鉄筋コンクリート造超高煙突のコンクリート管理

横 溝 寛^{*1}・小 久 保 渉^{*2}

概 要 当火力発電所の 198 m 鉄筋コンクリート造超高煙突は、スリップフォーム工法で築造している。本工法では、コンクリート若材令圧縮強度の管理が重要な項目となる。本稿では、当工事で実施した積算養生温度に着目したコンクリート若材令圧縮強度管理について報告する。

キーワード：鉄筋コンクリート造煙突、スリップフォーム工法、若材令圧縮強度

1. はじめに

本煙突は、東京電力㈱広野火力発電所（福島県双葉郡広野町）の第3号機増設工事に伴い建設したもので、支持構造体である鉄筋コンクリート（RC）造外筒と通煙部である鋼製内筒（炭素鋼とステンレス鋼を融着させたクラッド鋼）との二重筒で構成されている。

築造にあたっては、HCEC 社（High Concrete Engineering Co. Ltd）のオール・ケログ・スリップフォーム工法（以下、スリップフォーム工法と略記する）を採用した。この工法は、当発電所の 1・2 号機用煙突のほかに 10 本の施工実績がある工法で、機械型わくを滑動させ、連続してコンクリートを打ち込み、筒体を築造してゆく特殊な工法である。

本工法により RC 造煙突を築造する場合、コンクリートを打設してから遅くとも数時間以内には脱型されるため、コンクリートの脱型時圧縮強度管理が、煙突工事の安全、コスト、品質、工程のすべてに影響する。そこで、工事の実施にあたっては、コンクリートの若材令圧縮強度に着目した調査計画（各種養生条件ごとのコンクリート調合と若材令圧縮強度の発現特性を把握する）と、それに基づいた試し練りを行って、工事で使用するコンクリート調合の選定および圧縮強度管理を実施した。その結果、良好な成果を得ることができたので、ここに紹介する。

2. 工事概要

工事名称：東京電力㈱広野火力発電所第3号機増設工事に伴う煙突外筒工事
工事場所：福島県双葉郡広野町 東京電力㈱広野火力発電所構内

工事監理：東京電力㈱広野火力建設所建築課
設 計：東電設計㈱
施 工：鹿島建設㈱
工 期：昭和 61 年 9 月～63 年 5 月（うちスリップフォーム施工期間は 62 年 3 月下旬～62 年 6 月初旬）
規 模：(図-1 参照)
高 さ GL+198 m（内筒は GL+200 m）
頂部外径 18 m（壁厚 30 cm）
脚部外径 29 m（壁厚 78 cm）
基礎外径 50 m（根入れ深さ 7 m）

3号煙突規模概要

1. 外 筒
コンクリート
高 さ 198.0m
ナックルポイント 80.0m
頂 径 18.0m
頂 径 厚 0.3m
底 径 29.0m
底 径 厚 0.78m
2. 基礎部
コンクリート
高 さ 7.0m
テーバー高さ 4.2m
鉛直部高さ 2.8m
頂 径 29.0m
底 径 50.0m
3. 内 筒
高 さ 200.0m
内 径 7.1m
ダクト取合 27.0m

図-1 煙 突 概 要

*1 よこみぞ・ひろし／東京電力㈱広野火力建設所副所長

*2 こくほ・わたる／ 同上 建築課主任

図-2 スリップフォーム機構概要

工 法：アール・クロック・スリップフォーム工
法(図-2 参照)
構 造：外筒 RC造 ($F_c=270 \text{ kgf/cm}^2$)
内筒 鋼製 (SMA 41 A と SUS 316 L
のクラッド鋼)
基礎 第三紀層 (泥岩) に直接定着

3. 工事計画

3.1 調 合 計 画

本煙突工事で使用するコンクリートの強度は、4週強度として設計基準強度 270 kgf/cm^2 以上、かつ脱型時において 0.4 kgf/cm^2 以上 発現させなければならない。そのためには、コンクリートの若材令時における養生温度、材令 (時間) と圧縮強度との関係を明確にしておく

Control of Concrete Strength for the Construction of a High Concrete Stack

By H. Yokomizo and W. Kokubo

Concrete Journal, Vol. 26, No. 6, pp. 26~31, June 1988

Synopsis A high concrete stack of a thermal power plant was constructed by slip-form method. The paper describes control of early aged concrete during the slip-up work, which was one of the most significant matters to secure the necessary compressive strength.

Keywords : concrete stack, slip-form method, the early aged compressive strength

表-1 予想脱型時間 (T)

外筒の概略高さ	型わく上昇速度 (m/12h)	予想脱型時間 (h)
GL±0～+35 m	1.6	9.38
	2.0	7.5
GL+35～+135 m	2.5	6.0
	3.0	5.0
GL+135～+198 m	3.5	4.29

(型わく高さ 1.25 m)

表-2 外気温の設定 (i)

期 間	最低気温 (°C)	1日の平均気温 (°C)	最高気温 (°C)
3/20～3/31	5	7	12
4/1～4/10	5	9	14
4/20～4/30	7	12	17
5/1～5/10	9	15	21
5/11～5/20	8	13	20
5/21～5/31	9	14	20
6/1～6/10	13	18	25
6/10～6/20	9	13	17

必要がある。これらの関係については、笠井博士の研究理論¹⁾である積算養生温度 ($T^{\circ}T$) からコンクリートの若材令強度を推定する方法を採用することとした。この方法では、まず最初に積算養生温度 ($T^{\circ}T$) を求めるために、コンクリート養生温度と脱型までの時間を設定する必要がある。今回の煙突工事では、配筋作業等の作業量を考慮して、脱型時間を表-1のとおり想定した。また、コンクリート養生温度に関しては、当発電所で実施している気象観測データから表-2のとおり想定した。

以上の想定値に基づき、コンクリート調合を表-3のとおり12種類作成した。

3.2 試し練り

前記で作成した各調合について試し練りを行い、若材令圧縮強度の発現特性を確認した。各調合ごとの強度

(f_c) と積算養生温度 ($T^{\circ}T$) の関係を表したのが図-3～図-6である。

4. 実施結果

工事の概略の流れを写真-1～写真-5に示す。

4.1 施工体制

スリップフォームの特長の一つにコンクリート打継ぎの少ないことが挙げられるが、本煙突の施工にあたっては、この特長をできるだけ生かす目的から、施工体制を昼・夜の2班とし、月曜日の朝から土曜日の夜までを1サイクルとし、コンクリートを連続して打設した。

4.2 養生方法

スリップフォーム施工期間は、計画では3月中旬～6

図-3 若材令強度試験結果 (その1)

表-3 コンクリート調合表

調合別	強度区分 呼び強度 (kgf/cm ²)	スランブ (cm)	水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (g/m ³)	使用材量
					セメント	水	細骨材	粗骨材		
E1	270	12	47	38.4	317	149	694	1115	792	・セメント フライアッシュB種 ・骨材 広野町折木産 ・混和剤 (AE 減水剤) ボゾリス #70
E2	330		41	36.4	373	153	635	1115	932	
E3	350		39	35.7	392	153	617	1115	980	
F1	270	15	47	38.9	328	154	694	1092	820	・セメント フライアッシュB種 ・骨材 広野町折木産 ・混和剤 (AE 減水剤) ボゾリス #8
F2	330		41	36.8	385	158	635	1092	962	
F3	350		39	36.2	405	158	617	1092	1012	
G1	270	12	47	38.4	317	149	694	1115	792	・セメント フライアッシュB種 ・骨材 広野町折木産 ・混和剤 (AE 減水剤) ボゾリス #8
G2	330		41	36.4	373	153	635	1115	932	
G3	350		39	35.7	392	153	617	1115	980	
H1	270	15	47	38.9	328	154	694	1092	820	・セメント フライアッシュB種 ・骨材 広野町折木産 ・混和剤 (AE 減水剤) ボゾリス #8
H2	330		41	36.8	385	158	635	1092	962	
H3	350		39	36.2	405	158	617	1092	1012

図-4 若材令強度試験結果 (その2)

図-6 若材令強度試験結果 (その4)

図-5 若材令強度試験結果 (その3)

写真-2 基礎工事中

写真-3 スリップフォーム全景

写真-1 基礎掘削工事中

月中旬に予定していた。この間の気象データを見ると、3月中旬から1か月の間は気温が低く、最低気温 $3 \sim 7^{\circ}\text{C}$ が想定された。このため、養生方法として以下の対策をたて実施した。

- 1) 打込み時のコンクリート温度を 10°C 以上とする。

写真-4 スリッパアップ中

写真-5 トップアウト (GL+198 cm)

- 2) 打ち込まれたコンクリートを投光器により加熱する (図-2 参照)。
- 3) 脱型されたコンクリートは断熱シートで覆う (図-2 参照)。

また、5月から6月にかけては急激な温度上昇が予想されるので、これに対しては、混和剤によって、若材令圧縮強度の発現を抑えた遅延タイプの調合を準備した。(ただし、この調合を使うような気象がなかったので、実際は使用しなかった。)

4.3 若材令圧縮強度の管理方法

コンクリートの若材令圧縮強度の管理としては、打込

み前の品質管理が最も重要となる。したがって、現場において、入荷してくる生コン車のすべてに対して、以下の項目の管理(受入れ検査)を行った。

スランプ	許容管理値	± 1.5 cm
空気量	"	$\pm 1\%$
コンクリート温度	"	10°C 以上

受入れ検査の結果、不合格品は、全生コン車 1089 台中、次の割合であった。

スランプの不合格数	0.5% (5 台)
空気量の不合格数	0.4% (4 台)
コンクリート温度の不合格数	なし

これらの不合格の原因は、コンクリート用材料(主としてセメントと砂)の品質のばらつきに起因するものであったため、生コン工場に再発防止を要請した。このため、工事の後半はコンクリートの不合格品が皆無になった。

また、打ち込まれたコンクリートの若材令圧縮強度管理としては、以下に示す3方法を実施した。

1) 積算養生温度($T^{\circ}\text{T}$)による方法

打ち込まれたコンクリートの雰囲気温度を1時間ごとに測定し、この雰囲気温度から想定したコンクリート温度と加水後の経過時間から $T^{\circ}\text{T}$ を求め、試し練りで求めた $f_c \sim T^{\circ}\text{T}$ 関係から、打ち込まれたコンクリート強度を推定する。

2) 圧縮試験による方法

生コン車1台ごとに、 $\phi 100 \times H 200$ の試験体を3~5本作成し、コンクリート打込み部の雰囲気温度に近い温度で養生し、所定強度の発現予定時間の約1時間前から1時間経過ごとに試験体の圧縮試験を行い、脱型時の強度管理を行う(写真-6)。

3) 触感による方法

打ち込まれたコンクリートの硬化の進行状況を、現場で突き棒($\phi 16$ mm, $l=1.5$ m)をさして確認し、強度を推定する。

工事を推進してゆくうちに、同一調査でも若材令圧縮

写真-6 若令圧縮試験

図-7 フライアッシュの質の差による
若材令圧縮強度の比較

図-8 実施工程

強度の出方に、ある特定の傾向が見られることが分かった。すなわち、強度の出方の早い時と遅い時が明確に見られることから、その要因を探るべくデータを層別し、分析したのが図-7である。この図から、フライアッシュの比表面積の大小が若材令圧縮強度発現に影響のあることが分かった。

4.4 工程

工程に関しては、当発電所 1・2 号機煙突の実績と使用材料量から計画では実働 60 日としていたが、実際は図-8 に示すとおり、実働 50 日でスリップフォーム工事を完了することができた。

この工期短縮の要因としては次のことがあげられる。

- 1) スリップフォーム工事期間中の外気温度が、当初予想していた温度より低かったため、低温用に準備したコンクリート調合（強度発現の最も早い E 3 タイプ）を多量（全量の約 90%）に使用したこと。
- 2) コンクリート打込み部周囲をシートで覆い、投光器で採暖した結果、外気より平均 3°C 程度の雰囲気温度が高くなり、若材令圧縮強度の発現がスムーズだったこと。

5. おわりに

コンクリートの若材令強度に着目した適正な工事計画を立てたこと、また、気温が当初想定した温度より低かったにもかかわらずスリップフォーム工事は順調に進み、最大上昇速度が 6m/日を記録できたこと等により、計画工程より 5 日早くトップアウトできた。

なお、この後、引き続き内筒工事に入り、本煙突は昭和 63 年 5 月に竣工の予定である。

本稿が、今後、この種の工事の参考になれば幸いである。あわせて、本工事にご協力下さった関係各位に、末尾ながら感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 笠井芳夫：コンクリートの初期性状、コンクリートジャーナル、Vol. 11, No. 10, 1973.10
- 2) 日本建築学会：コンクリートの調合設計・調合管理・品質検査指針案・同解説

《図書案内》

JCI-R1 海洋コンクリート構造物の防食指針(案)

A 4 判・137 ページ/定価 3 500 円(会員特価 3 200 円)・送料 350 円

●申込先：(社) 日本コンクリート工学会「書籍販売係」

〒102 千代田区麹町 5-7 TBR ビル 708 号

電話 (03) 263-1571

<申込方法> 書籍名・送付先を明記のうえ、前金(現金書留)にてお申込みください。