果を示す。

表-1 示方配合表

配合No.	空気量 (%)	水結合材比 (%)	単位量 (kg/m ³)							
			W	C	FA	LS	S	G	Ad. 1	Ad. 2
1	4.5	34.7	170	310	180	0	812	778	6.125	0.045
2	4.5	34.7	170	310	180	40	774	778	6.860	0.075
3	4.5	60.0	172	287	0	0	810	1018	0.718	0.011

注し、C：高炉B種セメント(No. 1, 2)比重3.05、普通ポルトランドセメント(No. 3)比重3.16
 FA：フライアッシュ 比重2.29、比表面積3890cm²/g
 LS：石灰石粉 比重2.68、74μm通過率86.1%
 S：日比産海砂 比重2.57、吸水率1.78%、粗粒率2.79
 G：長尾山産碎石 比重2.70、吸水率0.75%、粗粒率6.55、実積率57.6%
 Ad. 1：高性能AE減水剤(No. 1, 2)、主成分はポリカルボン酸と架橋ポリマーの複合体、AE減水剤(No. 3)
 Ad. 2：空気量調整剤、主成分は変成アルキルポリカルボン酸化合物系陰イオン界面活性剤

表-2 プラントにおける試験結果

配合No.	スランプフロー (cm)	Vロート流下時間 (秒)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	ブリーディング率 (%)	凝結始発時間 (h-m)	凝結終結時間 (h-m)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	
								材齢 7日	材齢 28日
1	57.5	4.5	3.4	24.0	6.87	16-07	19-10	254	448
2	57.8	4.0	5.8	26.5	3.17	12-43	15-26	—	—

うち配合No. 1と配合No. 3に関しては、試験室内での配合試験実施時に防火壁に使用されるコンクリートの耐火性能を検証することを目的とした圧縮強度試験を行った。試験方法はφ100cmの供試体を用いて材齢28日まで標準養生を行ってから加熱し、中心部温度を300°Cで1

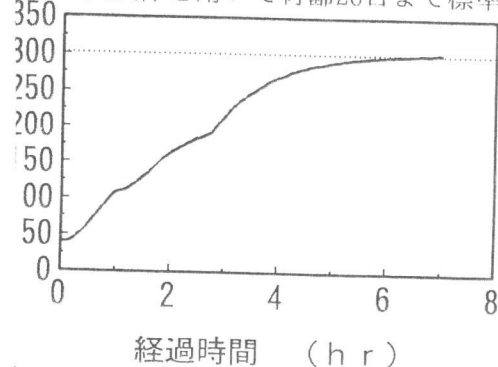


図-3 コンクリート中心部の温度履歴

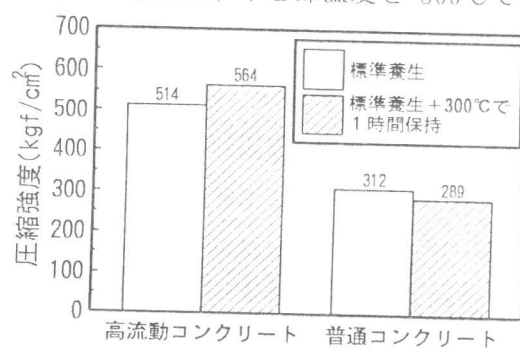


図-4 圧縮強度の変化(室内試験)

時間保持した後に圧縮強度を測定することとした。コンクリート内部の温度履歴を図-3に示す。その結果、比較用に作成した配合No. 3では若干の強度低下が認められるのに対し、配合No. 1では強度低下は認められず(図-4参照)、十分な耐火性能が得られることが検証できた。ちなみに、水分逸散率(水分逸散量/飽水状態の供試体重量を百分率で表す)は配合No. 1で7.61%、普通コンクリートの配合で8.76%となっていた。

3. 施工実験

防火壁の施工における問題点の把握および高流動コンクリートの施工性と硬化後品質を確認するため、増設部との間仕切り用仮壁(高さ3.55m、長さ5.80m、壁厚0.45m)を利用して高流動コンクリートの施工性と硬化後品質を確認するための施工実験を行った。打込みは高さ5mを自由落下させて型枠の端部から約6m自然流動させる方法で行った結果、防火壁に比べて配筋件は緩いものの1/53~1/64の流動勾配で締固めを必要とせずに充填することが確認できた。

3. 1 フレッシュコンクリート性状

プラントでの練混ぜは容量2.50m³/バッチの強制二軸ミキサーに対して2.25m³/バッチとし、モルタ先練りで90秒、粗骨材投入後150秒で排出した。荷卸し時における管理基準値は、配合選定実験結果からスランプフローは60±5cm(練上がり直後は55cm以上)、空気量4.5±1.5%とし、ロート流下時間についてはデータの収集を目的とした。これらの試験結果を表-3に示す。

表-3 フレッシュコンクリート試験結果

配合 No.	スランプフロー (cm)	ロート流下時間 (秒)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	ブリーディング率 (%)	凝結始発時間 (h-m)	凝結終結時間 (h-m)	試料採取時期
1	58.0	4.2	5.4	25.0	—	—	—	練上がり直後
	60.8	5.5	5.3	26.5	5.42	15-24	17-36	荷卸し時

3. 2 側圧測定結果

既往の文献[2]から、高流動コンクリートの側圧は液圧相当と考えられており、施工実験においては液圧を想定した型枠の設計を行うとともに、側圧の測定を行った。測定方法は土圧計を直接型枠表面に設置した場合とセパレータにひずみゲージを貼付した場合(表-4参照)の2通りとした。その結果、理論値との開きは小さく、土圧計の場合高さ方向に直線性が得られた。(図-5参照)。これに比べセパレータの測定結果が多少バラついた原因としては、得られた値はすべてのセパレータに発生する引張応力の平均値ではなかったこと等が考えられる。今後は測定位置や方法を工夫することで側圧の目安程度を得る手段として十分活用できるものと考えられる。

表-4 側圧の推定方法

項目	記号	数値
セパレータ1本当りの断面積	A_s	0.50 cm ²
セパレータ1本当りの型枠分担面積	A	2700 cm ²

$$P = \sigma_{st} \times A_s / A$$

P: 側圧、 σ_{st} : セパレータ引張応力 (kgf/cm²)

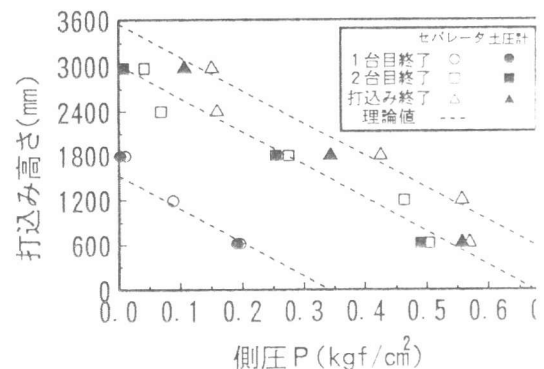


図-5 側圧の実測値と理論値の比較

3. 3 硬化後品質

コア供試体による単位容積重量および圧縮強度の比較を行うと、コア採取高さの違いにおける差は単位容積重量、圧縮強度ともに認められ（図-6、7参照）、下方になるほど大きくなっている。その原因としては下方のコンクリートには上方のコンクリートの自重がそのまま載荷されることになり十分な締固め効果が発揮される以外にも、粗骨材の沈降やブリーディングにより余剰水や巻き込み空気が上方に移動したこと等が考えられた。一方、単位容積重量の比較で明らかのように流動距離の違いによる差は認められず（図-8参照）、6 m程度の流動距離における材料分離は生じないことが確認できた。また、コア供試体断面および仮壁表面における気泡発生率（1 mm以上の気泡をカウントし、合計の気泡面積/測定範囲面積を百分率で表す）を測定した結果では、最も多い上方部分で1.47%、最も少ない下方部分で0.44%となっており、隣接した普通コンクリートによる施工箇所（バイブレータによる締固め有り）の仕上がりのよい部分で0.38%、気泡が目立つ部分で0.91%と比べると、美観の点で見劣りする結果となった。その原因としては5 mの高さから自由落下させたことによる巻き込み空気の増加と、高流動コンクリートの粘性が一度巻き込んだ空気を逃がしにくいこと等が挙げられた。

3. 4 本施工への改善点

これらの施工実験結果から、本施工を行う際には以下に示す点を改善することにした。

①配合：配合No. 1を採用する。

→ブリーディングを抑制するために細骨材の5%を石灰石粉で置換した配合No. 2を採用する。

②打込み：5 mの高さからの自由落下させる。

→巻き込み空気の低減と、打込み速度を制御するために下方からの吹上げ打設を採用する。

③型枠：化粧合板を使用する。

→コンクリート表面に発生する気泡を完全に排除するために透水性型枠を使用する。

4. 本施工

4. 1 打込み方法

打込みは防火壁の高さ4.50 mまでのハンチ壁部分とさらに上方の直壁部分の2回に分けて行い、

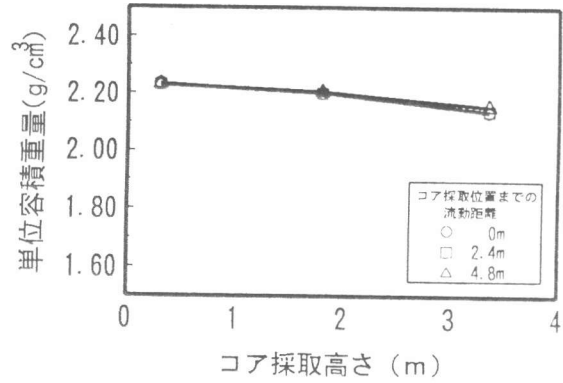


図-6 単位容積重量とコア採取高さの関係

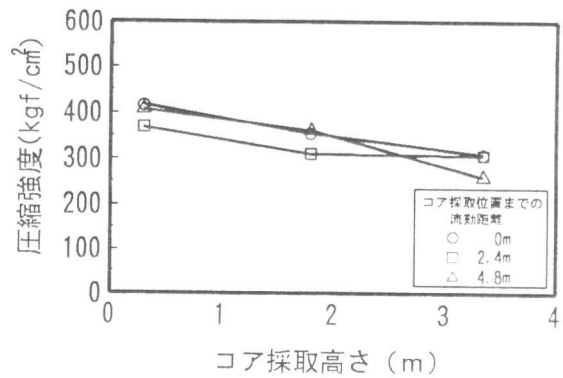


図-7 圧縮強度とコア採取高さの関係

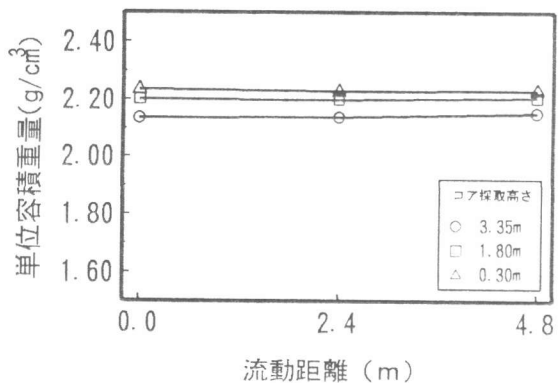


図-8 単位容積重量と流動距離の関係

打継ぎ部分はウォータージェットでレイタンスの処理とともに目粗しを行った。吹上げ打設に使用したコンクリートポンプの仕様は表-5に示すとおりである。型枠内にはハンチ壁部分用の吹上げ打設配管と直壁部分用の吹上げ打設配管をあらかじめ設置しておき、打込み後は埋め殺した。

4. 2フレッシュコンクリート性状

プラントでの練混ぜ方法および荷卸し時における試験項目、方法、管理基準値は施工実験と同じとした。また圧縮強度は材齢28日の値を表記した。1リフト、2リフトの打込みともに荷卸し時の受入れ試験の頻度は1台目以降22.5mに1回の割合とし、その結果を表-6に示す。

表-5 コンクリートポンプの仕様

最大吐出量 (m ³ /h)	50
コンクリートシリンダーの直径 (mm)	205
油圧シリンダーの直径 (mm)	120
最高ストロークの長さ (mm)	1650
最高主油圧 (kgf/cm ²)	240
最大吐出圧 (kgf/cm ²)	80

表-6 フレッシュコンクリート試験結果

	アジテータ車台数	スランプフロー (cm)	Vロート流下時間 (秒)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	圧縮強度 ^{*)} (kgf/cm ²)	ブリーディング率 (%)	凝結始発 (h-m)	凝結終結 (h-m)	試料採取時期
1 リ フ ト	1台目	61.0	7.3	4.2	25.5	—	—	—	—	養生上がり直前
		63.5	4.8	4.5	28.0	—	—	—	—	荷卸し時
	5台目	61.0	8.0	3.4	26.5	—	—	—	—	養生上がり直前
		63.8	5.6	3.1	29.5	—	—	—	—	荷卸し時
	10台目	61.5	5.7	3.2	28.0	506	—	—	—	養生上がり直前
		61.0	3.8	3.3	30.0	486	2.92	11-08	13-05	荷卸し時
2 リ フ ト	1台目	62.0	6.4	5.5	25.0	—	—	—	—	養生上がり直前
		63.0	5.1	4.5	27.5	—	—	—	—	荷卸し時
	5台目	64.0	6.1	5.0	27.0	488	—	—	—	養生上がり直前
		65.0	3.9	4.5	30.0	460	2.71	9-52	11-59	荷卸し時

^{*)} 材齢28日の圧縮強度

フレッシュ性状は管理基準値内におさめることができ、アジテータ車ごとのバラツキは認められない。また、Vロート流下時間が荷卸し時に短くなっているが、既往の研究成果[2]では水結材比に支配されるコンクリートの粘性は時間経過とともに大きくなってVロート流下時間は長くなる傾向を示すはずである。このような結果が得られた原因としては時間経過とともに混和剤効果が発揮されたことが予想され、使用結合材と混和剤の相性等の詳細な検討が必要であるとえられる。

4. 3流動勾配

吹上げ打設を行った際の筒先は防火壁中央に位置しており、流動距離は片側に8.50mであった。流動勾配は1リフトのハンチ壁部分で1/20~1/30、2リフトの直壁部分で1/13~1/45となったが、締固めを行わなくても最終的に十分充填することが確認できた。また、2リフトでの勾配が急になっているのは配筋条件の厳しさが原因であると考えられる。

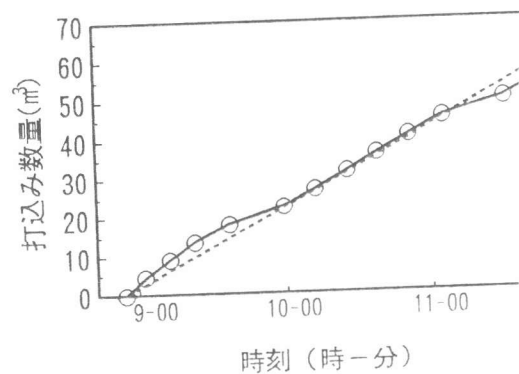


図-9 累積打設数量

4. 4 ポンプ圧送性

特記仕様書では打込み温度の上限は30°Cで、打込みを気温の低い午前中に完了するためには打込み速度を確保する必要があるとあり、表-4に示す仕様のポンプを使用することで施工計画どおり20/hで吹上げ打設を完了することができた。ポンプ主油圧はハンチ壁部分で38~60 (kgf/cm²)、壁部分で61~95 (kgf/cm²)であった。累積打設数量は図-9 (1リフト)に示す。

4. 5 硬化後品質

プラントで練上がり直後に採取した供試体と現場荷卸し時に採取した供試体の圧縮強度試験結果を-5に示す。材齢28日で2リフトの圧縮強度が1リフトの圧縮強度より4.4%下回っているのは、空量の差が原因であると考えられる。一般に空気量1%の増加により圧縮強度は5%減少するとされおり、今回の1リフトでは10台目、2リフトでは台目のアジテータ車から試料を採取したので空気は3.2~3.3% (1リフト)と4.5~5.0% (2リフト)であったことから圧縮強度の減少は通常の内におさまっていると判断できる。また、プラント採取と現場採取の圧縮強度の差の原因としては、現場での外気温の影響で初期養生温度が高かったことが圧縮強度の低下を招いたものと考えられる。

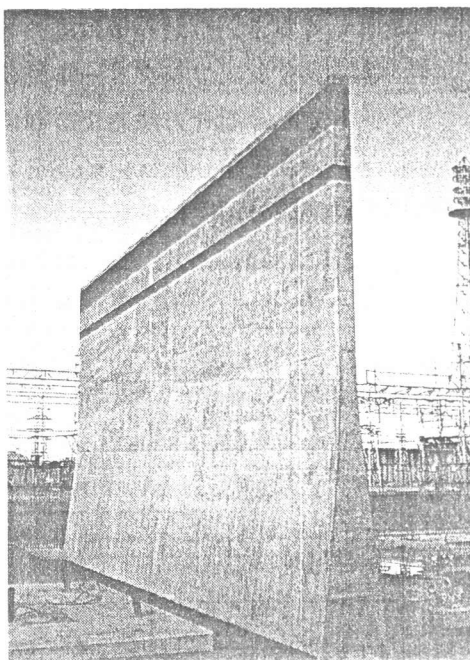


写真-1 完成風景

5. あとがき

脱型後の観察では未充填箇所は認められず、透水性型枠の使用により表面気泡も排除されている。美観の向上という点では、従来の普通コンクリートによる施工よりも極めて良好な美観を有する打放しコンクリート構造物を築造することができたといえるものの、透水性型枠に用いた透シシートのシワや絹目模様がそのままコンクリート表面に残る等、今後の改善を必要とする課題が残された。また、コンクリートの打込みに際し締固め作業を省略できたことは施工性の改善という点で十分な効果が得られるだけでなく、低騒音・低振動が作業環境の向上にむすびつくこと確認できた。

謝辞

今回の高流動コンクリートを用いた吹上げ打設による防火壁の築造工事および本報告の投稿に多大なご協力を頂きました関西電力(株)の皆様方と、高流動コンクリートの製造・品質管理に尽力頂きました宮本生コン(株)ならびに(株)エヌ・エム・ビーの皆様方に対し、ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1] 中川 岳ほか：高流動コンクリートの配合選定実験、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp. 332~333、1994
- 2] 例え 牧野英久ほか：二成分系のハイパフォーマンスコンクリートの硬化過程の性状について、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp. 610~611、1991等